

公路工程沥青及沥青混合料试验规程 (征求意见稿)

Standard Test Methods of Bitumen and Bituminous Mixtures for Highway Engineering

201x-xx-xx发布

201x-xx-xx实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业标准

公路工程沥青及沥青混合料试验规程

Standard Test Methods of Bitumen and
Bituminous Mixtures for Highway Engineering

JTG E20-20XX

主编单位:交通运输部公路科学研究院

批准部门:中华人民共和国交通运输部

实施日期:201X 年 X 月 X 日

前 言

《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ E20-2011)(以下简称原规程)自发布实施以来,在我国得到了广泛应用,对加强公路工程沥青及沥青混合料生产与管理、质量检验起到了重要作用。随着我国公路建设的快速发展,国外许多新设备、新技术和新方法在沥青及沥青混合料中得到了广泛应用。为提高我国沥青及沥青混合料的试验和评价水平,原规程需作进一步修订和完善,并非常有必要补充一些新的试验方法。为此,交通运输部在《2016 年度公路工程行业标准制修订项目计划》中下达了原规程的修订任务,由交通运输部公路科学研究院负责修订工作。

修订单位在认真总结多年来我国在沥青及沥青混合料方面的研究成果和应用经验的基础上,参阅了大量国内外相关标准规范和技术资料,并广泛征求了有关单位的意见,经过反复修改,完成了修订工作。

本次对原规程共修订 60 项。主要修订内容有:

(1)第 3 章沥青试验修订 12 项

- T 0601—201X 沥青取样法
- T 0602—201X 沥青试样准备方法
- T 0604—201X 沥青针入度试验
- T 0605—201X 沥青延度试验
- T 0606—201X 沥青软化点试验(环球法)
- T 0607—201X 沥青溶解度试验
- T 0608—201X 沥青蒸发损失试验
- T 0609—201X 沥青薄膜加热试验
- T 0610—201X 沥青旋转薄膜加热试验
- T 0611—201X 沥青闪点与燃点试验(克利夫兰开口杯法)
- T 0614—201X 沥青灰分含量试验
- T 0615—201X 沥青蜡含量试验 (蒸馏法)

(2)第 3 章沥青试验增补 14 项

- T 0666—201X 沥青多重应力蠕变恢复试验 (MSCR)
- T 0667—201X 沥青零剪切黏度试验(ZSV)
- T 0668—201X 沥青低应变剪切黏度试验(LSV)
- T 0669—201X 聚合物分散性试验
- T 0670—201X 沥青斑点试验
- T 0671—201X 沥青拉伸性能试验 (测力延度仪法)
- T 0672—201X 沥青抗疲劳性能试验(线性振幅扫描 LAS 法)

T 0673—201X SBS 含量测定试验
T 0674—201X 摆式仪测定沥青内聚力试验
T 0675—201X 集料-沥青黏附性试验（旋转瓶法）
T 0676—201X 橡胶沥青旋转黏度试验（Haake 黏度计法）
T 0677—201X 黏层油黏结强度试验(剪切法)
T 0678—201X 黏层油黏结强度试验(拉拔法)
T 0679—201X 沥青中含磷试验

(3)第 4 章沥青混合料试验，修订 7 项

T 0701—201X 沥青混合料取样法
T 0707—201X 压实沥青混合料密度试验(蜡封法)
T 0716—201X 沥青混合料劈裂试验
T 0719—201X 沥青混合料车辙试验
T 0729—201X 沥青混合料冻融劈裂试验(马歇尔试件法)
T 0733—201X 沥青混合料肯塔堡飞散试验
T 0735—201X 沥青混合料中沥青含量试验（燃烧炉法）

(4)第 4 章沥青混合料试验，增补试验 29 项

T 0759—201X 冷补沥青混合料贯入强度试验
T 0760—201X 冷补沥青混合料黏附性能试验
T 0761—201X 冷补沥青混合料浸水马歇尔试验
T 0762—201X 压实沥青混合料密度试验(真空密封法)
T 0763—201X 沥青混合料重复压缩试验（三轴压缩）
T 0764—201X 沥青混合料重复压缩试验（单轴压缩）
T 0765—201X 沥青混合料车辙试验(APA)
T 0766—201X 沥青混合料车辙试验(汉堡车辙)
T 0767—201X 沥青混合料剪切强度试验(单轴贯入法)
T 0768—201X 浇注式沥青混合料贯入度试验
T 0769—201X 沥青混合料二点弯曲疲劳试验(梯形梁法)
T 0770—201X 沥青混合料直接拉伸循环疲劳测黏弹损伤试验
T 0771—201X 沥青混合料裂缝扩展性能试验（半圆形弯曲法）
T 0772—201X 沥青混合料裂缝扩展性能试验（OT 法）
T 0773—201X 沥青混合料二点弯曲动态模量试验
T 0774—201X 沥青混合料直接拉伸动态模量试验
T 0775—201X 沥青混合料低温性能试验(半圆弯曲法)

T 0776—201X 沥青混合料低温性能试验(低温约束应力法)

T 0777—201X 沥青混合料水热敏感性试验(高温动压水冲刷法)

T 0778—201X 沥青混合料水敏感性试验 (多烈士法)

T 0779—201X 沥青混合料压实特性试验

T 0780—201X 沥青混合料流动性试验

T 0781—201X 沥青混合料级配离析敏感性试验

T 0782—201X 碎石封层平板冲击试验

T 0783—201X 沥青混合料试件制作方法(法国轮胎轮碾机法)

T 0784—201X 沥青混合料旋转压实试件制作方法 (PCG 法)

T 0785—201X 沥青混合料车辙试验 (法国大型车辙仪法)

T 0786—201X 沥青混合料冻融劈裂试验 (旋转压实仪试件)

T 0787—201X 沥青混合料浸水膨胀试验

目 录

1 总 则	1
2、术语、符号	3
2.1 术 语	3
2.2 符 号	7
3 沥青试验	9
T 0601—201X 沥青取样法.....	9
T 0602—201X 沥青试样准备方法.....	12
T 0603—2011 沥青密度与相对密度试验.....	15
T 0604—201X 沥青针入度试验.....	19
T 0605—201X 沥青延度试验.....	24
T 0606—201X 沥青软化点试验(环球法)	27
T 0607—201X 沥青溶解度试验.....	31
T 0608—201X 沥青蒸发损失试验.....	33
T 0609—201X 沥青薄膜加热试验.....	35
T 0610—201X 沥青旋转薄膜加热试验.....	39
T 0611—201X 沥青闪点与燃点试验(克利夫兰开口杯法)	43
T 0612—1993 沥青含水量试验.....	47
T 0613—1993 沥青脆点试验(弗拉斯法)	50
T 0614—201X 沥青灰分含量试验.....	53
T 0615—201X 沥青蜡含量试验(蒸馏法)	55
T 0616—1993 沥青与粗集料的黏附性试验.....	59
T 0617—2011 沥青化学组分试验(三组分法)	63
T 0618—1993 沥青化学组分试验(四组分法)	67
T 0619—2011 沥青运动黏度试验(毛细管法)	74
T 0620—2000 沥青动力黏度试验(真空减压 毛细管法)	79
T 0621—2011 沥青标准黏度试验(道路沥青标准黏度计法)	82
T 0622—2011 沥青恩格拉黏度试验(恩格拉黏度计法)	85
T 0623—1993 沥青赛波特黏度试验(赛波特重质油黏度计法)	89
T 0624—2011 沥青黏韧性试验.....	93
T 0625—2011 沥青旋转黏度试验(布洛克菲尔德黏度计法)	96
T 0626—2000 沥青酸值测定方法.....	99
T 0627—2011 沥青弯曲蠕变劲度试验(弯曲梁流变仪法)	101
T 0628—2011 沥青流变性质试验(动态剪切流变仪法)	106
T 0629—2011 沥青断裂性能试验(直接拉伸法)	109

T 0630—2011 压力老化容器加速沥青老化试验	112
T 0631—1993 沥青浮漂度试验	116
T 0632—1993 液体石油沥青蒸馏试验	118
T 0633—1993 液体石油沥青闪点试验(泰格开口杯法)	122
T 0641—1993 煤沥青蒸馏试验	125
T 0642—1993 煤沥青焦油酸含量试验	129
T 0643—1993 煤沥青酚含量试验	131
T 0644—1993 煤沥青萘含量试验(色谱柱法)	132
T 0645—1993 煤沥青萘含量试验(抽滤法)	134
T 0646—2011 煤沥青甲苯不溶物含量试验	136
T 0651—2011 乳化沥青蒸发残留物含量试验	138
T 0652—2011 乳化沥青筛上剩余量试验	139
T 0653—1993 乳化沥青微粒离子电荷试验	142
T 0654—2011 乳化沥青与粗集料的黏附性试验	143
T 0655—1993 乳化沥青储存稳定性试验	145
T 0656—1993 乳化沥青低温储存稳定性试验	147
T 0657—2011 乳化沥青与水泥拌和试验	148
T 0658—1993 乳化沥青破乳速度试验	150
T 0659—1993 乳化沥青与矿料的拌和试验	152
T 0660—2000 沥青与集料的低温黏结性试验	153
T 0661—2011 聚合物改性沥青离析试验	155
T 0662—2000 沥青弹性恢复试验	157
T 0663—2000 沥青抗剥落剂性能评价试验	158
T 0664—2000 改性沥青用合成橡胶乳液试验	160
T 0665—2011 乳化沥青与水混合稳定性试验	165
T 0666—201X 沥青多重应力蠕变恢复试验(MSCR)	166
T 0667—201X 沥青零剪切黏度试验(ZSV)	171
T 0668—201X 沥青低应变剪切黏度试验(LSV)	174
T 0669—201X 聚合物分散性试验	178
T 0670—201X 沥青斑点试验	- 1 -
T 0671—201X 沥青拉伸性能试验(测力延度仪法)	- 3 -
T 0672—201X 沥青抗疲劳性能试验(线性振幅扫描 LAS 法)	- 6 -
T 0673—201X SBS 含量测定试验	- 11 -
T 0674—201X 摆式仪测定沥青内聚力试验	- 14 -
T 0675—201X 集料-沥青黏附性试验(旋转瓶法)	- 20 -

T 0676—201X 橡胶沥青旋转黏度试验 (Haake 黏度计法)	- 26 -
T 0677—201X 黏层油黏结强度试验(剪切).....	- 27 -
T 0678—201X 黏层油黏结强度试验(拉拔法)	- 33 -
T 0679—201X 沥青中含磷试验	- 37 -
4 沥青混合料试验	- 39 -
T 0701—2011 沥青混合料取样法	- 39 -
T 0702—2011 沥青混合料试件制作方法(击实法).....	- 42 -
T 0703—2011 沥青混合料试件制作方法(轮碾法).....	- 48 -
T 0704—2011 沥青混合料试件制作方法(静压法).....	- 55 -
T 0705—2011 压实沥青混合料密度试验(表干法).....	- 58 -
T 0706—2011 压实沥青混合料密度试验(水中重法).....	- 70 -
T 0707—2011 压实沥青混合料密度试验(蜡封法).....	- 72 -
T 0708—2011 压实沥青混合料密度试验(体积法).....	- 77 -
T 0709—2011 沥青混合料马歇尔稳定度试验.....	- 79 -
T 0710—2011 沥青路面芯样马歇尔试验.....	- 85 -
T 0711—2011 沥青混合料理论最大相对密度试验(真空法).....	- 87 -
T 0712—2011 沥青混合料理论最大相对密度试验(溶剂法).....	- 93 -
T 0713—2000 沥青混合料单轴压缩试验(圆柱体法).....	- 96 -
T 0714—1993 沥青混合料单轴压缩试验(棱柱体法).....	- 101 -
T 0715—2011 沥青混合料弯曲试验.....	- 105 -
T 0716—2011 沥青混合料劈裂试验.....	- 109 -
T 0717—1993 沥青混合料饱水率试验	- 115 -
T 0718—2011 沥青混合料抗剪强度试验(三轴压缩法).....	- 117 -
T 0719—2011 沥青混合料车辙试验.....	- 123 -
T 0720—1993 沥青混合料线收缩系数试验	- 130 -
T 0721—1993 沥青混合料中沥青含量试验(射线法).....	- 133 -
T 0722—1993 沥青混合料中沥青含量试验(离心分离法).....	- 135 -
T 0725—2000 沥青混合料的矿料级配检验方法	- 139 -
T 0726—2011 从沥青混合料中回收沥青的方法(阿布森法).....	- 142 -
T 0727—2011 从沥青混合料中回收沥青的方法(旋转蒸发器法).....	- 146 -
T 0728—2000 沥青混合料弯曲蠕变试验	- 149 -
T 0729—2000 沥青混合料冻融劈裂试验	- 154 -
T 0730—2011 沥青混合料渗水试验.....	- 159 -
T 0731—2011 沥青混合料表面构造深度试验.....	- 162 -
T 0732—2011 沥青混合料谢伦堡沥青析漏试验.....	- 164 -

T 0733—2011	沥青混合料肯塔堡飞散试验.....	- 167 -
T 0734—2000	热拌沥青混合料加速老化方法	- 170 -
T 0735—2011	沥青混合料中沥青含量试验（燃烧炉法）	- 172 -
T 0736—2011	沥青混合料旋转压实试件制作方法(SGC 方法).....	- 178 -
T 0737—2011	沥青混合料旋转压实和剪切性能试验（GTM 方法）	- 189 -
T 0738—2011	沥青混合料单轴压缩动态模量试验.....	- 197 -
T 0739—2011	沥青混合料四点弯曲疲劳寿命试验.....	- 203 -
T 0751—2011	乳化沥青稀浆封层混合料稠度试验.....	- 209 -
T 0752—2011	稀浆混合料湿轮磨耗试验.....	- 211 -
T 0753—2011	稀浆混合料破乳时间试验.....	- 214 -
T 0754—2011	稀浆混合料黏聚力试验.....	- 215 -
T 0755—2011	稀浆混合料负荷轮黏砂试验.....	- 218 -
T 0756—2011	稀浆混合料车辙变形试验.....	- 221 -
T 0757—2011	稀浆混合料拌和试验.....	- 222 -
T 0758—2011	稀浆混合料配伍性等级试验.....	- 224 -
T 0759—201X	冷补沥青混合料贯入强度试验.....	- 227 -
T 0760—201X	冷补沥青混合料黏附性能试验.....	- 229 -
T 0761—201X	冷补沥青混合料浸水马歇尔试验.....	- 230 -
T 0762—201X	压实沥青混合料密度试验(真空密封法)	- 231 -
T 0763—201X	沥青混合料重复压缩试验（三轴压缩）	- 233 -
T 0764—201X	沥青混合料重复压缩试验（单轴压缩）	- 243 -
T 0765—201X	沥青混合料车辙试验(APA)	- 248 -
T 0766—201X	沥青混合料车辙试验(汉堡车辙)	- 252 -
T 0767—201X	沥青混合料剪切强度试验(单轴贯入法).....	- 258 -
T 0768—201X	浇注式沥青混合料贯入度试验.....	- 261 -
T 0769—201X	沥青混合料二点弯曲疲劳试验(梯形梁法).....	- 264 -
T 0770—201X	沥青混合料直接拉伸循环疲劳测黏弹损伤试验.....	- 270 -
T 0771—201X	沥青混合料裂缝扩展性能试验（半圆形弯曲法）	- 285 -
T 0772—201X	沥青混合料裂缝扩展性能试验（OT 法）.....	- 291 -
T 0773—201X	沥青混合料二点弯曲动态模量试验.....	- 300 -
T 0774—201X	沥青混合料直接拉伸动态模量试验.....	- 307 -
T 0775—201X	沥青混合料低温性能试验(半圆弯曲法).....	- 311 -
T 0776—201X	沥青混合料低温性能试验(低温约束应力法).....	- 318 -
T 0777—201X	沥青混合料水热敏感性试验(高温动压水冲刷法).....	- 325 -
T 0778—201X	沥青混合料水敏感性试验（多烈士法）	- 329 -

T 0779—201X 沥青混合料压实特性试验.....	- 333 -
T 0780—201X 沥青混合料流动性试验	- 337 -
T 0781—201X 沥青混合料级配离析敏感性试验.....	- 339 -
T 0782—201X 碎石封层平板冲击试验	- 342 -
T 0783—201X 沥青混合料试件制作方法(法国轮胎轮碾机法).....	- 349 -
T 0784—201X 沥青混合料旋转压实试件制作方法 (PCG 法)	- 354 -
T 0785—201X 沥青混合料车辙试验 (法国大型车辙仪法).....	- 359 -
T 0786—201X 沥青混合料冻融劈裂试验 (旋转压实仪试件).....	- 364 -
T 0787—201x 沥青混合料浸水膨胀试验	- 367 -

1 总 则

- 1.0.1 为规范和统一沥青及沥青混合料的试验方法，保证公路工程沥青及沥青混合料的质量，制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于公路沥青路面的设计、施工、养护以及质量检查、验收等各阶段的性能试验。
- 1.0.3 本规程使用的仪器设备，均应经相应的计量部门或检测机构定期检定合格，测试误差应满足本规程及其它相关规范的要求。
- 1.0.4 计量单位应采用国家法定计量单位。国外进口或原有仪器设备不符合我国法定计量单位者，使用时应换算成法定计量单位。
- 1.0.5 试验人员应具有沥青材料的基本知识，遵守安全操作和环境保护的规定。
- 1.0.6 当使用与本规程规定不同的量测仪器和设备时，必须检定合格。其试验技术指标、试验允许误差及基本试验条件应满足本规程的规定。
- 1.0.7 各项测试结果的计算及表示应符合有效数字的规定。对重复性试验和再现性试验的试验结果允许误差应符合本规程规定的要求。
- 1.0.8 公路工程沥青及沥青混合料试验除应遵照本规程要求外，尚应符合国家和行业现行相关标准及规范的规定。对本规程中未作规定的试验项目，可参照国内外有关标准试验方法，但应在试验报告中说明。

条文说明

现在，国家对计量及质量监督的工作正在加强，相继成立了各级质检机构或检测中心，试验室要求进行计量认证，对仪器设备要求经计量部门或有关检测机构检定，如天平、压力机等还规定了检定周期，贴牌等。但道路仪器设备大部分是专用仪器，这些仪器设备应由试验人员进行自检，仪器设备不符合规定的不得使用。

在第7条中对试验的允许误差规定非常重要，本规程对允许误差的规定尽量按国际上通行的方法采用重复性(Repeatability)和再现性(Reproducibility，也称复现性)的表述方法。

按中华人民共和国国家计量技术规范(JJF 1001-2011)《通用计量术语及定义》，重复性有测量结果的重复性和测量仪器的重复性两种情况，测量结果的重复性是指“在相同测量条件下，对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性”，重复性条件包括相同的测量程序、相同的观测者、在相同的条件下使用相同的测量仪器、相同地点、在短时间内的重复测量。重复性可以用测量结果的分散性定量地表示。分散性即测量不确定度，用标准差或其倍数表示。测量仪器的重复性是指“在相同测量条件下，重复测量同一个被测量，测量仪器提供相似示值的能力”，同样，重复性条件与上相同。

测量结果的再现性则是指“在改变了的测量条件下，同一被测量的测量结果之间的一致性”。所谓改变条件可包括测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考测量标准、地点、使用条件、时间。

对沥青及沥青混合料试验，重复性试验可理解为在短期内，在同一试验室，由同一个试验人员，采用同一仪器，对同一个试样，完成两次以上的试验操作，所得的试验结果之间的误差(通常用标准差表示)。再现性试

验是指在两个以上不同的试验室，由各自的试验人员，采用各自的仪器，按相同的试验方法，对同一试样，分别完成试验操作，所得的试验结果之间的误差。这两种误差的表示方法是对试验方法本身的规定，是试验方法的编制单位通过一系列的比照试验得出的，它要求不超过规定的允许误差。

重复性试验往往是对试验人员的操作水平、取样代表性的检验，再现性则同时检验仪器设备的性能，通过这两类试验，检验试验结果的法定效果，如试验结果不符合允许误差要求时，试验室可判为达不到要求资质，试验员无上岗资质，仪器设备为不合格品，试验结果即属无效。

对国际通用的试验方法，本规程规定的允许误差大都取自于美国 ASTM、AASHTO、欧盟 EN 及日本道路协会铺装试验法的规定。

在本规程中，还有部分的试验方法并没有规定允许误差的要求，对这些方法国外试验规程也无明确的规定。因此对于这些试验，试验结果的准确程度不能检验，应仔细操作。

试验室在具体试验过程中，对一个样品试验结果的获得有两种情况：一种是一次进行几个试验(如针入度要求扎 3 针，延度同时拉 3 个试样，一次拌和的混合料成型 4 个试件等)，通常以几个试验(或试件)的平均值作为 1 个试验结果，试验方法一般规定几次试验结果的误差不得超过规定的允许误差，严格讲这一类试验并不能算作重复性试验，应该是重复几次得出几个试验结果的才是重复性试验；另一种情况是只进行一次试验便得到一个结果(如一个样品试验一次闪点，抽提一次得到一个油石比和矿料级配)，通常又规定平行试验若干次，试验结果由几次平行试验的平均值表示，此时试验结果同时体现了重复性试验误差。这里平行试验的允许误差是检验这一次试验结果是否有效的标准，符合此规定者即可取平均值作为试验结果。

另外，当一项指标值是由两个试验结果的测定值计算得到时，该指标的允许值便与两个相关试验的误差有关。例如 ASTM D 3203(AASHTO 7269)对压实的沥青混合料的空隙率 VV 规定由混合料的毛体积相对密度 γ_s 与理论最大相对密度 γ_t 按式 $VV=(1-\gamma_s/\gamma_t)\times 100$ 求得，则空隙率 VV 的误差(以标准差 $\sigma_{x/y}$ 表示)与两项试验的标准差 σ_x 、 σ_y ，平均值 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 有关，如下式所示：

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{y}^2 + \sigma_x^2 + \bar{x}^2 \sigma_y^2}{\bar{y}^4}}$$

例如当毛体积相对密度平均值为 2.423，标准差为 0.007，理论最大相对密度的平均值是 2.523，标准差为 0.004 时，则空隙率的标准差 $\sigma_{x/y}=0.00316$ ，即 0.32%。注意，此式不是通用公式，因 VV 由 γ_s/γ_t 得到，故以 $\sigma_{x/y}$ 表示。

对任何一个试验方法，要求达到一定的允许误差，首先必须有符合要求的仪器设备，为此使用单位都应加强检验和计量认证，确保仪器设备处于合格状态。本规程不仅对仪器设备和材料作了统一规定，对操作步骤也按照我国的使用实践和仪器设备进行了统一，随着技术的发展，仪器设备的自动化水平不断提高，或者从国外进口的设备，只要这些设备确实更加先进合理，不低于本规程规定的允许误差则可以使用。如果不符合规定时，应该作适当的改进，以达到规定的要求。

本试验规程经修改后纳入的试验方法均系国内外经使用证明是成熟的试验方法。另外还有不少属于特殊材料或特殊工程的试验方法，本规程并未收入，工程中需要进行此类试验时，可参照国外有关标准或国内其它相关试验规程执行。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 沥青的密度 density of bitumen

沥青在规定温度下单位体积所具有的质量，以 g/cm^3 计。

2.1.2 沥青的相对密度 specific gravity of bitumen

在同一温度下，沥青质量与同体积的水质量之比值，无量纲。

2.1.3 针入度 penetration

在规定温度和时间内，附加一定质量的标准针垂直贯入沥青试样的深度，以 0.1mm 计。

2.1.4 针入度指数 penetration index

沥青结合料的温度感应性指标，反映针入度随温度而变化的程度，由不同温度的针入度按规定方法计算得到，无量纲。

2.1.5 延度 ductility

规定形态的沥青试样，在规定温度下以一定速度受拉伸至断开时的长度，以 cm 计。

2.1.6 软化点(环球法) softening point

沥青试样在规定尺寸的金属环内，上置规定尺寸和质量的钢球，放于水或甘油中，以规定的速度加热，至钢球下沉达规定距离时的温度，以 $^{\circ}\text{C}$ 计。

2.1.7 沥青的溶解度 solubility

沥青试样在规定溶剂中可溶物的含量，以质量百分率表示。

2.1.8 蒸发损失 loss on heating

沥青试样在 163°C 温度条件下加热并保持 5h 后质量的损失，以百分率表示。

2.1.9 闪点 flash point

沥青试样在规定的盛样器内按规定的升温速度受热时所蒸发的气体以规定的方法与试焰接触，初次发生一瞬即灭的火焰时的温度，以 $^{\circ}\text{C}$ 计。盛样器对黏稠沥青是克利夫兰开口杯(简称 COC)，对液体沥青是泰格开口杯(简称 TOC)。

2.1.10 弗拉斯脆点 fraass breaking point

涂于金属片上的沥青薄膜在规定条件下，因冷却和弯曲而出现裂纹时的温度，以 $^{\circ}\text{C}$ 计。

2.1.11 沥青的组分分析 analysis for broad chemical component of bitumen

按规定方法将沥青试样分离成若干个组成成分的化学分析方法。

2.1.12 沥青的黏度 viscosity of bitumen

沥青试样在规定条件下流动时形成的抵抗力或内部阻力的度量，也称黏滞度。

2.1.13 沥青混合料的密度 density of bituminous mixtures

压实沥青混合料常温条件下单位体积的干燥质量, 以 g/cm^3 计。

2.1.14 沥青混合料的相对密度 specific gravity of bituminous mixtures

同一温度条件下压实沥青混合料试件密度与水的密度的比值, 无量纲。

2.1.15 沥青混合料的理论最大密度 theoretical maximum density of bituminous mixtures

假设压实沥青混合料试件全部为矿料(包括矿料自身内部的孔隙)及沥青所占有、空隙率为零的理想状态下的最大密度, 以 g/cm^3 计。

2.1.16 沥青混合料的理论最大相对密度 theoretical maximum specific gravity of bituminous mixtures

同一温度条件下沥青混合料的理论最大密度与水的密度的比值, 无量纲。

2.1.17 沥青混合料的表观密度 apparent density of bituminous mixtures

沥青混合料单位体积(含混合料实体体积与不吸收水分的内部闭口孔隙之和)的干质量, 又称视密度, 由水中重法测定(仅适用于吸水率小于 0.5% 的沥青混合料试件), 以 g/cm^3 计。

2.1.18 沥青混合料的表观相对密度 apparent specific gravity of bituminous mixtures

沥青混合料的表观密度与同温度水的密度之比值, 无量纲。

2.1.19 沥青混合料的毛体积密度 bulk density of bituminous mixtures

压实沥青混合料单位体积(含混合料的实体矿物成分及不吸收水分的闭口孔隙、能吸收水分的开口孔隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积)的干质量, 以 g/cm^3 计。

2.1.20 沥青混合料的毛体积相对密度 bulk specific gravity of bituminous mixtures

压实沥青混合料的毛体积密度与同温度水的密度之比值, 无量纲。

2.1.21 沥青混合料试件的空隙率 percent air voids in bituminous mixtures

压实沥青混合料内矿料及沥青以外的空隙(不包括矿料自身内部已被沥青封闭的孔隙)的体积占混合料总体积的百分率, 简称 V_V , 以百分率表示。

2.1.22 沥青混合料试件的沥青体积百分率 percent bitumen volume in bituminous mixtures

压实沥青混合料试件内沥青部分的体积占混合料总体积的百分率, 简称 V_A , 以百分率表示。

2.1.23 沥青混合料试件的矿料间隙率 percent voids in mineral aggregate in bituminous mixtures

压实沥青混合料试件中矿料部分以外的体积占混合料总体积的百分率, 简称 V_{MA} , 以百分率表示。

2.1.24 沥青混合料试件的沥青饱和度 percent voids in mineral aggregate that are filled with asphalt in bituminous mixtures

沥青混合料试件内沥青部分的体积占矿料部分以外的体积(V_{MA})百分率, 简称 V_{FA} , 以百分率

表示。沥青混合料内有效沥青部分（即扣除被集料吸收的沥青以外的沥青）的体积占矿料部分以外的体积(VMA)的百分率，称为有效沥青饱和度。

2.1.25 粗集料松装间隙率 percent voids in coarse mineral aggregate in the dry rodded condition

干燥粗集料(通常指 4.75mm 以上的集料)在标准容量筒中经捣实形成的粗集料部分以外的体积占粗集料总体积的百分率，简称 VCA_{DRC} ，以百分率表示。

2.1.26 沥青混合料试件的粗集料间隙率 percent voids in coarse mineral aggregate in bituminous mixtures

沥青混合料试件内粗集料部分以外的体积占混合料试件总体积的百分率，简称 VCA_{mix} ，以百分率表示。

2.1.27 马歇尔稳定度 marshall stability

按规定条件采用马歇尔试验仪测定的沥青混合料所能承受的最大荷载，以 kN 计。

2.1.28 流值 flow value

沥青混合料在马歇尔试验时相应于最大荷载时试件的竖向变形，以 mm 计。

2.1.29 动稳定度 dynamic stability

按规定条件进行沥青混合料车辙试验时，混合料试件变形进入稳定期后，每产生 1mm 轮辙变形试验轮所行走的次数，以次/mm 计。

2.1.30 沥青材料的劲度模量 stiffness of bituminous materials

沥青或沥青混合料在温度和加载时间一定的条件下，应力与应变之比值，是温度和荷载作用时间的函数，以 MPa 计。

2.1.31 沥青含量 asphalt content

沥青混合料中沥青结合料质量与沥青混合料总质量的比值，以百分率表示。

2.1.32 油石比 asphalt aggregate ratio

沥青混合料中沥青结合料质量与矿料总质量的比值，以百分率表示。

2.1.33 有效沥青含量 effective asphalt content

沥青混合料中总的沥青含量减去被集料吸收入内部空隙的部分后、有效填充矿料间隙的沥青质量与沥青混合料总质量之比，以百分率表示。

2.1.34 稀浆混合料(Slurry Mixture)

乳化沥青或改性乳化沥青、粗细集料、填料、水、添加剂等按一定比例拌和所形成的浆状混合物。

2.1.35 稀浆混合料可拌和时间 (Mixing Time)

当稀浆混合料变稠，手感到有力时，表明混合料开始有破乳的迹象，记录此刻的时间，即为

可拌和时间，以 s 表示。

2.1.36 稀浆混合料破乳时间 (Break Time)

破乳时间是乳化沥青中的沥青和水分离，沥青微粒吸附到石料上而水析出所需要的时间，以 min 表示。

2.1.37 湿轮磨耗值 (Wet Track Abrasion Test)

在成型后的稀浆混合料上用湿轮磨耗仪磨耗一定时间后，测定试件磨耗前后单位磨耗面积的质量差，用 g/m^2 表示。

2.1.38 负荷轮黏附砂量 (Load Wheel Test)

在成型后的稀浆混合料上用负荷轮试验仪模拟车轮碾压，通过一定作用次数后，测定试件单位负荷面积的黏附砂量，用 g/m^2 表示，用于确定稀浆混合料最大沥青用量。

2.2 符 号

ρ —密度

γ —相对密度

ρ_b —沥青密度

γ_b —沥青与水的相对密度

S_b —沥青溶解度

L_T —沥青薄膜加热质量变化

P —沥青针入度

D —延度

SP—软化点

P_p —沥青中的蜡含量

η —沥青的动力黏度

ν —沥青的运动黏度

E_v —沥青的恩格拉度

V_s —沥青的赛波特黏度

T_o —沥青黏韧性

T_e —沥青韧性

P_b —沥青混合料的沥青含量(沥青用量)

P_a —沥青混合料的油石比

VV—沥青混合料的空隙率

VMA—沥青混合料的矿料间隙率

VCA_{DRC} —粗集料松装间隙率

VCA_{mix} —沥青混合料中的粗集料间隙率

VFA—沥青混合料的沥青饱和度

γ_a —沥青混合料的表观相对密度

ρ_a —沥青混合料的表观密度

γ_f —沥青混合料的毛体积相对密度

ρ_f —沥青混合料的毛体积密度

γ_s —沥青混合料的表干毛体积相对密度(饱和面干毛体积相对密度)

ρ_s —沥青混合料的表干毛体积密度

ρ_t —沥青混合料理论最大密度

γ_t —沥青混合料理论最大相对密度

S_w —沥青混合料饱水率

S_a —沥青混合料吸水率

R_c —沥青混合料的抗压强度

R_b —沥青混合料的抗弯强度

R_T —沥青混合料的劈裂抗拉强度

MS—马歇尔稳定度

FL—流值

DS—车辙试验动稳定度

C—黏结力

ϕ —内摩擦角

3 沥青试验

T 0601—201X 沥青取样法

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于在生产厂、储存或交货验收地点为检查沥青产品质量而采集各种沥青材料的样品。

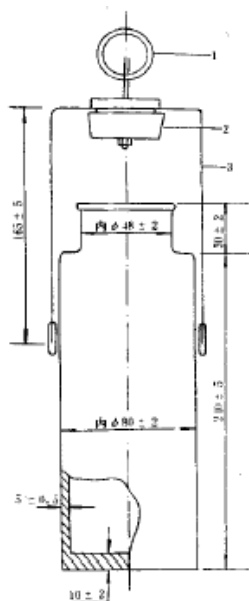
1.2 进行沥青性质常规检验的取样数量为:黏稠沥青或固体沥青不少于 4.0kg;液体沥青不少于 1L;沥青乳液不少于 4L。

进行沥青性质非常规检验及沥青混合料性质试验所需的沥青数量,应根据实际需要确定。

2 仪器与材料技术要求

2.1 盛样器:根据沥青的品种选择。液体或黏稠沥青采用广口、密封带盖的金属容器(如锅、桶等);乳化沥青也可使用广口、带盖的聚氯乙烯塑料桶;固体沥青可用塑料袋,但需有外包装,以便携带。

2.2 沥青取样器:金属制、带塞、塞上有金属长柄提手,形状见图 T 0601-1。



1—吊环; 2—聚四氟乙烯塞; 3—手柄

图 T 0601-1 沥青取样器(单位:mm)

3 方法与步骤

3.1 准备工作

检查取样和盛样器是否干净、干燥, 盖子是否配合严密。使用过的取样器或金属桶等盛样

容器必须洗净、干燥后才可使用。

3.2 试验步骤

3.2.1 从贮油罐中取样

1) 无搅拌设备的贮罐

(1) 液体沥青或经加热已经变成流体的黏稠沥青取样时，应先关闭进油阀和出油阀，然后取样。

(2) 用取样器按液面上、中、下位置(液面高各为 $1/3$ 等分处，但距罐底不得低于总液面高度的 $1/6$) 各取 1~4L 样品，每次取样时应至少流出 4L 后再取样。每层取样后，取样器应尽可能倒净。当储罐过深时，亦可在流出口按不同流出深度分 3 次取样。对静态存取的沥青，不得仅从罐顶用小桶取样，也不能仅从罐底阀门流出少量沥青取样。

(3) 将取出的 3 个样品充分混合后取 4kg 数量样品作为试样，样品也可分别进行检验。

2) 有搅拌设备的贮罐

将液体沥青或经加热已经变成流体的黏稠沥青充分搅拌后，用取样器从沥青层的中部取规定数量试样。

3.2.2 从槽车、罐车、沥青洒布车中取样

(1) 设有取样阀时，可旋开取样阀，待流出至少 4L 后再取样。取样阀如图 T 0601-2 所示。

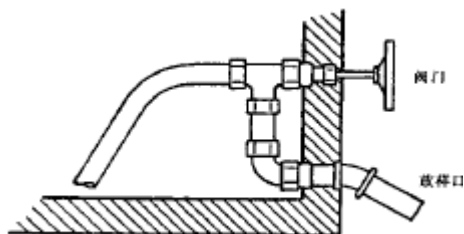


图 T 0601-2 沥青取样阀

(2) 仅有放料阀时，待放出全部沥青的二分之一时取样。

(3) 从顶盖处取样，可用取样器从中部取样。

3.2.3 在装料或卸料过程中取样

在装料或卸料过程中取样时，要按时间间隔均匀地取至少 3 个规定数量样品，然后将这些样品充分混合后取规定数量样品作为试样。样品也可分别进行检验。

3.2.4 从沥青储存池中取样

沥青储存池中的沥青应待加热熔化后，经管道或沥青泵流至沥青加热锅之后取样。分间隔每锅至少取 3 个样品，然后将这些样品充分混匀后再取规定 4.0Kg 数量作为试样，样品也可分别进行检验。

3.2.5 从沥青运输船中取样

沥青运输船到港后，应分别从每个沥青仓取样，每个仓从不同的部位取 3 个 4Kg 的样品，混合在一起，将这些样品充分混合后再从中取出 4Kg，作为一个仓的沥青样品供检验用。在卸油过程中取样时，应根据卸油量，大体均匀的分间隔 3 次从卸油口或管道途中的取样口取样，然后混合作为一个样品供检验用。

3.2.6 从沥青桶中取样

(1) 当能确认是同一批生产的产品时，可随机取样。如不能确认是同一批生产的产品时，应根据桶数按照表 1 规定或按总桶数的立方根数随机选出沥青桶数。

(2) 将沥青桶加热使桶中沥青全部熔化成流体后，按罐车取样方法取样。每个样品的数量，以充分混合后能满足供检验用样品的规定数量不少于 4.0kg 要求为限。

表 T 0601 选取沥青样品桶数

沥青桶总数	选取桶数	沥青桶总数	选取桶数
2~8	2	217~343	7
9~27	3	344~512	8
28~64	4	513~729	9
65~125	5	730~1 000	10
126~216	6	1001~1331	11

(3) 若沥青桶不便加热熔化沥青时，亦可在桶高的中部将桶凿开取样，但样品应在距桶壁 5cm 以上的内部凿取，并采取措施防止样品散落地面沾有尘土。

3.2.7 固体沥青取样

从桶、袋、箱装或散装整块中取样，应在表面以下及容器侧面以内至少 7.5cm 处采取。如沥青能够打碎，可用一个干净的短柄斧将沥青打碎后取中间部分试样；若沥青是软塑的，则用一个干净的热工具切割取样。

当能确认是同一批生产的样品时，应随机取出一件按 3.2.7 的规定取 4kg 供检验用。

3.2.8 在验收地点取样

当沥青达到验收地点卸货时，应尽快取样。所取样品为两份，一份样品用于验收试验，另一份样品留存备查。

3.3 样品的保护与存放

3.3.1 除液体沥青、乳化沥青外，所有需加热的沥青试样必须存放在密封带盖的金属容器中，严禁灌入纸袋、塑料袋中存放。试样应存放在阴凉干净处，注意防止试样污染。装有试样的盛样器应加盖、密封好并擦拭干净后，应在盛样器上(不得在盖上)标出识别标记，如试样来源、品种、取样日期、地点及取样人。标识材料应在 200℃ 以上保存完好。

3.3.2 对供质量仲裁用的沥青试样，应采用未使用过的新容器存放，且由供需双方人员共同取样，取样后双方在密封条上签字盖章。

3.3.3 冬季乳化沥青试样要注意采取妥善防冻措施。

3.3.4 除试样的一部分用于检验外，其余试样应妥善保存备用。

3.3.5 试样需加热采取时，应一次取够一批试验所需的数量装入另一盛样器，其余试样密封保存，应尽量减少重复加热取样。用于质量仲裁检验的样品，重复加热的次数不得超过两次。

条文说明

沥青取样法是在生产厂、储存或交货验收地点为检查沥青产品质量而采取的代表性样品取样方法。本次修订主要参照国标《石油沥青取样法》(GB/T 11147—2010)及美国 ASTM D 140—09 的《沥青材料取样法》AASHTO T40-02(2012)结合我国公路工程的实际情况编写。

本方法将取样数量根据国标及 ASTM 取样法规定统一将黏稠沥青或固体沥青样品数量为不少于 4.0kg，数量太少缺乏代表性，试验结果可能不准确。

对沥青取样器在 ASTM D 140 中有较详细的示意图，与本规程是不一样的。本方法列入了按国标所述的示意图，其具体形状和尺寸，各单位可根据需要参考示意图制作。

关于取样地点，国标根据 ASTM 方法合并为从油罐、槽车、罐车、油轮、油桶、纸袋中取样。本取样法中增加了从公路上常用的沥青储存池中取样，并补充了油罐装料或卸料过程中取样方法及在验收地点的取样方法。便于公路工程检验沥青样品的需要。

当从油桶中取样时，ASTM 规定可从顶面下 75mm 处取样，根据我国实际情况，由于桶装沥青容易有破损情况导致进水，且桶的上下部沥青质量可能不均匀，除非化成液态，因此从顶面下取样是不合适的。在侧面凿开取样时，为方便取样由 75mm 改为 50mm。

沥青热态长期静放会有轻度的分离，有的单位仅从储罐顶面用小桶取样，会影响试验结果(如蜡含量等)，是不合适的。

由于沥青进库后保管不善进水，沥青桶从桶盖处进水，不仅增加了脱水工序，而且试样经常因脱水加热发生老化，导致产品质量检验不合格(通常是针入度或延度变小)，工程单位在保管沥青及取样时必须注意防水问题。

T 0602—201X 沥青试样准备方法

1 目的与适用范围

1.1 本方法规定了按本规程 T 0601 取样的沥青试样在试验前的试样准备方法。

1.2 本方法适用于黏稠道路石油沥青、煤沥青、聚合物改性沥青等需要加热后才能进行试验的沥青试样，按此法准备的沥青供立即在试验室进行各项试验使用。

1.3 本方法也适用于对乳化沥青试样进行各项性能测试。每个样品的数量根据需要决定，常规测定不宜少于 600g。

2 仪器与材料技术要求

2.1 烘箱：200℃，装有温度控制调节器。

2.2 加热炉具：电炉或其它燃气炉(丙烷石油气、天然气)。

2.3 石棉垫：不小于炉具上面积。

2.4 滤筛：筛孔孔径 0.6mm。

2.5 沥青盛样器皿：金属锅或瓷坩埚。

2.6 烧杯：1000mL。

2.7 温度计：0℃～100℃及 200℃，分度为 0.1℃。

2.8 天平：称量 2000g，感量不大于 1g；称量 100g，感量不大于 0.1 g。

2.9 其它：玻璃棒、溶剂、棉纱等。

3 方法与步骤

3.1 热沥青试样制备

3.1.1 将装有试样的盛样器带盖放入恒温烘箱中，当石油沥青试样中含有水分时，烘箱温度 80℃左右，加热至沥青全部熔化后供脱水用。当石油沥青中无水分时，烘箱温度宜为软化点温度以上 90℃，通常为 135℃左右。对取来的沥青试样不得直接采用电炉或煤气炉明火加热。

3.1.2 当石油沥青试样中含有水分时，将盛样器皿放在可控温的砂浴、油浴、电热套上加热脱水，不得已采用电炉、煤气炉加热脱水时必须加放石棉垫。时间不超过 30min，并用玻璃棒轻轻搅拌，防止局部过热。在沥青温度不超过 100℃的条件下，仔细脱水至无泡沫为止，最后的加热温度不宜超过软化点以上 100℃（石油沥青）或 50℃（煤沥青）。

3.1.3 根据需要也可将试样分装入擦拭干净并干燥的一个或数个沥青盛样器皿中，数量应满足一批试验项目所需的沥青样品。

注：当沥青中含有细小颗粒时，应将盛样器中的沥青通过 0.6mm 的滤筛过滤，不等冷却立即一次灌入各项试验的模具中，当温度下降太多，宜适当加热再灌模。

3.1.4 在沥青灌模过程中当温度下降可放入烘箱中适当加热，试样冷却后反复加热的次数不得超过 2 次，以防沥青老化影响试验结果。为避免混进气泡，在沥青灌模时不得反复搅动沥青。

3.1.5 灌模剩余的沥青应立即清洗干净，不得重复使用。

3.2 乳化沥青试样制备

3.2.1 将按本规程 T 0601 取有乳化沥青的盛样器适当晃动使试样上下均匀，试样数量较少

时，宜将盛样器上下倒置数次，使上下均匀。

3.2.2 将试样倒出要求数量，装入盛样器皿或烧杯中，供试验使用。

3.2.3 当乳化沥青在试验室自行配制时，可按下列步骤进行：

1) 按上述方法准备热沥青试样。

2) 根据所需制备的沥青乳液质量及沥青、乳化剂、水的比例计算各种材料的数量。

(1) 沥青用量按式(T 0602—1)计算。

$$m_b = m_E \times P_b \quad (\text{T 0602—1})$$

式中： m_b ——所需的沥青质量，g；

m_E ——乳液总质量，g；

P_b ——乳液中沥青含量，%。

(2) 乳化剂用量按式(T 0602—2)计算。

$$m_e = m_E \times P_e / P_c \quad (\text{T 0602—2})$$

式中： m_e —— 乳化剂用量，g；

P_e —— 乳液中乳化剂的含量，%；

P_c —— 乳化剂浓度(乳化剂中有效成分含量，%)。

(3) 水的用量按式(T 0602—3)计算。

$$m_w = m_E - m_e \times P_b \quad (\text{T 0602—3})$$

式中： m_w ——配制乳液所需水的质量，g。

3) 称取所需的乳化剂质量放入 1000mL 烧杯中。

4) 向盛有乳化剂的烧杯中加入所需的水(扣除乳化剂中所含水的质量)。

5) 将烧杯放到电炉上加热并不断搅拌，直到乳化剂完全溶解，如需调节 pH 值时可加入适量的外加剂，将溶液加热到 40℃～60℃。

6) 在容器中称取准备好的沥青并加热到 120℃～150℃。

7) 开动乳化机，用热水先把乳化机预热几分钟，然后把热水排净。

8) 将预热的乳化剂倒入乳化机中，随即将预热的沥青徐徐倒入，待全部沥青乳液在机中循环 1min 后放出，进行各项试验或密封保存。

注：在倒入乳化沥青过程中，需随时观察乳化情况，如出现异常，应立即停止倒入乳化沥青，并把机中的沥青乳化剂混合液放出。

条文说明

本次修订仍保留 2011 年的方法，考虑聚合物改性沥青应用较多，在适用范围中增加了聚合物改性沥青，在适用范围中对乳化沥青的要求进行了简化。由于道路用沥青取样后送到试验室时通常已冷却固化，在沥青加

热、脱水、过滤的过程中肯定会影响沥青本身性能，如针入度减小，延度变小等，故本方法规定必须使用烘箱加热融化沥青。尤其是进行质量仲裁试验时，严禁用电炉或明火加热，以免试验数据失真。加热温度及加热时间根据原规定和实践经验参照国外标准中有关条款制定。

T 0603—2011 沥青密度与相对密度试验

1 目的与适用范围

本方法适用于使用比重瓶测定沥青材料的密度与相对密度。非特殊要求，本方法宜在试验温度 25℃ 及 15℃ 下测定沥青密度与相对密度。

注：对液体石油沥青，也可以采用适宜的液体比重计测定密度或相对密度。

2 仪具与材料技术要求

2.1 比重瓶：玻璃制，瓶塞下部与瓶口须经仔细研磨。瓶塞中间有一个垂直孔，其下部为凹形，以便由孔中排除空气。比重瓶的容积为 20mL~30mL，质量不超过 40g，形状和尺寸如图 T 0603。

2.2 恒温水槽：控温的准确度为 0.1℃。

2.3 烘箱：200℃，装有温度自动调节器。

2.4 天平：感量不大于 1mg。

2.5 滤筛：0.6mm、2.36mm 各一个。

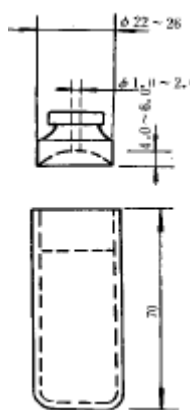


图 T 0603 比重瓶(单位：mm)

2.6 温度计：0℃~50℃，分度为 0.1℃。

2.7 烧杯：600mL~800mL。

2.8 真空干燥器。

2.9 洗液：玻璃仪器清洗液，三氯乙烯(分析纯)等。

2.10 蒸馏水(或纯净水)。

2.11 表面活性剂：洗衣粉(或洗涤灵)。

2.12 其它：软布、滤纸等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 用洗液、水、蒸馏水先后仔细洗涤比重瓶，然后烘干称其质量(m_1)，准确至 1mg。

3.1.2 将盛有冷却蒸馏水的烧杯浸入恒温水槽中保温，在烧杯中插入温度计，水的深度必须超过比重瓶顶部 40mm 以上。

3.1.3 使恒温水槽及烧杯中的蒸馏水达至规定的试验温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

3.2 比重瓶水值的测定步骤

3.2.1 将比重瓶及瓶塞放入恒温水槽中的烧杯里，烧杯底浸没水中的深度应不少于 100mm，烧杯口露出水面，并用夹具将其固牢。

3.2.2 待烧杯中水温再次达至规定温度后并保温 30min 后，将瓶塞塞入瓶口，使多余的水由瓶塞上的毛细孔中挤出。此时比重瓶内不得有气泡。

3.2.3 将烧杯从水槽中取出，再从烧杯中取出比重瓶，立即用干净软布将瓶塞顶部擦拭一次，再迅速擦干比重瓶外面的水分，称其质量(m_2)，准确至 1mg。瓶塞顶部只能擦拭一次，即使由于膨胀瓶塞上有小水滴也不能再擦拭。

3.2.4 以 $m_2 - m_1$ 作为试验温度时比重瓶的水值。

注：比重瓶的水值应经常校正，一般每年至少进行一次。

3.3 液体沥青试样的试验步骤

3.3.1 将试样过筛(0.6mm)后注入干燥比重瓶中至满，不要混入气泡。

3.3.2 将盛有试样的比重瓶及瓶塞移入恒温水槽(测定温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$)内盛有水的烧杯中，水面应在瓶口下约 40mm。勿使水浸入瓶内。

3.3.3 待烧杯内的水温达到要求的温度后保温 30min，然后将瓶塞塞上，使多余的试样由瓶塞的毛细孔中挤出。用蘸有三氯乙烯的棉花擦净孔口挤出的试样，勿使三氯乙烯进入比重瓶，并保持孔中充满试样。

3.3.4 从水中取出比重瓶，立即用干净软布擦去瓶外的水分或黏附的试样(不得再擦孔口，瓶塞顶部只能擦拭一次)后，称其质量(m_3)，准确至 3 位小数。

3.4 黏稠沥青试样的试验步骤

3.4.1 按本规程 T 0602 方法准备沥青试样，沥青的加热温度宜不高于估计软化点以上 100°C

(石油沥青或聚合物改性沥青)，将沥青小心注入比重瓶中，约至 2/3 高度。勿使试样黏附瓶口或上方瓶壁，并防止混入气泡。

3.4.2 取出盛有试样的比重瓶，移入干燥器中，在室温下冷却不少于 1h，连同瓶塞称其质量(m_4)，准确至 3 位小数。

3.4.3 将盛有蒸馏水的烧杯放入已达试验温度的恒温水槽中，然后将称其质量后的盛有试样的比重瓶放入烧杯中(瓶塞也放进烧杯中)，等烧杯中的水温达到规定试验温度后保温 30min，使比重瓶中气泡上升到水面，待确认比重瓶已经恒温且无气泡后，再将比重瓶的瓶塞塞紧，使多余的水从塞孔中溢出，此时应不得带入气泡。

3.4.4 取出比重瓶，按前述方法迅速揩干瓶外水分后称其质量(m_5)，准确至 3 位小数。

3.5 固体沥青试样的试验步骤

3.5.1 试验前，如试样表面潮湿，可在干燥、洁净的环境下自然吹干，或置 50℃烘箱中烘干。

3.5.2 将 50g~100g 试样打碎，过 0.6mm 及 2.36mm 筛。取 0.6mm~2.36mm 的粉碎试样不少于 5g 放入清洁、干燥的比重瓶中，塞紧瓶塞后称其质量(m_6)，准确至 3 位小数。

3.5.3 取下瓶塞，将恒温水槽内烧杯中的蒸馏水注入比重瓶，水面高于试样约 10mm，同时加入几滴表面活性剂溶液(如 1%洗衣粉、洗涤灵)，并摇动比重瓶使大部分试样沉入水底，必须使试样颗粒表面上附气泡逸出。摇动时勿使试样摇出瓶外。

3.5.4 取下瓶塞，将盛有试样和蒸馏水的比重瓶置真空干燥箱(器)中抽真空，逐渐达到真空度 98kPa(735mmHg)不少于 15min。当比重瓶试样表面仍有气泡时，可再加几滴表面活性剂溶液，摇动后再抽真空。必要时，可反复几次操作，直至无气泡为止。

注：抽真空不宜过快，防止样品带出比重瓶。

3.5.5 将保温烧杯中的蒸馏水再注入比重瓶中至满，轻轻的塞好瓶塞，再将带塞的比重瓶放入盛有蒸馏水的烧杯中，并塞紧瓶塞。

3.5.6 将有比重瓶的盛水烧杯再置恒温水槽(试验温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$)中保持至少 30min 后，取出比重瓶，迅速揩干瓶外水分后称其质量(m_7)，准确至 3 位小数。

4 计算

4.1 试验温度下液体沥青试样的密度或相对密度按式(T 0603-1)及(T 0603-2)计算。

$$\rho_b = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times \rho_w \quad (\text{T 0603-1})$$

$$\gamma_b = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad (\text{T 0603-2})$$

式中： ρ_b ——试样在试验温度下的密度， g/cm^3 ；

γ_b ——试样在试验温度下的相对密度；

m_1 —— 比重瓶质量, g;

m_2 —— 比重瓶与盛满水时的合计质量, g;

m_3 —— 比重瓶与盛满试样时的合计质量, g;

ρ_w —— 试验温度下水的密度, 15℃水的密度为 0.9991g/cm³, 25℃水的密度为 0.9971g/cm³。

4.2 试验温度下黏稠沥青试样的密度或相对密度按式(T 0603-3)及(T 0603-4)计算。

$$\rho_b = \frac{m_4 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_5 - m_4)} \times \rho_w \quad (\text{T 0603-3})$$

$$\gamma_b = \frac{m_4 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_5 - m_4)} \quad (\text{T 0603-4})$$

式中: m_4 —— 比重瓶与沥青试样合计质量, g;

m_5 —— 比重瓶与试样和水合计质量, g。

4.3 试验温度下固体沥青试样的密度或相对密度按式(T 0603-5)及(T 0603-6)计算。

$$\rho_b = \frac{m_6 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_7 - m_6)} \times \rho_w \quad (\text{T 0603-5})$$

$$\gamma_b = \frac{m_6 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_7 - m_6)} \quad (\text{T 0603-6})$$

式中: m_6 ——比重瓶与沥青试样合计质量, g;

m_7 ——比重瓶与试样和水合计质量, g。

5 报告

同一试样应平行试验两次, 当两次试验结果的差值符合重复性试验的允许误差要求时, 以平均值作为沥青的密度试验结果, 并准确至 3 位小数, 试验报告应注明试验温度。

6 允许误差

6.1 对黏稠石油沥青及液体沥青的密度, 重复性试验的允许误差为 0.003g/cm³; 再现性试验的允许误差为 0.007g/cm³。

6.2 对固体沥青, 重复性试验的允许误差为 0.01g/cm³, 再现性试验的允许误差为 0.02g/cm³。

6.3 相对密度的允许误差要求与密度相同(无单位)。

条文说明

各国沥青标准中大都列有相对密度或密度标准, 并有相应试验方法。沥青密度用于储油容器中沥青体积与质量的换算, 相对密度用于沥青混合料理论密度计算, 供配合比设计及空隙率计算使用。但测定相对密度或密度的温度各国有所不同。ASTM D 70 及 AASHTO T 228 规定了 25℃或 15.6℃的沥青与水的相对密度(25℃/25℃,

15.6°C/15.6°C)。但在沥青混合料的密度测定时都使用 25°C/25°C 相对密度。沥青体积计算则以 15°C 密度为准。为此本规程根据与国际先进标准靠拢的原则, 结合我国沥青密度采用 15°C 标准, 而沥青混合料配合比计算时又需要的是沥青 25°C 的相对密度, 所以本次修订在目的与适用范围里规定非特殊要求, 宜在试验温度 25°C 及 15°C 下测定沥青密度与相对密度, 去掉了原方法中温度的换算公式, 要求按实际温度测定沥青密度或相对密度。根据试验需要也可以选择其他的试验温度。本方法测定步骤参照 ASTM D 70、AASHTO T 228 等方法编写, 并参照国标补充了固体沥青试验方法。

对液体沥青相对密度测定方法, 国标 GB/T 8928 中并无规定, ASTM D 3142 及 AASHTO T295 是采用比重计测定的, 方法很简单。我国石油部门也开始用比重计测定进行试验, 但目前尚未形成标准, 考虑到目前尚无新的标准方法代替, 本方法仍维持原试验规程中用比重瓶测定的方法。同时, 在标准中增加一条, 也可用适当的比重计测定。

T 0604—201X 沥青针入度试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、聚合物改性沥青针入度以及液体石油沥青蒸馏或乳化沥青蒸发后残留物的针入度。其标准试验条件为温度 25°C, 荷重 100g, 贯入时间 5s, 以 0.1mm 计。

针入度指数 PI 用以描述沥青的温度敏感性, 宜在 15°C、25°C、30°C 等 3 个或 3 个以上温度条件下测定针入度后按规定的方法计算得到, 若 30°C 时的针入度值过大, 可采用 5°C 代替。当量软化点 T_{800} 是相当于沥青针入度为 800 时的温度, 用以评价沥青的高温稳定性。当量脆点 $T_{1.2}$ 是相当于沥青针入度为 1.2 时的温度, 用以评价沥青的低温抗裂性能。

2 仪器与材料技术要求

2.1 针入度仪: 为提高测试精度, 针入度试验宜采用能够自动计时的针入度仪进行测定, 要求针和针连杆必须在无明显摩擦下垂直运动, 针的贯入深度必须准确至 0.1mm。针和针连杆组合件总质量为 $50\text{g} \pm 0.05\text{g}$, 另附 $50\text{g} \pm 0.05\text{g}$ 砝码一只, 试验时总质量为 $100\text{g} \pm 0.05\text{g}$ 。仪器应有放置平底玻璃保温皿的平台, 并有调节水平的装置, 针连杆应与平台相垂直。应有针连杆制动按钮, 使针连杆可自由下落。针连杆易于装拆, 以便检查其质量。仪器还设有可自由转动与调节距离的悬臂, 其端部有一面小镜或聚光灯泡, 借以观察针尖与试样表面接触情况。且应对装置的准确性经常校验。当采用其它试验条件时, 应在试验结果中注明。

2.2 标准针由硬化回火的不锈钢制成, 洛氏硬度 HRC54~60, 表面粗糙度 $Ra0.2\mu\text{m} \sim 0.3\mu\text{m}$, 针及针杆总质量 $2.5\text{g} \pm 0.05\text{g}$, 针杆上应打印有号码标志, 针应设有固定用装置盒(筒), 以免碰撞针尖, 每根针必须附有计量部门的检验单, 并定期进行检验, 其尺寸及形状如图 T 0604-1。

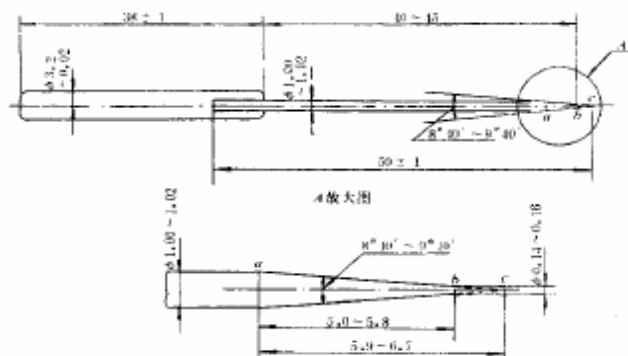


图 T 0604-1 针入度标准针 (单位: mm)

2.3 盛样皿: 金属制, 圆柱形平底。小盛样皿的内径 55mm, 深 35mm(适用于针入度小于 200); 大盛样皿内径 70mm, 深 45mm(适用于针入度 200~350); 对针入度大于 350 的试样需使用特殊盛样皿, 其深度不小于 60mm, 试样体积不少于 125mL。

2.4 恒温水槽: 容量不少于 10L, 控温的准确度为 0.1℃。水槽中应设有一带孔的搁架, 位于水面下不得少于 100mm, 距水槽底不得少于 50mm 处。

2.5 平底玻璃皿: 容量不少于 1L, 深度不少于 80mm。内设有一不锈钢三脚支架, 能使盛样皿稳定。

2.6 温度计或温度传感器: 分辨率为 0.1℃。

2.7 计时器: 精度为 0.1s。

2.8 位移计或位移传感器: 精度为 0.1mm。

2.9 盛样皿盖: 平板玻璃, 直径不小于盛样皿开口尺寸。

2.10 溶剂: 三氯乙烯等。

2.11 其它: 电炉或砂浴、石棉网、金属锅或瓷把坩埚等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 的方法准备试样。

3.1.2 按试验要求将恒温水槽调节到要求的试验温度 25℃, 或 15℃、30℃ (5℃), 保持稳定。

3.1.3 将试样注入盛样皿中, 试样高度应超过预计针入度值 10mm, 并盖上盛样皿, 以防落入灰尘。盛有试样的盛样皿在 15℃~30℃ 室温中冷却不少于 1.5h(小盛样皿)、2h(大盛样皿)或 3h(特殊盛样皿)后移入保持规定试验温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 的恒温水槽中应保温不少于 1.5h(小盛样皿)、2h(大试样皿)或 2.5h(特殊盛样皿)。

3.1.4 调整针入度仪使之水平。检查针连杆和导轨, 以确认无水和其它外来物, 无明显摩擦。用三氯乙烯或其它溶剂清洗标准针, 并擦干。将标准针插入针连杆, 用螺丝固紧。按试验条件,

加上附加砝码。

3.2 试验步骤

3.2.1 取出达到恒温的盛样皿，并移入水温控制在试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ （可用恒温水槽中的水）的平底玻璃皿中的三脚支架上，试样表面以上的水层深度不少于 10mm。

3.2.2 将盛有试样的平底玻璃皿置于针入度仪的平台上。慢慢放下针连杆，用适当位置的反光镜或灯光反射观察，使针尖恰好与试样表面接触，将位移计或刻度盘指针复位为零。

3.2.3 开始试验，按下释放键，这时计时与标准针落下贯入试样同时开始，至 5s 时自动停止。

3.2.4 读取位移计或刻度盘指针的读数，准确至 0.1mm。

3.2.5 同一试样平行试验至少 3 次，各测试点之间及与盛样皿边缘的距离不应少于 10mm。每次试验后应将盛有盛样皿的平底玻璃皿放入恒温水槽，使平底玻璃皿中水温保持试验温度。每次试验应换一根干净标准针或将标准针取下用蘸有三氯乙烯或煤油溶剂的棉花或布揩净，再用干棉花或布擦干。

3.2.6 测定针入度大于 200 的沥青试样时，至少用 3 支标准针，每次试验后将针留在试样中，直至 3 次平行试验完成后，才能将标准针取出。

3.2.7 测定针入度指数 PI 时，按同样的方法在 15°C 、 25°C 、 30°C （或 5°C ）3 个或 3 个以上（必要时增加 10°C 、 20°C 等）温度条件下分别测定沥青的针入度，但用于仲裁试验的温度条件应为 5 个。

4 计算

根据测试结果可按以下方法计算针入度指数、当量软化点及当量脆点。

4.1 公式计算法

4.1.1 将 3 个或 3 个以上不同温度条件下测试的针入度值取对数，令 $y = \lg P$ ， $x = T$ ，按式 (T 0604-1) 的针入度对数与温度的直线关系，进行 $y = a + bx$ 一元一次方程的直线回归，求取针入度温度指数 $A_{\lg Pen}$ 。

$$\lg P = K + A_{\lg Pen} \times T \quad (\text{T 0604-1})$$

式中： $\lg P$ ——不同温度条件下测得的针入度值的对数；

T ——试验温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

K ——回归方程的常数项 a ；

$A_{\lg Pen}$ ——回归方程的系数 b 。

按式 (T 0604-1) 回归时必须进行相关性检验，直线回归相关系数 R 不得小于 0.997（置信度 95%），否则，试验无效。

4.1.2 按式 (T 0604-2) 确定沥青的针入度指数，并记为 PI。

$$PI = \frac{20 - 500A_{lg\ pen}}{1 + 50A_{lg\ pen}} \quad (T\ 0604-2)$$

4.1.3 按式(T 0604-3)确定沥青的当量软化点 T_{800} 。

$$T_{800} = \frac{\lg 800 - K}{A_{lg\ pen}} = \frac{2.9031 - K}{A_{lg\ pen}} \quad (T\ 0604-3)$$

4.1.4 按式(T 0604-4)确定沥青的当量脆点 $T_{1.2}$ 。

$$T_{1.2} = \frac{\lg 1.2 - K}{A_{lg\ pen}} = \frac{0.0792 - K}{A_{lg\ pen}} \quad (T\ 0604-4)$$

4.1.5 按式(T 0604-5)计算沥青的塑性温度范围 ΔT 。

$$\Delta T = T_{800} - T_{1.2} = \frac{2.8239}{A_{lg\ pen}} \quad (T\ 0604-5)$$

4.2 诺模图法

将 3 个或 3 个以上不同温度条件下测试的针入度值绘于图 T 0604-2 的针入度温度关系诺模图中, 按最小二乘法法则绘制回归直线, 将直线向两端延长, 分别与针入度为 800 及 1.2 的水平线相交, 交点的温度即为当量软化点 T_{800} 和当量脆点 $T_{1.2}$ 。以图中 0 点为原点, 绘制回归直线的平行线, 与 PI 线相交, 读取交点处的 PI 值即为该沥青的针入度指数。此法不能检验针入度对数与温度直线回归的相关系数, 仅供快速草算时使用。

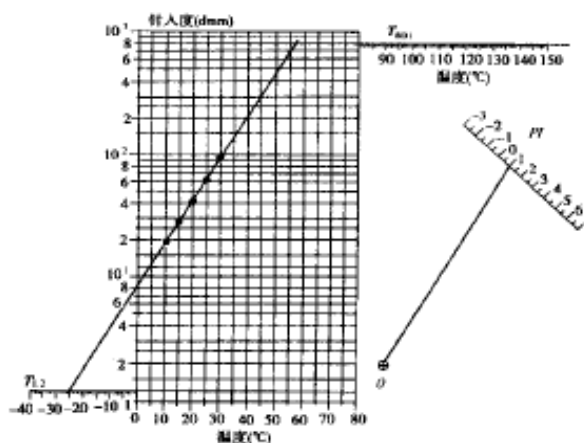


图 T 0604-2 确定道路沥青 PI、 T_{800} 、 $T_{1.2}$ 的针入度温度关系诺模图

5 报告

5.1 应报告标准温度(25℃)时的针入度 T_{25} 以及其它试验温度 T 所对应的针入度 P , 及由此求取针入度指数 PI、当量软化点 T_{800} 、当量脆点 $T_{1.2}$ 的方法和结果, 当采用公式计算法时, 应报告按式(T 0604-1)回归的直线相关系数 R 。

5.2 同一试样 3 次平行试验结果的最大值和最小值之差在下列允许误差范围内时, 计算 3 次试验结果的平均值, 取整数作为针入度试验结果, 以 0.1mm 为单位。

针入度 (0.1mm)	允许误差 (0.1mm)
0 ~49	2
50~149	4
150~249	12
250~500	20

当试验值不符合此要求时，应重新进行试验。

6 允许误差

6.1 当试验结果小于 50 (0.1mm) 时，重复性试验的允许误差为 2 (0.1mm)，再现性试验的允许误差为 4 (0.1mm)。

6.2 当试验结果等于或大于 50 (0.1mm) 时，重复性试验的允许误差为平均值的 4%，再现性试验的允许误差为平均值的 8%。

条文说明

沥青针入度的试验温度一般以 25℃ 为准。为沥青研究工作需要，ASTM、AASHTO 还规定了 0℃、4℃、45℃ 及 46.1℃ 试验时的针、连杆与砝码的总质量及时间。0℃ 及 4℃ 时为 200g、60s，45℃ 及 46.1℃ 时为 50g，5s。但实际上非标准的温度、总质量变化的测定方法很多。

国内外针入度仪的种类很多，故取消了针入度仪的仪器图，仅列入了对仪器的具体要求。考虑到针入度值受人为影响因素较多（温度、时间、人的影响），为提高测试精度，因此要求针入度试验宜采用能够自动计时的针入度仪进行测定。针入度试验的关键是标准针的形状及尺寸，现在国标、ISO 标准、ASTM D 5、AASHTO T 49 及日本铺装试验法便览 3-5-1 等国内外标准规定的标准针的尺寸都是相同的，本方法的规定也相同，但我国使用不合格针的情况比较普遍，为纠正这一情况，本方法规定了标准针必须要有计量部门的检验单，方可使用。

试验规程及国标规定有两种尺寸的盛样皿，但在 46℃ 试验时，沥青的针入度往往超过 350，故本试验法按照 ASTM D 5 规定补充了一种特制盛样皿的规格要求，内深不小于 60mm，试样体积不少于 125mL。

平底玻璃皿：按照 ASTM 规定容积不少于 350mL，日本规定为直径约 110mm，高度 60mm~90mm，则容积为 570mL~855mL，而国标规定容积不少于 0.5L，高度不少于 80mm。由于玻璃皿的容积越小，保持水温越困难，试验误差也大，本试验法仍维持原试验规程容积不少于 1L，高度不小于 60mm 的规定。

在准备工作中对盛有试样的试样皿在室温下冷却及水槽中保温的时间，原试验方法规定为 1h~1.5h (小皿)、1.5~2h (大皿) 及 2~2.5h (特殊盛样皿)。通过试验发现如果试样在室温下冷却 1h (尤其是夏天气温较高时)，在水浴里面也保温 1h，测定的针入度值偏大 (5~10mm)，说明试样内部的温度不是实际要测定的温度，尤其是施工现场环境比较差的工地实验室，夏季实验室的温度会很高。所以本次修订将在室温中的冷却时间及恒温水槽里面的保温时间去掉了下限，统一为不少于 1.5h，2.0h 或 2.5h。

T 0605—201X 沥青延度试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定道路石油沥青、聚合物改性沥青、液体石油沥青蒸馏残留物和乳化沥青蒸发残留物等材料的延度。

1.2 沥青延度的试验温度与拉伸速率可根据要求采用，通常采用的试验温度为 25℃、15℃、10℃或 5℃，拉伸速度为 5cm/min $\pm$ 0.25cm/min。当低温采用 1cm/min $\pm$ 0.5cm/min 拉伸速度时，应在报告中注明。

2 仪器与材料技术要求

2.1 延度仪：延度仪的测量长度不宜大于 150cm，仪器应有自动控温、控速系统。应满足试件浸没于水中，能保持规定的试验温度及规定的拉伸速度拉伸试件，且试验时应无明显振动的仪器均可使用。该仪器其形状及组成如图 T 0605-1。

2.2 试模：黄铜制，由两个端模和两个侧模组成，试模内侧表面粗糙度 Ra0.2 μ m，其形状及尺寸如图 T 0605-2。

2.3 试模底板：玻璃板或磨光的铜板、不锈钢板(表面粗糙度 Ra0.2 μ m)。

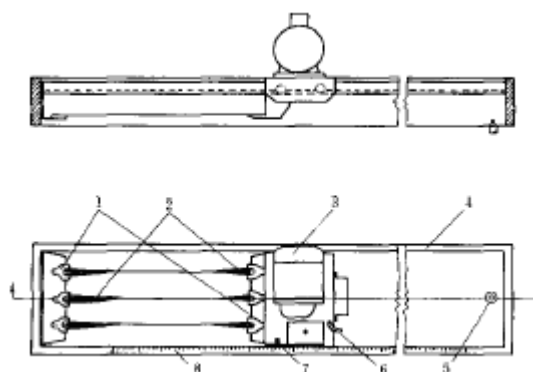


图 T 0605-1 延度仪

1— 试模；2—试样；3—电机；4—水槽；5—泄水孔；6—开关柄；7—指针；8—标尺

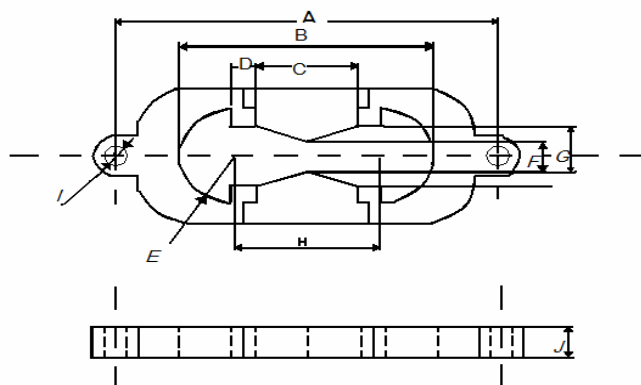


图 T 0605-2 延度仪试模

A—两端模环中心点距离 111.5~113.5 mm；B—试件总长 74.5~75.5 mm；C—端模间距 29.7~30.3 mm；D—肩长 6.8~7.2 mm；E—半径 15.75~16.25 mm；F—最小横断面宽 9.9~10.1 mm；G—端模口宽 19.8~20.2 mm；H—两半圆心间距离 42.9~43.1 mm；I—端模孔直径 6.5~6.7 mm；J—厚度 9.9~10.1 mm

2.4 恒温水槽：容量不少于 10L，控制温度的准确度为 0.1℃，水槽中应设有带孔搁架，搁架距水槽底不得少于 50mm。试件浸入水中深度不小于 100mm。

2.5 温度计：0℃~50℃，分度为 0.1℃。

2.6 砂浴或其它加热炉具。

2.7 甘油滑石粉隔离剂(甘油与滑石粉的质量比 2：1)。

2.8 其它：平刮刀、石棉网、酒精、食盐等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将隔离剂拌和均匀，涂于清洁干燥的试模底板和两个侧模的内侧表面，并将试模在试模底板上装妥。

3.1.2 按本规程 T 0602 规定的方法准备试样，然后将试样仔细自试模的一端至另一端往返数次缓缓注入模中，最后略高出试模，灌模时应注意勿使气泡混入。

3.1.3 试件在室温中冷却不少于 1.5h，然后用热刮刀刮除高出试模的沥青，使沥青面与试模面齐平。沥青的刮法应自试模的中间刮向两端，且表面应刮得平滑。将试模连同底板再放入规定试验温度的水槽中保温 1.5 h。

3.1.4 检查延度仪延伸速度是否符合规定要求，然后移动滑板使其指针正对标尺的零点。将延度仪注水，并保温达到试验温度±0.1℃。

3.2 试验步骤

3.2.1 将保温后的试件连同底板移入延度仪的水槽中，然后将盛有试样的试模自玻璃板或不

锈钢板上取下，将试模两端的孔分别套在滑板及槽端固定板的金属柱上，并取下侧模。水面距试件表面应不小于 25mm。

3.2.2 开动延度仪，并注意观察试样的延伸情况。此时应注意，在试验过程中，水温应始终保持在试验温度规定范围内，且仪器不得有振动，水面不得有晃动，当水槽采用循环水时，应暂时中断循环，停止水流。在试验中，如发现沥青细丝浮于水面或沉入槽底时，则应在水中加入酒精或食盐，调整水的密度至与试样相近后，重新试验。

3.2.3 试件拉断时，读取指针所指标尺上的读数，以厘米表示，在正常情况下，试件延伸时应成锥尖状，拉断时实际断面接近于零。如不能得到这种结果，则应在报告中注明。

4 报告

同一样品，每次平行试验不少于 3 个，如 3 个测定结果均大于 100cm，试验结果记作“>100cm”；特殊需要也可分别记录实测值。如 3 个测定结果中，有一个以上的测定值小于 100cm 时，若最大值或最小值与平均值之差满足重复性试验要求，则取 3 个测定结果的平均值的整数作为延度试验结果，若平均值大于 100cm，记作“>100cm”；若最大值或最小值与平均值之差不符合重复性试验要求时，试验应重新进行。

5 允许误差

当试验结果小于 100cm 时，重复性试验的允许误差为平均值的 20%；再现性试验的允许误差为平均值的 30%。

条文说明

本试验方法是在 2000 年试验规程(T0605-1993)的基础上按照国标 GB/T 4508、ASTM D113 及结合试验过程中发现的问题进行修改制定的。

首先本次对延度仪的试模按照 ASTM D113 的尺寸图进行了修改。第二是对延度仪的测定长度规定不宜大于 150cm，其理由是延度仪大于 100cm 这个长度对我们所用的道路石油沥青已经足够了，而有的单位要求作 200cm 的延度仪是毫无意义的。因为延度试验时是以 5cm/min 的速度在拉伸，拉到 150cm 就需要 30min，而这个时候的沥青已经成发丝那么细了，如果继续再拉一方面很难看见，另一方面温度也随着时间的延长而在变化，导致出来的延度值偏高。

根据实践经验，在试验方法的准备工作中，将试件在室温中冷却的时间进行了修改，这点也是许多试验人员反映的问题，原试验方法中规定试件在室温中冷却不少于 30min~40 min，然后置于规定试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中，保持 30 min 后取出，然后再刮平。通过实践发现这种方法很不合理，没有必要放入水里保温，从水槽中取出来的试件上面会有水，这时再用很热的刮刀去刮平，会发生沥青乱溅现象，容易烫伤。另外如果试验温度较高，拿出来不小心时容易变形。本次修改为就在室温中冷却不少于 1.5h，然后在刮平。

将试模放入规定试验温度的水槽中保温 1.5 h，对延度仪设备水槽的温度能够精确控制在试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 时，可以将试件在仪器的水槽中保温。

试模底板在 ASTM 中规定为钢板，所用隔离剂为汞剂；国标中规定为磨光金属板，隔离剂为甘油——滑石粉。

但在实践中，用玻璃板比较方便，故本试验法规定为玻璃板或不锈钢板。

对试验允许误差按照国标规定 3 个试件试验值应在平均值 5% 以内，但其中两个高值在 5% 时，则舍弃其最低值，取两个较高值作为试验结果。

我们认为舍去低值的方法是不合适的，且延度误差超过 5% 的情况甚多。美国对延度值的允许误差规定了一张图表，不同延度有不同的要求(如图 T 0605-3)，在图中延度在 50cm~100cm 时，重复性为 10cm~30cm，再现性为 20cm~50cm。法国标准不分延度大小规定重复性为平均值的 10%，再现性为平均值的 20%。本试验法在修订时考虑到我国的现状，采用法国的表示方法同时适当放宽，较能符合实际情况，也是根据实践经验提出的。

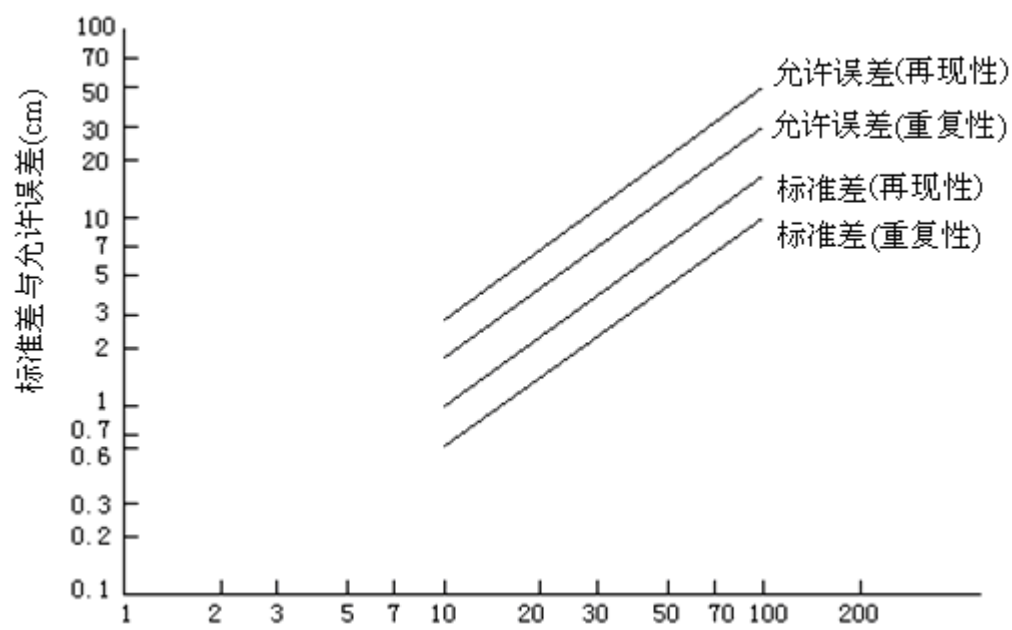


图 T 0605-3 延度值的允许误差要求 (ASTM D 113、AASHTO T 51)

T 0606—201X 沥青软化点试验(环球法)

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、聚合物改性沥青的软化点，也适用于测定液体石油沥青、煤沥青蒸馏残留物或乳化沥青蒸发残留物的软化点。

2 仪具与材料技术要求

2.1 软化点试验仪：如图 T 0606-1，由下列部件组成：

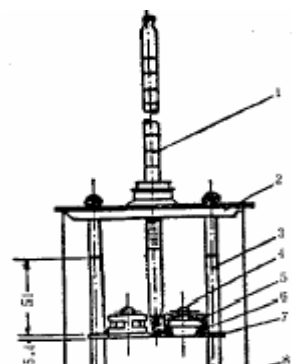


图 T 0606-1 软化点试验仪

1-温度计； 2-上盖板； 3-立杆； 4-钢球； 5-钢球定位环；
6-金属环； 7-中层板； 8-下底板； 9-烧杯

2.1.1 钢球：直径 $9.53 \pm 0.05\text{mm}$ ，质量 $3.5\text{g} \pm 0.05\text{g}$ 。

2.1.2 试样环：黄铜或不锈钢等制成，形状尺寸如图 T 0606-2。

2.1.3 钢球定位环：黄铜或不锈钢制成，形状尺寸如图 T 0606-3。

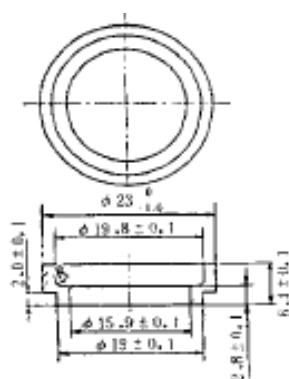


图 T 0606-2 试样环 (单位:mm)

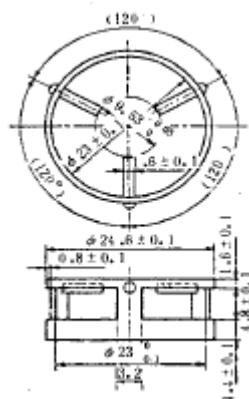


图 T 0606-3 钢球定位环 (单位:mm)

2.1.4 金属支架：由两个主杆和三层平行的金属板组成。上层为一圆盘，直径略大于烧杯直径，中间有一圆孔，用以插放温度计。中层板形状尺寸如图 T 0606-4，板上有两个孔，各放置金属环，中间有一小孔可支持温度计的测温端部。一侧立杆距环上面 51mm 处刻有水高标记。环下面距下层底板为 25.4mm，而下底板距烧杯底不少于 12.7mm，也不得大于 19mm。三层金属板和两个主杆由两螺母固定在一起。

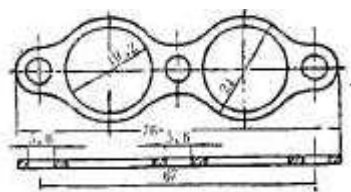


图 T 0606-4 中层板 (单位:mm)

2.1.5 耐热玻璃烧杯：容量 800mL~1 000mL，直径不小于 86mm，高不小于 120mm。

2.1.6 温度计： $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，分度为 0.5°C 。

2.2 装有温度调节器的电炉或其它加热炉具(液化石油气、天然气等)。应采用带有振荡搅拌

器的加热电炉，振荡子置于烧杯底部。

2.3 当采用自动软化点仪时，各项要求应与 2.1 及 2.2 相同，温度采用温度传感器测定，并能自动显示或记录，且应对自动装置的准确性经常校验。

2.4 试样底板：金属板(表面粗糙度应达 $Ra0.8\mu m$)或玻璃板。

2.5 恒温水槽：控温的准确度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.6 平直刮刀。

2.7 甘油、滑石粉隔离剂(甘油与滑石粉的质量比为 2:1)。

2.8 蒸馏水或纯净水。

2.9 其它：石棉网。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将试样环置于涂有甘油滑石粉隔离剂的试样底板上。按本规程 T 0602 的规定方法将准备好的沥青试样徐徐注入试样环内至略高出环面为止。

如估计试样软化点高于 120°C ，则试样环和试样底板(不用玻璃板)均应预热至 $80^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.2 试样在室温冷却 30min 后，用热刮刀刮除环面上的试样，务使与环面齐平。

3.2 试验步骤

3.2.1 试样软化点在 80°C 以下者：

(1)将装有试样的试样环连同试样底板置于 $5^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 水的恒温水槽中至少 15min；同时将金属支架、钢球、钢球定位环等亦置于相同水槽中。

(2)烧杯内注入新煮沸并冷却至 5°C 的蒸馏水或纯净水，水面略低于立杆上的深度标记。

(3)从恒温水槽中取出盛有试样的试样环放置在支架中层板的圆孔中，套上定位环；然后将整个环架放入烧杯中，调整水面至深度标记，并保持水温为 $5^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。环架上任何部分不得附有气泡。将 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的温度计由上层板中心孔垂直插入，使端部测温头底部与试样环下面齐平。

(4)将盛有水和环架的烧杯移至放有石棉网的加热炉具上，然后将钢球放在定位环中间的试样中央，立即开动电磁振荡搅拌器，使水微微振荡，并开始加热，使杯中水温在 3min 内调节至维持每分钟上升 $5^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。在加热过程中，应记录每分钟上升的温度值，如温度上升速度超出此范围时，则试验应重作。

(5)试样受热软化逐渐下坠，至与下层底板表面接触时，立即读取温度，准确至 0.5°C 。

3.2.2 试样软化点在 80°C 以上者：

(1)将装有试样的试样环连同试样底板置于装有 $32^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 甘油的恒温槽中至少 15min；同时将金属支架、钢球、钢球定位环等亦置于甘油中。

(2) 在烧杯内注入预先加热至 32℃ 的甘油，其液面略低于立杆上的深度标记。

(3) 从恒温槽中取出装有试样的试样环，按上述 3.2.1 的方法进行测定，准确至 1℃。

4 报告

同一试样平行试验两次，当两次测定值的差值符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为软化点试验结果，准确至 0.5℃。

5 允许误差

5.1 当试样软化点小于 80℃ 时，重复性试验的允许误差为 1℃，再现性试验的允许误差为 4℃。

5.2 当试样软化点大于或等于 80℃ 时，重复性试验的允许误差为 2℃，再现性试验的允许误差为 8℃。

条文说明

沥青软化点试验有环球法及克沙氏法。除德国 DIN 外，国际上一般采用环球法测定。所以我国也以环球法为标准软化点试验方法。国外标准中同为环球法也有水槽法与油浴法之别，ASTM D 36 规定软化点在 80℃ 以上者用甘油浴测定。但 ASTM D 2398 及 AASHTO T 53 则规定均用乙烯乙二醇浴测定，该标准适用于软化点 30℃～175℃ 范围，并说明了与 ASTM 方法的差异。当软化点低于 80℃ 时，按 T 53 法测定的软化点要比按 D 36 测定值高 2.5℃，比石油学会 IP 58 法高 4.0℃；当软化点高于 80℃ 时，T 53 法测定结果比 D 36 法要高 1.5℃，与 IP 58 法持平。对道路石油沥青来说，软化点不可能高于 80℃，除 AASHTO 外各国均使用水槽，因此本方法亦采用水槽方法不变。但对一些聚合物改性沥青、建筑石油沥青等，软化点可能高于 80℃，则应按 ASTM D 36 规定使用甘油浴试验。

对试样环形状的规定，从试样环加工制作及目前实际使用情况看，基本上都是台阶形的。现在 ASTM D 36、AASHTO T 53 以及日本道路协会铺装试验法便览 3-5-2 等均只规定了一种台阶形环。故本试验法也规定成一种台阶形的试样环。石油部门提出的国标均规定试样环为铜制，但目前国内产品试样环为铜制甚少，故本试验法仍规定为铜或不锈钢制成。

目前大部分国家的软化点试验方法水温都采用电磁振荡搅拌器使水循环的方法，这样可以使水温更加均匀，故本办法也要求这样做。同时对自动软化点仪提出了具体要求，且规定应对自动装置的准确性经常校验。

温度计：按照国内一般温度计生产情况及软化点测定允许误差，温度计要求为 0℃～100℃（分度 0.5℃）的规格。

试验方法中仍对沥青软化点在 80℃ 以下及 80℃ 以上分别编写。对道路沥青软化点一般均不超过 80℃，但对聚合物改性沥青、建筑沥青等的软化点可能高于 80℃，故保留这两种情况的写法。

试验结果的误差 AASHTO 规定重复性允许误差 2℃，再现性允许误差 3℃。本方法规定的重复性误差采用石油沥青国标中规定 1℃（软化点 80℃ 以下）、2℃（软化点 80℃ 以上），再现性则分别为 4℃ 及 8℃。此规定均与日本道路协会铺装试验法便览及 ASTM 的规定相同。

T 0607—201X 沥青溶解度试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、聚合物改性沥青、液体石油沥青或乳化沥青蒸发后残留物的溶解度（国外试验方法）。非经注明，溶剂为三氯乙烯。

2 仪具与材料技术要求

- 2.1 分析天平：感量不大于 0.1mg。
- 2.2 锥形烧瓶：250mL。
- 2.3 古氏坩埚：50mL。如图 T 0607。
- 2.4 玻璃纤维滤纸：直径 2.6cm，最小过滤孔 $0.6(1.5) \mu\text{m}$ 。
- 2.5 过滤瓶：250mL。
- 2.6 洗瓶。
- 2.7 量筒：100mL。
- 2.8 干燥器。
- 2.9 烘箱：装有温度自动调节器。
- 2.10 水槽。
- 2.11 三氯乙烯，化学纯。



图 T 0607 古氏坩埚

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 规定的方法准备沥青试样。沥青样品加热融化脱水，若含有杂质，可将沥青过 0.5mm-0.8mm 筛后再进行试验。

3.1.2 将玻璃纤维滤纸置于洁净的古氏坩埚中的底部，用溶剂冲洗滤纸和古氏坩埚，使溶剂挥发后，置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内干燥至恒重（一般为 20min），然后移入干燥器中冷却，冷却时间不少于 30min，称其质量(m_1)，准确至 0.1mg。

3.1.3 称取已烘干的锥形烧瓶和玻璃棒(m_2)的质量，准确至 0.1mg。

3.2 试验步骤

3.2.1 用预先干燥的锥形烧瓶称取沥青试样 2g(m_3)，准确至 0.1mg。

3.2.2 在不断摇动下，分次加入三氯乙烯 100mL，直至试样溶解后盖上瓶塞，并在室温下放置至少 15min。

注：仲裁试验时，在进行过滤之前将样品放入 $37.8^{\circ}\text{C} \pm 0.25^{\circ}\text{C}$ 水域中保持 1h。

3.2.3 将已称质量的滤纸及古氏坩埚，安装在过滤烧瓶上，用少量的三氯乙烯润湿玻璃纤维滤纸。然后，将沥青溶液沿玻璃棒倒入玻璃纤维滤纸中，并以连续滴状速度进行过滤，直至全部

溶液滤完。用少量溶剂分次清洗锥形烧瓶，将全部不溶物移至坩埚中。再用溶剂洗涤古氏坩埚的玻璃纤维滤纸，直至滤液无色透明为止。

3.2.4 取出古氏坩埚，置通风处，直至无溶剂气味为止；然后，将古氏坩埚移入温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中至少 20min；同时，将原锥形瓶、玻璃棒等也置于烘箱中烘至恒重。

3.2.5 取出古氏坩埚及锥形瓶等置干燥器中冷却 $30\text{min} \pm 5\text{min}$ 后，分别称其质量 (m_4 、 m_5)，直至连续称量的差不大于 0.3mg 为止。

4 计算

沥青试样的可溶物含量按式 (T 0607—1) 计算。

$$S_b = \left[1 - \frac{(m_4 - m_1) + (m_5 - m_2)}{m_3 - m_2} \right] \times 100 \quad (\text{T 0607—1})$$

式中： S_b ——沥青试样的溶解度，%；

m_1 ——古氏坩埚与玻璃纤维滤纸合计质量，g；

m_2 ——锥形瓶与玻璃棒合计质量，g；

m_3 ——锥形瓶、玻璃棒与沥青试样合计质量，g；

m_4 ——古氏坩埚、玻璃纤维滤纸与不溶物合计质量，g；

m_5 ——锥形瓶、玻璃棒与黏附不溶物合计质量，g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，当两次结果之差不大于 0.1% 时，取其平均值作为试验结果。对于溶解度大于 99.0% 的试验结果，准确至 0.01%；对于溶解度等于或小于 99.0% 的试验结果，准确至 0.1%。

6 允许误差

当试验结果平均值大于 99.0% 时，重复性试验的允许误差为 0.1%，再现性试验的允许误差为 0.26%。

条文说明

沥青溶解液过滤的方法很多，ASTM D 2042 中规定用古氏坩埚及玻璃纤维滤纸，其规定的玻璃纤维滤纸孔径为 $1.5\mu\text{m}$ ，结合近些年试验数据，之前玻璃纤维滤纸孔径为 $0.6\mu\text{m}$ 偏小，此次修订将玻璃纤维滤纸孔径修改为 $1.5\mu\text{m}$ 。由于聚合物改性沥青也需要作溶解液，本次修订在适用范围里面增加了聚合物改性沥青。在试验步骤里面为了与相同的标准方法一致去掉了水流泵或真空泵过滤的方法。

古氏坩埚及滤纸的溶剂挥发后置入烘箱的温度，国标及 1983 年试验规程均为 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ ，而本试验法中规定温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，以便与其它试验方法的温度一致。烘干时间规定为 15min，操作方便且更明确。

允许误差按照 ASTM D2042 的要求进行了修改。

T 0608—201X 沥青蒸发损失试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定石油沥青的蒸发损失，蒸发损失后的残留物应进行针入度试验，计算残留物针入度占原试样针入度的百分率，并根据需要测定沥青残留物的延度、软化点等其它试验，以评定沥青受热时性质的变化。

2 仪器与材料技术要求

2.1 烘箱：内部尺寸不少于 $330\text{mm} \times 330\text{mm}$ ，装有温度自动调节器，控制温度的准确度为 1°C 。箱内安装有一个直径大于 250mm 的转盘，中心由一垂直轴悬挂于烘箱中央，通过传动机构，使转盘以 $5.5\text{r/min} \pm 1\text{r/min}$ 的速度转动。转盘呈水平装置，上有 6 个凹圆槽，供放置盛样皿使用。烘箱正面安装有大于 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的绞接密封窗门，窗门内层为玻璃制成，试验时不必打开烘箱门，只要打开窗门，即可通过玻璃读取箱内温度计的读数。烘箱应至少有一个进气孔及一个出气孔。烘箱亦可用 T 0609 “沥青薄膜加热试验” 所用的薄膜加热烘箱代替。

2.2 盛样皿：金属或硬玻璃制成，不少于两个，平底，筒状，内径 $55\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，深 $35\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。亦可用洁净的针入度试验用盛样皿代替。

2.3 温度计： $0^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ ，分度为 0.5°C 。

2.4 分析天平：感量不大于 1mg 。

2.5 其它：沥青熔化锅、计时器等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 称洁净、干燥的盛样皿的质量 (m_0)，准确至 1mg 。

3.1.2 按本规程 T 0602 沥青准备方法准备试样。缓缓倾入两个盛样皿中，质量约 $50\text{g} \pm 0.5\text{g}$ ，冷却至室温后再称试样与盛样皿合计质量 (m_1)，准确至 1mg 。

3.1.3 将烘箱调成水平，使转盘在水平面上旋转；再将温度计挂在转盘上方，位于转盘边缘内侧 20mm ，水银球底部在转盘顶面上的 6mm 处；然后打开烘箱的上下气孔，并加热保持温度 $163^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.21 待温度恒温后，将两个已盛试样的盛样皿置于烘箱内，注意观察温度下降，从温度回升至 163℃时开始计算，连续保持 5 h。但全部时间不得超过 5.25 h。 注：一般不宜将不同品种或标号的沥青同时放进一个烘箱中试验。

3.2.2 加热终了后取出盛样皿，在不落入灰尘的条件下，在室温下冷却，称取质量(m_2)，准确至 1mg。

3.2.3 将盛样皿置于加热炉具上徐徐加热将沥青熔化，并用玻璃棒上下搅匀；并按本规程 T 0604 针入度试验法规定的步骤测定此残留物的针入度，如果试样数量不够本规程 T 0604 要求时，应增加试样皿数量；然后合并在要求的试样皿内试验。

4 计算

4.1 沥青试样蒸发损失百分率按式(T 0608—1)计算，当试样蒸发试验后质量减少时为负值，质量增加时为正值：

$$L_b = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (\text{T 0608—1})$$

式中： L_b ——试样的蒸发损失，%；

m_0 ——盛样皿质量，g；

m_1 ——加热前盛样皿与试样合计质量，g；

m_2 ——加热后盛样皿与试样合计质量，g。

4.2 试样蒸发后残留物的针入度占原试样针入度的百分率按式(T 0608—2)计算。

$$K_p = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (\text{T 0608—2})$$

式中： K_p ——针入度比，%；

P_1 ——原试样的针入度，0.1mm；

P_2 ——蒸发损失后残留物的针入度，0.1mm。

5 报告

同一试样平行试验两次，两个盛样皿的蒸发损失百分率之差符合重复性试验的允许误差时，求取其平均值作为试验结果，准确至 2 位小数。

6 允许误差

6.1 当蒸发损失小于 0.5%时，重复性试验的允许误差为 0.10%，再现性试验的允许误差为 0.20%。

6.2 当蒸发损失等于或大于 0.5%时，重复性试验的允许误差为 0.20%，再现性试验的允许误差为 0.40%。

6.3 残留物针入度的允许误差同本规程 T 0604 规定，不符合要求时应重新试验。

条文说明

关于试验方法名称, 1983 年试验规程中称为“沥青加热损失试验”(沥 107—83), 是按 ASTM 英文名翻译的, ASTM 及 AASHTO 的试验名称为加热损失, 但条文及试验结果也称为蒸发损失, 尤其是我国沥青标准 SY 1661 中的指标名为蒸发损失。为与薄膜加热损失区分起见, 本规程更名为“沥青蒸发损失试验”。

蒸发损失后的沥青残留物应进行针入度试验, 但根据需要也可进行其它各项试验, 以确定沥青受热时的变化。

试验用的烘箱, ASTM 为专用烘箱, 日本采用薄膜加热烘箱, 而国标规定用“82 型沥青薄膜烘箱”。本试验法按照国标 GB/T 11964 及 ASTM D 6 规定, 烘箱由 1983 年试验规程按前苏联方法规定的一般烘箱改为美、日等国规定的水平旋转烘箱, 按照 ASTM 等说明了蒸发试验用烘箱的规格、要求等, 并注明了可用“沥青薄膜加热试验”用的烘箱代替。烘箱中转盘的转速, 国外规定大都是 5r/min~6r/min, 与薄膜加热烘箱 5.5r/min $\pm$ 1 r/min 不同, 本方法规定与薄膜加热烘箱相同, 统一为 5.5r/min $\pm$ 1 r/min。

根据 ASTM 规定温度计为特制 155℃~170℃温度计。目前国产专用温度计能符合 ASTM 的规定要求, 但考虑到温度计生产的实际情况, 本试验规定采用一般温度计, 但分度值要求相同为 0.5℃。

T 0609—201X 沥青薄膜加热试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、聚合物改性沥青薄膜加热后的质量变化, 并根据需要, 测定薄膜加热后残留物的针入度、延度、软化点、黏度等性质的变化, 以评定沥青的耐老化性能。

2 仪器与材料技术要求

2.1 薄膜加热烘箱: 形状和尺寸如图 T 0609-1, 工作温度范围可达 200℃, 控温的准确度为 1℃, 装有温度调节器和可转动的圆盘架(图 T 0609-2)。

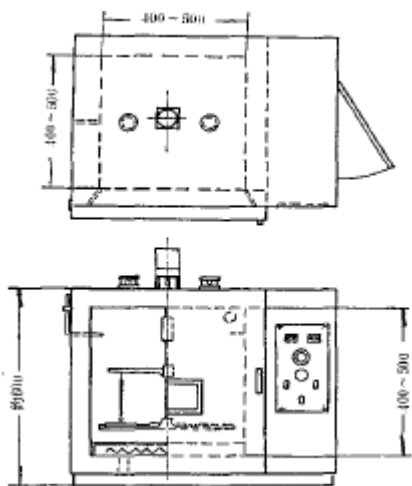


图 T 0609-1 薄膜加热烘箱(单位:mm)

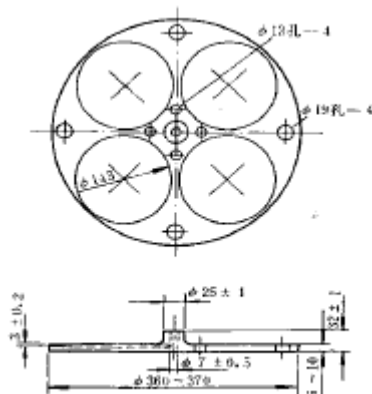


图 T 0609-2 圆盘架(单位:mm)

圆盘直径 360mm~370mm 上有浅槽 4 个, 供放置盛样皿, 转盘中心由一垂直轴悬挂于烘箱的中央, 由传动机构使转盘水平转动, 速度为 $5.5\text{r/min} \pm 1\text{r/min}$ 。门为双层, 两层之间应留有间隙, 内层门为玻璃制, 只要打开外门, 便可通过玻璃窗读取烘箱中温度计的读数。烘箱应能自动通风, 为此在烘箱底部及顶部分别设有空气入口和出口, 以供热空气和蒸气的逸出和空气进入。

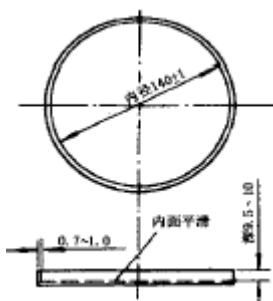


图 T 0609-3 盛样皿(单位:mm)

2.2 盛样皿: 可用不锈钢或铝制成, 不少于 4 个, 在使用中不变形, 形状及尺寸如图 T 0609-3。

2.3 温度计: $0^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$, 分度为 0.5°C (允许由普通温度计代替)。

2.4 分析天平: 感量不大于 1mg。

2.5 其它: 干燥器、计时器等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将洁净、烘干、冷却后的盛样皿编号, 称其质量(m_0), 准确至 1mg。

3.1.2 按本规程 T 0602 沥青试样准备方法准备沥青试样，分别注入 4 个已称质量的盛样皿中 $50\text{g} \pm 0.5\text{g}$ ，并形成沥青厚度均匀的薄膜，放入干燥器中冷却至室温后称取质量(m_1)，准确至 1mg。同时按规定方法，测定沥青试样薄膜加热试验前的针入度、黏度、软化点、脆点及延度等性质。当试验项目需要，预计沥青数量不够时，可增加盛样皿数目，但不允许将不同品种或不同标号的沥青，同时放在一个烘箱中试验。

3.1.3 将温度计垂直悬挂于转盘轴上，位于转盘中心，水银球应在转盘顶面上的 6mm 处，并将烘箱加热并保持至 $163^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 把烘箱调整水平，使转盘在水平面上以 $5.5\text{r/min} \pm 1\text{r/min}$ 的速度旋转，转盘与水平面倾斜角不大于 3° ，温度计位置距转盘中心和边缘距离相等。

3.2.2 烘箱达到恒温 163°C 后，迅速将盛有试样的盛样皿放入烘箱内的转盘上，并关闭烘箱门和开动转盘架；使烘箱内温度回升至 162°C 时开始计时，并在 $163^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 温度下保持 5h。但从放置试样开始至试验结束的总时间，不得超过 5.25h。

3.2.3 试验结束后，从烘箱中取出盛样皿，如果不需要测定试样的质量变化，按 3.2.5 进行。如果需要测定试样的质量变化，随机取其中两个盛样皿放入干燥器中冷却至室温后，分别称其质量(m_2)，准确至 1mg。

3.2.4 试样称重后，将盛样皿放回 $163^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的烘箱中转动 15min；取出试样，立即按照 3.2.5 的步骤进行工作。

3.2.5 将每个盛样皿的试样，用刮刀或刮铲刮入一适当的容器内，置于加热炉的石棉网上加热，并适当搅拌使充分融化达流动状态，倒入针入度盛样皿或延度、软化点等试模内，并按规定方法进行针入度等各项薄膜加热试验后残留物的相应试验。如在当日不能进行试验时，试样应放置在容器内，但全部试验必须在加热后 72 h 内完成。

4 计算

4.1 沥青薄膜试验后质量变化按式(T 0609-1)计算，准确至 3 位小数（质量减少为负值，质量增加为正值）。

$$L_T = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (\text{T 0609-1})$$

式中： L_T ——试样薄膜加热质量变化，%；

m_0 ——盛样皿质量，g；

m_1 ——薄膜烘箱加热前盛样皿与试样合计质量，g；

m_2 ——薄膜烘箱加热后盛样皿与试样合计质量，g。

4.2 沥青薄膜烘箱试验后，残留物针入度比以残留物针入度占原试样针入度的比值按式(T

0609-2) 计算。

$$K_p = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (\text{T 0609-2})$$

式中: K_p ——试样薄膜加热后残留物针入度比, %;

P_1 ——薄膜加热试验前原试样的针入度, 0.1mm;

P_2 ——薄膜烘箱加热后残留物的针入度, 0.1mm。

4.3 沥青薄膜加热试验的残留物软化点增值按式(T 0609-3)计算。

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (\text{T 0609-3})$$

式中: ΔT ——薄膜加热试验后软化点增值, °C;

T_1 ——薄膜加热试验前软化点, °C;

T_2 ——薄膜加热试验后软化点, °C。

4.4 沥青薄膜加热试验黏度比按式(T 0609-4)计算。

$$K_\eta = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad (\text{T 0609-4})$$

式中: K_η ——薄膜加热试验前后 60°C 黏度比;

η_2 ——薄膜加热试验后 60°C 黏度, Pa · s;

η_1 ——薄膜加热试验前 60°C 黏度, Pa · s。

4.5 沥青的老化指数按式(T 0609-5)计算。

$$C = \lg \lg (\eta_2 \times 10^3) - \lg \lg (\eta_1 \times 10^3) \quad (\text{T 0609-5})$$

式中: C ——沥青薄膜加热试验的老化指数。

5 报告

本试验的报告应注明下列结果:

5.1 质量变化, 当两个试样皿的质量变化符合重复性试验允许误差要求时, 取其平均值作为试验结果, 准确至 3 位小数。

5.2 根据需要报告残留物的针入度及针入度比、软化点及软化点增值、黏度及黏度比、老化指数、延度、脆点等各项性质的变化。

6 允许误差

6.1 当薄膜加热后质量变化小于或等于 0.4% 时, 重复性试验的允许误差为 0.04%, 再现性试验的允许误差为 0.16%。

6.2 当薄膜加热后质量变化大于 0.4% 时, 重复性试验的允许误差为平均值的 8%, 再现性试验的允许误差为平均值的 40%。

6.3 残留物针入度、软化点、延度、黏度等性质试验的允许误差应符合相应的试验方法规

定。

条文说明

本试验在 2000 年试验规程“沥青薄膜加热试验”基础上，参照国标 GB/T 5304—2001 及国外标准进行了修改，尤其是在试验步骤上基本上是一致的。沥青薄膜加热试验常简称为 TFOT。本方法适用于测定石油沥青、聚合物改性沥青薄膜烘箱加热后质量和性质的变化，测定项目可根据需要决定。

对质量损失测定美国等方法要求精确到 0.001g，本方法也与国外规定及国标相同。允许误差按 ASTM 等国外试验法规定。

T 0610—201X 沥青旋转薄膜加热试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青，聚合物改性沥青旋转薄膜烘箱加热（简称 RTFOT）后的质量变化，并根据需要测定旋转薄膜加热后，沥青残留物的针入度、黏度、延度及脆点等性质的变化，以评定沥青的老化性能。

2 仪具与材料技术要求

2.1 旋转薄膜烘箱：烘箱恒温室形状如图 T 0610-1。烘箱具有双层壁，电热系统应有温度自动调节器，可保持温度为 $163^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，其内部尺寸为高 381mm、宽 483mm、深 445mm $\pm 13\text{mm}$ （关门后）。烘箱门上有一双层耐热的玻璃窗，其宽为 305mm $\sim 380\text{mm}$ 、高 203mm $\sim 229\text{mm}$ ，可以通过此窗观察烘箱内部试验情况。最上部的加热元件应位于烘箱顶板的下方 25mm $\pm 3\text{mm}$ ，烘箱应调整成水平状态。

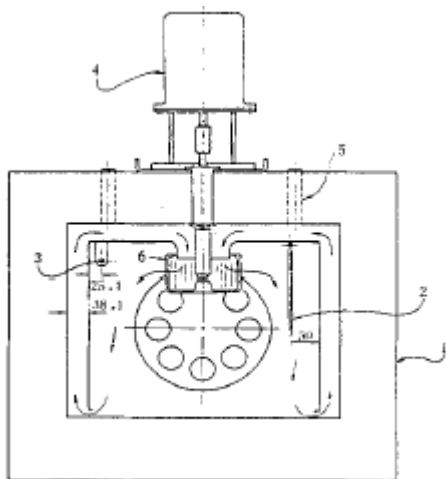


图 T 0610-1 旋转薄膜烘箱恒温室(单位:mm)

1-恒温箱; 2-温度计; 3-温度传感器; 4-风扇马达; 5-换气孔; 6-箱形风扇

烘箱的顶部及底部均有通气口。底部通气口面积为 $150\text{mm} \pm 7\text{mm}$, 对称配置, 可供均匀进入空气的加热之用。上部通气口匀称地排列在烘箱顶部, 其开口面积为 $93\text{mm} \pm 4.5\text{mm}$ 。

烘箱内有一内壁, 烘箱与内壁之间有一个通风空间, 间隙为 38.1mm 。在烘箱宽的中点上, 且从环形金属架表面至其轴间 152.4mm 处, 有一外径 133mm 、宽 73mm 的鼠笼式风扇, 并用一马达驱动旋转, 其速度为 1725r/min 。鼠笼式风扇将以与叶片相反的方向转动。

烘箱温度的传感器装置在距左侧 25.4mm 及空气封闭箱内上顶板下约 38.1mm 处, 以使测温元件处于距烘箱内后壁约 203.2mm 位置。将测试用的温度计悬挂或附着顶板的一个距烘箱右侧中点 50.8mm 装配架上, 温度计悬挂时, 其水银球与环形金属架的轴线相距 25.4mm 以内。温度控制器将能使全部装好沥青试样后, 在 10min 之内达到试验温度。

烘箱内有一个直径为 304.8mm 的垂直环形架, 架上装备有适当的能锁着及开启 8 个水平放置的玻璃盛样瓶的固定装置。垂直环形架通过直径 19mm 的轴, 以 $15\text{r/min} \pm 0.2\text{r/min}$ 速度转动。

烘箱内装备有一个空气喷嘴, 向转动玻璃盛样瓶在最低位置上喷进热空气。喷嘴孔径为 1.016mm , 连接着一根长为 7.6m 、外径为 8mm 的铜管。铜管是水平盘绕在烘箱的底部, 并通着一个能调节流量、新鲜的和无尘的空气源。为保证空气充分干燥, 可用活性硅胶作为指示剂。在烘箱表面上装备有温度指示器, 空气流量计的流量应为 $4000\text{mL/min} \pm 200\text{mL/min}$ 。

2.2 盛样瓶: 耐热玻璃制, 形状如图 T 0610-2, 高为 $139.7\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$, 外径为 $64\text{mm} \pm 1.2\text{mm}$, 壁厚 $2.4\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$, 口部直径为 $31.75\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ 。

2.3 温度计: $0^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$, 分度为 0.5°C 。

2.4 分析天平: 感量不大于 1mg 。

2.5 溶剂: 汽油、三氯乙烯等。

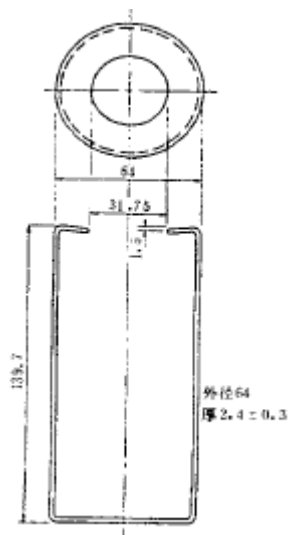


图 T 0610-2 盛样瓶(单位:mm)

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 用汽油或三氯乙烯洗净盛样瓶后，置温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干，并在干燥器中冷却后编号称其质量(m_0)，准确至 1mg。盛样瓶的数量应能满足试验的试样需要，通常不少于 8 个。

3.1.2 将旋转加热烘箱调节水平，并在 $163^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 下预热不少于 16 h，使箱内空气充分加热均匀。调节好温度控制器，使全部盛样瓶装入环形金属架后，烘箱的温度应在 10min 以内达到 $163^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.3 调整喷气嘴与盛样瓶开口处的距离为 6.35mm，并调节流量计，使空气流量为 $4000\text{mL}/\text{min} \pm 200\text{mL}/\text{min}$ 。

3.1.4 按本规程 T0602 的方法准备沥青试样，分别注入已称质量的盛样瓶中，其质量为 $35\text{g} \pm 0.5\text{g}$ ，放入干燥器中冷却至室温后称取质量(m_1)，准确至 1mg。需测定加热前后沥青性质变化时，应同时灌样测定加热前沥青的性质。

3.2 试验步骤

3.2.1 将称量完后的全部试样瓶放入烘箱环形架的中各个瓶位中，关上烘箱门后开启环形架转动开关，以 $15\text{r}/\text{min} \pm 0.2\text{r}/\text{min}$ 速度转动。同时开始以流速 $4000\text{mL}/\text{min} \pm 200\text{mL}/\text{min}$ 的热空气喷入转动着的盛样瓶的试样中，烘箱的温度应在 10min 回升到 $163^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，使在 $163^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 温度受热时间不少于 75min。总的持续时间为 85min。若 10min 内达不到试验温度时，试验不得继续进行。

3.2.2 到达时间后，停止环形架转动及喷射热空气，立即逐个取出盛样瓶，并迅速将试样倒入一洁净的容器内混匀(进行加热质量变化的试样除外)，以备进行旋转薄膜加热试验后的沥青性质的试验，但不允许将已倒过的沥青试样瓶重复加热来取得更多的试样。所有试验项目应在 72h 内全部完成。

3.2.3 将进行质量变化试验的试样瓶放入真空干燥器中，冷却至室温，称取质量(m_2)准确至1mg。此瓶内的试样即予废弃(不得重复加热用来进行其它性质的试验)。

4 计算

4.1 沥青旋转薄膜试验后质量变化按式(T 0610-1)计算,准确至3位小数(质量减少为负值,质量增加为正值)。

$$L_T = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (\text{T 0610-1})$$

式中: L_T ——试样旋转薄膜加热质量变化, %;

m_0 ——盛样瓶质量, g;

m_1 ——旋转薄膜加热前盛样瓶与试样合计质量, g;

m_2 ——旋转薄膜加热后盛样瓶与试样合计质量, g。

4.2 沥青旋转薄膜试验后, 残留物针入度比以残留物针入度占原试样针入度的比值按式(T 0610-2)计算。

$$K_P = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (\text{T 0610-2})$$

式中: K_P ——试样旋转薄膜加热后残留物针入度比, %;

P_1 ——旋转薄膜加热试验前原试样的针入度, 0.1mm;

P_2 ——旋转薄膜加热后残留物的针入度, 0.1mm。

4.3 沥青旋转薄膜加热试验的残留物软化点增值按式(T 0610-3)计算。

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (\text{T 0610-3})$$

式中: ΔT ——旋转薄膜加热试验后软化点增值, °C;

T_1 ——旋转薄膜加热试验前软化点, °C;

T_2 ——旋转薄膜加热试验后软化点, °C。

4.4 旋转沥青薄膜加热试验黏度比按式(T 0610-4)计算。

$$K_\eta = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad (\text{T 0610-4})$$

式中: K_η ——旋转薄膜加热试验前后 60°C 黏度比;

η_2 ——旋转薄膜加热试验后 60°C 黏度, Pa · s;

η_1 ——旋转薄膜加热试验前 60°C 黏度, Pa · s。

4.5 沥青的老化指数按式(T 0610-5)计算。

$$C = \lg \lg(\eta_2 \times 10^3) - \lg \lg(\eta_1 \times 10^3) \quad (\text{T 0609-5})$$

式中: C——沥青旋转薄膜加热试验的老化指数。

5 报告

与本规程 T 0609 的报告要求相同。

6 允许误差

6.1 当旋转薄膜加热后质量变化小于或等于 0.4%时,重复性试验的允许误差为 0.04%,再现性试验的允许误差为 0.16%。

6.2 当旋转薄膜加热后质量变化大于 0.4%时,重复性试验的允许误差为平均值的 8%,再现性试验的允许误差为平均值的 40%。

6.3 残留物针入度、软化点、延度、黏度等性质试验的允许误差应符合相应试验方法的规定。

条文说明

沥青旋转薄膜加热试验与沥青薄膜加热试验是同一性质的试验,简称 RTFOT。但试验条件不同,也是国际上通行的一种试验,美国等一些沥青标准中规定旋转薄膜加热可以用薄膜加热试验替代。由于 RTFOT 沥青膜更薄,只有 $5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$,但是试验时间可以缩短,且更加接近沥青混合料拌和时的实际情况。目前国内许多单位已有这项试验设备,国内研制的沥青旋转薄膜烘箱也大批量在生产。本次修订在使用范围里增加了聚合物改性沥青。对沥青残留物测定的要求和允许误差等,均参考 ASTM D 2872 及日本的试验方法编写,有的地方作了文字上的修改。经过国内外大量试验证明,RTFOT 与 TFOT 大体上有同等效果,故允许互相替代。尤其是对聚合物改性沥青,当黏度较高的改性沥青在进行 RTFOT 试验时,在旋转过程中沥青容易堆积在瓶口处,有时就会发生沥青从瓶口流出的现象,如果不注意就会着火,所以在规范中允许采用 TFOT 或 RTFOT。

T 0611—201X 沥青闪点与燃点试验(克利夫兰开口杯法)

1 目的与适用范围

本方法适用于克利夫兰开口杯(简称 COC)测定黏稠石油沥青、聚合物改性沥青及闪点在 $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的液体石油沥青的闪点和燃点,以评定施工的安全性。

2 仪器与材料技术要求

2.1 克利夫兰开口杯式闪点仪:形状及尺寸如图 T 0611-1。它由下列部分组成:

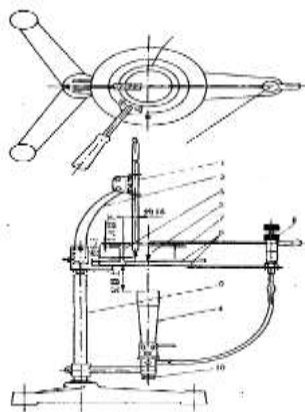


图 T 0611-1 克利夫兰开口杯式闪点仪(单位:mm)

- 1-温度计； 2-温度计支架； 3-金属试验杯； 4-加热器具； 5-试验标准球；
6-加热板； 7-试验火焰喷嘴； 8-试验火焰调节开关； 9-加热板支架；
10-加热器调节钮

2.1.1 克利夫兰开口杯：用黄铜或铜合金制成，内口直径 $\phi 63.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，深 $33.6\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，在内壁与杯上口的距离为 $9.4\text{mm} \pm 0.4\text{mm}$ 处刻有一道环状标线，带一个弯柄把手，形状及尺寸见图 T 0611-2。

2.1.2 加热板：黄铜或铸铁制，直径 $145\text{mm} \sim 160\text{mm}$ ，厚约 6.5mm 的金属板，上有石棉垫板，中心有圆孔，以支承金属试样杯。在距中心 58mm 处有一个与标准试焰大小相当的 $\phi 4.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 电镀金属小球，供火焰调节的对照使用。加热板如图 T 0611-3。

2.1.3 温度计： $0^{\circ}\text{C} \sim 360^{\circ}\text{C}$ ，分度为 1°C 。

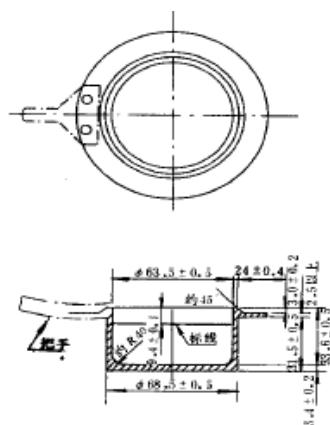


图 T 0611-2 克利夫兰开口杯(单位:mm)

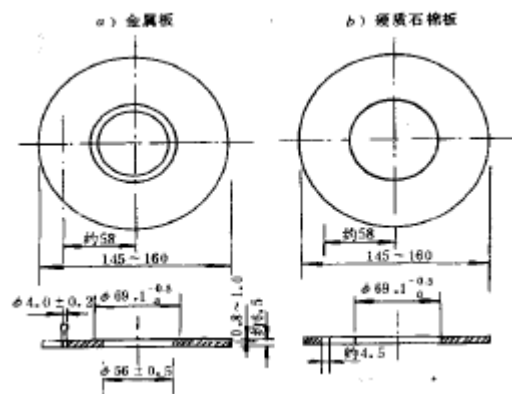


图 T 0611-3 加热板(单位:mm)

2.1.4 点火器：金属管制，端部为产生火焰的尖嘴，端部外径约 1.6mm，内径为 0.7mm~0.8mm，与可燃气体压力容器(如液化丙烷气或天然气)连接，火焰大小可以调节。点火器可以 150mm 半径水平旋转，且端部恰好通过坩埚中心上方 2mm 以内，也可采用电动旋转点火用具，但火焰通过金属试验杯的时间应为 1.0s 左右。

2.1.5 铁支架：高约 500mm，附有温度计夹及试样杯支架，支脚为高度调节器，使加热顶保持水平。

2.2 防风屏：金属薄板制，三面将仪器围住挡风，内壁涂成黑色，高约 600mm。

2.3 加热源附有调节器的 1KW 电炉或燃气炉。根据需要，可以控制加热试样的升温速度为 14℃/min~17℃/min、5.5℃/min±0.5℃/min。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将试样杯用溶剂洗净、烘干，装置于支架上。加热板放在可调电炉上，如用燃气炉时，加热板距炉口约 50mm，接好可燃气管道或电源。

3.1.2 安装温度计，垂直插入试样杯中，温度计的水银球距杯底约 6.5mm，位置在与点火器相对一侧距杯边缘约 16mm 处。

3.1.3 按本规程 T 0602 沥青试样准备方法准备试样后，注入试样杯中至标线处，并使试样杯外部不沾有沥青。

注：试样加热温度不能超过闪点以下 55℃。

3.1.4 全部装置应置于室内光线较暗且无显著空气流通的地方，并用防风屏三面围护。

3.1.5 将点火器转向一侧，试验点火，调节火苗在成标准球的形状或成直径为 4mm±0.8mm 的小球形试焰。

3.2 试验步骤

3.2.1 开始加热试样，升温速度迅速地达到 14℃/min~17℃/min。待试样温度达到预期闪点前 56℃时，调节加热器降低升温速度，以便在预期闪点前 (23±5)℃时能使升温速度控制在 5.5℃/min±0.5℃/min。

3.2.2 试样温度达到预期闪点前 28℃时开始，每隔 2℃将点火器的试焰沿试验杯口中心以 150mm 半径作弧水平扫过一次；从试验杯口的一边至另一边所经过的时间约 1s。此时应确认点火器的试焰为直径 4mm±0.8mm 的火球，并位于坩埚口上方 2mm~2.5mm 处。

3.2.3 当试样液面上最初出现一瞬间即灭的蓝色火焰时，立即从温度计上读记温度，作为试样的闪点。

3.2.4 继续加热，保持试样升温速度 5.5℃/min±0.5℃/min，并按上述操作要求用点火器点火试验。

3.2.5 当试样接触火焰立即着火，并能继续燃烧不少于 5s 时，停止加热，并读记温度计上的温度，作为试样的燃点。

4 报告

4.1 同一试样至少平行试验两次，两次测定结果的差值不超过重复性试验允许误差 8℃时，取其平均值的整数作为试验结果。

4.2 当试验时大气压在 95.3kPa(715mmHg)以下时，应对闪点或燃点的试验结果进行修正，若大气压为 95.3kPa~84.5kPa(715mmHg~634mmHg)时，修正值增加 2.8℃，当大气压为 84.5kPa~73.3kPa(634mmHg~550mmHg)时，修正值增加 5.5℃。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为：闪点 8℃，燃点 8℃；

再现性试验的允许误差为：闪点 16℃，燃点 14℃。

条文说明

沥青的闪点是各国沥青质量的安全性指标，同时沥青燃点是施工安全的一项参考指标，因此本方法将两个指标同时纳入。本次修订在使用范围里面增加了聚合物改性沥青，对煤沥青不适合热拌混合料，所以在适用范围里面取消了煤沥青。由于各国所用盛样容器规格不一，绝大多数国家都采用 ASTM D 92、AASHTO T 48 中的克利夫兰式开口杯(Cleveland Open Cup) (黏稠石油沥青等试验用)，简称 COC 法；液体沥青试验则采用 ASTM D 143、AASHTO T 79 中的泰格开口杯(Tag Open Cup)，简称 TOC 法。所以本方法也采用克利夫兰式开口杯法，按 AASHTO T 48 规定适用于黏稠石油沥青、聚合物改性沥青。对闪点在 79℃以下的液体石油沥青，采用泰格环试验方法(T 0633)。

各种开口杯的试样尺寸比较如表 1。由表可见，泰格杯及克利夫兰杯的沥青液面与杯口距离相同，只是因为闪点较低，从安全角度出发，改明火加热为水槽或油浴加热，且杯子为玻璃制成。

表 T 0611 开口杯比较(单位:mm)

开口杯	克利夫兰式	泰格式	布林肯式
型式	带方柄的圆筒皿	圆筒	坩埚
材料	金属制(铜)	玻璃制	金属制(铁)

内径	63.5	50	64
外径	68	55	65
内高	33	48	47
壁厚	2.4	5	1
底厚	3	4	1
标记与杯口距离	9.5	9.5	18 及 12
加热	明火或电炉直接加热	水槽或油浴	砂浴

器具根据 ASTM 及日本等国的试验法，采用普通的燃气或电炉加热，将使试验更为简单。对温度计的要求 ASTM 规定为-6℃~400℃(黏稠沥青)及-7℃~170℃(液体沥青)两种。日本则使用 0℃~400℃，前苏联使用 0℃~360℃。根据我国温度计的生产情况，规定温度计为 0℃~360℃。

点火器的形状及产生的试焰对测定结果有一定影响。目前燃气使用普遍，小管的丙烷气也很方便，因此采用了金属管燃气点火用具。关于试焰标准，在杯子上附有小球，AASHTO T 48 规定为 $\Phi 3.8\text{mm}\sim 5.4\text{mm}$ ，试验时控制与此相同，日本规定小球尺寸为 $\Phi 4.0\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ ，试验时考虑过于精密不可能达到，本方法采用 $\phi 4\text{mm}\pm 0.8\text{mm}$ ，以便于使用。

点火器口位置日本规定在杯口 2.0mm 以下，AASHTO 规定不高于 2.5mm，本方法规定为 2.0mm~2.5mm。

试验步骤中的加热上升速度及点火时间与 ASTM、AASHTO 及日本方法是一致的。

对允许误差 AASHTO 规定重复性为 8℃，无再现性要求。ASTM 有再现性要求，闪点为 17℃，燃点为 14℃。日本道路协会铺装试验法便览 3-5-5 只测闪点，重复性 8℃，再现性 16℃，本方法是根据国外规定综合决定的。

T 0612—1993 沥青含水量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定石油沥青、煤沥青或乳化沥青等的含水量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 含水量测定仪：如图 T 0612—1，由下列几部分组成：

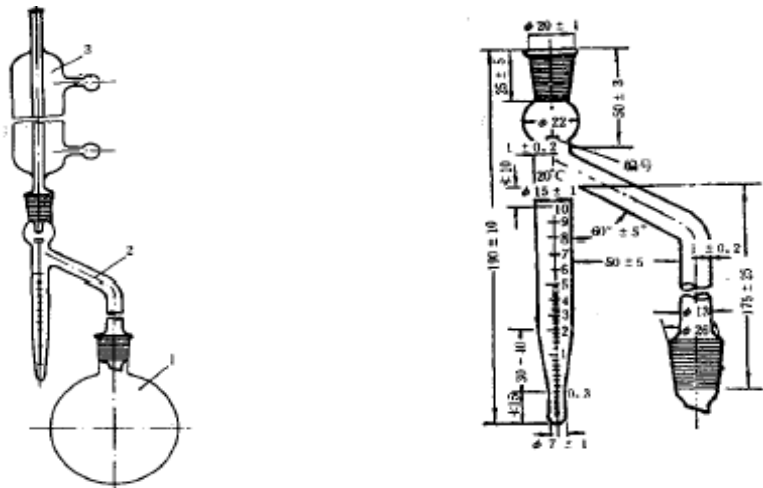


图 T 0612—1 沥青含水量测定仪

图 T 0612—2 水分接受器(单位:mm)

1-烧瓶；2-水分接受器；3-冷凝管

2.1.1 玻璃烧瓶:硬玻璃制,圆底,短颈,直径100mm,容积500mL。

2.1.2 水分接受器:形状及尺寸如图 T 0612—2。容积在 0.3mL 以下设有 10 等分刻度; 0.3mL~1mL 间设有 7 等分的刻度; 1mL~10mL 间每分度为 0.2mL,但精密度相近的水分接受器也可使用。

2.1.3 冷凝管:直形,内管直径 $10\text{mm} \pm 1\text{mm}$,全长 350mm~400mm,末端斜切,套管直径 40mm~50mm,长 250mm~300mm,进出水管口接近两端。但尺寸相近的冷凝管也可使用。

2.2 铁架:附有铁环及铁夹。

2.3 量筒:100mL、最小分度 1mL。

2.4 天平:感量不大于 0.1g。

2.5 加热器:装有温度调节器的电炉或燃气炉。

2.6 石棉网。

2.7 其它:玻璃毛细管(一端封闭)或烘干的无釉磁片、带橡皮头的玻璃棒等。

2.8 溶剂:二甲苯或甲苯与二甲苯(体积比 20:80)的混合物等,工业纯。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 称量洗净并烘干的玻璃烧瓶的质量(m_1),准确至 0.1g。

3.1.2 将试样充分摇匀,或预热至 $50^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$,使成流体后注入玻璃烧瓶中约 100g(水分少于 25%)或 50g(水分多于 25%时),称其合计质量(m_2),准确至 0.1g。

3.1.3 用量筒量取 200mL 溶剂,注入烧瓶中。将烧瓶中的混合物仔细摇匀,勿使溅出瓶外,并投入一些玻璃毛细管或无釉磁片。

3.1.4 将仪器装置如图 T 0612—1。先将洗净并烘干的水分接受器 2 的支管紧密地安装在玻璃烧瓶 1 上,使支管的斜口进入烧瓶 15cm~20cm;然后在接受器上连接冷凝管 3。冷凝管的内壁要预先用棉花拭干。安装时,冷凝管与水分接受器的轴心线要互相重合,冷凝管的下端的斜口切面要与接受器的支管管口相对。为避免蒸气逸出,应在塞子缝隙上再涂抹火棉胶。进入冷凝管的水温与室温相差较大时,应在冷凝管的上端用棉花塞着,以免空气中的水蒸气进入冷凝管凝结。

3.2 试验步骤

3.2.1 加热烧瓶并控制冷凝液的回流速度，使冷凝管的斜口保持每秒滴下 2~5 滴液体。

3.2.2 回馏过程中，水分接受器中的水将达到最大容积刻度前，停止加热，待无溶剂滴出时，迅速取下接受器，并将溶剂及水倒入一量筒中，然后装好继续加热回馏。

3.2.3 回馏将近完毕时，如果冷凝管内壁沾有水滴，应使烧瓶中的混合液在短时间剧烈沸腾，利用冷凝的溶剂将水滴尽量洗入接受器中。

3.2.4 接受器中收集的水体积不再增加，而且上层的溶剂完全透明时，应停止加热。

停止加热后，如冷凝管内壁仍有水滴，应从冷凝管上端倒入溶剂，把水滴冲进接受器。如溶剂冲洗依然无效，就用细玻璃棒带有橡皮的一端，把冷凝器内的水刮到接受器中。

3.2.5 使玻璃烧瓶冷却后，将仪器拆卸，读记接受器内或量筒中水分的体积 (V_w)。

当接受器内的溶剂呈现浑浊，且管底收集的水分不超过 0.2mL 时，将接受器放入热水中浸 20min~30min，使溶剂澄清，再将接受器冷却至室温后，才读记管底收集水分的体积。

4 计算

试样含水量的质量百分率按式(T 0612-1)计算。

$$P_w = \frac{V_w \times \rho_w}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (\text{T 0612-1})$$

式中： P_w ——试样含水量， %；

V_w ——接受器中水分的体积， mL；

m_1 ——玻璃烧瓶质量， g；

m_2 ——玻璃烧瓶与试样合计质量， g；

ρ_w ——水的密度 ($\approx 1\text{g/mL}$)。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，当两次平行试验结果的差值符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

6.1 对黏稠石油沥青，若接受器中的水不足 1mL 时，重复性试验的允许误差为 0.1mL；再现性试验的允许误差为 0.2mL。若接受器中的水为 1.1mL~25mL 时，重复性试验的允许误差为 0.1mL 或平均值的 2%； 再现性试验的允许误差为 0.2mL 或平均值的 10%。

6.2 对乳化沥青，重复性试验的允许误差为 0.8%，再现性试验的允许误差为 2.0%。

条文说明

正常情况下沥青产品中一般不含水分。但是沥青从制造到使用的各个环节中都有可能混进水分，沥青中的水分不仅影响沥青质量，且影响施工安全。ASTM D 95 及 AASHTO T 55 规定了石油沥青、煤沥青含水量的测

定方法, ASTM D 244 乳化沥青试验中也有含水量测定方法。日本道路协会铺装试验法便览中无沥青的含水量试验。本试验法在文字上参考国外这些方法作了些修改。

含水量测定仪在 ASTM 标准中列有两种:一种为金属蒸馏釜,可供含水较多时使用;另一种为玻璃制蒸馏瓶,可供含水量较少时应用。我国 50 年代尚有金属釜产品出售,现在只有很少单位尚有此项设备,为此本试验法仍维持使用玻璃蒸馏瓶。

试验用溶剂在 ASTM D 95 及 AASHTO T 55 中规定为二甲苯(工业纯)、20%甲苯与 80%二甲苯的混合物、石脑油等,前苏联规定为轻油产品、甲苯、二甲苯或苯等,目的是能溶解沥青的各种成分。为此,本试验法参照 AASHTO T 55 选用二甲苯或甲苯与二甲苯的混合物。

本试验法考虑到乳化沥青测定的需要,增补了在回馏过程中,水分接受器中的水将达最大容积前,停止加热,俟在溶剂停止滴出时,迅速取下接受器,将溶剂及水倒入一量筒中,然后装好继续加热回馏的做法。

试验的允许误差,黏稠沥青采用 ASTM D 95 及 AASHTO T 55 的规定,对乳化沥青采用 ASTM D 24.4 的规定。

T 0613—1993 沥青脆点试验(弗拉斯法)

1. 目的与适用范围

本方法适用于测定各种沥青材料的弗拉斯脆点。

2. 仪具与材料技术要求

2.1 弗拉斯脆点仪:如图 T 0613-1,由下列各部分组成:

2.1.1 弯曲器:如图 T 0613-2,由两个同心圆管组成,它们由硬质玻璃或其它绝缘材料制成。在每一圆管的下端紧紧的装上夹钳,位于两夹钳之间的内管部分留有夹缝,下端有一圆孔,起固定温度计作用,以便插入内管中的温度计从缝隙可看到水银球固定在内管下端圆孔中。同心圆两管上端装置一个带有摇把的机械升降器。转动摇把,可使内管相对于外管上下移动,从而改变两夹钳之间的距离。夹钳(如图 T 0613-3)之间的最大距离为 $40\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$,摇动摇把 10~12 圈能使两夹钳之间的距离缩短 $3.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 。

2.1.2 薄钢片:不锈钢制成,具有弹性,重复弯曲不变形,长 $41\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$,宽 $20\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,厚 $0.15\text{mm} \pm 0.02\text{mm}$,不用时钢片必须展平。

2.1.3 冷却装置:包括一个大试管(内径 35mm,长 210mm),该试管借橡皮塞偏轴固定在另一个较大的平底或带木座的已构成真空的双层壁的圆柱玻璃筒(内径 55mm,外径 65mm,长 220mm)内,橡皮塞上装有一个小漏斗。在需要时玻璃筒也可用一个合适尺寸的冷藏瓶或其它冷浴代替。

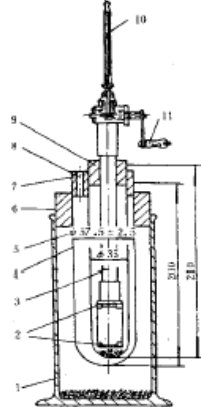


图 T 0613-1 弗拉斯脆点仪(单位:mm)

1-外筒；2-夹钳；3-硬塑料管；4-真空玻璃管；5-试样管；6-橡胶管；7-橡胶管；
8-通冷却液管道；9-橡胶管；10-温度计；11-摇把

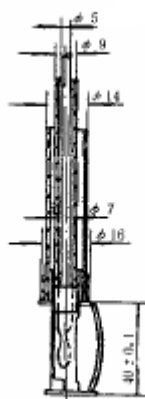


图 T 0613-2 弯曲器(单位:mm)

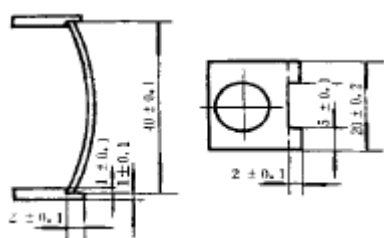


图 T 0613-3 夹钳(单位:mm)

2.2 温度计：测定范围不小于 $-38^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ ，分度为 0.5°C 。

2.3 干冰或其它冷却剂。

2.4 工业酒精。

2.5 天平：感量不大于 0.01g 。

2.6 其它：电炉、滤筛等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 的方法准备沥青试样。

3.1.2 在一块洁净的薄钢片上,称取试样 $0.4\text{g} \pm 0.01\text{g}$ 后将薄钢片在电炉上慢慢加热;当沥青刚刚流动时,用镊子夹住薄钢片前后左右摆动,使试样均匀地布满在薄钢片表面上,形成光滑的薄膜。在制样过程中防止样品膜产生气泡,并从开始加热起应在 $5\text{min} \sim 10\text{min}$ 内完成。

注:对于软化点高的试样,也可用干净的细针尖展开或用玻璃纸等薄片隔开按压。并经过适当加热制备成薄膜试件。

如仪器附有将试样压制宽 20mm 、厚 0.5mm 薄膜的特殊压膜设备时,可将压制的试样薄膜按长度贴在不锈钢薄片上,并加微热,使之与钢片很好地黏结起来。

将制备成的试样薄膜小心地移置于平稳的试验台上,在室温下冷却至少 30min ,并保护试样薄膜不得黏染灰尘。

3.1.3 在玻璃圆柱筒中注入工业酒精,注入量约为空间的一半。

3.2 试验步骤

3.2.1 将涂有试样薄膜的钢片稍稍弯曲,并仔细装入弯曲器的二个夹钳中间。

3.2.2 将已装妥样片的弯曲器置于大试管中,装妥温度计,再将装有弯曲器的大试管置于圆柱玻璃筒内。然后从漏斗中将干冰(固体二氧化碳)慢慢加到酒精中,控制温度下降的速度 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

3.2.3 当温度到达预计的脆点以前 10°C 时,开始以 $60\text{r}/\text{min}$ 的速度转动摇把,直到摇不动为止(一般转动摇把 10 转 $\sim$ 20 转)。不取出弯曲器观察薄片上试样是否有裂缝,有时也可听到断裂响声,这时就不必再转动摇把,如无裂缝则以相同的速度转回。如此操作,每分钟使薄钢片弯曲一次。

3.2.4 当薄片弯曲时,出现一个或多个裂缝时的温度即作为试样的脆点。

4 报告

同一试样至少平行试验 3 次,每次试验都必须使温度回升到与第一次试验相同的状态,取误差在 3°C 范围内的 3 个测定值的平均值作为试验结果,取整数作为试样的脆点。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为 2°C 。

条文说明

本试验法是在 1983 年试验规程(沥 118—83)的基础上,参照国标 GB/T 4510 及国外通行标准如 ISO—80 及日本道路协会铺装试验法便览 3-5-13 等标准等修改制定的,此试验法未列入 AASHTO 标准。

弗拉斯脆点弯曲器，1983 年试验规程按瑞士进口仪器规定为塑料管，现根据国标及国外标准，统一采用硬质玻璃或其它绝缘材料制成。但国内有用钢制的，由于钢管受温度影响较大，试验结果也受影响，故不宜采用。薄钢片在国标及国外标准中规定为“有弹性的钢片”，实际使用发现普通钢片易锈蚀，故仍决定使用“有弹性的不锈钢片”的规定。只是钢片的尺寸按照国标及国外标准，由原来的长 $40\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 统一修改为长 $41\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。冷却装置按照国标进行了修改。根据实践，有的冷却装置将干冰放入筒内冷却酒精时较为困难，而目前各种新的致冷设备不断出现，因此补充了玻璃筒也可用一个合适尺寸的冷藏瓶或其它冷浴代替的条款。

弗拉斯脆点的试验误差普遍反映较大，其中一个重要原因是每次试验时的起始温度不同，第二次试验的起始温度往往低于第一次的温度。为提高试验精密度，本方法增加了并行试验 3 次，每次试验都必须使温度回升到与第一次试验时相同的状态开始，并取误差在 3°C 范围内的 3 个测定值的平均值为试验结果。

按照国标及国外的标准对允许误差的要求作了修改。

T 0614—201X 沥青灰分含量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定石油沥青、~~岩沥青、湖沥青~~（矿物成分不大于 45%）的天然沥青等材料的灰分含量。

2 仪具与材料技术要求

2.1 高温炉：控制温度 $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ （ $600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ），具有温度调节控制器。

2.2 蒸发皿：容量 50mL-150ml。

2.3 天平：感量不大于 0.1mg。

2.4 其它：干燥器、坩埚钳、烘箱等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

将蒸发皿洗净、烘干后，置于已加热至恒温 $600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 的高温炉中煅烧至恒重（连续称量两次的差数不大于 0.5mg）为止。

3.2 试验步骤

3.2.1 按本规程 T0602 准备沥青试样，注入蒸发皿内 3g(2-5g)样品（必要时可将样品做脱水处理），准确至 0.1mg。

注：测试样品为天然沥青时，如果沥青能够破碎，则至少取 500g 样品破碎使其通过 4mm 筛；如果不能破碎，加热至软化点以上 80°C - 90°C ，充分搅拌使固体颗粒均匀，取代表性样品进行试验。样品质量按照试验测试完成所得灰分为 0.1mg-0.35mg 来确定。

3.2.2 将盛有试样的蒸发皿置于高温炉中，逐渐提高温度，但注意升温不可过快，以防试样溅溢损失。使蒸发皿中试样的挥发物全部挥发，仅剩下炭状残留物后，再将高温炉升至 $600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ，煅烧 2h。如煅烧后仍有黑色颗粒再继续煅烧，至残留物无黑色为止。

3.2.3 取出蒸发皿，置空气中冷却 5min，然后置于干燥器中冷却至室温后称其质量，准确至 0.1mg。

3.2.4 重复进行煅烧，每次 $25\text{min} \pm 5\text{min}$ ，直至冷却后连续称量两次的差数不大于 0.5mg 为止。

注：测试样品为天然沥青时，先低温加热至无烟雾，然后加热至 $600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ，至无碳后冷却；然后再加热至 $600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ ，加热 $25\text{min} \pm 5\text{min}$ 。重复加热，直至恒重。

4 计算

沥青试样的灰分含量按式(T 0614—1)计算。

$$P_a = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \times 100 \quad (\text{T 0614—1})$$

式中： P_a ——灰分含量，%；

m ——蒸发皿质量，g；

m_1 ——蒸发皿与试样合计质量，g；

m_2 ——蒸发皿与灰分合计质量，g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，两次平行试验结果的差值不大于 0.03%时，取平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为 0.03%；再现性试验的允许误差为 0.05%。

条文说明

本试验说明了灰分试验的适用范围。~~仍保留 2000 年试验规程中的方法，基本上没有改动。考虑到现在有的沥青材料需要作灰分含量，所以扩大了适用范围。对高温炉原方法要求温度是 950°C ，由于试验是在控制温度 $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 煅烧，所以本次修订要求高温炉的控制温度为 $900^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。在重复煅烧时，要求连续称量两次的差数不大于 0.3mg。~~

我国灰分试验原试验温度过高，本次修订参考 EN 12697-47 调整试验温度为 $600^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ 。原方法测试石油沥青及天然沥青灰分为同样试验步骤，并不合理。本次修订完善了天然沥青灰分试验的的取样方法及煅烧过程。在重复煅烧时，要求连续称量两次的差数不大于 0.5mg。AASHTO T 111 沥青材料无机物或灰分含量测定方法为用一坩埚内盛 3g~5g 试样加热至燃烧，后用碳酸胺饱和溶液中和的燃烧法(与本规程 T 0722 类似)。本规程仍采用高温炉方法，二者略有不同。

T 0615—201X 沥青蜡含量试验（蒸馏法）

1 目的与适用范围

本方法适用于裂解蒸馏法测定道路石油沥青中的蜡含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 蒸馏烧瓶：形状及尺寸如图 T 0615-1，采用耐热玻璃制成。

2.2 自动制冷装置，冷浴槽可容纳三套蜡冷却过滤装置，冷却温度能达到 -30°C ，并且能控制在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。冷却液介质可采用工业酒精或乙二醇的水溶液等。

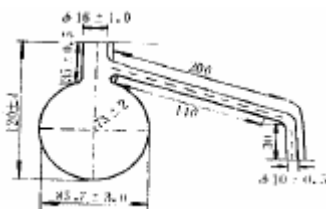


图 T 0615-1 蒸馏烧瓶（单位:mm）

2.3 蜡冷却过滤装置：由砂芯过滤漏斗、吸滤瓶、试样冷却筒、柱杆塞等组成，形状及尺寸如图 T 0615-2 所示，砂芯过滤漏斗(P16)的孔径系数为 $10\mu\text{m}\sim 16\mu\text{m}$ 。

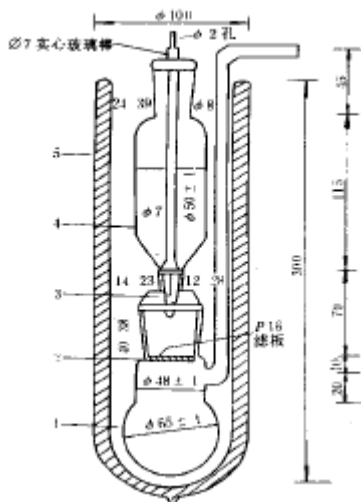
2.4 蜡过滤瓶：类似锥形瓶，有一个分支，能够进行真空抽吸的玻璃瓶（图 T 0615-3）。

2.5 立式可调高温炉：恒温 $550^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的要求。

2.6 分析天平：感量 0.1mg 及不大于 0.1g 各一台。

2.7 温度计： $-30^{\circ}\text{C}\sim +60^{\circ}\text{C}$ ，分度为 0.5°C 。

2.8 锥形烧瓶：150mL 或 250mL 数个。



1-吸滤瓶; 2-砂芯过滤漏斗; 3-柱杆塞; 4-试样冷却筒; 5-冷浴槽

2.9 玻璃漏斗: 直径 40mm。

2.10 真空泵, 抽吸速率 $\geq 1\text{L/s}$ 。

2.11 无水乙醚、无水乙醇, 分析纯。

2.12 石油醚 ($60^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$): 分析纯。 化学纯

2.13 工业酒精。

2.14 干燥器。

2.15 烘箱: 控制温度 $100^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2.16 其它: 电热套、量筒、烧杯、冷凝管、蒸馏水、燃气灯等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将蒸馏烧瓶洗净、烘干后称其质量, 准确至 0.1g, 然后置干燥箱中备用。

3.1.2 将 150mL 或 250mL 锥形瓶洗净、烘干、编号后称其质量, 准确至 0.1mg, 然后置干燥器中备用。

3.1.3 将冷却装置各部洗净、干燥, 其中砂芯过滤漏斗用洗液浸泡后蒸馏水冲洗干净, 然后烘干备用。

3.1.4 按本规程 T 0602 方法准备沥青试样。

3.1.5 将高温炉预加热并控制炉内恒温 $550^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.6 在烧杯内备好碎冰水。

3.2 试验步骤

3.2.1 向蒸馏烧瓶中装入沥青试样 (m_b) 约 $50\text{g}\pm 1\text{g}$, 准确至 0.1g。用软木塞盖严蒸馏瓶。用已知重量的锥形瓶作接受器, 浸在装有碎冰的烧杯中。

3.2.2 将盛有试样的蒸馏瓶置已恒温 $550^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的高温电炉中, 蒸馏瓶支管与置于冰水中的锥形瓶连接。随后蒸馏瓶底将渐渐烧红。

如用燃气灯时, 应调节火焰高度将蒸馏瓶周围包住。

3.2.3 调节加热强度(即调节蒸馏瓶至高温炉间距离或燃气灯火焰大小), 从加热开始起 5min~8min 内开始初馏(支管端口流出第一滴馏分)。然后以每秒两滴 ($4\text{mL/min}\sim 5\text{mL/min}$) 的流出速度继续蒸馏至无馏分油, 最后 1min 将瓶底烧红, 瓶内蒸馏残留物完全形成焦炭为止。全部蒸馏过程必须在 25min 内完成。蒸馏完后支管中残留的馏分不应流入接受器中。

3.2.4 将盛有馏分油的锥形瓶, 从冰水中取出, 拭干瓶外水分, 置室温下冷却称其质量, 得

到馏分油总质量(m_1), 准确至 0.05g。

3.2.5 将盛有馏分油的锥形瓶盖上盖, 稍加热熔化, 并摇晃锥形瓶使试样均匀。加热时温度不要太高, 避免有蒸发损失。然后, 将熔化的馏分油注入另一已知质量的锥形瓶(250mL)中, 称取用于脱蜡的馏分油质量 1g~3g (m_2), 准确至 0.1mg。估计蜡含量高的试样馏分油数量宜少取, 反之需多取, 使其冷冻过滤后能得到 0.05g~0.1g 蜡, 但取样量不得超过 10g。

3.2.6 准备好符合控温精度的自动制冷装置, 向冷浴中注入适量的冷液(工业酒精), 其液面比试样冷却筒内液面(无水乙醚—乙醇)高约 100mm 以上, 设定制冷温度, 使其冷浴温度保持在使之保持温度 $-20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。把温度计浸没在冷浴 150mm 深处。

3.2.7 将吸滤瓶、玻璃过滤漏斗、试样冷却筒和柱杆塞组成冷冻过滤组件按图 T0615-2 所示组装好。

3.2.8 将盛有馏分油的锥形瓶注入 10mL 无水乙醚, 使其充分溶解, 然后注入试样冷却筒中, 再用 15mL 无水乙醚分两次清洗盛油的锥形瓶, 并将清洗液倒入试样冷却筒中。再将 25mL 无水乙醇注入试样冷却筒内与无水乙醚充分混合均匀。

3.2.9 将冷冻过滤组件放入已经预冷的冷浴中, 冷却 1h, 使蜡充分结晶。在带有磨口塞的试管中装入 30mL 无水乙醚—无水乙醇体积比(1:1)混合液(作洗液用), 并放入冷浴中冷却至 $-20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 恒冷 15min 以后再使用。

3.2.10 当试样冷却筒中溶液冷却结晶后, 拔起柱杆塞, 过滤结晶析出的蜡, 并将柱杆塞用适当方法或吊在试样冷却筒中, 保持自然过滤 30min。

3.2.11 当砂芯过滤漏斗内看不到液体时, 启动真空泵, 使滤液的过滤速度为每秒 1 滴左右, 抽滤至无液体滴落。再将已冷却的无水乙醚—无水乙醇(1:1)混合液一次加入 30mL, 洗涤蜡层、柱杆塞及试样冷却筒内壁。继续过滤, 当溶剂在蜡层上看不见时, 继续抽滤 5min, 将蜡中的溶剂抽干。

3.2.12 从冷浴中取出冷冻过滤组件, 取下吸滤瓶, 将其中溶液倾入一回收瓶中。吸滤瓶也用无水乙醚—无水乙醇混合液冲洗 3 次, 每次用 10mL~15mL, 洗液并入回收瓶中。

3.2.13 将冷冻过滤组件(不包括吸滤瓶)装在蜡过滤瓶上, 用 30mL 已预热至 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 的石油醚将砂芯过滤漏斗、试样冷却筒和柱杆塞的蜡溶解, 然后拔起柱杆塞, 待漏斗中无溶液后, 再用热石油醚溶解漏斗中的蜡两次, 每次用量 35mL, 然后立即用真空泵吸滤, 至无液滴落。

3.2.14 将回收瓶中蜡溶液倾入已称质量的锥形瓶中, 并用常温石油醚分 3 次清洗回收瓶, 每次用量约 5mL~10mL。洗液倒入锥形瓶的蜡溶液中。

3.2.15 将盛有蜡溶液的锥形瓶放在适宜的热源(或者回馏装置)上蒸馏到石油醚蒸发净尽。然后将锥形瓶置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中除去石油醚, 然后放入真空干燥箱($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 、残压 21kPa~35kPa)中 1h, 再置干燥器中冷却 1.5h~2h 后称其质量, 得到析出蜡的质量 m_w , 准确至

0.1mg。

3.2.16 同一沥青试样蒸馏后，应从馏分油中取 2 个以上试样进行平行试验。当取 2 个试样试验的结果超出重复性试验允许误差要求时，需追加试验。当为仲裁性试验时，平行试验数应为 3 个。

4 计算

4.1 沥青试样的蜡含量按式(T 0615-1)计算。

$$P_p = \frac{m_1 \times m_w}{m_b \times m_2} \times 100 \quad (\text{T 0615-1})$$

式中：P_p ——蜡含量，%；

m_b ——沥青试样质量，g；

m₁ ——馏分油总质量，g；

m₂ ——用于测定蜡的馏分油质量，g；

m_w ——析出蜡的质量，g。

4.2 所进行的平行试验结果的最大值与最小值之差符合重复性试验误差要求时，取其平均值作为蜡含量结果，准确至一位小数(%)。当超过重复性试验误差时，以分离得到的蜡的质量(g)为横轴，蜡的质量百分率为纵轴，按直线关系回归求出蜡的质量为 0.075g 时的蜡的质量百分率，作为蜡含量结果，准确至一位小数(%)。

注：关系直线的方向系数应为正值，否则应重新试验。

5 允许误差

蜡含量测定时重复性或再现性试验的允许误差应符合下列要求：

蜡含量(%) 重复性(%) 再现性(%)

0.0~1.0 0.1 0.3

1.0~3.0 0.3 0.5

>3.0 0.5 1.0

条文说明

沥青的蜡含量是沥青技术要求中比较重要的指标，试验误差也比较大，这与人的操作熟练程度等有关。本次修订尽量与国标的方法一致，去掉了原方法中蜡分离方法二，这是由于在 2000 年修订时新的蜡分离的冷却装置不过关，为了过渡保留了 1983 年的过滤方法，但是这种方法温度不容易控制，过滤过程中需要用干冰等方法控温。

对原方法中的再现性允许误差太宽，本次参照国标规定统一了允许误差。在条文说明增加了新的补充说明，并介绍了各国蜡含量测定方法。

石油沥青中的蜡含量测定是个比较复杂的问题，它是以蒸馏法馏出油分后，在规定的溶剂及低温下结晶析

出的蜡含量，以质量%表示。目前关于沥青中蜡含量测定方法很多，欧洲就有很多种，如：德国 DIN-52015 蒸馏方法、法国 NF-T66、IR method、Iatroscan method(与 DIN 52015 方法结果具有较好的相关性)等。

1999 年欧洲颁布的 EN 12591 (1999) “Bitumen and bituminous binders - Specifications for paving grade bitumens” 提出了 2 种蜡含量测定方法，即蒸馏法 EN 12606-1 和萃取法 EN 12606-2，其中 EN 12606-1 方法是在 1980 年 DIN-52015 方法来的，现在德国废除了 DIN-52015 (1980)，也采用了 EN 12606-1 蒸馏法。而 EN 12606-1 方法中过滤馏分油中蜡的分离不是采用砂芯漏斗，而是采用的滤纸，根据其试验方法要求采用 $\Phi 110\text{mm}$ 的靠近中速或者中-快速的定量分析滤纸，这与 DIN 的规定是一样的。查看欧洲最著名的 Munktell 和 Sartorius 实验室定量分析滤纸规格，Munktell 中-快速滤纸孔径一般为 $8\sim 10\mu\text{m}$ ，中速滤纸孔径为 $7\mu\text{m}$ ；而 Sartorius 中-快速孔径为 $8\sim 12\mu\text{m}$ 。因此可以看出，欧洲方法滤馏分油中蜡的分离采用过滤的滤纸孔径约为 $7\sim 12\mu\text{m}$ 。

我国在 1993 年和 2000 年的“沥青及沥青混合料试验规程”(JTJ052-2000)蜡含量测定方法也采用蒸馏法，基本上是参照中石化 SH/T 0425 行业标准制定的。而 SH/T 0425 又主要是参照日本石油协会 JPI 方法及德国 DIN-52015 中的蒸馏法经修订制成的。但是本次修订发现 JTJ052-2000 方法与 SH/T 0425 方法中对砂芯漏斗规定不同，JTJ052-2000 中规定砂芯漏斗是采用国际标准 P16 规格 ($7\sim 16\mu\text{m}$) 中的 $10\sim 16\mu\text{m}$ ，而 SH/T 0425 方法中要求采用 $20\sim 30\mu\text{m}$ ，即属于 P30 规格 (孔径 $16\sim 30\mu\text{m}$)。现在无法找到 SH/T 0425 方法差异的原因，日本石油协会 JPI 方法也根本没有砂芯漏斗孔径为 $16\sim 30\mu\text{m}$ 的标准，而 DIN-52015 和欧洲 EN 12606-1 又是采用滤纸。但是无论是滤纸还是砂芯漏斗，其过滤原理是一样的，即滤纸/砂芯漏斗的过滤孔径应小于沉淀粒度，即对于同一孔径的滤纸或砂芯漏斗，其只能对大于其孔径的颗粒进行截留、沉淀，因此过滤的效果也应该是一致的，如上所述，EN 12606-1 滤纸孔径约 $7\sim 12\mu\text{m}$ ，对应的砂芯漏斗孔径也应该是 $7\sim 12\mu\text{m}$ ，与国际标准 P16 规格的砂芯漏斗 $7\sim 16\mu\text{m}$ 基本对应，但是这与 SH/T 0425 的砂芯漏斗孔径 $20\sim 30\mu\text{m}$ 相差太大。砂芯漏斗的孔径对含蜡量测定结果有一定的影响，砂芯漏斗的孔径越小，其蜡沉淀物相应会增加，其含蜡量结果偏高，反之则含蜡量结果偏低。考虑到试验方法的变化会影响试验结果，且 JTJ052-2000 方法已经被广泛应用于道路石油沥青的检测，相应技术指标值的制定也都是基于 JTJ052-2000 的方法，而且本试验方法的砂芯漏斗孔径与欧洲滤纸孔径基本一样，因此对砂芯漏斗的孔径仍然保留 JTJ052-2000 的尺寸。

喷灯法更为准确，平行误差小，应用于仲裁试验。

T 0616—1993 沥青与粗集料的黏附性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于检验沥青与粗集料表面的黏附性及评定粗集料的抗水剥离能力。对于最大粒径大于 13.2mm 的集料应用水煮法，对最大粒径小于或等于 13.2mm 的集料应用水浸法进行试验。对同一种料源集料最大粒径既有大于又有小于 13.2mm 不同的集料时，取大于 13.2mm 水煮法试验为标准，对细粒式沥青混合料应以水浸法试验为标准。

2 仪器与材料技术要求

2.1 天平：称量 500g ，感量不大于 0.01g 。

- 2.2 恒温水槽：能保持温度 $80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 2.3 拌和用小型容器：500mL。
- 2.4 烧杯：1000mL。
- 2.5 试验架。
- 2.6 细线：尼龙线或棉线、铜丝线。
- 2.7 铁丝网。
- 2.8 标准筛：9.5mm、13.2mm、19mm 各 1 个。
- 2.9 烘箱：装有自动温度调节器。
- 2.10 电炉、燃气炉。
- 2.11 玻璃板：200mm×200mm 左右。
- 2.12 搪瓷盘：300mm×400mm 左右。
- 2.13 其它：拌和铲、石棉网、纱布、手套等。

3 水煮法试验

3.1 准备工作

3.1.1 将集料过 13.2mm、19mm 的筛，取粒径 13.2mm~19mm 形状接近立方体的规则集料 5 个，用洁净水洗净，置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干，然后放在干燥器中备用。

3.1.2 将大烧杯中盛水，并置加热炉的石棉网上煮沸。

3.2 试验步骤

3.2.1 将集料逐个用细线在中部系牢，再置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱内 1h。按本规程 T 0602 的方法准备沥青试样。

3.2.2 逐个取出加热的矿料颗粒用线提起，浸入预先加热的沥青（石油沥青 $130^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ ）中 45s 后，轻轻拿出，使集料颗粒完全为沥青膜所裹覆。

3.2.3 将裹覆沥青的集料颗粒悬挂于试验架上，下面垫一张纸，使多余的沥青流掉，并在室温下冷却 15min。

3.2.4 待集料颗粒冷却后，逐个用线提起，浸入盛有煮沸水的大烧杯中央，调整加热炉，使烧杯中的水保持微沸状态，如图 T 0616c) 和 b)，但不允许有沸开的泡沫，如图 T 0616a)。

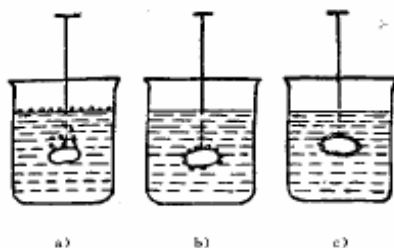


图 T 0616 水煮法试验

3.2.5 浸煮 3min 后，将集料从水中取出，适当冷却。然后放入一个盛有常温水的纸杯等容器中，在水中观察矿料颗粒上沥青膜的剥落程度，并按表 T0616—1 评定其黏附性等级。

3.2.6 同一试样应平行试验 5 个集料颗粒，并由两名以上经验丰富的试验人员分别评定后，取平均等级作为试验结果。

4 水浸法试验

4.1 准备工作

4.1.1 将集料过 9.5mm、13.2mm 筛，取粒径 9.5mm~13.2mm 形状规则的集料 200g 用洁净水洗净，并置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干，然后放在干燥器中备用。

4.1.2 按本规程 T 0602 准备沥青试样，加热至按 T 0702 的要求决定的拌和温度。

4.1.3 将煮沸过的热水注入恒温水槽中，并维持温度 $80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

表 T0616—1 沥青与集料的黏附性等级

试验后集料表面上沥青膜剥落情况	黏附性等级
沥青膜完全保存，剥离面积百分率接近于 0	5
沥青膜少部为水所移动，厚度不均匀，剥离面积百分率少于 10%	4
沥青膜局部明显地为水所移动，基本保留在集料表面上，剥离面积百分率少于 30%	3
沥青膜大部为水所移动，局部保留在集料表面上，剥离面积百分率大于 30%	2
沥青膜完全为水所移动，集料基本裸露，沥青全浮于水面上	1

4.2 试验步骤

4.2.1 按四分法称取集料颗粒 (9.5mm~13.2mm) 100g 置搪瓷盘中，连同搪瓷盘一起放入已升温至沥青拌和温度以上 5°C 的烘箱中持续加热 1h。

4.2.2 按每 100g 集料加入沥青 $5.5\text{g} \pm 0.2\text{g}$ 的比例称取沥青，准确至 0.1g，放入小型拌和容器中，一起置入同一烘箱中加热 15min。

4.2.3 将搪瓷盘中的集料倒入拌和容器的沥青中后，从烘箱中取出拌和容器，立即用金属铲均匀拌和 1min~1.5min，使集料完全被沥青薄膜裹覆。然后，立即将裹有沥青的集料取 20 个，

用小铲移至玻璃板上摊开，并置室温下冷却 1h。

4.2.4 将放有集料的玻璃板浸入温度为 $80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中，保持 30min，并将剥离及浮于水面的沥青，用纸片捞出。

4.2.5 由水中小心取出玻璃板，浸入水槽内的冷水中，仔细观察裹覆集料的沥青薄膜的剥落情况。由两名以上经验丰富的试验人员分别目测，评定剥离面积的百分率，评定后取平均值表示。

注：为使估计的剥离面积百分率较为正确，宜先制取若干个不同剥离率的样本，用比照法目测评定，不同剥离率的样本，可用加不同比例抗剥离剂的改性沥青与酸性集料拌和后浸水得到，也可由同一种沥青与不同集料品种拌和后浸水得到，样本的剥离面积百分率逐个仔细计算得出。

4.2.6 由剥离面积百分率按表 T 0616—1 评定沥青与集料黏附性的等级。

5 报告

试验结果应报告采用的方法及集料粒径。

条文说明

本方法原名“沥青与矿料的黏附性试验”，1983 年试验规程(沥 121—83)称为“沥青的黏结力试验”，更确切地说它是用来检验粗集料表面被沥青薄膜裹覆后，抵抗受水浸蚀造成剥落的能力，称为“沥青与粗集料的黏附性试验”比较确切。

在国外，沥青与粗集料的黏附性试验方法很多，如前苏联原用水煮法，近年来改用与白云石黏结法。其它国家多用浸水法，但水的温度及浸水时间各有不同。

在 ASTM 中有两个方法检验水对沥青与集料黏附性的影响。D3625 是水煮法，D1664 是水浸法(常温)。ASTM D 3625 在 1995 年以前称为“Standard Test Method for Effect of Water on Bituminous coated Aggregate using Boiling Water”，1996 年改为“Standard Practice for……”。将“试验方法”改为“实施步骤”是因为不再要求试验报告由目测得到的保留裹覆沥青的百分率，明显是由于目测估计的准确性较差的缘故。因此在 AASHTO 试验方法中没有水蒸法，但保留了水浸法(T182，与 ASTM D 1664 同)，用 100g 6.3~9.5mm 集料拌和 5.5g 沥青后，在 25°C 水中浸泡 16h~18h，用 75W 灯泡照射观察沥青膜剥落程度，要求保留面积不小于 95%。另外，AASHTO 特别重视沥青混合料的水损害试验方法，规定了用浸水或冻融前后的抗压强度(T 165)、劈裂强度(T 283)的比值来表征水稳定性。尤其是 AASHTO T 283 已成为标准的水损害评价方法(见本规程 T 0729 条文说明)，根据我国长期实践，水煮法时间短，沥青膜剥落情况直观明显，但缺乏定量指标，评定等级的人为因素影响较大。考虑到国际上也通用水浸法，故本试验法除保持 1983 年试验规程的水煮法(适用于大于 13.2mm 的粗集料)，还参考日本道路协会铺装试验法便览 3-4-16 “粗集料抗水剥离性能试验方法”，增补了水浸法(适用于小于 13.2mm 的粗集料)，因水温较高及浸水时间较少，便于使用及观察沥青薄膜剥落情况。对同一料源有大于 13.2mm 及小于 13.2mm 不同粒径的集料时，本方法规定以大于 13.2mm 的水煮法试验为标准。对细粒式沥青混合料则以水浸法为标准。1983 年规程中有干燥集料及潮湿集料两种情况的水煮法，由于热拌沥青混合料实际上不存在集料潮湿的情况，而乳化沥青另有方法评定，故本方法规定只用干燥集料试验。

近年来，一些学者对本方法提出了许多不同意见，指出过分依赖于本方法确定的黏附性等级，忽视沥青混

合料水损害试验方法是危险的，生产单位应予重视。由于沥青与粗集料黏附性试验的局限性，它主要用于确定粗集料的适用性。对沥青混合料的综合抗水损害能力必须通过浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验等进行检验。

本方法中水浸法所用仪具及材料均参照日本道路协会铺装试验法便览 3-4-16 的方法编写。考虑到剥离面积的目测不可能太准，故评定等级的标准不采用剥离面积百分率，仍统一以等级表示。同样为适用于水浸法试验将原集料裸露的提法改为剥离面积百分率(或剥离度)，更为确切。

沥青与矿料的黏附性的等级评定往往因人而异。为弥补这一缺点，本方法规定以两名以上经验丰富的试验人员分别目测后取平均值表示。

T 0617—2011 沥青化学组分试验(三组分法)

1 目的与适用范围

本方法适用于抽提法进行道路石油沥青的三组分成分分析。

2 仪具与材料技术要求

2.1 锥形瓶：200mL，带磨口玻璃塞。

2.2 冷凝管：直形或弯形。

2.3 烧杯：250mL、1000mL。

2.4 漏斗：直径约 9 cm。

2.5 脂肪抽提器：500mL，形状如图 T 0617-1 所示。

2.6 玻璃漏斗：直径约 4 cm，编号 G3 或 G4。

2.7 吸滤瓶：500mL。

2.8 定性滤纸：大张。

2.9 定量滤纸：直径约 12 cm。

2.10 冷冻机或冷却过滤装置：冷却过滤装置如图 T 0617-2 所示。

2.11 保温瓶(桶)。

2.12 真空泵或水流泵。

2.13 砂浴或附有温度调节器的电炉。

2.14 分析天平：感量 0.1mg。

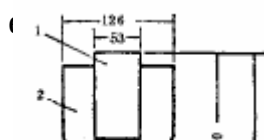
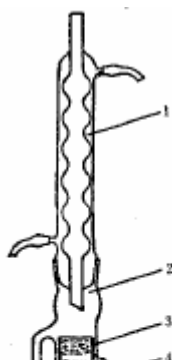


图 T 0617-1 脂肪抽提器图

1-冷凝管；2-脂肪抽提器；3-滤纸筒；
4-试样及硅胶；5-脱脂棉；6-烧瓶；7-砂浴

图 T 0617-2 冷却过滤装置(单位:mm)

1-玻璃漏斗；2-玻璃外套；3-橡胶垫圈；
4-玻璃磨塞；5-吸滤瓶

2.15 正庚烷、苯、无水乙醇、甲基乙基酮(丁酮)：分析纯。

2.16 硅胶：微球形、粒度 0.35mm~0.125mm、孔径大于 8nm。

2.17 工业酒精及干冰。

2.18 其它：烘箱、干燥器、洗液、蒸馏水、脱脂棉、牛角勺、吸液管、表皿、玻璃棒、搪瓷盘、广口瓶等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按 T 0602 的方法准备沥青试样。

3.1.2 将锥形瓶、烧杯、漏斗等用洗液、水及蒸馏水先后洗净，并置温度为 $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干。

3.1.3 将烘干的锥形瓶冷却后编号，并置干燥器中备用。

3.2 沥青质含量测定步骤

3.2.1 将锥形瓶洗净、烘干，称取质量 m_1 ，用其称取约 1g 沥青试样(m)，准确至 0.1mg。

3.2.2 将盛有试样的锥形瓶，置砂浴或电炉上微热，使沥青熔化，在瓶底上均匀分布成一薄层。注入正庚烷 30mL(液体沥青)或 40mL(黏稠沥青)，装妥冷凝器，接通冷却水，置砂浴或砂盘(电炉)上，使溶剂煮沸回流 0.5h~1h，将试样充分溶解。

3.2.3 使正庚烷溶液稍冷却，取下锥形瓶，用玻璃塞塞妥，并静置于暗橱中过夜，使沥青质充分沉淀。

3.2.4 次日，不经搅动将正庚烷溶液过滤至一干净的烧杯中。锥形瓶内的残留物及滤纸，用少量热正庚烷洗涤 2 次~3 次，最后用吸液管沿滤纸周边反复用正庚烷冲洗，直至滤纸及滤液无色为止。烧杯中的滤液，用表面皿盖妥，留待测定胶质及油蜡含量之用。

3.2.5 滤纸上的残留物用热苯使之溶解至原锥形瓶(m_1)中,并用热苯洗涤滤纸,至滤液无色为止。

3.2.6 将锥形瓶中苯溶剂回收后,置烘箱($110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)中烘至恒重(m_2),准确至 0.1mg。

3.3 胶质含量测定步骤

3.3.1 活化硅胶:将硅胶置于一大烧杯中,加蒸馏水煮沸 30min。注意煮沸时要用玻璃棒勤加搅拌,以防迸溅。静置冷却后,倾析出上面清水,再用蒸馏水洗涤 1 次~2 次。然后,将硅胶倒入一搪瓷盘中,置烘箱($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)中烘干后,再将烘箱温度继续升高至 150°C ,并保持 5h。取出搪瓷盘,在室温下冷却后,再将硅胶贮存在一带塞的广口瓶中备用。

3.3.2 卷制滤纸筒:当缺乏专用的滤纸筒时,将大张滤纸裁成 $18\text{cm} \times 40\text{cm}$ 大小后,将滤纸放在一直径约 4cm 的玻璃管上,卷成一直径 4cm、长 14cm 带底的滤纸筒。注意,随卷纸,随逐渐把底边折好。纸筒卷成后,用大头针将底别好,并用棉线把筒的上口系牢。

3.3.3 将活化后的硅胶,逐步加入到盛有脱除沥青质的正庚烷溶液的烧杯中,并不停地用玻璃棒搅拌。硅胶的用量决定于沥青的种类,加入硅胶后,上层正庚烷溶液需呈浅黄色为度,一般用量为试样的 30 倍~50 倍。硅胶加完后,用表面皿盖好,并静置 6h~8 h。

注:如无 0.35mm~0.125mm 硅胶时,也可使用粒度 0.15mm~0.105mm(100 目~140 目)的柱用层析硅胶,但用量须酌情增加。

3.3.4 在滤纸筒的底部,先铺一薄层脱脂棉后,再用牛角勺将烧杯内吸附有溶液的硅胶装(压)入滤纸筒中,并用一端裹有脱脂棉的玻璃棒仔细将烧杯内部及牛角勺擦净。擦净用的脱脂棉一并装入滤纸筒内。最后,在硅胶上面再用一薄层脱脂棉覆盖。

3.3.5 抽提油蜡:将装好硅胶的滤纸筒放入脂肪抽提筒内,再将正庚烷 200mL 注入烧瓶中,然后装妥冷凝器,置砂浴或电炉的砂盘上加热回流,并保持冷凝管端 2 滴/s~3 滴/s 速度,抽提时间一般不少于 16 h。抽提结束后,待稍冷却,取下烧瓶,将正庚烷溶液用滤纸过滤至一已称质量的锥形瓶(m_3)中,以除去可能带入的硅胶粉末。烧瓶及滤纸用少量正庚烷洗涤 2 次~3 次,洗液一并装入锥形瓶内。此项正庚烷溶液留待测定油蜡含量之用。

3.3.6 抽提胶质:将苯与乙醇的混合液(体积比 4:1)200mL 注入烧瓶中,装妥抽提筒及冷凝器,继续在砂浴(砂盘)上加热,并保持冷凝管端口每秒滴 2 滴~3 滴的速度,抽提时间一般不少于 20h。

抽提结束后,稍冷取下烧瓶,并将瓶中苯—乙醇混合溶液用滤纸过滤至另一已称质量的锥形瓶(m_4)中,以除去可能带入的硅胶粉末。烧瓶及滤纸再用少量苯—乙醇混合液洗涤 2 次~3 次,洗液一并装入锥形瓶内。

3.3.7 将盛有苯—乙醇滤液的锥形瓶回收苯—乙醇混合液后,置 $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至恒质量(m_5),准确至 0.1mg。

3.4 油分与蜡含量测定步骤

3.4.1 将玻璃漏斗、吸滤瓶、甲乙酮(丁酮)—苯混合液(体积比 3:2)等置预先冷却至-20℃的冷冻机内冷却。如采用图 T 0617-2 的冷却过滤装置时, 可仅将甲乙酮—苯混合液, 置盛于酒精—干冰的保温瓶内冷却至-20℃。

3.4.2 将盛有正庚烷溶液的锥形瓶(m_3)回收正庚烷后, 置 105℃±5℃的烘箱内烘至恒质量(m_6), 准确至 0.1mg。

3.4.3 将盛有烘干油蜡的锥形瓶置砂浴上微热, 使油蜡熔化, 并注入苯 12mL, 然后在不断摇动下逐渐注入甲乙酮 18mL。如在注入甲乙酮后, 有絮状结晶析出, 则应将锥形瓶再置砂浴上小心地加热(不允许明火)至接近混合液的沸点, 同时不断摇动, 至溶液完全透明为止(如有地蜡, 溶液可有轻微乳浊)。

3.4.4 使盛有混合液的锥形瓶冷却至室温后, 置预先冷却的冷冻机或盛有酒精—干冰的保温瓶内, 使混合液冷却至-20℃, 并继续保持 30min。

3.4.5 在冷冻机内, 将混合液倾至装在吸滤瓶上、并已冷却至-20℃的玻璃漏斗中, 用真空泵或流水泵抽滤。再用少量预先冷却至-20℃的甲乙酮—苯混合液洗涤圆锥形瓶及漏斗 2 次~3 次。

在使用图 T 0617-2 所示的冷却过滤装置时, 先在玻璃外套中注入工业酒精至容积的 2/3 处, 并在酒精中悬挂一负温度计。将干冰逐渐加入酒精中, 使温度下降至-20℃, 并保持此温度。然后, 将预先在保温瓶内冷却并保温为-20℃的混合液倾入玻璃漏斗中, 用真空泵或流水泵吸滤。溶液吸滤将尽时, 用预先冷却至-20℃的甲乙酮—苯混合液洗涤原锥形瓶及漏斗 2 次~3 次。

3.4.6 吸滤结束后, 将吸滤瓶内的滤液倾入一已称质量的锥形瓶(m_7)中, 并用少量甲乙酮—苯洗涤吸滤瓶 2 次~3 次, 洗液一并装入锥形瓶内。

3.4.7 玻璃漏斗上的蜡, 用热苯溶解, 并用真空泵或流水泵吸滤。然后, 用少量热苯再洗涤玻璃漏斗 2 次~3 次。吸滤后, 将吸滤瓶内的苯溶液倾入原冷冻油蜡的锥形瓶(m_3)内。

3.4.8 将盛有甲乙酮—苯溶液(m_7)及苯溶液(m_3)的锥形瓶分别回收溶剂后, 置烘箱 105℃±5℃中烘至恒重(m_9 、 m_8), 准确至 0.1mg。

4 计算

4.1 试样中沥青质的含量按式(T 0617-1)计算。

$$A_s = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{T 0617-1})$$

式中: A_s ——沥青质含量, %;

m ——试样质量, g;

m_1 ——锥形瓶质量, g;

m_2 ——锥形瓶与沥青质合计质量，g。

4.2 试样的胶质含量按式(T 0617-2)计算。

$$R = \frac{m_5 - m_4}{m} \times 100 \quad (\text{T 0617-2})$$

式中：R——试样中胶质含量，%；

m ——试样质量，g；

m_4 ——锥形瓶质量，g；

m_5 ——锥形瓶与胶质合计质量，g。

4.3 试样的油分及蜡含量按式(T 0617-3)、(T 0617-4)、(T 0617-5)分别进行计算。

$$P_{OP} = \frac{m_6 - m_3}{m} \times 100 \quad (\text{T 0617-3})$$

$$P_0 = \frac{m_9 - m_7}{m} \times 100 \quad (\text{T 0617-4})$$

$$P_P = \frac{m_8 - m_3}{m} \times 100 \quad (\text{T 0617-5})$$

式中： P_{OP} ——试样的油蜡含量，%；

P_0 ——试样的油分含量，%；

P_P ——试样的蜡含量，%；

m_3 ——锥形瓶质量，g；

m_7 ——锥形瓶质量，g；

m_6 ——锥形瓶与油蜡合计质量，g；

m_8 ——锥形瓶与蜡含量合计质量，g；

m_9 ——锥形瓶与油分含量合计质量，g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，当两次平行试验结果与其平均值的误差不超过 10%时，取其平均值作为试验结果。

条文说明

本方法仍沿用 1983 年试验规程中的方法(沥 119—83)，即国际上常用的马卡森(Marcusson)法，是一种典型的溶剂吸附法，只是对文字叙述作了少量修改。

T 0618—1993 沥青化学组分试验(四组分法)

1 目的与适用范围

本方法适用于采用溶剂沉淀及色谱柱法进行道路石油沥青的四组分成分分析。

2 仪器与材料技术要求

2.1 沥青质抽提器：由球形冷凝器及 100mL 抽提器组装而成，见图 T 0618-1。

2.2 玻璃吸附柱：外面带夹套，热水循环保温，形状及尺寸如图 T 0618-2。

2.3 真空干燥箱。

2.4 高温炉： $0^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ，有自动温度控制器。

2.5 恒温水槽：控温准确度为 1°C 。

2.6 磨口锥形瓶(200mL~250mL)、磨口冷凝器、磨口弯管、牛角管。

2.7 量筒(20mL、50mL、100mL)。

2.8 氧化铝：层析用、中性，粒度 $0.15\text{mm}\sim 0.075\text{mm}$ (100 目~200 目)，比表面积大于 $150\text{m}^2/\text{g}$ ，孔体积 $250\text{mm}^3/\text{g}$ 。

2.9 石油醚： $60^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，分析纯。

2.10 正庚烷：分析纯。

2.11 甲苯、无水乙醇、丙酮：分析纯。

2.12 硅胶：细孔、粒度 $0.42\text{mm}\sim 0.15\text{mm}$ (40 目~100 目)。

2.13 分析天平：感量不大于 1g、1mg、0.1mg 各一台。

2.14 定量滤纸：中速 $\phi 110\text{mm}\sim 125\text{mm}$ 。

2.15 干燥器。

2.16 电热板(电热套)。

2.17 其它：瓷蒸发皿(300mL)、吸液管、蒸馏水、大细口瓶、玻璃漏斗、漏斗架、二联橡皮球等。

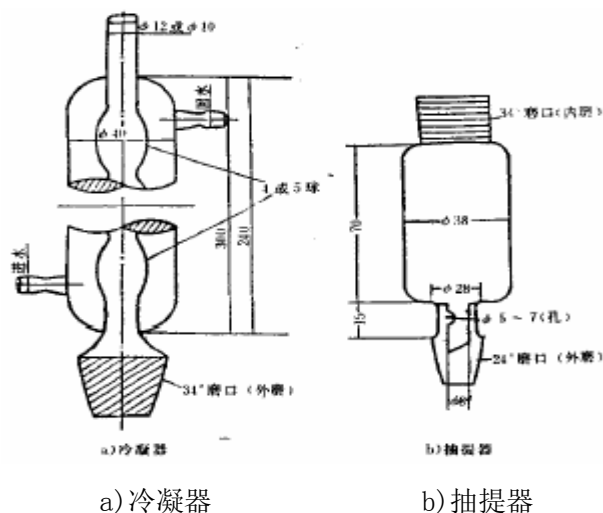


图 T 0618-1 沥青质抽提器(单位:mm)

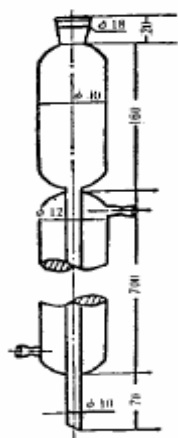


图 T 0618-2 玻璃吸附柱 (单位: mm)

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将沥青质测定器、玻璃吸附柱、锥形瓶等洗净、编号，并置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，称其质量，准确至 0.1mg。

3.1.2 活化氧化铝：将氧化铝倾入瓷蒸发皿，并置于高温炉 (500°C) 中加热 6h。然后，取出瓷蒸发皿置干燥器中，冷却至室温，将氧化铝装入已称质量的细口瓶中，并用吸液管加入氧化铝质量 1% 的蒸馏水，塞紧橡皮塞。剧烈摇动瓶中氧化铝及蒸馏水 5min，放置 24h 备用。活化后的氧化铝一般可使用两周，时间较长或已吸水者，需要重新活化处理。

3.1.3 正庚烷及石油醚脱去芳烃：将 100g 活化后的硅胶置玻璃吸附柱中，使正庚烷或石油醚通过硅胶，即可脱去其中的芳烃。脱去芳烃的正庚烷或石油醚用硫酸—甲醛 (体积比 20:1) 溶液试验，不变红色即可。

3.2 试验步骤

3.2.1 用四组分法分析沥青化学组分的流程如图 T 0618-3 所示，图中溶剂用量为每克试样的用量。

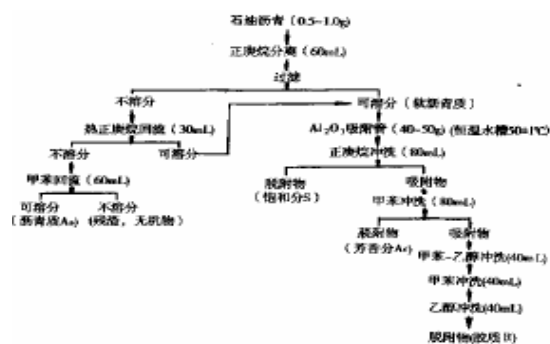


图 T 0618-3 沥青四组分分析流程图

3.2.2 沥青质含量测定

(1) 在已称量为恒质量的磨口锥形瓶(1号)中,称取试样 $1\text{g} \pm 0.1\text{g}$ (对沥青质小于 10%的试样)或 $0.5\text{g} \pm 0.01\text{g}$ (对沥青质大于 10%的试样),准确至 0.1mg。注入正庚烷,用量为每克试样 60mL。将锥形瓶与冷凝器连接好,用电热板或电热套加热回流 0.5h~1h,稍冷却后取下锥形瓶,盖上塞子,在暗处静置 1.5h~2.0h。

(2) 将锥形瓶(1号)中的正庚烷溶液用定量滤纸慢慢地过滤至另一锥形瓶(2号)中,再用热正庚烷(60℃~70℃)30mL 将锥形瓶(1号)中的沥青质残留物分次洗涤,尽可能完全地倒入滤纸中(注意:过滤时不要使沥青质沾到滤纸的上边缘处)。最后若锥形瓶中沾有沥青质洗涤不下时,不再洗涤,锥形瓶(1号)留后备用。

(3) 取出滤纸及残留物,折叠后放入抽提器,装上盛有滤液的锥形瓶(2号),与冷凝器相连接,置于电热板或电热套上回流抽提 1h,冲洗滤纸上的软沥青质部分,至滴下液体无色为止。冷却后取下锥形瓶(2号),抽提器及滤纸保留不动。

(4) 向锥形瓶(1号)中注入 60mL 甲苯,再与沥青质抽提器相接,抽提 1h,至滤纸及滤液无色为止。滤纸上的残留物为无机物与残留碳。

(5) 待锥形瓶(1号)冷却至室温后,回收甲苯溶剂,再置入温度 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、真空度 $93\text{kPa} \pm 1\text{kPa}$ ($700\text{mmHg} \pm 1\text{mmHg}$) 的真空干燥箱中 1h,使甲苯挥发干净,然后取出放入干燥器中,冷却至室温,称其质量(m_1),准确至 0.1mg。

3.2.3 饱和分、芳香分及胶质含量的测定

(1) 回收锥形瓶(2号)中的大部分正庚烷,使溶液浓缩至约 10mL。

注:对沥青质含量小于 10%的样品,也可直接称取 $0.5\text{g} \pm 0.01\text{g}$ 沥青试样,装入锥形瓶中(锥形瓶编号仍为 2号,代替原来 2号瓶),准确至 0.1 mg,加 10mL 正庚烷稀释,但最后得到的是胶质与沥青质的合计质量(m_5)。

(2) 开动超级恒温水槽,使加热的水循环,并控制水温 $50^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。

(3) 在洗净及干燥的玻璃吸附柱下端,塞以少量脱脂棉,并用漏斗从上端装入活化氧化铝

40g~50g(准确至 0.1g)，同时用带橡皮的玻璃棒轻轻敲打，使氧化铝密实。

(4)从玻璃吸附柱上口注入正庚烷 30mL 预湿氧化铝，全部正庚烷倾入氧化铝时，注入锥形瓶(2 号)中试样溶液或正庚烷溶解稀释的沥青试样。用 10mL 正庚烷分 2 次~3 次冲洗(正庚烷用量是后述冲洗饱和分 80mL 正庚烷的一部分)，洗液倒入玻璃吸附柱中。当试样溶液全部进入氧化铝时，再加少量氧化铝(约 0.3g)覆盖在表面。再加一薄层脱脂棉。

(5)在玻璃吸附柱下端，放一量筒，接受一开始流出的纯正庚烷。

(6)按同样步骤，依次注入下列数量的冲洗溶剂(按每克 Al_2O_3 所需的溶剂数量计算总溶剂数量)：

冲洗溶剂	用量(mL/g Al_2O_3)
第一次 正庚烷	80(总量中应扣除已用于冲洗的正庚烷数量)
第二次 甲苯	80
第三次 甲苯—乙醇(体积比 1：1)混合液	40
第四次 甲苯	40
第五次 乙醇	40

注：第一次冲洗可用脱芳烃的石油醚代替正庚烷作饱和分的冲洗剂，但仲裁试验时，必须使用正庚烷。

(7)最初流出的为纯正庚烷 20mL，可作为总正庚烷 80mL 的一部分重复使用。以后，分别换上已编号及恒重过的已称质量的锥形瓶，接受由玻璃吸附柱中流出的溶液。每瓶接受液不宜超过瓶容量的 2/3，以便回收溶剂。

流速可用二联橡皮球加压调节，开始时不宜太快，以保证充分吸附。当吸附柱中沥青组分的黑色带不再下移时，流速可稍加快，整个过程中保持 2mL/min~4mL/min。

当每一种溶剂全部注进氧化铝时，再换加另一种溶剂。在色谱柱中溶剂不同颜色界限到达色谱柱底部时再更换已恒重的接受锥形瓶。(第三次冲洗剂甲苯—乙醇以下可接受于同一瓶中)。

(8)第一次冲洗剂为正庚烷时，流出物为饱和分溶液，无色。第二次冲洗剂为甲苯时，流出物为芳香分溶液，黄至深棕色。冲洗最后三种溶剂时，流出物为胶质溶液(当直接使用沥青试样时，为胶质与沥青质的混合液)，深褐至黑色。如冲洗前两种溶剂时，有黑色溶剂流下，说明试样的氧化铝太少，应加大用量，重新试验。

(9)将冲洗出的各组分，在水槽(95℃~98℃)上回收溶剂。溶剂基本回收后，将盛有各组分的锥形瓶置真空干燥箱在温度 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 、真空度 $93\text{kPa} \pm 1\text{kPa}$ ($700\text{mmHg} \pm 10\text{mmHg}$) 条件下 1h，取出后在干燥器中冷却至室温，称其质量，即为饱和分质量(m_2)、芳香分质量(m_3)、胶质质量(m_4)，准确至 0.1mg。

注：当直接使用沥青试样时，最后回收的应为胶质及沥青质合计质量(m_5)。

3.2.4 若需测定饱和分及芳香分中的蜡含量时，按本规程 T 0417 方法的有关步骤进行。

4 计算

4.1 试样的沥青质含量按式(T 0618-1)计算。

$$A_s = \frac{m_1}{m} \times 100 \quad (\text{T 0618-1})$$

式中： A_s ——试样的沥青质含量， %；

m ——试样质量， g；

m_1 ——试样中沥青质含量， g。

4.2 试样的饱和分、芳香分的含量，分别按式(T 0618-2)、(T 0618-3)计算。

$$S = \frac{m_2}{m} \times 100 \quad (\text{T 0618-2})$$

$$A_r = \frac{m_3}{m} \times 100 \quad (\text{T 0618-3})$$

式中： S ——饱和分含量， %；

A_r ——芳香分含量， %；

m_2 ——试样中饱和分质量， g；

m_3 ——试样中芳香分质量， g。

4.3 试样的胶质含量

4.3.1 试样的胶质含量可由已测定的沥青质、饱和分、芳香分含量按差减法按式(4)计算。

$$R = 100 - A_s - S - A_r \quad (\text{T 0618-4})$$

4.3.2 当试样的饱和分、芳香分及胶质是利用正庚烷分离沥青质后的软沥青质溶液的浓溶液进行吸附柱冲洗时，试样的胶质含量由实测的胶质部分的含量按式(T 0618-5)计算。

$$R = \frac{m_4}{m} \times 100 \quad (\text{T 0618-5})$$

式中： R ——胶质含量， %；

m_4 ——试样中胶质的质量， g。

4.3.3 当试样的沥青质含量小于 10%，直接用沥青试样进行吸附柱冲洗，得到的是胶质加沥青质的合计质量时，胶质含量按式(T 0618-6)计算。

$$R = \frac{m_5 - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{T 0618-6})$$

式中： m_5 ——试样中胶质加沥青质的质量， g。

4.4 当胶质含量按式(T 0618-5)或(T 0618-6)计算时，试验过程中各组分的实际回收率按式(T 0618-7)计算。

$$C=A_s+S+A_r+R$$

(T 0618-7)

式中：C——试验时各组分的总回收率，%。

5 报告

5.1 同一试样至少平行试验两次，两次试验结果符合表 T 0618 重复性试验允许误差的要求时方属有效，取其平均值作为试样结果。

5.2 试验应报告各组分的含量及回收率，根据需要，报告芳香分及饱和分中的蜡含量。

6 允许误差

试验结果的允许误差应符合表 T 0618 的要求：

表 T 0618 四组分测定的允许误差要求

组 分	测定值范围 (%)	重复性试验 (%)	再现性试验 (%)
饱和分 (S)	12~27	1.2	4.0
芳香分 (Ar)	21~47	1.6	2.4
胶质 (R)	31~55	1.6	4.3
沥青质 (As)	≤10	0.5	1.2
	>10	1.6	2.4

条文说明

关于石油沥青的组分分析，国际上有多种方法。ASTM D 4124 是一种常用的四组分方法，它分为沥青质 (Asphaltenes)、饱和分 (Saturates)、环烷芳香分 (Naphthene aromatics) 及极性芳香分 (Polar aromatics)。此法称为科尔贝特 (Corbett) 法。另一种有名的组成分析法是化学沉淀法，称为罗斯特勒 (Rostler) 法，它将沥青分为沥青质、氨基、第一酸性分、第二酸性分及链烷分五大组分。1983 年试验规程附录二中的沥青四组分分析方法是根据石油化工研究院提出的方法编写的。现在中国石化总公司已委托石油化工研究院修改提出了新方法且列为行业标准，本方法是参照此行业标准及日本道路协会铺装试验法便览 3-5-15 编写的。

关于氧化铝凝胶的处理方法，日本道路协会按照日本石油协会的方法规定将 Al2O3 铺放在平底容器中，厚度 2cm，将其置加热干燥箱中 180℃活化 3 h，然后取出 Al2O3 与活性硅胶一起放入干燥器中冷却保存至第二天供使用，且认为由于 Al2O3 活化不充分，将使饱和分含量增加。但石油化工研究院的研究认为各国 Al2O3 标准不同，不能采用统一方法，仍保留采用将 Al2O3 在 500℃下活化 6 h 后第二天加入 1% 的蒸馏水的方法。我国方法与日本方法另一个不同之处是最后用以冲洗胶质的溶剂为甲苯—乙醇、甲苯、乙醇三种反复冲洗，而日本用的是甲醇、甲苯、乙醇三种溶剂反复冲洗，其效果是一样的，而甲醇在使用过程中挥发刺激眼睛较厉害，改成乙醇为好。在吸附及冲洗过程中，装置保温在 50℃±1℃水槽中，日本的规定为 50℃±2℃。根据日本的报告，如试验在室温下进行，沥青中的蜡分将不能充分溶解出来，对试验结果有影响。

饱和分、芳香分、胶质、沥青质的代号与日本试验法统一为 S、Ar、R、As。

T 0619—2011 沥青运动黏度试验(毛细管法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于采用毛细管黏度计测定黏稠石油沥青、液体石油沥青及其蒸馏后残留物的运动黏度。

1.2 非经注明, 试验温度为 135℃ (黏稠石油沥青) 及 60℃ (液体石油沥青)。

2 仪器与材料技术要求

2.1 毛细管黏度计: 通常采用坎芬式(Cannon-Fenske)逆流毛细管黏度计, 也可采用国外通用其它的类型, 如翟富斯横臂式(Zeitfuchs Cross-Arm)黏度计、兰特兹-翟富斯(Lantg-Zeitfuchs)型逆流式黏度计以及 BS/IP/RT U 型逆式黏度计等毛细管黏度计进行测定。坎芬式黏度计的形状如图 T 0619, 其型号和尺寸见表 T 0619-1。

2.2 恒温水槽或油浴: 具有透明壁或装有观测孔, 容积不少于 2L, 并能使毛细管距浴壁的距离及试样距浴面至少为 20mm, 并装有加热温度调节器、自动搅拌器及带夹具的盖子等, 其控温精密度能达到测定要求。

2.3 温度计: 分度为 0.1℃。

2.4 烘箱: 装有温度自动控制调节器。

2.5 秒表: 分度 0.1s, 15min 的误差不超过±0.05%。

2.6 水流泵或橡皮球。

2.7 硅油或闪点高于 215℃的矿物油。

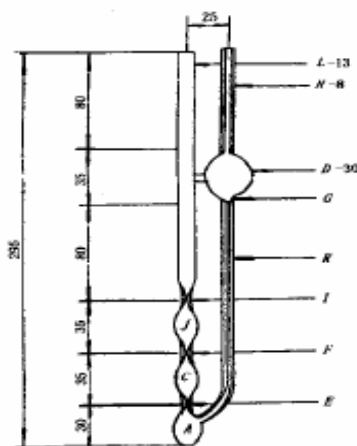


图 T0619 坎芬式逆流毛细管黏度计(单位:mm)

2.8 溶剂: 三氯乙烯(化学纯)。

2.9 其它: 洗液、蒸馏水等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

表 T0619-1 坎芬式毛细管黏度计尺寸及适用的运动黏度范围

型号	近似测定常数(mm^2/s)	运动黏度范围(mm^2/s)	R 管内径(mm) ($\pm 2\%$)	N、G、E、F、I 管内径(mm) ($\pm 5\%$)	球 A、C、J 容积(mL) ($\pm 5\%$) 球	球 D 容积(mL) ($\pm 5\%$)
200	0.1	6~100	1.02	3.2	2.1	11
300	0.25	15~200	1.26	3.4	2.1	11
350	0.5	30~500	1.48	3.4	2.1	11
400	1.2	72~1200	1.88	3.4	2.1	11
450	2.5	150~2500	2.20	3.7	2.1	11
500	8	48~8000	3.10	4.0	2.1	11
600	20	120~20000	4.00	4.7	2.1	13

3.1.1 估计试样的黏度,根据试样流经毛细管规定体积的时间大于 60s 来选择黏度计的型号。

3.1.2 将黏度计用三氯乙烯等溶剂洗涤干净。如黏度计沾有油污,应用洗液、蒸馏水或无水乙醚等仔细洗涤。洗涤后置温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干,或用通过棉花过滤的热空气吹干,然后预热至要求的测定温度。

3.1.3 将液体沥青在室温下充分搅拌 30min,注意勿带入空气形成气泡。如液体沥青黏度过大可将试样置 $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中,加热 30min。按本规程 T 0602 准备黏稠沥青试样,均匀加热至试验温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 后倾入一个小盛样器中,其容积不少于 20mL,并用盖盖好。

3.1.4 调节恒温水槽或油浴的液面及温度,使保持在试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 将黏度计预热至试验温度后取出垂直倒置,使毛细管 N 通过橡皮管浸入沥青试样中。在管 L 的管口接一橡皮球(或水流泵)吸气,使试样经毛细管 N 充满 D 球并充满至 G 处后,用夹子夹住 N 管上的橡皮管,取出 N 管并迅速揩干 N 管口外部所黏附试样,并将黏度计倒转恢复到正常位置。然后用夹子夹紧 L 管上橡皮球的皮管。

3.2.2 将黏度计移入恒温水槽或油浴(试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)中,用橡皮的夹子将 L 管夹持固定,并使 L 管保持垂直。注意,夹持时,D 球须浸入水或油面下 20mm 以上。

3.2.3 放松 L 管夹子,使试样流入 A 球达一半时夹住夹子,停止试样流动。然后在恒温浴中保温 30min 后,放松 L 管夹子,让试样依靠重力流动。当试样弯液面达到标线 E 时,开动秒表,当试样液面流经标线 F 及 J 时,读取秒表,分别记录试样流经标志 E 到 F 和 F 到 J 的时间,准确至 0.1s。如试样流经时间小于 60s 时(流动时间不大于 300s),应改选另一个毛细管直径较小型号的黏度计,重复上述操作。

4 计算

4.1 按公式(T0619-1)、(T0619-2)先分别计算流经 C 球和 J 球测定的运动黏度:

$$v_c = C_c \times t_c \quad (\text{T0619-1})$$

$$v_j = C_j \times t_j \quad (\text{T0619-2})$$

式中: v_c 、 v_j ——试样流经 C、J 测定球的运动黏度, mm^2/s ;

C_c 、 C_j ——C、J 球的黏度计标定常数($\text{mm}^2/\text{s}/\text{s}$);

t_c 、 t_j ——试样流经 C、J 球的时间(s)。

4.2 当 v_c 及 v_j 之差不超过平均值的 3%时, 试样的运动黏度按公式(T 0619-3)计算; 若 v_c 及 v_j 之差超过平均值的 3%时, 试验应重新进行。

$$v_T = \frac{v_c + v_j}{2} \quad (\text{T0619-3})$$

式中: v_T ——试样在温度 $T^\circ\text{C}$ 时的运动黏度, mm^2/s ;

v_c ——试样流经 C 球测定的运动黏度, mm^2/s ;

v_j ——试样流经 J 球测定的运动黏度, mm^2/s 。

5 报告

同一试样至少用两根毛细管平行试验两次, 取平均值作为试验结果。

6 允许误差

6.1 重复性试验的允许误差

对黏稠沥青: 平均值的 3%。

对液体沥青: 60°C 运动黏度范围 (mm^2/s)	允许误差 (以平均值的%计)
<3000	1.5
3000~6000	2.0
>6000	8.9

6.2 再现性试验的允许误差

对黏稠沥青: 平均值的 8.8%。

对液体沥青:

60°C 运动黏度范围 (mm^2/s)	允许误差 (以平均值的%计)
<3000	3.0
3000~6000	9.0
>6000	10.0

条文说明

沥青的运动黏度是一些国家划分黏稠石油沥青(135℃)及液体沥青(60℃)标号的一个指标,1993年该规程修订时增补了运动黏度试验方法,基本上是按照ASTM D 2170、AASHTO T 201及日本道路协会铺装试验法便览3-5-10“高温运动黏度试验方法”制定的。

运动黏度的单位按国家规定采用SI制,改为 m^2/s 或 mm^2/s (1st(斯)= $1\text{cm}^2/\text{s}=10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$, 1cst(厘斯)= $1\text{mm}^2/\text{s}=10^{-2}\text{m}^2/\text{s}$)。根据ASTM D4402及AASHTO T316现在基本上都统一采用布氏旋转黏度方法测定沥青的黏度确定施工温度,因此本次修订取消了采用该方法测沥青黏度确定施工温度。

对运动黏度的测定与本方法相关的还有T 0621、T 0622、T 0623的三种流出型黏度计,除我国道路标准黏度计尚未建立与运动黏度的换算关系外,恩格拉黏度计、赛波特黏度计在国外已建立了与运动黏度的换算关系及计算关系式,表T 0619-2列出的换算关系可供参考。

毛细管黏度计的型式很多,在ASTM D 2170及AASHTO T 201中运动黏度计即规定有坎农—芬斯基式(Cannon Fenske),翟富斯横臂式(Zeitfushs cross-arm)、兰特兹—翟富斯(Lantz-Zeitfushs)、BS/IP及/RT U型管式等。这几种型式的黏度计根据具体情况选择任一种使用。日本道路协会根据建设省土木研究所的研究结果推荐采用坎芬式黏度计,但也允许采用其它型式的黏度计。国内目前石油产品所用的品斯基(Pensky)式逆流式黏度计,但ASTM 2170中并未推荐此种型式。为适应试验工作需要,本试验法仅选用坎芬式黏度计一种规格。但也允许采用其它类型的毛细管黏度计。

表 T 0619-2 等温度的不同黏度测定方法的结果近似换算表

运动黏度 (mm^2/s)	恩格拉度	赛波特黏度 (s)	运动黏度 (mm^2/s)	恩格拉度	赛波特黏度 (s)
1.8	1.14	—	96.8	12.8	47
2.7	1.18	—	102.2	13.5	49
4.2	1.32	—	107.6	14.2	51
5.8	1.46	—	118.4	15.6	56
7.4	1.60	—	129.2	17.0	61
8.9	1.75	—	140.3	18.5	66
10.3	1.88	—	151	19.9	71
11.7	2.02	—	162	21.3	76
13.0	2.15	—	173	22.7	81
14.3	2.31	—	183	24.2	86
15.6	2.42	—	194	25.6	91
16.8	2.55	—	205	27.0	96
18.1	2.68	—	215	28.4	100
19.2	2.81	—	259	34.1	121
20.4	2.95	—	302	39.8	141
22.8	3.21	—	345	45.5	160

25.0	3.49	—	388	51	180
27.4	3.77	—	432	57	200
29.6	4.04	—	541	71	250
31.8	4.32	—	650	85	300
34.0	4.59	—	758	99	350
36.0	4.88	—	866	114	400
38.4	5.15	—	974	128	450
40.6	5.44	—	1082	142	500
42.8	5.72	23.0	1190	156	550
47.2	6.28	25.3	1300	170	600
51.6	6.85	27.0	1405	185	650
55.9	7.38	28.7	1405	185	650
60.2	7.95	30.5	1515	199	700
64.5	8.51	32.5	1625	213	750
69.9	9.24	35.0	1730	227	800
75.3	9.95	37.2	1840	242	850
80.7	10.7	39.5	1950	256	900
86.1	11.4	42.0	2055	270	950
91.5	12.1	44.2	2165	284	1000

温度计:按照 ASTM 中规定测定 60℃黏度时用 58.5℃~61.5℃温度计,测定 135℃时用 133.5℃~136.5℃温度计。测定误差 ASTM 规定在 60℃时为±0.01℃,135℃时为±0.03℃。AASHTO 规定温度计精密度为 0.01℃,保温要求±0.03℃;日本 JIS K 2207 规定温度计分度为 0.05℃,保温为 0.03℃,重复性误差为 1.8%。日本道路协会铺装试验法便览说明中指出这对道路部门是不合适的,事实上达不到,因而规定为保温槽温度为±0.1℃,试验结果的重复性误差为 3%。我国国标 GB 265 及 GB 514 规定运动黏度的温度计分度为 0.1℃。对国外规定那样精密的温度计,国内尚无产品。因此根据我国情况仅规定分度计为 0.1℃的温度计,恒温水槽的保温为±0.1℃。

毛细管黏度计的标定常数 C_0 及 C_d 至关重要,一般利用生产厂给定的常数,必要时应使用标准黏度油由规定的计量单位进行标定。

黏稠石油沥青重复性试验的允许误差按照日本铺装试验法便览的规定,由 1.8%改为 3%。

T 0620—2000 沥青动力黏度试验(真空减压 毛细管法)

1 目的与适用范围

本方法适用于真空减压毛细管黏度计测定黏稠石油沥青的动力黏度。非经注明，试验温度为 60℃，真空度为 40kPa。

2 仪器与材料技术要求

2.1 真空减压毛细管黏度计：一组 3 支毛细管，通常采用美国沥青学会式(Asphalt Institute，即 AI 式)，也可采用坎农曼宁式(Cannon-Manning，即 CM 式)或改进坎培式(Modified Koppers，即 MK 式)毛细管测定。AI 式毛细管的形状见图 T 0620-1，型号和尺寸见表 T 0620。

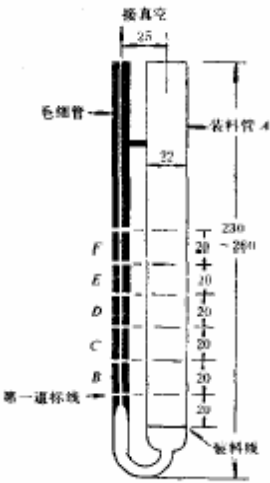


图 T 0620-1 真空减压毛细管黏度计

2.2 温度计：50℃～100℃，分度为 0.03℃，不得大于 0.1℃。

2.3 恒温水槽：硬玻璃制，其高度需使黏度计置入时，最高一条时间标线在液面下至少为 20mm，内设有加热和温度自动控制器，能使水温保持在试验温度±0.1℃，并有搅拌器及夹持设备。水槽中不同位置的温差不得大于±0.1℃。保温装置的控温精密度宜达到±0.03℃。

2.4 真空减压系统：应能使真空度达到 40kPa±0.07Pa(300mmHg±0.5mmHg)的压力，全部装置简要示意如图 T 0620-2，各连接处不得漏气，以保证密闭，在开启毛细管减压阀进行测定时，应不产生水银柱降低情况。在开口端连接水银压力计，可读至 133Pa(1mmHg)的刻度，用真空泵或吸气泵抽真空。

表 T0620 真空减压毛细管黏度计(美国沥青协会式)尺寸和动力黏度范围

型 号	毛细管半径 (mm)	大致标定系数，40kPa 真空(Pa·s/s)			黏度范围(Pa·s)
		管 B	管 C	管 D	

25	0.125	0.2	0.1	0.07	4.2~80
50	0.25	0.8	0.4	0.3	18~320
100	0.50	3.2	1.6	1	60~1280
200	1.0	12.8	6.4	4	240~5200
400	2.0	50	25	16	960~20000
400R	2.0	50	25	16	960~140000
800R	4.0	200	100	64	3800~580000

2.5 秒表：2 个，分度 0.1s，总量程 15min 的误差不大于±0.05%。

2.6 烘箱：有自动温度控制器。

2.7 溶剂：三氯乙烯(化学纯)等。

2.8 其它：洗液、蒸馏水等。

3 方法与步骤

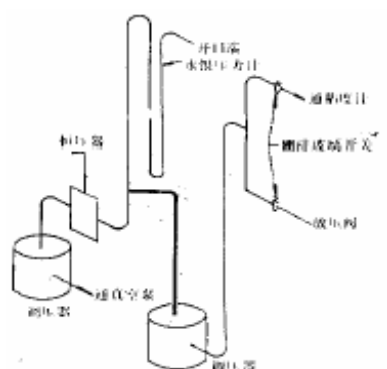


图 T 0620-2 真空减压系统装置

3.1 准备工作

3.1.1 估计试样的黏度，根据试样流经规定体积的时间在 60s 以上，来选择真空毛细管黏度计的型号。

3.1.2 将真空毛细管黏度计用三氯乙烯等溶剂洗涤干净。如黏度计黏有油污，可用洗液、蒸馏水等仔细洗涤。洗涤后置烘箱中烘干或用通过棉花的热空气吹干。

3.1.3 按本规程 T 0602 准备沥青试样，将脱水过筛的试样仔细加热至充分流动状态。在加热时，予以适当搅拌，以保证加热均匀。然后将试样倾入另一个便于灌入毛细管的小盛样器中，数量约为 50mL，并用盖盖好。

3.1.4 将水槽加热，并调节恒温在 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 范围之内，温度计应预先校验。

3.1.5 将选用的真空毛细管黏度计和试样置烘箱($135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)中加热 30min。

注：改性沥青或其它黏度较高的沥青加热温度可按照其软化点提高 90°C 确定。

3.2 试验步骤

3.2.1 将加热的黏度计置一个容器中，然后将热沥青试样自装料管 A 注入毛细管黏度计，试样应不致黏在管壁上，并使试样液面在装料线处 $\pm 2\text{mm}$ 之内。

3.2.2 将装好试样的毛细管黏度计放回电烘箱($135^{\circ}\text{C} \pm 5.5^{\circ}\text{C}$)中，保温 $10\text{min} \pm 2\text{min}$ ，以使管中试样所产生气泡逸出。

3.2.3 从烘箱中取出 3 支毛细管黏度计，在室温条件下冷却 2min 后，安装在保持试验温度的恒温水槽中，其位置应使 F 标线在水槽液面以下至少为 20mm。自烘箱中取出黏度计，至装好放入恒温水槽的操作时间应控制在 5min 之内。

3.2.4 将真空系统与黏度计连接，关闭活塞或阀门。

3.2.5 开动真空泵或抽气泵，使真空度达到 40kPa ($300\text{mmHg} \pm 0.5\text{mmHg}$)。

3.2.6 黏度计在恒温水槽中保持 30min 后，打开连接减压系统阀门，当试样吸到第一标线时同时开动两个秒表，测定通过连续的一对标线间隔时间，准确至 0.1s，记录第一个超过 60 s 的标线符号及间隔时间。

3.2.7 按此方法对另两支黏度计作平行试验。

3.3 试验结束后，从恒温水槽中取出毛细管，按下列顺序进行清洗：

3.3.1 将毛细管倒置于适当大小的烧杯中，放入预热至 135°C 的烘箱中约 0.5h~1h，使毛细管中的沥青充分流出，但时间不能太长，以免沥青烘焦附在管中。

3.3.2 从烘箱中取出烧杯及毛细管，迅速用洁净棉纱轻轻地把毛细管口周围的沥青擦净。

3.3.3 从试样管口注入三氯乙烯溶剂，然后用吸耳球对准毛细管上口抽吸，沥青渐渐被溶解，从毛细管口吸出，进入吸耳球，反复几次。直至注入的三氯乙烯抽出时为清澈透明为止，最后用蒸馏水洗净、烘干、收藏备用。

4 计算

沥青试样的动力黏度按式(T 0620-1)计算。

$$\eta = K \times t \quad (\text{T 0620-1})$$

式中： η ——沥青试样在测定温度下的动力黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；

K ——选择的第一对超过 60s 的一对标线间的黏度计常数， $\text{Pa} \cdot \text{s/s}$ ；

t ——通过第一对超过 60s 标线的时间间隔，s。

5 报告

一次试验的 3 支黏度计平行试验结果的误差应不大于平均值的 7%，否则，应重新试验。符合此要求时，取 3 支黏度计测定结果的平均值作为沥青动力黏度的测定值。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为平均值的 7%；再现性试验的允许误差为平均值的 10%。

条文说明

沥青的动力黏度(也称为绝对黏度或简称为黏度)是沥青性质的主要指标之一。美国、澳大利亚等已经利用其 60℃黏度作为道路石油沥青的分级标准。黏度单位采用国家标准用帕秒(Pa·s, 1 泊=0.1Pa·s)表示。

真空减压毛细管的型式很多, ASTM D 2171 及 AASHTO T 202 中推荐的有坎农—曼宁(Cannon Manning)式(CM 式), 美国沥青协会式(AI)及改进坎培(Modified Koppers)式(MK)三种, 日本沥青协会经过比较规定采用 AI 式毛细管。我国有一些单位已引进了 AI 式毛细管, 且已开始定型生产此种形式, 使用中清洗毛细管也比较方便, 为此本规程推荐采用 AI 式。但也有单位引进了 CM 式毛细管, 故也允许使用其它型式的毛细管。本试验法列出了 AI 式毛细管的数据, 道路沥青最常用的是 100 号毛细管。含蜡量较高的道路沥青黏度较小, 可用 50 号毛细管, 有些稠油沥青黏度较大的可用 200 号毛细管。在 ASTM D 2171 及 AASHTO T 202 中, 还列有 400R、800R 两种毛细管型号, 是适用于屋面防水沥青的, 本次修订增加了 400R 及 800R 型毛细管, 以适应于聚合物改性沥青等更黏稠的情况。

试验用温度计, 在美国等国的规定温度范围为 58.5℃~61.5℃、分度 0.02℃(美国)或 0.03℃(日本), 但试验要求水温控制±0.03℃(ASTM、日本)或±0.06℃(AASHTO)。我国目前较难购得如此精确的温度计, 故本试验法根据我国国产温度计 GB 514 规定分度值放宽至 0.1℃, 控温要求也与 T 0619 相同, 放宽到±0.1℃, 宜采用 0.03℃, 以利于国产设备的推广应用。

试验方法基本上参照日本沥青协会试验方法(后改进为日本道路协会铺装试验法便览 3-5-11)的步骤编写。本方法仅列出了用 AI 式毛细管的试验步骤。试验时真空度为 300mmHg 柱, 即 400kPa。

毛细管黏度计及沥青试样在烘箱中加热的温度, ASTM 中统一规定为 135℃±5.5℃。但日本道路协会试验法规定直馏沥青为 135℃±2℃, 半氧化沥青为 150℃±5℃, 改性沥青为 170℃±2℃, 本试验法按 ASTM 仅规定为 135℃±5℃, 若对半氧化沥青或改性沥青试验时, 可参照日本规定适当提高。

ASTM 中规定了试验后清洗黏度计的步骤, 考虑到该方法的清洗工作比较困难, 且很重要, 故本试验法中列入了清洗的步骤, 此步骤是结合我们的实践经验制定的, 如果试验室有其它清洗方法, 也允许采用, 以洁净为度。

毛细管黏度计应定期校准, 可参考 ASTM D2171 使用黏度标准油对毛细管黏度计进行校准, 计算得到校准系数。黏度标准油有效期为 2 年, 在开启后应及时进行毛细管黏度计的校准以保证数据的有效性。

值得强调的是, 该方法是沥青技术要求的关键试验, 不得以其它试验方法(如布氏旋转黏度试验、DSR 动态剪切流变仪法等)替代, 特别是目前低标号沥青应用逐渐增多, 高黏改性沥青也有所应用, 这些沥青均具有明显的非牛顿流动特性, 其 60℃动力黏度的不同方法检测值之间不具有互换性。

T 0621—2011 沥青标准黏度试验(道路沥青标准黏度计法)

1 目的与适用范围

本方法采用道路沥青标准黏度计测定液体石油沥青、煤沥青、乳化沥青等材料流动状态时的黏度。本法测定的黏度应注明温度及流孔孔径, 以 $C_{T,d}$ 表示(T 为试验温度, ℃; d 为孔径,

mm)。

2 仪器与材料技术要求

2.1 道路沥青标准黏度计:形状及尺寸如图 T 0621-1, 由下列部分组成:

2.1.1 水槽:环槽形,内径 160mm,深 100mm,中央有一圆井,井壁与水槽之间距离不少于 55mm。环槽中存放保温用液体(水或油),上下方各设有一流水管。水槽下装有可以调节高低的三脚架,架上有一圆盘承托水槽,水槽底离试验台面约 200mm。水槽控温精密度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

2.1.2 盛样管:形状及尺寸如图 T 0621-2,管体为黄铜而带流孔的底板为磷青铜制成。盛样管的流孔 d 有 $3\text{mm}\pm 0.025\text{mm}$ 、 $4\text{mm}\pm 0.025\text{mm}$ 、 $5\text{mm}\pm 0.025\text{mm}$ 和 $10\text{mm}\pm 0.025\text{mm}$ 四种。根据试验需要,选择盛样管流孔的孔径。

2.1.3 球塞:用以堵塞流孔,形状尺寸如图 T 0621-3,杆上有一标记。球塞直径 $12.7\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ 的标记高为 $92\text{mm}\pm 0.25\text{mm}$,用以指示 10mm 盛样管内试样的高度,球塞直径 $6.35\text{mm}\pm 0.05\text{mm}$ 的标记高为 $90.3\text{mm}\pm 0.25\text{mm}$,用以指示其它盛样管内试样的高度。

2.1.4 水槽盖:盖的中央有套筒,可套在水槽的圆井上,下附有搅拌叶,盖上有一把手,转动把手时可借搅拌叶调匀水槽内水温。盖还有一插孔,可放置温度计。

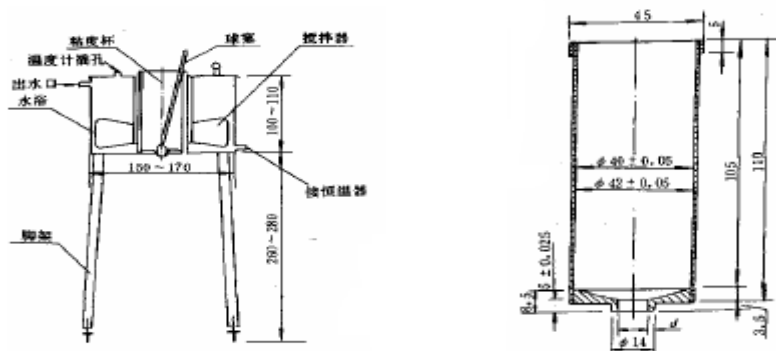


图 T 0621-1 沥青黏度计(单位:mm) 图 T 0621-2 盛样管(单位:mm, d 为流孔直径)



图 T 0621-3 球塞(单位:mm)

2.1.5 温度计:分度为 0.1°C 。

2.1.6 接受瓶:开口,圆柱形玻璃容器,100mL,在 25mL、50mL、75mL、100mL 处有刻度;也可采用 100mL 量筒。

2.1.7 流孔检查棒:磷青铜制,长 100mm,检查 4mm 和 10mm 流孔及检查 3mm 和 5mm 流孔各一支,检查段位于两端,长度不少于 10mm,直径按流孔下限尺寸制造。

2.2 秒表:分度 0.1s 。

2.3 循环恒温水槽。

2.4 肥皂水或矿物油。

2.5 其它：加热炉、大蒸发皿等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 准备沥青试样，根据沥青材料的种类和稠度，选择需要流孔孔径的盛样管，置水槽圆井中。用规定的球塞堵好流孔，流孔下放蒸发皿，以备接受不慎流出的试样。除 10mm 流孔采用直径 12.7mm 球塞外，其余流孔均采用直径为 6.35mm 的球塞。

3.1.2 根据试验温度需要，调整恒温水槽的水温为试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，并将其进出口与黏度计水槽的进出口用胶管接妥，使热水流进行正常循环。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试样加热至比试验温度高 $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ (如试验温度低于室温时，试样须冷却至比试验温度低 $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$) 时注入盛样管，其数量以液面到达球塞杆垂直时杆上的标记为准。

3.2.2 试样在水槽中保持试验温度至少 30min，用温度计轻轻搅拌试样，测量试样的温度为试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 时，调整试样液面至球塞杆的标记处，再继续保温 1min $\sim$ 3min。

3.2.3 将流孔下蒸发皿移去，放置接受瓶或量筒，使其中心正对流孔。接受瓶或量筒可预先注入肥皂水或矿物油 25mL，以利洗涤及读数准确。

3.2.4 提起球塞，借标记悬挂在试样管边上，待试样流入接受瓶或量筒达 25mL (量筒刻度 50mL) 时，按动秒表，待试样流出 75mL (量筒刻度 100mL) 时，按停秒表。

3.2.5 记取试样流出 50mL 所经过的时间，准确至 s，即为试样的黏度。

4 报告

同一试样至少平行试验两次，当两次测定的差值不大于平均值的 4% 时，取其平均值的整数作为试验结果。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为平均值的 4%。

条文说明

道路沥青标准黏度计是国际上液体沥青材料条件黏度测定方法的一种，我国自 50 年代起引用了前苏联的沥青黏度计及方法。本试验规程是将 1983 年试验规程中的试验法 (沥 105—83) 稍加修改制定的。

适用范围补充了乳化沥青。黏度的表示方法考虑到计算机使用的方便，统一改为 $G_r.d$ 的形式 (T 为测试温度， $^{\circ}\text{C}$; d 为流孔孔径，mm)。

道路沥青标准黏度计原参照前苏联的标准制定，现在前苏联 Г ОСТ 已经有修改，我国也拟参考英国 BS 76 等变更本方法采用新的黏度计标准。其中流孔的孔径原仪器为 3mm、5mm 及 10mm 三种，流孔长分别为 7.7mm

及 5mm；新黏度计为 3mm、4mm、5mm 及 10mm 四种，而流孔长均为 5mm。试样管由一个变为 4 个。水槽及试验温度由 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 改为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

试验条件中增加了沥青黏度计与循环恒温水槽连接及保温等工作，以减小试验结果误差。

T 0622—2011 沥青恩格拉黏度试验(恩格拉黏度计法)

1 目的与适用范围

本方法采用恩格拉黏度计测定乳化沥青及煤沥青的恩格拉黏度，用恩格拉度 (Ev) 表示。未经注明，测定温度为 25°C 。

2 仪具与材料技术要求

2.1 恩格拉黏度计:符合国标 GB 266 标准，包括盛样用的内容器和作为水或油浴用的外容器、堵塞流出管用的硬木塞、金属三脚架和接受瓶等。其形状如图 T 0622-1。

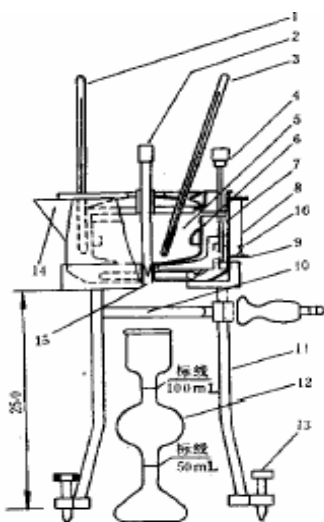


图 T 0622-1 恩格拉黏度计(单位:mm)

1-保温浴温度计；2-硬木塞杆；3-试样用温度计；4-容器盖；5-盛样器；6-液面标记；

7-保温浴槽；8-保温浴搅拌器；9-电热器；10-燃气灯；11-三脚架；12-量杯；13-水平脚架；14-溢出口；

15-白金制流出口；16-水准器

2.1.1 盛样器：由黄铜制成，底部为球面形，内表面要经过磨光并镀金。从底部起以等距离在内壁上安装有三个向上弯成直角的小尖钉，作为控制试样面高度和仪器水平的指示器。在容器底部中心处有一流出孔，此孔焊接着黄铜小管，其内部装有铂制小管，铂管内部必须磨光。内容器的铜制盖为中空凸形，盖上有两个孔口，供插入木塞和温度计使用。形状和尺寸如图 T

0622-2 及表 T 0622。

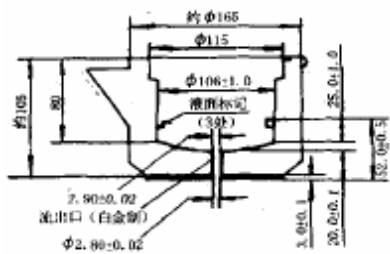


图 T 0622-2 恩格拉黏度计(单位:mm)

表 T 0622 所示盛样器的尺寸

零件名称		尺寸(mm)	允许误差(mm)
内 容 器	内径	106.0	±1.00
	底部至扩大部分间的高度	70.0	±1.00
	底部突出部分的深度	7.0	±0.10
	扩大部分的内径	115.0	±1.00
	扩大部分的高度	30.0	±2.00
	从钉尖的水平面至流出管到下边缘的距离	52.0	±0.50
流 出 管	总长	20.0	±0.10
	突出部分的长度	3.0	±0.30
	在管顶水平面处的内径	2.9	±0.02
	下方末端的内径	2.8	±0.02

- 2.1.2 外容器:黄铜制成,用三根支柱使内容器固定在外容器中。容器中设有搅拌器。
- 2.1.3 三脚架:其中二脚设有调节螺丝。
- 2.1.4 温度计:0℃~30℃或0℃~50℃,分度为0.1℃,0℃~100℃,分度为1.0℃。
- 2.1.5 接受瓶:玻璃制宽口,试验用容积为50mL,标定用容积为200mL。接受瓶中颈细狭部分中部有容积刻线,刻线应在20℃时刻划。
- 2.2 秒表:最小分度0.1s。
- 2.3 吸液管:5mL。
- 2.4 二甲苯:化学纯。
- 2.5 乙醇:95%,化学纯。

2.6 滤筛：筛孔 1.18mm。

2.7 其它：洗液、汽油等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将黏度计的内容器、流出管孔依次用二甲苯及蒸馏水仔细洗净，并用滤纸吸去剩下的水滴，然后用空气吹干。

注：不得用布擦拭。

3.1.2 将黏度计置于三脚架上，并将干净的木塞插入内容器流出管的孔中。

3.1.3 将接受瓶依次用汽油、洗液、水及蒸馏水清洗干净后置烘箱 ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) 中烘干。

3.1.4 将准备的乳化沥青试样用 1.18mm 筛网过滤。

3.1.5 测定黏度计的水值 (t_w)，采用下列两种方法之一测定：

1) 直接测定蒸馏水在 25°C 时从黏度计流出 50mL 所需的时间 (s)，作为水值。

2) 测定蒸馏水在 20°C 时从黏度计流出 200mL 所需的时间 (s) 乘以换算系数 F 得到。其测定步骤如下：

(1) 将新的蒸馏水 (20°C) 注入黏度计的内容器中，直至内容器的三个尖钉的尖端刚刚露出水面为止。同时，又用同温度的水注入黏度计的外容器中，直至浸到内容器的扩大部分为止。

(2) 旋转三脚架的螺钉，调整黏度计的位置，使内容器中三个尖钉的尖端处于同一水平面上。

(3) 将标定用 (200mL) 的接受瓶置于黏度计的流出管下方。轻轻提离木塞，使内容器中的水全部放入接受瓶内，但不计算流出时间。此时流出管内要充满水，并使流出管底端悬着一大滴水珠。

(4) 立即将木塞插入流出管内，并将接受瓶中的水沿玻璃棒小心地注回内容器中。注意，勿使水溅出。随后将接受瓶在内容器上倒置 1min~2min，使瓶中水全部流出，然后将接受瓶再放回流出管下方。需要时，可加水调整水面使三个钉尖恰好露出。

(5) 调整并保持内外容器中的水温，内容器中的水用插有温度计的盖围绕木塞转动，以使水能充分搅拌；然后用外容器中的搅拌器搅拌保温用水 (或油)。

(6) 当两个容器中的水温等于 20°C (在 5min 内水温差数不超过 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) 时，迅速提离木塞 (应能自动卡住并保持提离状态，不允许拔出木塞)，同时开动秒表。使蒸馏水流至凹形液面的下缘达 200mL，停止秒表，并记取流出时间 (s)。

(7) 蒸馏水流出 200mL 的时间连续测定 4 次，如各次测定时间与其算术平均值的差数不大于 0.5s，就用此算术平均值作为第一次测定的平均流出时间。以同样要求进行另一次平行测定。如两次平行测定结果之差不大于 0.5s，则取两次平行测定结果的平均值以符号 K_{20} 表示，然后换算成与沥青试样试验相同条件的水值。由 20°C 、200mL 水的流出时间换算成 25°C 、50mL 水的流

出时间的换算系数 F 为 0.224。即 $t_w = K_{20} \times 0.224$ 。

注：黏度计的水值每 4 个月至少校正一次。

3.2 试验步骤

3.2.1 将已过筛和预热到稍高于规定温度 2℃左右的试样，注入干净并插好木塞（注意不可过分用力压插木塞，以免木塞很快磨损）的内容器中，并须使其液面稍高于尖钉的尖端。注意，试样中不应产生气泡。盖好黏度计盖，并插好温度计。

3.2.2 事先准备好外容器的水预热温度须稍高于测试温度。

3.2.3 在流出管下方放置一个洁净干燥的 50mL 试样接受瓶。调节内容器中试样和外容器中水的温度，至规定的试验温度 $25^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ 。为保持试样的温度，在试验过程中，内外容器中液体的温差不应超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。注意，在控制温度时，外容器中保温液体的温度一般应稍高于内容器中试样的温度。

3.2.4 当试样的温度达到测试温度，并保持 2min 后，迅速提离木塞，木塞提起位置应保持与测水值时相同。

3.2.5 当试样流至第一条标线 50mL 时开动秒表，至达到第二条标线 100mL 时，立即按停秒表，并记取时间，准确至 0.1s。

4 计算

试样的恩格拉黏度按式 (T 0622-1) 计算。

$$E_v = \frac{t_T}{t_w} \quad (\text{T 0622-1})$$

式中： E_v ——试样在温度 T 时的恩格拉度；

t_T ——试样在温度 T 时的流出时间，s；

t_w ——恩格拉黏度计的水值，即水在 25°C 时流出相同体积 50mL 的时间，s。可以直接测定，亦可由 20°C 、200mL 水的流出时间 K_{20} 换算成 25°C 、50mL 水的流出时间，其换算系数 F 为 0.224，则： $t_w = K_{20} \times F = K_{20} \times 0.224$ 。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，当两次结果的差值不大于平均值的 4% 时，取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

6.1 重复性试验的允许误差为平均值的 4%。

6.2 再现性试验的允许误差为平均值的 6%。

条文说明

沥青的恩格拉黏度是试样在规定温度下,由恩格拉黏度计的规定尺寸的流孔,流出 50mL 所需时间(s)与流出同体积的水所需时间(s)的比值,用恩格拉度(Ev)表示。恩格拉(Angler)黏度计是国际上通用液体沥青及乳化沥青材料黏度测定方法的一种。通常用于测定乳化沥青(如日本)或软煤沥青(如美国),并用恩格拉度作为划分标号依据(ASTM D 490)。在我国随着乳化沥青的研究与应用,为便于与国外标准比较,在其技术要求中也将恩格拉度与道路沥青标准黏度并列作为划分乳化沥青标号的标准。本试验法是参照 ASTM D 1665 及日本道路协会铺装试验法便览 3-6-1 制定的。

恩格拉黏度计:在我国已订为行标 SH/T 0099.1,照此使用。

乳化沥青试样过滤的筛孔孔径,ASTM 规定为 0.5mm,日本规定为 0.85mm。按本试验规程各项试验法统一规定,均使用 1.18mm。

测定黏度计的水值,ASTM 规定采用 200mL 接受瓶在 20℃时测定,但恩格拉黏度计一般在 25℃时测定。标定水值(K_{20})应乘以 0.224 换算成 25℃、50mL 水的水值。此过程甚为麻烦,日本试验法将此步骤取消,直接测定 25℃流出 50mL 的时间。考虑我国实际情况,以简单为宜,故本试验法并列了水值用 25℃50mL 直接测定及 ASTM 方法两个方法供使用。

T 0623—1993 沥青赛波特黏度试验(赛波特重质油黏度计法)

1 目的与适用范围

本方法采用赛波特重质油黏度计测定较高温度时的黏稠石油沥青、乳化沥青、液体石油沥青等的条件黏度,并用于确定沥青的施工温度。通常情况下,黏稠石油沥青的测定温度为 120℃~180℃,乳化沥青及液体石油沥青的标准试验温度为 25℃及 50℃。

2 仪器与材料技术要求

2.1 赛波特重质油黏度计:形状及尺寸如图 T 0623-1,由下列各部分组成:

2.1.1 保温槽:耐腐蚀金属制,圆筒形。槽盖中心有一垂直的圆形盛样管,边部有进出水管,槽内装有可以调控的电热器,以加热保温槽内的水或油(闪点在 250℃以上的汽缸油或导热油、硅油等),温度可控制在常温至 240℃ $\pm$ 0.1℃范围内。盖上有温度计支承孔。槽下装有三脚架,其中有两脚设调整水平螺丝。

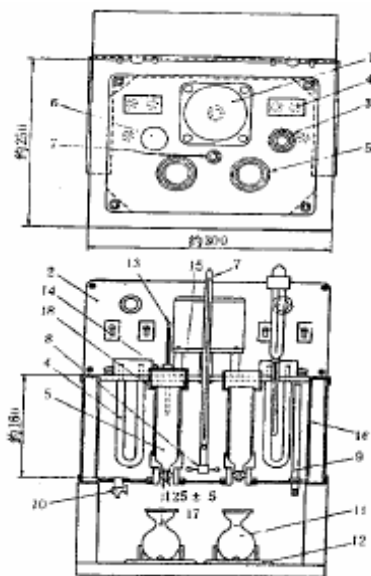


图 T 0623-1 赛波特重质油黏度计(双管式)(单位:mm)

- 1-电动机；2-配电盘；3-温度调节器；4-电热器；5-试料管；6-保温液注入口；
7-温度计；8-搅拌器；9-溢流口；10-保温液排出口；11-试样接受瓶；12-试样瓶台；
13-试样温度计；14-温度计夹具；15-替换胶圈；16-恒温槽；17-软木塞；18 支架

2.1.2 试样接受瓶：耐热玻璃制，形状及尺寸如图 T 0623-2，其刻线下的容积在 20 °C 时为 60mL ± 0.05mL。

2.1.3 盛样管：形状及尺寸如图 T 0623-3，管上有金属盖，直径为 56mm，厚为 7mm，盖上有孔，以备插入温度计。

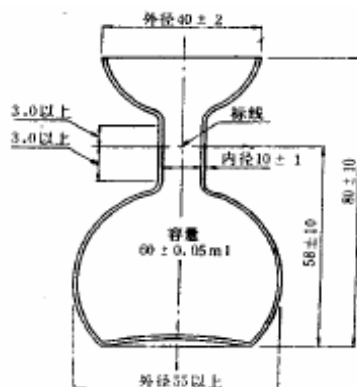


图 T 0623-2 试样接受瓶(单位: mm)

2.1.4 温度计:0°C~30°C、0°C~50°C，分度 0.1°C；0°C~100°C、0°C~200°C、0°C~300°C，分度 1°C。

2.1.5 软木塞:底部设有拉手环。

2.2 标准黏度油：附有标定用的标准流出时间(s)。

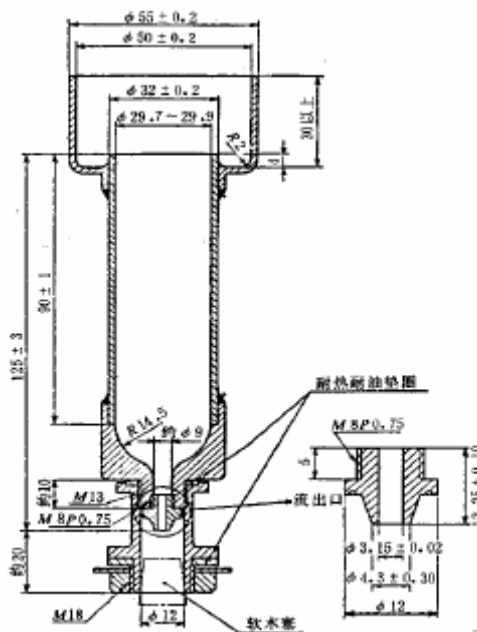


图 T 0623-3 盛样管(单位: mm)

2.3 滤筛网: 0.15mm。

2.4 秒表: 分度 0.1s。

2.5 其它: 二甲苯、润滑油、沥青熔化锅、加热炉、烘箱等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将盛样管及流孔用二甲苯等溶剂洗净、干燥。

3.1.2 按本规程 T 0602 准备沥青试样, 用一容器取试样约 450g, 将其缓慢加热, 不断搅匀(最后的 30℃ 温度内搅拌不能停止), 加热至规定的试验温度以上 10℃~15℃。试样只允许加热使用一次, 不允许重复加热测定。

3.1.3 将保温槽的水或油加热, 并保持规定的试验温度, 当温度高于 80℃ 时, 必须使用耐高温的汽缸油或导热油、硅油等。

3.1.4 黏度计的标定: 黏度计使用不多于 3 年即需重新标定一次。标定方法如下:

1) 在 50℃ 检验赛波特重质油黏度计所测定的黏度。

2) 如用黏度计所测定标准黏度油的流出时间(不少于 90s) 与黏度计说明书所提供的标准流出时间差异在 0.2% 以上时, 则测定的时间应按式(T 0623-1) 计算的标定系数进行修正; 当误差超过 1% 时, 仪器不得使用。

$$F = \frac{t_s}{t} \quad (\text{T 0623-1})$$

式中: F——标定系数;

t_s ——黏度计提供的标准流出时间, s;

t——相同的标准黏度油在 50℃的实际流出时间, s。

3.2 试验步骤

3.2.1 将软木塞塞紧盛样管底部空腔, 深 6.5mm~9.5mm, 其松紧程度既要使试样不致从流孔中流出, 还要易于拉出软木塞。然后, 将接受瓶置于流孔的下方, 且使流孔正对着接受瓶的中心。

3.2.2 将试样用 0.15mm 筛网过筛, 并注入盛样管中, 其数量以液面达到盛样管上的标线为准, 盖上管盖。

3.2.3 用插入管中的温度计水平搅拌试样, 但不得碰到盛样管, 搅拌速度 30r/min~50r/min, 使试样达到规定试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 保持 1min。

3.2.4 立即取出温度计、管盖, 拔掉堵塞盛样管底部的软木塞, 同时按动秒表, 使试样流入接受瓶。至试样达到接受瓶的 60mL 标线处, 再按停秒表, 记取时间, 准确至 0.1s。

4 计算

4.1 沥青的赛波特黏度按式(T 0623-2)计算。

$$v_s = v_1 \times F \quad (\text{T 0623-2})$$

式中: v_s ——试样的赛波特黏度, s;

v_1 ——试样测定的黏度, s;

F——黏度计标定系数。

4.2 欲求取石油沥青相同试验温度条件下的运动黏度时, 可以按式(T 0623-3)换算得到:

$$\eta_s = 2.12 \times v_s \quad (\text{T 0623-3})$$

式中: η_s ——测定温度条件下的运动黏度, mm^2/s 。

4.3 欲求取乳化沥青相同温度时的恩格拉度时, 可按式(T 0623-4)换算得到:

$$E_v = 0.280 \times v_s \quad (\text{T 0623-4})$$

式中: E_v ——测定温度条件下的恩格拉度。

5 报告

同一种试样至少平行试验两次, 两次测定结果符合重复性试验允许误差要求时, 取其平均值作为试验结果。试样黏度在 200s 以下, 准确至 0.5s; 200s 以上准确至 1s。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为平均值的 4%, 再现性试验的允许误差为平均值的 6%。

条文说明

沥青的赛波特相对黏度是试样在规定温度下, 自赛波特重质油黏度计的规定尺寸的流孔流出 60mL 试样的时间, 以 s 表示。赛波特黏度计是国际上最常用的一种液体沥青材料流出型黏度计, 常用以测定施工温度下的

沥青黏度。有的国家也用作乳化沥青划分标号的标准。赛波特黏度计有两种,即赛波特重质油黏度计(Saybolt and Furol Viscosity)、赛波特通用黏度计(Saybolt Universal Viscosity)。其区别在于黏度计采用流孔的孔径不同,前者采用孔径 3.15mm,后者采用孔径 1.76mm。近年我国一些国际招标的公路常提出用赛波特黏度,试验法也常以此决定施工温度,故增补此方法。本方法按照大多数国家的情况规定用赛波特重质油黏度计测定,试验法参照 ASTM D 88、AASHTO T 72 及日本道路协会铺装试验法便览 3-5-12 制定,并结合我国的使用情况,作了局部修改。

赛波特黏度计国内已开始仿制,本试验图中表明的尺寸系选自 ASTM 及日本道路协会标准。黏度计的标定按 ASTM D 88 及 AASHTO T 72 规定,通用型是在 37.8℃时校正,重油型是在 50℃校正,校正期不多于 3 年。黏度计的保温精密度 ASTM 规定为 $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$,AASHTO 为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$,日本规定为 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (石油沥青)及 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (乳液),考虑我国实际情况,规定为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

国外常由赛波特黏度计测定的秒数换算成运动黏度或恩格拉黏度,本试验法收入了日本道路协会铺装试验法便览 3-5-12 中提出的换算公式。允许误差按 ASTM E 102 规定。

T 0624—2011 沥青黏韧性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定改性沥青的黏韧性,以评价沥青掺加改性剂后的改性效果。通常情况下适用于 SBR 改性沥青。非经注明,试验温度为 25℃,拉伸速度为 500mm/min。

2 仪具与材料技术要求

2.1 黏韧性试验器:3 套,形状及尺寸如图 T0624-1 所示,由不锈钢或铜制成。它由下列部分组成:

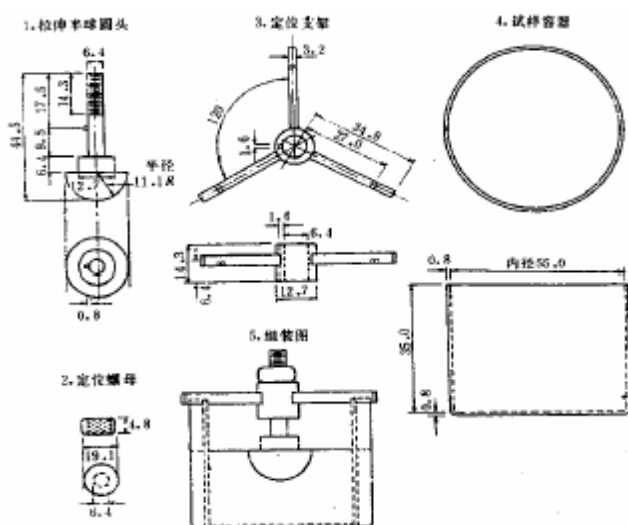


图 T0624-1 黏韧性试验器(单位:mm)

2.1.1 拉伸半球圆头：半径 11.1mm，表面粗糙度应达 $Ra3.2\mu m$ ，上有连接螺杆，用以安装定位螺母，并与拉伸试验机上夹具连接，连接杆上有定位销钉。

2.1.2 定位螺母：拧在连接杆上。

2.1.3 定位支架：由一中孔套筒及与其相接的三根支杆组成，支杆在半径 27mm 处有刻槽。支架通过定位销固定拉伸半球圆头位置。

2.1.4 试样器：金属制内径 55mm，深 35mm。

2.2 恒温水槽：能控制恒温 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，内有多孔的安放试样器的架子。

2.3 温度计： $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分度为 0.1°C 。

2.4 拉伸试验机：能以 500mm/min 速度等速拉伸，最大加载能力为 1kN，拉伸变形及荷载能同时由记录仪记录绘成曲线，试验机备有固定黏韧性试验器的上下夹具。

2.5 烘箱：装有温度控制器。

2.6 天平：感量不大于 1g 及不大于 1mg 两种。

2.7 其它：三氯乙烯等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 的方法准备沥青试样，当试验改性沥青时，改性剂的加入应根据要求的方法操作并搅拌均匀。

3.1.2 将试样容器放入 $60^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 烘箱中，预热 1h。

3.1.3 用三氯乙烯溶剂擦净拉伸半球圆头，装入定位支架中干燥待用，将热沥青试样逐渐注入预热的试样容器中，质量为 $50\text{g} \pm 1\text{g}$ ，注意试样中不得混入气泡。

3.1.4 迅速将拉伸半球圆头浸入沥青试样中，定位支架架在试样容器上方，用定位螺母压紧固定，使半球圆头上面恰好与沥青试样齐平，在室温下静置 1h~1.5h，此时试样稍有收缩，适当调整定位螺母，使半球圆头高度保持与沥青上表面齐平。

3.1.5 将安装好的黏韧性试验器连同试样一起置入温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中保温不少于 1.5h。

3.2 试验步骤

3.2.1 将黏韧性试验器从恒温水槽中取出，倒掉沥青面上的水，迅速将试验器的上连接杆及试样器安装到拉伸试验机的上下压头夹具间。注意安装时不得使半球圆头与沥青的相对位置产生扰动。

3.2.2 调整好记录仪及试验机，记录仪以 Y 轴表示荷载，X 轴表示时间。立即以 500mm/min 的速度开始拉伸，拉至 300mm 时结束，此时记录仪记录荷载及拉伸时间，拉伸变形由拉伸速度与 X 轴记录的拉伸时间求取，如图 T0624-2 所示。为使记录曲线清晰，记录仪时间轴的走纸速度可选

用 500mm/min 或 1 000mm/min。

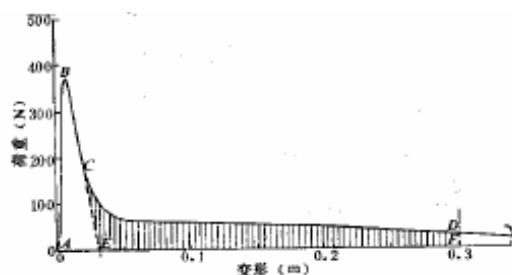


图 T0624-2 黏韧性试验荷重～变形曲线

3.2.3 黏韧性试验器从恒温水槽中取出到试验结束的时间不能超过 1min。

4 计算

4.1 在图 T0624-2 的荷重变形曲线上将曲线 BC 下降的直线部分延长至 E，用虚线表示。

4.2 分别量取曲线 ABCE 及 CDFE 所包围的面积，记作 A_1 及 A_2 。面积可以用求积仪或数记录纸方格数求算，也可由记录纸张的质量比例法求出，此时用剪刀剪下 ABCE 及 CDFE，分别称取质量 m_1 、 m_2 ，准确至 1mg，再由已知面积的记录纸称取单位面积的记录纸质量 m_0 ，并按式(T0624-1)及(T0624-2)求得到曲线面积 A_1 ， A_2 。

$$A_1 = \frac{m_1}{m_0} \quad (\text{T0624-1})$$

$$A_2 = \frac{m_2}{m_0} \quad (\text{T0624-2})$$

式中： A_1 ——曲线 ABCE 的面积， $\text{N} \cdot \text{m}$ ；

A_2 ——曲线 CDFE 的面积， $\text{N} \cdot \text{m}$ ；

m_0 ——单位面积记录纸质量， $\text{g}/\text{N} \cdot \text{m}$ ；

m_1 ——ABCE 部分记录纸质量，g；

m_2 ——CDFE 部分记录纸质量，g。

4.3 试样的黏韧性及韧性按式(T0624-3)及(T0624-4)计算。

$$T_0 = A_1 + A_2 \quad (\text{T0624-3})$$

$$T_e = A_2 \quad (\text{T0624-4})$$

式中： T_0 ——沥青的黏韧性， $\text{N} \cdot \text{m}$ ；

T_e ——沥青的韧性， $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

5 报告

同一试样至少进行 3 次平行试验，当最大值或最小值与平均值之差不超过 3 倍标准差时，取平均值作为试验结果，准确至一位小数。

条文说明

沥青黏韧性试验的结果适用于评价 SBR 改性沥青、橡胶和树脂等沥青、以及用于作排水路面的高黏度改性沥青改性效果的一种比较好的方法，对 SBR 改性沥青要求作黏韧性试验，并已列入《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004) 中。本次修订在适用范围内增加了 SBR 改性沥青。在准备工作中要求黏韧性试验器连同试样在恒温水槽中保温不少于 1.5h。

沥青黏韧性试验最早由 Benson 于 1955 年提出，1974 年日本橡胶协会定为标准，并收入于日本道路协会铺装试验法便览中。现在日本沥青路面铺装要纲的改性沥青标准中正式列入了黏韧性指标。试验时，一开始表现出需要较大的荷重，后来则有一较长时间的变形段，将总的功称作 toughness。将后期较长时间变形的部分称作 tenacity，单位为 $N \cdot m$ ，以此两项指标评价改性沥青的质量。关于试验指标的名称，日本原称 toughness 为握裹力，tenacity 为黏结力，后直接改用音译名，我国的不少译者也有各种叫法。本试验法经多次讨论统一称为黏韧性(toughness)及韧性(tenacity)。

本试验法完全按照 ASTM D 5801-95 及日本道路协会铺装试验法便览 3-5-17 编写。由于现在测试仪器设备发展很快，许多试验室已具备万能材料试验机，且具有自记功能，可以采用这类设备将黏韧性试验的应力~应变曲线全部距离下来，或通过计算机采集数据，采用积分方法计算曲线所包围的面积，直接得出试验结果。

T 0625—2011 沥青旋转黏度试验(布洛克菲尔德黏度计法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于布洛克菲尔德黏度计(Brookfield，简称布氏黏度计)旋转法测定道路沥青在 45℃ 以上温度范围内的表观黏度，以帕斯卡秒($Pa \cdot s$)计。

1.2 本方法测定的不同温度的黏度曲线，用于确定各种沥青混合料的拌和温度和压实温度。

2 仪器与材料技术要求

2.1 布洛克菲尔德黏度计：具有直接显示黏度、扭矩、剪切应力、剪变率、转速和试验温度等项目的功能，如图 T 0625-1 所示，主要由下列部分组成：

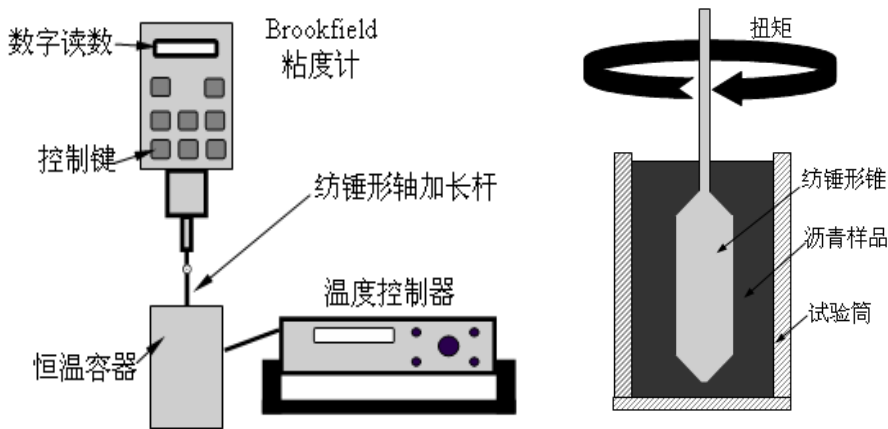


图 T 0625-1 布洛克菲尔德黏度计

2.1.1 适用于不同黏度范围的标准高温黏度测量系统，如 LV、RV、HA 或 HB 型系列等，其量程应满足被测改性沥青黏度的要求。

2.1.2 不同型号的转子，根据沥青黏度选用。

2.1.3 自动温度控温系统，包括恒温室、恒温控制器、盛样筒（为试管形状）、温度传感器等。

2.1.4 数据采集和显示系统，绘图记录设备等。

2.2 烘箱：标称温度范围 300℃，控温的准确度为 1℃。

2.3 标准温度计，分度为 0.1℃。

2.4 秒表。

3 试验步骤

3.1 按本规程要求准备沥青试样，分装在盛样容器中，在烘箱中加热至软化点以上 100℃左右保温 30min~60min 备用，对改性沥青更应注意去除气泡。

3.2 仪器在安装时必须调至水平，使用前应检查仪器的水准器气泡是否对中。开启黏度计温度控制器电源，设定温度控制系统至要求的试验温度。此系统的控温准确度应在使用前严格标定。

3.3 根据估计的沥青黏度，按仪器说明书规定的不同型号的转子所适用的速率和黏度范围，选择适宜的转子。

3.4 取出沥青盛样容器，适当搅拌，按转子型号所要求的体积向黏度计的盛样筒中添加沥青试样，根据试样的密度换算成质量。加入沥青试样后的液面应符合不同型号转子的规定要求，试样体积应与系统标定时标准体积一致。

3.5 将转子与盛样筒一起置于已控温至试验温度的烘箱中保温，维持 1.5h。若试验温度较低时，可将盛样筒试样适当放冷至稍低于试验温度后再放入烘箱中保温。

3.6 取出转子和盛样筒安装在黏度计上，降低黏度计，使转子插进盛样筒的沥青液面中，至规定的高度。

3.7 使沥青试样在恒温容器中保温，达到试验所需的平衡温度（不少于 15min）。

3.8 按仪器说明书的要求选择转子速率，例如在 135℃测定时，对 RV、HA、HB 型黏度计可采用 20r/min，对 LV 型黏度计可采用 12r/min，在 60℃测定可选用 0.5r/min 等。开动布洛克菲尔德黏度计，观察读数，扭矩读数应在 10%~98% 范围内。在整个测量黏度过程中，不能改变设定的转速，改变剪变率。仪器在测定前是否需要归零，可按操作说明书规定进行。

3.9 观测黏度变化，当小数点后面 2 位读数稳定后，在每个试验温度下，每隔 60s 读数一次，连续读数 3 次，以 3 次读数的平均值作为测定值。

3.10 对每个要求的试验温度，重复以上过程进行试验。试验温度宜从低到高进行，盛样筒

和转子的恒温时间应不小于 1.5h。

3.11 如果在试验温度下的扭矩读数不在 10%~98% 的范围内，必须更换转子或降低转子转速后重新试验。

3.12 利用布洛克菲尔德黏度计测定不同温度的表观黏度，绘制黏温曲线。一般可采用 135℃ 和 175℃ 的表观黏度，根据需要也可以采用其他温度。

4 报告

4.1 同一种试样至少平行试验两次，两次测定结果符合重复性试验允许误差要求时，以平均值作为测定值。

4.2 将在不同温度条件下测定的黏度，绘于图 0625-2 所示的黏温曲线中，确定沥青混合料的施工温度。当使用石油沥青时，宜以黏度为 $(0.17 \pm 0.02) \text{Pa} \cdot \text{s}$ 时的温度作为拌和温度范围；以 $(0.28 \pm 0.03) \text{Pa} \cdot \text{s}$ 时的温度作为压实成型温度范围。

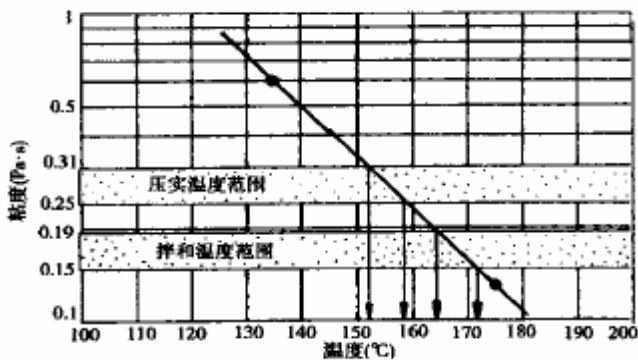


图 T 0625-2 由沥青结合料的黏温曲线确定施工温度

4.3 报告试验温度、转子的型号和转速。

4.4 绘制黏温曲线，给出推荐的拌和及压实施工温度范围。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为平均值的 3.5%；再现性试验的允许误差为平均值的 14.5%。

条文说明

测定沥青从较低温度到较高温度范围内的黏度，通常需要不同类型的黏度计，本规程也已分别作了规定。例如，为 60℃ 黏度分级用动力黏度，世界上基本上都统一采用真空减压毛细管黏度计测定（本规程 T 0620）。近年来由于改性沥青的黏度增大，需要采用较粗的黏度管测定，自从美国 SHRP 战略公路研究计划推出采用布洛克菲尔德（Brookfield）黏度计方法（ASTM D 4402）测定黏度后，各国道路界对此十分重视。SHRP 沥青结合料性能规范中提出了对改性沥青 135℃ 黏度不得超过 $3 \text{Pa} \cdot \text{s}$ 的技术要求，以控制改性沥青的施工性能。我国《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40—2004）也已将此指标纳入了改性沥青的技术要求，为此本规程参照美国 ASTM D4402 和 AASHTO T316 标准制定了本方法。

根据不同温度下的黏度绘制黏温曲线以确定沥青混合料的拌和温度和压实温度时,原试验规程 T0702 规定可采用 T0625, T0619 和 T0623 等三种方法。随着布氏旋转黏度测定方法应用越来越多,方法简便,而且 ASTM D6925 和 AASHTO T312 均统一采用布氏旋转黏度方法作为标准方法来确定沥青混合料的拌和温度和压实温度,因此本此修订根据我国实践,也将确定沥青混合料的拌和温度和压实温度的方法统一为布氏旋转黏度测定方法。

原方法规定确定黏温曲线的温度为 60℃、135℃和 175℃,本次修订参考 ASTM 和 AASHTO 方法,并结合我国实践,规定可采用 135℃和 175℃,也可根据需要选择其他温度。

本方法适用于测定牛顿流体或非牛顿流体之剪应力与剪变率之比,即表观黏度。剪应力与剪变率之比值为常数的属于牛顿流体,比值不是常数的流体则是非牛顿流体,许多流体都表现出牛顿流体和非牛顿流体两种特性,这取决于剪变率的大小。黏度是流体抗流动的量度,黏度的国际单位制单位是帕斯卡秒(Pa·s),1 Pa·s 相当于 10 泊,1 厘泊(cP)是 1 毫帕斯卡秒(mPa·s),常用做黏度单位,1Pa·s=1000mPa·s。

本方法可用于测量沥青在使用温度时的表观黏度。在本方法的试验条件或温度范围内,某些沥青可表现出非牛顿特性。因为非牛顿性流体的表观黏度值不是唯一的材料性质,而是反映流体和测量系统的特性。应该注意,本方法是在某一个规定的测定条件下测量获得的黏度值,并不能预测不同条件下的使用性能。对各种非牛顿体沥青之间表观黏度值之间的比较,应采用同类型黏度计在相同的剪应力和剪切历程条件下获得的测定值进行。

本方法图 T 0625-2 由黏温曲线确定施工温度的方法是基于未经改性的普通道路石油沥青的数据得出的。当用于改性沥青时,由此确定的拌和温度和压实温度可能偏高,所以此法是否适合于改性沥青国内外都有不同看法,但是目前还没有合适的方法。因此,各单位在应用该方法确定改性沥青混合料的拌和温度和压实温度时,还应该结合工程中的实践经验,确定合理的拌和温度和压实温度。

由于目前市场上销售的布洛克菲尔德黏度计都具有直接显示黏度、扭矩、剪切速率、剪切应力、转速和试验温度的功能,无须进行计算,所以取消了原规程的 4.2 条。操作者在使用布洛克菲尔德黏度计前应该仔细阅读并理解厂家所提供的仪器操作说明书。详细的操作步骤可按仪器说明书进行。

本方法判断试验结果允许误差 可接受性的置信度为 95%。

T 0626—2000 沥青酸值测定方法

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青的酸值。

2 仪器与材料技术要求

2.1 氢氧化钾乙醇标准溶液, 0.1mol/L;

2.2 盐酸标准溶液, 0.1mol/L;

2.3 无水乙醇; 化学纯;

2.4 苯, 化学纯;

- 2.5 圆底烧瓶，带标准磨口；
- 2.6 球形回流冷凝器：40cm，具有与烧瓶相配合的标准磨口；
- 2.7 恒温水槽；
- 2.8 玻璃电极；
- 2.9 饱和甘汞电极；
- 2.10 其它：烧杯、容量瓶、100mL 移液管。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 氢氧化钾乙醇标准溶液的配制

取 5.6g 氢氧化钾于洁净的烧杯中，用少量的无水乙醇溶解并转移至 1L 容量瓶中，反复用乙醇洗涤烧杯内的残余氢氧化钾，一并移至容量瓶中，最后用无水乙醇稀释至要求刻度，得到浓度约为 0.1mol/L 的氢氧化钾乙醇标准溶液。

3.1.2 氢氧化钾乙醇标准溶液的标定

用浓度为 0.1mol/L 的标准盐酸溶液，按常规无机化学或分析化学中关于溶液配制及酸碱滴定的方法，对氢氧化钾乙醇标准溶液进行滴定，测定其准确的浓度，准确至 0.00001mol/L。

3.2 试验步骤

3.2.1 按本规程规定的方法准备沥青试样。取沥青 3g~5g，准确至 0.0001g，置于 250mL 圆底烧瓶中。

3.2.2 按每克沥青加 5mL 苯的用量加入 15mL~25mL 苯，在温度 65℃±5℃的恒温水槽锅内回流半小时。

3.2.3 在沥青中加入 100mL 无水乙醇，密封静置过夜。

3.2.4 用玻璃电极作为指示电极，饱和甘汞电极作为参考电极，按照分析化学的方法采用电位滴定法用氢氧化钾乙醇标准溶液滴定至终点。

3.2.5 取一圆底烧瓶，加入与 3.2.2 步骤相同量的苯，再加入 100mL 的无水乙醇，搅拌均匀后密封静置过夜，作为空白试样。然后按照 3.2.4 步骤测定空白试样消耗氢氧化钾乙醇标准溶液的体积。

4 计算

沥青的酸值按式(T 0626—1)计算。

$$A = \frac{56.1 \times (V - V_0) \times C}{m} \quad (\text{T 0626—1})$$

式中：A——沥青的酸值，mL·mol/L/g；

V——滴定试样所消耗的氢氧化钾乙醇标准溶液的体积，mL；

V_0 ——滴定空白试样消耗氢氧化钾乙醇标准溶液的体积, mL;

C ——氢氧化钾乙醇标准溶液浓度, mol/L;

m ——沥青用量, g。

条文说明

本方法的基本原理是将沥青溶解于苯和乙醇的混合溶剂中,以氢氧化钾的乙醇标准溶液中和沥青中的游离酸,由消耗氢氧化钾乙醇溶液的体积来计算酸值。

国标 GB 264 润滑油酸值的试验方法、GB 5530—85《植物油脂检验酸价测定法》、GB 5517—85《粮食、油料检验粮食酸度测定法》与本方法基本上是一致的,只是溶剂和具体操作步骤略有不同,更详细的方法可参照 ASTM D 664。

T 0627—2011 沥青弯曲蠕变劲度试验(弯曲梁流变仪法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法用弯曲梁流变仪测定沥青的弯曲蠕变劲度和 m 值。测量的弯曲蠕变劲度范围为 20MPa~1000MPa。

1.2 本方法适用于原样沥青、压力老化后的沥青和薄膜烘箱后(或旋转薄膜烘箱)的老化沥青。

1.3 根据本方法进行试验时,若试件的形变大于 4mm 或小于 0.08mm 时,试验结果无效。

2 仪器与材料技术要求

2.1 弯曲梁流变仪试验系统由以下几部分组成:

2.1.1 带有试件支架的加载框。

2.1.2 将试件保持在试验温度下并提供浮力以抵消试件重力的恒温浴。

2.1.3 计算机控制和数据自动采集系统元件。

2.1.4 试样梁模具。

2.1.5 检量和校正系统的梁。

2.2 试验系统基本技术要求和参数

2.2.1 加载框:由一套试件支架、加载轴、荷载传感器、荷载调零装置、加载装置及位移测量传感器等组成。示意图见图 T 0627-1。

2.2.2 加载系统:能向试件施加 $35\text{mN} \pm 5\text{mN}$ 的接触荷载,试验过程中将试验荷载保持在 $980\text{mN} \pm 50\text{mN}$ 以内。技术要求如下:

1) 加载系统要求:试验荷载的升压时间应不少于 5s。开始试验时系统在 0.5s~5s 内将接触荷载从 $35\text{mN} \pm 5\text{mN}$ 增加到初始试验荷载 $980\text{mN} \pm 50\text{mN}$,此时试验荷载应稳定在平均试验荷载的

$\pm 50\text{mN}$ 之内，之后稳定在平均试验荷载的 $\pm 10\text{mN}$ 。

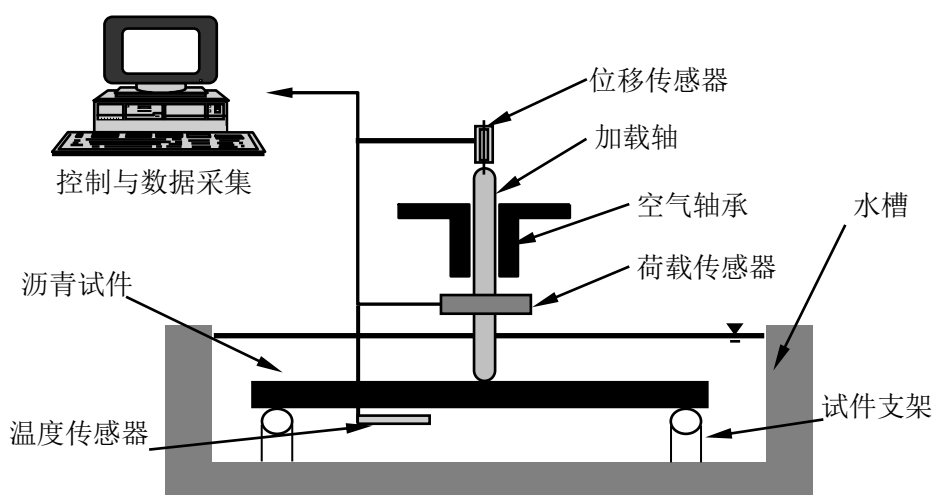


图 T 0627-1 弯曲梁流变仪示意图

2) 加载轴：带有半径为 $6.3\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 球形接触点。

3) 荷载传感器：用来测量初始接触荷载和试验荷载。最小量程应不小于 2.00N ，分辨力不小于 2.5mN 。

4) 线性差动式位移传感器 (LVDT)：量程不小于 6mm ，分辨力不小于 $2.5\mu\text{m}$ 。

5) 试件支架：接触半径为 $3.0\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ 由不锈钢或其他防腐蚀金属制成的支架。

2.2.3 温度传感器：测量范围为 $0^{\circ}\text{C} \sim -36^{\circ}\text{C}$ ，精确至 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.4 恒温浴：在 $-36^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 范围能将浴内各点温度保持在试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.5 数据采集系统分辨力：最小荷载 2.5mN 、最小形变为 $2.5\mu\text{m}$ 和最小恒温浴内温度变化为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。当接触荷载转换到试验荷载信号被激活时，数据采集系统将及时感受该点。数据采集系统将记录在 8.0s 、 15.0s 、 30.0s 、 60.0s 、 120.0s 和 240.0s 的荷载和形变。

2.2.6 试件模具：材料为铝板或不锈钢（也可用硅橡胶）。模具内部尺寸为：长 $127\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、厚 $6.35\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 、宽 $12.70\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。图 T 0627-2 为试件成型示意图。

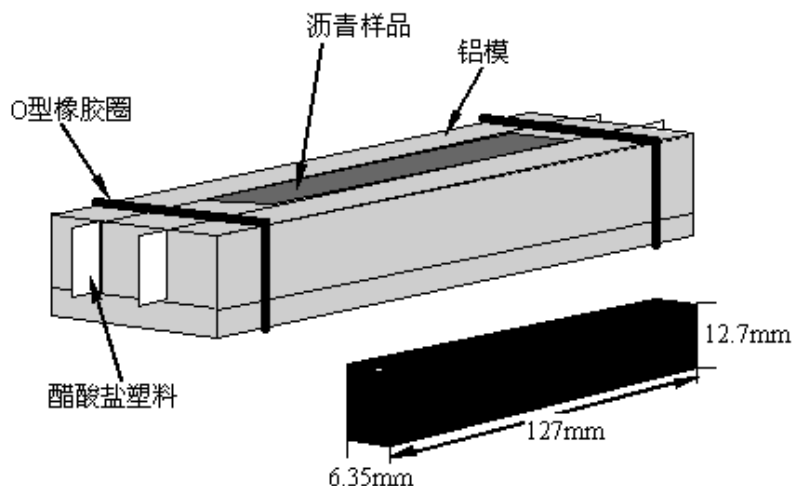


图 T 0627-2 试件成型示意图（铝板）

2.2.7 不锈钢(厚)梁: 长 $127\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、宽 $12.7\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 、厚 $6.4\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$; 不锈钢(薄)梁: 长 $127\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 、宽 $12.7\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 、厚 $1.0\text{mm} \sim 1.6\text{mm}$ 。

2.2.8 标准砝码: 通常需要 4 个, 每个质量 $100.0\text{g} \pm 0.2\text{g}$, 用于 BBR 荷载传感器的标定。

2.2.9 标准温度计: 分度为 0.1°C 的浸入式玻璃液体温度计, 用于检查温度传感器的温度。

2.2.10 塑料片: 厚度为 $0.08\text{mm} \sim 0.15\text{mm}$ 干净塑料片, 塑料片不会因热沥青的作用而变形。

2.2.11 丙三醇—滑石粉混合物: 用作金属模具内端面上的隔离剂。可用 20% 的丙三醇和 80% 的滑石粉。

2.2.12 恒温浴液体: 不被沥青吸附及不影响沥青性质的溶液。液体在试验温度下的相对密度应不超过 1.05, 合适的液体包括乙醇、甲醇、稳定的异丙醇、丙三醇—甲醇—水的混合液(例如: 60% 的丙三醇, 15% 的甲醇, 25% 的水), 也可使用其它试剂, 但不得使用硅酮或含有硅酮类的混合物。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按操作说明书打开软件, 加载和数据采集系统。

3.1.2 选择试验温度并将浴液的温度调节到所选温度。试验前将温度恒温到试验温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

3.1.3 打开空气轴承, 用荷载调节器调节加载轴, 使它在垂直路径约中间点处自由漂浮。

3.1.4 调节负载设置: 将厚 6.4mm 的不锈钢梁放在支架上, 调节相关按钮, 使接触荷载达到 $35\text{mN} \pm 10\text{mN}$, 相应的初始试验荷载应为 $980\text{mN} \pm 50\text{mN}$ 。

3.1.5 系统检查: 在每次进行试验前, 将厚度为 $1.0\text{mm} \sim 1.6\text{mm}$ 的不锈钢薄梁放在样品支架上, 按程序要求操作测定薄梁模量, 模量值应在薄梁模量的标准值范围内。

3.1.6 温度传感器的检查：当试验温度改变时，用标准温度计显示的温度与数据采集系统显示的温度进行比较，数据采集系统显示的温度与标准温度计显示的温度差应该在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 内。

3.2 试件制备

3.2.1 金属模具的准备：将模具清理干净，在模具的三个长金属部分的内表面涂一层石油基润滑脂，用润滑脂将塑料片平平黏到金属上：

- 1) 将塑料片放在金属表面，用手指挤压塑料片，靠摩擦力将塑料片压在金属表面上。
- 2) 在两个端件的内表面涂一层丙三醇和滑石粉的混合物，以防止沥青黏到金属端件上。
- 3) 按图 T 0627-2 安装模具。用 O 形橡胶环将模件紧紧捆在一起。检查模具，用力将塑料片向金属表面压，以挤出气泡。
- 4) 安装结束后，将模具放在室温下等待浇注沥青。

3.2.2 试件的制备

1) 按本规程 T 0602 的方法准备试样。将沥青在烘箱中加热，直到沥青充分流动，容易浇注的状态。

2) 浇注试件(金属模)：模具放在室温下，将沥青从模具的一端向另一端来回浇注，使沥青略高出模具。倾倒时使盛样容器距模具顶端 20mm~30mm，以单一路径向另一端浇注沥青，将倒满沥青的模具在室温下冷却 45min~60min。冷却到室温后，用热刀切掉并切平冷却后高出模具顶端的沥青样品。

3.2.3 试件的存放和脱模

- 1) 试验前将模具中的试件置于室温下，试件浇注完后应在 4h 内完成试验。
- 2) 在脱模前，将含试件的金属模放在冷却室或水浴中冷却，保证试件在脱模时不变形，冷却温度宜采用 $-5^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，冷却时间为 5min~10min。
- 3) 当模具内试件已达到脱模条件时，宜立即拆掉金属模具将试件移出。为了避免试件变形，应将塑料片和侧模从试件上滑动脱模。

注：在脱模过程中，小心拿好试件不要使试件变形。变形的试件将会影响测得的劲度和 m 值。

3.3 试验步骤

3.3.1 试件脱模后，立即将试件放入达到试验温度的恒温浴中，恒温保持 $60\text{min} \pm 5\text{min}$ 后，将试件安放在支架上，保持恒温浴温度与试验温度在 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 内。

3.3.2 将试件资料、试验荷载、试验温度等有关信息输入到计算机中。

3.3.3 向试件手动施加一个 $35\text{mN} \pm 10\text{mN}$ 的接触荷载，施加荷载时间不能大于 10s，且保证试件和荷载头之间的接触。

3.3.4 击活自动试验系统，加载过程为：

- 1) 在 $1\text{s} \pm 0.1\text{s}$ 内施加 $980\text{mN} \pm 50\text{mN}$ 的初始荷载。

2) 将荷载减少到 $35\text{mN} \pm 10\text{mN}$, 维持 $20\text{s} \pm 1\text{s}$ 。

3) 施加试验荷载 $980\text{mN} \pm 50\text{mN}$, 维持时间为 240s 。计算机将从 0.5s 起, 以 0.5s 的时间间隔自动记录并计算荷载及形变值。

4) 卸去试验荷载并返回到 $35\text{mN} \pm 10\text{mN}$ 的接触荷载。

5) 从支架上移走试件进行下一个试验。

4 报告

4.1 按试验要求, 报告包括下列内容:

(1) 试件编号、项目编号。

(2) 试验日期。

(3) 试件宽度、厚度, 准确至 0.01mm 。

(4) 试验温度, 准确至 0.1°C 。

(5) 施加试验荷载的时间 (h, min)。

(6) 试验过程中的最高温度、最低温度, 准确至 0.1°C 。

(7) 试验过程中记录的最大荷载、最小荷载, 准确至 1mN 。

4.2 对 8.0s 、 15.0s 、 30.0s 、 60.0s 、 120.0s 和 240.0s 时间报告下列试验结果:

(1) 施加荷载的时间, 准确至 0.1s 。

(2) 试验荷载, 准确至 1mN 。

(3) 试件的形变量, 用 mm 表示, 准确至 $1\mu\text{m}$ 。

(4) 测量得到的劲度模量, 用 MPa 表示, 取三位有效数字。

(5) m 值, 准确至 0.001 。

5 允许误差

5.1 重复性试验为两个结果的差值(用平均值的百分数表示)应不超过表 T 0627 的重复性允许误差值。

5.2 再现性试验为两个结果的差值(用平均值的百分数表示)应不超过表 T 0627 的再现性允许误差值。

表 T 0627 重复性和再现性允许误差值

条 件	两个试验结果的允许误差, %	
重复性	蠕变劲度(MPa)	7.2
	m 值	2.9
再现性	蠕变劲度(MPa)	17.8
	m 值	6.8

条文说明

本试验方法参考 ASTM D 6648-01 及 AASHTO T313-09 方法, 结合国内多年来的使用情况而编写的。操作者在使用弯曲梁流变仪前需仔细阅读厂家所提供的仪器设备说明书, 详细的操作步骤可按仪器说明书进行。

T 0628—2011 沥青流变性质试验(动态剪切流变仪法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青的动态剪切模量和相位角。沥青动态剪切模量测量值的范围为 0.1MPa~10MPa, 相应的温度范围为 5℃~85℃之间。

1.2 本方法适用于原样沥青、压力老化后的沥青和薄膜烘箱后(或旋转薄膜烘箱)的老化沥青。如用于含有颗粒的沥青, 本标准试验方法只适用于颗粒尺寸小于 250 μ m 的沥青。

1.3 本方法测得的复合剪切模量和相位角通过计算可以确定沥青性能(PG)分级等级。

2 仪器与材料技术要求

2.1 动态剪切流变仪试验系统由平行金属板、环境室、加载设备、控制和数据采集系统组成。其基本原理如图 T 0628 所示。

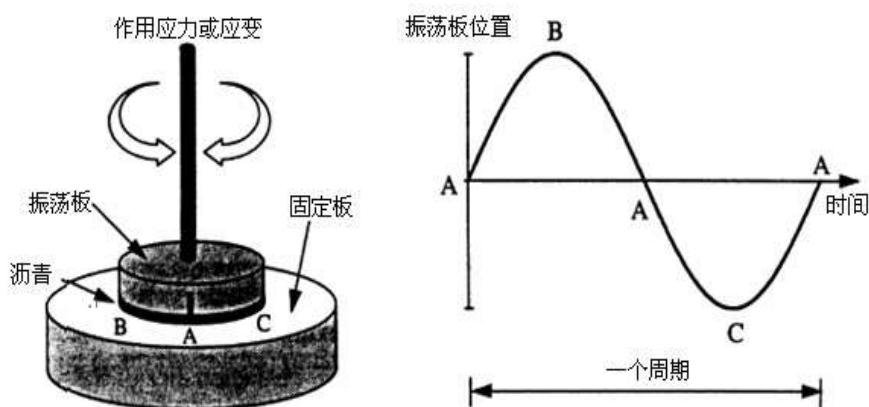


图 T 0628 动态剪切流变仪基本原理

2.2 试验系统基本技术要求和参数

2.2.1 试验板: 两种规格的表面应光滑的金属板。一块直径为 8.00mm $\pm$ 0.05mm; 另一块直径为 25mm $\pm$ 0.05mm。

2.2.2 环境室: 用来控制试验时试件的温度, 通过加热或冷却维持一个恒定的试件环境。环境室中加热或冷却试件的介质应为不影响沥青性质的液体或气体。

2.2.3 温度控制器: 在 5℃~85℃温度范围内可将试件温度控制在试验温度的 $\pm$ 0.1℃内。

2.2.4 加载设备: 可以向试件施加 10rad/s $\pm$ 0.1rad/s 频率的正弦振荡荷载。加载方式可

采用应力控制荷载或应变控制荷载。

2.2.5 控制和数据采集系统：可记录温度、频率、偏转角和扭矩。应满足表 T 0628-1 中规定的精确度要求。

2.2.6 温度传感器：精确至 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 试件修整器：刮刀或刀片，用于修整试件。

表 T 0628-1 控制和数据采集系统要求

测 定 值	精 度
温度	0.1°C
频率	1%
扭矩	10mN.m
偏转角度	100 μrad

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 的方法准备试样。加热沥青至足够流动状态，用来浇注试件，原样沥青加热的温度不宜高于 135°C ，改性沥青加热温度不超过 163°C 。在加热过程中给样品加盖，并适当进行搅拌以保证样品的均匀性和赶走气泡。

3.1.2 将选择的试验板固定于试验机上，在试验温度下，建立试验板零间隙水平。向上移动顶板，使板间隙为： $1\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ （直径 25mm，用于原样沥青和薄膜烘箱或旋转薄膜烘箱老化后的沥青）或 $2\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ （直径 8mm，用于压力老化后的沥青）。

3.1.3 仔细清洁试验板表面，使沥青均匀牢固的黏到试验板上。当采用 8mm 试件时，将环境室温度升到约 45°C ；当采用 25mm 试件时将环境室升到试验温度或试验温度范围的初始温度。

3.1.4 取出试验板，将沥青浇注在试验板的中心处，使得沥青基本覆盖整个板（除了周边留有 2mm 宽外）。待沥青变硬后将试验板装回流变仪。

3.1.5 移动试验板挤压两个试验板间的试件，加热试件修整器，修整周边多余的沥青。

3.1.6 试件修整后，调整间隙到试验间隙。

3.2 试验步骤

3.2.1 调整好试验板间隙后，将试件温度升到试验温度的 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

1) 当用对沥青进行确认试验时，从沥青性能分级要求(PG)中选择合适的试验温度。

2) 将温度控制器设定到所需要的试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的温度对试件恒温至少 10min，然后开始

试验。

3.2.2 在应力或应变控制方式下进行试验，当采用应力控制方式时，从表 T 0628-2 选择合适的应力值进行试验，动态剪切流变仪能自动控制应力，不须操作者调整。

3.2.3 当采用应变控制方式时，从表 T 0628-3 选择合适的应变值进行试验，动态剪切流变仪能自动控制应变，不须操作者调整。

表 T 0628-2 目标应力值

材料	临界值 (kPa)		应力 (kPa)	
			目标水平	范围
原样沥青	$G^*/\sin \delta$	≥ 1.0	0.12	0.09-0.15
TFOT/RTFOT 残留物	$G^*/\sin \delta$	≥ 2.2	0.22	0.18-0.26
PAV 残留物	$G^*\sin \delta$	≤ 5000	50.0	40.0-60.0

表 T 0628-3 目标应变值

材料	临界值 (kPa)		应变 (%)	
			目标值	范围
原样沥青	$G^*/\sin \delta$	≥ 1.0	12	9-15
TFOT/RTFOT 残留物	$G^*/\sin \delta$	≥ 2.2	10	8-12
PAV 残留物	$G^*\sin \delta$	≤ 5000	1	0.8-1.2

注：G*为复合剪切模量。

3.2.4 当温度达到平衡时，设备将自动以 10rad/s 的频率和选择的应力（或应变）目标值进行试验，第一次 10 个循环，不记录数据，第二次 10 个循环，记录数据，用于计算复合剪切模量和相位角。记录和计算均由数据采集系统完成。

3.2.5 试件制备和修整结束后，应立即进行试验。在多个温度下进行试验时，从试件加热到整个试验结束应在 4 小时内完成。

4 报告

4.1 每个试验报告应包括以下内容：

- (1) 试验板直径，准确至 0.1mm；试验间隙，准确至 1 μ m。
- (2) 试验温度，准确至 0.1℃。
- (3) 试验频率，准确至 0.1rad / s。

- (4)应力或应变变大小，准确至 0.01%。
- (5)复合模量 G^* ，单位 kPa，取三位有效数字。
- (6)相位角 (δ)，准确至 0.1°。

4.2 报告所用试验材料名称、规格、来源及试验仪器的型号。

5 允许误差

- 5.1 重复性试验为两个结果的差值(用平均值的百分数表示)不超过表 T 0628-4 的重复性允许误差。
- 5.2 再现性试验为两个结果的差值(用平均值的百分数表示)不超过表 T 0628-4 的再现性允许误差值。

表 T 0628-4 重复性和再现性允许误差值

试验参数		重复性(%)	再现性(%)
原样沥青	$G^*/\sin\delta$ (kPa)	6.4	17.0
TFOT/RTFOT 残留物	$G^*/\sin\delta$ (kPa)	9.0	22.2
PAV 残留物	$G^*\sin\delta$ (kPa)	13.8	40.2

条文说明

本试验方法参考 AASHTO T 315-09《动态剪切流变仪测定沥青胶结料流变性质试验法(DSR)》并结合国内多年来的使用情况而编写的。操作者在使用动态剪切流变仪需仔细阅读厂家所提供的仪器操作说明书，详细的操作步骤可按仪器说明书进行。

T 0629—2011 沥青断裂性能试验(直接拉伸法)

1 目的与适用范围

- 1.1 本方法规定了用直接拉伸试验测定沥青破坏应变和破坏应力的方法。适用于原样沥青，沥青旋转薄膜烘箱试验后 (RTFOT)和沥青压力老化容器老化 (PAV)后的沥青材料。试验温度范围：0℃～－36℃。
- 1.2 本试验方法只适用于颗粒尺寸小于 250μm 的沥青。

2 仪具与材料技术要求

- 2.1 直接拉伸试验仪主要由以下几部分组成：
 - 2.1.1 以闭路耦合反馈控制的位移与加载系统。

2.1.2 试件夹持系统。

2.1.3 低温液体冷浴槽。

2.1.4 荷载测量和伸长测量记录仪。

2.1.5 温度检测和记录设备仪。

2.1.6 数据自动采集和显示系统。

2.1.7 信号控制器，控制力、位移及应变，并与计算机连接。

2.2 直接拉伸试验仪的技术要求和参数：

2.2.1 具有温控系统的加载设备：加载能力不小于 500N。加载系统可安装于桌面。夹持系统应当浸没在冷却液中。夹具应在液体表面下至少 25mm，通过直接拉伸试件完成加载。图 T 0629 为直接拉伸试件示意图。

2.2.2 试件夹持系统：具有轴向拉力和自动对中能力。保证塑料端模能挂上去。

2.2.3 冷冻机和冷浴槽：冷冻机通过管道与冷却槽相连接。冷浴槽应有足够的空间，能容纳试件和夹持系统。温度控制范围为试验温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.4 荷载测量和记录系统：荷载最小量程为 500N，灵敏度为 0.1N 的荷载传感器测量，用数据采集系统分析数据，荷载和应力显示精度为 0.1N。

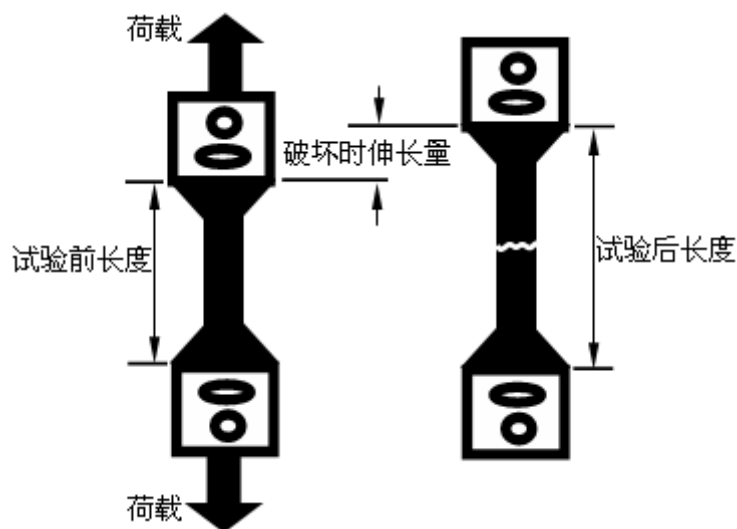


图 0629 直接拉伸试件示意图

2.2.5 伸长测量和记录系统：精确至 $1\ \mu\text{m}$ 。

2.2.6 数据采集系统：计算机应具备自动显示荷载、伸长量、温度和应力—应变曲线。

2.3 冷却液：宜采用醋酸钾溶液。也可用质量比 42% 的乙酸钾粉末和 58% 的去离子水或蒸馏水的混合液。

2.4 试模：试模由铝合金制成。

2.5 标准温度计：分度值为 0.1°C 。

2.6 烘箱：温度为 $160^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的强制对流式烘箱。

2.7 隔离剂：质量比 1：1 的甘油和滑石粉调成的混合物。

2.8 溶剂：用于清洁试模、端模和板。可用石油醚、庚烷等无溶解性和无腐蚀性的溶剂。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 的方法准备试样。将冷浴槽设定在要求的试验温度并稳定于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 范围内。将沥青样品加热，直至呈容易浇注状态，但加热温度不宜超过 135°C ，对于改性沥青或者老化后的沥青，应保证浇注时的流动度，且加热温度不宜超过 165°C 。加热时间应尽量短，为保证均匀性可以稍加搅拌，搅拌时应小心不要让气泡裹进沥青中。

3.1.2 用隔离剂涂满试模的两个内侧模板。使其金属表面均匀分布一薄层隔离剂，金属表面无暴露部分，将一张预先裁好的隔离纸放在试模的托板上，将侧模板放在隔离纸上，将端模放在试模的两端，将另一侧模放在底板上形成一个完整的试模组件。把试模组件放在一个平整的瓷砖上并放入 163°C 烘箱中保温 30 min。

3.1.3 从烘箱中取出瓷砖和试模，置于平坦的台面上，然后一次性浇注成型。热沥青的液面应稍稍高出试模表面，便于冷却后修整。

3.1.4 将试模在室温下自然冷却约 60min，然后用热刮刀刮平顶部多余沥青，注意修整后的沥青试件表面应是平整的。

3.1.5 将带模试件放入 0°C 冰箱或冷浴中冷却 5min 左右，待试件变硬后小心脱模。注意在脱模过程中应避免扭曲或弯曲试件，否则影响试验结果。

3.2 试验步骤

3.2.1 按 3.1 所述准备 6 个试件。

3.2.2 设定冷浴温度至试验温度，稳定至 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。然后按程序将力值调零。

3.2.3 将试件放入恒温的冷浴中养护 $60\text{min} \pm 5\text{min}$ ，然后用专用夹子夹住试件，将试件安装在销子上。注意试模的孔与样品架的上下轴相吻合。

3.2.4 试件就位后，检查试件是否安放平稳。注意此时计算机上力值的显示数值应小于 0.1N ，否则需检查原因。

3.2.5 设定拉伸速率为 1mm/min 。将位移及应变复零，开始试验。

3.2.6 当试件拉断或应变超过 10% 时则停止试验，并移走试件和沥青碎片。

3.2.7 当荷载达到峰值时试件突然断裂，记为脆性破坏，此时为最大应力状态下的最大应变；如果试件达到最大应力时未断裂而继续变形，则破坏应变记录为相应于最大应力时应变；当应变超过 10% 时，不必继续试验，记录破坏应变为“大于 10%”，该沥青满足有关规范试验温度下的要

求。

3.2.8 记录破坏荷载和试件的破坏形状，如果试件在颈部破坏，则记录破坏数据并注明在径部；如属于超过 10% 未断裂，记录 10% 伸长时的荷载并注明试件没有断裂。

3.2.9 重复 3.2.2~3.2.7 步骤，直至六个试件测试完毕。

3.2.10 塑料端模可重复使用，试验完成后应认真清洗。将塑料端模浸在溶剂中然后用柔软的布擦干净，再用干净的肥皂液或洗涤剂去除黏结面上溶剂留下的油膜。

4 计算

4.1 按照式(T 0629-1)计算每个试件破坏应力：

$$\sigma_f = P_f / A \quad (T\ 0629-1)$$

式中： σ_f —破坏应力，MPa；

P_f —破坏荷载，N；

A —试件的初始横断面积， mm^2 ；

4.2 按照式(T 0629-2)计算每个试件的破坏应变：

$$\epsilon_f = \delta_f / L \quad (T\ 0629-2)$$

式中： ϵ_f —破坏应变， mm/mm ；

δ_f —破坏时伸长值， mm ；

L —试件有效拉伸长度， mm ；

5 报告

同一试验结果中去掉两个破坏应力最低试件，如两个或多个试件破坏应力相同，但应变不同，则去掉两个破坏应变值较低的试件，用剩余 4 个试件的试验结果计算破坏应力和破坏应变的平均值及标准差。

条文说明

本试验方法参考 ASTM D6723、AASHTO T314-07《直接拉伸试验测定沥青断裂性能的试验方法(DTT)》并结合国内多年来的使用情况而编写的。操作者在使用前需仔细阅读厂家所提供的仪器操作说明书，详细的操作步骤可按仪器说明书进行。

T 0630—2011 压力老化容器加速沥青老化试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用高温和压缩空气在压力容器中对沥青进行加速老化，目的是模拟沥青在道路使用

过程中发生的氧化老化,用来评价不同沥青在试验温度和压力条件下的抗氧化老化能力,但不能说明混合料因素的影响或沥青实际使用条件下对老化的影响。

1.2 本方法使用的样品为旋转薄膜烘箱试验方法得到的残留物。

2 仪具与材料技术要求

2.1 压力老化试验仪 (PAV) 见图 T 0630—1, 主要由以下几部分组成:

- 2.1.1 一个压力容器。
- 2.1.2 压力控制设备。
- 2.1.3 温度控制设备。
- 2.1.4 压力和温度测量设备。
- 2.1.5 标准的薄膜烘箱盛样盘等组成。

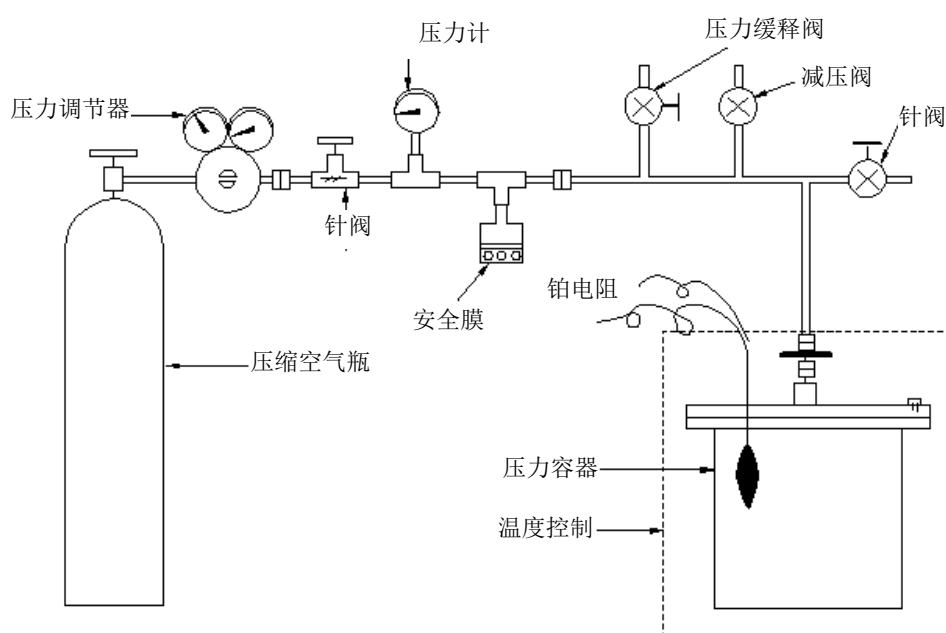


图 T 0630—1 压力老化试验仪 (PAV) 示意图

2.2 直接拉伸试验仪的技术要求和参数

2.2.1 压力容器。压力在 $2.1\text{MPa} \pm 0.1\text{MPa}$ 。压力容器包括一个盘架，盘架可以水平放置 10 个薄膜烘箱盛样盘。图 T 0630—2 为压力容器（PAV）内部结构示意图。

2.2.2 压力控制设备

1) 减压阀：防止容器中的压力超过容器的设计压力。在老化过程中容器中压力应不超过 2.5MPa 。

2) 压力调节器：将容器中的压力控制到 $\pm 0.02\text{MPa}$ ，并且在老化过程中，使容器的压力控制在 $2.1\text{MPa} \pm 0.1\text{MPa}$ (表压)。

3) 压力缓释阀：完成试验后，在 $8\text{min} \sim 15\text{min}$ 内将容器中 2.1MPa 的压力慢速的减至大气压力。

2.2.3 温度控制设备：在 $90^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 温度范围，能够将压力容器内部温度控制在老化温度的 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

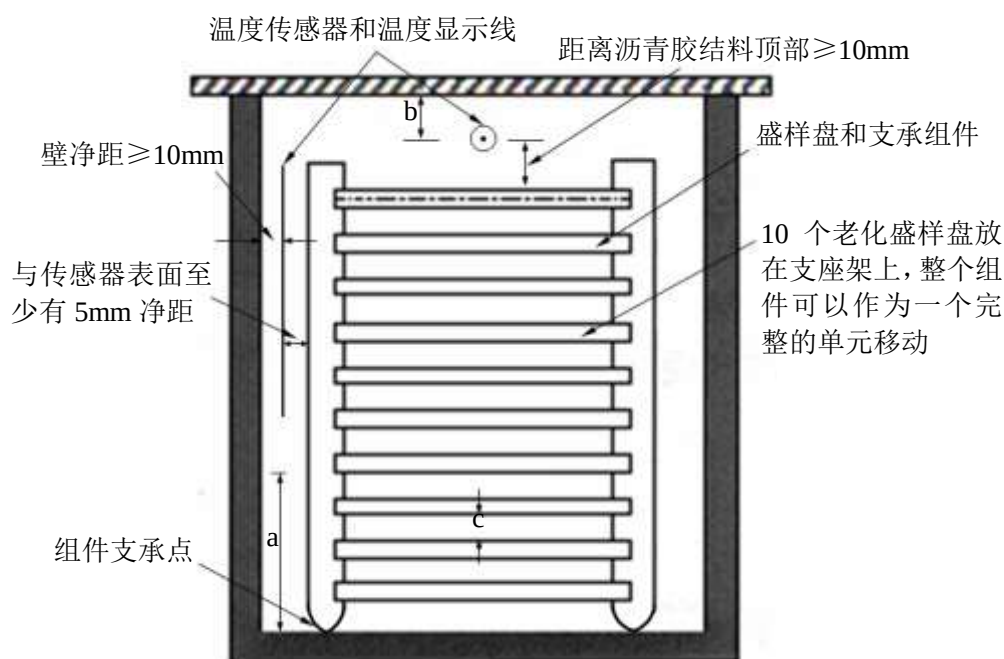
2.2.4 温度记录设备：在整个老化过程中记录温度并准确至 0.1°C 。

2.2.5 压力表：在老化过程中，将压力容器内部的压力准确测量至 $\pm 0.02\text{MPa}$ 之内。

2.2.6 盛样盘：10 个满足薄膜加热试验标准的不锈钢盘。

2.2.7 天平：感量 $\pm 0.1\text{g}$ 。

2.2.8 压缩空气瓶。



注：a—为组件支撑点到各层支座架顶面距离。组件支撑点不少于 3 个，测量 3 个组件支撑点到各层支座架顶面距离，3 个值之间的差值控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 。控制差值主要是保证盛样盘的水平性。

b—距离压力容器内部顶面距离 $\geq 10\text{mm}$ ；c— $\geq 12\text{mm}$ 。

图 T 0630—2 压力容器（PAV）内部结构示意图

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0602 的方法准备试样。将沥青进行旋转薄膜烘箱试验（RTFOT）将老化试验后的残留物倒入一个容器中。

3.1.2 将已知质量的标准薄膜烘箱试验盛样盘放在天平上，向盘中加入 $50\text{g} \pm 0.5\text{g}$ 的沥青，使沥青薄膜厚度约 3.2mm ，如果残留物已冷却，可将其加热至流动状态再灌样。

3.2 试验步骤

3.2.1 将盘架放在压力容器内部，按相关要求选择压力老化容器温度，开启加热器，将压力容器预热到选定的老化温度。当温度达到老化温度后，迅速将压力容器打开，将准备好的盛样盘放入压力容器中的试样架上，然后关闭压力容器。

3.2.2 当压力容器内部的温度达到低于规定温度 2°C 时（要求在 2h 内达到），供给 $2.1\text{MPa} \pm 0.1\text{MPa}$ 的空气压力，并开始计时。保持压力容器内的温度和空气压力 $20\text{h} \pm 10\text{min}$ 。

3.2.3 到规定的 20h 老化时间后，开启减压阀，使压力老化容器（PAV）内的压力在 $8\text{min} \sim 15\text{min}$ 减小到与外部压力相同。

3.2.4 在 20h 的老化阶段，如果温度记录设备显示的温度高于或低于目标老化温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 的总时间超过 60min ，则老化过程无效，废弃试验样品。同样压力超出规定范围，废弃试验样品。

3.2.5 打开压力容器，拿出试验架和盛样盘，将盘中热的残留物倒入一个容器中，加热并搅拌除去气泡后，可立刻进行压力老化（PAV）残留物的性能测定，如果不立即对残留物进行试验，应盖好在室温下存放，留待以后试验。

4 报告

试验结束后报告包括：样品编号、老化温度，准确至 0.5°C 、记录最高和最低老化温度，准确至 0.1°C 、总老化时间，准确至 min 。

条文说明

本试验方法参考 ASTM D6521、AASHTO R28-2009《压力老化容器加速老化沥青的标准方法》并结合国内多年来的使用情况而编写的。操作者在使用前应该仔细阅读厂家所提供的仪器操作说明书，详细的操作步骤可按仪器说明书进行。

T 0631—1993 沥青浮漂度试验

1 目的与适用范围

1.1 沥青的浮漂度是试样在规定的浮漂仪中，自放入一定温度的水槽内起，逐渐软化至被水冲破所需要的时间，以 s 表示。

1.2 试验根据相关规范在规定的温度下进行。非经注明,液体石油沥青蒸馏后,残留物的试验温度为 50℃,煤沥青试验温度为 32℃或 50℃。

1.3 本方法适用于测定慢凝液体石油沥青蒸馏后残留物、煤沥青等材料的浮漂度。

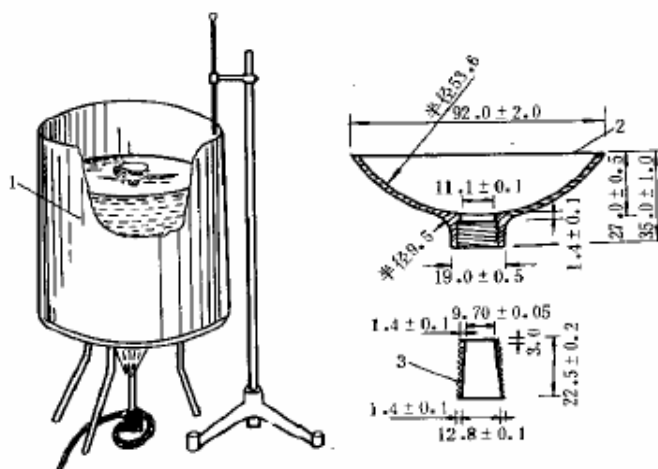


图 T 0631 浮漂仪(单位:mm)

1-水槽; 2-浮碟; 3-铜管

2 仪器与材料技术要求

2.1 浮漂仪:由铝或铝合金浮碟与铜管组成,其形状及尺寸如图 T 0631-1。浮碟壁厚 $1.4\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$,控制质量为 $37.9\text{g} \pm 0.2\text{g}$,铜管壁厚为 $1.4\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$,控制质量为 $9.8\text{g} \pm 0.2\text{g}$ 。铜管的螺丝部分,拧入浮碟的底孔后,应密封不漏水。带有试样的铜管与浮碟的总质量为 53.2g ,浮置水面上后,碟的边缘距水面应为 $8.5\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ 。

2.2 水槽：直径不少于 185mm，注水深度不少于 185mm，水面距水槽上口至少 100mm。能保持水温 $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 温度计: $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$, 分度为 1°C ; $0^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$, 分度为 0.5°C 。

2.4 可以调节的加热炉。

2.5 甘油滑石粉隔离剂：甘油与滑石粉的比例为 2：1(质量比)。

2.6 铜板或玻璃板。

2.7 秒表:分度 0.1s。

2.8 其它:刮刀、冰或冰箱、酒精灯等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 在铜板或玻璃板上涂以薄层甘油滑石粉隔离剂,并将铜管较小一端向下置于板上。

3.1.2 按本规程 T 0602 准备沥青试样后注满铜管,并高出管面为止。

3.1.3 将保温水槽用冰调节成水温 $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.4 将沥青试样在室温下冷却约 15min~60min 后,连底板置于水温为 $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的水槽中 5min。煤沥青在试样注入完后可立即置于水温为 $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的水槽中 5min。

随后,取出铜管,用热刀刮去凸出的试样,并务使管口齐平,然后再置回 5°C 水温的水槽中 15min~30min。

3.1.5 将浮漂仪水槽中的水加热至试验温度,温度计的水银球底应在水面下 $40\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 试样在 5°C 的水槽中保持 15min~30min 后,将铜管拧紧于浮碟的底孔,再重新置 5°C 水中 1min。注意,如铜管装于浮碟的底孔后有漏水现象,可在铜管的螺丝部分涂以少量黄油,再拧入浮碟的底孔中。

3.2.2 1min 后取出浮漂仪,迅速用布拭干碟上的水分,然后置于保持试验规定温度的浮漂仪水槽中,同时按动秒表。

3.2.3 试样受热软化,并被逐渐冲出铜管。当规定温度的水使铜管内试样冲破后浸入浮碟内时,立即按停秒表,并记取时间,准确至 s。

4 报告

同一试样至少平行试验两次,当两次试验结果之差值不大于 4s 时,取平均值作为试验结果。

条文说明

本试验法基本按照 1983 年试验规程中所列的试验法(沥 111—83)并参照 ASTM D 139 及 AASHTO T 50 作了局部修改或补充。图中尺寸按 AASHTO T 50 作了改正,将铜管总高 $22.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 改为 $22.5\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,拧入部分由 2.5mm 改为 3mm,浮碟厚由 2.5mm 改为 $1.4\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

浮漂度的试验温度在液体石油沥青及煤沥青的标准中一般有关规定,我国液体石油沥青蒸馏后残留物的浮漂度试验温度为 50°C ,在煤沥青标准中无规定,在 ASTM D 490 中规定为 32°C 及 50°C 。

允许误差在 ASTM D 139—77 中规定:当煤沥青浮漂度为 $32^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 时,重复性试验允许误差为平均值的 6.5%,再现性试验的允许误差为 11.9%,但 AASHTO T 50—81(1986)已将此规定全部删去,故本规程保留 1983

年试验规程中两次差值不大于 4 s 的要求，但不作为允许误差要求。

T 0632—1993 液体石油沥青蒸馏试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定液体石油沥青材料的馏分含量，根据需要，残留物可进行针入度黏度、延度、浮漂度等各种试验。除非特殊需要，当海拔为零时，各馏分蒸馏的标准切换温度为 225℃、316℃、360℃。

2 仪具与材料技术要求

2.1 蒸馏烧瓶:形状及尺寸如图 T 0632-1。

2.2 保温罩:形状与尺寸如图 T 0632-2，由金属(1mm 厚)片制成，周围内衬 3mm 厚的石棉，并有两个对称的云母小窗，罩底及两个半圆形拼成的顶盖内衬 6mm 厚的石棉层。

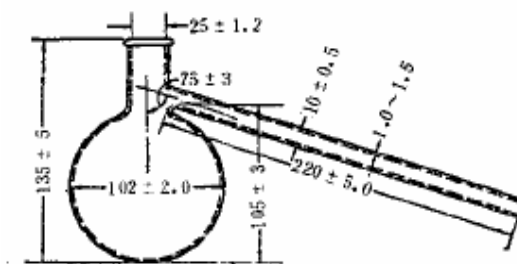


图 T 0632-1 蒸馏烧瓶(单位: mm)

2.3 冷凝管。

2.4 可调加热炉。

2.5 铁架: 两个，一个上有铁环，用以支承蒸馏瓶和保温罩；一个上有铁夹，用以夹持冷凝器。

2.6 量筒:100mL，刻度 0.5mL。

2.7 温度计:0℃~360℃，分度为 1℃。

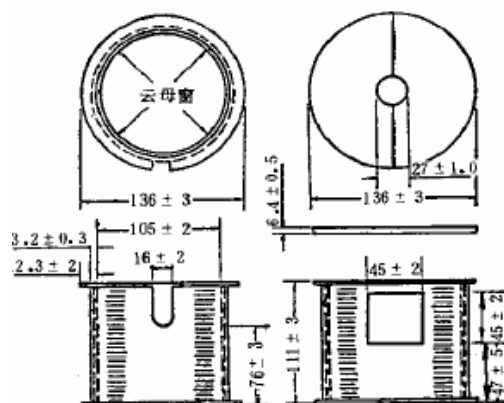


图 T 0632-2 保温罩(单位: mm)

2.8 导接管:厚玻璃(约 1mm)制,牛角形,弯角约 105° ,大端内径约 18mm,小端内径不小于 5mm。

2.9 铁丝网。

2.10 天平:感量不大于 0.1g。

2.11 其它:残留物盛样器、软木塞或橡胶塞等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将蒸馏烧瓶、冷凝器、导接管及量筒等洗净、烘干。

3.1.2 将试样加热搅拌均匀后,注入已称质量的蒸馏烧瓶(m_1)内,其质量相当于按密度折算为 200mL。当试样含水量超过 2%时,则取质量相当于 100mL 试样。

3.1.3 液体石油沥青装置如图 T 0632-3。先将两层铁丝网置于铁架的铁环或加热炉具上,并在其上置保温罩。然后,将温度计插入蒸馏烧瓶带孔的木塞中,并用软木塞或橡胶塞塞紧瓶口,须注意温度计插入试样后,其水银球底距蒸馏烧瓶底约 6mm~7mm。温度计装妥后,再将蒸馏烧瓶垂直置于保温罩内,并将保温罩的上盖盖妥。然后,用木塞将蒸馏烧瓶的支管与冷凝管连接,插入部分约 25mm~50mm,但注意勿使两管壁相接触,并使冷凝管与蒸馏烧瓶的轴线平行。然后,在冷凝管的下端用软木塞与导接管联接,其角端伸入量筒中至少 25mm,但不得低于 100mL 的刻度标志。为避免蒸馏出的馏分损失,量筒上可盖一厚纸板或木板,板上穿一洞以备导接管下端通过。仪器全部装妥后,在冷凝管的外套筒接通水源,使水由冷凝管的下端进入,由上端流出。

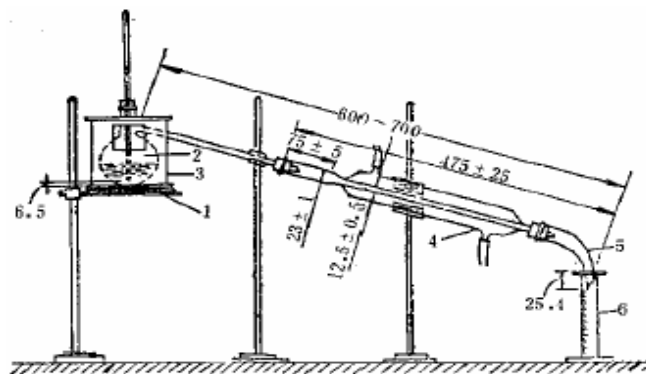


图 T 0632-3 液体石油沥青蒸馏装置(单位:mm)

1-调节加热器; 2-蒸馏烧瓶; 3-保温罩; 4-冷凝管; 5-牛角管; 6-量筒

3.2 试验步骤

3.2.1 将蒸馏烧瓶均匀加热,使第一滴蒸馏液滴出时间不早于 5min,亦不迟于 15min。以后须调节加热温度使蒸馏速度:260℃前为 50 滴/min~70 滴/min, 260℃~316℃为 20 滴/min~70 滴/min, 316℃~360℃完成蒸馏时间不超过 10min。在加热过程中,如试样起泡沫,蒸馏速度可略降低,但应尽快恢复正常。

注:如蒸馏至 316℃时,蒸馏出的馏分数量很少,可保持蒸馏温度上升 5℃/min 以上。

3.2.2 每当达到规定要求的蒸馏温度如: 225℃、316℃和 360℃时,立即读记量筒内蒸馏出馏分的体积(V),准确至 0.5mL。如蒸馏出的馏分达到 100mL,而温度尚未达到最后的温度时,应立即调换另一量筒。

3.2.3 当蒸馏温度达到 360℃时,停止加热,移走烧瓶,取走温度计。待蒸馏烧瓶及冷凝管中蒸馏液流入量筒后,立即将残留物摇匀后倾入一容器中,备作其它试验使用。从停止蒸馏至开始倾倒残留物的时间应不超过 15s。

3.3 根据需要(如仲裁试验等),试验的实际蒸馏切换温度可根据试验室的高程进行修正。通常在海拔 150m 以上时,温度修正按表 T0632-1 进行。也可根据大气压按表 T0632-2 进行修正。

表 T0632-1 标高与温度的换算

标高(m)	实际的蒸馏温度(℃)

-305	192	227	263	318	362
-152	191	226	261	317	361
0	190	225	260	316	360
152	189	224	259	315	359
305	189	224	258	314	358
457	188	223	258	313	357
610	187	222	257	312	356
762	186	221	256	312	355
914	186	220	255	311	354
1067	185	220	254	310	353
1219	184	219	254	309	352
1372	184	218	253	308	351
1524	183	218	252	307	350
1676	182	217	251	306	349
1829	182	216	250	305	349
1981	181	215	250	305	348
2134	180	215	249	304	347
2286	180	214	248	303	346
2438	179	213	248	302	345

注：本试验使用表中第 2、4、5 列的温度。

表 T0632-2 温度的气压修正系数

公称温度 (℃)	每 1.333kPa(10mmHg)气压差 的修正系数(℃)	公称温度(℃)	每 1.333kPa(10mmHg) 气压 差的修正系数(℃)
160	0.514	275	0.650
175	0.531	300	0.680
190	0.549	315.6	0.698
225	0.591	325	0.709
250	0.620	360	0.751
269	0.632		

注：不足 101.325kPa(760mmHg)为减，大于 101.325kPa(760mmHg)为加。

4 计算

4.1 各规定蒸馏温度的馏分含量按式(T 0632-1)计算。

$$P_i = \frac{V_i}{(m_2 - m_1)/\rho} \times 100 \quad (\text{T 0632-1})$$

式中：P_i——规定蒸馏温度的馏分含量(体积)，%；

V_i ——规定蒸馏温度的馏分体积, mL;

m_1 ——蒸馏烧瓶质量, g;

m_2 ——蒸馏烧瓶及试样合计质量, g;

ρ ——试样密度, g / cm³。

4.2 蒸馏后残留物含量按式(T 0632-2)计算。

$$P_R = \frac{m_R - m_1}{(m_2 - m_1)/d} \times 100 \quad (\text{T 0632-2})$$

式中: P_R ——蒸馏残留物含量, %;

m_R ——蒸馏烧瓶与残留物合计质量, g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次, 取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为平均值的 1.0%, 再现性试验的允许误差对 175℃以下馏分为平均值的 3.5%, 对 175℃以上馏分为平均值的 2.0%。

条文说明

本方法是在 1983 年试验规程(沥 110—83)的基础上参照 ASTM D 402 方法修改制定的, 明确蒸馏后残留物视需要可进行黏度、浮漂度等试验。

蒸馏温度范围, ASTM 等规定为 0℃~190℃、190℃~225℃、225℃~260℃、260℃~316℃。我国液体石油沥青技术要求无 190℃, 仅有 225℃、315℃、360℃, 故本试验法统一为 225℃、315℃、360℃, 且把 315℃改为 316℃, 与国外统一。

按 ASTM 方法补充了蒸馏温度范围 316℃~360℃及各温度范围的速度, 蒸馏后残留物含量的计算公式。关于蒸馏切换温度受气压或高程的影响, 1983 年试验规程不考虑, 本方法按照 AASHTO 及日本的试验法列入修正温度的表格供需要时(如仲裁试验)使用。

T 0633—1993 液体石油沥青闪点试验(泰格开口杯法)

1 目的与适用范围

本方法适用于泰格开口杯(简称 T0C)测定闪点低于 93 ℃的液体石油沥青材料的闪点。

2 仪器与材料技术要求

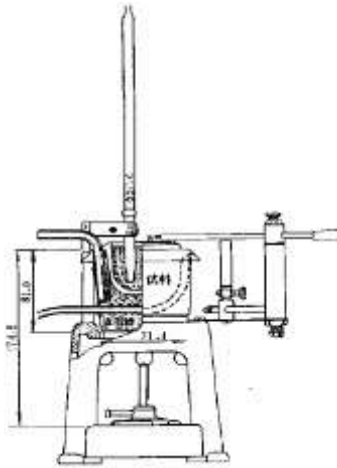


图 T0633-1 闪点仪 (单位:mm)

2.1 闪点仪：泰格开口杯式，形状及尺寸如图 T0633-1。它由下列部分组成：

2.1.1 泰格开口杯：耐热玻璃制，壁厚 $2.4\text{mm} \pm 0.4\text{mm}$ ，底部有一直径 15.9mm，深 0.8mm 的凹陷，杯的总质量不超过 95g，上口尺寸 $\phi 54.8\text{mm} \pm 1.6\text{mm}$ ，深 47.6mm，杯上口外侧有一突缘，其高度为 $7.9\text{mm} \pm 0.8\text{mm}$ ，形状及尺寸见图 T0633-2。

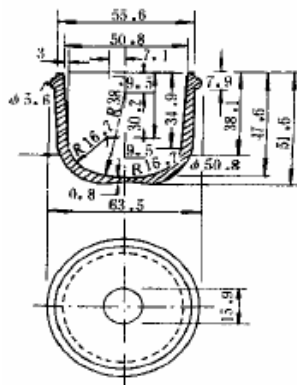


图 T0633-2 泰格开口杯(单位:mm)

注：在缺乏标准的耐热玻璃制泰格开口杯时，允许用金属坩埚代替。坩埚深 47mm，上口直径 $\phi 64\text{mm}$ ，下口直径 $\phi 38\text{mm}$ ，在杯口下方 3.2mm 处有一刻线，但金属坩埚不得用砂浴或其它明火加热，必须支起在保温液浴中受热以保安全。

2.1.2 量规：如图 T0633-3 所示，厚度 3.2mm，下面有 2 个 $3.2\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 的突起，距底部 3.2mm 处有两个直径各为 $\phi 4.0\text{mm}$ 及 $\phi 0.8\text{mm}$ 的小孔。

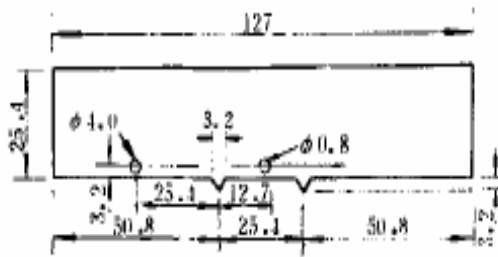


图 T0633-3 量规 (单位:mm)

2.1.3 保温液浴槽：铜制对闪点低于 79.5℃的可直接用水槽，对闪点高于 79.5℃的应采用水与乙二醇 1：1 混合液作介质。

2.1.4 温度计：分度为 1℃。

2.1.5 点火器：金属管制，端部为产生火焰的尖嘴，端部外径约 1.6mm，内径为 0.7mm~0.8mm，与可燃气体压力容器(如液化丙烷气或天然气)连接，火焰大小可以调节成与仪器上口的直径 4mm 的小球相仿。点火器可以 152.4mm 半径水平旋转。也可采用电动旋转点火用具，但火焰通过试验杯的时间应为 1.0 s。

2.1.6 铁支架：附有温度计夹及试样杯支架，支脚为高度调节器，使加热顶保持水平。

2.2 防风屏：金属薄板制，三面将仪器围住挡风，内壁涂成黑色，高约 600mm。

2.3 加热源：附有调节器的 1kW 电炉或燃气炉。根据需要，可以控制加热试样的升温速度为 10℃/min±1℃/min 或 1℃/min±0.3℃/min。

2.4 秒表：分度 0.1s，总量程 15min 的误差不大于±0.05%。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将试样杯用溶剂洗净、烘干，装置于支架上。

3.1.2 安装温度计，位置在与点火器相对一侧，距杯边缘与杯中心等距离约 16mm 处。垂直插入试样杯中，温度计的水银球距杯底约 6.3mm。

3.1.3 调节保温液浴的温度低于预期闪点温度大于 16.5℃。

3.1.4 按本规程 T 0602 沥青试样准备方法准备试样，待试样温度降至预样杯其它部位不沾有沥青。

3.1.5 全部装置应置于室内光线较暗且无显著空气流通的地方，并用防风屏三面围护，室温宜保持 25℃±5℃范围。

3.1.6 利用量规调节，使点火器端部中心恰好通过试样杯中心上方 3.2mm，将点火器转向一侧，试验点火，调节火苗成标准球的形状或成直径为 4mm±0.8mm 的小球形试焰。

3.2 试验步骤

3.2.1 开始加热试样,调节加热器升温速度,以便在预期闪点前 16.5℃后稳定控制在 1℃/min ±0.25℃/min。

3.2.2 当试样温度达到预期闪点前 10℃~15℃时,用量规精确测试试样面高度,调整为 3.2mm,然后开始试验,每隔 1℃将点火器的试焰沿试验杯口中心水平扫过一次;从试验杯口的一边至另一边所经过的时间约 1s。此时应确认点火器的试焰直径与仪器上的 $\Phi 4\text{mm}$ 的小球相仿。

注:试验时不应对着试样杯呼气。

3.2.3 当试样液面上最初出现一闪即灭的蓝色火焰,立即从温度计上读记温度,作为试样的闪点,准确至 1℃。注意勿将试焰四周的蓝白色火焰误认为是闪点火焰。

4 报告

对同一试样至少平行试验两次,两次试验的差值不超过 10℃时,以平均值为泰格闪点,准确至 1℃。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为 10℃,再现性试验的允许误差为 15℃。

条文说明

液体石油沥青当闪点低于 93℃时,国外均不采用克利夫兰开口杯测定,而采用泰格开口杯,两者所不同的主要是泰格杯采用油浴(或水槽)加热,不用明火加热,对含低沸点溶剂的液体石油沥青更加安全。

本方法按 AASHTO T 79 及日本铺装试验法便览 5-3-1 编写。

T 0641—1993 煤沥青蒸馏试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定煤沥青的馏分含量。蒸馏的馏分用于焦油酸含量及萘含量测定。根据需要可用于测定蒸馏后残留物的软化点等性质。除非特殊需要,海拔为零时各馏分蒸馏的标准切换温度为 170℃、270℃、300℃。

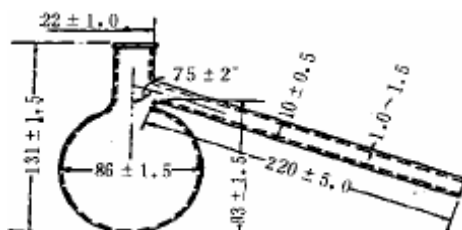


图 T0641-1 蒸馏烧瓶(单位:mm)

2 仪器与材料技术要求

2.1 蒸馏烧瓶：短颈的黏油类蒸馏瓶，容积 250mL，尺寸如图 T0641-1。

2.2 保温罩及防护屏：形状及尺寸如图 T0641-2。

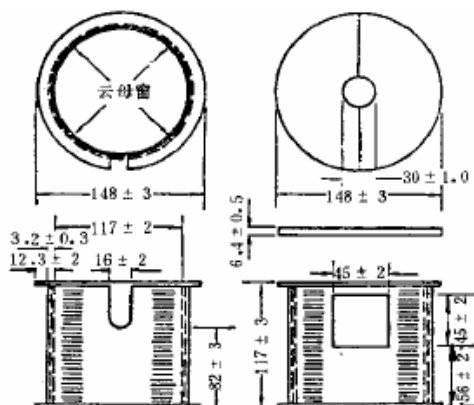


图 T0641-2 保温罩及防护屏(单位:mm)

2.3 冷凝管：形状及尺寸如图 T0641-3

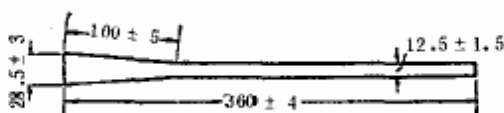


图 T0641-3 冷凝管(单位:mm)

2.4 可调燃气炉或电炉(附电阻调节器)。

2.5 铁架：两个，一个上附有铁环，用以支承蒸馏瓶和保温罩；一个附有铁夹子，用以夹持空气冷凝管。

2.6 锥形瓶：3~4 个，50mL。

2.7 温度计：0℃~360℃，分度为 1℃。

2.8 天平：感量不大于 0.1g 及不大于 1mg 的天平各 1 个。

2.9 铁丝网。

2.10 其它：烘箱、软木塞或橡胶塞等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将蒸馏烧瓶、空气冷凝管、锥形瓶洗净、烘干，并称其质量，3 个锥形瓶(编号 i 为 1、2、3)的质量分别为 m_i ，准确至 0.1g。

3.1.2 按照本规程 T 0602 方法准备试样(注意防止馏分挥发搅拌均匀)，注入已称质量的蒸馏烧瓶(m_4)内 $100\text{g} \pm 0.1\text{g}$ ，称其合计质量(m_5)。

3.1.3 根据需要，按本规程 T 0612 测定试样中的水分含量 m_w ，准确至 0.1g。

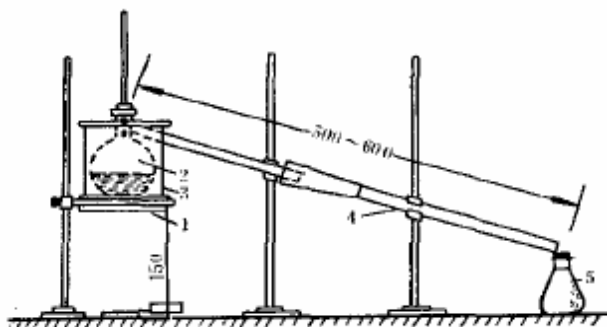


图 T0641-4 煤沥青蒸馏试验装置(单位:mm)

1-调节加热器；2-蒸馏烧瓶；3-保温罩；4-冷凝管；5-锥形瓶

3.1.4 蒸馏装置如图 T0641-4。先将两层铁丝网置于电炉或燃气炉铁架上，并在其上置保温罩然后，将温度计插入蒸馏烧瓶带孔的软木塞或橡胶塞中，并将软木塞塞紧蒸馏瓶的瓶口，须注意使温度计的水银球上端与蒸馏瓶的支管口下面齐平。将装妥温度计的蒸馏瓶垂直置于保温罩内，并将保温罩的盖盖好。随后将软木塞及蒸馏瓶支管与空气冷凝管相连接，支管插入冷凝管内约 30mm~50mm，注意勿使两管壁相接触，并使冷凝管与蒸馏瓶的轴线平行，如用燃气炉加热时，火焰与蒸馏瓶底须相距 5mm~7mm。

3.1.5 蒸馏装置装妥后，在冷凝管的下端放置一已称量的锥形瓶，以接收加热后流出的馏分。

3.2 试验步骤

3.2.1 均匀加热保温罩内已盛有试样的蒸馏瓶，使第一滴蒸馏出的馏分滴入锥形瓶的时间不早于 5min，亦不得迟于 15min，第一滴馏分馏出后 2min 内调节加热，使蒸馏的馏分馏出的速度为 50 滴/min~70 滴/min。

3.2.2 加热过程中，如试样起泡沫，蒸馏速度可略降低，但应尽快恢复正常。

3.2.3 在蒸馏时，如发现在空气冷凝管内壁有萘、蒽等凝固物时，应立即用微火在管下均匀加热，使其熔化滴下。

3.2.4 每次达到规定的蒸馏温度，如 170℃、270℃、300℃时，立即更换已称质量的锥形瓶。在最后规定温度，即 300℃时，立刻停止加热。冷凝管内所留存的馏分，微火加热使其熔化后并入最后馏分的锥形瓶中。

3.2.5 称量每个盛有馏分的锥形瓶合计质量分别为 m_i' ，准确至 1mg。

3.2.6 蒸馏瓶内残留物冷却至室温后，取下称其合计质量(m_6)，准确至 0.1g。如蒸馏残留物准备进行其它试验时，应使其冷却至少 5min 以上并趁热将残留物倾出至一容器中备用。

3.3 根据需要(如仲裁试验等)，试验时的实际切换温度可根据高程或气压按本规程 T 0632 的方法进行修正。

4 计算

4.1 蒸馏试验的结果应换算成无水分的含量。试样的净质量按式(T0641-1)计算。

$$m = m_5 - m_4 - m_w \quad (\text{T0641-1})$$

式中: m ——试样的净质量, g;

m_w ——试样中水分含量, g;

m_4 ——蒸馏烧瓶质量, g;

m_5 ——蒸馏烧瓶与试样合计质量, g。

4.2 各个蒸馏温度的馏分含量按式(T0641-2)、(T0641-3)计算。

170℃前馏分:

$$P_i = \frac{(m'_i - m_i) - m_w}{m} \times 100 \quad (\text{T0641-2})$$

270℃及 300℃前馏分:

$$P_i = \frac{(m'_i - m_w)}{m} \times 100 \quad (\text{T0641-3})$$

式中: P_i ——170℃、270℃、300℃各温度前的馏分含量, %;

m_i ——用于各规定馏分的锥形瓶质量($i=1, 2, 3$), g;

m'_i ——各规定温度前的馏分质量与相应锥形瓶的合计质量($i=1, 2, 3$), g。

4.3 蒸馏后残留物的含量按式(T0641-4)计算。

$$P_r = \frac{m_6 - m_4}{m} \times 100 \quad (\text{T0641-4})$$

式中: P_r ——蒸馏后残留物含量, %;

m_6 ——蒸馏后蒸馏烧瓶及残留物合计质量, g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次, 取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差 170℃前馏分为 0.5%; 270℃前馏分为 1.0%; 300℃前馏分为 1.5%。

条文说明

本方法是在 1983 年试验规程(沥 112—83)基础上参照冶金工业部最近制定的行业标准及 ASTM D 20 修改制定的。

蒸馏试验所使用的蒸馏烧瓶, 及美国 ASTM D 20、日本 JIS、前苏联 ROCT、1983 年试验规程等均规定使用短颈 250 mL 烧瓶。冶金部行业标准规定焦化专用的玻璃仪—黏油类蒸馏瓶(长颈 250mL)。并认为这二种蒸馏瓶不会影响试验结果。但实际上长颈瓶试验是不行的, 所以本试验方法仍规定采用短颈蒸馏瓶。

蒸馏时, 馏分切换温度在 1983 年试验规程中未考虑补正问题, ASTM 中仅规定要考虑大气压力补正。现冶

金部行标中，实际切换温度除考虑大气压力补正外，又考虑了温度计补正值及水银柱外露部分的温度校正值。但修正方法非常麻烦，实际上做不到。本试验法现按 ASTM 及 AASHTO 的方法进行补正。允许误差按照冶金部行标进行了修改。

T 0642—1993 煤沥青焦油酸含量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路煤沥青的焦油酸含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 双球测定管：玻璃制，形状及尺寸如图 T 0642。

2.2 铁架：附有铁环，环内径不小于 49mm，亦不得大于 56mm。

2.3 煤沥青蒸馏试验装置：同本规程 T 0641 煤沥青蒸馏试验。

2.4 氢氧化钠溶液：浓度 18.3%。

2.5 溶剂：三氯乙烯、苯。

2.6 蒸馏水。

2.7 恒温水槽。

2.8 锥形瓶。

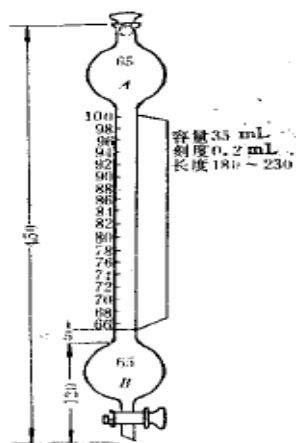


图 T 0642 双球测定管(单位:mm)

2.9 其它：洗液等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 用三氯乙烯、洗液、水及蒸馏水先后洗涤双球测定管，再用氢氧化钠溶液摇洗数次。

3.1.2 将煤沥青试样按照本规程 T 0641 蒸馏法，蒸馏出各种温度范围的馏分，并称其总质

量(m)。

3.2 试验步骤

3.2.1 将盛有蒸馏出馏分的锥形瓶置水槽(60℃)中约 20min, 使馏分完全熔化。然后, 将全部馏分注入双球测定管中, 并用苯 50mL 分次冲洗锥形瓶, 洗液并入双球测定管中。

3.2.2 将 50mL 氢氧化钠溶液(浓度 18.3%)注入双球测定管中, 并将混合溶液猛烈摇动 3min 后, 将双球测定管置铁架的铁环中静置, 使溶液很好地分层。

3.2.3 将分层的下部溶液从双球测定管的旋塞放出, 流入一锥形瓶中。

3.2.4 再将氢氧化钠溶液 30mL 注入双球测定管中, 并继续摇动 2min 后静置。待溶液分层后再将下层溶液放出至盛第一次放出液的锥形瓶中。

3.2.5 将 65mL 苯(25℃)注入原双球测定管中, 使焦油酸在管中摇洗数次。然后将双球测定管静置, 待管内液体分层清晰后, 准确读记管上刻度值求算焦油酸的体积。

3.3 计算

试样的焦油酸含量按式(T0642-1)计算。

$$P_f = \frac{\rho \times V}{m} \times 100 \quad (T\ 0642-1)$$

式中: P_f ——试样的焦油酸含量, %;

m ——馏分总质量, g;

ρ ——焦油酸的密度, g/cm³;

V ——焦油酸的体积, mL。

4 报告

同一试样至少平行试验两次, 两次测定结果误差不大于 1%时, 取其平均值作为试验结果。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为 1%。

条文说明

煤沥青的焦油酸含量是通过测定试样总的蒸馏馏分与苛性钠溶液作用形成水溶性酚钠物质的含量求得, 以体积百分率表示。

煤沥青的焦油酸含量及含酚量都是测定蒸馏出馏分与氢氧化钠溶液作用形成水溶性酚钠物质的含量。本方法利用双球测定管试验法, 此法是将 1983 年试验规程(沥 113—83)按照冶金部行业标准并参考美国 Abraham “沥青及类似物”中的试验方法编写的。这种方法按照其馏分范围, 所测得的结果称为焦油酸含量。

本试验法的氢氧化钠溶液的浓度由含酚量试验用的 10%修改为 18.3%。煤沥青馏分在原来的含酚量试验中用的是中油馏分(170℃~270℃), 现修改为煤沥青蒸馏试验的全部馏分。在双球测定管中最先流出的是下部的苯和水, 经氢氧化钠溶液洗涤、静置后, 焦油酸处于管的最上部, 最后可将其放出称取质量或用比重瓶测定

密度求算焦油酸质量。

T 0643—1993 煤沥青酚含量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路煤沥青的酚含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 双球测定管：玻璃制成，形状及尺寸同本规程 T 0642 要求。

2.2 铁架：附有铁环，环和内径为 49mm~56mm。

2.3 苛性钠溶液：化学纯，浓度 10%，加氯化钠至饱和。

2.4 洗液：重铬酸钾与浓硫酸混合液。

2.5 苯：化学纯。

2.6 蒸馏水。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

用洗液、水、蒸馏水先后洗涤双球测定管，再用苛性钠溶液摇洗数次。

3.2 试验步骤

3.2.1 将苛性钠溶液注入双球测定管的 B 球，至 C 管刻度 0 点以上，但不宜高于 5mL。待溶液自管壁完全流下后，准确读记管上刻度数量 (V_1)。

3.2.2 把按本规程 T 0641 蒸馏试验蒸馏出来的中油馏分 (170℃~270℃馏出液) 全部倾入测定管内。用 10mL~15mL 的苯，分数次冲洗原盛中油馏分的锥形瓶，并将冲洗液一并倒入测定管内。

3.2.3 用手扶紧 A 球的瓶塞，将测定管倒转，使苛性钠溶液与中油馏分在 A 球内摇荡 5min，然后再倒回测定管，垂直置于铁架的铁环上 1h，使溶液分层。为加速分层，可将测定管转动片刻，然后根据分层界限，准确读记管上刻度数量 (V_2)。

4 计算

煤沥青酚含量按式 (T 0643-1) 计算。

$$P_f = \frac{(v_2 - v_1) \times T}{m} \times 100 \quad (\text{T 0643-1})$$

式中： P_f ——试样中酚含量，%；

V_1 ——加入苛性钠溶液的读数, mL;

V_2 ——苛性钠溶液与中油馏分作用分层界限的读数, mL;

m ——用于蒸馏试验的试样质量, g;

T ——煤沥青试样的密度, g/cm^3 。

5 报告

同一试样至少平行试验两次, 取平均值作为试验结果。

条文说明

煤沥青的酚含量是试样的中油馏分内与苛性钠溶液作用形成水溶性酚钠物质含量, 以体积百分率表示。煤沥青酚含量试验与焦油酸含量试验的不同已在 T 0642 中叙述。根据需要, 也可用中油馏分测定含酚量, 故仍保留 1983 年试验方法。

T 0644—1993 煤沥青萘含量试验 (色谱柱法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定道路煤沥青中萘含量。

1.2 本试验采用色谱柱法对中油 ($170^{\circ}\text{C} \sim 270^{\circ}\text{C}$) 及重油 ($270^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$) 两种馏分测定煤沥青的萘含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 色谱仪: 带有氢火焰离子化鉴定器。仪器的技术条件如下:

(1) 柱温: 190°C (实际温度)。

(2) 汽化温度: 340°C (表温)。

(3) 检测温度: 200°C (表温)。

(4) 载气: 柱前压力 0.19MPa , 流量 $27\text{mL}/\text{min}$ 。

(5) 燃气: 氢气, 流量 $55\text{mL}/\text{min}$ 。

(6) 空气: 流量 $550\text{mL}/\text{min}$ 。

(7) 灵敏度: 对萘含量为 $0.1\text{g}/\text{mL}$ 的标样, 进样量 0.5mL 时, 其萘峰高不低于 100mm 。

(8) 分离度 R : 不低于 1.5。

2.2 微量注射器: $1\mu\text{L}$ 。

2.3 容量瓶: 25mL 。

2.4 烧杯。

2.5 分析天平：感量不大于 0.2mg。

2.6 注射器：10mL。

2.7 阿皮松 L。

2.8 6210 红色担体：粒度 0.18mm~0.25mm(60 目~80 目)，在 300℃烘箱中烘烤 2h。

2.9 苯、二甲苯：化学纯。

2.10 氮气、氢气：纯度 99.5%以上。

2.11 压缩空气：经净化。

2.12 其它：红外线灯、真空泵、气体流量计。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 色谱柱制备：阿皮松 L 与 6201 担体按 10：90 的配比。先将称好的固定液阿皮松置于烧杯内，加适量苯溶解后，再缓慢地加入 6201 担体，轻轻搅动使其混合均匀。在红外线灯下干燥，待大部分苯挥发至无苯味时，放入温度为 110℃~120℃的烘箱中烘 2h。用真空泵抽吸装入 2mL，内径 $\varnothing$ 3mm~4mm 的洗净色谱柱内，在 180℃时老化 6h，然后再升温至 250℃时老化 4h。

3.1.2 标样配制

1) 称取 2.5g 纯萘于 25mL 容量瓶中，准确至 0.2mg，注入 20mL 二甲苯溶解。待萘全部溶解后，再注入二甲苯至刻线，摇匀，密闭保存。

2) 线性范围的测定

(1) 在与试验相同的色谱操作条件下，用 1 μ L 微量注射器注入 0.2 μ L、0.4 μ L、0.6 μ L、0.8 μ L、1.0 μ L 萘标样进行分析，分别量出萘峰高。

(2) 以萘峰高为纵坐标，萘标样进行量为横坐标，绘制关系曲线，找出浓度与萘峰高或直线关系的范围。

(3) 每换一次色谱柱或改变色谱操作条件都要进行一次线性范围的测定。

3.1.3 将煤沥青试样按照本规程 T 0641 蒸馏方法馏出 170℃~270℃及 270℃~300℃的馏分。

3.1.4 按本规程 T 0612 测定煤沥青试样的含水量(%), 计算出所用沥青试样中的水分含量(m_w)。

3.2 试验步骤

3.2.1 将 170℃~270℃及 270℃~300℃的馏分分别注入 25mL 的容量瓶中，并用少量二甲苯分次冲洗锥形瓶，冲洗溶液一并倒入容量瓶中，再将二甲苯注入至刻线，摇匀后静置备用。

3.2.2 估计馏分样品中萘的含量，如在线性范围内，可直接进样。如超过线性范围，则将样品用二甲苯稀释至浓度在所测的线性范围内，并记录稀释倍数 C。

3.2.3 在同一色谱操作条件下,用 1μL 注射器注入 0.5μL 萘标样,平行两针。再注入样品 0.5μL,平行两针。两针的最大误差以萘峰高计,不得超过 4mm。

注:样品的稀释倍数与进样量,必须控制在线性范围之内。

3.2.4 在色谱图上分别量出标样及样品的萘峰高。

4 计算

试样的萘含量按式(T 0644-1)计算。

$$P_n = \frac{25 \times m}{100 - m_w} \times \frac{h_n}{h_o} \times C \times 100 \quad (\text{T 0644-1})$$

式中: P_n ——试样中萘含量, %;

h_n ——两针样品萘峰高的平均值, mm;

h_o ——两针标样萘峰高的平均值, mm;

m ——萘标样浓度, g/mL;

C ——在样品浓度超出线性范围时,样品的稀释倍数。不稀释时 $C=1$;

m_w ——试样中含水量, g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次,两次平行试验的结果符合重复性试验允许误差要求时,取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差,当萘含量小于 3%时为 0.3%,当萘含量等于或大于 3%时为 0.6%。

条文说明

沥青的萘含量是测定试样蒸馏馏分中含有萘的数量。由于萘是挥发性物质,沥青中萘含量多时,将会促使沥青老化,影响路面的耐久性。因此,道路用煤沥青标准中,大都列有萘含量的限制。但由于测定方法不同所截取的馏分也有不同,如美国采取 95%的馏出馏分,我国 1983 年试验规程(沥 114—83)参照前苏联的方法采取中油馏分(170℃~270℃),由 15℃结晶测得,现在我国冶金部行业标准采取中油(170℃~270℃)及重油(270℃~300℃)两种馏分,用色谱柱法测定。为此本方法按照冶金部行标所规定的色谱仪法修改。

按冶金部行标规定,测定萘含量的仪具统一改用色谱仪,但由于色谱柱法在公路部门以前并未用过,使用单位应按此要求添置必要的试验设备。

T 0645—1993 煤沥青萘含量试验(抽滤法)

1 目的与适用范围

本方法适用于抽滤法对中油馏分(170℃~270℃)测定煤沥青的萘含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 抽滤器：用胶皮管连接过滤烧瓶及抽气管或抽气机组成。

2.2 压榨器。

2.3 布氏漏斗：直径 50mm。

2.4 表面皿：直径 50mm。

2.5 滤纸：直径 50mm。

2.6 烧杯：50mL。

2.7 天平：感量不大于 0.01g。

2.8 其它：玻璃棒等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

将烧杯及表面皿洗净，烘干并称重，准确至 0.01g。

3.2 试验步骤

3.2.1 将按本规程 T 0641 煤沥青蒸馏试验方法蒸馏出来的中油馏分(170℃~270℃馏出液)加热，待含有的萘完全熔化后倾入烧杯内，用于蒸馏试验的试样质量为 m。

3.2.2 冷却至 15℃，并在此温度下保持 30min，然后在铺有滤纸并保持 15℃的布氏漏斗上抽滤。

3.2.3 将滤渣铺在滤纸层间，用压榨器压去油分至滤渣变为白色为止。

3.2.4 将滤渣移至已称质量(m_1)的表面皿上，称其合重(m_2)，准确至 1mg。

4 计算

试样的萘含量按式(T 0645—1)计算。

$$P_n = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{T 0645-1})$$

式中： P_n ——试样中萘含量，%；

m ——用于蒸馏试验的试样质量，g；

m_1 ——表面皿质量，g；

m_2 ——表面皿与萘的合计质量，g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，两次平行试验的结果符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差，当萘含量小于 3%时为 0.3%，当萘含量等于或大于 3%时为 0.6%。

条文说明

煤沥青的萘含量是试样馏分中萘的含量，以质量百分率表示。考虑到用色谱柱法测定煤沥青的萘含量比较复杂，有的单位不一定有此仪器，为此仍保留 1983 年试验用抽滤法测定萘含量的试验方法。

T 0646—2011 煤沥青甲苯不溶物含量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路煤沥青材料的甲苯不溶物含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 脂肪抽提器：250mL。

2.2 称量瓶：直径 35mm，高 70mm。

2.3 烘箱：装有温度控制器。

2.4 分析天平：感量 0.1mg。

2.5 甲苯：化学纯。

2.6 标准筛：孔径 0.3mm、0.6mm、1.18mm。

2.7 定量滤纸（ $\phi 150\text{mm}$ 、 $\phi 140\text{mm}$ ）或滤纸筒成品。

2.8 细砂：0.3mm~1.18mm。

2.9 其它：砂浴、干燥器、细集料（砂）、铁支架等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将细砂浸水，漂走浮灰，凉干过筛，取粒径 0.3mm~1.18mm 部分，在甲苯中浸泡 24h 以上。然后将砂取出、凉干，再置烘箱（ $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）中烘干后备用。

3.1.2 将 $\phi 150\text{mm}$ （外层）及 $\phi 140\text{mm}$ （内层）两层滤纸，折叠成直径约 25mm 的滤纸筒，筒的一端再折成封闭，然后在甲苯中浸泡 24h 后，再取出凉干并置烘箱（ $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）中烘干后置干燥器中备用。在采用滤纸筒时，可直接浸泡、凉干及烘干后置干燥器内备用。

3.1.3 将煤沥青试样加热，温度不超过软化点以上 50°C 。

3.1.4 将称量瓶洗净，在烘箱（ $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）中烘干。

3.2 试验步骤

3.2.1 在滤纸筒中称取约 10g 砂粒（0.3mm~1.18mm），置于称量瓶中，放入烘箱（ $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ）

中烘至恒重(m_1)。

3.2.2 在已称质量的滤纸筒及砂中称取已加热的煤沥青试样(m) 1g, 准确至 0.1mg。然后用玻璃棒将沥青试样与砂搅拌均匀。

3.2.3 将脂肪抽提器的烧瓶注入 120mL 甲苯, 安装抽提筒后, 将盛有沥青砂的滤纸筒放入抽提筒中。然后用甲苯 30mL, 分次冲洗玻璃棒, 冲洗溶剂接入滤纸筒中。滤纸中的溶剂不得高于虹吸管上口, 以免使溶液虹吸下去。

3.2.4 在抽提筒上装妥冷凝管, 将脂肪抽提器用铁支架上铁夹固定在铁支架上, 稳定放置于砂浴上。接通冷却水, 加热回流速度控制在 1min 左右流满一次, 至回流液接近无色透明, 抽提筒内的滤纸上无明显黄色为止。

3.2.5 停止加热, 稍冷却后取出滤纸筒, 置于原称量瓶中。待滤纸筒中的大部分甲苯挥发后, 再置烘箱($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)中, 烘干至恒重, 取出置干燥器中, 冷却至室温后称其质量(m_2), 准确至 0.1mg。

4 计算

煤沥青试样中甲苯不溶物含量按式(T 0646—1)计算, 准确至 1.0。

$$P_U = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{T 0646-1})$$

式中: P_U ——试样甲苯不溶物含量, %;

m ——试样质量, g;

m_1 ——滤纸筒、砂及称量瓶合计质量, g;

m_2 ——甲苯不溶物、滤纸筒、砂及称量瓶合计质量, g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次, 当两次结果差值不超过 1.0%时, 取平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为 1.0%。

条文说明

煤沥青的甲苯不溶物含量, 是试样在规定的甲苯溶剂中不溶物(游离炭)的含量, 以质量百分率表示。在 1983 年试验规程中, 将石油沥青的溶解度及煤沥青的游离炭含量合并成一个试验法(沥 106—83)。因石油部门及冶金部分别提出了两个国家标准, 采用的溶剂及试验方法不同, 所以本试验规程也将两个试验方法分别纳入本规程, 参照国标 GB 2292 “煤沥青甲苯不溶物测定方法(抽提法)”制定的, 对试验步骤作了适当修改, 且定名为甲苯不溶物含量试验。

T 0651—2011 乳化沥青蒸发残留物含量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定各类乳化沥青中加热脱水后残留沥青的含量。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试样容器：容量 1500mL，高约 60mm，壁厚 0.5mm~1mm 的金属盘，也可用小铝锅或瓷蒸发皿代替。

2.2 天平：感量不大于 1g。

2.3 烘箱：装有温度控制器。

2.4 电炉或燃气炉：有石棉垫。

2.5 玻璃棒。

2.6 其它：温度计、溶剂、洗液等。

3 方法与步骤

3.1 将试样容器、玻璃棒等洗净、烘干并称其合计质量(m_1)。

3.2 在试样容器内称取搅拌均匀的乳化沥青试样 $300\text{g} \pm 1\text{g}$ ，称取容器、玻璃棒及乳液的合计质量(m_2)，准确至 1g。

3.3 将盛有试样的容器连同玻璃棒一起置于电炉或燃气炉(放有石棉垫)上缓缓加热，边加热边搅拌，其加热温度不应致乳液溢溅，直至确认试样中的水分已完全蒸发(通常需 20min~30min)，然后在 $163^\circ\text{C} \pm 3.0^\circ\text{C}$ 温度下加热 1min。

3.4 取下试样容器冷却至室温，称取容器、玻璃棒及沥青一起的合计质量(m_3)，准确至 1g。

4 计算

乳化沥青试样的蒸发残留物中的沥青含量按式(T 0651—1)计算，以取整数表示(准确至 0.1)。

$$P_b = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (\text{T 0651-1})$$

式中： P_b ——乳化沥青中的沥青含量，%；

m_1 ——试样容器、玻璃棒合计质量，g；

m_2 ——试样容器、玻璃棒及乳液的合计质量，g；

m_3 ——试样容器、玻璃棒及残留物合计质量，g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，两次试验结果的差值不大于 0.4%时，取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为 0.4%；再现性试验的允许误差为 0.8%。

条文说明

1983 年试验规程编制时，国内对阳离子乳化沥青的研究已取得了重大进展，但对乳液的技术要求及试验方法尚未定型。因此当时只订入了阴离子乳化沥青的试验项目(1983 年规程附录三)。经过多年来的研究和推广应用，阳离子乳化沥青已相当普及，它尤其显示出在多雨潮湿地区及集料是潮湿状态时施工的优越性。为此，本试验规程全面增补了有关的试验方法。包括乳化沥青的蒸发残留物试验(T 0651)、筛上剩余量试验(T 0652)、微粒离子电荷试验(T 0653)、与矿料的黏附性试验(T 0654)、储存稳定性试验(T 0655)、低温储存稳定性试验(T 0656)、与水泥的拌和试验(T 0657)、破乳速度试验(T 0658)、与矿料拌和试验(T 0659)等。这些试验方法都是根据近年来乳化沥青课题研究的成果，参照国外的标准试验方法，主要是美国 ASTM D 244 标准及日本乳化沥青协会、日本道路协会的试验方法，在 1983 年试验规程阴离子乳化沥青试验方法的基础上修订编写的。

本试验方法是在 1983 年试验规程中阴离子乳化沥青的沥青含量试验方法基础上修订的。

1983 年试验规程中残留物含量系指乳液的沥青含量，根据 ASTM D 244 及 DIN 52048 及日本道路协会铺装试验法便览 3-6-9 的方法中，残留物包括了沥青及灰分(乳化剂、稳定剂及沥青的杂质)含量，但灰分含量很少，1994 年试验法参照这些规定修改，仅计算残留物含量，不再进一步分沥青含量及灰分含量。

试验主要仪具是试样蒸发用容器，1983 年试验规程中规定为直径为 180mm 的圆瓷皿，ASTM 中规定为硬玻璃或铝制的 1 000mL 容器，日本规定为 1 500mL 的金属容器，根据国内实际情况，本方法提出也可采用小铝锅或瓷蒸发皿代替。

对所采用的乳液试样，试验规程中均无滤筛过滤的步骤，ASTM 规定用 0.3mm 筛过滤，日本规定要用 850 μ m 筛过滤，由于此项试验是测定乳液中蒸发残留物含量，应包括灰分和杂质在内，与沥青微粒子直径大小无关，因此本试验法不采用试样过滤的程序。

乳液试样的取样质量，1983 年规程为 60 g，而 ASTM 为 $50\text{g}\pm 0.1\text{g}$ ，日本规范为 $300\text{g}\pm 1\text{g}$ ，由于取样少了，代表性差，本试验法根据日本规定，取样的质量为 $300\text{g}\pm 1\text{g}$ 。

试样蒸发时的加热温度，ASTM 规定须保持 $163^{\circ}\text{C}\pm 2.8^{\circ}\text{C}$ 2 h，日本规定用电炉或燃气炉加热蒸发 20min~30 min 确认无水分(未规定加热温度)后再加热到 160°C 1min，1983 年试验规程中只规定水分完全蒸发为止。本规程根据我国实际操作情况，提出在确认无水后再在 $163^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 温度下，加热 1min。

T 0652—2011 乳化沥青筛上剩余量试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定各类乳化沥青的筛上剩余物含量，评定沥青乳液的质量。非经注明，筛

孔尺寸为 1.18mm。

2 仪器与材料技术要求

2.1 滤筛：筛孔为 1.18mm。

2.2 金属盘：尺寸不小于 100mm。

2.3 天平：感量不大于 0.1g。

2.4 烧杯：750mL 和 2000mL 各 1 个。

2.5 油酸钠溶液：含量 2%。

2.6 蒸馏水。

2.7 烘箱：装有温度控制器。

2.8 其它：玻璃棒、溶剂、干燥器等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

将滤筛、金属盘、烧杯等用溶剂擦洗干净，再用水和蒸馏水洗涤后用烘箱($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)烘干，称取滤筛及金属盘质量 (m_1)，准确至 0.1g。

3.2 试验步骤

3.2.1 在一烧杯中称取充分搅拌均匀的乳化沥青试样 $500\text{g} \pm 5\text{g}$ (m)，准确至 0.1g。

3.2.2 将筛(框)网用油酸钠溶液(阴离子乳液)或蒸馏水(阳离子乳液)润湿。

3.2.3 将滤筛支在烧杯上，再将烧杯中的乳液试样边搅拌边徐徐注入筛内过滤。在过滤畅通情况下，筛上乳液试样仅可保留一薄层，如发现筛孔有堵塞或过滤不畅时，可用手轻轻拍打筛框。

注：过滤通常在室温条件下进行，如乳液稠度大，过滤困难时可将试样在水槽上加热至 50°C 左右后过滤。

3.2.4 试样全部过滤后，移开盛有乳液的烧杯。

3.2.5 用蒸馏水多次清洗烧杯，并将洗液过筛，再用蒸馏水冲洗滤筛，直至过滤的水完全清洁为止。

3.2.6 将滤筛置于已称质量的金属盘中，并置于烘箱($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)中烘干 2h~4h。

3.2.7 取出滤筛，连同金属盘一起置于干燥器中冷却至室温(一般为 30min 以上)后称其质量 (m_2)，准确至 0.1g。

4 计算

乳化沥青试样过筛后筛上残留物含量按式(T 0652-1)计算，准确至一位小数。

$$P_r = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{T 0652-1})$$

式中： P_r ——筛上残留物含量，%；

m ——乳化沥青试样质量，g；

m_1 ——滤筛及金属盘质量，g；

m_2 ——滤筛、金属盘与筛上残留物合计质量，g。

5 报告

同一试样至少平行试验两次，两次试验结果的差值不大于 0.03 时，取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为 0.03%；再现性试验的允许误差为 0.08%。

条文说明

本方法是在 1983 年试验规程筛上剩余量试验的基础上，参照 ASTM D 244 及德国、日本的试验方法编写的，ASTM D 244 称为“筛析试验”(Sieve test)，日本道路协会铺装试验法便览 3-6-2 称为筛上残留分试验，与本试验方法“筛上剩余量试验”含义相同。

筛上剩余量试验关键是滤筛的筛孔尺寸，在 1983 年试验规程中按照 DIN 规定孔径为 0.6mm，ASTM 中规定为 20 号筛(孔径为 0.85mm)，日本道路协会试验法便览中对乳液的过滤要求，一般均用 850 μm 筛，但筛上残留物试验则用 1.18 mm。这实际上反映对乳液质量的要求是不同的，孔径小，筛上剩余量必定高，我国近年来一直采用 1.2mm 筛，并已提出了乳化沥青的质量技术要求。因此，本试验法的规定为 1.18mm(实际上与原筛孔 1.2mm 相同)。

试样的质量，1983 年试验规程中为 100 g，ASTM 中规定为 10 g，日本规定为 500g $\pm$ 5 g，试样数量多，过滤时间长，但试样数量少，试验的准确性受影响。根据近年来国内试验情况，本试验法规定为 500g $\pm$ 5 g。

筛网预先润湿，采用 ASTM 的规定用蒸馏水(阳离子乳液)或油酸钠溶液(2%，阴离子乳液)。按照 ASTM 规定，乳液的 25℃赛波特黏度小于或等于 100 s 时，筛滤试验在室温下进行；大于 100s 时，将试样加热至 50℃后进行试验。日本则无此项规定，均在室温下进行。我国进行赛波特试验尚不普及，因此本试验法规定试验通常在室温下进行。但补充过滤困难时，可将试样在水槽上加热至 50℃左右后过滤。

允许误差按照 ASTM D 244 规定。

T 0653—1993 乳化沥青微粒离子电荷试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定各类乳化沥青微粒离子的电荷性质，即阳、阴离子的类型。

2 仪器与材料技术要求

2.1 烧杯：200mL 或 300mL。

2.2 电极板：2 块，铜制，每块极板长 100mm，宽 10mm，厚 1mm。

2.3 直流电源：6V。

2.4 秒表。

2.5 滤筛：筛孔为 1.18mm。

2.6 其它：汽油、洗液等。

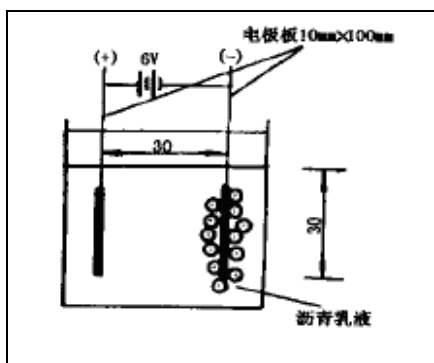


图 T 0653—1 电极板装置(单位：mm)

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将乳化沥青试样用孔径 1.18mm 滤筛过滤，并盛于一容器中。

3.1.2 将电极板洗净、干燥，并将两块电极板平行固定于一个框架上，其间距约 30mm，然后将框架置于容积为 200mL 或 300mL 的洁净烧杯内，插入乳化沥青中约 30mm，装置如图 T 0653-1。

3.2 试验步骤

3.2.1 将过滤的乳液试样注入盛有电极板的烧杯内，其液面的高度至少使电极板顶端浸没约 3cm。

3.2.2 将两块电极板的引线分别接于 6V 直流电源的正负极上，接通电源开关并按动秒表。

3.2.3 接通电流 3min 后，关闭开关，然后将固定有电极板的框架由烧杯内取出。

3.2.4 仔细观察电极板。如负极板上吸附有大量沥青微粒，说明沥青微粒带正电荷，则该乳液为阳离子型。反之，阳极板上吸附有大量沥青微粒，说明沥青微粒带负电荷，则该乳液为阴离子型。

条文说明

乳化沥青的微粒离子电荷是指乳液中分散的微粒所带电荷性质,以确定乳液的类型,带正电荷(+)的为阳离子乳化沥青,带负电荷(-)的为阴离子乳化沥青。本试验法是参照我国研究成果及 ASTM D 244 方法所编写的。

直流电源,ASTM 中规定使用直流 12V 电源,但有 8mA 电流表、变压器、分压器及电阻等,可控制最大电流为 8mA;而我国通常参照日本原来的方法,采用直流 6V 电源。

方法简而易行,故本试验法采用 6V 直流电源。电极板 ASTM 为 25.4mm×101.6mm 不锈钢板,插入乳化沥青中 25.4mm,日本改用黏贴铜或白金电极的玻璃板(只需一块),我国用两块分开的铜板,尺寸和间距与 ASTM 规定略有不同,但并无本质区别。

试验步骤系近年来我国实际采用的方法,与日本原来的方法相同。日本道路协会铺装试验法便览 3-6-8 有了修改,将乳液用水稀释 100 倍后进行试验,并用显微镜(500 倍)观察离子运动情况。本方法从实用起见,仍采用原法,乳液不稀释,直接试验。并取出用肉眼观察,实际结果是相同的。

T 0654—2011 乳化沥青与粗集料的黏附性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于检验各类乳化沥青与粗集料表面的黏附性,以评定粗集料的抗水剥离能力。

2 仪器与材料技术要求

2.1 标准筛:方孔筛 31.5mm、19.0mm、13.2mm。

2.2 滤筛:筛孔为 1.18mm、0.6mm。

2.3 烧杯:400mL、900mL。

2.4 烘箱:具有温度自动控制调节器、鼓风装置,控温范围 105℃ ±5℃。

2.5 秒表。

2.6 天平:感量不大于 0.1g。

2.7 水:蒸馏水或纯净水。

2.8 工程实际使用的碎石。

2.9 其它:细线或细金属丝、铁支架、电炉、玻璃棒等。

3 阳离子乳化沥青与粗集料的黏附性试验方法

3.1 准备工作

3.1.1 将道路工程用集料过筛,取 19.0mm~31.5mm 的颗粒洗净,然后置 105℃ ±5℃ 的烘箱中烘干 3h。

3.1.2 从烘箱中取出 5 颗集料冷至室温逐个用细线或金属丝系好，悬挂于支架上。

3.2 试验步骤

3.2.1 取两个烧杯，分别盛入 800mL 蒸馏水（或纯净水）及经 1.18mm 滤筛过滤的 300mL 乳液试样。

3.2.2 对于阳离子乳化沥青，先将集料颗粒放进盛水烧杯中浸水 1 分钟后，随后立即放入乳化沥青中浸泡 1 分钟，然后将集料颗粒悬挂在室温中放置 24 小时。

3.2.3 将集料颗粒逐个用线提起，浸入盛有煮沸水的大烧杯中央，调整加热炉，使烧杯中的水保持微沸状态。

3.2.4 浸煮 3 分钟后，将集料从水中取出，观察粗集料颗粒上沥青膜的裹附面积。

4. 阴离子乳化沥青与粗集料的黏附性试验方法

4.1 准备工作

4.1.1 取试样约 300mL 置入烧杯中。

4.1.2 将道路工程用碎石过筛，取 13.2mm~19.0mm 的颗粒洗净，然后置 105℃ ±5℃ 的烘箱中烘干 3h。

4.1.3 取出集料约 50g 在室温以间距 30mm 以上排列冷却至室温，约 1h。

4.2 试验步骤

4.2.1 将冷却的集料颗粒排列在 0.6mm 滤筛上。

4.2.2 将滤筛连同集料一起浸入乳液的烧杯中 1min，然后取出架在支架上，在室温下放置 24h。

4.2.3 将滤网连同附有沥青薄膜的集料一起浸入另一个盛有 1000mL 洁净水并已加热至 40℃ ±1℃ 保温的烧杯中浸 5min，仔细观察集料颗粒表面沥青膜的裹覆面积，作出综合评定。

5. 非离子乳化沥青与粗集料的黏附性试验方法

非离子乳化沥青与粗集料的黏附性试验与阴离子乳化沥青的相同。

6 报告

6.1 同一试样至少平行试验两次，根据多数颗粒的裹覆情况作出评定。

6.2 试验结果：试验报告以碎石裹覆面积大于 2/3 或不足 2/3 的形式报告。

条文说明

我国 1993 年试验规程中阳离子乳化沥青与集料黏附性的试验方法是：用线或金属丝系好的集料颗粒放进盛水烧杯中浸水 1min 后，取出再置试样中浸泡 1min。然后，取出集料颗粒在室温下悬挂 20min。将晾后的集料颗粒浸入已盛水 1 000mL 的烧杯中，用手提尾线使集料上下移动水洗乳液薄膜，移动速度为 30 次/min，上下移动距离为 50mm 左右。上下移动 3min 后，用纸片黏出浮在水面上的沥青膜，然后将集料颗粒提出水面，观察在集料颗粒表面裹覆沥青膜的面积。当裹覆面积不小于粗集料总表面积的 2/3 时，认为黏附性合格。

原试验方法中对于试验时的温度和湿度没有明确规定,在试验研究时发现,对于阳离子乳化沥青在矿料浸水、浸乳液并凉置 20min 后,有时试样下部的乳化沥青仍未破乳,呈液态,不管其黏附性能如何,在浸水时试样下部的乳化沥青膜都会剥落。另外室温不同时乳化沥青的破乳程度也不相同,室温越低,破乳程度越小,试验结果得出的裹覆面积越小。此外,粗集料下部的形状也对试验结果有影响。总之,原试验方法已不能合理的评价乳化沥青与矿料的黏附性能。

考虑到乳化沥青最终要经受和沥青相同的自然因素作用,同时,沥青与粗集料黏附性的试验方法—水煮法已是比较成熟的方法。因此,本次修订中结合乳化沥青与粗集料黏附的特点,采用水煮法试验来检验乳化沥青与粗集料的黏附性。

阴离子乳化沥青、非离子乳化沥青与集料的黏附性试验方法没有修订。

T 0655—1993 乳化沥青储存稳定性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定各类乳化沥青的储存稳定性。非经注明,乳液的储存温度为乳液制造时的室温,储存时间为 5d,根据需要也可为 1d。

2 器具与材料技术要求

2.1 沥青乳液稳定性试验管:玻璃制,形状和尺寸如图 T 0655—1,带有上下两个支管口,开口部配有橡胶塞或软木塞。

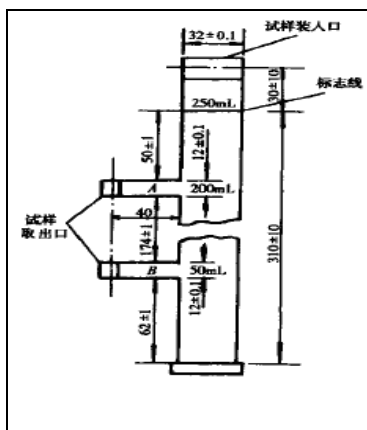


图 T 0655—1 稳定性试验管(单位: mm)

2.2 试样容器:小铝锅或磁蒸发皿,300mL 以上。

2.3 电炉或电热板。

2.4 天平:感量不大于 0.1g。

2.5 滤筛:筛孔为 1.18mm。

2.6 其它:温度计、气温计、玻璃棒、溶剂、洗液等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将稳定性试验管分别用溶剂(可用汽油)、洗液和洁净水洗净并置温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干, 冷却后用塞子塞好上下支管出口。

3.1.2 将均匀的乳化沥青试样约 300mL 通过 1.18mm 滤筛过滤至试样容器内。

3.2 试验步骤

3.2.1 将过滤后的乳液试样用玻璃棒搅匀, 缓缓注入稳定性试验管内, 使液面达到管壁上的 250mL 标线处。注入时应注意支管上不得附有气泡。然后, 用塞子塞好管口。

3.2.2 将盛样封闭好的稳定性试验管置于试管架上, 在室温下静置 5 昼夜。静置过程中, 经常观察乳液有否分层、沉淀或变色等情况, 作好记录并记录 5d 内的室温变化情况(最高及最低温度)。当生产的乳液计划在 5d 内即用完时, 储存稳定性试验的试样也可静置一昼夜(24h)。

3.2.3 静置后, 轻轻拔出上支管口的塞子, 从上支管口流出试样约 50g 接入一个已称质量的蒸发残留物试验容器中。再拔开下支管口的塞子, 将下支管以上的试样全部放出, 流入另一容器。然后充分摇匀下支管以下的试样, 倾斜稳定性管, 将管内的剩余试样从下支管口流出试样约 50g, 接入第三个已称质量的蒸发残留物试验容器内。

3.2.4 分别称取上下的两部分试样质量, 准确至 0.2g, 然后按本规程 T 0651 “乳化沥青蒸发残留物含量试验” 方法测定蒸发残留物含量 P_A 及 P_B 。

4 计算

乳化沥青的储存稳定性按式(T 0655-1)式计算, 取其绝对值:

$$S_s = |P_A - P_B| \quad (\text{T 0655-1})$$

式中: S_s ——试样的储存稳定性, %;

P_A ——储存后上支管部分试样蒸发残留物含量, %;

P_B ——储存后下支管部分试样蒸发残留物含量, %。

5 报告

5.1 同一试样平行试验至少两次, 两次测定的差值符合重复性试验允许误差要求时, 取平均值作为试验结果, 以整数表示。

5.2 试验报告应注明乳液储存的温度变化范围与贮存时间。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为 0.5%; 再现性试验的允许误差为 0.6%。

条文说明

乳化沥青的储存稳定性是在规定的容器和条件下, 储存规定的时间后, 竖直方向上试样浓度的变化程度, 以上、下两部分乳液蒸发残留物质量百分率的差值表示, 以判断乳液储存后的稳定性能。因此, 储存时间及储

存温度是主要因素,但试验方法国外并不相同。我国 1983 年试验规程中,按照 DIN 规定,在室温下储存 7d 或 8 周;而 ASTM D 244 规定在室温下储存 5 d,日本道路协会铺装试验法便览 3-6-10 规定在 20℃的室温下储存 5 d。本试验法根据我国实际情况,规定储存温度以乳液制造时的室温为标准,由于国家地域和四周温季相差较大,故不对室温的温度作出规定。储存时间则采用 5d。并参照 ASTM D 244,乳化沥青标准规定需要时也可用 1d。

储存乳液的容器,ASTM 规定用两个 500mL 带塞的玻璃量筒。我国 1983 年试验规程采用 DIN 规定的高 200mm、直径为 30mm 带塞的玻璃试管。近年来,阳离子乳化沥青试验采用的日本带上下开口及支管的特制玻璃管使用方便,且在国内已普遍使用,为此本试验法照此修订。

试样在 ASTM 中未规定过筛程序,但 1983 年试验规程及日本的方法均规定试样须过滤,我国原规定用 0.6mm,日本规定用 850 μm 筛,但我国标准无 850 μm 筛孔,故对筛网的孔径采用 1.18mm,与其余的试验一致。

取样数量:根据 ASTM 中规定两个 500mL, DIN 规定为 150g,本方法根据日本的方法和试验要求规定为 250mL。

我国 1983 年试验规程及日本的方法均未有精密度要求,本试验法的精密度按照 ASTM 中规定的要求编写。

T 0656—1993 乳化沥青低温储存稳定性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定各类乳化沥青在低温储存过程中的低温储存稳定性。

2 仪具与材料技术要求

2.1 锥形瓶: 250mL。

2.2 冰箱: $-5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 恒温水槽: $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 天平: 感量不大于 0.1g。

2.5 滤筛: 筛孔为 1.18mm。

2.6 烘箱: 装有温度自动控制调节器。

2.7 其它: 温度计、棉纱、软木塞或橡胶塞、溶剂、洗液、蒸馏水等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将锥形瓶洗净,并置温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干,冷却后称其质量,准确至 0.1g。

3.1.2 将乳化沥青通过 1.18mm 筛。

3.1.3 将冰箱温度调节至 $-5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$,将恒温水槽水温调节至 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$,并保持恒温。

3.2 试验步骤

3.2.1 在锥形瓶中,称取已过筛的试样 100g,并盖好软木塞密闭。

3.2.2 将盛有试样的锥形瓶置于 $-5^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中存放 30min。冷却后立即取出置于水温

为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中, 保持 10min。并照此步骤重复一次。

3.2.3 取出盛样锥形瓶作适当搅拌, 观察乳液试样状态与原试样有无变化, 并按本规程 T 0652 作筛上剩余量试验, 检查有无粗颗粒剩余物。

4 报告

试验应报告有无粗颗粒或结块情况。

条文说明

乳化沥青低温储存稳定性试验是试样在遭受冰冻后, 测定其状态发生的变化, 它可以反映试样在低温储存时的稳定性。我国 1983 年试验规程中并无此方法。国外对乳液的冰冻温度及冻融循环的次数不同, 如 ASTM 规定为 -17.8°C , 日本采用 -5°C 。近年来, 我国阳离子乳化沥青研究采用日本的方法, 冻融温度为 -5°C 。这种冻融温度较适用于沥青乳液在初冬时期施工的实际情况。ASTM 中规定的冻融温度为 -17.8°C , 室温中融化, 三次循环。由于冻融温度过低, 乳液中必须掺有特殊的防冻剂, 我国实际上不可能在这样的低温下使用乳化沥青。本方法规定冻融温度为 -5°C , 时间为 30min, 融化温度 25°C , 冻融要求两次循环。

T 0657—2011 乳化沥青与水泥拌和试验

1 目的与适用范围

本方法适用于非离子慢裂乳化沥青与水泥材料的拌和试验, 以评定用水泥及乳化沥青综合稳定材料时的施工性能。

2 仪器与材料技术要求

2.1 标准筛: 孔径 0.15mm。

2.2 滤筛: 筛孔为 1.18mm。

2.3 拌和容器: 金属或搪瓷盘, 容量约 500mL。

2.4 搅拌棒: 直径约 10mm, 具有圆头的金属棒。

2.5 量筒: 100mL。

2.6 天平: 感量不大于 0.1g。

2.7 烘箱: 装有温度自动控制调节器, 并有鼓风装置, 控温范围 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2.8 水: 蒸馏水或纯净水。

2.9 水泥: 工程实际采用的水泥, 通常为普通硅酸盐水泥。

2.10 其它: 秒表、烧杯、溶剂、镊子、棉纱等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将烧杯、拌和器及 1.18mm 滤筛用溶剂及蒸馏水（或纯净水）擦洗清洁，烘干后分别称其质量，准确至 0.1g。

3.1.2 将普通硅酸盐水泥过 0.15mm 筛备用。

3.1.3 乳化沥青试样的沥青含量按照本规程 T 0651 蒸发残留物含量试验方法测定。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试验环境温度、试验用水泥、乳化沥青、水以及器皿的温度调整到 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.2 称取已过筛的普通硅酸盐水泥 $50\text{g} \pm 0.5\text{g}$ 置于拌和容器中。

3.2.3 称取 $50\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 试样（如果残留物含量 $> 50\%$ 则需要将乳化沥青稀释到 50%）倾入拌和容器内的水泥中，立即用搅拌棒作圆周运动搅拌 2min，其速度为 120r/min。

3.2.4 搅拌后立即加入 150mL 蒸馏水（或纯净水），再以 60r/min 的速度搅拌 3min。

3.2.5 搅拌完毕后，立即将拌和容器中的水泥乳化沥青混合料通过已称质量的 1.18mm 滤筛，同时用蒸馏水（或纯净水）反复洗净拌和容器内部及搅拌棒上黏附的混合物，一并过筛。

3.2.6 从筛上约 15cm 高度处用蒸馏水（或纯净水）冲洗筛上残留物，直至无乳化沥青颜色为止。

3.2.7 将滤筛放在已称质量的金属盘中，置烘箱 ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) 中烘干 2h。

3.2.8 将滤筛、金属盘取出在室温条件下冷却，再称取质量，准确至 0.1g。

4 计算

水泥拌和试验筛上残留物含量按式 (T 0657-1) 计算。

$$p_r = \frac{m - m_1 - m_2}{m_3 + m_4} \times 100$$

式中： p_r —水泥拌和试验筛上残留物的含量，%；

m —滤筛、金属盘及筛上残留物合计质量，g；

m_1 —滤筛质量，g；

m_2 —金属盘质量，g；

m_3 —水泥用量，g；

m_4 —50g 乳化沥青试样中的沥青蒸发残留物，g。

5 报告

每一试样至少平行试验两次，两次试验结果的差值不大于 0.2% 时，取其平均值作为试验结果。

6 允许误差

重复性试验的允许误差为 0.2%； 再现性试验的允许误差为 0.4%。

条文说明

我国 1993 年试验规程中没有规定试验用乳化沥青的残留物含量。试验表明如果乳化沥青的残留物含量不统一的话,那么得出的水泥拌和试验的结果也会不一样,甚至会大相径庭,所以将水泥拌和试验所用乳化沥青的残留物含量统一为 50%。

本次修订在适用范围里面修订为适用于非离子慢裂乳化沥青,去掉了适用于鉴别乳液是否属慢裂乳化沥青。在试验步骤增加了将环境温度、试验用水泥、乳化沥青、水以及器皿的温度调整到 $(25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C})$ 的要求。

另外,环境温度也是影响拌和的重要方面,美国 ASTM 要求的是 25°C ,认为我国的试验方法中也需要试验温度做出相应的规定,即选定 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

我国现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)中仅对“与水泥稳定集料同时使用”的非离子乳化沥青提出了技术要求;同时,注意到日本的 JIS 除了对非离子乳化沥青要求了水泥拌和试验外,其它的乳化沥青都没有要求水泥拌和的指标。因此将本方法也进行了限定,即适用于非离子慢裂乳化沥青与水泥材料的拌和试验。如果在工程实践中存在其它类型的乳化沥青若与水泥稳定集料同时使用的情况,可参照本方法进行有关试验。

T 0658—1993 乳化沥青破乳速度试验

1 目的与适用范围

本方法适用于各种类型的乳化沥青的拌和稳定度试验,以鉴别乳液属于快裂(RS)、中裂(MS)或慢裂(SS)的型号。

2 仪器与材料技术要求

2.1 拌和锅:容量约 1000mL。

2.2 金属勺。

2.3 天平:感量不大于 0.1g。

2.4 标准筛:孔径为 4.75mm、2.36mm、0.6mm、0.3mm、0.075mm。

2.5 道路工程用粒径小于 4.75mm 的石屑。

2.6 蒸馏水。

2.7 其它:烧杯、量筒、秒表等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将工程实际使用的集料(石屑)过筛分级,并按表 T 0658—1 的比例称料混合成两种标准级配矿料各 200g。

表 T 0658—1 拌和试验用矿料颗粒组成比例(%)

矿料规格 (mm)	A 组	B 组
<0.075	3	10
0.3~0.075		30
0.6~0.3	5	30
2.36~0.6	7	30
4.75~2.36	85	—
合 计	100	100

3.1.2 将拌和锅洗净、干燥。

3.2 试验步骤

3.2.1 将 A 组矿料 200g 在拌和锅中拌和均匀，当为阳离子乳化沥青时，先注入 5mL 蒸馏水拌匀，再注入乳液 20g。当为阴离子乳化沥青时，直接注入乳液 20g，用金属匙以 60r/min 的速度拌和 30s，观察矿料与乳液拌和后的均匀情况。

3.2.2 将拌和锅中的 B 组矿料 200g 拌和均匀后注入 30mL 蒸馏水，拌匀后，注入 50g 乳液试样，再继续用金属匙以 60r/min 的速度拌和 1min，观察拌和后混合料的均匀情况。

3.2.3 根据两组矿料与乳液试样拌和均匀情况按表 T 0658-2 确定试样的破乳速度。

表 T 0658—2 乳化沥青的破乳速度分级

A 组矿料拌和结果	B 组矿料拌和结果	破乳速度	代号
混合料呈松散状态，一部分矿料颗粒未裹覆沥青，沥青分布不够均匀，有些凝聚成固块	乳液中的沥青拌和后立即凝聚成团块，不能拌和	快裂	RS
混合料混合均匀	混合料呈松散状态，沥青分布不均，并可见凝聚的团块	中裂	MS
	混合料呈糊状，沥青乳液分布均匀	慢裂	SS

4 报告

试验结果报告拌和情况及破乳速度分级、代号。

条文说明

乳化沥青的破乳速度是乳液试样与规定级配的矿料拌和后，从矿料表面被乳液薄膜裹覆的均匀情况，判断乳液的拌和效果，以鉴别乳液是属于快裂、中裂或慢裂类型的一种重要试验。以前也称为拌和稳定度试验。在 ASTM 及日本等标准中，由于乳液专业化生产，乳液属何种类型在购货时已清楚，故对乳化沥青不进行此项试验。但在我国，大部分施工单位自己生产乳化沥青，鉴别乳液至为重要，1983 年试验规程参照德国 DIN 方法，列有此试验方法，近年来阳离子乳化沥青一直沿用此法。为此结合我国实际情况仍保留此法。

拌和用的矿料：1983 年试验规程按照 DIN 规定，集料为玄武岩，但由于乳液的破乳情况根据实际使用的

矿料不同而略有不同，故本方法修改为工程实际用的集料品种。

集料级配按照 DIN 规定，标准筛方孔筛筛孔为 5mm、2mm、0.6mm、0.2mm 及 0.074mm，按我国标准筛规定，统一修改为 4.75mm、2.36mm、0.6mm、0.3mm、0.075mm。

试验步骤与 1983 年试验规程基本相同，但对阳离子乳化沥青根据实际情况，修改为加水 5mL 拌和后再加入乳液 20 g 的拌和方法，并规定了拌和速度，以便统一。根据拌和结果，判断乳液类型和标准仍按 1983 年试验规程的方法进行。

T 0659—1993 乳化沥青与矿料的拌和试验

1 目的与适用范围

本试验适用于规定级配的矿料与乳液在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 条件下拌和，检验乳液与矿料拌和时的状态和均匀性。

2 仪器与材料技术要求

2.1 拌和锅：容量约 1000mL，金属制、球形底有手柄。

2.2 金属匙：长约 250mm。

2.3 烘箱。

2.4 天平：感量不大于 0.1g。

2.5 标准筛：筛孔孔径 4.75mm、2.36mm、0.6mm、0.15mm、0.075mm。

2.6 矿料：石屑(2.36mm~4.75mm)、粗砂(0.6mm~2.36mm)、细砂(0.15mm~0.6mm)及石灰石矿粉(<0.075 mm)。

3 方法与步骤

3.1 乳化沥青矿料混合料拌和试验

3.1.1 准备工作

1) 将石屑(4.75mm~2.36mm)和粗砂(0.6mm~2.36mm)洗净、烘干，并在室温下摊开冷却 1h。

2) 将拌和锅及金属匙洗净、烘干并称其质量。

3.1.2 试验步骤

1) 在已称质量的拌和锅(盘)中称取石屑 $335\text{g} \pm 1\text{g}$ ，粗砂 $130\text{g} \pm 1\text{g}$ ，再加水 $10\text{g} \pm 0.5\text{g}$ 用金属匙拌和均匀。

2) 立即称取已搅匀后的沥青乳液 $35\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 加入拌和锅中，并用金属匙以 60 r/min 的速度连续拌和 2min。

3) 在拌和过程中及拌和终了后，仔细观察集料裹覆乳液是否均匀及是否有沥青结块或粗团

粒的情况。

3.2 乳化沥青混凝土混合料拌和试验

3.2.1 准备工作

1) 将石屑(4.75mm~2.36mm)和细砂(0.15mm~0.6mm)洗净、烘干并在室温下摊开冷却 1h。

2) 将拌和锅及金属匙洗净、烘干并称其质量。

3.2.2 试验步骤

1) 在已称质量的拌和锅中称取石屑 $250\text{g} \pm 1\text{g}$ 、细砂 $180\text{g} \pm 1\text{g}$ 、石灰石矿粉 $15\text{g} \pm 0.5\text{g}$ ，再加水 $20\text{g} \pm 0.5\text{g}$ ，并拌和均匀。

2) 立即称取已搅匀后的沥青乳液 $55\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 加入拌和锅中，并用金属匙以 60r/min 的速度连续拌和 2min。

4 报告

在拌和过程中及拌和终了后，矿料裹覆乳液是否均匀以及是否有沥青结块或粗团粒等情况。

条文说明

乳化沥青的拌和试验是试样与规定级配的混合料在室温条件下拌和后，以矿料裹覆乳液均匀状态来判断乳液类型的一种方法，此项试验实际上也是检验沥青乳液的拌和稳定性试验及判断乳液类型的方法，但各国所用矿料级配也有不同。日本道路协会铺装试验法便览列有两个方法，6.5 为与粗粒式混合料拌和试验，6.6 为与密级配沥青混合料的拌和试验。我国阳离子乳化沥青研究和推广过程中即采用了此两种方法。本方法将其分别列为两种情况，前者适用于沥青碎石，后者适用于沥青混凝土混合料。

沥青碎石混合料拌和试验由石屑及粗砂配合而成，沥青混凝土混合料由石屑、细砂、石灰石矿粉配合而成，其配合比均按照日本试验法规定采用。

具体试验步骤及拌和后的评定办法均与日本的方法相同，只需观察有无粗团粒、结块等情况即可。

T 0660—2000 沥青与集料的低温黏结性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于评定沥青或改性沥青与集料的低温黏结性能，以规定条件下试验板受冲击后碎石被振落的百分数表示。非经注明，试验温度为 -18°C 。

2 仪器与材料技术要求

2.1 钢板：1 块， $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ ，厚 2mm，四周边缘有高 8mm、宽 5mm 的密封边框。

2.2 钢球：1 个，质量 $500\text{g} \pm 1\text{g}$ 。

2.3 铁架：1 个，在距钢板顶面 500mm 高度处有一小平台，高度可调节。

2.4 冰箱。

2.5 水泥混凝土垫块：2 块，垫块长度不小于 200mm。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按图 T 0660 将铁架支好，在支架的小平台下方放 2 块水泥混凝土垫块，将钢板两边的边框反扣于垫块边，调整铁架平台高度至铁板平面的距离为 500mm。钢板的位置应使自小平台上落下钢球时恰好跌落在钢板的正中央。此位置调整好后不得移动。

3.1.2 将碎石用 4.75mm、9.5mm 标准筛过筛，从粒径 4.75mm~9.5mm 的碎石中取出接近立方体形状规则的碎石 100 颗，用洁净水洗净，置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干，然后放在干燥器中备用。

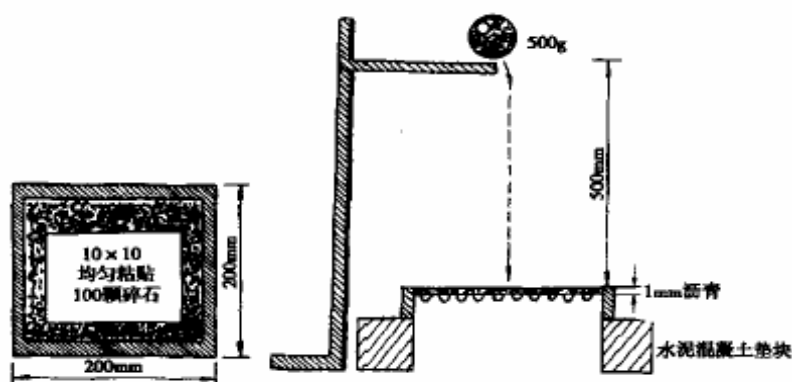


图 T 0660 沥青与集料低温黏结力的板冲击试验

3.1.3 将 200mm×200mm 的钢板置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中预热备用。

3.1.4 按本规程 T 0602 沥青试样准备方法加热沥青，然后取出钢板，放在平台上，立即向钢板中浇灌沥青 40g，使沥青厚度为 1mm。此时应注意钢板不得倾斜，以防沥青流向一边。保持钢板不动置室温中冷却，均匀地放上 10 排，每排 10 颗，共 100 颗准备好的碎石，碎石与碎石之间的间距应大体均匀，距离边缘不应少于 10mm。

3.1.5 将钢板连同摆好的碎石一起，放入 60°C 烘箱中加热 5h，使碎石与沥青有良好的黏结，再放入 -18°C 的冰箱中冷却 12h 以上，如没有专用的冰箱，可用家用冰箱的冷冻室替代。

3.2 试验步骤

从冰箱中取出钢板，按图 T 0660 放在水泥混凝土垫块的位置上，将钢板黏有沥青碎石的一面朝下，未黏试样的面朝上，将钢球置于平台边缘，用手指轻轻一碰，使钢球从边缘自由落下，恰好跌落在钢板反面的中心，观察钢板受钢球冲击振动后碎石被振落的情况。

4 计算

计算被振落的石子数量占总石子数量的百分率。

5 报告

同一试验平行试验两次，取平均值为试验结果。

条文说明

本方法参照埃索石油公司研究所试验方法编写。由于一般的低温性能试验的温度大都在 0°C 左右，没有像本方法这么低，因此此方法特别有助于评价改性沥青与集料在低温条件下的黏附性，通常用于对不同改性剂品种、剂量作比较和选择合理剂量。

T 0661—2011 聚合物改性沥青离析试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定聚合物改性沥青的离析性，以评价改性剂与基质沥青的相容性。

2 仪具与材料技术要求

2.1 沥青软化点仪，同 T 0606。

2.2 试验用标准筛， 0.3mm 。

2.3 盛样管：铝管，直径约 25mm ，长约 140mm ，一端开口。

2.4 烘箱：能保温 $163^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 或 $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2.5 冰箱：低温可至 -2°C 以下。

2.6 支架：能支撑盛样管，竖立放入烘箱及冰箱中，也可用烧杯代替。

2.7 剪刀。

2.8 容器：标准的沥青针入度金属试样杯（高 48mm ，直径 70mm ）。

2.9 其它：小夹子、样品盒、小烧杯、小刮刀、小锤、甘油滑石粉隔离液等。

3 试验步骤

3.1 对 SBS、SBR 类聚合物改性沥青，按如下试验步骤进行：

3.1.1 准备好盛样管，将盛样管装在支架上。

3.1.2 将改性沥青过 0.3mm 筛，然后加热至能充分浇灌，稍加搅拌并徐徐注入竖立的盛样管中，质量为 $50\text{g} \pm 5\text{g}$ 。

3.1.3 待盛样管中的沥青冷却至室温后，将铝管的开口端用铝箔封闭。然后将盛样管连同架子一起放入 $163^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中静置 $48\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

3.1.4 加热结束后，将盛样管连支架一起从烘箱中轻轻取出，放入 -2°C 以下冰箱的冷柜中，保持盛样管在竖立状态，不少于 4h ，使改性沥青试样凝为固体。待沥青全部固化后将盛样管从

冰箱中取出。

3.1.5 待试样温度稍有回升发软，用小刀将盛样管中样品液面以下等分为三段，取顶部和底部的各三分之一试样分别放入样品盒或小烧杯中，再放入 163℃±5℃的烘箱中融化，取出已剪断的铝管。

3.1.6 稍加搅拌，分别灌入软化点试模中。

3.1.7 对顶部和底部的沥青试样按本规程 T 0606 同时进行软化点试验，计算其差值。

3.1.8 应进行两次平行试验，取平均值。报告结果精度要求，软化点小于 80℃时，允许误差小于 1℃，再现性误差小于 4℃。

3.2 对 PE、EVA 类聚合物改性沥青，按如下试验步骤进行：

3.2.1 将聚合物拌入沥青中成为混合物，在高温状态下充分浇灌入沥青针入度试样杯中，至杯内标线处(距杯口 6.35mm)，将杯放入 135℃的烘箱中，持续 24h±1h，不扰动表面，小心地从烘箱中取出样杯，仔细观察试样，经观察以后，用一小刮刀徐徐地探测试样，查看表面层稠度，检查底部及四周的沉淀物，这些检查和试验都应在沥青试样自烘箱中取出后 5min 之内进行。

3.2.2 视沥青聚合物体系的相容性和离析程度，按表 T 0661 记录。

如果表中记述项不适合特殊的试样，应正确地记录所发生的现象，并保留试样。

表 T 0661 热塑性树脂改性沥青的离析情况

记 述	报 告
均匀的，无结皮和沉淀	均匀
在杯边缘有轻微的聚合物结皮	边缘轻微结皮
在整个表面有薄的聚合物结皮	薄的全面结皮
在整个表面有厚的聚合物结皮(大于 0.8mm)	厚的全面结皮
无表面结皮但容器底部有薄的沉淀	薄的底部沉淀
无表面结皮但容器底部有厚的沉淀(大于 6mm)	厚的底部沉淀

条文说明

聚合物改性沥青在停止搅拌、冷却过程中可能从沥青中离析。本方法参照美国 ASTM 标准将两类聚合物改性沥青的离析试验合并为一个试验方法。在美国 ASTM 中，分别对 SBS、SB 类聚合物改性沥青(I 型及 IV 型，ASTM D 5976, D 5892)和 EVA 类聚合物改性沥青(III 型，ASTM D 5841)规定了不同的离析试验方法。对 SBS 类改性沥青，本方法完全按照 ASTM 标准方法编写。我国《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)已经对各类改性沥青的离析性能提出了技术要求。

本次修订对试验所用的盛样管去掉了玻璃试管,因为在 2000 年修订时铝管很少,考虑采用玻璃试管过渡,由于玻璃试管在试验中需要涂滑石粉,还要用水洗以及要砸破管子等,试验结果容易有误差,因此本次统一采用铝管。

原规程对铝管的密封方式描述并不准确。折叠铝管端部对有些改性沥青会造成边界效应，影响试验结果。

此次修订完善了铝管的密封方式。原规程用小刀将盛样管等分为三截并没有对沥青样品进行三等分,此次修订改为将沥青样品液面以下等分为三段。

T 0662—2000 沥青弹性恢复试验

1 目的与适用范围

本试验适用于评价热塑性橡胶类聚合物改性沥青的弹性恢复性能,即测定用延度试验仪拉长一定长度后的可恢复变形的百分率。非经注明,试验温度为 25℃,拉伸速率为 5cm/min±0.25cm/min。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试模:采用延度试验所用试模,但中间部分换为直线侧模,如图 T0662,制作的试件截面积为 1cm²。

2.2 水槽:能保持规定的试验温度,变化不超过 0.1℃。水槽的容积不小于 10L,高度应满足试件浸没深度不小于 10cm,离水槽底部不少于 5cm 的要求。

2.3 延度试验机:同本规程 T 0605。

2.4 温度计:符合延度试验的要求。

2.5 剪刀。

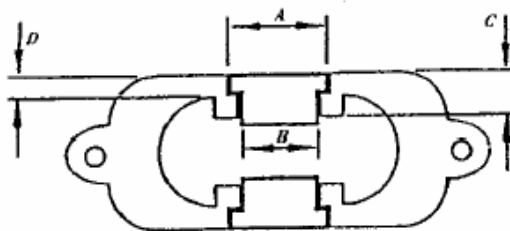


图 T0662 弹性恢复试验用直线延度试模

A: 36.5mm±0.1mm; B: 30mm±0.1mm C: 17mm±0.1mm; D: 10mm±0.1mm

3 试验步骤

3.1 按本规程 T 0605 沥青延度试验方法浇灌改性沥青试样、制模,最后将试样在 25℃水槽中保温 1.5h。

3.2 将试样安装在滑板上,按延度试验方法以规定的 5cm/min 的速率拉伸试样达 10cm±0.25cm 时停止拉伸。

3.3 拉伸一停止就立即用剪刀在中间将沥青试样剪断,保持试样在水中 1h,并保持水温不变。注意在停止拉伸后至剪断试样之间不得有时间间歇,以免使拉伸应力松弛。

3.4 取下两个半截的回缩的沥青试样轻轻捋直,但不得施加拉力,移动滑板使改性沥青试样

的尖端刚好接触，测量试件的残留长度为 X。

4 计算

按式(T 0662—1)计算弹性恢复率。

$$D = \frac{10 - X}{10} \times 100 \quad (\text{T 0662-1})$$

式中：D ——试样的弹性恢复率，%；

X ——试样的残留长度，cm。

条文说明

本方法按照美国 ASTM D 6084-97、D 5892-96 及 D 5876-96 关于 SBS、SB 类聚合物改性沥青(I 型及 IV 型)的弹性恢复试验方法编写，用直线延度试件拉伸 10cm 后停止，立即剪断，保持 1h 测量恢复率。而 AASHTO T 301-95 是采用普通八字形延度试模，拉伸 20cm 后停止，5min 后剪断，保持 1h 测量恢复率。在德国和法国等是拉伸 20cm 后停止，10s 时剪断，30min 后测定恢复率。由于沥青材料的黏弹性及应力松弛性能，立即剪断与过 10s、过 5min 剪断，恢复程度肯定是不一样的。考虑 ASTM 方法是在 AASHTO T 301 之后才订的。本规程统一采用 ASTM 方法进行。

T 0663—2000 沥青抗剥落剂性能评价试验

1 目的与适用范围

本方法适用于评价沥青在掺加抗剥落剂后与集料的黏附性及沥青混合料的水稳定性。

2 仪具与材料技术要求

与本规程 T 0616、T 0709、T 0729 相同。

3 试验步骤

3.1 按本规程 T 0602 的方法对沥青试样加热、过滤，加入要求比例的抗剥落剂，采用手工或搅拌器搅拌，使抗剥落剂均匀分散在沥青试样中。

3.2 在评价沥青抗剥落剂性能时，必须按下列步骤进行试验检验：

3.2.1 按本规程 T 0609 或 T 0610 沥青薄膜加热试验的方法对掺加抗剥落剂的沥青结合料进行加热老化，总质量不少于 300g。

3.2.2 对经加热老化的沥青结合料，按本规程 T 0616 的方法采用水浸法或水煮法检验沥青与粗集料的黏附性。试验应采用工程上实际使用的集料，当无工程针对性时，应选用有代表性的酸性集料(如花岗岩、砂岩、石英岩等)。

3.2.3 按本规程 T 0734 规定的加速老化试验方法对使用了抗剥落剂的热拌沥青混合料进行短期老化及长期老化处理。

3.2.4 按本规程 T 0709、T 0729 的方法分别对掺加了抗剥落剂并经老化处理的沥青混合料进行浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验，评价沥青混合料的水稳定性。

3.2.5 必要时可采用未经薄膜加热试验的沥青结合料试验与粗集料的黏附性，或采用未经老化的沥青混合料进行水稳定性试验，进行比较，以评价抗剥离剂的耐热性能及长期使用效果。

3.3 在沥青路面工程中使用的抗剥落剂必须符合现行规范规定的沥青结合料与集料的黏附性等级，符合沥青混合料水稳性要求，并具有长期抗剥离效果。

条文说明

本方法是为了鉴别某些不合要求的抗剥落剂而制定的。美国的水煮法试验是利用经过加热拌和的沥青混合料进行的,此时沥青相当于经过了一次薄膜加热试验。而我国一般只将抗剥落剂掺入沥青中便进行黏附性试验，不能正确反映抗剥落剂在实际使用过程中的情况。

随着高速公路的建设，沥青路面对集料的要求越来越高。在通常情况下，石灰岩等碱性集料与沥青的黏附性好，但耐磨性较差。而花岗岩、砂岩、石英岩等酸性岩石，坚硬、耐磨性强，能充分发挥集料之间的嵌挤作用，惟有它与沥青的黏附性差，容易在水分的作用下造成沥青膜的剥落，导致沥青路面的掉粒、松散、坑槽等水损害破坏。

为了能使用这些酸性集料，通常采用掺加一部分消石灰、水泥代替矿粉或掺加抗剥落剂的措施，因此五花八门的抗剥落剂应运而生。而现在市场上的抗剥落剂绝大部分是从高级脂肪酸衍生出来的长链的胺类化合物，有些根本就是粗胺，有些加了一些溶剂，这可以从抗剥落剂的刺鼻的胺味鉴别出来。胺类表面活性剂与乳化剂的功用一样，一端是亲水性的胺基，与酸性集料有很强的亲和力；另一端是融化在沥青中的亲油性的烷基，从而起到抗剥离效果。所以选择优质的抗剥落剂对沥青路面工程建设是很重要的。

这里应该注意的是，此类抗剥落剂中有许多产品的受热稳定性较差。据日本的一个试验，某种掺加胺类抗剥落剂的沥青与集料的黏附性，用水煮法试验的结果，刚掺加后 2h 试验的剥落率仅为 2%，高温贮存 24h 后试验的剥落率达 20%，贮存 48h 后试验的剥落率达 30%，贮存 72h 后试验的剥落率达 34%。这说明如果沥青混合料在贮存仓中贮存较长时间的话，抗剥离效果将大为减小。有一批掺加 5%的几种抗剥落剂的花岗岩沥青混合料，经过 180℃、48h 的热处理和未经热处理的两组试件，进行浸水马歇尔试验（60℃，4d），残留稳定度如表 T0663：

表 T0663 残留稳定度

抗剥落剂	未经受热处理的			经过受热处理的		
	马歇尔稳定度 (Kn)	浸水马歇尔稳定度 (kN))	残留稳定度 (%)	马歇尔稳定度 (kN)	浸水马歇尔稳定度 (kN)	残留稳定度 (%)
未掺	14.8	2.0	13.5	16.9	5.8	34.3
A	16.5	15.2	92.1	13.8	9.95	55.9
B	16.7	13.2	79.0	13.3	13.8	78.0

C	15.0	13.9	92.7	16.8	12.7	75.6
D	18.2	12.3	63.6	18.0	13.9	73.2

在表中，不掺抗剥落剂的沥青在薄膜加热试验后与集料的黏附性将有所提高，而抗剥落剂 A、C 实际上是经不起受热考验的，抗剥落剂 B、D 则对受热与否差别不大，属于不同的类型。

我们曾经对多种掺加抗剥落剂的沥青直接进行与花岗岩的黏附性试验，以及先经过薄膜加热试验的受热处理，然后再进行与花岗岩的黏附性试验，结果发现未经过薄膜加热试验的可以将黏附性等级从不掺抗剥落剂的原样沥青的 1 级提高到 4 级，而如果先进行薄膜加热试验处理的，只能提高到 3 级，达不到高速公路的使用要求。

众所周知，沥青的薄膜加热试验受热过程相当于沥青混合料的拌和过程的老化，由此说明，对掺加抗剥落剂的沥青立即进行水煮法黏附性试验将有可能使某些不耐热的质量不好的抗剥落剂蒙混过关，因此必须对掺加抗剥落剂的沥青先进行薄膜加热试验，然后再进行黏附性试验。

实际上，有一些单位在检验抗剥落剂性能时，已经采用了一些检测长期性能的措施，如将沥青掺加抗剥落剂之后，先放在烘箱中烘相当长的时间，或者将沥青混合料试件放进烘箱中烘一定时间等等。不过由于我国没有统一的试验方法，具体操作上全凭试验单位自己的经验和看法，确定了各种各样的试验步骤。在这种情况下，统一我国的试验方法势在必行。

T 0664—2000 改性沥青用合成橡胶乳液试验

1 目的与适用范围

本方法适用于对道路沥青改性用的合成橡胶乳液进行质量检验。

2 仪具与材料技术要求

2.1 烘箱：50℃～200℃，恒温控制准确度为 1℃。

2.2 分析天平：感量不大于 0.1mg。

2.3 玻璃皿：平底，有盖，直径约 60mm，高约 15mm。也可采用铝合金皿。

2.4 酸度计：pH 值最小分度 0.02，附有玻璃电极和甘汞电极。当被测试样 pH 大于 10 时，应采用锂玻璃电极。

2.5 硼砂：0.01mol/L 溶液，将 3.814g 硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 溶于水，在容量瓶中稀释至 1000mL。

溶液应保存于耐化学腐蚀的玻璃瓶或聚乙烯瓶中，瓶塞上应装有吸收二氧化碳的钠石灰。此溶液有效使用期为 1 个月，在 23℃ 时，pH 值为 9.20。

2.6 邻苯二甲酸氢钾：0.05mol/L 溶液，将 0.210g 邻苯二甲酸氢钾溶于水，在容量瓶中稀释至 1000 mL。

溶液应保存于耐化学腐蚀的玻璃或聚乙烯瓶中，此溶液有效使用期为 1 个月。在 23℃ 时，pH 值为 4.00。

2.7 L 型黏度计：适用黏度范围 0~2Pa·s。

2.8 黏度计转子：如图 T 0664 所示， 其尺寸见表 T 0664。

表 T0664 转子尺寸(mm)

转子型号	A ±1.3	B ±0.03	C ±0.03	D ±0.06	E ±1.3	F ±0.15
L ₁	115.1	3.18	18.84	65.10	—	81.0
L ₂	115.1	3.18	18.72	6.86	25.40	50.0
L ₃	115.1	3.18	18.70	1.65	25.40	50.0

2.9 玻璃烧杯：内径不小于 85mm，容量不小于 600mL。

2.10 水槽：控制温度 25℃±2℃。

2.11 蒸馏水：不含二氧化碳。

2.12 其它：脱脂棉、干燥器、滤网等。

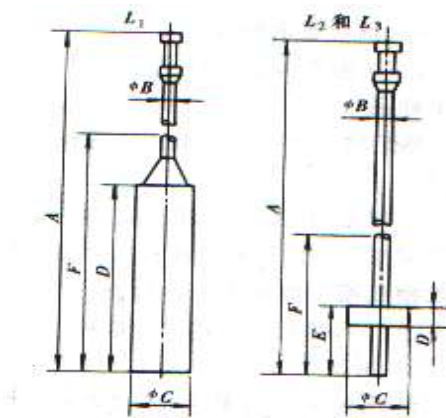


图 T 0664 转子图

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 桶装胶乳样品取样

若乳胶桶已用一带螺丝的盖旋紧，桶内空间大于 2%，则可将桶放倒，来回轻轻的滚动不少于 10min，然后把桶翻过来倒立 15min，再重复滚动不少于 15min。

若桶内空间小于 2%，应将桶内胶乳转移到一更大的容器中，用带孔的不锈钢圆板提子上下搅动约 10min，充分混匀。若桶是开盖式的，将盖打开，用带孔的不锈钢圆板提子上下搅拌约 10min，充分混匀。

胶乳混匀后应立即取样。将内径为 10mm~15mm 两端开口的清洁而干燥的玻璃管慢慢地插入容器底部，然后将玻璃管上端压住密封，取出玻璃管，将管内胶乳移至一清洁而干燥的样品瓶内，重复此操作直到取得所要求的量。

3.1.2 贮罐或槽车装胶乳样品取样

取等体积三个样品，先在上半部中间取，再在中部取，最后在下半部的中间取。然后将三个样品放到一个清洁而干燥的样品瓶中，混匀后密封保存。

如怀疑发生分层现象，从距离顶部表面 75mm 和距离贮槽底部 75mm 两处分别取样。如顶部和底部样品的总固物含量相差在 1%以上，则应将贮槽或槽车内胶乳充分混合，直到所取得的样品总固物含量相差小于 1%，然后按上述规定取样。

3.1.3 胶乳样品制备

若胶乳中可见到凝块、结皮或外来物，或者胶乳的凝固物含量超过 0.05%(质量)，则除测定凝固物含量外，测定各项目之前应仔细搅拌，并应用网径为 0.18mm 的尼龙或不锈钢网过滤。此情况应在试验报告中记录。

3.2 试验步骤

3.2.1 合成胶乳总固物含量测定方法

(1)加胶乳于洗净、烘干、恒重的玻璃皿中，称取 $2.0\text{g} \pm 0.5\text{g} (m_0)$ ，准确至 1mg。平缓地转动皿，使胶乳覆盖全部皿底。如有必要，可沿皿壁加入 1mL 蒸馏水，缓缓转动皿使混合均匀。

(2)移去皿盖，将皿水平地放置在已调至 $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 的烘箱内干燥(约 2.5h)，以试样失去乳白色而又不变黄为准，取出试样置于干燥器内冷却至室温，加盖称量。再将皿放入烘箱中 15min，取出后冷却、称量。反复此步骤直至相邻两次称量之差小于 1mg，记录胶乳总固物质量 m_1 。

3.2.2 合成胶乳 pH 值测定法

1) 酸度计的校正方法

(1)接通电源，按仪器使用说明书进行预热。

(2)依次用水和硼砂溶液洗涤电极，将电极浸泡在硼砂溶液中，酸度计和被测溶液保持在 $23^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 条件下，将仪器调整至读数为 9.20，再用另外一份硼砂溶液测定，连续测定 pH 值读数差

值应小于 0.05。

(3) 依次用水和邻苯二甲酸氢钾溶液洗涤电极。将电极浸泡在邻苯二甲酸氢钾溶液中，酸度计和被测溶液保持在 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下，如果测得邻苯二甲酸氢钾溶液的 pH 值在 3.95~4.05 之间，则认为仪器符合要求。由于个别电极的灵敏度不同，而不能按上述方法校正酸度计，可用与被测胶乳的 pH 值近似的已知 pH 值的单一溶液校正。

2) 测定合成胶乳 pH 值

(1) 用水洗涤电极并用柔软的吸水纸吸干，将电极泡在胶乳中，酸度计和胶乳均保持在 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 条件下，测定胶乳的 pH 值。每个试样要测定三次，其测定差值应不大于 0.1。

(2) 若进行一系列测定，则每工作 30min，应用硼砂溶液校正一次酸度计，根据逐次校核结果的变化确定是否需要更频繁地进行校正。

(3) 玻璃电极用完后，应立即用水冲洗玻璃电极上的胶乳，然后用脱脂棉蘸水小心清洗玻璃电极待用。如暂时不用，可将玻璃电极浸在水中，甘汞电极浸泡在饱和氯化钾溶液中保存。

3.2.3 合成胶乳黏度测定法

(1) 首先测定胶乳中的总固物含量，如有必要，可加入蒸馏水将胶乳稀释到实际应用所需的总固物含量。稀释时，应将水缓慢地加入胶乳中，搅拌混合物 5min，注意避免空气混入。如果胶乳中夹带有空气，且其黏度小于 $0.2\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，允许将胶乳在常温下放置 24h 以脱除空气。如果胶乳内夹带空气但不含有其它挥发性组成物，且黏度大于 $0.2\text{Pa} \cdot \text{s}$ 者，允许将胶乳在真空下脱气至无气泡为止。试样应用孔径 0.5mm 的不锈钢网仔细过滤。

(2) 将胶乳注入烧杯，放在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温水中，慢慢搅拌胶乳，直至温度达到浴温。为了避免带入空气，先将转子与防护器小心地倾斜着插入胶乳中，再将转子牢固地装于电动机轴上，并装好防护器。调整胶乳表面达到转子轴上凹槽的中间刻线处。转子应处于烧杯中间并与液面相垂直。

(3) 选择黏度计的转速为 $60\text{r/min} \pm 0.2\text{r/min}$ 。开动黏度计的电动机，经过 20s~30s，依照仪器操作说明方法，取平衡读数。应使用能测出黏度的最小型号的转子。读数应在 3~98 范围内。

合成胶乳是非牛顿液体，其表观黏度随剪变率和测试时间的变化而变化，故应在固定转子、转速和时间的条件下测定。

4 计算

4.1 合成胶乳的总固物含量按式(T 0664—1)计算。

$$P = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (\text{T 0664-1})$$

式中：P——合成胶乳中的总固物含量，%；

m_0 ——胶乳试样总质量，g；

m_1 ——烘干后的总固物质量，g。

4.2 合成胶乳的表观黏度按式(T 0664—2)计算。

$$\eta_r = k \theta \quad (\text{T 0664-2})$$

式中： η_r ——胶乳在测定温度条件下的表观黏度， $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ；

θ ——黏度计平衡时的读数；

k ——仪器的计算因子，由厂家按型号提供。

5 报告

5.1 报告包括胶乳类型，胶乳的总固物含量、pH 值、黏度。

5.2 报告应说明试验所使用的仪器类型、黏度计转子型号、测定方法和标准依据，以及测定过程中的任何异常现象。

6 允许误差

6.1 合成胶乳中的总固物含量平行测定的两个结果的相对误差不得大于 0.5%。

6.2 合成胶乳的 pH 值平行测定的两个结果之差不得大于 0.1。

6.3 合成胶乳的表观黏度平行测定的两个结果之差不得大于 1%。

条文说明

合成橡胶乳液是常用的道路沥青改性材料，它可以制作改性沥青，还可以制作改性乳化沥青。胶乳改性沥青的方法可以是直接喷入拌和缸与热拌沥青混合料拌和，也可以与热沥青用预混法制作改性沥青使用。

用胶乳制作改性乳化沥青的方法有两种，一种是将胶乳与乳化沥青直接混合制作改性乳化沥青；一种是将胶乳与水、稳定剂、乳化剂等与热沥青一起进入乳化机、胶体磨等制成改性乳化沥青。

我国对合成胶乳已订有一些国家标准，这些标准由化学工业部提出，由四川省长寿化工厂负责起草，由兰州化学工业公司化工研究院技术归口。由于这些标准并非专门针对改性沥青使用的，使用时要注意鉴别是否有不合适之处。

本节参照相关的合成胶乳国家标准规定编写，这些标准是：

GB 2953-82《合成胶乳取样法》：适用于合成胶乳的取样，未必适用于配合胶乳、硫化胶乳及水分散橡胶。此标准是以国际标准 ISO 123-1974(E)为主要依据，结合国内实际情况做了适当修改而制定的。1983 年标准概要说明胶乳放置后可能出现膏化。如已发生分层现象，为了得到一个具有代表性的均一样品，胶乳应充分搅拌均匀。所需的操作步骤随所装胶乳的容器种类而定。如果样品从几个桶中取出时，例如从 10% 的桶内取出胶乳样品，或从贮罐、槽车中取出时，须从不同深度抽取。应将这些样品收集在一起混匀，装入瓶中，将瓶口封好保存。

同时应注意不要将样品瓶装满，以允许热膨胀。样品瓶不能使用与合成胶乳中存在的残余单体起化学反应的聚乙烯或其它材料制作的瓶。

应避免胶乳样品从一个容器转移到另一个容器中，当处理和测定试样时，应注意不产生泡沫或引入空气，因为胶乳暴露于空气中，或胶乳上有泡沫都会很快导致结皮。

GB 2958-82《合成胶乳总固物含量测定法》：适用于合成胶乳中总固物含量的测定。此标准是以国际标准 ISO 124-1974(E) 为主要依据，经验证试验，做了适当修改而制定的。

GB 2954-82《合成胶乳 pH 值测定法》：适用于合成胶乳 pH 值测定。此标准是以国际标准 ISO 976-1977(E) 为主要依据，经验证试验，做了适当修改而制定的。

合成胶乳 pH 值是以氢离子浓度的负对数形式表示液体的氢离子浓度。其测定原理如下：

水溶液酸碱度的测量，一般用玻璃电极作为测量电极，甘汞电极作为参考电极，当氢离子(或氢氧离子)浓度发生变化时，玻璃电极和甘汞电极之间的电动势也随着引起变化，并符合如下公式：

$$E = E_o - 2.3026 \times \frac{RT}{F} \times PH$$

式中：R——气体常数，8314 焦耳/度·克分子；

T——绝对温度(273+T℃)；

F——法拉第常数，96495 库仑/克当量；

E_o——零电位；

pH——表示被测电溶液 pH 值和内溶液 pH 值的差值(pH 外-pH 内)；

E——电极电位。

GB 2956-82《合成胶乳黏度测定法》：适用于合成胶乳的黏度测定。此标准是以国际标准 ISO 1652-1974(E) 为主要依据，经验证试验，做了适当修改而制定的。合成胶乳的黏度是液体内部摩擦阻碍其相对流动的一种特性，其测定原理是：

用旋转黏度计测定黏度，即测量浸入胶乳中规定深度的特定转子在低切变恒速下旋转所产生的力矩。

本规程的试验方法完全按照以上国家标准的规定编写，并按公路部门的习惯适当作了修改。

T 0665—2011 乳化沥青与水混合稳定性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于中裂和慢裂乳化沥青，不适用于快裂的乳化沥青。

2 仪具与材料技术要求

2.1 滤筛：筛孔为 1.18mm。

2.2 量筒：200mL，最小分度 1mL。

2.3 烧杯：400mL。

2.4 秒表。

2.5 天平：感量不大于 0.1g。

2.6 水：蒸馏水或纯净水。

2.7 其它：玻璃棒等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 将烧杯、玻璃棒及 1.18mm 滤筛用溶剂及蒸馏水（或纯净水）擦洗清洁，烘干后备用。

3.1.2 将乳化沥青过 1.18mm 滤筛备用。

3.2 试验步骤

3.2.1 取一个 400 mL 的玻璃烧杯倒入 50 mL 乳液，然后边不断搅拌边逐渐加入 150 mL 蒸馏水（或纯净水）。

3.2.2 在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下，让混合物静放 2 小时，然后观测是否有明显的沥青聚结。

3.2.3 无明显聚结时，记录为“通过”；否则，记录为“不通过”。

4 报告

每一试样至少平行试验两次，以是否“通过”来评价。

条文说明

对于有些乳化沥青，尤其是喷洒类乳化沥青，为了保证顺利、均匀地洒布需要在施工前对较高残留物含量的乳化沥青用水进行稀释。这时，如果不事先予以检验就有可能在用水稀释时导致乳化沥青破乳。为了保证施工质量，有必要对乳化沥青的水稀释稳定性进行评定。本试验方法参照 ASTM D244-00 编制。

T 0666—201X 沥青多重应力蠕变恢复试验（MSCR）

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青中可恢复和不可恢复的蠕变柔量比率，能确定道路石油沥青和聚合物改性的弹性回复和应力效应。

1.2 本方法适用于测试旋转薄膜烘箱（RTFOT）后的老化沥青。

2 仪器与材料技术要求

2.1 动态剪切流变仪试验系统由平行金属板、环境室、加载设备、控制和数据采集系统组成。其基本原理如图 T 0666 所示。

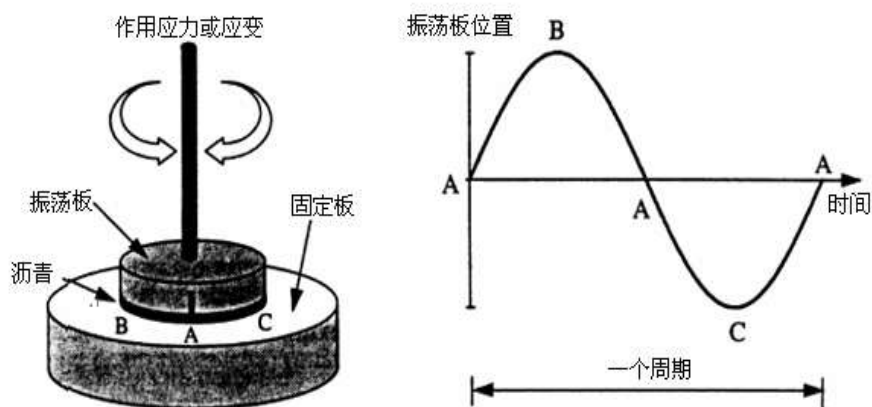


图 T 0666 动态剪切流变仪基本原理

2.2 试验系统基本技术要求和参数

2.2.1 试验板：直径为 $25\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 表面光滑的金属板。

2.2.2 环境室：用来控制试验时试件的温度，通过加热或冷却维持一个恒定的试件环境。环境室中加热或冷却试件的介质应为不影响沥青性质的液体或气体。

2.2.3 温度控制器：在 $5^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 温度范围内可将试件温度控制在试验温度的 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 内。

2.2.4 加载设备：可以向试件施加 $10\text{rad/s} \pm 0.1\text{rad/s}$ 频率的正弦振荡荷载。加载方式可采用应力控制荷载或应变控制荷载，在蠕变循环开始后 0.03 秒内达到所需应力

2.2.5 控制和数据采集系统：可记录温度、频率、偏转角和扭矩。应满足表 T 0666-1 中规定的精确度要求。

2.2.6 温度传感器：精确至 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 试件修整器：刮刀或刀片，用于修整试件。

表 T 0666-1 控制和数据采集系统要求

测 定 值	精 度
温度	0.1°C
频率	1%
扭矩	$10\text{mN}\cdot\text{m}$
偏转角度	$100\mu\text{rad}$

3 试验准备

3.1 按本规程 T 0610 的方法对沥青进行短期老化。加热老化后的沥青至足够流动状态，用来浇注试件，原样沥青加热的温度不宜高于 135°C ，改性沥青加热温度不宜超过 180°C 。在加热过程中给样品加盖，并适当进行搅拌以保证样品的均匀性和赶走气泡。

3.2 将选择的试验板固定于试验机上，在试验温度下，建立试验板零间隙水平。向上移动顶

板，使板间隙为： $1\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

3.3 仔细清洁试验板表面，将环境室升到试验温度或试验温度范围的初始温度，使沥青均匀牢固的黏到试验板上。

3.4 取出试验板，将沥青浇注在试验板的中心处，使得沥青基本覆盖整个板(除了周边留有2mm宽外)。待沥青变硬后将试验板装回流变仪。

3.5 移动试验板挤压两个试验板间的试件，加热试件修整器，修整周边多余的沥青。

3.6 试件修整后，调整间隙到试验间隙。

4 试验步骤

4.1 调整好试验板间隙后，将试件温度升到试验温度的 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，试件至少在15min内达到热平衡。

注：若使用剩余的短期老化后材料进行试验，则在开始试验前需对样品进行1min的松弛；当使用新制备的材料进行试验时，无需此步骤。

4.2 在选定温度下，分别使用两个恒定应力（0.1kPa 和 3.2kPa）进行蠕变和恢复试验，应力加载持续1秒后零应力恢复9秒。试验总计30个蠕变和恢复循环：在0.1kPa应力水平下运行20个循环，然后在3.2kPa应力水平下进行10个循环，总共30个循环周期。其中0.1kPa应力水平下的前10个循环被用来调节样品。蠕变和恢复循环间没有松弛时间或应力水平的变化，完成两阶段蠕变和恢复试验所需的总时间为300s。

4.3 以0.1s的频率记录蠕变循环试验中的应力和应变，恢复期的数据采集频率至少为0.45s。在每个蠕变和恢复循环周期中，在第1s时记录峰值应变数据；第10s时记录恢复的应变值。如果DSR没有在指定时间准确记录峰值应力和恢复应变，则利用先前的数据，使用外推法确定第1s和10s的应变值。蠕变期的时间偏差不应超过0.1s，恢复期的时间偏差不应超过0.5s。

4.4 分析并记录0.1kPa和3.2kPa应力水平下，蠕变和恢复应力的百分比。

4.4.1 针对0.1kPa应力水平下的后10个循环和3.2kPa应力水平下的10个循环，应记录以下信息：

- 1) 每个蠕变循环开始时的初始应变记为 ϵ_0 ；
- 2) 蠕变循环完成时（如每个循环开始1s后）的应变值记为 ϵ_c ；
- 3) 蠕变加载期末的调整应变值（如每个循环开始1s后），可通过 $\epsilon_1 = \epsilon_c - \epsilon_0$ 计算得到；
- 4) 恢复循环完成时（如每个循环开始10s后）的应变值记为 ϵ_r ；
- 5) 恢复期结束后的调整应变值（如每个循环开始10s后），可通过以下公式计算：

$$\epsilon_{10} = \epsilon_r - \epsilon_0$$

4.4.2 针对0.1kPa应力水平下的后10个循环，恢复率计算公式如下：

$$\epsilon_r(0.1, N) = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_{10}) \times 100}{\epsilon_1}$$

4.4.3 针对 3.2kPa 应力水平下的后 10 个循环，恢复率计算公式如下：

$$\epsilon_r(3.2, N) = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_{10}) \times 100}{\epsilon_1}$$

5 计算

5.1 使用第 4.4.2 和 4.4.3 节中获得的结果。通过以下公式，计算应力水平在 0.1kPa 和 3.2 kPa 下，沥青材料的平均恢复率：

5.1.1 计算 0.1 kPa 应力水平下的平均恢复率：

$$\text{对于 } N = 11 \text{ 至 } 20, R_{0.1} = \frac{\text{SUM}[\epsilon_r(0.1, N)]}{10}$$

5.1.2 计算 3.2 kPa 应力水平下的平均恢复率：

$$\text{对于 } N = 1 \text{ 至 } 10, R_{3.2} = \frac{\text{SUM}[\epsilon_r(3.2, N)]}{10}$$

5.2 使用 4.4.2 和 4.4.3 中获得的结果。通过以下公式，计算应力水平在 0.1kPa 和 3.2 kPa 下，沥青材料的不可恢复蠕变柔量：

5.2.1 根据 0.1kPa 应力水平下的最后 10 个循环数据，计算不可恢复的蠕变柔量：

$$J_{nr}(0.1, N) = \frac{\epsilon_{10}}{0.1}$$

5.2.2 根据 3.2kPa 应力水平下 10 个循环的数据，计算不可恢复的蠕变柔量：

$$J_{nr}(3.2, N) = \frac{\epsilon_{10}}{3.2}$$

5.2.3 计算 0.1 kPa 应力水平下的平均不可恢复蠕变柔量：

$$\text{对于 } N = 11 \text{ 至 } 20, J_{nr0.1} = \frac{\text{SUM}[J_{nr}(0.1, N)]}{10}$$

5.2.4 计算 3.2 kPa 应力水平下的平均不可恢复蠕变柔量：

$$\text{对于 } N = 1 \text{ 至 } 10, J_{nr3.2} = \frac{\text{SUM}[J_{nr}(3.2, N)]}{10}$$

5.2.5 计算 0.1kPa 和 3.2 kPa 应力水平下的不可恢复蠕变柔量的差值：

$$J_{nr\text{diff}} = \frac{[J_{nr3.2} - J_{nr0.1}] \times 100}{J_{nr0.1}}$$

6 报告

6.1 每个试验报告应包含以下内容：

- 1) PG 分级和试验温度，精度为 0.1℃；
- 2) 0.1 kPa 应力水平下的平均恢复率；
- 3) 3.2 kPa 应力水平下的平均恢复率；
- 4) 0.1 kPa 应力水平下的不可恢复蠕变柔量，保留两位有效数字，kPa⁻¹；

- 5) 3.2 kPa 应力水平下的不可恢复蠕变柔量, 保留两位有效数字, kPa^{-1} ;
 - 6) 计算 0.1kPa 和 3.2 kPa 应力水平下的不可恢复蠕变柔量的差值, 精度 0.1%;
- 6.2 报告所用试验材料名称、规格、来源及试验仪器的型号。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO T 350、EN 16659、ASTM D 7405 和 AL MSCR-Prfung (DSR), 并结合我国近些年的经验和试验数据进行编写。该方法是美国 AASHTO、ASTM 新的 PG 评价体系中最重要指标, 可以评价沥青的高温和疲劳性能。该方法直接采用 DSR 剪切流变仪进行。

本试验方法可以测定沥青在两个不同应力水平下, 经受十个蠕变和恢复循环后, 存在的弹性回复以及应力效应的变化。该给定温度一般是指, 沥青性能分级 (PG) 试验中确定的 PG 高温。蠕变和恢复可用来评价沥青在一定时间内受到恒定的应力作用, 然后取消应力作用可恢复的时间。不可恢复蠕变柔量 (J_{nr}) 是指蠕变和恢复循环后沥青材料的残留应变与应力的比值, 以 kPa^{-1} 计。不可恢复的蠕变柔量可以评价沥青在重复荷载下抵抗永久变形的能力。

0.1kpa 蠕变应力下 10 个蠕变恢复周期组成的典型试验数据如下图所示, 3.2kpa 蠕变应力图与 0.1kpa 图相似。

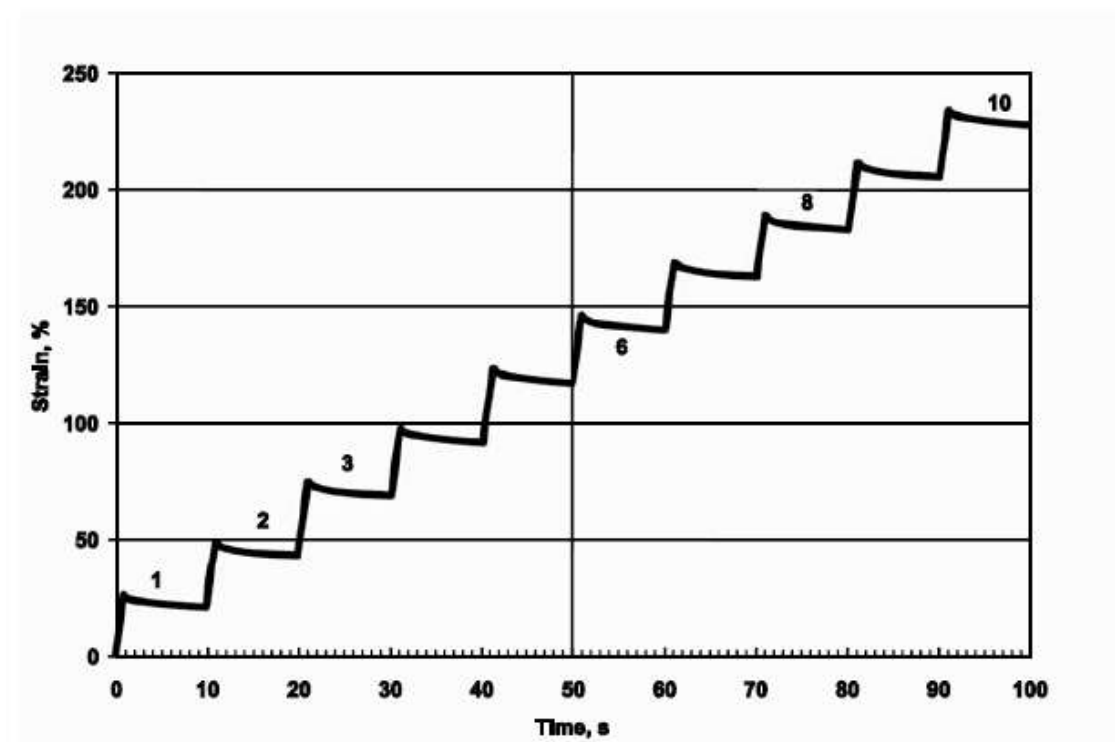


图 0.1 kpa 蠕变应力下的 10 个蠕变恢复周期图

T 0667—201X 沥青零剪切黏度试验 (ZSV)

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用动态剪切流变仪测定蠕变状态下沥青的零剪切黏度。沥青零剪切黏度测量值的范围为 $0.1 \text{ kPa s} \sim 50 \text{ kPa s}$ ，试验温度为 60°C ，也可以选择其他温度，比如 45°C 或 50°C 。

1.2 本方法适用于原样沥青、老化后的沥青、回收沥青和聚合物改性沥青。

2 仪器与材料技术要求

2.1 动态剪切流变仪：试验系统由试验板、加载设备、温度控制器和数据采集处理系统组成。

2.1.1 试验板：两块直径为 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 表面光滑的圆形金属板。

2.2.2 加载设备：可对试样施加恒定的应力，根据试样形式选择提供扭矩或直接剪应力。

2.1.3 温度控制器：可将试件温度控制在试验温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 范围内。

2.1.4 数据采集和处理系统：可记录温度、频率。

2.2 烘箱：控制温度为 $50^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 和 $200^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

2.3 模具：试样成型模具，由硅胶或其它不与沥青黏附的材料制成。

2.5 玻璃瓶：容积 10mL 。

2.6 刮刀：修整沥青样品。

3 试验准备

3.1 按本规程 T0602 的方法准备试样。加热沥青至足够流动状态，移入洁净的小玻璃瓶中用来灌模，为避免沥青连续加热可同时制备多个试样。瓶中剩余的沥青应废弃不得重复加热再次使用。试验应在灌模后 7 天内完成。

3.2 为了减少制备过程对沥青的影响，应在试验前 24 小时制备样品。如有必要，试验前将制备好的沥青样品连同试模一起放入 5°C 的冰箱使其适当硬化，冷却时间为 10min （不应超过 30min ）。

3.3 将试验板固定在试验机上，试验温度为 $60^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，设置试验板零间隙水平。向上移动顶板，使板间隙为 $1\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

3.4 使用专用溶剂清洗试验板表面后用软清洁布擦拭表面，将沥青从模具中取出并固定在干燥的试验板上。

3.5 移动试验板挤压沥青样品，然后热刮刀修整沥青样品。

3.6 将试验板的间隙调整到 $1\text{mm} \pm 0.01\text{mm}$ ，此后不必再修整沥青样品。

3.7 如果试样没有覆盖整个试验板，则重新设置试验板并准备沥青样品。

4 试验步骤

4.1 将温度控制器设定为试验温度为 $60^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，恒温 $10\text{min} \sim 30\text{min}$ 后开始试验。在加载测试样品之前，应用启动设备重置板之间的间隙。

4.2 应力扫描：按照表 1 的要求对沥青进行应力扫描，并绘制黏度-剪应力关系曲线以及黏度-

剪应变速率关系曲线。

表 1 沥青应力扫描

应力 σ (Pa)	时间 t (min)	累计时间 t^* (min)	黏度 η (Pa s)
10	100	100	由最后 20min 计算得到
20	50	150	由最后 10min 计算得到
50	20	170	由最后 4min 计算得到
100	10	180	由最后 3min 计算得到
200	5	185	由最后 1min 计算得到
500	2	187	由最后 24s 计算得到
1000	1	188	由最后 12s 计算得到

4.3 沥青的黏度-应力关系曲线分为以下三类：

4.3.1 A 类：牛顿流体，低标号沥青 10/20 黏度不随剪应力大小改变，曲线为接近水平的直线（如图 1）。

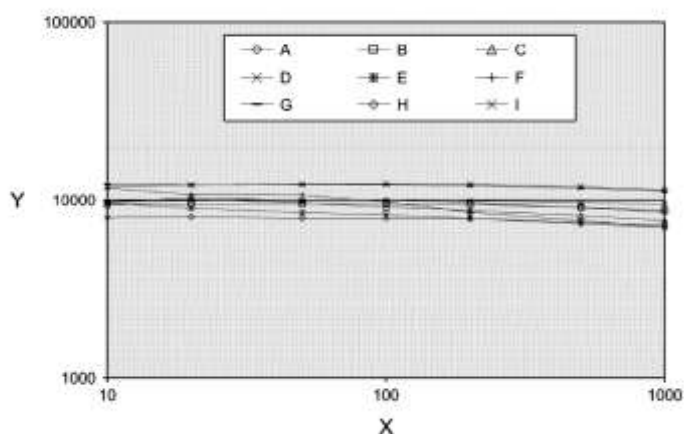


图 1 低标号沥青黏度-应力曲线图

4.3.2 B 类：非牛顿流体，改性剂掺量<4%的聚合物改性沥青黏度随应力增大略有改变，但曲线仍接近水平直线（如图 2）

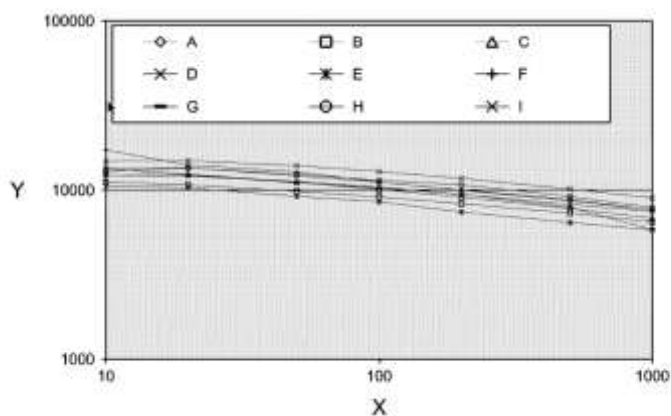


图 2 聚合物改性沥青（改性剂掺量<4%）黏度-应力曲线图

4.3.3 C 类：完全的非牛顿流体，改性剂掺量约为 7%的聚合物改性沥青试样黏度与应力大小有关，曲线明显不同于水平直线（如图 3）。

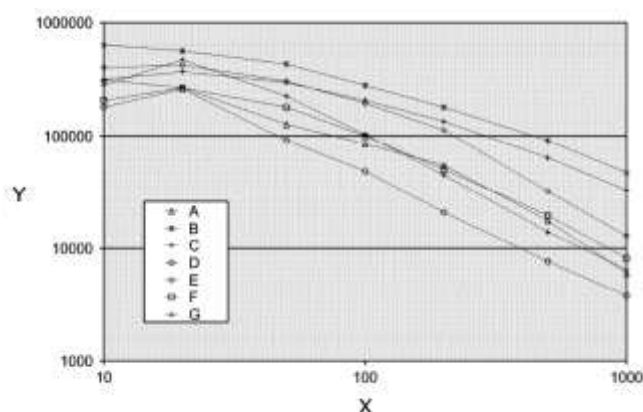


图 3 聚合物改性沥青（改性剂掺量 7%）黏度-应力曲线图

4.4 给定应力条件下的蠕变试验

不同沥青样品选择其适合的应力水平进行蠕变试验，普通沥青选择的应力水平应低于 5000 Pa，聚合物改性沥青等特殊沥青可选择 10Pa~50Pa。为了使沥青保持在线性黏弹性范围内，应保持较低的应力水平。选择的应力大小取决于剪切速率：

$$dr/dt = \sigma/\eta$$

如果设备的应变速率过低，测量结果就会不准确。应检查流变仪的应变速率没有超过工作范围。如果应变速率过高，则不能达到“零剪切”的应变条件，会影响沥青的完整性。沥青的黏度不断增大，剪切速率会随之降低。所以对于聚合物改性沥青，选择合适的剪切应力是非常重要的。

对于改性剂掺量较高的聚合物改性沥青，可选择应力为 50Pa，另外可以通过提高温度来降低沥青试样的非牛顿特性。

表 2 为道路石油沥青及聚合物改性沥青的不同测试条件。试验时可根据表中选择相应的参数进行试验。这个蠕变时间可以使沥青样品达到稳态。若在表 2 规定的蠕变时间后，瞬时黏度每 15min 增加超过 5%，蠕变时间应相应延长，最长不超过 8h。

表 2 不同沥青的测试条件

沥青类型	应力 σ (Pa)	时间 t (h)	温度 T(°C)
道路石油沥青	50	1	60
聚合物改性沥青	10-50	4	60

计算试验最后 15min 的平均黏度值，由时间变化的差除以最后 15min（900s）的屈服功，公式如下：

$$\eta_i = \frac{\Delta t}{\Delta J} = 900 / (J_{\text{end}} - J_{15\text{min-before-end}})$$

5 报告

5.1 每个试验报告应包含以下内容:

- 1) 试验板间隙, 准确至 $1\mu\text{m}$;
- 2) 剪切速率;
- 4) 试验温度, 准确至 0.1°C ;
- 5) 应力或应变值, 准确至 0.01% ;
- 6) 测量次数;
- 7) 蠕变时间;
- 8) 零剪切黏度 η_i , 单位 Pa s , 取三位有效数字;
- 9) 零剪切黏度值 η_0 : 以两次试验结果的算数平均值作为测定值, 如果两次结果差值大于平均值的 5% , 则需进行第三次试验, 取三次试验结果的算数平均值作为试验结果, 单位 Pa s , 试验结果取三位有效数字;
- 10) 黏度-应力关系曲线。

5.2 报告所用试验材料的名称、规格、来源以及试验仪器的型号。

6 允许误差

重复性试验两个 (或三个) 结果的标准差不应超过平均值的 8% 。

再现性试验两个 (或三个) 结果的标准差不应超过平均值的 15.5% 。

条文说明

本方法主要参考 EN 15325 编写。零剪切黏度 (也称第一牛顿黏度或绝对黏度) 是评价道路石油沥青及聚合物改性沥青抵抗高温抗车辙能力的有效指标, 该试验方法是欧盟新一代沥青评价体系的重要内容。零剪切黏度反应了沥青结合料本身固有的性质, 对于非牛顿流体来说, 在非常低的频率或剪切速率下, 其性能接近于牛顿流体的性能, 即有一个不依赖于剪切速率的固有粘度值。

流变仪及温度控制单元需要定期进行校准。目前国内也有一些科研单位进行了试验研究, 积累了很多数据。该方法直接采用 DSR 剪切流变仪进行。试样在板间剪切时, 会经历非均匀剪切应变。聚合物改性沥青改性剂的掺量和在沥青中的分布会影响 ZSV 值。为消除改性剂的影响, 对于聚合物改性沥青, 制备样品的几何最小尺寸应满足最大改性剂尺寸的 3 倍。

T 0668—201X 沥青低应变剪切黏度试验 (LSV)

1 目的与适用范围

本方法适用于测定沥青、聚合物改性沥青、老化沥青、回收沥青的等黏温度 (EVT)。等黏

温度（EVT）可以评价沥青在高温条件下的抗车辙性能。

2 仪器与材料技术要求

2.1 动态剪切流变仪（DSR）：带有集成温度控制系统，能够在整个试验过程中将温度控制在 5℃至 85℃范围内，精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。流变仪配有平行板，板间有恒定间隙。温度控制系统应避免两个平行板上产生温度梯度。流变仪能够测试 10Pa 至 10MPa（ $\pm 2\%$ ）范围内的复数剪切模量。使用空气轴承流变仪时，为避免损坏，应在仪器开启前打开轴承的空气供应。不使用时，应固定主轴。

2.2 试验板：直径为 $25\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 表面光滑的圆形金属板。

2.3 制备试样用模具：不与试样黏附的硅树脂类材料。

2.4 玻璃瓶：容量为 10ml。

2.5 烘箱：能控制温度 $50^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 之间，精度为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

3 试验准备

3.1 选择和设置流变仪平行板几何形状和间隙，使用合适的溶剂和柔软的清洁布或清洁纸进行清洁。注意不要弯曲上板的轴。

3.2 加载试样之前，按照规定的程序设定板间隙为 1 mm，两个板的标称温度应相同。

3.3 根据本规程 T0602 方法准备沥青样品，可采用以下两种样品制备方法：

3.3.1 将沥青倒入模具中：将沥青倒入模具中，为避免样品连续加热，可同时制备几个试验样品。

3.3.2 将沥青直接倒在金属板上：将充足的沥青倒在金属板上，使其具有适合于所选测量的几何形状。

试验前将模具存放在环境温度下，试验应在样品制备 7 天内完成。为减少样品制备对试验结果的影响，建议在试验前 24 小时制样。在试验前，如有必要，将样品放入冰箱（约 5°C ）中使其变硬，从模具中取出时样品应无变形。为避免物理硬化，样品在冰箱中存放的时间一般为 10min，不应超过 30min。从模具中取出沥青样品，擦去脱模剂，放置到干燥洁净的试验板上。

3.4 设置间隙并修剪样品：样品放置到流变仪中后，将流变仪设到选定的间隙 $\pm 0.05\text{mm}$ 。用热刮刀修剪多余的沥青。修剪后，将试验板升高或降低至设定的试验间隙（ $\pm 0.01\text{mm}$ ）。若试样未覆盖整个测量板（试样周边轻微凸起），将其取下并重新准备流变仪板并准备新试样。

注：试样与金属板的良好黏合是成功试验的先决条件。黏合取决于试验开始时板的温度。若试验温度低于 40°C ，则应在不超过沥青样品软化点的情况下升高温度，确保沥青黏附在试验板上。

4 试验步骤

4.1 温度扫描

设置流变仪，在振荡模式下进行试验（以 0.01 Hz 频率和 0.1 应变幅度进行温度扫描，相当于剪切速率为 0.0063 sec^{-1} ）。温度扫描应从较低温度到较高温度，每个试验温度下至少测试两个完整循环（以 1°C 为增量进行试验，温度扫描的黏度范围为 $5 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ 至 $0.8 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ ）。在各个步骤留出足够的时间实现热平衡。施加的应变必须在沥青材料的线性黏弹性区域内（参考注 1）。

根据公式（3）计算两个循环的低剪切黏度 $\eta_{\dot{\gamma}}$ （循环 1）和 $\eta_{\dot{\gamma}}$ （循环 2）计算其平均值。绘制低剪切黏度平均值与温度对数的关系曲线（图 A.1 和图 A.3）。根据所有数据点的线性回归确定参数 a 和公式（7）中的参数 b。

$$\log \eta_{\dot{\gamma}} = -a * T(^{\circ}\text{C}) + b$$

式中：a 和 b 是正常数。

计算温度 EVT1，对应于所选的（性能相关）的 $\eta_{\dot{\gamma}_1}$ （见注 2）：

$$\text{EVT1} = \frac{(\log \eta_{\dot{\gamma}} - b)}{-a} \quad (8)$$

注 1：通常， $\gamma \approx 0.1$ 的应变幅度在线性黏弹性区域内。但是，对于某些 PMB，线性区域可能更小。据报道，线性黏弹性区域的最大应变值 $\gamma_{\max}$ 与所考虑温度下的复数模量值之间存在相关性。将应变控制在由公式（9）计算的目标值的 20% 内。

$$\gamma_{\max} = \frac{12.0}{(G^*)^{0.29}}$$

式中： $\gamma_{\max}$ —剪切应变的百分比，%；

G^* —复数剪切模量，kPa。

若试验样品的性质未知或聚合物浓度超过标准 PMB 水平，必须通过试验确定线性黏弹性行为区域。也可以在 DSR 设备中进行样品的幅度扫描。幅度扫描期间，可以确定复数模量与所施加的应变的关系曲线。曲线的水平部分表示线性黏弹性区域。应变值应不高于线性黏弹性区域内最大应变值的三分之二。

注 2 建议 $\eta_{\dot{\gamma}_1} = 2.0 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ ，剪切速率为 0.0063 sec^{-1} 时，LSV 为 $2.0 \text{ kPa} \cdot \text{s}$ 时的等黏温度 EVT1。

4.2 频率扫描：EVT2 和 ΔT 的确定，根据公式（6）：

$$\text{EVT2}(^{\circ}\text{C}) = \text{EVT1}(^{\circ}\text{C}) + \Delta T(^{\circ}\text{C}) \quad (10)$$

要确定温度调节 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ ，应在试验温度 EVT1($^{\circ}\text{C}$)（试验部分 1 中获得）下进行频率扫描。

表 1 包含典型的适用于频率扫描的频率序列。

表 1 典型频率序列

	1	2	3	4	5	6
频率 f (Hz)	1	0.3	0.1	0.03	0.01	0.003

DSR 的温度控制器设置为 EVT1 作为试验温度。达到热平衡后立即开始试验，若样品在高温下存放较长时间，会导致模量增加。

完成从较高频率到较低频率的频率扫描（剪切应变为 0.1）。根据公式（3）计算每个频率步长时的 η 。

将结果绘制为 η 对 $\log(f)$ 的图像。使用以下数学公式拟合数据点：

$$\eta = -c^* \log(f) + d \quad (11)$$

其中：c 和 d 是正常数参数。

外推曲线并计算频率接近零的相关黏度，获得 $\eta_{\dot{\gamma}_2}$ (LSV2)，LSV 的剪切速率接近零（建议外推至 0.0001 Hz。剪切应变为 0.1， $\eta_{\dot{\gamma}_2}$ （或 LSV2）是在温度 EVT1 下和低剪切速率 0000063s⁻¹ 下的黏度。）。

计算 ΔT ：

$$\Delta T = \frac{\Delta \log(\eta)}{-a} = \frac{\log \eta_{\dot{\gamma}_1} - \log \eta_{\dot{\gamma}_2}}{-a} = \frac{\log \frac{\eta_{\dot{\gamma}_1}}{\eta_{\dot{\gamma}_2}}}{-a} \quad (12)$$

ΔT 表示若试验部分 1 中的温度扫描以 0.0001 Hz 的频率进行获得的等黏温度的增加量。

5 计算

5.1 若两个结果与其的平均值的差值不超过 1.0℃，则认为这两个结果有效。

5.2 温度扫描：将等黏温度 EVT1（精确到 0.1℃）表示为两次有效测定的平均值。报告 EVT1 相关的 LSV1（以 Pa·s 为单位），施加频率和剪切应变。

5.3 频率扫描：将等黏温度 EVT2（精确到 0.1℃）表示为两次有效测定的平均值。同时将温度调整 ΔT 以℃（精确到 0.1℃）表示为两次有效测定的平均值。报告 LSV2 决定的频率以及剪切应变。

6 报告

6.1 温度扫描：

6.1.1 试板直径精确到 0.1mm 和间隙精确到 1 μ m；

6.1.2 目标应变 γ ，精确到 0.001；

6.1.3 目标频率 f，精确到 0.001 Hz；

6.1.4 选择值 $\eta_{\dot{\gamma}_1}$ （即 LSV1），精确到 1 Pa·s；

6.1.5 温度 EVT1，精确到 0.1℃；

6.2 频率扫描：

6.2.1 频率扫描的最小和最大频率 f，精确到 0.001 Hz；

6.2.2 目标应变 γ ，精确到 0.001；

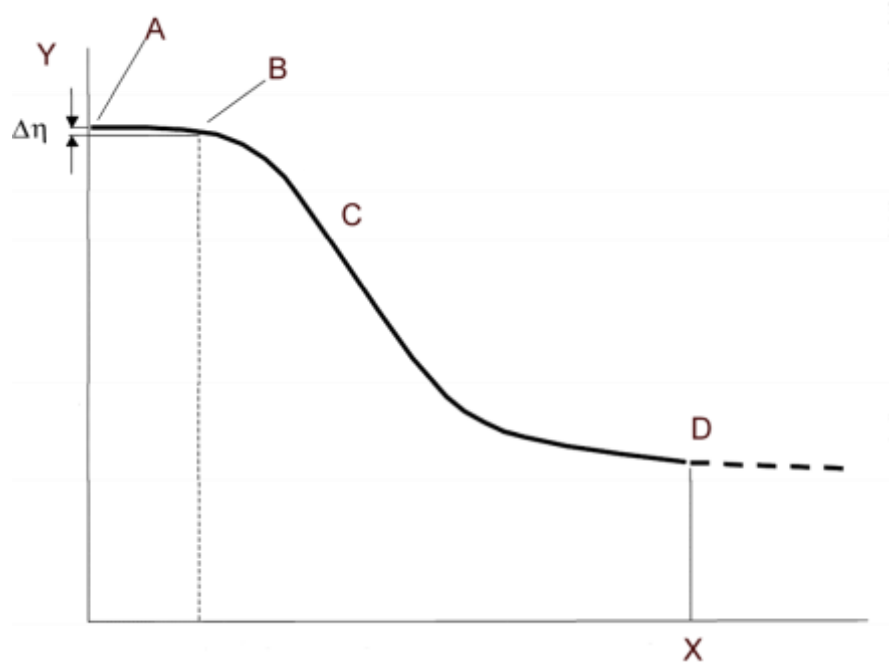
6.2.3 使用外推法确定 $\eta_{\dot{\gamma}_2}$ （即 LSV2）的频率；

6.2.4 黏度 $\eta_{\dot{\gamma}_2}$ （即 LSV2），精确到 1 Pa·s；

6.2.5 温度 EVT2，精确到 0.1℃；

条文说明

本方法主要参考 EN 15324 编写。该方法是欧盟新一代沥青的重要评价体系，主要评价沥青的高温性能。目前国内也有一些科研单位进行了试验研究，积累了很多数据。该方法直接采用 DSR 剪切流变仪进行。沥青会发生剪切变稀：随着剪切应力或剪切速率的增加沥青的黏度降低。图 1 为零剪切黏度（ZSV），低剪切黏度（LSV）及剪切变稀相关示意图。



- X log 剪切应力，或 log 剪切速率
- Y log 动态黏度
- A 零剪切黏度 η_0 (ZSV)
- B 低剪切黏度 η_r (LSV)
- C 表观黏度
- D 限制黏度

图 1 零剪切黏度（ZSV），低剪切黏度（LSV）及剪切变稀

低剪切应力或剪切速率下的黏度，“低”意味着接近于零（见图 1）。LSV 可以直接测量：即在低频振荡模式下用 DSR 测量的复数模量以及低应变振幅计算得到。

$$\eta_0 = \eta_r + \Delta \eta$$

测量 LSV 时，剪切应力或剪切速率越低，该值越接近该值越接近 ZSV。

T 0669—201X 聚合物分散性试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定聚合物改性沥青中改性剂的分散性。

2 仪具与材料技术要求

2.1 荧光显微镜：具备光源和过滤系统。光源：高压氙灯，75 瓦；激发滤光片：BP 420/490

(透射波长为 420 nm~490 nm) 分束器滤光片: RKP 510 (反射波长短于 510 nm, 透射更长波长的光); 屏障滤光片: LP 515 (传输波长超过 515 nm)。

2.2 冰箱或固体二氧化碳。

2.3 锋利工具 (不能使用剪刀)。

2.4 一次性铝盆: 高约 35mm, 直径约 70mm。

2.5 瓷蒸发皿: 直径 150mm, 高 63mm (容积约为 600ml)。

2.6 细集料 (砂)。

2.7 温度调节沙浴。

3 试验准备

3.1 按本规程 T0602 规定的方法准备试样, 轻轻搅拌均匀, 搅拌时间至少 1 分钟 (但不超过 5 分钟)。

3.2 将沥青倒入放置在沙浴内的铝盆中, 铝盆预热至与沥青样品相同的温度。铝盆应完全被沙包围, 铝盆底部与蒸发池之间应有 20mm 厚的沙。

3.3 关闭沙浴加热程序将沥青冷却至环境温度。若样品需要进行变脆处理, 则将样品冷却至 -20°C 或更低。使用冰箱进行冷冻最长时间为 3 小时; 若在保温真空瓶中使用固体二氧化碳进行冷却的时间为 10 分钟。

注: 冷却过程对沥青中改性剂的分布形态至关重要。在沙浴中冷却可以确保稳定的冷却速率。

4 试验步骤

4.1 使用切割工具将冷冻后变脆的沥青材料迅速切割成小块。

4.2 在 1 小时内检查沥青内部新切割的表面。

4.3 将新切割的沥青样品表面朝显微镜盖玻片方向转动, 并固定破碎面使其不可以移动。翻转盖玻片将其放于刚性支撑孔上, 可以观察到完全水平且平坦的切割表面。

4.4 根据粒径大小和分布选择显微镜的放大倍数, 通常 25 至 500 倍最为合适。分析至少 3 个独立表面, 扫描整个表面并收集典型图片。

5 报告

5.1 聚合物相或沥青相的分布可通过测量粒度分布或通过标准图片比较来评估。若没有检测到改性剂样品且全部显示为黑色, 应标注为 0。

注: 图片用于比较, 不能用其评估改性剂的质量和性能。

5.2 通过字母代码来描述改性剂的分布:

连续相: P: 连续聚合物相

B: 连续沥青相

X: 两相都连续

相: H: 均匀

I: 不均匀

尺寸: S: 小 ($<10\text{ }\mu\text{m}$)

M: 中等 ($10\text{ }\mu\text{m}$ 至 $100\text{ }\mu\text{m}$ 之间)

L: 大 ($>100\text{ }\mu\text{m}$)

形状: r: 圆形

s: 条纹

o: 其他

条文说明

本方法主要参考 EN 13632 编写。该方法是目前欧盟评价沥青与改性剂分散性重要方法。聚合物改性沥青中的改性剂需要在沥青中以一定程度的不连续相分布,使其在较长的使用寿命内保持完整结构。改性剂的相容性,分散能量输入以及分子量和极性等因素在一定时间内保持均匀。聚合物相的分布水平对黏合剂体系的物理性质具有重要影响作用。

使用荧光显微镜对改性剂的分布情况进行观察。光源落在激发滤光器上,激发滤光器透射 420nm 至 490nm 的光。然后,该波长的光落在样品表面上,未吸收的激发光和发射光被反射到彩色分束器滤光器,其反射短于 510nm 的光,透射更长波长的光。

大多数聚合物产生黄色荧光,而沥青保持黑暗状态。然后在不同的放大倍数下评估聚合物的粒度或分布。

以下为显微镜下聚合物相的典型图片:

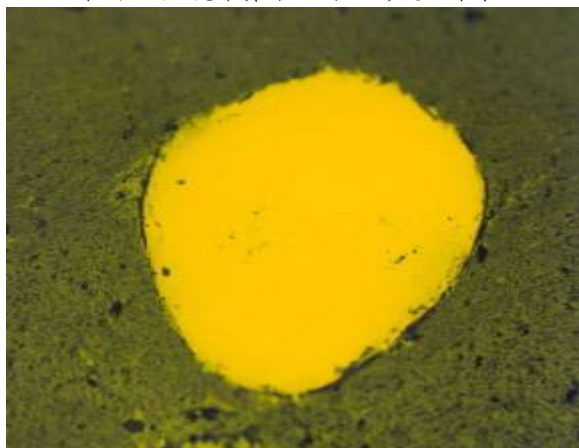


图 A.1 — P/I/L/r

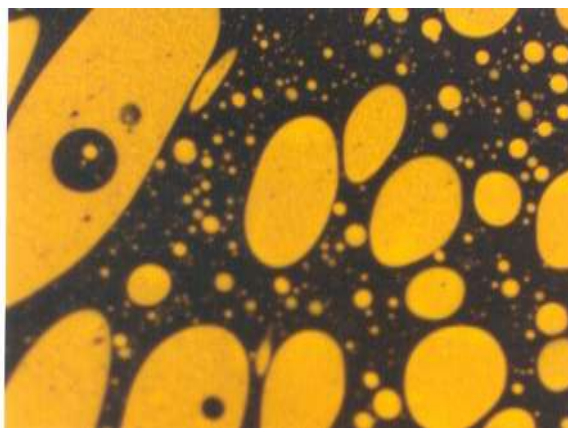


图 A.2 — B/I/SL/r

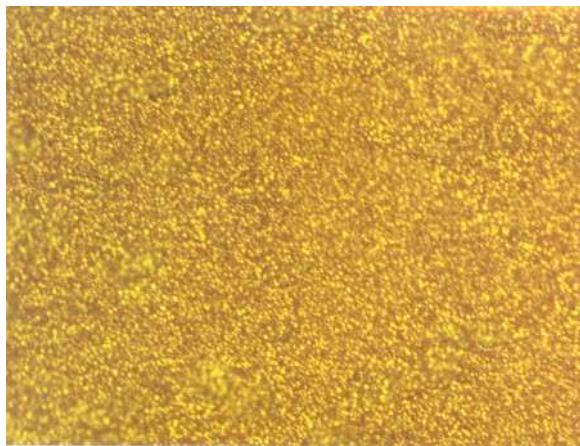


图 A.3 — B/H/S/r

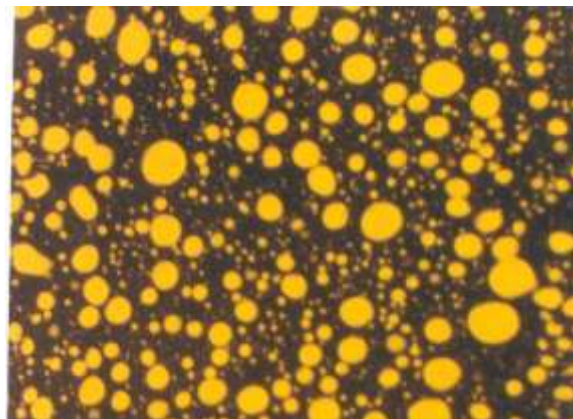


图 A.4 — B/H/SL/r



图 A.5 — B/I/L/o



图 A.6 — B/I/SL/o

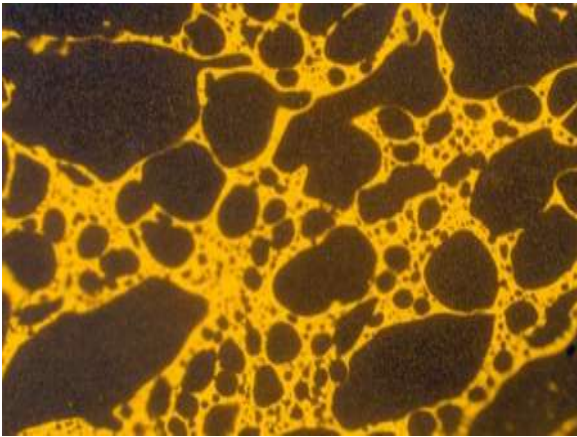


图 A.7 — P/I/SL/o



图 A.8 — P/I/SL/o



图 A.9 — P/I/SL/r



图 A.10 — P/H/S/r



图 A.11 — P/I/S/s



图 A.12 — P/H/S/o

T 0670—201X 沥青斑点试验

1 目的与适用范围

本试验方法用于评价沥青各组分的相容性，可以测定沥青在加热过程中是否过热。适用于测试道路石油沥青，不适用于测试不溶于二甲苯的天然沥青。

2 仪具与材料技术要求

2.1 烧瓶：佛罗伦萨长颈烧瓶或宽口平底索氏萃取瓶，容积 50mL，直径约 45mm，高 60mm。

2.2 烧瓶塞或橡胶塞长度为 200mm，长度为 6.4mm 的玻璃管。

2.3 滤纸：孔径 70mm。

2.4 移液管或滴定管：刻度为 0.1ml。

2.5 恒温水浴：能够保持温度为 $32.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.6 石脑油：直馏塔顶馏出物，不含任何裂化产物。

2.7 二甲苯：化学纯，沸腾温度范围为 137°C 至 140°C

2.8 其他：正庚烷、玻璃板、温度计、天平等。

3 试验准备

3.1 按本规程 T0602 规定的方法准备试样，对于稀释沥青，则对其蒸发残留后的残留物进行试验。

3.2 用三氯乙烯清洗玻璃板，然后用肥皂和水清洗后擦干，再用玻璃清洁剂清洗擦干，应无灰尘和绒毛。清洁处理之后，能确保一滴沥青在其表面均匀流动，形成平滑有界的椭圆痕渍。若痕渍呈锯齿状且轮廓不均匀，则应再次使用玻璃清洁液清洁玻璃。

4 试验步骤

4.1 将 $2.00\text{g} \pm 0.02\text{g}$ 沥青样品置于烧瓶中。若它在室温下不易流动，则小心加热烧瓶，直到样品可以平铺在烧瓶底部。然后将烧瓶冷却至室温。

4.2 用移液管或滴定管将 10.2 mL 指定溶剂放入烧瓶中。将插有玻璃管的瓶塞快速插入烧瓶颈部，以圆周运动快速旋转烧瓶 5s 后将烧瓶浸入温和水浴中 55 秒，水浴浸入深度到烧瓶颈部。

4.3 从水浴中取出烧瓶旋转转动 5 秒。此后每分钟交替地将烧瓶浸没在水浴中 55 秒，取出并旋转 5 秒直至样品完全分散。

4.4 倾斜烧瓶目测判断其完全分散后，将玻璃管的末端降低到溶液液面以下。让烧瓶在室温下冷却 30min。

4.5 在 $32.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的水浴中将沥青与溶剂的混合物加热 15min 后搅拌均匀。使用干净的搅拌棒，将一滴温热的混合液滴在滤纸上。5min 后，在良好的光源（最好是散射日光）下使纸张与视线成直角进行观察。若液滴形成棕色或黄褐色圆形，中心有较深的实心或环状核，则试验报告为“阳性”。

4.6 若液滴形成均匀的棕色圆形痕渍，则试验后在室温柔光的条件下将沥青与溶剂的混合液置于塞紧瓶塞的烧瓶中 24h。重新试验时应先将混合液温热至 $32.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 大约 15min 后搅拌均匀。若 24 小时后混合液的液滴仍然形成均匀的棕色圆形痕渍，则将试验报告为“阴性”；但若中心有较深的实心或环状核，则将试验报告为“阳性”。

注：沥青与溶剂的分散过程如有争议，请重复整个试验。可添加溶剂弥补分散过程中溶剂的质量损失，分散完成后，将烧瓶置与 $25.0^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 的柔光环境下 24h 后再进行试验。若使用 24 小时后的混合液进行斑点试验，请按照下面说明在玻璃板上进行试验：

将一滴 24 小时后的混合液滴在与水平方向成 45° 的玻璃板上。若随着液滴流动，在其路径中心出现暗淡的条纹，则将试验结果报告为“阳性”。若混合液流出均匀，透明，有光泽的棕色薄膜，没有暗淡的条纹则将试验报告为“阴性”。

5 报告

结果为“阳性”或“阴性”。阴性表示相容性良好，阳性表示相容性差

条文说明

本方法主要参考 AASHTO T 102 编写。斑点试验为沥青材料的选择性试验。试验使用的标准溶剂被归类为阳性材料，可以通过“二甲苯等价物”进一步试验以确定其阳性程度。溶剂中二甲苯百分比可用 5.0% 的增量表示。若未规定二甲苯等价物，则可使用标准石脑油作为溶剂。石脑油的性能如下表所示。

表 1 石脑油技术要求

项目		技术指标
蒸馏	重力 A. P. I.	49 - 50
	初沸点	高于 149°C
	50%以上	$168^{\circ}\text{C} - 179^{\circ}\text{C}$
	终点	低于 210°C
	苯胺数	$59^{\circ}\text{C} - 63^{\circ}\text{C}$

表 2 正庚烷技术要求

项目		技术指标
马达法辛烷值		0.0 ± 0.2
20° C 密度, g/mL		0.68375 ± 0.00015
折射率, ND 20° C		1.38775 ± 0.00015
蒸馏	凝固点, ^a ° C	最小值 - 90.72
	回收率为 50%, ° C	98.43 ± 0.05
	回收率从 20% 提高到 80%, ° C	最大值

测定“二甲苯等价物”时，溶剂应由二甲苯和标准石脑油或二甲苯和正庚烷组成。为了测定二甲苯等价物，将两种或更多种待测沥青样品分散在规定的混合溶剂中。以连续的 5%（体积）增量改变二甲苯的百分比，直到找到两种沥青溶液，其中一种显示阳性，而另一种（其中溶剂含有 5% 的二甲苯）显示阴性。用两种溶剂中的二甲苯百分比报告二甲苯等价物；例如，“10-15% 的石脑油—二甲苯等价物”或“20-25% 的庚烷—二甲苯等价物”。

当材料为指定的二甲苯等价物时，不需要确定产生“阴性”二甲苯的最低百分比。可以用指定百分比的二甲苯和标准石脑油或二甲苯和正庚烷组成的溶剂进行试验，显示该溶剂为阴性的材料应报告为低于指定二甲苯等价物；例如，“低于 20% 的石脑油 —二甲苯等价物”或“低于 25% 的庚烷—二甲苯等价物”。

T 0671—201X 沥青拉伸性能试验（测力延度仪法）

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用测力延度仪测定道路石油沥青、聚合物改性沥青和乳化沥青残留物的最大拉力值和最大拉力时的伸长变形值。本方法可以测定沥青材料中是否含有聚合物。

1.2 沥青测力延度的试验温度和拉伸速率可根据要求采用，通常采用的试验温度为 5℃ ± 0.5℃，拉伸速度为 5cm/min（± 5.0%）。

2 仪具与材料技术要求

2.1 测力延度仪：试件应能持续浸没于规定温度的水中、能按照指定的速度拉伸并同时测力的仪器。该仪器须具备拉力及延度值的显示、记录功能。在启动和运行时应无明显的振动，拉力测量值至少须精确到 0.1N。测力延度仪可以配备数字输出单元并连接外部计算机处理器等。

2.2 恒温水浴：能保持试验温度变化不大于 0.1℃，容量至少为 10L。试件浸

入水中至少 10cm，水浴中设置放样品的带孔支架，支架距水浴底面的高度不低于 5cm。

2.3 烘箱:最高工作温度为 $250^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 温度计: $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分度为 0.1°C 和 0.5°C 各一支。

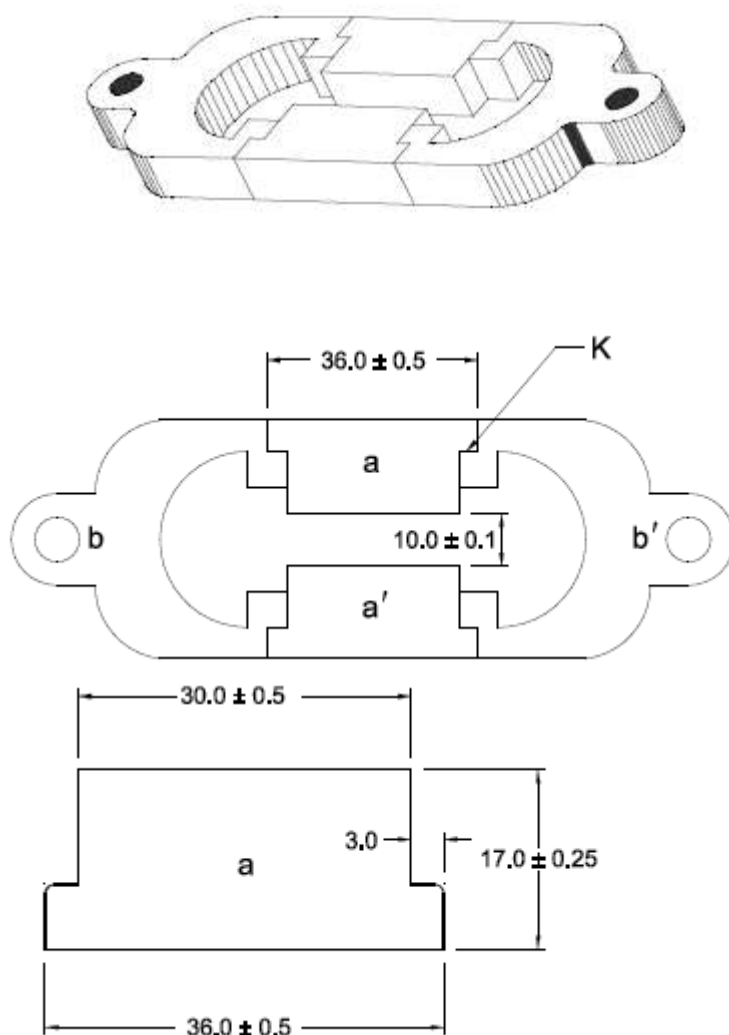
2.5 试模:由两个端模和两个直边侧模组成，铜质，其形状及尺寸如图 1 所示。

2.6 隔离剂:以质量计，由两份甘油和一份滑石粉调制而成。

2.7 支撑板:选用黄铜板，一面必须磨光至表面粗糙度为 0.8。

3 试验准备

3.1 按本规程 T0602 规定的方法准备试样，所取样品按照本规程 T0606 测试软化点。



A—两中心距 $111.5 \sim 113.5$;

B—样品的总长度 $74.5 \sim 75.5$;

C—两个端模间的距离 $29.7 \sim 30.3$; D—肩部 $6.8 \sim 7.2$;

E—半径: $15.75 \sim 16.25$;

F—截面的最小宽度 $9.9 \sim 10.1$;

G—端模开口的宽度 19.8~20.2; H—两端模的圆心距 42.9~43.1;

I—孔直径 6.5~6.7;

J—模子厚度 9.9~10.1。

图 1 试验模具组装图

3.2 将隔离剂涂于支撑板表面及试模的侧模的内表面,以防沥青黏模。将试模组装后置于支撑板上,支撑板和组装的试模必须平整,以确保试模的底面能够与支撑板表面良好的接触。

3.3 样品应在带盖的容器中将其加热至易于流动倾倒。为避免局部过热,可用烘箱加热样品。样品加热融化温度不得超过其软化点 110℃。

3.4 样品为乳化沥青蒸发残留物:按照本规程 T0651 方法获得残留物样品,可在蒸馏器中搅拌其残留物,然后直接注入试模中。

3.5 将加热后的样品搅匀倒入模具中:使试样呈细流状,自模的一端至另一端往返倒入,直到样品略高出模具,将浇满样品的模具在室温下静置 35min±5 min,然后放入水浴中,在试验温度下保持 30min 后取出,立即用热刮刀修整表面使试样与模具齐平。

4 试验步骤

4.1 将修整好的试模连同支撑板一起放入已恒温到试验温度的水槽内 90min±5 min,然后从板上取下试件:沿支撑板切线方向将试件与支撑板分开,小心移去两片侧模,避免试件弯曲。然后将试件装入测力延度仪。

4.2 将试件两端的孔分别套在测力延度仪的平头销子上,以规定的速率拉伸,拉伸速度允许误差为±5%,直到试件断裂。测量并记录试件的最大拉力(单位 N),及最大拉力时的伸长变形(单位 cm)。在整个试验过程中,试件距水面和水底的距离不小于 2.5cm,水温变化不得超过试验温度的±0.5℃。

注:沥青上浮于水面或与槽底接触,均为不正常情况;为避免上述情况出现,可加入乙醇或氯化钠调整水的密度。

5 计算

在试验数据图上会出现两个峰(f1, f2),且第二个峰值小于初始峰值。若第二个峰值不明显,应使用延度值为 30cm 处的最小延展力,作为第二个峰值(f2)。测力延度比为:第二峰值(f2)处的力除以初始峰值处的力(f1),精确到 0.1。

6 报告

6.1 报告试验温度(单位℃)、拉伸速度(单位 cm/min)、最大拉力值(单位 N)和最大拉力时的伸长变形值(单位 cm)。

6.2 最大拉力值和最大拉力时的伸长变形值均以平行测定三个结果的平均值作为测定结果，若三次测定值的最大误差不在其平均值的 5%以内，但其中两个较高值在平均值的 5%以内，则弃去最低测定值，取两个较高值的平均位作为测定结果。所有应报告的项目均取小数点后一位。

条文说明

本方法主要参考 EN 13589\ EN 13703 和 AASHTO T 300 编写。该方法采用测力延度仪，通过计算得到沥青的测力延度比，可以用于评价沥青的内聚力。

测力延度试验可以很好的表征聚合物改性沥青的黏弹性能，在拉伸延长的后期均会出现明显的第二峰值 F2。

T 0672—201X 沥青抗疲劳性能试验(线性振幅扫描 LAS 法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法通过采用线性振幅扫描的重复加载试验，测试沥青的抗疲劳损伤性能。

1.2 本方法适用于旋转薄膜烘箱（RTFOT）和压力（PAV）后的老化沥青，可以模拟服役阶段沥青路面的老化沥青。

2 仪具与材料技术要求

2.1 动态剪切流变仪试验系统由平行金属板、环境室、加载设备、控制和数据采集系统组成。其基本原理如图 T 0672 所示。

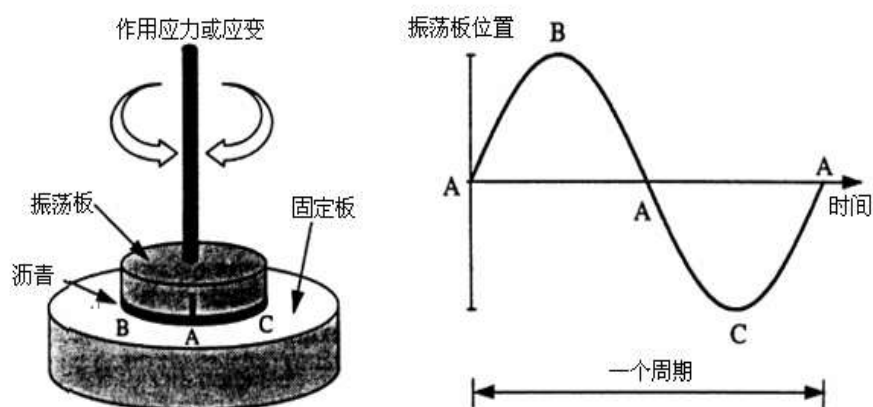


图 T 0672 动态剪切流变仪基本原理

2.2 试验系统基本技术要求和参数

2.2.1 试验板：直径为 $8.00\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 表面光滑的金属板。

2.2.2 环境室：用来控制试验时试件的温度，通过加热或冷却维持一个恒定的试件环境。环境室中加热或冷却试件的介质应为不影响沥青性质的液体或气体。

2.2.3 温度控制器：在 $5^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 温度范围内可将试件温度控制在试验温度的 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 内。

2.2.4 加载设备：可以向试件施加 $10\text{rad/s} \pm 0.1\text{rad/s}$ 频率的正弦振荡荷载。加载方式可采用应力控制荷载或应变控制荷载。

2.2.5 控制和数据采集系统：可记录温度、频率、偏转角和扭矩。应满足表 T 0672-1 中规定的精确度要求。

2.2.6 温度传感器：精确至 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 试件修整器：刮刀或刀片，用于修整试件。

表 T 0672-1 控制和数据采集系统要求

测 定 值	精 度
温度	0.1°C
频率	1%
扭矩	10mN.m
偏转角度	100 μrad

3 试验准备

3.1 使用旋转薄膜烘箱（RTFOT）对沥青进行短期老化，或使用 PAV 对沥青进行长期老化。

3.2 制备适用于 8 mm 平行板振幅扫描的沥青试件。PG 分级试验的 PAV 老化沥青，在 DSR 试验后剩余的流变性质相同的材料，也可继续用于本试验。

4 试验步骤

4.1 确定“alpha”参数：为了进行沥青材料的损伤分析，须确定材料损坏前的属性信息（由参数 a 表示）。使用 4.2 中的频率扫描程序。

4.2 频率扫描：频率扫描试验数据用于确定“alpha”参数。在选定的温度下进行频率扫描试验，并在一定的加载频率范围内施加恒定振幅的剪切荷载。选用 DSR 仪器自带的频率扫描试验程序，在 0.1Hz-30Hz 的频率范围内施加 0.1% 的应

变荷载。每个周期选取 10 个特定的频率进行采样，或者使用以下 12 个特定的频率（Hz）：

0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10 20 30

记录每个频率下的动态剪切模量 $[G^*, \text{Pa}]$ 和相位角 $[\delta, \text{degrees}]$ 。

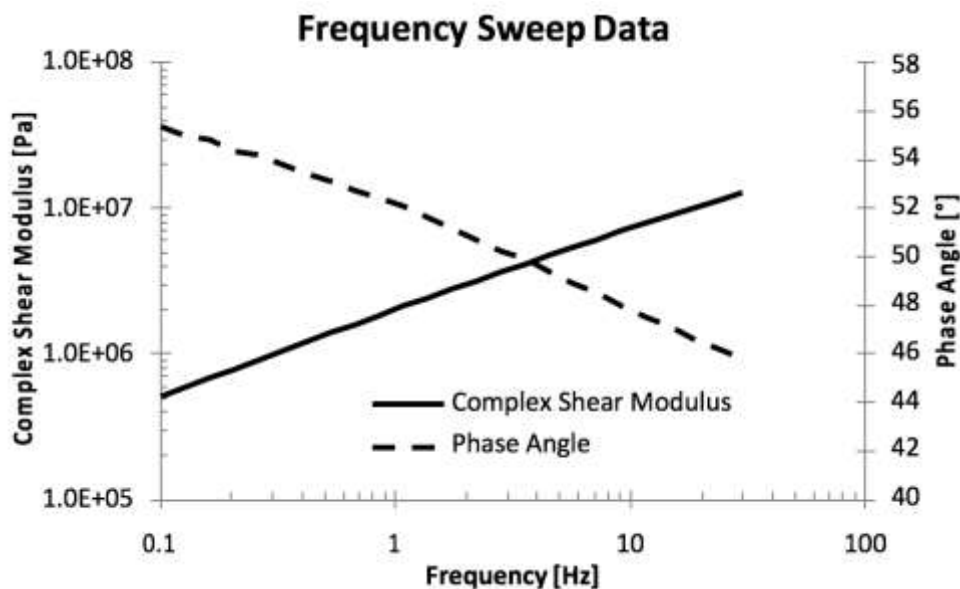


图 6.1 频率扫描示例图

4.3 振幅扫描：在所选温度下，应变以 10 Hz 的频率进行振荡剪切。加载方式由 10 秒的恒定应变振幅区间组成，每个区间后是相应增加的应变振幅区间，如：0.1%，1.0%，2.0%，3.0%，4.0%，5.0%，6.0%，7.0%，8.0%，9.0%，10%，11%，12%，13%，14%，15%，16%，17%，18%，19%，20%，21%，22%，23%，24%，25%，26%，27%，28%，29%和 30%。记录每 10 个重复荷载（1 秒）的峰值剪切应变、峰值剪切应力和相位角平均值和动态剪切模量 $[G^*, \text{Pa}]$ 。

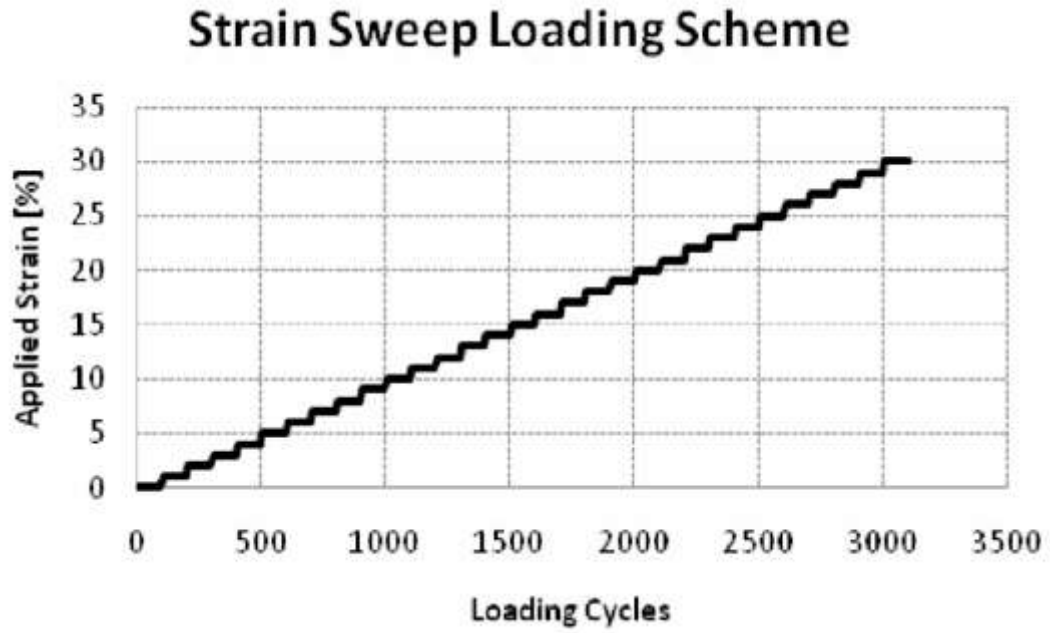


图 6.2 振幅扫描加载方式

5 计算

5.1 从频率扫描测试数据中计算得到参数 α :

5.1.1 将每个频率的动态模量 $[|G^*|(\omega)]$ 和相位角 $[\delta(\omega)]$ 的数据转换为存储模量 $G'(\omega)$:

$$G'(\omega) = |G^*|(\omega) \times \cos \delta(\omega)$$

5.1.2 分别以 $\log \omega$ 为横坐标, $\log G'(\omega)$ 为纵坐标, 拟合一条最佳直线:

$$\log G'(\omega) = m(\log \omega) + b$$

5.1.3 通过以下转换, 将获得的 m 值记录为值 α 的函数:

$$\alpha = 1 + 1/m$$

5.2 对于振幅扫描的试验结果数据分析如下:

5.2.1 沥青的累计损伤计算公式如下:

$$\log \omega D(t) \cong \sum_{i=1}^N [\pi I_D \gamma_0^2 (|G^*| \sin \delta_{i-1})]^{\frac{\alpha}{1+\alpha}} (t_i - t_{i-1})^{\frac{1}{1+\alpha}}$$

式中: I_D —1.0%应变区间的 $|G^*|$ 初始损坏值, MPa;

γ_0 —给定数据点的应变, 无量纲;

$|G^*|$ —动态剪切模量, MPa;

α —4.1 中报告的值;

t —试验时间, 秒。

5.2.2 累积损伤的总和是从第一个数据点开始, 以 1.0%应变间隔。将每个后

续点的 $D(t)$ 增量值与前一点的 $D(t)$ 值相叠加,直到沥青的整体应变达到 30%为止。

5.2.3 对于任意给定时间 t 的数据点,记录 $|G^*| \sin \delta$ 和 $D(t)$ 的值(假设 $D(0)$ 的值与 0.1%应变间隔的 $|G^*| \sin \delta$ 的平均未损坏值相等)。 $|G^*| \sin \delta$ 和 $D(t)$ 之间的拟合关系遵循以下幂次关系:

$$|G^*| \sin \delta = C_0 - C_1(D)^{C_2}$$

式中: C_0 —0.1%应变间隔开始的 $|G^*| \sin \delta$ 的平均值;

C_1 和 C_2 —曲线拟合系数,可通过下面的幂次线性化计算得出:

$$\log(C_0 - |G^*| \sin \delta) = \log(C_1) + C_2 \cdot \log(D)$$

使用上述计算公式, C_1 是截距, C_2 是 $\log(C_0 - |G^*| \sin \delta)$ 与 $\log(D)$ 的线的斜率,对应损伤值小于 100 的数据可忽略。

5.3 $D(t)$ 失效时的值 D_f 可定义为未损坏 $|G^*| \sin \delta$ 减少至 35%时的值。计算公式如下:

$$D_f = (0.35)(C_0/C_2)^{(1/C_2)}$$

5.4 计算沥青疲劳性能模型的下列参数 (A_{35} 和 B), 并记录如下:

$$A_{35} = \frac{f(D_f)^k}{k(\pi I_D C_1 C_2)^\alpha}$$

式中: f —加载频率 (10 Hz);

$$k = 1 + (1 - C_2)\alpha ;$$

$$B = 2a$$

5.5 沥青的疲劳性能参数 N_f 由以下公式计算:

$$N_f = A(\gamma_{\max})^{-B}$$

式中: $\gamma_{\max}$ —给定路面结构下的沥青最大期望应变, 无量纲。

6 报告

试验报告包含以下内容:

6.1 试件编号;

6.2 PG 等级和试验温度, 精度为 0.1°C;

6.3 疲劳模型参数 A 和 B 。

6.4 沥青的疲劳性能参数 N_f 。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO TP 101 编写。该方法是现阶段欧美研究沥青性能的重要方法。

目前国内也有一些科研单位进行了试验研究, 积累了很多数据。该方法直接采用 DSR 剪切流

变仪进行。

依据规范对沥青进行 RTFOT 老化,以模拟其在道路施工过程中的短期老化,或使用 AASHTO R 28 (ASTM D 6521-08) 老化短期老化后的沥青混合物,以模拟沥青路面的长期老化过程。制备适合 2mm 间隙的直径 8mm 平行板试验的沥青试件。使用频率扫描测试剪切作用下沥青的流变特性,然后通过一系列重复振幅荷载,以固定的频率增加振幅,以引起试件的加速疲劳损坏。根据流变特性和振幅扫描结果,利用连续损伤法测试沥青材料的抗疲劳性。

该方法通过增加振幅的重复加载试验来加速沥青材料的破坏,用以评价沥青抗疲劳损伤的能力。沥青材料的累积损伤速率可以表征在给定道路结构状况下和/或使用预测建模方法的预期交通荷载下沥青材料的抗疲劳性能。

T 0673—201X SBS 含量测定试验

1 目的与适用范围

本试验方法适用于红外光谱法测定聚合物改性沥青中 SBS 含量。

2 仪具与材料技术要求

2.1 傅里叶变换红外光谱仪:分辨率不低于 0.5 cm^{-1} ,波数范围 $4000\text{ cm}^{-1}\sim 400\text{ cm}^{-1}$ 。

2.2 高速剪切设备:不锈钢工作头,转速可任意调节,最大转速不小于 10000 r/min ,处理能力 $0.5\text{ L}\sim 5\text{ L}$ 。

2.3 恒温烘箱:能保持温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 盛样容器:可加热的、密封带盖的广口金属容器(如罐、桶等),容量 100 mL 、 1000 mL ,各不少于 5 个。

2.5 天平:最大称量 200 g 、精度 0.0001 g ,1 台;最大称量 1000 g 、精度 0.1 g ,1 台。

2.6 水银温度计:测温范围 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、分度值 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.7 其它:红外干燥灯、电热套、量筒等。

2.8 四氯化碳:分析纯。

2.9 溴化钾:晶体片。

3 试验准备

3.1 改性沥青标样制作与测定

3.1.1 标样的原料采集

采集制作标样的原料,标样中基质沥青、SBS 改性剂及其他添加剂应与试验用改性沥青试样一致。

3.1.2 标样制作

标样制作应按下列要求:

a) 标样中 SBS 含量按式(1)计算:

$$C_{SBS} = \frac{m_{SBS}}{m_{SBS} + m_{BIT} + m_{ADD}} \times 100\%$$

式中： C_{SBS} ——标样中 SBS 含量（%）；

m_{SBS} ——标样中 SBS 质量（g）；

m_{BIT} ——标样中基质沥青质量（g）；

m_{ADD} ——标样中稳定剂和其它添加剂质量（g）。

b) 制作步骤

- 1) 称量基质沥青约 600.0g(准确至 0.1g)；用电热套加热并保持温度在 180℃～185℃；
- 2) 用高速剪切设备以 2000r/min～3000r/min 剪切 10min；
- 3) 加入 SBS（准确至 0.1mg），以 4000 r/min～6000 r/min 剪切 45min。
- 4) 加入稳定剂和其它添加剂(称准至 0.1 mg)，以 4000 r/min～6000 r/min 剪切 45 min；
- 5) 自然冷却至室温。

注：如果剪切速率变化，可能会产生高温液体溅射现象，危害人身安全。

c) 标样数量

不同 SBS 含量的标样应不少于 5 个。

3.1.3 标样测定

标样测定应按下列要求：

a) 标样处理

- 1) 将标样在恒温烘箱中加热至 140℃～160℃，标样呈均匀流动、黏稠液体状时，称取约 2.0g（称准至 0.1g）置于 100mL 盛样容器中；
- 2) 待标样温度降至低于 40℃后，加入量取的四氯化碳 20mL～30mL；玻璃棒搅拌至没有块状物，密封，室温放置 2h～3h。

b) 标样红外光谱检测

用溴化钾作为红外透光窗片，按照 GB/T 6040 中国体薄膜法制备标样薄膜。分别测量吸收峰 966cm⁻¹、1377cm⁻¹的峰面积 S_{966} 、 S_{1377} ，按式（2）计算 A 值：

$$A = \frac{S_{966}}{S_{1377}}$$

式中：

A—吸收峰 966cm⁻¹、1377cm⁻¹的峰面积比值（精确到 0.001）；

S_{966} —966cm⁻¹吸收峰的峰面积；

S_{1377} —1377cm⁻¹吸收峰的峰面积。

c) 标准 A 值计算

按式（3）计算 A_s 。

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}$$

A_s —标准 A 值，即标样经平行检测得到 A 的算术平均值；

A_i —第 i 次检测标样得到的 A 值；

n—平行检测次数，n 不小于 5。

d) A_i 与 A_s 相对偏差不超过 5%。若 A_i 与 A_s 相对偏差超过 5%，则重新检测。

3.1.4 标准曲线绘制

标样曲线绘制应按下列要求：

a) 以 C_{SBS} 为横坐标，对应的 A_s 为纵坐标，绘制不同标样的坐标点 (C_{SBS} , A_s) 集合，经线性拟合绘制标准曲线，拟合曲线的线性相关系数应大于 0.99。

b) 标准曲线的适用范围应满足所采用标样 SBS 含量范围。

4 试验步骤

4.1 待测改性沥青试样处理

4.1.1 将沥青试样在烘箱中加热至 $140^{\circ}\text{C} \sim 160^{\circ}\text{C}$ ，试样呈均匀流动、黏稠液体状时，称取约 2g 试样（记为 m_s ，称准至 0.1mg）置于 100mL 盛样容器中；

b) 待试样温度降至低于 40°C 后，加入量取的四氯化碳 20mL $\sim$ 30mL；玻璃棒搅拌至没有块状物，密封室温放置 2h $\sim$ 3h。

c) 将上述溶液过滤，用四氯化碳洗至滤液无色；收集不溶物，在 80°C 下干燥 5h，并称量不溶物质量（记为 m_b ，称准至 0.1mg）。

d) 收集滤液用于红外光谱检测。

4.1.2 试样红外光谱检测

用溴化钾作为红外透光窗片，按照 GB/T 6040 中固体薄膜法制备试样薄膜。分别测量吸收峰 966cm^{-1} 、 1377cm^{-1} 的峰面积 S_{966} 、 S_{1377} ，按式（2）计算 A 值。

5 计算

5.1 平均 A 值计算

平均 A 值计算应按下列要求：

a) 按式（4）计算 A_m 。

$$A_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n}$$

式中：

A_m —平均 A 值，即试样经平行检测得到 A 的算术平均值；

A_j —第 j 次检测试样得到的 A 值；

n—平行检测次数，n 不小于 5。

b) A_j 与 A_m 相对偏差不超过 5%。若 A_j 与 A_m 相对偏差超过 5%，则重新检测。

5.2 校正 A 值计算

对 A_m 进行校正，按式（5）计算 A_a 。

$$A_a = \left(1 - \frac{m_b}{m_s}\right) \times A_m$$

式中：

A_a —校正 A 值；

m_b —试样中不溶物质量（g）；

m_s —试样质量（g）；

A_m —平均 A 值。

5.3 试样中 SBS 含量分析

将试样 A_a 与标准曲线比对,从标准曲线上获得对应 C_{SBS} 值,即为试样中 SBS 含量(wt%)。

7 报告

在重复性条件下获得的两次独立测定结果的相对误差不超过 5%, 取其平均值作为试验结果。

条文说明

SBS 改性剂掺量对改性沥青质量影响非常大, 近些年很多工程都引入改性剂含量测定方法, 目前国内主要有红外光谱法, 电化学法等方法。本方法将在总结这些方法基础上, 通过室内比对试验, 分析试验方法的精度、经济性和操作性, 选择红外光谱法进行编写。

根据 Lambert-Beer 定律, 利用待测物质特征官能团在特定波长(波数)处的红外吸收强度与物质浓度的正比关系, 进行改性沥青中 SBS 含量测定。本方法选取改性沥青红外光谱图中 966 cm^{-1} 处的 $C=C$ 基团上碳氢键弯曲振动特征吸收峰, 和 1377 cm^{-1} 处的 CH_3 基团上碳氢键弯曲振动特征吸收峰, 作为 SBS 含量测定的特征吸收峰。分别测量特征吸收峰面积 (S_{966} 和 S_{1377}), 计算两峰面积的比值 (A), 以比值 (A) 与 SBS 含量建立线性标准曲线。通过对待测改性沥青试样进行红外光谱检测、两特征峰面积测量以及比值 (A) 的计算, 对照标准曲线, 确定试样中 SBS 的含量。

T 0674—201X 摆式仪测定沥青内聚力试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定道路石油沥青、聚合物改性沥青、或乳化沥青蒸发残留物在 (-10°C) 至 ($+80^{\circ}\text{C}$) 温度范围内的黏结力。

2 仪具与材料技术要求

2.1 黏结力试验仪:

2.1.1 底座: 具有高度调节螺钉和水平仪, 具有一个可调节快速释放的夹紧装置, 可将试验组件固定在底座上。具有两个垂直支撑物, 带有摆锤, 可以连接在底座上。具有一个锁定系统, 可将摆锤保持在与垂直方向成 $(4.0 \pm 1.0)^{\circ}$ 角的位置。具有可拆卸保护笼, 可使摆锤无障碍摆动, 同时可以固定立方体。

2.1.2 摆锤: 形状和尺寸如图 1 所示, 能够在滚珠轴承中的水平方向自由旋转。轴承安装可调节, 可以调节摆锤的撞击边缘, 试样可以灵活摆动至任意高度。

摆锤质量为 $(1925 \pm 95)\text{ g}$, 撞击点半径为 $(500 \pm 1)\text{ mm}$, 摆锤重心到轴距离为 $(295 \pm 2)\text{ mm}$ 。

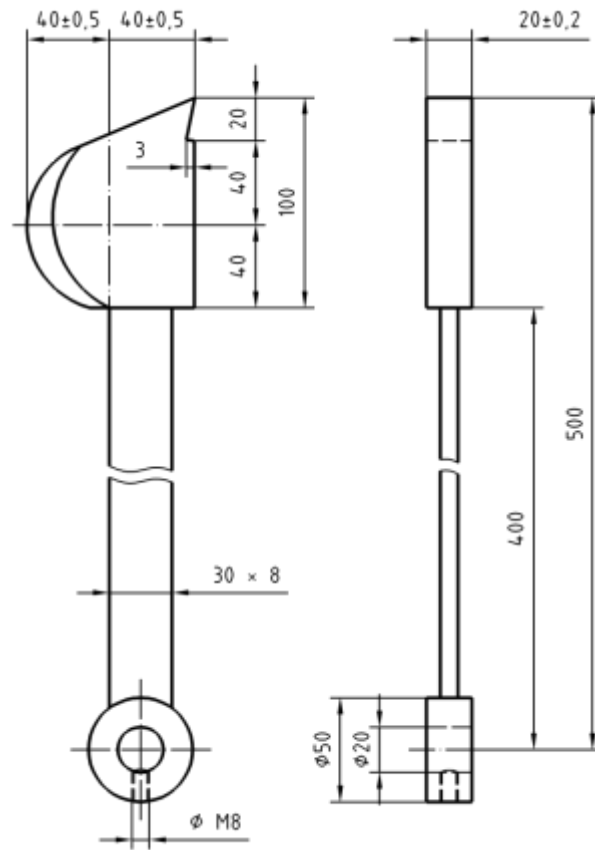


图 1 撞击摆锤示意图

2.1.3 摆锤支撑轴上的指针由摆锤向前驱动，由可调摩擦装置将其固定在最大摆动点，可进行手动复位。刻度盘的刻度间隔为 0.5° ，摆锤下平衡位置为零。

2.1.4 立方体和立方体支撑物：钢制，其形状和尺寸分别如图 2，图 3 和图 4 所示，锯齿状面上涂有黏合剂。质量为 $(9.0 \pm 0.5)\text{g}$ 。

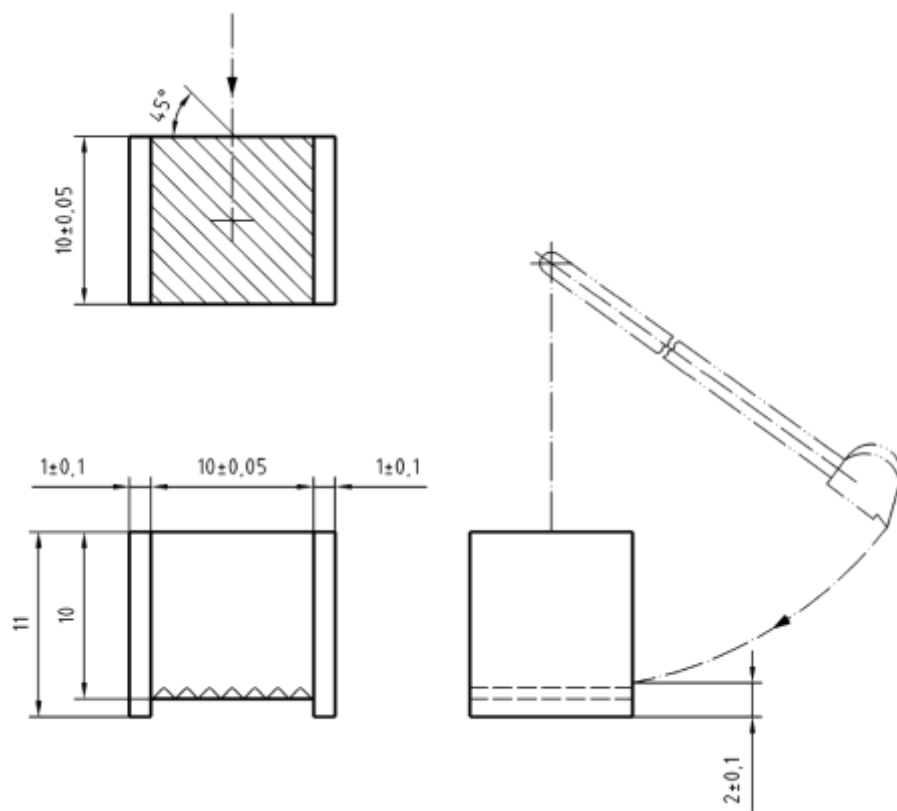


图2 立方体示意图

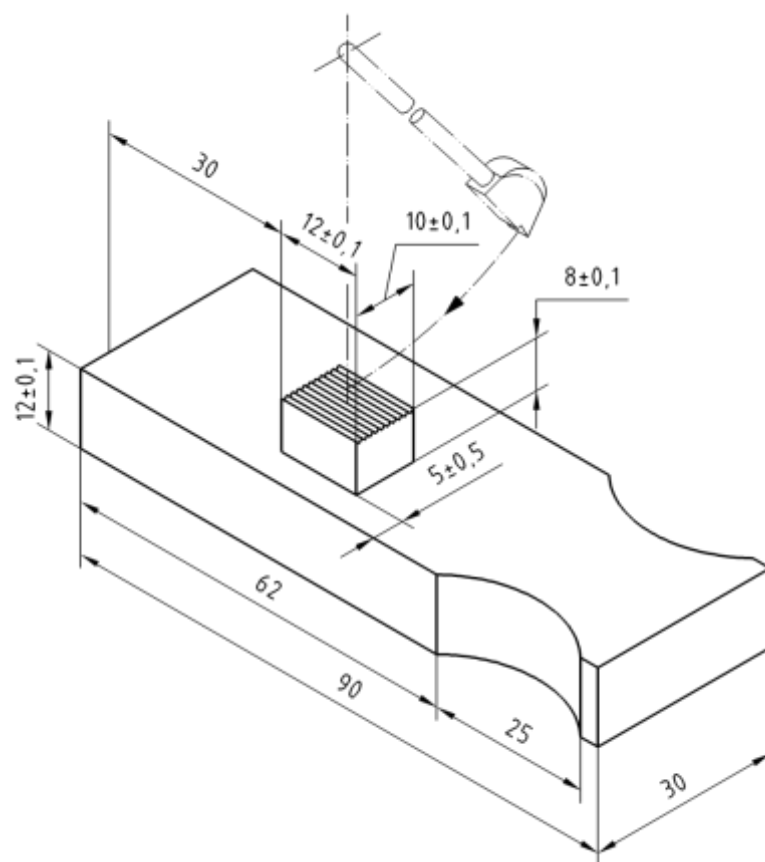


图3 立方体支撑物示意图

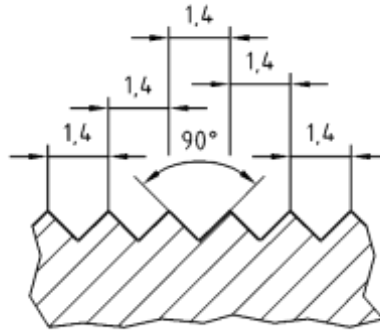


图4 立方体支撑物的典型结构

2.2 烘箱：能将温度恒定在 60°C ，精度为 5°C 。

2.3 恒温控制环境箱：能够恒温在 -10°C 至 $+80^{\circ}\text{C}$ 的范围，精度为 1.0°C 。

2.4 温度读数装置：测量恒温控制外壳的温度，精度为 0.2°C 。

2.5 其他：刷子，刮刀和刀片。

3 试验准备

3.1 针对每个试验温度，至少准备六组试件，需要至少三个不同的温度来测试黏结力和温度的关系。清洁立方体和支撑物，使用小刷子清扫锯齿。用含有乙醇的水冲洗后在烘箱中烘干。将立方体和支撑物预热至 $(60 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，持续 60 分钟。

若黏合剂是助熔剂，立方体和支撑物可以加热 30 分钟。若黏合剂的软化点高于 60°C ，立方体支撑物应加热至软化点的温度，精度为 5°C 。

3.2 制备黏合剂：将黏合剂加热到一定温度，使其可以在预热立方体和支撑物的锯齿面上展开。不要将黏合剂加热到高于其软化点以上 90°C 。记录加热温度和持续时间。

注：对于稀释沥青，可以在不加热黏合剂情况下进行试验。聚合物改性沥青需要加热至使其流动变黏稠的温度。黏合剂易于涂布的温度为软化点以上 40°C 至 50°C 。

3.3 准备试验组件：

3.3.1 针对每个温度准备足够数量的试验组件。

3.3.2 取一个预热完成的立方体和支撑物。使用小刮刀将预热的黏合剂涂在两个锯齿面上，黏合剂的用量应超过填充组件中支撑和立方体间隙所需的量 ($> 0.2 \text{ ml}$)。尽快将立方体放置在支撑物上，锯齿面相对，立方体平行于支撑物边缘，将组件插入试验仪的夹紧装置，支撑物平行于摆锤运动平面。

向立方体和支撑物施加压力，挤出多余的黏合剂，使立方体与支撑物接触。

注：某些黏合剂的弹性性能会导致黏合剂薄膜中应力保留，造成试验结果重复性差。故试验应将立方体，支撑物和样品预热至更高温度，也可将大约 500g 的质量放在立方体顶部。

3.3.3 用刀片刮除试验组件立方体面上的多余黏合剂。如有必要可使用带有少许溶剂的吸水纸清洁将被摆锤撞击的立方体面。

3.4 将试验组件放置在设置为试验温度的恒温箱中 90 分钟至 4 小时。

3.5 调整摆锤：将黏结力试验仪放在支撑物上，确保其水平。检查摆锤的撞击边缘是否

完好无损。将摆锤自由悬挂在下方位置。如有必要，调节刻度盘确保刻度读数为 $(0 \pm 0.5)^\circ$ 。调整夹紧装置位置，使试验组件固定，使摆锤的撞击边缘平行于立方体底部边缘，并使其整个长度与立方体接触，高度为立方体支撑锯齿顶部上方 $(2.0 \pm 0.2)\text{mm}$ 。

将摆锤设置在“向上”位置。将指针设置在与此“向上”位置的摆锤接触处。试验组件没有就位的情况下，重复释放摆锤，直到摆锤摆动角度恒定为 $\pm 0.5^\circ$ ，并且实现六次连续摆动时的最小值为 155° 。如有必要，调整指针的摩擦装置。

在“向上”位置，摆锤和指针与垂直方向成 $(4.0 \pm 1.0)^\circ$ ，释放时不需要推动。指针对温度变化较敏感，试验全过程室内环境温度应在 18°C 至 28°C 内。

3.6 选择试验温度

根据观察到的黏合剂室温稠度，选择三个温度（以 10°C 间隔）：

3.6.1 若曲线的低温和高温两端的一个结果小于 0.4 J/cm^2 或在 (-10°C) 和 $(+80^\circ\text{C})$ 确定的黏结力值（未达到 0.4 J/cm^2 ）；

3.6.2 三个结果在最大黏结温度的 5°C 内。

3.6.3 在曲线的低温侧和高温侧，峰值与峰值的40%至60%之间至少还有一个结果。然后，在曲线的低温侧和高温侧选择黏结能为 0.5 J/cm^2 的温度。如果不能达到先前温度，则应在曲线的低温侧和高温侧进一步确定一个结果，a 确定峰值和最小内聚力值之差的一半温度。

注：若黏合剂已经完成试验，可以使用大于或小于 10°C 的间隔，并根据试验目的选择另一个温度范围。

4 试验步骤

4.1 将摆锤设置在“向上”位置，并重置指针与摆锤接触，打开保护罩门。

4.2 从温控环境箱转移试验组件至试验仪夹紧装置，确保组件移动而不会影响支撑物位置。关闭保护罩门并松开摆锤。执行上述程序所需的时间应少于20秒，且在一个测试温度下的所有试验应在10分钟内完成。

4.3 记录指针指示的摆动角度 α_1 。从保护箱中取出分离的立方体和立方体支撑物，检查与黏合剂接触的面，确定黏合剂已失效。若在立方体或支撑物上看到大于 5 mm^2 的裸金属区域，则此次试验结果作废，重新试验。

4.4 更换另一个立方体支撑物，将刚刚试验过的立方体放在此支撑物上，其面朝下。释放摆锤，记录指针指示的摆动角度 α_1 。重复测量其他试验件，并记录角度。

注：黏结力的值是指有无黏合剂两次测量的差值。应确保连续测量并尽可能时间接近，时间间隔不超过2分钟，以达到最佳试验精度。

在接近最大黏结力的温度下，黏合剂在撞击时的破裂会导致黏合剂的残留。若摆锤接触到残留的黏合剂，则旋转角度会减小。若发生这种情况，应在另一温度下重复试验。

5 计算

5.1 计算撞击吸收的能量，以焦耳表示：

$$E = mgr(1 + \cos \alpha)$$

式中： α —摆锤摆动角度（有黏合剂），度；

5.2 计算破坏黏合剂吸收的能量，以焦耳表示：

$$E' = mgr(1 + \cos \alpha')$$

式中： α' —摆锤摆动角度（有黏合剂），度；

5.3 计算黏结力, J / cm²；

$$C = (E - E') / s = mgr(\cos \alpha - \cos \alpha') / s$$

式中： s —立方体与黏合剂接触的面积(1 cm²)

g —重力加速度，即 $g = 9.81\text{m/s}^2$ 。

5.4 对于给定的试验温度，确定第四次或第六次释放的（ $E - E'$ ）的平均值。试件截面为 1cm²，黏结力值以 J/cm² 表示。

绘制温度和黏结力的平滑曲线图确定黏结力的最大值（ C_m ）和相应的温度（ T_m ）。

6 允许误差

6.1 道路石油沥青：同一试验人员获得的两个连续结果重复性不超过 0.06J/cm²；不同试验人员利用相同试验材料得出的两个单一结果之间的重现性不超过 0.18J/cm²。

6.2 聚合物改性沥青：同一试验人员获得的两个连续结果重复性不超过 0.10J/cm²；不同试验人员利用相同试验材料得出的两个单一结果之间的重现性不超过 0.36J/cm²。

条文说明

本方法主要参考 EN 13588 编写。使用 1mm 厚的黏合剂将 10mm 钢立方体固定到钢支撑物上。达到试验温度后，使用摆锤撞击使立方体移位。

组件达到试验温度后，使用摆锤撞击使立方体移位。根据摆动角度计算黏合剂失效时吸收的能量。测定至少六个温度范围的黏结力如图所示。

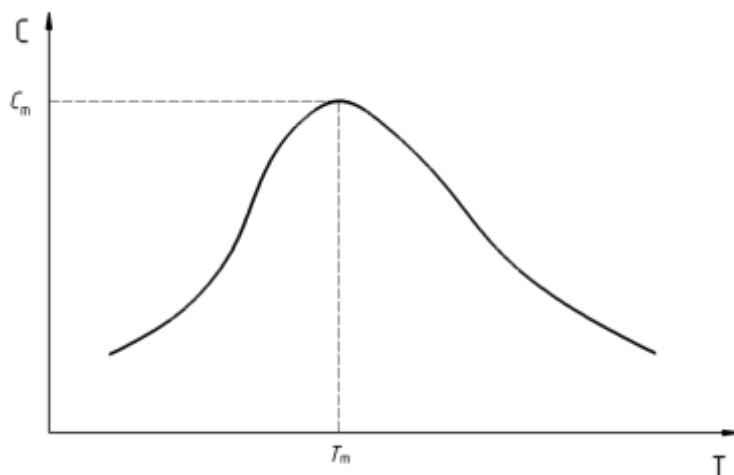
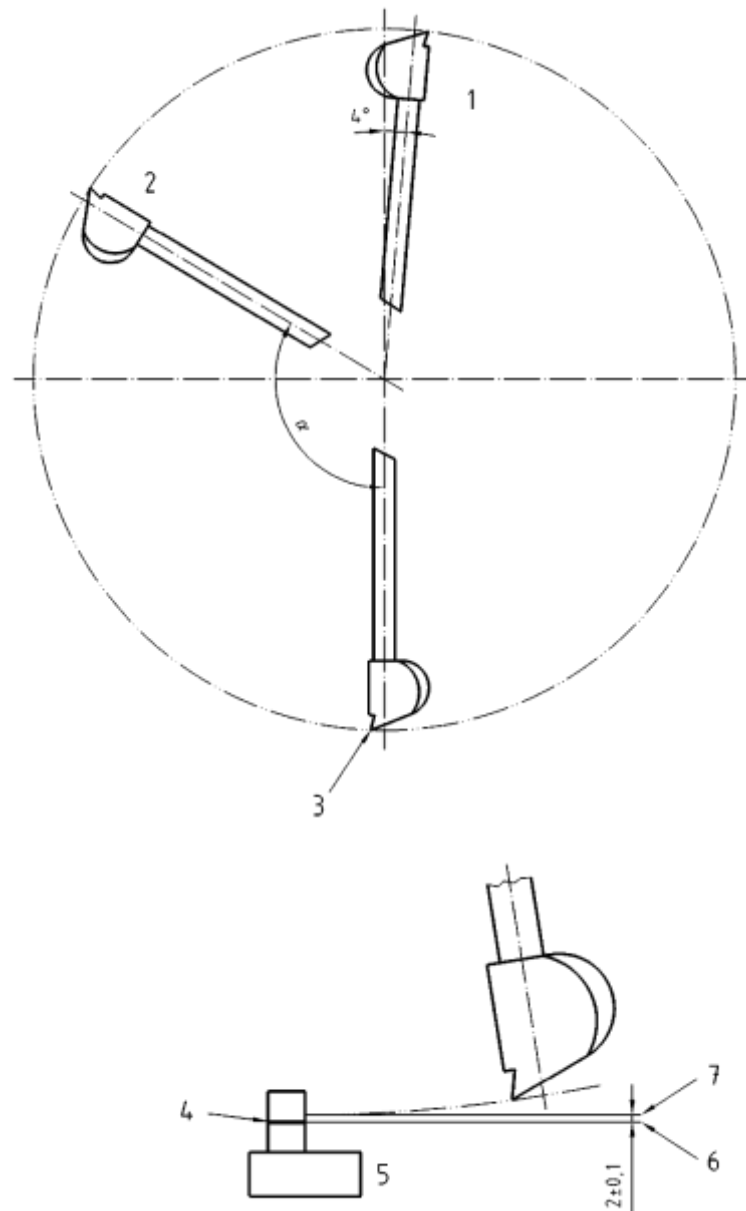


图 1 黏结力温度关系曲线图

下图为摆锤原理示意图：



1 初始位置	4 立方体冲击线
2 撞击后的摆动极限	5 支撑物
3 参考角度	6 立方体支撑的锯齿顶部
7 钟摆底部	

图 2 摆锤原理示意图

T 0675—201X 集料-沥青黏附性试验（旋转瓶法）

1 目的与适用范围

本方法适用于测定集料与沥青结合料之间的黏附力以及其对组合剥离的敏感性影响。该方法也可用于测定水对集料-沥青结合料在含或不含黏附剂两种情况下的影响，常见的液体黏附剂主要是胺，填料黏附剂使用熟石灰或水泥。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试验筛：方孔筛尺寸为 11.2mm 和 8mm，或 6.3mm 和 10mm。也可选择 5.6mm，6mm 及 8mm 的尺寸。

2.2 烘箱：能够维持温度在 $110\pm5^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm5^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 温度计：能够以 $\pm1^{\circ}\text{C}$ 的精度测量 5°C 和 20°C 的水温，能够在 110°C 至 180°C 范围内，以 $\pm2^{\circ}\text{C}$ 的精度测量集料和沥青结合料的温度。

2.4 天平：量取集料的天平量程不小于 600g，能够以 $\pm2\text{g}$ 的精度量取 510g 的总重量。量取沥青结合料的天平能够以 $\pm0.2\text{g}$ 的精度量取 16g-18g 的总重量。

2.5 金属容器：用于加热沥青结合料或黏结剂。

2.6 搅拌器皿：釉面瓷碗或其它具有光滑的非吸收性表面的容器。直径为 200mm，内部高度为 50mm。

2.7 抹刀：由金属或其它的非吸收性材料制成，用于混合沥青结合料和集料。

2.8 硅酮涂层纸或扁平金属盖：用于沥青与集料混合后冷却时，存放单独的覆盖有沥青结合料的松散骨料颗粒。金属盖边缘高度为 10mm、直径为 300mm。

2.9 冰箱：能够保持 $5^{\circ}\text{C}\pm2^{\circ}\text{C}$ 的温度。

2.10 试验瓶：由硼硅酸盐玻璃制成的高耐磨性玻璃瓶。容量约为 500ml。瓶口直径应为 $80\text{mm}\pm10\text{mm}$ ，高度应为 $175\text{mm}\pm10\text{mm}$ ，瓶肩高度应为 $110\text{mm}\pm10\text{mm}$ （见图 1 和图 2）。瓶颈的开口直径应为 $30\text{mm}\pm5\text{mm}$ ，配备防水安装螺帽。

2.11 玻璃棒：直径为 $6\text{mm}\pm1\text{mm}$ ，长为 $30\pm10\text{mm}$ ，安装有橡胶管。

2.12 旋转瓶机器：能确保同时旋转不少于三个试验瓶。转速可调节，转速应可在 40r/min 到 60r/min 间调节，精度为 10%。机器可使试验瓶进行水平旋转，公差不超过 $\pm5^{\circ}$ 。



图 1-试验瓶图

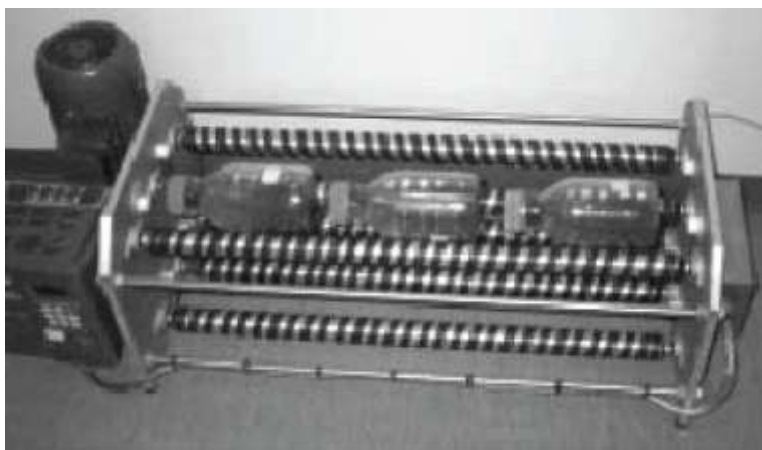


图 2-旋转瓶设备图

2.13 玻璃烧杯：容积不小于 200ml。

2.14 试验碗：适用于用目测法来确定集料上沥青的覆盖程度。碗应为平底的，并具有足够的直径可将 $150\text{g}\pm 2\text{g}$ 的集料单层铺撒在碗底。碗应具有足够的高度，能将集料完全浸没在水中。可以使用直径约为 120mm 、高度约为 15mm 的玻璃平底培养皿。

2.15 灯：能提供合适光源便于目测法评估集料上沥青的裹附程度。

2.16 放大镜：具有低倍放大率，便于目测法评估集料上沥青的裹附程度。

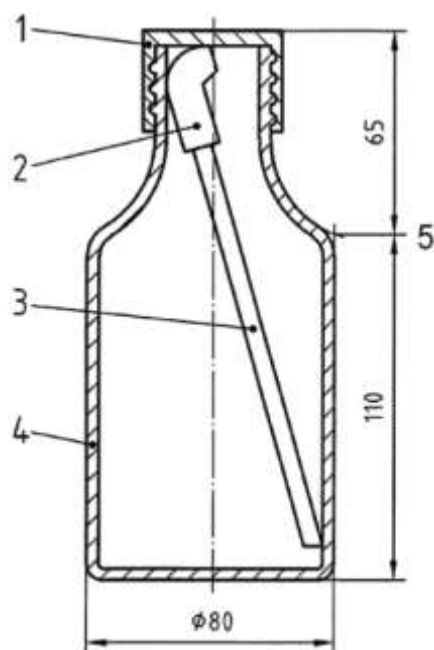


图 3 测试瓶示意图 (尺寸(mm))

1 瓶盖，瓶口直径 $30\text{mm}\pm 5\text{mm}$ ；

2 橡胶管

3 玻璃棒，直径 $6\text{mm}\pm 1\text{mm}$

4 玻璃试验瓶

5 A 级(瓶肩)

3 试验准备

3.1 集料准备

3.1.1 使用试验筛筛出至少 600g 通过 11.2mm 但未通过 8mm 筛的集料，形成 $8/11\text{mm}$ 的待测试集料。在 8mm 筛上洗涤集料。

使用试验筛筛出至少 600g 通过 10mm 但未通过 6.3mm 筛的集料，形成 $6/10\text{mm}$ 的待测试集料。在 6mm 筛上洗涤集料。

3.1.2 将集料放入 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的通风烘箱中干燥至恒重，即每间隔一分钟的连续三次质量测量的差值小于 1% 。或将集料置于干燥箱中过夜使其充分干燥。

3.1.3 将部分 $510\text{g}\pm 2\text{g}$ 集料放入搅拌碗中。

3.2 沥青准备：将沥青倒入带盖的金属容器中。

3.3 混合集料和沥青

3.3.1 应使用规定的混合温度，对集料和沥青进行混合。

3.3.2 将搅拌碗中的集料置于混合温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的通风烘箱中保持至少 3 小时。

3.3.3 将沥青结合料放入烘箱中将其加热至混合温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 保持不少于 $3\text{h}\pm 1\text{h}$ 。在混合之前，去除容器盖，检查沥青结合料的温度并搅拌均匀。

3.3.4 如果要在沥青中加入液体胶黏剂，则沥青的质量不应少于 100g，将两者加热至混合温度。用抹刀将两者小心混合，然后按照第 3.3.6 步骤中规定的沥青/胶黏剂混合步骤立即进行混合。

3.3.5 若要向混合物中加入黏结改善填料，应在添加沥青之前，将填料先与集料拌合。

亲和力试验结果可能受机械磨损的影响；如果集料涂层不是由纯沥青构成，则机械磨损可能导致试验结果有所不同。如果需要评价黏结改善填料的效果（例如水泥或熟石灰），则对比试件也应含有相同的填料，因为在不含改善填料的集料上，其结合料涂层比含改善填料骨料的结合料涂层磨损的更快。

3.3.6 使用 8/11mm 的骨料时，将沥青（ $16\text{g}\pm 0.2\text{g}$ ）与集料一起倒入搅拌碗中。如使用 6/10mm 的骨料，将沥青（ $17\text{g}\pm 0.2\text{g}$ ）与集料一起倒入搅拌碗中。

注：指定的沥青质量对应于 8/11 mm 集料的沥青含量为 3.0%（按混合物重量计），并调整 6/10 mm 和 5/8 mm 的沥青质量，确保得到厚度大致相同的沥青膜。

沥青添加量应通过乘以校正系数来满足实际的集料密度：

$$\alpha = \frac{2650(\text{Mg}/\text{m}^3)}{\text{骨料密度}(\text{Mg}/\text{m}^3)} \quad (1)$$

使用 5/8 mm 的集料时，将沥青（ $18\text{g}\pm 0.2\text{g}$ ）与集料一起倒入搅拌碗中。

3.3.7 用抹刀将集料和沥青结合料混合，确保沥青结合料在集料表面形成均匀的涂层，确保集料表面被沥青完全覆盖。如果集料没有达到全部（100%）覆盖，则该试样作废。

3.3.8 将混合好的试样立即铺在平坦的金属盖子或硅酮涂层纸上。确保集料作为单个颗粒松散地分布，避免覆盖沥青的集料颗粒出现结块。

3.3.9 在室温下，将混合材料储存在金属盖子或硅酮纸上，注意避免阳光直射和灰尘污染，时间为 12h 至 64h。

3.4 调节

3.4.1 将混合好的试样分成三份，每份质量为 $150\text{g}\pm 2\text{g}$ 。

3.4.2 标记试验瓶，用温度为 $5^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水或去离子水填充至约 50% 的体积。

注：较低的初始水温可防止裹覆有沥青涂层的集料颗粒在试验开始前成团。

3.4.3 为减少黏连，用湿润的手指移动试件，每瓶装 $150\text{g}\pm 2\text{g}$ 的试件，一次转移一部分。用 $5^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水或去离子水填充瓶子到瓶肩高（图 3 中的 A 级）。

3.4.4 将玻璃棒放入每个试验瓶中，并用螺帽密封瓶子。确保带橡胶管的玻璃棒牢固地固定在瓶底和螺帽之间。为避免集料结块，尽快将瓶子放置在旋转机上。使用增黏剂时，应快速完成以上步骤。

4 试验步骤

4.1 试验时，将旋转机调整到如下所示的转速：

对于 25℃ 针入度大于 100dmm 的沥青，瓶子的旋转速度应为 $40\text{r/min} \pm 10\%$ 。对于 25℃ 针入度小于 100dmm 的沥青，或使用改善黏结性的填料或改性黏合剂时，转速应为 $60\text{r/min} \pm 10\%$ 。测试改进黏合的添加剂时，转速也应保持 $60\text{r/min} \pm 10\%$ 的水平。

4.2 将试验瓶放在旋转机上，开始旋转试验程序。

4.3 避免直接暴露在阳光下，在 15℃ -25℃ 的温度下进行试验。

注：在试验开始时，试验瓶中的水温需达到 $5\text{℃} \pm 2\text{℃}$ 。在旋转开始时，水温将升高至指定的室温水平。

4.4 经过 $6\text{h} \pm 15\text{min}$ 的滚动旋转后，试验停止。

4.5 将瓶子中的水倒入烧杯中，将集料颗粒从试验瓶中倒入试验碗中，将试验碗放在白色背景板上。将新鲜的蒸馏水或去离子水注入碗中，水平面与颗粒物上表面平齐。

注：添加水是为了从最佳角度确定集料颗粒上裹附沥青的效果。

4.6 通过目测法（使用灯来辅助观察和评估）来评估并记录集料颗粒上沥青膜裹附的平均比例，单位以 5% 来表示。任何薄的、褐色或半透明的区域都应被认为是完全涂覆的。应记录集料颗粒是否聚集成团。

注：可以使用低放大倍数的放大镜来进行辅助统计。深色集料上的沥青覆盖度可能会高于浅色集料。为了比较，可以将类似大小的未覆盖沥青的集料放在装满水的试验碗中观测来帮助评估裹附程度。

4.7 倒掉试验碗中的水，将集料颗粒装回瓶中，并用原来烧杯中的水重新填充。用螺帽盖住瓶子并继续进行旋转试验。

4.8 重复 4.2 至 4.6 的步骤，在额外的滚动时间(总计 24h 的滚动时间)后停止试验。

4.9 在 $48\text{h} \pm 1\text{h}$ 和 $72\text{h} \pm 1\text{h}$ 的总旋转时间之后另外进行观察。如果需要，可在延长试验期间暂停旋转过程，以允许该过程遵循正常工作时间。如果暂停该过程，则应将水从试验瓶中倒入烧杯，将集料从瓶中倒出，并在避免阳光直射的环境中，在室温环境下储存在硅酮涂层纸或类似光滑表面上。继续试验时，则将集料和原水倒入瓶中，用螺帽盖住瓶子并继续旋转试验。

注：如果试验材料中含有高抗剥离性黏结剂，可进一步将试验时间延长到 96h 和 168h。

4.10 沥青膜裹覆程度的每一次目测应由两名熟练的试验人员独立进行。在整个试验过程中，不得中途更换试验人员。

4.11 如果观察到成团的集料颗粒超过颗粒总数的 10%，则试验结果作废。

5 计算

对于每个旋转时间，计算三个试验瓶上得到的沥青膜覆盖程度平均值，单位四舍五入后以 5% 表示。

对于每个旋转时间，计算得到的沥青膜裹覆程度平均值(两个试验人员结果的平均值)，四舍五入后以 5% 表示。

6 报告

试验报告应包含以下内容：集料的类型和尺寸，沥青类型，黏结剂类型(如果使用)，旋转速度等。

条文说明

本方法主要参考 EN 12697-11 A 编写。沥青结合料-集料的亲和力是在有水状态下，对旋转瓶中未压实的沥青包裹矿物集料实施机械搅拌之后，用肉眼来观察沥青结合料的附着程度来实现的。旋转瓶试验是一个简单且主观性较高的试验，适用于常规试验检测。不适用于高耐磨性的骨料。

将筛分后的集料进行洗涤、干燥后与沥青结合料混合，以获得均匀的总覆盖率。也可以使用其他组合，但不应小于 2mm 至 4mm 的大小。为了避免集料聚集在一起，推荐使用上述标准尺寸。

试验用集料也可使用较小的 5/8 mm 组合（通过 8 mm 试验筛但未通过 5.6 mm 试验筛）。然而，较小的 5/8mm 的裹覆有沥青结合料的集料，会增加旋转过程中形成团簇的风险，这可能导致试验结果无效。此外，使用较小的 5/8 mm 集料可能导致目测法判定覆盖程度的结果变得更为复杂。因此，5/8mm 的试验筛不适用于旋转瓶法，推荐使用 8/11mm 或 6/10mm 的骨料。

可将目测结果绘制在图 4 所示的图上，试验结果更容易被比较和评估。Y 轴为沥青结合料覆盖率(%)，X 轴为旋转设备滚动时间(h)。

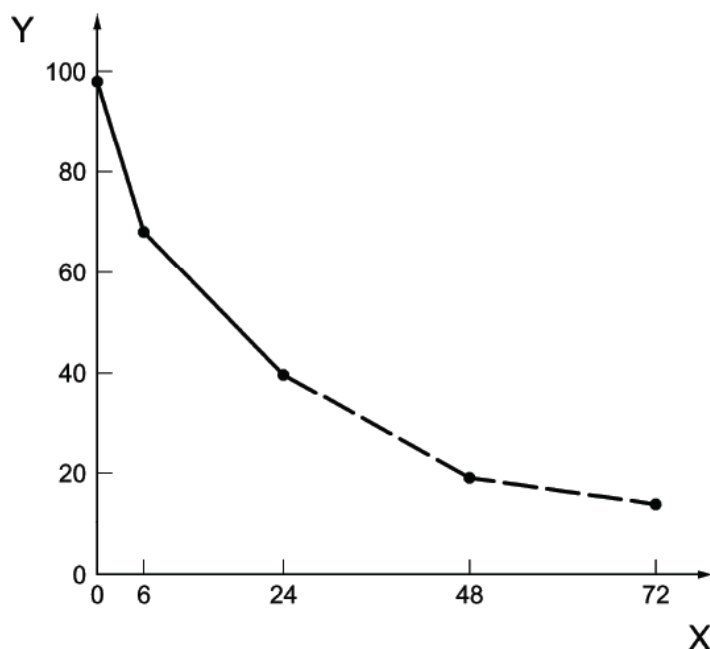


图 4-试验结果示意图

T 0676—201X 橡胶沥青旋转黏度试验（Haake 黏度计法）

1 目的与适用范围

本方法适用于在试验室或现场用手持式模拟或数字旋转黏度计测定橡胶沥青的哈克（Haake）黏度。

2 仪具与材料技术要求

2.1 旋转黏度计：宽量程的手持式哈克（Haake）旋转黏度计（参看图2.2），并满足下列要求：



图 2.2 模拟式黏度仪（左）和数字式黏度仪（右）

2.1.1 模拟式黏度计应带有指针和刻度盘显示，分度为 $1 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ ；

2.1.2 数字式黏度计应带有读数显示屏，分辨率为 $0.1 \text{ dPa} \cdot \text{s}$ ；

2.1.3 转子（No1）直径 $24\text{mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，高 $53\text{mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，带有通气孔和长度为 $87\text{mm} \pm 2 \text{ mm}$ 的主轴。

2.2 温度计：数字式，精度 0.1°C 。

2.3 盛样器：容积为 $1\text{L} \sim 3\text{L}$ ，带金属盖和提手。

2.4 标准黏度液：在 $1000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 至 $5000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 范围内选用三种黏度的标准液。

2.5 加热热源：温控范围为 $100^\circ\text{C} \sim 230^\circ\text{C}$ ，精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

2.6 水平支架：可以调节放置盛样器的水平面，并可加热盛样器内的沥青结合料。

2.7 搅拌棒：玻璃或金属制成的圆棒。

3 试验准备

测定前将哈克黏度仪在三种已知黏度的标准液体中（黏度范围为 $1000\text{mPa} \cdot \text{s} \sim 5000\text{mPa} \cdot \text{s}$ ）进行标定，标定值与标准黏度之差应在 $300\text{mPa} \cdot \text{s}$ 的范围内，可

根据标定结果对测量值进行修正。标定试验应在标准黏度液制造商规定的标准温度下进行，或者按制造商提供的黏度修正表根据测量温度对标准黏度进行修正。

4 试验步骤

4.1 将盛有橡胶沥青的容器放在热源上方适当的高度处，并不断地搅动以防止橡胶沥青结焦或着火。

4.2 将黏度仪的1号转子从容器边上缓慢放入热沥青试样内，注意不要堵塞通气孔。

4.3 在容器边恒温1min左右，使转子的温度上升至150℃左右。

4.4 在转子升温的过程中应充分搅动橡胶沥青，并测量试样的温度。

4.5 转子移至容器的中央，准备测量黏度。

4.6 测量时黏度仪应保持正确的手持位置，使转子的轴线垂直于沥青试样液面和黏度仪的水平面，此时转子旋转时会形成一水平的旋涡，同时转子应浸没至试样内，其深度应在转子轴上标志的刻度范围内。

4.7 转子定位准确后，启动黏度仪，在刻度盘上与1号转子相应的刻度上读取峰值黏度。

注：峰值读数代表了橡胶沥青的系统黏度，因为当转子旋转时，它会形成一旋涡将橡胶沥青中的橡胶颗粒甩出测量的区域之外，此时黏度仪的读数将只是橡胶沥青液相的黏度，且读数会不断下降。

4.8 测量应进行三次，每次测量后应将转子移至容器的边缘（不必将它从试样中取出），并重新充分搅动试样，使橡胶颗粒均匀地分布在沥青中。

4.9 试验结束后，将转子悬挂在适宜的溶剂中，洗去橡胶沥青，擦干以便下次使用。

5 报告

当三次平行试验结果的差值符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为试验结果。

条文说明

T 0677—201X 黏层油黏结强度试验(剪切)

1 目的与适用范围

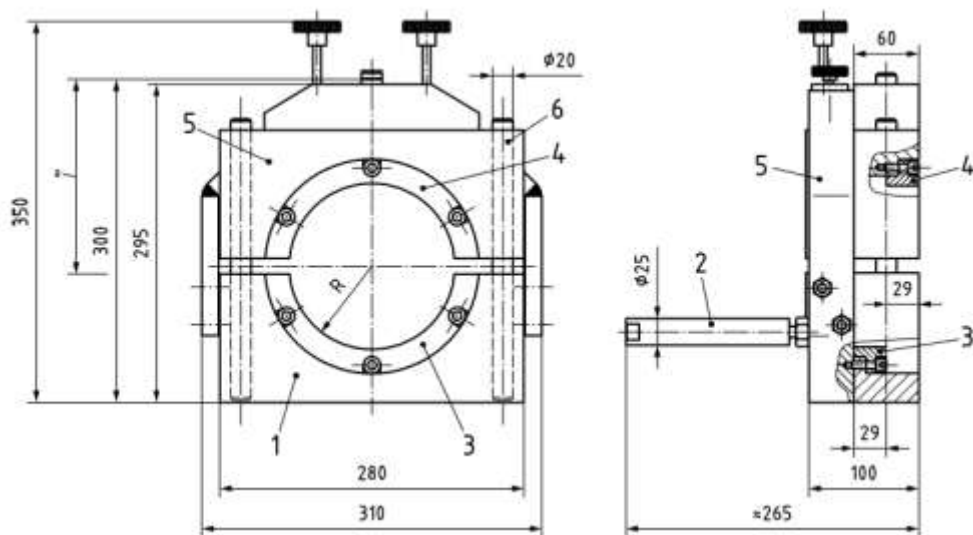
1.1 本方法适用于测定黏层油黏结强度。

1.2 本方法也适合于测定封层、透层及防水层(以下统称黏结层)与沥青混凝土层、水泥混凝土层、桥面板(以下统称结构层)等两种不同材料之间的层间黏结强度,也可以评价结构层-黏结层-结构层的黏结强度。

2 仪器与材料

2.1 压力机:可匀速施加压力,无明显振动和偏心,加载速率为 $(50\pm 2)\text{mm/min}$,最大位移不小于 7mm ,最大荷载不小于 35kN 。压力机需要配备数据记录仪,记录荷载和位移。

2.2 剪切仪:见图 N.2-1,剪切环的直径应在试件直径的 $0\sim +2\text{mm}$ 范围内,且上下剪切环的垂直间距应小于 5mm 。



1-上压头, 2-试件固定支撑部件, 3-下剪切环, 4-上剪切环, 5-上压头, 6-倒杆

图 N.2-1 剪切仪结构示意图

2.3 扩展试模:当试件高度不够时可将扩展试模黏结到试件表面用以辅助试验。材质为铝或其他金属。

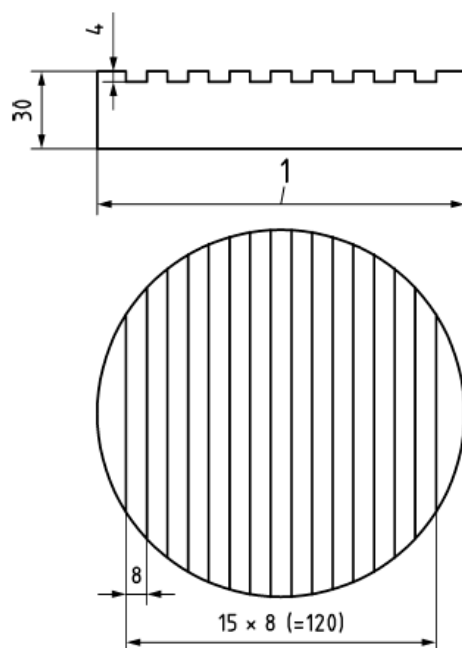


图 N.2-2 扩展试模表面刻槽示意图

2.4 温度计：最小分辨率 0.1℃，精度 0.5℃。

2.5 量尺：钢尺，游标卡尺等。

2.6 秒表：精确到 1s。

2.7 水平仪：检验室内试件表面是否垂直。

2.8 黏结剂：将压头、试模等黏结在测试路面或试件表面，如快凝性环氧树脂等。

2.9 钻芯机：直径为 100mm 或 150mm 或 200mm。

2.10 其他：恒温箱、刮刀等。

3 剪切试验方法与步骤

3.1 准备工作

(1) 试验前，充分养生施工材料。根据现场情况，随机选择测试点，并进行标注。采用钻芯机现场钻取芯样，需要钻透下卧层，获取完整芯样，直径为 (150 ± 2) mm；钻芯试件侧面应光滑、平整。每个位置需要钻取 3 个芯样，每个钻芯位置间距不小于 200mm。

(2) 钻取试件，对于结构层-黏结层-结构层，要求上结构层厚度不小于 20mm，下卧层厚度不小于 50mm；当试件厚度不够时，可以采用扩展试模，在试件清洗、干燥 24h 后，将高度不够的一端，采用黏结剂将扩展试模刻槽的一面黏结到试件上。

(3) 采用游标卡尺实际测量试件直径，准确至 0.1mm。将试件(必要时连同扩

展试模)置于恒温箱 (20 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 中保温 4h 后继续进行试验。当选择其他温度时,在报告中注明。

3.2 试验步骤

(1)选择合适的剪切环,将上压头和剪切环取出,将试件安放到下剪切环上,再放入上压头和上剪切环。调整试件位置,使黏结层位于上下剪切环的垂直间距之间,且上下剪切环的中间垂直间距应小于 5mm。见图 N. 3. 1,同时调整上剪切环,使得上剪切环正好接触到试件表面。

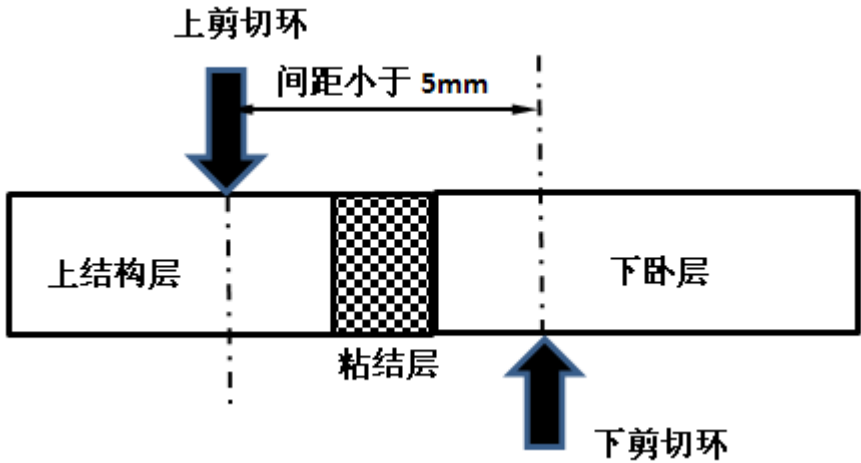


图 N.3.1 直接剪切试验间距要求示意图

- (2)扣紧试件固定支撑部件。
- (3)启动压力机,开始进行上下压头加压,加载速度为 (50 ± 2) mm/min。
- (4)当压力出现峰值之后,停止试验,记录最大压力值及对应的位移,压力值准确至 0.1kN,位移准确至 0.1mm,并绘制位移-荷载曲线。见图 N. 3. 2,试件从温控箱拿出到完成试验,时间不超过 2min。

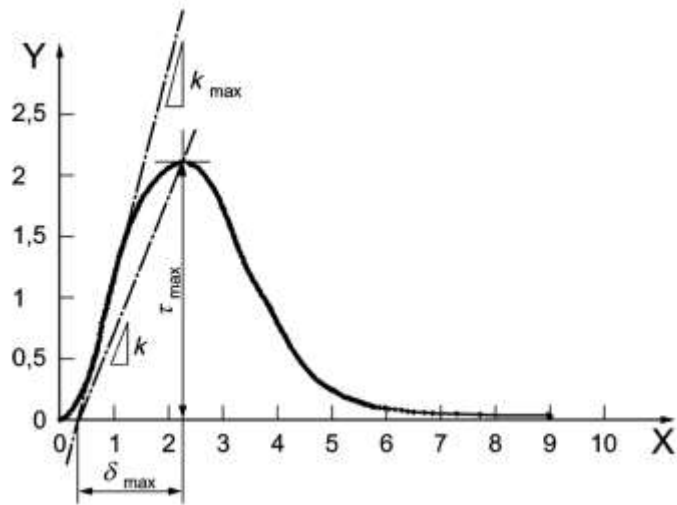


图 N.3.2 直接剪切试验位移-荷载曲线示意图

- (5)观测断裂面,并详细记录。

4 计算

4.1 将实测的最大拉力和实测试件直径(或环槽内径、拉头直径),按式(N.3-1)计算拉拔强度:

$$\tau_{TAT} = \frac{4 \times F}{3.14 \times D^2} \quad (\text{N.3-1})$$

式中: τ_{TAT} —拉拔强度, MPa;

F—最大拉力, N;

D—实测试件直径(或环槽内径、拉头直径), mm。

4.2 将实测的最大压力值和试件直径,按下式(N.3-2)计算剪切强度:

$$\tau_{SBT} = \frac{4 \times F}{3.14 \times D^2} \quad (\text{N.3.2})$$

式中: τ_{SBT} —层间剪切强度, MPa

F—最大压力值, kN;

D—试件直径, mm。

条文说明:

实际路面设计、交工、竣工、养护过程中层间黏结问题比较突出,因层间黏结不良导致的路面损坏问题也比较多,如沥青路面水平推移、车辙及壅包等病害,且已有标准规范对层间黏结试验方法没有明确的规定,本次修订对层间黏结测定试验方法做出详细规定,以更好的指导试验检测工作。

目前国际上层间黏结强度试验方法主要可以分为 5 种:

(1)扭剪黏结强度 torque bond test TBT

适合现场和室内测量黏结强度,主要是评价层间抵抗车辆加速或刹车及不同铺装层之间由于温度产生的水平位移,如沥青混凝土与微表处,沥青混凝土与混凝土表面层等。该方法即可评价黏结层-结构层黏结强度,也可以评价结构层-黏结层黏结强度。

(2)剪切黏结强度 shear bond test SBT

主要是室内评价方法,一般是评价结构层-黏结层-结构层的剪切强度,通过黏结扩展试模可以评价黏结层-结构层的黏结强度。其主要评价层间抵抗车辆加速或刹车,及不同铺装层之间由于温度产生的水平应力,如沥青混凝土与微表处,沥青混凝土与混凝土表面等。一般评价结构层-黏结层-结构层黏结强度,通过黏结扩展试模,也可以评价黏结层-结构层黏结强度。

(3)拉拔试验-tensile adhesion test

适合现场和室内测量黏结强度，评价垂直荷载下的拉伸强度，一般评价评价黏结层-结构层黏结强度，也可以评价结构层-黏结层-结构层的黏结强度。

(3)压缩剪切强度试验-compressed shear bond test

室内评价方法，同时评价水平和垂直荷载下的层间剪切强度。

(4)重复压缩剪切强度-cyclic compressed shear bond tests

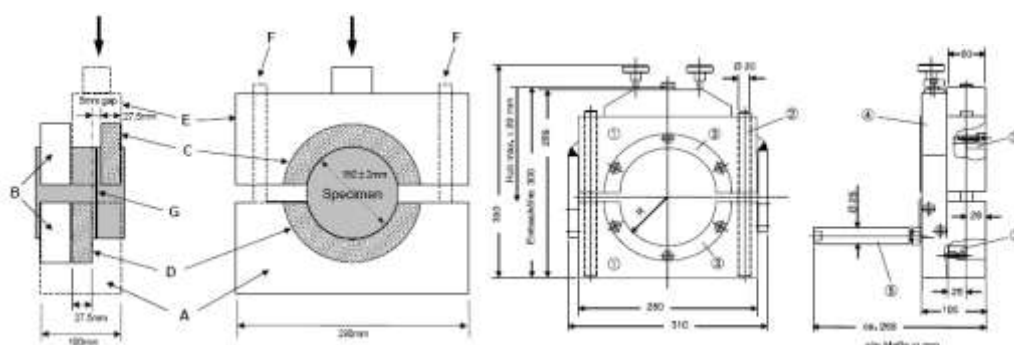
评价不同温度、荷载频率和荷载应力水平情况下的层间黏结强度，可以评价水平和垂直荷载下的层间剪切强度。

前3种是广泛采用的试验方法，后2种是目前科研研究用方法。

前3种试验方法中，我国主要是应用第1种拉拔试验方法，而美国主要是应用第2种室内剪切和拉拔试验方法，欧洲则主要应用扭剪和剪切试验方法，因为扭剪和剪切试验评价的是层间抗水平应力作用，这与实际路面破坏受力形式较为接近；而拉拔试验测定的是垂直荷载，与实际路面破坏受力形式不同，因此只是一个间接的评价方法。

考虑到我国工程应用，根据实践经验，本方法仅列出了拉拔强度和剪切强度两种试验方法。

层间黏结的评价方法和评价标准大部分采用剪切强度试验。该试验设备最早为1979年的德国Leutner剪切试验仪，目前欧美采用的试验仪器为Leutner改进版。



(英国改进版 Leutner 试验仪)

(德国、欧盟改进版 Leutner 试验仪)



(佛罗尼达州)



(阿拉巴马州)



(得克萨斯州)

来源	技术要求	试验条件
德国 FGSV 756/80、英国 HAS 标准 954、EN 12697-48、瑞士 SN 671961	德国： 表面层与联结层：0.85MPa 其他层位：0.68MPa 热铺薄层路面：1MPa 冷铺薄层路面：0.5MPa	温度：20℃±1℃； 试件直径 150 mm± 2mm；加载速率 50.0mm/min± 2mm/min
佛罗尼达、德州 TXDOT25、路易斯 安那、阿拉巴马、 西弗吉尼亚、 NCAT\AASHTO TP 114	西弗吉尼亚：0.69MPa NCAT：0.6MPa	温度：25℃± 0.5℃；试件直径 140 mm~152mm；加 载速率 50.0 mm/min±5mm/min

T 0678—201X 黏层油黏结强度试验(拉拔法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定和评价封层、黏层、透层及防水层(以下统称黏结层)与沥青混合料之间的层间黏结强度。

1.2 本方法适合现场钻芯试件进行室内试验。

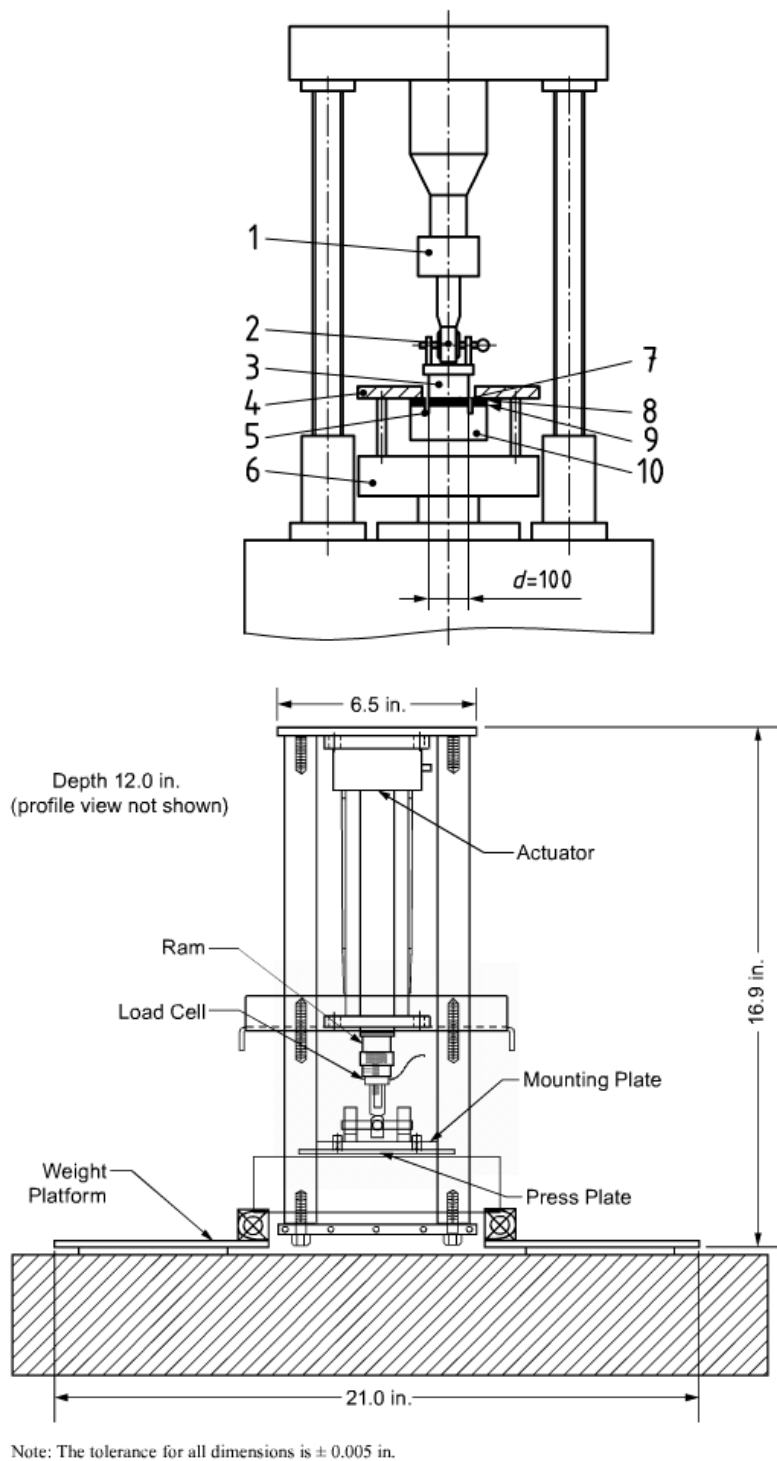
2 仪具与材料技术要求

2.2 拉伸仪(仅用于室内拉拔试验，以下简称拉拔仪)

2.2.1 拉伸仪主机：一般拉力机，匀速且不颤抖，最大荷载不小于 30kN；

2.2.2 拉头：黏结在测试路面或试件的表面，便于施加拉力；直径 $100 \pm 0.1\text{mm}$ ，厚度大于 25mm，钢质；

2.2.3 环形金属板：用于拉力机上升时限制拉头以下试件的上移，使得拉头与试件表面分离。内径 105mm，外径 300mm，厚度 25mm 以上，钢质；



1 荷载传感器, 2 联合件, 3 拉头, 4 环形金属板, 5 环槽, 6 支撑件, 7 黏结剂, 8 黏结层或微表处、超薄磨耗层, 9 黏结层或微表处、超薄磨耗层与下卧层黏结处, 10 下卧结构层

图 T 0985-1 室内拉拔试验用拉伸仪构造

2.4 温度计: 最小分辨率 0.1℃, 精度 0.5℃。

2.5 量尺: 钢尺, 游标卡尺等。

2.6 秒表: 精确至 1s。

2.8 黏结剂：将拉头等黏结在测试路面或试件表面，如快凝性环氧树脂等。

2.9 钻芯机：直径为 100mm 或 150mm 或 200mm。

2.10 其他：恒温箱、刮刀等。

3 拉拔试验方法与步骤

3.2.1 准备工作

(1) 在路面材料完全养生后，采用钻芯机现场钻取芯样。按照图 T 0985-4 进行钻芯，需要钻透下卧层，获取完整芯样，试件直径为 100mm（用于小拉拔仪）或 150mm（用于大拉拔仪）。

(2) 室内对钻取的试件进行表面清洗、干燥 24h，然后将拉头底部涂布一层黏结剂，并快速黏附在试件表面。待黏结剂涂布后应养生、完全固化。

(3) 采用游标卡尺实际测量试件的直径，准确至 0.1mm。

(4) 将拉拔仪和试件一起置于 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 德恒温箱中保温 4h 后进行下一步试验。当选择其他温度时，应在报告中注明。

(5) 每个位置需要钻取 3 个试件，每个钻芯位置间距不小于 200mm。

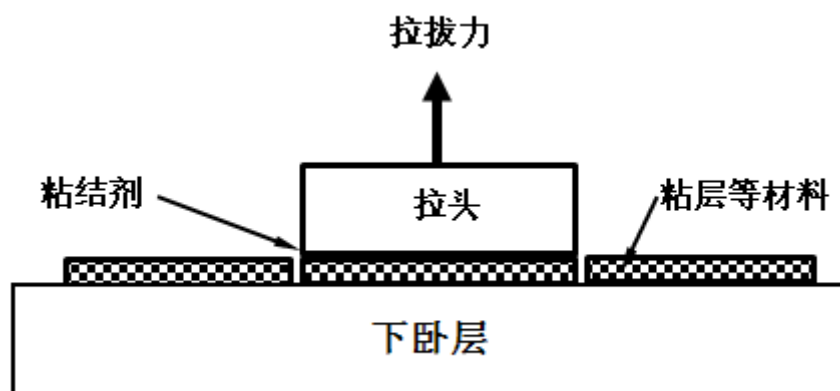


图 T 0985-4 结构层-黏结层层间黏结试验时拉头黏结示意图

3.2.2 试验步骤

(1) 整个试验从试件从环境箱中取出至试验结束需要在 2min 内完成。

(2) 安装好试件、拉拔试验仪，快速进行试验。

(3) 试验时开动拉拔仪进行拉拔测试。一般拉伸速率采用 $10\text{mm}/\text{min} \pm 2\text{mm}/\text{min}$ 。当选择其他拉拔速度，应在报告中注明。

(4) 试验拉断时，读取最大拉力 F 作为试验结果，准确至 0.1N。

(5) 试验拉断后注意观察断裂面情况，应在报告中详细注明。

6 计算

6.1 按实测的最大拉力和实测试件直径(或环槽内径、拉头直径)，按下式(T 0985-1)计算拉拔强度：

$$\tau_{TAT} = \frac{4 \times F}{3.14 \times D^2}$$

式中： τ_{TAT} —拉拔强度，MPa；

F—最大拉力，N；

D—实测试件直径(或环槽内径、拉头直径)，mm。

7 报告

7.1 对于同一位置，平行试验不得少于 3 个。

7.2 单个试件的试验结果，其允许误差不超过平均值的 20%。

7.3 报告中应记录以下但不限于以下参数

- 试验位置，包括工程名称、现场桩号及钻芯编号等情况；
- 描述材料和结构情况；
- 试验日期，时间；
- 单个试件的最大拉力，以及位移等；
- 计算的单个试件的拉拔强度、剪切强度及平均值等；
- 试件直径、拉头直径、环槽内径，测试温度，拉伸等速率等；
- 破坏时断面状况等。

7.4 观察断面破坏状况，判断破坏发生的位置：

- 在上结构层
- 部分在上结构层，部分在黏结层(混合位置)
- 在黏结层
- 部分在黏结层，部分在下卧层(混合位置)
- 断裂在下卧层
- 断裂部分或全部在黏结剂位置

如果是混合位置，则需要大致评估每个位置断面面积百分比，准确至 10%。

同时，观察记录断裂平面的状况，如光滑，平面，粗糙，不规则等。

条文说明

本试验方法参照 EN 12697-48 及 AASHTO TP 115 编写。

T 0679—201X 沥青中含磷试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测试沥青或沥青残留物中是否含有多磷酸（PPA），可在 0.1% 的低浓度条件下检测沥青中是否含有 PPA。

2 仪具与材料技术要求

2.1 一次性塑料移液器。

2.2 试管或小烧杯：50ml。

2.3 其他：酒石酸锑酸铵/钼酸铵溶液、硫酸溶液、抗坏血酸显色剂、丁醇 - 异丁醇 $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{OH}$] 或正丁醇 $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}]$ 。

3 试验准备

3.1 试验过程中为避免污染，建议使用一次性玻璃器皿。若重复使用玻璃器皿，必须用热盐酸（盐酸：蒸馏水=1：3）洗涤，并用蒸馏水冲洗干净。商用洗涤剂可能含有磷酸盐，不可用于清洁玻璃器皿，否则会影响试验结果。

3.2 酒石酸锑酸铵/钼酸铵溶液制备：将 0.13g 酒石酸锑钾水合物 $[\text{C}_8\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_{12}\text{Sb}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 溶于 50mL 蒸馏水中，加入 5.6g 钼酸铵 $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}]$ 搅拌至溶解。

3.3 将 50ml 酒石酸锑酸铵/钼酸铵溶液与 950 mL 的硫酸溶液混合均匀备用。

3.4 将 0.5g 抗坏血酸 $[\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6]$ 溶于 3.3 制备好的 100 毫升溶液中。根据试验需要每天制备新的试剂。

4 试验步骤

4.1 将加热至液体的沥青取 1-2g 倒入试管或小烧杯中后放入 $(163 \pm 10)^\circ\text{C}$ 烘箱中恒温 10 分钟。

4.2 从烘箱中取出烧杯，边搅拌边加入丁醇 2 mL，继续搅拌并加入 2 mL 蒸馏水。

4.3 一边搅拌一边加入 2mL 抗坏血酸显色剂。加入显色剂后，停止搅拌使样品静置 5 至 10 分钟。

4.4 若沥青中存在磷酸，5 至 10 分钟内会生成蓝色。

注：30 分钟后的结果并不准确，长时间静置之后颜色可能会褪色或增强。

4.5 若呈现蓝色，则试验报告为“阳性”否则为“阴性”。

注：若呈现蓝色则颜色位于底部的液相中，而顶层通常为棕色或绿色。

5 报告

试验结果应报告沥青样品鉴定完“阳性”或“阴性”。

条文说明

在沥青中添加磷酸可以改变沥青的物理性质。该试验方法用于检测沥青中是否存在磷酸，为非定量试验，结果为阳性或阴性。阳性试验结果假定磷来自 PPA。若 PPA 存在，任何含磷

添加剂都会产生假阳性。本方法主要参考 AASHTO TP 78 编写。

试验用试管或小烧杯在制造过程中可能会使用含磷酸盐的润滑剂对其进行润滑，因此即使试验中使用空的容器，也会出现阳性结果。若对容器状况存在疑问，可采取相应预防措施，在无沥青的条件下进行空白试验。

4 沥青混合料试验

T 0701—2011 沥青混合料取样法

1 目的与适用范围

本方法适用于在拌和厂及道路施工现场采集热拌沥青混合料或常温沥青混合料试样。供施工过程中的质量检验或在试验室测定沥青混合料的各项物理力学性质。所取的试样应有充分的代表性。

2 仪器与材料技术要求

2.1 铁锹。

2.2 手铲。

2.3 搪瓷盘或其它金属盛样容器、塑料编织袋。

2.4 温度计：分度为 1℃。宜采用有金属插杆的插入式数显温度计，金属插杆的长度不小于 150mm。量程 0℃～300℃。

2.5 其它：标签、溶剂(煤油)、棉纱等。

3 取样方法

3.1 取样数量

取样数量应符合下列要求：

3.1.1 试样数量由试验目的决定，宜不少于试验用量的 2 倍。一般情况下可按表 T 0701 取样。

平行试验应加倍取样。在现场取样直接装入试模成型时，也可等量取样。

表 T 0701 常用沥青混合料试验项目的样品数量

试验项目	目 的	最少试样量(kg)	取样量(kg)
马歇尔试验、抽提筛分	施工质量检验	12	20
车辙试验	高温稳定性检验	40	60
浸水马歇尔试验	水稳定性检验	12	20
冻融劈裂试验	水稳定性检验	12	20
弯曲试验	低温性能检验	15	25

3.1.2 取样材料用于仲裁试验时，取样数量除应满足本取样方法规定外，还应多取一份备用样，保留到仲裁结束。

3.2 取样方法

3.2.1 沥青混合料应随机取样，并具有充分的代表性。用以检查拌和质量(如油石比、矿料级配)为目的时，应从拌和机一次放料的下方或提升斗中取样，不得多次取样混合后使用。用以评定混合料质量为目的时，必须分几次取样，拌和均匀后作为代表性试样。

3.2.2 热拌沥青混合料在不同地方取样的要求

1) 在沥青混合料拌和厂取样

在拌和厂取样时，宜用专用的容器(一次可装 5kg~8kg)装在拌和机卸料斗下方(图 0701-1)，每放一次料取一次样，顺次装入试样容器中，每次倒在清扫干净的平板上，连续几次取样，混合均匀，按四分法取样至足够数量。

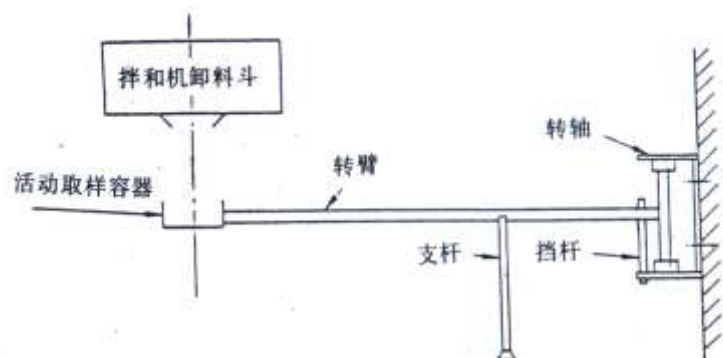


图 0701-1 装在拌和机上的沥青混合料取样装置

2) 在沥青混合料运料车上取样

在运料汽车上取沥青混合料样品时，宜在汽车装料一半后，分别用铁锹从不同方向的 3 个不同高度处取样，然后混在一起用手铲适当拌和均匀，取出规定数量。在施工现场的运料车上取样时，应在卸料一半后从不同方向取样，样品宜从 3 辆不同的车上取样混合使用。

注意：在运料车上取样时不得仅从满载的运料车车顶上取样，且不允许只在一辆车上取样。

3) 在道路施工现场取样

在施工现场取样时，应在摊铺后未碾压前，摊铺宽度两侧的 $1/2 \sim 1/3$ 位置处取样，用铁锹取该摊铺层的料。每摊铺一车料取一次样，连续 3 车取样后，混

合均匀按四分法取样至足够数量。

3.2.3 热拌沥青混合料每次取样时，都必须用温度计测量温度，准确至 1℃。

3.2.4 乳化沥青常温混合料试样的取样方法与热拌沥青混合料相同，但宜在乳化沥青破乳水分蒸发后装袋，对袋装常温沥青混合料亦可直接从储存的混合料中随机取样。取样袋数不少于 3 袋，使用时将 3 袋混合料倒出作适当拌和，按四分法取出规定数量试样。

3.2.5 液体沥青常温沥青混合料的取样方法同上，当用汽油稀释时，必须在溶剂挥发后方可封袋保存。当用煤油或柴油稀释时，可在取样后即装袋保存，保存时应特别注意防火安全。

3.2.6 从碾压成型的路面上取样时，应随机选取 3 个以上不同地点，钻孔、切割或刨取该层混合料。需重新制作试件时，应加热拌匀按四分法取样至足够数量。

3.3 试样的保存与处理

3.3.1 热拌热铺的沥青混合料试样需送至中心试验室或质量检测机构作质量评定时(如车辙试验)，由于二次加热会影响试验结果，必须在取样后趁高温立即装入保温桶内，送到试验室后立即成型试件，试件成型温度不得低于规定要求。

3.3.2 热混合料需要存放时，可在温度下降至 60℃后装入塑料编织袋内，扎紧袋口，并宜低温保存，应防止潮湿、淋雨等，且时间不宜太长。

3.3.3 在进行沥青混合料质量检验或进行物理力学性质试验时，当采集的试样温度下降或结成硬块不符合温度要求时，宜用微波炉或烘箱加热至符合压实的温度，通常加热时间不宜超过 4h，且只容许加热一次，不得重复加热。不得用电炉或燃气炉明火局部加热。

4 样品的标记

4.1 取样后当场试验时，可将必要的项目一并记录在试验记录报告上。此时，试验报告必须包括取样时间、地点、混合料温度、取样数量、取样人等栏目。

4.2 取样后转送试验室试验或存放后用于其它项目试验时应附有样品标签，标签应记载下列内容：

4.2.1 工程名称、拌和厂名称。

4.2.2 沥青混合料种类及摊铺层次、沥青品种、标号、矿料种类、取样时混合

料温度及取样位置或用以摊铺的路段桩号等。

4.2.3 试样数量及试样单位。

4.2.4 取样人，取样日期。

4.2.5 取样目的或用途。

条文说明

沥青混合料的取样与试验结果有很重要的关系。随着公路建设的发展，质量管理和检查的要求越来越高，此方法是为满足生产上的迫切需要，参照 ASTM D 979、AASHTO T 168、BS 598 及日本道路协会铺装试验法便览混合料的取样法，根据我国生产实际情况制定的。

关于混合料取样的地点，ASTM 规定有从拌和厂、运料卡车、传送带上、路面松铺料及压实路面中取样。日本仅规定在拌和厂及运料卡车上取样。英国 BS 598 Part 100—1987 规定在拌和机卸料口下方挂一个 8kg 样品容器取样，根据我国实际情况，本方法规定了在拌和厂、运料车及施工现场取样。

本次修订对温度计要求宜采用有金属插杆的插入式数显温度计。对取样试样的数量取消了原来按细粒式、粗粒式、特粗粒式等分类的取样方法，要求应该根据取样目的和试验的需要确定取样数量。本试验方法中的取样数量仅作为参考。实际上这个数量的试样供试验往往是不够的。对沥青混合料取样后应该立即使用，工地试验室取样进行马歇尔试验质量检验应该立即击实成型，制件过程中余下的试样应放在烘箱中保温，防止温度下降影响击实效果。

T 0702—2011 沥青混合料试件制作方法(击实法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于标准击实法或大型击实法制作沥青混合料试件，以供试验室进行沥青混合料物理力学性质试验使用。

1.2 标准击实法适用于标准马歇尔试验，间接抗拉试验(劈裂法)等所使用 ϕ 101.6mm×63.5mm 圆柱体试件的成型。大型击实法适用于大型马歇尔试验和 ϕ 152.4mm×95.3mm 的大型圆柱体试件的成型。

1.3 沥青混合料试件制作时的条件及试件数量应符合下列规定：

1.3.1 当集料公称最大粒径小于或等于 26.5mm 时，采用标准击实法一组试件的

数量不少于 4 个。

1.3.2 当集料公称最大粒径大于 26.5mm 时，宜采用大型击实法。一组试件数量不少于 6 个。

2 仪器与材料技术要求

2.1 自动击实仪：击实仪应具有自动记数、控制仪表、按钮设置、复位及暂停等功能。按其用途分为以下两种：

2.1.1 标准击实仪：由击实锤， $\phi 98.5\text{mm}$ 平圆形压实头及带手柄的导向棒组成。用机械将压实锤提升，至 $457.2\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ 高度沿导向棒自由落下连续击实，标准击实锤质量 $4536\text{g} \pm 9\text{g}$ 。

2.1.2 大型击实仪：由击实锤， $\phi 149.5\text{mm}$ 平圆形压实头及带手柄的导向棒组成。用机械将压实锤提升，至 $457.2\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ 高度沿导向棒自由落下击实，大型击实锤质量 $10210\text{g} \pm 10\text{g}$ 。

2.2 试验室用沥青混合料拌和机：能保证拌和温度并充分拌和均匀，可控制拌和时间，容量不小于 10L，如图 T 0702-1 所示。搅拌叶自转速度 $70\text{r/min} \sim 80\text{r/min}$ ，公转速度 $40\text{r/min} \sim 50\text{r/min}$ 。

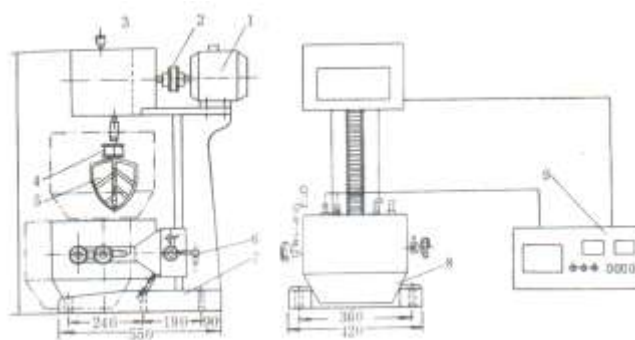


图 T 0702-1 试验室用沥青混合料拌和机

1-电机；2-联轴器；3-变速箱；4-弹簧；5-搅拌叶片；6-升降手柄；7-底座；8-加热拌和锅；9-温度时间控制仪

2.3 试模：由高碳钢或工具钢制成，几何尺寸如下：

2.3.1 标准击实仪试模的内径为 $101.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，高 87mm 的圆柱形金属筒、底座(直径约 120.6mm)、套筒内径 104.8mm、高 70mm。

2.3.2 大型击实仪的试模与套筒尺寸如图 T 0702-2 所示。套筒外径 165.1mm，

内径 $155.6\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ ，总高 83mm 。试模内径 $152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，总高 115mm ，底座板厚 12.7mm ，直径 172mm 。

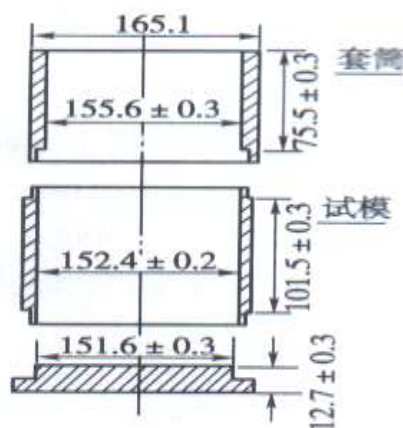


图 T 0702-2 大型圆柱体试件的试模与套筒

2.4 脱模器：电动或手动，应无破损地推出圆柱体试件，备有标准试件及大型试件尺寸的推出环。

2.5 烘箱：大、中型各一台，应有温度调节器。

2.6 天平或电子秤：用于称量沥青的，感量不大于 0.1g 。用于称量矿料的，感量不大于 0.5g 。

2.7 布洛克菲尔德黏度计。

2.8 插刀或大螺丝刀。

2.9 温度计：分度为 1°C 。宜采用有金属插杆的插入式数显温度计。金属插杆的长度不小于 150mm 。量程 $0^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

2.10 其它：电炉或煤气炉、沥青熔化锅、拌和铲、标准筛、滤纸(或普通纸)、胶布、卡尺、秒表、粉笔、棉纱等。

3 准备工作

3.1 确定制作沥青混合料试件的拌和温度与压实温度。

3.1.1 按本规程测定沥青的黏度，绘制黏温曲线。按表 T 0702-1 的要求确定适宜于沥青混合料拌和及压实的等黏温度。

3.1.2 当缺乏沥青黏度测定条件时，试件的拌和与压实温度可按表 T 0702-2 选用，并根据沥青品种和标号作适当调整。针入度小、稠度大的沥青取高限，针

入度大、稠度小的沥青取低限，一般取中值。

3.1.3 对改性沥青，应根据实践经验、改性剂的品种和用量，适当提高混合料的拌和和压实温度，对大部分聚合物改性沥青，通常在普通沥青的基础上提高 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，掺加纤维时，尚需再提高 10°C 左右。

表 T 0702-1 沥青混合料拌和及压实的沥青等黏温度

沥青结合料种类	黏度与测定方法	适宜于拌和的沥青结合料黏度	适宜于压实的沥青结合料黏度
石油沥青	表观黏度，T 0625	$(0.17 \pm 0.02)\text{Pa s}$	$(0.28 \pm 0.03)\text{Pa s}$

注：液体沥青混合料的压实成型温度按石油沥青要求执行。

表 T 0702-2 沥青混合料拌和及压实温度参考表

沥青结合料种类	拌和温度($^{\circ}\text{C}$)	压实温度($^{\circ}\text{C}$)
石油沥青	140~160	120~150
改性沥青	160~175	140~170

3.1.4 常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

3.2 沥青混合料试件的制作条件

3.2.1 在拌和厂或施工现场采取沥青混合料制作试样时，按本规程 T 0701 的方法取样，将试样置于烘箱中加热或保温，在混合料中插入温度计测量温度，待混合料温度符合要求后成型。需要拌和时可倒入已加热的室内沥青混合料拌和机中适当拌和，时间不超过 1min。不得在电炉或明火上加热炒拌。

3.2.2 在试验室人工配制沥青混合料时，试件的制作按下列步骤进行：

1) 将各种规格的矿料置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重(一般不少于 4h~6h)。

2) 将烘干分级的粗、细集料，按每个试件设计级配要求称其质量，在一金属盘中混合均匀，矿粉单独放入小盆里，然后置烘箱中加热至沥青拌和温度以上约 15°C (采用石油沥青时通常为 163°C ；采用改性沥青时通常需 180°C) 备用。一般按一组试件(每组 4~6 个)备料，但进行配合比设计时宜对每个试件分别备料。常温沥青混合料的矿料不应加热。

3) 将按本规程 T 0601 采取的沥青试样, 用烘箱加热至规定的沥青混合料拌和温度, 但不得超过 175℃。当不得已采用燃气炉或电炉直接加热进行脱水时, 必须使用石棉垫隔开。

4 拌制沥青混合料

4.1 黏稠石油沥青混合料

4.1.1 用沾有少许黄油的棉纱擦净试模、套筒及击实座等, 置 100℃左右烘箱中加热 1h 备用。常温沥青混合料用试模不加热。

4.1.2 将沥青混合料拌和机提前预热至拌和温度 10℃左右。

4.1.3 将加热的粗细集料置于拌和机中, 用小铲子适当混合, 然后加入需要数量的沥青(如沥青已称量在一专用容器内时, 可在倒掉沥青后用一部分热矿粉将沾在容器壁上的沥青擦拭一起倒入拌和锅中), 开动拌和机一边搅拌一边使拌和叶片插入混合料中拌和 1min~1.5min, 然后暂停拌和, 加入加热的矿粉, 继续拌和至均匀为止, 并使沥青混合料保持在要求的拌和温度范围内。标准的总拌和时间为 3min。

4.2 液体石油沥青混合料: 将每组(或每个)试件的矿料置已加热至 55℃~100℃的沥青混合料拌和机中, 注入要求数量的液体沥青, 并将混合料边加热边拌和, 使液体沥青中的溶剂挥发至 50%以下。拌和时间应事先试拌决定。

4.3 乳化沥青混合料: 将每个试件的粗细集料, 置于沥青混合料拌和机(不加热, 也可用人工炒拌)中, 注入计算的用水量(阴离子乳化沥青不加水)后, 拌和均匀并使矿料表面完全湿润, 再注入设计的沥青乳液用量, 在 1min 内使混合料拌匀, 然后加入矿粉后迅速拌和, 使混合料拌成褐色为止。

5 成型方法

5.1 击实法的成型步骤如下:

5.1.1 将拌好的沥青混合料, 用小铲适当拌和均匀, 称取一个试件所需的用量(标准马歇尔试件约 1200g, 大型马歇尔试件约 4050g)。当已知沥青混合料的密度时, 可根据试件的标准尺寸计算并乘以 1.03 得到要求的混合料数量。当一次拌和几个试件时, 宜将其倒入经预热的金属盘中, 用小铲适当拌和均匀分成几份, 分别取用。在试件制作过程中, 为防止混合料温度下降, 应连盘放在烘箱中保温。

5.1.2 从烘箱中取出预热的试模及套筒, 用沾有少许黄油的棉纱擦拭套筒、

底座及击实锤底面，将试模装在底座上，放一张圆形的吸油性小的纸，用小铲将混合料铲入试模中，用插刀或大螺丝刀沿周边插捣 15 次，中间捣 10 次。插捣后将沥青混合料表面整平。对大型击实法的试件，混合料分两次加入，每次插捣次数同上。

5.1.3 插入温度计至混合料中心附近，检查混合料温度。

5.1.4 待混合料温度符合要求的压实温度后，将试模连同底座一起放在击实台上固定，在装好的混合料上面垫一张吸油性小的圆纸，再将装有击实锤及导向棒的压实头放入试模中，开启电机，使击实锤从 457mm 的高度自由落下到击实规定的次数(75、或 50 次)。对大型试件，击实次数为 75 次(相应于标准击实的 50 次)或 112 次(相应于标准击实 75 次)。

5.1.5 试件击实一面后，取下套筒，将试模翻面，装上套筒，然后以同样的方法和次数击实另一面。

乳化沥青混合料试件在两面击实后，将一组试件在室温下横向放置 24h；另一组试件置温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中养生 24h。将养生试件取出后再立即两面锤击各 25 次。

5.1.6 试件击实结束后，立即用镊子取掉上下面的纸，用卡尺量取试件离试模上口的高度并由此计算试件高度，如高度不符合要求时，试件应作废，并按式 T0702 调整试件的混合料质量，以保证高度符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ (标准试件)或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ (大型试件)的要求。

$$\text{调整后混合料质量} = \frac{\text{要求试件高度} \times \text{原用混合料质量}}{\text{所得试件的高度}} \quad (\text{T 0702})$$

5.2 卸去套筒和底座，将装有试件的试模横向放置冷却至室温后(不少于 12h)，置脱模机上脱出试件。用于本规程 T 0709 作现场马歇尔指标检验的试件，在施工质量检验过程中如急需试验，允许采用电风扇吹冷 1h 或浸水冷却 3min 以上的方法脱模，但浸水脱模法不能用于测量密度、空隙率等各项物理指标。

5.3 将试件仔细置于干燥洁净的平面上，供试验用。

条文说明

本方法参照 ASTM D 5581-96 进行了修订。在原试验规程规定对超过 26.5mm 的大粒径集料采用等量替代法制作试件，由于把超过 26.5mm 大粒径的料筛去用小一档的料替代，最后

得到的指标参数与实际工程是不符的。要求当集料公称最大粒径大于 26.5mm 时, 考虑试件的均匀性, 要求宜采用大型击实法。近年来, 随着大粒径沥青混合料的应用越来越多, 将 ASTM D 5581-96 “大型试模的马歇尔稳定度试验方法” 定为标准试验方法很有必要, 如日本的方法与 ASTM D 5581 的方法完全相同。由于有了国内外的实践和经验, 及时将其定为标准方法是适宜的, 它有利于我国的研究和工程的使用, 也有利于与国际上一致。因此, 本次修订时取消了替代法。

在试件成型方法中, 原规程中有人工击实与击实仪击实两种方法。人工击实法人为误差太大, 显然已经落后, 根据 ASTM 技术委员会规定, D 1559 已从 1998 年 12 月取消。在 ASTM D5581 里面就没有人工击实。MS—22 等施工规范中也采用机械击实, 日本试验法推荐采用机械击实, 其它国家不规定用何种方法, 但实际都采用机械击实。本次修订去掉了手工击实的方法, 均采用自动击实仪。

关于改性沥青的拌和及压实温度确定, 目前国际上还没有统一的方法, 都在进行相关研究。根据实践经验, 对聚合物改性沥青, 按黏温曲线确定的等黏温度往往偏高, 甚至超过 200℃, 所以用此方法确定改性沥青混合料的拌和及压实温度不太合适, 因此本次修订将改性沥青排除。对确定拌和与压实温度黏度的测定方法, 根据 ASTM D4402 及 AASHTO T316 现在基本上都统一采用布氏旋转黏度方法测定沥青的黏度, 鉴于运动黏度及赛波特黏度确定拌和及压实温度在我国几乎都不用, 所以本次修订取消了用这两种方法测定黏度确定沥青混合料的拌和及压实温度。

T 0703—2011 沥青混合料试件制作方法(轮碾法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法规定了在试验室用轮碾法制作沥青混合料试件的方法, 以供进行沥青混合料物理力学性质试验时使用。(与法式轮碾合并)

1.2 轮碾法适用于长 300mm×宽 300mm×厚 50mm 或长 300mm×宽 300mm×厚 100mm 板块状试件的成型, 此试件可用切割机切制成棱柱体试件, 或在试验室用取芯机钻取试样, 成型试件的密度应符合马歇尔标准击实试样密度 100%±1%的要求。

1.3 沥青混合料试件制作时的试件厚度可根据集料粒径大小及工程需要进行选择, 对于集料公称最大粒径≤19mm 的沥青混合料, 宜采用长 300 mm×宽 300

mm×厚 50mm 的板块试模成型；对于集料公称最大粒径 ≥ 26.5 mm 的沥青混合料，宜采用长 300 mm×宽 300 mm×厚 100mm 的板块试模成型。

2 仪器与材料技术要求

2.1 轮碾成型机：轮碾成型机如图 T 0703-1 所示，它具有与钢筒式压路机相似的圆弧形碾压轮，轮宽 300mm，压实线荷载为 300N/cm，碾压行程等于试件长度，经碾压后的板块状试件可达到马歇尔试验标准击实密度的 100% $\pm$ 1%。



T0703-1 轮碾成型机

2.2 试验室用沥青混合料拌和机：能保证拌和温度并充分拌和均匀，可控制拌和时间，宜采用容量大于 30L 的大型沥青混合料拌和机，也可采用容量大于 10L 的小型拌和机。

2.3 试模：由高碳钢或工具钢制成，试模尺寸应保证成型后符合要求试件尺寸的规定。试验室制作车辙试验板块状试件的标准试模如图 T 0703-2。内部平面尺寸为长 300mm×宽 300mm×厚 50mm（或厚 100mm）。

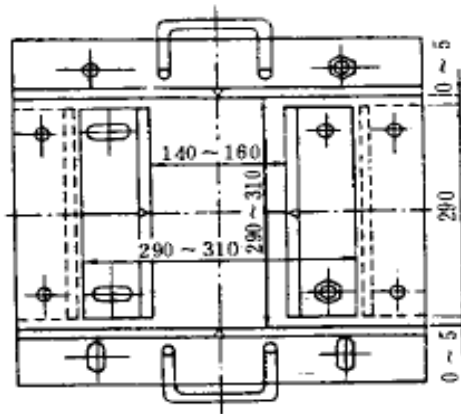


图 T 0703—2 车辙试验试模 (单位: mm)

2.4 切割机: 试验室用金刚石锯片锯石机(单锯片或双锯片切割机)或现场用路面切割机, 有淋水冷却装置, 其切割厚度不小于试件厚度。

2.5 钻孔取芯机: 用电力或汽油机、柴油机驱动, 有淋水冷却装置。金刚石钻头的直径根据试件直径的大小选择(100mm 或 150mm)。钻孔深度不小于试件厚度, 钻头转速不小于 1000r/min。

2.6 烘箱: 大、中型各一台, 装有温度调节器。

2.7 台秤、天平或电子秤: 称量 5kg 以上的, 感量不大于 1g; 称量 5kg 以下时, 用于称量矿料的感量不大于 0.5g, 用于称量沥青的感量不大于 0.1g。

2.8 沥青黏度测定设备: 布洛克菲尔德黏度计、真空减压毛细管法。

2.9 小型击实锤: 钢制端部断面 80mm×80mm, 厚 10mm, 带手柄, 总质量 0.5kg 左右。

2.10 温度计: 分度为 1℃。宜采用有金属插杆的插入式数显温度计, 金属插杆的长度不小于 150mm, 量程 0℃~300℃。

2.11 其它: 电炉或煤气炉、沥青熔化锅、拌和铲、标准筛、滤纸、胶布、卡尺、秒表、粉笔、垫木、棉纱等。

3 准备工作

3.1 按本规程 T 0702 的方法决定制作沥青混合料试件的拌和与压实温度。常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

3.2 按本规程 T 0701 在拌和厂或施工现场采取代表性的沥青混合料, 如混合料温度符合要求, 可直接用于成型。在试验室人工配制沥青混合料时, 按本规程 T 0702 的方法准备矿料及沥青, 常温沥青混合料的矿料不加热。

3.3 将金属试模及小型击实锤等置 100℃左右烘箱中加热 1h 备用。常温沥青混合料用试模不加热。

3.4 按本规程 T 0702 的方法拌制沥青混合料，当采用大容量沥青混合料拌和机时宜一次拌和，当采用小型混合料拌和机时，可分两次拌和。混合料质量及各种材料数量由试件的体积按马歇尔标准密度乘以 1.03 的系数求得。常温沥青混合料的矿料不加热。

4 轮碾成型方法

4.1 在试验室用轮碾成型机制备试件

试件尺寸可为长 300mm×宽 300mm×厚 50mm 或长 300 mm×宽 300 mm×厚 100mm。试件的厚度可根据集料粒径大小选择。同时根据需要厚度也可以采用其他尺寸。但混合料一层碾压的厚度不得超过 100mm。

4.1.1 将预热的试模从烘箱中取出，装上试模框架，在试模中铺一张裁好的普通纸(可用报纸)，使底面及侧面均被纸隔离，将拌和好的全部沥青混合料(注意不得散失，分两次拌和的应倒在一起)，用小铲稍加拌和后均匀地沿试模由边至中按顺序转圈装入试模，中部要略高于四周。

4.1.2 取下试模框架，用预热的小型击实锤由边至中转圈夯实一遍，整平成凸圆弧形。

4.1.3 插入温度计，待混合料达到本规程 T 0702 规定的压实温度(为使冷却均匀，试模底下可用垫木支起)时，在表面铺一张裁好尺寸的普通纸。

4.1.4 成型前将碾压轮预热至 100℃左右。然后，将盛有沥青混合料的试模置于轮碾机的平台上，轻轻放下碾压轮，调整总荷载为 9kN(线荷载 300N/cm)。

4.1.5 启动轮碾机，先在一个方向碾压 2 个往返(4 次)，卸荷，再抬起碾压轮，将试件调转方向，再加相同荷载碾压至马歇尔标准密实度 100%±1%为止。试件正式压实前，应经试压，测定密度后，确定试件的碾压次数。对普通沥青混合料，一般 12 个往返(24 次)左右可达要求(试件厚为 50mm)。

4.1.6 压实成型后，揭去表面的纸，用粉笔在试件表面标明碾压方向。

4.1.7 盛有压实试件的试模，置室温下冷却，至少 12h 后方可脱模。

4.2 在工地制备试件

4.2.1 按本规程 T 0701 采取代表性的沥青混合料样品，数量需多于 3 个试件的需要量。

4.2.2 按试验室方法称取一个试样混合料数量装入符合要求尺寸的试模中，用小锤均匀击实。试模应不妨碍碾压成型。

4.2.3 碾压成型：在工地上，可用小型振动压路机或其它适宜的压路机碾压，在规定的压实温度下，每一遍碾压 3s~4s，约 25 次往返，使沥青混合料压实密度达到马歇尔标准密度 $100\% \pm 1\%$ 。

4.2.4 如将工地取样的沥青混合料送往试验室成型时，混合料必须放在保温桶内，不使温度下降，且在抵达试验室后立即成型，如温度低于要求可适当加热至压实温度后，用轮碾成型机成型。如属于完全冷却后经二次加热重塑成型的试件，必须在试验报告上注明。

5 用切割机切制棱柱体试件

试验室用切割机切制棱柱体试件的步骤如下：

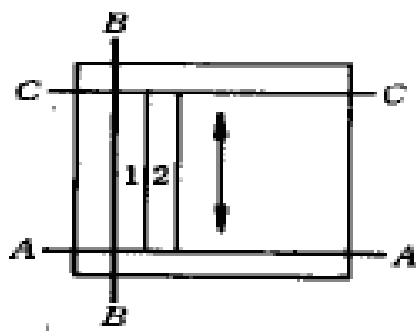


图 T 0703—3 切割棱柱体试件的顺序

5.1 按试验要求的试件尺寸，在轮碾成型的板块状试件表面规划切割试件的数目，但边缘 20mm 部分不得使用。

5.2 切割顺序如图 T 0703-3 所示，首先在与轮碾法成型垂直的方向，沿 A-A 切割第 1 刀作为基准面，再在垂直的 B-B 方向切割第 2 刀，精确量取试件长度后切割 C-C，使 A-A 及 C-C 切下的部分大至相等。使用金刚石锯片切割时，一定要开放冷却水。

5.3 仔细量取试件切割位置，按图顺碾压方向(B-B 方向)切割试件，使试件宽度符合要求。锯下的试件应按顺序放在平玻璃板上排列整齐，然后再切割试件的底面及表面。将切割好的试件立即编号，供弯曲试验用的试件应用胶布贴上标记，保持轮碾机成型时的上下位置，直至弯曲试验时上下方向始终保持不变，试件的

尺寸应符合各项试验的规格要求。

5.4 将完全切割好的试件放在玻璃板上，试件之间留有 10mm 以上的间隙，试件下垫一层滤纸，并经常挪动位置，使其完全风干。如急需使用，可用电风扇或冷风机吹干，每隔 1h~2h，挪动试件一次，使试件加速风干，风干时间宜不小于 24h。在风干过程中，试件的上下方向及排序不能排错。

6 用钻芯法钻取圆柱体试件

6.1 在试验室用取芯机从板块状试件钻取圆柱体试件的步骤如下：

6.1.1 将轮碾成型机成型的板块状试件脱模，成型的试件厚度应不小于圆柱体试件的厚度。

6.1.2 在试件上方作出取样位置标记，板块状试件边缘部分的 20mm 内不得使用。根据需要，可选用直径 100mm 或 150mm 的金刚石钻头。

6.1.3 将板块状试件置于钻机平台上固定，钻头对准取样位置。开放冷却水，开动钻机，均匀地钻透试块。为保护钻头，在试块下可垫上木板等。

6.1.4 提起钻机，取出试件。

6.1.5 按上述方法将试件吹干备用。

6.2 根据需要，可再用切割机切去钻芯试件的一端或两端，达到要求的高度，但必须保证端面与试件轴线垂直且保持上下平行。

条文说明

轮碾成型机在英国、法国、日本、美国、澳大利亚及许多国家广泛使用。碾轮有刚性轮及充气轮胎两种，其型号与压力等并不相同，因此不能互换，进口轮碾成型机的单位应该注意。国内研制轮碾机的单位基本上都是根据从日本引进的样机生产的，碾轮即为实际的刚性碾的一部分。本试验法对其圆弧半径、荷重、行程都作了规定。

对轮碾法成型试件方法基本上是参照日本道路协会铺装试验法便览并根据我国实际情况制定的。我国生产的轮碾成型机一般均可制作长 300mm×宽 300mm×厚 50mm 或长 300mm×宽 300mm×厚 100mm 板块状试件的成型，试件的厚度可根据集料粒径大小选择。同时根据需要厚度也可以采用其他尺寸。考虑到目前我国沥青面层都比较厚，沥青稳定碎石及大粒径沥青碎石也在大面积的使用，故本次修订去掉了长 300mm×宽 300mm×厚 40mm 的试件，明确了针对集料公称最大粒径选用成型试模，以更加符合实际情况。

本次修订强调对碾压成型次数应经试压，测定密度后，确定碾压次数。对普通沥青混合料厚 50mm 试件可按照规程的要求成型次数进行，但对大于 50mm 的试件碾压成型次数必须通

过试验确定。对 S 型嵌挤密实型混合料、SMA 混合料以及改性沥青、高黏度沥青或其他改性材料的混合料碾压成型次数也必须通过试验确定成型次数。因为对不同的级配碾压特性是不一样的，因此碾压次数也不一样；同时对不同的沥青材料、改性剂和不同的掺加剂量，它们的黏度是不一样的，所以成型温度及碾压次数也会不一样。表 T 0703 是不同改性剂碾压次数与混合料密度的一个示例情况，由表中数据可见，对改性沥青类的材料碾压 24 次钻芯后密度达不到马歇尔标准击实试件密度 $100\% \pm 1\%$ 的要求，因此要求碾压次数应通过试碾压测定密度后再确定。

表 T 0703 不同改性剂碾压次数沥青混合料密度的情况

材料品种	马歇尔击实试件 密度	钻芯试件 密度	成型条件
SBS 改性沥青	2.432	2.395	碾压 24 次（12 个往返） (试模 300mm×300mm×50mm)
抗车辙剂	2.430	2.390	
岩沥青	2.413	2.362	
湖沥青	2.413	2.351	
SBS 改性沥青	2.432	2.428	碾压 36 次（18 个往返） (试模 300mm×300mm×50mm)
抗车辙剂	2.430	2.426	
岩沥青	2.413	2.408	
湖沥青	2.413	2.405	
SBS 改性沥青	2.428	2.422	碾压 48 次（24 个往返） (试模 300mm×300mm×50mm)
抗车辙剂	2.423	2.420	
岩沥青	2.413	2.405	
湖沥青	2.413	2.402	

关于成型试件的密度要求达到马歇尔标准密度的 100%，有的意见认为按照实际情况，试件应该在压实度 96% 的情况下进行碾压（空隙率 7.84%），或者采用 $7\% \pm 1\%$ 空隙率标准来成型试件，这样比较符合路面通车初期情况。实际上各国规范规定的车辙成型试件的标准密度差异很大。如美国 AASHTO T324-04 对于汉堡车辙试验规定空隙率为 $7\% \pm 2\%$ ，在 AASHTO TP63-07 中规定 APA 为 $7\% \pm 0.5\%$ ，但是值得注意的是，TP63-07 在其附录中指出：“采用 $7\% \pm 0.5\%$ ，并不是因为在这个空隙率条件下车辙试验结果与沥青混合料现场性能具有更好的相关性，而是因为美国很多单位习惯采用这个空隙率成型试件。另外也有不少单位采用 $4\% \pm 1\%$ （旋转压实试件）或 $5\% \pm 1\%$ （振动成型试件，美国的振动成型达不到 4% 空隙率）空隙率标准。根据 NCHRP 9-17 研究结果表明，采用空隙率 $4\% \pm 1\%$ 较 $7\% \pm 1\%$ 空隙率的车辙结果更能够与现场性能相吻合，因此建议也可以按照 $4\% \pm 0.5\%$ （旋转压实试件）或 $5\% \pm 0.5\%$ （振动成型试件）来作为成型试件的标准”。美国各州实际应用也各不一样，有的州采用 6%

±2%，也有采用标准密度的 100%。

澳大利亚一般采用轮碾成型试件，空隙率标准为 5%±1%，即配合比设计空隙率范围。日本采用标准密度的 100%±1%。

欧盟规范 BS EN 12697-22:2003 规定一般采用轮碾成型或者振动成型，对于空隙率标准没有明确规定，实际应用都按照设计目标空隙率范围控制。

在同一个设计体系中只能采用一个标准方法，而且相应的技术标准必须与试验条件相对应，由于我国目前沥青混合料技术标准是采用目标配合比的设计空隙率，即标准马歇尔密度的 100%±1%，改变密度标准，将会影响动稳定技术指标。大量试验结果证明空隙率对车辙试验结果影响很大，降低密度后，如果仍然在 60℃和 0.7MPa 条件下进行车辙试验，车辙试验时的变形将非常大，动稳定度会很小，因为最佳油石比及矿料级配是在马歇尔标准密度的情况下得到的。所以混合料成型按空隙率 7%±1%控制标准是太不合适的。我国在这方面也做了许多工作，比如对 S 型嵌挤密实型混合料、改性沥青混合料不增加碾压遍数动稳定动就达不到要求，增加碾压遍数动稳定就能达到要求。所以在确定试验方法时要考虑它的实用性，它是具体为工程服务的，即要合理又要便于操作。

圆柱体试件除用搓揉法、振动成型、静压法制取外，国外也采用从轮碾机成型的板块状试件钻取圆柱体的办法，且使用者越来越多，本试验法对此也作了规定。

T 0704—2011 沥青混合料试件制作方法(静压法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法规定用静压法制作沥青混合料试件的方法，以供在试验室进行沥青混合料物理力学性质试验。

1.2 凡采用静压法制作的试件，有条件时均可用振动压实或搓揉成型设备代替，成型试件以密度达到马歇尔标准击实试件密度 100%±1%控制。

1.3 沥青混合料试件制作时的试件尺寸应符合试件直径不小于集料最大粒径的 4 倍，试件厚度不小于集料最大粒径的 1~1.5 倍的规定，其矿料规格及试件数量应符合本规程 T 0702 的规定。

2 仪器与材料技术要求

2.1 压力机或带压力表的千斤顶：不小于 300kN。

2.2 试验室用沥青混合料拌和机：能保证拌和温度并充分拌和均匀，可控制拌

和时间，拌和机的容量为 10L(小型)或 30L(大型)。

2.3 电动脱模器：需无破损地推出圆柱体试件，并备有相应尺寸的推出环。

2.4 各种试模：包括压头，每种至少 3 组，由高碳钢或工具钢制成，试模尺寸应保证成型后符合要求试件尺寸的规定。

2.4.1 抗压试验圆柱体试模：采用 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的试件尺寸时，试模内径与试件直径相同，试模高 180mm，上下压头直径 100mm，上压头高 50mm，下压头高 90mm。

2.4.2 三轴试验圆柱体试模：采用 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 的试件尺寸时，内径与试件直径相同，试模高 300mm，上下压头直径 100mm，上压头高 50mm，下压头高 90mm，试模也可由一个分成两半的内套和一个圆柱形外套组成。

2.5 烘箱：大、中型各一台，装有温度调节器。

2.6 台秤、天平或电子秤：称量 5kg 以上的感量不大于 1g；称量 5kg 以下时，用于称量矿料的感量不大于 0.5g，用于称量沥青的感量不大于 0.1g。

2.7 插刀或大螺丝刀。

2.8 垫块。

2.9 温度计：分度为 1°C 。宜采用有金属插杆的插入式数显温度计，金属插杆的长度不小于 150mm，量程 $0^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

2.10 其它：电炉或煤气炉、沥青熔化锅、拌和铲、标准筛、胶布、卡尺、秒表、粉笔、棉纱等。

3 准备工作

3.1 按本规程 T 0702 的方法确定制作沥青混合料试件的拌和与压实温度。常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

3.2 按本规程 T 0701 在拌和厂或施工现场采集沥青混合料试样。如混合料温度符合要求，可直接用于成型。在试验室人工配制沥青混合料时，按本规程 T 0702 的方法准备矿料及沥青并加热备用。常温沥青混合料的矿料不加热。

3.3 将金属试模及压头等置 100°C 左右烘箱中加热 1h 备用。常温沥青混合料用试模不加热。

3.4 按本规程 T 0702 的方法拌制沥青混合料，数量略多于试件质量需要。插入温度计检测温度。待温度符合成型温度时用于装模。

4 成型方法

4.1 按试件要求尺寸,准确称取混合料数量,应为1个试件的体积与马歇尔标准击实密度的乘积。

4.2 将试模钢筒和承压头从烘箱中取出,立即在钢筒内部和承压头底面涂以少量的润滑油,并将下承压头置于钢筒中。为使承压头突出钢筒底口2cm~3cm,下承压头应加垫圈或垫块,并在下承压头上放置一张圆形薄纸。

4.3 用小铲将符合成型温度要求的混合料分2次(高为100mm的试件)或3次(高为200mm的试件)仔细铲入钢筒中,随之用插刀沿钢筒周边插捣15次,中间10次。然后,用热铲平整混合料表面。

4.4 插入温度计至混合料中心附近,待混合料温度符合要求的压实温度时,垫上一层薄纸及盖好上承压头(上下承压头伸进试模的高度应大体相同)。

4.5 将装有混合料的试模及垫圈(块)一并置于压力机或千斤顶的平台上,加载至1MPa(对 ϕ 100mm的试件约为7.85kN)后撤去下面的垫圈(块),再逐渐均匀加载至要求的试件高度(约20MPa~30MPa左右),并保持3min后卸荷,记录加载荷重。

4.6 从试模中取出上、下承压头后,稍事降温,在未完全冷却时趁热置脱模器上推出试件。制成试件的高度与标准高度的误差不得大于 ± 2.0 mm,否则应予废弃。

注意:脱模温度不能太低,低了不仅脱模困难,还有可能损伤试件。

4.7 将试件竖立在平台上在室温下冷却24h,测定试件密度、空隙率,不符合要求的应予废弃。

条文说明

在我国,静压法成型是广泛应用于基层材料的成型方法。对沥青混合料采用静压法尽管并不科学,但考虑到目前国内不少单位一时达不到具备搓揉或振动成型条件制作抗压的圆柱体及三轴压缩试件,故保留了此方法内容。

本次修订在仪器里面去掉了采用手动脱模器脱模。对制作沥青混合料试件的拌和与压实温度按本规程T 0702的方法确定,去掉了赛波特重油黏度计测黏度确定混合料的拌和与压实温度。

对静压法成型具体的方法有两种情况:一种是控制成型压力;另一种是控制成型高度,这样实际结果是有差异的。我国1983年试验规程规定为加载至30MPa稳压3min后卸荷,同时又规定高度误差为 ± 1 mm(ϕ 70mm试件)~1.5mm(ϕ 100mm试件)。AASHTO T 167则规定为加压20.7MPa稳压2min卸荷,显然是有差别的。本试验法考虑成型应以密实度为要求指标,

故规定以高度为主,对压力指出通常为 20MPa~30MPa,以供成型时注意校核有无错误。静压法成型时与沥青混合料的温度有很大关系,不同的沥青材料成型温度应该是不一样的,因此本方法规定达到成型温度后装模。

另外,考虑到目前已有许多新的成型方法出现,本方法规定也可用搓揉法及振动成型法代替静压法。搓揉机在美国使用较多,ASTM D 3497、D4123, AASHTO T 165 等均规定了用搓揉法成型圆柱体试件的方法。

T 0705—2011 压实沥青混合料密度试验(表干法)

1 目的与适用范围

1.1 表干法适用于测定吸水率不大于 2%的各种沥青混合料试件,包括密级配沥青混凝土、沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)和沥青稳定碎石等沥青混合料试件的毛体积相对密度和毛体积密度。标准温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 本方法测定的毛体积相对密度和毛体积密度适用于计算沥青混合料试件的空隙率、矿料间隙率等各项体积指标。

2 仪具与材料技术要求

2.1 浸水天平或电子天平:当最大称量在 3kg 以下时,感量不大于 0.1g;最大称量 3kg 以上时,感量不大于 0.5g,应有测量水中重的挂钩。

2.2 网篮。

2.3 溢流水箱:如图 1 所示,使用洁净水,有水位溢流装置,保持试件和网篮浸入水中后的水位一定。调整水温至 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

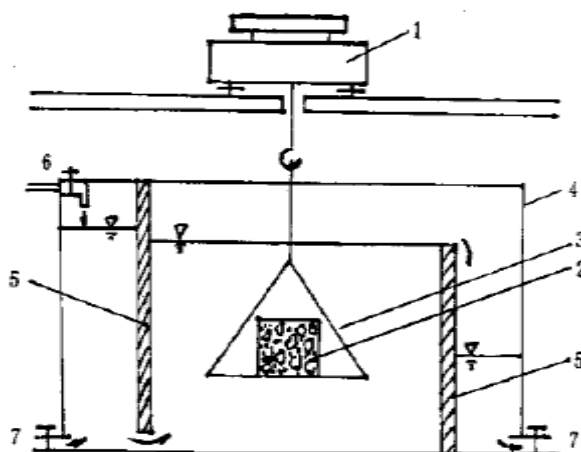


图 T0705-1 溢流水箱及下挂法水中重称量方法示意图

1-浸水天平或电子天平；2-试件；3-网篮；4-溢流水箱；5-水位搁板；6-注入口；7-放水阀门

2.4 试件悬吊装置：天平下方悬吊网篮及试件的装置，吊线应采用不吸水的细尼龙线绳，并有足够的长度。对轮碾成型机成型的板块状试件可用铁丝悬挂。

2.5 秒表。

2.6 毛巾。

2.7 电风扇或烘箱。

3 方法与步骤

3.1 准备试件。本试验可以采用室内成型的试件，也可以采用工程现场钻芯、切割等方法获得的试件。当采用现场钻芯取样时应按照 T 0710 的方法进行。试验前试件宜在阴凉处保存(温度不宜高于 35℃)，且放置在水平的平面上，注意不要使试件产生变形。

3.2 选择适宜的浸水天平或电子天平，最大称量应满足试件质量的要求。

3.3 除去试件表面的浮粒，称取干燥试件的空中质量(m_a)，根据选择的天平的感量读数，准确至 0.1g 或 0.5g。

3.4 将溢流水箱水温保持在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。挂上网篮，浸入溢流水箱中，调节水位，将天平调平并复零，把试件置于网篮中(注意不要晃动水)浸水中约 3min~5min，称取水中质量(m_w)。若天平读数持续变化，不能很快达到稳定，说明试件吸水较严重，不适用于此法测定，应改用本规程 T 0707 的蜡封法测定。

3.5 从水中取出试件，用洁净柔软的拧干湿毛巾轻轻擦去试件的表面水(不得吸走空隙内的水)，称取试件的表干质量(m_r)。从试件拿出水面到擦拭结束不宜超过 5s，称量过程中流出的水不得再擦拭。

3.6 对从路上钻取的非干燥试件可先称取水中质量(m_w)和表干质量(m_f), 然后用电风扇将试件吹干至恒重(一般不少于 12h, 当不需进行其它试验时, 也可用 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱烘干至恒重), 再称取空中质量(m_a)。

4 计算

4.1 按式(T 0705-1)计算试件的吸水率, 取 1 位小数。

$$S_a = \frac{m_f - m_a}{m_f - m_w} \times 100 \quad (\text{T 0705-1})$$

式中: S_a — 试件的吸水率, %;

m_a — 干燥试件的空中质量, g;

m_w — 试件的水中质量, g;

m_f — 试件的表干质量, g。

4.2 按式(T 0705-2)及式(T 0705-3)计算试件的毛体积相对密度和毛体积密度, 取 3 位小数。

$$\gamma_f = \frac{m_a}{m_f - m_w} \quad (\text{T 0705-2})$$

$$\rho_f = \frac{m_a}{m_f - m_w} \times \rho_w \quad (\text{T 0705-3})$$

式中: γ_f — 试件毛体积相对密度, 无量纲;

ρ_f — 试件毛体积密度, g/cm^3 ;

ρ_w — 25°C 时水的密度, 取 $0.9971\text{g}/\text{cm}^3$ 。

4.3 按式(T 0705-4) 计算试件的空隙率, 取 1 位小数。

$$VV = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}\right) \times 100 \quad (\text{T 0705-4})$$

式中: VV — 试件的空隙率, %;

γ_t — 沥青混合料理论最大相对密度。按 4.7 的方法计算或实测得到, 无量纲;

γ_f — 试件的毛体积相对密度, 无量纲。通常采用表干法测定; 当试件吸水率 $S_a > 2\%$ 时, 宜采用蜡封法测定; 当按规定容许采用水中重法测定时, 也可采用表观相对密度代替。

4.4 按式(T 0705-5)计算矿料的合成毛体积相对密度, 取 3 位小数。

$$\gamma_{sb} = \frac{100}{\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{P_2}{\gamma_2} + \dots + \frac{P_n}{\gamma_n}} \quad (\text{T 0705-5})$$

式中: γ_{sb} —矿料的合成毛体积相对密度, 无量纲。

P_1 、 P_2 、…… P_n —各种矿料占矿料总质量的百分率(%), 其和为 100;

γ_1 、 γ_2 、…… γ_n —各种矿料的相对密度, 无量纲。采用《公路工程集料试验规程》(JTG E42-2005)的方法进行测定。粗集料按 T 0304 方法测定; 机制砂及石屑可按 T 0330 方法测定, 也可以用筛出的 2.36mm~4.75mm 部分按 T 0304 方法测定的毛体积相对密度代替; 矿粉(含消石灰、水泥)采用表观相对密度。

4.5 按式(T 0705-6)计算矿料的合成表观相对密度, 取 3 位小数。

$$\gamma_{sa} = \frac{100}{\frac{P_1}{\gamma'_1} + \frac{P_2}{\gamma'_2} + \dots + \frac{P_n}{\gamma'_n}} \quad (\text{T 0705-6})$$

式中: γ_{sa} —矿料的合成表观相对密度, 无量纲,

γ'_1 、 γ'_2 、…… γ'_n —各种矿料的表观相对密度, 无量纲。

4.6 确定矿料的有效相对密度, 取 3 位小数。

4.6.1 对非改性沥青混合料, 采用真空法实测理论最大相对密度, 取平均值。按式(T 0705-7)计算合成矿料的有效相对密度 γ_{se} 。

$$\gamma_{se} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{\gamma_t} - \frac{P_b}{\gamma_b}} \quad (\text{T 0705-7})$$

式中: γ_{se} —合成矿料的有效相对密度, 无量纲;

P_b —沥青用量, 即沥青质量占沥青混合料总质量的百分比(%);

γ_t —实测的沥青混合料理论最大相对密度, 无量纲;

γ_b —25℃时沥青的相对密度, 无量纲。

4.6.2 对改性沥青及 SMA 等难以分散的混合料, 有效相对密度宜直接由矿料的合成毛体积相对密度与合成表观相对密度按式(T 0705-8)计算确定, 其中沥青吸收系数 C 值根据材料的吸水率由式(T 0705-9)求得, 合成矿料的吸水率按式(T 0705-10)计算:

$$\gamma_{se} = C \times \gamma_{sa} + (1 - C) \times \gamma_{sb} \quad (\text{T 0705-8})$$

$$C = 0.033W_x^2 - 0.2936W_x + 0.9339 \quad (\text{T 0705-9})$$

$$w_x = \left(\frac{1}{\gamma_{sb}} - \frac{1}{\gamma_{sa}} \right) \times 100 \quad (\text{T 0705-10})$$

式中：C—沥青吸收系数，无量纲；

w_x —合成矿料的吸水率，%。

4.7 确定沥青混合料的理论最大相对密度，取 3 位小数。

4.7.1 对非改性的普通沥青混合料，采用真空法实测沥青混合料的理论最大相对密度 γ_t 。

4.7.2 对改性沥青或 SMA 混合料宜按式 (T 0705-11) 或 (T 0705-12) 计算沥青混合料对应油石比的理论最大相对密度。

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a}{\frac{100}{\gamma_{se}} + \frac{P_a}{\gamma_b}} \quad (\text{T 0705-11})$$

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a + P_x}{\frac{100}{\gamma_{se}} + \frac{P_a}{\gamma_b} + \frac{P_x}{\gamma_x}} \quad (\text{T 0705-12})$$

式中： γ_t —计算沥青混合料对应油石比的理论最大相对密度，无量纲；

P_a —油石比，即沥青质量占矿料总质量的百分比 (%)；

$P_a = [P_b / (100 - P_b)] \times 100$ ；

P_x —纤维用量，即纤维质量占矿料总质量的百分比，%；

γ_x —25℃时纤维的相对密度，由厂方提供或实测得到，无量纲；

γ_{se} —合成矿料的有效相对密度，无量纲；

γ_b —25℃时沥青的相对密度，无量纲。

4.7.3 对旧路面钻取芯样的试件缺乏材料密度、配合比及油石比的沥青混合料，可以采用真空法实测沥青混合料的理论最大相对密度 γ_t 。

4.8 按式 (T 0705-13)、(T 0705-14) 和 (T 0705-15) 计算试件的空隙率、矿料间隙率 VMA 和有效沥青的饱和度 VFA，取 1 位小数。

$$VV = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}\right) \times 100 \quad (\text{T 0705-13})$$

$$VMA = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{sb}} \times \frac{P_s}{100}\right) \times 100 \quad (\text{T 0705-14})$$

$$VFA = \frac{VMA - VV}{VMA} \times 100 \quad (\text{T 0705-15})$$

式中：VV—沥青混合料试件的空隙率，%；

VMA—沥青混合料试件的矿料间隙率，%；

VFA—沥青混合料试件的有效沥青饱和度，%；

P_s —各种矿料占沥青混合料总质量的百分率之和， $P_s = 100 - P_b$ ，%；

γ_{sb} —矿料的合成毛体积相对密度，无量纲。

4.9 按式(T 0705-16)、(T 0705-17) 和 (T 0705-18)计算沥青结合料被矿料吸收的比例及有效沥青含量、有效沥青体积百分率，取 1 位小数。

$$P_{ba} = \frac{\gamma_{se} - \gamma_{sb}}{\gamma_{se} \times \gamma_{sb}} \times \gamma_b \times 100 \quad (\text{T 0705-16})$$

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad (\text{T 0705-17})$$

$$V_{be} = \frac{\gamma_f \times P_{be}}{\gamma_b} \quad (\text{T 0705-18})$$

式中： P_{ba} —沥青混合料中被矿料吸收的沥青质量占矿料总质量的百分率，%；

P_{be} —沥青混合料中的有效沥青含量，%；

V_{be} —沥青混合料试件的有效沥青体积百分率，%。

4.10 按式(T 0705-19)计算沥青混合料的粉胶比，取 1 位小数。

$$FB = \frac{P_{0.075}}{P_{be}} \quad (\text{T 0705-19})$$

式中：FB—粉胶比，沥青混合料的矿料中 0.075mm 通过率与有效沥青含量的比值，无量纲；

$P_{0.075}$ —矿料级配中 0.075mm 的通过百分率(水洗法)，%。

4.11 按式(T 0705-20)方法计算集料的比表面积，按式(T 0705-21)计算沥青混合料沥青膜有效厚度。各种集料粒径的表面积系数按表 T 0705-1 取用。

$$SA = \sum (P_i \times FA_i) \quad (T\ 0705-20)$$

$$DA = \frac{P_{be}}{\rho_b \times P_s \times SA} \times 1000 \quad (T\ 0705-21)$$

式中：SA——集料的比表面积，m²/kg；

P_i——集料各粒径的质量通过百分率，%；

FA_i——各筛孔对应集料的表面积系数，按表 T 0705-1 确定，m²/kg；

DA——沥青膜有效厚度，μm；

ρ_b——沥青 25℃时的密度，g/cm³。

表 T 0705-1 集料的表面积系数及比表面积计算示例

筛孔尺寸(mm)	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
表面积系数 FA _i (m ² /kg)	0.0041	—	—	—	0.0041	0.0082	0.0164	0.0287	0.0614	0.1229	0.3277
集料各粒径的质量通过百分率 P _i (%)	100	92	85	76	60	42	32	23	16	12	6
集料的比表面积 FA _i ×P _i (m ² /kg)	0.41	—	—	—	0.25	0.34	0.52	0.66	0.98	1.47	1.97
集料比表面积总和 SA(m ² /kg)	SA=0.41+0.25+0.34+0.52+0.66+0.98+1.47+1.97=6.60										

注：矿料级配中大于 4.75mm 集料的表面积系数 FA 均取 0.0041，计算集料比表面积时，大于 4.75mm 集料的比表面积只计算一次，即只计算最大粒径对应部分，如表 T 0705-1，该例的 SA=6.60m²/kg，若沥青混合料的有效沥青含量为 4.65%，沥青混合料的沥青用量为 4.8%，沥青的密度 1.03g/cm³，P_s=95.2，则沥青膜厚度 DA=4.65/(95.2×1.03×6.60)×1000=7.19μm。

4.12 粗集料骨架间隙率可按式(T 0705-22)计算，取 1 位小数。

$$VCA_{mix} = 100 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{ca}} \times P_{ca} \quad (T\ 0705-22)$$

式中：VCA_{mix}—粗集料骨架间隙率，%；

P_{ca}—矿料中所有粗集料质量占沥青混合料总质量的百分率，按式(T 0705-23)计算得到，%；

γ_{ca}—矿料中所有粗集料的合成毛体积相对密度，按式(T 0705-24)计算，无量纲。

$$P_{ca} = P_s \times PA_{4.75} / 100 \quad (T\ 0705-23)$$

式中：PA_{4.75}—为矿料级配中 4.75mm 筛余量，即 100 减去 4.75mm 通过率。

注：PA_{4.75}对于一般沥青混合料为矿料级配中 4.75mm 筛余量，对于公称最大粒径不大于 9.5mm 的 SMA 混合料为 2.36mm 筛余量，对特大粒径根据需要可以选择其他筛孔。

$$\gamma_{ca} = \frac{\frac{P_{1c}}{\gamma_{1c}} + \frac{P_{2c}}{\gamma_{2c}} + \cdots + \frac{P_{nc}}{\gamma_{nc}}}{\frac{P_{1c}}{\gamma_{1c}} + \frac{P_{2c}}{\gamma_{2c}} + \cdots + \frac{P_{nc}}{\gamma_{nc}}} \quad (\text{T 0705-24})$$

式中：P_{1c}...P_{nc}—矿料中各种粗集料占矿料总质量的百分比，%；

γ_{1c}...γ_{nc}—矿料中各种粗集料的毛体积相对密度。

5 报告

应在试验报告中注明沥青混合料的类型及测定密度采用的方法。

6 允许误差

试件毛体积密度试验重复性的允许差为 0.020g/cm³。试件毛体积相对密度试验重复性的允许差为 0.020。

条文说明

表干法测定压实沥青混合料试件毛体积相对密度的方法，本次修订参考 ASTM2726-08、AASHTO T166-07 及美国 NCAT 研究的成果编写的。在适用范围里面去掉了原来的 I 或 II 型沥青混凝土，统称密级配沥青混凝土，对试验所用的试件增加了现场取芯样试件，提出了试件的保存条件。对于工程现场钻取芯样的方法应该按照 T 0710 的步骤进行，如果钻取的芯样黏附有黏层油、透层油和松散颗粒，必须清理干净。当现场芯样与多层沥青混合料联结时，一般要采用切割方法进行分离，并注意观察切割后的试件不能包含相邻层的混合料。

试件密度或相对密度的测定方法在实际使用中是一个非常重要而又困难的问题。本规程关于压实沥青混合料试件的密度试验方法有 4 个：表干法 (T0705)，水中重法 (T 0706)，蜡封法 (T 0707)，体积法 (T 0708)，最早是在参照国外的标准如 ASTM D1188 (蜡封法)、D2726 (表干法)、D3203 (体积法)、AASHTO T166 (表干法)、T275 (蜡封法) 和日本道路协会铺装试验法便览 3-7-7 (水中重法、表干法、蜡封法)、5-3-6 (体积法) 以及我国长期以来的工程实践的基础上编写的。不同的方法适用于不同的情况，使用时应根据实际情况按相关规范的规定选择。

密度是在一定条件下测量的单位体积的质量，单位为 t/m³ 或 g/cm³，通常以 ρ 表示。相对密度是所测定的各种密度与同温度下水的密度的比值，也称比重，以 γ 表示，为无量纲。对沥青这样的匀质材料，材料内部没有孔隙，测定的密度只有一种。但对沥青混合料这样的复合材料，由于材料状态及测定条件的不同，计算用的体积所考虑的集料内部的孔隙及集料与集料之间的间隙 (空隙) 情况不同，计算的密度也就不同。图 T0705-2 表示了几种典型情况。

各种不同密度的基本意义如下：

(1) 真实密度：规定条件下，材料单位真实体积(不包括任何孔隙和空隙)的质量，也叫真密度。

(2) 毛体积密度：规定条件下，材料单位毛体积(包括材料实体、开口及闭口孔隙)的质量。当质量以干燥质量(烘干或空气干燥)为准时，称绝干毛体积密度，简称毛体积密度。当质量以表干质量(饱和面干，包括开口孔隙中的水)为准时，称表干毛体积密度，也叫表干密度。

(3) 表观密度：规定条件下，材料单位表观体积(包括材料实体、闭口孔隙，但不包括开口孔隙)的质量，也叫视密度。

沥青混合料的组成如图 T 0705-2 中 d 所示，它包括 6 部分：

- ①各种矿料的矿质集料(按磨成粉的无孔隙状态考虑)；
- ②沥青(都充填在集料之间的间隙中，只裹复在矿料表面，假定不被集料吸收)；
- ③集料自身的闭孔隙；
- ④集料本身的开孔隙(在混合料中基本上已经被沥青封闭成闭孔隙)；
- ⑤被沥青裹复的矿料与矿料之间的空隙(包括开口的与闭口的)；
- ⑥试件表面由于与试模接触得不到正常击实而产生的表面凹陷。

矿质实体 (无孔隙和空隙)	碎石内开口孔隙	集料间开口空隙	混合料(矿料间) 开口及闭口空隙
	碎石内闭口孔隙	集料内开口孔隙	集料自身开孔隙
	碎石矿质实体	集料内闭口孔隙	集料自身闭孔隙
		集料矿质实体	试件表面凹陷
			沥 青
			矿料矿质实体

a)矿粉 b)单颗粒碎石 c)集料混合料 d)沥青混合料

图 T 0705-2 几种材料的典型组成情况

沥青混合料试件的空中质量相当于所有矿料的烘干质量(集料是加热后拌和的)，加上沥青质量，这个数是一定的。之所以有各种不同的密度实际上是所测定的体积的含意不同而已。沥青混合料体积各部分空隙或孔隙的比例将因矿料级配、沥青用量、压实程度而不同。

本规程规定的沥青混合料密度的四种测定方法中，最基本的方法是表干法测定的毛体积密度(T 0705)。所谓毛体积是指试件饱和面干状态下表面轮廓水膜所包裹的全部体积，试件内与外界流通的所有开孔隙均已被水充满。试件的体积包括矿质实体和沥青体积，集料内部的闭孔隙和集料之间已被沥青封闭的闭孔隙，与外流通的开孔隙都计入了体积。但是试件轮

廓以外的试件表面的凹陷是不包括在毛体积中的。毛体积相对密度 γ_f 的基本计算公式(T 0705-2)。由式(T 0705-2)可见,用表干法测定时,关键是在用拧干的湿毛巾擦试件表面时要制造一种真正的饱和面干状态。表面既不能有多余的水膜,又不能把吸入孔隙中的水分擦走,得到真正的毛体积。

但是当沥青混合料的空隙很大,即开口孔隙较多时,沥青混合料的饱和面干状态便很难形成。当试件从水中取出时,开口孔隙中的水即会跟着流出,用毛巾擦的时候,也会将开口孔隙中的水吸出。为了解决这个问题,于是又提出了蜡封法。

蜡封法(T 0707)是用蜡把开口孔隙封闭起来成为假想的饱和面干状态。所以它与表干法是一个意思,都是以包括开口孔隙及闭口孔隙在内的毛体积作为计算密度的体积用的。不过,蜡封法也是不容易测准确的,它的关键在于蜡封时既要把孔隙封住,又不能让蜡吸入空隙中。在试验规程中规定试件在蜡封前要放在冰箱中冷却,蜡融化后的温度要低(熔点以上 4℃),使试件一浸入蜡中马上凝固成一层蜡皮。蜡封法的缺点是表面的蜡影响马歇尔试验,要把蜡刮掉,为了好刮,只能先涂一层滑石粉,由此使得试验复杂化。

另一种情况为试件表面基本上没有流通外部的开孔隙,当试件浸水时几乎不吸水,试件的饱和面干质量与空中质量非常接近,即吸水率小于 0.5%的密实沥青混合料试件,可采用水中重法测定。

体积法是空隙率特别大,不能用以上方法测定时的特殊情况。

将试验规程中的四种测试方法列于表 T0705-2,以资比较。不过,对混合料的试件是很难判断有无开口孔隙和大小及水会不会流出或吸入。所以《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)对不同的混合料类型明确规定了采用不同的方法。各单位应严格按照相关规范采用规定的方法进行试验,这样得到的试验结果才有意义。

表 T0705-2 试验规程中的四种测试方法的简单比较

方法	计算用试件质量	计算用的试件体积
水中重法	试件的空中质量	混合料体积+试件内部的闭孔隙(开孔隙几乎可忽略)
表干法	试件的空中质量	混合料体积+试件内部的闭孔隙+连通表面的开孔隙
蜡封法	试件的空中质量	混合料体积+试件内部的闭孔隙+连通表面的开孔隙
体积法	试件的空中质量	混合料体积+试件内部的闭孔隙+连通表面的开孔隙+表面凹陷

我国目前对试验方法的适用性基本上与国外试验方法是一致的。如关于表干法的适用条件,ASTM D 2726-08 及 AASHTO T166-07 规定适用于吸水率小于 2%的情况(在 ASTM 及 AASHTO 中没有水中重法,均为表干法),AASHTO T166 规定吸水率大于 2%采用蜡封法,而 ASTM 方法规定吸水率大于 2%采用 D1188 封口膜密封法或 D6752 自动真空封样法(即 CoreLok 法,主要应用于开级配沥青混合料,如 OGFC 等)。再如日本铺装试验法便览规定,对表面致密不吸水

的试件可用水中重法,表面平整但有吸水的用表干法,表面粗糙、有较多间隙或开级配用蜡封法。

应该注意的是沥青混合料的吸水率与集料的吸水率的概念及计算方法是不同的,沥青混合料试件的吸水率为达到饱和面干状态时所吸收的水的体积与试件毛体积之比(体积比),而集料的吸水率是吸收水量与集料烘干质量之比(质量比)。ASTM D2726 规定试件在 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡 3min~5min,称水中重,当试件温度与水温度相差超过 2°C 时,试件在水中浸湿时间应增加至 10min~15min。AASHTO T166 则要求将试件冷却到 $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,然后称取干燥试件质量,在 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 水中浸泡 3min~5min,称水中重,实际上美国很多州都采用 AASHTO 方法。而日本规定浸水的时间为 1min。同时早期版本的 ASTM 和 AASHTO 可以允许在非标准温度下测定试件密度然后进行温度修正,而 ASTM D2726-08 和 AASHTO T166-07 新颁布中取消了温度修正,要求严格按照标准温度进行。我国原试验规程中只规定采用室温条件,在使用中发现实际温度差异较大,有些地方试验室高温能够达到 35°C 以上,而寒冷地区甚至低于 5°C ,而且我国一些工程所在地在施工过程中温度变化也较大,会导致较大试验误差,因此宜对毛体积相对密度的测定温度进行更严格的规定。参考真空法测定理论最大相对密度试验方法,本试验方法规定试验时水温控制在 $25^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$;同时计算试件毛体积密度所用水的密度也采用 25°C 时的密度。

关于允许误差,AASHTO 规定试件毛体积密度试验重复性允许差为 $0.020\text{g}/\text{cm}^3$,试件毛体积相对密度试验重复性的允许差为 0.020,美国各州基本采用 AASHTO 方法。ASTM 早期版本规定重复性允许差为 $0.035\text{g}/\text{cm}^3$,复现性允许差为 $0.076\text{g}/\text{cm}^3$,而本 ASTM D2726-08 规定,重复性允许差对于公称粒径 12.5mm 为 $0.023\text{g}/\text{cm}^3$,对于公称粒径 19mm 为 $0.037\text{g}/\text{cm}^3$;复现性允许差为 $0.042\text{g}/\text{cm}^3$ 。本试验法参考 AASHTO T166-07 进行了规定。

对于沥青混合料试件体积指标,包括密度、空隙率、VMA、VFA 的计算方法一直存在一些争议。应该说,世界各国对这些体积设计指标的测定和计算方法都不尽完全相同,但是在同一个国家和同一个规范体系,则只能有一个统一的方法。因此,本方法这次统一了计算沥青混合料空隙率、VMA、VFA 等各项体积指标的测定方法和计算方法。在沥青混合料的体积指标的计算方面,引进了美国等不少国家历来考虑集料吸收部分沥青这个重要的概念。增加了有效沥青用量、粉胶比、有效沥青体积百分率和沥青膜厚度等参数计算方法。

沥青混合料的空隙率是最重要的体积指标,空隙率是由沥青混合料试件的毛体积相对密度和理论最大相对密度计算得到的,统一计算方法就必须统一试件毛体积相对密度和理论最大相对密度的测定或计算方法。

关于理论最大相对密度的问题,试验规程规定了真空法、溶剂法,也有计算法,不同的方法有不小的差别。经过大量的对比试验,在 2004 年施工技术规范修订中经反复征求各方面的意见,认为溶剂法计算体积时把集料内部开口体积都扣除,使得测定的理论最大相对密度偏大,测定的空隙率过大,不符合实际情况。一致同意采用真空法实测沥青混合料的理论

最大相对密度作为我国的标准方法。但是，对于改性沥青混合料或 SMA 混合料的理论最大相对密度采用真空法实测时，由于改性沥青因为黏度大，不仅人工分散很难达到小于 6mm 以下的要求，而且在小于 6mm 以下的团粒中仍然包含有不少气泡，它在相同的真空及振动情况下不能使团粒继续分散，封闭在集料团粒中的空气不能跑出，理论最大相对密度将变小，且平行误差超过要求，对改性沥青的 SMA 混合料有纤维时分散更困难。因此对改性沥青混合料和 SMA 混合料，认为采用真空实测法不理想，只能用计算法求取混合料的最大理论密度。对于改性沥青和 SMA 混合料的理论最大相对密度，我国参考了美国 Superpave 采用了计算有效相对密度的方法，即采用式(T 0705-8)计算确定。Superpave 规定根据各种集料不同的吸水率选用不同的系数 C 值，一般情况可取 $C=0.8$ ，对集料吸水率较大时，可取 $C=0.5\sim0.8$ 。

同时，原试验规程中计算 VMA 时，先按公式计算沥青的体积百分率 VA，且以 $VMA=VA+VV$ ，进而计算沥青饱和度，本次修订考虑了沥青被集料吸收，因此引用了有效相对密度、有效沥青用量、有效沥青膜厚度、有效沥青体积率等概念，由总的沥青用量计算的 VA 实际上已经没有意义。图 T0705-3 和图 T0705-4 为考虑沥青被集料吸收后沥青混合料各个组成的示意图。根据矿料间隙率概念，VMA 是压实沥青混合料试件中，除了矿料体积及被矿料吸收了的沥青体积以外的部分体积占试件体积的百分数，即等于空气空隙体积及未被集料吸收的沥青体积之和，根据图 T0705-4， $V_{ma}=(V_v+V_b-V_{ba})/V_{mb}\times 100$ ，即 $VMA=VV+V_{be}$ ，即 VMA 应该是空隙率与有效沥青体积率之和。由此 VMA 进一步计算的 VFA 为有效沥青饱和度。

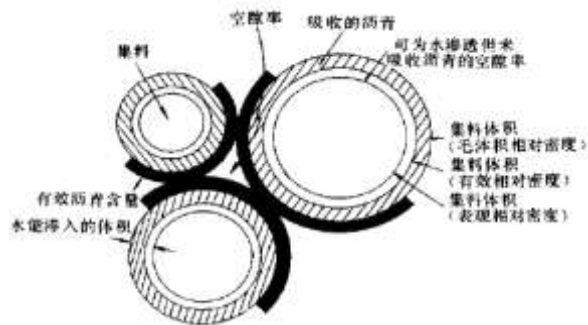


图 T0705-3 压实沥青混合料中各个成分的组成、有效沥青含量及不同方法
计算矿料间隙率的影响

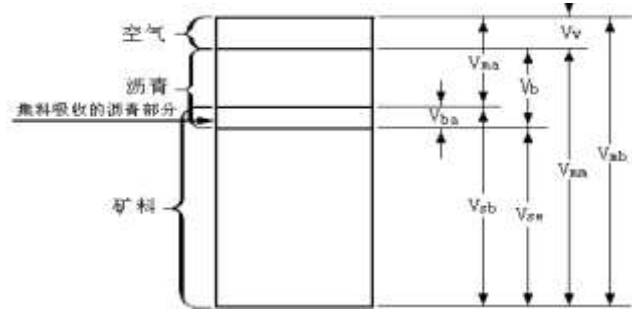


图 T0705-4 压实沥青混合料试件的体积组成比例

注：Vma-矿料间隙率；Vmb-压实混合料的毛体积；Vmm-压实混合料的无空隙体积；Vv-空隙；Vb-沥青体积；Vba-被集料吸收的沥青体积；Vsb-矿料体积(按毛体积相对密度计算)；Vse —

矿料体积(按有效相对密度计算)

本方法修订后,我国在沥青混合料体积指标的计算上与美国现行方法基本上一致。新修订的一些参数的计算方法较原方法差异较大,但是基本概念是一致的。

T 0706—2011 压实沥青混合料密度试验(水中重法)

1 目的与适用范围

1.1 水中重法适用于吸水率小于 0.5%的密实沥青混合料试件的表观相对密度或表观密度。标准温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 当试件很密实,几乎不存在与外界连通的开口孔隙时,可采用本方法测定的表观相对密度代替按 T 0705 表干法测定的毛体积相对密度,并据此计算沥青混合料试件的空隙率、矿料间隙率等各项体积指标。

2 仪器与材料技术要求

2.1 浸水天平或电子天平:当最大称量在 3kg 以下时,感量不大于 0.1g;最大称量 3kg 以上时,感量不大于 0.5g;应有测量水中重的挂钩。

2.2 网篮。

2.3 溢流水箱:使用洁净水,有水位溢流装置,保持试件和网篮浸入水中后的水位一定。调整水温并保持在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 内。

2.4 试件悬吊装置:天平下方悬吊网篮及试件的装置,吊线应采用不吸水的细尼龙线绳,并有足够的长度。对轮碾成型机成型的板块状试件可用铁丝悬挂。

2.5 秒表。

2.6 电风扇或烘箱。

3 方法与步骤

3.1 选择适宜的浸水天平或电子天平,最大称量应满足试件质量的要求。

3.2 除去试件表面的浮粒,称取干燥试件的空中质量(m_a),根据选择的天平的感量读数,准确至 0.1g 或 0.5g。

3.3 挂上网篮,浸入溢流水箱的水中,调节水位,将天平调平并复零,把试件置于网篮中(注意不要使水晃动),待天平稳定后立即读数,称取水中质量(m_w)。若天平读数持续变化,不能在数秒钟内达到稳定,说明试件有吸水情况,不适用

于此法测定，应改用本规程 T 0705 或 T 0707 的方法测定。

3.4 对从路上钻取的非干燥试件，可先称取水中质量(m_w)，然后用电风扇将试件吹干至恒重(一般不少于 12h，当不需进行其它试验时，也可用 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱烘干至恒重)，再称取空中质量(m_a)。

4 计算

4.1 按式(T 0706—1)及式(T 0706—2)计算用水中重法测定的沥青混合料试件的表观相对密度及表观密度，取 3 位小数。

$$\gamma_a = \frac{m_a}{m_a - m_w} \quad (\text{T 0706—1})$$

$$\rho_a = \frac{m_a}{m_a - m_w} \times \rho_w \quad (\text{T 0706—2})$$

式中： γ_a —在 25°C 温度条件下试件的表观相对密度，无量纲；

ρ_a —在 25°C 温度条件下试件的表观密度， g/cm^3 ；

m_a —干燥试件的空中质量，g；

m_w —试件的水中质量，g；

ρ_w —在 25°C 温度条件下水的密度，取 $0.9971\text{g}/\text{cm}^3$ 。

4.2 当试件的吸水率小于 0.5% 时，以表观相对密度代替毛体积相对密度，按本规程 T 0705 的方法计算试件的理论最大相对密度及空隙率、沥青的体积百分率、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率、沥青饱和度等各项体积指标。

5 报告

应在试验报告中注明沥青混合料的类型及测定密度的方法。

条文说明

本次修订规定该方法适用于吸水率小于 0.5% 的特别致密的沥青混合料。在施工质量检验时，允许采用水中重法测定的表观相对密度作为标准密度，钻孔试件也采用相同方法测定密度。但配合比设计时不得采用此方法。本次统一了试验温度，规定在水温 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 下测定试件的表观相对密度或表观密度。

在测定沥青混合料密度的方法中，水中重法较为简单，但在美国的试验方法中，没有水中重法，只有表干法与蜡封法。水中重法测定的是表观密度，与表干法、蜡封法、体积法测

定的毛体积密度在意义上是不同的。但是当试件非常致密，几乎不吸水时，试件的表干质量与空中质量差别极小。例如马歇尔试件的表干质量与空中质量可能相差仅 1g，仅占试件质量的 0.1%，采用水中重法测定的表观密度与表干法测定的毛体积密度相差不超过 0.01g/cm³，计算的空隙率相差约 0.2%，基本上在试验误差范围内。为此，在这种情况下，用水中重法测定的表观密度代替表干法测定的毛体积密度是可以的。

T 0707—2011 压实沥青混合料密度试验(蜡封法)

1 目的与适用范围

1.1 蜡封法适用于测定吸水率大于 2%的沥青混凝土或沥青碎石混合料试件的毛体积相对密度或毛体积密度。标准温度为 25℃±0.5℃。

1.2 本方法测定的毛体积相对密度适用于计算沥青混合料试件的空隙率、矿料间隙率等各项体积指标。

2 仪器与材料技术要求

2.1 浸水天平或电子天平：当最大称量在 3kg 以下时，感量不大于 0.1g；最大称量 3kg 以上时，感量不大于 0.5g，应有测量水中重的挂钩。

2.2 网篮。

2.3 水箱：使用洁净水，有水位溢流装置，保持试件和网篮浸入水中后的水位一定。

2.4 试件悬吊装置：天平下方悬吊网篮及试件的装置，吊线应采用不吸水的细尼龙线绳，并有足够的长度。对轮碾成型机成型的板块状试件可用铁丝悬挂。

2.5 熔点已知的石蜡。

2.6 冰箱：可保持温度为 4℃～5℃。

2.7 铅或铁块等重物。

2.8 滑石粉。

2.9 秒表。

2.10 电风扇。

2.11 其它：电炉或燃气炉。

3 方法与步骤

3.1 选择适宜的浸水天平或电子天平，最大称量应满足试件质量的要求。

3.2 称取干燥试件的空中质量(m_a)，根据选择的天平感量读数，准确至 0.1g 或 0.5g，当为钻芯法取得的非干燥试件时，应用电风扇吹干 12h 以上至恒重作为空中质量，但不得用烘干法。

3.3 将试件置于冰箱中，在 4℃~5℃条件下冷却不少于 30min。

3.4 将石蜡熔化至其熔点以上 5.5℃±0.5℃。

3.5 从冰箱中取出试件立即浸入石蜡液中，至全部表面被石蜡封住后迅速取出试件，在常温下放置 30min，称取蜡封试件的空中质量(m_p)。

3.6 挂上网篮、浸入水箱中，调节水位，将天平调平或复零。调整水温并保持在 25℃±0.5℃内。将蜡封试件放入网篮浸水约 1min，读取水中质量(m_c)。

3.7 如果试件在测定密度后还需要做其它试验时，为便于除去石蜡，可事先在干燥试件表面涂一薄层滑石粉，称取涂滑石粉后的试件质量(m_s)，然后再蜡封测定。

3.8 用蜡封法测定时，石蜡对水的相对密度按下列步骤实测确定：

3.8.1 取一块铅或铁块之类的重物，称取空中质量(m_g)；

3.8.2 测定重物在水温 25℃±0.5℃的水中质量(m'_g)；

3.8.3 待重物干燥后，按上述试件蜡封的步骤将重物蜡封后测定其空中质量(m_d)及水温在 25℃±0.5℃的水中质量(m'_d)；

3.8.4 按式(T0707-1)计算石蜡对水的相对密度。

$$\gamma_p = \frac{m_d - m_g}{(m_d - m_g) - (m'_d - m'_g)} \quad (T0707-1)$$

式中： γ_p —在 25℃温度条件下石蜡对水的相对密度，无量纲；

m_g —重物的空中质量，g；

m'_g —重物的水中质量，g；

m_d —蜡封后重物的空中质量，g；

m'_d —蜡封后重物的水中质量，g。

4 计算

4.1 计算试件的毛体积相对密度，取 3 位小数。

4.1.1 蜡封法测定的试件毛体积相对密度按式(T 0707-2)计算。

$$\gamma_f = \frac{m_a}{(m_p - m_c) - (m_p - m_a)/\gamma_p} \quad (\text{T 0707-2})$$

式中： γ_f —由蜡封法测定的试件毛体积相对密度，无量纲；

m_a —试件的空中质量，g；

m_p —蜡封试件的空中质量，g；

m_c —蜡封试件的水中质量，g。

4.1.2 涂滑石粉后用蜡封法测定的试件毛体积相对密度按式(T 0707-3)计算。

$$\gamma_f = \frac{m_a}{(m_p - m_c) - [(m_p - m_s)/\gamma_p + (m_s - m_a)/\gamma_s]} \quad (\text{T 0707-3})$$

式中： m_s —试件涂滑石粉后的空中质量，g；

γ_s —滑石粉对水的相对密度，无量纲。

4.1.3 试件的毛体积密度按式(T 0707-4)计算。

$$\rho_f = \gamma_f \times \rho_w \quad (\text{T 0707-4})$$

式中： ρ_f —蜡封法测定的试件毛体积密度，g/cm³；

ρ_w —在 25℃温度条件下水的密度，取 0.9971g/cm³。

4.2 按本规程 T 0705 的方法计算试件的理论最大相对密度及空隙率、沥青的体积百分率、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率、沥青饱和度等各项体积指标。

5 报告

应在试验报告中注明沥青混合料的类型及采用的测定密度的方法。

条文说明

原试验方法是参照 ASTM D1188-89、AASHTO T275 编写的，本次修订主要统一了试验温度，规定水温在 25℃±0.5℃下测定试件的毛体积相对密度或毛体积密度。

蜡封法仅适用于吸水率大于 2%的混合料。这是由于该方法受人为影响因素太多，导致数据不准确。如 ASTM 和 AASHTO 都提出对吸水率大于 2%的试件才能使用蜡封法，小于 2%应该采用表干法，而且在蜡封法试验法中规定，进行蜡封法之前首先进行表干法测定试件吸水率，如果吸水率小于 2%，则无需进行蜡封法。所以，在工程上，应该严格按照规范的规定选择适用的方法测定。

同时值得注意的是，ASTM D1188-94 方法已经明显不同旧版的 ASTM D1188-89 和 AASHTO T275 的蜡封法，ASTM D1188-94 虽然名称为蜡封法(paraffin-coated)，但是实际操作方法

是采用封口膜法,在 2007 年版的 ASTM D1188-07 中已经将名称改为封口膜密封法(coated)。在我国许多文献都认为 ASTM D1188-07 版方法较 AASHTO T275 的方法更好,它能够避免蜡的吸入,得到的数据更加准确,美国很多州已采用 ASTM D1188-07 代替了 AASHTO T275。

需要指出的是,根据美国沥青混合料和沥青胶结料专家研究组 ETG2008 年的研究报告,准备取消 AASHTO T275 蜡封法,而采用真空密封法(CoreLok)。

目前真空密封法在我国应用逐渐增加,主要用于 OGFC 等开级配沥青混合料。为此本次借鉴 ASTM D7370,增加了真空密封法。同时将 ASTM D1188-07 封口膜密封简单介绍给大家,希望在试验过程中积累数据,供下次修订该方法的依据。

封口膜密封法测定步骤

1 目的与适用范围:与 T 0707 一样。

2 仪器试验仪器技术要求

2.1 浸水天平或电子天平:当最大称量在 3kg 以下时,感量不大于 0.1g;最大称量 3kg 以上时,感量不大于 0.5g,应有测量水中重的挂钩。

2.2 网篮。

2.3 水箱:使用洁净水,有水位溢流装置,保持试件和网篮浸入水中后的水位一定。

2.4 试件悬吊装置:天平下方悬吊网篮及试件的装置,吊线应采用不吸水的细尼龙线绳,并有足够的长度。

2.5 封口膜,可以根据试件大小选用合适的封口膜,宜采用弹性高的封口膜。

2.6 聚亚胺酯泡沫垫:两个聚亚胺酯泡沫垫,用作操作平台。一个泡沫垫尺寸为 500mm×500mm,厚度约 12mm,另一个为圆形泡沫垫,尺寸与试件直径接近,对于标准马歇尔试件中约 100mm。

2.7 铝块:用于标定封口膜的相对密度,圆柱体铝块直径约 100mm,高度约 60mm,表面光滑。

2.8 其他:秒表、电风扇、电炉或燃气炉等。

3 方法与步骤

3.1 选择适宜的浸水天平或电子天平,最大称量应满足试件质量的要求。

3.2 称取干燥试件的空中质量(m_a),根据选择的天平感量读数,准确至 0.1g 或 0.5g,当为钻芯法取得的非干燥试件时,应用电风扇吹干 12h 以上至恒重作为空中质量,但不得用烘干法。

3.3 从一卷封口膜上裁剪出两个 100mm×100mm 和一个 100mm×200mm 大小的封口膜。

先取一个 100mm×100mm 封口膜,将其背面的遮蔽纸剥去,然后抓住封口膜两端进行适当拉伸,然后对封口膜的另外两端也进行适当拉伸(约拉伸至 150mm×150mm)。注意不要使薄膜产生孔洞。将拉伸的封口膜包裹住试件一端,沿试件端部边缘压封口膜,将试件翻过来放置

在大泡沫垫上；将另一个 100mm×100mm 封口膜按同样的方法包裹住试件另一端，然后将另一个小泡沫垫放在试件的顶部，用与试件端部尺寸接近的物件(或者采用另一块试件)按在顶部的泡沫垫上，并慢慢向下压泡沫垫以消除封口膜与试件之间的气泡。之后用刀片将试件上离端口约 15mm~17mm 以外的封口膜切掉，在这过程中注意不要弄破封口膜。

同样的方法，将 100mm×200mm 封口膜背面的遮蔽纸剥去，然后抓住封口膜最窄的两端进行适当沿长度方向拉伸使之达到约 400mm，然后将封口膜放在试件上(宽度方向与试件高度方向平行)，并转动试件，在转动试件同时要适当用力使封口膜得到拉伸能更好与试件接触；将封口膜两端多余的部分与试件端部的封口膜紧密重叠。这样 3 个封口膜就完全将试件包裹住，并适当压封口膜四周，使之更紧密包裹试件。

3.4 称取封口膜密封试件的质量(m_d)。

3.5 挂上网篮、浸入溢流水箱中，调节水位，将天平调平或复零。调整水温控制在 25℃±0.5℃内。将密封试件放入网篮浸水约 1min，读取水中质量(m_c)。

3.6 如果试件在测定密度后还需要做其它试验时，将封口膜去掉即可。

3.7 用封口膜密封法测定试件毛体积相对密度时，封口膜对水的相对密度按下列步骤实测确定：

①称取铝块空中质量(m_g)；

②测定铝块在水温 25℃±0.5℃的水中质量(m'_g)；

③待铝块干燥后，按上述方法采用封口膜将铝块密封后测定其空中质量(m_a)及水温在 25℃±0.5℃水中质量(m'_d)；

④按式(T 0707-5)计算封口膜对水的相对密度。

$$\gamma_p = \frac{m_d - m_g}{(m_d - m_g) - (m'_d - m'_g)} \quad (\text{T 0707-5})$$

式中： γ_p —在 25℃温度条件下封口膜对水的相对密度，无量纲；

m_g —铝块空中质量，g；

m'_g —铝块水中质量，g；

m_d —封口膜密封后铝块的空中质量，g；

m'_d —封口膜密封后铝块的水中质量，g。

4 计算

4.1 封口膜密封法测定的试件毛体积相对密度按式(T0707-6)计算。

$$\gamma_f = \frac{m_a}{(m_p - m_c) - (m_p - m_a)/\gamma_p} \quad (\text{T0707-6})$$

式中： γ_f —由封口膜密封法测定的试件的毛体积相对密度，无量纲；

m_a —试件的空中质量，g；

m_p —封口膜密封试件的空中质量，g；

m_c —封口膜密封试件的水中质量, g。

4.2 试件的毛体积密度按式(T 0707-7)计算。

$$\rho_f = \gamma_f \times \rho_w \quad (T0707-7)$$

式中: ρ_f —封口膜密封法测定的试件毛体积密度, g/cm³;

ρ_w —在 25℃温度条件下水的密度, 取 0.9971g/cm³。

5 按本规程 T 0705 的方法计算试件的理论最大相对密度及空隙率、沥青的体积百分率、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率、沥青饱和度等各项体积指标。

T 0708—2011 压实沥青混合料密度试验(体积法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用体积法测定沥青混合料的毛体积相对密度或毛体积密度。

1.2 本方法仅适用于不能用表干法、蜡封法测定的空隙率较大的沥青碎石混合料及大空隙透水性开级配沥青混合料(OGFC)等。

1.3 本方法测定的毛体积相对密度适用于计算沥青混合料试件的空隙率、矿料间隙率等各项体积指标。

2 仪器与材料技术要求

2.1 电子天平: 当最大称量在 3kg 以下时, 感量不大于 0.1g; 最大称量 3kg 以上时, 感量不大于 0.5g。

2.2 卡尺。

3 方法与步骤

3.1 选择适宜电子天平, 最大称量应满足试件质量的要求。

3.2 清理试件表面, 刮去突出试件表面的残留混合料, 称取干燥试件的空中质量(m_a), 根据选择的天平感量读取, 准确至 0.1g 或 0.5g, 当为钻芯法取得的非干燥试件时, 应用电风扇吹干 12h 以上至恒重作为空中质量, 但不得用烘干法。

3.3 用卡尺测定试件的各种尺寸, 准确至 0.01cm。圆柱体试件的直径取上下 2 个断面测定结果的平均值, 高度取十字对称四次测定的平均值; 棱柱体试件的长度取上下 2 个位置的平均值, 高度或宽度取两端及中间 3 个断面测定的平均值。

4 计算方法

4.1 圆柱体试件毛体积按式(T 0708-1)计算。

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h \quad (\text{T 0708-1})$$

式中：V—试件的毛体积， cm^3 ；

d —圆柱体试件的直径， cm ；

h —试件的高度， cm 。

4.2 棱柱体试件的毛体积按式(T 0708-2)计算。

$$V = l \times b \times h \quad (\text{T 0708-2})$$

式中： l —试件的长度， cm ；

b —试件的宽度， cm ；

h —试件的高度， cm 。

4.3 试件的毛体积密度按式(T 0708-3)计算，取 3 位小数。

$$\rho_s = \frac{m_a}{V} \quad (\text{T 0708-3})$$

式中： ρ_s —用体积法测定的试件的毛体积密度， g/cm^3 ；

m_a —干燥试件的空中质量， g 。

4.4 试件的毛体积相对密度按式(T 0708-4)计算，取 3 位小数。

$$\gamma_s = \frac{\rho_s}{0.9971} \quad (\text{T 0708-4})$$

式中： γ_s —用体积法测定的试件的 25℃ 条件的毛体积相对密度，无量纲。

4.5 按本规程 T0705 的方法计算试件的理论密度、空隙率、沥青的体积百分率、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率、沥青饱和度等各项体积指标。

条文说明

用体积法测定毛体积密度参照 ASTM D3203 及日本道路协会铺装试验法便览 5-3-6 “透水性沥青混合料的密度试验方法”，对开级配试件，均规定用体积法测定，直径及高度均测量 4 点，取平均值。

本次修订参考 ASTM D3203-94，将毛体积密度除以 25℃ 时水的密度，得到体积法测定的 25℃ 条件下试件毛体积相对密度。

T 0709—2011 沥青混合料马歇尔稳定度试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于马歇尔稳定度试验和浸水马歇尔稳定度试验,以进行沥青混合料的配合比设计或沥青路面施工质量检验。浸水马歇尔稳定度试验(根据需要,也可进行真空饱水马歇尔试验)供检验沥青混合料受水损害时抵抗剥落的能力时使用,通过测试其水稳定性检验配合比设计的可行性。

1.2 本方法适用于按本规程 T 0702 成型的标准马歇尔试件圆柱体和大型马歇尔试件圆柱体。

2 仪具与材料技术要求

2.1 沥青混合料马歇尔试验仪:

沥青混合料马歇尔试验仪分为自动式和手动式。自动马歇尔试验仪应具备控制装置、记录荷载~位移曲线、自动测定荷载与试件的垂直变形,能自动显示和存储或打印试验结果等功能。手动式由人工操作,试验数据通过操作者目测后读取数据。

对用于高速公路和一级公路的沥青混合料宜采用自动马歇尔试验仪:

2.1.1 当集料公称最大粒径小于或等于 26.5mm 时,宜采用 $\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$ 的标准马歇尔试件,试验仪最大荷载不得小于 25kN,读数准确至 0.1kN,加载速率应能保持 $50\text{mm/min} \pm 5\text{mm/min}$ 。钢球直径 $\phi 16\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$,上下压头曲率半径为 $50.8\text{mm} \pm 0.08\text{mm}$ 。

2.1.2 当集料公称最大粒径大于 26.5mm 时,宜采用 $\phi 152.4\text{mm} \times 95.3\text{mm}$ 大型马歇尔试件,试验仪最大荷载不得小于 50kN,读数准确至 0.1kN。上下压头的曲率内径为 $\phi 152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,上下压头间距 $19.05\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。大型马歇尔试件的压头尺寸如图 T0709-1 所示。

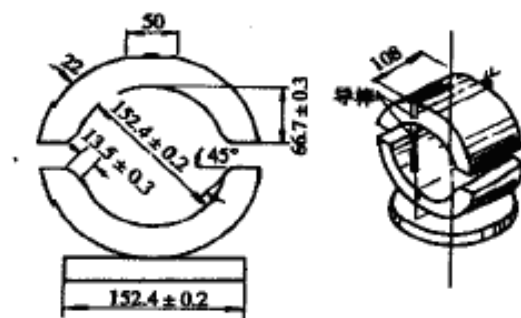


图 T0709-1 大型马歇尔试验的压头(尺寸单位: mm)

2.2 恒温水槽: 控温准确度为 1°C , 深度不小于 150mm。

2.3 真空饱水容器: 包括真空泵及真空干燥器。

2.4 烘箱。

2.5 天平: 感量不大于 0.1g。

2.6 温度计: 分度为 1°C 。

2.7 卡尺。

2.8 其它: 棉纱, 黄油。

3 标准马歇尔试验方法

3.1 准备工作

3.1.1 按 T 0702 标准击实法成型马歇尔试件, 标准马歇尔试件尺寸应符合直径 $101.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、高 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 的要求。对大型马歇尔试件, 尺寸应符合直径 $152.4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$, 高 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 的要求。一组试件的数量最少不得少于 4 个, 并符合 T 0702 的规定。

3.1.2 量测试件的直径及高度: 用卡尺测量试件中部的直径, 用马歇尔试件高度测定器或用卡尺在十字对称的 4 个方向量测离试件边缘 10mm 处的高度, 准确至 0.1mm, 并以其平均值作为试件的高度。如试件高度不符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 要求或两侧高度差大于 2mm 时, 此试件应作废。

3.1.3 按本规程规定的方法测定试件的密度, 并计算空隙率、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等物理指标。

3.1.4 将恒温水槽调节至要求的试验温度, 对黏稠石油沥青或烘箱养生过的乳化沥青混合料为 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 对煤沥青混合料为 $33.8^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 对空气养生的

乳化沥青或液体沥青混合料为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件置于已达规定温度的恒温水槽中保温，保温时间对标准马歇尔试件需 30min~40min，对大型马歇尔试件需 45min~60min。试件之间应有间隔，底下应垫起，水槽底部不小于 5cm。

3.2.2 将马歇尔试验仪的上下压头放入水槽或烘箱中达到同样温度。将上下压头从水槽或烘箱中取出擦拭干净内面。为使上下压头滑动自如，可在下压头的导棒上涂少量黄油。再将试件取出置于下压头上，盖上上压头，然后装在加载设备上。

3.2.3 在上压头的球座上放妥钢球，并对准荷载测定装置的压头。

3.2.4 当采用自动马歇尔试验仪时，将自动马歇尔试验仪的压力传感器、位移传感器与计算机或 X-Y 记录仪正确连接，调整好适宜的放大比例，压力和位移传感器调零。

3.2.5 当采用压力环和流值计时，将流值计安装在导棒上，使导向套管轻轻地压住上压头，同时将流值计读数调零。调整压力环中百分表，对零。

3.2.6 启动加载设备，使试件承受荷载，加载速度为 $50\text{ mm/min} \pm 5\text{ mm/min}$ 。计算机或 X-Y 记录仪自动记录传感器压力和试件变形曲线并将数据自动存入计算机。

3.2.7 当试验荷载达到最大值的瞬间，取下流值计，同时读取压力环中百分表读数及流值计的流值读数。

3.2.8 从恒温水槽中取出试件至测出最大荷载值的时间，不得超过 30s。

4 浸水马歇尔试验方法

浸水马歇尔试验方法与标准马歇尔试验方法的不同之处在于，试件在已达规定温度恒温水槽中的保温时间为 48h，其余步骤均与标准马歇尔试验方法相同。

5 真空饱水马歇尔试验方法

试件先放入真空干燥器中，关闭进水胶管，开动真空泵，使干燥器的真空度达到 98.3kPa (730mmHg) 以上，维持 15min，然后打开进水胶管，靠负压进入冷水流使试件全部浸入水中，浸水 15min 后恢复常压，取出试件再放入已达规定温度的恒温水槽中保温 48h，其余均与标准马歇尔试验方法相同。

6 计算

6.1 试件的稳定度及流值

6.1.1 当采用自动马歇尔试验仪时,将计算机采集的数据绘制成压力和试件变形曲线,或由 X-Y 记录仪自动记录的荷载~变形曲线,按图 T0709-2 所示的方法在切线方向延长曲线与横坐标相交于 O_1 ,将 O_1 作为修正原点,从 O_1 起量取相应于荷载最大值时的变形作为流值(FL),以 mm 计,准确至 0.1mm。最大荷载即为稳定度(MS),以 kN 计,准确至 0.01kN。

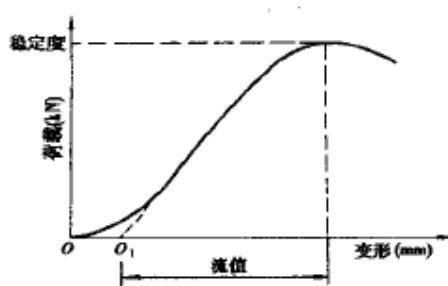


图 T0709-2 马歇尔试验结果的修正方法

6.1.2 采用压力环和流值计测定时,根据压力环标定曲线,将压力环中百分表的读数换算为荷载值,或者由荷载测定装置读取的最大值即为试样的稳定度(MS),以 kN 计,准确至 0.01kN。由流值计及位移传感器测定装置读取的试件垂直变形,即为试件的流值(FL),以 mm 计,准确至 0.1mm。

6.2 试件的马歇尔模数按式(T0709-1)计算。

$$T = \frac{MS}{FL} \quad (T0709-1)$$

式中: T—试件的马歇尔模数, kN/mm;

MS—试件的稳定度, kN;

FL—试件的流值, mm。

6.3 试件的浸水残留稳定度按式(T0709-2)计算。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (T0709-2)$$

式中: MS_0 —试件的浸水残留稳定度, %;

MS_1 —试件浸水 48h 后的稳定度, kN。

6.4 试件的真空饱水残留稳定度按式(T0709-3)计算。

$$MS'_0 = \frac{MS_2}{MS} \times 100 \quad (T0709-3)$$

式中：MS'₀—试件的真空饱水残留稳定度，%；

MS₂—试件真空饱水后浸水 48h 后的稳定度，kN。

7 报告

7.1 当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时，k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

7.2 报告中需列出马歇尔稳定度、流值、马歇尔模数，以及试件尺寸、试件的密度、空隙率、沥青用量、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等各项物理指标，当采用自动马歇尔试验时，试验结果宜应附上荷载～变形曲线原件或自动打印结果。

条文说明

马歇尔试验是目前沥青混合料中最重要的一个试验方法。为区别试验时浸水条件的不同，将其分别称为标准马歇尔试验、浸水马歇尔试验及真空饱水马歇尔试验。使用大型试件时称为大型马歇尔试验。

马歇尔试验根据使用目的不同在某些细节上规定有所不同，T 0709 与 T 0710 的区别在于是在试验室制作试件还是从现场钻取试件，现场钻取试件的高度不可能相同，故规定了可作高度修正。试验室制作试件的高度应该控制好，不符高度者应予废弃。以前室内试验试件也用高度修正系数的作法是不对的。

本次修订对沥青混合料马歇尔试验仪进行了分类，分为自动或手动。对标准马歇尔试验的试件尺寸及大马歇尔试件的尺寸按照集料公称最大粒径作了规定。当集料公称最大粒径小于或等于 26.5mm 时，宜采用 $\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$ 的标准马歇尔试件；当集料公称最大粒径大于 26.5mm 时，宜采用 $\phi 152.4\text{mm} \times 95.3\text{mm}$ 大型马歇尔试件。对于室内击实成型试件，原条文说明中对于大于 26.5mm 混合料，当用于配合比设计等目的需要在试验室制件时，需要采用替代法，把大于 26.5mm 的集料筛去，用小一档的料替代，这与实际工程中混合料的级配是不一样的。本次根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)的要求对该方法进行了修订，即对于大于 26.5mm 粒径的沥青混合料，需要采用大马歇尔试模成型试件，取消采用替代法。另外，用于施工质量检验时，必须快速得知结果，或试模数量不足时，T 0702 规定允许用电风扇吹冷或冷水浸泡脱模，这种作法对配合比设计是不允许的，应引起注意。

由于马歇尔试验仪已有相关的标准，本方法中删去有关仪器的详细规定。目前国内马歇尔试验仪绝大部分单位采用的都是自动马歇尔试验仪，但是对于低等级道路或很少单位可能

仍然在使用手动马歇尔试验仪，因此本次仍然保留了这部分内容。

马歇尔试验是沥青混合料配合比设计及沥青路面施工质量控制的最重要的试验项目，数据的真实性十分重要。本规程规定对用于高速公路和一级公路的沥青混合料，宜采用计算机或 X-Y 记录仪自动测定的自动马歇尔试验仪进行试验，在出具报告时附上荷载~变形曲线原件或自动打印结果。

在工程上有时出现马歇尔试验的荷载~变形曲线的顶部很平坦的现象，即荷载增加很小，变形却持续不断增大，改性沥青和 SMA 混合料也经常出现这种情况，致使对应于最大荷载（稳定度）处的变形（流值）很大，在这种情况下，可以以最大荷载的 98% 对应的变形值作为流值，但应该在试验报告中如实说明。

另外，马歇尔试验仪的加工质量应该引起注意，如有的仪器在试件和压头之间出现透亮的孔隙，即试件与压头不密合的情况较多，从而使得开始试验时荷载尚未增加，流值计已经出现较大的变形，这一部分变形实际上是使试件与压头密合过程中的变形，是不应该计算到流值之中的。因此，需要进行原点修正，采用原点修正后的流值作为试验结果。

对浸水马歇尔试验在原方法中规定将成型好的试件在 60℃ 热水中浸 48h 后试验，在 ASTM 及日本等大多数国家的标准均是这样规定的。但实践证明，除非是酸性石料，用此法测定的浸水马歇尔试验残留稳定度很少有达不到标准规定的 75% 要求的情况，甚至有大于 100% 的情况。为此第 17 届世界道路会议推荐把试件浸入 25℃ 水中达 7d 后进行马歇尔试验，测量马歇尔稳定度的降低和体积变化，以此评价水对混合料的影响。壳牌石油公司中央研究所经多年研究修订了浸水马歇尔试验，先经真空饱水后再在 60℃ 浸水 48h 试验，由于试件中先浸入冷水且浸的水量较多，故浸入热水后膨胀严重，稳定度损失较大，更能反映抗水浸蚀的稳定性。

由于浸水 7d 的方法过于麻烦，实际上很难做到，而真空饱水后浸水则很方便，故本试验法增加了真空饱水马歇尔试验。

对原方法规定的试件高度修正系数，在国外标准如 ASTM D 1559 或日本等国的试验法中均规定只适用于现场钻取试件的情况，在室内试验制件时是不允许的。故本试验法中将其删去，列入路面芯样马歇尔试验方法(T 0710)中。

马歇尔试验的变异性往往较大，按美国 NCAT 最近 41 个单位联合试验测定，同一试验室试验结果的标准差：稳定度为 814N，空隙率为 0.6%，VMA 为 0.4%；而不同的试验室之间试验结果的标准差：稳定度为 2553N，空隙率为 1.0%。我国试验结果也有类似情况，故几个试件结果的平均值计算方法常有疑问，此问题在国外也无明确的规定，本方法根据实践经验，对此作了统一的规定。应该注意的是，马歇尔试验变异性与试件的成型高度关系很大，尤其是对空隙率的影响可能较大，所以制件时要很好控制试件高度，高度不符者一定要剔除。

T 0710—2011 沥青路面芯样马歇尔试验

1 目的与适用范围

本方法适用于从沥青路面钻取的芯样进行马歇尔试验，供评定沥青路面施工质量是否符合设计要求或进行路况调查。标准芯样钻孔试件的直径为 100mm，适用的试件高度为 30mm~80mm；大型钻孔试件的直径为 150mm，适用的试件高度为 80mm~100mm。

2 仪器与材料技术要求

本方法所用的仪器与材料与本规程 T 0709 沥青混合料马歇尔试验相同。

3 方法与步骤

3.1 按现行《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60-2008)的方法钻取压实沥青混合料路面芯样试件。

3.2 试验前必须对芯样试件黏附的黏层油、透层油和松散颗粒等清理干净。对与多层沥青混合料联结的芯样，宜采用以下方法进行分离：

3.2.1 在芯样上对不同沥青混合料层间画线作标记，然后将芯样在 0℃ 以下冷却 20min~25min。

3.2.2 取出芯样，用宽 5cm 以上的凿子对准层间画线标记处，用锤子敲打凿子，在敲打过程中不断旋转试件，敲打直到试件分开。

3.2.3 如果以上方法无法将试件分开，特别是层与层之间的界线难易分清时，宜采用切割方法进行分离，切割时需要连续加冷却水切割，并注意观察切割后的试件不能含有其他层次的混合料。

3.3 试件宜在阴凉处存放(温度不宜高于 35℃)，且放置在水平的地方，注意不要使试件产生变形等。

3.4 如缺乏沥青用量、矿料配合比及各种材料的密度数据时，应按本规程 T 0711 测定沥青混合料的理论最大相对密度。

3.5 按本规程规定的方法测定试件的密度，并计算空隙率、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等物理指标。

3.6 用卡尺测定试件的直径，取两个方向的平均值。

3.7 测定试件的高度，取 4 个对称位置的平均值，准确至 0.1mm。

3.8 按本规程 T 0709 的方法进行马歇尔试验，由试验实测稳定度乘以表 T0710-1 或表 T0710-2 的试件高度修正系数 K 得到标准高度试件的稳定度 MS，其余与本规程 T 0709 方法相同。

表 T0710-1 现场钻取芯样试件高度修正系数(适用于 ϕ 100mm 试件)

试件高度(cm)	修正系数 K	试件高度(cm)	修正系数 K
2.47~2.61	5.56	5.16~5.31	1.39
2.62~2.77	5.00	5.32~5.46	1.32
2.78~2.93	4.55	5.47~5.62	1.25
2.94~3.09	4.17	5.63~5.80	1.19
3.10~3.25	3.85	5.81~5.94	1.14
3.26~3.40	3.57	5.95~6.10	1.09
3.41~3.56	3.33	6.11~6.26	1.04
3.57~3.72	3.03	6.27~6.44	1.00
3.73~3.88	2.78	6.45~6.60	0.96
3.89~4.04	2.50	6.61~6.73	0.93
4.05~4.20	2.27	6.74~6.89	0.89
4.21~4.36	2.08	6.90~7.06	0.86
4.37~4.51	1.92	7.07~7.21	0.83
4.52~4.67	1.79	7.22~7.37	0.81
4.68~4.87	1.67	7.38~7.54	0.78
4.88~4.99	1.50	7.55~7.69	0.76
5.00~5.15	1.47		

T0710-2 现场钻取芯样试件高度修正系数(适用于 ϕ 150mm 试件)

试件高度(cm)	试件体积(cm ³)	修正系数 K
8.81~8.97	1608~1636	1.12
8.98~9.13	1637~1665	1.09
9.14~9.29	1666~1694	1.06
9.30~9.45	1695~1723	1.03
9.46~9.60	1724~1752	1.00
9.61~9.76	1753~1781	0.97
9.77~9.92	1782~1810	0.95
9.93~10.08	1811~1839	0.92
10.09~10.24	1840~1868	0.90

条文说明

从沥青路面钻取的芯样与室内成型制作的试件不同，高度不可能符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 的要求，故进行马歇尔试验的方法也不同，为此专列一个试验方法。

本方法规定了当钻取芯样试件高度不符合 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 或 $95.3\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 时的稳定度

修正系数，此系数采用 ASTM D 1559 附注及 D 5581 的规定。关于试件尺寸容许误差，国外标准未见有规定，由于钻头直径往往是 100mm 及 150mm 的，所以试件直径必然小于 101.6mm 或 152mm 的要求。由于直径偏小，不可能与马歇尔试验仪的压头吻合，这是矛盾的，因此本方法的试验结果并不能作为检验沥青路面是否合格的依据。

其余均与 T 0709 相同。

对现场钻取的多层沥青混合料芯样，采用切割法很难分清不同的混合料结构层状况，因此，本次修订参考 ASTM 和 AASHTO 的方法，先将芯样在 0℃ 以下冷却 20~25min，然后用凿子敲打试件，直到试件分开，如果试件不完整或有破碎情况该试件作废。当以上方法无法将试件分开，特别是层与层之间的界线难易分清时，宜采用切割方法进行分离，并注意切割后的试件不能含有其他层次的混合料。同时规定了试件的存放条件。

T 0711—2011 沥青混合料理论最大相对密度试验(真空法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于真空法测定沥青混合料理论最大相对密度，供沥青混合料配合比设计、路况调查或路面施工质量管理计算空隙率、压实度等使用。

1.2 本方法不适用于吸水率大于 3% 的多孔性集料的沥青混合料。

2 仪器与材料技术要求

2.1 天平：称量 5kg 以上，感量不大于 0.1g；称量 2kg 以下，感量不大于 0.05g。

2.2 负压容器：根据试样数量选用表 T 0711-1 中的 A、B、C 任何一种类型。负压容器口带橡皮塞，上接橡胶管，管口下方有滤网，防止细料部分吸入胶管。为便于抽真空时观察气泡情况，负压容器至少有一面透明或者采用透明的密封盖。

表 T 0711-1 负压容器类型

类型	容 器	附 属 设 备
A	耐压玻璃，塑料或金属制的罐，容积大于 2000mL	有密封盖，接真空胶管，分别与真空装置和压力表连接
B	容积大于 2000mL 的真空容量瓶	带胶皮塞，接真空胶管，分别与真空装置和压力表连接

C	4000mL 耐压真空器皿或干燥器	带胶皮塞，接真空胶皮管，分别与真空装置和压力表连接

2.3 真空负压装置：如图 T 0711-1，由真空泵、真空表、调压装置、压力表、负压容器及干燥或积水装置等组成。

2.3.1 真空泵应使负压容器内产生 $3.7\text{kPa} \pm 0.3\text{kPa}$ ($27.5\text{mmHg} \pm 2.5\text{mmHg}$) 负压；真空表分度值不得小于 2kPa 。

2.3.2 调压装置应具备过压调节功能，以保持负压容器的负压稳定在要求范围内，同时还应具有卸除真空压力的功能。

2.3.3 压力表应经过标定，能够测定 $0 \sim 4\text{kPa}$ ($0 \sim 30\text{mmHg}$) 负压。当采用水银压力表时分度为 1mmHg ，示值误差为 2mmHg ；非水银压力表分度为 0.1kPa ，示值误差为 0.2kPa 。压力表不得直接与真空装置连接，应单独与负压容器相接。

2.3.4 干燥或积水装置主要是防止负压容器内的水份进入真空泵内。

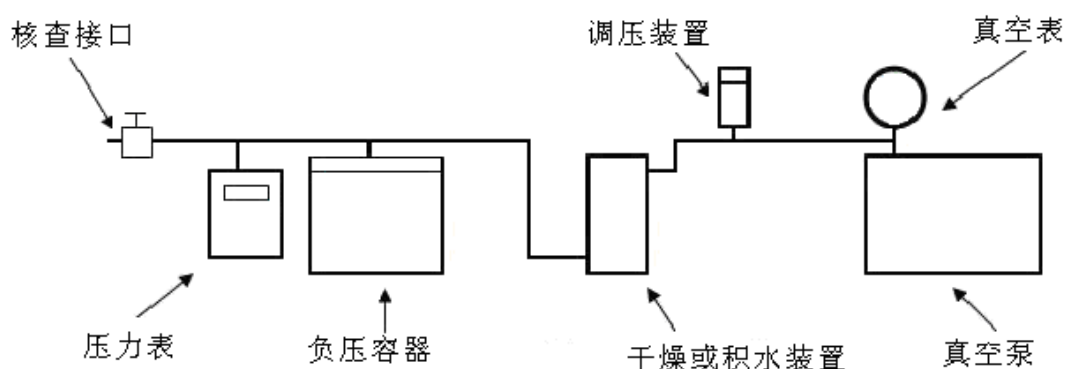


图 T 0711-1 理论最大密度仪装置

2.3.5 振动装置：试验过程中根据需要可以开启或关闭。

2.4 恒温水槽：水温控制 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.5 温度计：分度为 0.5°C 。

2.6 其它：玻璃板、平底盘、铲子等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按以下几种方法获取沥青混合料试样，试样数量宜不少于表 T 0711-2 的规定数量。

1)按照 T 0702 的方法拌制沥青混合料，分别拌制两个平行试样，放置于平底盘中。

2)按照 T 0701 沥青混合料取样方法从拌和楼、运料车或者摊铺现场取样，趁热缩分成两个平行试样，分别放置于平底盘中。

3)从沥青路面上钻芯取样或切割的试样，或者其他来源的冷沥青混合料，应置烘箱 $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 加热至变软、松散后，然后缩分成两个平行试样，分别放置于平底盘中。

表 T 0711-2 沥青混合料试样数量

公称最大粒径, mm	试样最小质量, g
4.75	500
9.5	1000
13.2、16	1500
19	2000
26.5	2500
31.5	3000
37.5	3500

3.1.2 将平底盘中的热沥青混合料，在室温中冷却或者用电风扇吹，一边冷却一边将沥青混合料团块仔细分散，粗集料不破碎，细集料团块分散到小于 6.4mm。若混合料坚硬时可用烘箱适当加热后再分散，加热温度不超过 60°C 。分散试样时可用铲子翻动、分散，在温度较低时应用手掰开，不得用锤打碎，防止集料破碎。当试样是从路上采取的非干燥混合料时，应用电风扇吹干至恒重后再操作。

3.1.3 负压容器标定方法

1) 采用 A 类容器时，将容器全部浸入 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中，负压容器完全浸没、恒温 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ 后，称取容器的水中质量 m_1 。

2) B、C 类负压容器

①大端口的负压容器，需要有大于负压容器端口的玻璃板。将负压容器和玻璃板放进水槽中，注意轻轻摇动负压容器使容器内气泡排除。恒温 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ ，取出负压容器和玻璃板，向负压容器内加满 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 水至液面稍微溢出，用玻璃板先盖住容器端口 1/3，然后慢慢沿容器端口水平方向移动盖住整个端口，

注意查看有没有气泡。擦除负压容器四周的水，称取盛满水的负压容器质量为 m_0 。

②小口的负压容器，需要采用中间带垂直孔的塞子，其下部为凹槽，以便于空气从孔中排除。将负压容器和塞子放进水槽中，注意轻轻摇动负压容器使容器内气泡排除。恒温 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ ，在水中将瓶塞塞进瓶口，使多余的水由瓶塞上的孔中挤出。取出负压容器，将负压容器用干净软布将瓶塞顶部擦拭一次，再迅速擦负压容器外面的水分，最后称其质量 m_0 。

3.1.4 将负压容器干燥，编号称取其干燥质量。

3.2 试验步骤

3.2.1 将沥青混合料试样装入干燥的负压容器中，称容器及沥青混合料总质量，得到试样的净质量 m_a ，试样质量应不小于上述规定的最小数量。

3.2.2 在负压容器中注入 $25^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的水，将混合料全部浸没，并较混合料顶面高出约 2cm。

3.2.3 将负压容器放到试验仪上，与真空泵、压力表等连接，开动真空泵，使负压容器内负压在 2min 内达到 $3.7\text{kPa} \pm 0.3\text{kPa}$ ($27.5\text{mmHg} \pm 2.5\text{mmHg}$) 时，开始计时，同时开动振动装置和抽真空，持续 $15\text{min} \pm 2\text{min}$ 。

为使气泡容易除去，试验前可在水中加入有 0.01% 浓度的表面活性剂 (如每 100mL 水中加 0.01g 洗涤灵)。

3.2.4 当抽真空结束后，关闭真空装置和振动装置，打开调压阀慢慢卸压，卸压速度不得大于 8kPa/s (通过真空表读数)，使负压容器内压力逐渐恢复。

3.2.5 当负压容器采用 A 类容器时，将盛试样的容器浸入保温至 $25^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的恒温水槽，恒温 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ 后，称取负压容器与沥青混合料的水中质量 (m_2)。

3.2.6 当负压容器采用 B、C 类容器时，将装有沥青混合料试样的容器浸入保温至 $25^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的恒温水槽，恒温 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ 后，注意容器中没有气泡，擦净容器外的水分，称取容器、水和沥青混合料试样的总质量 (m_c)。

4 计算

4.1 采用 A 类容器时，沥青混合料的理论最大相对密度按式 (T 0711-1) 计算。

$$\gamma_t = \frac{m_a}{m_a - (m_2 - m_1)} \quad (\text{T 0711-1})$$

式中： γ_t — 沥青混合料理论最大相对密度；

m_a —干燥沥青混合料试样的空气中质量, g;

m_1 —负压容器在 25℃ 水中的质量, g;

m_2 —负压容器与沥青混合料在 25℃ 水中的质量, g。

4.2 采用 B、C 类容器作负压容器时, 沥青混合料的理论最大相对密度按式(T 0711-2)计算。

$$\gamma_t = \frac{m_a}{m_a + m_b - m_c} \quad (\text{T 0711-2})$$

式中: m_b —装满 25℃ 水的负压容器质量, g;

m_c —25℃ 时试样、水与负压容器的总质量, g。

4.3 沥青混合料 25℃ 时的理论最大密度按式(T 0711-3)计算。

$$\rho_t = \gamma_t \times \rho_w \quad (\text{T 0711-3})$$

式中: ρ_t —沥青混合料的理论最大密度, g/cm³;

ρ_w —25℃ 时水的密度, 0.9971 g/cm³。

5 修正试验

5.1 需要进行修正试验的情况

5.1.1 对现场钻取芯样或切割后的试件, 当粗集料有破碎情况, 破碎面没有裹覆沥青。

5.1.2 沥青与集料拌和不均匀, 部分集料没有完全裹覆沥青。

5.2 修正试验方法

5.2.1 完成 3.2.5 后, 将负压容器静置一段时间使混合料沉淀后, 使容器慢慢倾斜, 使容器内水通过 0.075mm 筛滤掉。

5.2.2 将残留部分水的沥青混合料细心倒入一个平底盘中, 然后用适当水涮容器和 0.075mm 筛网, 并将其也倒入平底盘中, 重复几次直到无残留混合料。

5.2.3 静置一段时间后, 稍微提高平底盘一端, 使试样中部分水倒出平底盘, 并用吸耳球慢慢吸去水。

5.2.4 将试样在平底盘中尽量摊开, 用吹风机或电风扇吹干, 并不断翻拌试样。每 15min 称量一次, 当二次质量相差小于 0.05% 时, 认为达到表干状态, 称取质量为表干质量, 用表干质量代替 m_a 重新计算。

6 报告

同一试样至少平行试验两次, 计算平均值作为试验结果, 取 3 位小数。采用补

充试验时需要在报告中注明。

7 允许误差

重复性试验的允许误差为 $0.011\text{g}/\text{cm}^3$ ，再现性试验的允许误差为 $0.019\text{g}/\text{cm}^3$ 。

条文说明

采用本方法测定的沥青混合料理论最大相对密度，供沥青混合料配合比设计、路况调查或路面施工质量管理计算空隙率、压实度等使用。在原方法中规定采用真空度控制不是很合理，因为在不同海拔高度，真空度标准是变化的。对于同一设备，其真空泵抽取空气的能力是一定的，在海平面上负压为 4kPa ，对应的真空度为 97.3kPa ，而在青海、西藏等高海拔地区，由于当地大气压较低，真空装置将负压容器内的负压抽取到 4kPa 应该更容易，但是在这些地方最大理论密度仪真空度仪表盘显示的真空度往往达不到要求，即造成容器内负压达不到 4kPa 要求，如果试验仪器没有过压调节装置，此时容器内负压往往偏低，低于 4kPa 。因此，本次修订时主要参考 ASTM D2041—03A、AASHTO T209-05 和日本道路协会铺装试验法 3-9-5 的方法，取消了用真空度控制标准。采用负压容器内的负压控制。主要修改内容有：

①原方法中抽真空时要求真空度达到 97.3kPa (730mmHg) 或负压 4kPa ，现采用负压容器内的负压为 $3.7\text{kPa} \pm 0.3\text{kPa}$ ($27.5\text{mm} \pm 2.5\text{mmHg}$)。这主要是由于目前国内部分试验仪实测负压低于 2kPa ，而负压过低容易器产生沥青剥落，实测值偏大。而最新版本的 ASTM D2041-03A 和 AASHTO T209-05 均规定采用负压(即残余绝对压力) $3.7\text{kPa} \pm 0.3\text{kPa}$ ($27.5\text{mm} \pm 2.5\text{mmHg}$) 作为控制标准。因此修订后的方法与 ASTM D2041-03A 和 AASHTO T209-05 是一致的。

②要求试验仪应具有压力表和调压装置。并要求试验仪的压力表不得与真空装置直接连接。表 T 0711-2 为不同试验室采用的理论最大密度仪情况。可以看出目前国产仪器的压力表均与真空泵直接相接，分度值一般为 $2\text{kPa} \sim 5\text{kPa}$ ，精度太低，无法满足 $3.7\text{kPa} \pm 0.3\text{kPa}$ ($27.5\text{mm} \pm 2.5\text{mmHg}$) 要求。调压装置主要功能是当真空装置抽真空太高，超过调压阀的阈值时就会打开补偿真空，使得负压容器负压稳定。因此本次修订明确这一要求。

表 T 0711-2 不同理论最大密度仪的情况

仪器序号	国产 1	国产 2	国产 3	国产 4	国产 5	国产 6	进口 7	进口 8
真空表分度值, kPa	2.5	2	2.5	5	5	5	2	2
负压值, kPa	3.3	3.9	3.9	2.1	1.5	1.8	3.7	3.6

③很多文献认为对现场钻取芯样或切割的试样可能会产生粗集料破碎，使破碎面没有裹覆沥青；当沥青与集料拌和不均匀时部分集料没有完全裹覆沥青等，这些情况易导致沥青混

合料实测的理论最大相对密度偏大,需要进行补充试验,ASTM 和 AASHTO 的方法都采取了修正方法。为此,本次修订明确了需要进行补充试验的要求及方法。

对负压容器的标定,老版本的 ASTM 要求对不同水温作出负压容器标定曲线,允许在一定温度范围内测定,对于非 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 温度条件下需要进行沥青体积修正和水温修正,得到标准温度时的理论最大相对密度和理论最大密度,而 2003 版的规范只规定在 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内进行试验,不要求温度修正。日本的试验方法也没有要求进行不同水温的标定曲线。美国各州规定则不统一,绝大部分州要求严格按照 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (或者 $25^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) 进行试验,有的甚至要求在 $25^{\circ}\text{C}\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 试验。总而言之在 ASTM 或 AASHTO 的规范里都指出,当每次试验都应进行容器标定,标定时温度值与试验温度值的差不得大于 1°C ,就不需要作温度标定曲线。由于最大理论(相对)密度,在配合比设计、现场质量控制中非常重要,我国地域辽阔,各地室温差异较大,特别是施工现场实验室的温度相差很大,因此本方法规定试验温度应严格在 $25^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 进行,每次试验都重新进行容器标定,无需对不同温度作出标定曲线。

对聚合物改性沥青,由于沥青结合料黏度较大,即使分散到 6mm 以下的颗粒,内部仍难免有较多的小气泡,对测定结果有影响,所以欧洲认为对聚合物改性沥青是不合适的,我国的试验结果也证明了这一点,因此对于改性沥青混合料不采用此方法测定理论最大相对密度。

允许误差要求是参考 AASHTO T209-05 的规定,并结合我国的实际情况提出的。ASTM D2041 规定重复性试验为 $0.023\text{g}/\text{cm}^3$,再现性试验为 $0.044\text{g}/\text{cm}^3$,从试验情况看允许误差要求太宽,在美国各州允许误差均采用了 AASHTO T209-05 的要求。

2004 年《公路沥青路面施工技术规范》实施以来,真空法实测理论最大相对密度已成为标准试验方法,我们在具体实施过程中应该严格按照规程的方法进行试验。

T 0712—2011 沥青混合料理论最大相对密度试验(溶剂法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于溶剂法测定沥青混合料理论最大相对密度,供沥青混合料配合比设计、路况调查或路面施工质量管理计算空隙率、压实度等使用。

1.2 本方法不适用于集料吸水率大于 1.5% 的沥青混合料。

2 仪器与材料技术要求

2.1.1 恒温水槽:可使水温控制 $25^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.1.2 天平:感量不大于 0.1g。

2.1.3 广口容量瓶:1000mL、有磨口瓶塞。

2.1.4 溶剂:三氯乙烯。

2.1.5 温度计：分度为 0.5℃。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按以下几种方法获得沥青混合料试样，试样数量宜不少于表 T 0712-1 的规定数量。

1) 按照 T 0702 的方法拌制沥青混合料，分别拌制两个平行试样，放置于平底盘中。

2) 按照 T 0701 沥青混合料取样方法从拌和楼、运料车或者摊铺现场取样，趁热缩分成两个平行试样，分别放置于平底盘中。

3) 从沥青路面上钻芯取样或切割的试样，或者其他来源的冷沥青混合料，应置烘箱 $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 加热至变软、松散后，然后缩分成两个平行试样，分别放置于平底盘中。

表 T 0712-1 沥青混合料试样数量

公称最大粒径 (mm)	试样最小质量 (g)
4.75	500
9.5	1000
13.2、16	1500
19	2000
26.5	2500
31.5	3000
37.5	4000

3.1.2 将平底盘中的热沥青混合料，在室温中冷却或者用电风扇吹，一边冷却一边将沥青混合料团块仔细分散，粗集料不破碎，细集料团块分散到小于 6.4mm。若混合料坚硬时可用烘箱适当加热后再分散，加热温度不超过 60°C 。分散试样时可用铲子翻动、分散，在温度较低时应用手掰开，不得用锤打碎，防止集料破碎。当试样是从路上采取的非干燥混合料时，应用电风扇吹干至恒重后再操作。

3.2 试验步骤

3.2.1 称取干燥的广口容量瓶质量 (m_c)。

3.2.2 广口容量瓶充满三氯乙烯溶剂，加磨口瓶塞放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 恒温水槽中保温 15min，取出擦净，称取瓶与溶剂合计质量 (m_e)。

3.2.3 将瓶中溶剂倒出，干燥，按照四分法取沥青混合料试样 200g 左右装入比重瓶，称取瓶与混合料合计质量 (m_b)。

3.2.4 向瓶中混合料加入 250mL 三氯乙烯溶剂,将比重瓶浸入 25℃±0.5℃恒温水槽中,并不时摇晃,使沥青溶解,同时赶走气泡,持续 1h~2h。

3.2.5 待沥青完全溶解且已无气泡冒出时,注入已保温为 25℃的溶剂至满,加磨口瓶塞,称取瓶与沥青混合料及溶剂的总质量(m_a)。

4 计算

4.1 沥青混合料的理论最大相对密度按式(T0712-1)计算。

$$\gamma_t = \frac{m_b - m_c}{[(m_e - m_c) - (m_a - m_b)]/\gamma_c} \quad (\text{T0712-1})$$

式中: γ_t —沥青混合料理论最大相对密度;

m_a —容量瓶充满混合料与溶剂的总质量, g;

m_b —瓶加混合料的合计质量, g;

m_c —容量瓶的质量, g;

m_e —容量瓶充满溶剂的合计质量, g;

γ_c —25℃时三氯乙烯溶剂对水的相对密度,可取 1.4642。

5 报告

同一试样至少平行试验两次,计算平均值作为试验结果,取 3 位小数。

条文说明

本方法与 T 0711 真空法的目的相同,该方法在欧洲用得较多,但是需要消耗较多的三氯乙烯溶剂,而三氯乙烯对环境和人体都有影响。溶剂法在 ASTM 方法中未正式列入,是 P. J. Serafin 在 ASTM STP 191 中提出的,由于方法简便,使用者也不少,故列入本试验方法。

本次修订主要对沥青混合料试样的取样作了比较详细的规定,包括拌制沥青混合料;从拌和楼、运料车或者摊铺现场取样;从沥青路面上钻芯取样或切割的试样的取样方法。

此外溶剂法与真空法测定的结果是有差别的。该方法是采用溶剂将沥青全部溶解,沥青将渗入集料空隙内部,使得测定的理论最大相对密度可能偏大,这对吸水率大的多孔性集料更是如此,而且由于试验时溶剂吸入集料的量与沥青吸入的量不同,所以与实际情况也是有差异的。故本方法规定仅适用于集料吸水率小于 1.5%的沥青混合料。

本方法按日本松野三朗著《沥青路面试验》一书中所列的方法编写。

T 0713—2000 沥青混合料单轴压缩试验(圆柱体法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定热拌沥青混合料的抗压回弹模量和抗压强度。按照《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2006)确定沥青混合料结构层的设计参数时应按本方法执行。如无特殊规定,用于计算弯沉的抗压回弹模量的标准试验温度为 20℃,用于验算弯拉应力的抗压回弹模量的标准试验温度为 15℃。加载速率为 2mm/min。

1.2 本方法适用于直径 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$, 高 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 的沥青混合料圆柱体试件。

2 仪具与材料技术要求

2.1 万能材料试验机,其它可施加荷载并测试变形的路面材料试验设备也可使用,但均必须满足下列条件:

2.1.1 最大荷载应满足不超过其量程的 80%,且不小于量程的 20%的要求,宜采用 100kN,分度值 100N。具有球形支座,压头可以活动与试件紧密接触。

2.1.2 具有环境保温箱,控温准确至 0.5℃。当缺乏环境保温箱时,试验室应设置空调,控温准确至 1.0℃。

2.1.3 能符合加载速率保持 2mm/min 的要求。试验机宜有伺服系统,在加载过程中速度基本不变。

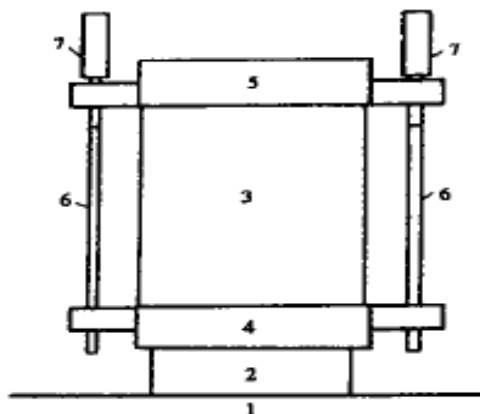


图 T 0713 变形量测装置

1-试验机台；2-球座；3-试件；4-下压板；5-上压板；6-顶杆；7-千分表或其它变形量测装置

2.2 变形量测装置

抗压试验加载用上下压板，下压板下有带球面的底座。压板直径为 120mm，在直径 102mm 处有一浅的放置试件的圆周刻印。下压板直径线两侧有立柱顶杆，上压板直径线两侧装有千分表架，表架中心与顶杆中心位置一致(见图 T 0713)。当试验机具有自动测定试件垂直变形或自动测记试件的压力与变形曲线功能时，可以直接使用，不必另外配备变形量测装置。

2.3 千分表(1/1000mm)，2 只。

2.4 恒温水槽：用于试件保温，温度能满足试验温度要求，控温精密度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。恒温水槽的液体应能不断循环回流。深度应大于试件高度 50mm。

2.5 台秤或天平：感量不大于 0.5g。

2.6 温度计：分度为 0.5°C 。

2.7 秒表、卡尺。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0704 用静压法成型沥青混合料试件。也可从轮碾机成型的板块试件上用钻芯机钻取试件。试件尺寸应符合直径 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ ，高 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 的要求。如有条件，可采用振动压实或搓揉法成型试件（试件尺寸及成型方法应在报告中注明）。试件的密度应符合马歇尔标准击实密度 $100\% \pm 1.0\%$ 的要求。

3.1.2 试件成型后不等完全冷却即可脱模，用卡尺量取试件高度，若最高部位与最低部位的高度差超过 2mm 时试件应作废。用于抗压强度试验的试件数不得少于 3 个，用于抗压回弹模量的一组试件数宜为 3~6 个。

3.1.3 将试件放置在室温条件下 24h，用卡尺在各个试件上下两个断面的垂直方向上正确量取试件直径，取四个数的平均值作为试件的计算直径(d)，准确至 0.1mm。

3.1.4 用卡尺在各个试件的 4 个对称位置上正确量取试件高度，取四个数的平均值作为试件的计算高度(h)，准确至 0.1mm。

3.1.5 按本规程规定的方法测定试件的密度、空隙率等各项物理指标。

3.1.6 将试件置于规定的试验温度(15℃或 20℃)的恒温水槽中保温 2.5h 以上，保温时试件之间的距离应不小于 10mm。此时压板、底座也应同时保温。在有空调的试验室内测试时，将室温调至要求的温度，试件放置 12h 以上。

3.1.7 使试验机环境保温箱或空调试验室达到要求的试验温度。

3.2 抗压强度试验步骤

3.2.1 将下压板、底座置于试验机升降台座上对中，迅速取出试件放在下压板中央刻线位置，加上上压板。

3.2.2 将试件从恒温水槽中取出，立即置于压力机台座上，以 2mm/min 的加载速率均匀加载直至破坏，读取荷载峰值(P)，准确至 100N。

3.3 抗压回弹模量试验步骤

3.3.1 确定加载级别：按 3.2 的方法测试抗压强度平均值 P，大体均匀地分成 10 级荷载，分别取 0.1P、0.2P、0.3P、…、0.7P 七级（可取成接近的整数）作为试验荷载。

3.3.2 将下压板、底座置于试验机升降台座上对中，迅速取出试件放在下压板中央刻线位置，加上上压板，在两侧千分表架上安置千分表，与下压板相应位置的千分表顶杆接触(见图 T 0713)。如果利用试验机的压力与试件变形自动测试功能时，做好相应的测试准备。

3.3.3 调整试验机台座的高度，使加载顶板与压头中心轻轻接触。

3.3.4 以 2mm/min 速度加载至 0.2P 进行预压保持 1min，观察两侧千分表增值是否接近，若两个千分表读数反向或增值差异大于 3 倍，则表明试件是偏心受压，应敲动球座适当调整，至读数大致接近，然后卸载，并重复预压一次。卸载

至零后记录两个千分表的原始读数。

3.3.5 以 2mm/min 速度加载至第 1 级荷载 (0.1P)，立即记取千分表读数及实际荷载数，并以同样的速率卸载回零，开始启动秒表，待试件回弹变形 30s 后，再次记取千分表读数，加载与卸载两次读数之差即为此级荷载下试件的回弹变形 (ΔL_1)。然后依次进行第 2、3、…、7 级荷载的加载卸载过程，方法与第 1 级荷载相同，分别加载至 0.2P、0.3P、…、0.7P，卸载，并分别记取千分表读数及实际荷载，得出各级荷载的回弹变形 ΔL_i 。

4 计算

4.1 沥青混凝土试件的抗压强度依式 (T 0713-1) 计算。

$$R_C = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (\text{T 0713-1})$$

式中： R_C ——试件的抗压强度，MPa；

P ——试件破坏时的最大荷载，N；

d ——试件直径，mm。

4.2 按式 (T 0713-2) 计算各级荷载下试件实际承受的压强 q_i 。在方格纸上绘制各级荷载的压强 q_i 与回弹变形 ΔL_i ，将 $q_i \sim \Delta L_i$ 关系绘成一平顺的连续曲线，使之与坐标轴相交得出修正原点，根据此修正原点坐标轴从第 5 级荷载 (0.5P) 读取压强 q_5 及相应的 ΔL_5 。沥青混合料试件的抗压回弹模量按式 (T 0713-3) 计算。

$$q_i = \frac{4P_i}{\pi d^2} \quad (\text{T 0713-2})$$

$$E' = \frac{q_5 \times h}{\Delta L_5} \quad (\text{T 0713-3})$$

式中： q_i ——相应于各级试验荷载 P_i 作用下的压强，MPa；

P_i ——施加于试件的各级荷载值，N；

E' ——抗压回弹模量，MPa；

q_5 ——相应于第 5 级荷载 (0.5P) 时的荷载压强，MPa；

h ——试件轴心高度，mm；

ΔL_5 ——相应于第 5 级荷载 (0.5P) 时经原点修正后的回弹变形(mm)。

5 报告

5.1 当一组试件的测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，有效试件数为 n 时的 k 值列于表 T 0713。对其余测定值按式(T

0713-4)的 t 分布法计算整理, 得到供路面设计用的抗压回弹模量值。

$$E = E' - \frac{t}{\sqrt{n}} S \quad (\text{T 0713-4})$$

式中: E——供路面设计用的抗压回弹模量值, MPa;

E'——组试件实测的抗压回弹模量的平均值, MPa;

S——组试件样品实测值的标准差, MPa;

n——组试件的有效试件数;

t——随保证率而变的系数。对高速公路及一级公路的保证率为 95%, 其它等级公路的保证率为 90%。 $t/\sqrt{n}$ 值如表 T 0713 所列。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、成型方法、试验温度、加载速率, 以及试验结果的平均值、标准差、变异系数。必要时注明试件的密度、空隙率等。

表 T 0713 有效试件数与 t 值的关系

有效试件数 n	临界值 k	$t/\sqrt{n}$	
		保证率 95%	保证率 90%
3	1.15	1.686	1.089
4	1.46	1.177	0.819
5	1.67	0.954	0.686
6	1.82	0.823	0.603
7	1.94	0.734	0.544
8	2.03	0.670	0.500
9	2.11	0.620	0.466
10	2.18	0.580	0.437

条文说明

沥青混合料的单轴压缩试验采用对沥青混合料试件按规定方法逐级加载卸载, 测定试件的抗压回弹模量, 以及一次性加载至破坏时的最大应力即抗压强度, 均以 MPa 计。1983 年试验规程 203—83 关于沥青混合料抗压强度试验, 规定的试验条件是参照前苏联的方法及我国的工程实践制定的。多年来, 实际进行的并不多, 主要是试验目的不明确, 试验条件与美国等国家的标准也有较多差别, 修订时主要考虑《公路沥青路面设计规范》对材料设计参数的要求, 增补了材料回弹模量的测定方法。

沥青混合料单轴压缩试验所用的试件在国外有不同的规定, ASTM D 1074 及 AASHTO T 167 规定压实后圆柱形试件的直径与高度比为 1:1, 并规定试件的高度与直径之差不超过±2.5%, 直径不小于集料最大粒径的 4 倍, 亦不小于 2in。通常采用直径 101.6mm, 高度 101.6mm±2.5mm 的圆柱体。我国原试验规程 203—83 中也规定为 1:1 试件, 试件尺寸有 φ50mm×50mm、

φ 70mm×70mm、φ 100mm×100mm 三种，均采用静压法成型。现仅保留 φ 100mm×100mm 圆柱体。故本方法规定圆柱体试件仍用静压法成型，也可用搓揉法或振动成型法制作。

试件加荷速度 ASTM D 1074 规定高度应变速率控制为 0.05mm/(min·mm)，对 φ 101.6mm 的试件用 5.08mm/min 速度加载。AASHTO T 167 规定高度方向应变速率控制为 1.3mm/(min·25mm)，即对 φ 50mm×50mm 试件为 2.5mm/min，对 φ 200mm×200mm 试件为 10mm/min，对 φ 100mm×100mm 试件为 5mm/min(与 ASTM 相同)。

关于加载速率，无特殊规定时，采用 2mm/min，根据需要也可采用其他速率。试验温度，按《公路沥青路面设计规范》的规定采用 20℃或 15℃。

沥青混合物是黏弹性材料，不同的温度和加载速率对混合料的变形性能影响很大，因此试验过程中，必须高度重视这一点。如果试验机缺乏环境保护箱，可以考虑在安装有空调的房间内进行，对 20℃和 15℃试验温度来说，空调保温应该没有太大困难。

关于试验数据的整理方法，目前还有一些不同意见，主要是数据本身一般并不成线性关系，而且，随荷载的加大，变形越来越小，故模量反而越来越大。究竟如何整理为好，今后应当继续研究。本规程既然规定了修正原点的方法，就应统一采用此法，否则结果会有较大差异。

精密度在原试验规程中规定试件平行试验的容许误差为 10%，而 ASTM 及 AASHTO 中规定重复性精密度为，两组试件(每组 3 个)平均值误差不得大于 407kPa，试验结果中最大值与最小值之差不得大于 841kPa，再现性精密度分别为 372kPa 及 1055kPa。本试验方法考虑到在不同温度下的抗压强度相差很大，统一规定此数值不适宜，并作了新的规定。

T 0714—1993 沥青混合物单轴压缩试验(棱柱体法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定热拌沥青混合物在规定温度及加载速率时受压缩至破坏过程的力学性质。试验温度和加载速率根据有关规定和需要选用。如无特殊规定，宜采用加载速率 50mm/min。

1.2 本方法适用于由轮碾成型后切制的长 40mm±1.0mm、宽 40mm±1.0mm、高 80mm±2.0mm 棱柱体试件，若采用其它尺寸，应予注明。

2 仪器与材料技术要求

2.1 万能材料试验机或压力机：荷载用传感器测定，最大荷载应满足不超过其

量程的 80%且不小于 20%的要求,一般宜采用 40kN,分度值 0.1kN。具有球形支座,压头可以活动与试件紧密接触,宜具有环境保温箱,控温准确至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,加载速度可以选择。试验机宜有伺服系统,在加载过程中速度基本不变。

2.2 试件变形测定装置:可采用 LVDT 或电测百分表作为位移计。

2.3 数据采集系统或 X-Y 记录仪:能自动采集传感器及位移计的电测信号,在数据采集系统中储存或在 X-Y 记录仪上绘制荷载与试件变形曲线。

2.4 聚四氟乙烯薄膜。

2.5 恒温水槽:用于试件保温,温度应满足试验温度要求,控温准确至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。当试验温度低于 0°C 时,恒温水槽可采用 1:1 的甲醇水或防冻液作冷媒。恒温水槽的液体应能循环回流。

2.6 卡尺。

2.7 天平:感量不大于 0.1g。

2.8 温度计:分度为 0.5°C 。

2.9 秒表。

2.10 其它:平板玻璃等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0703 从轮碾机成型的板块试件上用切割法制作沥青混合料棱柱体试件,试件尺寸应符合长 $40\text{mm}\pm 1.0\text{mm}$ 、宽 $40\text{mm}\pm 1.0\text{mm}$ 、高 $80\text{mm}\pm 2.0\text{mm}$ 的要求,试件置平板玻璃上。

3.1.2 用卡尺量取试件的三个方向的尺寸,长度与宽度取上下两个断面的平均值,高度取对称两个方向的平均值,准确至 1mm。

3.1.3 按本规程的方法测定试件的密度、空隙率等各项物理指标。

3.1.4 将试件置于要求的试验温度的恒温水槽中保温 1h 或恒温空气箱中保温 4h 以上,直至试件内部温度达到要求的试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 为止,保温时试件之间的距离应不小于 10mm。

3.1.5 将试验机环境保温箱达到要求的试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。当加载速率等于或大于 $50\text{mm}/\text{min}$ 时,也可不用环境保温箱。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件从恒温水槽(或冰箱、烘箱)中取出,立即置于压力机台座上,

上下各垫一张聚四氟乙烯薄膜。

3.2.2 安装位移计，支座固定在试验机身上。位移计测头支于试件上方压头上或两侧(用两个位移计)。

3.2.3 将荷载传感器、位移计与数据采集系统或 X-Y 记录仪连接，以 X 轴为位移，Y 轴为荷载，选择适宜的量程后调零。压缩变形可以用 LVDT、电测百分表或类似的位移测定仪器测定。当以高精密度电液伺服试验机压头的位移作为压缩变形时，可以由加载速率 X-T 记录仪记录的时间求得变形。为正确记录跨中变形曲线，当采用 50mm/min 速率加载时，X-T 记录仪 X 轴走纸速度(或扫描速度)根据温度高低宜采用 500mm/min~5000mm/min。

3.2.4 立即以规定的加载速率均匀加载直至破坏，同时开动记录仪记录荷载—变形曲线，如图 T 0714 所示。

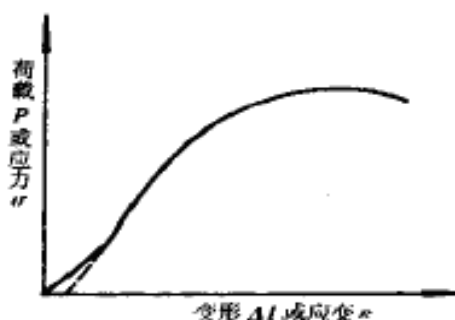


图 T 0714 荷载—变形曲线

3.2.5 当压力机无环境保温箱时，自试件从恒温箱中取出至试验结束的时间应不超过 45s。

4 计算

4.1 将图 T 0714 中的荷载变形曲线的直线段按图示方法沿切线方向延长与横坐标相交，以此为原点，由图中读取曲线峰值处最大荷载 P_c 及相应于最大荷载处的破坏变形 Δl 。

4.2 试件破坏时抗压强度 R_c 、压缩应变 ε_c 、压缩劲度模量 S_c 按式(T 0714-1)、(T 0714-2)和(T 0714-3)计算。

$$R_c = \frac{P_c}{b \times h} \quad (T 0714-1)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l}{l} \quad (T 0714-2)$$

$$S_c = \frac{R_C}{\varepsilon_C} \quad (T\ 0714-3)$$

式中： R_C ——试件的抗压强度，MPa；

P_C ——试件破坏时的最大荷载，N；

b ——试件的长度，mm；

h ——试件的宽度，mm；

ε_C ——试件破坏时的压缩应变；

Δl ——试件破坏时的压缩变形，mm；

l ——试件的高度，mm；

S_c ——试件的压缩破坏劲度模量，MPa。

4.3 需要计算加载过程中任一加载时刻的应力、应变、劲度模量的方法同上，只需读取该时刻的荷载及变形代替上式的最大荷载及破坏变形即可。

4.4 当记录的荷载—变形曲线在小变形区有一定的直线段时，可以试验的最大荷载 P_c 的 0.1~0.4 范围内的直线段部分的斜率按式 (T 0714-4) 计算弹性阶段的压缩劲度模量。

$$S'_C = \frac{(P_{C2} - P_{C1}) \times l}{(\Delta l_2 - \Delta l_1) \times b \times h} \quad (T\ 0714-4)$$

式中： S'_C ——试件在弹性阶段的压缩劲度模量，MPa；

P_{C2} 、 P_{C1} ——直线段内两个不同的荷载值，N；

Δl_2 、 Δl_1 ——相应于 P_{C2} 、 P_{C1} 荷载时试件的压缩变形，mm。

5 报告

5.1 当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试验数目 n 为 3、4、5、6 个时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、成型方法、试验温度及加载速率。

条文说明

沥青混合料的单轴压缩试验是对沥青混合料试件施加单轴压缩荷载至破坏的试验，破坏时的最大应力为抗压强度以 MPa 计，破坏时的垂直变形与试件的高度之比为破坏压缩应变，两者之比为压缩破坏劲度模量以 MPa 计。本规程 T 0713 规定了用圆柱体试件进行无侧限

抗压强度的试验,基本上是 ASTM D 1074 的方法。同时规定了供沥青路面设计抗压回弹模量试验方法,但在用于力学计算或科学研究时,对试件尺寸及加载方法有许多不同意见,例如圆柱体 $\phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的试件对变形的测定有全高度法与中间取一截作标距的办法,其变形则有用贴应变片或装上夹具用百分表电测的方法等。这些方法的实测结果都有差别,很难说孰是孰非,且都较繁复。试件采用静压成型也不甚合理。因此国内外也采用另一种试件,即切制棱柱体。本方法是利用轮碾法成型的板块状试件切制成 $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 80\text{mm}$ 的棱柱体试件进行压缩试验。由于其端面面积较小,再加上试验时要求加一层聚四氟乙烯薄膜作隔离层,它是一种摩擦系数很小的材料,这样使端面的影响大为减少,便可以省却另外再贴应变片或装百分表的步骤。测定试件全高度的变形计算压缩应变,并由此计算压缩劲度模量。

试验条件尽量与弯曲、劈裂抗拉等条件统一,温度、加载速率两个试验条件都明显影响试验结果,如果另有规范规定或研究工作需要,可以采用需要的温度及加载速率,在没有任何规定时,本方法统一为 50mm/min 加载速率。此速率是沥青及沥青混合料试验中最常用的速率,包括沥青的延度、马歇尔试验等。试验条件简单,可利用的仪器设备多,而且试验时间缩短,可减少环境温度的影响。本方法规定当加载速率大于或等于 50mm/min 时,可以不用环境保温箱,当采用较慢的速率时,由于试验时间过长,这时应采用环境保温箱。

试验温度可根据需要选用。试验方法与圆柱体法相同,但是数据处理上有些区别,用棱柱体进行压缩试验时,试验机的压力与试件变形由 X-Y 记录仪记录后,有利于数据的处理。当仅需要破坏时的抗压强度、破坏应变及抗压劲度模量时,可由破坏时的荷载及变形计算。如果需要其它任何时刻如开始时的弹性阶段的模量,也可以由曲线上的数据计算得到。而用圆柱体进行试验时,由于高度与直径之比为 1:1,且试件端面影响大,不宜按此法计算应变及模量。

T 0713 与 T 0714 虽同为压缩试验,但试件成型方法、尺寸及加载模式不同,各自适用于不同的目的和要求,为测定设计用的参数时,应使用 T 0713 的方法;为测定沥青混合料破坏时的性能(如低温抗裂性能)时,应采用 T 0714 的方法。

T 0715—2011 沥青混合料弯曲试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定热拌沥青混合料在规定温度和加载速率时弯曲破坏的力学性质。试验温度和加载速率根据有关规定和需要选用,如无特殊规定,采用试验温度为 $15^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。当用于评价沥青混合料低温拉伸性能时,采用试验温度 $-10^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$,加载速率宜为 50mm/min 。采用不同的试验温度和加载速率时应

予注明。

1.2 本方法适用于由轮碾成型后切制的长 $250\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ ，宽 $30\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ ，高 $35\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 的棱柱体小梁，其跨径为 $200\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，若采用其它尺寸时，应予注明。

2 仪器与材料技术要求

2.1 万能材料试验机或压力机：荷载由传感器测定，最大荷载应满足不超过其量程的 80%且不小于量程的 20%的要求，一般宜采用 1kN 或 5kN，分辨力为 10N。具有梁式支座，下支座中心距 200mm，上压头位置居中，上压头及支座为半径 10mm 的圆弧形固定钢棒，上压头可以活动与试件紧密接触。应具有环境保温箱，控温精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，加载速率可以选择。试验机宜有伺服系统，在加载过程中速度基本不变。

2.2 跨中位移测定装置：LVDT 位移传感器。

2.3 数据采集系统或 X-Y 记录仪：能自动采集传感器及位移计的电测信号，在数据采集系统中储存或在 X-Y 记录仪上绘制荷载与跨中挠度曲线。

2.4 恒温水槽：用于试件保温，温度范围应满足试验要求，控温准确度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。当试验温度低于 0°C 时，恒温水槽可采用 1：1 的甲醇水溶液或防冻液作冷媒介质。恒温水槽中的液体应能循环回流。

2.5 卡尺。

2.6 秒表。

2.7 温度计：分度为 0.5°C 。

2.8 天平感量不大于 0.1g。

2.9 其它：平板玻璃等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 采用本规程 T 0703 沥青混合料轮碾成型的板块状试件，用切割法制作棱柱体试件，试件尺寸应符合长 $250\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、宽 $30\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、高 $35\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 的要求。

3.1.2 在跨中及两支点断面用卡尺量取试件的尺寸，当两支点断面的高度（或宽度）之差超过 2mm 时，试件应作废。跨中断面的宽度为 b，高度为 h，取相对两侧的平均值，准确至 0.1mm。

3.1.3 根据混合料类型按本规程方法测量试件的密度、空隙率等各项物理指标。

3.1.4 将试件置于规定温度的恒温水槽中保温不少于 45min，直至试件内部温度达到试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 为止。保温时试件应放在支起的平板玻璃上，试件之间的距离应不小于 10mm。

3.1.5 将试验机环境保温箱达到要求的试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.6 将试验机梁式试件支座准确安放好，测定支点间距为 $200\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，使上压头与下压头保持平行，并两侧等距离，然后将位置固定住。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件从恒温水槽中取出，立即对称安放在支座上，试件上下方向应与试件成型时方向一致。

3.2.2 在梁跨下缘正中央安放位移测定装置，支座固定在试验机身上。位移计测头支于试件跨中下缘中央或两侧(用两个位移计)。选择适宜的量程，有效量程应大于预计的最大挠度的 1.2 倍。

3.2.3 将荷载传感器、位移计与数据采集系统或 X-Y 记录仪连接，以 X 轴为位移，Y 轴为荷载，选择适宜的量程后调零。跨中挠度可采用 LVDT 位移传感器测定。当以高精密度电液伺服试验机压头的位移作为小梁挠度时，可以由加载速率及 X-T 记录仪记录的时间求得挠度。为正确记录跨中挠度曲线，当采用 $50\text{mm}/\text{min}$ 速率加载时，X-T 记录仪的 X 轴走纸速度(或扫描速度)根据试验温度确定。

3.2.4 开动压力机以规定的速率在跨径中央施以集中荷载，直至试件破坏。记录仪同时记录荷载—跨中挠度的曲线如图 T 0715 所示。

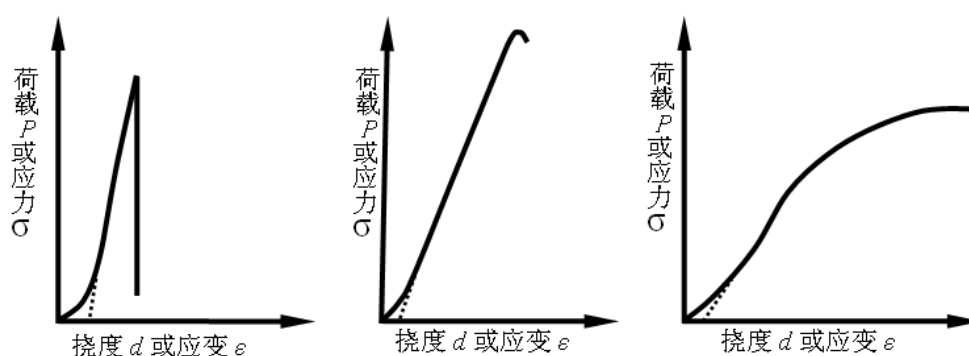


图 T 0715 荷载—跨中挠度曲线

4 计算

4.1 将图 T 0715 中的荷载—挠度曲线的直线段按图示方法延长与横坐标相交作为曲线原点，由图中量取峰值时的最大荷载 P_B 及跨中挠度 d 。

4.2 按式(T 0715-1)、(T 0715-2)及(T 0715-3)计算试件破坏时的抗弯拉强度 R_B 、破坏时的梁底最大弯拉应变 ε_B 及破坏时的弯曲劲度模量 S_B 。

$$R_B = \frac{3LP_B}{2bh^2} \quad (\text{T 0715-1})$$

$$\varepsilon_B = \frac{6hd}{L^2} \quad (\text{T 0715-2})$$

$$S_B = \frac{R_B}{\varepsilon_B} \quad (\text{T 0715-3})$$

式中： R_B ——试件破坏时的抗弯拉强度，MPa；

ε_B ——试件破坏时的最大弯拉应变， $\mu\varepsilon$ ；

S_B ——试件破坏时的弯曲劲度模量，MPa；

b ——跨中断面试件的宽度，mm；

h ——跨中断面试件的高度，mm；

L ——试件的跨径，mm；

P_B ——试件破坏时的最大荷载，N；

d ——试件破坏时的跨中挠度，mm。

注：计算时小梁的自重影响略去不计，故本方法不适用于试验温度高于 30℃ 的情况。

4.3 需要计算加载过程中任一加载时刻的应力、应变、劲度模量的方法同上，只需读取该时刻的荷载及变形代替上式的最大荷载及破坏变形即可。

4.4 当记录的荷载—变形曲线在小变形区有一定的直线段时，可以试验的最大荷载 P_B 的 0.1~0.4 范围内的直线段的斜率计算弹性阶段的劲度模量，或以此范围内各测点的 σ 、 ε 数据计算的 $S = \sigma / \varepsilon$ 的平均值作为劲度模量。 σ 、 ε 及 S 的计算方法同(T 0715-1)~(T 0715-3)。

5 报告

5.1 当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试验数目 n 为 3、4、5、6 个时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、成型方法、试验温度及加载速率。

条文说明

沥青混合料的弯曲试验是对规定尺寸的小梁试件，在跨中给试件施加集中荷载至断裂破坏的试验，由破坏时的最大荷载求得试件的抗弯强度以 MPa 计，由破坏时的跨中挠度求得沥青混合料的破坏弯拉应变，两者之比值为破坏时的弯曲劲度模量以 MPa 计。本次修订考虑测定数据的准确性，要求跨中位移测定装置采用 LVDT 位移传感器，取消了电测百分表，并要求低温弯曲试验时设备应具有环境保温箱。对试验过程中 X-T 记录仪 X 轴的走纸速度根据试验温度确定。由于“改性沥青路面施工技术规范”已经废止，其主要内容已经合并到“公路沥青路面施工技术规范”中，因此精简了原条文说明里面关于改性沥青规范的内容。

关于弯曲试验的温度，日本道路协会铺装试验法便览 3-7-5 规定，用于评价低温拉伸性能时的温度，可采用 -10°C 试验，我国《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)规定对低温抗裂性能的弯曲试验温度也采用 -10°C 。加载速率在国外也不统一，本规程旨在测定试件破坏时的各项性质指标，规定通常为 50mm/min，以便与马歇尔试验、劈裂试验的速度统一。

本方法采用从轮碾机成型的板块状试件上切制的棱柱体试件，尺寸为长 250mm，宽 30mm，高 35mm，跨径 200mm。实践证明，采用这样的试件均匀性好，试验误差小，方便易行，这种试件在欧美、日本也大量采用，但尺寸略有不同。据我国实践 250mm×30mm×35mm 的小梁尺寸对从 300mm×300mm×50mm 的板状试件切割比较适宜。当使用其它尺寸的试件时，应予注明。

当利用记录仪记录荷载变形曲线时，起点部分进行修正可消除加载开始时压实及支座接触的影响，为此本方法规定跨中挠度由记录曲线上量取。由于有了荷载与跨中挠度曲线，便可以由此求取其它时刻的应力、应变、劲度模量。

T 0716—2011 沥青混合料劈裂试验

1 目的与适用范围（旋转压实试件合并）

1.1 本方法适用于测定沥青混合料在规定温度和加载速率时劈裂破坏或处于弹性阶段时的力学性质，亦可供沥青路面结构设计选择沥青混合料力学设计参数及评价沥青混合料低温抗裂性能时使用。试验温度与加载速率可由当地气候条件根据试验目的或有关规定选用，但试验温度不得高于 30°C ，如无特殊规定，宜采用试验温度 $15^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，加载速率为 50mm/min。当用于评价沥青混合料低温抗

裂性能时，宜采用试验温度 $-10^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 及加载速率 $1\text{mm}/\text{min}$ 。

1.2 本方法测定时采用沥青混合料的泊松比 μ 值如表 T 0716 所示，其它试验温度的 μ 值由内插法决定。本方法也可由试验实测的垂直变形及水平变形计算实际的 μ 值，但计算的 μ 值必须在 $0.2 \sim 0.5$ 范围内。

表 T 0716 劈裂试验使用的泊松比 μ

试验温度($^{\circ}\text{C}$)	≤ 10	15	20	25	30
泊松比 μ 值	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45

1.3 本方法采用的圆柱体试件应符合下列要求：

1.3.1 当集料公称最大粒径小于或等于 26.5mm 时，用马歇尔标准击实法成型的直径为 $\phi 101.6\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ ，高为 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 的试件。

1.3.2 从轮碾机成型的板块试件或从道路现场钻取直径 $\phi 100\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 或 $\phi 150\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ ，高为 $40\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 的圆柱体试件。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试验机：能保持规定的加载速率及试验温度的材料试验机，当采用 $50\text{mm}/\text{min}$ 的加载速率时，也可采用具有相当传感器的自动马歇尔试验仪代替。但均必须配置有荷载及试件变形的测定记录装置。荷载由传感器测定，应满足最大测定荷载不超过其量程的 80% 且不小于其量程的 20% 的要求，一般宜采用 40kN 或 60kN 传感器，分辨力为 10N 。

2.2 位移传感器可采用 LVDT 或电测百分表：水平变形宜用非接触式位移传感器测定，其量程应大于预计最大变形的 1.2 倍，通常不小于 5mm ，测定垂直变形精密度不低于 0.01mm ，测定水平变形的精密度不低于 0.005mm 。

2.3 数据采集系统或 X-Y 记录仪：能自动采集传感器及位移计的电测信号，在数据采集系统中储存或在 X-Y 记录仪上绘制荷载与跨中挠度曲线。

2.4 恒温水槽：用于试件保温，温度范围能满足试验要求，控温精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。当试验温度低于 0°C 时，恒温水槽可采用 $1:1$ 的甲醇水溶液或防冻液作冷媒介质。恒温水槽中的液体应能循环回流。

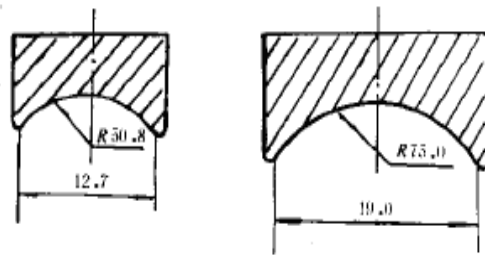


图 T 0716-1 压条形状(单位: mm)

2.5 压条: 如图 T 0716-1 所示, 上下各一根, 试件直径为 $100\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 或 $101.6\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 时, 压条宽度为 12.7mm , 内侧曲率半径 50.8mm , 试件直径为 $150\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 时, 压条宽度为 19mm , 内侧曲率半径 75mm , 压条两端均应磨圆。

2.6 劈裂试验夹具: 下压条固定在夹具上, 上压条可上下自由活动。

2.7 其它: 卡尺、天平、记录纸、胶皮手套等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 根据 1.4 的规定, 按本规程 T 0702 方法制作圆柱体试件。

3.1.2 按本规程 T 0702 的规定测定试件的直径及高度, 准确至 0.1mm 。在试件两侧通过圆心画上对称的十字标记。

3.1.3 按本规程 T 0705 方法测定试件的密度、空隙率等各项物理指标。

3.1.4 使恒温水槽达到要求的试验温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。将试件浸入恒温水槽保温不少于 1.5h 。当为恒温空气箱时保温不少于 6h , 直至试件内部温度达到试验温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 为止, 保温时试件之间的距离不少于 10mm 。

3.1.5 将试验机环境保温箱达到要求的试验温度, 当加载速率等于或大于 $50\text{mm}/\text{min}$ 时, 也可不用环境保温箱。

3.2 试验步骤

3.2.1 从恒温水槽中取出试件, 迅速置于试验台的夹具中安放稳定, 其上下均安放有圆弧形压条, 与侧面的十字画线对准, 上下压条应居中、平行。

3.2.2 迅速安装试件变形测定装置, 水平变形测定装置应对准水平轴线并位于中央位置, 垂直变形的支座与下支座固定, 上端支于上支座上。

3.2.3 将记录仪与荷载及位移传感器连接, 选择好适宜的量程开关及记录速度, 当以压力机压头的位移作为垂直变形时, 宜采用 $50\text{mm}/\text{min}$ 加载, 记录仪走

纸速度根据试验温度确定。

3.2.4 开动试验机,使压头与上下压条接触,荷载不超过 30N,迅速调整好数据采集系统或 X-Y 记录仪到零点位置。

3.2.5 开动数据采集系统或记录仪,同时启动试验机,以规定的加载速率向试件加载劈裂至破坏,记录仪记录荷载及水平变形(或垂直位移)。当试验机无环境保温箱时,自恒温槽中取出试件至试验结束的时间应不超过 45s。记录的荷载—变形曲线如图 T 0716-2 所示。

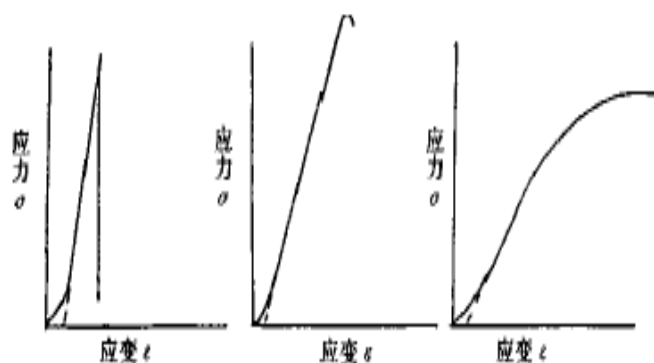


图 T 0716—2 劈裂试验的荷载—变形(水平或垂直变形)曲线

4 计算

4.1 将图 T 0716-2 中的荷载—变形曲线的直线段按图示方法延长与横坐标相交作为曲线原点,由图中量取峰值时的最大荷载 P_T 及最大变形(Y_T 或 X_T)。

当试件直径为 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、压条宽度为 12.7mm 及试件直径为 $150.0\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 、压条宽度为 19.0mm 时,劈裂抗拉强度 R_T 分别按式(T 0716-1)及(T 0716-2)计算,泊松比 μ 、破坏拉伸应变 ε_T 及破坏劲度模量 S_T 按式(T 0716-3)、(T 0716-4)、(T 0716-5)计算。

$$R_T = 0.006287 P_T / h \quad (\text{T 0716-1})$$

$$R_T = 0.00425 P_T / h \quad (\text{T 0716-2})$$

$$\mu = (0.1350A - 1.7940) / (-0.5A - 0.0314) \quad (\text{T 0716-3})$$

$$\varepsilon_T = X_T \times (0.0307 + 0.0936 \mu) / (1.35 + 5 \mu) \quad (\text{T 0716-4})$$

$$S_T = P_T \times (0.27 + 1.0 \mu) / (h \times X_T) \quad (\text{T 0716-5})$$

式中: R_T ——劈裂抗拉强度, MPa;

ϵ_T ——破坏拉伸应变;

S_T ——破坏劲度模量, MPa;

μ ——泊松比;

P_T ——试验荷载的最大值, N;

h ——试件高度, mm;

A ——试件垂直变形与水平变形的比值($A=Y_T/X_T$);

Y_T ——试件相应于最大破坏荷载时的垂直方向总变形, mm;

X_T ——按图 T 0716-2 的方法量取的相应于最大破坏荷载时的水平方向总变形, mm。当试验仅测定垂直方向变形 Y_T 或由实测的 Y_T 、 X_T 计算的 μ 值大于 0.5 或小于 0.2 时, 水平变形(X_T)可由表 T 0716-1 规定的泊松比(μ)按式(T 0716-6)求算。

$$X_T = Y_T \times (0.135 + 0.5 \mu) / (1.794 - 0.0314 \mu) \quad (\text{T 0716-6})$$

4.2 需要计算加载过程中任一加载时刻的应力、应变、劲度模量的方法同上, 只需读取该时刻的荷载及变形代替上式的最大荷载及破坏变形即可。

4.3 当记录的荷载—变形曲线在小变形区有一定的直线段时, 可以试验的最大荷载 P_T 的 0.1~0.4 范围内的直线段部分的斜率计算弹性阶段的劲度模量, 或以此范围内各测点的应力 σ 、应变 ϵ 数据计算的 $S = \sigma / \epsilon$ 的平均值作为劲度模量, 并以此作为路面设计用的力学参数。 σ 、 ϵ 及 S 的计算方法同本规程中的 R_T 、 ϵ_T 、 S_T 的计算方法。

5 报告

5.1 当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 k 倍时, 该测定值应予舍弃, 并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试验数目 n 为 3、4、5、6 个时, k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、成型方法、试验温度、加载速率及采用的泊松比 μ 值。

条文说明

沥青混合料的劈裂试验是对规定尺寸的圆柱体试件, 通过一定宽度的圆弧形压条施加荷载, 将试件劈裂直至破坏的试验。国外试验规程中, ASTM D 4123 是用动载测定劲度模量

(AASHTO 设计指南规定以此作为设计用回弹模量);日本道路协会铺装试验法便览 3-7-6 则是采取静载劈裂求取间接抗拉强度,目的在于评价高温抗车辙能力及低温抗裂性能;英国、澳大利亚目前采用诺丁汉试验机冲击荷载试验小变形时的劲度模量;第 18 届世界道路会议则推荐用来测定抗拉强度和变形性能。可见劈裂试验在国外有两种目的:一是采用动载或冲击法求取设计参数回弹模量;二是用静载试验评价沥青混合料的性质。本试验根据国内外研究成果及试验方法编制,适用于测定破坏时的间接抗拉强度、极限拉伸应变、破坏劲度模量,又可用于求取弹性阶段的劲度模量作为设计参数使用。

关于试件保温的仪器,鉴于目前试验中对试件的保温基本都采用恒温水槽保温,采用冰箱保温,试验的温度很难控制,将导致数据不准确,因此本次修订对保温的仪器去掉了原来可以采用的冰箱保温。另外,圆孔筛已经不采用了,去掉了圆孔筛 30mm 的尺寸。在方法与步骤中对记录仪的走纸速度 500mm/min~5000 mm/min 可能不合适,修改为由试验温度确定走纸速度。

劈裂试验采用的试件尺寸,通常为 $\phi 101 \times 100\text{mm}$ 的 1:1 圆柱体,但美国、日本、英国、澳大利亚等目前基本上都采用 $\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$ 的标准马歇尔试件,英国则采用 $\phi 150\text{mm}$ 的现场钻取试件,厚 40mm~50mm。本试验法规定采用标准马歇尔试件,同时也可采用现场钻取的 $\phi 100\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 及 $\phi 150\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 试件,规定厚度为 $40\text{mm} \pm 5\text{mm}$,是参考美国标准及路面实际情况决定的。

试件的加载速度 1983 年试验规程规定为 1mm/min,国外除采用动载试验外,静载试验时大都采用 50mm/min(如日本道路协会铺装试验法便览、AASHTO T 283)。第 18 届世界道路会议报告推荐的速度-10℃时为 $0.30\text{mm/s} \pm 0.1\text{mm/s}$, +25℃及+45℃时为 $0.85\text{mm/s} \pm 0.1\text{mm/s}$,即 18mm/min 或 51mm/min。并要求试验从开始至破坏的时间不超过 30s。因此本试验法规定加载速度根据试验目的或有关规定选用,并推荐采用 50mm/min 的标准加载速率。这样也和其它混合料试验方法的速率相同。

但是试验目的不同,加载速率也应该不同。美国 SHRP 的研究表明,为评价低温性能,常用较慢的速率,以模拟气候降温的收缩应力作用的情况,如 0.05in/min,故本方法规定加载速率采用 1mm/min 时,此时的试验温度为-10℃。

试验温度各国更不相同,ASTM D 4123 用动载试验时采用 5℃、25℃、40℃三个温度,第 18 届道路会议报告推荐在-10℃、25℃、40℃温度下进行,其它温度也可选用。日本规定在-10℃~+60℃范围内根据试验目的选用。本方法规定劈裂试验有两个目的,在什么温度下评价沥青混合料的性能应视目的而定。我国幅员辽阔,各地的设计温度本身就是一个有待研究的问题。本方法推荐了相对于荷载疲劳破坏的设计参数及低温收缩开裂破坏的试验温度,可供目前试验时使用。

劈裂试验在计算劲度模量时,必须使用泊松比 μ 值。它可以由测定的垂直变形及水平变形求取,这曾经是 60、70 年代许多国家的研究重点,经大量测定,得出了一些 μ 的推荐值。

经近年来我国实际测定证明, 仅从单个试件本身的变形测定值计算的 μ 往往出现异常的情况, 因此本试验法规定参照英国、澳大利亚、荷兰等国家用诺丁汉试验机测定劲度模量时的 μ 值用于计算, 这样变形只需测定垂直或水平变形中的一个。但也可以由实测的垂直变形及水平变形计算, 不过此时计算的 μ 值必须在 0.2~0.5 范围内, 超出此范围说明变形测定很可能有误差, 此时大多是水平变形不准, 则可以仅采用垂直变形计算劲度模量。

劈裂试验采用的压条对试验结果及计算模式均有影响。AASHTO T 283 规定对 $\phi 102\text{mm}$ 试件压条宽度 12.7mm, 对 $\phi 152.4\text{mm}$ 试件用 19.05mm 的压条, 压条边际是磨圆的。也可不用压条, 因为只要求测定强度(半径未作规定)。但美国等不少国家大都通用 12.7mm 的压条, 日本学者也有采用 25.4mm 压条的, 都是圆弧形的。但 18 届道路会议论文集推荐最好不用压条, 如果采用压条则为试件宽度的 1/5。日本道路协会试验法也未用压条, 这显然与试验法仅为测定强度而不测定模量有关。为此本试验法与国外大多数试验法统一规定, 采用 12.7mm 宽的圆弧形压条, 对 $\phi 150\text{mm}$ 的试件按比例采用 19.0mm 压条, 使压条的圆心角相同, 为防止边缘的局部嵌入, 加工应该磨圆。

试验结果的计算公式采用国内外通用的按弹性理论推导得出的公式。在求取作设计参数用的劲度模量时, 应按照弹性理论小变形假设采用荷重较小时的测定数据, 根据国内“八五”科技攻关专题的研究成果, 采用破坏荷载的 0.1~0.4 范围内的直线段的斜率或平均值(进行原是修正后是相同的)计算得到的弹性劲度模量与按 ASTM D 4123 方法试验得到的瞬时回弹模量有较好的相关关系。

关于试验的精度与允许误差, 国外许多规程未作规定, 第 18 届道路会议报告提到其变异系数为 5%~10%(重复性)及 10%~20%(再现性), 由于我国尚缺乏这方面的经验和资料, 本试验法暂不作规定, 仅规定取所有试验的平均值为测定结果。

T 0717—1993 沥青混合料饱水率试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定沥青混合料的饱水率, 它可用于沥青拌和厂的混合料质量控制、旧路调查及路面压实沥青混合料的质量评定。非经注明, 试验均在室温条件下进行。

2 仪器与材料技术要求

2.1 浸水天平或电子秤: 当最大称量在 3kg 以下时, 感量不大于 0.1g; 最大称量 3kg 以上时, 感量不大于 0.5g; 最大称量 10kg 以上时, 感量不大于 5g, 应有

测量水中重的挂钩。

2.2 真空干燥箱或真空干燥器：可保持真空度 97.3kPa~98.7kPa (730mmHg~740mmHg) 且可容纳装试件的水槽，带有橡皮塞。

2.3 压力计、真空表。

2.4 真空泵：不小于 200W。

2.5 水槽：不小于 200mm×200mm×100mm 或 $\phi 200\text{mm} \times 100\text{mm}$ 。

2.6 其它：金属盘、金属容器、毛巾、秒表、电风扇等。

3 试验步骤

3.1 按本规程 T 0702 沥青混合料试件制作方法中用马歇尔标准击实法成型试件，如采用现场路面芯样钻孔法操作规程用钻孔机在沥青路面上钻取的芯样，将其清理干净后用电风扇吹干。根据需要，也可按其它方式制作试件。

3.2 称取试件的空中质量 (m_a)。

3.3 将试件置常温的水槽中，水浸没试件，并将装有试件的水槽置真空干燥箱或真空干燥器中。

3.4 将真空干燥箱或真空干燥器与真空泵、压力计(真空表)相联结，启动真空泵，使真空干燥箱或真空干燥器中保持 97.3kPa~98.7kPa (730~740mmHg) 的真空度下 15min。

3.5 打开释气阀门，使真空干燥箱或真空干燥器恢复常压状态，并使试件在水中继续留放 0.5h。

3.6 取出水槽，从水中拿出试件，迅速用拧干的湿毛巾轻轻拭去表面多余的水分后，称取真空饱水后的表干试件质量 (m_f)。

注：毛巾不可拧得太干，以防擦拭试件时吸走试件内部的水分。

4 计算

沥青混合料试件的饱水率按式(T 0717-1)计算。

$$S_w = \frac{m_f - m_a}{m_a} \times 100 \quad (\text{T 0717-1})$$

式中： S_w ——试件的饱水率，%；

m_a ——干燥试件在空气中的质量，g；

m_f ——真空饱水后试件在空气中的表干质量，g。

5 报告

一种试样至少平行试验 3 个，取其平均值作为试验结果。

条文说明

沥青混合料的吸水率与饱水率是试件吸水能力的两项指标，但表示方法不同。饱水率是沥青混合料试件在规定真空条件下的吸水能力，是吸水的质量与试件干质量之比。吸水率是在普通条件下，吸水的体积与沥青混合料的体积之比，这是 AASHTO T 1664 中定义的，并以此作为采用表干法还是蜡封法的依据。我国以前较少使用。当试件的矿料级配及沥青含量未知，测定空隙率有困难时，测定饱水率可以大体上反映其空隙情况，这在路况调查时常常有用，有些沥青厂也用本法作为沥青混合料的质量控制，故将此两项试验增补入本试验规程。关于饱水率的试验法是参照前苏联的试验方法及我国的工程实践经验制定的。

测定饱水率用的试件，按照前苏联规定为抗压试验的压实试件。采用静压法制作成型，压力为 30MPa。根据我国的实际情况，为便于与空隙率相比较，且使试验简单化，改用马歇尔标准击实试件。

饱水率试验方法及结果计算基本上参照前苏联试验方法的规定，但按前苏联方法试验温度应为 $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，实践证明，这在我国南方地区夏天往往有困难，而且温度对于吸水率的影响与试验结果的允许差 2% 相比要小得多。因此在试验方法上考虑实际情况，对温度未作规定，即在室温条件下进行。这样也就有可能利用真空干燥器来试验，从而使试验大大简化。

T 0718—2011 沥青混合料抗剪强度试验(三轴压缩法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于由三轴试验仪在规定温度及加载条件下，测定沥青混合料的抗剪强度，以评价沥青混合料的高温稳定性。本试验标准试验温度为 60°C ，也可根据需要采用其他温度。

1.2 本方法适用于直径 $100\text{mm}\pm 2.0\text{mm}$ 、高 $150\text{mm}\pm 2.0\text{mm}$ 的圆柱体试件，也可根据需要采用其他尺寸的圆柱体试件。

2 仪具与材料技术要求

2.1 三轴试验仪：三轴仪主要由压力室、轴向加压系统、围压施加系统、数据采集和控制系统等组成，构造如图 T 0718-1。

三轴试验仪可采用液体压力式或气体压力式，其试验系统应满足以下要求：

- 2.1.1 轴向荷载传感器量程为 100kN，分辨力为 1N。
- 2.1.2 侧向压力控制分辨力为 1kPa。
- 2.1.3 位移传感器量程为 100mm，分辨力 0.1mm。
- 2.1.4 压力室温度准确至试验温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

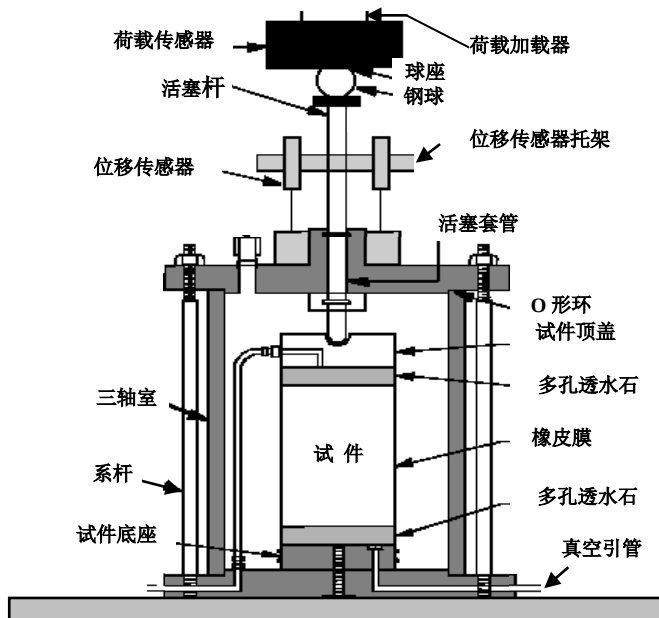


图 T 0718-1 三轴试验仪构造图

- 2.2 烘箱：应有温度调节器，温度控制精度为试验温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 2.3 橡皮膜：直径 100mm，长 400mm。
注：橡皮膜必须是未发生老化或不透气的橡皮膜。
- 2.4 其它：温度计、秒表、天平、滤纸等。
- 3 方法与步骤
 - 3.1 试件制备
 - 3.1.1 试件成型方法一
 - 1) 按本规程 T0736 方法成型直径 150mm、高 172mm 的圆柱体试件。
 - 2) 采用取芯机从成型的试件中钻取直径为 100mm~104mm 的芯样。取芯后的芯样呈圆柱体，形状规则，周边面光滑且与两个端面垂直。
 - 3) 采用切割机切除所钻芯样两端，使得试件高度为 $150\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 。切割后试件表面应平滑。有严重缺陷、试件端部不水平或端部最高与最低处的高差超过 1.0mm 的试件均应废弃。

3.1.2 试件成型方法二

- 1) 按本规程 T0704 方法成型直径 $100\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 、高 $200\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 圆柱体试件。
- 2) 采用切割机切除所钻芯样两端，使得试件高度为 $150\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 。切割后试件表面应平滑。有严重缺陷、试件端部不水平或端部最高与最低处的高差超过 1.0mm 的试件均应废弃。

3.1.3 用卡尺测量试件的高度和直径，准确至 0.1mm 。

3.1.4 按本规程规定的方法量测试件的密度、空隙率等各项指标。试件密度应符合目标值 $100\% \pm 2\%$ 的要求。

3.1.5 将试件置试验温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的烘箱中保温 $4\text{h} \sim 5\text{h}$ 。

3.1.6 设定三轴试验仪试验温度，并使压力室温度达到试验温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 从烘箱中取出预热的试件，装于一端密封的橡皮膜中。然后将试件安放在三轴试验仪压力室的上下压头的中线位置，固定到上下压板上，把两端橡皮膜翻下，并用橡皮 O 形环将橡皮膜两端密封于底部及顶部压盘。为增加橡皮膜与压盘间密封效果，可在端部压盘四周涂抹真空油。然后仔细清洁用于密封的 O 形环及其所有接触面。密封好三轴室，将试件在压力室内保温不少于 10min 。

3.2.2 开启三轴仪控制和采集系统，施加设定的围压。围压的大小与分级可以根据路面的实际荷载情况确定，但不宜少于 3 级。

注：围压宜为 4 级，分别为 0kPa ， 138kPa ， 276kPa 和 414kPa 。对于轻交通道路也可采用 3 级，分别为 0kPa ， 138kPa ， 276kPa 。

3.2.3 按恒定的加载速率施加轴向荷载，使得轴向应变率恒定在 0.05mm/mm/min ，对于高度 150mm 试件相当于加载速度 7.5mm/min 。施加荷载同时读取轴向压力、轴向变形、体积变形，并控制试验过程中围压、温度及变形速率恒定。

注：根据需要可选定其他变形速率。

3.2.4 当轴向压力出现峰值后，停止试验。如不出现峰值，可按 20% 应变值停止试验。

试验结束后，卸去轴向压力和围压，取出试件，对试件外观进行描述记录。

3.2.5 按 3.2.1~3.2.4 步骤分别完成各级围压试验。

3.2.6 各级围压的平行试验不少于 3 个。

4 计算

4.1 按式(T 0718-1)计算轴向应变 ε_1

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (\text{T 0718-1})$$

式中: ε_1 —轴向应变, %;

Δh —试件压缩过程中垂直变形, mm;

h_0 —试件初始高度, mm。

4.2 按式(T 0718-2)计算校正后的试件截面积 A_a

$$A_a = \frac{V_0 + \Delta V}{h_0 - \Delta h} \quad (\text{T 0718-2})$$

式中: A_a —试件在压缩过程中实际截面积, cm^2 ;

V_0 —试件初始体积, cm^3 ;

ΔV —试件在压缩过程中的体积变化, cm^3 。

4.3 按式(T 0718-3)计算最大主应力 σ_1

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_a} \times 10 + \sigma_3 \quad (\text{T 0718-3})$$

式中: σ_1 —最大主应力, kPa;

σ_3 —侧应力, 即围压, kPa;

P —施加的轴向荷载, N。

4.4 计算抗剪强度参数 c 、 ϕ

4.4.1 确定各级围压的剪切破坏极限值 $\sigma_{1\max i}$

1) 根据图 T 0718-2 轴向应变—最大主应力曲线图将其中最大主应力 σ_1 的最大值作为试件剪切破坏极限值。

2) 每个围压需要进行 3 个平行试验, 取 3 个试件剪切破坏极限值的平均值作为各围压 σ_{3i} 下混合料的剪切破坏极限值 $\sigma_{1\max i}$ 。

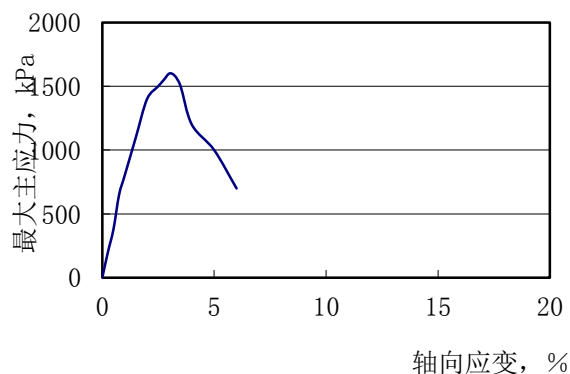


图 T 0718-2 轴向应变—最大主应力曲线图

4.4.2 可根据算法或作图法确定抗剪强度参数法 c 、 ϕ

1) 计算法

按式(T 0718-4)、(T 0718-5)和(T 0718-8)分别计算抗剪强度参数 C 、 ϕ 和相关系数 r 。相关系数 r 应大于 0.99。

$$\phi = \arcsin m \quad (\text{T 0718-4})$$

$$c = \frac{b}{\cos \phi} \quad (\text{T 0718-5})$$

式中： c ——试件的黏结力，kPa；

ϕ ——内摩擦角，°；

m —按(T 0718-6)计算；

b —按(T 0718-7)计算；

$$m = \frac{\sum (p_i \times q_i) - \frac{1}{n} \times (\sum p_i) \times (\sum q_i)}{\sum (p_i)^2 - \frac{1}{n} \times (\sum p_i)^2} \quad (\text{T 0718-6})$$

式中： n —试验中围压级数；

p_i —为各级莫尔圆的圆心的横坐标，即 $(\sigma_{1\max i} + \sigma_{3i})/2$ ；

q_i —为各级莫尔圆的半径，即 $(\sigma_{1\max i} - \sigma_{3i})/2$ 。

$$b = \frac{1}{n} \times \sum q_i - \frac{m}{n} \times \sum p_i \quad (\text{T 0718-7})$$

$$r = \frac{\sum(p_i \times q_i) - \frac{1}{n} \times (\sum p_i) \times (\sum q_i)}{\sqrt{[\sum(p_i)^2 - \frac{1}{n} \times (\sum p_i)^2] \times [\sum(q_i)^2 - \frac{1}{n} \times (\sum q_i)^2]}} \quad (\text{T 0718-8})$$

2)作图法

以主应力 σ 为横坐标, 剪应力 τ 为纵坐标, 在横坐标轴上以 $(\sigma_{1\max i} + \sigma_{3i}) / 2$ 点为圆心, 以 $(\sigma_{1\max i} - \sigma_{3i}) / 2$ 为半径, 绘制不同围压下的莫尔圆, 作各莫尔圆的包络线, 包络线的倾角为内摩擦角 ϕ , 包络线在纵坐标上的截距为黏结力 c , 如图 T 0718-3。

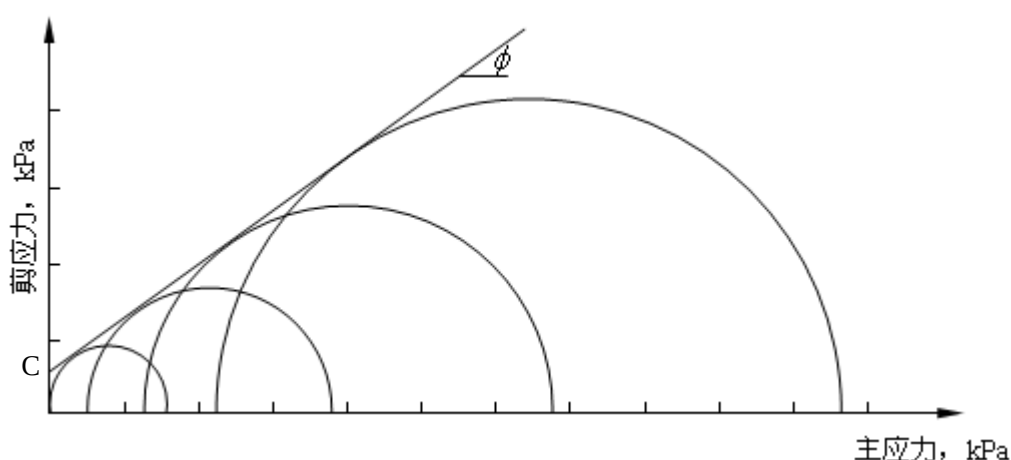


图 T 0718-3 确定抗剪强度参数的莫尔包络线示意图

4.5 按式(T 0718-9)计算抗剪强度 τ_f

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (\text{T 0718-9})$$

式中: τ_f — 沥青混合料的抗剪强度, kPa;

σ — 主应力值, 可根据路面的实际荷载情况确定, kPa。

5 报告

报告应包括试件成型方法、试件高度和试件密度; 三轴压缩试验温度; 施加围压的级数和压力值; 各级围压的剪切破坏极限值 $\sigma_{1\max}$; 抗剪强度参数 C 、 ϕ 。

条文说明

沥青混合料的三轴压缩试验是检验混合料高温稳定性能方法的一种, 在沥青混合料性能研究中应用越来越多。目前试验设备与测试技术得到迅速发展, 国内新型三轴设备应用较多, 其技术日益先进, 同时目前国内外三轴压缩方法进行沥青混合料抗剪强度试验的方法变化较

大，原规程规定的方法已经不能满足实际应用情况。

查阅了国内外大量文献表明，目前三轴压缩方法进行沥青混合料抗剪切强度试验还没有一个统一的标准试验方法。目前试验设备与测试技术迅速发展，国内 MTS 或 UTM 设备使用较多，传感器技术越来越先进，本次修订主要参考 2002 年 NCHRP Report 465 等研究报告方法，并结合目前我国测试设备和应用情况对试验仪的要求、试件的成型方法、试验步骤等主要内容进行了修订。

求解参数 C 、 ϕ 时，一般宜采用算法，必要时可采用作图法校核。

T 0719—2011 沥青混合料车辙试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料的高温抗车辙能力，供沥青混合料配合比设计时的高温稳定性检验使用。也可用于现场沥青混合料的高温稳定性检验。

1.2 车辙试验的温度与轮压（试验轮与试件的接触压强）可根据有关规定和需要选用，非经注明，试验温度为 60℃，轮压为 0.7MPa。根据需要，如在寒冷地区也可采用 45℃，在高温条件下试验温度可采用 70℃等，对重载交通的轮压可增加至 1.4MPa，但应在报告中注明。计算动稳定度的时间原则上为试验开始后 45min~60min 之间。

1.3 本方法适用于按 T 0703 用轮碾成型机碾压成型的长 300mm、宽 300mm、厚 50mm 或长 300mm、宽 300mm、厚 100mm 的板块状试件。根据工程需要也可采用其它尺寸试件。本方法也适用于现场切割板块状试件，切割试件的尺寸根据现场面层的实际情况由试验确定。

2 仪具与材料技术要求

2.1 车辙试验机：见示意图 T 0719-1，主要由下列部分组成：



图 T 0719—1 车辙试验机

2.1.1 试件台：可牢固地安装两种宽度（300mm 及 150mm）规定尺寸试件的试模。

2.1.2 试验轮：橡胶制的实心轮胎，外径 $\Phi 200\text{mm}$ ，轮宽 50mm，橡胶层厚 15mm。橡胶硬度（国际标准硬度） 20°C 时为 84 ± 4 ， 60°C 时为 78 ± 2 。试验轮行走距离为 $230\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ，往返碾压速度为 $42 \text{ 次}/\text{min} \pm 1 \text{ 次}/\text{min}$ （21 次往返/min）。采用曲柄连杆驱动加载轮往返运行方式。

注：轮胎橡胶硬度应注意检验，不符合要求者应及时更换。

2.1.3 加载装置：通常情况下试验轮与试件的接触压强在 60°C 时为 $0.7\text{MPa} \pm 0.05\text{MPa}$ ，施加的总荷重为 78kg 左右，根据需要可以调整接触压强大小。

2.1.4 试模：钢板制成，由底板及侧板组成，试模内侧尺寸宜采用长为 300mm，宽为 300mm，厚为 50mm~100mm，也可根据需要对厚度进行调整。

2.1.5 试件变形测量装置：自动采集车辙变形并记录曲线的装置，通常用位移传感器 LVDT 或非接触位移计。位移测量范围 0~30mm，精度 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。

2.1.6 温度检测装置：自动检测并记录试件表面及恒温室内温度的温度传感器，精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。温度应能自动连续记录。

2.2 恒温室：恒温室应具有足够的空间。车辙试验机必须整机安放在恒温室内，装有加热器、气流循环装置及装有自动温度控制设备，同时恒温室还应有至少能保温 3 块试件并进行试验的条件。保持恒温室温度 $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ （试件内部温度

60℃±0.5℃), 根据需要也可采用其它试验温度。

2.3 台秤: 称量 15kg, 感量不大于 5g。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 试验轮接地压强测定: 测定在 60℃时进行, 在试验台上放置一块 50mm 厚的钢板, 其上铺一张毫米方格纸, 上铺一张新的复写纸, 以规定的 700N 荷载后试验轮静压复写纸, 即可在方格纸上得出轮压面积, 并由此求得接地压强。当压强不符合 $0.7\text{MPa} \pm 0.05\text{MPa}$, 荷载应予适当调整。

3.1.2 按本规程 T 0703 用轮碾成型法制作车辙试验试块。在试验室或工地制备成型的车辙试件, 其尺寸为长 300mm×宽 300mm×厚 50mm 或长 300mm×宽 300mm×厚 100mm 的板块状试件(厚度根据需要确定)。也可从路面切割得到需要尺寸的试块。

3.1.3 当直接在拌和厂取拌和好的沥青混合料样品制作车辙试验试块检验生产配合比设计或混合料生产质量时, 必须将混合料装入保温桶中, 在温度下降至成型温度之前迅速送达试验室制作试件, 如果温度稍有不足, 可放在烘箱中稍事加热(时间不超过 30min)后成型。但不得将混合料放冷却后二次加热重塑制作试件。重塑制件的试验结果仅供参考, 不得用于评定配合比设计检验是否合格的标准。

3.1.3 如需要, 将试件脱模按本规程规定的方法测定密度及空隙率等各项物理指标。

3.1.4 试件成型后, 连同试模一起在常温条件下放置的时间不得少于 12h。对聚合物改性沥青混合料, 放置的时间以 48h 为宜, 使聚合物改性沥青充分固化后方可进行车辙试验, 但室温放置时间不得长于一周。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件连同试模一起, 置于已达到试验温度 $60\text{℃} \pm 1\text{℃}$ 的恒温室中, 保温不少于 5h, 也不得超过 12h。在试件的试验轮不行走的部位上, 黏贴一个热电偶温度计(也可在试件制作时预先将热电偶导线埋入试件一角), 控制试件温度稳定在 $60\text{℃} \pm 0.5\text{℃}$ 。

3.2.2 将试件连同试模移置于轮辙试验机的试验台上, 试验轮在试件的中央部位, 其行走方向须与试件碾压或行车方向一致。开动车辙变形自动记录仪, 然

后启动试验机，使试验轮往返行走，时间约 1h，或最大变形达到 25mm 时为止。
 试验时，记录仪自动记录变形曲线(如图 T 0719-2)及试件温度。

注：对试验变形较小的试件，也可对一块试件在两侧 1/3 位置上进行两次试验，然后取平均值。

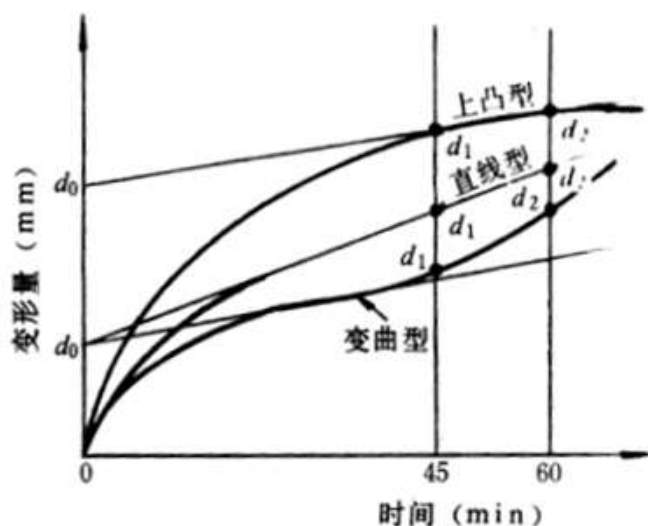


图 T 0719-2 车辙试验自动记录的变形曲线

4 计算

4.1 从图 T 0719-2 上读取 45min(t_1)及 60min(t_2)时的车辙变形 d_1 及 d_2 ，准确至 0.01mm。

当变形过大，在未到 60min 变形已达 25mm 时，则以达到 25mm(d_2)时的时间为 t_2 ，将其前 15min 为 t_1 ，此时的变形量为 d_1 。

4.2 沥青混合料试件的动稳定度按式(T 0719-1)计算。

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2 \quad (\text{T 0719-1})$$

式中：DS——沥青混合料的动稳定度，次/mm；

d_1 ——对应于时间 t_1 的变形量，mm；

d_2 ——对应于时间 t_2 的变形量，mm；

C_1 ——曲柄连杆驱动加载轮往返运行方式为 1.0；

C_2 ——试件系数，试验室制备宽 300mm 的试件为 1.0；

N ——试验轮往返碾压速度，通常为 42 次/min。

5 报告

5.1 同一沥青混合料或同一路段的路面，至少平行试验 3 个试件，当 3 个试

件动稳定度变异系数不大于 20%时,取其平均值作为试验结果。变异系数大于 20%时应分析原因,并追加试验。如计算动稳定度值大于 6000 次/mm 时,记作: >6000 次/mm。

5.2 试验报告应注明试验温度、试验轮接地压强、试件密度、空隙率及试件制作等方法。

6 允许误差

重复性试验动稳定度变异系数不大于 20%。

条文说明

众多的研究表明,动稳定度能较好的反映沥青路面在高温季节抵抗形成车辙的能力。我国在“七五”国家科技攻关研究课题中对此进行了研究,并提出以此作为沥青混合料配合比设计的检验手段。因此,在 1993 年的规程修订时增加了车辙试验的方法,该试验法是参照日本道路协会铺装试验法便览 3-7-3 等制定的。2000 年参考了相关课题的研究成果和结合我国车辙机的实际应用情况进行了修订。

沥青混合料的车辙试验是试件在规定温度及荷载条件下,测定试验轮往返行走所形成的车辙变形速率,以每产生 1mm 变形的行走次数即动稳定度表示。它源于英国 TRRL,现在已成了欧洲、日本、澳大利亚等世界大多数国家的通用试验。因此,本次在条文说明里面增加了美国、欧洲等各国车辙试验方法的介绍和说明。

车辙试验是沥青混合料性能检验中最重要的指标。车辙大小受混合料自身影响外,与荷载、温度、时间(含车速)的关系很大。根据 2002 年 NCAT 试验路的观测,车辙发生在路面连续 7 天的平均最高气温在 28℃以上的日子里,我国绝大部分地区夏季高温季节都在此温度以上,所以都有可能发生车辙。如果还有超载车重载交通的同时作用,尤其是连续上坡的慢速路段,很可能在短短的几天里发生很大的车辙,而且经常发生在中面层或下面层。中面层虽然温度会略低于表面层,但剪应力比表面层更大,所以对动稳定度的要求不能降低。

由于目前大粒径尺寸混合料应用比较多,尤其是沥青稳定碎石的应用越来越多,因此对下面层混合料(或基层)的动稳定度进行试验同样重要,而原方法中标准试件尺寸对中、下面层的沥青混合料不合适,所以本次对试件的尺寸作了修订,修订后的试件尺寸为长 300mm×宽 300mm×厚 50mm 或长 300mm×宽 300mm×厚 100mm 的板块状试件。根据工程需要也可采用其它尺寸试件。对现场切割试件的尺寸根据面层的实际情况确定,考虑到现在路面的厚度变化较大,切割试件的尺寸如果大了,放不进试模里,试件尺寸小了在试验过程中试件会不稳定。因此,建议现场切割试件尺寸可以采用长 300mm 允许差-10 mm、宽 300mm 允许差-10 mm、厚度采用实际层厚度,要求切割试件放入试模必须是固定的,如果有晃动可以在缝隙中填充水泥浆等使其固定。现场切割试件的尺寸是否合适要通过试验确定。同时考虑到气候条

件和重载车等情况，根据需要可以提高试验温度和压强。提出了标准试验温度为 60°C ，根据气候条件可以采用 70°C 或其他温度；轮压标准为 0.7MPa ，根据需要重载交通轮压可增加至 1.4MPa 。因此，我们在进行车辙试验时应按照试验规程的要求进行。

车辙试验方法和设备对试验结果有很大的影响。国际上车辙试验机的类型很多，如美国车辙试验方法就有 2 个，分别为汉堡车辙仪和 APA 路面分析仪，两者各有差异，即使同一种方法，各规范差异也很大；欧洲车辙试验方法就更多，统一的欧盟标准就有特大型（轮胎宽度为 11cm ）、大型（轮胎宽度为 8cm ，相当于法国 LPC 设备）和小型车辙仪（轮胎宽度为 5cm ，相当于英国车辙仪），其中小型车辙仪又有 A 型和 B 型，而且欧盟各国还有自己的方法，很难统一，值得注意的是欧洲标准前言部分指出不要采用钢轮车辙仪，这相对于排除了汉堡车辙仪，因为汉堡车辙仪采用钢轮而不是无花纹的橡胶轮胎，钢轮试验时会导致集料颗粒破碎，影响测试结果，同样在美国也有同样观念。我国和欧盟、法国、英国、日本和澳大利亚采用的车辙仪均采用无花纹实心橡胶轮胎，相比较而言试验条件更加接近实际荷载状况，其原理都基本相当，这些与美国常用的汉堡车辙仪采用钢轮和 APA 分析仪采用橡胶管的试验条件差异较大。以上试验设备、方法各有各的特点，作为研究使用都还可以，但荷载、温度等试验条件不同，试验结果也是不一样的。我国的车辙试验是在标准温度 60°C 、荷载 0.7MPa 、速率 42次/min 标准条件下试验的，工程发生车辙的实际条件（荷载、温度、车速）与此并不对应，除了沥青混合料自身的因素外，温度、荷载、速度对高温性能的影响是主要因素，而这些因素是目前室内车辙试验所解决不了的。而不同的温度、荷载、车速与标准条件之间不存在固定的换算模式，不同沥青品种、不同混合料的换算公式相差较大，个别研究得到的换算关系并没有通用性。

有的单位建议采用车辙深度代替目前规范中动稳定度，主要意见是美国 APA 试验、汉堡仪主要采用了车辙深度（总变形）或者变形率，而不是采用动稳定度指标，实际情况并非如此。目前，各规范中车辙试验评价沥青混合料的指标主要采用三种：变形斜率（或蠕变斜率、动稳定度）、变形率（总变形量除以总厚度）和总变形量，各规范规定各有差异。如 AASHTO T324-04 对于汉堡车辙试验规定运行 20000 次，测量总变形量，并计算蠕变斜率（creep slope）、剥落斜率（stripping slope），甚至剥落变形拐点（SIP），该方法是采用浸水条件，其中总变形量、剥落斜率和剥落变形拐点是用来评价沥青混合料的抗水损坏性能的，只有蠕变斜率用来评价沥青混合料的高温抗车辙性能。根据美国 Asphalt Pavement Technology 对汉堡车辙试验指出：“很多单位采用蠕变斜率来评价沥青混合料车辙敏感性，即变形的倒数（次/mm），采用蠕变斜率而不是变形量来评价沥青混合料的抗车辙性能，原因在于蠕变阶段和变形阶段很难判断，不同混合料差异很大，有时候即使车辙达到 $20\sim 30\text{mm}$ 也不会出现剥落变形点；剥落变形点和剥落变形斜率是较好的评价混合料抗水损坏参数，而总变形量，由于采用钢轮会使颗粒破碎进而产生变形，会对总变形产生较大影响；总之，汉堡试验方法只是检验沥青混合料配合比设计，还无法与现场的沥青混合料抗车辙性能相比”。科罗拉多州规定汉堡试

验的剥落变形点小于 10000, 10000 次变形小于 4mm 和 20000 次变形小于 10mm, 这些都是评价沥青混合料高温条件抗水损坏能力指标, 而非评价其抗高温车辙变形能力。对于 APA 试验, AASHTO TP63-07 中规定主要测定 8000 次的最大变形, 值得注意的是, APA 总变形量不包括初始运行 25 次变形量, 这就导致最后测量的变形量与试件的实际变形量存在较大的差异。美国一些州对于 APA 试验实际应用也各有差别, 有采用总变形量, 也有采用变形斜率来评价沥青混合料的车辙性能。

澳大利亚试验方法中采用二个指标, 总变形、变形斜率(10000 和 4000 次变形量差除以 6, 单位 $\text{mm}/10^3$ 次)。并在试验方法附录中指出, 采用变形斜率来评价高温车辙比总变形量更加合理。而日本和我国一致, 采用动稳定度。

根据欧盟标准, 其主要有 3 个指标: 变形斜率 WTS(单位为 $\text{mm}/10^3$ 次)、总变形量和变形率 PRD(单位为%), 并规定各国根据自己的情况选择其中指标, 如法国习惯采用总变形率; 而英国习惯采用变形斜率和总变形量。

以上所说变形斜率或者蠕变速率实际上就是我国所说的动稳定度, 是同一个概念, 计算方法也是一致, 只是计算所取的点或者时间有差异。以上情况可见, 各国的车辙试验方法均有差异, 一般认为变形斜率是最为可靠、最为常用的指标, 因此我国的车辙试验不采用总变形, 而采用动稳定度指标。

另外, 有人认为配合比设计检验达到了规范指标, 路面就不应该发生车辙等损坏了。配合比设计“检验”指标主要是反映了不同沥青结合料和混合料级配类型, 在配合比设计合理的情况下它可能达到的水平, 是检验配合比及最佳油石比设计是否合理的指标。但路面发生车辙更重要的是受施工质量与均匀性、路面结构组合、气温、荷载及车速等的影响, 所以我们应该辩证的认识这些指标的重要性, 应按规范的要求进行配合比设计的检验。

关于试验的名称, 英文名有两种: Wheel tracking test, Rutting test, 我国以前称车辙试验, 公路工程名词术语的部标及国标均称为车辙试验, 本方法名词统一称为车辙试验。

对车辙试验的温度应能反映夏季高温的路面温度。本试验法依照我国绝大多数地区的温度条件, 试验温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 但是实际试验中, 可以根据工程所处的地理位置、气候条件可以选择其它温度进行试验。同样对试验轮与试样的接触压强也可以根据交通量大小、重载车情况及路段的地理地貌位置选择压强大小进行配合比的检验, 接触压强具体选择多大根据需要确定。

近年来, 我国已进口了一些车辙试验机, 同时我国自己也已研制开发了车辙试验机, 主要是参照日本的车辙试验机仿制的, 设备多采用曲柄连杆驱动方式, 对链式驱动方式的车辙仪目前已基本不用, 因此本次修订时, 统一采用曲柄连杆驱动方式。

对恒温室要求整个车辙试验机要求必须放在恒温室内, 恒温室中必须有一定的空间用来养生试件, 且必须有通风循环设备, 使温度均匀。直至试验, 恒温室可以用保温材料砌筑。有的试验机仅将试件部位保温, 空气不回流, 将试件放在另外的烘箱中养生, 这是不合适的,

很难保证试件内部的温度均匀恒定为 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。通过比较试验发现，对空气不回流，在烘箱中养生的试件，动稳定度要比在有通风循环设备中的试件几乎高一倍，因此这种检验结果是不合适的。本次修订是强调了恒温室应具备足够的空间，用于保温试件和进行试验，对试件的保温不少于 5h，也不得超过 12h。

本试验方法作为沥青混合料配合比设计高温稳定性检验指标，试验时有一点很重要，即试件必须是新拌配制的，在现场取样时必须在尚未冷却时即制模，不允许将混合料冷却后再二次加热重塑制作。据“八五”攻关课题研究，重塑制作的动稳定度可能高出 2 倍甚至好几倍，数据是不可信的，也是不能作为评价合格与否的依据。

T 0720—1993 沥青混合料线收缩系数试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料的线收缩系数。

1.2 本方法适用于从轮碾成型的板块状试件上切制的棱柱体试件，试件尺寸为长 $200\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ ，宽 $20\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ ，高 $20\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ ，温度区间及降温速率根据当地气候条件决定，通常采用的温度区间为 $+10^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，降温速率为 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

2 仪具与材料技术要求

2.1 收缩仪：殷钢制，如图 T 0720 所示，一端为球形测头，另一端装置千分表或位移计，也可采用能快速准确测定变形的其它仪器。

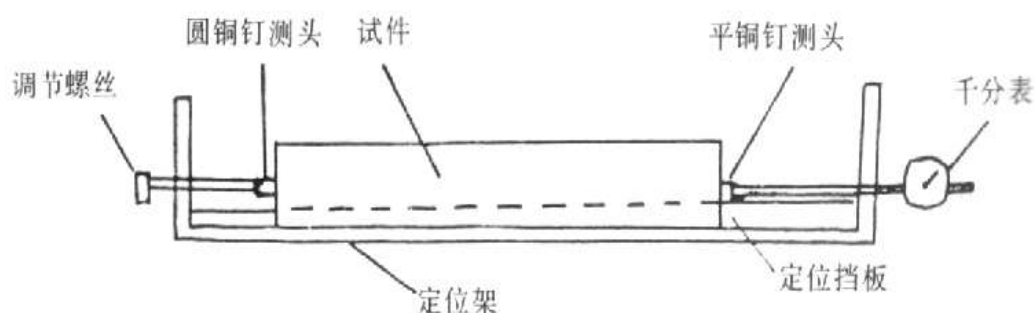


图 T 0720 沥青混合料收缩试验仪

2.2 高低温循环恒温水槽：装有自动温度控制器，控温准确度为 0.1°C ，降温速率控制准确度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。内部尺寸不小于长 30cm、宽 20cm 及深 15cm。

2.3 金属测头：长约 15mm，直径约 5mm，接在试件一端的端部为半球形，接在试件另一端的端部为平面。

2.4 冷媒：1：1 甲醇水溶液或防冻液。

2.5 温度计：分度为 0.1°C 。

2.6 卡尺：量程 250mm。

2.7 其它：天平、铁盘、玻璃板、502 黏结剂等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0703 沥青混合料试件制作方法用轮碾法成型制作 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 50\text{mm}$ 的板块状试件。然后用锯石机顺序切割成 $20\text{mm}\times 20\text{mm}\times 200\text{mm}$ 的棱柱形试件，一组试件不应少于 3 个。

3.1.2 用卡尺量测试件的尺寸，长度为对面两次测定的平均值(L)、高度(h)与宽度(b)为两端及中间 3 处不同方向的平均值，准确至 0.1mm。切割的试件与试件标准尺寸之差，长度不应超过 $\pm 2\text{mm}$ ，高度及宽度不应超过 $\pm 1\text{mm}$ 。

3.1.3 按本规程方法测定沥青混合料的密度及空隙率等各项物理指标。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件两端正中央黏上金属测头，与千分表接触的一端为平头形测头，另一端为半球测头，用 502 黏结剂黏好，并用手稍加压力待其固化黏牢。注意，测头应准确黏在试件两端的中轴线上，测头平面应与轴线垂直。黏结好测头的试件，置于玻璃板上。

3.2.2 在恒温水槽中注入甲醇水溶液作冷媒，深度应在试件上方 20mm 以上，并将水槽的温度控制至试验开始温度($+10^{\circ}\text{C}$)保温。

3.2.3 将玻璃板及试件(一组 3 个)移置在恒温水槽中，玻璃板的架空高度距底面不少于 30mm，各试件之间的距离不少于 10mm。在整个试验过程中，试件的上下位置不得颠倒。在开始试验温度的水槽中恒温 30min。

3.2.4 恒温后，将试件迅速从水槽中取出，一手拔出收缩仪千分表(或位移计)测杆，一手将试件置于试件架的左端紧靠测杆，里侧紧靠定位挡板，右手轻

轻松开测杆与测头接触，在无受力状态下读取千分表(或位移计)读数(L_0)作为收缩零点，准确至 0.001mm。然后，迅速地将试件放回甲醇水溶液中。从恒温水槽中取出试件，至测出千分表读数的时间，不应超过 5s。否则，应将试件放回水槽中保温 10min 左右后再重测。

3.2.5 将试件放回水槽中原来位置，3 个试件全部测量完后，水槽开始降温，降温速率为 5℃/h(或其它规定降温速率)，直至预定的终点温度-30℃，停止降温，并在此条件下保温 30min。重复 3-2-4 的测定，读取最终读数 L_e ，准确至 0.001mm。

3.2.6 为测定不同温度区间的收缩系数，可每降温 10℃并恒温 30min 后，按 3.2.4 的方法测定各温度时的试件长度，再继续降温。

4 计算

4.1 降温区间的平均收缩应变及平均收缩系数按式(T 0720-1)、(T 0720-2)计算。

$$\varepsilon_e = \frac{L_e - L_0}{L_0} \quad (\text{T 0720-1})$$

$$C = \frac{\varepsilon_e}{\Delta T} \quad (\text{T 0720-2})$$

式中： ε_e ——平均收缩应变；

L_e —— -20℃时试件收缩后的长度，mm；

L_0 —— +10℃时试件的原始长度，mm；

C ——沥青混合料的平均线收缩系数；

ΔT ——温度区间，从起始温度(+10℃)至最终温度(-30℃)的差，即为 40℃。

4.2 分温度区间测定时，可按式(T 0720-1)及(T 0720-2)的办法计算各温度区间的收缩系数。以该区间的温度中值为代表温度，由此得出不同温度的收缩系数变化曲线。

5 报告

同一沥青混合料，至少平行试验 3 个试件，当测定结果最大值与最小值之差不超过平均值的 20%时，取其平均值作为试验结果。

条文说明

沥青混合料的平均线收缩系数是规定尺寸的棱柱体试件在规定的温度区间，以规定速率降温时的收缩变形与试件长度的比值。

沥青混合料的线收缩系数是沥青路面温度应力计算的必不可少的参数，它与沥青路面的温度收缩开裂密切相关，为此本试验规程增补此项试验方法。但是国际上尚未见有统一的沥青或沥青混合料的收缩系数试验方法，国内各研究单位自行研制了不少试验仪器及测定方法均不相同。本试验法是参照“七五”国家科技攻关期内研制的试验仪器及试验方法制定的，以便使国内的仪器和方法尽可能统一，便于对比。

沥青混合料的线收缩系数在不同温度区内有不同的值，为简化起见，本试验法采用平均收缩系数的概念。试件试验的温度根据国内寒冷及温和地区的实际情况，也考虑试验设备条件的可能性，并参考国外的资料规定为 $+10^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 。降温速率根据我国北方地区的实际情况，在大风降温的寒流到来时，夜间降温速率可达 $4^{\circ}\text{C}/\text{h}\sim 7^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，故采用其中值为 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。但是根据需要也可采用其它温度区间或降温速率进行试验研究。

收缩仪的构造及变形量测方法，为力求简单，本方法采用了千分表测定装置。当然也可采用能快速准确测定变形的其它仪器，如光学测定装置等。

试件两端黏贴金属测头的步骤至为重要，如贴歪了，严重影响测定结果。测定时取出低温水槽后应非常熟练迅速地测定，由于试件温度变化非常快，千分表读数不可能稳定，故必须在放上去的一瞬间读取，为此规定了5s的时间限制，否则必须重测。

T 0721—1993 沥青混合料中沥青含量试验(射线法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用射线法测定用黏稠石油沥青拌制的热拌沥青混合料中沥青含量(或油石比)，不适用于其它沥青拌制的混合料。

1.2 本方法适用于热拌热铺沥青混合料路面施工时的沥青用量检测，以快速评定拌和厂产品质量。

1.3 本方法规定仪器标定和测定步骤的细节允许按所用仪器说明书规定有所变动。

2 仪器与材料技术要求

2.1 射线法沥青含量测定仪：符合放射性安全规定。

2.2 试样容器：射线法沥青含量测定仪的规定附件。

2.3 沥青混合料拌和机。

2.4 磅秤或天平：称量10kg，感量不大于5g。

2.5 木板：长 50cm，宽 10cm。

2.6 其它：铁铲，大号金属盘，烘箱，温度计等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 沥青含量测定仪参数标定。

1) 用检测对象的实际材料按施工要求的矿料配合比配合矿料 8kg，在烘箱中加热到 165℃，4h。

2) 按本规程 T 0602 准备施工实际使用的沥青试样，按设计沥青用量(或油石比)的±0.5%称取 2 档或 3 档沥青用量，加热到要求的拌和温度。

3) 从小的沥青用量开始分别用沥青混合料拌和机拌和 3min。

4) 按仪器说明书要求称取沥青混合料(一般不少于 6kg)装入试样容器中压实，用木板压平放进射线法沥青含量测定仪中，用 16min 测定时间测定标定参数。

注：仪器应放在木制仪器箱上方，并远离水源。

5) 重复上述步骤，每次增加所需沥青用量，将每一档沥青用量的混合料进行测定，得出标定参数，储存入试验仪器中。

3.1.2 按本规程 T 0701 沥青混合料试样取样法，在拌和厂从运料卡车上采取欲检测的沥青混合料试样。

3.2 试验步骤

3.2.1 按仪器操作说明书要求立即将热沥青混合料分别装入两个试样容器，称取质量，使之符合规定取样量，并量测沥青混合料温度。

3.2.2 用木板压紧沥青混合料，达到规定的体积。

3.2.3 依次将试样容器放入沥青含量测定仪中，开动仪器，输入试样号、沥青混合料温度、标定的沥青混合料编号或标定参数，进行测定，测定的时间一般为 8min(急需时也可采用 4min)，到达时间后，测定仪自动显示沥青含量(或油石比)，记录在测定报告中。

注：沥青含量测定仪测定时的放置条件应与标定时相同，挪动测定地点时，应重新标定后方可测定，测定时的沥青混合料数量应与标定时相同，混合料温度应接近标定温度，显示的数据是沥青含量还是油石比与标定用的相同。

4 报告

同一沥青混合料试样，至少平行试验两次，其差值不大于 0.2%时，取平均值

作为试验结果。

条文说明

沥青混合料的沥青含量是沥青质量在沥青混合料总质量中的比例，当采用油石比时，它表示沥青质量与沥青混合料中的矿料总质量的比例，均以质量百分率表示。近年来，沥青含量测定方法较多有射线法、离心机法，还有抽提—矿料筛分—溶剂回收的自动测定装置等等，均在道路现场得到了应用。“七五”国家科技攻关课题对这些方法作了比较，实际上各有优缺点。本试验规程为适应工程建设的需要，将已得到广泛应用的几个方法均收入本试验规程，供生产单位使用。本试验法规定了利用放射性元素的射线法测定沥青含量的试验方法，是参照美国等国外的射线法沥青含量测定仪的说明书编写的。它通常用于施工单位在拌和厂日常检验沥青含量使用。

由于各国生产的射线法沥青含量测定仪在仪器标定和测定步骤的若干细节上有所不同，故本方法明确规定允许按仪器说明书有所变更。

用射线法沥青含量测定仪测定的沥青含量受环境条件影响很大，试验法明确提出它必须与标定时的条件相同，挪动地点则应重新标定。同时明确规定了标定步骤。

T 0722—1993 沥青混合料中沥青含量试验(离心分离法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用离心分离法测定黏稠石油沥青拌制的沥青混合料中的沥青含量(或油石比)。

1.2 本方法适用于热拌热铺沥青混合料路面施工时的沥青用量检测，以评定拌和厂产品质量。此法也适用于旧路调查时检测沥青混合料的沥青用量，用此法抽提的沥青溶液可用于回收沥青，以评定沥青的老化性质。



图 T0722 离心抽提仪

2 仪器与材料技术要求

2.1 离心抽提仪：如图 T 0722 所示，由试样容器及转速不小于 3000r/min 的离心分离器组成，分离器备有滤液出口。密封盖容器盖与容器之间用耐油的圆环形滤纸密封。滤液通过滤纸排出后从出口流出收入回收瓶中，仪器必须安放稳固并有排风装置。仪器最好采用全密封设计，避免在试验室产生有毒气体。

2.2 圆环形滤纸。

2.3 回收瓶：容量 1700mL 以上。

2.4 压力过滤装置。

2.5 天平：感量不大于 0.01g、1mg 的天平各一台。

2.6 量筒：最小分度 1mL。

2.7 电烘箱：装有温度自动调节器。

2.8 三氯乙烯：工业用。

2.9 碳酸铵饱和溶液：供燃烧法测定滤纸中的矿粉含量用。

2.10 其它：小铲，金属盘，大烧杯等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0701 沥青混合料取样方法，在拌和厂从运料卡车采取沥青混合料试样，放在金属盘中适当拌和，待温度稍下降后至 100℃ 以下时，用大烧杯取混合料试样质量 1000g~1500g 左右（粗粒式沥青混合料用高限，细粒式用

低限，中粒式用中限)，准确至 0.1g。

3.1.2 如果试样是路上用钻机法或切割法取得的，应用电风扇吹风使其完全干燥，置烘箱中适当加热后成松散状态取样，但不得用锤击以防集料破碎。

3.2 试验步骤

3.2.1 向装有试样的烧杯中注入三氯乙烯溶剂，将其浸没，浸泡 30min，用玻璃棒适当搅动混合料，使沥青充分溶解。

注：也可直接在离心分离器中浸泡。

3.2.2 将混合料及溶液倒入离心分离器，用少量溶剂将烧杯及玻璃棒上的黏附物全部洗入分离器中。

3.2.3 称取洁净的圆环形滤纸质量，准确至 0.01g。注意滤纸不宜多次反复使用，有破损者不能使用，有石粉黏附时应用毛刷清除干净。

3.2.4 将滤纸垫在分离器边缘上，加盖紧固，在分离器出口处放上回收瓶，上口应注意密封，防止流出液成雾状散失。

3.2.5 开动离心机，转速逐渐增至 3000r/min，沥青溶液通过排出口注入回收瓶中，待流出停止后停机。

3.2.6 从上盖的孔中加入新溶剂，数量大体相同，稍停 3min~5min 后，重复上述操作，如此数次直至流出的抽提液成清彻的淡黄色为止。

3.2.7 卸下上盖，取下圆环形滤纸，在通风橱或室内空气中蒸发干燥，然后放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中干燥，称取质量，其增重部分 (m_2) 为矿粉的一部分。

3.2.8 将容器中的集料仔细取出，在通风橱或室内空气中蒸发后放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干(一般需 4h)，然后放入大干燥器中冷却至室温，称取集料质量 (m_1)。

3.2.9 用压力过滤器过滤回收瓶中的沥青溶液，由滤纸的增重 m_3 得出泄漏入滤液中矿粉，如无压力过滤器时，也可用燃烧法测定。

3.2.10 用燃烧法测定抽提液中矿粉质量的步骤如下：

1) 将回收瓶中的抽提液倒入量筒中，准确定量至 mL (V_a)。

2) 充分搅匀抽提液，取出 10mL (V_b) 放入坩埚中，在热浴上适当加热使溶液试样发成暗黑色后，置高温炉 ($500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$) 中烧成残渣，取出坩埚冷却。

3) 向坩埚中按每 1g 残渣 5mL 的用量比例，注入碳酸胺饱和溶液，静置 1h，放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 炉箱中干燥。

4) 取出放在干燥器中冷却, 称取残渣质量(m_4), 准确至 1mg。

4 计算

4.1 沥青混合料中矿料的总质量按式(T 0722-1)计算。

$$m_a = m_1 + m_2 + m_3 \quad (\text{T 0722-1})$$

式中: m_a ——沥青混合料中矿料部分的总质量, g;

m_1 ——容器中留下的集料干燥质量, g;

m_2 ——圆环形滤纸在试验前后的增重, g;

m_3 ——泄漏入抽提液中的矿粉质量, g。用燃烧法时可按式(T 0722-2)计算。

$$m_3 = m_4 \times \frac{V_a}{V_b} \quad (\text{T 0722-2})$$

式中: V_a ——抽提液的总量, mL;

V_b ——取出的燃烧干燥的抽提液数量, mL;

m_4 ——坩埚中燃烧干燥的残渣质量, g。

4.2 沥青混合料中的沥青含量按式(T 0722-3)计算, 油石比按式(T 0722-4)计算。

$$P_b = \frac{m - m_a}{m} \quad (\text{T 0722-3})$$

$$P_a = \frac{m - m_a}{m_a} \quad (\text{T 0722-4})$$

式中: m ——沥青混合料的总质量; g;

P_b ——沥青混合料的沥青含量; %;

P_a ——沥青混合料的油石比; %。

5 报告

同一沥青混合料试样至少平行试验两次, 取平均值作为试验结果。两次试验结果的差值应小于 0.3%, 当大于 0.3%但小于 0.5%时, 应补充平行试验一次, 以 3 次试验的平均值作为试验结果, 3 次试验的最大值与最小值之差不得大于 0.5%。

条文说明

本方法规定了用离心法抽提沥青含量的方法, 它既适用于沥青厂的新拌沥青混合料, 也适用于旧路采取的混合料试样, 是现行规范规定的标准试验方法。

离心式抽提仪近年来国内已有较多引进, 其构造大体相同, 国内亦已有数家仿制, 离心法将作为我国测定沥青混合料中沥青含量的标准予以推荐。本方法参照日本道路协会铺装试

验法便览 3-9-6 编写，其它国家的方法与此也基本相同。

用离心法抽提的沥青溶液中，不可能不混入少量能通过滤纸的细矿粉成分。为精确测定沥青用量，本方法规定了再用压力过滤器回收沥青抽提液中矿粉的方法，当无压力过滤器时，可用燃烧法测定。在实际使用时，同一种混合料用同一台仪器测定的矿粉泄漏情况大体上变化不大时，也可以不必每一次都进行此项测定，而参考已有数据作少量修正。例如用某一台抽提仪试验时，沥青混合料总重 1kg 时泄漏的矿粉量约为 1g 左右，以后可每次测定结果上减去 0.1% 即可。对漏入抽提液中矿粉数量的标定工作很重要，否则每次都可能使测定的油石比偏大。除了规程规定的方法外，还可以作空白试验标定，即用不加沥青的矿料混合料抽提，计算矿料的损失，或将抽提液沉淀 24h~48h，仔细倒走抽提液，经燃烧测定漏入的矿粉数量，但这些都是不很精确的近似方法。

离心抽提仪可增加配备另一个溶剂循环及橡胶收集盘，可进行橡胶沥青混合料的沥青含量测定。沥青混合料先通过连续的拌合清洗和溶解分离。橡胶部分先从沥青混合料中分离，由于密度低而漂浮在溶剂表面，易于被橡胶收集盘收集起来。集料存留于清洗仓内，矿粉被分离与离心机内。沥青和溶剂则在溶剂蒸馏仓中被分离。

T 0725—2000 沥青混合料的矿料级配检验方法

1 目的与适用范围

本方法适用于测定沥青路面施工过程中沥青混合料的矿料级配，供评定沥青路面的施工质量时使用。

2 仪具与材料技术要求

2.1 标准筛：尺寸为 53.0mm、37.5mm、31.5mm、26.5mm、19.0mm、16.0mm、13.2mm、9.5mm、4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 的标准筛系列中，根据沥青混合料级配选用相应的筛号，标准筛必须有密封圈、盖和底。

2.2 天平：感量不大于 0.1g。

2.3 摇筛机。

2.4 烘箱：装有温度自动控制器。

2.5 其它：样品盘、毛刷等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按照本规程 T 0701 沥青混合料取样方法从拌和厂选取代表性样品。

3.1.2 将沥青混合料试样按本规程 T 0722 等沥青混合料中沥青含量的试验方法抽提沥青后,将全部矿质混合料放入样品盘中置温度 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘干,并冷却至室温。

3.1.3 按沥青混合料矿料级配设计要求,选用全部或部分需要筛孔的标准筛,作施工质量检验时,至少应包括 0.075mm、2.36mm、4.75mm 及集料公称最大粒径等 5 个筛孔,按大小顺序排列成套筛。

3.2 试验步骤

3.2.1 将抽提后的全部矿料试样称量,准确至 0.1g。

3.2.2 将标准筛带筛底置摇筛机上,并将矿质混合料置于筛内,盖妥筛盖后,压紧摇筛机,开动摇筛机筛分 10min。取下套筛后,按筛孔大小顺序,在一清洁的浅盘上,再逐个进行手筛,手筛时可用手轻轻拍击筛框并经常地转动筛子,直至每 min 筛出量不超过筛上试样质量的 0.1% 时为止,但不允许用手将颗粒塞过筛孔,筛下的颗粒并入下一号筛,并和下一号筛中试样一起过筛。在筛分过程中,针对 0.075mm 筛的料,根据需要可参照《公路工程集料试验规程》(JTG E42-2005)的方法采用水筛法,或者对同一种混合料,适当进行几次干筛与湿筛的对比试验后,对 0.075mm 通过率进行适当的换算或修正。

3.2.3 称量各筛上筛余颗粒的质量,准确至 0.1g。并将沾在滤纸、棉花上的矿粉及抽提液中的矿粉计入矿料中通过 0.075mm 的矿粉含量中。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余质量的总和与筛分前试样总质量相比,相差不得超过总质量的 1%。

4 计算

4.1 试样的分计筛余量按式(T 0725-1)计算。

$$P_i = \frac{m_i}{m} \times 100 \quad (\text{T 0725-1})$$

式中: P_i ——第 i 级试样的分计筛余量, %;

m_i ——第 i 级筛上颗粒的质量, g;

m ——试样的质量, g。

4.2 累计筛余百分率:该号筛上的分计筛余百分率与大于该号筛的各号筛上的分计筛余百分率之和,准确至 0.1%。

4.3 通过筛分百分率:用 100 减去该号筛上的累计筛余百分率,准确至 0.1%。

4.4 以筛孔尺寸为横坐标,各个筛孔的通过筛分百分率为纵坐标,绘制矿料组成级配曲线如图 T 0725,评定该试样的颗粒组成。

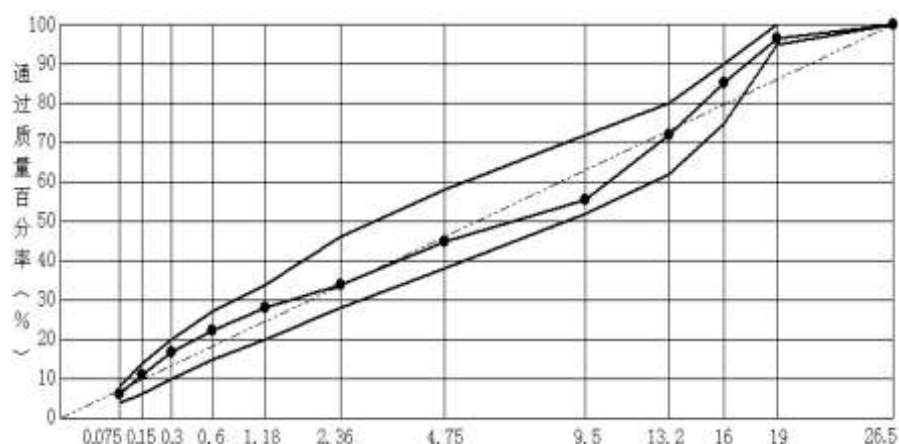


图 T 0725 沥青混合料矿料组成级配曲线示例

5 报告

同一混合料至少取两个试样平行筛分试验两次,取平均值作为每号筛上的筛余量的试验结果,报告矿料级配通过百分率及级配曲线。

条文说明

沥青混合料中的矿料组成试验是沥青路面施工时重要的质量检查项目。它用于沥青混合料抽提沥青含量后的回收矿料的筛分试验,以检验其组成是否符合设计要求。本试验是参照集料筛分试验并根据现场使用的实际情况制定的。

国外在评定沥青路面施工时的矿料级配时,一般在质量要求中并不规定对全部筛孔进行筛分、检验,而注重于关键筛孔的质量检验,以减少工作量。所以近年来我国引进的沥青抽提—矿料筛分—溶剂回收自动化联合测定装置(如德国 FHF 产品等)中,摇筛机上只能装 5 个标准筛。在近几年修筑的高速公路指标条件质量要求中,最重要的是 3 个筛孔,一个是 0.075mm 控制矿粉含量,一个是 2.36mm 控制细集料含量,一个是 4.75mm 控制粗集料量。另两个筛孔则无明确规定,本试验法为统一起见规定了必须有 0.075mm、2.36mm、4.75mm 及集料最大粒径等筛孔,另外再根据混合料类型选用 1 个适应的筛孔,只要这些筛孔的通过率控制合格,则其他筛孔的通过率就不会有较大的出入。因此,筛分试验应按沥青混合料矿料级配设计要求,选用全部或部分需要筛孔的标准筛进行筛分。

筛分的具体步骤与一般的集料筛分试验方法相同,唯应注意不能忽略在抽提过程中泄漏的矿粉。另外,对抽提筛分联合测定的自动抽提仪,矿料级配相当于水洗法,而将矿料烘干后集中由摇筛机筛分的,相当于干筛,其结果会有所差别。尤其是对施工质量检验,希望尽快得出试验结果,故本方法一般采用干筛,根据需要,也可采用水筛法,以便与配合比设计

时的方法一致，这一点对检验 0.075mm 通过率尤为重要，故本次修订时进行了相应的修改。

现在各单位在绘制沥青混合料矿料级配曲线时有各式各样的画法，很不一致。本方法采用的是泰勒曲线的标准画法，其指数 $n=0.45$ ，横坐标按 $y=100.45 \lg d_i$ 计算如下表，纵坐标为普通坐标，可利用计算机的电子表格功能绘制。

d_i	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75
y	0.312	0.426	0.582	0.795	1.077	1.472	2.016
d_i	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5	37.5
y	2.745	3.193	3.482	3.762	4.370	4.723	5.109

以后各单位应统一采用此方法绘制矿料级配曲线。

T 0726—2011 从沥青混合料中回收沥青的方法(阿布森法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用阿布森法从石油沥青混合料中回收沥青。对沥青路面或沥青混合料用溶液抽提，再将抽提液中的溶剂除去，且在操作过程中不改变混合料中沥青的性质。

1.2 按本方法从沥青路面或沥青混合料中回收的沥青，可供评定石油沥青混合料中沥青的老化程度，及分析沥青路面的破坏原因，进行再生沥青混合料的配合比设计等使用。根据需要对回收沥青测定各种性质及化学组分。

2 仪器与材料技术要求

2.1 蒸馏装置：如图 T 0726，由下列部分组成：

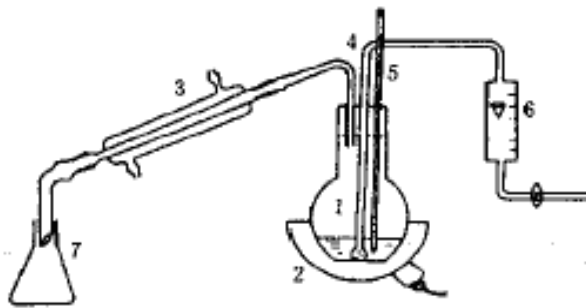


图 T 0726 蒸馏装置(单位：mm)

1-平底烧瓶；2-油浴加热器；3-冷凝管；4-通气管；5-温度计；6-气体流量计；7-溶剂回收瓶

2.1.1 烧瓶：500mL、耐热玻璃制，磨口、平底。

2.1.2 通气管：胶皮管长至少 180mm，外径 6mm，端球外径 10mm，有六个交错的边孔，孔径约 1.5mm。

2.1.3 弯玻璃导管：内径 10mm。

2.1.4 软木塞：与瓶颈有良好的密封性。

2.1.5 冷凝管：直形，水夹套长至少 200mm。

2.1.6 温度计：0℃～300℃，分度为 1℃，水银球长 6mm。

2.1.7 锥形瓶：500mL。

2.1.8 CO₂ 气体及贮气钢瓶。

2.1.9 气体流量计：测定容量在 2000mL/min 以上。

2.1.10 试管架等。

2.2 高速离心分离器：可装置 4 个以上的离心管，相对离心力不小于 $770 \times g$ 。

2.3 离心管：容量 250mL 以上。

2.4 减压过滤器。

2.5 油浴加热器 (大小与 500mL 蒸馏烧瓶吻合)，并有调温装置，控温精度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

2.6 溶剂：三氯乙烯，工业用。

2.7 其它：有柄坩埚、烧杯等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 准备沥青混合料试样，一次用量应预计可获得回收沥青试样 80g～120g，不足沥青试验项目需要时可分次回收后混合使用。沥青混合料若是从路上钻取的试样，宜用电风扇吹干水分后再用微波炉或在烘箱内加热，使成松散状态，但加热温度宜控制在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，从开始加热至试样松散的时间控制在 $35\text{min} \pm 5\text{min}$ 之内。

3.1.2 按本规程 T 0722 方法将沥青混合料用离心法抽提出沥青溶液，至抽提液达澄清透明为止。

3.1.3 将全部沥青抽提液分次装入离心管中，用高速离心分离法清除抽提液中的矿粉部分，施加相对离心力不小于 $770 \times g$ 以上，离心分离的时间不少于 30min。

3.1.4 将干净的抽提液取出一部分置减压过滤器的滤纸上过滤，一边抽气一边向滤纸上加新的三氯乙烯溶液洗净。仔细观察滤纸上还有没有矿粉颗粒，检验

高速离心分离法清除矿粉是否干净。如果试验室没有配置减压过滤器,可采用马沸炉等高温加热器,把抽提液进行高温加热,并对燃烧后的灰烬进行称重,从而检测分离机清除矿粉等细微颗粒集料是否干净。如不干净,则重复 3.1.3 的步骤延长分离时间,直至确认抽提液中没有矿粉为止。

3.2 试验步骤

3.2.1 将抽提液全部(约 350mL~400mL)倒入一个洁净的 500mL 蒸馏烧瓶中,用少量溶剂清洗后也并入瓶中。

3.2.2 按图 T 0726 装置蒸馏用烧瓶、冷凝管、温度计、流量计、通气管、溶剂回收的锥形瓶等,通气管的端球底应高于液面,蒸馏烧瓶置于电热套中,通气管与流量计、CO₂ 储气罐连接,在未通气前先用夹子将胶管夹紧,不使通气。温度计水银球端部距通气管的端球顶部 10mm。烧瓶颈部底部以下应浸泡在油浴中,使溶剂蒸气不在上部遇冷滴回。

3.2.3 开始加热烧瓶,往烧瓶溶液注入 CO₂ 气体,气流量以能使溶液在烧瓶中缓慢翻腾为宜,或者刚开始加热时将烧瓶底部 2cm~4cm 部分放在油浴里面,避免溶液沸腾。

3.2.4 调节加热温度,一般恒温油浴的设定温度从开始至三氯乙烯以滴状被蒸馏出来即可设定在 155℃~165℃。

3.2.5 待三氯乙烯溶剂以滴状蒸馏时,将 CO₂ 气体流量增加到 1400mL/min±50 mL/min,同时将油浴温度设定在 165℃~175℃,使烧瓶内的温度保持为 160℃~166℃。

3.2.6 保持 CO₂ 的通入速度持续加热 15min。15min 后如冷凝管内有溶剂滴下或蒸馏瓶上部内壁附有溶剂蒸气液滴,可继续吹入 CO₂,待三氯乙烯溶剂停止下滴后,继续吹入 CO₂5min,除去蒸馏烧瓶内壁的溶剂蒸气。在此过程中,加热温度保持不变。

3.2.7 蒸馏终了时停止通 CO₂ 和加热,并趁热将蒸馏烧瓶中的回收沥青倒入一容器中,接着试验回收沥青的性质(不得重复加热)。从抽提开始至回收结束的时间不得超过 8h。

3.2.8 对回收沥青进行黏度、针入度、软化点、组分分析等各项试验方法与原样沥青的试验方法相同。

4 报告

报告应注明回收沥青的方法，并综合报告回收沥青的各项性质测定结果。

条文说明

从沥青混合料中回收沥青的目的与沥青抽提试验不同。抽提试验的目的仅在于测定沥青含量，回收沥青的方法关键在于沥青在抽提过程中不应使沥青进一步老化，且必须把其中的溶剂全部除去，以便测定回收沥青的性质。过去从沥青路面或混合料中回收沥青时，一般将回收沥青溶液用蒸馏法回收沥青。由于我国 1983 年试验规程无该试验方法，具体试验步骤均无统一要求，故蒸馏的程度不可能统一掌握。为适应沥青材料研究工作的需要，增加回收沥青的试验方法十分必要。但回收沥青的试验方法难度很大，ASTM D 762 的阿布森法已经终止，并为 D 1856 所代替，此法操作要求很高，日本石油协会等几个单位进行联合试验，对方法作了改进，简化并订成 JPI-5S-31，日本道路协会将其收入铺装试验法便览。本试验法是参照 ASTM D 1856 及日本道路协会铺装试验法便览 3-9-7 的试验方法制定的。

对回收沥青抽提用的溶剂，第 17 届世界道路会议报告指出在国际上有尖锐分歧，建议不管使用哪种溶剂，均应在试验条件下对已知性质的沥青进行回收，以评定溶剂对沥青的作用效果。ASTM D 2172 规定用三氯乙烯、三氯甲烷、苯等。日本规定用三氯乙烯，这是对溶剂的毒性及不可燃性、沸点等进行比较后选定的。根据日本的研究，使用化学纯的三氯乙烯时，因无稳定剂，使用时溶剂接触空气氧化生成过氧化物，继而生成多种化合物，在遇热和光线作用下更显著。为此，规程规定采用加有稳定剂的工业用三氯乙烯。为此，本试验法规定用工业用三氯乙烯。

回收过程中关键的几个因素是升温速度，CO₂ 通入的时间及数量，溶剂蒸馏馏出的速度，蒸馏结束后的保持条件等。这些都按照日本道路协会铺装试验法便览的条款编写。在到达 160℃ 后 ASTM D 1856 规定的 CO₂ 通气量是 900mL/min，而日本石油学会从 1984 年起，经过 4 年研究对比，认为 CO₂ 通气量不足，导致回收过程中的老化，故将此提高至 1400mL/min±50 mL/min，我国有关单位也认为试验时通气量不足容易沸腾，为此本试验法修订为 1400mL/min±50 mL/min。

本次修订参考了有关单位的研究成果，原方法中采用电热套加热时间较长，而且容易出现加热不均匀，特别是在三氯乙烯蒸馏的后期阶段，很难控制加热温度，经常出现烧瓶内的温度上升过快，使回收沥青产生二次老化，因此，修订后的仪具要求采用具有控温功能的油浴进行加热，去掉了电热保温套加热。为避免回收沥青内进杂质，减少沸石或玻璃毛细管等物质黏附过多的抽提沥青降低抽提效率，所以去掉了采用掺加沸石或玻璃毛细管等方法防止溶液暴沸。另外，为使烧瓶内的温度保持为 160℃~166℃，规定了油浴温度的设定范围。

由于阿布森回收沥青试验方法容易产生误差，建议在进行该试验时，首先选择一种基质沥青，检测针入度、延度、软化点等指标。然后取沥青试样，用三氯乙烯溶剂，配成 1:5 浓度的溶液（建议值），并按照阿布森试验方法进行回收沥青。最后检测回收沥青的针入度

指标，并与原样沥青进行比较，如果回收沥青与原样沥青相比针入度偏高，说明三氯乙烯没有完全蒸发，应适当延长蒸馏时间，检查 CO_2 通气量是否充足；反之，则需要检查加热时间是否过长，加热温度是否在回收后期过高等原因。

T 0727—2011 从沥青混合料中回收沥青的方法(旋转蒸发器法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法采用旋转蒸发器法从石油沥青混合料中回收沥青，对沥青路面或沥青混合料用溶液抽提，再将抽提液中的溶剂除去，且在操作过程中不改变混合料中沥青的性质。

1.2 按本方法从沥青路面或沥青混合料中回收的沥青，可供评定石油沥青混合料中沥青的老化程度，及分析沥青路面的破坏原因，进行再生沥青混合料的配合比设计等使用。根据需要对回收沥青测定各种性质及化学组分。

2 仪器与材料技术要求

2.1 旋转蒸发器沥青回收装置，如图 T 0727 所示。主要有下列部分组成：

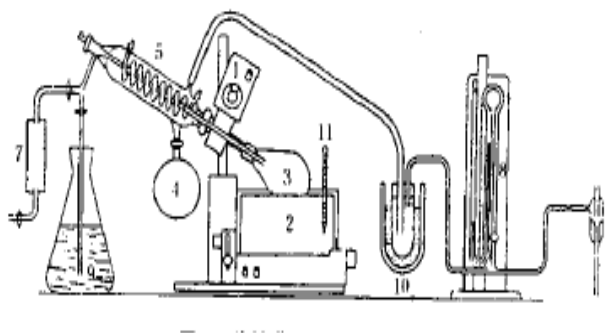


图 T 0727 旋转蒸发器沥青回收装置

1-电源及旋转速度控制器；2-加热装置；3-旋转烧瓶；4-溶剂回收烧瓶；5-冷凝器；6-抽气机或真空泵；7-气体流量计；8-真空计；9-沥青抽提液；10-凝气阱；11-温度计

2.1.1 旋转烧瓶：容量 1000mL，置于加热装置(油浴)上，可通入 CO_2 气体。

2.1.2 蒸馏烧瓶：回收溶剂的冷凝器及 1000mL 溶剂回收烧瓶。

2.1.3 减压抽气装置：可用真空泵或抽气机，能形成负压小于 6.67kPa(50mmHg)。

2.1.4 凝气阱：冷凝回收溶剂，冷却液可用甲醇及干冰的混合液。

2.1.5 气体流量计：量程 2000mL/min。

2.2 高速离心分离器：可装置 4 个以上的离心管，相对离心力不小于 $770 \times g$ 。

2.3 离心管：容量 250mL 以上。

2.4 减压过滤器。

2.5 电热保温套(大小与 500mL 蒸馏烧瓶吻合)，也可用油浴或砂浴，并有调温装置。

2.6 溶剂：工业用三氯乙烯，纯度 99%以上。

2.7 CO₂ 气体及贮气钢瓶。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 准备沥青混合料试样，一次用量应预计可获得回收沥青试样 80g~120g，不足沥青试验项目需要时可分次回收后混合使用。沥青混合料若是从路上钻取的试样，宜用电风扇吹干水分后再用微波炉或在烘箱内加热，使成松散状态，但加热温度不得超过 100℃，从开始加热至试样松散的时间不得超过 30min。

3.1.2 按本规程规定的方法测定沥青混合料密度及空隙率等各项物理指标。

3.1.3 按本规程 T 0722 方法将沥青混合料用离心法抽提出沥青溶液，至抽提液达澄清透明为止。

3.1.4 将全部沥青抽提液分次装入离心管中，用高速离心分离法清除抽提液中的矿粉部分，施加相对离心力 $770 \times g$ 以上，离心分离的时间不少于 30min。

3.1.5 将干净的抽提液取出一部分置减压过滤器的滤纸上过滤，一边抽气一边向滤纸上加新的三氯乙烯溶液洗净。仔细观察滤纸上还有没有矿粉颗粒，检验高速离心分离法清除矿粉是否干净。如有应重复上述的步骤延长分离时间，直至确认抽提液中没有矿粉为止。

3.1.6 将旋转蒸馏回收装置按图 T 0727 接妥，接头均应密封，不漏气。

3.1.7 将加热装置的油浴调节至 $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 将沥青抽提液全部(约 350mL~400mL)装入洁净的 1000mL 旋转烧瓶中，用少量溶剂清洗后也并入瓶中。

3.2.2 开动真空泵或抽气机，使整个系统形成负压，真空度 94.7kPa(710mmHg)，即绝对负压在 6.67kPa(50mmHg)以下。

3.2.3 开动旋转烧瓶，在不浸入加热油浴的状态下，以约 50r/min 的速度旋转 5min~10min。

3.2.4 在保持上述速度旋转的状态下，缓慢地将旋转烧瓶底部浸入已达 $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的油浴中，烧瓶内的溶剂开始蒸发，当冷凝装置冷却的溶液流入溶剂回收烧瓶达到稳定状态后，逐渐增加旋转速度。并增大旋转烧瓶浸入油浴的加热面积，加快蒸馏速度。直至无溶剂汽凝回收时，蒸馏结束，将旋转速度降低至 20r/min。

3.2.5 旋转烧瓶继续保持旋转状态，同时将油浴升温，在 15min 内上升至 $155^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，再在此状态下保持 15min，然后开放 CO_2 阀门，以 1000mL/min 的流速通过 2min。

3.2.6 关闭 CO_2 阀门，逐渐使旋转烧瓶内恢复至常压，停止旋转烧瓶旋转，离开油浴，拆开装置。

3.2.7 迅速倒出烧瓶内的残留沥青，进行回收沥青的各项试验。

3.2.8 对回收沥青进行黏度、针入度、软化点、组分分析等各项试验方法与原样沥青的试验方法相同。

4 报告

报告应注明回收沥青的方法，并综合报告回收沥青的各项性质测定结果。

条文说明

在日本道路协会铺装试验法便览中，蒸馏回收方法规定了两种装置。除了 ASTM D 1856 的装置(阿普森法)外，还规定了一套旋转蒸发器的方法。旋转蒸发器回收沥青在欧洲广泛采用，第 17 届世界道路会议及美国 SHRP 研究中也提出此法，这一点是近年来回收沥青的主要变化。我国已有引进的设备，国产的石油仪器中也有类似的产品。本试验法按照日本道路协会铺装试验法便览 3-9-7 的方法，列出了旋转蒸发器回收沥青试验方法的步骤，供有此类设备的单位使用。

对溶剂要求采用工业用三氯乙烯，并要求纯度要达到 99%以上，因为纯度高回收效果比较好。由于三氯乙烯溶剂易挥发，而且对人体有害，所以，旋转蒸发器整套试验应该在通风良好的室内进行，操作人员也应该配备必要的防护用品，如橡皮手套和防护面罩等。

对真空度的控制可以根据蒸馏情况、仪器本身的功能及结合实践经验进行调整。

由于沥青回收方法难度大，回收条件掌握不好，沥青本身老化就难以避免。因此国外都要求操作者在正式试验前，应进行空白试验，即将已知各项性质的沥青用三氯乙烯溶解至相当浓度后按试验法回收，测定沥青性质有无变化。如技术不熟练，条件掌握不好，沥青性质发

生了变化,就说明试验本身不合格。我国这方面的试验开展还很少,各单位使用本试验方法时亦应反复进行空白试验,以便试验者能熟练操作,达到回收的目的。

T 0728—2000 沥青混合料弯曲蠕变试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定热拌沥青混合料试件在规定温度和加载应力水平条件下弯曲蠕变的应变速率,以评价沥青混合料的变形性能。

1.2 试验温度根据试验目的需要或有关规定选用,如无特殊规定,试验沥青混合料的低温性能时宜采用 0℃;试验高温性能时宜采用 30℃~40℃。

1.3 本方法适用于由轮碾成型后的试件切制成长 250mm,宽 30mm,高 35mm 的棱柱体小梁,其跨径为 200mm。

2 仪器与材料技术要求

2.1 蠕变试验机:宜采用能施加恒定荷载的电液伺服万能材料试验机,也可采用砝码加载的杠杆式蠕变试验机。荷载由传感器测定,最大荷载应满足不超过传感器量程的 80%,且不小于量程的 20%的要求,宜采用 0.2kN,分度值为 10N。应保持试验机在加载过程中荷载水平基本不变。具有梁式支座,下支座中心距 200mm,上压头位置居中,上压头及支座与试件的接触面均为半径 10mm 的圆弧形钢棒,上压头可以活动与试件紧密接触。应具有环境保温箱,控温准确度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 位移测定装置:采用 LVDT 位移传感器。

2.3 数据采集系统或 X-Y 记录仪:能自动采集或储存传感器及位移传感器的电测信号,能在数据采集系统或在 X-Y 记录仪上绘制荷载与跨中挠度随时间变化的曲线。

2.4 恒温水槽:温度范围能满足试验要求,控温准确度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。在负温度下试验时,恒温水槽的水中应加少量食盐以降低冰点,或采用 1:1 的甲醇(或乙二醇)水溶液作冷媒介质。恒温水槽中的液体应能循环回流使温度一定。

2.5 万能材料试验机:应具有控温环境箱,最大荷载为 5kN,准确至 10N。

2.6 卡尺。

2.7 秒表。

2.8 温度计：分度为 0.1°C 。

2.9 天平：感量不大于 0.1g 。

2.10 其它：平板玻璃等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0703 沥青混合料试件制作方法由轮碾成型的板块状试件上用切割法制作棱柱体试件，试件尺寸应符合长 $250\text{mm}\pm 2\text{mm}$ ，宽 $30\text{mm}\pm 2\text{mm}$ ，高 $35\text{mm}\pm 2\text{mm}$ 的要求，一块 $300\text{mm}\times 300\text{mm}\times 50\text{mm}$ 的板块通常可切制 6 根试件。

3.1.2 在跨中及两支点断面用卡尺量取试件的尺寸，当两支点断面的高度(或宽度)之差超过 2mm 时，试件应作废。跨中断面的宽度为 b ，高度为 h ，取相对两侧的平均值，准确至 0.1mm 。

3.1.3 按本规程规定的方法测量试件的密度、空隙率等各项物理指标。

3.1.4 将试件置于规定温度的恒温水槽中保温 1h ，试件之间的距离应不小于 10mm 。当进行沥青混合料的高温弯曲蠕变试验时，试件必须平放在支起的平板玻璃上。

3.1.5 将试验机环境箱调到规定温度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.6 将试验机梁式试件支座准确安放好，测定支点间距为 $200\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ，使上压头与下压头钢棒保持平行且距离相等，然后将位置固定。

3.2 从一组 6 根试件中随机选取 2 根试件，在规定温度条件下按本规程 T 0715 的方法进行弯曲试验，加载速率为 $50\text{mm}/\text{min}$ 。测定试件的破坏荷载 P ，求取平均值。以破坏荷载的 10% 作为弯曲蠕变试验的荷载 P_0 。

3.3 方法与步骤

3.3.1 将试件从恒温水槽中取出，立即对称安放在支座上，试件上下方向应与试件成型时方向一致。高温弯曲蠕变试验必须在恒温水槽中进行，低温弯曲蠕变试验可在试验机的环境箱或恒温水槽中进行。

3.3.2 将荷载传感器、LVDT 位移传感器与数据采集系统连接，以 X 轴为时间轴， Y 轴记录荷载 (Y_1) 及位移 (Y_2)，选择适宜的量程后调零。

3.3.3 在梁跨正中央安放位移测定装置，跨中挠度用 LVDT 传感器测定。位移传感器支座固定在试验机机身上。位移传感器测头支于试件跨中中央(1 个位移传感器)或两侧(用 2 个位移传感器)。位移传感器有效量程应大于预计的最大挠

度的 1.2 倍。当采用 X-Y 记录仪记录时间挠度曲线时,为正确地从小曲线读取数据,在开始加载后的 60s 内,记录仪的走纸速度(或扫描速度)宜不小于 100mm/min,直至试验结束宜不小于 10mm/min。

当采用电子数据采集系统记录挠度变形时,为正确地根据输出数据,绘制曲线,在开始加载后的 10s 内,采样频率宜不小于 100Hz,此后 5min 宜不小于 1Hz,然后以不小于 0.2Hz 的采样频率直至试验结束。

3.3.4 施加荷载 P_0 。当采用能施加恒定荷载的电液伺服万能材料试验机时,开动试验机,快速(宜为 50mm/min)在跨中施以荷载达到要求的恒定荷载,并符合破坏荷载的 $10\% \pm 1\%$ 的要求。当采用砝码加载的杠杆式蠕变试验机时,直接一次加上要求的砝码荷载,施加在试件上的荷载应符合破坏荷载的 $10\% \pm 1\%$ 的要求。

3.3.5 在施加荷载的同时开动记录仪。记录荷载变化过程及跨中挠度曲线,如图 T 0728 所示。直至变形进入直线稳定发展的时间不得少于 0.5h,根据需要可试验至试件断裂为止。

3.3.6 按同样顺序对其它试件进行试验,一组试件重复试验的试件数不得少于 3 根。

4 计算

4.1 从图 T 0728 试验时间—跨中挠度曲线上按试验数据采集频率读取不同时间 t_i 的跨中挠度 d_i ,至时间—挠度曲线进入直线段(稳定期)后,读取直线段起点及终点的时间及变形(t_1, d_1 及 t_2, d_2)。

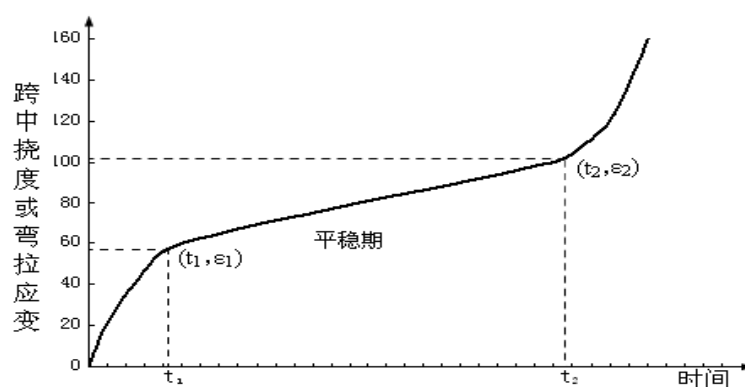


图 T 0728 试验时间—跨中挠度曲线

4.2 当进行低温弯曲蠕变试验,且试验是在试验机环境箱中进行时,小梁的自重影响在计算时可略去不计,按式(T 0728-1)~(T 0728-5)计算蠕变弯拉应力 σ_0 、梁底弯拉应变 $\epsilon(t)$ 及弯曲蠕变劲度模量 $S(t)$ 、弯曲蠕变柔量 $J(t)$ 、弯曲蠕变速率 ϵ_s 。此组公式不适用于温度高于 20℃ 的情况。

$$\sigma_0 = \frac{3LF_0}{2bh^2} \times 10^{-6} \quad (\text{T } 0728-1)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{6hd(t)}{L^2} \quad (\text{T } 0728-2)$$

$$S(t) = \frac{\sigma_0}{\varepsilon(t)} \quad (\text{T } 0728-3)$$

$$J(t) = \frac{1}{S(t)} \quad (\text{T } 0728-4)$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{(t_2 - t_1)/\sigma_0} \quad (\text{T } 0728-5)$$

式中： σ_0 ——试件的蠕变弯拉应力，MPa；

$\varepsilon(t)$ ——试件梁底的弯拉应变；

$S(t)$ ——试件的弯曲蠕变劲度模量，MPa；

$J(t)$ ——试件的弯曲蠕变柔量，1/MPa；

ε_s ——试件的弯曲蠕变速率，1/s/MPa；

t_1, t_2 ——分别为蠕变稳定期直线段起始点及终点的时间，s；

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ——分别为对应于时间 t_1, t_2 时的蠕变应变；

b ——跨中断面试件的宽度，m；

h ——跨中断面试件的高度，m；

L ——试件的跨径，m；

P_0 ——试件在试验加载过程中承受的荷载，N；

$d(t)$ ——试件加载过程中随时间 t 变化的跨中挠度，m。

4.3 当在恒温水槽中进行沥青混合料的弯曲蠕变试验时，均应计算小梁的自重，并考虑水的浮力，按式(T 0728-6)～(T 0728-10)分别计算蠕变、弯拉应力 σ_0 、梁底弯拉应变 $\varepsilon(t)$ 及弯曲蠕变劲度模量 $S(t)$ 、弯曲蠕变柔量 $J(t)$ 、弯曲蠕变速率 ε_s 。

$$\sigma_0 = \frac{3(2LF_0 + qL^2 - 4qL_1^2)}{4bh^2} \times 10^{-6} \quad (\text{T } 0728-6)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{24h(2LF_0 + qL^2 - 4qL_1^2)}{(8L^3F_0 + 5qL^4 - 24qL^2L_1^2)} d(t) = \alpha d(t) \quad (\text{T } 0728-7)$$

$$S(t) = \frac{\sigma_0}{\varepsilon(t)} \quad (\text{T } 0728-8)$$

$$J(t) = \frac{1}{S(t)} \quad (\text{T 0728-9})$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{(t_2 - t_1)/\sigma_0} \quad (\text{T 0728-10})$$

式中： σ_0 ——试件的蠕变弯拉应力，MPa；

$\varepsilon(t)$ ——试件梁底的弯拉应变；

$S(t)$ ——试件的弯曲蠕变劲度模量，MPa；

$J(t)$ ——试件的弯曲蠕变柔量，1/MPa；

ε_s ——试件的弯曲蠕变速率，1/s/MPa；

t_1, t_2 ——蠕变稳定期直线段起始点及终点两点的时间，s；

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ——对应于时间 t_1, t_2 时的蠕变应变；

b ——跨中断面试件的宽度，m；

h ——跨中断面试件的高度，m；

L ——试件的跨径，m，一般为 0.2m；

L_1 ——试件的端部到支点的距离，m，一般为 0.025m；

q ——小梁试件单位长度的质量，N/m，由下式计算。

$$q = (D-1) \times b \times h \times 1000 \times 9.81$$

D ——沥青混合料密度，t/m³；

P_0 ——试件在试验加载过程中承受的荷载，N；

$d(t)$ ——试件加载过程中随时间 t 变化的跨中挠度，m。

5 报告

5.1 每个试验温度下，一组平行试验的试件不得少于 3 个，取其平均值作为试验结果。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、成型方法、试验温度及加载速率。

条文说明

沥青混合料的弯曲蠕变试验的目的是对规定尺寸的小梁试件，在跨中施加恒定的集中荷载，测定随时间不断增长的蠕变变形。跨中断面下缘的总应变与应力之比值为弯曲蠕变柔量，以 1/MPa 计。在单位应力条件下，变形等速增长的稳定期内单位时间增加的应变值即蠕变速率，以 1/s/MPa 计。本方法是按照“八五”国家科技攻关专题“道路沥青及沥青混合料的路用性能”的研究成果编写的，配套设备也已供应市场。

T 0729—2000 沥青混合料冻融劈裂试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于在规定条件下对沥青混合料进行冻融循环,测定混合料试件在受到水损害前后劈裂破坏的强度比,以评价沥青混合料水稳定性。非经注明,试验温度为 25℃,加载速率为 50mm/min。

1.2 本方法也可以评价掺加到沥青混合料的各类抗剥落剂如消石灰、水泥以及液体抗剥落剂的性能。

1.3 本方法采用马歇尔击实法成型圆柱体试件,对于集料的公称最大粒径小于等于 26.5mm 时,采用标准击实法,试件的直径为 $101.6\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$,高度为 $63.5 \pm 1.3\text{mm}$;对于公称最大粒径大于 26.5mm 时,采用大型击实法,试件的直径为 $152.4\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$,高度为 $95 \pm 2.5\text{mm}$ 。试件的空隙率为 $7\% \pm 0.5\%$ 。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试验机:能保持规定加载速率的材料试验机,也可采用马歇尔试验仪。试验机负荷应满足最大测定荷载不超过其量程的 80%且不小于其量程的 20%的要求,宜采用 40kN 或 60kN 传感器,读数精密度为 10N。

2.2 恒温冰箱:能保持温度为-18℃,当缺乏专用的恒温冰箱时,可采用家用电冰箱的冷冻室代替,控温准确度为 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

2.3 恒温水槽:用于试件保温,温度范围能满足试验要求,控温准确度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

2.4 压条:上下各一根,压条两端均应磨圆。试件直径 101.6mm 时,压条宽度为 12.7mm,内侧曲率半径为 50.8mm;试件直径 152.4mm 时,压条宽度为 19mm,内侧曲率半径为 76.2mm,

2.5 劈裂试验夹具:下压条固定在夹具上,压条可上下自由活动。

2.6 其它:塑料袋、卡尺、天平、记录纸、胶皮手套等。

3 方法与步骤

3.1 按本规程 T 0702 方法采用 3 种不同的击实次数(如标准马歇尔试件 25、

35、45 次) 制作 3 组马歇尔试件, 每组试件 3 个, 并按照本规程规定的方法测定混合料的最大理论密度和试件的毛体积密度, 分别计算每组试件空隙率的平均值。

3.2 采用内插法或回归方程确定马歇尔试件空隙率为 7% 时对应的双面击实次数。

3.3 根据确定的双面击实次数, 按本规程 T 0702 方法制作马歇尔试件, 试件数目不少于 8 个。

3.4 按本规程的规定方法测定试件的直径及高度, 准确至 0.1mm, 试件尺寸应符合要求。在试件两侧通过圆心画上对称的十字标记。

3.5 按本规程规定的方法测定试件的毛体积相对密度, 并计算试件的空隙率, 空隙率不符合要求时试件作废, 保证有效试件数量不少于 8 个。

3.6 将试件随机分成两组, 每组不少于 4 个, 将第一组试件置于平台上, 在室温下保存备用。

3.7 将第二组试件按本规程 T 0717 标准的饱水试验方法真空饱水, 在 98.3kPa~98.7kPa (730mmHg~740mmHg) 真空条件下保持 15min, 然后打开阀门, 恢复常压, 试件在水中放置 0.5h。

3.8 取出试件放入塑料袋中, 加入约 10mL 的水, 扎紧袋口, 将试件放入恒温冰箱 (或家用冰箱的冷冻室), 冷冻温度为 $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 保持 $16\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

3.9 将试件取出后, 立即放入已保温为 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中, 撤去塑料袋, 保温 24h。

3.10 将第一组与第二组全部试件浸入温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中不少于 2h, 水温高时可适当加入冷水或冰块调节, 保温时试件之间的距离不少于 10mm。

3.11 取出试件立即按本规程 T 0716 用 50mm/min 的加载速率进行劈裂试验, 得到试验的最大荷载。

4 计算

4.1 劈裂抗拉强度按式 (T 0729-1) 及 (T 0729-2) 计算。

$$R_{T1} = 2P_{T1} / \pi D_1 h_1 \quad (\text{T 0729-1})$$

$$R_{T2} = 2P_{T2} / \pi D_2 h_2 \quad (\text{T 0729-2})$$

式中: R_{T1} ——未进行冻融循环的第一组单个试件的劈裂抗拉强度, MPa;

R_{T2} ——经受冻融循环的第二组单个试件的劈裂抗拉强度, MPa;

P_{T1} ——第一组单个试件的试验荷载值, N;

P_{T2} ——第二组单个试件的试验荷载值, N;

π ——圆周率常数, 取值为 3.1416;

D_1 ——第一组每个试件的直径, mm;

D_2 ——第二组每个试件的直径, mm;

h_1 ——第一组每个试件的高度, mm;

h_2 ——第二组每个试件的高度, mm。

4.2 冻融劈裂抗拉强度比按式(T 0729-3)计算。

$$TSR = \frac{\bar{R}_{T2}}{\bar{R}_{T1}} \times 100 \quad (T\ 0729-3)$$

式中: TSR——冻融劈裂试验强度比, %, 精确至小数点后 2 位;

$\bar{R}_{T2}$ ——冻融循环后第二组有效试件劈裂抗拉强度平均值, MPa;

$\bar{R}_{T1}$ ——未冻融循环的第一组有效试件劈裂抗拉强度平均值, MPa。

5 报告

5.1 每个试验温度下, 一组试验的有效试件不得少于 3 个, 取其平均值作为试验结果。当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 k 倍时, 该测定值应予舍弃, 并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时, k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、试件的空隙率、成型方法、试验温度、加载速率。

条文说明

本方法名为冻融劈裂试验, 其真正含义是检验沥青混合料的抗水损害能力, 不过是条件比一般的浸水更苛刻一些。它不同于抗冻性试验, 用于评价抗冻性的冻融循环试验次数要多达数十次甚至数百次之多。所以它虽然是冻融循环试验, 由于是为了评价水稳定性, 对南方非冰冻地区也是适用的。

本方法是按照“八五”国家科技攻关专题“道路沥青及沥青混合料的路用性能”研究成果编写的, 原规程是参照美国 AASHTO T 283 Lottmen 方法修正简化而成的(主要参考了 89 年版)。为便于了解美国最新版 AASHTO T 283-14 沥青混合料水损害评价方法(即冻融劈裂试验方法), 兹将其试验方法概要介绍如下:

(1) 每次制作最少 6 个试件, 其中一半用于干燥条件的试验, 另一半用于冻融条件的试验。采用马歇尔试件的尺寸为 $\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$, 适用于集料的公称最大粒径不大于 26.5mm

的混合料。

(2) 按规定的试验条件拌和沥青混合料, 将拌和均匀的试样放在面积不小于 $48400\text{mm}^2 \sim 64500\text{mm}^2$ ($75\text{in}^2 \sim 100\text{in}^2$) 的盘子里, 深度约 25mm (1in), 在室温下冷却 $2\text{h} \pm 0.5\text{h}$, 然后将混合料放入 60°C 烘箱里养生 16h , 盘子应被架起在通风条件下, 一盘最多放置 3 个试件的混合料, 且事先称好每个试件的量分开放置。

(3) 养生以后, 将混合料放入 135°C 烘箱中加热 2h , 供压实成型试件使用。

(4) 采用马歇尔击实仪或搓揉试验机成型试件, 必须使试件的空隙率为 $7\% \pm 0.5\%$ 或者符合工程要求的一个期望的空隙率。为了达到此空隙率, 可以通过调整马歇尔击实次数和搓揉次数得到。

(5) 试件脱模后在室温中放置 $72\text{h} \sim 96\text{h}$ 。

(6) 按规定方法测定混合料的最大理论密度, 测量试件的高度和毛体积相对密度, 计算试件的空隙率, 空隙率不符合要求的试件作废。

(7) 将试件分成两组。其中的一组作为干燥条件试验的试件, 试件放在塑料袋中, 在室温条件下存放, 直至劈裂试验前放入 25°C 水槽中保温不少于 2h 。

(8) 另一组供冻融劈裂试验用的试件按以下步骤处理:

(9) 将试件放入一真空容器中, 试件底部离开容器底部有一定的间隙, 向容器注入蒸馏水至试件以上不少于 25mm , 在短时间 ($5\text{min} \sim 10\text{min}$) 内达到绝对压力 $13\text{kPa} \sim 67\text{kPa}$ ($10\text{in. Hg} \sim 26\text{in. Hg}$), 再在短时间内 ($5\text{min} \sim 10\text{min}$) 撤去真空, 取出试件, 按 T 166 的方法计算毛体积相对密度, 并计算饱水率, 应在 $55\% \sim 80\%$ 的范围内; 如果饱水率小于 55% , 或大于 80% , 应调整抽真空的时间和真空度, 使之符合要求。

关于真空度的要求, 美国一些规程的要求是不同的, AASHTO 也一直在变化。1998 年 ASTM 4867-96 仅规定为达到饱和度 $55\% \sim 88\%$, 未规定真空度。AASHTO 1985 年 T 283-85 规定 20in. Hg , 达到 $55\% \sim 80\%$ 饱和度。1998 年 T 283-96 规定绝对压力 $13\text{kPa} \sim 67\text{kPa}$ ($10\text{in. Hg} \sim 26\text{in. Hg}$), $5\text{min} \sim 10\text{min}$, 且规定达到 $55\% \sim 80\%$ 饱和度, $10\text{in. Hg} \sim 26\text{in. Hg}$ 为 $33.78\text{kPa} \sim 87.8\text{kPa}$, 即绝对压力 $13\text{kPa} \sim 67\text{kPa}$ ($1\text{mmHg}=133\text{Pa}$)。SHRP TP-34 规定为 68kPa (510mmHg), $5\text{min} \pm 0.2\text{min}$, 未规定饱和度。而在 NAPA QIP 119 介绍水损害的文章对比试验方法提到 T 283 时改进 Lottman 规定为 66cm (20in. Hg) $5\text{min} \sim 30\text{min}$, 饱和度 $55\% \sim 80\%$ 。ASTM D 4867/D 4867 M-96 则规定 70kPa 或 525mmHg (20in. Hg), 5min , 且达到 $55\% \sim 80\%$ 的饱和度 (如饱和度不合适, 可调整真空度)。

(10) 将试件放入 $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 水槽中 $24\text{h} \pm 1\text{h}$ (原来几版的 T283 及 ASTM 没有这一步)。

(11) 用塑料薄膜或塑料袋套住试件, 向其中注入 10mL 水, 封住口。

(12) 将塑料密封的试件放入 $-18^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 的冰箱中不少于 16h 。

(13) 移出冰箱, 立即放入 $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的水槽中 $24\text{h} \pm 1\text{h}$, 一浸入水中就尽快将塑料袋或薄膜去除。

(14) 在浸泡 24h 后将试件移至 25℃±0.5℃的水槽中，保持 2h±1h，如果需要的话，可以向水槽中加冰块，使调整室温达到 25℃的时间不超过 15min。

(15) 将在干燥条件下试验的试件同样放入水槽中保温 2h，然后与经上述步骤处理的试件同时进行劈裂试验，试验的压条宽度为 12.7mm，测定劈裂抗拉强度，加载速率 50mm/min，计算破坏强度比 TSR。

$$TSR = \frac{S_{T2}}{S_{T1}} \times 100$$

式中：TSR——劈裂抗拉强度比，%；

S_{T1} 及 S_{T2} ——分别为干燥条件试件和冻融条件试件的劈裂抗拉强度，按 $S_T = 2000P / (\pi tD)$ 计算，kPa；

P——最大荷载，N；

t, D——试件的高度和直径，mm。

可见，AASHTO T 283 的方法同样还在不断修订过程中，而且，它要求空隙率为 7%是根据设计空隙率 4%，考虑压实度以后，相当于铺筑在路面上的混合料空隙率设定的。在我国，规范还不能做到要求所有的混合料设计空隙率为 4%，对所有不同的设计空隙率的试件都采用 7%的空隙率的试件进行水损害性能评价也是不符合我国的实际情况的。正因为如此，根据我国配合比设计时击实次数 75 次，水损害试验时采用击实 50 次是符合我国具体情况的。事实上，有的路面设计空隙率本身空隙率可能达到 7%，如果也采用 7%空隙率的设计进行试验反而不合适了。所以在现阶段，以 T 283 的方法代替本试验方法是不适宜的。另外，据一些单位试验研究，对设计空隙率接近 4%的试件，采用 T 283 的方法和本方法具有较好的相关性。对 SMA 或其它有关的混合料配合比设计，采用 50 次击实次数的试件，施工时能达到的压实度一般较高。施工时压实功的大小并不因为试件成型 75 次或 50 次而有所区别，所以统一采用 50 次是适宜的，如在 50 次的基础上再减少至 35 次或 40 次，试件的空隙率过大，进行冻融劈裂试验会有困难。

为进一步对美国 AASHTO T 283-98 方法与我国冻融劈裂试验方法进行比较，兹将其要点比较如下表。

美国 AASHTO T 283-98 方法	我国冻融劈裂试验方法
1. 混合料短期老化，60℃烘箱 16h，135℃烘箱 2h，马歇尔或搓揉压实法成型，试件要求空隙率为 6%~8%	1. 马歇尔试件成型(加抗剥落剂的需短期老化)击实次数 50 次，制作 8 个试件
2. 室温试件放置 72h~96h	2. 一般不需处理(加抗剥落剂的需长期老化)
3. 一组试件不进行真空饱水；一组试件进行真空饱水，在 254~660mmHg 真空下保持 5min~10min 要求饱水率 55%~80%	3. 一组试件不进行真空饱水；一组试件进行真空饱水，在 730mmHg 真空下保持 15min 后恢复常压
4. 试件立即放入 60℃水中 24h	4. 在常温水中放置 0.5h
5. 试件放入塑料袋中，加 10mL 水	5. 试件放入塑料袋中，加 10mL 水
6. 试件-18℃冻 16h	6. 试件-18℃冻 16h

7. 试件立即放入 60℃水中 24h	7. 试件立即放入 60℃水中 24h
8. 两组试件均 25℃养生 2h	8. 两组试件均 25℃养生 2h
9. 劈裂试验(50mm/min)求劈裂强度比 TSR	9. 劈裂试验(50mm/min)求劈裂强度比 TSR

T 0730—2011 沥青混合料渗水试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定碾压成型的沥青混合料试件的渗水系数，以检验沥青混合料的配合比设计。

2 仪器与材料技术要求

2.1 路面渗水仪： 形状及尺寸如图 T 0730，上部盛水量筒由透明有机玻璃制成，容积 600mL，上有刻度，在 100mL 及 500mL 处有粗标线，下方通过 $\phi 10\text{mm}$ 的细管与底座相接，中间有一开关。量筒通过支架联结，底座下方开口内径 $\phi 150\text{mm}$ ，外径 $\phi 220\text{mm}$ ，仪器附不锈钢圈压重两个，每个质量约 5kg，内径 160mm。

2.2 水筒及大漏斗。

2.3 秒表。

2.4 密封材料：防水腻子、油灰或橡皮泥。

2.5 其他：水、粉笔、塑料圈、刮刀、扫帚等。

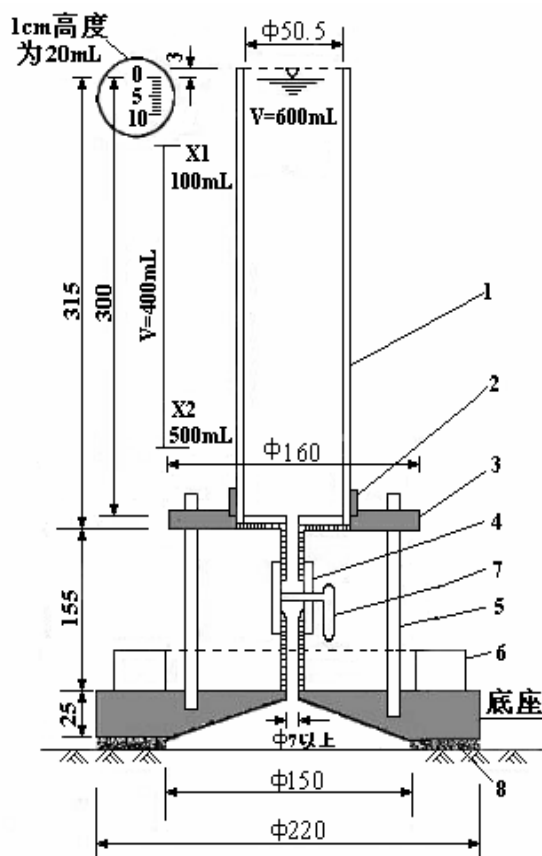


图 T 0730 渗水仪(单位: mm)

1-透明有机玻璃筒; 2-螺纹连接; 3-顶板; 4-阀; 5-立柱支架;
6-压重钢圈; 7-把手; 8-密封材料

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 组合安装路面渗水仪。

3.1.2 按照本规程 T 0703 沥青混合料试件成型方法(轮碾法)制作沥青混合料试件, 冷却到规定的时间后脱模, 并揭去成型试件时垫在表面的纸。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件放置于稳定的平面上, 将塑料圈置于试件中央的测点上, 用粉笔分别沿塑料圈的内侧和外侧画上圈, 在外环和内环之间的部分就是需要用密封材料进行密封的区域。

3.2.2 用密封材料对环状密封区域进行密封处理, 注意不要使密封材料进入内圈, 如果密封材料不小心进入内圈, 必须用刮刀将其刮走。然后再将搓成拇指粗细的条状密封材料摺在环状密封区域的中央, 并且摺成一圈。

3.2.3 用适当的垫块或木块在左右两侧架起试件, 试件下方放置一个接水容器。将渗水仪放在试件的测点上, 注意使渗水仪的中心尽量和圆环中心重合, 然后略微使劲将渗水仪压在条状密封材料表面, 再将配重加上, 以防压力水从底座与试件间流出。

3.2.4 将开关关闭, 向量筒中注满水, 然后打开开关, 使量筒中的水下流排出渗水仪底部内的空气, 当量筒中水面下降速度变慢时用双手轻压渗水仪使渗水仪底部的气泡全部排出。关闭开关, 并再次向量筒中注满水。

3.2.5 将开关打开, 待水面下降至 100mL 刻度时, 立即开动秒表开始计时, 每间隔 60s, 读记仪器管的刻度一次, 至水面下降 500mL 时为止。测试过程中, 如水从底座与密封材料间渗出, 说明底座与路面密封不好, 应重新密封。当水面下降速度较慢, 则测定 3min 的渗水量即可停止; 如果水面下降速度较快, 在不到 3min 的时间内到达了 500mL 刻度线, 则记录到达了 500mL 刻度线时的时间; 若水面下降至一定程度后基本保持不动, 说明基本不透水或根本不透水, 在报告中注明。

3.2.6 按以上步骤对同一种材料制作 3 块试件测定渗水系数, 取其平均值,

作为检测结果。

4 计算

沥青混合料试件的渗水系数按式(T 0730-1)计算,计算时以水面从 100mL 下降到 500mL 所需的时间为标准,若渗水时间过长,也可以采用 3min 通过的水量计算:

$$C_w = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \times 60 \quad (\text{T 0730-1})$$

其中: C_w ——路面渗水系数 (mL/min);

V_1 ——第一次计时时的水量 (mL),通常为 100mL;

V_2 ——第二次计时时的水量 (mL),通常为 500mL;

t_1 ——第一次计时的时间 (s);

t_2 ——第二次计时的时间 (s)。

5 报告

逐点报告每个试件的渗水系数及 3 个试件的平均值。若试件不透水,应在报告中注明。

条文说明

沥青路面渗水性能是反映路面沥青混合料级配组成的一个间接指标,也是沥青路面水稳定性的一个重要指标。所以要求在配合比设计阶段对沥青混合料的渗水系数进行检验。

原规程的试验方法是在我国以往实践经验的基础上参照日本铺装试验法便览的透水试验方法编写的。本次修订是通过对国内外多种渗水测定方法和渗水指标的研究,将原规程中的沥青路面渗水仪进行了适当的改变,用我国原来类似于 NCAT 的两段式渗水仪进行了大量的对比试验后,发现原规程的渗水仪存在不足,决定对原规程的渗水仪进行改进完善。其主要改进的地方有:增大了底座的外围直径,由原来的 16.5 厘米增大为 22 厘米,这样底盘的圆环宽度由原来的 0.75 厘米增大为 3.5 厘米;增加了渗水仪的高度,由原来的 31 厘米增加为 51.5 厘米;增加了和底盘形状面积一样的塑料环。改进后的渗水仪由于底座改进后,接地面积是原来的 5.5 倍,大大增加了密封性能。通过使用塑料环画圈,可以比较精确地控制渗水面积,而且采取的密封措施可以使渗水面积在试验过程中不会发生改变。

对渗水较快,水面从 100mL 降至 500mL 的时间不很长时,中间也可不读数,如果渗水太慢,则从水面降至 100mL 时开始,测记 3min 即可中止试验,若水面基本不动,说明试件不透水,则在报告中注明即可。

原渗水系数计算公式里的说明不清楚,修改后的公式更加合理,实施起来也方便。本方

法所采用的仪器与《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60-2008) 的相同。

T 0731—2011 沥青混合料表面构造深度试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定碾压成型的沥青混合料试件的表面构造深度, 用以检验沥青混合料的配合比设计。

2 仪具与材料技术要求

2.1 人工砂铺仪: 由圆筒、推平板组成。

2.1.1 量砂筒: 形状尺寸如图 T 0731-1, 一端是封闭的, 容积为 $25\text{mL} \pm 0.15\text{mL}$, 可通过称量砂筒中水的质量以确定其容积 V , 并调整其高度, 使其容积符合规定要求。带一专门的刮尺将筒口量砂刮平。

2.1.2 推平板: 形状尺寸如图 T 0731-2, 推平板应为木制或铝制, 直径 50mm, 底面黏一层厚 1.5mm 的橡胶片, 上面有一圆柱把手。

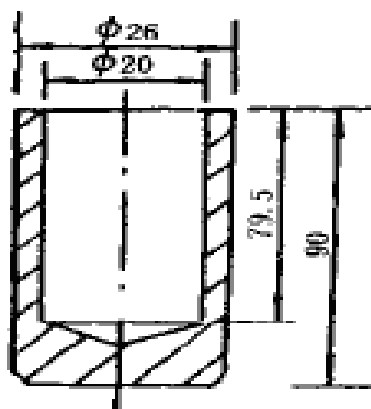


图 T 0731-1 量砂筒(单位 mm)

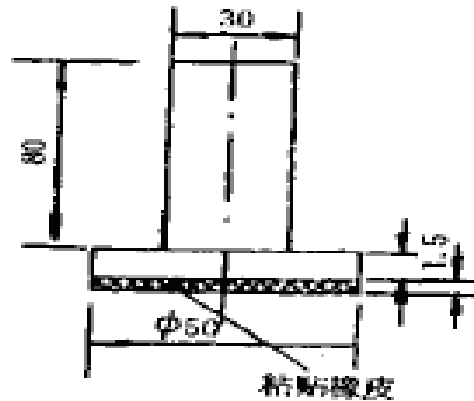


图 T 0731-2 推平板(单位 mm)

2.1.3 刮平尺：可用 30cm 钢板尺代替。

2.2 量砂：足够数量的干燥洁净的匀质砂，粒径 0.15mm~0.3mm。

2.3 量尺：钢板尺、钢卷尺，或采用已按式(T 0731-1)将直径换算成构造深度作为刻度单位的专用的构造深度尺。

2.4 其它：装砂容器(小铲)、扫帚或毛刷、挡风板等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0703 沥青混合料试件成型方法(轮碾法)制作沥青混合料试件，试件尺寸为 30cm×30cm×5cm。

3.1.2 量砂准备：取洁净的细砂，晾干，过筛，取 0.15mm~0.3mm 的砂置适当的容器中备用。量砂只能使用一次，不宜重复使用。回收砂必须干燥、过筛处理后方可使用。

3.2 试验步骤

3.2.1 应用小铲沿筒壁向圆筒中装满砂，手提圆筒上方，在地面上轻轻地叩打 3 次，使砂密实，补足砂面用钢尺一次刮平。注意不得直接用量砂筒装砂，以免影响量砂密度的均匀性。

3.2.2 将砂倒在试件表面上，用底面黏有橡胶片的推平板，由里向外重复作摊铺运动，稍稍用力将砂细心地尽可能的向外摊开，使砂填入凹凸不平的试件表面的空隙中，尽可能将砂摊成圆形，并不得在表面上留有浮动余砂。摊铺时不可用力过大或向外推挤。当试件表面已不足以摊铺全部用砂时，在试验报告中注明。

3.2.3 用钢板尺测量所构成圆的两个垂直方向的直径,取其平均值,准确至1mm。

3.2.4 按以上方法,同一种材料平行测定不少于3个试件。

4 计算

沥青混合料表面构造深度测定结果按式(T 0731-1)计算,准确至0.01mm。

$$TD = \frac{100V}{\pi D^2 / 4} = \frac{31831}{D^2} \quad (\text{T 0731-1})$$

式中:TD——沥青混合料表面构造深度,mm;

V——砂的体积,25cm³;

D——摊平砂的平均直径,mm。

5 报告

取3个试件的表面构造深度的测定结果的平均值作为试验结果。当平均值小于0.2mm时,试验结果以<0.2mm表示。

条文说明

沥青路面的抗滑性能是一项重要的路用性能,它取决于集料自身的表面纹理结构(微观结构,现用粗集料的加速磨光值PSV表述),以及混合料的级配所决定的表面构造深度(宏观结构)。如果沥青混合料的配合比设计所选择的级配不能形成足够的表面构造深度,施工单位不可能在施工过程中达到所要求的构造深度,因此必须在配合比设计阶段对构造深度进行检验。这对于沥青混合料抗滑表层及沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)尤为重要。

本方法参照沥青路面构造深度测试方法编写,并统一采用手工法测定。

T 0732—2011 沥青混合料谢伦堡沥青析漏试验

1 目的与适用范围

本方法用以检测沥青结合料在高温状态下从沥青混合料中析出多余的自由沥青数量,供检验沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)、排水式大空隙沥青混合料(OGFC)或沥青碎石类混合料的最大沥青用量使用。

2 仪具与材料技术要求

- 2.1 烧杯：800mL。
- 2.2 烘箱。
- 2.3 小型沥青混合料拌和机。
- 2.4 玻璃板。
- 2.5 天平：感量不大于 0.1g。
- 2.6 其它：手铲、棉纱等。

3 试验步骤

3.1 根据实际使用的沥青混合料的配合比，对集料、矿粉、沥青、纤维稳定剂等按 T 0702 的方法用小型沥青混合料拌和机拌和混合料。拌和时纤维稳定剂应在加入粗细集料后加入，并适当干拌分散，再加入沥青拌和至均匀。每次只能拌和一个试件。一组试件分别拌和 4 份，每 1 份约为 1kg。第 1 锅拌和后即予废弃不用，使拌和锅黏附一定量的沥青结合料，以免影响后面 3 锅油石比的准确性。当为施工质量检验时，直接从拌和机取样使用。

3.2 洗净烧杯，干燥，称取烧杯质量 m_0 ，准确至 0.1g。

3.3 将拌和好的 1kg 混合料，倒入 800mL 烧杯中，称烧杯及混合料的总质量 m_1 ，准确至 0.1g

3.4 在烧杯上加玻璃板盖，放入 $170^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 烘箱中，当为改性沥青 SMA 时宜为 185°C ，持续 $60\text{min} \pm 1\text{min}$ 。

3.5 取出烧杯，不加任何冲击或振动，将混合料向下扣倒在玻璃板上，称取烧杯以及黏附在烧杯上的沥青结合料、细集料、玛蹄脂等的总质量 m_2 ，准确到 0.1g。

4 计算

沥青析漏损失按式(T 0732-1)计算。

$$\Delta m = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (\text{T 0732-1})$$

式中： m_0 ——烧杯质量，g；

m_1 ——烧杯及试验用沥青混合料总质量，g；

m_2 ——烧杯及黏附在烧杯上的沥青结合料、细集料、玛蹄脂等总质量，g；

Δm ——沥青析漏损失，%。

5 报告

试验至少应平行试验 3 次，取平均值作为试验结果。

条文说明

谢伦堡沥青析漏试验 (Schellenberg Binder Drainage Test) 是德国为沥青玛蹄脂碎石沥青混合料 (SMA) 的配合比设计而制定的方法。它是为了确定沥青混合料有无多余的自由沥青或沥青玛蹄脂而进行的试验, 由此确定最大沥青用量。与飞散试验相结合, 可以得出一个合理的沥青用量范围。

关于试验温度, 目前市场上改性剂的品种较多, 特别是高黏改性沥青的应用, 对于这类材料, 可按实际的施工温度调整试验温度。为了保证室内拌和沥青混合料的均匀性, 在试验步骤中去掉了手工炒拌混合料的方法。

德国一般采用烧杯试验析漏量, 它是目前世界上使用最普遍的试验方法, 要求析漏损失平均值小于 0.2% 为合格, 析漏损失超过 0.3% 为不合格。所以本规程采用此方法作为标准试验方法。但是, 由于用烧杯进行沥青析漏试验的沥青混合料的厚度较大, 集料层厚, 沥青析漏较为困难, 沾附在烧杯上的沥青量太少, 所以日本便将试验方法改成用搪瓷盘进行试验, 原理是相同的。采用搪瓷盘测定时按下列步骤进行:

(1) 将搪瓷盘洗净、干燥, 称取搪瓷盘的空重。

(2) 将拌好的混合料称量一份 2kg 放入搪瓷盘中, 此时应注意将附在拌和锅中的沥青尽量一起取出放入搪瓷盘中, 使沥青用量尽量准确。均匀地摊开混合料。称取搪瓷盘及沥青混合料的总重。

(3) 将搪瓷盘平放入 $170^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 烘箱中, 保持 1h。

(4) 取出搪瓷盘, 将沥青混合料倒扣入另一个容器中, 如有碎石黏附在盘底的应予以取出, 称取搪瓷盘及黏附的沥青质量, 便可计算沥青析漏量。

美国 AASHTO T305-97 年提出了一个新的网篮法析漏试验方法 “Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures”, 适用于检验沥青玛蹄脂碎石混合料 (SMA)、大孔隙排水性沥青混合料 (OGFC) 在存贮、运输和铺筑过程中有无自由沥青, 是配合比设计及现场生产过程施工质量检验的一个试验方法。

在美国的 SMA 配合比设计方法中, 建议采用网篮法测定, 网篮直径 $108\text{mm} \pm 10.8\text{mm}$, 高 $165\text{mm} \pm 16.5\text{mm}$, 在距底部 $25\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 处有一个筛篦, 网篮与筛篦的孔径均为 6.3mm , 显然它可能使部分玛蹄脂 (不仅仅是沥青, 难免还包括部分矿粉、纤维、细集料) 通过网孔。网篮法测定步骤要点如下:

(1) 将搪瓷盘洗净、干燥, 称取搪瓷盘的空重。

(2) 称取网篮空重。将拌好的一份混合料稍稍冷却, 不低于 100°C , 取 1.2kg 放入网篮中, 此时应注意将附在拌和锅中的沥青尽量一起取出放入网篮中, 使沥青用量尽量准确。均匀地摊开混合料。称取网篮及沥青混合料的总重, 二者相减得沥青混合料质量。

(3) 将搪瓷盘平放入拌和厂拌和温度 (现场检验) 或拌和厂拌和温度、拌和温度以上 15°C 两

个不同温度(试验室检验)的烘箱中,将网篮架在搪瓷盘上,保持 $1\text{h}\pm 5\text{min}$ (已放冷的试样为 $70\text{min}\pm 5\text{min}$)。

(4)取出搪瓷盘和网篮,称取搪瓷盘及黏附的沥青质量,便可计算沥青析漏量。很显然,烧杯法、搪瓷盘、网篮法三个不同方法测定的结果肯定会有所不同。我们比较过,搪瓷盘法要比烧杯法析漏量多得多,而网篮法最多。所以除了研究工作外,工程上试验时必须采用统一规定的烧杯法进行。如采用其它方法必须注明,且不能互相比较。

为了确定混合料允许的最大沥青用量,可以调整几个不同的油石比制作几组试件,进行析漏试验,得出沥青黏附量与油石比的关系曲线,由曲线的拐点确定黏附甚少的沥青用量,作为最大沥青用量的限值。

T 0733—2011 沥青混合料肯塔堡飞散试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法用以评价由于沥青用量或黏结性不足,在交通荷载作用下,路面表面集料脱落而散失的程度,以马歇尔试件在洛杉矶试验机中旋转撞击规定的次数,沥青混合料试件散落材料的质量的百分率表示。

1.2 标准飞散试验可用于确定沥青路面表面层使用的沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)、排水式大孔隙沥青混合料、抗滑表层混合料、沥青碎石或乳化沥青碎石混合料所需的最少沥青用量。

1.3 本方法的浸水飞散试验用以评价沥青混合料的水稳性。

2 仪器与材料技术要求

2.1 沥青混合料马歇尔试件制作设备,同 T 0702。

2.2 洛杉矶磨耗试验机。

2.3 恒温水槽:控温准确度 $20^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.4 烘箱：大、中型各一台，装有温度调节器。

2.5 天平或电子秤：用于称量矿料的感量不大于 0.5g，用于称量沥青的感量不大于 0.1g。

2.6 插刀或大螺丝刀。

2.7 温度计：分度为 1℃。宜采用有金属插杆的插入式数显温度计，金属插杆的长度不小于 150mm。量程 0℃～300℃。

2.8 其它：电炉或煤气炉、沥青熔化锅、拌和铲、标准筛、滤纸(或普通纸)、胶布、卡尺、秒表、粉笔、棉纱等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 根据实际使用的沥青混合料的配合比，按 T 0702 标准击实法成型马歇尔试件，除非另有要求，击实成型次数为双面各 50 次，试件尺寸应符合直径 $101.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ，高 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ 的要求，一组试件的数量不得少于 4 个。拌和时应注意事先在拌和锅中加入相当于拌和沥青混合料时在拌和锅内所黏附的沥青用量，以免影响油石比的准确性。

3.1.2 量测试件的直径及高度准确至 0.1mm，尺寸不符合要求的试件应作废。

3.1.3 按本规程规定的方法测定试件的密度、空隙率、沥青体积百分率、沥青饱和度、矿料间隙率等物理指标。

3.1.4 将恒温水槽调节至要求的试验温度，标准飞散试验的试验温度为 $20^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ ；浸水飞散试验的试验温度为 $60^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件放入恒温水槽中养生。对标准飞散试验，在 $20^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 恒温水槽中养生 20h。对浸水飞散试验，先在 $60^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 恒温水槽中养生 48h，然后取出后在室温中放置 24h。

3.2.2 对标准飞散试验，从恒温水槽中取出试件，用洁净柔软的毛巾轻轻擦去试件的表面水，称取逐个试件质量 m_0 ，准确至 0.1g。对浸水飞散试验，称取放置 24h 后的每个试件质量 m_0 ，准确至 0.1g。

3.2.3 立即将一个试件放入洛杉矶试验机中，不加钢球，盖紧盖子（一次只能试验一个试件）。

3.2.4 开动洛杉矶试验机，以 30r/min～33r/min 的速度旋转 300 转。

3.2.5 打开试验机盖子,取出试件及碎块,称取试件的残留质量。当试件已经粉碎时,称取最大一块残留试件的混合料质量 m_1 。

3.2.6 重复以上步骤,一种混合料的平行试验不少于 3 次。

4 计算

沥青混合料的飞散损失按式(T 0733-1)计算。

$$\Delta S = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (\text{T 0733-1})$$

式中: ΔS ——沥青混合料的飞散损失, %;

m_0 ——试验前试件的质量, g;

m_1 ——试验后试件的残留质量, g。

条文说明

沥青混合料的飞散试验,国外称之为肯塔堡试验(Cantabro Test)。对沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)、大孔隙排水性沥青混合料(OGFC)、抗滑表层混合料、沥青碎石或乳化沥青碎石混合料等路面的表面层材料,往往表面构造深度较大,粗集料外露,孔隙中经常充满了水,在交通荷载的反复作用下,由于集料与沥青的黏结力不足而引起集料的脱落、掉粒、飞散、并成为坑槽的路面损坏,是常见的一种严重的沥青路面破坏现象。为了防止这种破坏,在配合比设计时,辅以飞散试验进行检验是必要的。本方法是根据日本《铺装试验法便览》1-1-2T 制定的。美国、欧洲、日本、澳大利亚等国的试验方法,大体上都与此相同。

为了保证室内拌和沥青混合料的均匀性,去掉了手工炒拌混合料的方法。对控制混合料拌和温度等采用的温度计宜采用有金属插杆的插入式数显温度计,在试验步骤里面对标准飞散试验及浸水飞散试验称取逐个试件的质量进行了规定。

为了确定上述混合料的最少沥青用量,可以调整几个不同的油石比制作几组试件,进行飞散试验,得出飞散损失与油石比的关系曲线,由曲线的拐点确定基本上很少散失的沥青用量,而且往往以此作为最佳沥青用量。

浸水飞散试验是在 60℃水中浸水 48h 后进行试验的,目的是考察试件在热水中膨胀和沥青老化,对集料和沥青黏结力下降的影响。对于积雪寒冷地区,也可进行较低温度的飞散试验。

T 0734—2000 热拌沥青混合料加速老化方法

1 目的与适用范围

本方法用于模拟沥青混合料的短期老化及长期老化过程，试件在进行长期老化试验前必须先经过短期老化。

2 仪具与材料技术要求

2.1 烘箱：强制通风干燥箱。

2.2 温度计：分度为 1°C 。宜采用有金属插杆的插入式数显温度计，金属插杆的长度不小于 150mm。量程 $0^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 小型沥青混合料拌和机。

2.4 其它：天平、搪瓷盘、铁铲。

3 短期老化的方法

3.1 根据要求的矿料级配和沥青用量，按本规程规定的方法加热矿料和沥青，用小型沥青混合料拌和机在标准条件下拌和混合料。混合料数量根据试验需要确定。

3.2 将沥青混合料均匀摊铺在搪瓷盘中，松铺厚度约 $21\text{kg}/\text{m}^2\sim 22\text{kg}/\text{m}^2$ ，将混合料放入 $135^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中在强制通风条件下加热 $4\text{h}\pm 5\text{min}$ ，每小时用铲在试样盘中翻拌混合料一次。加热 4h 后，从烘箱中取出混合料，供试验使用。

4 长期老化的方法

4.1 试样准备：在试验室拌和沥青混合料，或在施工现场取样，按上述步骤对松散混合料进行短期老化，然后按本规程要求的试件尺寸和成型方法制作试件。如试样温度低于要求的成型温度时，可对混合料适当加热。

4.2 将试件连同试模一起置于室温条件下冷却不少于 16h，然后脱模。

4.3 将试件放置于试样架上送入 $85^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 烘箱中，在强制通风条件下连续加热 5d ($120\text{h}\pm 0.5\text{h}$)。注意在恒温过程中直至冷却前不得触摸试件和移动试件。

4.4 5d 后关闭烘箱，打开烘箱门，经自然冷却不少于 16h 至室温。取出试件，供试验使用。

条文说明（加入氧化老化的内容）

本方法规定在强制通风的高温条件下对热拌沥青混合料进行加速老化的方法，松散混合

料的短期老化是指沥青混合料在施工现场拌和及铺筑过程中的老化，压实混合料的长期老化是指直至沥青混合料在它的服务年限里的全部老化过程。

本方法参照美国 1995 年 AASHTO PP2—1994 “Practice for Shortand Long Term Aging of Hot Mix Asphalt (HMA)” 的方法编写。

我国对沥青混合料的试验历来都采用新拌沥青混合料进行。对这一点一直存在着疑问，因为沥青材料和其它材料不一样，它在使用过程中，有一个老化的过程。沥青路面的损坏也往往发生在各个不同时期，例如车辙最容易在混合料劲度小的早期的高温季节产生，而低温开裂即使是质量很差的沥青也较少在第一年冬天发生，一般是 3~5 年以后裂缝才多起来，更不用说疲劳裂缝出现得还要晚。沥青路面的水损害主要是沥青与集料的黏附性逐渐丧失而造成的，它也是在经过相当时间后才产生。所以国外已经注意到，对不同的性能指标应该采用经过不同老化履历的沥青及沥青混合料进行。具体来说，高温稳定性采用原样沥青及经过 TFOT（相当于拌和后）试验后的沥青以及新拌沥青混合料经过短期老化后进行，而低温抗裂性能、疲劳性能、水损害试验采用压力老化后的沥青以及经过长期老化后的沥青混合料进行。

本方法适用于模拟沥青混合料的短期老化及长期老化。根据美国 SHRP 计划的研究，试验规程规定的松散混合料的短期老化采用 $135^{\circ}\text{C}4\text{h}$ ，大体相当于沥青混合料在施工现场拌和后在铺筑过程中的老化，而压实混合料的长期老化采用 $85^{\circ}\text{C}5\text{d}$ 大体相当于沥青路面使用 5~7 服务年限里的老化过程。很显然，在进行长期老化前必须先经短期老化。

经本方法短期老化的混合料可供评价沥青混合料的高温稳定性试验使用；经长期老化后的沥青混合料，可供评价沥青混合料低温抗裂、疲劳、水损害等主要是在使用过程中逐渐发生的破坏指标的试验使用；也适用于与未进行老化过程的沥青混合料的性能试验结果进行对比，供评价沥青混合料的耐老化性能使用。

但是，因为涉及到现有规范的一系列性能指标值都是建立在新拌沥青混合料的试验基础上提出的，所以在现阶段，主要是对掺加抗剥落剂的混合料进行效果评价试验。

另外，按美国 AASHTO 的方法，对沥青混合料经过短期老化后制作的试件，还要求放入 60°C 的恒温箱内冷却至 $60^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ （通常为 2h）。然后以 $72\text{kN}/\text{min}\pm 0.05\text{kN}/\text{min}$ 的速度向试件两端加载压平，进行端面处理，当样品两端平整或荷载达到 56kN 后，以同样的速度卸荷。再将试件置于室温条件下冷却 $16\text{h}\pm 1\text{h}$ 。然后在室温条件下脱模。才能将试件放置于试样架上送入 $85^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 烘箱中恒温 $120\text{h}\pm 0.5\text{h}$ ，进行长期老化。但是，我国制作沥青混合料试件方法与美国不同，美国要求用搓揉成型机或轮碾法成型，而我国一般采用击实法、轮碾法或静压法，这样成型的试件既没有办法，也没有必要再按 AASHTO 的要求进行端面处理，故本方法将此加载卸载过程省略，直接冷却一晚上后脱模，其余方法相同。这样规定对老化过程并不会有多大影响。

T 0735—2011 沥青混合料中沥青含量试验（燃烧炉法）

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于燃烧炉法测定沥青混合料中沥青含量，也适用于对燃烧后的沥青混合料进行筛分分析。

1.2 本方法适用于热拌沥青混合料以及从路面取样的沥青混合料在生产、施工过程中的质量控制。

2 仪器与材料技术要求

2.1 燃烧炉：由燃烧室、称量装置，自动数据采集系统、控制装置、空气循环装置、试样篮及其附件组成。

2.1.1 燃烧室的尺寸应能容纳 3500g 以上的沥青混合料试样，并有警示钟和指示灯，当试验重量的变化在连续 3min 内不超过试验重量的 0.01%时，可以发出提示声音。燃烧室的门在试验过程中应该是锁死的。

2.1.2 称量装置，该标准方法的称量装置为内置天平，精度为 0.1g，能够称量至少 3500g 重的试样（不包括试样篮的质量）。

2.1.3 燃烧炉具有数据自动采集系统，在试验过程中可以实时检测并且显示重量，有一套内置的计算机程序来计算试样篮重量的变化，并且能够输入集料损失的修正系数，进行自动计算、显示试验结果，并可以将试验结果打印出来。

2.1.4 燃烧炉应具有强制通风降低烟雾排放的设施，在试验过程中燃烧炉的烟雾必须排放到室外，不得有明显的烟味进入到试验室里。

2.2 试样篮：可以使试样均匀的摊薄放置在篮里，能够使空气在试样内部及周围流通，如果有 2 个及 2 个以上的试样篮可以套放在一起。试样篮由网孔板做成，一般采用打孔的不锈钢或者其它合适的材料做成，通常情况下网孔的尺寸最大为 2.36mm，最小为 0.6mm。

2.3 托盘：放置于试样篮下方，以接受从试样篮中滴落的沥青和集料。

2.4 烘箱：温度应控制在设定值 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

2.5 天平：满足称量试样篮以及试样的质量，感量不大于 0.1g。

2.6 防护装置：防护眼镜、隔热面罩、隔热手套、可以耐高温 650°C 的隔热罩，试验结束后试样篮应该放在隔热罩内冷却。

2.7 其它：大平底盘(比试样篮稍大)，刮刀、盆、钢丝刷等。

3 准备试样

3.1 按本规程 T 0701 沥青混合料取样方法，在拌和厂从运料卡车采取沥青混合料试样，宜趁热放在金属盘（或搪瓷盘）中适当拌和，待温度下降至 100℃以下时，称取混合料试样，准确至 0.1g。

3.2 当用钻孔法或切割法从路面上取得的试样时，应用电风扇吹风使其完全干燥，但不得用锤击以防集料破碎，然后置烘箱 125℃±5℃加热成松散状态，并至恒重，然后适当拌和后称取试样质量，准确至 0.1g。

3.3 当混合料已经结团时不得用刮刀或者铲刀处理，应该将试样置于托盘中放在烘箱 125℃±5℃中加热成松散状态取样。

3.4 最小试样质量根据沥青混合料的集料公称最大粒径按表 T 0735-1 选用。

表 T 0735-1 最小试样质量要求

公称最大粒径, mm	试样最小质量, g
4.75	1200
9.5	1200
13.2	1500
16	1800
19	2000
26.5	3000
31.5	3500
37.5	4000

4 标定

4.1 标定要求

4.1.1 对每一种沥青混合料都必须进行标定，以确定沥青用量的修正系数和筛分级配的修正系数。

4.1.2 当混合料中任何一档料的料源变化或者单档集料配比变化超过 5%时均需要标定。

4.2 标定步骤

4.2.1 按照沥青混合料配合比设计的步骤,取代表性各档集料,将各档集料放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱加热至恒重,冷却后按配合比配出 5 份集料混合料(含矿粉)。

4.2.2 将其中 2 份集料混合料进行水洗筛分。取筛分结果平均值为燃烧前的各档筛孔通过百分率 P_{Bi} ,其级配需满足被检测沥青混合料的目标级配范围要求。

4.2.3 分别称量 3 份集料混合料质量 m_{B1} ,准确至 0.1g。按照配合比设计时成型试件的相同条件拌制沥青混合料,如沥青的加热温度、集料加热温度和拌和温度等。

4.2.4 在拌制 2 份标定试样前,先将 1 份沥青混合料进行洗锅,其沥青用量宜比目标沥青用量 P_b 多 0.3%~0.5%,目的是使拌和锅的内侧先附着一些沥青和粉料,这样可以防止在拌制标定用的试样过程中拌和锅黏料导致试验误差。

4.2.5 正式分别拌制 2 份标定试样,其沥青用量为目标沥青用量 P_b 。将集料混合料和沥青加热后,先将集料混合料全部放入拌和机,然后称量沥青质量 m_{B2} ,准确至 0.1g,将沥青放入拌和锅开始拌和,拌和后的试样质量应满足表 T0735-1 要求。拌和好的沥青混合料应直接放进试样篮中。

4.2.6 预热燃烧炉。将燃烧温度设定 $538^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。设定修正系数为 0。

4.2.7 称量试样篮和托盘质量 m_{B3} ,准确至 0.1g。

4.2.8 试样篮放入托盘中,将加热的试样均匀地在试样篮中摊平,尽量避免试样太靠近试样篮边缘。称量试样、试样篮和托盘总质量 m_{B4} ,准确至 0.1g。计算初始试样总质量 m_{B5} (即 $m_{B4} - m_{B3}$),并将 m_{B5} 输入燃烧炉控制程序中。

4.2.9 将试样篮、托盘和试样放入燃烧炉,关闭燃烧室门,检查燃烧炉控制程序中显示的 m_{B4} 质量是否准确,即试样、试样篮和托盘总质量(m_2)与显示质量(m_{B4})的差值不得大于 5g,否则需调整托盘的位置。

4.2.10 锁定燃烧室的门,启动开始按钮进行燃烧。燃烧至连续 3min 试样质量每 min 损失率小于 0.01%时,燃烧炉会自动发出警示声音或者指示灯亮起警报,并停止燃烧。燃烧炉控制程序自动计算试样燃烧损失质量 m_{B6} ,准确至 0.1g。按下停止按钮,燃烧室的门会解锁,并打印试验结果,从燃烧室中取出试样盘。燃烧结束后,罩上保护罩适当冷却。

4.2.11 将冷却后的残留物倒入大盘子中,用钢丝刷清理试样篮确保所有残留物都刷到盘子中待用。

4.2.12 重复以上 4.2.6~4.2.10 步骤将第 2 份混合料燃烧。

4.2.13 根据式(T0735-1)分别计算 2 份试样的质量损失系数 C_{fi} 。

$$C_{fi} = \left(\frac{m_{B6}}{m_{B5}} - \frac{m_{B2}}{m_{B1}+m_{B2}} \right) \times 100 \quad (T0735-1)$$

式中: C_{fi} ——质量损失系数;

m_{B1} ——每 1 份集料混合料质量 m_{B1} , g;

m_{B2} ——沥青质量, g;

m_{B5} ——初始试样总质量, g;

m_{B6} ——试样燃烧损失质量, g;

1) 当 2 个试样的质量损失系数差值不大于 0.15%, 则取平均值作为沥青用量的修正系数 C_f ;

2) 当 2 个试样的质量损失系数差值大于 0.15%, 则重新准备 2 个试样按以上步骤进行燃烧试验, 得到 4 个质量损失系数, 除去 1 个最大值和 1 个最小值, 将剩下的 2 个修正系数取平均值作为沥青用量的修正系数 C_f 。

4.2.14 当沥青用量的修正系数 C_f 小于 0.5%, 按照 4.2.17 进行级配筛分。

4.2.15 当沥青用量的修正系数 C_f 大于 0.5%, 则设定 $482^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 燃烧温度按照 4.2.1~4.2.13 重新标定, 得到 482°C 的沥青用量的修正系数 C_f 。如果 482°C 与 538°C 得到的沥青用量的修正系数差值在 0.1% 以内, 则仍以 538°C 的沥青用量作为最终的修正系数 C_f 。如果修正系数差值大于 0.1%, 则以 482°C 的沥青用量作为最终修正系数 C_f 。

4.2.16 确保试样在燃烧室得到完全燃烧, 如果试样燃烧后仍然有发黑等物质说明没有完全燃烧干净。如果沥青混合料试样的数量超过了设备的试验能力, 或者一次试样质量太多燃烧不够彻底时, 可将试样分成两等份分别测定, 再合并计算沥青含量。不宜人为延长燃烧时间。

4.2.17 级配筛分。用最终沥青用量修正系数 C_f 所对应的 2 份试样的残留物, 进行筛分, 取筛分平均值为燃烧后沥青混合料各筛孔的通过率 P_{Bi}' 。燃烧前、后各筛孔通过率差值均符合表 T 0735-2 的范围时, 则取各筛孔的通过百分率修正系数 $C_{Pi}=0$, 否则应按式(T0735-2)进行燃烧后混合料级配修正。

$$C_{Pi} = P_{Bi}' - P_{Bi} \quad (T0735-2)$$

式中: P_{Bi}' ——燃烧后沥青混合料各筛孔的通过率, %;

P_{Bi} ——燃烧前的各档筛孔通过百分率, %。

表 T0735—2 燃烧前后混合料级配允许差值

筛孔	≥2.36mm	0.15mm~1.18mm	0.075mm
允许差值	±5%	±3%	±0.5%

5 试验方法和步骤

5.1 将燃烧炉预热到设定温度(设定温度与标定温度相同)。将沥青用量的修正系数 C_f 输入到控制程序中, 将打印机连接好。

5.2 将试样放在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重。

5.3 称量试验篮和托盘质量 m_1 , 准确至 0.1g。

5.4 试样篮放入托盘中, 将加热的试样均匀地摊平在试样篮中。称量试样、试验篮和托盘总质量 m_2 , 准确至 0.1g。计算初始试样总质量 m_3 (即 $m_2 - m_1$), 将 m_3 作为初始的试样质量输入燃烧炉控制程序中。

5.5 将试样篮、托盘和试样放入燃烧炉, 关闭燃烧室门。查看燃烧炉控制程序显示质量, 即试样、试样篮和托盘总质量(m_2)与显示质量(m_{B4})的差值不得大于 5g, 否则需调整托盘的位置。

5.6 锁定燃烧室的门, 启动开始按钮进行燃烧。

5.7 按照标定步骤 4.2.10 的方法进行燃烧, 连续 3min 试样质量每 min 损失率小于 0.01%时结束, 燃烧炉控制程序自动计算试样损失质量 m_4 , 准确至 0.1g。

5.8 按照式(T0735-3)计算修正后的沥青用量 P , 准确至 0.01%。此值也可由燃烧炉控制程序自动计算。

$$P = \left(\frac{m_4}{m_3} \times 100 \right) - C_f \quad (\text{T0735-3})$$

5.9 燃烧结束后, 取出试样篮罩上保护罩, 待试样适当冷却后, 将试样篮中残留物倒入大盘子中, 用钢丝刷将试样篮所有残留物都清理到盘子中, 然后进行筛分, 得到燃烧后沥青混合料各筛孔的通过率 P_i' , 修正得到混合料级配 P_i (即 $P_i = P_i' - C_{Pi}$)。

6 允许误差

沥青用量的重复性试验允许误差为 0.11%, 再现性试验的允许误差为 0.17%。

7 报告

同一沥青混合料试样至少平行测定两次，取平均值作为试验结果。报告内容应包括燃烧炉类型、试验温度、沥青用量的修正系数、试验前后试样质量和测定的沥青用量试验结果。并将标定和测定时的试验结果打印并附到报告中。当需要进行筛分试验时，还应包括混合料的筛分结果。

条文说明

近年来国外采用燃烧炉法测定沥青用量的应用越来越多，其主要原因是此方法即快又比较简单，国内引进已有多台，也有厂商开始生产这种仪器，为使试验方法规范化，本次修订时参考 ASTM D6307-05 和 AASHTO T308-08 方法，结合我国工程实践增补了本方法。

本方法对于测定沥青混合料中掺加有纤维或橡胶粉(干法施工)等易燃烧的掺加剂时需慎用，是由于掺加剂本身的燃烧特性，导致在燃烧过程中质量会损失一部分，最终将影响沥青用量的测定结果。

目前我国燃烧炉类型很多，按照加热方式有对流式和直接辐射式，对流式燃烧炉燃烧温度至少可调到 $538^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 和 $482^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 并保持稳定。对于直接辐射式燃烧炉，一般设有三个燃烧模式，即一般燃烧模式、低温燃烧模式和强烧模式。一般燃烧模式适合于大部分沥青混合料；低温燃烧模式适合于质量损失较大的软颗粒的混合料；而强烧模式适合于燃烧不够充分的混合料。

按照称量装置分为内置天平和外置天平。对于外置天平燃烧炉，其试验前后质量变化需要另备天平称量，燃烧过程难以获知燃烧质量损失率，难以判断什么时候燃烧到质量恒定，因此需要重复多次燃烧，冷却、称量过程，不能自动记录试验过程质量变化，其试验结果完全靠人工控制和计算。因此对于大规模施工过程中的质量控制，宜采用内置天平式燃烧炉。

关于含水量修正。如 ASTM 和 AASHTO 中规定，将试件置烘箱 $120^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 至恒重或者测定含水量，对于加热至恒重试件不用进行含水量修正，而对于未烘干至恒重的沥青混合料则需要修正，即燃烧试验前试件里有部分水的质量。为了减少工作量，节省试验时间，本方法统一规定对当用钻孔法或切割法从路面上取得的试样时，除了吹风使其完全干燥外，还应在烘箱中加热 $125^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 至恒重，然后直接采用燃烧法测定沥青混合料沥青含量，因此无需进行含水量修正。

关于试验结束条件，本方法与 AASHTO、ASTM 以及美国一些州的要求一致。

对于筛分级配的修正方法，本方法与 AASHTO T308-08 的要求一致。

沥青混合料在高温燃烧过程中，一些集料也会被燃烧掉，因此需要将这部分损失量从总沥青混合料损失量中扣除，同时一些集料在高温下会破碎，从而导致燃烧前与燃烧后的筛分结果有差异。因此，本方法参照 AASHTO 及 ASTM 的规定，要求对于每一种沥青混合料都必须进行标定。当混合料的任何一档料的料源变化或者单档集料配比变化超过 5% 时均需要重新

标定。

最新的 AASHTO、ASTM 均规定沥青用量修正系数 C_f 大于 1.0%，需要采用 482℃ 进行重新标定，而根据美国各州以及以前的 AASHTO、ASTM 规定为 0.5%，本方法要求为 0.5%。

用燃烧炉法测定沥青混合物中的沥青含量，在使用过程中一定要注意标定和试验的研究，认真总结经验。由于该仪器有进口的也有国产的，不同型号的燃烧炉在操作上可能会有所不同，但是基本原理应该是一样的，所以在使用过程中应按照该仪器的说明书进行操作。

T 0736—2011 沥青混合物旋转压实试件制作方法(SGC 方法)

1 目的与适用范围(PCG 合并修改)

1.1 本方法适用于旋转压实法成型 ϕ 150mm 或 ϕ 100mm 沥青混合物圆柱体试件，以供试验室进行沥青混合物物理力学性质试验使用。

1.2 本方法也适合于以通过在试件成型过程中测量剪切应力的变化，用于分析沥青混合物性能。

2 仪器与材料技术要求

2.1 旋转压实仪：主要由反力架、加载装置、旋转基座、计算机控制系统、内旋转角测量装置，试模、锤头(上压盘)和底座(下压盘)、测力装置和压力传感器等组成。必要时可配置剪切应力测试系统和压头加热系统。

2.1.1 反力架应有足够的刚度，以保证旋转压实时旋转角的稳定。应有安全防护门并配有电源控制开关。

2.1.2 加载装置，应保证旋转压实过程中垂直压力的稳定，使垂直压力达到设定值 $\pm 18\text{kPa}$ 。

2.1.3 旋转基座由旋转套、压实角度调整功能、旋转传动功能、试模底座等组成。压实角度可调，其调整范围应满足试验的要求。出厂前压实角度应进行标定，使有效内旋转角允许波动范围为设定值的 $\pm 0.02^\circ$ 。旋转基座的工作转速应达到设定值 $\pm 0.5\text{r/min}$ 。

2.1.4 计算机控制系统应具有对旋转压实仪运行的自动控制和试验数据采集、分析等功能。

2.1.5 内旋转角测量装置,应具备数据采集系统、温度测量、数据显示等功能。

2.1.6 试模、锤头(上压盘)和底座(下压盘)。

(1)试模应采用钢材制造,试模壁的厚度大于 7.5mm,洛氏硬度至少为 HRC48~HRC57,试模内壁应足够光滑(粗糙度 $Ra0.4\mu m$)。对 $\phi 150mm$ 试模内径为 149.90mm~150.00mm(对于 $\phi 100mm$ 试模内径为 99.90mm~100.00mm),高度不小于 250mm。

(2)锤头(上压盘)和底座(下压盘)必须采用钢材制造,洛氏硬度宜为 HRC48~HRC55。对 $\phi 150mm$ 试件锤头(上压盘)和底座(下压盘)其外直径尺寸为 149.50mm~149.75mm(对于 $\phi 100mm$ 试件其外直径为 99.50mm~99.75mm)。锤头和底座与混合料接触面应平坦,光滑(粗糙度 $Ra 0.4\mu m$)。锤头和底座尺寸宜每年标定一次,试模内直径和压盘外直径之差应小于 0.50mm。

2.2 旋转压实仪应具有自动测定试件高度、旋转次数及对应高度的记录和显示功能,精确到 0.1mm。同时应配备标定装置,对内旋转角、垂直力和试件高度测量装置宜每半年自校一次,旋转转速宜每一年自校一次。

2.3 脱模仪。

2.4 试验室用沥青混合料拌合机:容量不小于 10L。

2.5 烘箱:大、中型各一台,装有温度调节器。

2.6 天平或电子秤:感量不大于 0.1g。

2.7 温度计:宜采用有金属杆的插入式数显温度计,金属杆长度不小于 150mm。分度为 $1^{\circ}C$,量程 $0^{\circ}C\sim 300^{\circ}C$ 。

2.8 其它:游标卡尺、托盘、沥青熔化锅、拌和铲、刮刀、隔热手套、垫纸等。

3 方法与步骤

3.1 标定步骤

3.1.1 确定试验条件,加载装置垂直压力为 $600\text{ kPa}\pm 18\text{ kPa}$,压实转速为 $30\text{ r/min}\pm 0.5\text{ r/min}$ 。

3.1.2 将试模、上下压盘和内旋转角测量装置的表面清理干净。当试模内壁或者上下压盘接触混合料的表面处有划痕或损坏时,则不得再使用。

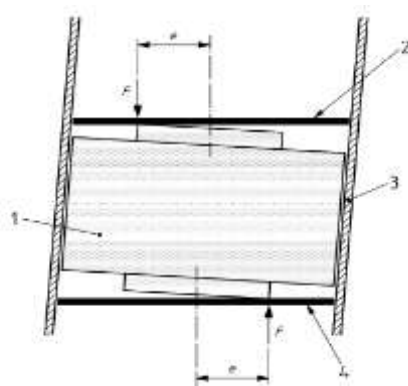
3.1.3 检测内旋转角有加热和室温两种方式。通常情况下宜选择加热方式,即开始检测前将试模置 $150^{\circ}C\pm 5^{\circ}C$ 的烘箱中加热不少于 45min,内旋转角测量装

置无需加热。室温检测时试模不需加热。

3.1.4 按 3.3 的步骤准备好旋转压实仪,按照该仪器的说明书设定旋转次数。

3.1.5 将内旋转角测量装置组装好,放进试模中,将仪器探头或参考基座适当定位以测量底部内部角和顶部内部角。将试模放入旋转压实仪中,注意试模和旋转压实锤对中。

3.1.6 开始旋转压实,使试模和内旋转角测量装置一起作旋转运动,如图 T0736-1,旋转时宜复合以下条件:产生的偏心距 e 为 22mm,力矩 $M(=e \times F)$ 为 $466.5\text{N} \cdot \text{m} \pm 10\text{N} \cdot \text{m}$ 。



1-内旋转角测量装置; 2-上压盘; 3-试模; 4-下压盘; e -偏心距,一般为 22mm; F -施加的荷载

图 T0736-1 模拟加载法测定内旋转角示意图

3.1.7 旋转 to 设定次数后,停止压实,待旋转压实仪上压头上升至一定高度后,从试模中取出内旋转角测量装置。记录测定结果,准确到 0.01° 。

3.1.8 不断调整内旋转角测量装置位置,按照 3.1.4~3.1.6 的步骤分别测定底部内旋转角 a_{bi} 和顶部内旋转角 a_{ti} ,底部内旋转角和顶部内旋转角分别测定 3 次。如果分别测定的 3 个底部内旋转角(或顶部内旋转角)差值大于 0.02° ,则必须重新测定。取 3 个底部内旋转角 a_{bi} 的平均值为底部内旋转角 a_b ;取 3 个顶部内旋转角 a_{ti} 的平均值为顶部内旋转角 a_t 。取 a_b 和 a_t 平均值为有效内旋转角 a_e 。 a_b 和 a_t 差值不宜大于 0.02° ;有效内旋转角 a_e 应该满足设定值的 $\pm 0.02^\circ$ 要求。

3.2 准备工作

3.2.1 按照本试验规程 T 0702 的方法确定制作沥青混合料试件的拌和与压实温度。常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

3.3.2 按本规程 T 0701 在拌和厂或施工现场采取代表性的沥青混合料, 当混合料温度符合要求时, 可直接用于成型。在试验室人工配制沥青混合料时, 按本规程 T 0701 的方法准备矿料及沥青, 然后按本规程 T 0702 的方法拌制沥青混合料。

3.3 成型步骤

3.3.1 按照该设备的使用说明书进行操作。如打开压实仪的电源开关、配件的电源(或气源)开关、计算机(或控制面板), 并与压实仪连接; 需要打印数据时, 还需连接打印机等。

3.3.2 设定旋转压实仪旋转角、垂直压力和旋转速率。不同的设计方法和体系, 旋转角、垂直压力和旋转速率可能不同, 因此参数的设定需根据混合料设计方法要求选定(如 Superpave 设计方法要求有效内旋转角为 $1.16^{\circ} \pm 0.02^{\circ}$, 垂直压力为 $600\text{kPa} \pm 18\text{kPa}$, 旋转速率为 $30\text{r/min} \pm 0.5\text{r/min}$)。可根据不同设计方法和体系, 设定有效内旋转角。

3.3.3 根据需要选定试验结束条件, 一般选择设定要求的旋转压实次数作为试验结束条件。也可以根据需要选择压实到要求的试件高度作为试验结束条件。

3.3.4 当旋转压实仪压头具有保温功能时, 在旋转压实前需将压头加热保温不少于 15min。

3.3.5 用沾有少许黄油的棉纱擦净试模及下压盘等, 然后置烘箱中加热并保持到压实温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$, 恒温至少 45min。常温沥青混合料用试模不需加热。

3.3.6 将拌和好的沥青混合料, 均匀称取一个试件所需的混合料质量 m , 混合料的质量应使成型后的试件高度达到试验所需高度 $\pm 3\text{mm}$ 。

3.3.7 从烘箱中取出预热的试模、下压盘, 在下压盘上垫一张圆形纸片, 防止沥青黏到下压盘上, 将称好的沥青混合料迅速倒入试模内, 将混合料的表面整平, 然后在顶面盖上一张圆形纸片。

3.3.8 将盛有沥青混合料的试模放入旋转压实仪中, 启动计算机(或控制面板), 设定各试验参数, 开动旋转压实仪, 将压实锤头降下, 直至施加的压力达到设定值 $\pm 18\text{kPa}$ 。旋转压实仪将按照设置的旋转次数开始自动成型试件。

3.3.9 试验过程中自动连续记录不同压实次数下的试件高度, 并显示垂直压力。根据需要还可以测定、记录旋转压实过程中的剪应力。压实结束后, 按照压实仪的提示恢复压实仪的旋转角, 升起旋转压头, 从旋转压实仪中取出试模。

3.3.10 刚成型好的热试件不宜马上脱模，需在室温下适当冷却。当为了缩短试验时间，可以采用电风扇降温约 5~10min 后再进行脱模。对于需要继续进行性能试验的试件，同时空隙率又较大(如大于 7%)时，冷却时间宜延长 15min 以上。脱模后揭去垫在试件底面和顶面的圆形纸片。

3.3.11 根据需要可按照本规程相关方法测定试件毛体积相对密度等参数。

3.3.12 用于测定试件体积参数时平行试验一般不少于 4 个，用于其他试验平行试验试件个数按相关规定确定。

4 计算

4.1 按照式(T0736-1)计算不同旋转压实次数下的试件密度(体积法)，取 3 位小数。

$$\rho_x = \frac{m}{h_x \times \pi \times (d/2)^2} \times 10^3 \quad (\text{T0736-1})$$

式中： ρ_x —不同旋转压实次数下的试件密度(体积法)，g/cm³；

m—沥青混合料试件质量，g；

h_x —不同旋转压实次数下的试件高度，mm；

d—试模的直径，mm。

4.2 按照式(T0736-2)计算不同旋转压实次数下试件的毛体积相对密度，取 3 位小数。

$$\gamma_{fx} = \frac{\gamma_f h_x}{h} \quad (\text{T0736-2})$$

式中： γ_{fx} —不同旋转压实次数下试件的毛体积相对密度，无量纲；

γ_f —按照 T 0705 方法测定的试件毛体积相对密度，无量纲；

h—最终成型试件高度(仪器显示试件的高度)，mm。

5 报告

报告应该包括旋转压实仪的有效内旋转角(包括标定方法)、垂直压力、旋转速率、拌和和压实温度等参数。

6 允许误差

试件毛体积相对密度试验重复性的允许误差，当集料公称最大粒径小于或等于 13.2mm 时为平均值 0.9%，集料公称最大粒径大于或等于 13.2mm 时为平均值 1.4%；试件毛体积相对密度试验再现性的允许误差为平均值 1.7%。

附录：泡沫温拌沥青混合料室内试件制备方法

M.1 一般规定

M.1.1 本方法规定了泡沫温拌沥青混合料试件制备方法，以供在实验室开展沥青混合料的后续试验。

M.1.2 根据对应的热拌沥青混合料类型，按照 JTG F40 规定的马歇尔混合料设计方法进行配合比设计。

M.1.3 沥青发泡最佳用水量确定后，方可进行泡沫温拌沥青混合料的生产。

M.1.4 每次配制的材料质量应符合拌和锅的容积要求。

M.1.5 马歇尔试验的稳定度和流值，仅作为配合比设计的参考性指标，高温性能、低温性能和水稳定性是判断沥青混合料的关键指标。

M.2 沥青的发泡

M.2.1 泡沫温拌沥青在室内加工时，道路石油沥青发泡时的加热温度宜控制在 $150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，SBS 改性沥青发泡时的加热温度宜控制在 $170^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。其它改性沥青发泡时加热温度应根据不同的沥青类型通过试验确定。

M.2.2 泡沫温拌沥青加工时的发泡水温为常温。

M.2.3 道路石油沥青的发泡用水量宜控制在 1%~3%范围，SBS 改性沥青的发泡用水量宜控制在 2%~4%范围。

M.3 泡沫温拌沥青混合料的室内拌和

泡沫温拌沥青混合料的拌和步骤如下：

(1) 根据需要的最佳发泡用水量、沥青发泡温度及喷出流量，设定好发泡设备的各项参数。

(2) 集料加热温度比拌和温度应高 15°C ，加热后的集料放入预热好的拌和锅适当混合。

(3) 根据需要的最佳沥青用量称取泡沫温拌沥青加入拌和锅内，连续拌和 90s，加入矿粉后再持续拌和 90s。

(4) 将拌制好的泡沫温拌沥青混合料，在对应击实温度下保温 2h，以备成

型。

M.4 泡沫温拌沥青混合料的室内成型

M.4.1 泡沫温拌沥青混合料保温结束后，在规定的成型温度下成型。

M.4.2 成型方法宜采用旋转压实成型。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO T312、AASHTO TP 71-2007 编写，主要参数参考 AASHTO T312、ASTM D 6925-08 和 EN12697-31: 2007 的标准。在该方法的条文说明里面比较详细的介绍了该设备的使用情况及试验过程中需要注意的问题。

目前我国的旋转压实仪，主要进口 SHRP 旋转压实仪、GTM 或者澳大利亚旋转压实仪。旋转压实仪在美国、法国、澳大利亚、瑞典和瑞士等国得到大量应用，各国的旋转压实仪基本原理相同，但是又各有不同。

1939 年，美国德州公路局提出旋转压实仪的概念，利用垂直压力来制作试件，能够模拟现场实际碾压的效果，并开发了旋转压实仪，之后于 1946 年制定标准试验规程，并纳入规范。20 世纪 50 年代，美国工程兵在德州公路局概念基础上研发了搓揉式旋转压实仪，并于 1957 年申请了专利，1993 年开始计算旋转剪切模量和旋转抗压模量，称为 GTM 法。

1991 年 SHRP 战略研究计划项目组、沥青协会 (AI) 和法国 LCPC 一起开发基于德州旋转压实仪的 LCPC 版的旋转压实仪，旋转角为 1° ，试件直径为 152.4mm。当沥青协会 (AI) 将旋转角调整为 1° ，并进行沥青混合料试验，发现由于旋转角太低，空隙率很难达到 4% 以下。由此 SHRP 研究人员推测，法国的低旋转角 1° 仅仅能模拟施工阶段的初始碾压，不足以达到设计 4% 的目标空隙率。然后又将旋转角提高为 1.23° ，最终 SHRP 建议采用的旋转压实仪 SGC 参数为旋转角 1.25° 、垂直压力 600kPa、转速 30r/min，工作原理示意图见 T0736-2。SGC 压实基本原理是：试件在一个控制室中缓慢的压实，试件运动的轴线如同一圆锥，它的顶点与试件顶部重合。旋转底座将试模定位于 1.25° 的旋转压实角，以 30r/min 的恒定速率旋转。压力加载头对试件实施 600kPa 的竖直压力。这样在材料倒入试模中后同时受到竖向压力与水平剪力的作用，使集料颗粒定向形成骨架，这种过程模拟了荷载对道路搓揉压实作用，利用 SGC 旋转压实仪成型试件，然后测试相应的体积参数。由于在研制中没有考虑测试诸如抗剪强度等参数，因此 SGC 并不能直接提供判定路面是否稳定所必须的应力和应变特征，这也是和 GTM、LCPC 的主要区别。但是最近几年，美国已经开发了多种类型的 SGC。

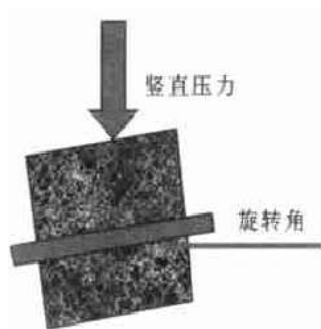


图 T0736-2 SHRP 旋转压实仪 SGC 工作原理示意图

澳大利亚 20 世纪 90 年代也开发了旋转压实仪 Servopac，能够同时满足 AASHTO TP4、EN 12697-31 标准要求。

为了能够了解各种旋转压实仪的发展和特点，将旋转压实仪发展大致情况汇总如表 T0736-1。

表 T0736-1 旋转压实仪的发展和基本参数情况

年代	设备	试件直径-高度 mm	垂直压力 kPa	旋转角。 °	旋转速度 r/min	模具 加热 设备
1939	美国德州公路局提出概念，并制作旋转压实仪。垂直压力采用人工压力	ϕ 101.6-50.8	未知	手动	手动	无
1946	美国德州公路局制定试验规程，并纳入规范	ϕ 101.6-50.8 或 ϕ 152.4-76.2	可变	固定 6	60	无
1957	美国工程兵开发 GTM	ϕ 152.4-可变	可变	浮动 0-3	可变 12-18	有
1960	法国 LCPC 开发第一代德州式旋转压实仪	未知	可变	可变	可变	无
1968	法国 LCPC 开发第二代德州式旋转压实仪	ϕ 80-可变或 ϕ 120-可变	可变	浮动 0-5	可变	有
1974-1986	法国 LCPC 开发 PCG1 及 PCG2。	ϕ 160-固定 80~300	600	固定 1-4	固定 6-30	有
1991	美国 FHWA 研发改进的旋转压实仪	ϕ 101.6-63.5	600	固定 0.5-3	30	无
1991	美国 SHRP 在德州式旋转压实仪基础上研制 SGC	ϕ 152.4-95.3	600	-	可变	有
1992	澳大利亚开发 Servopac	ϕ 150-50-170 或 ϕ 100-50-170	10-999	固定 0-3	固定 3-60	-
1993	美国 SHRP 开始应用 SGC	ϕ 150-115	600	固定 1.25	30	无
-	Troxler 的 SGC(Model 4142)	ϕ 150-可变	固定 200-1000	固定 0.5-4	-	无
-	Troxler 的 SGC(Model 4140-B)	ϕ 150-115	固定 200-1000	固定 0.5-2	-	无
1996	法国 LCPC 开发 PCG3	ϕ 150-固定	固定	固定	固定	无

		100-160	500-800	0.5-2	6-30	

注：表中旋转角均为外旋转角。表中“浮动”为旋转角在旋转压实过程是变化的，设定的旋转角只是初始旋转角。表中“固定”为旋转压实仪在试验前根据需要在一定范围内选定一个值，旋转压实过程中旋转角是不变的。

由表 T0736-1 可以看出，各国旋转压实仪均有一定差异，各有特色。如何选择和开发我国旋转压实仪还需要作进一步工作。但是从不同使用目的来看，旋转压实仪的各参数宜在一定范围内可调，不宜只有一个固定参数，且应有多种直径的试模，同时宜能够测定剪应力。

关于旋转压实仪参数的选择，如果压实参数不相同，其压实效果肯定有差异，因此对于一个以旋转压实仪为设计体系的设计方法必须统一旋转压实仪的基本参数，这样才能保证试验结果具有良好的重复性和再现性。影响试验结果的三个主要参数是：旋转压实角，垂直压力和旋转速度。表 T0736-2 为不同设计方法中旋转压实仪参数对比表。

表 T0736-2 不同设计方法中旋转压实仪参数对比表

参数		欧洲	SHRP	GTM
旋转角，°		有效内旋转角 0.82 ± 0.02	有效内旋转角 1.16 ± 0.02 (外旋转角 1.25 ± 0.02)	外旋转 1(ASTM D3387 新标准将调整为 2)
垂直荷载或压力	压力，kPa	—	前 5 次 600 ± 60 ，之后 600 ± 18	根据需要设定
	荷载(N)	$\phi 160\text{mm}$: 12500 ± 1000 $\phi 150\text{mm}$: 10000 ± 1000 $\phi 100\text{mm}$: 4700 ± 200	$\phi 150\text{mm}$: 10600 ± 310	-
旋转速度，r/min		$30(1 \pm 10\%)$	30 ± 0.5	12~18
试模		洛氏硬度不小于 HRC48，Ra 不大于 $1\mu\text{m}$ ，直径： $150.0\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ $160.0\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ $100.0\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$	洛氏硬度不小于 HRC48，Ra 不大于 $1.6\mu\text{m}$ ，直径： $149.90\text{mm} \sim 150.00\text{mm}$	-
压盘(压头)		洛氏硬度不小于 HRC55，Ra 不大于 $0.8\mu\text{m}$ 。 压盘外径与试模内径差值为 $0.1 \sim 0.6\text{mm}$ 。	洛氏硬度不小于 HRC48，Ra 不大于 $1.6\mu\text{m}$ ，直径： $149.50\text{mm} \sim 149.75\text{mm}$	-

注：欧洲 2007 年前采用 1° 外旋转角，垂直压力 600kPa ，2007 年后调整为有效内旋转角，并采用垂直荷载。SGC 早期均采用 $1.25^\circ \pm 0.02^\circ$ 的外旋转角，2007 年 ASTM 增加了内旋转角，2004 年 AASHTO 增加内旋转角，但 2008 年只采用外旋转角。

由于旋转角、垂直压力和旋转速率对旋转压实效果影响很大，在制定具体参数值时，还必须规定这些参数的允许波动范围，以控制试验精度。同时试模厚度、试模的刚度、试模的垂直度和试模与压盘的间隙等对旋转压实均有较大影响。SHRP 确定旋转角的允许波动为 $\pm$

0.02°, 此波动范围在于控制旋转角变异影响旋转压实效果, 使得设计的沥青用量变异小于 0.1%, 目前这一指标欧洲和美国是一致的。在所有指标中旋转角要求是最苛刻的, 这样设备成本会增加 10000 美元以上。SHRP 根据工程经验确定垂直压力允许波动为 $\pm 10\text{kPa}$; 旋转速度允许波动为 $\pm 0.5\text{r/min}$, 相应的欧洲标准会偏低一些, 根据垂直荷载反算垂直压力允许波动约为 $\pm 60\text{kPa}$, 而旋转速度允许波动为 $\pm 3\text{r/min}$ 。

美国在使用中又发现随着试模在使用中不断磨损会影响旋转压实效果。为了减小试模尺寸变化对旋转压实影响, SGC 对相关尺寸进行了严格规定, 要求试模直径为 149.90mm~150.00mm, 压盘直径为 149.50mm~149.75mm, 这样就可以使得间隙(试模内直径-压盘外直径)控制在 0.15mm~0.50mm 之间。同时为了降低试模壁对旋转压实效果影响, 要求试模壁必须光滑; 而且在旋转压实过程中试模和压盘不变形, 对试模厚度, 试模和压盘刚度都要有要求。试模和压盘, 相应欧洲的标准会高一些。

关于旋转压实仪内旋转角的标定问题。2000 年, FHWA 对美国 30 个现场混合料进行对比试验, 发现 Pine 试件较 Troxler 毛体积相对密度平均偏大 0.005, 指出虽然外旋转角一致, 而内旋转角不同是造成不同旋转压实仪压实效果差异的重要原因, 外旋转角指试模侧壁相对于主旋转轴线的倾角; 而内旋转角为试模侧壁相对于压盘(或压头)垂直线的倾角, 一般将底部内旋转角和顶部内旋转角的平均值称为有效内旋转角。外旋转角和内旋转角示意图见图 T0736-3。

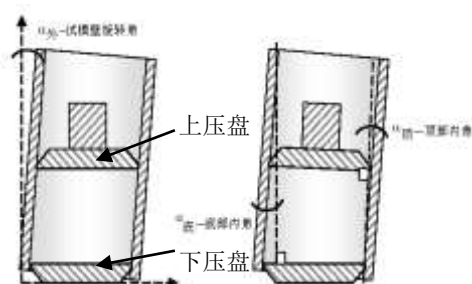


图 T0736-3 外旋转角和内旋转角示意图

对于每个试模, 均需要标定内旋转角, 当更换不同的上、下压盘时也应该进行标定。只有在上下压盘平行且水平的情况下, 才能保证内外旋转角相等。

现在美国至少有 6 家 SHRP 的 SGC 旋转压实仪生产厂家, 型号较多。每个型号的旋转角的设置都很独特, 每个厂家都有自己的标定系统, 一般都是试模壁旋转角, 即外旋转角, 且都没有一个通用的旋转角标定系统。FHWA 出于统一旋转角标定方法, 特别是为了解决内旋转

角标定方法，最早开发了内旋转角的标定工具和方法，在此基础上制定了内旋转角的标定方法，即 AASHTO PP48，见图 T0736-4。内旋转角需要在动态过程测定，这是与外旋转角最大不同。

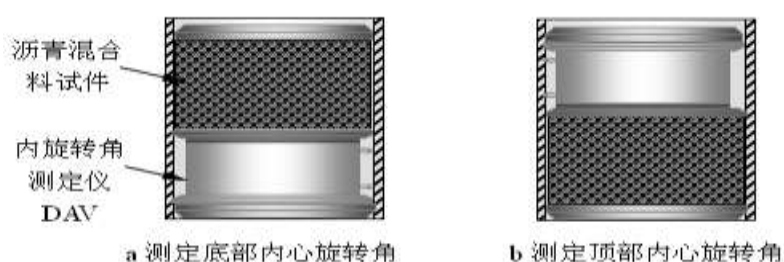


图 T0736-4 AASHTO PP48 内旋转角测定方法

AASHTO PP48 在内旋转角测定时需要利用沥青混合料试件，发现这种方法存在一些问题，一个是沥青混合料试件不是稳定的(非标准物质)，另外标定块和沥青混合料试件高度太高，标定的数值需要外推到标准高度时的内旋转角。

2008 年 AASHTO T312 替代了 AASHTO PP48 和 TP4 方法，旋转压实仪的标定方法统一采用 AASHTO TP 71-2007，也取消外旋转角标准，统一为内旋转角方法。但是对于模拟荷载方法在美国还是存在一些争论，主要上下压盘是否需要加热到高温条件。另外 ASTM 旋转压实仪旋转角还是规定外旋转角和内旋转角两个指标，但是内旋转角没有采用自己的 ASTM D7115-2005 标准，而是 AASHTO PP48 标准，有报道说 ASTM 正在修订，也是向内旋转角上靠，采用 ASTM D7115-2005。美国各州目前基本上按 AASHTO 标准，即采用模拟荷载测定内旋转角方法作为标准方法。

成型试件时沥青混合料的实际质量由混合料类型确定。一般在试验之前要试拌一个试件，如果试拌试件的高度不符合要求，必须根据具体情况调整混合料质量。

对试件的脱模冷却时间，AASHTO T312 规定对绝大部分混合料可以马上脱模，但是为了不使试件损坏，用电风扇加速冷却 5~10min 是必要的。而 ASTM D 6925 则规定，为了避免产生试件变形，热的试件不宜马上脱模，需在室温下适当冷却；当为了缩短试验时间，可以采用电风扇降温，对于需要进行下一步性能试验的试件，同时空隙率又较大(如大于 7%)，冷却时间宜延长 15min 以上。而 EN 12697-31 则没有要求冷却，但是又指出必要时需冷却 5~10min。美国一些州的规定也是要求不宜马上脱模。我国国内一些混合料试验时，成型后马上脱模确实发现有松散情况，然后改适当冷却就没有出现这种现象，因此，考虑在试验中无法预判一种混合料是否会松散，因此本方法要求适当冷却，不建议马上脱模。

对试验前试模的预热，AASHTO T312 要求在压实温度下预热 30min 以上，如果试模需要重复利用则第二次需再加热 5min 以上。ASTM D6925 规定，试模在压实温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 预热 45min 以上，如果试模需要重复利用则的第二次需再加热 20min 以上。而 EN 12697-31 规定，试验前在压实温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 预热 2h 以上。同时美国各州差异也较大，如华盛顿州要求预热 1h 以上。

本方法参考以上的这些方法,结合我国应用的情况调整为在压实温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$,恒温至少 45min。

关于旋转压实次数,一般根据交通量、沥青混合料类型等参数按照混合料设计要求选择。

本方法规定与 AASHTO T312、ASTM D6925 和 EN 12697-31 是一致的。

对试件毛体积相对密度的重复性与再现性的允许误差与 AASHTO T312 和 ASTM D6925 的规定是相同的

T 0737—2011 沥青混合料旋转压实和剪切性能试验（GTM 方法）

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于 GTM 试验机成型试件,同时能测定沥青混合料试件的密度、抗剪强度、剪应力、抗压模量、抗剪模量及旋转压实指数等。也可以采用 GTM 方法进行沥青混合料的配合比设计或沥青路面施工质量检验与控制。

1.2 GTM 试验机可分为油压法和气压法两种。根据混合料最大粒径选择不同的试模尺寸,一般直径为 101.6mm、152.4mm、203.2mm 三种,分别对应最大公称粒径 $\leq 26.5\text{mm}$ 、37.5mm 和 63mm 的沥青混合料。成型时一组试件的数量不得少于 3 个。

2 仪器与材料技术要求

2.1 旋转压实剪切试验机（GTM）。GTM 试验机由计算机自动控制,具有对沥青混合料试件压实成型、参数测定等功能。仪器的主要部件见图 T0737-1。

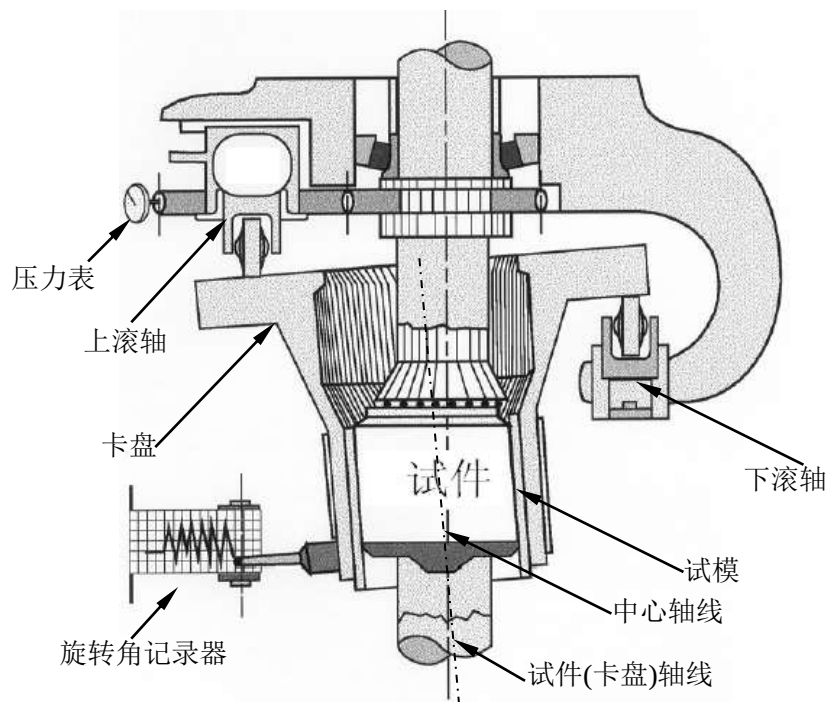


图 T0737-1 GTM 旋转压实剪切试验机主要部件图

2.2 金属标定块：标定高度传感器用的恒高度金属块，有 12.7mm、101.6mm、152.4mm、203.2mm 四种。

2.3 试模：由高碳钢或工具钢制成，根据沥青混合料最大粒径选择不同直径的试模。一般沥青混合料宜选择 101.6mm 和 152.4mm 两种直径的试模，成型高度一般控制在高径比接近 1:1。

2.4 试验室用沥青混合料拌和机：能保证拌和温度并充分拌和均匀，可控制拌和时间，容量不小于 10L，搅拌叶自转速度 70r/min~80r/min，公转速度 40r/min~50 r/min。

2.5 烘箱：大、中型各一台，具有温度调节器。

2.6 天平或电子秤：用于称量矿料的，感量不大于 0.5g；用于称量沥青的，感量不大于 0.1g。

2.7 温度计：宜采用有金属杆的插入式数显温度计，金属杆长度不小于 150mm。分度为 1℃，量程 0℃~300℃。

2.8 其他：试样托盘、沥青熔化炉、拌和铲、滤纸、秒表等。

3 准备工作

3.1 按照本试验规程 T0702 的方法确定制作沥青混合料试件的拌和与压实温度。

3.2 常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

3.3 按本规程 T 0701 的方法在拌和厂或施工现场采取代表性的沥青混合料，如混合料温度符合要求，可直接用于成型。需要拌和时可倒入已加热的室内沥青混合料拌和机中适当拌和，时间不超过 1min。不得在电炉或明火上加热炒拌。

3.4 在试验室人工配制沥青混合料时，试件的制作按下列步骤进行：

3.4.1 将各种规格的矿料置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重（一般不少于 4h~6h）。

3.4.2 将烘干分级的粗、细集料，按每个试件设计级配要求称其质量，在一金属盘中混合均匀，矿粉单独放入小盆里，然后置烘箱中加热至沥青拌和温度以上约 15°C 备用。一般按单个试件备料（每个油石比平行试验一般不少于 3 个试件）。

3.4.3 将按本规程 T 0601 采取的沥青试样，用烘箱加热至规定的沥青混合料拌和温度备用，但不得超过 175°C 。当不得已采用燃气炉或电炉直接加热进行脱水时，必须使用石棉垫隔开。

3.4.4 用沾有少许黄油的棉纱擦净试模、下压盘等置 60°C 左右烘箱中加热保温备用。常温沥青混合料用试模不加热。

3.5 调试和设定 GTM 设备参数

3.5.1 打开试验机的电源开关、液压柱油泵（或气泵）开关、加热套开关、控制计算机开关，并与试验机连接。

3.5.2 根据路面荷载情况及沥青混合料所处的结构层位，确定混合料旋转压实过程中的垂直压力 ρ_{des} 。

3.5.3 设置 GTM 试验机初始旋转角 θ_0 。对于油压法宜为 0.8° ，采用气压法为 2° 。也可以根据需要采用不同的初始旋转角。

3.5.4 标定高度传感器。根据试模直径的不同，选择对应的金属标定块，标定高度传感器。设计压强不变时，一般不需要标定高度传感器。

3.5.5 设定试验温度，并进行加热保温。标准试验温度为 60°C 。根据需要也可采用其他温度，但应在报告中注明。

3.5.6 选择试验的方式。GTM 可以通过设定平衡状态、转数、试件高度及试件密度中的一种方式来控制试验过程。平衡状态是指 GTM 每旋转 50 次沥青混合料试件密度变化小于 $0.008\text{g}/\text{cm}^3$ 。试验时宜选择平衡状态为试验方式。

4 试验步骤

4.1 按照本规程 T0702 的要求拌制沥青混合料。将拌和好的沥青混合料，均匀称取一个试件所需的混合料用量 m 。(实际试件的用量需要根据混合料的类型确定)。成型试件的高度应达到试验所需高度 $\pm 2.5\text{mm}$ 的要求。

4.2 从烘箱中取出预热的试模、下压盘，在下压盘上垫一张圆形的吸油性小的纸片(与试模直径相近)，将沥青混合料迅速倒入试模内，整平表面。

4.3 用盛试模的托盘将试模在试验机的底座上放置好，操作试验机使压头与沥青混合料接触，然后上紧试模外套，紧固螺栓。

4.4 按照 3.5 的步骤与方法，确认试验的垂直压力、试验温度、试验方式等，点击控制程序开始按钮，然后打开 GTM 旋转开关，试验机开始运转，进行试验。

4.5 试验过程中，计算机将显示不同旋转压实次数对应的沥青混合料试件的密度、高度、轮压、应变、温度等的变化曲线，试件达到平衡状态后 GTM 自动停机。

4.6 如果不进行动态模量试验，设备将试验曲线及试验结果直接打印出来，试验结束；如果需要，则进行动态模量试验。打开试验机旋转开关，点击相应控制程序按钮，GTM 试验机开始自动测定试件动态模量，测试完毕后 GTM 自动停机。打印试验结果。

4.7 测定摩擦力

4.7.1 GTM 试验结束后，提升压头，卸下试模。

4.7.2 将试模固定在摩擦力测试装置上，将测力千斤顶置于试模底面，逐渐加力，观察测力计力值变化，记录达到峰值的力值即为试件与试模间的摩擦力 F 。

4.8 根据需要脱模后的试件可按照本规程相关试验方法测定试件毛体积相对密度等参数。

5 计算

5.1 按式(T 0737-1)计算不同旋转压实次数下的试件密度(体积法)，取 3 位小数。

$$\rho_x = \frac{m}{h_x \times \pi \times (d/2)^2} \times 10^3 \quad (\text{T0737-1})$$

式中： ρ_x —不同旋转压实次数下的试件密度(体积法)， g/cm^3 ；

m —沥青混合料试件质量， g ；

h_x —不同旋转压实次数下的试件高度， mm ；

d —试模的直径，为 101.6mm 或 152.4mm。

5.2 按式(T 0737-2) 或者(T 0737-3) 计算旋转压实指数 (Gyratory Compactability Index, 简称 GCI), 取 3 位小数。

$$GCI = \frac{\rho_{x30}}{\rho_{x60}} \quad (T0737-2)$$

$$GCI = \frac{h_{x30}}{h_{x60}} \quad (T0737-3)$$

式中: GCI—旋转压实指数, 旋转压实 30 次时的试件密度(或高度)与旋转压实 60 次时的试件密度(或高度)的比值。为无量纲。

ρ_{x30} —旋转压实 30 次时的试件密度(体积法), g/cm^3 ;

ρ_{x60} —旋转压实 60 次时的试件密度(体积法), g/cm^3 ;

h_{x30} —旋转压实 30 次时的试件高度, mm;

h_{x60} —旋转压实 60 次时的试件高度, mm。

5.3 按式(T 0737-4)计算旋转稳定指数 (Gyratory Stability Index, 简称 GSI), 取 2 位小数。

$$GSI = \frac{\theta_{\max}}{\theta_i} \quad (T0737-4)$$

式中: GSI—旋转稳定指数, 最大角应变 $\theta_{\max}$ 与最小角应变 θ_i 的比值。

$\theta_{\max}$ —旋转压实达到平衡状态时的最大角应变(即最大旋转角), 可由试验系统自动测定或根据图 T 0737-2 不同旋转次数下的旋转角曲线图中得到最大角应变值, 取 2 位小数。(即旋转角曲线中最大宽度点处的对应角应变值。图 T0737-2 中, 曲线最大宽度处的宽度为 17.0, 则 $\theta_{\max} = 17.0/10 = 1.70^\circ$ 。)

θ_i —旋转压实过程中最小角应变值(或最小旋转角), 可由试验系统自动测定或根据图 T 0737-2 不同旋转次数下的旋转角曲线图中得到最小角应变值, 取 2 位小数。(即旋转角曲线中最小宽度点处的角应变值。图 T 0737-2 中, 曲线最大宽度处的宽度为 10.2, 则 $\theta_i = 10.2/10 = 1.02^\circ$ 。)

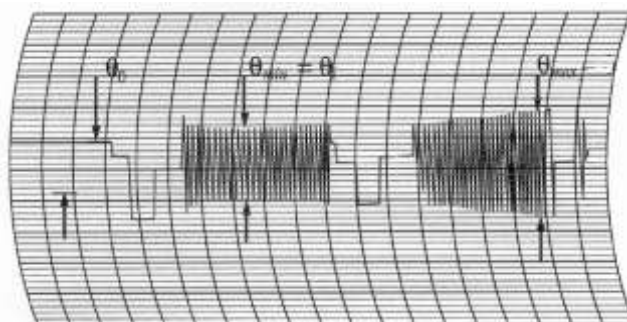


图 T0737-2 GTM 试验过程中旋转角—旋转次数图

5.4 按式(T 0737-5)计算旋转剪切强度 S_G ，取 2 位小数。

$$S_G = \frac{2(P \cdot L - F \cdot a) + N \cdot b}{A \cdot h} \left(\frac{\theta_{\max}}{\theta_0} \right) \quad (\text{T0737-5})$$

式中： S_G —旋转剪切强度， MPa；

P —上滚轴的作用荷载， N；

L —荷载 P 的力臂， mm；

N —压头垂直作用在试件上的荷载， N；

A —试件的端面面积， mm^2 ；

h —试件高度， mm；

a —摩擦力 F 的力臂 ($=0.637 \times R$ ， R 试模的半径)， mm；

b —荷载 N 的力臂($=h \times \tan \theta_0$)， mm；

F —试件与试模侧壁的摩擦力， N。

5.5 按式(T 0737-6)计算沥青混合料抗剪强度因子 (Gyratory Shear Factor ， 简称 GSF)，取 1 位小数：

$$GSF = \frac{S_G}{\tau_{\max}} \quad (\text{T0737-6})$$

式中： GSF —沥青混合料抗剪强度因子， 无量纲；

$\tau_{\max}$ —沥青混合料所处层位中最大剪切应力， MPa。

6 报告

6.1 GSI 与 GSF 的结果处理：当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

6.2 试验结果应报告垂直设计强度、试验温度、试件密度、旋转压实指数 GCI、旋转稳定指数 GSI、最大角应变值 $\theta_{\max}$ 、最小角应变值 θ_i 、旋转剪切强度 S_G 、抗剪强度因子 GSF 等。

条文说明

GTM 是美国工程兵旋转压实剪切试验机 (Gyratory Testing Machine) 简称，是由美国工程兵团 (U. S. Army Corps of Engineers) 在 20 世纪 50 年代开发的路面材料试验机，并开发了基于 GTM 旋转压实的沥青混合料设计方法，即 GTM 设计方法。最近几年我国已引进了 GTM

试验机,同时将 GTM 设计方法也引进了我国。目前国内有的省市已经开展了 GTM 方法的研究与应用。同时在国内也有厂商已经生产了 GTM 试验机,为了便于广大工程技术人员的操作和将试验方法规范化,本次主要参考 ASTM D3387,并结合我国 GTM 的应用情况编写了该试验方法。

由于 ASTM D3387 是 1996 年修订的,随着新技术的发展,其一些方法已经不再适用,本试验方法根据最新应用情况进行了以下修订。

原 ASTM D3387 中对于 GTM 试验机按照滚轴驱动方式划分为固定轴式和油压式两种。固定轴式由于只能成型,不能进行旋转角应变等测定,其应用越来越少,气压法的 GTM 试验设备应用越来越多。因此,本试验方法编写是根据我国进口 GTM 试验机情况,将 GTM 试验机划分为油压式和气压式两种,试验方法本质是相同的,只是初始旋转角有差异。据相关文献报导 ASTM D3387 也要将 GTM 划分为油压式和气压式两种。

关于初始旋转角,美国工程兵团认为压实期间的角度变化和路面永久变形有关,因此旋转压实机 GTM 角度非恒定。GTM 旋转角一般在 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 之间,旋转角越大,旋转压实效果会越大,设计的沥青用量会相应降低。ASTM D3387 指出:标准的试验参数,初始旋转角为 1° ,理论上说初始旋转角应该根据路面变形情况进行选择,但是应该说初始旋转角 1° 有很大的适应范围,但是当路面工程师采用不同的旋转角时应该在报告中说明。在美国很多沥青混合料 GTM 标准一般也为 1° ,也都是根据 ASTM D3387 确定的,主要针对油压式 GTM 试验机。据相关文献,ASTM D3387 新修订版可能将 GTM 试验机的初始旋转角定为 2° 。目前我国 GTM 方法也没有统一初始旋转角,油压法为 0.8° ,也有 1° 或 1.4° 等,气压式为 2° 。本试验方法初步推荐对于油压法 0.8° 、气压式为 2° ,也可以根据需要采用不同的初始旋转角。

关于试验方式即试验结束条件。ASTM D3387 中规定为旋转压实次数达到 60 次即可,美国有的技术要求对于 GTM 方法一般要求压实为 60 次,但是也有按照 30~300 次等不同次数作为试验结束条件。目前已逐渐统一到采用压实到“平衡状态”作为结束条件,据说 ASTM D3387 也将采用这一标准。所谓“平衡状态”即试件旋转压实过程中当每旋转压实一定次数后试件密度变化率(体积法)小于某一值时即认为达到此时混合料达到了平衡状态。国外一些文献和正在修订的 ASTM D3387 则采用每旋转 50 次试件密度变化率小于 $0.008\text{g}/\text{cm}^3$ 称为“平衡状态”,本方法也采用这一标准作为试验结束的条件。

关于垂直压力的问题,ASTM 对于垂直压力值,规定为可能预测的最大轮胎接地压力作用下按照条形荷载、各向同性均匀弹性体计算的最大垂直压力,一般为 0.83MPa 。新修订的 ASTM D3387 也可能用预测的最大轮胎接地压力作为设计的垂直压力。对垂直压力选择,我国一些工程对于中、下面层采用 0.8MPa ,表面层采用 $0.9\text{MPa} \sim 1.1\text{MPa}$,而美国混合料设计规范中对于公路沥青混合料一般为 $0.69\text{MPa} \sim 1.38\text{MPa}$,对于一些特别的机场道面甚至达到 1.66MPa 。垂直压力越大,则说明沥青混合料所处层位的压应力越大,会使得设计的沥青用量减小,这样设计的混合料更加符合实际情况。本方法要求根据实际情况确定垂直压力。

关于计算的旋转剪切强度 SG 修正的问题。在 ASTM D3387 试验方法中, 要求新设备在使用之前, 或旋转压实次数、垂直压力、试模尺寸等试验条件发生较大差异时均需要对设备参数重新标定, 通过标定得到旋转剪切强度的修正系数 SG_0 ; 按式 (T0737-5) 计算的旋转剪切强度 SG 加上旋转剪切强度修正系数 SG_0 , 便得到实际的沥青混合料旋转剪切强度 SG 。当试验条件没有发生变化时无需标定修正系数 SG_0 。

标定原理为莫尔圆原理。标定时采用无黏结性的干标准砂 (0.3mm~0.6mm 单一粒径) 代替沥青混合料, 试验过程中无需加热, 按照沥青混合料试验时相同的步骤和试验条件测定标准砂的旋转剪切强度 SG , 但是需要选定至少三种垂直压力水平, 先从较小的垂直压力水平开始, 然后增加垂直压力水平, 最后一级的垂直压力水平与试验时压力水平相同, 标定过程如下:

①确定沥青混合料的试验条件: 如旋转次数: 60 次; 标准垂直压力 0.8MPa; 初始旋转角 θ_0 : 1° ; 试模直径: 150mm。

②标定条件: 标定时的试验条件与混合料试验时条件一致, 如旋转次数: 60 次; 初始旋转角 θ_0 : 1° ; 150mm 试模; 但试验垂直压力需选定三级, 如 0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa 三级。

③标定材料: 0.3mm~0.6mm 标准砂, 0.3mm 通过率为 0%; 0.6mm 通过率为 100%。

④分别采用三种水平的垂直压力进行试验, 测定各种试验值, 根据各测定值按式 (T0737-5) 计算三级荷载对应的旋转剪切强度 SG , 如 0.4MPa、0.6MPa、0.8MPa 对应的 SG 为 0.31MPa、0.42MPa、0.51MPa。

⑤分别以三级荷载为 X 坐标, 三级荷载对应的旋转剪切强度 SG 为 Y 坐标作图 T0737-3, 作三点连线交于 Y 坐标, 此值即为旋转剪切强度的修正系数 $SG_0 = -0.1\text{MPa}$ 。如某一种沥青混合料, 根据测定的各试验参数按式 (T0737-5) 计算得到的旋转剪切强度 SG 平均值为 0.56MPa; 则修正后的旋转剪切强度 SG 为 0.46MPa。

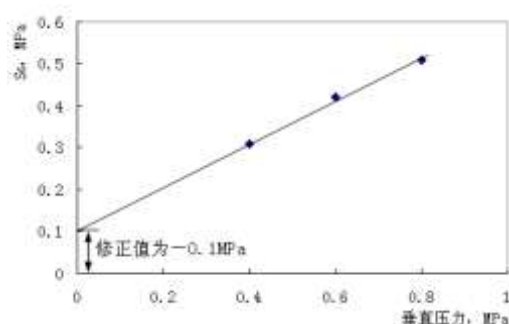


图 T0737-3 旋转剪切强度 SG 修正系数的确定

目前较多的对比试验结果表明 GTM 设计方法较普通的 Marshall 方法设计确定的最佳沥青用量要低得多, 这对于一些重载、超载路段或炎热地区的沥青路面来说可以实现降低沥青用量, 从而提高沥青混合料的抗车辙变形能力, 但是一些文献指出 GTM 设计方法过于注重超载、重载情况, 没有太多的考虑路面结构的耐久性、抗老化能力、施工和易性和抗疲劳开裂能力等, 也缺少这些性能的评价方法和指标, 所以还需要进一步研究和完善。

对不同型号 GTM 试验机在操作上可能会有所不同, 但是基本原理应该是一样的, 所以在

使用过程中应按照该仪器的说明书进行操作。

T 0738—2011 沥青混合料单轴压缩动态模量试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料在线黏弹性范围内的单轴压缩动态模量。在无侧限条件下,按一定的温度和加载频率对试件施加偏移正弦波或半正矢波轴向压应力,量测试件可恢复的轴向应变。本方法适用在 -10°C 、 5°C 、 20°C 、 35°C 及 50°C 条件下采用0.1Hz、0.5Hz、1Hz、5Hz、10Hz、25Hz的加载频率进行测试。

1.2 本方法适用于试验室制备直径为 $100\text{mm}\pm 2\text{mm}$,高为 $150\text{mm}\pm 2.5\text{mm}$ 的沥青混合料圆柱体试件。集料的最大公称粒径不得大于37.5mm。

1.3 本方法所测得的动态模量可用于评价沥青混合料材料性能,以及作为沥青混合料设计、沥青路面设计和评价分析的参数。

2 仪器与材料技术要求

2.1 材料试验机:能施加偏移正弦波或半正矢波形式荷载的加载设备,施加荷载的频率在0.01~25Hz范围,且施加的最大应力水平应达到2800kPa。加载分辨力能达到5N。

2.2 环境箱:控温范围 $-10\sim 60^{\circ}\text{C}$,控温准确度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,且具有一定的容量,至少能存放3个试件。

2.3 数据测量及采集系统:采用微机控制,能测量并记录试件在每个加载循环中所承受的轴向荷载和产生的轴向变形。荷载传感器所需最小量程为0~25KN,分辨力不大于5N,误差不大于1%;位移传感器可采用LVDT或其它合适的设备,具有良好的动态响应特性,其量程应大于1mm,分辨率不大于 $0.2\mu\text{m}$,误差不大于 $2.5\mu\text{m}$ 。

2.4 加载板:可采用硬质钢板或经处理过的高强度铝板,直径等于或大于试件的直径,分别置于试件的底部和顶部,用来将荷载从试验机传递给试件。

2.5 旋转压实仪:成型直径为150mm、高度为170mm的圆柱体试件。

2.6 钻机:从旋转压实仪成型试件中钻取直径为100mm的芯样,要求将钻机及取芯试件固定,钻头与地面垂直。

2.7 切割机：用来将所取芯样切割至动态模量试验试件所需高度，推荐采用双面锯，在能确保芯样两个锯面平行的前提下采用单面锯亦可。

2.8 聚四氟乙烯薄膜，厚度 $0.3\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。

2.9 台秤或天平：感量不大于 0.1g 。

2.10 温度计：分度为 0.5°C 。

2.11 卡尺。

2.12 围压系统：最小分辨率为 0.5kPa ，最大误差为 1% 。

3 方法与步骤

3.1 试件制备

3.1.1 预备试件制备。该试验用来确定正式试验时试件所需沥青混合料的用量。

(1) 按目标配合比拌制沥青混合料，在规定的拌和温度下拌和均匀后，用旋转压实仪成型 $\phi 150 \times 170\text{mm}$ （高）的试件。

(2) 采用钻机从旋转压实仪成型的试件中钻取直径为 $100\text{mm} \sim 104\text{mm}$ 的芯样。在取芯时应充分固定钻机和取芯试件，钻头与地面垂直，同时保证取芯试件水平放置，调整合适的钻头旋转速度和下降速度，以确保钻取的芯样呈圆柱体，形状规则，周边面光滑且与两个端面垂直。

(3) 采用切割机切除所取芯样两端，保证试件高度为 $150\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$ 。将试件固定，保证试件的轴向与锯片垂直，合理调整切割机锯片旋转速度和试件推进速度，以确保试件的两个切割端面平行，且表面平滑无沟纹。对端面平整度要求为沿任何直径方向沟纹高差控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内。保证试件的两个端面与试件轴向垂直，当垂直偏差超过 1° 时应舍弃该试件。

(4) 芯样取出后，测量试件的直径。在试件的中部和距上下表面 $1/3$ 试件高度的三个位置测定其直径，每个位置量测 2 次，每测一次后，将试件旋转 90° 再测一次，然后计算 6 个直径测量值的平均值 $\bar{D}$ 和标准差，如果标准差大于 2.5mm ，则舍弃该试件。对于直径符合要求的试件，平均值 $\bar{D}$ 将作为试件的直径用于后续计算，准确至 0.1mm 。

(5) 测量芯样的空隙率，根据芯样空隙率与目标空隙率的偏差来调整并最终确定所需沥青混合料的用量，确保正式试件的空隙率与目标空隙率的偏差能控制

在 $\pm 0.5\%$ 范围内。

3.1.2 正式试件制备。根据预备试件制备得到的混合料标准用量按上述步骤制备并量测试件，保证有效试件不少于4个。

3.2 试件贮存。试件制备后两天内如不进行试验，需用聚乙烯薄膜将试件包裹好，在温度为 $5^{\circ}\text{C}\sim 27^{\circ}\text{C}$ 环境下保存，时间不宜超过两周，存放时试件不可堆叠。

3.3 试验步骤

3.3.1 将位移传感器安置于试件侧面中部，使其与试件端面垂直，沿圆周等间距安放3个（即每2个相距 120° ）。调节位移传感器，使其测量范围可以测量试件中部的压缩变形。

3.3.2 将试件放置在试验加载架的加载板中心位置，为减少试件表面与上下加载板间的摩阻力，减小端部效应，可在试件与上下加载板间各放一块聚四氟乙烯薄膜，应注意使试件中心与加载架的中心对齐。

注：若进行带围压的试验时，应先将排水管道连接到装载平台上，试件必须通过排水管排出大气压力，还要确保聚四氟乙烯膜上有孔可将空气从膜内排出。将传感器安装在试件的膜外进行测试。

3.3.3 将试件放入规定试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的环境箱中，恒温4~5h直至试件内部达到试验温度。当试验温度为 5°C 以下时，试件恒温时间应不少于8h。同时也可以通过在环境箱中放置另一个同类试件，在该试件的中部埋设一个温度传感器，根据传感器测定的试件内部温度判断试件是否达到试验温度。

3.3.4 当试件内外的温度达到测试温度以后，就可以开始进行加载试验。将试件与上加载板轻微接触，调节位移传感器并清零，施加试验荷载，以5%的接触荷载对试件进行预压，持续10s，使试件与上下加载板板接触良好。

3.3.5 对试件施加偏移正弦波或半正矢波轴向压应力试验荷载，在设定温度下从 $25\text{Hz}\sim 0.1\text{Hz}$ 由高频至低频按表 T 0738-1 给出的重复加载次数进行试验。在试验之前，先对试件进行加载预处理，预处理的方法是对试件施加偏移正弦波或半正矢波轴向压应力试验荷载，频率为 25Hz ，200个循环。在任意两个试验频率下，推荐试验间隔时间为2min，间隔时间可适当延长，但不应超过30min。试验采集最后5个波形的荷载及变形曲线，记录并计算试验施加荷载、试件轴向可恢复变形、动态模量及相位角。

表 T 0738-1 各荷载频率下重复加载次数

频率(Hz)	重复次数(次)
25	200
10	200
5	100
1	20
0.5	15
0.1	15

3.3.6 对该试件进行下一个温度试验，温度选择应从-10℃～50℃由低温到高温进行试验。当试件在各设定温度下各频率的试验累计塑性变形超过 1500 微应变，该试件应予以废弃。

4 计算

4.1 量测各试验条件下最后 5 次加载循环中荷载的平均幅值 p_i 和可恢复轴向变形平均幅值 Δ_i 及同一加载循环下变形峰值与荷载峰值的平均滞后时间 t_i ，然后根据下列各式计算测试沥青混合料的动态模量及相位角：

$$\sigma_0 = \frac{P_i}{A} \quad (\text{T 0738-1})$$

式中： σ_0 ——轴向应力幅值，MPa；

P_i ——最后 5 次加载循环中轴向试验荷载平均幅值，N；

A ——试件径向横截面面积（可取试件上下端面面积均值）， mm^2

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta_i}{l_0} \quad (\text{T 0738-2})$$

式中： ε_0 ——轴向应变幅值，mm/mm；

Δ_i ——最后 5 次加载循环中可恢复轴向变形平均幅值，mm；

l_0 ——试件上位移传感器的量测间距，mm。

$$|E^*| = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \quad (\text{T 0738-3})$$

式中： $|E^*|$ ——沥青混合料动态模量，MPa；

σ_0 ——轴向应力幅值，MPa；

ε_0 ——轴向应变幅值，mm/mm；

$$\phi = \frac{t_i}{t_p} \times 360 \quad (\text{T 0738-4})$$

式中： ϕ ——相位角，°；

t_i ——最后 5 次加载循环中变形峰值与荷载峰值的平均滞后时间，s；

t_p ——最后 5 次加载循环的平均加载周期，s。

5 报告

5.1 沥青混合料参数：沥青含量、矿料级配、密度、空隙率及试件尺寸。

5.2 试验参数：各试验温度和试验频率及在此条件下最后 5 次加载循环中应力平均幅值 σ_0 、可恢复轴向应变平均幅值 ε_0 及变形峰值与荷载峰值的平均滞后时间 t_i 。

5.3 当一组试件的测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃。有效试件数目为 3、4、5、6 个时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.4 测试资料整理。根据上述确定的有效测试数据，按 t 分布法计算整理动态模量代表值 $|E^*|$ ：

$$|E^*| = |\overline{E^*}| - t \times \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{T 0738-5})$$

式中： $|E^*|$ ——动态模量代表值，MPa；

$|\overline{E^*}|$ ——一组试件实测动态模量平均值，MPa；

S ——一组试件实测值的标准差，MPa；

n ——一组试件的有效试件个数；

t ——随保证率变化的系数。对高速公路及一级公路的保证率为 95%，

其它等级公路的保证率为 90%。 $t/\sqrt{n}$ 值如表 T 0738-2 所示。

表 T 0738-2 有效试件数与 t 值的关系

有效试件数 (n)	临界值 (k)	$t/\sqrt{n}$		
		保证率 95%	保证率 90%	
	3	1.15	1.686	1.089
	4	1.46	1.177	0.819
	5	1.67	0.954	0.686
	6	1.82	0.823	0.603

7	1.94	0.734	0.544
8	2.03	0.670	0.500
9	2.11	0.620	0.466
10	2.18	0.580	0.437

5.5 报告各试验温度和试验频率下沥青混合料动态模量及相位角。

条文说明

本方法主要参照美国 ASTM D 3497、AASHTO TP62-03 及结合我国的试验情况编写。对该方法可以采用 MTS 810 系列伺服液压材料试验机、基本性能试验仪 (SPT)、沥青混合料基本性能试验仪 (AMPT)、UTM 系列伺服液压或气压材料试验机等进行测试。

关于加载波形及频率, 美国 ASTM D 3497 中规定加载波形为正弦波或半正矢波, 加载频率分别为 1Hz、4Hz、16Hz, AASHTO TP62-03 中同样规定加载波形为正弦波或半正矢波, 但加载频率分别为 0.01 Hz、0.1Hz、0.5Hz、1Hz、5Hz、10Hz、25Hz, 本方法允许两种可以选择的加载波形即偏移正弦波 (波形与正弦波相同, 仅数值全在压力轴一侧) 或半正矢波, 加载频率分别为 0.1Hz、0.5Hz、1Hz、5Hz、10Hz、25Hz。

对单轴压缩动态模量测试的试验温度, ASTM D3497 中规定试验温度为 5°C、25°C、40°C, AASHTO TP62-03 中规定试验温度为 -10°C、4.4°C、21.1°C、37.8°C、54.4°C, 本方法采用的试验温度为 -10°C、5°C、20°C、35°C、50°C, 主要是考虑到我国通用的试验温度单位, 而 AASHTO TP62-03 中规定的试验温度不便于试验控制, 故将试验温度进行了调整。

本试验需要四次以上的平行试验, 对于完整性不好或尺寸不合格的试件应作废, 在方法给出了试件尺寸合格的判定标准。因此, 必须成型足够的试件来确保有效试验试件的数目。

关于试件的制备, ASTM D3497 中规定试验试件的尺寸为高度直径比 2:1, 且试件的最小直径为 4in. (101.6mm), 本方法对试件尺寸的要求与 AASHTO TP62-03 基本一致, 直径为 100mm±2mm, 高为 150mm±2.5mm。试件制备过程分三步: 压实成型、取芯、切割。旋转压实成型的原始试件密度和经取芯切割后的试验试件密度一般有较大的差距, 试验是对试验试件的空隙率进行控制, 故试验试件制备分预备试件制备和正式试件制备两个阶段, 压实成型采用 170mm 高度控制, 通过混合料的加减来得到所需空隙率试件。AASHTO TP62-03 要求最终的试验试件空隙率与目标空隙率的偏差不能超过±0.5%, 本方法考虑到空隙率对沥青混合料动态模量具有较大影响, 为了保证最终试验试件的空隙率与马氏设计确定的目标空隙率相当, 规定最终的试验试件空隙率与目标空隙率的偏差不能超过±0.3%, 试验试件的 VMA 与目标值偏差不能超过±0.5%。

对试验荷载 ASTM D3497 规定在试验温度和试验荷载下对试件施加 0~241kpa 的正弦荷

载，加载时间最少 30s 但不超过 45s。本方法对加载时间的控制是通过指定各加载频率下荷载的重复次数来确定的。为了便于试验本方法给出了各试验温度下试验荷载的大致水平（表 T0738-3）以及各试验频率下作用荷载的重复次数，同时对试验温度要求从低温到高温进行测试，在每个试验温度下又规定由高频到低频进行，这些与 AASHTO TP62-03 方法基本一致。

表 T 0738-3 各试验温度下试验荷载水平

试验温度 (°C)	试验荷载范围 (kpa)
50	35~70
35	140~250
20	350~700
5	700~1400
-10	1400~2800

在进行本方法测试过程中，考虑到试件在高温低频的试验条件下使应变达到 $50\mu\epsilon \sim 150\mu\epsilon$ 的值所需的荷载比较小，同样在低温高频的试验条件下使应变达到 $50\mu\epsilon \sim 150\mu\epsilon$ 所需的荷载又比较大，从而导致在这两种极端条件下试验所得的模量值失真，本方法建议试验时应避免高温低频和低温高频下分别采用小应变值和大应变值来进行试验。

ASTM D3497 没有给出试件在试验中的废弃条件，仅提到如果在试验过程中试件的变形超过 $2500\mu\epsilon$ 应将最大试验荷载减至 121kpa。本方法规定试件在各设定温度下各频率的试验累计塑性变形超过 $1500\mu\epsilon$ 后应予废弃，这与 AASHTO TP62-03 一致。

ASTM D3497 计算沥青混合物动态模量时，荷载是取所有加载循环的均值，而应变是取最后 3 个加载循环的均值。本方法计算沥青混合物动态模量和相位角时，对应力幅值、应变幅值和滞后时间均是取最后 5 次加载循环中荷载的平均幅值，可恢复轴向变形平均幅值及同一加载循环下变形峰值与荷载峰值的平均滞后时间来计算，这与 AASHTO TP62-03 一致。

对特殊沥青混合物如聚合物改性沥青混合物、高黏度改性沥青混合物或者特殊级配沥青混合物，各试验温度下的试验荷载应作相应调整，确保试件的轴向响应应变能控制在 $50\mu\epsilon \sim 150\mu\epsilon$ 之间。

试验报告中要求提供混合物类型、沥青含量、矿料级配、试件密度、空隙率、沥青品种集料来源、试件尺寸及制作日期和试验日期等相关信息。对试验结果应进行剔差处理，保证平行试验的有效性和一致性。

T 0739—2011 沥青混合物四点弯曲疲劳寿命试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于四点弯曲疲劳试验机在规定试验条件下,测定压实沥青混合料承受重复弯曲荷载的疲劳寿命。

1.2 标准的试验条件为试验温度 $15^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 加载频率 $10\text{ Hz} \pm 0.1\text{ Hz}$, 采用恒应变控制的连续偏正弦加载模式。也可根据需要选择其它试验条件。

1.3 试验终止条件为弯曲劲度模量降低到初始弯曲劲度模量 50%对应的加载循环次数。

1.4 本方法适用于实验室轮碾成型的沥青混合料板块试件或从现场路面钻取板块试件,切割成长度为 $380\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, 厚度为 $50\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, 宽度为 $63.5\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ 小梁试件。

2 器具与材料技术要求

2.1 测试系统: 测试系统基本技术要求和参数见表 T 0739-1。

表 T0739-1 测试系统基本技术要求和参数

项 目	范 围	分辨力	准确度
荷载控制与测量	0~5kN	2 N	$\pm 5\text{ N}$
位移控制与测量	0~5mm	$2\text{ }\mu\text{m}$	$\pm 5\text{ }\mu\text{m}$
频率控制与测量	5~10Hz	0.005 Hz	$\pm 0.01\text{ Hz}$
温度控制与测量	-10~30℃	0.25°C	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

2.2 加载装置: 气动或者液压加载装置, 能够为疲劳试验系统提供循环动力荷载, 可根据试验要求输出不同频率、不同振幅的偏正弦加载波形。并保证每次加载循环结束时, 应使试件回到原点(初始位置)。试件夹持系统采用三等分间距布设夹头, 相邻夹头中心间距一般为 0.119m, 梁跨距为 0.357m。各夹头宜采用可调节加持力大小的小型电机进行夹持。

2.3 数据采集与控制装置: 使用计算机控制每个加载循环, 测量梁的峰值位移, 计算梁的峰值拉应变, 调整施加荷载保证峰值位移的水平为一常量, 确保试验期间与期望的峰值拉应变水平保持一致。并能够实时记录和计算加载次数、荷载大小、试件位移、最大拉应力、最大拉应变、相位角、劲度模量、耗散能及累计耗散能等用户所需的相关技术指标。

2.4 环境箱: 环境箱应保持箱体内试验温度均匀分布, 能够准确测量并显示试件测试位置的温度, 保证试验温度误差在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内。同时应能使加载装置与外部数据采集等控制装置顺利连接, 并具有足够的内部空间容纳加载装置, 除了试验的试件, 至少还能存放两个养生试件, 同时能够允许调整加载装置, 方便试

件放入和移出。

2.5 其他：游标卡尺、天平等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 试件准备：按照振动轮碾成型的方法制作沥青混合料板块试件，或者从现场路面切割板块试件。然后用高精度金刚石双面锯对板块试件进行切割，取碾压成型方向为试件长度方向制作梁试件，试件的尺寸应符合长度 $380\text{mm} \pm 5\text{mm}$ ，高度 $50\text{mm} \pm 6\text{mm}$ ，宽度为 $63\text{mm} \pm 6\text{mm}$ 的要求，一块 $400\text{mm} \times 300\text{mm} \times 75\text{mm}$ 的沥青混凝土板块通常可切制 4 根小梁试件。

3.1.2 试验前试件的存放：沥青混合料板块试件和切割后的试件存放温度应不超过 35°C ，切割好的试件应在 30 天内完成试验。存放期间，试件应水平放置于表面平整并具有一定刚度的硬玻璃板（或瓷砖）上，防止试件发生变形。

3.1.3 试件尺寸测量：应用游标卡尺测量试件的宽度和厚度，分别测定 5 个位置，即试件的两端 20mm 内的点位，梁中点的 10mm 内的点位及距离梁中点各 90mm 的点位，准确至 0.01mm。取 5 个测量值的平均值为试件尺寸，准确至 0.1mm。如果宽度或者厚度的 5 个测量值中的任何一个值与平均值相差大于 1.5mm，则该梁试件作废。

3.1.4 试件体积参数测量：沥青混合料疲劳和弯曲性能较大程度上依赖于混合料的实际压实水平，每一根小梁试件在进行疲劳试验前需先进行空隙率（VV）和矿料间隙率（VMA）的测定。试件实际空隙率应在目标空隙率 $\pm 0.5\%$ 范围内，实测矿料间隙率（VMA）应在目标矿料间隙率 $\pm 0.5\%$ 范围内，超过该范围的试件应作废。

3.2 试验步骤

3.2.1 试件养生：小梁试件宜直接放入环境箱内进行养生，应在试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 条件下养生 4h 以上方可进行试验。

3.2.2 试件安放：将养护好的试件放入四点弯曲疲劳加载装置内，用夹具进行固定。使位移传感器 LVDT 滑轮接触试件表面，调整位移传感器到试件中部，LVDT 的读数尽可能接近于零。

3.2.3 试验参数选择：选择偏正弦加载模式，在试验参数设定界面输入试件编号和尺寸、目标拉应变、加载频率及试验终止标准等参数。

3.2.4 在目标试验应变水平下预加载 50 个循环，计算第 50 个加载循环的试件劲度模量为初始的劲度模量，作为确定试件疲劳失效判据的基准劲度模量。

3.2.5 开始试验：当确定好初始劲度模量后，试验机应在 50 个循环内自动调整并稳定到试验所需要的目标拉应变水平，同时按选择的加载循环间隔监控和记录试验参数和试验结果，确保系统操作正确。当试件达到疲劳试验终止条件时，自动停止加载。

4 计算

4.1 最大拉应力按式 (T0739-1) 计算。

$$\sigma_t = \frac{LP}{wh^2} \quad (T0739-1)$$

式中： σ_t —最大拉应力，Pa；

L—梁跨距，即外端两个夹具间距(一般为 0.357m)，m；

P—峰值荷载，N；

w—梁宽，m；

h—梁高度，m；

4.2 最大拉应变按式 (T0739-2) 计算。

$$\varepsilon_t = \frac{12\delta h}{3L^2 - 4a^2} \quad (T0739-2)$$

式中： ε_t —最大拉应变，m/m；

δ —梁中心最大应变，m；

a—相邻夹头中心间距(=L/3，一般为 0.119m)，m；

4.3 弯曲劲度模量按式 (T0739-3) 计算。

$$S = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \quad (T0739-3)$$

式中： S—弯曲劲度，Pa；

4.4 相位角按式 (T0739-4) 计算。

$$\phi = 360ft \quad (T0739-4)$$

式中： ϕ —相位角，°；

f—加载频率，Hz；

t—应变峰值滞后于应力峰值的时间，s。

4.5 单个循环耗散能按式 (T0739-5) 计算。

$$E_D = \pi \sigma_t \varepsilon_t \sin \phi \quad (\text{T0739-5})$$

式中: E_D —单个循环耗散能, J/m^3 ;

4.6 累积耗散能按式 (T0739-6) 计算。

$$E_{CD} = \sum_{i=1}^n E_{Di} \quad (\text{T0739-6})$$

式中: E_{CD} ——疲劳试验过程中累积耗散能, J/m^3 ;

E_{Di} ——第 i 次加载的单个循环耗散能, 按式 (T0739-6) 计算, J/m^3 。

5 报告

5.1 同一种沥青混合料, 在相同试验条件下应至少进行三次平行试验。平行试验结果按试验数据的离散程度应进行弃差处理, 弃差标准为: 当一组试件的测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时, 该次试验数据应予以舍弃, 同时应保证每组试验的有效试件不少于 3 根。有效试件数为 n 时的 k 值如表 T0739-2 所示。

表 T0739-2 有效试件数为 n 时的 k 值

有效试件数(n)	临界值(k)	有效试件数(n)	临界值(k)
3	1.15	7	1.94
4	1.46	8	2.03
5	1.67	9	2.11
6	1.82	10	2.18

5.2 报告应包括如下内容:

5.2.1 混合料类型、集料公称最大粒径、沥青含量、集料来源、沥青品种、沥青混合料板块试件的制作日期、从路面切割试件的日期、空隙率等相关信息。

5.2.2 试验条件参数, 包括加载模式, 目标拉应变, 试验温度, 频率, 失效条件等。

条文说明

目前四点弯曲疲劳试验机通常提供两种加载波形, 即偏正弦和正弦, 国内外大量的试验研究证明, 移动的车轮荷载对路面产生接近于偏正弦曲线的应力应变效应, 本规范主要参照美国 AASHTO T321-03 标准, 采用偏正弦波作为疲劳试验的标准加载波形。

关于标准试验温度定于 15°C , 主要依据 1993 年哈尔滨建筑大学在交通部科研项目“沥

青路面设计指标与参数的研究”中,根据国内各地区的气温资料,最终计算得出的我国沥青混合料疲劳当量温度为 15°C 而定。且与现行沥青路面设计规范中取疲劳计算模量按 15°C 抗压模量标准相一致。除此原因外,选择一个相对较低的温度(低于美国标准的 20°C 试验温度 5°C)有利于获得一个更为真实的疲劳结果,主要因为疲劳试验过程是一个长时间的作用过程,在试验研究过程中发现:若在疲劳试验温度较高或沥青标号较大的情况下,试件容易在夹头部位发生较严重的蠕变变形(小应变水平情况下,会达到在厚度方向上 1mm 左右的变形),进而影响其本身与试验理论计算模型的相符性。实际上理想的情况是各地区通过气象资料研究得到各地的当量温度,再依据各自的当量温度进行疲劳试验。但目前国内尚未有各地区的当量温度计算方法与计算结果。现阶段而言,建议选择 15°C 作为试验温度,并允许根据需要开展不同温度的疲劳试验研究。

对试件的养生一般宜直接放入环境箱内进行养生,若采用恒温水浴进行养生,应在试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 条件下养生2小时以上,且试件应放入环境箱内仍应在试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 条件下稳定1小时后方可进行试验。

要求平行试验时对于试件尺寸或体积指标不合格的试件应作废。因此,必须具备足够的试件确保获得有效的试验数据。由于疲劳试验结果离散性比较大,因此,要求进行三次以上的平行试验,以便对平行试验结果进行统计分析,并剔除异常结果。

对试验所用的试件规定储存日期不超过30天,试验前应确保没有变形且未受到外力作用,否则将影响疲劳特性。在试件的存放期间,应该将试件水平放置在具有一定刚度的表面光滑的平板上。

在进行疲劳试验时,若要获得沥青混合料完整的疲劳特性,试验方案设计应覆盖一定温度范围,拉应变水平和加载频率。通常获得一条完整的疲劳曲线应选择三个或三个以上的试验水平,且疲劳寿命次数宜涵盖几千次至几百万次的范围。对于常规的基质沥青混合料,根据国内外大量的疲劳试验结果,建议选择的试验温度范围为 $5^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$;目标拉应变范围一般为 $200\mu\epsilon\sim 750\mu\epsilon$;加载频率范围为 $5\text{Hz}\sim 15\text{Hz}$ 。

对特殊沥青混合料的疲劳寿命试验,例如聚合物改性沥青、高黏度改性沥青、环氧沥青、或特殊级配沥青混合料,其测试条件应进行相应的调整。如聚合物改性沥青混合料测试的最小拉应变水平可采用在 $400\mu\epsilon$ 以上,钢桥面铺装用环氧沥青混合料或高沥青用量的应力吸收层材料测试的最小拉应变水平可选择在 $1000\mu\epsilon$ 以上,以上的试验条件仅供参考,对不同品种的沥青混合料,最合适的测试条件应通过实际试验后再确定。

本试验方法仅为确定沥青混合料四点弯曲疲劳寿命试验方法,尚未需涉及疲劳方程的建立等内容。通常认为一般情况下仅需获得疲劳寿命曲线图即够工程材料疲劳性能的比较与分析,无需建立疲劳寿命方程,且疲劳方程的建立方法较多,目前国际上也并没有统一的标准,若出于研究需要,各试验单位也可依据情况选定影响疲劳寿命的因素进行疲劳方程的研究。

本试验终止条件为弯曲劲度模量降低到初始弯曲劲度模量的50%对应的加载循环次数。

对于自行设定试验终止条件的疲劳试验，应注明试验终止条件。

T 0751—2011 乳化沥青稀浆封层混合料稠度试验

1 目的与适用范围

本方法规定用圆锥体测定乳化沥青稀浆封层混合料的稠度，用以检验乳化沥青稀浆封层混合料的摊铺和易性。在乳化沥青稀浆封层混合料的配合比设计中确定合适的用水量。

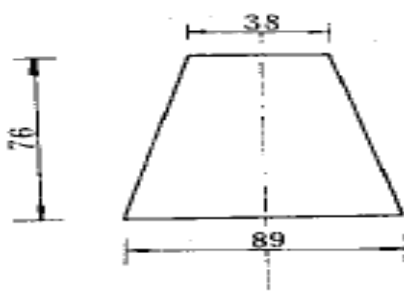
2 仪具与材料技术要求

2.1 乳化沥青稀浆封层混合料稠度仪：如图 T 0751—1 所示，由截头圆锥体及底板组成，金属制，圆锥体上下口内径为 38mm 及 89mm，高 76mm，壁厚 2mm。底板上有同心圆刻线。

2.2 金属板。

2.3 天平：感量不大于 1g。

2.4 其它：拌锅、拌铲。



a) 截头圆锥体

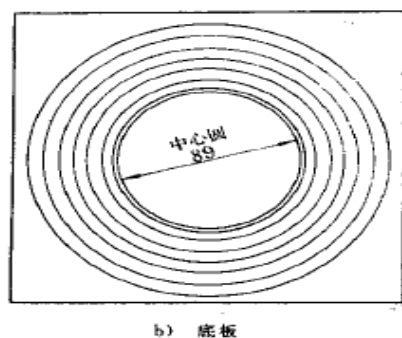


图 T 0751—1 乳化沥青稀浆封层混合料稠度仪（单位：mm）

3 方法与步骤

3.1 准备工作

按要求的级配准备粗、细集料及填料，烘干，称混合料总重 500g，准确至 1g。

3.2 试验步骤

3.2.1 拌锅内放入 500g 矿料拌匀。

3.2.2 加入预定的用水量拌匀。

3.2.3 加入定量的乳化沥青，拌和时间不少于 1min，不超过 3min，拌匀。

3.2.4 把圆锥体小端向下，放在金属板上，然后装入拌匀的稀浆混合料并刮平。

3.2.5 将稠度仪底板刻有同心圆的一面盖在圆锥体大端面上，使圆锥体大端外圆正好对准底板的中心圆上居中。

3.2.6 把圆锥体连同底板一起拿住倒转过来，使圆锥体大端向下立在底板上，立即向上提起圆锥体，让里面的混合料自然向下坍落。

3.2.7 量取坍下的稀浆混合料边缘离中心圆边的距离为稀浆的稠度，准确至 cm。

3.2.8 记录试验时的气温和湿度。

4 报告

报告应记述下列事项：

4.1 配制乳化沥青的乳化剂及沥青的品种，乳化剂用量，沥青含量。

4.2 矿料种类及级配。

4.3 用水量与稠度。

条文说明

近年来,乳化沥青稀浆封层施工工艺在我国逐渐得到广泛使用,因此对于稀浆混合料的室内试验也应有相应的试验方法,以便在试验室中预先确定稀浆混合料的合理配合比。因此本试验规程增补了有关乳化沥青稀浆封层混合料的试验方法。这些试验方法主要是参照美国的 ASTM、AASHTO 及 ISSA (国际稀浆封层协会) 的标准,并根据近年来我国的研究成果制定的。

ASTM D 3910 及 ISSA T 106 试验方法中,规定本试验必须在气温 $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\%\pm 5\%$ 的条件下进行。考虑到我国各地的试验室很难做到,而且与施工实际的温度、湿度条件也不一致,并无实际意义。因此本规程规定在室温条件下进行。

拿掉圆锥体后,坍落下来的稀浆混合料边缘离中心圆边线的距离为稀浆混合料的稠度。ASTM 及 ISSA 均规定此距离为 $2\text{cm}\sim 3\text{cm}$ 时最合适,并具有良好的施工性能。如稠度不在 $2\text{cm}\sim 3\text{cm}$ 范围内,适当调整用水量,重复 3.2.1~3.2.2 步骤,直至合格为止。

T 0752—2011 稀浆混合料湿轮磨耗试验

1 目的与适用范围

本方法适用于检验成型后的稀浆混合料的配伍性和抗水损害能力。可与负荷轮载试验一起确定混合料的最佳沥青含量。

2 仪器和材料技术要求

2.1 湿轮磨耗仪:如图 T0752,由下列部分组成:

2.1.1 磨耗头:磨耗头总重(包括橡胶磨耗管) $2270\text{g}\pm 20\text{g}$,其固定装置可在轴套内垂直 $12.7\text{mm}\pm 1.0\text{mm}$ 范围内自由活动。磨耗头的转速为自转 $140\text{r}/\text{min}\pm 2\text{r}/\text{min}$,公转为 $61\text{r}/\text{min}\pm 1\text{r}/\text{min}$ 。

2.1.2 磨耗管:磨耗管为内径 19mm ,壁厚 6.4mm ,长度 127mm 的橡胶软管,磨耗管外层应为聚氯丁橡胶,中间需加筋。磨耗管外层橡胶硬度为 $60\sim 70\text{HRC}$ 。

2.1.3 试样托盘:试样托盘为平底金属圆盘,内径不小于 320mm ,深度 $50\text{mm}\pm 5\text{mm}$ 。试样托盘可以方便取下,可依靠夹具与升降平台固定。

2.2 模板:边长为 360mm 的塑料板,中间有一直径为 $280\text{mm}\pm 1\text{mm}$ 的圆孔。试模厚度为 $6.4\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ 。

- 2.3 油毛毡圆片：直径为 286mm。
- 2.4 天平：称量 6000g，感量不大于 0.1g。
- 2.5 水浴：温度能控制在 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 2.6 烘箱：带强制通风，温度能控制在 $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
- 2.7 刮板：有橡胶刮片，长 300mm。
- 2.8 其它，拌锅和拌铲等。



图 T0752 湿轮磨耗仪

3 方法与步骤

3.1 试样制备

3.1.1 将烘干的矿料用 4.75mm 筛过筛后备用。

3.1.2 将油毛毡圆片平铺在操作台上，再将模板放在平整的油毛毡圆片上居中。

3.1.3 试样中各组分的配比以拌和试验所确定的矿料、填料、添加剂、乳化沥青或改性乳化沥青和水的比例为准，其中矿料为 4.75mm 筛余部分。

3.1.4 称取总重 800g 的矿料放入拌锅，掺入填料，拌匀，然后加入水拌匀，再加入乳化沥青或改性乳化沥青拌和，拌和时间不超过 $30\text{s} \pm 2\text{s}$ ，然后将拌匀的混合料倒入试模中并迅速刮平。对于快凝的混合料，整个操作过程宜在 45s 内完成。

3.1.5 取走模板，将试样放入 $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重，一般不少于 16h。

3.2 试验步骤

3.2.1 从烘箱中取出混合料试件，冷却到室温，称取油毛毡圆片及试件的合

计质量 (m_a), 准确至 0.1g。

3.2.2 浸水 1h 湿轮磨耗试验时, 将试件放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的水浴中保温 60min; 浸水 6d 湿轮磨耗试验时, 将试件放入 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的水浴中保温 6d。

3.2.3 把试件及油毛毡从水浴中取出, 放入试样托盘中, 往试样托盘中加入 25°C 的水, 使试件完全浸入水中, 水面到试件表面的深度不少于 6mm。

3.2.4 把装有试件的试样托盘固定在磨耗仪升降平台上, 提升平台并锁住, 此时试件顶起磨耗头。

3.2.5 开动仪器, 使磨耗头转动 $300\text{s} \pm 2\text{s}$ 后停止。每次试验后把磨耗头上的橡胶管转动一定角度以获得新的磨耗面 (用过的面不得使用), 或换上新的橡胶管。

3.2.6 降下平台, 将试件从盛样盘中取出冲洗, 然后放入 60°C 烘箱中烘至恒重。

3.2.7 从烘箱中取出试件, 冷却到室温, 称取试件与油毛毡的总质量 (m_b), 准确至 0.1g。

4 计算

磨耗值按式 (T 0752) 计算:

$$\text{WTAT} = (m_a - m_b) / A \quad (\text{T 0752})$$

式中: WTAT—稀浆混合料的磨耗值 (g/m^2);

m_a —磨耗前的试件质量 (g);

m_b —磨耗后的试件质量 (g);

A—磨耗头胶管的磨耗面积 m^2 (由仪器说明书提供)。

5 报告

5.1 当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时, 该测定值应予舍弃, 并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目为 3、4、5、6 个时, k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。一组试样个数一般不少于 3 个。

5.2 报告应包括: 混合料配方; 试件的湿轮磨耗值。

条文说明

本试验方法是参照国际稀浆罩面协会 ISSA T100, 对《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000) 中的乳化沥青稀浆封层混合料湿轮磨耗试验 (T0752-1993) 进行修订后

提出的。与 T0752-1993 相比, 本试验方法主要有以下修订: (1) 将制备试样的矿料由原来的合成矿料修订为筛除 4.75mm 以上部分的矿料; (2) 增加了浸水 6d 湿轮磨耗的试验方法; (3) 提出了湿轮磨耗试验仪的技术要求。

T 0753—2011 稀浆混合料破乳时间试验

1 目的和适用范围

本方法适用于确定稀浆混合料的破乳时间。

2 仪器与材料技术要求

本试验需要下列仪器和材料:

2.1 吸水白纸巾;

2.2 计时工具;

2.3 环型试模, 内径为 60mm, 试模厚度为 6mm 或者 10mm;

2.4 油毛毡: 尺寸 152mm×152mm ;

2.5 其它: 拌和杯和拌铲等。

3 方法与步骤

3.1 按照拌和试验确定的配合比称取矿料、水、乳化沥青或改性乳化沥青和添加剂。通常以干矿料 100g 为准。

3.2 将矿料、填料倒入杯中, 拌匀, 再将水、添加剂倒入杯中拌匀, 然后倒入乳化沥青或改性乳化沥青拌和, 时间不超过 $30s \pm 2s$ 。

3.3 取刚拌匀的稀浆混合料立即倒入油毛毡上的试模内, ES-1、ES-2、MS-2 型混合料采用 6mm 厚的试模, ES-3、MS-3 型混合料采用 10mm 厚的试模, 开始计时。

3.4 将试样在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境下成型, 对于微表处和快凝型稀浆封层试样, 隔 5 min 后, 用一张吸水白纸巾轻轻按压混合料表面, 如果在纸上没有见到褐色的斑点, 就认为乳化沥青已经破乳。如果有褐色斑点出现就再隔 5 min 重复测试。如果 1h 后仍未破乳, 就每隔 15 min 测试一次, 直至破乳为止; 对于慢凝型稀浆封层试样, 试验的时间间隔为 15min, 如果 1h 后仍未破乳, 就每隔 30 min 测试一次, 直至达到破乳为止。

3.5 记录破乳时间。注意每次按压的位置不要重复。

3.6 记录试验时的气温和湿度。

4 报告

4.1 同一试样平行试验两次，当两次测定值的差值符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为试验结果，准确至 5min。

4.2 报告应包括：混合料配方；试验温度、湿度；稀浆混合料的破乳时间。

5 允许误差

当试样破乳时间小于 60min 时，重复性试验的允许误差为 5min；当试样破乳时间大于 60min 时，重复性试验的允许误差为 15min。

条文说明

本试验方法是参照国际稀浆罩面协会 ISSA 的有关试验方法对《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000) 中的乳化沥青稀浆封层混合料初凝时间试验 (T0753-1993) 进行修订后提出的。实际上，稀浆混合料的破乳和初凝是两个不同的概念。初凝时间一般认为是黏聚力值达到 1.2N m 的时间通过黏聚力试验确定；而破乳时间是乳化沥青中的沥青和水分分离，沥青微粒吸附到石料上而水析出所需要的时间。因此，本试验方法称为“稀浆混合料破乳时间试验”。

在试验步骤里面，原方法要求隔 15min 测试，3h 后仍未破乳，就每隔 30 min 测试一次，直至达到破乳为止。修订后的步骤为隔 5min 测试，如果 1h 后仍未破乳，就每隔 15 min 测试一次，直至达到破乳为止。

T 0754—2011 稀浆混合料黏聚力试验

1 目的与适用范围

本方法适用于确定稀浆混合料的初凝时间和开放时间。

2 仪具和材料技术要求

2.1 黏聚力试验仪，见图 T0754，并应满足以下要求：

2.1.1 压头尺寸：压头呈圆柱形，由不锈钢材料制作，并牢固连接在气缸传力杆下部。压头直径 28.6 mm±0.1mm，压头厚度 28mm±1.0mm。

2.1.2 压头底部装有橡胶垫片，橡胶垫片直径 28.6 mm±0.1mm，厚度 6.4

mm±0.1mm，橡胶硬度为 60±2HRC。

2.1.3 压头高度与下落速度：压头底面距离底座顶面的高度适宜，既有足够的空间以方便放置和取下试样，又不得超过气缸行程，一般在 50mm～70mm。压头下落速度不应大于 8cm/s。

2.1.4 压头压力：在试样台上产生的压力为 128.5N±1.0N。

2.1.5 扭矩扳手：扭矩扳手套在传力杆上。扭矩表量程不小于 3.5N·m，宜采用数显式扭矩扳手，采用机械指针式扭矩扳手时，扭矩表应带有从动指针。

2.1.6 气缸：气缸活塞的行程不宜小于 75mm。

2.1.7 空气压力表：空气压力表量程 0～700kPa，分度 10kPa。

2.1.8 重复性：用 220 号粗砂纸做“黏聚力试验”，10 次试验扭矩扳手读数最大值和最小值的差值应小于 0.3 N·m，测量结果的标准差不应大于 0.2 N·m。

2.2 环型试模，内径为 60mm。ES-1、ES-2、MS-2 型混合料的试模厚度 6mm，ES-3、MS-3 型混合料的试模厚度 10mm。

2.3 计时工具；

2.4 砂纸（220 号）；

2.5 油毛毡：面积 150mm×150mm；

2.6 其它：拌和杯和拌铲等。

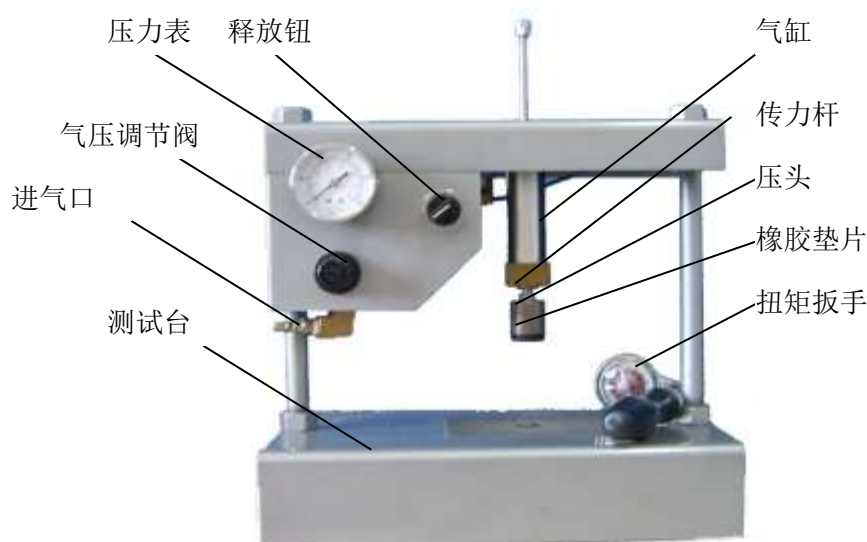


图 T0754 黏聚力试验仪

3 方法与步骤

3.1 黏聚力仪的标定：用 220 号粗砂纸做“黏聚力试验”，10 次试验扭矩扳手读数最大值和最小值的差值应小于 0.3 N.m，测量结果的标准差不应大于 0.2 N.m。

3.2 试样制备

3.2.1 按照拌和试验确定的混合料配比备料，通常以干矿料 300g 为准。

3.2.2 将矿料、填料倒入杯中，拌匀，再将水、添加剂倒入杯中拌匀，然后倒入乳化沥青或改性乳化沥青拌和，时间不超过 $30s \pm 2s$ 。

3.2.3 将稀浆混合料倒入预湿过的试模中，用油毡垫底，刮平，脱模并记时。

3.3 试验步骤

3.3.1 将试样在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境下养生 30min 后，将试件置于黏聚力试验仪的测试台上。

3.3.2 将气动压头压在试件上，此时空气压力表的读数应保持在 200 kPa。

3.3.3 保持压力不变，将扭矩扳手测力表归零并套住气缸杆上端，在 0.7s~1.0 s 内平稳、坚定、水平地扭转 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ ，读取扭矩扳手读数。

3.3.4 按以下四种情况描述试样的破损状态：

(1) 完全成型：试样没有任何破损或裂纹，没有集料散落情况出现，压头在试样表面打滑，表面沥青膜可能被磨掉而留下圆形痕迹（与黏聚力值 $2.6\text{N} \cdot \text{m}$ 等效）；

(2) 中度成型：试样表面没有裂纹出现，但压头下的集料会被碾落或黏起（与黏聚力值 $2.3\text{N} \cdot \text{m}$ 等效）；

(3) 初级成型：试样表面有一条裂纹出现（与黏聚力值 $2.0\text{N} \cdot \text{m}$ 等效）；

(4) 未成型：多条裂纹出现，甚至整个试样被碾散（黏聚力低于 $1.2\text{N} \cdot \text{m}$ ）。

3.3.5 升起压头，擦干净后待下次测试使用。

3.3.6 待试样养生 60min 后，重复 3.3 步骤进行测试。

4 报告

4.1 同一试样平行试验两次，当两次测定值的差值符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为试验结果，准确至 $0.1\text{N} \cdot \text{m}$ 。

4.2 报告应包括：混合料配方；试验温度、湿度，及其它环境条件；混合料 30min 和 60min 的黏聚力值，并描述 60min 黏聚力试样测试后的破坏状态。

5 允许误差

重复性试验的允许误差为 $0.2\text{N} \cdot \text{m}$ 。

条文说明

本试验方法是参照国际稀浆罩面协会 ISSA TB139 对《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000) 中的乳化沥青稀浆封层混合料固化时间试验 (T0754-2000) 进行修订后提出的。与 T0754-2000 相比, 本试验方法主要有以下改进: (1) 针对黏聚力值经常出现假相, 不能真实反应混合料成型情况的现象, 借鉴 ISSA TB139 提出了对试验后试样的破损情况进行描述的要求; (2) 借鉴 ISSA TB139 提出了黏聚力试验仪的标定方法; (3) 提出了黏聚力试验仪的技术要求; (4) 对试验方法名称进行了改动。

T 0755—2011 稀浆混合料负荷轮黏砂试验

1 目的与适用范围

本方法适用于控制稀浆混合料中沥青用量的上限。

2 仪器和材料技术要求

2.1 负荷车轮试验仪, 见图 T0755, 应满足以下要求:

2.1.1 碾压频率: 应选择适宜的电动机和齿轮减速器, 使橡胶轮的碾压频率满足 $44 \text{ 次/min} \pm 1 \text{ 次/min}$ 的要求。

2.1.2 曲柄半径: 与齿轮减速器相连的传动曲柄的半径为 $152\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。

2.1.3 橡胶轮尺寸: 橡胶轮直径 $76.5\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$, 橡胶厚度 $12.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$, 橡胶轮宽度 $26.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ 。

2.1.4 橡胶轮的橡胶硬度: 橡胶轮的橡胶硬度应在 60HRC~70HRC 之间。

2.1.5 橡胶轮位置: 橡胶轮轮轴至曲柄连杆绞接轴的水平距离为 $610\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

2.1.6 橡胶轮加载重量: 曲柄连杆, 连同配重、橡胶轮等通过橡胶轮作用在试样上的总重量为 $56.7\text{kg} \pm 0.5\text{kg}$ 。

2.1.7 橡胶轮跑偏量: 在加入规定的负荷后, 橡胶轮的跑偏量小于 2mm 。

2.2 加载物, 铁砂或铁块;

2.3 标准砂($0.15\text{mm} \sim 0.6\text{mm}$);

2.4 试模, 试模厚度分别为 $6.4 \text{ mm} \pm 0.1\text{mm}$ (II 型级配用)、 $12.7\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ (III 型级配用), 内部尺寸为长 $380.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$, 宽 $50.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$, 外部尺寸为长 $406.0\text{mm} \pm 1\text{mm}$, 宽 $76.0\text{mm} \pm 1\text{mm}$;

2.5 砂框架,钢质砂框架的内部尺寸为长 355.0mm±1.0mm,宽 38.0mm±1.0mm ,厚度为 5.0 mm±0.5mm。砂框架底部应黏贴厚度为 6 mm 左右的泡沫橡胶,防止试验过程中砂外泄;

2.6 钢盖板,尺寸为长 353mm ,宽 36mm,高 3mm;

2.7 台称,称量为 100kg,感量为 0.5kg;

2.8 天平,称量为 2000g,感量为 0.1 g;

2.9 烘箱,带强制通风,温度能控制在 $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$;

2.10 筛子,孔径为 0.6mm 和 0.15mm ;

2.11 其它:拌锅和拌铲等。

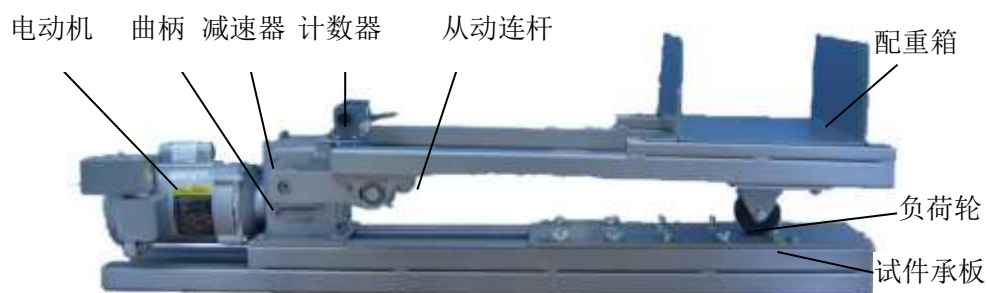


图 T0755 负荷车轮试验仪

3 方法与步骤

3.1 试样制备

3.1.1 按要求的级配准备粗、细集料及填料,烘干。

3.1.2 按照试模厚度一般比最大矿料粒径大 25% 的原则选择合适厚度的试模。

3.1.3 试样中各组分的配比以拌和试验所确定的矿料、填料、添加剂、乳化沥青或改性乳化沥青和水的比例为准。

3.1.4 称取总重 500g 的矿料放入拌锅,掺入填料,拌匀,然后加入水拌匀,再加入乳化沥青或改性乳化沥青拌和,拌和时间不超过 $30\text{s} \pm 2\text{s}$,然后将拌匀的混合料倒入试模中并迅速刮平,刮平过程宜一次完成,不能反复刮,整个操作过程宜在 45s 内完成。成型的试件表面应均匀,否则应废弃。

3.1.5 取走试模,把试样放入 60°C 的烘箱中烘至恒重,一般不少于 16 h。取出试样,冷却至室温备用。

3.2 试验步骤

3.2.1 将负荷车轮试验仪调整好，使负荷为 56.7kg。

3.2.2 将试样正确安装在试件承板上。

3.2.3 保持试验温度在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.4 将橡胶轮放下，压到试样上。

3.2.5 将计数器复位到零，调整碾压频率为 44 次/min。

3.2.6 开机碾压 1000 次后(碾压过程中如发现试样上出现发黏现象或明显发亮时，可洒少量水防止轮子黏起样品)，停机、卸载、冲洗、烘干至恒重(60°C ，不少于 16 h)，冷却至室温并称重 G_1 ，准确至 0.1g。

3.2.7 把试样重新装在仪器的原来位置上。把砂框放在试样上对好位置，把 300g 82°C 的热砂倒入砂框架中摊平(或称取 200g 82°C 的热砂倒入砂框架中摊平，将钢盖板放在砂框架中间)，然后将橡胶轮放下开机碾压 100 次。

3.2.8 取下试样，用毛刷刷去试样上的浮砂，然后称重 G_2 ，准确至 0.1g。

4 计算

黏附砂量按式 (T 0755) 计算：

$$\text{LWT} = (G_2 - G_1) / A \quad (\text{T 0755})$$

式中：LWT—稀浆混合料的黏附砂量 g/m^2 ；

A—碾压面积， m^2 ；

G_1 —经过 1000 次碾压、冲洗和烘干后的试件质量，g；

G_2 —经过加砂碾压 100 次后试件质量，g。

5 报告

5.1 当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目为 3、4、5、6 个时，k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。一组试样一般不少于 3 个。

5.2 报告应包括：混合料配方；试件的黏附砂量。

条文说明

本试验方法是参照国际稀浆罩面协会 ISSA TB109 对《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000) 中的乳化沥青稀浆封层混合料碾压试验 (T0755-2000) 进行修订后提出的。与 T0755-2000，本试验方法主要有以下改进：(1) 对试验方法名称进行了改动；(2) 提出了负荷车轮试验仪的技术要求；(3) 调整和进一步明确试验步骤。

T 0756—2011 稀浆混合料车辙变形试验

1 目的和适用范围

本方法适用于测定微表处混合料的抗车辙能力。

2 仪器和材料技术要求

2.1 负荷轮载试验仪，同 T 0755；

2.2 加载物，铁砂或铁块；

2.3 试模，试模厚度分别为 $12.7\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ，内部尺寸为长 $380.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ ，宽为 $50.0\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ ，外部尺寸为长 $406.0\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ，宽 $76.0\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ；

2.4 台称，称量 100kg，感量为 0.5kg；

2.5 天平，称量 2000g，感量为 0.1 g；

2.6 烘箱，带强制通风，温度能控制在 $60 \pm 3^\circ\text{C}$ ；

2.7 游标卡尺；

2.8 其它，拌锅和拌铲等。

3 方法与步骤

3.1 试样制备

3.1.1 试样制备与 T0755 中负荷车轮黏附砂试验的试样制备相同。

3.1.2 试样烘干至恒重，冷却至室温后，量测试样的宽度 L_a 和厚度 V_a ，准确至 0.1mm。

3.2 试验步骤

3.2.1 将负荷车轮试验仪调整好，使负荷为 56.7kg。

3.2.2 将试样正确安装在试件承板上。

3.2.3 保持试验温度在 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。

3.2.4 将橡胶轮放下，压到试样上。

3.2.5 将计数器复位到零，调整碾压频率为 44 次/min。

3.2.6 开机碾压 1000 次。

3.2.7 取下试样，测量碾压后的试样宽度 L_b 和车辙深度 V_b ，准确至 0.1mm。

4 计算

试样的宽度变形率和车辙深度率按式（T 0756-1）和（T 0756-2）计算：

$$PLD=(L_b-L_a) \times 100 / L_a \quad (T0756-1)$$

$$PVD=V_b \times 100 / V_a \quad (T0756-2)$$

式中： PLD-微表处试样单位宽度的变形率，%；

PVD-微表处试样单位厚度的车辙深度率，%。

5 报告

5.1 当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目为 3、4、5、6 个时，k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。一组试样一般不少于 3 个。

5.2 报告应包括：混合料配方；试件的宽度变形率和车辙深度率；试验前试件的宽度和厚度；试验温度。

条文说明

微表处混合料可以用于车辙填充，但是，目前我国还没有相关的试验评价方法。为此，借鉴 ISSA T147 制订本试验方法，用于评价微表处混合料的抗车辙能力。

T 0757—2011 稀浆混合料拌和试验

1 目的与适用范围

本方法适用于确定稀浆混合料的可拌和时间和成浆状态。

2 仪器与材料技术要求

2.1 容积为 300ml~500ml 的拌和杯（硬质纸杯、塑料杯等），拌和匙一把；

2.2 天平，量程不低于 1000g，感量不大于 1g；

2.3 秒表一只；

2.4 油毡若干。

3 方法与步骤

3.1 在拌和杯中放入一定量的工程实际用矿料（通常为 100g）、固体添加剂，拌匀，再将水、液体添加剂等倒入锅中拌匀，然后倒入一定量的乳化沥青或改性乳化沥青，并开始计时。

3.2 在乳化沥青或改性乳化沥青倒入后的最初 3s~8s 内用力快速拌和，然后用

拌和匙沿杯壁顺时针均匀拌和，一般每 60r/min~70 r/min，注意观察混合料的拌和状态。

3.3 当稀浆混合料变稠，手感到有力时，表明混合料开始有破乳的迹象，记录此刻的时间，即为可拌和时间。

3.4 继续拌和，当混合料完全抱团，无法拌和时，记录此刻的时间，称为不可施工时间。

3.5 混合料的可拌和时间不能满足要求时，重新调整混合料的配方，重复进行上述试验步骤。

3.6 记录试验时的气温和湿度。

3.7 按照拌和时间满足要求的配方重新称料、拌和，拌和 30s 后摊到油毡上铺平，厚度约 8mm。将试样在室温下放置 24h 后，观测集料与沥青的配伍性和沥青用量大小，方法见表 T 0757。

4 报告

4.1 同一试样平行试验两次，当两次可拌和时间测定值的差值符合重复性试验允许误差要求时，取其平均值作为试验结果，准确至 5s。可拌和时间试验结果大于 180s 时记为>180s。

4.2 报告应包括：混合料配方；各种混合料配方下的可拌和时间；不可施工时间和拌和状态；拌和试验的温度、湿度、日照等环境条件；根据表 T0757 定性描述成型后试样沥青用量大小与配伍性。

5 允许误差

当试样可拌和时间小于 120s 时，重复性试验的允许误差为 10s；当试样可拌和时间大于 120s 时，重复性试验的允许误差为 15s。

表 T 0757 试样沥青用量大小与配伍性优劣的判断依据

项目		试样的表观效果
沥青用量	偏小	试样呈棕黄色；用手在试样表面捻动会有颗粒散落
	偏大	试样表面有油膜，用手捻动会黏手
混合料配伍性	好	试样呈黑色，手掰有韧性，石料与沥青裹附良好
	差	试样呈棕黄色，脆，易掰开，掰开后可见未裹附沥青膜的石料

条文说明

本方法是参照国际稀浆罩面协会 ISSA TB113 对《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)中的乳化沥青与矿料的拌和试验(T0659-1993)进行修订提出的。T0659-1993 采用固定比例掺配的矿料,经过固定时间的拌和,观察矿料与乳液裹附是否均匀。本拌和试验方法则是采用工程实际用矿料和乳化沥青,以拌和时间的长短评价稀浆混合料的可操作时间,并根据试样成型情况定性判断混合料配伍性的好坏,对工程实际有更强的指导性。

T 0758—2011 稀浆混合料配伍性等级试验

1 目的与适用范围

本方法适用于测定特定级配的集料与改性乳化沥青之间的配伍性。

2 仪具与材料技术要求

2.1 旋转瓶试验仪,见图 T0758-1,应满足以下要求:

2.1.1 旋转速度:旋转瓶试验仪的旋转由电动机带动,通过齿轮减速器和链条传动带动旋转瓶的旋转,旋转速度应满足 $20\text{r/min} \pm 0.5\text{r/min}$ 的要求。

2.1.2 磨耗管内径和长度:磨耗管由丙烯酸材料制成(见图 T0758-2),内径 $60\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,内部高度 $400\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。



图 T0758-1 旋转瓶磨耗仪

2.1.3 磨耗管的固定位置:磨耗管通过旋紧螺丝以垂直于旋转轴的方向固定在转轴两侧。磨耗管中心轴与旋转轴的水平距离为 $70\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 。

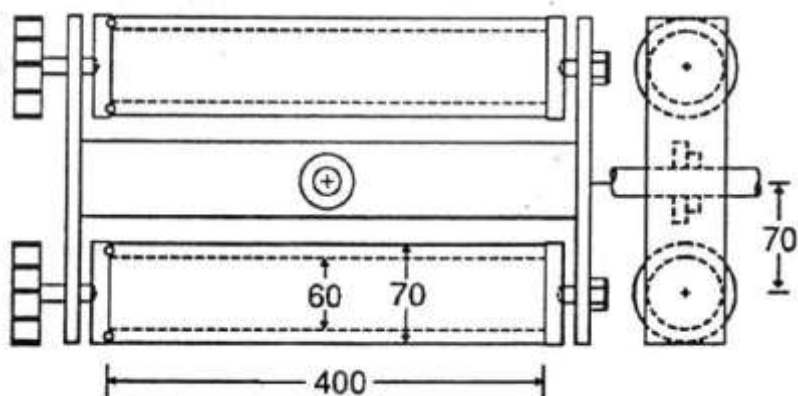


图 T0758-2 磨耗管样式 (单位: mm)

2.1.4 试模尺寸: 试模, 由不锈钢制作的一个底座、一个压头和一个套管组成。压头和底座的尺寸见图 T0758-3。套管的内径 30mm, 高 70mm。压头直径、压头的下部长度、套管内径套管长度的公差为 $\pm 0.1\text{mm}$, 底座上部直径的公差为 -0.1mm , 其余尺寸的公差为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

2.1.5 压头的压力: 采用气压装置或者万能压力机通过压头对待成型试样进行压力成型。压力应稳定在 $1000\text{kg} \pm 2\text{kg}$ 。

2.2 天平, 感量 $0.01\text{g} \pm 0.005\text{g}$;

2.3 烘箱, 带强制通风, 温度能控制在 $60^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$;

2.4 直径 50mm、高 50mm 的镀锌金属吊篮, 可以合适的方式悬挂于沸水中。

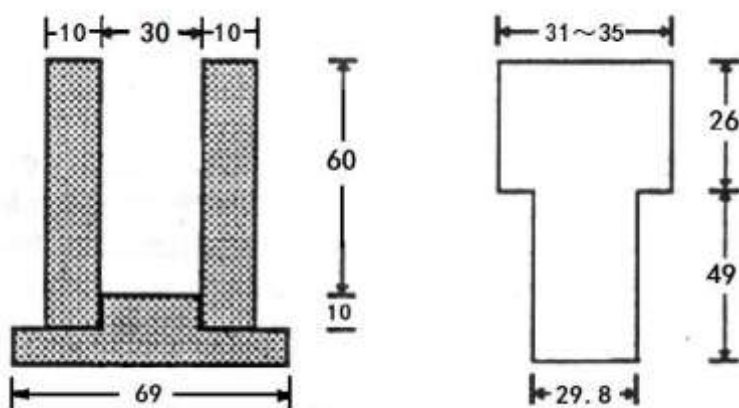


图 T0758-3 试模和压头的样式 (单位: mm)

3 方法与步骤

3.1 试样制备

3.1.1 将集料筛分和复配。复配后的集料应满足如表 T0758-1 的级配要求:

表 T0758-1 配伍性分级试验用集料级配要求	
筛孔 (mm)	质量百分比 (%)
0.6-2.36	25
0.3-0.6	40
0.075-0.3	15
<0.075	20

3.1.2 试验用集料也可不进行筛分和复配,而是将实际级配矿料筛除 2.36mm 以上部分后使用,这时需在试验结果中注明。

3.1.3 取 200g 准备好的集料、2g 水泥或其它外加剂、充足的水放入拌和容器中搅拌均匀;

3.1.4 加入相当于纯沥青含量 $8.1\% \pm 0.1\%$ 的乳化沥青进行拌和,直至破乳;

3.1.5 将破乳的混合料移至一个平盘中养生至少 1h,然后移入 60°C 烘箱中烘至恒重;

3.1.6 将在 60°C 烘干的 $40\text{g} \pm 1\text{g}$ 均匀搅拌的混合料放入试模中,预热至 60°C ,然后立即用 10kN 的压力对混合料加压 1min,然后脱模。

3.2 试验步骤

3.2.1 将脱模后的试样晾至室温,除去试样表面的松散物质,称其质量,准确至 0.01g。

3.2.2 将试样放在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水中养生 6d。

3.2.3 取出试样,用滤纸将试样表面擦干至滤纸表面无湿点为止,称其质量,记为吸水重。

3.2.4 将试样放入盛有 $750\text{ml} \pm 25\text{ml}$ 蒸馏水(或纯净水)的磨耗管中,拧紧磨耗管两端的盖子后放到旋转瓶磨耗仪上;

3.2.5 开启旋转瓶磨耗仪,以 1200r/h 的速度转 $3\text{h} \pm 3\text{min}$;

3.2.6 取出试样,用滤纸将试样表面擦干至滤纸表面无湿点为止,称其质量,准确至 0.01g,记为磨耗重。用吸水重减去磨耗重得到试样的磨耗损失。

3.2.7 将磨耗后的试样放在吊篮上,放至沸腾的水中煮 30min。

3.2.8 取出试样,选取最大的一块试样,将表面擦干后称取质量,将该质量占吸水重的比例记为完整率。

3.2.9 将试样在空气中干燥 24 小时,估计试样表面沥青膜裹附面积占试样总表

面积的比例，记为裹附率。

4 计算

按表（T 0758-2）进行混合料配伍性分级：

表 T0758-2 混合料配伍性等级计算方法

配伍性分级	等级值	磨耗损失 (g)	裹附率 (%)	完整率 (%)
A	4	0~0.7	90~100	90~100
B	3	0.7~1.0	75~90	75~90
C	2	1.0~1.3	50~75	50~75
D	1	1.3~2.0	10~50	10~50
E	0	>2.0	0	0

5 报告

报告应包括：集料级配情况；磨耗损失、裹附率和完整率分别对应的配伍性分级；求取磨耗损失、裹附率和完整率分别对应的等级值的和，记为配伍性等级值。

6 允许误差

当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予以舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试样数目为 3、4、5、6 个时， k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。一组试样一般不少于 3 个。

条文说明

配伍性分级试验是微表处混合料性能的重要评价方法，可以较好的评价改性乳化沥青与细集料的配伍性。为此，借鉴 ISSA T144 制订本试验方法，用于评价微表处混合料的配伍性和抗水损坏能力。

T 0759—201X 冷补沥青混合料贯入强度试验

1 目的与适用范围

本试验适用于评价冷补沥青混合料的施工和易性能和施工后的初期强度。

2 仪器与材料

2.1 贯入测试仪，由测试盒、适配器、强度仪组成(示意图分别见图 2-1~图 2-3)，应满足以下要求：

2.1.1 测试盒

测试盒呈正方体，由不锈钢材料制作，内壁边长为 $102\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。顶面不封闭，其中一个侧面中心留有直径为 $10\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 的圆孔。

2.1.2 贯入仪

一种简易的便携式贯入测试仪，测试范围为 $0\text{ kg/cm}^2 \sim 4.5\text{ kg/cm}^2$ 。

2.1.3 适配器

长 75mm ，顶部为直径 9.5mm 的金属器。

2.2 冰箱，控温精度为 1°C 。

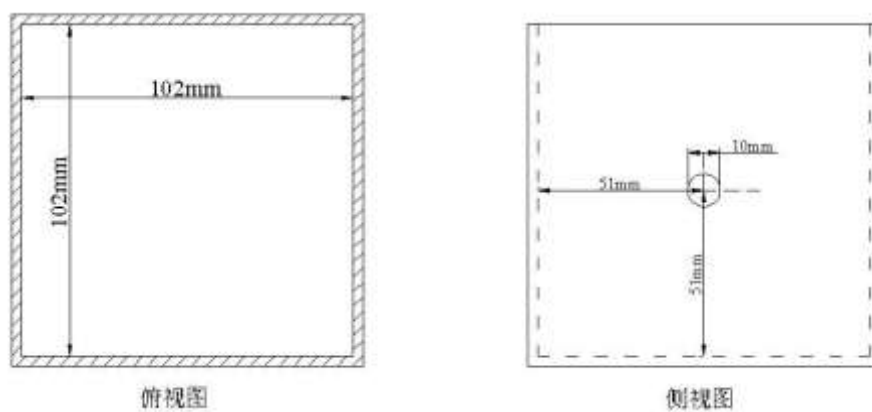


图 2-1 测试盒示意图

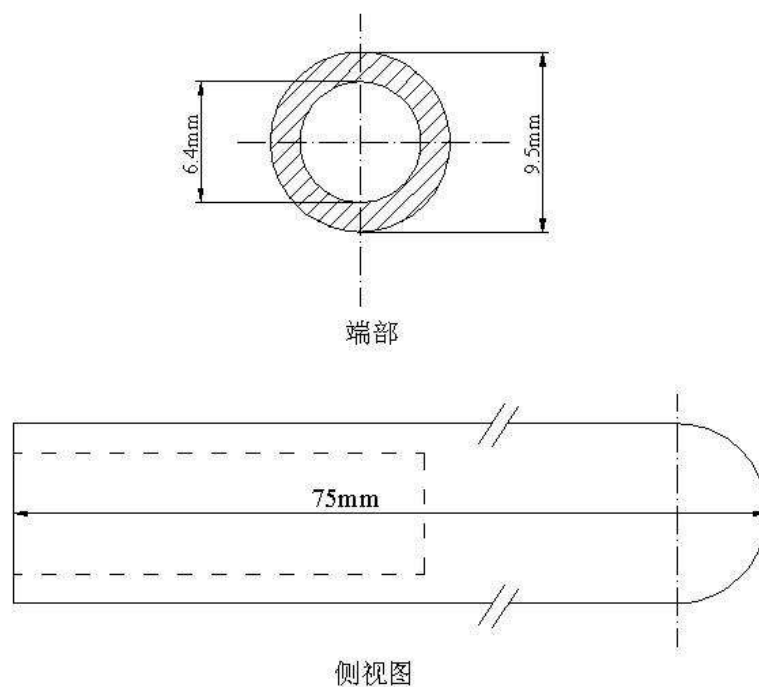


图 2-2 适配器示意图



图 J.1.2-3 贯入试验仪

3 方法与步骤

- 3.1 将冷补料放入测试盒中装满，注意松散放入，勿需压实；
- 3.2 置于 $4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的冰箱中保温不少于 3h；
- 3.3 将贯入头匀速插入测试盒侧壁的小孔中，贯入过程持续时间为 2s，记录贯入仪上的读数；
- 3.4 取三个试件的平均值记为该冷补料的贯入强度。

条文说明

新修订的《公路沥青路面施工技术规范》，其增补了冷补沥青混合料相关试验方法。为此，本规程根据其附录，增补了冷补沥青混合料贯入强度、黏附性能试验和浸水马歇尔试验。

T 0760—201X 冷补沥青混合料黏附性能试验

1 目的与适用范围

本试验适用于评价冷补液与集料的黏附性能。

2 仪器与材料

- 2.1 容积为 1000ml 的烧杯一个；
- 2.2 玻璃棒一根；
- 2.3 天平，感量不大于 1g；
- 2.4 秒表一只；
- 2.5 白纸若干。

3 方法与步骤

- 3.1 在 1000ml 的干净烧杯中注入 800ml 左右的蒸馏水，加热至沸腾；
- 3.2 取 250g 的冷补料放入沸水中，并开始记时。试验时以 1 周/秒的速率用玻

璃棒搅拌，持续 3 分钟；

3.3 停止加热并将水面上漂浮的沥青撇去以免二次裹附；

3.4 将水冷却至室温，倒掉水分并将湿混合料放到白纸上；

3.5 按表 K.2.3 目测判断评定黏附性等级。

表 2.3 冷补液黏附性等级

试验后集料表面上沥青膜剥落情况	黏附性等级
沥青膜完全保存，剥离面积百分率接近于 0	5
沥青膜小部分为水所移动，厚度不均匀，剥离面积百分率小于 10%	4
沥青膜局部明显地为水所移动，基本保留在集料表面上，剥离面积百分率小于 30%	3
沥青膜大部分为水所移动，局部保留在集料表面上，剥离面积百分率大于 30%	2
沥青膜完全为水所移动，集料基本裸露，沥青全浮于水面上	1

T 0761—201X 冷补沥青混合料浸水马歇尔试验

1 目的与适用范围

本试验适用于评价冷补沥青混合料的成型强度和水稳定性。

2 仪器和材料

2.1 马歇尔模具及马歇尔击实仪、马歇尔稳定度仪、脱模器；

2.2 烘箱、天平、游标卡尺、恒温水槽。

3 方法与步骤

3.1 称取 1100g 左右的冷补料常温装入马歇尔试模中，双面击实 25 次；一组试件的数量不少于 4 个；

3.2 连同试模一起以侧面竖立方式置 110℃烘箱中养生 24h，取出后再双面击实 25 次，制作成马歇尔试件，试件高度应满足 $63.5\text{mm} \pm 1.3\text{mm}$ ；

3.3 脱模后在 25℃恒温水槽中养生 60min，进行马歇尔试验，测试其稳定度，取一组试件的平均值；

3.4 另一组试件脱模后在 25℃恒温水槽中养生 48h，进行马歇尔试验，测试其稳定度，取一组试件的平均值。

4 计算

按式（3.4）计算残留稳定度比，准确至 0.1：

$$R_{MS} = MS_{48} / MS_1 \times 100 \quad (J.3.4)$$

式中：R_{MS}—残留稳定度比，%；

MS₁—恒温水槽中养生 60min 的试件稳定度平均值，kN；

MS₄₈—恒温水槽中养生 48h 的试件稳定度平均值，kN。

T 0762—201X 压实沥青混合料密度试验(真空密封法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定吸水率大于 2%的沥青混凝土或沥青碎石混合料试件的毛体积相对密度或毛体积密度。标准温度为 25℃ ±0.5℃。

1.2 本方法测定的毛体积相对密度适用于计算沥青混合料试件的空隙率、矿料间隙率等各项体积指标。

1.3 本方法可作为 AASHTO-T275 蜡封法的替代试验方法。

2 仪具与材料技术要求

2.1 真空密度测试仪。

2.2 真空泵：1.25HP 旋转真空泵；真空度：29.95 in.Hg, 1.33 MBARS。。

2.3 真空室尺寸：425×184×497mm。

2.4 密封条：406mm 自动的双金属线密封条。

2.5 聚合物密封袋：不透水及密封性能良好、柔软抗穿透，可分别用于 4 英寸、6 英寸等不同试样密封。试验时根据试件大小选用合适的密封袋。

2.6 浸水天平或电子天平：当最大称量在 3kg 以下时，感量不大于 0.1g；最大称量 3kg 以上时，感量不大于 0.5g，应有测量水中重的挂钩。

2.7 网篮。

2.8 试件悬吊装置：天平下方悬吊网篮及试件的装置，吊线应采用不吸水的细尼龙线绳，并有足够的长度。

2.9 水箱：使用洁净水，有水位溢流装置，保持试件和网篮浸入水中后的水位一定。

2.10 温度计，分度 0.1℃。

2.11 其他：剪刀、秒表、电风扇、电炉或燃气炉等。

图 T 0707-1 为 Corelok 真空密封装置和密封试件照片。



图 T0762-1 真空密封装置和密封试件

3 方法与步骤

3.1 选择适宜的浸水天平或电子天平，最大称量应满足试件质量的要求。

3.2 称取干燥试件的初始质量记作 A，根据选择的天平感量读数，准确至 0.1g 或 0.5g;当为钻芯法取得的非干燥试件时，应用电风扇吹干 12h 以上至恒重作为空中质量。

3.3 密封试样，根据试件尺寸大小选择合适的密封袋，按照说明书设置密封条加热温度。

3.4 打开一个新密封袋，将试件放入密封袋袋内，此时注意将试件光滑的一面置于底部，密封袋密封处距试件保留 25mm 的距离。

3.5 关闭真空室，真空泵的指示灯变红，并且真空室外部的真空表开始转动，数字式仪表读数显示真空状态，这一过程中密封袋通常会膨胀。

3.6 一旦密封后，减压阀打开，环绕在密封袋试件周围的空气将会逸出到真空室中。

3.7 将密封盖打开，从真空室内小心将密封的试件取出，轻拉密封袋的任何部位，检查是否有松弛区域，如果有松弛表明试件密封不严，此时需要按照 3.2 的步骤重新开始密封试件。

3.8 称取密封试件质量：将试件从真空室内取出后，置于天平上快速称重并记录其质量为 B。

3.9 密封试件的水中质量：将密封试件放于 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的水中称重，须注意将试件及袋子全部浸入水中，注意密封袋不要接触水箱边，测得水中重，记为 C。

3.10 检查：从水箱中取出密封试件，小心将试件从密封袋中取出，将附着密封袋上的水分轻轻拍掉，使密封袋成半干状态，称取密封袋质量记为 D，同时称取试件的空中质量记做 E，并与初始质量相对比，如果质量损失小于 0.08%，或者增重小于 0.04%，即可通过检查，质量损失或增加可能是由于袋子泄露的原因，如果检查不通过，须将密封袋拿走，并且重新按 3.2 的步骤重新开始试验。

4 计算

4.1 按式(T 0707-8)计算试件毛体积相对密度。

$$\gamma_f = \frac{A}{(B-C) - \left[\frac{B-E}{F} \right]} \quad (\text{T 0762-8})$$

式中： γ_f - 试件毛体积相对密度，无量纲；

A-干燥试件的质量，g；

B-密封试件的质量，g；

C-密封试件的水中质量，g；

E-密封袋取走后，试件的空中质量，g；

F-密封袋相对密度，根据厂家提供的公式计算密封袋相对密度。

4.2 按式(T 0707-9)计算试件的毛体积密度。

$$\rho_f = \gamma_f \times \rho_w \quad (\text{T 0762-9})$$

式中： ρ_f — 真空密封法测定的试件毛体积密度，g/cm³；

ρ_w — 在 25℃ 温度条件下水的密度，取 0.9971 g/cm³。

5 按本规程 T 0705 的方法计算试件的理论最大相对密度及空隙率、沥青的体积百分率、矿料间隙率、粗集料骨架间隙率、沥青饱和度等各项体积指标。

条文说明

本方法参考 ASTM D7370 真空密封法 (CoreLok) 编写。

T 0763—201X 沥青混合料重复压缩试验（三轴压缩）

1 目的与适用范围

1.1 本试验方法可评估圆柱形沥青混合料的抗车辙性能。试件可在试验室环境

下制备，也可通过钻芯取样的方式从实际沥青路面中取得。

1.2 本试验为一种三轴循环压缩试验，可用来评价沥青混合料的蠕变特性。在该试验中，圆柱形试样受到约束应力和循环轴向应力。

2 仪具与材料技术要求

2.1 试验系统

2.1.1 常规试验

轴向加载系统由两个钢质加载压板构成，试样放置在其间。应通过伺服液压、气动、电磁或其他系统，向试件施加静态约束应力和轴向循环压力，该系统能产生精度不少于 $\pm 2.0\%$ 的应力荷载。

应将试件放入适当的保护装置中与封闭介质分隔。保护装置一方面限制气体（空气）或液体（水，油）的进入，另一方面防止试件的直接接触。

注：橡胶套（箔）可用作适当的保护。

如图 1-图 3 所示，依据施加约束应力的方式，包含三种类型的三轴试验系统。

a) 如图 1 所示的试验系统中，应将整个试件（含上下加载压板）装入橡胶套（或箔）中。橡胶套应保证压板周边密封，以确保进水、油或空气不会进入。

注：可通过 O 形环来实现这一功能。

整个装置应安装在试验台中，并在试件周围布置压力传感器。利用水、油或空气作介质，通过对荷载单元加压对试件施加约束应力，随后施加轴向循环荷载。

b) 在图 2 所示的试验系统中，应将试件放置在“压力环”中，对其施加侧向约束应力。

注：可通过在试件周围安装适当尺寸的轮胎内胎，并给轮胎充气来实现这一目的。

将试件安装在装置系统中，使荷载板与试件接触，然后施加所需的横向约束应力。施加横向约束应力后，应通过荷载压板向试件施以恒定的轴向应力（大小等于膨胀应力），以在试件各个方向均产生约束应力。随后施加轴向循环荷载。

c) 在图 3 所示的试验系统中，将试件密封在橡胶套中，并抽取试样周围的空气，形成半真空状态来实现约束应力。

注：密封工作可通过两个 O 形圈完成，将其固定在两个专门设计的加载板周边的专用槽中。为了便于抽取空气，下加载板可以是空心的，并在其顶面上，可以径向分布一系列的排水孔。底座上有一个出气口，通过压力调节器和压力表与

真空泵连接。

通过抽取空气形成半真空来实现对试件的有效约束应力，之后开始施加轴向循环荷载。

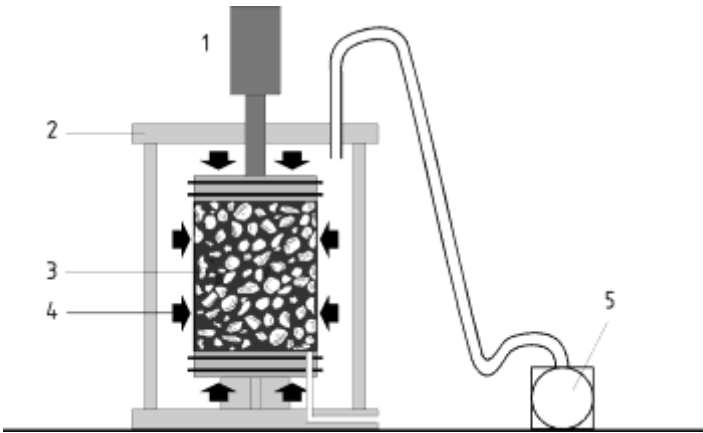


图 1 压力传感器的三轴循环压缩试验装置示意图

1 动压制动器	4 约束应力
2 压力单元	5 压缩机
3 试件	
T_0 松弛持续时间	

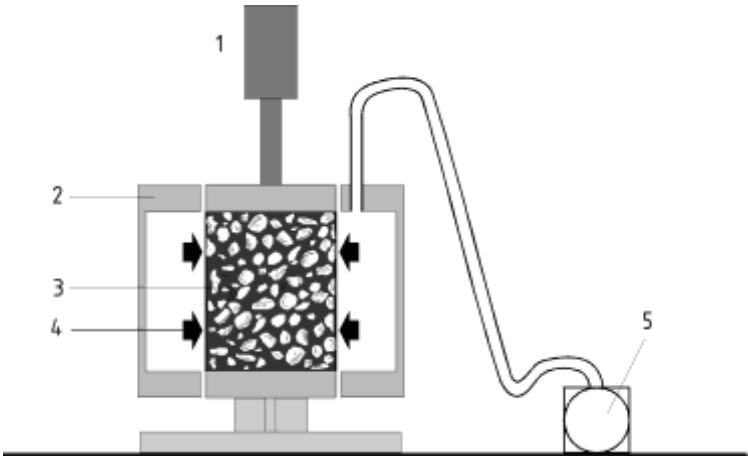


图 2 带有压力环的三轴循环压缩试验装置示意图

1 轴向压力制动器	4 横向压力
2 压力环	5 压缩机
3 试件	

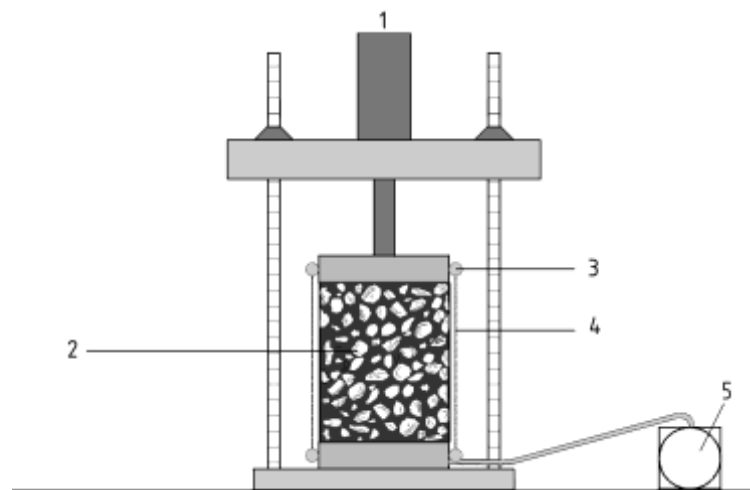


图 3 利用半真空状态实现约束应力的三轴循环压缩试验装置示意图

1 动压制动器	4 真空膜
2 将试件置于半真空状态下	5 真空泵
3 'O'形环	

2.1.2 加载板

当施加 250kPa 应力时加载板的变形应小于 $2\mu\text{m}$ 。

注：可通过施加 250kPa 应力时变形小于 2m 的标准样品，或将两个加载板互相叠压来验证。

加载板表面应平整光滑，两板之间的距离应能放置试件。

选择直径稍大于试件直径的加载板，以免在严重径向变形的情况下，部分试件无法加压。加载板直径应略大于 10mm。

2.1.3 控制系统：分别控制约束应力和循环轴向应力。

2.1.4 加载传感器应具备测量所需应力的量程，并满足传感器精度 0.2 级的标准。加载传感器安装时的共振频率应至少是试验频率的 10 倍。

2.1.5 位移传感器：测量试验时试件高度的变化。测量应在加载板间或直接对试件进行。传感器精度应至少符合 0.2 级的标准。传感器安装时的共振频率应至少是试验频率的 10 倍，传感器量程不应低于 10mm。

2.1.6 数据采集系统：用于控制和采集来自加载和位移传感器的信号。测量仪器，包括放大器，应能够以不低于 2% 的精度下读取应力和位移。

注：任何能满足追踪试验期间蠕变曲线图形的跟踪系统都可被使用。

2.1.7 温控箱：温度控制精度应不低于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。建议将整个试验设备放入温控室内，将试件安装在该温控箱中。

2.2 试验仪器和附件

2.2.1 天平：确定堆积密度。

2.2.2 游标卡尺：测量试件尺寸。

2.2.3 干燥室：温度介于 15℃ -25℃ 间。

2.2.4 存储区域：温度介于 5℃ -25℃ 之间。

2.2.5 涂层：涂抹试件端面的膜-润滑油-膜系统。该膜可以从土工胶乳橡胶膜上切下的圆盘，或与试件直径相同的等效物。在两层膜之间的涂抹硅油。

3 试验准备

3.1 每组试验应准备至少 2 个试件。

3.2 试件为圆柱状，用电锯切割试件的两端，使其平整并相互平行。建议使用具有平行叶片的金刚石锯来进行切割。试件顶端和底端应相互平行，且垂直于圆柱体的轴线（即夹角为直角，误差不超过 2°3°）。用手触摸试件表面，如果均匀没有明显瑕疵，则平整度满足要求；否则应对试件进行锯切/抛光处理。处理后的试件应在不超过 25℃ 的环境下进行干燥。

注 经过至少 8 小时的干燥后，当间隔 4 小时的两次称重结果差异小于 0.1% 时，则认为试件已充分干燥。

3.3 使用不同类型混合料的试件尺寸时，尺寸须满足以下要求：

如果公称最大粒径小于或等于 16mm，则直径和高度最小值均应为 50mm；

如果公称最大粒径大于 16mm，则直径和高度最小值均应为 75mm；

注 1 为了简化试验，一些设备使用试件的最小尺寸。另一些设备为了获得均匀的应力状态，因此使用更高的试件，此时试件的高径比介于 1.25 到 2 间。这使试验更为复杂，而且某些尺寸的试件，不可能直接从道路上通过钻芯取样获得。

注 2 已知蠕变参数取决于试件的高径比。因此，在不同尺寸试件上获得的试验结果，通常不能拿来定量对比。针对给定沥青混合料的试验结果，应根据明确的试件尺寸和项目要求，来评估材料的抗车辙性能是否能被接受。

如果集料的公称粒径小于或等于 16mm，则高径比选择 0.6；如果集料的公称粒径大于 16mm，则选择 0.8。

使用游标卡尺测量干燥试样的尺寸，高度误差不应超过 1mm，直径误差不应超过 2mm。

3.4 试验应在以下类型的试件上进行：

通过旋转压实在试验室制备试件;

在试验室制备的沥青板上钻芯取样制备试件;

从实际道路中钻芯取样制备试件;

试验室环境下通过冲击压实制备试件;

注: 压实方式对试验结果有很大影响。

3.5 确定每个试件的堆积密度, 堆积密度对试验结果有很大影响。

3.6 避免在取样、运输和储存过程中, 对试件造成损坏。在运输和储存过程中, 沥青板和钻芯取样的试件应用模具完全支撑, 防止造成变形或损坏。

3.7 调节

3.7.1 试件应在 5°C - 25°C 的温度下储存, 防止造成损坏或变形。试验应在试验室压实试件或路面钻芯取样完成后的 2 天内进行。如有必要, 应按要求清洁试件。

3.7.2 为了减少试件与加载板间的摩擦, 在加载板和试件之间使用膜-润滑剂-膜系统。加载板和试件间的摩擦对试验结果有很大影响。请勿将试件与加载板直接接触, 可将试件末端黏结在钢板上。

3.7.3 应在安装前, 在试验温度下对时间进行调节, 温度变化幅度不得超过 1°C 。调节期持续时间可通过模拟试件来确定。

4 试验步骤

4.1 常规试验

为评估给定试验条件下混合料的抗车辙能力, 应至少测试两个试件。

4.2 试验预备工作

4.2.1 在安装试件前, 确保测试室的温度在指定温度 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 内浮动。

注 1 试验温度通常介于 30°C - 50°C 之间。

注 2 建议在预调节过程中, 测试内置温度传感器的混合料试件温度。

4.2.2 试件轴线应与两个加载板的轴线处于同一位置。如果是自动调节的加载板, 应在锁定自动调节加载板前仔细预装试件, 以便设备只需对位置进行微调。在半正弦波形荷载加载时, 预加载应力不得超过 $0.02(\sigma_v + \sigma_c)$, 而在块脉冲荷载加载时应力不超过 $0.02(\sigma_B + \sigma_c)$ 。预加载时间不得超过 $(120 \pm 6)\text{s}$ 。然后, 锁定自调节加载板。

4.2.3 安装位移传感器。

4.2.4 开始试验前，确保试件温度在指定温度 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 内浮动。须在固定试件和正式开始试验间预留足够的时间，用以缓和由于夹紧试件而产生的应力。

4.3 施加荷载

4.3.1 在施加试验荷载前，应再次对试件施以 120s 的预加载。如加载模式为半正弦波形荷载，则应力大小为 $0.02(\sigma_v + \sigma_c)$ ，为块脉冲荷载时，则施加应力大小为 $0.02(\sigma_B + \sigma_c)$ 。施加荷载应缓慢且平稳。

4.3.2 预加载完成后，立即施加约束应力。常用约束应力 σ_c 一般介于 50kPa-200kPa 间。

4.3.3 10s 内，开始施加循环的轴向荷载。

注 1 轴向半正弦波形荷载一般介于 1hz-5hz 之间。为了模拟慢速交通，可使用较低的加载频率。

注 2: 块脉冲加载模式的脉冲持续时间有:1s 持续脉冲时间对应 1s 休息时间，或 0.2s 持续脉冲时间对应 0.8s 休息时间。

注 3 对于半正弦波形的加载模式，常见振幅介于 100kPa-300kPa 之间。半正弦波加载模式下，半正弦波形荷载的振幅通常是约束应力的 2-3 倍。而对于块脉冲加载模式，常见压力 σ_B 则介于 100 kPa -700kPa。

注 4 蠕变曲线的结果和形状在很大程度上取决于试验条件：温度、轴向应力和约束应力。可通过影响因素的优化组合使蠕变曲线(图 4)出现阶段 2，从而确定相应的蠕变特性。

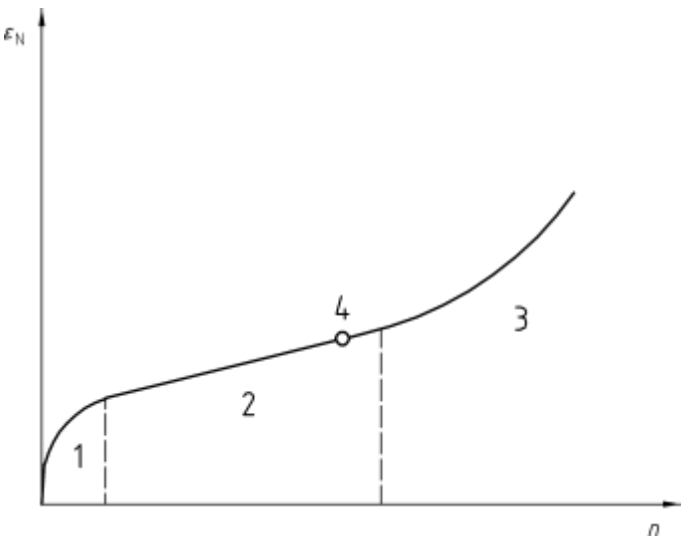


图 1 蠕变曲线示例

阶段 1: 变形曲线的（初始）部分，曲线的斜率随着加载循环次数的增加而

减小;

阶段 2: 变形曲线的 (中间) 部分, 曲线的斜率是准常数, 且包含有拐点;

阶段 3: 变形曲线的 (最后) 部分, 曲线斜率随着加载循环次数的增加而加。

4.4 试验期间的测试

4.4.1 使用位移传感器和数据采集系统测定试件高度的变化。前 100 次重复加载中, 至少每 10 次加载读取一次数据; 第 101-1000 次重复加载中, 至少每 100 次加载读取一次数据; 之后至少每 500 次加载读取一次数据。每次测量应在加载/卸载周期的固定时刻进行, 每次测量时, 应同时记录相应的加载周期次数。

注 1 对于半正弦波加载模式, 应在信号最小值处进行测量。而对于块脉冲加载模式, 则应在靠近下一个脉冲荷载开始前的卸载期测量形变量。

注 2 如需决定蠕变曲线的类型, 则需要进行更多的试验。

4.4.2 试验期间, 应检查静态约束应力和半正弦轴向应力的幅度或块脉冲的高度是否保持在试验要求值的 5% 内。

4.4.3 试验结束时至少应完成 10000 次加载循环。如果变形量较大且存在损坏设备的风险, 可以提前停止试验 (此时形变应至少为 6%)。

注 若蠕变曲线的第二阶段测量时间过短, 难以确定蠕变参数。在这种情况下, 可延长试验时间。

5 计算

5.1 计算每个测量荷载的对试样造成的累积应变 (%) :

$$\varepsilon_n = 100 \cdot (h_0 - h_n) / h_0$$

式中: ε_n —n 次加载后试件的累积轴向变形, 单位为百分比 (%);

h_0 —预加载后, 位移传感器测量的试件平均高度, 单位为 mm;

h_n —n 次加载过后, 位移传感器测量的试件平均高度, 单位为 mm;

5.2 通过分析蠕变曲线, 确定混合料抗车辙性能的方法如下:

5.2.1 方法 1: 确定蠕变速率, f_c

如果存在能用线性曲线表示的阶段 2。则利用最小二乘线性拟合法, 从蠕变曲线的准线性部分确定阶段 2 的斜率 B_1 :

$$\varepsilon_n = A_1 + B_1 \cdot n$$

式中: ε_n —n 次加载后试件的累积轴向变形, 单位为百分比 (%);

确定蠕变曲线准线性部分的蠕变速率 f_c 。斜率 B_1 , 用 (微应变/加载循环)

来表示:

$$f_c = B_1 \cdot 10^4$$

参数 f 用以表征沥青混合料的抗车辙性能。

注 这种方法简单,但它只是对变形曲线进行了有限表达。此外,斜率 f_c 在很大程度上取决于用于拟合选定的曲线段。但在蠕变过程中,在蠕变曲线上通常没有真正的线性部分。

5.2.2 方法 2: 确定参数 B 和 $\epsilon_{1000,calc}$ 。

用最小二乘幂法拟合蠕变曲线的准线性部分:

$$\epsilon_c = A \cdot n^B$$

或等效确定 $\log \epsilon_n - \log n$ 值的最小二乘线性拟合:

$$\log \epsilon_n = \log A + B \log n$$

式中: ϵ_n — n 次加载后试件的累积轴向变形,单位为百分比(%);

B —最小二乘幂拟合的幂,或者是 $\log \epsilon_n$ 与 $\log n$ 值的最小二乘线性拟合的斜率。

在 1000 次加载循环后确定永久变形的计算值,单位为百分比(%):

$$\epsilon_{1000,calc} = A \cdot 1000^B$$

参数 B 和 $\epsilon_{1000,calc}$ 用于表征沥青混合料的抗车辙性能。

注 这种方法比方法 5.2.1 描述更为复杂。其优点在于,在多数情况下可以在蠕变曲线中观察到清晰的线性部分。

5.2.3 若蠕变曲线仅存在阶段 1 和阶段 3,或者在短暂的加载循环后由于变形过大停止试验,以至于仅观察到阶段 1。则认为在给定试验条件下,沥青混合料的抗车辙性能较差。对于明确荷载加载次数的车辙变形值,可用于不同类型沥青混合料的对比,如: ϵ_{1000} 和 ϵ_{10000} 。

6 报告

试验报告应包括:施加的应力大小、循环信号的形状、脉冲应力的振幅、蠕变曲线、蠕变特性、平均蠕变性能等。

7 允许误差

重复性条件下获得的两个测试结果,置信区间为 95%

再现性条件下获得的两个测试结果,置信区间为 95%

条文说明

重复压缩试验是基于性能的沥青混合料设计中重要的试验方法，可以实现混合料设计与路面结构设计相结合，因此在欧盟非常重视，是未来基于性能的沥青混合料抗永久变形评价技术的发展方向。重复压缩试验有两类方法，一类是单轴重复压缩试验，试验方法有 AASHTO TP 116, EN 12697-25 A, BS 598:11.1 和 AS 2891.12；另外就是三轴重复压缩试验，主要方法为 EN 12697-25 B 动态三轴重复压缩试验和 AASHTO TP 116 三轴应力蠕变试验。美国重复压缩试验主要是单轴压缩试验；欧盟，单轴压缩试验是英国主要试验方法，而根据 EN 13108 系列标准，单轴压缩试验主要用于浇筑式沥青混合料抗车辙性能评价，例如根据 EN 13108-6，采用 EN 12697-25 中 A 方法；而除浇筑式沥青混凝土之外的主要沥青混合料类型则采用三轴重复压缩验收。

EN 12697-25 中 A 方法描述了一种受约束的单轴循环压缩试验，可用来评价沥青混合料的蠕变特性。在该试验中，圆柱形试样受到循环轴向应力，为满足特定的约束力，荷载板的直径比试件直径小。为预测实际的车辙行为，需对试件进行约束，尤其对于开级配大粒径尺寸的沥青混合料。

本次修订增补了单轴和三轴两个试验方法，本方法为三轴重复压缩试验，主要参考 EN 12697-25 B 编写。圆柱形试样保持较高的调节温度，放置在两个平行装载压板之间。试件受到约束压力 σ_c 和重复加载的轴向应力 $\sigma_a(t)$ 共同作用。约束应力可以是静态或动态的。重复加载的轴向应力如图 6 所示，幅度为 σ_v 的，以半正弦波形式加载的 $\sigma_a(t)$ 应力，得到的总轴向应力 $\sigma_A(t)$ 为

$$\sigma_c + \sigma_a(t) = \sigma_c + \sigma_v \cdot (1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t)) \quad (1)$$

可以应用松弛时间

式中： σ_c —试件周围的约束应力，千帕（kPa）；

σ_v —以时间有关的重复荷载轴向压力，千帕（kPa）；

在半正弦波应力作用下， $\sigma_a(t)$ 被定义为 $\sigma_a(t) = \sigma_v \cdot (1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t))$ ；

σ_v —半正弦波应力的振幅，千帕（kPa）；

f —频率，赫兹（Hz）；

t —时间。

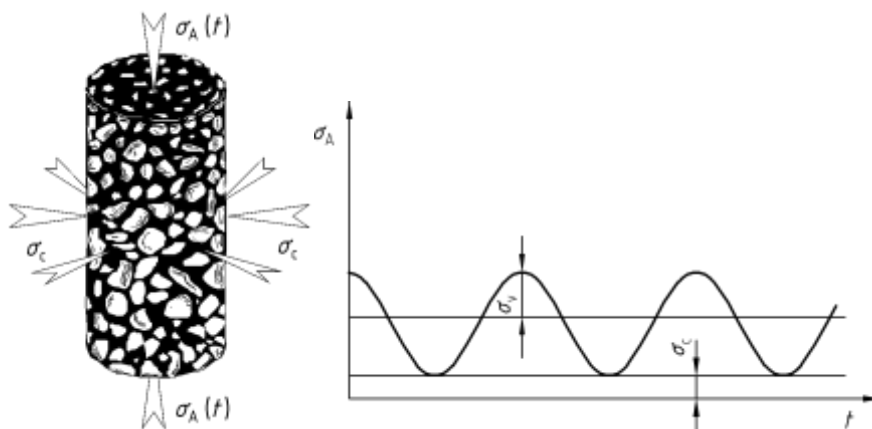


图 5 半正弦波循环荷载下，施加在试件上的压力

b) 如图 6 所示，阻塞脉冲压力 $\sigma_a(t)$ ，高度为 σ_B ，总轴向应力 $\sigma_A(t)$ 为 $\sigma_c + \sigma_a(t)$

式中： σ_c —约束应力

$\sigma_a(t) = \sigma_B$ 处于阻塞脉冲周期 T_1 期间

$= 0$ 处于松弛期 T_0

σ_B —阻塞脉冲的高度

在这两种情况下，小的定载荷的最大允许值为 $0.02\sigma_V$ （半正弦波加载模式）和 $0.02\sigma_B$ （块脉冲加载模式）。

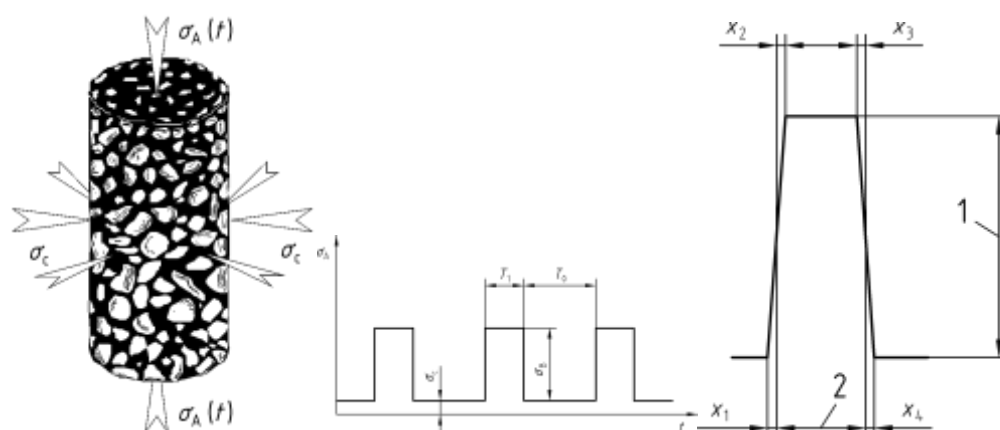


图 6 阻塞脉冲应力循环荷载下，施加在试件上的压力

试验结果取决于应力条件、试验温度、加载频率和松弛时间以及测试试件的尺寸大小。由于存在松弛时间的，以及信号形状不同等结果，不能将半正弦波加载方式的试验结果与块状脉冲加载方式的结果直接进行定量比较。如果在相同的试验条件下获得三轴压缩试验的结果，则只能进行全方位比较。此外，针对给定沥青混合料的试验结果，应根据明确的试验条件和要求，来评估材料的抗车辙性能是否能被接受。

T 0764—201X 沥青混合料重复压缩试验（单轴压缩）

1 目的与适用范围

本试验方法基于沥青混合料性能测试仪（AMPT）进行，是一种用最小应变率（MSR）的基于重复递增荷载永久变形试验的沥青混合料抗车辙性能测试方法。该试验方法适用于公称最大粒径不超过 37.5 mm 的密级配和开级配沥青混合料。

最小应变率(MSR)可反映沥青混合料的永久变形特征，它代表在指定温度和胎压下由单个重轴荷载引起的单位车辙破坏。最小应变率(MSR)可用于验证沥青混合料设计、材料表征和车辙性能评估。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试件制备仪器：用于制造重复递增荷载永久变形试验 (iRLPD) 试件的仪器。

2.2 沥青混合料性能测试仪 (AMPT)：可满足简单性能测试的动态测试系统的设备。

2.3 温控室：将试件调节至所需测试温度。温控室应能在 40°C – 70°C 的温度范围内控制温度，精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。该温控室应至少能容纳数个待测的沥青混合料试件，以及一个内置温度传感器的沥青混合料试件，可用做参考温度。

2.4 乳胶膜：用于封闭试验的直径 100mm，厚 0.3mm 的乳胶膜。

3 试验准备

3.1 制备为 100 毫米，高度为 150 毫米的混合料试件。

注：试验用试件是通过钻芯取样从直径 150mm 的大试件中取得的。除此之外，还可通过旋转压实法制备直径 100mm，高 150mm 的圆柱形试件。除使用直径 100mm 的旋转压实模具替代 150mm 的模具外，还需采用 30r/min 的 600kPa 旋转压实应力将松散的沥青混合料压实至适当的高度。对于直径为 100mm 的模具，应调整松散混合料的重量以获得所需的孔隙率。

3.2 针对每种不同的孔隙率和老化条件组合，至少准备三个试件。

3.3 目标孔隙率应根据项目现场密度规范要求选择，一般来说，目标孔隙率为 $7.0\% \pm 0.5\%$ 。

3.4 将每个待测试件用压板和隔膜进行装配：将样品放在底部压板上，并将隔膜拉伸到试件和底部装载压板上，安装下部 O 形密封圈。将隔膜拉伸至顶部压板上，安装上部 O 形密封圈。

3.5 将内置温度传感器的混合料试件装入隔膜中。

3.6 将组装好后的待检测试件/压板组件与内置温度传感器的混合料试件一起放置在温控箱中。密切注意内置温度传感器试件的温度，以便确定试验开始时间。

3.7 启动沥青混合料性能测试 (AMPT) 系统，将温度设置为所需的试验温度，并保证试验箱体在试验温度下恒温至少一小时。

3.8 当温控箱和内置温度传感器的试件达到目标温度时，打开温控室，取出组装好的待检测试件/压板组，迅速将其放入 AMPT 试验箱体。

注：当进行封闭试验时，试件须通过排水管与大气压强相连。将排水管正确连接到装载压板，确保它们通过气泡室排放到大气中，以识别泄漏。

3.9 关闭试验箱体，等待温度恢复至试验温度。

3.10 确保完成第 3.8 和 3.9 的步骤，以及试验箱体恢复至试验温度的所有步骤应在 5min 内完成。

4 试验步骤

4.1 使用 LTPP BindV3 软件，依据施工现场的日度(DD)参数，通过以下公式计算试验温度：

$$T = 58 + 7 \times DD - 15 \times \log(H + 45)$$

式中：T—试验温度℃；

DD—依据 LTPP Bind v3.1，日度 $> 10^{\circ}\text{C}(\times 1000)$ ；

H —所处层位到表面层的距离，表面层为 0。

注：当施工路段所处位置不明确时，可使用该区域最合理的有效温度。有效温度通常介于 50°C 到 60°C 之间，因此 55°C 是适用于温和气候下的合理试验温度；同时建议在寒冷气候下使用 50°C ，炎热气候下使用 60°C 。

4.2 试验包括一个递增的重复 500 次应力循环；以及后续三个连续增加偏应力的试验递增周期，每个周期同样包括 500 个应力循环。

4.3 调节递增的应力水平为 200kPa，递增周期试验的应力大小分别为 400 kPa，600 kPa 和 800kPa。每次递增周期的接触应力大小为偏应力的 5%。

4.4 封闭压力在整个试验过程中保持 69kPa。

4.5 按照软件提示开始试验。当试验完成后，沥青混合料性能测试系统 (AMPT) 将自动卸载应力。

4.6 试验完成后，打开测试箱体，并取出试件。

5 计算

5.1 每个递增周期试验(400, 600 和 800) kPa 的最小应变率(MSR)，由测试系统测得的总永久应变来确定。

5.2 每个荷载周期的应变率是该荷载周期总应变减去该周期前的总应变，计算公式如下：

$$SR_i = TS_i - TS_{i-1}$$

式中：i—周期数；

SR_i —第i周期的应变率；

TS_i —第i个荷载周期的总永久应变；

TS_{i-1} — 第*i*荷载周期前的总永久应变。

5.3 针对递增周期试验最后 50 个周期(周期 451 至 500)的数据进行线性回归：其中，周期编号 (*i*) 为 *x* 值，应变率(SR_i)为 *y* 值，并得出 *c* 和 *SA* 系数，如下所示：

$$SR_i = c - SA \times i$$

式中：*c* —模型截距；

SA —应变加速度。

注：应变加速度(*SA*)应始终为负值。如果 *SA* 为正值，则表示试验已达到流动性第三阶段，此时不能利用其确定最小应变率 (*MSR*)。

5.3.1 确定每个递增荷载的最小应变率(*MSR*)，即第 500 个荷载循环引起的应变速率：

$$(MSR) = c + SA \times 500$$

5.3.2 最小应变率 (*MSR*) 和试验温度(*T*)×偏应力(*P*)的三次递增曲线，被称为最小应变率 (*MSR*) 的主曲线。公式如下：

$$MSR = a(T \times P)^b$$

式中：*T*— 试验温度，℃；

P—偏应力，MPa；

a, b—模型参数。

注：最小应变率 (*MSR*) 主曲线可用以解释任意温度和应力水平下的永久变形。假设系数 *a* 为 0.001，同时用 600kPa(*MSR*₆₀₀)时的最小应变率 (*MSR*) 值代表系数 *b*：

$$MSR_{600} = 0.001 \left(\frac{T \times 600}{1000} \right)^b$$

$$b = \frac{\log(MSR_{600} \times 1000)}{\log(0.6 \times T)}$$

注：系数 *b* 的值是开放式的，通常介于 2.0 到 3.0 之间，该系数可用于对混合料进行分类。*b*=2.0 时，表示材料非常坚硬；反之，当 *b*=3.0 时则表示材料非常软。

5.3.3 给定的有效温度下允许交通荷载可根据试验数据或主曲线计算得到的

600kPa(MSR600)下最小应变率（MSR）来确定。公式 9 或表 1 可用来确定允许的交通荷载。

$$\log(ESAL) = 1.7 - 0.07 \times MSR_{600}$$

$$ESAL = 10^{1.7-0.07 \times MSR_{600}}$$

式中：ESAL — 允许等效单轴荷载，百万；

MSR₆₀₀— 600kPa 下的最小应变率和有效温度。

表 1 按交通量得出的最大 MSR 值

交通量	设计允许等效 单轴荷载 (million)	最大 MSR 值
轻	<1	24
标准	>1 to 3	17
重	>3 to 10	10
超重	>10 to 30	3
极重	>30	1

注：如果试验不是在现场的有效温度下进行，则必须使用最小应变率（MSR）主曲线方程来确定该温度下的 MSR 值。

6 报告

试验报告应包含以下内容：

- 6.1 每个递增周期的试验温度；
- 6.2 每个递增试验施加的平均偏应力；
- 6.3 平均封闭压力；
- 6.4 每次递增试验的最小应变率(MSR)；
- 6.5 最小应变率（MSR）主曲线的力系数 b；
- 6.6 试验温度下的允许等效单轴荷载（ESAL）的预估值；
- 6.7 每个被测试件由重复递增荷载永久变形试验(iRLPD)软件生成的总报告。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO TP 116 编写。本试验方法描述了基于重复递增荷载永久变形试验(iRLPD)试验的，利用不同应力和温度组合下最小应变率(MSR)来评估沥青混合料的抗车辙性能。

重复递增荷载永久变形试验(iRLPD)试验在一个试验温度和围压下以四个 500 循环递增进行。偏应力在每个递增期间保持恒定，并且在每个后续递增期间增加。荷载脉冲为每 1.0 秒内加载 0.1 秒。由每个循环引起的永久轴向应变(永久应变率)由致动器测量。每个递增的最小应变率被定义为由于最后(500)个周期而产生的永久轴向应变。

T 0765—201X 沥青混合料车辙试验(APA)

1 目的与适用范围

本方法适用于测定热拌沥青混合料的车辙敏感性。

2 仪具与材料技术要求

2.1 沥青路面分析仪 (APA): 一种恒温控制设备, 可通过车轮加压软管对压实的沥青混合料试件施加重复的线性荷载。

2.1.1 沥青路面分析仪 (APA) 应保持 $40^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$ 的恒温状态, 精度为 1°C 。

2.1.2 沥青路面分析仪 (APA) 能够通过试验轮独立施加 578 N 的应力, 荷载应通过外力传感器校准至指定试验荷载。

2.1.3 沥青路面分析仪 (APA) 应能调节试验软管的压力, 试验软管可保持 862kPa 的压力。

2.1.4 沥青路面分析仪 (APA) 应能测试六个圆柱形试件。

2.1.5 矩形试验模具应为高分子聚乙烯制成, 能与沥青路面分析仪 (APA) 试验箱的测试位置完美契合, 且有两个用于插入试件的孔洞。孔洞的直径为 $15\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$, 高度为 $75.0\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 。

2.1.6 沥青路面分析仪 (APA) 应有可编程的主循环计数器, 可预设循环试验次数, 仪器需在完成设定循环次数后自动停止。

2.1.7 试验软管应由尼龙管、高强度纺织线和合成橡胶组成。软管的内径为 19.0 mm, 外径为 29.5 mm。软管可承受的最大工作压力 (WP) 为 5.17 MPa (。当软管的橡胶外壳出现任何明显磨损时, 应及时更换。

2.1.8 手动测量车辙深度时, 需使用车辙深度测量模板。该模板为机械加工铝板, 长度为 400mm 宽度为 152.4mm, 厚度应介于 31.7mm-38.1mm 之间。沿长边在车辙深度测量模板上预留 5 个间隔缺口, 以便测量车辙深度。自动测量系统的缺口应与车辙测量模板上的缺口位置保持一致, 每个缺口宽度为 11mm。

注: 对车辙较深的试件进行人工深度测量可能会出现误差。因为测量模板的两端会直接接触试件。此时应改进车辙深度测量模板的底部, 确保模板两端能直接架设在模具上。

2.2 烘箱: 恒温及预热试件。

2.3 压实装置和模具

2.3.1 Superpave 旋转压实机 (SGC) 和压实模具

2.3.2 振动压实装置和模具：振动压实机利用可调节的振动压缩应力来固结和压实热拌沥青混合料 (HMA)，制备圆柱形试件。该装置由定时器控制，将试件压实到指定高度后取出压实好的试件。振动压实机的控制面板应与压实单元分开，控制面板由一个模式开关和一个计时器构成，分别用于控制样品压实/提取和压实时间周期。

振动压实的模具应由钢材制成，其尺寸如下：

内径 $149.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ；

内部高度 $133.4\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ；

整体高度 $152.7\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ；

壁厚 $7.81\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ；

底板直径 $149.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。

3 试验准备

3.1 制备六个圆柱形试样，直径 150mm，高 $75\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。

3.2 道路钻芯取样取得的试件尺寸如下：直径 140 mm -152mm，应确保钻取的芯样每一面距道路表面的垂直距离不少于 50mm，误差不得超过 5mm。若芯样高于设计高度，则应使用电锯切割至指定高度 $75\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。对于直径介于 140 mm -152mm，或高度介于 50mm-73mm 之间的芯样，可使用熟石膏等材料将试件高度填充至 $75\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，确保试件紧贴试验模具，试验应在芯样的未切割面上进行。

3.3 工厂生产的热拌沥青混合料 (HMA)：

3.3.1 热拌沥青混合料 (HMA) 于标准规定的压实温度时，将其压实至相应的试件尺寸。应避免对松散的工厂生产的热拌沥青混合料 (HMA) 再加热。

3.3.2 使用旋转压实仪或振动压实机将材料压实至 3.1 要求的尺寸大小，孔隙率应符合 $7.0\% \pm 0.5\%$ 标准。

3.3.3 将适压头连接并调平安装到振动组件上，验证压头是否正确连接并调试至试件所需高度。检查压头与试件模具的相对位置是否符合要求。调整压实应力及设置振动时间。

3.3.4 对试件模具进行加热和装载。操作振动压实机，压实和挤压试件。压实后的试件应放置在室温 25°C 下冷却，冷却时间至少 3 小时。

3.4 试验室制备热拌沥青混合料（HMA）：

3.4.1 准备热拌沥青混合料（HMA）的原料并拌合。

3.4.2 使用旋转压实仪或振动压实机将材料压实至 3.1 要求的尺寸大小，孔隙率应符合 $7.0\% \pm 0.5\%$ 标准。

3.4.3 压实后的试件应放置在室温 25°C 下冷却，冷却时间至少 3 小时。

3.5 确定热拌沥青混合料（HMA）试件的体积比重。对试件进行切割后确定试件的体积比重。确定松散热拌沥青混合料（HMA）的最大比重。最后确定热拌沥青混合料（HMA）试件的孔隙率。

3.6 试验温度设定为 PG 性能等级的沥青高温 PG 温度，当沥青的高温 PG 等级增加时，沥青路面分析仪（APA）的试验温度也需相应增加。

3.7 试件预热：将试件放入试验模具中。试件应置于温度校准过的沥青路面分析仪（APA）试验箱，或单独的温度校准烘箱中。试件应在试验温度下预热至少 6 小时，但不宜超过 24 小时。

4 试验步骤

4.1 将软管压力间隙读数设置为 $690\text{kPa} \pm 35\text{kPa}$ ，将每个试验轮的荷载气缸压力读数设置为 $445\text{N} \pm 22\text{N}$ 。

4.2 试验箱温度设置为 3.7 中选择的温度值。

4.3 将预热好的试件固定在沥青路面分析仪（APA）中，固定过程中打开机器密封门时间不应超过 6min。关闭密封门使温度回升至试验温度后开始试验，此阶段不少于 10min。

4.4 手动测量车辙深度

4.4.1 在进行初始测量前，来回碾压 25 次以固定试件，在此期间根据需要调整软管压力。

4.4.2 打开试验箱密封门，解锁试件托盘并将其拉出。

4.4.3 将车辙深度测量模板放在试件正上方。确保模板正确且牢固的固定在试验模具顶部。

4.4.4 将测量仪归零。在模板的四个外部位置上分别读取一个初始值，不在试件中心量取。将测量仪放置在模板插槽中，并在每个槽中缓慢滑动测量仪来读取初始值。每个位置的测量值应精确到 0.01mm。

4.4.5 对每个固定在检测位置的圆柱形试件，重复 4.4.3 和 4.4.4 的步骤，

所有测量应在 $6.0\text{min} \pm 0.5\text{min}$ 内完成。

4.4.6 将试件托盘放入机器并固定。关闭试验箱密封门，等待至少 10min，确保温度稳定。

4.4.7 将预置计数器设置为 8000 个加载周期后开始试验。当试验达到 8000 个周期时，沥青路面分析仪（APA）将自动停止，加载轮会自动收回。

4.4.8 重复 4.4.2 至 4.4.5 节的试验步骤，获得最终的测量结果。

4.5 自动测量车辙深度：

4.5.1 初始化沥青路面分析仪（APA）的计算机软件。在试验开始前，在 APA 软件上，输入相应的试验参数和项目信息。

4.5.2 确保将循环倒计时器设置为试件完成 8000 个完整的循环加载，并在试验结束后自动结束计算机程序。通常，此值介于 8050 到 8100 之间。

4.5.3 使用 APA 计算机软件正式开始测试。

4.5.4 沥青路面分析仪（APA）将在试验完成后自动停止，且试验轮会自动缩回。将车辙深度的测量文件保存到计算机上，如需要可打印数据。

5 计算

5.1 计算三个试验位置的平均车辙深度

5.1.1 使用手动模式车辙深度测量时，每个位置的车辙深度为初始测量值减去最终测量值。每个检测位置的平均车辙深度，应使用所有四个位置的车辙深度进行计算。

5.1.2 使用自动模式测量车辙深度时，从沥青路面分析仪（APA）计算机软件上显示的三个测试位置直接获取车辙深度。

5.2 计算三个测试位置的试件标准偏差。如果三个测试位置的试件标准偏差大于或等于 2.0mm，则去掉差异值最大的测量点。应通过调查试验程序、校准设备和试件，分析测试结果产生异常的原因。

5.3 热拌沥青混合料（HMA）的沥青路面分析仪（APA）车辙深度是三个检测位置的总体平均车辙深度，计算时应将所有六个圆柱状试件的异常值排除在外。

6 报告

试验报告应包含以下内容：

6.1 试验人员姓名和测试日期；

6.2 热拌沥青混合料类型和相关信息；

- 6.3 试件类型（圆柱状试件或钻芯取样）；
- 6.4 圆柱形试件的压实设备类型（旋转压实或振动压实）；
- 6.5 试件的平均孔隙率；
- 6.6 试验温度；
- 6.7 车辙深度测量方法（手动或自动）；
- 6.8 每三个试验位置的平均车辙深度和热拌沥青混合料（HMA）的整体平均车辙深度，精度为 0.01mm。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO T340 编写。

应对沥青路面分析仪（APA）进行校准。根据用户报告，自动测量和手动测量的车辙深度存在显著差异。

T 0766—201X 沥青混合料车辙试验(汉堡车辙)

1 目的与适用范围

1.1 本方法使用汉堡车辙仪测定热拌沥青混合料（HMA）的车辙和水敏感性。

1.2 本方法为水浴法下，运用试验轮对热拌沥青混合料（HMA）进行往复式压实。此试验可提供在移动、集中荷载作用下沥青混合料的永久变形率。

1.3 本方法通过测定沥青混合料的车辙深度和破坏时的加载次数，用以确定由于骨料结构不足、结合料强度不足或水损害导致的热拌沥青混合料（HMA）的早期破坏。

1.4 试验过程中试件全程浸泡在一定温度的水中，因此可用来评估水损害对沥青混合料的影响。

2 仪器与材料技术要求

2.1 汉堡车辙仪：包含可移动的电动钢轮，钢轮直径为 203.2mm，宽度为 47mm。轮载大小为 $705\text{N} \pm 4.5\text{N}$ 。车轮在试件上进行往复运动，其位置随时间正弦变化；每分钟应在试件上通过 52 ± 2 次，通过试件中点时的最大速度应为 0.305 米/秒。

2.2 温度控制系统：水浴温度范围为 $25^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ，精度不低于 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 。试验水槽应具有机械循环系统，以维持水槽内温度恒定。

2.3 压痕测量系统：包含线性可变差动传感器（LVDT）装置，能测量轮迹带 0.15mm 内的压痕深度，最小量程为 0mm -20mm。系统应安装并能够在试件上车轮路径宽度的不同间隔测量压痕深度。应至少每 400 次测量一次。该系统应能够在车轮不停的情况下测量车辙深度同时参考车轮的通过次数。系统应安装在与轮迹带等宽的距离，能够以不同间隔测量车辙深度。该系统应能在试验轮不停止的状况下测量车辙深度；每碾压 400 次，应至少测量一次车辙深度，且测量时记录试验轮的碾压次数。

2.4 试验轮碾压次数计数器：由非接触式电磁阀记录每次试验轮通过试件的次数。结合计数器的信号与轮迹带车辙深度的测量值，建立车辙深度与碾压次数的关系函数。

2.5 沥青混合料板试件安装系统：一个不锈钢托盘牢固地安装在机器上。在整个试验过程中，该安装系统可将试件的活动范围限制在 0.5mm 以内。安装系统能使试件悬浮在水中，使试验槽内的水流自由循环。且不同侧面预留至少 20mm 空间以便水流自由循环。

2.6 沥青混合料试件安装系统：安装系统应包括两个高密度聚乙烯模具（如图 1 所示）放置在不锈钢托盘中以固定样品。安装系统应能使试件悬浮在水中，使试验槽内水流自由循环。且不同侧面上至少预留 20mm 空间以便水流自由循环。

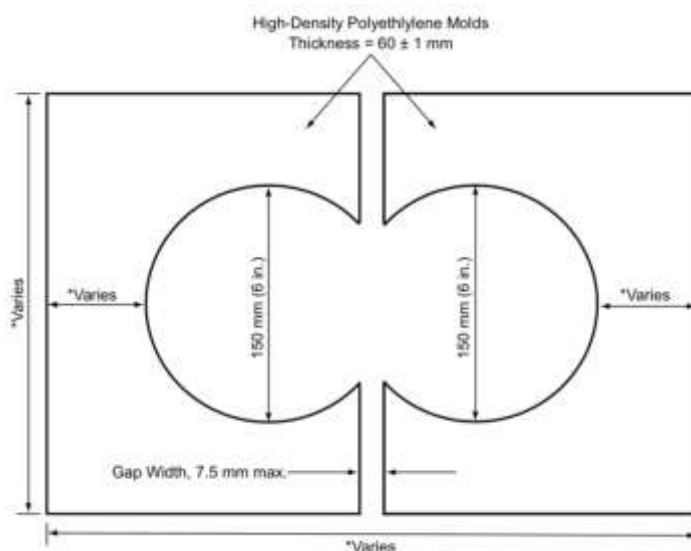


图 1 圆柱形试样安装示意图

2.7 线形捏合压实机：通过液压动力装置将沥青混合料压成矩形板。将沥青混合料置于模具中，通过一系列垂直排列的钢板进行压实，钢板可将沥青混合料

压缩成预定厚度和密度的平板。

2.8 平衡：12000g 容量的平衡，精确到 0.1g

2.9 其他：烘箱、刮刀等

3 试验准备

3.1 试件数量：每次试验应至少准备两个试件，试件可以是矩形板或圆柱形。

3.2 试验室制备热拌沥青混合料（HMA）：

3.2.1 按比例拌合热拌沥青混合料（HMA）。

3.2.2 沥青加热至指定混合温度，此时沥青的黏度为 $170 \pm 20 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。对于改性沥青，请使用沥青生产厂家推荐的拌合温度。

3.2.3 干混法：首先混合集料和矿粉，然后添加沥青后拌合均匀。（如果使用石灰浆或其他湿料，则使用湿混法）

3.2.4 沥青须加热至指定的压实温度，此时黏度为 $280 \pm 30 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。对于改性沥青结合料，请使用沥青生产厂家推荐的压实温度。

3.2.5 在试验室将拌合均匀的材料压实成矩形试件或使用旋转压实仪将材料成型为圆柱体试件。

使用线形捏合压实机将混合料压成矩形试件，长度为 320 mm 和宽度为 260mm。压实的矩形板厚度应介于 38mm 到 100mm 之间。矩形板厚度应为公称最大粒径的两倍，成型后的试件应放置在干净、平坦的表面，在室温环境下冷却。

使用旋转压实仪（SGC），将沥青混合料压实成型为圆柱状。试件厚度应介于 38mm 到 100mm 之间。每组试验至少需要两个直径为 150mm 的试件。

3.3 施工现场生产的热拌沥青混合料（HMA）：

在试验室将拌合均匀的材料压实成矩形试件或使用旋转压实仪将材料成型为圆柱体试件。

使用线形捏合压实机将混合料压成矩形试件，长度为 320 mm 和宽度为 260mm。压实的矩形板厚度应介于 38mm 到 100mm 之间。矩形板厚度应为公称最大粒径的两倍，成型后的试件应放置在干净、平坦的表面，在室温环境下冷却。

使用旋转压实仪（SGC），将沥青混合料压实成型为圆柱状。试件厚度应介于 38mm 到 100mm 之间。每组试验至少需要两个直径为 150mm 的试件。

3.4 施工现场生产的压实后的热拌沥青混合料（HMA）（钻芯取样/切割矩形板）：

3.4.1 现场钻芯取样或切割矩形板应采用湿锯切割法从已压实的路面取得。

现场钻芯取得的芯样直径大小可以是 300mm, 250mm 或 150mm。从现场切割而成的矩形板长度为 320 mm 宽度为 260mm。矩形板厚度应介于 38mm 到 100mm 之间。现场钻芯取样或切割矩形板的厚度通常为 38mm, 可通过湿锯切割调整至适合安装系统的厚度。

注: 安装试件时, 应使试件表面与模具表面保持在同一平面。若太高则必须进行切割, 反之则必须在下方垫高 (建议使用石膏材料进行支撑)。在模具正中心的水平位置, 校准轮载至 705 N; 高度的微小变化会显著改变轮载大小。

3.4.2 在压实成型 24 小时后, 使用湿锯切割试件。沿着弦线切割试件, 当试件与模具相连时, 紧贴模具边缘进行切割。切割后的试件与模具之间的缝隙不宜超过 7.5mm。

3.5 确定试件的毛体积比重及沥青混合料的最大比重。对于试验室成型的试件, 建议孔隙率为 $7.0 \pm 1.0\%$ 。现场取样获得的试件应测量其孔隙率。

4 试验步骤

4.1 安装矩形板和大尺寸现场芯样: 使用石膏将 300mm 或 250mm 的芯样试件或矩形板试件固定在安装托盘中。将石膏和水以 1: 1 的比例混合, 石膏模具和试件高度须一致, 将试件与安装托盘侧面间的空隙完全填满。矩形板试件应与安装托盘直接接触, 但石膏配制过程中可能会流入试件下方, 需保证试件下方石膏厚度不超过 2mm。混合完成后, 将石膏静置至少 1 小时。如使用其他材料, 需至少承受 890N 的应力而不开裂。

4.2 安装旋转压实成型的圆柱形试件和小尺寸现场芯样: 首先, 将高密度聚乙烯模具放入安装托盘中, 然后将切割后的试件插入高密度聚乙烯模具中。必要时可将模具垫在托盘中进行安装, 将模具固定到安装托盘中, 然后手动拧紧边缘板的螺栓。

4.3 将装有待测试件的安装托盘放入试验设备中, 并手动拧紧螺栓。

4.4 启动试验设备、计算机及通信软件。

4.5 输入项目相关信息和试验参数, 包含以下内容: 试验温度、允许的最大车辙深度。设置延迟 30 分钟启动, 对试件进行预处理。安装托盘中试件的温度应为预处理阶段结束后, 4.7 中选择的试验温度。

4.6 依据 4.7 的规定, 则以“自动”模式操作试验设备。若依据 8.15 节规定, 则转换至“手动”模式。

4.7 在自动模式下进行试验:

4.7.1 将 LVDT 的调整到指定高度,每个钢轮的 LVDT 在测试开始时自动归零,测试开始时软件显示为零。

4.7.2 将试验轮降低到试件边缘,使大部分车轮与安装托盘中的模具相接触。启动试验设备的“开始”按钮,开始测试。水温加热试验温度后,延迟时间或预处理阶段将自动开始。

4.7.3 车辙仪将在试验轮碾压 20000 次或达到预设的最大车辙深度时自动停止,设备软件会自动保存试验数据。

4.7.4 将试验轮升起,取出安装托盘和车辙试件。

4.8 在手动模式下进行试验:

4.8.1 关闭排水阀,用水填满试验箱,直到浮子装置升至水平位置。必要时调节热水和冷水进水速度。

4.8.2 在水温达到所选试验温度后,将试件置于水浴中进行 30 分钟预处理。

4.8.3 将试件在试验温度下预处理 30 分钟后,将试验轮降低至与试件接触。对于选定的预处理时间后自动启动的仪器,允许在预处理阶段之前放下试验轮。在开始试验前,试验轮与试件接触时间不得超过 5 分钟。

4.8.4 确保微控制器的线性可变差动变压器(LVDT)的读数介于 10 mm 和 18mm 之间。松开 LVDT 安装座上的两个螺钉,向上或向下滑动 LVDT 到所需高度,以获得此读数;调整好后拧紧螺丝后开始试验。

4.8.5 当加载次数达到 20000 次时,车辙仪试验轮将自动与试件脱离。如果线性可变差动变压器(LVDT)的平均位移(从微控制器读取,不是屏幕)达到 40.90 mm 更高时,设备也将自动与试件脱离。请注意,屏幕读数为总位移减去初始 LVDT 读数。

4.8.6 打开水浴槽下方的排水阀,排干槽中水,将试验轮升起,并取出安装托盘和车辙试件。

4.9 清洁水浴箱、加热线圈、试验轮和温度传感器,注意不要使用溶剂清洁水浴槽。使用真空吸尘器去除沉淀在水浴槽底部的颗粒。每次试验完成后应清洁滤芯和垫片。

4.10 每次试验完成后转动轮子,保证试验轮不用同一个接触面与试件接触,该操作能保证试验轮表面产生均匀的磨损,从而更平稳的在试件上移动。

5 计算

5.1 绘制车辙深度与碾压次数的曲线。从图中获取曲线第一稳态部分的斜率和截距，曲线第二稳态部分的斜率和截距。

5.2

$$\text{剥离拐点(SIP)} = \frac{\text{第二稳态截距} - \text{第一稳态截距}}{\text{第一稳态斜率} - \text{第二稳态斜率}}$$

其中：失效车辙深度是指是试验指定的最大允许车辙深度。

6 报告

试验报告应注明热拌沥青混合料来源、压实方法、最深压痕时的碾压次数、最深压痕、试验温度、试件孔隙率、使用的抗剥落剂的种类和数量、蠕变斜率等。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO T324 编写。

使用往复式试验轮对热拌沥青混合料（HMA）试件进行重复加载，测量由车轮荷载引起的形变。试件分为试验室环制备沥青混合料板切割或从路面中钻芯取样两种。试件通过水浴法控制温度，水温为 40℃-50℃或根据试验用沥青选取相应的温度。

绘制压痕与轮载次数的函数。形变速率的突变与沥青从混合料试件上剥离的速率保持一致。试验可以“自动”模式操作试验设备。1998 年以后在美国生产的设备，具备“自动”模式，测试软件将自动打开和关闭阀门，以填充和排出试验用水。而 1998 年之前生产的设备只能进行手动操作。

汉堡车辙仪试验的典型结果见图 3。

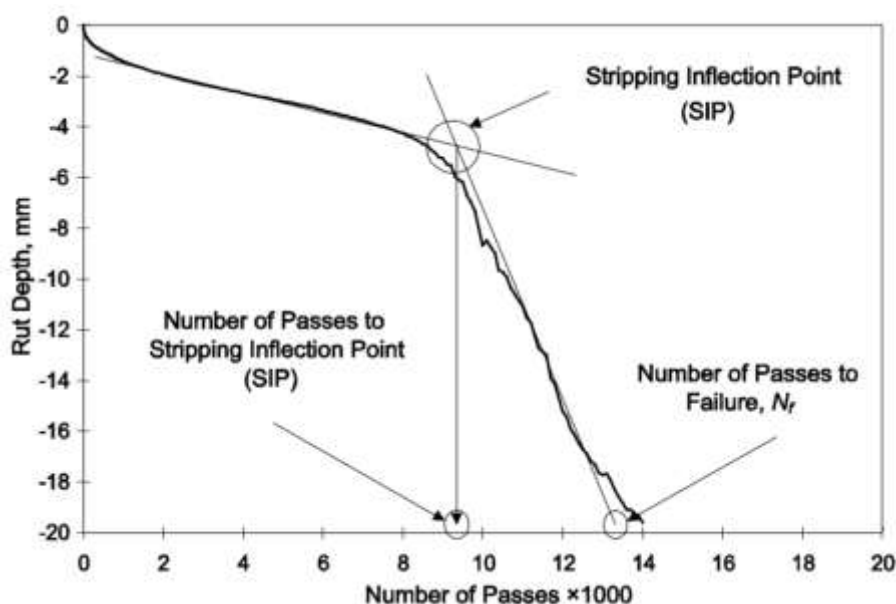


图 3 带试验参数的汉堡车辙仪曲线

T 0767—201X 沥青混合料剪切强度试验(单轴贯入法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料的抗剪切强度，供沥青混合料配合比设计或施工完成后检验沥青混合料高温稳定性使用。

1.2 本方法适用于室内成型的沥青混合料试件和现场取芯沥青混合料试件的抗剪强度测试。试验标准温度为 60°C ，也可根据需要采用其他温度。

1.3 本方法适用于直径 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 或 $150\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 、高 $100\text{mm} \pm 2.0\text{mm}$ 的沥青混合料圆柱体试件，也可根据需要采用其他高度的圆柱体试件。

2 仪器与材料技术要求

2.1 宜采用万能材料试验机。其他可施加荷载的路面材料试验设备也可使用，但必须满足下列条件：

2.1.1 最大荷载应满足不超过其量程的 80%，且不小于量程的 20% 的要求，宜采用 10kN，分度值 10N。

2.1.2 具有环境保温箱，控温准确度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2.1.3 能符合加载速率保持 $1\text{mm}/\text{min}$ 的要求。试验机宜有伺服系统，在加载过程中速度基本不变。

2.2 贯入压头材质应为 Q235 不锈钢，其洛氏硬度 HRC 应在 10~30 之间。压头上部为长×宽×厚 (mm) = $50 \times 50 \times 10$ 的薄板形；下部为圆柱体，对直径 150mm 试件，圆柱体直径×高 (mm) = 42×50 ，对直径 100mm 试件，圆柱体直径×高 (mm) = 28.5×50 ，如图 F.2.2 所示。

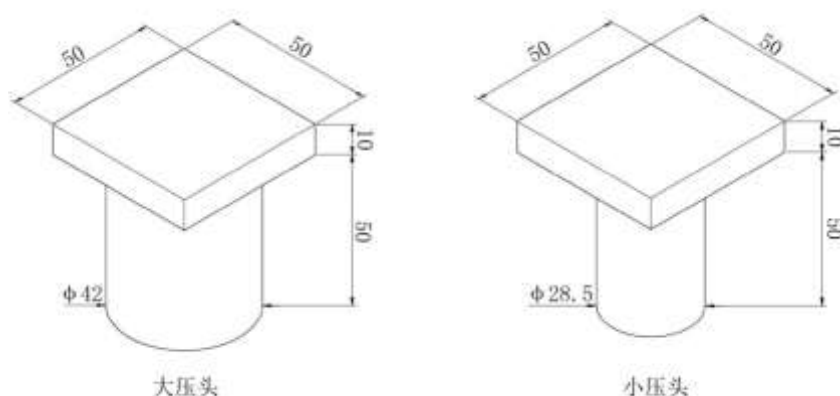


图 2.2 贯入试验压头示意图 (mm)

2.3 宜采用 SGC 旋转压实仪进行试件成型，并控制沥青混合料试件空隙率为设

计目标空隙率。

2.4 其他设备，包括烘箱、卡尺、浸水天平等。

3 方法与步骤

3.1 按试验需求准备测试用沥青混合料试件。试件标准直径为 150mm，混合料最大公称粒径小于等于 16mm 时也可采用 100mm 的直径；试件高度均为 100mm。

3.2 当在拌和厂取样时，应将混合料装在保温桶中，在混合料温度下降至成型温度前迅速成型试件，不得采用混合料冷却后二次加热制作的试件。

3.3 室内成型试件宜按照《沥青与沥青混合料试验规程》（JTG E42-2011）中的沥青混合料旋转压实试件制作方法（T 0736-2011）进行，如有需要也可采用其他成型方法，但应满足试件尺寸要求。

3.4 室内成型后，普通沥青混合料试件在常温下放置时间不应小于 12h，改性沥青混合料试件在常温下放置时间宜为 48h，且放置时间不应超过 7d。放置结束后，按照《沥青与沥青混合料试验规程》（JTG E42-2011）中的压实沥青混合料密度试验（T 0705-2011）测量试件空隙率。

3.5 当使用取芯机钻取路面芯样时，应保证芯样呈圆柱形，形状规则。若芯样两端不平滑，应使用切割机切除不平滑部分。

3.6 将试件置于环境箱中，环境温度应稳定在 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，保温时间宜为 5h~6h；当环境箱容量较小而试件较多时，也可把试件放在相同温度的烘箱中保温。试验前应先将压头放入环境箱保温至试验温度。

3.7 将试件置于试验台上，根据旋转压实成型原理，单轴贯入测试面应选取试件成型时接触压头的一面，调整试件位置使压头对准试件中心。

3.8 粗调压头位置使其距离试件表面约为 1mm，在继续微调压头位置使其与试件接触，直至接触压力接近 0.05KN，接触压力不可超过 0.05KN。

3.9 启动加载，加载速度为 1mm/min，记录压力和位移，当应力值降为应力极值点 90%时，停止试验。按图 F.3.9 所示，取破坏极值点强度作为试件贯入强度。

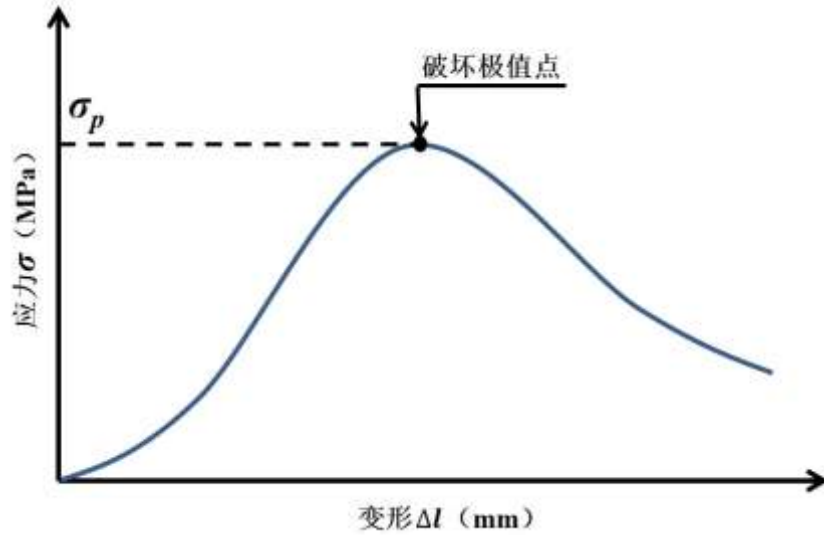


图 3.9 单轴贯入试验典型应力-变形图

4 数据处理

4.1 读取最大贯入压力值 F ，准确到 1N。

4.2 按式 (4.2-1) 和 (4.2-2) 计算标准高度沥青混合料的抗剪强度。

$$R_{\tau} = f \cdot \sigma_p \quad (4.2-1)$$

$$\sigma_p = \frac{F}{A} \quad (4.2-2)$$

式中, R_{τ} ——抗剪强度 (MPa);

σ_p ——贯入强度 (MPa);

F ——试件破坏时的极限荷载 (N);

A ——压头横截面面积 (mm^2);

f ——剪应力系数, 对直径 150mm 试件, $f=0.35$, 对直径 100mm 试件, $f=0.34$ 。

4.3 对高度不为 100mm 的非标准高度试件, 应根据下列情况对剪应力系数进行修正。

4.3.1 对于直径为 150mm 的试件, 按式 (4.3-1) 计算剪应力系数, 此时试件厚度应满足: $38\text{mm} \leq h < 100\text{mm}$ 。

$$f = 0.002h + 0.116 \quad (4.3-1)$$

4.3.2 对于直径为 100mm 的试件, 按式 (4.3-2) 计算剪应力系数, 此时试件厚度应满足: $38\text{mm} \leq h < 100\text{mm}$ 。

$$f = 0.001h + 0.22 \quad (4.3-2)$$

4.3.3 按式(4.2)计算非标准高度试件的抗剪强度。

4.4 对于现场取芯的试件，其计算的抗剪强度应再乘以 1.15 的修正系数。

5 报告

5.1 同一种沥青混合料或同一路段的路面，一组试验的平行试件宜为 5~6 个，取其平均值作为试验结果。当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果，其有效数据不应少于 4 个。当试验数目 n 为 5、6 时， k 值分别为 1.67、1.82。

5.2 试验报告应注明试件尺寸、试件成型方式、试验温度，试件密度、空隙率、加载仪器类型和试验结果等，并注明试验日期。

条文说明

本方法按照《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017)编写。

T 0768—201X 浇注式沥青混合料贯入度试验

1 目的与试验范围

本方法用于测定浇注式沥青混合料贯入度，以评价浇注式沥青混合料高温稳定性，进行浇注式沥青混合料配合比设计及品质管理。

2 试验仪器

2.1 立方试模：内边缘 (70.7 ± 0.5) mm 的复合金属模具。

2.2 贯入度试验器，见图 2.2 所示。

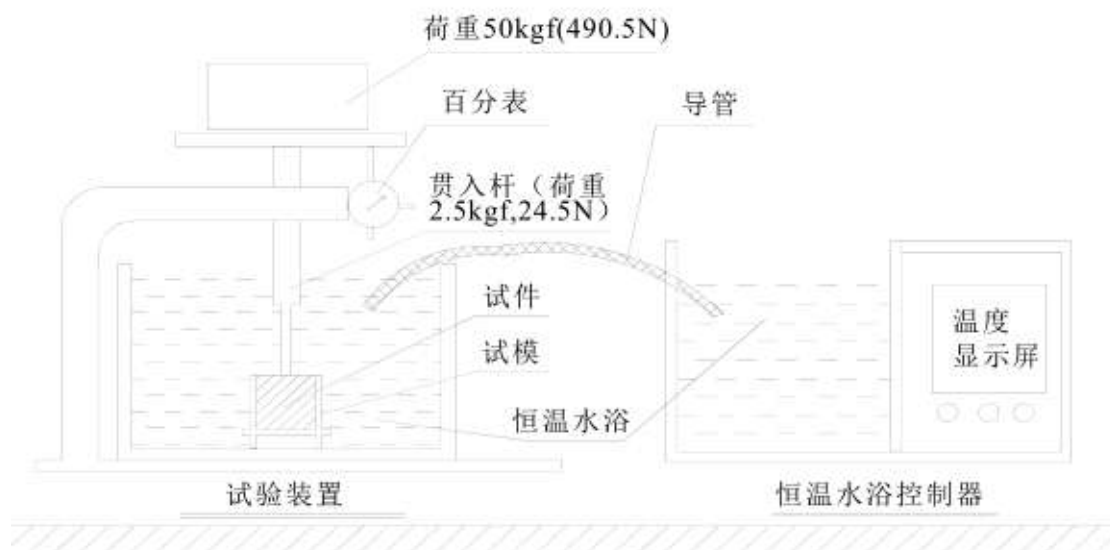


图 2.2 贯入度试验仪器

1 加载砝码：荷载为 $515.0\text{ N} \pm 9.81\text{ N}$

2 贯入杆：钢制，直径为 $25.2\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ ，底面平整光滑；

3 位移传感器：可用百分表，用于测量贯入量，精度为 0.01 mm ；

4 恒温水浴控制器件：提供温度恒定的水浴，精度为 1°C ；

2.3 烘箱：控制温度 $250^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ；

2.4 温度计：量程 $(0 \sim 300)^\circ\text{C}$ 温度计一支，分度值 2°C ，量程 $(0 \sim 40)^\circ\text{C}$ 温度计一支，分度值 1°C ；

2.5 其他：刮刀（宽约 30 mm ）、拌和设备。

3 试验步骤

3.1 试件制作

3.1.1 按规定的温度及时间拌和浇注式沥青混合料。拌锅升温至 260°C ，将集料和矿粉混合后升温至 240°C ，改性沥青升温至 180°C 。集料和矿粉在拌锅内干拌 1 min ，按重量比倒入沥青。拌和 $(1 \sim 1.5)\text{ h}$ 后，温度升至 $(240 \sim 260)^\circ\text{C}$ 时，准备成型试件。

3.1.2 将拌和好的混合料均匀地注入已预热为 $(100 \sim 150)^\circ\text{C}$ 的试模。可事先用脱模剂（如甘油）或蜡纸涂覆模具，方便试件从模具中取出。注入后在试模四周人工插捣以保试件密实，禁止插捣试模中间。插捣后如有多余的混合料将其刮除，使试模内混合料顶部的中间部分稍凸出，并轻轻敲打表面。待试件冷却后，使用加热的刮刀将试件整形，表面平整。整个过程中严禁抖动试模，确认所有角

落都被填满。

3.1.3 将试件在常温条件下放置时间不少于 48h 进行测试，最长放置时间不得超过一周。

3.2 将按规定方法养护的试件脱模，试样的侧面作为测试面并重新装入试模中；

3.3 将试验夹具和试件一起放入预先设定温度下(40℃)的水浴中保温 60min；

3.4 将贯入杆垂直下伸到试件表面中心位置，并使其与试件表面接触；

3.5 放下贯入杆，同时按动秒表开始计时，初加荷载为 24.5N（为贯入杆和承重平台的重量），读取 10min 时百分表的读数；

3.6 固定贯入杆，将该荷载下 10min 时的百分表读数调整为零，在没有冲击力的情况下，将 490.5N 的荷重砝码放在承重台上，记录 1min, 2min, 3min, 5min, 10min, 20min, 30min 和 60min 时百分表的读数，并精确到 0.01mm。

4 报告

30min 时的读数为该试件的贯入量，60min 时的读数与 30min 时的读数之差为贯入度增量。同一试样应至少平行试验 3 次，当同一批试件中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予以舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。试件数目为 3、4、5、6 个时，k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。其中同一批试件室内平行试验不得少于 5 个，现场试验不得少于 3 个。

5 允许误差

立方体试样 贯入度试验	重复性		再现性	
	标准差, σ_r	重复性	标准差, σ_R	再现性
百分比	10 %	28 %	20 %	55 %

条文说明

该方法用于评价浇注式沥青混凝土高温抗永久变形能力，按照《钢桥面沥青混凝土铺装》征求意见稿附录编写。该方法来自欧盟，原称为压痕试验，相应试验方法有两个，即 EN 12697-20 和 EN 12697-21，其中 EN 12697-20 是在德国 DIN 1996-13，EN 12697-21 来自法国的 NF T66-002。根据法国 GUNE 标准，EN 12697-20 适合于公称粒径不大于 11.2mm 的混合料，而 EN 12697-21 适合于大于 11.2mm，而不小于 16mm 的混合料。由于德国 MA 混合料最大

公称粒径均不大于 11.2mm，因此德国仅采用 EN 12697-20，而并采用 EN 12697-21。

由于我国浇注式沥青混凝土技术受德国影响较大，因此《钢桥面沥青混凝土铺装》中试验方法主要参考 EN 12697-20，同时试验温度等参数根据我国工程实践进行了调整，但是试验要求和步骤简化较大，而且无论是 MA-5、MA-10 和 MA-16 均采用 EN 12697-20。因此需要调研，同时结合 EN 12697-20、EN 12697-21 进行以上试验方法的完善。

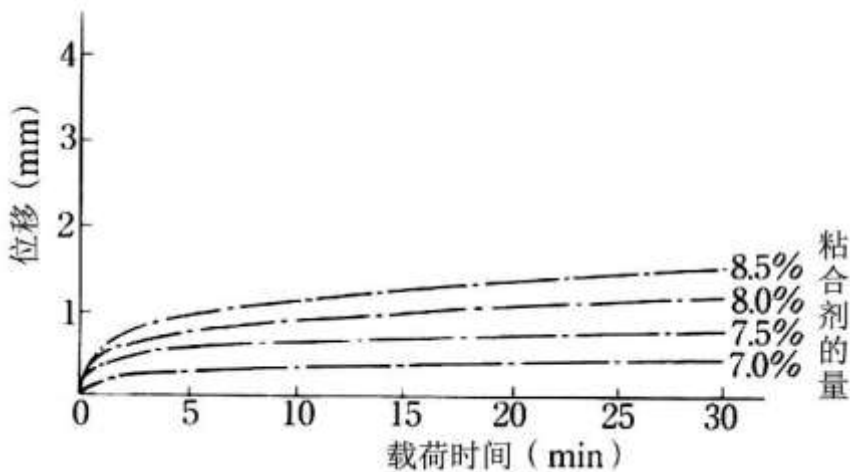


图 荷载时间与位移

图 G.2 列出了荷载时间与位移的关系。由该图可知，加载 1 min 后的位移约占贯入量的 40 %。因此认为初期的位移对贯入量有大的影响。

T 0769—201X 沥青混合料二点弯曲疲劳试验(梯形梁法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于采用两点弯曲疲劳试验机在规定试验条件下，测定压实沥青混合料梯形梁试件承受重复弯曲荷载的疲劳寿命。

1.2 标准的试验条件为试验温度 $15^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，加载频率 $25\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ ，采用恒位移控制的连续正弦加载模式。

1.3 试验终止条件为弯曲反作用力降低到初始力的 50%。

1.4 本方法适用于试验室轮碾成型的沥青混合料板块试件或从现场路面切割板块试件，板块试件在室内进一步切割为满足要求的梯形试件。

2 仪器与材料技术要求

2.1 疲劳试验机：疲劳试验机应能够以固定的频率在梯形试件顶部施加正弦位移，试验过程中位移变化应在设定位移 $\pm 12\mu\text{m}/\text{N}$ 范围内。试验机应能够以 25Hz

±1Hz 的频率在试件上施加荷载，采用其它加载频率时，试验过程中频率的变化幅度不得超过设定频率的±4%。

2.2 环境箱：环境箱应通风循环，并保持箱体内试验温度均匀分布，能够准确测量并显示试件测试位置处的温度，保证试验过程中温度变化范围在试验温度±0.5℃以内。同时应能使加载装置与外部数据采集等控制装置顺利连接，并具有足够的内部空间容纳加载装置，除了试验的试件，至少还能存放两组养生试件，同时能够允许调整加载装置，方便试件放入和移出。

2.3 传感装置

2.3.1 力

试件顶部的力传感器的精度应满足，当检测的力值 $\geq 200\text{N}$ 时，偏差在±2%以内，当力值 $< 200\text{N}$ 时，偏差在±2N以内。

2.3.2 位移

试件顶部的位移应能够采用静态方法进行检测，采用的位移传感器的精度应在±1.5 μm 以内。

2.4 数据采集与控制装置：使用计算机控制每个加载循环，测量施加于梁顶部的峰值位移及梁的反作用力，并能够实时记录和计算加载次数、荷载大小、试件位移、相位角、耗散能等用户所需的相关技术指标。

2.5 黏接平台：用于将梯形试件和上下端头黏接在一起，保证梯形试件黏接于上下端头的中心位置，便于固定在疲劳试验机上。

2.6 黏结剂：一般采用双组份高强环氧树脂，室温条件下，24h 应能够充分固化。

2.7 其它：游标卡尺、天平等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 试件准备：按照 T0786-201X 方法制备沥青混合料板块试件，或者从现场路面切割板块试件。然后用高精度数控切割锯对板块试件进行切割，取碾压成型方向为梯形试件高度方向，梯形试件的尺寸应符合表 T0768-1 的要求。一块 600mm×400mm，厚度不小于 100mm 的沥青混凝土板块通常可切割 20 根梯形梁试件，切割完成的试件应按顺序编号。

表T0768-1 梯形试件尺寸要求

梯形试件尺寸 (mm)	$D \leq 13.2\text{mm}$	$13.2\text{mm} < D \leq 19.0\text{mm}$	$19.0\text{mm} < D \leq 37.5\text{mm}$
B	$56\text{mm} \pm 1\text{mm}$	$70 \pm 1\text{mm}$	$70 \pm 1\text{mm}$
b	$25 \pm 1\text{mm}$	$25 \pm 1\text{mm}$	$25 \pm 1\text{mm}$
e	$25 \pm 1\text{mm}$	$25 \pm 1\text{mm}$	$50 \pm 1\text{mm}$
h	$250 \pm 1\text{mm}$	$250 \pm 1\text{mm}$	$250 \pm 1\text{mm}$

注：D 为混合料的公称最大粒径，B 为梯形试件的下底宽度；b 为梯形试件的上底宽度；e 为梯形试件的厚度；h 为梯形试件上下底之间的高度。

3.1.2 试验前试件的存放：沥青混凝土板块试件和切割后的梯形梁试件存放温度应不超过 35°C (20°C)。室内制备的板块试件应在压实成型后 7d 内完成切割，切割完成的试件应在至少 48h 后才能黏接，且存放时间不得超过 30d。存放期间，试件应水平放置于表面平整并具有一定刚度的硬玻璃板（或瓷砖）上，防止试件发生变形。存放时间自切割完成后开始。

3.1.3 试件尺寸测量：应采用游标卡尺测量试件的上底宽、下底宽、高度及厚度尺寸并记录，厚度测量上、中、下 3 个位置，取 3 个测量值的平均值，其它尺寸各测量 1 个位置，准确至 0.01mm 。任何一个尺寸不符合表 T0768-1 的要求，则该试件作废。

3.1.4 试件空隙率测量：沥青混合料疲劳和弯曲性能较大程度上依赖于混合料的实际压实水平，每一根梯形试件在进行疲劳试验前需先进行空隙率 (VV) 的测定。试件实际空隙率由计算机系统根据输入的混合料参数、试件尺寸及重量数据按照体积法计算得到，实际空隙率应在目标空隙率 $\pm 0.5\%$ 范围内。

3.1.5 试件黏接：选择满足尺寸及空隙率要求的干燥试件，在试件上、下底面均匀涂抹黏接剂后置于黏接平台上，将试件上、下底面与预先固定在黏结平台上的上、下端头对接并充分挤压，尽可能减薄黏结层，以保证黏结牢固。试件黏接前应将试件的尺寸、重量按编号顺序输入数据采集与控制系统。

3.2 试验步骤

3.2.1 试件固定：将黏结牢固的试件及上、下端头从黏结平台上拆卸下来，固定于疲劳试验机的加载平台上。

3.2.2 试验参数选择：在试验参数设定界面选择试件、输入加载变形水平、加载频率及试验终止标准等参数，然后通过疲劳试验机上的旋转转子调整施加于试件顶部的变形水平至设定的变形水平 $\pm 5\mu\text{m}$ 。设定的变形水平 z_i 与预期应变水

平 ε_i 之间存在如下关系:

$$K_{ei} \times z_i = \varepsilon_i \quad (\text{T0768-1})$$

$$K_{ei} = \frac{B_i^2 \times (B_i - b_i)^2}{4b_i \times h_i^2 \times \left[(b_i - B_i) \times (3B_i - b_i) + 2B_i^2 \times \ln\left(\frac{B_i}{b_i}\right) \right]} \quad (\text{T0768-2})$$

3.2.3 试件养生: 开启环境箱温控系统进行养生, 试件应在试验温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 条件下至少养生 4h 才可进行试验。

3.2.4 开始试验: 启动加载程序, 疲劳试验机开始在试件顶部反复施加按正弦波形式变化的位移荷载, 其值为设定的变形水平 $\pm 5\mu\text{m}$, 并取第 100 次~500 次循环反作用力的平均值为初始力, 作为确定试件疲劳失效判据的基准力。试验持续直至达到终止条件, 疲劳失效加载次数的精度为 300 次。

3.2.5 变形水平的选择: 设定的变形水平应满足以下条件:

- a) 变形水平在对数坐标系下大致均匀分布或至少进行三个变形水平的试验;
- b) 满足至少 1/3 的试件疲劳破坏次数不低于 >100 万次, 1/3 的试件疲劳破坏次数 <100 万次。

3.2.6 同一种材料至少需要 18 个试件的疲劳试验才能确定有效的试验结果, 得到疲劳方程。

4 计算

4.1 疲劳方程

基于试验结果 N_i 和 ε_i , 在双对数坐标系下拟合得到如式 T0768-1 所示线性关系式表达的疲劳曲线关系式, 并给出相关系数 R^2 。

$$\lg(N) = a + (1/b) \times \lg(\varepsilon) \quad (\text{T0768-3})$$

4.2 100 万次疲劳破坏应变 ε_6

$$\varepsilon_6 = 10^{b \times (6-a)} \quad (\text{T0768-4})$$

4.3 疲劳寿命残余标准差 S_N

$$S_N = S_{\lg(N)} \sqrt{\frac{(1 - (R^2)^2) \times (n-1)}{n-2}} \quad (\text{T0768-5})$$

式中, n 为疲劳试验总数, $S_{\lg(N)}$ 为 $\lg(N_i)$ 的标准差。

4.4 疲劳试验质量指数 $\Delta \varepsilon_6$

$$\Delta \varepsilon_6 = 0.5 \times \varepsilon_6 \times (10^{-2b \times S_0} - 10^{2b \times S_0}) \quad (\text{T0768-6})$$

S_0 按下式计算:

$$S_0 = S_N \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\lg(\varepsilon_6) - \lg(\varepsilon))^2}{(n-1) \times S_{\lg(\varepsilon)}^2}} \quad (\text{T0768-7})$$

式中, $\lg(\varepsilon)$ 为 $\lg(\varepsilon_i)$ 的平均值, $S_{\lg(\varepsilon)}$ 为 $\lg(\varepsilon_i)$ 的标准差。

5 报告

5.1 同一种沥青混合料, 在相同试验条件下应至少进行 6 次平行试验。平行试验结果按试验数据的离散程度进行弃差处理, 弃差标准为: 当一组试件的测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时, 该次实验数据应予以舍弃, 同时应保证每组试验的有效试件不少于 3 根。有效试件数为 n 时的 k 至见表 T0768-2。

表 T0768-2 有效试件数为 n 时的 k 值

有效试件数 n	临界值 k	有效试件数 n	临界值 k
3	1.15	7	1.94
4	1.46	8	2.03
5	1.67	9	2.11
6	1.82	10	2.18

5.2 报告应包括如下内容

5.2.1 试验报告要求提供混合料类型、沥青含量、矿料级配、集料来源、沥青品种、沥青混合料板块试件的制作日期 (从路面切割试件的日期)、梯形试件的切割日期、试验日期、梯形试件空隙率等相关信息。

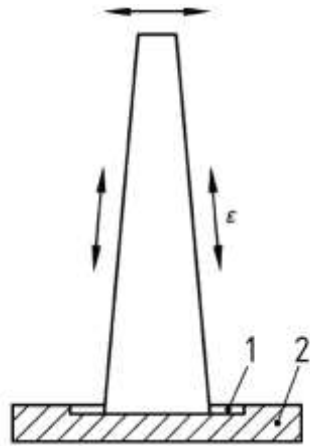
5.2.2 试验条件参数, 包括变形水平 (应变水平)、试验温度、加载频率、失效条件等。

5.2.3 试验结果描述, 包括疲劳方程、疲劳寿命 100 万次对应的失效应变 ε_6 及疲劳试验质量指数 $\Delta \varepsilon_6$ 、疲劳曲线关系式的斜率及相关系数等。

条文说明

本方法主要参照欧标 EN 12697-24 及其附录 A 并结合我国的试验情况编写。该方法目前国内主要采用两点弯曲模量与疲劳测试仪 (M2F) 进行。

目前国内应用较多的是沥青混合料四点弯曲疲劳试验方法, 采用矩形梁试件, 本方法采用梯形试件两点弯曲疲劳试验方法, 以正弦波位移加载为标准控制模式, 但本质上属于应变控制。具体加载及受力模式见图 T0768-1 所示。



本方法中，标准疲劳试验温度定为 15°C ，与 T0739 保持一致，主要参考的是我国交通运输部科研项目“沥青路面设计指标与参数的研究”中的成果，由我国各地区的气象资料确定的当量温度。而 EN12697-24 中采用的标准疲劳试验温度是 10°C ，是根据欧洲地区气象及轴载等资料综合确定的。当然，疲劳试验根据需要也可采用其它温度。

对于加载频率，本方法参照 EN12697-24 同样取 25Hz ，这与我国 T0739 试验方法采用的 10Hz 不同，主要是由于梯形试件两点弯曲疲劳试验机采用电动加载，能够实现更快的加载速率，提高试验效率。

关于疲劳试验加载的变形水平，本方法要求进行三个水平的试验，以得到试验温度和频率下的疲劳曲线关系式，并要求在进行的变形水平下，应至少有 $1/3$ 的试件疲劳寿命达到百万以上，为满足这一要求，一般情况下，基质沥青混合料的变形水平在 $100\mu\text{m}$ 左右选定，改性沥青混合料的变形水平可在 $200\mu\text{m}$ 左右选定。

关于试件的制备，建议采用 T0786 方法制备平面尺寸为 $60\text{cm}\times 40\text{cm}$ 厚度不低于 10cm 的板块试件，每块可切割 20 根梯形试件，可满足 3 个变形水平疲劳试验的试件需求。梯形试件的切割必须采用高精度数控切割机床，以保证试件的尺寸满足要求。

对于试件的存放时间，EN12697-26 中要求用于疲劳试验的试件自切割完成后应放置 $14\text{d}\sim 42\text{d}$ ，且至少 14d 后才能进行黏接工作，导致试验周期较长，国内外研究中也尚未明确存放试件对疲劳试验结果的影响程度。因此，本方法中，参照 T0739 试验方法，将试件的存放时间调整为不少于 48h ， 48h 之后即可进行黏接准备进行下一步试验，同时要求疲劳试件的存放时间不得超过 30d 。

空隙率对疲劳寿命的影响是复杂的，河北省交通规划设计院对采用 20 号沥青的高模量沥青混合料在 $130\mu\text{m}$ 的变形水平下进行了 52 根小梁的疲劳试验，试件空隙率范围 $0.5\%\sim 5.5\%$ ，疲劳寿命的统计分析结果见表 T0768-3 所示。进一步数据分析发现，试件空隙率提高 1% ，疲劳寿命下降约 140000 次，以所有试件疲劳寿命的中值考虑，则空隙率提高 1% 疲劳寿命下降约 20% ，该值甚至低于疲劳试验自身的离散水平。因此，本方法中，虽然对试件的空隙率有一定要求，但对不满空隙率要求的试件不强制作废。但对尺寸不满足要求或边角有明显缺陷的试件必须作废。

表 T0768-3 空隙率对疲劳试验结果的影响分析

指标	空隙率/%				
	1%±0.3%	2%±0.3%	3%±0.3%	4%±0.3%	5%±0.3%
样本数	7	14	15	8	8
平均值	1018853	967400	672078	667320	462510
标准差	316711	472172	203606	347386	455689
变异系数	31.1	48.8	30.3	52.1	98.5

疲劳试验结果离散型较大,尤其对于尺寸较小的试件,因此,本方法要求相同条件下的平行试验次数不低于6次,以便对平行试验结果进行统计分析,并剔除异常结果。

本方法仅规定了采用一个试验温度、一种加载频率下的疲劳试验,得到的结果尚无法建立完整的疲劳方程,但根据试验结果可获得试验加载条件下的疲劳寿命关系式,能够满足材料疲劳性能的比较与分析。

本方法中疲劳试验的终止条件为梯形试件两点弯曲的反作用力衰减至初始反作用力的50%,本质上也是混合料的劲度模量衰减了50%。采用其它终止条件时,应在报告中注明。

试验报告要求提供混合料类型、沥青含量、矿料级配、集料来源、沥青品种、沥青混合料板块试件的制作日期(从路面切割试件的日期)、梯形试件的切割日期、试验日期、梯形试件空隙率等相关信息。条文说明

1 根据 EN 12697-24,其疲劳试验方法有5种方法,A 二点弯曲疲劳(2P-TR 梯形梁);B 二点弯曲疲劳(2P-PR 棱柱体);C 三点弯曲疲劳(3P-PR 棱柱体);D 四点弯曲疲劳(4P-PR 棱柱体);E 劈裂拉伸疲劳(IT-CY 圆柱体)和 F 重复劈裂拉伸疲劳(CIT-CY 圆柱体)。目前欧盟沥青混合料标准 EN 13108-1~8\20 等系列标准,规定仅采用 A 和 D 两种方法。

在美国主要应用四点弯曲疲劳寿命试验,试验方法标准为 AASHTO T 321 和 ASTM D 7460,同时美国近些年开发了新的疲劳试验方法,如直接拉伸循环疲劳测黏弹损伤(S-VECD),即直接拉伸疲劳试验(又分为 DT-CY 圆柱体和 DT-PR 棱柱体),相应的试验方法标准有 AASHTO TP107。

我国疲劳试验仅为 T 0739 的四点弯曲疲劳试验,主要借鉴了 AASHTO T321。可见,疲劳试验是沥青混合料重要的试验方法之一,目前四点疲劳试验过于单一,为此本次修订增补梯形梁法二点弯曲疲劳试验和直接拉伸疲劳试验。

2 本标准参考法标欧盟 EN 12697-24 附录 A 及法国 LCPC 经验编写。

T 0770—201X 沥青混合料直接拉伸循环疲劳测黏弹损伤试验

1 目的与适用范围

本试验方法可以测定沥青混合料的损伤特性。适用于最大公称粒径不超过 37.5mm 的沥青混合料。

2 仪具与材料技术要求

2.1 直接拉伸试验系统：包括试验仪器、温控箱和测量系统。图 1 为疲劳试验的试验设备示意图。

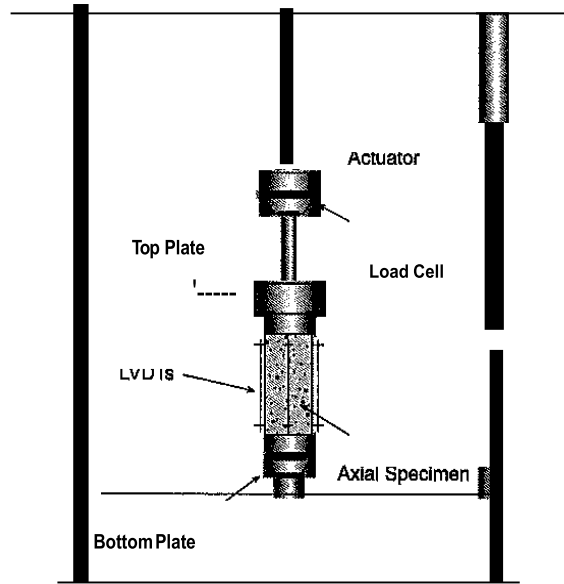


图 1 直接拉伸试验设置示意图

2.2 沥青混合料性能测试仪(AMPT):满足或超过简单性能测试的动态测试系统的设备。

2.3 外部调节室: 温度调节室应能在 5℃~25℃ 的温度范围内控制温度,精度为。±0.5℃。该温控室应至少能容纳一个待测的沥青混合料试件, 以及一个在试件内部和表面安装热电偶的监测试件, 可用做参考温度。

2.4 测量系统: 由计算机控制, 能够测量和记录随时间变化的施加载荷和轴向变形情况。表 1 为试验设备应达到的精度和分辨率:

表 1 - 试验设备系统的精度和分辨率

测量	量程	精度	最小量程
应力	0.12-13.5kN	误差≤1.0%	≤0.0012kN
机器形变	至少 12mm	误≤0.03mm	≤0.0025mm
试件形变	无规定 a	误差≤1.0%	无规定 b

无规定 a: 推荐使用约 7000με。

无规定 a: 推荐使用不小于 7.5με。

2.5 轴向变形测量系统：使用安装于黏贴在试件标记点之间的传感器测量轴向变形，见图 2。变形测量方式包括以下模式：间隔 180 度的 2 个标记点，或间隔 120 度的 3 个标记点，或间隔 90 度的 4 个标记点。

注 1：推荐使用 LVDT 传感器（线性可变差动传感器）。若选择测头型传感器（弹簧式 LVDT），应确保弹簧弹力适中，避免将测量点分，此时可用试验温度下黏附在试件上的弹簧式 LVDT 监测试件的变形情况。

注 2：使用相隔 90 度设置的四个传感器时，比其它的传感器布置方式具有优势。因为一旦某个传感器无法正常工作，可放弃相对该传感器 180 度的另一个传感器，转而使用剩余的 2 个传感器来测量试件的平均变形。

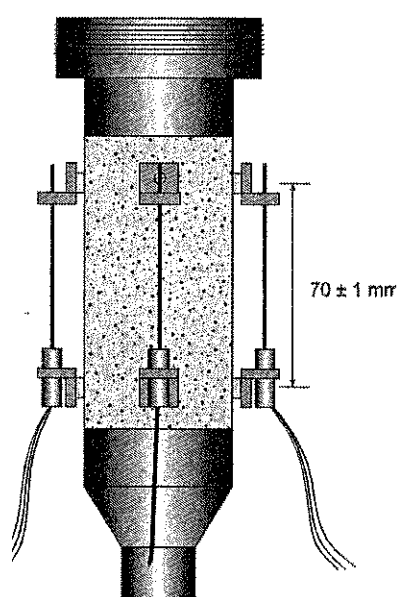


图 2 标记点常规布置方式示意图

2.6 加载板：需将机器荷载从试件上下两个方向移到试件上。目标试件的直径为 100 mm，加载板的直径应保持在于目标试件直径 $\pm 0.05\text{mm}$ 的范围内。应采用硬化电镀钢或阳极氧化高强度铝制作加载板，若加载版质地较软，则应频繁更换。不得使用线弹性模量和硬度低于 6061-T6 的铝材。应在每个加载板表面设置一些凹槽，以便胶水可以更好的附着在加载板上。在试验仪器正常使用时，上部装载板应不产生偏心荷载。如图 3 所示，在拧紧锁定球铰时，机器可以被锁定。如果端板的黏结设备足够坚硬，可不使用锁定球铰而直接安装试件。

注 3：端板上的凹槽能提升胶:和板间的附着力。凹槽建议深度为 0.6mm，横向间隔约为 1.9mm。开槽方式为同心圆弧或螺旋形图案。建议使用 V 形槽或网纹槽。

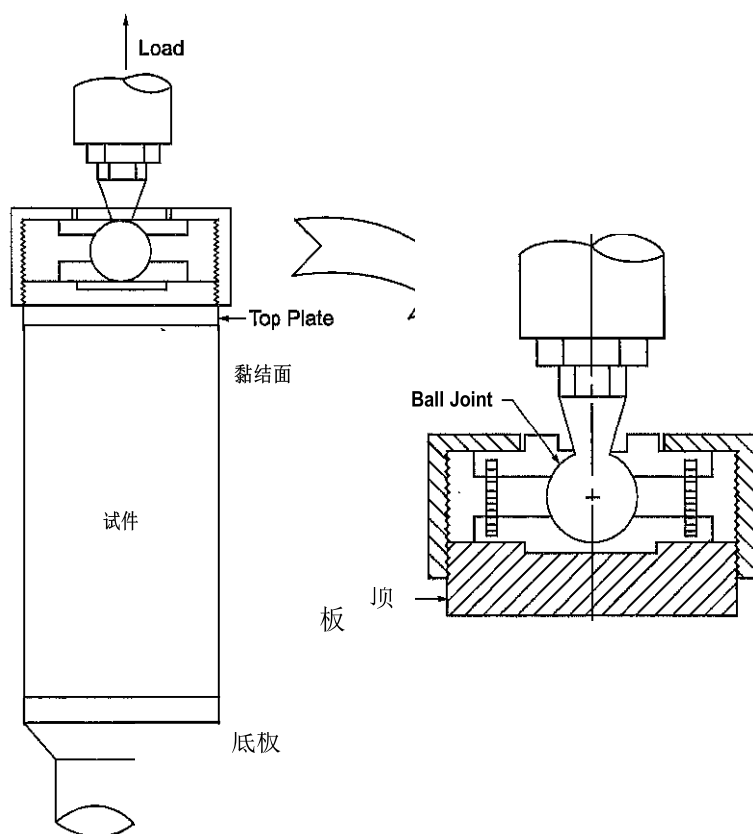


图 3 锁定球铰设计示例

2.7 端板胶结装置：应能将端板与沥青混合料试件黏结在一起。试件应能在装置内与端板自动对中，并确保试件和端板两者之间不存在偏心。可以通过夹紧或其他方式，将胶结设备固定在指定高度下至少 4 小时。图 4 为胶结夹具的示例图。若没有夹具，可将试件直接黏结在试验机器上。应在机器的负载模式下完成胶结工作，机器施加的压应力不得超过 0.045kN。

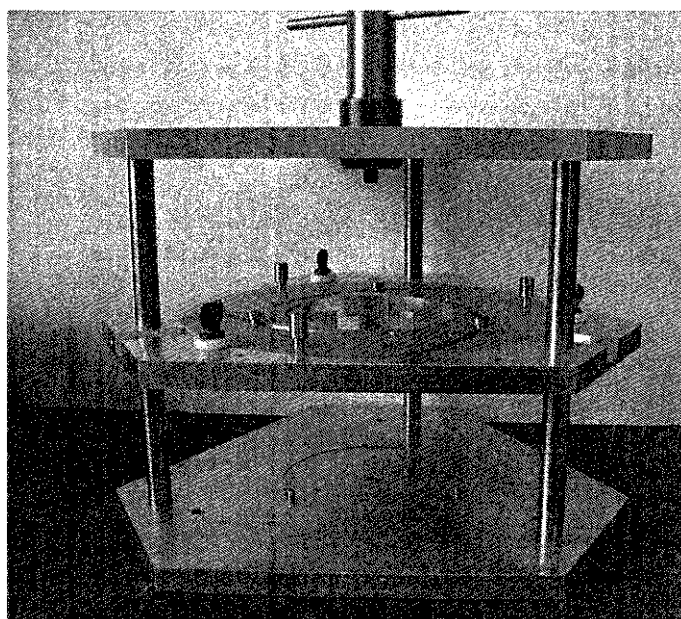


图 4 端板胶结装置

3 试验准备

3.1 直接拉伸试验所用试件应从较大的 Superpave 旋转压实试件上，通过钻芯取样和切割的方式获得，试件直径为 150mm，最小高度为 180mm。试验所用试件的平均直径应介于 100 mm -104mm，标准偏差小于 0.5mm。试件的平均高度应介于 127.5 mm -132.5mm 之间。

注 4：使用的试件高度和切割方式，取决于给定压实机器的孔隙率梯度和切割设备的能力。对于压实到 180 mm 高度的试件，应首先切下底部 25mm 高度的材料，因为试件底部是旋转压实机器的模具部分。

3.2 试验室制备的沥青混合料应在烘箱内进行 4 小时的短期老化。现场沥青混合料不需要在试验前老化。

3.3 沥青混合料试件孔隙率范围不得超过规定的 $\pm 0.5\%$ 。

3.4 每种试验条件下，测试一个重复样品。

注 5：若 2 天内不对试件进行测试，建议用聚乙烯包裹每个试件，或将其密封在聚乙烯袋中，存放在温度为 5℃~25℃ 的无照明区域。试件不得堆放存储，为了防止老化对试验结果的影响，建议在试验前，试件的存放时间不超过 2 周。

3.5 设置试验设备

3.5.1 使用手动钢丝刷或电动钢丝刷，彻底刷洗每个加载板表面，并清洁所有端板。用钢丝刷清洁加载板后，用在丙酮或类似溶剂中浸泡过的毛巾擦拭机器表面的灰尘。

3.5.2 使用含少量丙酮溶剂的毛巾，擦拭试件末端，清除残留灰尘。

3.5.3 取适量胶水将端板和试件黏在一起。整个黏结过程约 10-20min，可按照此黏结时间准备胶水。

3.5.4 将胶水填满试件顶部和底部表面的所有缝隙。

3.5.5 将剩余胶水分成四份均匀地涂抹在端板和试件上下两面之间（即端板顶面 1/4，端板底面 1/4；试件顶面 1/4，试件底面 1/4），将端板插入黏结夹具中，并将试件小心地插入端板的上下两端，尽量让试件靠近端板中心。然后拧紧夹具，将端板和试件调整到正中心，轻轻将顶板降低到指定位置。注意不要让顶板与试件完全贴合，为保证胶水有足够的黏结力，至少应给胶水预留 1mm 的厚度。在胶水硬化前擦拭或刮去多余部分，等待胶水黏结力达到其设计值后，再通过夹具

移动试件。

3.5.6 从胶黏夹具上用手托起底部后取下试件，避免直接从上部提拉试件，以免破坏胶水的胶结。

3.5.7 使用环氧树脂黏合剂将轴向传感器的安装螺栓连接到试件侧面。夹具应满足表 2 的规定值。

表 2 — 试件变形测量系统的最低要求

性能	值
标记点接触区域	80 mm ² ± 10 mm ²
沿标记长方向的标记点大小	10 mm ± 2 mm
安装系统和传感器的质量	最多 80g

3.5.8 用于测量 100mm 直径试件的轴向变形的标记长度应为 70 mm ± 1 mm，两个标记点的间距定义为两个中心点的直线距离。可使用合适的对准和间隔夹具来帮助安装轴向变形测量设备。标记长度的测量应为不同标记点中心的距离，所有传感器的安装标记长度应相同。试验开始前，应让胶水完全固化。

4 试验步骤

4.1 每个试件需安装单独的传感器支架。首先在振荡模式下以特定温度和频率测试试件以获得线性黏弹性数据，然后切换频率和温度再进行测量，直至试件破坏。

4.2 需要在三种不同的应变水平下进行三次试验。

4.3 试验温度可根据目标位置 LTPPBind 确定的 98% 可靠性气候性能等级 (PG) 来选择，但不能超过 21°C。试验温度应为高温气候 PG 和低温气候 PG 平均值再减去 3°C。例如，LTPPBind 高温为 64°C，低温为 -22°C 的测试温度为 18°C。如果计算结果高于 21°C，则使用 21°C。

4.4 如果使用单独的温控箱对试件进行温度调节，则执行 4.5。如果使用 AMPT 对样品进行温度调节，则执行 4.7。

4.5 将所有待检测试件和装有温度传感器的试件放入温控室。

4.6 通过监测安装在试件上的两个温度传感器来测量温度，使待测试件的温度与指定试件温度相差在 ±0.5°C 以内。当温度达到标准时，两个传感器的测量值差值不能超过 ±1°C。如果这两个测量值相差超过此值且确定已达到平衡，则记录

中间试样温度并继续下一步，但需对温度传感器进行校准，或在下一次试验开始前更换传感器。

4.7 将试件放入试验仪器中，确保试件底部牢固地固定在机器中。当试件牢固好后，将制动器放置在适当位置，并施加约 0.09 kN 的固定荷载。使用锁定球绞或螺丝快速将促进器与上部装载板固定，确保不会破坏试件。

注 6 如图 3 所示的球绞示意图，可在顶端加载板和锁定球绞的盖子上钻一些小孔，方便使用扳手。将活动扳手插入锁定帽，并手动拧紧球绞上的锁定帽。之后将活动扳手插入顶部加载板，在保持顶部加载板固定的情况下，转动活动扳手并拧紧球绞。

4.8 降低施加在试件上的荷载 $0 \pm 0.01 \text{ kN}$ 。使试验仪器处于应力控制状态，此时机器可通过上下移动来调节应力。

4.9 将传感器连接到试件上，并将其大致固定在起始位置。将试件拧紧到机器底部的支撑杆上时，连接传感器可能较为容易操作。

4.10 控制温度使试件与指定试验温度相差在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 。如果测试室有足够的空间，可以使用安装有两个温度传感器的虚拟试件来监测温度。达到指定温度所需时间与可用设备（例如，单独的温控室）、环境条件和试验温度而变化。如果试验空间过小不足以同时容纳监测试件和待检测试件，则应在试验开始前等待 4 小时，或单独使用监测试件来校准等待时间并记录。

注 7 如果试件在一个独立温控室内进行调节，且第 4.7 至 4.9 节中的所有步骤可在 5 分钟内完成，只需要 1 小时，即可让试件温度回升至 AMPT 室中的试验温度。对于有两组 LVDT 和温度调节的试件而言，试件上安装的 LVDT 有助于减少完成第 4.7 至 4.9 节步骤所需的时间。

4.11 对于温度校准的监测试件，测量试件表面和内部温度，并记录两个测量结果的平均值。当达到试验温度时，这两个测量值的差值不应超过 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。如果这两个测量值相差超过此值且确定已达到平衡，则记录中间试样温度并继续下一步，但需对温度传感器进行校准，或在下一次试验开始前更换传感器。

4.12 必要时调整、调平或归零电子测量系统。

4.13 在 10Hz 和指定试验温度下，进行动态模量的指纹测试。指纹测试应在拉伸 - 压缩的加载模式下进行。如使用 AMPT 和适当的控制软件，按照第 4.14 至 4.16 中的步骤进行操作，设备能测量和记录试验期间施加的荷载和轴向变形随

时间变化情况，并可自动控制试件的应变。否则，按第 4.17 至 4.20 中的步骤进行操作。

4.14 在设备控制软件中，输入微应变的目标应变范围：50 到 75。

4.15 开始指纹试验，让机器在低于表 3 中估计目标荷载的荷载幅度下施加数个循环。

4.16 使用前几个循环的测量结果，计算达到 50 到 75 微应变所需的荷载水平，然后在该荷载水平下循环 50 个荷载周期。依据 AASHTO T 342 和 T 378 中建议的方法，计算最后五个循环的动态模量。跳到 4.21。

4.17 根据试验温度，从表 3 中确定指纹试验的初始目标荷载 $P_{dynamic}$ ，或在已知混合料动态模量的情况下，使用公式 1 计算该值。

$$P_{dynamic} = 60 \times 10^{-6} \times |E^*| \times \pi r^2 \quad (2)$$

式中： $P_{dynamic}$ —指纹试验的峰-峰荷载(kN 或 lb)；

$|E^*|$ —在指纹试验温度和频率下，待检测混合料的动态模量(kPa 或 psi)；

r —试件半径(m 或 inch)。

表 3-指纹试验的估计目标荷载

温度(℃)	$P_{dynamic}$	
	kN	lbs
10	4.71	1060
15	3.56	800
20	3.01	675

4.18 以 10 Hz 的频率，对试件加载 5s 的初始目标荷载，并根据 AASHTO T 342 和 T 378 中建议的方法，计算最后五个循环的动态模量。如果获得的应变水平介于 50 到 75 的微应变，则将此值记录为 $|E^*|_{\text{fingerprint}}$ ，并转到第 4.21；否则，继续到 4.19。

4.19 将得到的峰-峰应变值除以 60 微应变，并将该值表示为 P_{adj} 。

4.20 用 P_{adj} 划分第 4.17 中确定的初始目标荷载水平，并将结果指定为 $P_{dynamic}$ 。然后，用得到的新 $P_{dynamic}$ 重新执行 4.18，直到试件应变处于 50 到 75 微应变之间。如果峰-峰应变超过 150 微应变，则将试件废弃。在重复 4.20 的步骤时，应对试件设置 5 分钟的放松时间。

4.21 基于制动器位移，使用公式 2 计算应变。

$$\varepsilon_{act} = \frac{\delta_{act}}{L} \quad (3)$$

式中： ε_{act} 一根据制动器位移计算的峰-峰应变幅值；

δ_{act} 一峰-峰制动器位移；以及

L 一试件高度(mm 或 inch)。

4.22 使用公式 3 计算机器柔量系数。

$$K = \frac{\varepsilon_{act}}{\varepsilon_{os}} \quad (4)$$

式中： ε_{os} 一根据 4.16 节或 4.18 节，计算试件的峰-峰应变振幅；

K 一机器柔量系数。

4.23 指纹试验完成后，在松弛状态下将试件静置 20 至 45 分钟。如果试验机在应力控制和应变控制模式之间没有自动转换功能，则应手动将机器转换为应力控制模式后应用松弛时间。

4.24 用峰-峰值试件应变幅度为 300 微应变 (ε_{os1}) 的大小，开始第一次循环疲劳试验，并使用公式 4 计算制动器位移值。

注 8：根据制动器位移计算的应变水平不一定与试件实际产生的应变相同。机器柔量是导致这一结果的重要原因，且不同试验机器的柔量系数可能存在差异，一般而言，机器柔量系数介于 5 到 10 之间。

$$\delta = (\varepsilon * K) * L$$

式中： δ 一在试验温度下使用的位移幅度水平(mm 或 inch)；

ε 一目标试件的应变水平；以及

L 一试件长度(mm 或 inch)。

4.25 将传感器读数重置，以补偿指纹试验期间可能出现的任何轻微位移。

4.26 在 10Hz 频率下，用公式 4 计算得到的振幅，对试件施加一个恒定正运动制动器振动疲劳实验，如，制动器拉伸 - 拉伸位移测试。记录荷载和所有传感器位移与时间的关系函数，在第一个加载循环的前半部分（从零到第一个峰值），以每秒 1000 个采样点的速率记录数据。对于其余的加载循环，仅需记录循环次数，波峰和波峰应力，传感器位移的波峰和波谷。此外还可以选择采集应力和位移的全时数据，然后对数据进行处理以获得峰值和谷值，或按照加载循环次数记

录应力的峰-峰值，应变的峰-峰值， β 值和 K_1 值。对于后一种选择，建议数据记录频率为每秒 1000 个数据点。当为裂缝发展为宏观裂缝时，可停止试验。宏观裂缝是指肉眼可见的裂缝，且该裂缝可将试件一分为二。

4.27 在剩余的两个试件上，重复以上试验步骤。根据第一次试验测得的试件破坏时循环荷载加载次数 (N_{fl})，可以从表 4 中找到相应的第二个试件 (ϵ_{os2}) 和第三个试件的 (ϵ_{os3}) 的峰 - 峰试件应变水平。然后使用公式 4 将其转换为制动器的位移。如果第一次试验试件破坏时的应力加载循环次数(N_{fl})小于 500 次，则第一次试验结果作废，改用 250 微应变的峰-峰应变幅(ϵ_{os1})重新进行试验。

表 4-第二和第三个试件的标准应变水平

实例	ϵ_{os2}	ϵ_{os3}
$500 < N_{fl} < 1000$	$\epsilon_{os1} - 100$	$\epsilon_{os1} - 150$
$1000 < N_{fl} < 5000$	$\epsilon_{os1} - 50$	$\epsilon_{os1} - 100$
$5000 < N_{fl} < 20000$	$\epsilon_{os1} + 50$	$\epsilon_{os1} - 50$
$20000 < N_{fl} < 100000$	$\epsilon_{os1} + 100$	$\epsilon_{os1} + 50$
$100000 < N_{fl}$	$\epsilon_{os1} + 150$	$\epsilon_{os1} + 100$

5 计算

5.1 本节介绍了伪应变，虚正割模量和疲劳试验的损伤标准的计算步骤。本节和附录中的所有计算过程都可以使用 ALPHA 疲劳软件自动完成。

5.2 根据测得的动态模量和相角，确定 $E(t)$ Prony 系数。

5.3 使用公式 5，计算试件的动态模量比 (DMR)

$$DMR = \frac{|E^*|_{fingerprint}}{|E^*|_{LVE}} \quad (5)$$

式中： $|E^*|_{fingerprint}$ —4.14 和 4.16 确定的动态模量 (kPa)；

$|E^*|_{LVE}$ —由公式 6 计算，在给定试验温度和频率的指纹试验中，待检测沥青混合料的动态模量(kPa)；

DMR—动态模量比，即试件的变异补偿参数。

$$|E^*|_{LVE} = \sqrt{\left[E_{\infty} + \sum_{m=1}^N \frac{E_m \omega_R^2 \rho_m^2}{\omega_R^2 \rho_m^2 + 1} \right]^2 + \left[\sum_{m=1}^N \frac{E_m \omega_R \rho_m}{\omega_R^2 \rho_m^2 + 1} \right]^2} \quad (6)$$

式中： ω —指纹试验角频率；

a_T —指纹试验温度的时间-温度偏移因子；

ω_R —公式 7，指纹试验的简化角频率；以及 E_∞ , E_m, ρ_m Prony 系数。

$$\omega_R = \omega * a_T \quad (7)$$

5.4 将数据分成两部分。第一部分为从零到第一峰值应力的数据。第二部分包括剩余数据。

5.5 对于第一部分数据，平均所有传感器的读数，并使用公式 8 计算所有数据点的平均应变。如果使用四传感器配置，若其中一个显示数据异常或者失效；则平均值不包括该传感器，与之相对 180 度的传感器数据也不计入计算中。

$$\varepsilon = \frac{\delta}{GL} \quad (8)$$

式中： ε —平均轴向应变；

δ —传感器测量的平均轴向位移(mm)；

GL —传感器的标记长度(mm)。

5.6 对于第一部分数据中的每个数据点，使用公式 9 计算其轴向应力。

$$\sigma = \frac{F}{\pi r^2} \quad (9)$$

式中： σ —轴向应力(kPa)；

F —应力传感器测量的轴向应力(kN)；

r —试件半径(mm)。

5.7 使用公式 10，计算第一部分数据中每个数据点的减少时间。

$$t_R = \frac{t}{a_T} \quad (10)$$

式中： a_T —指纹试验中试验温度的时间-温度偏移因子；

t —试验测得的时间 (s)；

t_R —减少时间。

5.8 使用公式 11 所示的状态变量公式，计算第一部分数据中每个数据点的伪应变。

$$\varepsilon^{R(n+1)} = \frac{1}{E_R} [\eta_0^{n+1} + \sum_m^N \eta_m^{n+1}] \quad (11)$$

式中： $\varepsilon^{R(n+1)}$ —下一步的伪应变；

E_R —参考模量，应选 1；

η —伪应变的弹性分量(公式 12)；

η_m —Prony 元素 m 的伪应变贡献量(公式 13);

n —计算中使用的时间步长;

ε —使用公式 8, 计算当前或后续时间步长的应变;

Δt_R —减少时间步长的持续时间, $t_R^{n+1} - t_R^n$;

t_R —减少时间。

$$\eta_0^{n+1} = E_\infty(\varepsilon^{n+1}) \quad (12)$$

$$\eta_m^{n+1} = e^{-\Delta t_R/\rho_m} \eta_m^n + E_m \times \rho_m \left(\frac{\varepsilon^{n+1} - \varepsilon^n}{\Delta t_R} \right) [1 - e^{-\Delta t_R/\rho_m}] \quad (13)$$

5.9 计算第一部分数据中每个数据点的归一化虚正割模量。

$$C = \frac{\sigma}{\varepsilon^R * DMR} \quad (14)$$

5.10 计算每个时间步长的损伤变化 ΔS 。由于数据采集过程中不可避免的电子干扰(数据噪声), 一些连续数据点可能具有正 ΔC 值。如果噪点数量不是很多, 不会对总损伤值的计算 (S) 产生不良影响, 但应使用公式 16 进行计算。计算这些噪点的有效方法是公式 17 中所示的分段函数, 该分段函数可以通过使用if函数包含在电子表格中。

$$\Delta S_i = \left(-\frac{DMR}{2} (\varepsilon^R)^2 (C_i - C_{i-1}) \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}} (\Delta t_R)^{\frac{1}{\alpha+1}} \quad (15)$$

式中: C_i —当前时间步长的虚正割模量;

C_{i-1} —前一时间步长的虚正割模量;

Δt_R —减少时间步长的变化值;

α —与材料时间依赖相关的连续损伤幂项, 公式 17。

$$\Delta S_i = \begin{cases} \left(-\frac{DMR}{2} (\varepsilon^R)^2 (C_i - C_{i-1}) \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}} (\Delta t_R)^{\frac{1}{\alpha+1}}, & C_i \leq C_{i-1} \\ 0, & C_i > C_{i-1} \end{cases} \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{1}{n} + 1 \quad (17)$$

式中: n —松弛模量的最大双对数斜率。

5.11 计算每个时间步长的损坏。

$$S_i = \sum_{i=1}^N \Delta S_i \quad (18)$$

式中: S_i —当前时间步长的累积损坏;

ΔS_i —从初始时间步长 $i = 1$, 到当前时间步长 n , 所有时间步长的损坏增量求和。

5.12 将第一部分数据中最后一点的损害定义为 Sdataset1。

5.13 计算第二部分数据中每个传感器和每个周期的峰-峰应变。

$$\varepsilon'_{PP} = \frac{\delta'_{peak} - \delta'_{valley}}{GL} \quad (19)$$

式中： i —指数来表示对所有四个传感器进行计算；

ε'_{PP} —传感器的峰-峰轴向应变， i ；

δ'_{peak} —传感器实测的轴向位移峰值， i (mm)；

δ'_{valley} —由传感器实测的轴向位移谷值， i (mm)。

5.14 对于第二部分数据中的每个加载周期，求所有传感器的应变平均值，并将该应变表示为试验峰-峰应变幅度， ε_{PP} ；如果四个传感器其中一个显示数据异常或失效；则平均值不包括该传感器，与之相对 180 度的传感器数据也不计入计算中。

5.15 计算第二部分数据中每个周期的峰-峰应变。

$$\sigma_{PP} = \frac{F_{peak} - F_{valley}}{\pi r_2} \quad (20)$$

式中： σ —轴向应力(kPa)；

F_{peak} —应力传感器测量的轴向应力峰值(kN)；

F_{valley} —应力传感器测量的轴向应力谷值(kN)；

r —试件半径(mm)。

5.16 计算第二部分数据中每个周期的峰-峰虚应变。

$$\varepsilon_{PP}^R = \varepsilon_{PP} * |E^*|_{LVE} \quad (21)$$

式中： ε_{PP}^R —峰-峰虚应变。

5.17 计算第二部分数据中每个周期的循环虚正割模量。

$$C^* = \frac{\sigma_{PP}}{\varepsilon_{PP}^R * DMR} \quad (22)$$

5.18 减少第二部分数据中的数据点数量，将此数据集重新定义为精简数据集 2。

5.19 计算精简数据集 2 中每个周期的函数形状因子 β 。

$$C^* = \frac{\sigma_{PP}}{\varepsilon_{PP}^R * DMR} \quad (23)$$

5.20 计算精简数据集 2 中每个周期的拉伸幅度虚应变。

$$\varepsilon_{ta}^R = \frac{\beta + 1}{2} \varepsilon_{PP}^R \quad (24)$$

式中： ϵ_{ta}^R —拉伸幅度虚应变。

5.21 计算精简数据集 2 的每个加载周期中，当拉伸加载开始时的时间， t_b 。

$$t_b = \frac{\cos^{-1}(\beta)}{62.83} \quad (25)$$

5.22 计算精简数据集 2 的每个加载周期中，当拉伸加载结束时的时， t_e 。

$$t_e = (2\pi - \frac{\cos^{-1}(\beta)}{62.83}) \quad (26)$$

5.23 计算精简数据集 2 中每个加载周期的形状调整因子，应对每个周期求解方程。一般来说，前几个周期之后 β 不会发生明显变化，但在过渡期之后可以应用一个恒定值。表 5 给出了表示典型 α 和 β 对应的 K1 值。

表 5-常见材料和试验条件的 K1 编译值

Beta	Alpha						
	4.333	4.077	3.857	3.667	3.500	3.353	3.222
-0.5	0.277	0.285	0.293	0.300	0.306	0.315	0.318
0.0	0.263	0.271	0.278	0.285	0.291	0.297	0.302
0.2	0.256	0.264	0.271	0.277	0.284	0.289	0.295
0.4	0.248	0.256	0.262	0.269	0.275	0.280	0.286
0.6	0.238	0.245	0.252	0.258	0.264	0.269	0.274
0.8	0.225	0.231	0.238	0.243	0.249	0.254	0.259
1.0	0.189	0.195	0.200	0.205	0.209	0.214	0.218

$$K_1 = \frac{1}{t_e - t_b} \left[\left(\frac{1}{\beta + 1} \right)^{2\alpha} \int_{t_b}^{t_e} (\beta - \cos(62.83 * t))^{2\alpha} dt \right] \quad (27)$$

注 9: 使用合适的数值在满足要求的精度下求解 27, 其中时间步长值等于 100。

5.24 根据数据采集历史，使用公式 28 或公式 29 计算精简数据集 2 中每个周期的平均减少时间。

$$t_R = \frac{1}{a_T} \left[\frac{t_{peak} + t_{valley}}{2} \right] \quad (28)$$

式中： t_{peak} —峰值应力的时间;以及

t_{valley} —波谷应力的时间。

$$t_R = \frac{1}{a_T} \left[\frac{N}{10} \right] \quad (29)$$

式中： N —加载循环次数。

5.25 计算精简数据集 2 中，每个周期的损伤变化, ΔS 。由于数据采集过程中不可避免的数据噪声，即使数据减少，一些连续数据点可能具有正 ΔC 值。如果噪点数量不是很多，不会对总损伤值的计算 (S) 产生不良影响，使用公式 16 进行计算。计算这些噪点的有效方法是公式 17 中所示的分段函数，该分段函数可以通过使用 *if* 函数包含在电子表格中。

$$\Delta S_n = \left(-\frac{DMR}{2} (\varepsilon^R)^2 (C_n^* - C_{n-1}^*) \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}} (\Delta t_R)^{\frac{1}{\alpha+1}} (K_I)^{\frac{1}{\alpha+1}} \quad (30)$$

式中: C_n^* —当前分析周期的循环虚正割模量;

C_{n-1}^* —前一周期的循环虚正割模量;

Δt_R —分析周期之间的平均减少时间的变化量。

$$\Delta S_n = \begin{cases} \left(-\frac{DMR}{2} (\varepsilon_{ta}^R)^2 (C_n^* - C_{n-1}^*) \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+1}} (\Delta t_R)^{\frac{1}{\alpha+1}} (K_I)^{\frac{1}{\alpha+1}}, & C_n^* \leq C_{n-1}^* \\ 0, & C_n^* > C_{n-1}^* \end{cases} \quad (31)$$

5.26 计算每个分析周期的损伤。

$$S_n = S_{dataset1} + \sum_{n=1}^N \Delta S_n \quad (32)$$

式中: S_n —当前分析周期的累积损坏;

ΔS_n —从初始分析周期 (n=1) 开始, 到当前分析周期 (N), 所有周期的损伤增量求和。

5.27 将 4.9 和 4.12 中每个时间步长的损伤和虚正割模量, 与 4.17 和 4.26 中的循环虚正割模量和损伤值合并为一个数据集。

5.28 通过将以下等式之一拟合到所有疲劳试验, 绘制虚正割模量和损伤的关系曲线来确定损伤特征关系。

$$C = e^{aS^b} \quad (33)$$

$$C = 1 - yS^z \quad (34)$$

式中: a, b —指数模型的拟合系数; 以及

y, z —幂模型的拟合系数。

6 报告

试验报告应包含以下内容: 试验温度, 指纹动态模量 $|E^*|_{\text{fingrtprint}}$, 动态模量比值, C 和 S 关系曲线系数等。

条文说明

本方法主要参考 AASHTO TP107 编写。试验可采用 AMPT 进行。对沥青混合料施加重复循环荷载, 直至试件失效。测量施加的应力和试件上的轴向应变响应。损伤 (S) 与虚正割模量 (C) 的关系, 可表示为损伤特征曲线。损伤特征曲线能表示沥青混合料的损伤与材料完整性之间的基本关系。此性质与温度、频率以及加载方式无关。结合沥青混合料的线性黏弹性, 损伤特征曲线可用于分析沥青混合料的疲劳性能。损伤特征曲线还可与其他路面响应模型相结合, 以预测沥青混合料的疲劳性能。

T 0771—201X 沥青混合料裂缝扩展性能试验（半圆形弯曲法）

1 目的与适用范围

1.1 本试验方法主要是通过半圆弯曲法测定常温下沥青混合物的断裂能（Gf）。该方法中包括从荷载-位移曲线得出的与现场性能相关的其他参数（刚度 S、峰值荷载下的位移 U_0 和临界位移 U_1 ），采用柔性指数（FI）预测沥青混合料的抗损失性能。

1.2 本试验方法适用于小于最大公称粒径 19mm 的沥青混合料。试样可以选用室内成型试件和现场取芯试样。

1.3 本实验采用半圆盘 SCB 试样，其凹槽应平行于加载方向和垂直于半圆盘轴。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试验机-半圆弯曲（SCB）试验系统（见图 1），包括闭环轴向加载装置，荷载测量装置，弯曲试验夹具，试样变形测量装置，以及控制和数据采集系统。应使用恒定位移速率装置，例如机电，螺杆驱动机器或闭环，反馈控制伺服液压负载框架。

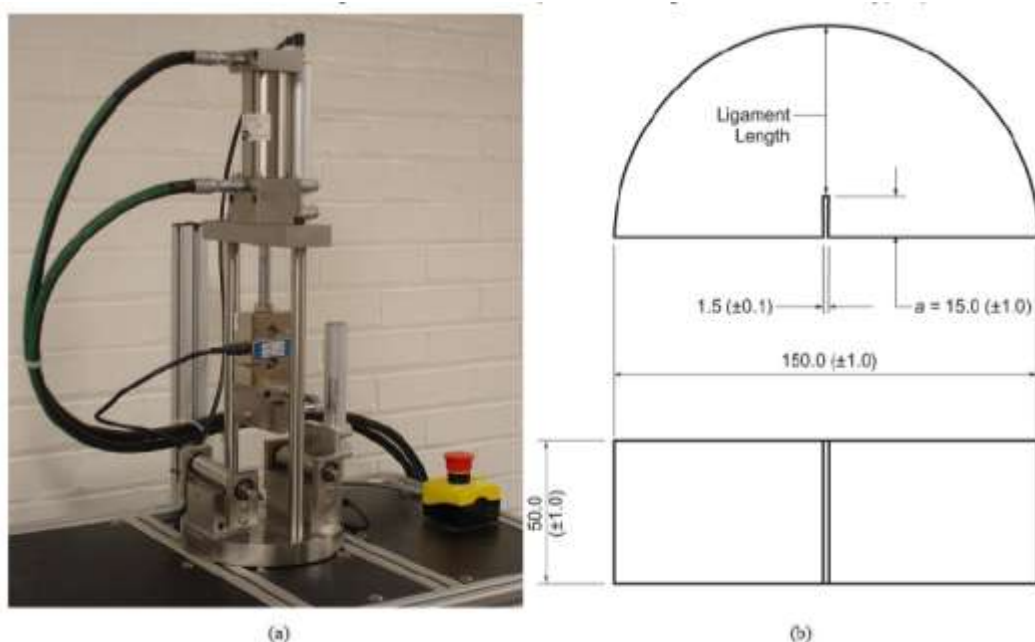


图 1- (a) 半圆弯曲测试夹具和 (b) 半圆弯曲试验试样结构（单位：毫米）

2.2 轴向装载装置应具备 10N 的分度量和最小 10kN 的输送压缩负载。

2.3 弯曲试验夹具由钢底板，两个 U 形滚轴支撑钢块，两个直径 (D) 为 25mm 的钢辊和一个 U 形 LVDT 定位框架组成 (见图 2)。初始钢辊位置由弹簧和止回器固定，建立初始试验跨度尺寸。在试验期间，允许支撑钢辊旋转远离止回器；但保持与样品接触。装载头的尖端具有 12.5mm 半径的接触曲率。装载和支撑的图示如图 2 所示。

注 1：图 2 中两个钢辊支架的长度至少应为 65mm。

2.4 内部位移测量装置，分辨率不低于 0.01mm，可以使用机械的行程 (位置) 传感器执行位移测量。通过加载销穿透和样本压缩执行测试系统的校准，可以校正断裂测试位移数据以用于系统顺应性。

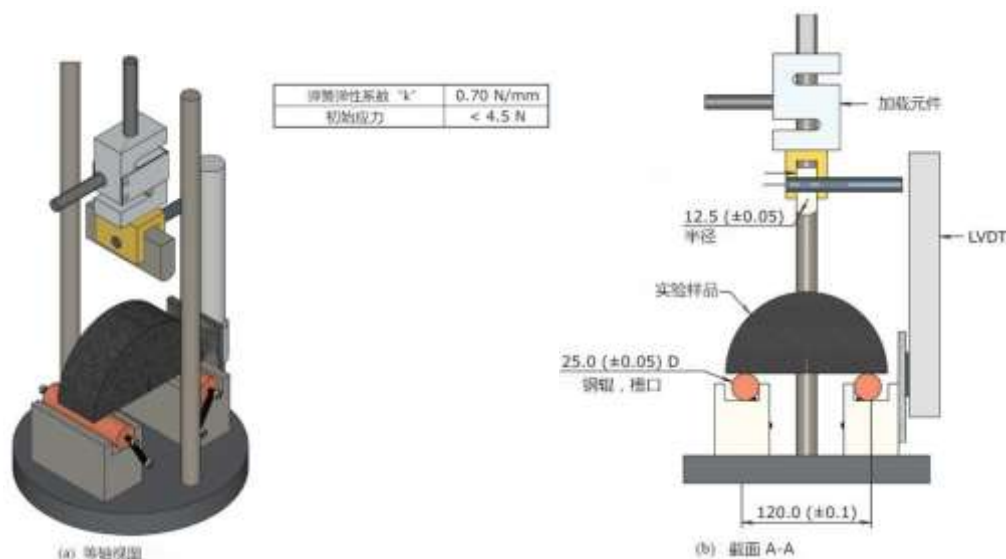
2.5 外部位移测量装置，如果不存在内部位移测量装置或精度不足，可以使用外部位移测量装置，线性可变差动传感器 (LVDT) (图 2)，精确度为 0.01mm。

2.6 控制和数据采集系统，负责控制记录时间、施加的荷载以及产生的位移。精度为 $50 \pm 1 \text{ mm/min}$ 。

2.7 切割锯，能够切割图 1 半圆试样中具有凹槽的工具。

2.8 环境室，能够保证室内试样恒温的实验室或者水浴。

2.9 卡尺或者直尺,用于测量试件的厚度和面积，精度为 $\pm 1 \text{ mm}$ 。



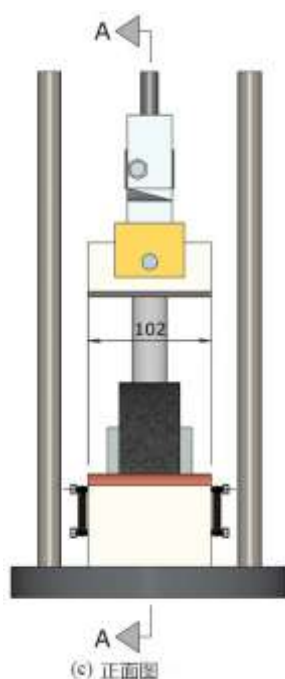


图 2 - SCB 测试夹具的等轴视图，截面图和正视图（单位：mm）

3 试验准备

3.1 室内试样的准备，可采用旋转压实成型试件，直径应为 $150\pm 1\text{mm}$ ，最小压实高度为 160mm ，在旋转压实试件中间切取 2 个厚度为 $50\pm 1\text{mm}$ 的圆柱形切片（见图 3）。将每个切片切成两个相同的半圆形。制备出 4 个两面具有 $7.0\pm 0.5\%$ 的空隙率的试样。

注 2：对于实验室压实的试件，如果每个切片无法达到目标空隙率，则可以增加样品高度。如果不能增加试样高度以在切片中获得目标空隙率，则取两个旋转压实试件，在每个试件中间获得单个切片。

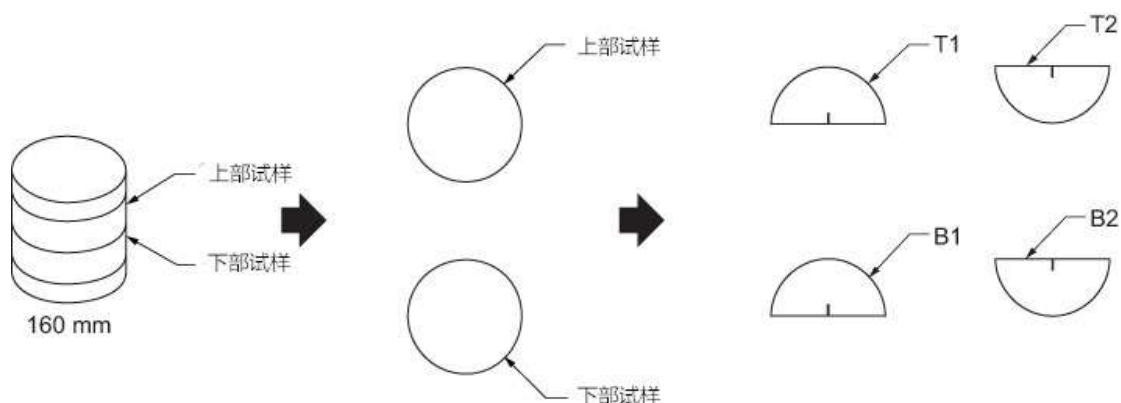


图 3 室内旋转压实试件的试样制备

3.2 现场取芯试样，使用路面取芯设备取两个芯样，直径 150mm ，厚度可以在 $25\sim 50\text{mm}$ 之间，如果试样厚度小于 50mm ，则厚度不能低于沥青混合料最大公称粒径的两倍或 25mm ；如果现场取芯厚度大于 50mm ，则应 50mm 切片；如

果现场取芯大于 75mm，则可以切割成两个等厚度的圆柱形试件，然后再精确地切割成两个相同的半圆弯曲试件，且保证顶部和底部都具有给光滑的切割面。

3.3 凹槽切割，沿每个半圆形样品的对称轴切出一个凹槽，深度为 $15 \pm 1\text{mm}$ ，宽度为 $1.5 \pm 0.1\text{mm}$ （见图 1）。

注 3：如果凹槽在试样的两个面都终止于 9.5mm 或更大的集料颗粒上，则应丢弃试样。

3.4 测量和记录试样的尺寸，测量并记录每个试样的韧带长度（见图 1）和厚度，精确至 1mm。测量样品两面的凹槽深度，并将平均值记录，精确至 0.5mm。

3.5 体积指标，测量试样的体积指标空隙率等。

4 试验步骤

4.1 试样保温，测量完的半圆形试件应在 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的环境室或水浴中保温 $2\text{h} \pm 10\text{min}$ 。

4.2 温度控制，试样在试验和保温期间，试样的温度都应保持在 $25^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，试样在从环境箱或者水浴中取出后，试验应在 5 ± 1 分钟内完成。

4.3 试样应放置于相对于支撑钢辊上的对称方向，垂直于水平放置的支撑钢辊，且垂直于水平面，施加的力应垂直穿过试样的中心并穿过切割的凹槽。

4.4 初始荷载，首先，线性加载控制系统（LLD）对试件施加初始应力 $0.1 \pm 0.01\text{kN}$ ，加载速率为 0.05kN/s ，并记录初始荷载。初始荷载减去加载装置的重量，保证加载在试样上的初始荷载避免不同机器的影响。

4.5 在达到 0.1kN 的初始荷载后，通过 LLD 以 50mm/min 的速率进行测试。当荷载降至 0.1kN 以下时，试验停止。

5 计算

5.1 断裂功（ W_f ），根据荷载与 LLD 曲线下的面积计算。如果在达到 0.1kN 之前停止测试，则应通过推理生成荷载与 LLD 曲线的其余部分，采用数值积分计算荷载 - 位移曲线下的面积。为了应用数值积分，原始荷载 - 位移数据应分成拟合方程描述的两条曲线。对于达到峰值荷载之前的曲线，采用 3 次多项式（等式 1）。荷载峰值后的曲线采用指数的函数（等式 2），最后采用数值积分来计算每条曲线下的面积（公式 3）。

对于峰值荷载（ $P_{\max}$ ）之前的位移（ u ）：

$$P_1(u) = c_1 \times u^3 + c_2 \times u^2 + c_3 \times u + c_4 \quad (1)$$

式中：c：多项式系数

对于峰值荷载（ $P_{\max}$ ）到最终位移（ u_{final} ）后的位移（ u ）：

$$P_2(u) = \sum_{i=1}^n d_i \exp\left[-\left(\frac{u-e_i}{f_i}\right)^2\right] \quad (2)$$

式中：d, e, f:多项式系数，n 是指数项的数量。

断裂功可以使用下面的积分方程和位移边界来分析或数值计算：

$$W_f = \int_0^{u_0} P_1(u) du + \int_{u_0}^{u_{\text{final}}} P_2(u) du \quad (3)$$

式中： U_{final} 在 0.1kN 的截止荷载下位移。

注 4：由于测试框架和试样的顺应性之间的相对差异，记录的位移可能不同。在适用时，可以考虑校正因子来校正记录的位移。

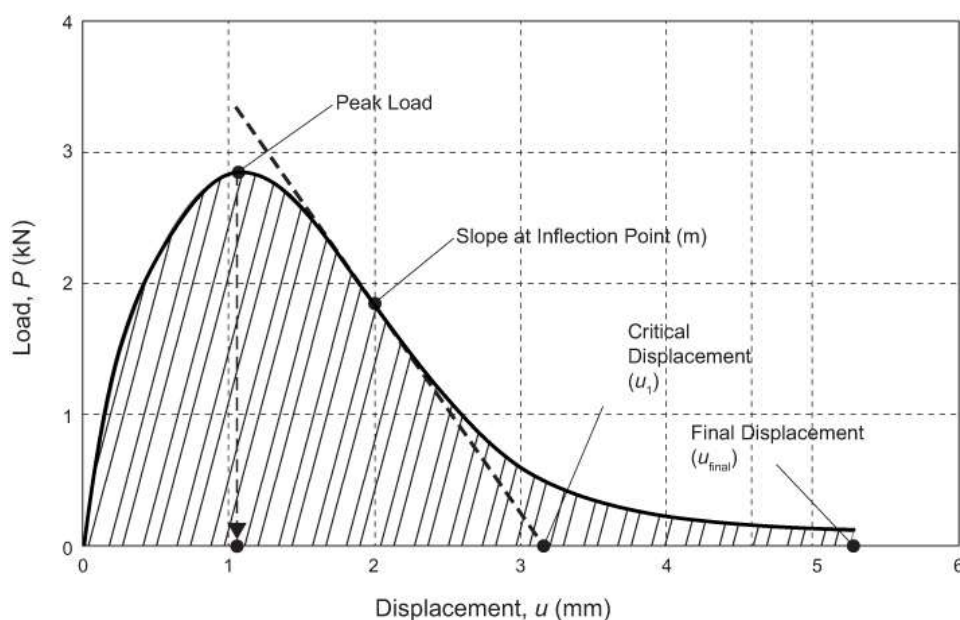


图 4-记录的荷载（P）与 LLD（u）曲线

5.2 断裂能（ G_f ），通过将断裂功（荷载与平均荷载线位移曲线下面积;见图 4）除以半圆弯曲试样的韧带面积（由试样韧带长度和试样厚度得出）计算得出。

$$G_f = \frac{W_f}{Area_{lig}} \times 10^6 \quad (4)$$

式中： G_f ： 断裂能（Joules/m²）

W_f :断裂功（Joules）

P: 荷载（kN）

U: 荷载线位移（mm）

$Area_{lig}$ ： 韧性区面积（mm²）

式中: $Area_{lig}$ = 韧性区长度 $\times t$

t: 试件厚度 (mm)

注 5: 断裂能具有尺寸依赖性。当凹槽长度与半径比改变时, 用断裂能量量化的沥青混合料的抗裂性可以变化。

5.3 刚度 (S), 通过将峰值荷载除以在相同荷载下实现的位移来计算刚度。

5.4 峰后斜率 (m), 在峰值点之后的荷载 - 位移曲线 (图 4) 上确定拐点。在拐点处绘制的切线曲线的斜率表示峰后斜率。

5.5 峰值荷载下的位移 (u_0), 荷载达到峰值时对应的位移。

5.6 临界位移 (u_1), 指通过过峰后拐点且斜率为 m 的直线与位移轴相交对应的位移值。

5.7 柔性指数 (FI), 采用荷载位移曲线获得的参数计算。因子 A 用于单位转换和缩放。A 等于 0.01。

$$FI = \frac{G_f}{|m|} \times A$$

式中: $|m|$: 荷载位移曲线上峰值后峰值切线斜率的绝对值 m (kN/mm)。

6 修正

6.1 对于从现场取芯样厚度小于 45mm 的试件, 计算其能量和荷载位移参数时应进行厚度校正。

7 报告

报告分为以上内容:

7.1 每个试样的体积容重, 精确到 0.001;

7.2 每个试件的空隙率, 精确到 0.1;

7.3 测试试件的厚度 t 和韧性长度, 精确到 0.1mm;

7.4 初始凹槽长度 a, 精确到 0.5mm;

7.5 峰值荷载的平均值和变异系数, 精确到 0.1kN;

7.6 峰值荷载下记录时间的平均值和变异系数, 精确到 0.1s;

7.7 峰值荷载 (u_0) 处的荷载线位移的平均值和变异系数, 精确到 0.1mm;

7.8 临界位移的平均值和变异系数 (u_1), 精确到 0.1mm;

7.9 刚度 S 的平均值和变异系数, 精确到 0.1kN/mm;

7.10 峰后峰值切线斜率 (m) 的平均值和变异系数, 精确到 0.1kN/mm;

7.11 断裂能 G_f 的平均值和变异系数, 精确到 1J/m^2 ;

7.12 柔性指数的平均值和变异系数, 精确到 0.1。

条文说明

1 裂纹扩展性能是沥青混合料产生疲劳开裂之后路面裂纹在行车荷载作用下进一步扩展的性能, 因此其裂缝扩展性能对评价其路用性能很关键。国际上评价方法主要有三种。一种是美国德州交通研究所(TTI)新开发的 Overlay Tester(OT)试验方法, 用来评价沥青混合料抗反射裂缝性能的试验方法。它有效地模拟了沥青路面反射裂缝的基本特性, 通过施加周期荷载并以荷载循环次数来评价沥青混合料的抗反射裂缝性能。主要试验标准有 TEX-248-F、ASTM WK26816、NJDOT b-10。还有一种是 D 型压缩拉伸试验方法, 该方法可以评价荷载和温度作用下裂纹扩展性能, 主要试验方法有 ASTM D 7313。第三种是 SCB 半圆柱体裂缝扩展性能试验, 主要方法标准有 EN 12697-44、AASHTO TP124、ASTM D 8044、LaDOTD TR330、AASHTO TP105(评价低温)。

本次修订增补了半圆形弯曲法和 OT 法两种沥青混合料裂缝扩展性能试验。

2 本方法主要借鉴 AASHTO TP124 和 EN 12697-44 进行编写。

T 0772—201X 沥青混合料裂缝扩展性能试验 (OT 法)

1 目的与适用范围

本方法旨在测定沥青混合料抵抗疲劳或反射裂缝的敏感性。

2 仪器与材料技术要求

2.1 叠加试验系统 (Overlay Test): 由电动液压系统、模块、温控箱、位移传感器、测力传感器、底板、安装夹具等组成。

2.1.1 电动液压系统可对试件施加周期性的直接拉伸荷载, 以 0.1 秒的间隔自动采集荷载、位移和温度。

2.1.2 机器由两部分模块构成: 一个为固定模块; 另一个为可在水平方向上平移移动的模块。在一个加载周期内, 可移动模块在试件上施加一个三角波形应变控制的拉应力, 恒定的最大位移为 0.06cm。在可移动模块达到最大位移后, 10 秒内恢复到初始位置。

2.1.3 温控箱;

2.1.4 用于测量模块位移的线性可变差动传感器 (LVDT)

2.1.5 测量位移产生荷载的测力传感器

2.1.6 铝质或钢质底板，用于限制测量过程中的样品偏移

2.1.7 安装夹具用于在制备试件时对准两个基板及 4.2mm 厚的间隔条。

2.2 单刃或双刃锯；

2.3 切割模具，用于方便样品切割，如图 1 所示：



图 1-切割模具

注 1 使用双刃锯时不需要使用该模具。

2.4 烘箱：25℃ ±0.5℃；

2.5 真空装置：如 CoreDry；

2.6 一次性抹刀和盘子，用于混合环氧树脂。

2.7 砝码：每个试件顶部必须有一个质量为 2.25kg 砝码，不要与侧边重叠。如图 2 所示。



图 2-砝码与试件

2.8 9.525mm 套筒驱动扭矩扳手，带 7.62cm 的拓展组件，能够施加 15 磅 - 英尺的扭矩。

2.9 双组分环氧树脂，静置 24 小时最低抗拉强度达到 4.1 MPa，静置 24 小时后抗剪切强度达到 13.8 MPa。

注 3 过期的环氧树脂会影响测试结果。在保质期之前或购买约 6 个月后使用环氧树脂。过期的环氧树脂可能出现颜色浑浊现象。

2.10 其他：水溶性或永久性马克笔、润滑剂（油脂或油），4mm 宽胶带，刀片等。

3 试验准备

3.1 成型试件

3.1.1 试验室制备三个试件，试件直径为 150mm，高度为 $115\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ ，试件成型后 5 天内必须完成试验。在同一天内完成所有混合料试件的测试工作，避免不确定因素影响测量结果。

注：温拌沥青混合料试件成型前，需在 $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下放置 4 小时 ± 5 分钟。

3.1.2 切割后的试件密度应为 $93 \pm 1\%$ ，透水磨耗层除外。

3.1.3 针对透水磨耗层混合料，请将试样模具转动 50 次。

3.2 钻芯取样：试样直径应为 $150\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ ，高度至少为 38mm，没有特定的密度要求。

4 试验步骤

4.1 制备试件：

4.1.1 垂直于圆柱形试件的顶面切割试样，如图 3 所示，修剪试件侧面宽度为 $76\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 。使用单刃锯时，沿着模具标记的线条进行切割。移除间隔条。

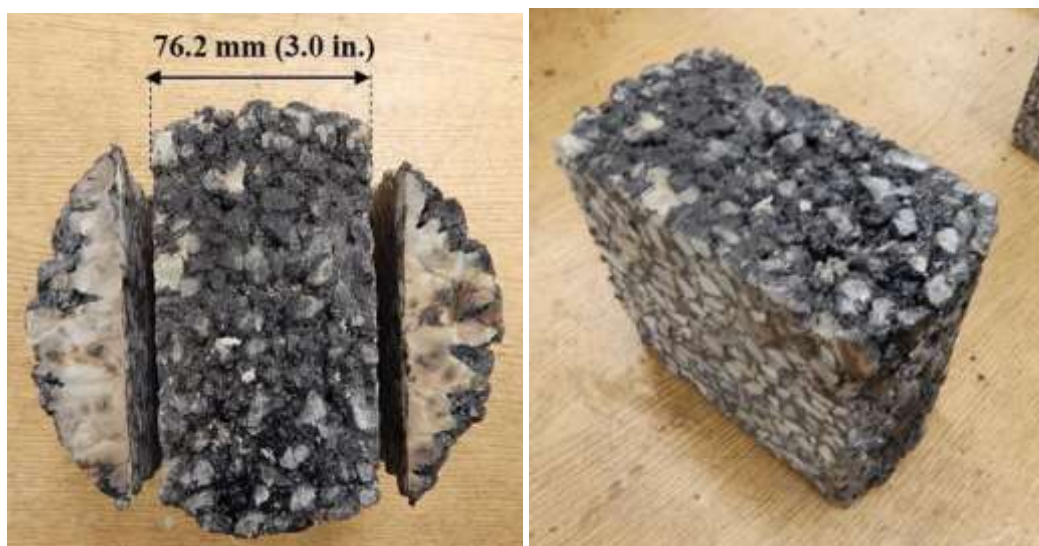


图 3 切割后的试件（俯视图）

4.1.2 切割每个试件的顶部和底部，制作高度为 $38\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 的试件，如图 4 所示。移除间隔条。



图 4 切割后的试件（侧视图）

4.1.3 计算切割后的试件密度。

注：透水磨耗层混合料的密度无需测量。

- 1 计算试件浸泡在水中时的重量。
- 2 计算试件在空气中的饱和面干（SSD）重量。
- 3 使用以下方法之一对切割后的试件进行干燥：
 - 风干法去除试件多余的水分，然后使用真空装置将样品干燥至恒重。
 - 烘箱法 $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下烘干至恒重。

注：烘箱干燥法大约需要 8 小时，试件不宜放置在烘箱中超过 24 小时。恒重是指质量在烘干时间 2h 以上变化不超过 0.05%。

- 4 相对密度应为 $93 \pm 1\%$ 。若切割后的试件不符合密度要求，则需重新制备。

注：试件的相对密度必须为 $95 \pm 1\%$ 。

4.2 装配试件

- 4.2.1 准备安装试件所需的材料，每个试件的胶合过程需独立完成。
- 4.2.2 确保底板和隔板干净，清洗之前试验的残留污染物和环氧树脂。
- 4.2.3 将底板固定到安装夹具上，将间隔条插入板之间，如图 5 所示。

注：按需在间隔条上涂抹少量润滑剂以便于之后移除。两个底板的间隙为 4.2 mm。



图 5-安装夹具，底板和间隔条

4.2.4 沿试件中心划线用于贴胶带，如图 6 所示。



图 6-用马克笔标记试件中线

4.2.5 在试件中心线涂抹少量凡士林，如图 7 所示。然后沿该线在凡士林上方放置一块 4 毫米宽的纸胶带，以便在样品安装到底板后取出。



图 7-将凡士林涂抹在试件上

4.2.6 分别为三个试样准备大约 16 克双组分环氧树脂。

4.2.7 避开纸胶带，用抹刀分别将混合环氧树脂均匀涂抹在试样的每一侧，如图 8 所示。



图 8 涂抹环氧树脂

4.2.8 将样品安装在底板上，确保样品居中并与边缘对齐，如图 9 所示。



图 9-样品的安装和校准

4.2.9 在试样顶部放置 2.268kg 的砝码，以确保试件与底板完全黏合。见图 10。



图 10-砝码与试件

4.2.10 用刀片将多余的环氧树脂从底板上刮下来，并去除。见图 11。

4.2.11 移除纸胶带和间隔条，应避免试件偏移，如图 12 所示。将环氧树脂涂抹在试样上到移除胶带和间隔条的时间不应超过 2 分钟。



图 12-移除纸胶带和间隔条

4.2.12 至少静置 24 小时以确保试件与底板黏结充分。

4.2.13 移除砝码。

4.2.14 在测试前，将试件和底板一同放入 OT 温控箱或 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中至少 1h。

4.3 启动试验设备，开启电脑，使用 OT 软件启动液压泵。

4.4 清洁试验仪器的底板底部和顶部后将试件装配到仪器中。将试件放入机器时，应确保设备处于负载模式，以尽量减少对试件的应力。用扳手在每个螺栓上施加 68N 的扭矩，将底板固定在机器上。上螺栓顺序推荐如图 13 所示。

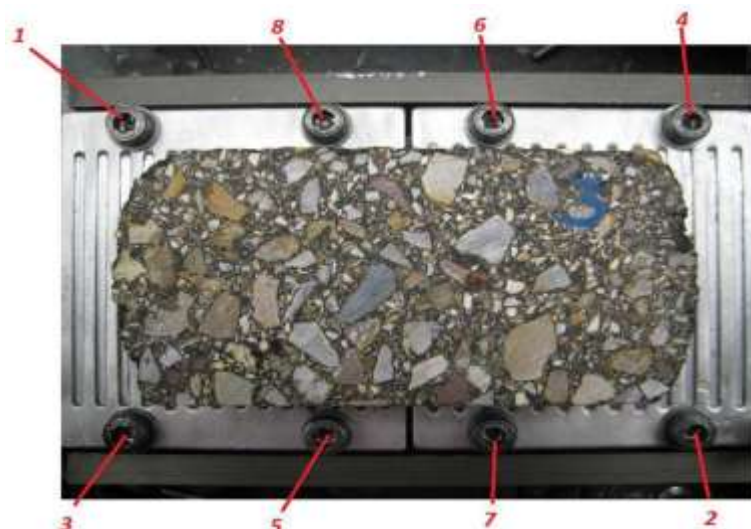


图 13- 上螺栓的推荐顺序

4.5 在 OT 软件中输入测试信息。在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温下进行试验。试验开始前，保持至少 10min 的松弛期。待试件松弛和温度恒定后试验自动开始。从第一个周期开始算起，最大负载减少 93% 后试验将自动终止。如果荷载减少量没有达到 93%，则运行 1000 次重复荷载，设备将自动停止试验。

4.6 试验完成后，取下试件，请关闭实验仪器。

4.7 观察试件顶部的裂缝数量，并记录在检测报告中：如 0 个，单个或多个裂缝。

5 计算

5.1 计算最大峰值荷载下的临界断裂能：

$$G_c = \frac{W_c}{b * h}$$

式中： G_c — 临界断裂能 ($\text{kN}\cdot\text{mm}^2$)

W_c — 断裂面积 ($\text{KN}\cdot\text{mm}$)

b — 试件宽度：76.2mm

h — 试件高度：38.1mm

注：图 14 为第一次重复加载时的临界断裂能示意图。

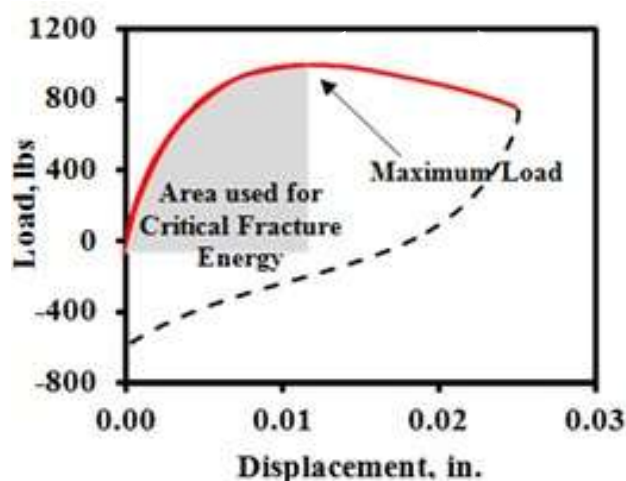


图 14 用于计算临界断裂能的面积(阴影)

5.2 拟合峰值荷载与重复荷载加载次数曲线的幂方程，来计算抗开裂指数。如图 15 所示。

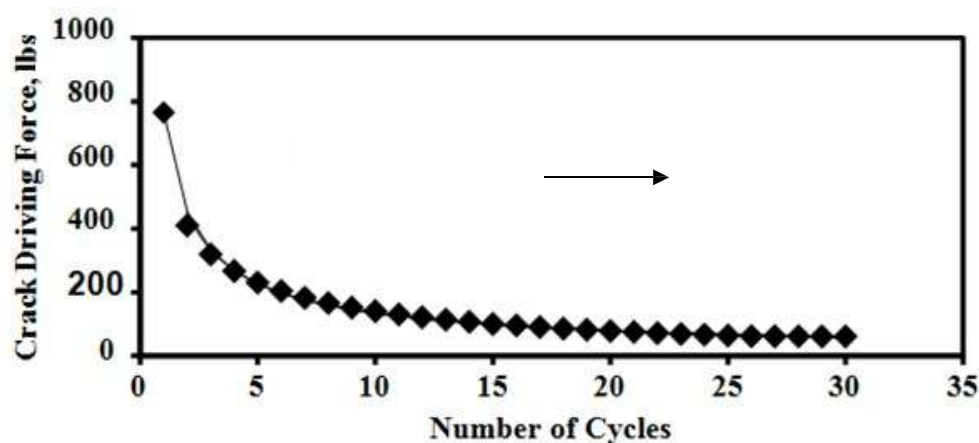


图 15 计算抗开裂指数

5.3 从第一个开放周期开始测量时，用外推法计算出最大负载减少 93% 时的重复荷载加载次数。

6 报告

试验报告需列出沥青试件切割后密度、最大荷载、临界断裂能、抗开裂指数、试件破坏时的加载次数。

条文说明

本方法主要借鉴 TEX-248-F 进行编写。用临界断裂能 G_c 和抗开裂指数 CRI 作为沥青混合料抗开裂性能的评价指标。测定沥青混合料疲劳或反射裂缝的敏感性。

临界断裂能 (G_c) —— 在叠加实验 (OT) 第一个加载循环时，诱发试件底部初始裂缝开裂所需的能量，该参数可用来表征试件在裂缝生成初期的断裂性能。抗开裂指数 (CRI) —— 在叠加实验 (OT) 循环加载条件下裂缝扩展所需的载荷递减。该参数可用来表征试件在裂缝扩

展阶段的柔韧性能和疲劳性能。

试验时应查阅位移传感器和力传感器的测量范围和精度。切割后的试件密度应为 $93 \pm 1\%$ ，透水磨耗层除外。密度为 $91 \pm 1\%$ 的成型试件通常在切割后能满足 $93 \pm 1\%$ 的密度要求。此处仅为指导，请根据生产经验和所使用材料自行决定。满足密度要求的试验室成型沥青混合料试件，其重量通常为 4200g – 4500g 。试验室中制备的透水磨耗层混合料重量通常为 3800g – 4100g 。请根据沥青混合料设计的重量，来选择透水磨耗层混合料的重量。

T 0773—201X 沥青混合料二点弯曲动态模量试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于采用两点弯曲动态模量试验机在规定试验条件下，测定压实沥青混合料梯形梁试件的动态模量，用于评价沥青混合料的材料性能。

1.2 标准的试验条件为试验温度 $15^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，可采用的其它试验温度为 -10°C 、 5°C 、 20°C 及 35°C 。标准加载频率为 $10\text{Hz} \pm 0.5\text{Hz}$ ，采用恒位移控制的连续正弦加载模式。

1.3 本方法适用于试验室轮碾成型的沥青混合料板块试件或从现场路面切割板块试件，板块试件在室内进一步切割为满足要求的梯形试件。

1 仪器与材料技术要求

2.1 动态模量试验机：动态模量试验机应能够以固定的频率在梯形试件顶部施加正弦位移，试验过程中位移变化应在设定位移 $\pm 12\mu\text{m}/\text{N}$ 范围内。试验机应能够以 $10\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ 的频率在试件上施加荷载，采用其它加载频率时，试验过程中频率的变化幅度不得超过设定频率的 $\pm 4\%$ 。

2.2 环境箱：环境箱应通风循环，并保持箱体内试验温度均匀分布，能够准确测量并显示试件测试位置处的温度，保证试验过程中温度变化范围在试验温度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内。同时应能使加载装置与外部数据采集等控制装置顺利连接，并具有足够的内部空间容纳加载装置，除了试验的试件，至少还能存放两组养生试件，同时能够允许调整加载装置，方便试件放入和移出。

2.3 传感装置

2.3.1 力

试件顶部的力传感器的精度应满足，当检测的力值 $\geq 200\text{N}$ 时，偏差在 $\pm 2\%$ 以内，当力值 $< 200\text{N}$ 时，偏差在 $\pm 2\text{N}$ 以内。

2.3.2 位移

试件顶部的位移应能够采用静态方法进行检测，采用的位移传感器最大位移量不低于 0.2mm ，精度应在 $1.0\mu\text{m}$ 以内。

2.4 数据采集与控制装置：使用计算机控制每个加载循环，测量施加于梁顶部的峰值位移及梁的反作用力，并能够实时记录和计算荷载大小、试件位移、动态模量、相位角等用户所需的相关技术指标。

2.5 黏接平台：用于将梯形试件和上下端头黏接在一起，保证梯形试件黏接于上下端头的中心位置，便于固定在疲劳试验机上。

2.6 黏结剂：一般采用双组份高强环氧树脂，室温条件下，24h 应能够充分固化。

2.7 其它：游标卡尺、天平等。

2 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 试件准备：按照 T0786-201X 方法制备沥青混合料板块试件，或者从现场路面切割板块试件，板块试件的厚度均不应低于 100mm 。然后用高精度数控切割锯对板块试件进行切割，取碾压成型方向为梯形试件高度方向，梯形试件的尺寸应符合表 T0768-1 的要求。

表T0768-1 梯形试件尺寸要求

梯形试件尺寸 (mm)	$D \leq 13.2\text{mm}$	$13.2\text{mm} < D \leq 19.0\text{mm}$	$19.0\text{mm} < D \leq 37.5\text{mm}$
B	$56\text{mm} \pm 1\text{mm}$	$70 \pm 1\text{mm}$	$70 \pm 1\text{mm}$
b	$25 \pm 1\text{mm}$	$25 \pm 1\text{mm}$	$25 \pm 1\text{mm}$
e	$25 \pm 1\text{mm}$	$25 \pm 1\text{mm}$	$50 \pm 1\text{mm}$
h	$250 \pm 1\text{mm}$	$250 \pm 1\text{mm}$	$250 \pm 1\text{mm}$

注：D 为混合料的公称最大粒径，B 为梯形试件的下底宽度；b 为梯形试件的上底宽度；e 为梯形试件的厚度；h 为梯形试件上下底之间的高度。

3.1.2 试验前试件的存放：沥青混凝土板块试件和切割后的梯形梁试件存放温度应不超过 25°C (20°C)。室内制备的板块试件应在压实成型后 7d 内完成切割，切割完成的试件应在至少 48h 后才能黏接，存放期间，试件应水平放置于表面平整并具有一定刚度的硬玻璃板（或瓷砖）上，防止试件发生变形。存放时间自切

割完成后开始。

3.1.3 试件尺寸测量：应采用游标卡尺测量试件的上底宽、下底宽、高度及厚度尺寸并记录，厚度测量上、中、下 3 个位置，取 3 个测量值的平均值，其它尺寸各测量 1 个位置，准确至 0.01mm。任何一个尺寸不符合表 T0768-1 的要求，则该试件作废。

3.1.4 试件空隙率测量：沥青混合料动态模量较大程度上依赖于混合料的实际压实水平，每一根梯形试件在进行动态模量测试前需先进行空隙率（VV）的测定。试件实际空隙率由计算机系统根据输入的混合料参数、试件尺寸及重量数据按照体积法计算得到，实际空隙率应在目标空隙率 $\pm 0.5\%$ 范围内。

3.1.5 试件黏接：选择满足尺寸及空隙率要求的干燥试件，在试件上、下底面均匀涂抹黏接剂后置于黏接平台上，将试件上、下底面与预先固定在黏结平台上的上、下端头对接并充分挤压，尽可能减薄黏结层，以保证黏结牢固。试件黏接前应将试件的尺寸、重量按顺序输入数据采集与控制系统。

3.2 试验步骤

3.2.1 试件固定：将黏结牢固的试件及上、下端头从黏结平台上拆卸下来，固定于动态模量试验机的加载平台上。

3.2.2 试验参数选择：在试验参数设定界面选择试件、输入加载变形水平、加载频率、加载持续时间等参数，然后通过动态模量试验机上的旋转转子调整施加于试件顶部的变形水平至设定的变形水平 $\pm 5\mu\text{m}$ 。对于沥青混合料，设定的变形水平不应高于 50 μm ，加载持续时间应控制在 30s~60s。

3.2.3 试件养生：开启环境箱温控系统进行养生，试件应在试验温度 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 条件下至少养生 4h 才可进行试验。

3.2.4 开始试验：启动加载程序，试验机开始在试件顶部反复施加按正弦波形式变化的位移荷载，其值为设定的变形水平 $\pm 5\mu\text{m}$ ，并取加载过程最后 10s 内变形、反作用力及相位角数据计算动态模量。

3.2.5 同一种材料相同条件下至少需要 4 个试件的加载试验才能确定有效的试验结果，得到动态模量和相位角。

3.2.6 确定动态模量主曲线时，应至少进行间隔不大于 10 $^\circ\text{C}$ 的 4 个不同温度下的试验，每个温度进行不低于 3 个加载频率，且加载频率在对数坐标系下均匀分布，最高频率与最低频率的比值不低于 10。不同温度和频率的试验按温度由低

到高，频率由高到低的顺序进行。

3 计算

4.1 动态模量的实部和虚部分别按式（T0771-1）和式（T0771-2）计算：

$$E_1 = \gamma \times \left(\frac{F}{z} \times \cos(\phi) + 10^{-6} \times \mu \times \omega^2 \right) \quad (\text{T0772-1})$$

$$E_2 = \gamma \times \frac{F}{z} \times \sin(\phi) \quad (\text{T0772-2})$$

式中 γ 为试件的形状因子， μ 为质量因子，分别按式（T0772-3）和式（T0772-4）计算：

$$\gamma = \frac{12h^3}{e(B-b)^3} \left[\left(2 - \frac{b}{2B} \right) \frac{b}{B} - \frac{3}{2} - \ln\left(\frac{b}{B}\right) \right] \quad (\text{T0772-3})$$

$$\mu = 0.135M + m \quad (\text{T0772-4})$$

式中， h 、 e 、 B 和 b 分别为梯形试件的高、厚、下底宽和上底宽，mm； M 为梯形试件的质量，g； m 为用于固定试件的顶部端头的质量，g。

4.2 动态模量 $|E^*|$ 和相位角 ϕ

控制系统分别根据式（T0772-5）和式（T0772-6）计算动态模量 $|E^*|$ 和相位角 ϕ ：

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (\text{T0772-5})$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (\text{T0772-6})$$

4 报告

5.1 同一种沥青混合料，在相同试验条件下应至少进行 4 次平行试验。平行试验结果按试验数据的离散程度进行弃差处理，弃差标准为：当一组试件的测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该次实验数据应予以舍弃，同时应保证每组试验的有效试件不少于 3 根。有效试件数为 n 时的 k 至见表 T0768-2。

5.2 测试资料整理。根据上述确定的有效测试数据，按 t 分布法计算整理动态模量代表值 $|E^*|$ 。

$$|E^*| = |\overline{E^*}| - t \times \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{T0772-1})$$

式中：|E*|—动态模量代表值（MPa）；

$|\overline{E^*}|$ —一组试件实测动态模量平均值（MPa）；

S—一组试件实测动态模量的标准差（MPa）；

n—一组试件的有效试件个数；

t—随保证率变化的系数，对高速公路及一级公路的保证率为 95%，其它等级公路的保证率为 90%， $t/\sqrt{n}$ 值见表 T0772-2。

表 T0772-2 有效试件数为 n 时的 k 值及 $t/\sqrt{n}$

有效试件数 n	临界值 k	$t/\sqrt{n}$	
		保证率 95%	保证率 90%
3	1.15	1.686	1.089
4	1.46	1.177	0.819
5	1.67	0.954	0.686
6	1.82	0.823	0.603

5.3 报告应包括如下内容

5.3.1 混合料类型、沥青含量、矿料级配、集料来源、沥青品种、沥青混合料板块试件的制作日期（从路面切割试件的日期）、试件切割日期、试验日期、梯形试件空隙率等相关信息。

5.3.2 试验条件参数，包括加载模式、变形水平、试验温度、加载频率。

5.3.3 试验结果，包括各试验温度和试验频率下沥青混合料的动态模量及相位角。

条文说明

本方法主要参照欧标 EN 12697-26 及其附录 A 并结合我国的试验情况编写。该方法目前在国内主要采用两点弯曲模量与疲劳测试仪（M2F）进行。

对于加载波形和频率，EN 12697-26 中规定采用正弦波，频率范围为 0.1Hz~50Hz，附录 A 针对采用梯形试件的情况，频率范围为 3Hz~30Hz。考虑到目前国内开展法标或欧标体系试验研究的单位均采用法国 VECTRA(LCPC)公司生产的两点弯曲模量与疲劳测试仪(M2F)，该设备采用正弦波加载，允许的加载频率为 10Hz~40Hz，因此，本方法中要求采用正弦波加载，频率为 10Hz~40Hz。

对于试验温度，EN 12697-26 中规定可采用的温度为-30℃、-20℃、-10℃、0℃、10℃、

15℃、20℃、30℃及 40℃，但同时强调，弯曲试验时应谨慎采用 40℃，避免试件发生非线性变形或蠕变。参考 T0738 试验方法的条文说明，本方法采用的试验温度为-10℃、5℃、15℃、20℃、35℃。

对于加载持续时间，EN 12697-26 附录 A 中，对采用梯形试件两点弯曲动态模量试验方法，要求正弦波变形荷载的持续时间为 30s~120s，范围比较大。考虑到本方法取最后 10s 内的数据进行计算，因此，本方法中将荷载持续试件调整为 30s~60s。

关于加载位移水平，为保证动态模量测试过程中试件不发生塑形损伤，EN 12697-26 中要求施加于梯形试件顶部的位移不大于 50με，国内已开展的试验研究中，同样遵循了这一要求，因此，本方法规定位移水平不大于 50με。建议对于常用的沥青混合料及 35℃以上的动态模量测试，位移水平不大于 30με，高模量沥青混合料及低温条件下的动态模量测试位移水平可取高值。

关于试件的制备，若只进行动态模量测试，可采用轮碾成型设备制备 30cm×30cm×10cm 的板块试件，每块可切割 6~8 根梯形试件；动态模量测试之外仍需要进行疲劳试验时，建议采用 T0786 方法制备平面尺寸为 60cm×40cm 厚度不低于 10cm 的板块试件，每块可切割 20 根梯形试件，同时满足模量与疲劳试验的试件需求。梯形试件的切割必须采用高精度数控切割机床，以保证试件的尺寸满足要求。

试件的空隙率要求，EN12697-26 对梯形试件的空隙率没有明确要求，但在法国“LPC Bituminous Mixtures Design Guide”中，对不同的试件体积参数有明确规定，对用于切割梯形试件的板块，根据混合料类型的不同，要求板块体积空隙率范围在 3%~10%，按照这一要求，采用 T0786 方法制备的板块试件其核心区空隙率一般仅有 2%左右，甚至更低，远低于国内常用的 4%的目标空隙率。根据国内已有试验数据分析，梯形试件空隙率提高 1%，两点弯曲动态模量降低 400MPa~500MPa，该值为混合料两点弯曲动态模量的 5%左右，影响并不显著。因此，本方法中参照 T0738 要求梯形试件的空隙率应满足目标空隙率±0.5%，但对不满足空隙率要求的试件并不强制作废。同时，本方法要求在报告中注明试件的空隙率，工程技术人员可根据试件的实际空隙率和动态模量对目标空隙率范围的动态模量进行判断。

对于试件的存放时间，EN12697-26 中要求用于动态模量试验的试件自切割完成后应放置 14d~42d，且至少 14d 后才能进行黏接工作，导致试验周期较长。表 T0772-3 为河北省交通规划设计院对 3 种级配类型 6 种沥青胶结料共 13 种混合料不同存放时间两次动态模量测试的试验结果，两次测试时间间隔 364d~417d，远大于 EN12697-26 的试件要求，从动态模量的试验结果看，模量相差基本在 500MPa~1500MPa 之间，对应的变化幅度在 5%~15%之间，有一定差距，且动态模量变化与级配及沥青种类之间无明显关系。暂不考虑动态模量的提高是否在 42d 内即完成，但可以肯定的是，若不进行 14d~42d 的存放，得到的动态模量是偏低的。因此，不论试验结果用于材料性能评价还是路面结构设计，进行动态模量测试时不进行试件养生的做法都是偏保守的。综上考虑，本方法中对动态模量测试试件的存放时间调整为

不少于 48h, 48h 之后即可进行黏接准备进行下一步试验。

级配 类型	沥青种类	第一次试验			第二次试验			时间差 d	模量差 Mpa	变化幅度 %
		日期	模量Mpa	相位角°	日期	模量Mpa	相位角°			
AC20	橡胶沥青	2015/11/23	9152	22.43	2016/11/21	9946	21.28	364	794	8.0
AC20	20号	2015/11/11	15359	13.22	2016/11/18	16265	12.24	373	906	5.6
AC20	30号+PR	2015/11/27	16792	11.49	2016/12/21	17868	11.28	390	1076	6.0
AC20	70号	2015/12/1	9371	26.32	2016/12/25	9411	25.76	390	40	0.4
AC16	橡胶沥青	2015/12/8	9004	22.00	2016/12/29	10451	19.82	387	1447	13.8
AC16	20号	2015/12/14	15349	12.89	2017/1/7	16372	12.01	390	1023	6.2
AC16	TB	2015/12/17	5041	32.66	2017/1/10	6081	29.68	390	1040	17.1
AC16	70号	2015/12/21	8977	24.79	2017/1/11	9844	22.51	387	867	8.8
AC16	SBS	2015/12/28	7017	24.24	2017/1/17	8447	21.55	386	1430	16.9
AC16	橡胶沥青	2016/1/15	8039	23.87	2017/3/7	9039	21.73	417	1000	11.1
SAC16	20号	2015/12/29	15248	13.7	2017/2/13	16807	12.33	412	1559	9.3
SAC16	SBS	2016/1/6	8404	24.84	2017/2/16	8962	23.53	407	558	6.2
SAC20	20号	2016/1/4	15997	13.33	2017/2/7	16780	12.24	400	783	4.7

本方法要求动态模量测试进行 4 根以上试件的平行试验, 对完整性不好或尺寸不合格的试件应作废, 在方法中给出了试件尺寸合格的判定标准。因此, 必须确保有足够的有效试件。同时, 要求对试验结果进行弃差处理, 以保证平行试验的有效性和一致性。

试验报告要求提供混合料类型、沥青含量、矿料级配、集料来源、沥青品种、沥青混合料板块试件的制作日期 (从路面切割试件的日期)、试件切割日期、试验日期、梯形试件空隙率等相关信息。

1 根据 EN 12697-26, 动态模量试验方法有 6 种方法, A 二点弯曲动态模量(2PB-TR 梯形梁和 2PB-PR 棱柱体); B 三点弯曲动态模量(3PB-PR 棱柱体)和四点弯曲动态模量(4PB-PR 棱柱体); C 劈裂拉伸动态模量(IT-CY 圆柱体); D 直接拉压动态模量(DTC-CY 圆柱体); E 直接拉伸动态模量(DT-CY 圆柱体或 DT-PR 棱柱体)和 F 重复劈裂拉伸动态模量(CIT-CY 圆柱体)。目前欧盟沥青混合料标准 EN 13108-1~8\20 等系列标准, 对于以上 A-F 方法都是适用的, 不同国家采用不同的试验方法, 例如法国主要采用 EN 12697-26 的 A 二点弯曲动态模量的 2PB-TR 梯形梁和 EN 12697-26 的 E 直接拉伸动态模量。

而在美国, 主要采用单轴压缩动态模量试验, 试验方法标准有 AASHTO T342(原 TP 62)、AASHTO TP 79(AMPT 动态压缩模量)、AASHTO R 62(确定模量主曲线)、ASTM D 3497。同时间接拉伸法测定回弹模量, 包括 ASTM D4123、ASTM D7369 和 AASHTO TP 31。

我国目前沥青混合料动态模量主要方法为 T 0738 单轴压实动态模量, 此方法主要借鉴了 AASHTO TP 62、ASTM D3497 方法。从沥青混合料的受力状态来看, 沥青混合料受拉是最不利的, 因此测量直接拉伸或弯拉或拉压状态下的动态模量更有利于路面结构分析, 为此本规程增补了两种沥青混合料动态模量测定方法, 分别为二点弯曲动态模量和直接拉伸模量。

2 本标准参考欧盟 EN 12697-26 A(2PB-TR)方法和法国 LCPC 经验编写。

T 0774—201X 沥青混合料直接拉伸动态模量试验

1 目的与适用范围

本试验方法是通过对沥青混合料试件施加一个单向的轴拉应力，测量其拉伸模量值，该实验方法有助于沥青路面结构分析。

2 仪具与材料技术要求

2.1 拉伸试验机，能施加线性加载；

2.2 测力传感器，满足在 50 N-200 N 之间测量精度为 5%，在 200 N 以上测量精度为 1%。

2.3 拉伸系统，包括三个以 120°布置的应变测量传感器，其测量范围为 45-205mm。测量区域的长度 I_0 应精确到 1 mm。50 μ m 的应变应精确到 $\pm 1\mu$ m。在瞬变期之后，测量的应变 I_0z 以 μ m 为单位，应：

当 $z_j \geq 10^{-4}$ 介于 $(I_0 \cdot a_i \cdot t - (z \cdot 10^3)) -- (I_0 \cdot a_i \cdot t + (z \cdot 10^3))$ 之间，

当 $z_j < 10^{-4}$ 介于 $(I_0 \cdot a_i \cdot t - 0.1) -- (I_0 \cdot a_i \cdot t + 0.1)$ 之间。

其中， Z_j 是固定的应变水平

瞬变期是从测试开始到对应于应变达到 15 μ ϵ 所需时间。

2.4 黏接装置，是黏接试样两端的黏接部件，保证其在同一轴线上。

2.5 恒温室，能够在位于测量区域中间水平的单个点处将测试温度保持在 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，在室前方距离样品的最大距离为 30 mm。对于 0 $^\circ\text{C}$ 和 15 $^\circ\text{C}$ 的测试温度，至少在外围 4 个点测量的最大温度范围应小于 0.5 $^\circ\text{C}$ 。

3 试验准备

3.1 试样的准备，试样应为正交圆柱体（图 1），可通过室内旋转压实成型或者现场取芯机取样，试样直径（ ϕ ）为 50~160mm 之间，大于或等于最大公称粒径的 4 倍，测量直径的容许误差应小于 0.5mm，长度(H)为试样直径的 2~3 倍。

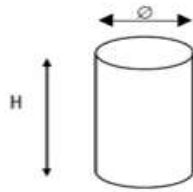


图 1 圆柱体试样

3.2 如果从实验室制备的车辙板中取出试样时，圆柱体的轴线应平行于压力装置的运动轴线。

3.3 试样的存放方式应使尺寸保持不变。

3.4 对于同种沥青混合料，应至少进行 4 组对比试验。

4 试验步骤

4.1 试验温度，在进行试验前，应对试样和试验箱进行保温，对于直径 100mm 的试样，应至少保温 4 个小时，保温温度为试验温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，其他情况下，试样至少保温 8 个小时以上。

4.2 将试件按照在试验机上，安装时，施加的荷载不得超过 100kN，试样在开始加载之前，应至少保温 30 分钟，对于低于 -5°C 的测试温度，样品应至少保温 60 分钟。

4.3 进行试验加载，并确定应变 ε_i 的应力 $\sigma(t_i, \theta_i)$ 。

4.4 试样试验后，应通过施加等于或小于 300 N 的压缩荷载来消除变形。试样应保持无单轴荷载至少 100 s。

4.5 试验原理见图 2 所示。

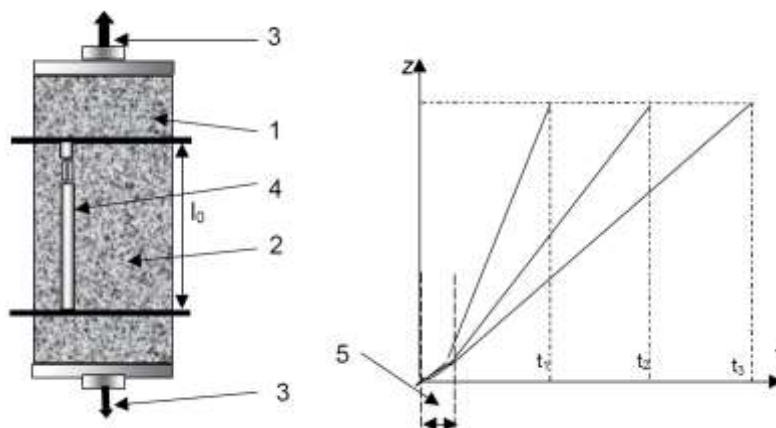


图 2 试验原理图

1 试样

2 测量区域

3 力

4 传感器

5 瞬变期

5 计算

5.1 等温线

绘制等温曲线，一个测试温度保证需要至少 4 个加载时间，在对数函数下，刚度和加载时间的等温曲线下表示（见图 3）

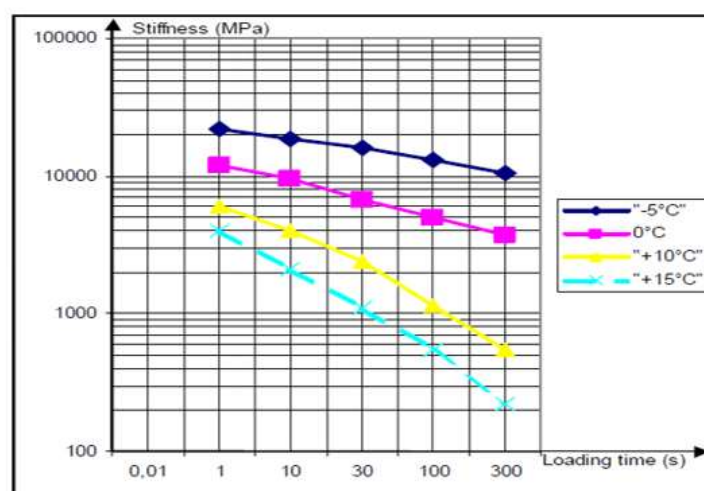


图 3 等温曲线

5.2 固定温度下的主曲线

固定温度下的主曲线应通过严格按照加载时间标定在其他温度下转换绘制的等温线来建立（图 4）。换算系数应通过图形或计算方式进行调整，以获得所需温度下的连续曲线（图 5）。

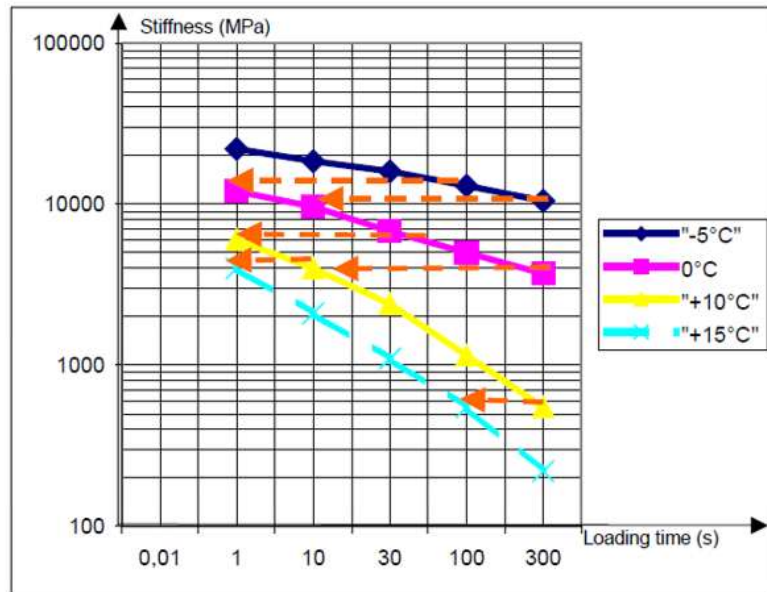


图 4 等温线沿加载时间的平移

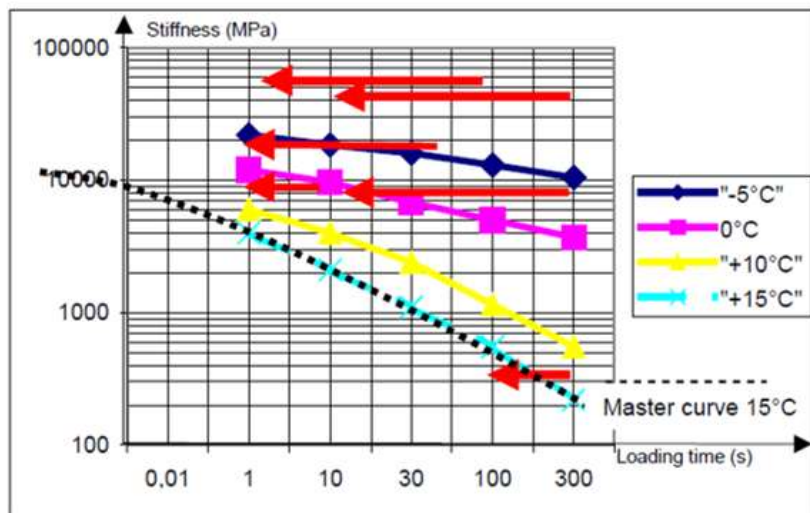


图 5 主曲线 (15℃)

5.3 确定固定加载时间的拉伸模量，所需加载时间的拉伸模量在主曲线上在所需温度下确定（图 6）。

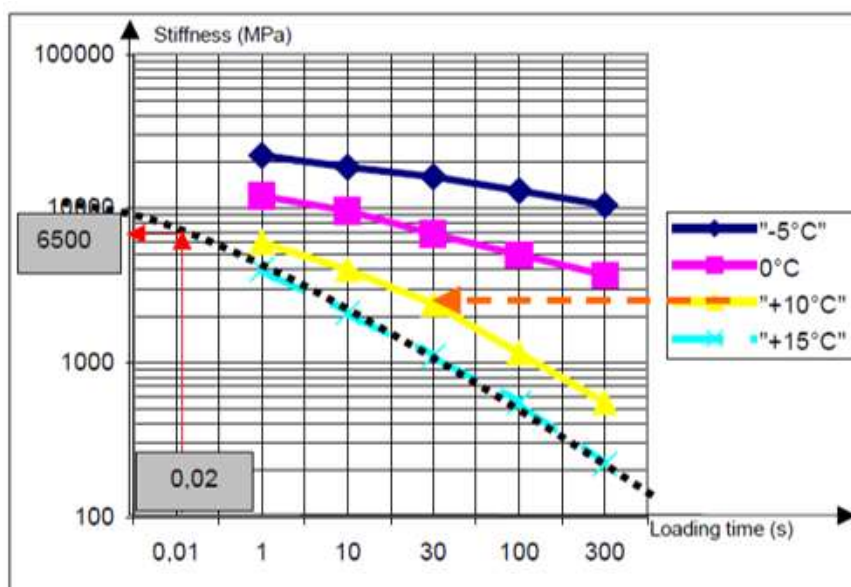


图 6 拉伸模量 (0.02S, 15 °C)

条文说明

本标准参考欧盟 EN 12697-26 的 E 方法 (DT-CY 圆柱体) 编写。

T 0775—201X 沥青混合料低温性能试验(半圆弯曲法)

1 目的与适用范围

本试验方法主要是通过半圆弯曲法测定低温下沥青混合料的断裂能 (G_f) 和断裂韧性。方法中也包含断裂韧性 (K_{IC}) 和刚度 (S) 的计算方法。试验所得参数用于评价沥青混合料的抗裂能力。

2 仪具与材料技术要求

2.1 半圆弯曲试验系统包含闭环轴向加载装置、荷载测量装置、弯曲试验夹具、试件变形测量装置、环境箱和控制与数据采集系统 (见图 1)。

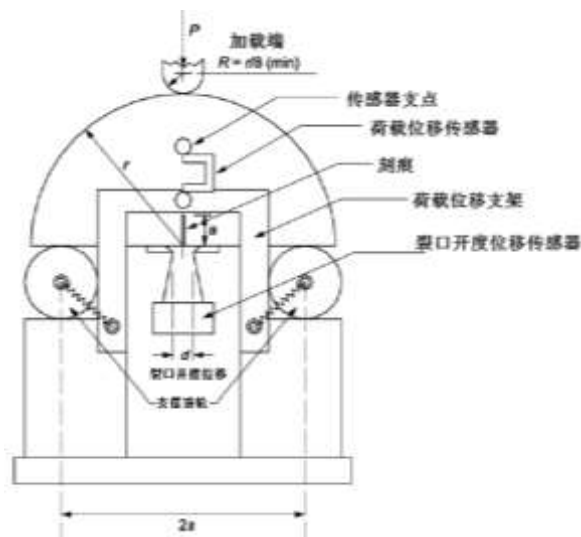


图 1 半圆弯曲法试件加载正面图

2.2 加载装置的最小加载压力为 10kN，最小分辨率不低于 20N。试验全过程中，相比目标要求，加载装置能够稳定保持裂口开度位移不超过 1%。

2.3 荷载测量装置包含电控加载单元，设计有加载滚筒和活塞，最小加载 10kN，灵敏度不低于 10N。

2.4 弯曲试验固定装置由一个钢板、两个 L 形钢制滚柱支座、两个钢制滚轮和两个 U 形架构成（见图 2）。固定装置通过设计采用滚轮最大化减小摩擦效应带来的影响。滚轮表面镀有聚四氟乙烯膜最大程度减小摩擦。滚轮的初始位置由软弹簧固定，滚轮在试验过程中紧贴试件。为了准确测量载重线位移，两个 U 形架负责支撑 L 形支架。钢制测点永久安置在支架上臂中心。

2.5 试件变形测量装置包括一个裂口开度位移传感器和两个荷载位移传感器，最小检测范围 1mm，分辨率不低于 0.0005mm。裂口开度位移传感器通过刀状边缘紧贴试件底部两个测点（见图 3、图 4）。荷载位移传感器链接在试件前部和后部测点的 U 形架上。

2.6 两个钢制测点直径 8mm，高度 6mm，两个刀锋的尺寸见图 3 和图 4。

2.7 一个安装模板放置在两个测点之间（见图 5）。

2.8 环境箱能够调节试验温度在 -40℃ 至 $0\text{℃} \pm 0.5\text{℃}$ ，环境箱内部尺寸需要至少满足一次 2 ± 0.5 小时试验同时放置 3 个试件的要求。

2.9 控制和数据采集系统负责控制记录试验过程中的时间、施加的荷载以及传感器数据。

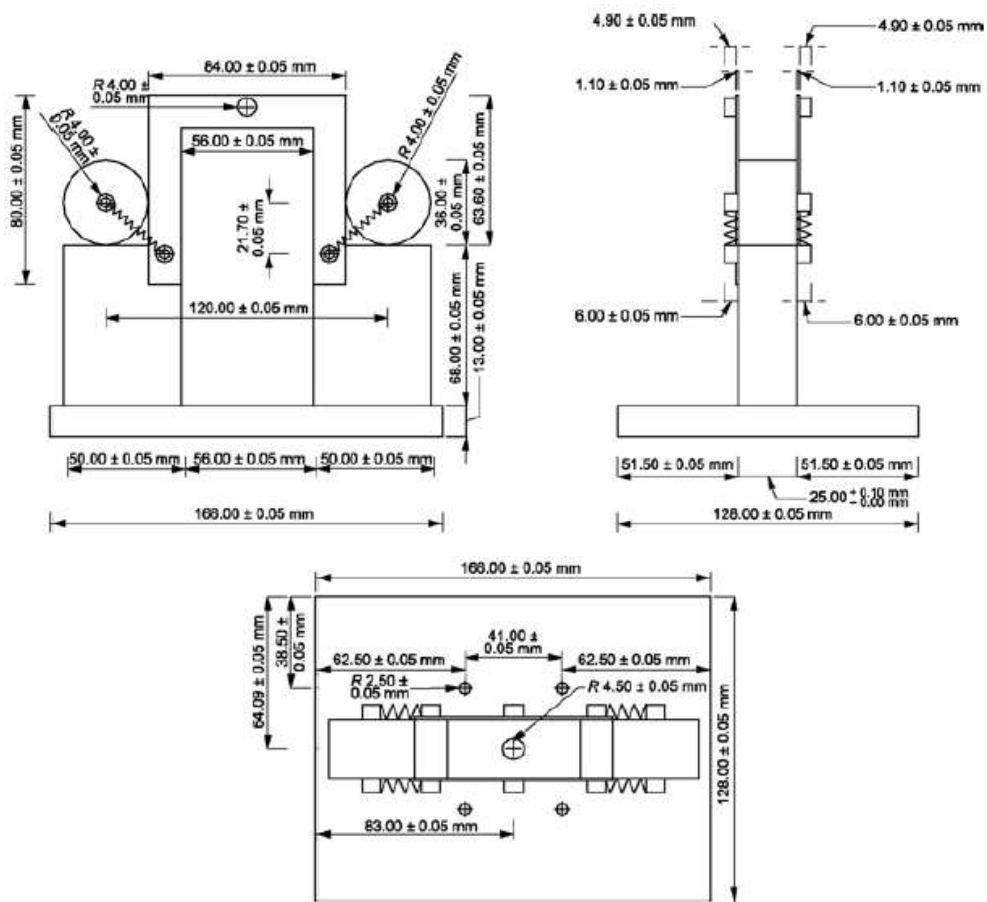


图2 半圆弯曲试验固定装置

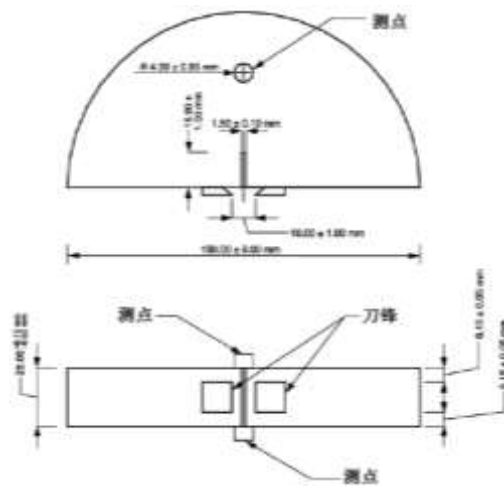


图3 测点位置

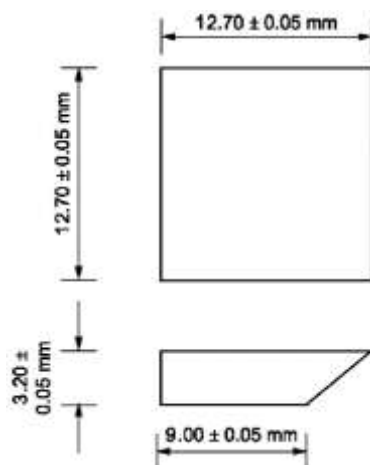


图 4 裂口开度位移传感器刀锋

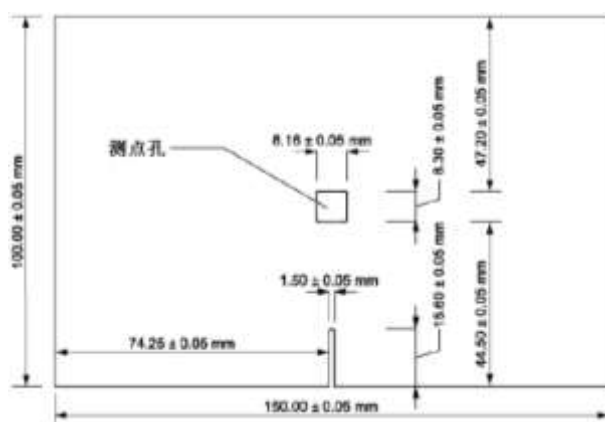


图 5 测点模板

3 试验准备

3.1 试件尺寸为沥青混合料集料最大粒径为小于 19mm，试件厚度为 $24.7 \pm 2\text{mm}$ ，直径 $150 \pm 9\text{mm}$ （见图 3）。

3.2 准备三个旋转压实试件，从试件高度 $115 \pm 5\text{mm}$ 的中部切割厚度 $24.7 \pm 2\text{mm}$ 圆柱体试件（见图 6）。将试件一分为二，在试件半圆中部切割长度 $15 \pm 0.5\text{mm}$ ，宽度不超过 1.5mm 的缝（见图 3、图 6）。两个半圆试件分别用于温度 T_1 和 T_2 的试验。如果试验重复次数较多或者测试温度较多，可以在旋转压实试件上继续切割试件，但需尽量靠近试件中部。

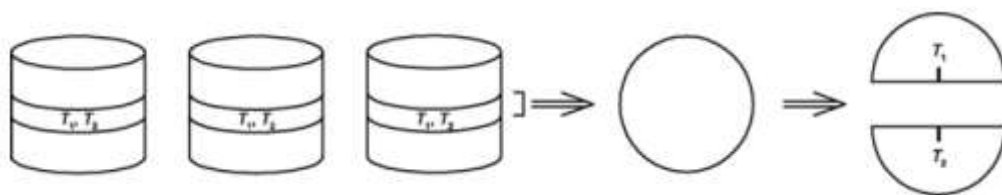


图 6 试件准备

3.3 现场取芯也可以用于试件的制备，现场取芯试件目标厚度 $24.7 \pm 2\text{mm}$ 。取

芯试件上下表面需要切割平行。如果从高度较高的芯样上切割试件，切割下的试件需要具有代表性。

3.4 测量记录每个试件的直径和厚度，精确至 1mm。测量每个试件开缝长度，并记录平均值，精确至 0.5mm。

3.5 通过 $115 \pm 5\text{mm}$ 旋转压实试件直接测定试样的容重。

3.6 测定容重后的每个试件需要烘干至常温，保持重量恒定不变。

3.7 采用强力胶水固定变形测量装置。

4 试验步骤

4.1 试件在进行试验前需要在温控箱中按照试验所需温度控温 2 ± 0.5 小时。试验开始前，试件温度与目标温度之间不能相差超过 0.5℃ 。温度设置建议：高于沥青混合料的沥青温度等级下限 10℃ 或低于下限 2℃ 。

4.2 温度调整完毕后，试件放置在试验系统夹具上，荷载位移传感器和裂口位移传感器与试件链接。

4.3 首先，施加 $0.3 \pm 0.02\text{kN}$ 的接触荷载，位移速度 0.05mm/s ；然后，施加 $0.6 \pm 0.02\text{kN}$ 的固定荷载，位移速度 0.005mm/s ；施加三个较小振幅的循环荷载，以保证加载端与试件完全接触。

4.4 最后，试验正式开始，测量并记录荷载和全部传感器数据。首先，初始荷载为 $1 \pm 0.1\text{kN}$ ，加载行程速度 0.001mm/s 。当达到初始荷载后，系统转换成裂缝开口位移控制，持续施加荷载，保证开裂速度为 0.0005mm/s ，直至试验结果。

4.5 最先达到荷载低于 0.5kN 时或裂缝开口位移传感器到达最大量程时，试验结束。

5 计算

5.1 断裂能 G_f

5.1.1 断裂能 G_f 由试验前旋转压实试件的断裂功（荷载与荷载平均位移的面积，见图 7）与韧性区面积之比计算得到。

$$G_f = \frac{W_f}{A_{lig}} \quad (1)$$

其中， G_f 为断裂能 (J/m^2)； W_f 为断裂功 (J)， $W_f = \int P du$ ； P 为施加荷载 (N)； u 为荷载平均位移 (m)； A_{lig} 为韧性区面积 (m^2)， $A_{lig} = (r - a) \times t$ ； r 为试件半径 (m)； a 为裂缝长度 (m)； t 为试件厚度。

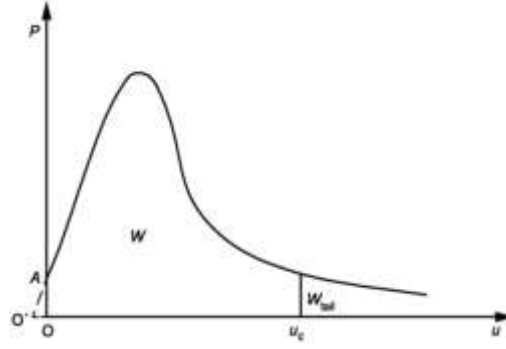


图 7 荷载与荷载平均位移 (P-u) 曲线

5.1.2 断裂功 W_f 由荷载与荷载平均位移 (P-u) 曲线的面积计算得出。当荷载低于 0.5kN 或裂缝传感器达到最大量程时试验结束，此时曲线需要外延。断裂功 W_f 为曲线的全部面积。

5.1.2.1 试验所得曲线面积计算公式为

$$W = \text{area} = \sum_{i=1}^n (u_{i+1} - u_i) \times P_i + \frac{1}{2} \times (u_{i+1} - u_i) \times (P_{i+1} - P_i) \quad (2)$$

其中， P_i 为第 i 步施加的荷载 (N)； P_{i+1} 为第 $i+1$ 步施加的荷载 (N)； u_i 为第 i 步时传感器的荷载平均位移 (m)； u_{i+1} 为第 $i+1$ 步时传感器的荷载平均位移 (m)。

5.1.2.2 外延曲线面积的估算的计算方法是首先，当 P 值小于荷载峰值 60% 时，假定系数为 -2 的幂函数是 P-u 曲线后峰。

$$P = \frac{c}{u^2} \quad (3)$$

系数 c 由公式 3 在 P-u 曲线峰值 60% 时计算得出，然后当 $P=0$ 时将 P-u 曲线外延，计算面积

$$W_{tail} = \int_{u_c}^{\infty} P d(u) = \int_{u_c}^{\infty} \frac{c}{u^2} d(u) = \frac{c}{u^2} \quad (4)$$

其中， u 为荷载平均位移的积分 (m)； u_c 为试验结束的荷载平均位移 (m)。

5.1.2.3 总断裂功为

$$W_f = W + W_{tail} \quad (5)$$

5.2 断裂韧性 K_{IC}

5.2.1 断裂韧性 K_{IC} 是在临界荷载 P_c 时的应力强度因子 K_I 。临界荷载设定为试验过程中的最大荷载。

5.2.2 应力强度因子 K_I 由公式 6 计算得出。

$$\frac{K}{\sigma_0 \sqrt{\pi a}} = Y_{I(0.8)} \quad (6)$$

其中, $\sigma_0 = \frac{P}{2rt}$; P 为施加荷载 (MN); r 为试件半径 (m); t 为试件厚度 (m); a 为裂缝长度 (m); Y_I 为标准应力强度因子 (无量纲)。试验中若采用旋转压实成型的试件, Y_I 为

$$Y_{I(0.8)} = 4.782 + 1.219 \left(\frac{a}{r} \right) + 0.063 \exp \left(7.045 \left(\frac{a}{r} \right) \right) \quad (7)$$

5.2.3 断裂韧性 K_{IC} 单位为 $\text{MPa} \times \text{m}^{0.5}$ 。

5.3 刚度 S

5.3.1 刚度 S 由荷载-平均荷载位移(P-u)曲线中线性上升段的斜率计算得出。

例如图 8。

5.3.2 刚度 S 的单位为 kN/mm。

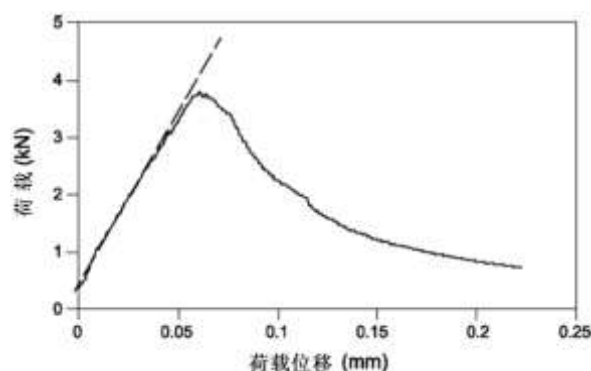


图 8 刚度测定

6 报告

6.1 报告分为以下内容:

- 6.1.1 每个试件的容重, 精确至 0.001;
- 6.1.2 沥青混凝土最大比重, 精确至 0.001;
- 6.1.3 每个试件的空隙率, 精确至 0.1;
- 6.1.4 被测试件的厚度和半径, 精确至 0.5mm;
- 6.1.5 试验温度, 精确至 0.2 ℃;
- 6.1.6 初始刻痕长度, 精确至 0.5mm;
- 6.1.7 最大荷载, 精确至 0.1kN;
- 6.1.8 最大荷载时间, 精确至 0.1s;
- 6.1.9 u_c 平均值, 精确至 0.001mm;
- 6.1.10 用于测定刚度的 P-u 曲线以及拟合直线;
- 6.1.11 刚度 S, 精确至 0.1kN/m;

6.1.12 断裂韧性 K_{IC} ，精确至 $0.001\text{MPa}/\text{m}^{0.5}$ ；

6.1.13 断裂能 G_f ，精确至 $1\text{J}/\text{m}$ 。

条文说明

1 查阅国际上沥青混合料低温性能评价方法主要有 4 种方法，第一种是 D 型压缩拉伸试验方法，主要试验方法有 ASTM D 7313；第二种是间接拉伸试验，主要试验方法有 AASHTO T 332；第三种方法为 SCB 半圆柱体试验方法，主要方法标准有 AASHTO TP 105；第四种是低温约束应力试验方法 TSRST，如 EN 12697-44、AASHTO TP10，但是 AASHTO TP10 已于 2002 年取消，2013 年给出了新的方法初稿，其中包括方法 A 单轴温度应力和应变测试法（UTSST）和方法 B 沥青温度开裂分析仪法（ATCA）。根据我国实践，增补 SCB 半圆柱体试验方法和低温约束应力试验方法 TSRST 两种。

2 本方法参考 AASHTO TP 105 编写。

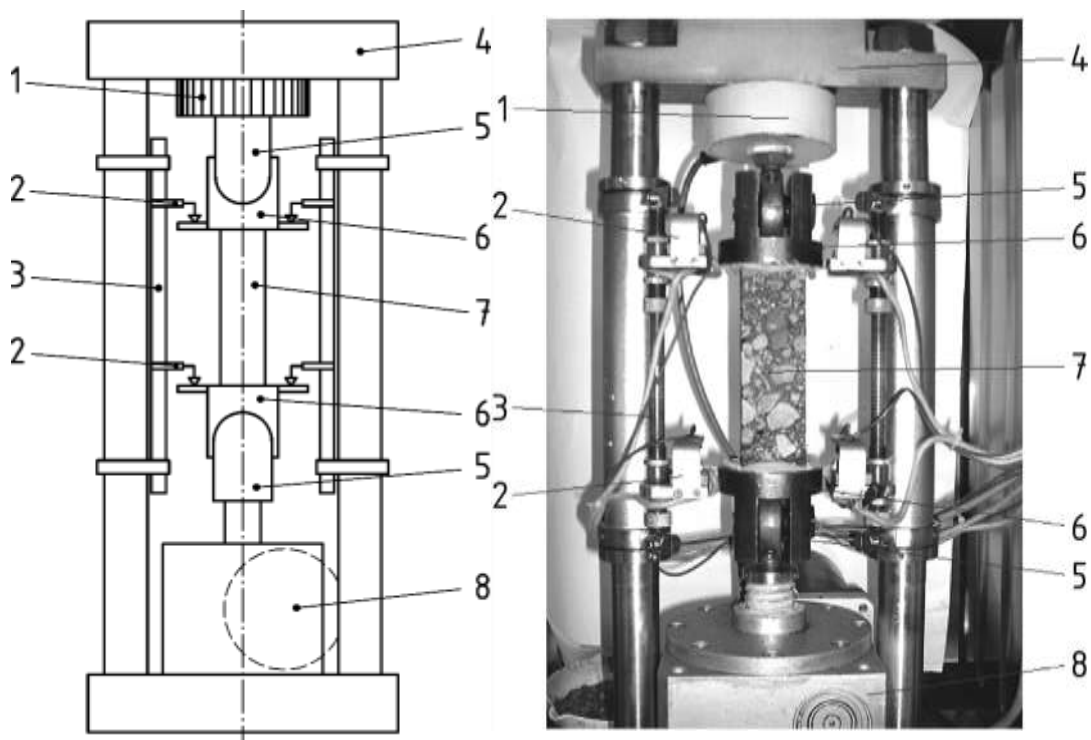
T 0776—201X 沥青混合料低温性能试验(低温约束应力法)

1 目的与适用范围

本方法适用于表征沥青混合料在低温环境下的抗开裂性能。低温约束应力试验（TSRST）可评价沥青混合料失效时承受的最低温度。

2 仪具与材料技术要求

2.1 低温约束应力试验（TSRST）试验设备：见图



1 加载单元

2 位移传感器

3 无差别热力学测量基础

4 横梁

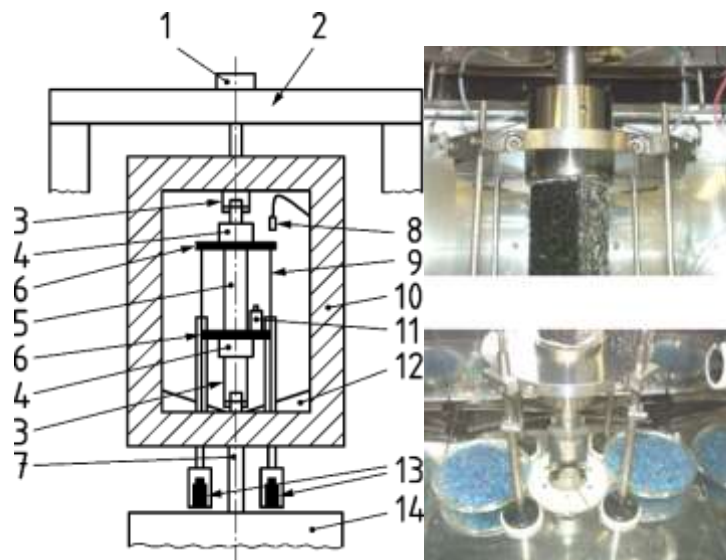
5 万向节悬挂

6 底座

7 沥青混合料试件

8 带步进电机的齿轮箱

图 低温下单轴拉伸应力试验装置



1 加载单元

2 加载框架

3 旋转夹具

8 温度传感器

9 钢钢棒

10 温控环境箱

4 夹具（我们用螺栓固定）	11 内置温度传感器的混合料试件 (仅作温度参考)
5 沥青混合料试件	12 风扇
6 端板	13 位移传感器
7 加载杆	14 步进电机

图 低温下单轴拉伸应力试验装置

2.1.1 加载装置：精度为 $0.1\mu\text{m}$ 。为避免试件产生不必要的径向或横向力及力矩，试件通过两个万向节悬挂系统与试验仪器相连。

2.1.2 变形测量系统：试件变形的测量范围在 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 到 $\pm 2.5\text{mm}$ 。因为试验设备和试件处于同样的温度变化环境中，为避免仪器热胀冷缩对试验结果产生影响，应保证仪器在不同温度下具有相同的尺寸（建议使用特殊碳纤维增强塑料或钢材）。

为满足测量精度要求，可将若干个单独的测量值进行平均。该平均值用于控制测试闭环电路。

2.1.3 荷载测量系统：能够测量轴向负载最高到 $(20 \pm 20)\text{N}$ 。

2.1.4 记录设备：包括连接到计算机的数字单元接口，能够监测和记录来自荷载和形变传感器的电信号。形变的测量和控制最小单位应为 $0.5\mu\text{m}$ 。

2.1.5 恒温室：为带有强制空气循环箱体。温度应为介于 $-40^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ 之间的一个恒定温度，精度为 $\pm 0.5\text{K}$ 。恒温室应保证试件核心的温度变化速率在 10K/h 。

3 试验准备

3.1 试件制备

3.1.1 试件数量：对于不同的沥青混合料和测试条件(温度和应力)组合，每种应至少测试三个试件。

3.1.2 试件尺寸：试件应为棱柱体或圆柱体，尺寸见表 1，取决于沥青混合料的最大公称粒径 D 。

表 1- 棱柱体或圆柱体试件的尺寸(mm)

试件类型	尺寸	最大公称粒径 D (mm)		
		$D \leq 11.2$	$11.2 < D < 22.4$	$D \geq 22.4$
正方形截面的棱柱体	宽和高, mm	40 ± 2	50 ± 2	60 ± 2
圆柱体	直径, mm	50 ± 2	50 ± 2	60 ± 2
所有试件	试件最短长度, mm	160	160	160

如果试件取自厚度未达到所需高度的沥青面层, 则棱柱形试件的高度可适当减小, 减小后的试件尺寸应记录在试验报告中。

如果试验设备可测量长度超过 160mm 的混合料试件, 则新试件的长宽比或高径比均应为 4。

3.1.3 试件端部与轴线的夹角应为 90° ; 误差应在 $\pm 1^\circ$ 范围内。

3.2 试件准备

3.2.1 在试验室环境下制备试件或在现场钻取试件。

3.2.2 试验室成型的沥青板最小高度见表 1。从沥青板中心切割制备试件, 试件各边到板边缘的距离应不少于 20mm。

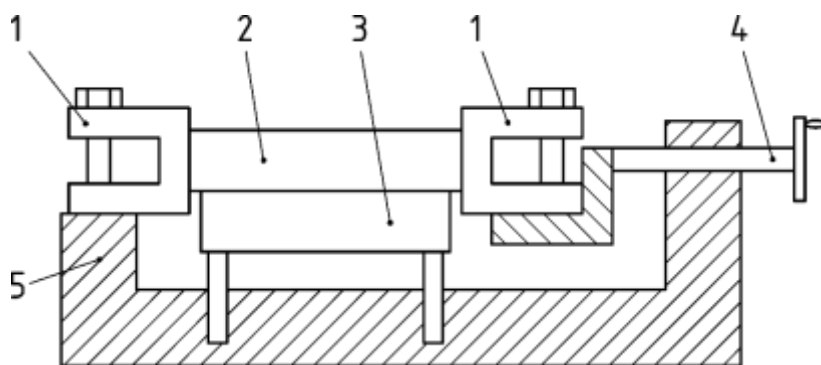
3.2.3 加载过程中, 沥青混合料试件的纵轴应与加载轴垂直。

3.3 确定每个试件的堆积密度。

3.4 试件切割后, 应置于相对空气湿度小于 80%, 温度介于 15°C ~ 25°C 的空气中干燥至恒重。间隔 24 小时的两次称重差值小于 0.25% 时, 试样可被视为彻底干燥。

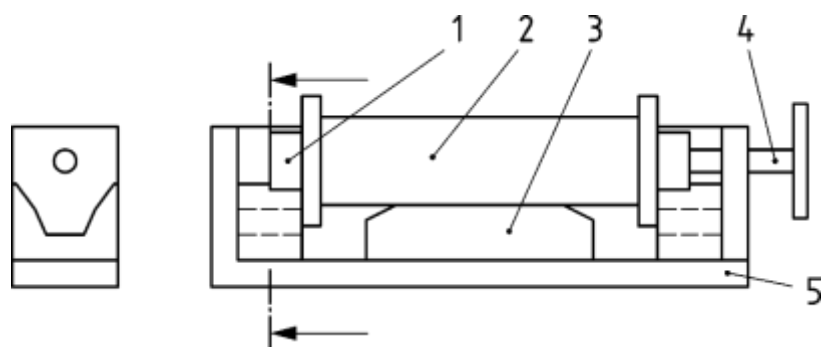
3.5 试件应储存在温度介于 15°C ~ 25°C 之间的干燥室内, 存放于有完全支撑的支架上, 支架应平整干净。试件间不得相互堆叠。干燥室的相对湿度不应超过 80%。

3.6 装配试件: 试件应黏结在两个底座上, 通过安装台调整至底座正中。安装台可用于调整被测试件至夹具正中心(如图和所示), 该夹具可将试件与试验设备中的两个底座相连。



- 1 底座（连接器）
- 2 混合料试件
- 3 高度可调支架
- 4 轴锭
- 5 基座

图 棱柱形试件安装台



- 1 底座（连接器）
- 2 混合料试件
- 3 高度可调支架
- 4 轴锭
- 5 基座

图 圆柱形试件制备安装台

3.7 安装和调试：

3.7.1 可通过连接底座和加载装置，将试样安装到试验设备中。试验开始前，试件于（试验起始温度 T_0 ）恒温一段时间，恒温期间试件不受任何荷载作用。

3.7.2 恒温时间取决于试件的材料和尺寸。试件内部温度应维持在试验温度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内不少于 10min。

注：试件的内部温度可使用含有内置温度传感器的混合料试件来测量。

4 试验步骤

4.1 试件长度不随温度降低而变化，应保持恒定。由于限制了试件的热力学收缩，因此混合料中会产生相应的温缩应力。建议起始温度为 $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ，降温速率 $dT = -10\text{K/h}$ 。

注：试件内部温度与温控室温度存在一定的滞后性。为正确记录试件内部温度，有必要在试验期间测量其余的试件的温度，或提前测试试件内部温度和温控室内空气温度的温度滞后值。

4.2 测试并记录以下参数：相关温度的低温应力 $\sigma_{\text{cry}}(T)$ ，失效拉应力 $\sigma_{\text{cry, failure}}$ 和失效温度 T_{failure} 。

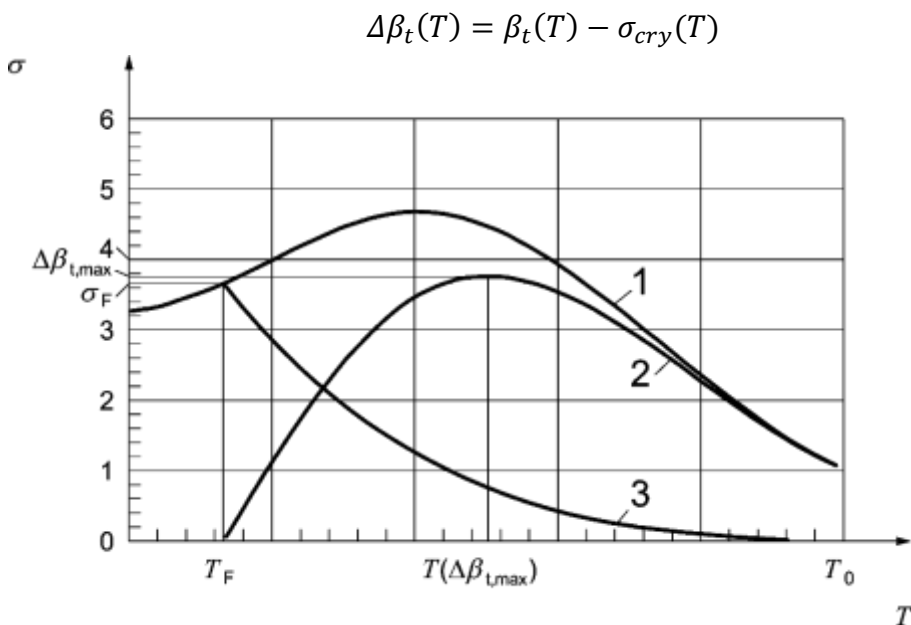
5 计算

5.1 抗拉强度

绘制不少于四个试验温度下的低温约束应力试验（TSRST）中测量的低温应力值/抗拉强度结果图，使用三次样条函数曲线来拟合抗拉强度测量值。

注：建议的试验温度为 $+20^\circ\text{C}$ 、 $+5^\circ\text{C}$ 、 -10°C 和 -25°C 。低于 -25°C 或高于 $+20^\circ\text{C}$ 的抗拉强度可通过进一步计算获取并绘制： $\beta_t(T = -40^\circ\text{C}) = 0.9 \times \beta_t(T = -25^\circ\text{C})$ ； $\beta_t(T = +30^\circ\text{C}) = 0.5 \times \beta_t(T = +20^\circ\text{C})$ 。

5.2 在相同的温度 T 下通过公式(2)计算，抗拉强度储备 $\Delta\beta_t(T)$ 是抗拉强度 $\beta_t(T)$ 和低温应力 $\sigma_{\text{cry}}(T)$ 间的差值。图 12 为根据低温约束应力试验（TSRST）的结果评估拉伸强度。



σ 拉应力 (MPa)

2 抗拉强度 $\Delta\beta_t(T)$

T 温度 (°C)

3 σ_{cry} 抗拉强度储备 $\sigma_{cry}(T)$

1 抗拉强度 $\beta_t(T)$

图 低温约束应力试验 (TSRST) 温度-应力图评估抗拉强度

6 报告

试验报告应包括以下内容:

6.1 起始温度 T_0 (°C) ;

6.2 降温速率 dT (K/h) ;

6.3 失效力 $\sigma_{cry, failure}$ (MPa) ;

6.4 失效温度 $T_{failure}$ (°C) ;

6.5 低温应力随温度变化曲线 T 。

7 允许误差

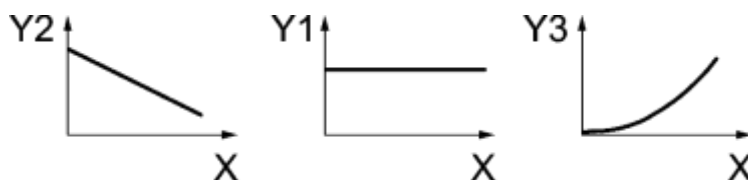
7.1 三个重复的低温约束应力试验 (TSRST) 上获得的失效温度结果如果相差超过 2° C, 则结果不可靠。

7.2 三个重复的低温约束应力试验 (TSRST) 上获得的失效力结果如果相差超过 0.5MPa, 则结果不可靠。

条文说明

本标准在 EN 12697-46、AASHTO TP 10 基础上, 结合我国近些年大量研究成果编写。

在低温约束应力试验 (TSRST) 中, 温控箱温度以一个恒定的速率下降, 同时维持沥青混合料试件的长度不变。由于限制了试件的热力学收缩, 沥青混合料试件中会产生相应的温缩应力。其结果为累积的低温应力随失效温度 $T_{failure}$ 变化而相应变化的低温应力 $\sigma_{cry}(T)$ 和失效拉应力 $\sigma_{cry, failure}$ (见图)。



低温约束应力试验 (TSRST) 的试验原理

用于低温约束应力试验 (TSRST) 的试验装置除对载荷和形变测量系统进行校准外, 还应对整个系统进行校准, 以确保试验的再现性和可重复性。设备应使用已知性能的校准材料进行校准测试, 建议使用钢材或铝材。为使设备经受与沥青混合料试验相当的荷载, 可使用具有较小横截面的校准梁。建议使用弹性模量为 72GPa 的铝材, 用于制作校准块。

T 0777—201X 沥青混合料水热敏感性试验(高温动压水冲刷法)

1 目的与适用范围

本试验通过将压实成型的沥青混合料试样在密闭空间内施加孔隙水压力，得到沥青混合料试样在水压力作用下的拉伸强度或其他性能（如密度、模量等）。

2 仪器与材料技术要求

2.1 恒温水浴槽能够保持温度在 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 试验系统（见图 1）具有一个能够放置一个或多个直径 150mm 以内试件的样品室。系统可以提供近似洛伦兹函数，峰值压力为 $\pm 30\text{kPa}$ ，半峰宽 $1 \pm 0.5\text{s}$ 的循环压力。

2.3 试验系统装备阀门用于自动排气，使空气从样品室中排出，使混合料孔隙中的空气被水取代。

2.4 样品室能够承受最大 690kPa 的压力。

2.5 试验系统装备温度控制装置，可以设置温度在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.6 试验系统装备加载控制装置，压力可以在 200 至 400kPa 之间循环，精度 $\pm 30\text{kPa}$ 。

试验系统能够控制施加循环加载和温度，以及控制封闭的样品室中试验所需的水温和压力。

2.7 一个或多个足够大的容器用于盛放水和试件。

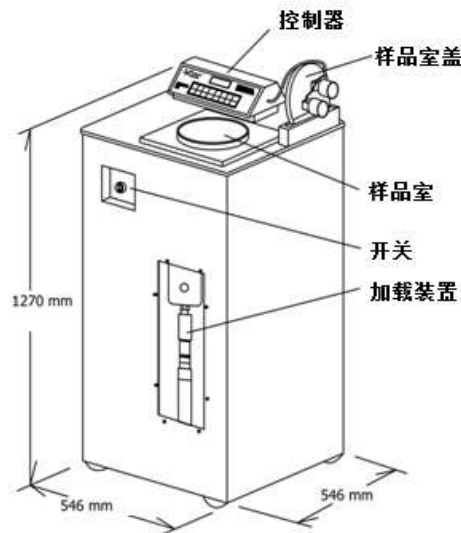


图 1 湿度调节系统

3 试验准备

3.1 沥青混合料试件准备 2 组，每组 4 个试件。

3.2 试件尺寸直径 100mm, 高度 $63\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 或者直径 150mm, 高度 $100 \pm 5\text{mm}$ 。每个试件的孔隙率控制在 6.5%至 7.5%之间。若试件压实至最佳孔隙率，每个试件个体的孔隙率不宜超过最佳孔隙率的 $\pm 0.5\%$ 。多个试件的平均孔隙率应控制在接近最佳孔隙率 7%或测量的最佳孔隙率或与现场预期一致的孔隙率。采用压实的方法制备试件。

3.3 压实完毕后，从试模中取出试件并冷却至室温。

4 试验步骤

4.1 根据设备生厂商的建议设定湿度控制系统。试验系统应该能够调节全部三个试件。

4.2 放置第一个试件于试验系统中，并注入足量 20℃ 至 40℃ 的水覆盖试件。

4.3 试件顶部放置铁盘作为试件隔离器，试件隔离器用于完全分隔试件。放置第二个试件在顶部铁盘上（见图 2），试验过程中试件不允许直接接触堆放。

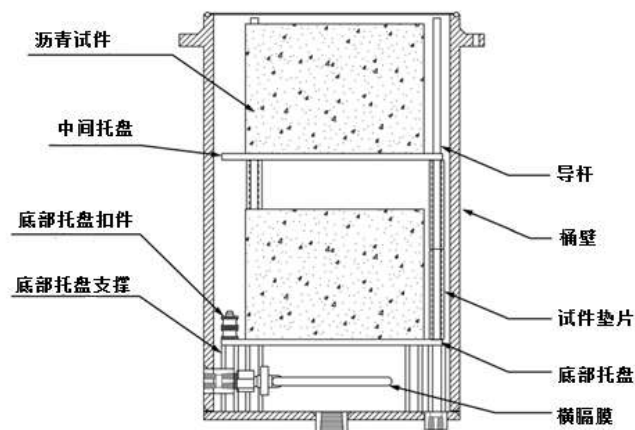


图 2 两层试样结构

4.4 在试验系统中注入足量的水，覆盖第二个试件，水温应小于试验温度。

4.5 如果放置第三、四试件，重复以上放置第二个试件的步骤（见图 3）。

4.6 在盛放试件的容器中注满水，同时检查盖子是否盖好。水温应小于试验温度。

4.7 将盖子上的杯子填满足够的水，用来补充样品室因排气过程中而损失的水。试验过程中需要周期性连续排气，当试件中的空气被挤出产生空隙压力时，必须保证向试验系统中补充足够的水。

4.8 设置循环次数 3500 次。

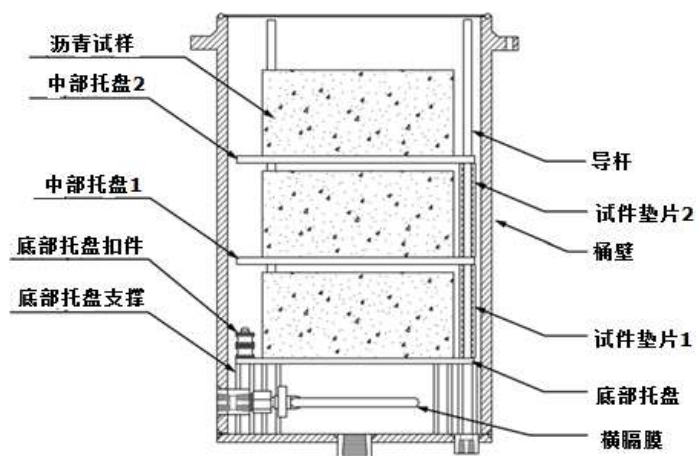


图 3 三层试样结构

4.9 设置压力 276kPa。

4.10 如果沥青混合料中的沥青（PG）高温性能高于 60，设置温度为 60℃。

4.11 如果沥青混合料中的沥青（PG）高温性能低于 60 或者温拌沥青混合料（WMA），设置温度为 50℃。

4.12 试验开始后，使系统升温加热水和试件至设定温度，施加循环压力。该

步骤需要试验系统在规定的范围内自动控制完成。

4.13 当循环加载过程结束，打开排水阀使水全部排出。该步骤可以是试验系统自动执行完成或者循环加载完毕后 20 分钟内手动控制完成。

4.14 拿掉盖子。

4.15 样品室内的水全部排净后关闭排水阀。

4.16 向样品室内加入足量 18℃ 至 27℃ 的自来水覆盖试件。该步骤可以帮助试件降温，同时保证试件取出时不会破坏。

4.17 试件静置 2 到 3 分钟冷却，打开排水阀使水全部排出。

4.18 小心取出试件后，将试件放入 25℃±1℃ 恒温水浴中 2 到 3 小时。在整个试验过程中，试件不允许互相直接堆放。

5 计算

5.1 试件的稳定度

5.1.1 当采用自动马歇尔试验仪时，将计算机采集的数据绘制成压力和试件变形曲线，或由 X-Y 记录仪自动记录的荷载-变形曲线，在切线方向延长曲线与横坐标相交于 O₁，将 O₁ 作为修正原点，从 O₁ 起量取相应于荷载最大值时的变形作为流值，最大荷载即为稳定度（MS），以 kN 计，准确至 0.01kN。

5.1.2 采用压力环和流值计测定时，根据压力环标定曲线，将压力环中百分表的读数换算为荷载值，或者由荷载测定装置读取的最大值即为试样的稳定度（MS），以 kN 计，准确至 0.01kN。

5.2 试件的浸水残留稳定度计算。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (1)$$

式中：MS₀—试件的浸水残留稳定度（%）

MS₁—试件浸水 48h 后的稳定度（kN）

6 报告

当一组测定值中某个测定值与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予以舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时，k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

条文说明

本标准参考 ASTM D7870。该试验标准提供了一种加速工况下的循环加载方法。试验系统能够控制试验环境由高温到常温的变化，同时可以在击实成型的沥青混合料中生成孔隙水

压力。相比常温和常规交通环境下沥青混合料所经受的作用时间，该系统可以提供沥青混合料一个更加快速的外部作用影响。这种加速环境旨在模拟汽车轮胎经过潮湿路面时，路面中的内部应力。系统产生的脉冲波形与洛伦兹函数近似，半峰宽近似于 1 秒，峰值 276kPa。

水损坏发生的可能影响因素有集料的矿物学特性、沥青混合料的空隙率、水、施加的循环应力以及温度的升高等。本试验的方法和设备能够提供水、应力和高温三种因素。而集料特性和空隙率则属于沥青混合料的材料性能。

试验完成后对试件进行拉伸强度试验评价水损坏情况时，应在试验完成 6 小时内进行测定。

T 0778—201X 沥青混合料水敏感性试验（多烈士法）

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青 60℃动力黏度大于 4000mm²/s 的热拌沥青混合料的水敏感性。试验温度根据有关规定和需要选用，如无特殊规定，采用试验温度为 18℃±1℃，用于评价沥青混合料的热敏感性时，采用 0℃和 50℃两个试验温度。

1.2 本方法适用于直径 80mm±2mm、100mm±3mm、120mm±3mm、150mm±3mm 或 160mm±3mm 的沥青混合料圆柱体试件，试件的长细比应大于或等于 0.5。混合料制作时的条件应符合下列规定：

1.2.1 当采用 ϕ 80mm±2mm 圆柱体试件时，集料公称最大粒径小于或等于 14mm。

1.2.2 当采用 ϕ 100mm±3mm 圆柱体试件时，集料公称最大粒径小于或等于 22mm。

1.3 本方法适用于试验室制作的圆柱形试件或从沥青路面钻取的芯样，混合料空隙率应不小于当地规范要求的最高值。也可以采用不同的成型方法制备沥青混合料试件，参数应符合下列规定：

1.3.1 当采用静压成型试件时，对于直径小于 ϕ 100mm±3mm 的圆柱体试件，采用 60kN±0.5%荷载静压成型，加载时间 300s±5s。对于直径大于或等于 ϕ 100mm±3mm 的圆柱体试件，采用 180kN±0.5%荷载静压成型，加载时间 300s±5s。

1.3.2 当采用旋转压实成型试件时，旋转压实 50 次。

1.3.3 当采用击实成型试件时，双面击实 35 次。

1.3.4 当采用振动成型试件时，振动时间为 $80\text{s} \pm 5\text{s}$ 。

当采用碾压成型试件时，碾压 24 次（12 个往返）。

2 仪器与材料技术要求

2.1 万能试验机。其他可施加荷载的路面材料试验设备也可使用，但均必须满足下列条件。

2.1.1 最大荷载应满足不超过其量程的 80%，且不小于量程的 20%的要求，分度值 100N。具有球形支座，压头可以活动与试件紧密接触。

2.1.2 具有环境保温箱，控温准确至 0.5°C 。当缺乏环境保温箱时，试验室应设置空调，控温准确至 1.0°C 。

2.1.3 能符合加载速率保持 $1\text{mm}/\text{min}$ 的要求。试验机宜有伺服系统，在加载过程中速度基本不变。

2.2 恒温水槽：用于试件保温，温度能满足试验要求，控温准确至 0.5°C ，深度应大于试件高度 20mm，底部带多孔架。

2.3 真空干燥器：可达到真空度 $47\text{kPa} \pm 3\text{kPa}$ 且能够保持真空 $120\text{min} \pm 10\text{min}$ ，可以容纳装试件的水槽。

2.4 恒温室：可调节空气温度至 $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，空气湿度 $50\% \pm 10\%$ 。

2.5 台秤或天平：感量不大于 0.1g。

2.6 温度计：分度值 0.5°C 。

2.7 卡尺。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T07**用静压法成型沥青混合料试件，试件制作前试模放入达到成型温度的烘箱保温不少于 2h，试件尺寸应符合 1.2 的要求。也可以采用击实、碾压成型、旋转压实和振动压实方法成型试件（试件尺寸应满足要求，成型方法应在报告中注明）。

3.1.2 试件成型后放置冷却至室温（不少于 4h）后脱模。用卡尺量取试件高度，最高部位与最低部位的高度差超过 2mm 时试件作废，不同试件间高度差不应超

过 5mm。

3.1.3 用卡尺在各个试件上下两个断面的垂直方向上正确量取试件直径，取 4 个数的平均值作为试件的计算直径（ d ），准确至 0.1mm。

3.1.4 用卡尺在各个试件的 4 个对称位置上正确量取试件高度，取 4 个数的平均值作为试件的计算高度（ h ），准确至 0.1mm，不同试件间高度差不应超过 5mm。

3.1.5 根据几何尺寸计算试件体积密度 M_{Va} ，当试件的 M_{Va} 与平均值之差大于平均值的 $\pm 1\%$ 时，试件作废，当有多个试件 M_{Va} 与平均值之差大于评价值的 $\pm 1\%$ 时，整批试件作废。

3.1.6 将全部试件分成三组，使每组试件的平均 M_{Va} 最接近全部试件的 M_{Va} 平均值。取两个试件用本规程水中重法测试表观密度，对于公称最大粒径小于 11mm 的混合料每组浸水保存和室内保存试件数不少于 5 个，对于公称最大粒径大于或等于 11mm 的混合料每组浸水保存和室内保存试件数不少于 4 个。

3.2 试验步骤

3.2.1 将第一组试件置于 $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 温度（无特殊规定时）和 $50\% \pm 10\%$ 的湿度条件下室内保存 7d 备用。

3.2.2 将第二组试件按本规程 T07**标准的饱水试验方法真空饱水，在真空度为 $47\text{kPa} \pm 3\text{kPa}$ 条件下保持 2h；然后打开阀门，恢复常压，取出试件擦干表面，称取试件重量 M_1 。

3.2.3 将第二组试件置于已经达到规定的试验温度（无特殊规定时为 $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ）的恒温水槽中，保温 7d。

3.2.4 养生结束后，取出试件立即擦干表面，称取试件重量 M_1 ，如有需要，可以在第 2 天或第 4 天称取试件质量 M_2 和 M_4 。

3.2.5 抗压强度试验：试件测试前将周围环境温度调整至 $18^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ；将下压板、底座置于试验机升降台座上，迅速取出试件放在下压板中央位置，加上上压板，以 1mm/min 的加载速率均匀加载直至破坏，读取荷载峰值（ P ），准确至 100N。从试件取出至试验完成的时间不能超过 2min，整个试验完成的时间不超过 2h。

4 计算

4.1 试件的体积密度按式（T0777-1）计算。

$$M_{Va} = \frac{4 \times M}{\pi d^2 h} \quad (\text{T0777-1})$$

式中: MVa —试件的体积密度 (g/cm^3);

M —脱模后试件的质量 (g);

d —试件的直径 (mm);

h —试件的高度 (mm)。

4.2 浸水百分比按式 (T0777-2) 计算。

$$W_k = \frac{M_i - M}{M} \times 100 \quad (\text{T0777-2})$$

式中: W_k —试件的浸水百分比 (%);

M —脱模后试件的质量 (g);

M_i —浸水 i 天后试件的质量 (g)。

4.3 抗压强度按式 (T0777-3) 及式 (T0777-4) 计算。

$$R = \frac{4P_1}{\pi d^2} \quad (\text{T0777-3})$$

$$r = \frac{4P_2}{\pi d^2} \quad (\text{T0777-4})$$

式中: R —第一组未浸水试件的抗压强度 (MPa);

r —第二组浸水试件的抗压强度 (MPa);

P_1 —第一组未浸水试件的试验荷载值 (N);

P_2 —第二组浸水试件的试验荷载值 (N);

d —试件的直径 (mm)。

4.4 抗压强度比按 (T0777-5) 计算。

$$ITSR = \frac{\bar{r}}{\bar{R}} \times 100$$

式中: $ITSR$ —抗压强度比 (%);

$\bar{R}$ —第一组有效试件抗压强度平均值 (MPa);

$\bar{r}$ —第二组有效试件抗压强度平均值 (MPa);

5 报告

5.1 同一种沥青混合料, 当混合料公称最大粒径小于 14mm 时, 在相同试验条件下应至少进行 5 次平行试验。当混合料公称最大粒径大于等于 14mm 时, 在相同试验条件下应至少进行 4 次平行试验。

5.2 报告应包括如下内容

5.2.1 试件制备条件: 混合料类型、集料来源、沥青品种、沥青含量、混合料

拌合方法（拌和机类型）、试件制作方式、拌合压实温度、拌合至压实时间间隔等。

5.2.2 试件测试参数：试件的体积密度、毛体积密度、最大理论密度、空隙率、吸水量、浸水试件和未浸水试件的平均抗压强度、抗压强度比及可能对试验结果产生影响的因素。

6 允许误差

重复性试验抗压强度比的变异系数不大于 7.8%，再现性试验变异性系数不大于 13.4%。

条文说明

本方法主要参考 NF P 98-251-1 编写。

水损害的评价方法是在分析水损害形成机理的基础上发展起来的。水稳定性评价方法包括我国的浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验，美国的汉堡车辙试验，修正的 AASHTO T283，欧洲的间接拉伸试验和法国的多列士（Duriez）试验等。这些试验以不同的方式模拟了路面受水、温度、荷载的破坏作用。

我国的浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验试件均采用马歇尔击实成型，通过限定击实次数难以准确控制试件空隙率，导致空隙率与实际路面相差较大。多列士试验试件采用静压成型，空隙率可完全通过试件质量和体积决定，试件空隙率的变异系数显著小于马歇尔成型试件。法国方法认为直接压缩试验结果的重复性和再现性优于间接拉伸试验，因此，法国方法推荐采用直接压缩试验评价沥青混合料的水敏感性。

真空饱水可以使水分更容易进入试件空隙中，多列士试验的条件组试件要求在负压（ 47 ± 3 ）kPa 的条件下浸水 $2\text{h} \pm 10\text{min}$ ，这与我国冻融劈裂试验的真空饱水的压强和时间均不同。

不同的养生温度条件下水对混合料性能的影响程度不同，我国浸水马歇尔试验条件组试件在 60°C 条件下浸水保存 48h 模拟的是高温条件下水对混合料性能的影响，冻融劈裂试验模拟的是低温和冻融条件下水对混合料性能的影响程度。法国多列士试验对照组试件在温度为 $(18 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、湿度为 $(50 \pm 10)\%$ 的条件下放置 7d，条件组在温度为 $(18 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的水浴中浸泡 7d，其更倾向于模拟常温条件下水对混合料性能的影响。

T 0779—201X 沥青混合料压实特性试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于使用马歇尔击实仪或旋转压实仪，通过沥青混合料的密度或空

隙率与压实功的关系来评价沥青混合料的压实特性。

1.2 本方法适用室内制备的沥青混合料，也适用于从沥青拌和站取样的沥青混合料，公称最大粒径不超过 31.5mm。

1.3 本方法的试验结果可作为沥青混合料配合比验证的补充。

2 马歇尔击实仪法

2.1 仪具与材料技术要求

同本规程 T 0702。

2.2 准备工作

同本规程 T 0702。

2.3 试验步骤

2.3.1 按本规程 T 0702 方法采用 6 种不同的击实次数（5、15、25、35、50、100 次）制作 6 组马歇尔试件，每组试件 3 个，并按照本规程规定的方法测定混合料的最大理论密度和试件的毛体积密度，分别计算每组试件空隙率的平均值。

2.3.2 绘制击实次数与毛体积密度的关系曲线。

2.4 结果计算

马歇尔试件的毛体积密度随击实功的变化可通过以下公式和回归系数 ρ_{∞} 、 ρ_0 和 C 表示。回归系数应通过优化，使 $\rho(E_i)$ 测量值和建模值之间的平方差总和最小化。试验结果示例详见图 1。

$$\rho(E_1) = \rho_{\infty} - (\rho_{\infty} - \rho_0) \exp\left[\frac{-E_1}{C}\right]$$

式中： $\rho(E_1)$ —冲击压实机压实后试样的堆积密度， E_1 ，以兆克/每立方米（Mg / m³）表示；

ρ_{∞} —为理论上可以实现的最大体积密度（冲击压实），以兆克/每立方米（Mg / m³）表示；

ρ_0 —为理论上的初始试样堆积密度（冲击压实），以兆克/每立方米（Mg/m³）的形式表示；

E_1 —表示压实功（马歇尔击实仪），以 42 Nm 为单位，其数值等于试样每侧的锤击次数；

C—指抗压性（冲击压实，不同试样各压实能级的方法），以 42 Nm 为单位

表示。

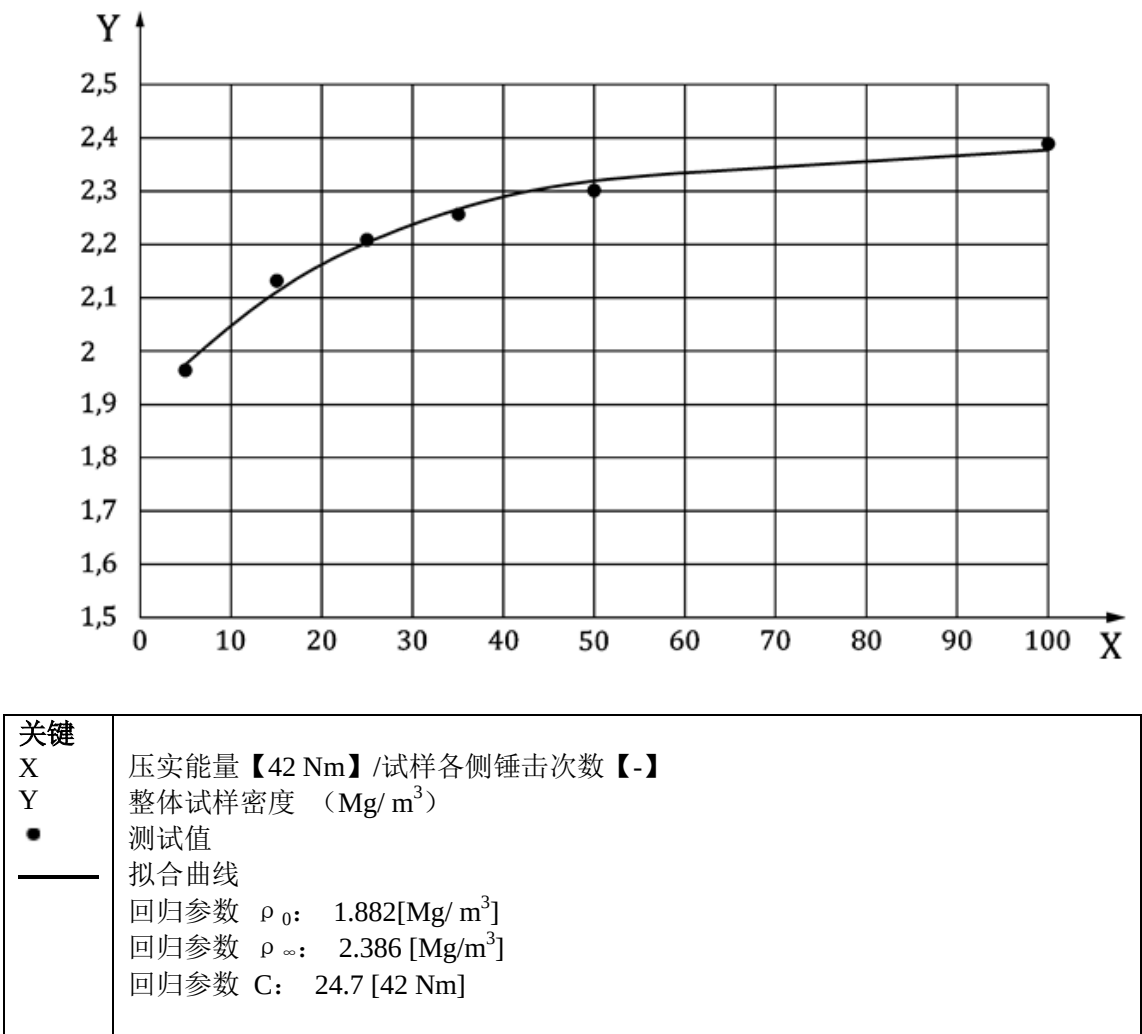


图 1——关于评估试样压实性回归系数的测定示例，适用于通过不同冲击压实能量压实的试样

注：相对压实势 R 可定义为推导值，详情如下：

$$R = (p_{\infty} - p_0) / p_{\infty}$$

通过计算密度和实验密度的最小二乘法计算方程的三个参数 ρ_0 、 ρ_{∞} 和 C，以获得试验数据的最佳近似值。在执行单次测试时，抗压性 C 精确至小数点后两位。

混合物的抗压性 C 是三个单值的算术平均值，精确至小数点后一位。三个单值的差异不应超过表1中列出的容许偏差：

表格 1——抗压性

	抗压性, C, 最高 12	抗压性, C, 超过 12 但小于 25	抗压性, C, 最高 25
容许偏差	绝对值 3.18	数值的 26.5 %	无法提供准确说明

3 旋转压实仪法

3.1 仪具与材料技术要求

同本规程 T 0736。

3.2 准备工作

同本规程 T 0736。

3.3 试验步骤

3.3.1 根据测定沥青混合料试件毛体积密度随旋转次数的变化。

3.3.2 旋转次数至少为 200 次。

3.3.3 各混合料至少执行三次测试。根据三项或更多项密度的算术平均值计算压实性。

3.3.4 根据本规程测定混合料的最大理论密度，并计算旋转不同次数后的试样空隙率。

3.4 结果计算

压实试样孔隙量随压实能量的变化可通过以下公式表示：

$$v (ng) = v (1) - [K \cdot \ln ng] \quad (3)$$

式中：v (ng) —多次回转 ng 后的空隙率，以百分比 (%) 表示；

v (1) —回转一次后的孔隙量计算值；

K—压实性（使用旋转压实仪法）；

ng—回转数；

通过现行回归分析计算方程的两个参数 v (1) 和 K，实现对于旋转 20 多次后试验数据的最佳可行逼近，此时 $\ln ng$ 和 v (ng) 为独立的变量和因变量。孔隙量 v (1) 精确至小数点后一位，而压实性 K 精确至为小数点后两位。

4 报告

试验报告主要包括以下内容：

1) 沥青混合料的配合比；

2) 材料的性能和来源；

- 3) 混合料的拌制方法;
- 4) 击实温度;
- 5) 表示压实特性的参数值;
- 6) 图表上的实验结果图。

5 允许误差

5.1 马歇尔击实

抗压性 C 的可重复性和再现性通过对照试验并使用混合设备制备的沥青混合物测定。所得结果列于表 2。

表 2——可重复性和再现性

	可重复性	再现性
抗压性 C < 12 的混合物	绝对值 1.4	绝对值 3.6
抗压性 C > 12 以及 < 25 的混合物	数值结果的 12%	数值结果的 30%
抗压性 C > 25 的混合物	无法提供准确说明	

5.2 旋转压实

17 个实验室使用同类型的试验装置和实验室制备的混合物 (D = 10mm 的磨损层沥青混凝土, 符合 EN 13043), 根据 ISO 5725 执行关于 K 可重复性和再现性的研究。K 的平均值为 3.47。可重复性为 0.14, 再现性为 0.24。

条文说明

本方法参考 EN 12697-10 编写。

T 0780—201X 沥青混合料流动性试验

1 目的与试验范围

本方法用于测定浇注式沥青混合料流动性, 以判定浇注式沥青混合料的施工和易性, 适用于试验室和现场配合比设计与品质管理。

2 试验仪器

2.1 流动性试验料桶: 用于装浇注式沥青混合料, 尺寸见图 2.1 中 a 图所示;

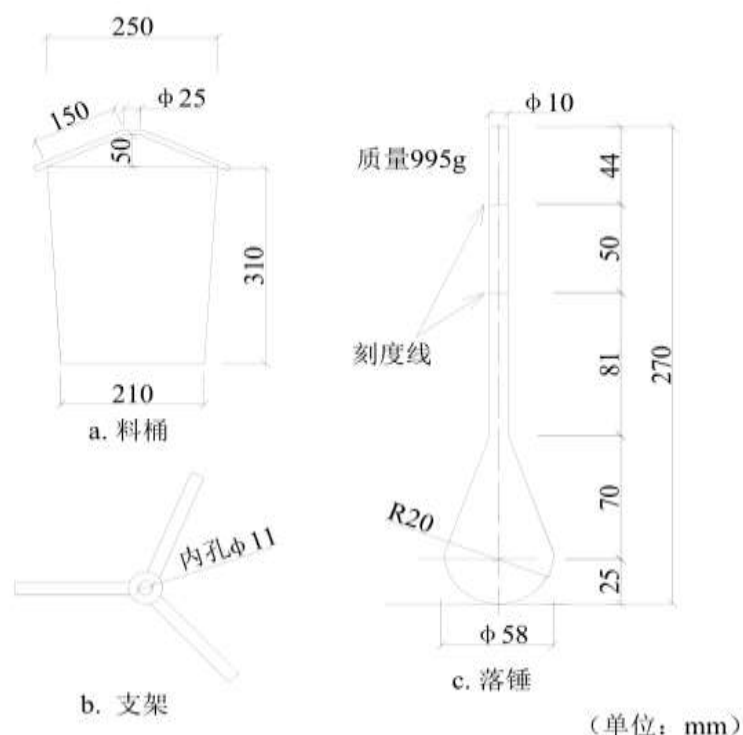


图 2.1 流动性试验设备

2.2 支架：用于固定落锤，尺寸见图 2.1 中 b 图所示；

2.3 落锤：铜制，重为 995g，其形状和尺寸见图 2.1 中 c 图所示。

2.4 温度计：量程（0~300）℃，用以量取混合料的温度；

2.5 秒表：分度值 0.1s，用以记录落锤下落时间。

3 试验步骤

3.1 混合料的拌和

将按规定温度（ 240 ± 2 ）℃烘干后的各种规格矿料投入搅拌锅并加入沥青后搅拌约 6min 后，放入加热后的矿粉，再搅拌约 40~50min，拌和温度控制位（220~250）℃。

3.2 试验流程

3.2.1 将落锤加热至与待测浇注式沥青混合料温度相同；

3.2.2 将拌和好的试样沿桶的边沿注入桶内，达到试样的目标温度后（试样注入量距桶底距离控制在 18~26cm 范围内）。将支架立于桶的边沿，预热的落锤通过支架的导孔垂直置于试样表面的正中央；

3.2.3 放下落锤，记录落锤上两个刻度线通过导孔的时间间隔，即为该混合料的流动性，同时记录下试样此时的温度；

3.2.4 施工时的流动性的测试是测量从浇注式专用运输车中放出混合料的温

度和该温度下的流动性。

T 0781—201X 沥青混合料级配离析敏感性试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料的均匀性,判别沥青混合料不同级配离析程度的方法。适用于现场沥青混合料的施工质量控制。

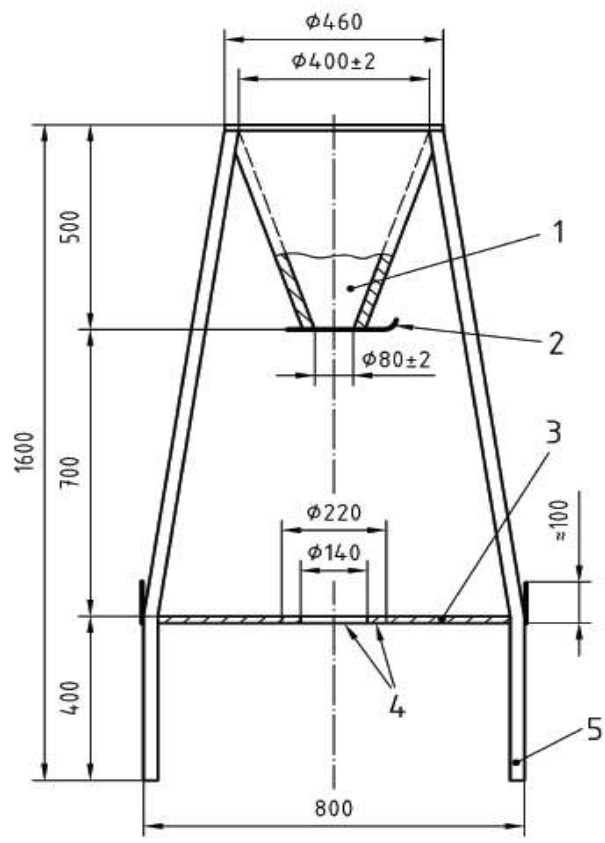
1.2 本方法适用于最大公称粒径为 16mm 且流动时间小于 15s 的沥青混合料。

1.3 本方法对含有聚合物、纤维等添加剂的沥青混合料不适用。

2 试验仪器

2.1 离析测试仪：见图 1

注 1：建议将隔离器拆卸下来，对储料仓进行预热。



尺寸单位：mm

图 1 离析测试仪

- 1 隔热锥形料斗
- 2 滑动板
- 3 料台
- 4 开关

5 支撑架

2.2 容器：至少准备直径为 500mm 的容器

2.3 天平：精度 $\pm 0.2\text{Kg}$

2.4 烘箱：温度可达到 200°C ，精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

2.5 秒表

2.6 温度计：测量范围为 $0\text{--}200^{\circ}\text{C}$ ，精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

3 试验准备

3.1 测试的样品来自试验室制备或现场沥青拌合站的沥青混合料样品

3.2 在拌合站生产的沥青混合料，优先从拌合锅内取样，且尽可能靠近拌合锅，试样的质量不少于 30kg。

3.3 室内试验，试样质量应为 $(10 \pm 1)\text{kg}$ 。

3.4 隔热的锥形料斗应干净，无污染。

3.5 将测试的试样加热到规定的温度，将料斗加热至 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$ 。

4 试验步骤

4.1 将离析测试仪安装好，将加热后的试样放入锥形料斗中；

4.2 测量试样沥青混合料的温度，并记录；

4.3 快速打开锥形料斗的底部的滑动板，测试试样从离开料斗落到 700mm 处平台上的时间 (S)；

4.4 打开内部开关（直径为 140mm），收集细料部分在第一个容器里；

4.5 打开外部开关（直径为 220mm），收集测试试样的中间料在第二个容器里；

4.6 将剩余在平台上的试样收集到第三个容器里，作为粗料部分。

注 2：中间料的分析不是确定级配离析敏感性所必需的，可以从测试过程中省略，如果中间部分的沥青用量介于粗、细沥青混合料的沥青用量之间时，应需考虑。

5 计算

5.1 沥青离析值

计算沥青离析值如下：

$$SV_{binder} = B_f - B_c \quad (1)$$

式中： SV_{binder} ——为沥青离析值，以质量百分比表示(%)；

B_f ——细集料部分沥青含量，以质量百分比表示(%)；

B_c ——粗集料部分沥青含量，以质量百分比表示(%)。

注 3：上述所有质量百分比均以 0.1% 的准确度表示。

5.2 集料离析值

计算粗集料最大粒径 D 、 $D/2$ 、 2.36mm 的离析值如下：

$$SV_n = S_{f,n} - S_{c,n} \quad (2)$$

式中： SV_n ：为筛孔 n 的总离析值，以质量百分比表示(%)；

$S_{f,n}$ ：为细混合料部分筛孔 n 上的量，以质量百分比表示(%)；

$S_{c,n}$ ：为粗混合料部分筛孔 n 上的量，以质量百分比表示(%)。

注 4：上述所有质量百分比均以 0.1% 的准确度表示。

5.3 沥青混合料质量均匀性值

5.3.1 计算细料 2.36mm 筛孔以上部分沥青胶浆含量，如下所示：

$$B_{f,m} = B_f \cdot 100 / S_{f,2mm} \quad (3)$$

式中： $B_{f,m}$ ：为细料筛孔 2.36mm 以上部分沥青用量，以质量百分比表示(%)；

B_f ：为细料部分的沥青用量，以质量百分比表示(%)；

$S_{f,2mm}$ ：为细料部分筛孔 2.36mm 筛上的用量，以质量百分比表示(%)。

5.3.2 计算粗料 2.36mm 筛孔以上部分的沥青胶浆含量，如下所示：

$$B_{c,m} = B_c \cdot 100 / S_{c,2mm} \quad (4)$$

式中： $B_{c,m}$ ：为粗料筛孔 2.36mm 以上部分沥青含量，以质量百分比表示(%)；

B_c ：为粗料的沥青用量，以质量百分比表示(%)；

$S_{c,2mm}$ ：为粗料部分中筛孔 2.36mm 筛上的用量，以质量百分比表示(%)。

5.3.3 计算沥青混合料质量均匀值如下：

$$MQ = B_{f,m} - B_{c,m} \quad (5)$$

式中： MQ ：为沥青混合质量均匀性值，以质量百分比表示(%)；

$B_{f,m}$ ：为细料筛孔 2.36mm 以上部分沥青用量，以质量百分比表示(%)；

$B_{c,m}$ ：为粗料筛孔 2.36mm 以上部分沥青用量，以质量百分比表示(%)；

注 5：上述所有质量百分比均以 0.1% 的准确度表示。

6 报告

试验测试报告应包括以下信息：

- 1 实验室的信息
- 2 样品的信息
- 3 散装样品的总质量 (kg)
- 4 每部分的质量 (kg)，精度为 0.1
- 5 每部分沥青用量，以质量百分比表示(%)；
- 6 每部分集料的级配
- 7 SV_{binder} 、 SV_n 和 MQ 的值，以质量百分比表示 (%)。

注 6：上述所有质量百分比均以 0.1% 的准确度表示。

7 精确度要求

可重复性试验: SV : 0.4%; B_m : 1.0%; MQ : 0.6%;

再现性试验: SV : 0.7%; B_m : 1.4%; MQ : 1.0%。

条文说明：

1 本方法在于评价不同类型的混合料级配本身的离析敏感性，例如对于粗级配混合料较细级配容易离析，而间断级配较连续密级配更容易离析，因此采用此方法可以评价不同类型级配的离析敏感性，从而要求工程上采取不同措施进行控制。

2 本方法参考 EN 12697-15 编写。

T 0782—201X 碎石封层平板冲击试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于检验结合料与石屑之间保持黏结的力学性能，以供各种橡胶沥青表面处治与石屑封层设计之用。

1.2 本方法可用于在不同试验温度下对下列各项性能的检验：

结合料与石屑之间的主动黏附性；

结合料与石屑表面之间的机械黏附性；

石屑颗粒在结合料上的保持率。

注 1: 主动黏附性(active adhesiveness)为沥青喷洒在潮湿集料表面取代水分而与集料黏结的能力, 它是结合料黏附于自然状态下的潮湿石屑上所必需的性能。

注 2: 机械黏附性(mechanical adhesion)为结合料黏结于干燥而带有粉尘和细屑的集料表面上的能力, 它是结合料黏附于自然带有粉尘和细屑而形成屏蔽的石屑表面所必需的性能。

注 3: 石屑保持率 (chippings retention)为在平板冲击试验中, 经过冲击试验后保持黏结在结合料上的颗粒数量占石屑颗粒总数的百分率。

注 4: 试验温度 (test temperature)是指在冲击试验前带有结合料和石屑的平板进行恒温适应处理的温度。

2 仪器与材料技术要求

2.1 平板: 平钢板 (见图 2.2) 应带有 2mm~3mm 的侧边, 其尺寸为边长 $(200\text{mm} \pm 1\text{mm}) \times (200\text{mm} \pm 1\text{mm})$; 厚 $2.0\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 。钢板的平面应经机械加工, 在任何一方向上的整个长度的断面上的容许偏差为 0.2mm, 在使用之后这一偏差应最大不超过 0.5mm。

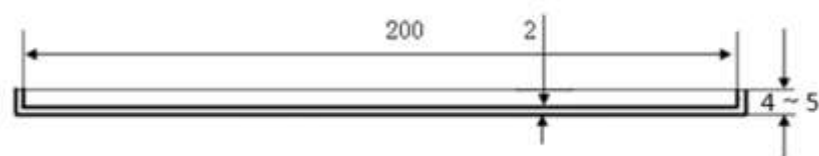


图 2.2 冲击平板 (尺寸单位: mm)

2.3 三点支架: 三点支架由一带有三个支点的刚性支座和一垂直的立柱组成, 立柱的顶端有一轻微倾斜的 V 形溜槽, 用来投掷钢球 (见图 2.3), 三个支点的尺寸公差为 $\pm 0.2\text{mm}$, 钢球的尺寸公差为 $\pm 0.5\text{mm}$, 其余尺寸公差为 $\pm 0.2\text{mm}$ 。

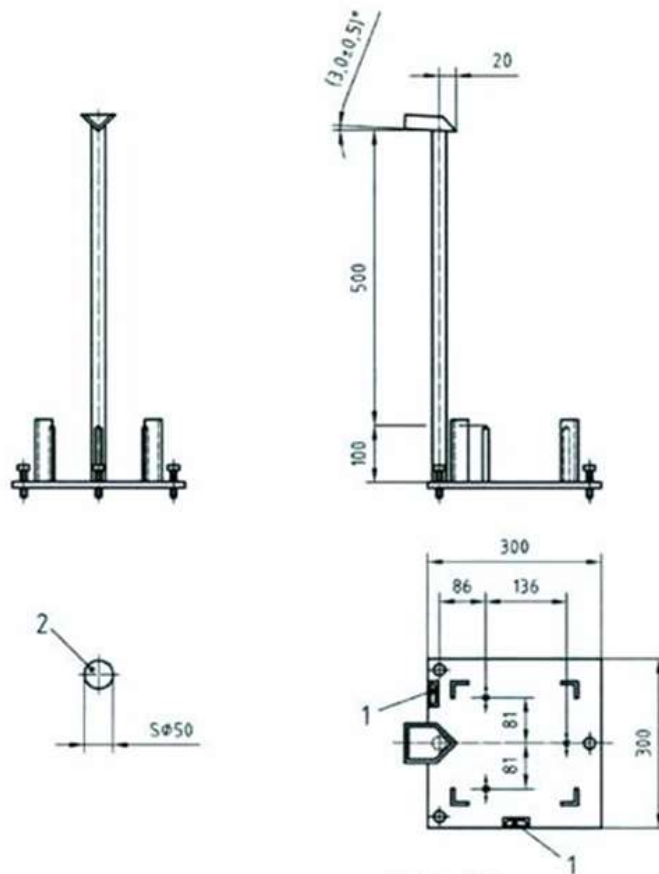


图 G.2.3 三点支架

1——水准仪；2——钢球

2.4 钢球：钢球应为质量 $510\text{g} \pm 10\text{g}$ ，直径 $50.0\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的钢制圆球。

2.5 橡胶滚轮：橡胶滚轮（见图 2.5）应为轮缘包有 $15\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 硬橡胶的钢轮，质量 $25\text{ kg} \pm 1\text{ kg}$ 。有效宽度为 $260\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ，直径为 250mm ，橡胶硬度应为肖氏硬度 40/150。

2.6 湿度计：应满足测量值在湿度为 90% 时精确至 5% 的要求。

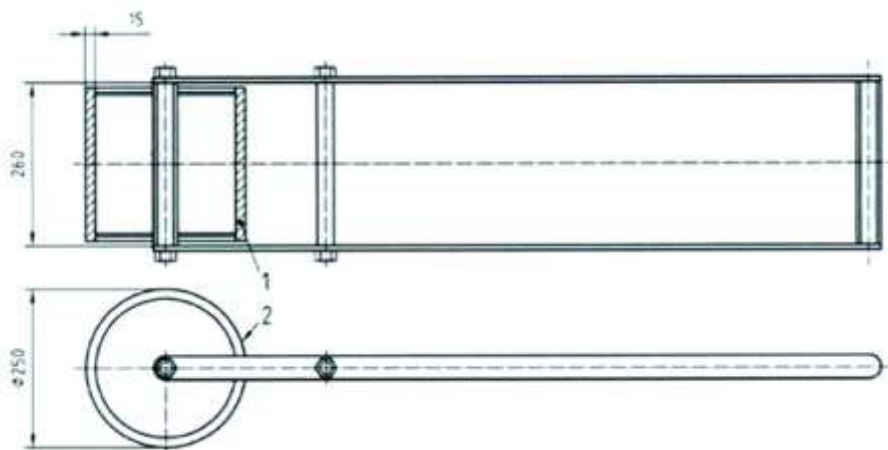


图 2.5 橡胶滚轮（尺寸单位：mm）

1——橡胶轮缘；2——滚轮

2.7 电子秤：其测量范围应至少 1000g，精确至 0.1g。

2.8 恒温调节用气候箱：其调节的范围应为（10℃±1℃）至（-25℃±1℃），湿度保持在 90%以上，对用于机械黏附性试验和石屑保持性试验的气候箱没有湿度要求；对用于石屑保持率试验的低温气候箱，允许采用商用的低温试验箱或低温冷冻箱，其空载时的温度波动范围应≤±2℃，降温速率 0.5℃/min~1℃/min，冷却室放入试件后能使试件附近空气温度在-22℃±3℃的范围内保持 50min。

2.9 加热结合料和石屑用烘箱：其温度调节范围应满足从 50℃±1℃至 200℃±1℃的要求。

2.10 试验用的辅助工具包括：刮刀；密封的金属或塑料盒；金属丝网篮；定时器，精确到±1s。

3 主动黏附性和机械黏附性试验

3.1 准备工作

3.1.1 结合料和石屑的准备应按下列要求进行：

- 1) 按配比要求在实验室制备好橡胶沥青；
- 2) 按要求的洒布率和平板的面积计算所需的结合料用量；

3) 按单粒径的要求准备好 100 颗 6.35mm 至 9.5mm 的石屑（对规定规格为公称粒径 9.5mm 的石屑）或 50 颗 9.5mm 至 13.2mm 的石屑（对规定规格为公称粒径 13.2mm 的石屑），在石屑中超过和小于粒径范围的颗粒、针片状的颗粒应剔除。

3.1.2 机械黏附试验用石屑的养生处理应按下列要求进行：

- 1) 将自然带有粉尘和细屑的石屑放在硬板纸上，然后放入通风的烘箱中在 50℃±1℃的温度下保温 24h±1h；
- 2) 将放有石屑的硬板纸从烘箱取出放入一盒中，将其密封后，放入温度保持在 5℃±1℃范围内的气候箱中 24h±1h。

3.1.3 主动黏附性试验用石屑的养生处理应按下列要求进行：

- 1) 将自然带有粉尘和细屑的石屑颗粒放入一金属丝网篮中；
- 2) 将网篮放置在温度保持在 5℃±1℃，相对湿度保持大于 90%的气候箱中

24h±1h。

3.1.4 平板的准备应按下列要求进行：

- 1) 在每次试验前清洗和干燥平板，并将平板放入 180℃烘箱内预热备用；
- 2) 将准备好的结合料加热至 180℃~190℃；
- 3) 将准备好的平板放在电子称上称取毛重或去皮；
- 4) 将热的结合料徐徐倒在平板上，称取规定用量的结合料（参看图 2.14）。



3.1.5 将平板放入烘箱内的水平支架上，在 165℃的温度下放置 15min 使结合料均匀地分布在平板平面上（参看图 2.15）。



图 2.15 将平板放入烘箱内使结合料均匀地分布在平板上

3.1.6 按下列要求安放石屑和养生：

1) 自烘箱取出平板放置在一水平安放的，温度控制在 190℃左右的恒温加热板上，，立即将准备好的 100 颗或 50 颗石屑按 10×10 或 7×7+1 的排列方式安放在平板的结合料上，在这一过程中平板结合料表面温度宜控制在 120℃~130℃的范围内（参看图 2.16-1）。

2) 将平板试件移至平地上，立即用橡胶滚轮在平板的纵向和横向各碾压 3 遍（3 个来回），使石屑埋入结合料中（参看图 2.16-2），待平板冷却至室温后，

放置 4h~6h 进行养生。



图 2.16-2 将瓦楞纸板覆盖在平板的石屑上方后再用橡胶滚轮进行碾压

3.1.7 将带石屑的平板放入气候箱中在 $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 温度（试样附近）下放置 $20\text{min} \pm 2\text{min}$ 进行温度调定处理。

3.2 试验步骤

3.2.1 试验装置应安放在稳固的基础上，用气泡水准仪校正三点支架处于水平状态，必要时可用三个水平调平螺丝进行调整。

3.2.2 将平板从气候箱中取出，面向下放置在三点支架上（参看图 2.18）。

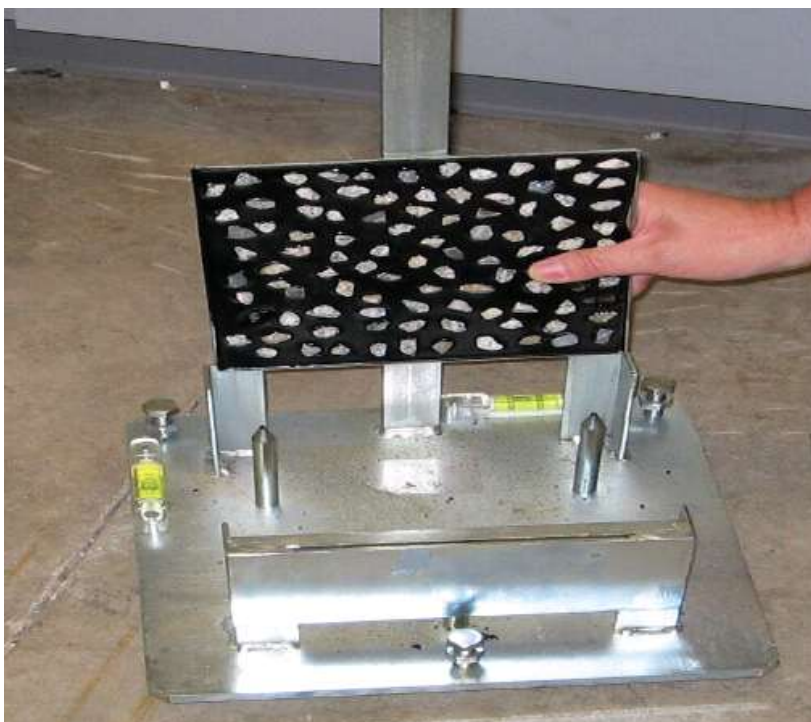


图 2.18 将平板面向下放置在三点支架上

3.2.3 将钢球放置在试验装置的溜槽内，让其自由落下冲击平板。在 10s 时间内连续冲击平板三次。

3.2.4 在完成三次冲击后，检查保留在板上和掉落在台面上的石屑颗粒的情况：

- 1) 掉落的石屑上没有黏附结合料的颗粒数 a' ；
- 2) 掉落的石屑上仍黏附有结合料的颗粒数 b' ；
- 3) 黏结在平板上的石屑颗粒数 c' 。

3.2.5 屑颗粒的总数应为 $a' + b' + c' = 100$ 或 50（依试验石屑的数量而定）。

3.2.6 求取三次试验获得的 a' 、 b' 、 c' 的平均值 a 、 b 、 c 。

3.2.7 从气候箱取出平板至三次冲击完成的时间，不得超过 60s。

3.2.8 试验结果的计算

1) 采用 100 颗石屑，黏附性指标为：

$$A = b + c \quad (\%)$$

2) 采用 50 颗石屑，黏附性指标为：

$$A = 2 \times (b + c) \quad (\%)$$

3.3 试验报告

试验报告应包括以下内容：

3.3.1 试验类型：机械黏附性、主动黏附性、石屑保持性；

3.3.2 结合料的类型和性质；

3.3.3 结合料用量 (kg/m^2)；

3.3.4 石屑埋入结合料的温度；

3.3.5 石屑的性质、粒径和数量；

3.3.6 石屑的处理：自然状态、烘干或湿润、清洗或不清洗、预裹覆等；

3.3.7 平板的试验温度；

3.3.8 试验结果。

4 保持性试验

4.1 准备工作

4.1.1 结合料和石屑的准备应按下列要求进行；

1) 按配比要求在实验室制备好橡胶沥青；

2) 按要求的洒布率和平板的面积计算所需的结合料用量；

3) 准备好 100 颗 6.35mm 至 9.5mm 的石屑（对规定规格为公称粒径 9.5mm 的石屑）或 50 颗 9.5mm 至 13.2mm 的石屑（对规定规格为公称粒径 13.2mm 的石屑）在石屑中超过和小于粒径范围的颗粒、针片状的颗粒应剔除。

4) 将规定规格的石屑用水洗法除去黏附其上的粉尘后，在 $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温 $24\text{h} \pm 1\text{h}$ 进行干燥处理。

4.1.2 平板的准备、石屑的安放、埋入与养生的操作应按 3.1.4 条~3.1.6 条的规定进行。

4.1.3 养生结束后将平板试件分别在 5°C 、 -10°C 、 -22°C 的试验温度下，放入气候箱中使试件在试件附近空气温度在试验温度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 的范围内保持 $50\text{min} \pm 2\text{min}$ 进行温度调定处理，平板试件的温度调定处理宜逐块地在气候箱中进行。

4.2 试验步骤

4.2.1 同 3.2.1~3.2.7。

4.2.2 试验结果的计算

1) 采用 100 颗石屑，保持率为：

$$M=c \quad (\%)$$

2) 采用 50 颗石屑，保持率为：

$$M=2 \times c \quad (\%)$$

条文说明

该方法根据 EN 12272-3 编写。结合料与石屑之间的黏附性以在石屑上是否黏附有结合料作为评价标准，因而黏附性应以石屑颗粒上黏附有结合料的颗粒总数（不论是掉落的还是黏附在平板上的）来评价。

T 0783—201X 沥青混合料试件制作方法(法国轮胎轮碾机法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于采用法国 BBPAC 轮胎轮碾机制备沥青混合料板型试件，以供试验室进行沥青混合料物理化学性质试验使用。

1.2 本方法可制备用于法国车辙敏感性试验的试件，也可制备用于切割混合料梯形试件（用于两点弯曲动态模量及疲劳性能测试）和棱柱体试件（用于四点弯曲疲劳性能测试）的大型板块。

2 仪器与材料技术要求

2.1 BBPAC 沥青混合料轮胎碾压机。

2.2 试验室用沥青混合料拌合机：容量 30L 及 75L。

2.3 活塞或螺杆式空气压缩机：工作压力 0.5~0.8MPa。

2.4 BBPAC 配套标准金属试模，包括边框和底板：

H50 一长 500mm×宽 180 mm×厚 50mm；

H100 一长 500mm×宽 180 mm×厚 100mm；

H150 一长 600mm×宽 400 mm×厚 150mm。

2.5 充气碾压单轮：固定于其轮毂上，用于制备 H50 及 H100 板型试件。

2.6 充气碾压双轮：固定于其轮毂上，用于制备 H150 板型试件。

2.7 烘箱：大、中型各 1 台，装有温度调节器。

2.8 台秤、天平或电子秤：称量 5kg 以上的，感量不大于 1g；称量 5kg 以下的，用于称量矿粉的感量不大于 0.5g，用于称量沥青的感量不大于 0.1g。

2.9 温度计：宜采用有金属杆的插入式数显温度计，金属杆长度不小于 150mm，量程 0~300℃，分度值 1℃。

2.10 其他：电炉或煤气炉、托盘、便携式红外测温仪、沥青熔化锅、拌和铲、刮刀、隔热手套、混合料盛器、毛刷、防黏剂或隔离剂（必须选择与沥青不相溶的材料）、牛皮纸等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0701 的方法在拌合厂或施工现场取代表性的沥青混合料，当混合料温度符合要求时，可直接用于成型。按照本规程 T 0702 的方法在试验室拌制沥青混合料。

3.1.2 根据制备试件的规格安装碾压单轮或碾压双轮，并更换碾压底板。

3.1.3 将试模置于已加热至压实温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内预热至少 2h。

3.1.4 固定预热好的试模，用毛刷在试模内壁和碾压轮胎上均匀涂抹一薄层防黏剂或隔离剂。

3.1.5 通过程序控制碾压底板升降到合适的高度，在底板上垫一张剪裁好的牛皮纸，将 $M \pm 0.1\%$ 重量的混合料按由边至中的顺序迅速装入试模，用小铲均匀摊铺和插捣混合料（包括试模边角处），使表面尽量平整，装料过程中要防止混合料离析。

3.2 试验步骤

3.2.1 将 BBPAC 设备初始化。

3.2.2 根据制备试件的规格选择合适的碾压工序，不同规格试件标准的强碾工序参照表 T 0786-1 及 T 0786-2 执行。

表 T 0783-1 制备 500mm×180mm 规格板型试件的单轮强碾工序

碾压阶段	碾压轮位置及碾压次数			碾压轮胎压 (MPa)	荷载 (kN)	碾压起点	碾压轮横向位置 换算系数 a (mm)	工作模式
	前	中	后					
初压	1	1	1	0.1	1	右	75	锁定
	1	1	1					
复压	2	1	2	0.6	5	右	45	自由
	2	1	2					
	4	2	4					
	8	4	8					
	8	4	8					
	4	2	4					
	2	1	2					
	2	1	2					
终压	1	1	1	0.6	5	—	45	锁定
	1	1	1					
累计	32	16	32	—	—	—	—	—

注：只有轴自由工作模式下累计碾压次数

表 T 0783-2 制备 600mm×400mm 规格板型试件的双轮强碾工序

碾压阶段	碾压轮位置及碾压次数			碾压轮胎压 (MPa)	荷载 (kN)	碾压起点	碾压轮横向位置换算系数 a (mm)	工作模式
	前	中	后					
初压	1	1	1	0.1	2	右	75	锁定
	1	1	1					
复压	2	1	2	0.6	10	右	63	自由
	2	1	2					
	4	2	4					
	8	4	8					
	8	4	8					
	4	2	4					
	2	1	2					
	2	1	2					
终压	1	1	1	0.6	10	—	63	锁定
	1	1	1					
累计	32	16	32	—	—	—	—	—

注：只有轴自由工作模式下累计碾压次数

3.2.3 将碾压轮平移至右侧起点，调整轮胎压力及汽缸压力至初压阶段需求水平，定位至对应的碾压轮横向位置换算系数，选择轴锁定工作模式，将碾压计数器清零，执行初压阶段的碾压。

3.2.4 将碾压轮平移至右侧起点，调整轮胎压力及汽缸压力至复压阶段需求水平，定位至对应的碾压轮横向位置换算系数，选择轴自由工作模式，执行复压阶段的碾压。

3.2.5 终压阶段时，轮胎压力、汽缸压力及碾压轮横向位置换算系数与复压阶段相同，只需改为轴锁定工作模式，执行预定的碾压次数。

3.2.6 整个碾压过程中，需要根据碾压的难易程度，通过程序即时控制碾压底板的升降，使试件缓慢均匀受压，直至达到要求的厚度。

3.2.7 碾压完成后，用工具整平试件表面，并清理模具及碾压轮胎上的沥青及混合料残渣。

3.2.8 待试件冷却至室温后，启动脱模程序取出试件，并将试件水平放置备用。

4 计算

4.1 按照式（T 0783-1）计算试模中应装入的混合料质量 M 。

$$M = 10^{-9} L B e \rho_M \frac{100 - v}{100} \quad (\text{T 0783-1})$$

式中： M —板型试件的质量（kg）；

L —试模边框内缘长度（mm）；

B —试模边框内缘宽度（mm）；

e —试模边框高度（mm）；

ρ_M —混合料理论最大密度（kg/m³）；

v —试件的设计或预估空隙率（%）。

5 报告

试验报告应该包括制件日期、环境参数（温度、湿度等）；参考的标准编号及其颁布日期；混合料类型、名称及组成；板型试件重量 M ；混合料拌和及压实温度；混合料制件密度（或空隙率）；试模规格以及试件厚度；采用的碾压工序；试件制备条件概述及所有可能会对结果产生影响的异常情况。

条文说明

本方法主要参考 EN 12697-33-2003 编写，根据国内 BBPAC 设备使用过程中积累的经验，进行了适当修改。

国内目前常用的板型试件成型设备一般为钢轮压实，可制作长 300mm×宽 300 mm×厚 50~100mm 的板块状试件。法国的轮胎轮碾机（BBPAC），则是采用一个或两个充气轮胎对装填在矩形试模中一定量的沥青混合料进行碾压，压实过程中，充气轮根据特定的碾压工序沿与轴线平行的路径匀速往复碾压成型板块试件。

BBPAC 设备有两种运行模式：轴锁定模式和轴自由模式。轴锁定模式下，轮轴与试模上部边缘的相对高度保持不变；轴自由模式下，施加到试件上的荷载保持不变。在试件的初压及终压阶段，采用轴锁定模式，使试件表面平整光滑，在主要的复压阶段，采用轴自由模式，将试件碾压至要求厚度。

EN 12697-33-2003 中按压实功的大小规定了弱碾和强碾两种碾压工序，但在实际使用中，都要求采用强碾工序，因此，本规程仅规定了标准的强碾工序，不再提及弱碾工序。当制备特定空隙率的试件时，要根据试件尺寸，在标准碾压工序基础上，对称地增加或减少碾压次

数，确保试件表面平整无变形。

BBPAC 的固定试模尺寸分为三种，即规程中规定的 H50、H100 和 H150，需要注意的是，H150 试模的大小 600mm×400mm，指的是试模上部的尺寸。当需要制备其他尺寸的试件时，要重新规定碾压工序，在每个碾压断面上对称地增加或减少碾压次数，使碾压次数沿试件的宽度方向均匀分布，确保在轴自由模式下，试件的单位横截面积上经过相同的累计碾压次数。

关于沥青混合料拌和机的选择，由于 BBPAC 成型的试件体积较大，需要尽量选择容量较大的拌和锅，在实际使用过程中对比发现，一次出料一次装模成型试件的均匀性，比多次出料分层装模成型的试件明显要好很多，此外，一次出料也避免了因工序冗杂而导致的混合料温度散失。本规程建议，制备 H50 和 H100 规格试件时，可选用 30L 拌和锅，制备 150H 规格试件时，可选用 75L 拌和锅，在条件确实不满足的情况下，应尽量较少出料次数。

关于混合料装填的问题，建议按照先边角后中间的顺序进行装填，并借助小铲等工具夯实边角处的混合料。装填完毕后，建议在整理混合料表面时，使试件长度中轴线上的混合料平面略高于上下平面，避免在碾压过程中，混合料挤出试模边缘。

关于压实温度的选取，EN 12697-33-2003 中并没有明确的规定，本方法建议参照本规程 T 0702 确定，同时可借鉴本规程表 T 0785-1 中列出的法国标准中 PCG 方法的参考压实温度。

关于制备试件的厚度，可根据集料粒径大小及工程需要进行选择，如需减薄厚度，可通过在碾压底板上增加对应厚度相同材质的垫板来实现。

T 0784—201X 沥青混合料旋转压实试件制作方法（PCG 法）

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于采用 PCG3 旋转压实仪成型 $\phi 150\text{mm}$ 的沥青混合料圆柱体试件，以供试验室进行沥青混合料物理化学性质试验使用。

1.2 本方法适用于确定试件在给定旋转次数下的空隙率，并得到在旋转压实过程中试件空隙率（或压实度）随旋转次数变化的曲线。

1.3 本方法适用于集料最大粒径不大于 31.5mm 的沥青混合料旋转压实试验。

2 仪器与材料技术要求

2.1 PCG3 沥青混合料旋转压实仪：设备出厂时倾角已固定，不可更改。

2.2 PCG3 配套标准金属 $\phi 150\text{mm}$ 圆筒试模。

2.3 PCG3 配套标准金属圆形压盘。

2.4 PCG3 配套脱模器。

2.5 试验室用沥青混合料拌合机：容量不小于 10L。

2.6 烘箱：大、中型各 1 台，装有温度调节器。

2.7 台秤、天平或电子秤：称量 5kg 以上的，感量不大于 1g；称量 5kg 以下的，用于称量矿粉的感量不大于 0.5g，用于称量沥青的感量不大于 0.1g。

2.8 温度计：宜采用有金属杆的插入式数显温度计，金属杆长度不小于 150mm，量程 0~300℃，分度值 1℃。

2.9 其他：电炉或煤气炉、托盘、便携式红外测温仪、沥青熔化锅、拌和铲、刮刀、漏斗、隔热手套、混合料盛器、毛刷、润滑剂（硅油或甘油油酸脂）、垫纸等。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0701 的方法在拌合厂或施工现场取代表性的沥青混合料，当混合料温度符合要求时，可直接用于成型。按照本规程 T 0702 的方法在试验室拌制沥青混合料。

3.1.2 将预热模具、试模及压盘置于已加热至压实温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内保存至少 2h。

3.1.3 用毛刷在试模内壁上均匀涂抹一薄层润滑剂。

3.1.4 在试模下压盘上垫一张圆形纸片，称取 $M \pm 0.1\%$ 重量的混合料并迅速装入试模，或将备好的混合料直接通过漏斗装入试模，调整装入试模的混合料重量至 $M \pm 0.1\%$ ，将混合料表面整平，在顶面放置一张圆形纸片，然后盖上压盘。

3.1.5 将装入混合料的试模及压盘放入已加热至压实温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内保存 30~120min 备用。在进行 SMA 沥青混合料试验时，要特别注意沥青析漏的风险。

3.1.6 在旋转压实试验开始前 15~30min 将预热模具放入压实仪中进行预热。

3.2 试验步骤

3.2.1 设定预压力 P ， P 应在 150~3000N 范围内取值。

3.2.2 设定压实力 F ，压实力取 11700N ($\phi 150\text{mm}$ 试模)。

3.2.3 设定压实温度，不同类型沥青的压实温度按本规程 T 0702 确定。

3.2.4 设定转速，试验采用恒定转速 30r/min ($\pm 10\%$)。

3.2.5 设定试件压实的最小高度 $h_{\min}$ ， $h_{\min}$ 与试模内径 D 的比值应满足 0.66~1.05。

3.2.6 设定旋转压实次数 n_g 。

3.2.7 设定平行试件个数，待第一个试件完成预设次数旋转压实后，参数设置界面锁定，不可更改，后续平行试件参数应与第一个试件保持一致。

3.2.8 在程序中输入油石比、沥青密度、混合料理论最大密度，计算出应装入试模的混合料质量 M 。

3.2.9 将已填装混合料和压盘的试模放入 PCG3 旋转压实仪中，并紧固顶盖。

3.2.10 采用预压时，设定预压时间（控制在 30s 之内），使压实机压头与试模上压盘接触后启动预压。预压以后的压实过程采用设定的压实力 F 和倾角进行（第一圈起开始计算旋转压实次数）。

3.2.11 旋转压实成型的热试件不宜马上脱模，需在室温下适当冷却，必要时可用电风扇降温 5~10min 以缩短时间。对于需要进行性能试验，且空隙率较大的试件，冷却试件宜延长 15min 以上。试件脱模后，揭掉试件顶面与底面的圆形纸片，并将试件置于水平面上存放。

3.2.12 将试件在室温中放置 24h 后，按照本规程相关方法测定试件的毛体积相对密度等参数，平行试件一般不少于 4 个。

4 计算

4.1 按照式（T 0784-1）计算试模中应装入的混合料质量 M 。

$$M = 10^{-9} \pi D^2 / 4 h_{\min} \rho_M \quad (\text{T 0784-1})$$

式中： M —应装入试模中的混合料质量（kg）；

D —试模内径（mm）；

$h_{\min}$ —混合料完全压实后（空隙率为 0）的最小高度（mm）；

ρ_M —混合料的理论最大密度（kg/m³）。

4.2 PCG3 旋转压实仪在压实过程中自动测量每次旋转压实后试件的高度 h （ng），按照式（T 0784-2）计算试件在压实过程中对应的空隙率。

$$v(n_g)\% = 100 \frac{h(n_g) - h_{\min}}{h(n_g)} \quad (\text{T 0784-2})$$

式中： v （ng）—旋转压实 ng 次时试件的空隙率（%）；

h （ng）—旋转压实 ng 次时试件的高度（mm）；

$h_{\min}$ —混合料完全压实后（空隙率为 0）的最小高度（mm）。

4.3 一般应以至少三次平行试验的平均值作为混合料的试验结果。

4.4 若旋转压实 20 次以上后，同组各试件的高度变异系数大于 1.5%，该试验

应作废。

5 报告

试验报告应该包括 PCG3 旋转压实仪的有效内旋转角、压实力、旋转速率、旋转次数、拌和与压实温度、试件体积空隙率、试件直径及高度、试件毛体积相对密度等参数，并记录可能会对试验结果造成影响的异常情况。

6 允许误差

6.1 旋转压实重复性试验的允许误差为 0.95%，再现性试验的允许误差为 1.384%。

6.2 试件毛体积相对密度试验重复性的允许误差，当集料公称最大粒径小于或等于 13.2mm 时为平均值的 0.9%，集料公称最大粒径大于 13.2mm 时为平均值的 1.4%。试件毛体积相对密度试验再现性的允许误差为平均值的 1.7%。

条文说明

本方法主要参考 EN 12697-31-2007 编写，根据国内 PCG3 设备使用过程中积累的经验，进行了适当修改。

目前我国使用的旋转压实仪以 SGC、GTM 以及澳大利亚旋转压实仪为主，PCG3 旋转压实仪作为法国 LCPC 研发的最新一代旋转压实设备，在国内使用还比较少。

PCG3 旋转压实仪的基本原理是：旋转压实过程中，机械压头对试样施加轴向压力 F ，试模的轴线以作用力 F 的方向为中心做圆锥曲面运动，由此对试件产生同步的剪切力，模拟现场压实中的揉搓作用。PCG3 的有效内部旋转角为 $(0.82 \pm 0.02)^\circ$ ，一般在

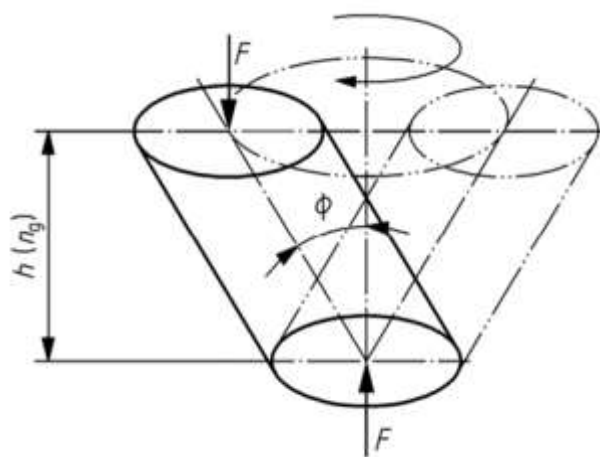


图 T 0785-1 PCG3 旋转压实仪工作原理示意图

设备出厂时倾角就已固定，不可更改。

对试验前试模的预热，EN 12697-31-2007 中规定，必须在压实温度 $\pm 10^\circ\text{C}$ 预热 2h 以上。根据实际使用经验，在特殊情况下，预热时间可适当缩短，以 45min~60min 为宜。此外，EN 12697-31-2007 中并没有预热旋转压实仪内壁的规定，实际使用中发现，在空气温度较低的情况下，如果不对压实仪内壁进行预热，可能会出现试模与内壁碰撞等杂音，对试验结果有一定的影响，因此，本方法根据使用经验，建议在旋转压实试验开始前 15~30min 将预热模

具放入压实仪中进行预热。

关于旋转压实试件制备前，混合料保温存放的问题，EN 12697-31-2007 中规定，将装入混合料的试模及压盘放入已加热至压实温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内保存 30~120min 备用。出于模拟现场混合料老化的考虑，本方法与 EN 12697-31-2007 中规定相同，但根据实际使用经验，建议保温存放在 30min 为宜，特别需要指出的是，对于 SMA 等类型的混合料，要注意沥青析漏的风险。

关于混合料装填的问题，建议在装料之前进行简单搅拌，使混合料分布均匀，防止出现离析；装料容器建议选择金属制的宽口漏斗，以节省装填时间。一般情况下，出料、装模、放入压实仪的整个工序尽量在 3min 中之内完成，以减少混合料温度散失。

关于压实温度的选取，EN 12697-31-2007 中并没有明确的规定，本方法建议参照本规程 T 0702 确定，同时在表 T 0784-1 中列出了法国标准中 PCG 方法的参考压实温度，以供借鉴。

表 T 0784-1 法国标准中 PCG 方法的参考压实温度

沥青针入度 (0.1mm)	压实温度 ($^{\circ}\text{C}$)
20-30	180
30-45	175
35-50	165
40-60	155
50-70	150
70-100	145

关于旋转压实次数及试件空隙率要求，建议根据交通量、沥青混合料类型、结构层厚度等参数进行选择。本方法在表 T 0784-2 中列出了法国标准对部分类型沥青混合料 PCG 试件空隙率的要求，以提供借鉴。

表 T 0784-2 法国标准对部分类型沥青混合料 PCG 试件空隙率的要求

混合料类型	旋转压实次数	空隙率%	旋转压实 10 次时的空隙率%
EME1-10	80	<10	—
EME2-10		<6	—
EME1-14	100	<10	—
EME2-14		<6	—
EME2-20	120	<6	—
GB2-14	100	<11	≥ 14
GB3-14		<10	

GB4-14	120	<9	
GB2-20		<11	
GB3-20		<10	
GB4-20		<9	

注：EME 为中、下面层与基层高模量沥青混合料，GB 为沥青稳定碎石。

对于试件脱模的冷却时间，EN 12697-31-2007 中允许成型后直接脱模，必要时可冷却 5~10min。本方法建议根据胶结料类型、混合料类型、成型试件的空隙率等参数确定脱模的冷却时间，一般以 10min 左右为宜，如脱模试件准备进行密度测量以及后续性能试验，建议适当延长冷却时间。

对于 PCG 试件的毛体积密度测量，EN 12697-31-2007 中认为，当试件脱模后，试件温度和压力的变化会影响密度的测量值，因此应将试件在室温中放置 24h 后再进行密度测量，本方法与此规定保持一致。此外，本方法建议根据混合料类型与成型试件的空隙率选择恰当的毛体积密度测试工具与方法。试件空隙率较大的情况下，建议有条件的试验室采用真空密封的方法进行毛体积密度测量。

T 0785—201X 沥青混合料车辙试验 (法国大型车辙仪法)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料车辙深度，供评价沥青混合料永久变形特性使用。

1.2 车辙试验的温度和轮压可根据有关规定和需要选用，如无特殊规定，车辙试验的温度为 60℃，轮胎压力为 0.6 MPa±0.03MPa。

1.3 本方法适用于按 T 0786 用轮胎轮碾机碾压成型的长 500mm、宽 180mm、厚 50mm 或厚 100mm 的板块试件。本方法也适用于现场切割板块状试件。

2 仪具与材料技术要求

2.1 车辙试验机：主要由以下部分组成：

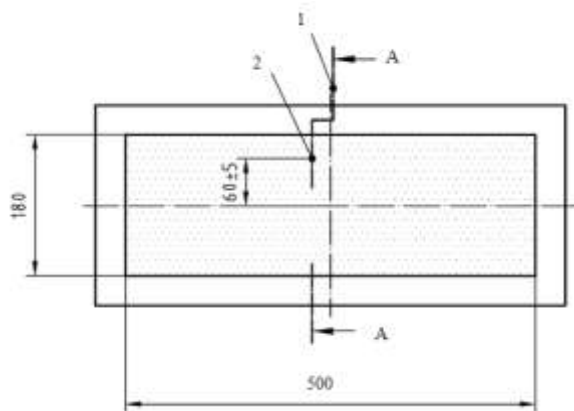
2.1.1 试件台：可牢固的安装试件的试模，用钢尺在对角线上检测，表面不平整度小于 1mm，试验温度条件下，厚度方向的挠曲变形不大于 0.5mm。

2.1.2 试验轮：橡胶制的充气轮胎，外径 400mm，轮宽 80mm。试验轮行走距离为 410mm±5mm。

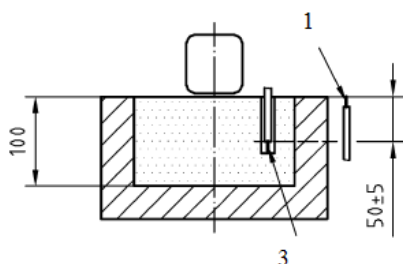
2.1.3 加载装置:通常情况下试验轮与试件的接触压强为 $0.6\text{MPa} \pm 0.03\text{MPa}$, 施加的荷载为 $5000\text{N} \pm 50\text{N}$, 可满足 $1\text{Hz} \pm 0.1\text{Hz}$ 的加载频率。

2.1.4 试模: 由底板及侧板组成, 试模内测尺寸为长 500mm, 宽 180mm, 厚 50mm 或厚 100mm, 试模尺寸精度 $\pm 2\text{mm}$, 强度足够保证试验条件下不产生变形。

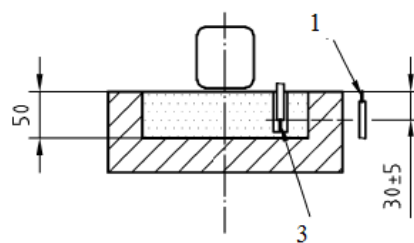
2.1.5 温度传感器: 温度传感器分别安装在试件内部和温控室内, 可自动检测温控室内部和试件内部温度, 精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。温度传感器布置如图 T 0786-1 所示



(1) 温度传感器平面布置



(2) 100mm 厚车辙板剖面图



(3) 50mm 厚车辙板剖面图

图 T 0786-1 温度传感器布置 (尺寸单位 mm)

1-空气温度传感器; 2-试件内部温度传感器; 3-温度传感器灵敏件

2.1.6 通风围挡: 可以调节试验环境温度, 通过试件内部温度传感器进行温度控制, 保证试件中心温度误差不大于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

2.2 车辙深度测量装置: 接触面积为 $5\text{mm}^2 \sim 10\text{mm}^2$ 的接触式位移计, 接触面可为圆形或方形, 精度 $\pm 0.2\text{mm}$ 。也可以采用相同试验精度的非接触位移传感器。

2.3 隔离剂: 如甘油滑石粉。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 按本规程 T 0786 用轮碾成型成型法制作车辙试验试块，板块状试件尺寸为长 500mm×宽 180mm×厚 50mm 或长 500mm×宽 180mm×厚 100mm。也可从路面切割得到需要尺寸的试件，必要时采用与试模尺寸对应的不变形垫块将试件垫稳，并浇注石膏保证试件与试模底部和侧壁良好接触。

3.1.2 试件成型后，连同试模一起在常温下放置时间不少于 48h，同一批次试样存放时间差异不宜太大，实际存放时间计入试验记录。

3.1.3 试件的检查：试件厚度大于 50mm 时，测量区域所有测试点的厚度误差不超过试件厚度的±5%，试件厚度小于等于 50mm 时，测量区域所有测试点的厚度误差不超过±2.5mm。试件表面应光滑平整，变形大于 5mm 时，试件作废。

3.1.4 轮胎的检查：通过相应装置，检查调节轮胎压力到 0.6 MPa±0.03MPa，轮胎痕迹宽度 80mm±5mm。轮胎表面要清洁，并涂膜隔离剂（甘油滑石粉）。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件连同试模一起固定在试件台上，在 15℃~25℃温度条件下试验轮往返碾压 1000 次，测试初试 m_{ij} 值，如图 T 0786-2 所示。

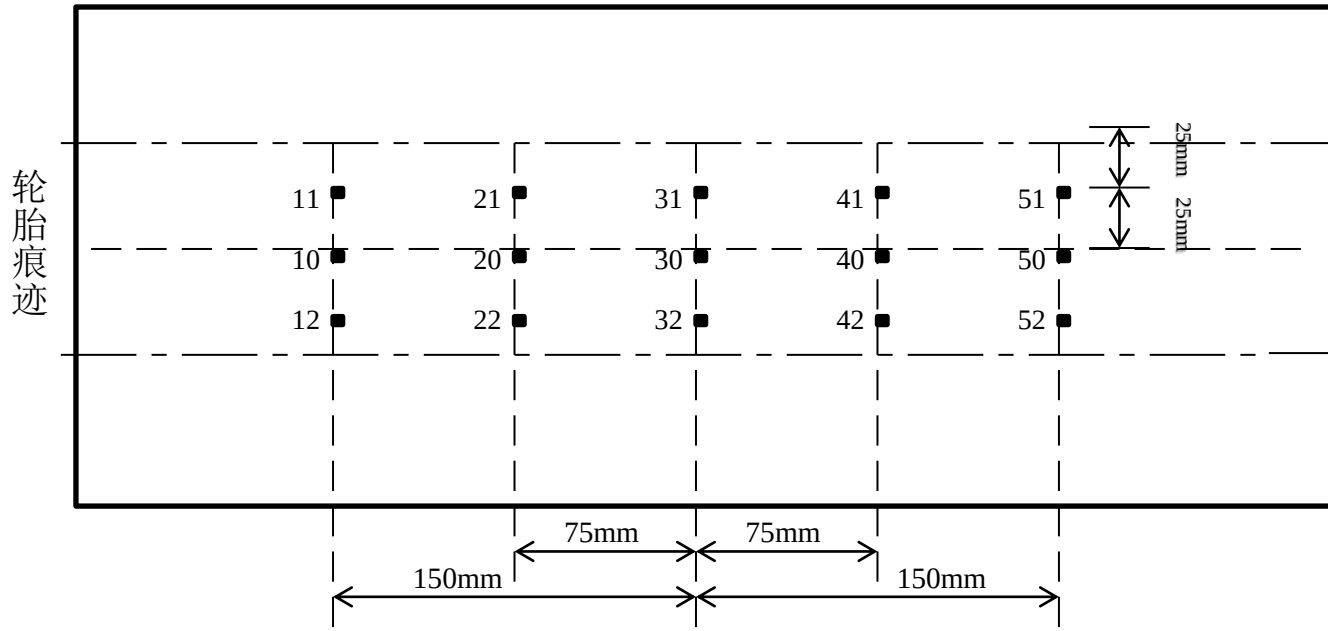


图 T 0785-1 车辙深度测试点

3.2.2 调整恒温室温度至试验温度（无特殊规定为 60℃），试验环境的温度通过试模旁温度传感器测量，测量温度不能高于设定试验温度 15℃ 以上。试件在试验温度条件下保存试件不少于 12h。

3.2.3 启动车辙试验机，使试验轮往返行走，在碾压至 1000 次、3000 次和 10000 次时分别测试车辙深度。每次车辙深度测试前记录试样温度，试验温度为每次测

试前纪录温度的平均值。必要时测试碾压 30 次、100 次、300 次、30000 次和 100000 次的车辙深度。

3.2.4 车辙深度测量结束后，试件中心达到试验温度才能继续试验。车辙深度的平均值大于 15mm 时，试验停止。

4 计算

4.1 车辙深度按式（T0785-1）计算。

$$Pi\% = 100 \times \frac{4 \sum_{j=1}^j (mij - m0j)}{15 \times h} \quad (\text{T0785-1})$$

式中：Pi%—车辙深度变化百分率，也称为车辙深度（%）；

h—试件厚度（mm）；

mij—循环碾压 i 次，第 j 个测试点的测量值（mm）；

m0j—预压后第 j 个测试点的测量值（mm）。

4.2 绘制Pi%双对数坐标曲线，车辙深度和碾压次数关系按（T0785-2）计算。

$$Y = A(N/1000)^b \quad (\text{T0785-2})$$

式中：Y—轮载碾压 N 次时的车辙深度（%）；

A—轮载碾压 1000 次的车辙深度（%）；

N—碾压次数；

b—双对数曲线的斜率。

5 报告

5.1 同一沥青混合料或同一路段路面，至少平行试验 2 个试件。

5.2 试验报告应注明混合料材料组成和生产方式、试件制作方法、试件厚度、密度、存放时间、试验平均温度、试验轮接地压强及车辙深度测试结果等。

条文说明

本方法参考 EN 12697-22 中大型车辙仪法及法国 LCPC 实践进行编写。

车辙试验是沥青混合料性能检验中最重要的指标之一。车辙大小除受混合料自身性能影响外，与车辙试验方法、试验设备、试验条件（荷载、温度、加载速度等）和评价指标关系密切。目前，国际上车辙试验方法很多，除我国标准车辙试验方法外，还有美国的沥青路面

分析仪 (APA), 汉堡车辙仪 (HWTB), 欧洲的特大型车辙仪 (轮胎宽度 11cm)、大型车辙仪 (轮胎宽度 8cm, 相当于法国大型车辙仪试验)、小型车辙仪 (轮胎宽度 5cm) 等。不同车辙试验方法参数如表 T 0785-1 所示。

表 T 0785-1 不同车辙试验方法比较

试验设备 参数	ORNIEREUR	APA	国标车辙仪
试件尺寸	500×180×100	300×125×75	300×300×50
试验温度	60℃	60℃	60℃
接触压强	0.6 MPa	0.7MPa	0.7MPa
碾压轮行程	410mm	—	230mm±10mm
评价指标	加载 30000 循环时, 试件加载部位的变形与其厚度的比值	共加载 8000 次, 分析车辙深度与加载次数之间的关系	加载 1h 内后 15min 加载次数与相应变形的比值

法国大型车辙仪在法国已经有超过 20 年的应用历史, 试验采用尺寸为长 500mm×宽 180mm×厚 20mm~100mm 的板块状试件, 试件可试验室制作或现场切割, 试件必须在试模中进行试验, 切割试件放入试模中需采用垫块或石膏将其固定, 防止试验过程中试件的晃动。

车辙试验结果受试验条件影响, 加载条件应与当地实际气候、交通状况相匹配。法国大型车辙仪采用无花纹充气橡胶轮胎, 相比于我国车辙试验的无花纹实心橡胶轮胎, 试验条件更加接近实际荷载状况。试验轮轮胎宽度 80mm, 胎压 0.6MPa, 施加 5000N 竖向荷载, 加载速率为往返碾压 60 次/min, 这与我国车辙试验的轮压标准不同。无特殊规定时, 法国大型车辙试验温度为 60℃, 设备有可通风循环的恒温室, 采用温度传感器分别测试恒温室环境温度和试件内部温度。测量车辙深度操作时会影响试件内部温度, 车辙测量结束后, 应等试件中心达到试验温度才能继续试验。

目前, 不同试验方法对车辙性能的评价指标不同。我国车辙试验指标为动稳定度, 是测定试验轮往返行走形成车辙变形的速率, 以每产生 1mm 变形行走次数表示。动稳定度仅考虑了变形稳定期的斜率, 未考虑初始压密变形, 这与实际路面运营期间形成的总车辙。法国车辙试验指标采用变形率表示, 即总变形量除以总厚度, 变形率更直接的反映了荷载作用下试件的变形情况。法国对不同类型沥青混合料车辙提出了性能要求如表 T 0786-2 所示。

表 T 0785-2 法国标准车辙试验要求

混合料类型	等级	碾压循环次数	车辙百分比 (%)
AC-BBSG	1	30000	≤10
	2		≤7.5

AC-BBME	3		≤ 5
AC-EME	1&2	30000	≤ 7.5
AC-GB	2&3	10000	≤ 10
	4	30000	≤ 10

T 0786—201X 沥青混合料冻融劈裂试验 (旋转压实仪试件)

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于在规定条件下对沥青混合料进行冻融循环，测定混合料试件在受到水损害前后劈裂破坏的强度比，以评价沥青混合料水稳定性。非经注明，试验温度为 25℃，加载速率为 50mm/min。

1.2 本方法也可以评价掺加到沥青混合料的各类抗剥落剂如消石灰、水泥以及液体抗剥落剂的性能。

1.3 本方法采用旋转压实法成型圆柱体试件，试件的直径为 150mm，高度为 95±5mm。试件的空隙率为 7%±0.5%。

2 仪器与材料技术要求

2.1 试验机：能保持规定加载速率的材料试验机，也可采用马歇尔试验仪。试验机负荷应满足最大测定荷载不超过其量程的 80%且不小于其量程的 20%的要求，宜采用 40kN 或 60kN 传感器，读数精密度为 10N。

2.2 恒温冰箱：能保持温度为-18℃，当缺乏专用的恒温冰箱时，可采用家用电冰箱的冷冻室代替，控温准确度为±2℃。

2.3 恒温水槽：用于试件保温，温度范围能满足试验要求，控温准确度为±0.5℃。

2.4 压条：上下各一根，压条宽度为 19mm，内侧曲率半径为 76.2mm，压条两端均应磨圆。

2.5 劈裂试验夹具：下压条固定在夹具上，压条可上下自由活动。

2.6 其它：塑料袋、卡尺、天平、记录纸、胶皮手套等。

3 方法与步骤

3.1 按本规程 T 0736 方法采用 3 种不同的旋转压实次数制作 3 组试件，每组

试件 3 个，并按照本规程规定的方法测定或计算混合料的最大理论密度和试件的毛体积密度，分别计算每组试件空隙率的平均值。

3.2 采用内插法或回归方程确定马歇尔试件空隙率为 7%时对应的旋转压实次数。

3.3 根据确定的旋转压实次数，按本规程 T 0736 方法制作试件，试件数目不少于 8 个。

3.4 按本规程的规定方法测定试件的直径及高度，准确至 0.1mm。试件尺寸应符合要求，在试件两侧通过圆心画上对称的十字标记。

3.5 按本规程规定的方法测定试件的毛体积相对密度，并计算试件的空隙率，空隙率不符合要求时试件作废，保证有效试件数量不少于 8 个。

3.6 将试件随机分成两组，每组不少于 4 个，将第一组试件置于平台上，在室温下保存备用。

3.7 将第二组试件按本规程 T 0717 标准的饱水试验方法真空饱水，在 98.3kPa~98.7kPa (730mmHg~740mmHg) 真空条件下保持 15min，然后打开阀门，恢复常压，试件在水中放置 0.5h。

3.8 取出试件放入塑料袋中，加入约 10mL 的水，扎紧袋口，将试件放入恒温冰箱（或家用冰箱的冷冻室），冷冻温度为 $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，保持 $16\text{h} \pm 1\text{h}$ 。

3.9 将试件取出后，立即放入已保温为 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中，撤去塑料袋，保温 24h。

3.10 将第一组与第二组全部试件浸入温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中不少于 2h，水温高时可适当加入冷水或冰块调节，保温时试件之间的距离不少于 10mm。

3.11 取出试件立即按本规程 T 0716 用 50mm/min 的加载速率进行劈裂试验，得到试验的最大荷载。

4 计算

4.1 劈裂抗拉强度按式(T 0786-1)及(T 0786-2)计算。

$$R_{T1} = 2P_{T1} / \pi D_1 h_1 \quad (\text{T 0786-1})$$

$$R_{T2} = 2P_{T2} / \pi D_2 h_2 \quad (\text{T 0786-2})$$

式中： R_{T1} ——未进行冻融循环的第一组单个试件的劈裂抗拉强度，MPa；

R_{T2} ——经受冻融循环的第二组单个试件的劈裂抗拉强度，MPa；

P_{T1} ——第一组单个试件的试验荷载值，N；

P_{T2} ——第二组单个试件的试验荷载值，N；
 π ——圆周率常数，取值为 3.1416；
 D_1 ——第一组每个试件的直径，mm；
 D_2 ——第二组每个试件的直径，mm；
 h_1 ——第一组每个试件的高度，mm；
 h_2 ——第二组每个试件的高度，mm。

4.2 冻融劈裂抗拉强度比按式(T 0786-3)计算。

$$TSR = \frac{\overline{R}_{T2}}{\overline{R}_{T1}} \times 100 \qquad (T\ 0786-3)$$

式中：TSR——冻融劈裂试验强度比，%，精确至小数点后 2 位；

$\overline{R}_{T2}$ ——冻融循环后第二组有效试件劈裂抗拉强度平均值，MPa；
 $\overline{R}_{T1}$ ——未冻融循环的第一组有效试件劈裂抗拉强度平均值，MPa。

5 报告

5.1 每个试验温度下，一组试验的有效试件不得少于 3 个，取其平均值作为试验结果。当一组测定值中某个数据与平均值之差大于标准差的 k 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当试件数目 n 为 3、4、5、6 个时，k 值分别为 1.15、1.46、1.67、1.82。

5.2 试验结果均应注明试件尺寸、试件的空隙率、成型方法、试验温度、加载速率。

条文说明

本方法名为冻融劈裂试验，其真正含义是检验沥青混合料的抗水损害能力，不过是条件比一般的浸水更苛刻一些。它不同于抗冻性试验，用于评价抗冻性的冻融循环试验次数要多达数十次甚至数百次之多。所以它虽然是冻融循环试验，由于是为了评价水稳定性，对南方非冰冻地区也是适用的。

T0729 沥青混合料冻融劈裂试验是采用马歇尔击实仪成型试件，本方法采用旋转压实仪成型试件，试验过程在原规程的基础上作了部分修订，并参照最新版的美国 AASHTO T 283-14 沥青混合料水损害评价方法(即冻融劈裂试验方法)编写而成，

为进一步对美国 AASHTO T 283-14 方法与我国冻融劈裂试验方法进行比较，兹将其要点比较如下表。

美国 AASHTO T 283-14 方法	我国冻融劈裂试验方法

1. 混合料短期老化, 60℃烘箱 16h, 135℃烘箱 2h, 马歇尔或搓揉压实法成型, 试件要求空隙率为 7%~8%	1. 马歇尔试件成型(加抗剥落剂的需短期老化)击实次数 50 次, 制作 8 个试件
2. 室温试件放置 72h~96h	2. 一般不需处理(加抗剥落剂的需长期老化)
3. 一组试件不进行真空饱水; 一组试件进行真空饱水, 在 254~660mmHg 真空下保持 5min~10min 要求饱水率 55%~80%	3. 一组试件不进行真空饱水; 一组试件进行真空饱水, 在 730mmHg 真空下保持 15min 后恢复常压
4. 试件立即放入 60℃水中 24h	4. 在常温水中放置 0.5h
5. 试件放入塑料袋中, 加 10mL 水	5. 试件放入塑料袋中, 加 10mL 水
6. 试件-18℃冻 16h	6. 试件-18℃冻 16h
7. 试件立即放入 60℃水中 24h	7. 试件立即放入 60℃水中 24h
8. 两组试件均 25℃养生 2h	8. 两组试件均 25℃养生 2h
9. 劈裂试验(50mm/min)求劈裂强度比 TSR	9. 劈裂试验(50mm/min)求劈裂强度比 TSR

T 0787—201x 沥青混合料浸水膨胀试验

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于使用钢渣作为集料的沥青混合料的体积膨胀率, 评价其安定性。

1.2 本方法也适合其它沥青混合料的体积膨胀率试验。

2 仪器与材料

2.1 恒温水槽: 能够恒温 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 深度不小于 150mm。

2.2 温度计: 量程 100°C , 分度值 1°C 。

2.3 卡尺: 满足 T0709 中相关要求。

2.4 烘箱: 能控制恒温 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

3 试验步骤

3.1 按 T 0702 击实法或 T 0736 旋转压实法成型试件, 自然冷却后脱模备用。

1 组 4 个试件, 同时试件尺寸应满足相应的要求。

3.2 用卡尺在试件底部、中部和顶部三个断面测定直径; 每个断面每转动 120° 测定 1 次, 测定 3 次; 取所有测定值算术平均值作为试件直径。在高度方向, 每转动 90° 测定 1 次高度, 测定 4 次, 取所有测定值算术平均值作为试件高度值。计算试件体积 V_1 。

3.3 将一组试件放入 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴中浸泡养生 $72\text{h} \pm 0.5\text{h}$ 。

3.4 取出试件冷却至室温，观察有无裂缝或鼓包，立即按 3.2 再次测量试件体积 V_2 。

4 计算

4.1 按(T 07**-1)计算试件体积膨胀率，准确至 0.01。

$$C_v = \frac{V_1 - V_2}{V_1}$$

式中： C_v ——沥青混合料体积膨胀率，%；

V_1 ——浸泡养生前试件体积， cm^3 ；

V_2 ——浸泡养生后试件体积， cm^3 。

4.2 取 4 个试件体积膨胀率测定值的算术平均值作为混合料体积膨胀率试验结果，准确至 0.1%。

5 报告

报告应说明混试件有无裂缝、鼓包等情况。

条文说明：

1 根据《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40，对于钢渣作为集料的沥青混合料，需要检验其体积膨胀率，要求不超过 1.5%。同时，近几年发现，一些掺加化学添加剂的沥青混合料在室内试验时也发现出现开裂或鼓包等情况。为此，为了评价沥青混合料的体积安定性，增补本试验方法。

2 该试验方法原安排在《公路工程集料试验规程》JTG E42 中的 T 0348，原方法参照日本《铺装试验法便览》3-7-8 的钢渣沥青混凝土浸水膨胀性试验编写。考虑该试验方法属于沥青混合料范畴，为此将《公路工程集料试验规程》JTG E42 中相关内容移到本试验规程中。