

# 道路实验与检测技术

## 实验讲义

大连理工大学土木水利实验教学中心

道路工程实验室

2012年4月

# 目 录

## 实验教学大纲

1.学时、学分	2 页
2.实验教学目的	2 页
3.主要仪器设备	3 页
4. 实验课程内容与学时分配	3 页
5.考核方式	4 页
6. 使用教材、主要参考书	4 页

## 实验指导书

### （一）沥青材料实验

实验 1-1 沥青动力粘度试验	5 页
实验 1-2 沥青恩格拉粘度试验	8 页
实验 1-3 沥青布氏旋转粘度试验	12 页
实验 1-4 沥青粘韧性试验	15 页

### （二）沥青混合料实验

实验 2-1 粗、细集料的筛析试验	18 页
2.1.1 粗集料的筛析试验	18 页
2.1.2 细集料的筛析试验	21 页
2.1.3. 矿粉的筛分试验	24 页
实验 2-2 沥青混合料组成设计	25 页
2.2.1 沥青混合料试件的制备	26 页
2.2.2 沥青混合料物理指标测定	29 页
2.2.3 沥青混合料马歇尔稳定度试验	32 页
2.2.4 沥青混合料车辙试验	35 页

# 《道路实验与检测技术》课程实验教学大纲

课程名称：道路实验与检测技术

英文名称：Testing & Experiment Techniques of Road

是否独立设课： 否

实验类别：专业基础类

实验课程性质： 限选

实验项目数： 4

必做实验项目数： 3

选做实验项目数： 1

开放实验项目数： 4

综合性、设计性实验数： 1

## 一、学时、学分

课程总学时： 24

实验学时： 12

课程总学分： 1.5

实验学分： 0.5

## 二、实验教学目的与基本要求

### （一）沥青试验

1. 通过沥青粘度指标实验，测定沥青不同温度范围内的粘度，即确定沥青粘温关系。

熟知沥青的条件温度、条件粘度及沥青材料的感温性。

沥青的动力粘度（也称为绝对粘度或简称为粘度）是沥青性质的主要指标之一；

恩格拉粘度计是国际上通用液体沥青及乳化沥青材料粘度测定方法的一种。

Brook field（布洛克菲尔德）粘度计用于测量沥青的高温粘度。

2. 掌握沥青动力粘度指标的测定方法。

3. 熟悉沥青材料的主要技术性质和技术标准。

测定沥青从较低温度到较高温度范围内的粘度，通常需要不同类型的粘度计。60℃粘度分级用动力粘度，世界上基本上都统一采用真空减压毛细管粘度计测定。近年来由于改性沥青的粘度增大，需要采用较粗的粘度管测定。对确定施工温度而测定 135℃或更高温度的运动粘度。

### （二）沥青混合料试验（综合设计型）

1. 通过沥青混合料马歇尔实验，掌握沥青混合料的试件制备方法；掌握沥青混合料的物理常数、马歇尔稳定度、流值和残留稳定度的测定方法。

2. 通过该综合设计型实验，掌握沥青混合料的组成设计（包括矿质混合料级配设计和

沥青混合料最佳油石比设计)；掌握道路建筑材料的技术性质及技术要求，了解材料路用性能的评价指标和试验方法。

### 三、主要仪器设备

序号	实验设备名称	对应实验项目	数量	备注
1	沥青动力粘度试验器 (真空减压毛细管法)	沥青粘度指标试验	1	
2	沥青布氏旋转粘度试验 (布洛克菲尔德粘度计法)	沥青粘度指标试验	1	
3	恩氏粘度计	沥青粘度指标试验	1	
4	20 升全自动混合料拌和机	沥青混合料马歇尔试验	1	
5	马歇尔电动击实仪	沥青混合料马歇尔试验	1	
6	大功率电动脱膜机	沥青混合料马歇尔试验	1	
7	路面材料强度试验仪主机	沥青混合料马歇尔试验	1	
8	液压式车辙试样成型机	沥青混合料车辙试验	1	
9	车辙试验仪	沥青混合料车辙试验	1	

### 四、实验课程内容与学时分配

序号	实验项目名称	内容提要	学时分配	实验要求	实验类型	每组人数	面向专业编号	备注
1	沥青粘度试验	动力粘度、旋转粘度、 恩氏粘度	6	必做	验证型	4	1	
2	沥青混合料马歇尔试验	筛析试验；沥青混合料的试件制备、物理指标试验、马歇尔稳定度试验	4	必做	设计型 综合型	4	1	
3	沥青混合料车辙试验	测定沥青混合料试件的动稳定度	2	必做	设计型 综合型	4	1	

注：适用专业、年级：1、土木工程、四年级

2、交通工程、四年级

## 五、考核方式

1、实验报告：按照规定格式文本撰写。

2、考核方式：

(1) 实验课的考核方式：出勤情况、过程管理、撰写实验报告。

(2) 实验课考核成绩确定，实验课成绩占课程总成绩的比例等。按照出勤情况、过程管理、实验报告综合评定。实验课成绩占课程总成绩的比例为 20%-30%。

## 六、使用教材、主要参考书

1、使用教材：

(1) 《道路建筑材料》 严家及主编 人民交通出版社

2、主要参考书：

(1) 《沥青混合料设计原理与方法》 吕伟民编著 同济大学出版社

(2) 国家及行业相关的规范和材料试验规程

实验教学大纲制订者： 王抒红

审定者： 陈静云

建设工程学部 土木水利实验教学中心 道路实验室

二零一二年四月

# 实验 1-1 沥青动力粘度试验

## (真空减压毛细管法)

### 一 实验目的与适用范围

本方法适用于真空减压毛细管粘度计测定粘稠石油沥青的动力粘度。非经注明，试验温度为 60℃，真空度为 40kPa。

### 二 实验设备(仪器)与材料

2.1 真空减压毛细管粘度计：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 1，型号和尺寸见表 1。

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，其高度需使粘度计置入时，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度差不得大于±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±66.5Pa (300mmHg±0.5mmHg) 的压力，全部装置简要示意如图 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，不应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。

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。

### 三 方法与步骤

#### 3.1 准备工作

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

3.1.2 将真空毛细管粘度计用三氯乙烯等溶剂洗涤干净。如粘度计粘有油污，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。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℃±0.1℃范围之内，温度计应预先校验。

3.1.5 将选用的真空毛细管粘度计和试样置烘箱（135℃±5℃）中加热 30min。

#### 3.2 试验步骤

3.2.1 将加热的粘度计置一个容器中，然后将热沥青试样自装料管 A 注入毛细管粘度

计，试样应不致粘在管壁上，并使试样液面在 E 标线处 $\pm 2\text{mm}$ 之内。

3.2.2 将装好试样的毛细管粘度计放回电烘箱 ( $135^{\circ}\text{C} \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ ) 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 支毛细管粘度计，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 I 标线在水槽液面以下至少为 20mm。自烘箱中取出粘度计，至装好放入恒温水槽的操作时间应控制在 5min 之内。

3.2.4 将真空系统与粘度计连接，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  $40\text{kPa}$  ( $300\text{mmHg} \pm 0.5\text{mmHg}$ )。

3.2.6 粘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 60s 的标线符号及间隔时间。

3.2.7 按此方法对另两支粘度计作平行试验。

### 3.3 试验结束

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  $123^{\circ}\text{C}$  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。

## 四 结果整理

### 4.1 计算

沥青试样的动力粘度按式 (1) 计算。

$$\eta = K \times t \quad (1)$$

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

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

$t$ ——通过第一对超过 60s 标线的时间间隔，s。

### 4.2 精密度或允许差

重复性试验的允许差为平均值的 7%；复现性试验的允许差为平均值的 10%。

## 五 试验记录

一次试验的 3 支粘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 支粘度计测定结果的平均值作为沥青动力粘度的测定值。

## 条文说明

1. 沥青的动力粘度（也称为绝对粘度或简称为粘度）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℃粘度作为道路石油沥青的分级标准。粘度单位采用国家标准用帕秒（Pa·s，1 泊=0.1Pa·s）表示。

沥青的试验温度按照国际上通行的温度一般为 60℃。但仪器本身也可测定其它温度的粘度。

2. 真空减压毛细管的型式很多，ASTM D 2171 及 AASHTOT 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粘度较小，可用 50 号毛细管，有些稠油沥青粘度较大的可用 200 号毛细管。在 ASTM D 2171 及 AASHTOT 202 中，还列有 400R，800R 两种毛细管型号，是适用于崖面防水沥青的，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粘稠的情况。

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 061 9 相同，放宽到±0.1℃，宜采用 0.03℃，以利于国产设备的推广应用。

3. 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。

毛细管粘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℃，若时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粘度计的步骤，考虑到此项试验后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。

## 六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析。

## 七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结



# 实验 1-2 沥青恩格拉粘度试验

## (恩格拉粘度计法)

### 一 实验目的与适用范围

本方法采用恩格拉粘度计测定乳化沥青及煤沥青的恩格拉粘度，用恩格拉度 ( $E_v$ ) 表示。非经注明，测定温度为 25℃。

### 二 实验设备(仪器)与材料

2.1 恩格拉粘度计：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 1。

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 2 及表 1。

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。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。

### 三 方法与步骤

#### 3.1 准备工作

3.1.1 将粘度计的内容器、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 将粘度计置于三脚架上，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℃±5℃）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 测定粘度计的水值 ( $t_w$ )，采用下列两种方法之一测定：

1) 直接测定蒸馏水在 25℃时从粘度计流出 50mL 所需的时间 (s)，作为水值。

2) 测定蒸馏水在 20℃时从粘度计流出 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℃）注入粘度计的内容器中，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粘度计的外容器中，直至浸到内容器的扩大部分为止。

② 旋转三脚架的螺钉，调整粘度计的位置，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）的接受瓶置于粘度计的流出管下方。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℃（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小于 0.5s，则取两次平行测定结果的平均值以符号 K<sub>20</sub> 表示，然后换算成与沥青试样试验相同条件的水值。由 20℃，200mL 水的流出时间换算成 25℃，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：粘度计的水值每 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。盖好粘度计盖，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 0.2s。

## 四 结果整理

### 4.1 计算

试样的恩格拉粘度按式（1）计算。

$$E_v = \frac{t_T}{t_w} \quad (1)$$

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；

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

$$t_w = K_{20} \times F = K_{20} \times 0.224$$

### 4.2 精密度或允许差

4.2.1 重复性试验的允许差为平均值的 4%。

4.2.2 复现性试验的允许差为平均值的 6%。

## 五 试验记录

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。

## 条文说明

1. 沥青的恩格拉粘度是试样在规定温度下，由恩格拉粘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 ( $E_v$ ) 表示。恩格拉 (Angler) 粘度计是国际上通用液体沥青及乳化沥青材料粘度测定方法的一种。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 D490)。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粘度并列作为划分乳化沥青标号的标准。本试验法是参照 ASTM D1665 及日本道路协会铺装试验法便览 3-6-1 制定的。

### 2. 仪器：

恩格拉粘度计：在我国已行为行标 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。

3. 测定粘度计的水值，ASTM 规定采用 200mL 接受瓶在 20℃ 时测定，但恩格拉粘度计一般在 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。

4. 精密度按照 ASTM 中规定。

## 六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析。

## 七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

# 实验 1-3 沥青布氏旋转粘度试验

## (布洛克菲尔德粘度计法)

### 一 实验目的与适用范围

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

1.2 由本方法测定的不同温度的粘度曲线,用于确定各种沥青混合料的施工温度。

### 二 实验设备(仪器)与材料

2.1 布洛克菲尔德粘度计,如图 1 所示,它由下列部分组成:

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

2.1.2 不同型号的转子。

2.1.3 自动温度控温系统,包括恒温控制器、盛样筒、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。

### 三 方法与步骤

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,对改性沥青尤应注意去除气泡。

3.2 仪器在安装时必须调平,使用前应检查仪器的水准器气泡是否对中。开启粘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 根据估计的沥青粘度,按仪器说明书规定的不同型号的转子所适用的速率和粘度范围,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粘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粘度计上,降低粘度计,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 型粘度计可采用 20r/min,对 LV 型粘度计可采用 12r/min,在 60℃测定可选用 0.5r/min 等。开动布洛克菲尔德粘度计,观察读数,扭矩读数应在 10%~98%范围内。在整个测量粘度过程中,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 待读数稍事稳定后,在每个试验温度下,每隔 60s 读数一次,连续读数 3 次。

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 利用布洛克菲尔德粘度计测定的不同温度的表观粘度,通常以 60℃、135℃及 175℃测定的表观粘度为准,绘制粘温曲线。

#### 四 结果整理

4.1 当布洛克菲尔德粘度计的显示面板上具有直接显示粘度、扭矩、剪切应力、剪变率、转速和试验温度等项目的功能时,可直接根据需要记录数据,并以 3 次读数的平均值作为测定值。

4.2 当粘度计不能直接显示读数装置,可按仪器厂家提供的仪器常数进行计算,或按式(1)计算沥青在该测定温度条件下的表观粘度。

$$\eta_a = k_n \times \theta \quad (1)$$

式中:  $\eta_a$ —沥青在测定温度条件下的表观粘度,;

$k_n$ —布洛克菲尔德仪器常数,由厂家按型号提供;

$\theta$ —3 次粘度计读数的平均值。

4.3 将在不同温度条件下测定的粘度,绘于图 2 所示的粘温曲线中,确定沥青混合料的施工温度。当使用石油沥青时,宜以粘度为(0.17±0.02) Pa·s 时的温度作为拌和温度范围;以(0.28±0.03) Pa·s 时的温度作为压实成型温度范围。

#### 4.4 精密度或允许差

重复性试验的允许差为平均值的 3.5%;复现性试验的允许差为平均值的 14.5%。

#### 五 试验记录

5.1 报告试验温度、转子的型号和速度。

5.2 绘制粘温曲线,给出推荐的拌和及压实施工温度范围。

#### 条文说明

1. 测定沥青从较低温度到较高温度范围内的粘度,通常需要不同类型的粘度计,本规程也已分别作了规定。例如,为 60℃粘度分级用动力粘度世界上基本上都统一采用真空减压毛细管粘度计测定(本规程 T 0620),近年来由于改性沥青的粘度增大,需要采用较粗的粘度管测定;对确定施工温度而测定 135℃或更高温度的运动粘度通常采用 T 0619 的逆流式毛细管方法、T 0623 的赛波特粘度计法;对其它如乳化沥青和煤沥青采用 T 0622 的恩格拉粘度计法、T 0621 的标准粘度计法等等。

与逆流式毛细管粘度计相当的还有一种旋转粘度计法,曾有过多种型式。日本长期来按照 JIS K 7117《液态树脂旋转粘度计试验方法》采用 B 型粘度计作为施工现场测定沥青施工温度的粘度的仪器,但因为对其侧试精密度有非议,一直未订为道路部门的标准试验方法,近年来正在进行研究。自从美国 SHRP 战略公路研究计划推出采用布洛克菲尔德(Brookfield)粘度计方法(ASTM D 4402)测定施工温度的粘度后,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 135℃粘度不得超过 3Pa·s 的技术要求,以控制改性沥青的施工性能。我国《公路改性沥青路面施工技术规范》(JTJ 036- 98)也已将此指标收入了改性沥青的技术要求,为此本规程参照美国 AASHTO 建议标准 TP48 制定了本方法。

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,即表观粘度。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。粘度是流体抗流动的量度,粘度的国际单位制单位是帕斯卡秒(Pa·s),1Pa·s 相当于 10 泊,1 厘泊(cP)是 1 毫帕斯卡秒(mPa·s),常用做粘度单位,1 Pa·s = 1000mPa·s。

Brook field 粘度计用于测量沥青的高温粘度。将少量沥青样品盛于恒温控制的盛样筒中,一个转子在沥青试样中转动,测定相应的转动阻力所反映出来的扭矩。扭矩计读数乘以仪器参数即可得到以 mPa·s 表示的沥青粘度。

本方法可用于测量沥青在使用温度时的表观粘度。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粘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粘度值,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粘度值之间的比较,应采用同类型粘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 2 由粘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会太高,所以此法是否适合于改性沥青国内外都有不同意见。

2. 使用者在使用布洛克菲尔德粘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。

3. 关于计算,因为进口布洛克菲尔德粘度计的显示面板上一般都有直接显示粘度、扭矩、剪切速率、剪切应力、转速和试验温度的功能,这种情况无须进行计算,可直接纪录。若还有其它无直接读数装置的粘度计,宜要求按生产厂家的说明书进行计算。式(1)给出了一般的计算公式。

4. 本方法判断试验结果精密度和允许差的可接受性的置信度为 95%。

## 六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理,数据计算,及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果,对所进行的实验研究问题进行分析。

## 七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

# 实验 1-4 沥青粘韧性试验

## 一 实验目的与适用范围

本方法适用于测定沥青的粘韧性，以评价沥青掺加改性剂后的改性效果。非经注明，试验温度为 25℃，拉伸速度为 500mm/min。

## 二 实验设备(仪器)与材料

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

2.1.1 拉伸半球圆头：半径 11.1mm，表面粗糙度应达 Ra 3.2 μm，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  $25\text{℃} \pm 0.1\text{℃}$ ，内有多孔的安放试样器的架子。

2.3 温度计： $0\text{℃} \sim 50\text{℃}$ ，分度为 0.1℃。

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，试验机备有固定粘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。

## 三 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℃~80℃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 将安装好的粘韧性试验器连同试样一起置入温度为  $25\text{℃} \pm 0.1\text{℃}$  的恒温水槽中的架子上保温 1h~1.5h。

### 3.2 试验步骤

3.2.1 将粘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 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 1000mm/min。

3.2.3 粘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。

#### 四 结果整理

4.1 在图 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(1)及(2)求得到曲线面积  $A_1$ ,  $A_2$ 。

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

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

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

$A_2$ —曲线 CDFE 的面积,  $N \cdot m$ ;

$m_0$ —单位面积记录纸质量,  $g/N \cdot m$ ;

$m_1$ —ABCE 部分记录纸质量,  $g$ ;

$m_2$ —CDFE 部分记录纸质量,  $g$ 。

4.3 试样的粘韧性及韧性按式(3)及(4)计算。

$$T_0 = A_1 + A_2 \quad (3)$$

$$T_e = A_2 \quad (4)$$

式中:  $T_0$ —沥青的粘韧性,  $N \cdot m$ ;

$T_e$ —沥青的韧性,  $N \cdot m$ 。

#### 五 试验记录

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 1 位小数。

#### 条文说明

1. 现在国内外研究应用改性沥青的工作已广泛展开。众多的研究表明,沥青的改性效果仅用常规指标很难说明问题,而沥青粘韧性试验的结果则是评价橡胶改性沥青效果的一种比较好的方法,并已列入《公路改性沥青路面施工技术规范》(J TJ 036—98)。

沥青粘韧性试验最早由 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粘韧性指标。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

为粘结力，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粘韧性(toughness)及韧性(tenacity)，较为贴切。本试验法完全按照 ASTM D5801 — 95 及日本道路协会铺装试验法便览 3-5-17 编写。

2. 由于现在测试仪器设备发展很快，当试验室具备万能试验机，且具有自记功能，可以采用这类设备将粘韧性试验的应力~应变曲线全部记录下来，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。

## 六. 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析。

## 七. 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

# 实验 2-1 粗、细集料的筛析试验

## 2.1.1 粗集料的筛析试验

### (一) 实验目的

测定碎石或卵石的颗粒级配粗细程度,并为沥青混合料组成设计提供必要的原始数据具

### (二) 实验设备(仪器)

- (1) 试验筛: 根据需要选用规定的标准筛。
- (2) 天平或台秤: 感量不大于试样质量的 0.1%。
- (3) 其它: 盘子、铲子、毛刷等。

### (三) 试验方法

将来料用四分法缩分至表 3-5 要求的试样所需量,风干后备用。每种试样准备两份,分别供水洗法和干筛法筛分使用。对于水泥混凝土用粗集料,如果没有要求,也可不进行水洗,只进行干筛筛分。根据需要可按要求的最大粒径的筛孔尺寸过筛,除去超粒径部分颗粒后,再进行筛分。

#### 1.用水洗法测定集料中小于 0.075mm 的细粉部分质量。

- (1) 取一份试样,将试样置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重,称取干燥试样的总质量 ( $m_1$ ),准确至 0.1%。
- (2) 将试样置一洁净容器中,加入足够数量的洁净水,将集料全部盖没。

粗集料筛分析试验所需试样的最少质量

公称最大粒径 (mm)	方孔筛	75	63	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75
	圆孔筛	80	63	40	31.5	25	20	16	10	5
试样质量不少于 (kg)		10	8	5	4	2.5	2	1	1	0.5

- (3) 用搅棒充分搅动集料,使集料表面洗涤干净,使细粉悬浮于水中,但不得破碎集料或有集料从水中溅出。
- (4) 根据集料粒径大小选择组成一组套筛,其底部为 0.075mm 标准套筛,上部为 2.36mm 或 4.75mm 筛。仔细将容器中混有细粉的悬浮液倒出,经过套筛流入另一容器中,尽量不致将粗集料倒出,损坏标准筛筛面。
- (5) 重复以上步骤,直至倒出的水洁净为止。
- (6) 将套筛的每个筛子上的集料和容器中的集料全部回收在一个搪瓷盘中,容器上不得有沾附的集料颗粒,将搪瓷盘连同集料一起置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重,称取干燥试样的总质量 ( $m_2$ ),准确至 0.1%。

#### 2.用干筛法测定粗集料各个粒级质量百分率。

- (1) 取另一份试样置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重,称取干燥试样的总质量 ( $m_0$ ),准确至 0.1%。
- (2) 用搪瓷盘作筛分容器,按筛孔大小排列顺序逐个将集料过筛,人工筛分时,需使集料

在筛面上同时有水平方向及上下方向的不停顿运动,使小于筛孔的集料通过筛孔,直至 1min 内通过筛孔的质量小于筛上残余量的 1% 为止。采用摇筛机筛分后,应该逐个由人工补筛。将筛出通过的颗粒并入下一号筛,和下一号筛中的试样一起过筛,顺序进行,直至各号筛全部筛完为止。以确认 1min 内通过筛孔的质量确实小于筛上残余量的 1% 为止。

(3) 如果某个筛上的集料过多,影响筛分作业时,可以分两次筛分。当筛余颗粒的粒径大于 20mm 时,筛分过程中允许用手指轻轻拨动颗粒,但不得逐颗塞过筛孔。

(4) 称取每个筛上的筛余量,准确至总质量的 0.1%。各筛分计筛余质量及筛底存量的总和与筛分前试样的总质量相比,其相差不超过 0.5%。

#### (四) 结果整理

(1) 集料中通过 0.075mm 的含量按式 4-1 计算,准确至 0.1%。

$$P_{0.075} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (4-1)$$

式中:  $P_{0.075}$ ——集料中小于 0.075mm 的含量(通过率), %;

$m_1$ ——用于水洗的干燥集料的总质量, g;

$m_2$ ——集料水洗后的干燥质量, g。

(2) 分计筛余百分率

各号筛上的分计筛余百分率按式 4-2 计算,但 0.075mm 筛不计算分计筛余,准确至 0.1%。

$$P_i = \frac{m_i}{m_0} \times \frac{100 - P_{0.075}}{100} \quad (4-2)$$

式中:  $P_i$ ——各号筛上的分计筛余百分率, %;

$m_0$ ——用于干筛的干燥集料总质量, g;

$m_i$ ——各号筛上的分计筛余, g;

$i$ ——依次为 0.15mm、0.3mm、0.6mm……至集料最大粒径。

(3) 累计筛余百分率

各号筛的累计筛余百分率为该号筛及大于该号筛的各号筛的分计筛余百分率之和,但 0.075mm 筛不计算累计筛余,准确至 0.1%。

(4) 各号筛的质量通过百分率

各号筛的质量通过百分率等于 100 减去该号筛累计筛余百分率,但 0.075mm 筛的质量通过百分率即为,准确至 0.1%。

(5) 根据需要,绘制集料筛分曲线。

### (五) 试验记录

粗集料筛分试验记录表

筛孔尺寸 (mm)	各筛筛余质 量 (g)	分级筛余 (%)	累计筛余 (%)	通过质量 (%)	规程	备注

试验者\_\_\_\_\_ 计算者\_\_\_\_\_ 校核者\_\_\_\_\_ 试验日期\_\_\_\_\_

### (六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

### (七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

## 2.1.2 细集料的筛析试验

### (一) 实验目的

测定细集料（天然砂，人工砂，石屑）的颗粒级配及粗细程度，并为沥青混合料组成设计提供必要的的数据。

### (二) 实验设备(仪器)

- 1.标准筛：对水泥混凝土用砂孔径为 10mm、5mm、2.5mm 的圆孔筛和孔径 1.25mm、0.63mm、0.315mm、0.16mm 的方孔筛；对沥青路面用砂孔径为 4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 的方孔筛。
- 2.天平：称量 1000g，感量不大于 0.5g。
- 3.摇筛机。
- 4.烘箱：能控温在  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.其它：浅盘和硬、软毛刷等。

### (三) 试验方法

将来样通过 10mm（圆孔筛）和 9.5mm（方孔筛）筛，并算出其筛余百分率。然后在潮湿状态下充分拌匀，用四分法缩分至每份不少于 550g 的试样两份，在  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重，冷却至室温后备用。

#### 1.水泥混凝土用砂，按下列步骤筛分。

(1) 准确称取烘干试样约 550g ( $m_1$ )，准确至 0.5g。置于套筛的最上一只筛，即 5mm 筛上，将套筛装入摇筛机，摇筛约 10min，然后取出套筛，在按筛孔大小顺序，从最大的筛号开始，在清洁的浅盘上逐个进行手筛，直到每分钟的筛出量不超过筛上剩余量的 1% 为止，将筛出通过的颗粒并入下一号筛，和下一号筛中的试样一起过筛，这样顺序进行，直到各号筛全部筛完为止。

(2) 称量各筛筛余试样的质量，精确至 0.5g。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总量与筛分前的试样总量相比，其相差不超过 1%。

#### 2.沥青路面用细集料，按下列步骤筛分。

(1) 准确称取烘干试样约 500g ( $m_1$ )，准确至 0.5g。

(2) 将试样置一洁净容器中，加入足够数量的洁净水，将集料全部盖没。

(3) 用搅棒充分搅动集料，使集料表面洗涤干净，使细粉悬浮于水中，但不得有集料从水中溅出。

(4) 用 1.18mm 筛和 0.075mm 筛组成套筛。仔细将容器中混有细粉的悬浮液徐徐倒出，经过套筛流入另一容器中，但不得将集料倒出。

(5) 重复以上步骤，直至倒出的水洁净为止。

(6) 将容器中的集料倒入搪瓷盘中，用少量水冲洗，使容器上粘附的集料颗粒全部进入搪瓷盘中。将筛子反扣过来，用少量水将筛上的集料冲洗入搪瓷盘中。操作过程中不得有集料散失。

(7) 将搪瓷盘连同集料一起置于  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重，称取干燥试样的总质量

( $m_2$ ), 准确至 0.1%。与之差即为通过 0.075mm 部分。

(8) 将全部要求筛孔组成套筛(但不需 0.075mm 筛), 将已经洗去小于 0.075mm 部分的干燥集料置于套筛上(一般为 4.75mm 筛), 将套筛装入摇筛机, 摇筛约十分钟, 然后去出套筛, 再按筛孔大小顺序, 从最大的筛号开始, 在清洁的浅盘上逐个进行手筛, 直到每分钟的筛出量不超过筛上剩余量的 1% 为止, 将筛出通过的颗粒并入下一号筛, 和下一号筛中的试样一起过筛, 这样顺序进行, 直到各号筛全部筛完为止。

(9) 称量各筛筛余试样的质量, 精确至 0.5g。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总质量与筛分前的试样总量 相比, 其相差不得超过 1%。

#### (四) 结果整理

##### (1) 分计筛余百分率

各号筛的分计筛余百分率为各号筛上的筛余量除以试样总量 ( $m_1$ ) 的百分率, 准确至 0.1%。对沥青路面细集料而言, 0.15mm 筛下部分即为 0.075mm 分计筛余, 由 (7) 所测得的与之差即为小于 0.075mm 的筛底部分。

##### (2) 累计筛余百分率

各号筛的累计筛余百分率为该号筛及大于该号筛的各号筛的分计筛余百分率之和, 准确至 0.1%。

##### (3) 质量通过百分率

各号筛的质量通过百分率等于 100 减去该号筛累计筛余百分率, 准确至 0.1%。

(4) 根据各筛的累计筛余百分率或通过百分率, 绘制级配曲线。

(5) 对水泥混凝土用砂, 按式 (4-3) 计算细度模数, 准确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{2.5} + A_{1.25} + A_{0.63} + A_{0.315} + A_{0.16}) - 5A_5}{100 - 5A_5} \quad (4-3)$$

式中:  $M_x$ ——砂的细度模数;

$A_{0.16}, A_{0.315}, \dots, 5A_5$ ——分别为 0.16mm、0.315mm、……、5mm 各筛上的累计筛余百分率。(%)

(6) 对沥青路面及各种路面的基层、底基层用砂, 按式 (4-4) 计算细度模数, 准确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} \quad (4-4)$$

式中:  $M_x$ ——砂的细度模数;

$A_{0.15}, A_{0.3}, \dots, A_{4.75}$ ——分别为 0.15mm、0.3mm、……、4.75mm 各筛上的累计筛余百分率。(%)

(7) 筛分试验应进行两次平行试验, 以其试验结果的算术平均值作为测定值。如两次试验所得的细度模数之差大于 0.20 时, 应重新进行试验。

### (五) 试验记录

细集料筛分试验记录表

试样质量 (g)	筛孔尺寸 (mm)	各筛筛余质量 (g)			分级筛余 $a_i$ (%)	累计筛余 $A_i$ (%)	通过质量百 分率 $P_i$ (%)
		(3)	(4)	(5) 平均	(6)=(5)/(1)	(7)	(8)

细度模数  $M_x =$  \_\_\_\_\_

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 校核者 \_\_\_\_\_ 试验日期 \_\_\_\_\_

### (六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

### (七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结



## 2.1.3. 矿粉的筛分试验

### (一) 实验目的

测定矿粉的颗粒级配，并为沥青混合料组成设计提供必要的参数。

### (二) 实验设备(仪器)

1. 标准筛：孔径为 0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm。
2. 天平：感量不大于 0.1g。
3. 搪瓷盘。
4. 烘箱：能控温在  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
5. 橡皮头研杵。

### (三) 试验方法

1. 将矿粉试样放入  $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重，冷却，称取 100g，准确至 0.1g。如有矿粉团粒存在，可用橡皮头研杵轻轻研磨粉碎。

2. 将 0.075mm 筛装在筛底上，仔细倒入矿粉，盖上筛盖。手工轻轻筛分，至大体上筛不下去为止。存留在筛底上的小于 0.075mm 的部分可弃去。

3. 除去筛盖和筛底，按筛孔大小顺序套成套筛。将存留在 0.075mm 筛上的矿粉倒回 0.6mm 筛上，在自来水龙头下方接一胶管，打开自来水，用胶管的水轻轻冲洗矿粉过筛，0.075mm 筛下部分任其流失，直至流出的水色清澈为止。水洗过程中，可以适当用手扰动试样，加速矿粉过筛，待上层冲洗干净后，取去 0.6mm 筛，接着从 0.3mm 筛或 0.15mm 筛上冲洗，但不得直接冲洗 0.075mm 筛。

4. 分别将各筛上的筛余反过来用小水流仔细冲洗入各个搪瓷盘中，待筛余沉淀后，稍稍倾斜，仔细除去清水，放入  $105^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重。称取各号筛上的筛余量，准确至 0.1%。

### (四) 结果整理

各号筛上的筛余量除以试样总量的百分率，即为各号筛的分计筛余百分率，准确至 0.1%。用 100 减去 0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 各筛的分计筛余百分率，即为通过 0.075mm 筛的通过百分率，加上 0.075mm 的分计筛余百分率即为 0.15mm 筛的通过百分率，以次类推，计算出各号筛的通过百分率，准确至 0.1%。

以两次平行试验结果的平均值作为试验结果。各号筛的通过百分率相差不得大于 2%。

## 实验 2-2 沥青混合料组成设计

**[题目]** 试设计一级公路沥青路面面层用细粒式沥青混凝土混合料配合组成。

### **[原始资料]**

1. 道路等级：一级公路。
2. 路面类型：沥青混凝土。
3. 结构层位：两层式沥青混凝土的上面层。
4. 气候条件：最低月平均气温为 $-12^{\circ}\text{C}$ 。
5. 材料性能：
  - (1) 沥青材料：可供应重交通沥青，AH-90、AH-110 经检验三大指标分别为针入度（实测），延度（实测），软化点（实测）。其它指标符合技术要求。
  - (2) 粗集料：石灰石轧制碎石，饱水抗压强度（实测），洛杉矶磨耗率（实测），粘附性视密度  $2.70\text{g} / \text{m}^3$ 。
  - (3) 细集料：洁净河砂，粗度属中砂，含泥量小于 1%，视密度  $2.65\text{g} / \text{m}^3$ 。
  - (4) 矿粉：石灰石粉，粒度范围符合要求，无团粒结块，视密度  $2.58\text{g} / \text{m}^3$ 。

### **[设计要求]**

1. 根据道路等级，路面类型和结构层次确定沥青混凝土的类型和矿质混合料的级配范围。根据现有各种矿质材料的筛析结果，用图解法确定各种矿质材料的配合比。
2. 根据规范推荐的相应沥青混凝土类型的沥青用量范围，通过马歇尔试验的物理力学指标，确定沥青最佳用量。
3. 马歇尔试验结果
4. 根据一级公路路面用沥青混合料要求，对矿质混合料的级配进行调整，并对沥青最佳用量按水稳性检验和抗车辙能力校核。

## 2.2.1 沥青混合料试件的制备

### (一) 实验目的

本方法规定了用标准击实法或大型击实法制作沥青混合料试样的方法,以供试验室进行沥青混合料物理力学性质试验使用。根据沥青混合料的力学指标(稳定性和流值)以及物理指标和饱和度,可以确定沥青混合料的配合组成(即沥青最佳用量)。

### (二) 实验设备(仪器)

1. 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。用人工或机械将压实锤举起从  $453.2\text{mm}\pm 1.5\text{mm}$  高度沿导向棒自由落下击实,标准击实锤重量  $4536\text{g}\pm 9\text{g}$ 。

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(直径  $15.9\text{mm}$ )组成。用机械将压实锤举起从  $453.2\text{mm}\pm 2.5\text{mm}$  高度沿导向棒自由落下击实,大型击实锤重量  $10210\text{g}\pm 10\text{g}$ 。

2. 标准击实台:用以固定试模,在  $200\text{mm}\times 200\text{mm}\times 457\text{mm}$  的硬木墩上面有一块  $305\text{mm}\times 305\text{mm}\times 25\text{mm}$  的钢板,木墩用 4 根型钢固定在下面的水泥混凝土板上。木墩采用青冈杆、松或其它干密度为  $0.67\sim 0.77\text{g}/\text{cm}^3$  的硬木制成。人工击实或机械击实必须有此标准击实台。

自动击实仪是将标准击实锤及标准击实台安装一体,并用电力驱动使击实锤连续击实试件且可自动记数的设备,击实速度为  $60\text{次}/\text{min}\pm 5\text{次}/\text{min}$ 。大型击实法电动击实的功率不小于  $250\text{W}$ 。

3. 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,容量不少于  $10\text{L}$ ,搅拌叶自转速度  $70\text{r}/\text{min}\sim 80\text{r}/\text{min}$ ,公转速度  $40\text{r}/\text{min}\sim 50\text{r}/\text{min}$ 。

4. 脱模器:电动或手动,可无破损地推出圆柱体试件,备有标准圆柱体试件及大型圆柱体试件尺寸的推出环。

5. 试模:由高碳钢或工具钢制成,每组包括内径  $101.6\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ ,高约  $87\text{mm}$  的圆柱形金属筒、底座(直径约  $120.6\text{mm}$ )和套筒(内径  $101.6\text{mm}$ ,高约  $70\text{mm}$ )各 1 个。大型圆柱体试件的试模与套筒。套筒外径  $165.1\text{mm}$ ,内径  $155.6\text{mm}\pm 0.3\text{mm}$ ,总高  $83\text{mm}$ 。试模内径  $152.4\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ ,总高  $115\text{mm}$ ,底座板厚  $12.7\text{mm}$ ,直径  $172\text{mm}$ 。

6. 烘箱:大、中型各一台,装有温度调节器。

7. 天平或电子秤:用于称量矿料的感量不大于  $0.5\text{g}$ ;用于称量沥青的感量不大于  $0.1\text{g}$ 。

8. 沥青运动粘度测定设备:毛细管粘度计或赛波特重油粘度计。

9. 插刀或大螺丝刀。

10. 温度计:分度为  $1^\circ\text{C}$ ,量程  $0\sim 300^\circ\text{C}$ 。

11. 其它:电炉或煤气炉、沥青熔化锅、拌和铲、试验筛、滤纸(或普通纸)、胶布、卡尺、秒表、粉笔、棉纱等。

### (三) 试验方法

#### 1. 准备工作

(1) 确定制作沥青混合料试件的拌和与压实温度。

1) 用毛细管粘度计测定沥青的粘度,绘制粘温曲线,当使用石油沥青时,以运动粘度为  $170\pm 20\text{mm}^2/\text{s}$  时的温度为拌和温度;以  $280\pm 30\text{mm}^2/\text{s}$  时的温度为压实温度。亦可用赛氏粘度计测定赛波特粘度,以  $85\text{s}\pm 10\text{s}$  时的温度为拌和温度;以  $140\text{s}\pm 15\text{s}$  时的温度为压实温度。

2) 当缺乏运动粘度测定条件时, 试件的拌和与压实温度可按表 6-1 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。

试件的拌和与压实温度

沥青种类	拌合温度 (°C)	压实温度 (°C)	沥青种类	拌合温度 (°C)	压实温度 (°C)
石油沥青	130~160	110~130	煤沥青	90~120	80~110

3) 常温沥青混合料的拌和及压实在常温下进行。

(2) 将各种规格的矿料置 105°C±5°C 的烘箱中烘干至恒重 (一般不少于 4~6h)。根据需要, 粗集料可先用水冲洗干净后烘干。也可将粗细集料过筛后, 用水冲洗再烘干备用。

(3) 按规定试验方法分别测定不同粒径粗、细集料规格及填料 (矿粉) 的各种密度, 并测定沥青的密度。

(4) 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, 矿粉单独加热, 置烘箱中预热至沥青拌和温度以上约 15°C (石油沥青通常为 163°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。当采用替代法时, 对粗集料中粒径大于 26.5mm 的部分, 以 13.2mm~26.5mm 粗集料等量代替。常温沥青混料的矿料不应加热。

(5) 将沥青试样, 用电热套或恒温烘箱熔化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。

(6) 用沾有少许黄油的棉纱擦净试模、套筒及击实座等置 100°C 左右烘箱中加热 1h 备用。常温沥青混合料的试模不加热。

## 2. 混合料拌制

(1) 将沥青混合料拌和机预热至拌和温度以上 10°C 备用。

(2) 将每个试件预热的粗细集料置于拌和机中, 用小铲适当混合, 然后再加入需要数量的已加热至拌和温度的沥青, 开动拌和机一边搅拌, 一边将拌和叶片插入混合料中拌和 1min~1.5min, 然后暂停拌和, 加入单独加热的矿粉, 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 3min。

## 3. 试件成型

(1) 将拌好的沥青混和料, 均匀称取一个试件所需的用量 (标准试件约 1200g, 大型试件约 4050g)。当一次拌和几个试件时, 宜将其倒入经预热的金属盘中, 用小铲拌和均匀分成几份, 分别取用。试件制作过程中, 为防止混合料温度下降, 应连盘放入烘箱中保温。

(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试套筒、底座及击实锤底面, 将试模装在底座上 (也可垫一张圆形的吸油性小的纸), 按四分法从四个方向用小铲将混合料铲入试模中, 用插刀沿周边插捣 15 次, 中间 10 次。插捣后将沥青混合料表面整平成凸圆弧面。对大型马歇尔试件, 混合料分两次加入, 每次插捣次数同上。

(3) 插入温度计, 至混合料中心附近, 检查混合料温度。

(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 (也可在装好的混合料上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插入试模中, 然后开启电动机 (或人工) 将击实锤从 457mm 的高度自由落下击实规定的次数 (75 次、50 次或 35 次)。对大型马歇尔试件, 击实次数为 75 次 (相应于标准击实 50 次的情况) 或 112 次 (相应于标准击实 75 次的情况)。

(5) 试件击实一面后, 取下套筒, 将试模掉头, 装上套筒, 然后以同样的方式和次数击实另一面。

(6) 试件击实结束后，如上下面垫有圆纸，应立即用镊子取掉；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 3-5 调整试件的混合料数量，使高度符合  $63.5\text{mm}\pm 1.3\text{mm}$ （标准试件）或  $95.3\text{mm}\pm 2.5\text{mm}$ （大型试件）的要求。

$$\text{调整后沥青混合料质量} = \frac{\text{要求试件高度} \times \text{原用混合料质量}}{\text{所得试件的高度}}$$

(7) 卸去套筒的底座，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。将试件仔细置于干燥洁净的平面上，供试验用。

#### **(四) 试件制备的心得和体会**

对所进行的实验研究问题进行分析，试件制备受什么因素影响。

## 2.2.2 沥青混合料物理指标测定

### (一) 实验目的

测定沥青混合料的表观密度，并按组成材料原始数据计算其空隙率，沥青体积百分率，矿料间隙率和沥青饱和度等物理指标，结合稳定度、流值，根据沥青混合料技术标准确定沥青最使用量。

### (二) 实验仪器

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. 网篮。
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。试验时的水温应在 15~25℃ 范围内，并与测定集料密度时的水温相同。
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。
5. 秒表、电扇或烘箱。

### (三) 试验方法

1. 选择适宜的浸水天平（或电子秤），最大称量应不小于试件质量的 1.25 倍，且不大于试件质量的 5 倍。
2. 除去试件表面的浮粒，称取干燥试件在空气中的质量 ( $m_a$ ) 根据选择的天平的感量读数，准确至 0.1g、0.5g 或 5g。
3. 挂上网篮浸入溢流水箱的水中，调节水位，将天平调平或复零，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 ( $m_w$ )。
4. 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( $m_f$ )。
5. 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℃±5℃ 的烘箱烘干至恒重），再称取在空气中的质量 ( $m_a$ )。

### (四) 结果整理

#### 计算物理常数

##### 1. 表观密度

密实的沥青混合料试件的表观密度，按式 2.2.2-1 计算，取 3 位小数。

$$\rho_s = \frac{m_a}{m_a - m_w} \times \rho_w \quad (2.2.2-1)$$

式中： $\rho_s$ ——试件的表观密度，g/cm<sup>3</sup>；  
 $m_a$ ——干燥试件的空中质量，g；  
 $m_w$ ——试件的水中质量，g；  
 $\rho_w$ ——常温水的密度，取 1g / cm<sup>3</sup>。

## 2. 理论密度

(1) 当试件沥青按油石比计时, 试件的理论密度按式 2.2.2-2 计算, 取 3 位小数。

$$\rho_t = \frac{100 + P_a}{\frac{P_1}{r_1} + \frac{P_2}{r_2} + \dots + \frac{P_n}{r_n} + \frac{P_a}{r_a}} \times \rho_w \quad (2.2.2-2)$$

(2) 当沥青按沥青含量计时, 试件的理论密度按式 2.2.2-2' 计算:

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{P'_1}{r_1} + \frac{P'_2}{r_2} + \dots + \frac{P'_n}{r_n} + \frac{P'_b}{r_a}} \times \rho_w \quad (2.2.2-2')$$

式中:  $\rho_t$ ——理论密度,  $\text{g/cm}^3$ ;

$P_1 \cdots P_n$ ——各种矿料占矿料总质量的百分率, %;

$P'_1 \cdots P'_n$ ——各种矿料占矿料总质量的百分率, %;

$r_1 \cdots r_n$ ——各种矿料对水的相对密度

$P_a$ ——油石比 (沥青与矿料的质量比), %;

$P_b$ ——沥青含量, %;

$r_a$ ——沥青的相对密度 (25/25°C)。

## 3. 空隙率

试件的空隙率按式 2.2.2-3 计算, 取 1 位小数。

$$VV = \left(1 - \frac{r_f}{r_t}\right) \times 100 \quad (2.2.2-3)$$

式中:  $VV$ ——试件的空隙率, %;

$r_t$ ——按式 3-7) 或式 3-7') 计算的理论密度,  $\text{g/cm}^3$ ;

$r_f$ ——实测的沥青混合料最大密度,  $\text{g/cm}^3$ 。

## 4. 沥青体积百分率

试件中沥青的体积百分率按式 2.2.2-4 或式 7-4' 计算, 取 1 位小数。

$$VA = \frac{P_b \times r_t}{r_a} \quad (2.2.2-4)$$

或

$$VA = \frac{100 \times P_a \times r_t}{(100 + P_a) \times r_a} \quad (2.2.2-4')$$

式中:  $VA$ ——沥青混合料试件的体积百分率, %。

## 5. 矿料间隙率

试件的矿料间隙率按式 2.2.2-5 计算, 取 1 位小数。

$$VMA = VA + VV \quad (2.2.2-5)$$

式中:  $VMA$ ——沥青混合料试件的矿料间隙率, %。

## 6. 沥青饱和度

沥青饱和度试件饱和度按式 2.2.2-6 计算，取 1 位小数。

$$VFA = \frac{VA}{VA+VV} \times 100 \quad (2.2.2-6)$$

式中：VFA——沥青混合料试件的沥青饱和度，%。

### (五) 试验记录

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。

### (六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

### (七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结



## 2.2.3 沥青混合料马歇尔稳定度试验

### (一) 实验目的与适用范围

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。

2. 本方法适用于标准马歇尔试件圆柱体和大型马歇尔试件圆柱体。

### (二) 实验设备(仪器)

1. 沥青混合料马歇尔试验仪:符合国家标准《沥青混合料马歇尔试验仪》(GB/T11823)技术要求的产品,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,用计算机或X-Y记录仪记录荷载~位移曲线,并具有自动测定荷载与试件垂直变形的传感器、位移计,能自动显示或打印试验结果。对 $\Phi 63.5\text{mm}$ 的标准马歇尔试件,试验仪最大荷载不小于25kN,读数准确度100N,加载速率应能保持 $54\text{mm}/\text{min}\pm 5\text{mm}/\text{min}$ 。钢球直径16mm,上下压头曲率半径为50.8mm。当采用 $\Phi 152.4\text{mm}$ 大型马歇尔试件时,试验仪最大荷载不得小于50kN,读数准确度为100N。上下压头的曲率内径为 $152.4\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ ,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1所示。

2. 恒温水槽:控温准确度为 $1^{\circ}\text{C}$ ,深度不小于150mm。
3. 真空饱水容器:包括真空泵及真空干燥器。
4. 烘箱。
5. 天平:感量不大于0.1g。
6. 温度计:分度为 $1^{\circ}\text{C}$ 。
7. 卡尺。
8. 其他:棉纱,黄油。

### (三) 方法与步骤

#### 试验准备

1. 按标准击实法成型马歇尔试件,标准马歇尔尺寸应符合直径 $101.6\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ 、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,并符合规定。

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. 按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。

4. 将恒温水槽调节至要求的试验温度,对粘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  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

### 试验步骤

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，离容器底部不小于 5cm。

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，盖上下压头，然后装在加载设备上。

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。

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。调整好计算机程序或将 X-Y 记录仪的记录笔对准原点。

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。

6. 启动加载设备，使试件承受荷载，加载速度为  $50 \pm 5\text{mm}/\text{min}$  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。

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。

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。

### (四) 结果整理

#### 1. 计算

##### 1) 试件的稳定度及流值

(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。

(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。

##### 2) 试件的马歇尔模数按式 (2.2.3-1) 计算。

$$T = \frac{MS}{FL} \quad (2.2.3-1)$$

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)。

##### 3) 试件的浸水残留稳定度按式 (2.2.3-2) 计算。

$$MS_0 = \frac{MS_1}{MS} \times 100 \quad (2.2.3-2)$$

式中：MS<sub>0</sub>—试件的浸水残留稳定度，(%)；

MS<sub>1</sub>—试件浸水 48h 后的稳定度，(kN)。

4) 试件的真空饱水残留稳定度按式(2.2.3-3)计算。

$$MS'_0 = \frac{MS_2}{MS} \times 100 \quad (2.2.3-3)$$

式中:MS'<sub>0</sub>—试件的真空饱水残留稳定度, (%) ;

MS<sub>2</sub>—试件真空饱水后浸水 48h 后的稳定度, (kN)。

## 2. 报告

(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。

(2) 采用自动马歇尔试验时, 试验结果应附上荷载~变形曲线原件或自动打印结果, 并报告马歇尔稳定度、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。

## (五) 试验记录

沥青混合料稳定度试验记录表

试样编号	稳定度 (N)				流值 FL (kN/mm)	马歇尔模数 T (kN/mm)	备注
试件编号	百分表读数 (1/100mm)	折算稳定 度	修正系数 k (kN/100mm)	稳定度 MS (kN)			

试验者\_\_\_\_\_ 计算者\_\_\_\_\_ 校核者\_\_\_\_\_ 试验日期\_\_\_\_\_

## (六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理, 数据计算, 及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果, 对所进行的实验研究问题进行分析

## (七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结

## 2.2.4 沥青混合料车辙试验

### (一) 实验目的与适用范围

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的高温稳定性检验使用。

2. 车辙试验的试验温度与轮压可根据有关规定和需要选用。非经注明,试验温度为 $60^{\circ}\text{C}$ ,轮压为 $0.7\text{MPa}$ 。根据需要,如在寒冷地区也可采用 $45^{\circ}\text{C}$ ,在高温条件下采用 $70^{\circ}\text{C}$ 等,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 $45\text{min}\sim 60\text{min}$ 之间。

3. 本方法适用于用轮碾成型机碾压成型的长 $300\text{mm}$ 、宽 $300\text{mm}$ 、厚 $50\text{mm}$ 的板块状试件,也适用于现场切割制作长 $300\text{mm}$ 、宽 $150\text{mm}$ 、厚 $50\text{mm}$ 板块状试件。根据需要,试件的厚度也可采用 $40\text{mm}$ 。

### (二) 实验设备(仪器)

#### 1. 车辙试验机:

(1) 试件台:可牢固地安装两种宽度( $300\text{mm}$ 及 $150\text{mm}$ )的规定尺寸试件的试模。

(2) 试验轮:橡胶制的实心轮胎,外径 $\Phi 200\text{mm}$ ,轮宽 $50\text{mm}$ ,橡胶层厚 $15\text{mm}$ 。橡胶硬度(国际标准硬度) $20^{\circ}\text{C}$ 时为 $84\pm 4$ , $60^{\circ}\text{C}$ 时为 $78\pm 2$ ,试验轮行走距离为 $230\text{mm}\pm 10\text{mm}$ ,往返碾压速度为 $42\text{次}/\text{min}\pm 1\text{次}/\text{min}$ ( $21\text{次往返}/\text{min}$ )。允许采用曲柄连杆驱动试验台运动(试验轮不移动)或链驱动试验轮运动(试验台不动)的任一种方式。

注:轮胎橡胶硬度应注意检验,不符合要求者应及时更换。

(3) 加载装置:使试验轮与试件的接触压强在 $60^{\circ}\text{C}$ 时为 $0.7\text{MPa}\pm 0.05\text{MPa}$ ,施加的总荷重为 $75\text{kg}$ 左右,根据需要可以调整。

(4) 试模:钢板制成,由底板及侧板组成,试模内侧尺寸长为 $300\text{mm}$ ,宽为 $300\text{mm}$ ,厚为 $50\text{mm}$ (试验室制作),亦可固定 $150\text{mm}$ 宽的现场切制试件。

(5) 变形测量装置:自动检测车辙变形并记录曲线的装置,通常用LVDT、电测百分表或非接触位移计。

(6) 温度检测装置:自动检测并记录试件表面及恒温室内部温度的温度传感器、温度计,精密度 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

2. 恒温室: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,能保持恒温室温度 $60^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (试件内部温度 $60^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ),根据需要亦可为其它需要的温度。用于保温试件并进行试验。温度应能自动连续记录。

3. 台秤:称量 $15\text{kg}$ ,感量不大于 $5\text{g}$ 。

### (三) 方法与步骤

#### 试验准备

1. 试验轮接地压强测定:测定在 $60^{\circ}\text{C}$ 时进行,在试验台上放置一块 $50\text{mm}$ 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 $700\text{N}$ 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。

2. 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,其标准尺寸为 300mm×300mm×50mm。也可从路面切割得到 300mm×150mm×50mm 的试件。

当直接在拌和厂取拌和好的沥青混合料样品制作试件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)后使用。也可直接在现场用手动碾或压路机碾压成型试件,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使用。

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。如经水浸,应用电扇将其吹干,然后再装回原试模中。

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,但室温放置时间也不得长于一周。

注:为使试件与试模紧密接触应记住四边的方向位置不变。

### 试验步骤

1. 将试件连同试模一起,置于已达到试验温度  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  的恒温室中,保温不少于 5h,也不得多于 24h。在试件的试验轮不行走的部位上,粘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  $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

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 2)及试件温度。

注:对 300mm 宽且试验时变形较小的试件,也可对一块试件在两侧 1/3 位置上进行两次试验取平均值。

### (四) 结果整理

#### 1. 计算

(1) 从图 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,在未至 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  $d_1$ 。

(2) 沥青混合料试件的动稳定度按式(2.2.4-1)计算。

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2 \quad (2.2.4-1)$$

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;

$C_1$ ——试验机类型修正系数,曲柄连杆驱动试件的变速行走方式为 1.0,链驱动试验轮的等速方式为 1.5;

$C_2$ ——试件系数，试验室制备的宽 300mm 的试件为 1.0，从路面切割的宽 150mm 的试件为 0.8；

N——试验轮往返碾压速度，通常为 42 次/min。

## 2. 报告

(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小于 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。

(2) 试验报告应注明试验温度、试验轮接地压强、试件密度、空隙率及试件制作方法等。重复性试验动稳定度变异系数的允许差为 20%。

## (五) 试验记录

沥青混合料车辙试验记录表

试验温度		轮压		试件密度	
试件尺寸		制作方法		空隙率	
级配类型					
时间 t1(min)		时间 t1 时的 变形量(mm)		试验机类型 修正系数	
时间 t2(min)		时间 t2 时的 变形量(mm)		试件系数	
试件编号	1	2	3	动稳定度 平均值 (次/mm)	
动稳定度 (次/mm)					

## (六) 实验结果分析

- 1) 对实验原始数据进行汇总整理，数据计算，及测量误差分析
- 2) 通过实验数据结果，对所进行的实验研究问题进行分析

## (七) 实验心得和体会

对实验研究结论进行归纳总结