

ICS 93.080.20;75.140

CCS P 66



# 中华人民共和国交通运输行业标准

JT/T 860.8—2023

## 沥青混合料改性添加剂 第8部分：高模量剂

Modifier for asphalt mixture —  
Part 8: High modulus additive



2023-01-19 发布

2023-04-19 实施

中华人民共和国交通运输部 发布

## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 技术要求 .....	2
5 试验方法 .....	3
6 检验规则 .....	5
7 标志、包装、运输和储存 .....	7
附录A(规范性) 掺加聚烯烃类高模量剂的沥青结合料制备方法 .....	9
附录B(规范性) 掺加高模量剂的沥青混合料技术要求和试验方法 .....	10
附录C(规范性) 高模量剂的灰分含量试验方法 .....	11
附录D(规范性) 高模量剂的含水率试验方法 .....	12
附录E(规范性) 微粒化天然沥青类高模量剂无机物颗粒粒径试验方法 .....	13
附录F(规范性) 沥青旋转黏度试验方法 .....	14
附录G(规范性) 沥青弹性恢复试验方法 .....	15
附录H(规范性) 沥青离析试验方法 .....	16
附录I(规范性) 沥青密度试验方法 .....	17
附录J(规范性) 沥青混合料空隙率试验方法 .....	19
附录K(规范性) 沥青混合料低温弯曲破坏应变试验方法 .....	21
附录L(规范性) 沥青混合料动稳定度试验方法 .....	23
附录M(规范性) 沥青混合料冻融劈裂强度比试验方法 .....	25
附录N(规范性) 沥青混合料动态模量试验方法 .....	27
附录O(规范性) 沥青混合料疲劳失效应变试验方法 .....	29



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 JT/T 860《沥青混合料改性添加剂》的第8部分。JT/T 860 已经发布了以下部分：

- 第1部分：抗车辙剂；
- 第2部分：高黏度添加剂；
- 第3部分：阻燃剂；
- 第4部分：抗剥落剂；
- 第5部分：天然沥青；
- 第6部分：温拌剂；
- 第7部分：废旧轮胎热解炭黑；
- 第8部分：高模量剂。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会(SAC/TC 223)提出并归口。

本文件起草单位：交通运输部公路科学研究所、安徽省交通控股集团有限公司、三明市交通建设集团有限公司、河南省交通基本建设质量检测监督站、中国路桥工程有限责任公司、河南交通投资集团有限公司、新疆交投建设管理有限责任公司、西安众力沥青有限公司、华北水利水电大学、河南省公路工程局集团有限公司、中交二公局第六工程有限公司、山西路桥建设集团有限公司、贵州省公路工程集团有限公司、中铁一局集团有限公司。

本文件主要起草人：严二虎、黄学文、夏承明、聂卫林、周震宇、王方立、郝玮、乐斐、车承志、王凯、李杰、李小重、王随原、张广辉、韩锋、曾赟、张玲、黄琪、蒋勇、王栋、金海兵、周合宽、李青、宋宽彬、郑俞、凌松耀、吴建军、孟楷伟、郝小堂、惠林冲、赵宏。



## 引 言

沥青混合料改性添加剂材料能够显著改善沥青混合料的路用性能或功能性能,如抗车辙剂提高抗高温车辙性能,抗剥落剂提高抗水损害性能,废旧轮胎热解炭黑提高抗老化性能,阻燃剂提供隧道等条件下阻燃功能,温拌剂降低施工温度、改善压实功能。沥青混合料改性添加剂材料应用越来越多,同时呈现产品类型多、更新换代快等特点,制定沥青混合料高模量剂等改性添加剂相关标准非常必要,可以指导相关材料的生产、检验和使用。沥青混合料改性添加剂产品类型很多,且这些产品材料、适用范围、性质、试验方法、检验规则差异性非常大,因此需要分别制定标准,本标准分为以下八个部分:

- 第1部分:抗车辙剂。目的在于规范抗车辙剂相关产品的生产与检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。
- 第2部分:高黏度添加剂。目的在于规范高黏度添加剂相关产品的生产与检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。
- 第3部分:阻燃剂。目的在于规范阻燃剂相关产品的生产与检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。
- 第4部分:抗剥落剂。目的在于规范抗剥落剂相关产品的生产、检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。
- 第5部分:天然沥青。目的在于规范天然沥青相关产品的生产、检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。
- 第6部分:温拌剂。目的在于规范温拌剂相关产品的生产、检验,指导其工程应用,提高公路工程施工质量。
- 第7部分:废旧轮胎热解炭黑。目的在于规范废旧轮胎热解炭黑相关产品的生产、检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。
- 第8部分:高模量剂。目的在于规范高模量剂相关产品的生产、检验,指导其工程应用,提高公路工程沥青路面质量。



# 沥青混合料改性添加剂

## 第 8 部分:高模量剂

### 1 范围

本文件规定了沥青混合料改性添加剂高模量剂的技术要求、试验方法、检验规则,以及标志、包装、运输和储存等要求。

本文件适用于沥青混合料改性添加剂高模量剂的生产、检验和使用。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 267 石油产品闪点与燃点测定法(开口杯法)

GB/T 1033.1 塑料 非泡沫塑料密度的测定 第 1 部分:浸渍法、液体比重瓶法和滴定法

GB/T 1633 热塑性塑料维卡软化温度(VST)的测定

GB/T 3682.1 塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定 第 1 部分:标准方法

GB/T 4507 沥青软化点测定法 环球法

GB/T 4508 沥青延度测定法

GB/T 4509 沥青针入度测定法

GB/T 5304 石油沥青薄膜烘箱试验法

GB/T 17037.4 塑料 热塑性塑料材料注塑试样的制备 第 4 部分:模塑收缩率的测定

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**高模量剂 high modulus additive**

以高分子聚合物为主要成分,经过一定的工艺制备成均匀颗粒状或粉状的改性材料,按一定比例掺加到沥青混合料中,能够显著提高沥青混合料的模量和耐疲劳性能。

注:高模量剂按照材料的化学成分,分为聚烯烃类和微粒化天然沥青类。

#### 3.2

**微粒化天然沥青 micronized natural bituminous**

天然沥青材料经物理研磨等加工得到的平均粒径小于 5 $\mu$ m 的粉状改性材料。



## 4 技术要求

### 4.1 高模量剂

#### 4.1.1 外观

产品应色泽均匀,为颗粒状或粉状,且均匀、无结块。

#### 4.1.2 聚烯烃类高模量剂

聚烯烃类高模量剂性能要求应符合表1的规定。

表1 聚烯烃类高模量剂性能要求

项 目		技术要求
熔体质量流动速率(190℃,21.6N)(g/10min)		≥1.5
灰分含量(%)		≤30
密度(g/cm <sup>3</sup> )		实测
单个颗粒质量(g)		≤0.03
收缩率	纵向(%)	≤1.2
	横向(%)	≤0
维卡软化温度	B <sub>50</sub> 法(℃)	≥35

#### 4.1.3 微粒化天然沥青类高模量剂

微粒化天然沥青类高模量剂性能要求应符合表2的规定。

表2 微粒化天然沥青类高模量剂性能要求

项 目		技术要求
灰分偏差(%)		≤±5
含水率(%)		≤2
无机物粒径(μm)	$D_{av}$	≤5
	$D_{90}$	≤12
<p>注1:灰分偏差是实测灰分含量与目标灰分含量的差值。            注2:<math>D_{av}</math>是指颗粒的平均粒径;<math>D_{90}</math>是指颗粒的90%分位粒径。</p>		

## 4.2 掺加高模量剂的沥青结合料

### 4.2.1 掺加聚烯烃类高模量剂的沥青结合料

按附录A的方法,在最佳掺量(一般为道路石油沥青质量的5%~9%)条件下聚烯烃类高模量剂与实际工程应用的低标号道路石油沥青掺配后的沥青结合料,其性能要求应符合表3的规定。

表3 掺加聚烯烃类高模量剂的沥青结合料性能要求

项 目	技 术 要 求
软化点增加值(℃)	≥10
延度(25℃)(cm)	≥10
表观黏度(135℃)(Pa·s)	≤3.0
注:软化点增加值是石油沥青掺加高模量剂前后的软化点的差值。	

#### 4.2.2 掺加微粒化天然沥青类高模量剂的沥青结合料

掺加微粒化天然沥青类高模量剂的沥青结合料,即微粒化天然沥青成品,其性能要求应符合表4的规定。

表4 掺加微粒化天然沥青类高模量剂的沥青结合料性能要求

项 目	技 术 要 求					
	I		II		III	
年极端最低气温及气候分区	-37.0℃ ~ -21.5℃		-21.5℃ ~ -9.0℃		> -9.0℃	
	冬寒区		冬冷区		冬温区	
	1-2	2-2	3-2	1-3	2-3	1-4 2-4
针入度(100g,5s,25℃)(0.1mm)	25~40		20~35		15~25	
软化点 $T_{R\&B}$ (℃)	≥55		≥60		≥65	
延度(25℃,5cm/min)(cm)	≥35		≥25		≥15	
表观黏度(175℃)(Pa·s)	≤3.0					
闪点(COC)(℃)	≥230					
弹性恢复(25℃)(%)	≥60		≥55		≥50	
离析(软化点差)(℃)	≤2.5					
密度(25℃)(g/cm <sup>3</sup> )	实测					
老化后残留物	质量变化(%)		≤±0.5			
	针入度比(25℃)(%)		≥65			
	延度(25℃)(cm)		≥15		≥10 ≥8	

#### 4.3 掺加高模量剂的沥青混合料

掺加高模量剂的沥青混合料性能要求应符合附录B的规定。



### 5 试验方法

#### 5.1 高模量剂

##### 5.1.1 外观

通过目测和手感检验。

### 5.1.2 聚烯烃类高模量剂

#### 5.1.2.1 熔体质量流动速率

按 GB/T 3682.1 中热塑性塑料熔体流动速率的质量测量的方法进行。

#### 5.1.2.2 灰分含量

按附录 C 的方法进行。

#### 5.1.2.3 密度

按 GB/T 1033.1 中非泡沫塑料密度的液体比重瓶法进行。

#### 5.1.2.4 单个颗粒质量

单个颗粒质量试验按下列步骤进行：

- a) 缩分出两组样品,每组不少于 10 颗;
- b) 采用感量为 0.001 g 的电子天平,称量每组样品质量,计算每组单个颗粒质量,准确至 0.001 g;
- c) 取两组单个颗粒质量的算术平均值作为试验结果。

#### 5.1.2.5 收缩率

按 GB/T 17037.4 中的热塑性塑料材料注塑试样的制备中模塑收缩率的方法进行。

#### 5.1.2.6 维卡软化温度

按 GB/T 1633 中的热塑性塑料维卡软化温度  $B_{50}$  测试方法进行。

### 5.1.3 微粒化天然沥青类高模量剂

#### 5.1.3.1 灰分偏差

按附录 C 的方法测定样品的灰分含量,计算实测灰分含量与目标灰分的差值作为灰分偏差。

#### 5.1.3.2 含水率

按附录 D 的方法进行。

#### 5.1.3.3 无机物粒径

按附录 E 的方法进行。

## 5.2 掺加高模量剂的沥青结合料

### 5.2.1 针入度

按 GB/T 4509 的方法进行。

### 5.2.2 软化点及软化点增加值

掺加高模量剂的沥青结合料的软化点及软化点增加值,按 GB/T 4507 的方法进行。

### 5.2.3 延度

按 GB/T 4508 的方法进行。





#### 5.2.4 表观黏度

按附录 F 的方法进行。

#### 5.2.5 闪点

按 GB 267 的方法进行。

#### 5.2.6 弹性恢复

按附录 G 的方法进行。

#### 5.2.7 离析

按附录 H 的方法进行。

#### 5.2.8 密度

按附录 I 的方法进行。

#### 5.2.9 老化后残留物性能

老化后残留物性能试验按下列方法进行：

- a) 老化后质量变化按 GB/T 5304 的方法进行；
- b) 残留针入度比按 GB/T 4509 的方法进行；
- c) 残留延度按 GB/T 4508 的方法进行。

### 5.3 掺加高模量剂的沥青混合料

掺加高模量剂的沥青混合料性能指标试验按附录 B 的方法进行。

## 6 检验规则

### 6.1 检验分类

6.1.1 检验分型式检验和出厂检验,检验项目应符合表 5 ~ 表 8 的规定。

表 5 聚烯烃类高模量剂检验项目

项 目	技术 要求	试 验 方 法	型 式 检 验	出 厂 检 验
外观	4.1.1	5.1.1	+	+
熔体质量流动速率	4.1.2	5.1.2.1	+	+
灰分含量	4.1.2	5.1.2.2	+	-
密度	4.1.2	5.1.2.3	+	+
单个颗粒质量	4.1.2	5.1.2.4	+	-
收缩率	4.1.2	5.1.2.5	+	+
维卡软化温度	4.1.2	5.1.2.6	+	+
注：“+”为必检项目；“-”为不检验项目。				

表6 微粒化天然沥青类高模量剂检验项目

项 目	技 术 要 求	试 验 方 法	型 式 检 验	出 厂 检 验
外观	4.1.1	5.1.1	+	+
灰分偏差	4.1.3	5.1.3.1	+	-
含水率	4.1.3	5.1.3.2	+	-
无机物粒径	4.1.3	5.1.3.3	+	+
注：“+”为必检项目；“-”为不检验项目。				

表7 掺加聚烯烃类高模量剂的沥青结合料检验项目

项 目	技 术 要 求	试 验 方 法	型 式 检 验	出 厂 检 验
软化点增加值	4.2.1	5.2.2	+	+
延度	4.2.1	5.2.3	+	-
表观黏度	4.2.1	5.2.4	+	-
注：“+”为必检项目；“-”为不检验项目。				

表8 掺加微粒化天然沥青类高模量剂的沥青结合料检验项目

项 目	技 术 要 求	试 验 方 法	型 式 检 验	出 厂 检 验
针入度	4.2.2	5.2.1	+	+
软化点	4.2.2	5.2.2	+	+
延度	4.2.2	5.2.3	+	+
表观黏度	4.2.2	5.2.4	+	+
闪点	4.2.2	5.2.5	+	+
弹性恢复	4.2.2	5.2.6	+	+
离析	4.2.2	5.2.7	+	+
密度	4.2.2	5.2.8	+	-
老化后质量变化	4.2.2	5.2.9	+	+
老化后残留针入度比	4.2.2	5.2.9	+	+
残留延度	4.2.2	5.2.9	+	+
注：“+”为必检项目；“-”为不检验项目。				

6.2 有下列情况之一时,应进行型式检验

- a) 新产品的试制定型检验;
- b) 正式生产后,如工艺或原材料有变化,影响产品性能时;

- c) 产品停产超过半年恢复生产时；
- d) 正常生产时,每生产 500 t 聚烯烃类高模量剂或 10 000 t 微粒化天然沥青成品时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 质量监督机构提出进行型式检验要求时。

### 6.3 组批和抽样

#### 6.3.1 组批

应根据产量将产品分批次编号,高模量剂每一批号为 50 t,微粒化天然沥青成品每一批号为 1 000 t;批重量不足的以实际数量为一批。

#### 6.3.2 抽样

以批为单位抽样。对于聚烯烃类高模量剂,在至少 10 个包装袋中随机抽取等量样品后,混合、搅拌和缩分后得到两份样品,每份不少于 2 kg;对于微粒化天然沥青成品,从沥青罐车中取两份样品,每份不少于 5 kg。同一批号的产品抽检一次。

### 6.4 判定规则

6.4.1 型式检验,若有一项或一项以上检验项目不合格,则进行第二份样品全项检验。若所有检验项目检验合格,则判定该批次合格;否则判定该批次不合格。

6.4.2 出厂检验,取 1 份样品进行检验,若所有项目检验合格,则判定该批次合格;任一项不合格,则判定该批次不合格。

## 7 标志、包装、运输和储存

### 7.1 标志

7.1.1 聚烯烃类高模量剂应采用防潮、耐破损的附有内膜的纸袋或塑料编织袋包装,每袋的数量可根据添加工艺和运输方式确定。包装上应包括以下内容:

- a) 产品名称、型号、产品执行的标准代号、商标;
- b) 生产企业名称、地址;
- c) 生产日期、批号。

7.1.2 微粒化天然沥青成品应采用沥青专用车热态灌装,应提供材料运输单。

### 7.2 包装

每批产品应配有使用说明书和合格证,合格证上除包括以上内容外,还应包括下列内容:

- a) 生产地;
- b) 生产日期;
- c) 生产批号;
- d) 检验员;
- e) 检验执行的标准;
- f) 检验结果。



### 7.3 运输

7.3.1 聚烯烃类高模量剂产品在运输时应采取防潮、防雨、防晒、防污损等措施,应轻装轻卸、防止挤

压,包装袋应完好无损。

7.3.2 微粒化天然沥青成品应该采用沥青专用车热态灌装运输到现场。

#### 7.4 储存

聚烯烃类高模量剂产品应存放在阴凉干燥处,避免日光长期照射,并远离热源;微粒化天然沥青成品宜在储存罐中储存。



## 附录 A

(规范性)

## 掺加聚烯烃类高模量剂的沥青结合料制备方法

## A.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 电子天平:感量不大于 0.1 g;
- b) 烘箱:50 ℃ ~ 200 ℃ 可调节,温度控制精度为  $\pm 0.5$  ℃;
- c) 沥青盛样器皿:圆形金属桶,带盖;
- d) 高速剪切机:0 r/min ~ 5 000 r/min 转速可调,可控温;
- e) 其他:玻璃棒。

## A.2 材料

道路石油沥青:满足技术要求的 35 号道路石油沥青或工程实际应用的低标号道路石油沥青。

## A.3 方法与步骤

A.3.1 称取  $500\text{ g} \pm 5\text{ g}$  的道路石油沥青置于盛样器皿中,用烘箱加热至  $170\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ 。

A.3.2 称取一定质量高模量剂,分次缓慢加入热沥青中。

注:高模量剂掺量一般为 5% ~ 9% (以基质沥青的质量计),具体掺量根据工程实际情况或供货商推荐值确定。

A.3.3 在加入高模量剂的同时,在 4 000 r/min ~ 5 000 r/min 转速条件下高速剪切不小于 30 min,致试样均匀、无明显颗粒,剪切过程中温度应保持在  $170\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ 。

A.3.4 剪切完成后应立即浇模,进行相关试验。



## 附录 B

(规范性)

## 掺加高模量剂的沥青混合料技术要求和试验方法

B.1 掺加高模量剂的沥青混合料性能要求应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 掺加高模量剂的沥青混合料性能要求

项 目		技术要求
空隙率(%)		2~4
低温弯曲破坏应变 (-10℃, 50 mm/min)( $\mu\epsilon$ )	气候分区:1-3,2-3,1-4,2-4	$\geq 2000$
	气候分区:1-2,2-2,3-2	$\geq 2300$
	气候分区:1-1,2-1	$\geq 2600$
动稳定度(60℃, 0.7 MPa)(次/mm)		$\geq 4000$
冻融劈裂残留强度比(%)		$\geq 80$
动态模量(20℃, 10 Hz)(MPa)		$\geq 13000$
疲劳失效应变(15℃, 10 Hz, @ 10 <sup>6</sup> 次)( $\mu\epsilon$ )		$\geq 130$

## B.2 沥青混合料试验用级配

掺加高模量剂的沥青混合料按照表 B.2 的级配进行配合比设计与性能试验。

表 B.2 掺加高模量剂的沥青混合料试验用级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
HFM-20	100	90~100	76~92	68~86	54~77	35~59	20~41	15~31	11~24	9~20	7~14	5~9
HFM-16	—	100	90~100	79~93	63~80	37~58	23~45	17~34	13~26	11~20	8~14	5~10

## B.3 试验方法

- B.3.1 空隙率按附录 J 的方法进行。
- B.3.2 低温弯曲破坏应变按附录 K 的方法进行。
- B.3.3 动稳定度按附录 L 的方法进行。
- B.3.4 冻融劈裂残留强度比按附录 M 的方法进行。
- B.3.5 动态模量按附录 N 的方法进行。
- B.3.6 疲劳失效应变按附录 O 的方法进行。



## 附 录 C

(规范性)

## 高模量剂的灰分含量试验方法

## C.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 高温炉: 封闭式高温炉, 可恒温  $620\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- b) 坩埚: 碗形陶瓷坩埚, 上部内径约  $15.5\text{ mm}$ , 高度约  $5.5\text{ mm}$ , 容积为  $625\text{ mL} \pm 75\text{ mL}$ ;
- c) 电子天平: 感量  $0.001\text{ g}$ ;
- d) 烘箱:  $50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  可调节, 温度控制精度为  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- e) 干燥器: 采用透明或棕色的钠钙硅玻璃或硼硅玻璃制造的真空干燥器;
- f) 瓷盘: 金属瓷盘。

## C.2 试验步骤

C.2.1 采用四分法缩分 1 份  $3.00\text{ g} \pm 0.10\text{ g}$  试样, 共取 2 份; 将试样放入瓷盘中, 在  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干 2 h 以上, 在干燥器中冷却; 按同样方法将坩埚烘干、冷却。

C.2.2 将高温炉预热至  $620\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.2.3 将坩埚在天平上称量质量  $m_2$ , 准确至  $0.001\text{ g}$ 。

C.2.4 将坩埚在天平上清零, 将烘干高模量剂试样放入坩埚上称量质量  $m_0$ , 准确至  $0.001\text{ g}$ 。

C.2.5 将坩埚(含高模量剂)置于高温炉中,  $620\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  加热至质量恒重(指每间隔 1 h 前后两次称量质量差不大于试样总质量的  $0.1\%$ , 本标准以下同), 加热不少于 2 h。

C.2.6 取出坩埚(含高模量剂), 放入干燥器中冷却(不少于 30 min)。将坩埚(含高模量剂)放到天平上称量质量  $m_1$ , 准确至  $0.001\text{ g}$ 。

## C.3 数据处理

C.3.1 高模量剂灰分含量按公式(C.1)计算, 准确至  $0.1$ 。

$$A_c = \frac{m_1 - m_2}{m_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(\text{C.1})$$

式中:

$A_c$  ——高模量剂灰分含量;

$m_0$  ——试样质量, 单位为克(g);

$m_1$  ——坩埚(含高模量剂)质量, 单位为克(g);

$m_2$  ——坩埚质量, 单位为克(g)。

C.3.2 同一样品测定两次, 取算术平均值作为灰分含量试验结果, 准确至  $0.1\%$ 。当两次测定值的差值大于  $1.0\%$  时, 应重新取样进行试验。



## 附录 D

(规范性)

## 高模量剂的含水率试验方法

## D.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 烘箱:50℃~200℃可调节,温度控制精度为±1℃;
- b) 电子天平:精度为±0.001g;
- c) 坩埚:碗形陶瓷坩埚,上部内径约15.5mm,高度约5.5mm,容积为625mL±75mL;
- d) 干燥器:采用透明或棕色的钠钙硅玻璃或硼硅玻璃制造的真空干燥器。

## D.2 方法与步骤

D.2.1 按四份法取2份10.0g±0.1g试样。

D.2.2 将烘箱预热至105℃±5℃。

D.2.3 将坩埚放在天平上称量质量 $m_2$ ,准确至0.001g。

D.2.4 将坩埚放在天平上清零,将试样放入坩埚后称量质量 $m_0$ ,准确至0.001g。

D.2.5 将坩埚(含试样)置于烘箱中,105℃±5℃加热至恒重,不少于2h。

D.2.6 取出坩埚(含干燥试样),放入干燥器中冷却。冷却后放到天平上称量坩埚(含干燥试样)质量 $m_1$ ,准确至0.001g。

## D.3 数据处理

D.3.1 含水率按公式(D.1)计算,准确至0.1%。

$$W_c = \frac{m_0 - m_1 + m_2}{m_1 - m_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(D.1)$$

式中:

$W_c$ ——试样含水率;

$m_0$ ——试样质量,单位为克(g);

$m_1$ ——坩埚(含干燥试样)质量,单位为克(g);

$m_2$ ——坩埚质量,单位为克(g)。

D.3.2 同一样品测定两次,取算术平均值作为试验结果,准确至0.1%。当两次测定值的差值大于0.5%时,应重新取样进行试验。





## 附录 E

(规范性)

## 微粒化天然沥青类高模量剂无机物颗粒粒径试验方法

## E.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 电子天平:感量 0.01 g;
- b) 烘箱:50 ℃ ~ 200 ℃ 可调节,温度控制精度为  $\pm 0.5$  ℃;
- c) 激光粒度仪:量程为 0.1  $\mu\text{m}$  ~ 300  $\mu\text{m}$ ,分度值为 0.01  $\mu\text{m}$ ,配专用软件能自动进行颗粒粒度分布的分析;
- d) 量筒:200 mL 无塞量筒;
- e) 烧杯:200 mL 低型烧杯。

## E.2 材料

分析纯:三氯乙烯。

## E.3 试样制备

E.3.1 称取 95 g 三氯乙烯置于烧杯中。

E.3.2 称取 5 g 的天然沥青试样溶于三氯乙烯中,用玻璃棒充分搅拌得到均匀的分散液。

## E.4 方法与步骤

E.4.1 使用玻璃棒搅拌分散液均匀后,立即用滴管取一定量的分散液,加入激光粒度仪内置容器中直至光学浓度值介于 15% ~ 20%。

E.4.2 开启激光粒度仪进行超声震荡,待光学浓度值稳定后;在稳定后的 30 s ~ 60 s 内读取多组粒度分布数据。

## E.5 数据处理

计算各组数据的算术平均值,绘制粒度分布曲线图,并给出  $D_{av}$  和  $D_{90}$  试验结果。



附 录 F  
(规范性)  
沥青旋转黏度试验方法

### F.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 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;
- b) 电热鼓风干燥箱:50℃~200℃可调节,温度控制精度为 $\pm 0.5$ ℃;
- c) 标准温度计:分度值0.1℃;
- d) 秒表:精度 $\pm 0.2$ s。

### F.2 试验步骤

F.2.1 取代表沥青样品,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。

F.2.2 仪器在安装时应调至水平,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。

F.2.3 根据预估沥青黏度,选择适宜的转子。

F.2.4 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。

F.2.5 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。

F.2.6 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。

F.2.7 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)。

F.2.8 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。开动旋转黏度计,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。

F.2.9 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。

F.2.10 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。

F.2.11 如果在试验温度下的扭矩读数不在10%~98%的范围内,应更换转子或降低转子转速后重新试验。

### F.3 数据整理

平行测定两次,取算术平均值作为试验结果,准确至0.1Pa·s。当两次测定值的差值大于平均值的3.5%时,应重新取样进行试验。

**附 录 G**  
(规范性)  
**沥青弹性恢复试验方法**

**G.1 仪器**

试验仪器应符合下列要求:

- a) 试模:采用延度试验所用标准试模。
- b) 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10 L,高度应满足试件浸没深度不小于10 cm,离水槽底部不少于5 cm的要求。
- c) 延度试验机:标准沥青低温延度试验机。
- d) 温度计:测温范围0℃~50℃,分度值0.1℃。

**G.2 试验步骤**

**G.2.1** 标准试验温度为25℃,拉伸速率为5 cm/min±0.25 cm/min。

**G.2.2** 取代表沥青样品、制模,最后将试样在25℃水槽中保温1.5 h。

**G.2.3** 将试样安装在滑板上,按延度试验方法以规定的5 cm/min的速率拉伸试样达10 cm±0.25 cm时停止拉伸。

**G.2.4** 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1 h,并保持水温不变。注意在停止拉伸后至剪断试样之间不应有时间间歇,以免使拉伸应力松弛。

**G.2.5** 取下两个半截的回缩的沥青试样轻轻捋直,但不应施加拉力,移动滑板使沥青试样的尖端刚好接触,测量试件的残留长度。

**G.3 数据处理**

**G.3.1** 按公式(G.1)计算弹性恢复率,准确至0.1%。

$$D = \frac{L - X}{L} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(G.1)$$

式中:

*D*——试样的弹性恢复;

*L*——试样拉伸至10 cm或断裂时的长度,单位为厘米(cm);

*X*——试样两端对接后的残留长度,单位为厘米(cm)。

**G.3.2** 平行测定三次,取算术平均值作为试验结果。若三次测定值的最大值和最小值之差不在其平均值的5%以内,但其中两个较高值之差在平均值的5%以内,则弃去最低测定值,取两个较高值的平均值作为试验结果。

**G.3.3** 当三次测定值的差值大于平均值的4%时,应重新取样进行试验。



附 录 H  
(规范性)  
沥青离析试验方法

### H.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 沥青软化点仪:标准沥青软化点仪;
- b) 盛样管:铝管,直径约 25 mm,长约 140 mm,一端开口;
- c) 电热鼓风干燥箱:50 ℃ ~200 ℃ 可调节,温度控制精度为  $\pm 0.5$  ℃;
- d) 恒温冰箱:能保持温度为 -10 ℃ 以下,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  $\pm 2$  ℃;
- e) 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;
- f) 容器:标准的沥青针入度金属试样杯(高 48 mm,直径 70 mm)。

### H.2 试验步骤

H.2.1 准备好盛样管,将盛样管装在支架上。

H.2.2 取代表样品,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  $50 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ 。

H.2.3 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  $163 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  的烘箱中静置  $48 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$ 。

H.2.4 加热结束后,将盛样管连支架一起从烘箱中轻轻取出,放入冰箱的冷柜中,保持盛样管在竖立状态,不少于 2 h,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。

H.2.5 待试样温度稍有回升发软,用小刀将盛样管中试样等分为三段,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  $163 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  的烘箱中融化,取出已剪断的铝管。

H.2.6 稍加搅拌,分别灌入软化点试模中。

H.2.7 对顶部和底部的沥青试样按 GB/T 4507 同时测定软化点值。

### H.3 数据处理

按公式(H.1)计算软化点差值作为试验结果,准确至 0.1 ℃。

$$\Delta SP = SP_t - SP_b \quad \dots\dots\dots(H.1)$$

式中:

$\Delta SP$  ——软化点差值,单位为摄氏度(℃);

$SP_t$  ——上段沥青的软化点,单位为摄氏度(℃);

$SP_b$  ——下段沥青的软化点,单位为摄氏度(℃)。



附 录 I  
(规范性)  
沥青密度试验方法

### 1.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 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 20 mL~30 mL,质量不超过 40 g。
- b) 恒温水槽:控温的准确度为  $\pm 0.1$  °C。
- c) 天平:最大称量 200 g,精度为  $\pm 0.001$  g。
- d) 温度计:测温范围 0 °C~50 °C,分度值为 0.1 °C。
- e) 烧杯:600 mL~800 mL。
- f) 干燥器:采用透明或棕色的钠钙硅玻璃或硼硅玻璃制造的真空干燥器。
- g) 洗液:玻璃仪器清洗液,三氯乙烯(分析纯)等。
- h) 试验用水:经 1 次~2 次蒸馏得到的蒸馏水。

### 1.2 准备工作

- 1.2.1 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 0.001 g。
- 1.2.2 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,水的深度应超过比重瓶顶部 40 mm 以上。
- 1.2.3 使恒温水槽及烧杯中的蒸馏水达到  $15$  °C  $\pm 0.1$  °C。

### 1.3 确定比重瓶水值

- 1.3.1 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 100 mm,烧杯口露出水面,并用夹具将其固牢。
- 1.3.2 待烧杯中水温再次达至 15 °C 后并保温 30 min 后,将瓶塞塞入瓶口,使多余的水由瓶塞上的毛细孔中挤出。
- 1.3.3 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 1 mg。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。
- 1.3.4 以盛满水的比重瓶合计质量减去干燥比重瓶的质量作为比重瓶的水值。

### 1.4 试验步骤

- 1.4.1 取代表沥青样品,沥青的加热温度宜不高于估计软化点以上 100 °C,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。将盛有试样的比重瓶立即移入温度在高于试样估计软化点 100 °C~110 °C 的烘箱内,保持 20 min~30 min。
- 1.4.2 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 1 h,连同瓶塞称其质量( $m_3$ ),准确至 3 位小数。
- 1.4.3 将盛有蒸馏水的烧杯放入已达 15 °C 的恒温水槽中,然后将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 15 °C 后保温 30 min,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,此时应避免带入气泡。

1.4.4 取出比重瓶,按前述方法迅速揩干瓶外水分后称其质量( $m_4$ ),准确至3位小数。

1.5 数据处理

1.5.1 按公式(1.1)计算沥青试样的密度,准确至0.001 g/cm<sup>3</sup>。

$$\rho_b = \frac{m_3 - m_1}{(m_2 - m_1) - (m_4 - m_3)} \times \rho_w \dots\dots\dots(1.1)$$

式中:

$\rho_b$ ——试样在试验温度下的密度,单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>);

$m_1$ ——比重瓶质量,单位为克(g);

$m_2$ ——比重瓶与盛满水时的合计质量,单位为克(g);

$\rho_w$ ——15℃水的密度,为0.999 1,单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>);

$m_3$ ——比重瓶与沥青试样合计质量,单位为克(g);

$m_4$ ——比重瓶与试样和水合计质量,单位为克(g)。

1.5.2 平行测定两次,取算术平均值作为试验结果。

1.5.3 当两次测定值的差值大于0.003 g/cm<sup>3</sup>时,应重新取样进行试验。



## 附录 J

(规范性)

## 沥青混合料空隙率试验方法

## J.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 沥青混合料马歇尔击实仪:采用标准沥青混合料马歇尔击实仪,压实头底面直径  $98.5 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ ,厚度不小于  $12.5 \text{ mm}$ ;导杆直径为  $16 \text{ mm}$ ;滑块质量为  $4\,536 \text{ g} \pm 9 \text{ g}$ ,自由落高为  $457.2 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$ 。
- b) 试模:标准击实仪试模,由高碳钢或工具钢制成,内径  $101.6 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 。
- c) 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  $10 \text{ L}$ 。
- d) 脱模器:电动或手动,应无破损地推出圆柱体试件,备有厚度不小于  $12.5 \text{ mm}$  的圆形钢块,钢块直径不小于  $100 \text{ mm}$ 。
- e) 浸水天平或电子天平:最大称量在  $3 \text{ kg}$  以下时,精度为  $\pm 0.1 \text{ g}$ ;最大称量  $3 \text{ kg}$  以上时,精度为  $\pm 0.5 \text{ g}$ ,应有测量水中重的挂钩。
- f) 网篮:直径不小于  $200 \text{ mm}$ ,高度不小于  $300 \text{ mm}$ ,带孔的金属网篮。
- g) 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。能调整水温至  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
- h) 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。
- i) 电热鼓风干燥箱: $50 \text{ }^\circ\text{C} \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 可调节,温度控制精度为  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。
- j) 秒表:精度为  $\pm 0.2 \text{ s}$ 。

## J.2 试件制备

按下列要求进行试件制备。

- a) 按照附录 A 的要求准备沥青结合料。按照混合料配合比,称配各档集料、矿粉。
- b) 确定各材料加热温度、混合料拌和温度和击实温度,将各档材料放入干燥箱中加热至预定的温度,恒温  $4 \text{ h} \sim 6 \text{ h}$ 。
- c) 将各档材料放入拌和锅中,在拌和温度条件下拌和  $180 \text{ s}$ 。
- d) 将拌制的沥青混合料在击实温度条件下,放入干燥箱中恒温  $2 \text{ h}$ 。然后从烘箱中取出,采用沥青混合料马歇尔击实仪按双面击实  $50$  次成型试件。
- e) 成型试件在室温条件下自然冷却不小于  $24 \text{ h}$ 。脱模器脱模,量测各试件高度,试件高度达不到  $63.5 \text{ mm} \pm 1.3 \text{ mm}$  的,需要废弃。

## J.3 冷却混合料密度试验步骤

J.3.1 除去试件表面的浮粒等杂物,称取干燥试件的空中质量( $m_a$ )。

J.3.2 将溢流水箱水温保持在  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。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  $3 \text{ min} \sim 5 \text{ min}$ ,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,应改用蜡封法测定。

J.3.3 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(不应吸走空隙内的水),称取试件的表干质量( $m_f$ )。从试件拿出水面到擦拭结束不宜超过  $5 \text{ s}$ ,称量过程中流出的水不应再擦拭。

J.4 数据处理

J.4.1 按公式(J.1)计算试件的毛体积相对密度,准确至0.001。

$$\gamma_f = \frac{m_a}{m_f - m_w} \dots\dots\dots(J.1)$$

式中:

- $\gamma_f$  —— 试件毛体积相对密度,无量纲;
- $m_a$  —— 干燥试件的空中质量,单位为克(g);
- $m_f$  —— 试件的表干质量,单位为克(g);
- $m_w$  —— 试件的水中质量,单位为克(g)。

J.4.2 按公式(J.2)计算试件的空隙率,准确至0.1%。

$$VV = \left(1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(J.2)$$

式中:

- $VV$  —— 试件的空隙率;
- $\gamma_t$  —— 沥青混合料理论最大相对密度,采用真空最大理论密度仪实测,无量纲。

J.4.3 平行测定四次,取算术平均值作为试验结果。

J.4.4 当四次测定值的差值大于0.020 g/cm<sup>3</sup>时,应重新取样进行试验。





## 附 录 K

(规范性)

## 沥青混合料低温弯曲破坏应变试验方法

## K.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 轮碾成型机:配重式加载方式或气压式加载方式的沥青混合料轮碾成型机。碾压轮外表面为光滑、圆弧形,宽度  $300\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ,压实线荷载为  $300\text{ N/cm}$ ,相应总荷载为  $9\text{ kN}$ 。碾压行程等于试件长度。带加热装置可给碾压轮表面钢板加热,钢板厚度不小于  $12\text{ mm}$ ;碾压轮曲面长度不小于  $500\text{ mm}$ ,曲面半径为  $450\text{ mm} \sim 550\text{ mm}$ 。
- b) 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  $30\text{ L}$  的大型沥青混合料拌和机。
- c) 试模:由高碳钢或工具钢制成,试模尺寸为长  $300\text{ mm} \times$  宽  $300\text{ mm} \times$  厚  $50\text{ mm}$ 。
- d) 万能材料试验机: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  $1\text{ kN}$  或  $5\text{ kN}$ ,分辨率为  $0.01\text{ kN}$ 。具有梁式支座,下支座中心距  $200\text{ mm}$ ,上压头位置居中,上压头及支座为半径  $10\text{ mm}$  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  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,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。
- e) 跨中位移测定装置:LVDI 位移传感器。
- f) 数据采集系统:以不低于  $20\text{ 次/s}$  的速度采集传感器及位移计的电测信号,在数据采集系统中储存并绘制荷载与跨中挠度曲线。
- g) 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  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。当试验温度低于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  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。
- h) 游标卡尺:刻度值不大于  $0.1\text{ mm}$ 。
- i) 温度计:分度值  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- j) 天平:精度为  $\pm 0.1\text{ g}$ 。

## K.2 试件制备

按下列要求进行试件制备。

- a) 按照附录 A 的要求准备沥青结合料。按照混合料配合比,称配各档集料、矿粉。
- b) 确定各材料加热温度、混合料拌和温度和成型温度,将各档材料放入干燥箱中加热至预定的温度,恒温  $4\text{ h} \sim 6\text{ h}$ 。
- c) 将各档材料放入拌和机中,在拌和温度条件下拌和  $180\text{ s}$ 。
- d) 将拌制的沥青混合料放入试模中,在成型温度条件下,采用车辙轮碾机按往返  $28$  次碾压成型试件。
- e) 成型试件在室温条件下自然冷却不小于  $12\text{ h}$ 。
- f) 将成型的板块状试件,切割为长  $250\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$ ,宽  $30\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$ ,高  $35\text{ mm} \pm 2.0\text{ mm}$  的棱柱体小梁,跨径为  $200\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 。

## K.3 准备工作

K.3.1 万能材料试验机试验温度设定为  $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,加载速率为  $50\text{ mm/min}$ 。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。

K.3.2 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 2 mm 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 0.1 mm。

K.3.3 将试件置于规定温度的恒温水槽中保温不少于 45 min,直至试件内部温度达到试验温度  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 10 mm。

K.3.4 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。

#### K.4 试验步骤

K.4.1 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。

K.4.2 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)。

K.4.3 将荷载传感器、位移计与数据采集系统连接,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。

K.4.4 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。记录并储存试件加载过程中的荷载、跨中挠度等数据。

#### K.5 数据处理

K.5.1 以荷载为纵坐标,以挠度为横坐标,绘制荷载-挠度曲线。若曲线开始段为上凹,需要进行原点修正。根据曲线确定试件破坏时的荷载  $P_B$  和挠度  $d$ 。

K.5.2 按公式(K.1)计算试件破坏时的梁底最大弯拉应变  $\varepsilon_B$ ,准确至 0.1。

$$\varepsilon_B = \frac{6hd}{L^2} \dots\dots\dots(K.1)$$

式中:

$\varepsilon_B$  ——试件破坏时的最大弯拉应变,单位为微应变( $\mu\varepsilon$ );

$h$  ——跨中断面试件的高度,单位为毫米(mm);

$L$  ——试件的跨径,单位为毫米(mm);

$d$  ——试件破坏时的跨中挠度,单位为毫米(mm)。

K.5.3 平行测定四次,取算术平均值作为试验结果。



## 附录 L

(规范性)

## 沥青混合料动稳定度试验方法

## L.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 轮碾成型机:符合 K.1 a) 的要求。
- b) 沥青混合料拌和机:符合 K.1 b) 的要求。
- c) 试模:符合 K.1 c) 的要求。
- d) 车辙试验机:试件台应可牢固地安装宽度为 300 mm 试件的试模。试验轮为橡胶制的实心轮胎,外径 200 mm,轮宽 50 mm,橡胶层厚 15 mm。橡胶硬度(国际标准硬度)20 °C 时为  $84 \pm 4$ , 60 °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  $42 \text{ 次/min} \pm 1 \text{ 次/min}$  ( $21 \text{ 次往返/min}$ )。试验轮与试件的接触压强在 60 °C 时为  $0.7 \text{ MPa} \pm 0.05 \text{ MPa}$ ,施加的总荷载为 780 N 左右。采用自动采集车辙变形并记录曲线的装置,采用位移传感器 LVDT 或非接触位移计,位移测量范围 0 ~ 30 mm。分度值为 0.01 mm 或 0.001 mm。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  $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。温度应能自动连续记录。恒温室应具有足够的空间,能够恒温  $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  (试件内部温度  $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ )。
- e) 台秤:最大称量 15 kg,精度为  $\pm 5 \text{ g}$ 。

## L.2 试件制备

按下列要求进行试件制备。

- a) 按照附录 A 的要求准备沥青结合料。按照混合料配合比,称配各档集料、矿粉。
- b) 确定各材料加热温度、混合料拌和温度和成型温度,将各档材料放入干燥箱中加热至预定的温度,恒温 4 h ~ 6 h。
- c) 将各档材料放入拌和机中,在拌和温度条件下拌和 180 s。
- d) 将拌制的沥青混合料放入试模中,在成型温度条件下,采用车辙轮碾机按往返 28 次碾压成型试件。
- e) 成型试件在室温条件下自然冷却不小于 12 h。

## L.3 试验步骤

L.3.1 将试件连同试模一起,置于已达到试验温度  $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  的恒温室中,一般不超过 12 h。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  $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。对于厚度为 80 mm 的试件保温试件不少于 6 h,厚度为 100 mm 的试件保温试件不少于 7 h。

L.3.2 将试件连同试模移置于轮碾试验机的试验台上,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 1 h,或最大变形达到 25 mm 时为止。

## L.4 数据处理

L.4.1 读取 45 min( $t_1$ )及 60 min( $t_2$ )时的车辙变形  $d_1$ 及  $d_2$ ,准确至 0.001 mm。

L.4.2 按公式(L.1)计算沥青混合料试件的动稳定度,准确至 0.1 次/mm。

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \dots\dots\dots(L. 1)$$

式中:

$DS$ ——沥青混合料的动稳定度,单位为次每毫米(次/mm);

$d_1$ ——对应于时间  $t_1$  的变形量,单位为毫米(mm);

$d_2$ ——对应于时间  $t_2$  的变形量,单位为毫米(mm);

$N$ ——试验轮往返碾压速度,通常为 42 次/min。

L.4.3 平行试验 3 次,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,准确至 1 次/mm。变异系数大于 20% 时应分析原因,并追加试验。当计算的动稳定度大于 6 000 次/mm 时,记作: >6 000 次/mm。



## 附录 M

(规范性)

## 沥青混合料冻融劈裂强度比试验方法

## M.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 沥青混合料马歇尔击实仪:符合 J.1 a) 的要求。
- b) 试模:符合 J.1 b) 的要求。
- c) 沥青混合料拌和机:符合 J.1 c) 的要求。
- d) 脱模器:符合 J.1 d) 的要求。
- e) 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 40 kN 或 60 kN 传感器,读数准确至 0.01 kN。
- f) 恒温冰箱:能保持温度为  $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- g) 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  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- h) 压条: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  $12.7\text{ mm} \pm 0.2\text{ mm}$ ,内侧曲率半径  $50.8\text{ mm}$ ;试件直径为  $150\text{ mm} \pm 2.5\text{ mm}$ (或  $152.4\text{ mm}$ )时,压条宽度为  $19\text{ mm} \pm 0.2\text{ mm}$ ,内侧曲率半径  $75\text{ mm}$ ,压条两端均应磨圆。
- i) 劈裂试验夹具:下压条固定在夹具上,压条可上下自由活动。
- j) 其他:塑料袋、卡尺、天平、记录纸、胶皮手套等。

## M.2 试件制备

按下列要求进行试件制备。

- a) 按照附录 A 的要求准备沥青结合料。按照混合料配合比,称配各档集料、矿粉。
- b) 确定各材料加热温度、混合料拌和温度和击实温度,将各档材料放入干燥箱中加热至预定的温度,恒温  $4\text{ h} \sim 6\text{ h}$ 。
- c) 将各档材料放入拌和锅中,在拌和温度条件下拌和  $180\text{ s}$ 。
- d) 将拌制的沥青混合料在击实温度条件下,放入干燥箱中恒温  $2\text{ h}$ 。然后从烘箱中取出,采用沥青混合料马歇尔击实仪按双面击实 50 次成型试件。
- e) 成型试件在室温条件下自然冷却不小于  $24\text{ h}$ 。脱模器脱模,量测各试件高度,试件高度达不到  $63.5\text{ mm} \pm 1.3\text{ mm}$  的,需要废弃。
- f) 成型不少于 8 个试件。

## M.3 试验步骤

M.3.1 非经注明,试验温度为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,加载速率为  $50\text{ mm/min}$ 。

M.3.2 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。试件分组后两组的平均高度、空隙率大致相等,两组平均高度差不大于  $5\text{ mm}$ 、密度差不大于  $0.015\text{ g/cm}^3$ 。

M.3.3 将第二组试件在负压为  $2.6\text{ kPa} \sim 4.0\text{ kPa}$  条件下真空饱水  $15\text{ min} \pm 2\text{ min}$ ,然后打开阀门,恢复常压,试件在水中放置  $5\text{ min} \sim 15\text{ min}$ 。取出试件,测定试件尺寸计算体积,其体积与干燥试件的体积相比增加不超过 2%,否则废弃。

M.3.4 取出试件放入塑料袋中,加入约  $10\text{ mL}$  的水,扎紧袋口,将试件放入恒温冰箱,冷冻温度为

-18 ℃ ±2 ℃,保持 16 h ±1 h。

M.3.5 将试件取出后,立即放入 60 ℃ ±0.5 ℃ 的恒温水槽中,浸泡 3 min 后撤去塑料袋继续保温24 h ± 30 min。

M.3.6 将第一组与第二组全部试件浸入温度为 25 ℃ ±0.5 ℃ 的恒温水槽中保温 2 h ±10 min,对于直径为 150 mm(152.4 mm)试件保温 4 h ±10 min。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 10 mm。

M.3.7 取出试件用 50 mm/min 的加载速率进行劈裂试验,得到试验的最大荷载。

#### M.4 数据处理

M.4.1 按公式(M.1)计算试件冻融前后的劈裂抗拉强度,准确至 0.1 MPa。

$$R_T = 2P_T / \pi Dh \dots\dots\dots(M.1)$$

式中:

$R_T$ ——劈裂抗拉强度,单位为兆帕(MPa);

$P_T$ ——试验荷载值,单位为牛(N);

$h$ ——试件高度,单位为毫米(mm);

$D$ ——试件直径,单位为毫米(mm)。

M.4.2 按式公(M.2)计算冻融劈裂抗拉强度比,准确至 0.1%。

$$TSR = \frac{R_{T后}}{R_{T前}} \times 100\% \dots\dots\dots(M.2)$$

式中:

$TSR$ ——冻融劈裂试验抗拉强度比;

$R_{T后}$ ——冻融循环后试件劈裂抗拉强度平均值,单位为兆帕(MPa);

$R_{T前}$ ——未冻融循环试件劈裂抗拉强度平均值,单位为兆帕(MPa)。



## 附录 N

(规范性)

## 沥青混合料动态模量试验方法

## N.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 材料试验机:能施加偏移正弦波或半正弦波形式荷载的加载设备,施加荷载的频率在 0.01 Hz ~ 25 Hz 范围,且施加的最大应力水平应达到 2 800 kPa。加载分辨力能达到 5 N。
- b) 环境箱:控温范围  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ~  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,控温准确度为  $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且具有一定的容量,至少能存放 3 个试件。
- c) 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次加载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 ~ 25 kN,分辨力不大于 5 N,误差不大于 1%;位移传感器可采用 LVDT 或其他合适的设备,具有良好的动态响应特性,其量程应大于 1 mm,分辨率不大于  $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ,误差不大于  $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 。
- d) 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。
- e) 旋转压实仪:成型直径为 150 mm、高度为 170 mm 的圆柱体试件。
- f) 钻机:从旋转压实仪成型试件中钻取直径为 100 mm 的芯样,要求将钻机及取芯试件固定,钻头与地面垂直。
- g) 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。
- h) 聚四氟乙烯薄膜,厚度  $0.3\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。
- i) 台秤或天平:精度为  $\pm 0.1\text{ g}$ 。
- j) 温度计:分度值  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- k) 卡尺。

## N.2 试件制备

按下列要求进行试件制备。

- a) 采用旋转压实仪,按旋转压实 75 次,成型直径 150 mm、高 170 mm 的圆柱形试件,试件成型 5 min 后脱模,在室温条件下冷却不小于 12 h。
- b) 采用钻机从旋转压实仪成型的试件中钻取直径为  $100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$  的芯样。取芯时应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。
- c) 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  $1^{\circ}$  时应舍弃该试件。
- d) 芯样取出后,在试件的中部和距上下表面  $1/3$  试件高度的 3 个位置测定其直径,每个位置量测两次,每测一次后,将试件旋转  $90^{\circ}$  再测一次,然后计算 6 个直径测量值的平均值和标准差,如果标准差大于 2.5 mm,则舍弃该试件。
- e) 一组试验有效试件不少于 4 个。

f) 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℃~27℃ 环境下保存,时间不宜超过两周,存放时试件不可堆叠。

### N.3 试验步骤

N.3.1 取本方法适用在试验温度 20℃、加载频率 10 Hz 条件下进行测试。

N.3.2 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。

N.3.3 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。

N.3.4 将试件放入规定试验温度 20℃±0.5℃ 的环境箱中,恒温 4 h~5 h 直至试件内部达到试验温度。

N.3.5 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 10 s,使试件与上下加载板接触良好。

N.3.6 对试件施加偏移正弦波轴向压应力试验荷载,重复加载 200 次,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。

### N.4 数据处理

N.4.1 按公式(N.1)计算测试沥青混合料的轴向应力幅值,准确至 0.1 MPa。

$$\sigma_0 = \frac{P_i}{A} \dots\dots\dots(N.1)$$

式中:

$\sigma_0$ ——轴向应力幅值,单位为兆帕(MPa);

$P_i$ ——最后 5 次加载中轴向试验荷载平均幅值,单位为牛(N);

$A$ ——试件径向横截面面积(可取试件上下端面面积均值),单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

N.4.2 按公式(N.2)计算测试沥青混合料的轴向应变幅值,准确至 0.1 mm/mm。

$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta_i}{l_0} \dots\dots\dots(N.2)$$

式中:

$\varepsilon_0$ ——轴向应变幅值,单位为毫米每毫米(mm/mm);

$\Delta_i$ ——最后 5 次加载中可恢复轴向变形平均幅值,单位为毫米(mm);

$l_0$ ——试件上位移传感器的量测间距,单位为毫米(mm)。

N.4.3 按公式(N.3)计算测试沥青混合料的动态模量,准确至 0.1 MPa。

$$E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} \dots\dots\dots(N.3)$$

式中:

$E^*$ ——沥青混合料动态模量,单位为兆帕(MPa);

$\sigma_0$ ——轴向应力幅值,单位为兆帕(MPa);

$\varepsilon_0$ ——轴向应变幅值,单位为毫米每毫米(mm/mm)。

N.4.4 取一组试件的测定值平均值作为试验结果。





## 附 录 O

(规范性)

## 沥青混合料疲劳失效应变试验方法

## O.1 仪器

试验仪器应符合下列要求:

- a) 测试系统:测试系统基本技术要求和参数见表 O.1。

表 O.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 ~ 5 kN	2 N	±5 N
位移控制与测量	0 ~ 5 mm	2 μm	±5 μm
频率控制与测量	5 Hz ~ 10 Hz	0.005 Hz	±0.01 Hz
温度控制与测量	-10 °C ~ 30 °C	0.25 °C	±0.5 °C

- b) 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、不同振幅的正弦加载波形。并保证每次加载结束时,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 0.119 m,梁跨距为 0.357 m。各夹头宜采用可调节加持力大小的小型电机进行夹持。
- c) 数据采集与控制装置:使用计算机控制每次加载,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。
- d) 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 ±0.5 °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护试件,同时能够允许调整加载装置,方便试件放入和移出。

## O.2 准备工作

O.2.1 试件准备:按照附录 L 中的方法,采用轮碾成型机制作沥青混合料板块试件,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 mm ± 5 mm,高度 50 mm ± 6 mm,宽度为 63 mm ± 6 mm 的要求,一块 400 mm × 300 mm × 75 mm 的沥青混凝土板块通常可切割 4 根小梁试件。

O.2.2 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 d 内完成试验。存放期间,试件应水平放置于表面平整的硬玻璃板(或瓷砖)上,防止试件发生变形。

O.2.3 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 20 mm 内的点位,梁中点的 10 mm 内的点位及距离梁中点各 90 mm 的点位,准确至 0.01 mm。取 5 个测量值的平均值为试件尺寸,准确至 0.1 mm。如果宽度或者厚度的 5 个测量值中的任何 1 个值与平均值相差

大于 1.5 mm,则该梁试件作废。

**O.3 试验步骤**

**O.3.1** 标准的试验条件为试验温度 15 °C ±0.5 °C,加载频率 10 Hz ±0.1 Hz,采用恒应变控制的正弦加载模式。

**O.3.2** 试件养护:小梁试件宜直接放入环境箱内进行养护,应在试验温度 ±0.5 °C 条件下养护 4 h 以上方可进行试验。

**O.3.3** 试件安放:将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。

**O.3.4** 确定应变控制水平:采用应变控制方式,应变控制水平为 130 με。

**O.3.5** 试验参数选择:选择正弦加载模式,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。

**O.3.6** 在目标试验应变水平下预加载 50 次,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。

**O.3.7** 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。

**O.3.8** 当试件达到疲劳试验终止条件时,自动停止加载。试验终止条件为弯曲模量和作用次数之积达到最大时,或劲度模量降低到初始弯曲劲度模量 50% 时。

**O.3.9** 同一试验条件下,应至少进行 3 次平行试验。

**O.4 数据处理**

**O.4.1** 按公式(0.1)计算最大拉应力,准确至 0.1 Pa。

$$\sigma_t = \frac{LP}{wh^2} \dots\dots\dots(0.1)$$

式中:

- σ<sub>t</sub>——最大拉应力,单位为帕(Pa);
- L——梁跨距,即外端两个夹具间距(一般为 0.357 m),单位为米(m);
- P——峰值荷载,单位为牛(N);
- w——梁宽,单位为米(m);
- h——梁高度,单位为米(m)。

**O.4.2** 按公式(0.2)计算最大拉应变,准确至 0.1 m/m。

$$\varepsilon_t = \frac{12\delta h}{3L^2 - 4a^2} \dots\dots\dots(0.2)$$

式中:

- ε<sub>t</sub>——最大拉应变,单位为米每米(m/m);
- δ——梁中心最大应变,单位为米(m);
- a——相邻夹头中心间距(a = L/3,一般为 0.119 m),单位为米(m);

**O.4.3** 按公式(0.3)计算弯曲劲度模量,准确至 0.1 Pa。

$$S = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \dots\dots\dots(0.3)$$



式中：

$S$ ——弯曲劲度,单位为帕(Pa)；

O.4.4 取3个试件疲劳次数测定值平均值作为试验结果。

