

DB13

河北省地方标准

DB 13/T 2823—2018

公路高模量沥青路面施工技术指南

2018 - 09 - 21 发布

2018 - 10 - 21 实施

河北省质量技术监督局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 原材料技术要求..... 1

5 配合比设计..... 2

6 生产与施工..... 4

7 施工过程中的质量管理与检查..... 5

附录 A（规范性附录）沥青混合料车辙敏感性试验方法..... 7

附录 B（规范性附录）沥青混合料复数模量测试方法..... 10

附录 C（规范性附录）沥青混合料疲劳性能试验方法..... 14

附录 D（规范性附录）PCG 旋转压实试验方法..... 17

附录 E（规范性附录）沥青混合料板型试件制备方法..... 19

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由河北省交通运输厅提出并归口。

本标准起草单位：河北省交通规划设计院、河北交通投资集团公司、河北省高速公路京石改扩建筹建处、河北省道路结构与材料工程技术研究中心、公路建设与养护技术材料及装备交通运输行业研发中心。

本标准主要起草人：王国清、陈君朝、何勇海、孟会林、杜永安、王庆凯、贾献卓、王联芳、秦禄生、闫涛、王洪涛、宋扬、朱斌、薛善光、高松洁、焦彦利、杜杰、叶圣华、刘书祥、张文哲、由伟锋、高海涛、刘耀武、陈磊、李玉、赵辉、张乃琦。

公路高模量沥青路面施工技术指南

1 范围

本标准规定了采用低标号沥青或外掺剂的高模量沥青混合料的原材料技术要求、配合比设计、生产与施工及施工过程中的质量管理与检查等内容。

本标准适用于公路高模量沥青路面施工。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修订单）适用于本文件。

JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程

JTG E42 公路工程集料试验规程

JTG E60 公路路基路面现场测试规程

JTG F40 公路沥青路面施工技术规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高模量沥青混合料（HMAC）

复数模量不小于14000MPa的沥青混合料。

4 原材料技术要求

4.1 集料

集料应符合JTG F40的有关要求。

4.2 沥青

HMAC可采用的沥青的技术指标要求见表1，宜优先采用表中标号为15、20及25的沥青。

表1 沥青技术指标要求

指 标		沥青标号					试验方法
		15	20	25	35	50	
针入度 (25℃), 0.1mm		10~20	15~25	20~30	30~45	40~60	T0604
软化点 (T&B), °C		63~73	60~70	55~63	52~60	49~56	T0606
60℃动力粘度, Pa·s		> 800	>600	> 450	> 260	> 200	T0620
针入度指数		-1.5~1.0					T0604
蜡含量 (蒸馏法), %		<2.2					T0615
闪点, °C		>260					T0611
溶解度, %		>99					T0607
密度 (15℃), g/cm ³		实测					T0603
TFOT/ RTFOT	软化点增长, °C	< 8	< 8	< 8	< 8	< 9	T0606
	残留针入度比, %	>65	> 65	> 65	> 62	> 60	T0604
	质量变化, %	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.6	-

4.3 外掺剂

当采用表1中标号为35及50的沥青时,可采用外掺剂来提高混合料的模量,外掺剂宜选用高模量改性剂。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 HMAC的配合比设计分为目标配合比设计、生产配合比设计及生产配合比验证三个阶段,最终确定混合料的原材料、矿料级配及最佳沥青用量。

5.1.2 混合料的技术指标应满足表2的规定,不符合技术要求的混合料,必须更换原材料或重新进行配合比设计。

表2 混合料配合比设计技术指标

技术指标	技术要求	试验方法
空隙率, %	≤ 4	T0705
冻融劈裂残留强度比, %	≥ 80	T0729
车辙变形率 (60℃), %	≤ 7.5	附录 A
动稳定度 (60℃), 次/mm	≥ 4000	T0719
低温弯曲破坏应变 (-10℃), $\mu\epsilon$	≥ 2200	T0715
复数模量 (15℃, 10Hz), MPa	≥ 14000	附录 B
130 $\mu\epsilon$ 疲劳寿命 (10℃, 25Hz), 次	≥ 10 ⁶	附录 C

5.2 矿料级配

5.2.1 宜采用表3所示工程设计级配范围。

表3 矿料级配推荐范围

级配类型		通过下列筛孔的质量百分率 (%)								
		19.0mm	16.0mm	13.2mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	1.18 mm	0.6 mm	0.075 mm
HMAC20	上限	100	95	87	76	58	40	30	20	8
	下限	100	86	75	63	42	28	18	11	5
HMAC16	上限	—	100	90	78	60	44	32	22	8
	下限	—	100	78	63	44	30	20	13	5
HMAC13	上限	—	—	100	75	60	42	28	22	8
	下限	—	—	100	60	43	28	18	12	5

5.3 设计标准

5.3.1 HMAC 采用旋转压实试验方法制备试件,宜优先采用附录 D 方法,采用其它旋转压实试验方法时,竖向压强应为 0.6MPa,旋转压实角内角 $(0.82 \pm 0.02)^\circ$,外角 $(1 \pm 0.02)^\circ$ 。

5.3.2 混合料最佳油石比应根据旋转压实试验结果结合性能指标综合确定。不同公称粒径 HMAC 旋转压实试件的体积空隙率要求见表 4,空隙率为 6%时对应的沥青用量为最小沥青用量。

表4 旋转压实空隙率要求

混合料类型	旋转压实次数 (N)	空隙率 (%)
HMAC13	100	<6
HMAC16	100	<6
HMAC20	120	<6

5.4 目标配合比设计

5.4.1 目标配合比设计宜按图 1 所示步骤进行。配合比设计阶段,混合料的拌和温度应根据所用沥青的标号按表 5 确定。

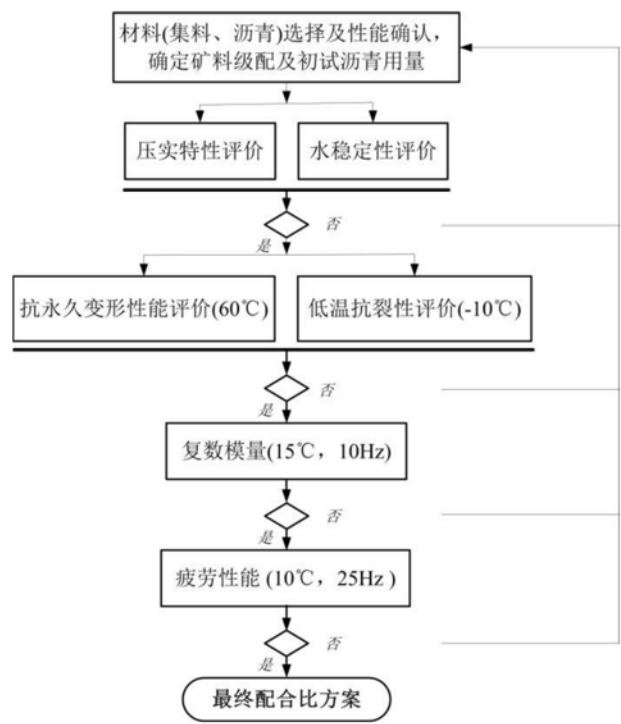


图1 目标配合比设计步骤

5.5 生产配合比设计

5.5.1 按规定方法取各热料仓材料，确定热料仓配合比，取目标配合比设计确定的最佳沥青用量 OAC 、 $OAC \pm 0.3\%$ 共三个沥青用量进行旋转压实试验和试拌，通过室内试验及从拌和机取样试验综合确定生产配合比的最佳沥青用量，由此确定的最佳沥青用量与目标配合比设计的结果差值不宜大于 $\pm 0.2\%$ 。

5.6 生产配合比验证

5.6.1 拌和机按生产配合比结果进行试拌、铺筑试验段，并取样进行旋转压实试验，同时从路上钻取芯样测试空隙率的大小，由此确定生产用的标准配合比。

6 生产与施工

6.1 一般规定

6.1.1 HMA 施工的最低气温应不低于 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，混合料最低摊铺温度不得低于 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 本标准关于 HMA 生产与施工未尽事项应符合 JTG F40 的有关要求。

6.2 混合料生产

6.2.1 HMA 的拌和时间应根据具体情况经试拌确定，以沥青均匀裹覆集料为度。拌和机每盘的生产周期不宜少于 45 s （其中干拌时间不少于 $5\text{ s} \sim 10\text{ s}$ ），采用外掺剂或改性沥青时拌和时间宜延迟 5 s 以上。

6.2.2 HMAC 的生产温度应根据所用沥青标号来确定，具体可参照表 5 的范围选择，并根据实际情况适当调整，集料加热温度比沥青温度高 10℃～30℃。添加外掺剂时，生产温度宜在表 5 的范围内选择高值。

表5 生产温度

沥青标号	沥青加热温度（℃）	出料温度（℃）	废弃温度（℃）
15	180～190	170～190	>210
20	175～185	165～185	>200
25	175～185	165～185	>200
35	170～180	165～185	>200
50	160～170	165～185	>200

6.3 压实及成型

6.3.1 压实成型的路面应符合压实度与平整度的要求，不同最大公称粒径 HMAC 的分层厚度应符合表 6 的要求。

表6 分层厚度

单位为 mm

最大公称粒径	13.2	16.0	20.0
最小厚度	50	60	80
一般厚度	60～80	70～100	90～150

6.3.2 压实过程中的施工温度应符合表 7 的要求。

表7 压实温度

单位为 ℃

沥青标号	15	20	25	35	50
开始碾压的混合料内部温度，不低于	160	160	155	155	155
碾压终了的表面温度，不低于	100	100	90	90	90
开放交通的路表温度，不高于	50	50	50	50	50

6.3.3 压路机应以慢而均匀的速度碾压，压路机的碾压速度应符合表 8 的规定。

表8 碾压方案

碾压程序	压路机类型	碾压遍数（遍）	碾压速度（km/h）
初压	≥12T 钢轮压路机	前静后振 2	1.5～2
复压	≥25T 轮胎压路机	3～6	2～3
终压	≥12T 钢轮压路机	1～2	2.5～3

7 施工过程中的质量管理与检查

7.1 抽检频率

同一工程，原材料、配合比及生产工艺不变的条件下，HMAC 应按如下要求进行抽检：

- 应按 10000 t 为一批，超过 5000t 不足 10000 t 时按一批，进行混合料水稳定性、高温稳定性及低温抗裂性抽检；

b) 应进行不少于一次的复数模量和疲劳寿命抽检。

7.2 质量控制

7.2.1 施工过程中质量检查的内容、频度允许误差应符合表 9 的规定。

表9 施工过程中质量控制标准

检查项目		检查频度	质量要求或允许偏差	试验方法
混合料外观		随时	观察集料粗细、均匀性、离析、色泽、冒烟、有无花白料、油团等各种现象	目测
混合料 施工温度	出厂温度	每车料 1 次	符合相关规定	温度计实测
	到现场温度			
	初压温度			
	终压温度			
矿料级配, 与 生产配合比 的差 (%)	0.075 mm	逐盘在线检测	±2	计算机采集数据计算
	2.36 mm		±4	
	≥4.75 mm		±5	
	0.075 mm	逐机检查, 每天汇总 1 次, 取平均值评定	±1	按总量检验
	2.36 mm		±2	
	≥4.75 mm		±2	
	0.075 mm	每日每机上、下午各1次	±2	拌和机取样, 抽提后筛分
	2.36 mm		±3	
	≥4.75 mm		±4	
沥青用量, 与生产配合比的差 (%)		逐盘在线检测	±0.3	计算机采集数据计算
		逐机检查, 每天汇总 1 次, 取平均值评定	±0.1	按总量检验
		每日每机上、下午各1次	±0.2	拌和机取样, 抽提
空隙率 (%)		每日每机上、下午各1次	不大于 4	拌和机取样, 室内旋转压实
压实度 (%)		每层 1 次/200m/车道	不小于 98 (试验室标准密度) 不小于 96 (最大理论密度)	现场钻芯试验
厚度 (mm)		1 次/200m/车道	不超过-4	现场钻芯检查并随时插入量测, 每日用混合料总量校核
平整度 (mm)		每车道连续检测	不大于 1	连续式平整度仪检测
渗水系数 (ml/min)		每层 1 次/200m/车道	不大于 50	渗水仪

7.2.2 施工过程中其它质量控制要求, 应符合 JTG F40 有关热拌沥青混合料的相关规定。

附录 A
(规范性附录)
沥青混合料车辙敏感性试验方法

A.1 目的与适用范围

本方法规定采用沥青混合料车辙敏感性测试仪测定沥青混合料在充气轮胎重复碾压荷载作用下的车辙深度的方法，用于评价沥青混合料的高温抗永久变形性能。

此法适用于集料最大粒径不大于31.5mm的沥青混合料。

A.2 仪器与材料技术要求

A.2.1 沥青混合料车辙敏感性测试仪，包括：

- a) 沥青混合料车辙敏感性测试仪主机。
- b) 标准配套试模，包括：
 - 1) 2套 H50 500×180 规格试模；
 - 2) 2套 H100 500×180 规格试模。
- c) 配套温度传感器及温度测量与记录系统；
- d) 配套量具组合，包括用以测量车辙深度的尺架与游标卡尺，游标卡尺精度不大于0.1mm。
- e) 电钻与Φ6钻头（用于在混合料试件上钻孔以埋置温度传感器）；
- f) 空气压缩机：能够为试验系统提供稳定的动力荷载，输出气源压强不低于0.6MPa；
- g) 其它：黄油、防粘剂、隔热手套等。

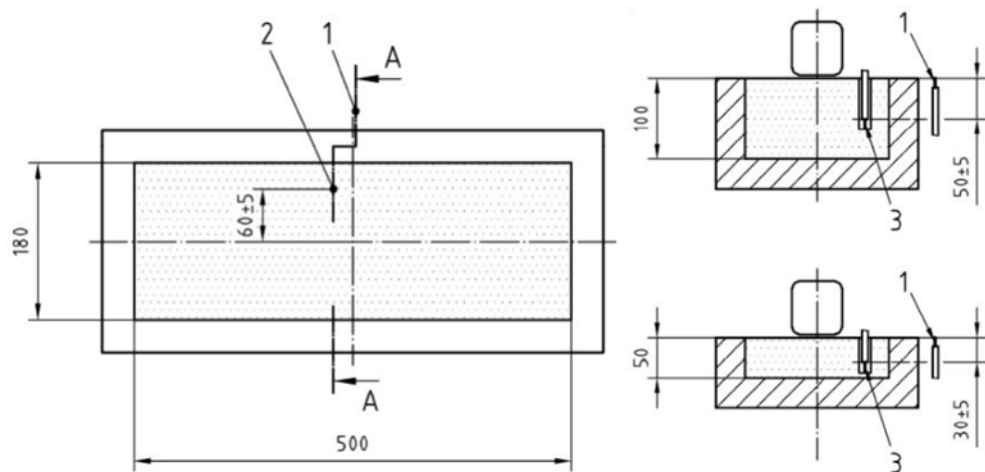
A.3 方法与步骤

A.3.1 准备工作

A.3.1.1 按照附录E方法室内制备试件或从路面现场切割尺寸满足要求的试件，室温放置48h后备用，车辙试验试件应符合如下要求：

- a) 试验室制备的混合料试件或路面实地切割的试件装入试模后，其上表面应与试模上缘齐平。
- b) 平行的2块混合料试件的体积密度与其平均体积密度之差不得超过±1%。
- c) 对于摊铺层厚度≤50mm的混合料进行试验时，采用50mm厚的试模制件；对摊铺层厚度>50mm的混合料，采用100mm厚的试模制件。
- d) 试件冷却后，翻转试件使其下表面朝上，若试件下表面发现有≥5mm的间隙存在而又不能处理（用石膏填补）时，试件不得采用。
- e) 对于厚度为50mm的试件，在温度测点（其布置点见下图A.1）附近的区域里，试件厚度偏差不得大于2.5mm；对于厚度大于50mm的试件，偏差不得大于试件厚度的5%。

A.3.1.2 按图A.1所示，在试件上指定位置按要求钻孔，并以黄油填充钻孔。

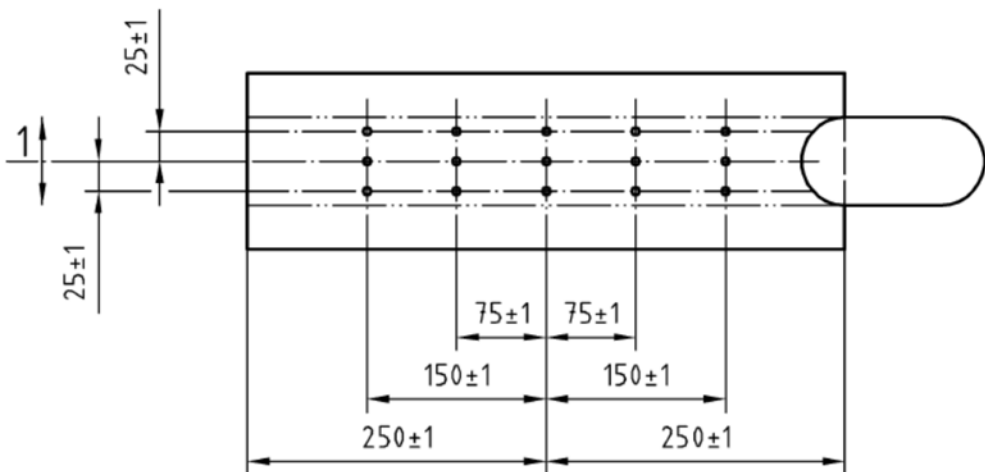


说明：

1——空气温度传感器； 2——置于试件内的试验温度传感器； 3——试验敏感性温度传感器。

图A.1 钻孔示意图

- A. 3. 1. 3 将准备好的 2 块试件安置于车辙测试仪两边的平台上,将所有温度传感器插入钻好的孔中(共 4 支), 连接并打开温度数据采样和记录系统。
- A. 3. 1. 4 检查碾压轮轮胎是否洁净, 并涂抹适量防粘剂(以防止试验过程中混合料粘轮引起过热), 将轮胎气压充至 $600\text{ kPa} \pm 30\text{ kPa}$ 。
- A. 3. 1. 5 关闭恒温箱箱门, 在恒温箱温度保持为 $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行 1000 次预碾压。
- A. 3. 1. 6 按图 A. 2 所示的 15 个测点位置, 对每个试件上的每个点进行初始车辙测量、记录, 以此确定试件初始表面形状分布。测量完成后将试件安装于试验平台上。



图A.2 测点位置示意图

- A. 3. 1. 7 将恒温箱温度设置在试验温度后启动加热, 试验前, 试件需在试验温度下养护 12 h~16 h。
- A. 3. 2 试验步骤

A.3.2.1 试件养护完成后，调整试验平台的支撑力，确认碾压胎压无误，启动试验。

A.3.2.2 碾压累计往返次数至 1000 次、3000 次、10000 次和 30000 次时（不计预压 1000 次），分别测量并记录每块试件上 15 个测点的车辙深度。除最后一次测量外，每次测量记录完成后应关闭恒温箱待箱内温度恢复到试验温度后方可继续进行碾压。当设置的总碾压次数全部完成后或试验中测得的平均车辙深度超过 18 mm 时，试验结束。

A.3.2.3 试验过程中，试件的温度应控制在试验温度 $\pm 2^\circ\text{C}$ 的范围内。每次启动碾压前需首先确认试件温度。

A.4 计算

A.4.1 车辙变形率计算：根据试验中每次从试件上测得的 15 个局部变形值 m_{ij} 以及试件厚度 h ，按公式 (A.1) 计算车辙变形率 P_i (%)：

$$P_i\% = 100 - \sum_{j=1}^{15} \frac{m_{ij} - m_{0j}}{15h} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

P_i ——试件车辙变形率 (%)；

m_{ij} ——试件局部变形值 (mm)；

m_{0j} ——试件上 j 点处的初始局部变形值 (mm)；

h ——试件厚度 (mm)。

A.4.2 绘制试件的车辙变形率曲线：在双对数坐标系中绘出车辙变形率 P_i 关于加载次数 N 的曲线 $\ln(P_i) = f(\ln(N))$ 。

A.4.3 计算混合料的平均车辙变形率：计算相同配比和相同空隙率的试件在相同碾压次数 N 时的平均车辙变形率 P 。

A.5 报告

A.5.1 以至少 2 块试件的平均车辙变形率作为一种试验材料的车辙敏感性试验结果。

A.5.2 试验报告中应注明试件成型方法、厚度、空隙率及其确定方法、存放时间和条件以及试验温度和平行试件数量，并给出车辙变形率随加载次数的变化曲线。

附录 B
(规范性附录)
沥青混合料复数模量测试方法

B.1 目的与适用范围

本方法规定采用沥青混合料复数模量及疲劳性能测试仪对沥青混合料梯形试件进行动态弯曲加载确定其复数模量。

本方法适用于集料的最大粒径不大于31.5 mm的沥青混合料。

B.2 仪器与材料技术要求**B.2.1 沥青混合料复数模量与疲劳性能测试仪包括：**

- a) 复数模量测试计算机程序控制系统；
- b) 梯形试件变形及力传感与测量系统；
- c) 标准配套附件，包括：
 - 1) 铝合金基准试件（校验用）；
 - 2) 用于固定梯形试件的上、下垫板；
 - 3) 用于粘结梯形试件的操作平台。

B.2.2 通风环流恒温箱：试验过程中恒温箱中试件所处 10 mm 临近区域里的平均温度应控制在试验温度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 范围内。

B.2.3 沥青混合料梯形试件切割机：可从按照附录 E 方法制备的 $600\times 400\times e$ 大型板块中切割出满足表 B.1 尺寸要求的梯形试件，梯形试件尺寸的精度要求为 $\pm 1\text{ mm}$ 。表中，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。

表B.1 梯形试件尺寸要求

梯形试件尺寸 (mm)	粒料最大粒径 $D=13.2\text{mm}$	粒料最大粒径 $D=19\text{ mm}$
B	56	70
b	25	25
e	25	25
h	250	250

B.2.4 游标卡尺，精度不大于 0.1 mm。

B.2.5 天平，感量不大于 0.1 g。

B.2.6 试件粘结剂（如双组份高强环氧树脂）。

B.2.7 其它：手套、内六角扳手、玻璃器皿（用于搅拌双组分环氧树脂）等。

B.3 方法与步骤

B.3.1 准备工作

B.3.1.1 梯形试件切割，用于复数模量测试的梯形试件应满足如下要求：

- a) 梯形试件的规格尺寸满足表 B.1 要求，表中 D 为集料的最大公称粒径（mm）；
- b) 梯形试件由切割机从按照附录 E 方法制备的 600×400×e 规格板块中经数控工序切割得到，其中轴线必须与大型板块试件的水平轴线平行；
- c) 为避免变形，切割完成的梯形试件应放置于平整处，避免受阳光照射，气温不超过 30℃。
- d) 用于复数模量测试的梯形试件最少为 4 件，测量并记录每一个试件的尺寸及重量，输入计算机控制系统；
- e) 梯形试件的体积密度：每一试件的体积密度与同一批次所有试件的平均体积密度的偏差不得超过 1%，否则该试件废弃。

B.3.1.2 取满足要求的干燥试件，将其顶部与底部涂以粘结剂后仔细与下垫板（底部）和上垫板（顶部）对接粘结。操作过程需借助梯形试件粘结操作平台进行，以保证对位准确和粘结牢固。

B.3.1.3 将粘结牢固的试件与上下垫板固定于测试仪的加载平台上，设定应变水平（小于 $50\ \mu\epsilon$ ）及试验加载频率。

B.3.1.4 进行试验时，对于每个试验温度，试件都必须在此温度下养护至少 4h 方可开始试验。进行不同温度的试验时，应从最低温度开始。

B.3.2 试验步骤

B.3.2.1 启动加载程序，在试件顶部施加按照正弦波形式变化的微变形（该正弦荷载的持续时间可在 30 s～120 s 之间设定）。

B.3.2.2 系统自动按照从高到低的频率对试件进行加载，并实时采集试件顶部的位移 z 及由此产生的载荷力 F ，二者间的相位差 ϕ 由程序根据加载阶段最后 10s 测量的数据计算并记录。

B.3.2.3 需要推导材料的复数模量主曲线时，应至少在 4 个不同的温度（间隔不超过 10℃）下每次取至少 3 个不同频率（间隔在对数坐标轴上相等，最大频率与最小频率之比至少为 10）进行测试。

B.4 计算

B.4.1 试验中系统测得的量值为：载荷力 F 、试件顶部位移 z 及二者间的相位差 ϕ 。

B.4.2 混合料复数模量的实部 E_1 与虚部 E_2 由程序根据公式（B.1）、（B.2）分别计算：

$$E_1 = \gamma \frac{F}{z} \cos(\phi) \frac{\mu}{10^3} \omega^2 \dots\dots\dots (B.1)$$

$$E_2 = \gamma \frac{F}{z} \sin(\phi) \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

γ ----形状因子

F ----载荷力 () ;

Z ----试件顶部位移 () ;

μ ----质量因子

ω ----

ϕ ----试件顶部位移的相位差 () 。

特征因子 γ 及 μ 分别按以下公式 (B.3) 、 (B.4) 计算:

$$\gamma = \frac{12L^3}{b(h_1 - h_2)^3} \left[\left(2 - \frac{h_2}{2h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right] \dots\dots\dots (B.3)$$

$$\mu = 0.135M + m \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

γ ----试件的形状因子, 随试件的规格和尺寸变化;

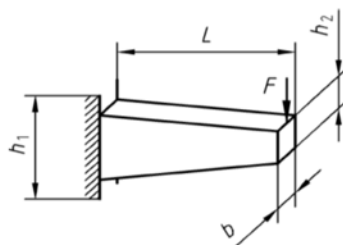
μ ----质量因子, 通过惯性影响合力, 由试件的质量 M 及与试件顶部同时发生位移的上垫板的质量 m 决定 (M 和 m 以 g 计) ;

h_1 ----;

h_2 ----;

b ----。

(h_1 、 h_2 和 b 见图B.1所示)。



图B.1 梯形试件示意图

测试仪程序根据公式 (B.5) 、 (B.6) 分别计算材料的复数模量的模 $|E^*|$ 和相位角 ϕ 。

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\phi = \arctan \frac{E_2}{E_1} \dots\dots\dots (B.6)$$

B.5 报告

B.5.1 以至少4个梯形试件复数模量的平均值作为一种试验材料的复数模量试验结果, 试验结果包括复数模量和相位角。

B.5.2 试验报告中应注明切割梯形试件的板型试件的拌和与成型方法，用于复数模量试验的梯形试件的存放时间和条件、平行试件个数、空隙率及其确定方法，复数模量试验条件（试验温度、频率、应变水平）。有多个加载频率时，给出复数模量随加载频率的变化图示。

附 录 C
(规范性附录)
沥青混合料疲劳性能试验方法

C.1 目的与适用范围

本方法规定采用沥青混合料复数模量及疲劳性能测试仪通过对沥青混合料梯形试件进行动态弯曲加载确定其疲劳特性。

本方法适用于集料最大粒径不大于31.5 mm的沥青混合料。

C.2 仪器与材料技术要求

C.2.1 沥青混合料复数模量与疲劳性能测试仪包括：

C.2.1.1 复数模量测试计算机程序控制系统。

C.2.1.2 梯形试件变形及力传感与测量系统。

C.2.1.3 标准配套附件，包括：

铝合金基准试件（校验用）；

用于固定梯形试件的上、下垫板；

用于粘结梯形试件的操作平台。

C.2.2 通风环流恒温箱：试验过程中恒温箱中试件所处10mm临近区域里的平均温度应控制在试验温度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 范围内。

C.2.3 沥青混合料梯形试件切割机：可从按附录E方法制备的 $600\times 400\times e$ 大型板块中切割出满足附表B.1尺寸要求的梯形试件，梯形试件尺寸的精度要求为 $\pm 1\text{ mm}$ 。

C.2.4 游标卡尺，精度不大于0.1 mm。

C.2.5 天平，感量不大于0.1 g。

C.2.6 试件粘结剂（如双组份高强环氧树脂）。

C.2.7 其它：手套、内六角扳手、玻璃器皿（用于搅拌双组分环氧树脂）等。

C.3 方法与步骤

C.3.1 准备工作

C.3.1.1 梯形试件切割，用于疲劳性能测试的梯形试件应满足如下要求：

- a) 梯形试件的规格尺寸满足附表A.1要求，表中D为集料的最大公称粒径（mm）；
- b) 梯形试件由切割机从按照附录E方法制备的 $600\times 400\times e$ 规格板块中经数控工序切割得到，其中轴线必须与大型板块试件的水平轴线平行；
- c) 为避免变形，切割完成的梯形试件应放置于平整处，避免受阳光照射，气温不超过 30°C ；

- d) 测量并记录每一个用于疲劳性能测试的梯形试件的尺寸及重量，输入计算机控制系统；
- e) 梯形试件的体积密度：每一试件的体积密度与同一批次所有试件的平均体积密度的偏差不得超过 1%，否则该试件废弃。

C.3.1.2 取满足要求的干燥试件，将其顶部与底部涂以粘结剂后仔细与下垫板（底部）和上垫板（顶部）对接粘结。操作过程需借助梯形试件粘结操作平台进行，以保证对位准确和粘结牢固。

C.3.1.3 将粘结牢固的试件与上下垫板固定于测试仪的加载平台上，设定疲劳试验加载频率、破坏标准（疲劳试验终止条件）等参数，调整试件顶部施加的应变水平至试验要求值 $\pm 5 \mu \varepsilon$ 。

C.3.1.4 开启恒温箱进行养护，试件必须在试验温度下养护至少 4 小时后方可开始启动试验。

C.3.2 实验步骤

C.3.2.1 启动试验加载程序，对试件顶部反复施加固定的按正弦波形式变化的位移荷载（设定值 $\pm 5 \mu \varepsilon$ ），直至达到试验终止条件后停止。

C.3.2.2 试验加载过程中，测试仪在每 250 个加载周期中测量试件的反作用力（测量精度 $\pm 2\%$ ）、反作用力平均值、对应的位移 z_i 和应变值 ε_i 。满足试验终止条件的总加载次数 N_i 的精度为 300 次。

C.3.2.3 加载应变水平的选取：应变水平 ε_i 的选取应考虑满足以下条件：

- a) 其值在对数坐标系中大致均匀分布；
- b) 至少进行 3 个应变水平的试验，各应变水平上试验的试件数量大致相同；
- c) 使得至少有 1/3 的试件具有 $N \leq 106$ ，而至少另外 1/3 的试件获得 $N \geq 106$ 的结果；
- d) 同一种材料至少需要 18 个试件的试验才能获得有效的疲劳试验结果，得到疲劳方程。

C.4 计算

C.4.1 根据试验中系统记录的应变水平 ε_i 材料疲劳寿命 N_i ，经线性回归可得到材料在双对数坐标系下的线性疲劳方程，如公式 (C.1)：

$$\lg(N) = a + b \lg(\varepsilon) \cdots \cdots \cdots (C.1)$$

其中：

a-----

b-----

C.4.2 由 n 个试件的试验结果，测试仪程序可估算到疲劳寿命为 100 万次时对应的破坏应变

$\varepsilon_6 = 10^{b \times (6 - a)}$ 、标准偏差 S_N 及质量指数 $\Delta \varepsilon_6$ 等。

C.5 报告

C.5.1 以至少 6 个梯形试件疲劳寿命的平均值作为一种试验材料在某一应变水平下的疲劳试验结果。

C.5.2 试验报告中应注明切割梯形试件的板型试件的拌和与成型方法，用于疲劳试验的梯形试件的存放时间和条件、空隙率及其确定方法，疲劳试验条件（试验温度、频率、应变水平、终止条件），每一应变水平下的平均疲劳寿命 N 和标准差 S_N ，疲劳直线及其图示、疲劳方程及其相关系数 R^2 ，以及由此得到的破坏应变 ϵ_{60} 与 $\Delta\epsilon_{60}$ 。

附录 D
(规范性附录)
PCG旋转压实试验方法

D.1 目的与适用范围

本方法规定使用PCG旋转压实仪成型 ϕ 150 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力学性质测定。

本试验方法得到的试样在旋转压实过程中空隙率(或压实度)随旋转压实次数的变化曲线也适用于评价混合料的压实特性。

本方法适用于粒料最大粒径小于31.5 mm的沥青混合料的旋转压实试验。

D.2 仪器与材料技术要求

D.2.1 PCG 沥青混合料旋转压实仪:包括旋转压实仪主机、计算机控制系统、配套金属圆筒试模、金属上、下压盘及脱模工具等。

D.2.2 试验室用沥青混合料拌和机:容量不小于 10 L。

D.2.3 烘箱:大、中型各 1 台,装有温度调节器。

D.2.4 天平或电子秤,感量不大于 0.1 g。

D.2.5 温度计:宜采用有金属杆的插入式数显温度计,量程 0℃~300℃,分度值 1℃。

D.2.6 其它:托盘、拌和铲、刮刀、隔热手套、垫纸等。

D.3 方法与步骤

D.3.1 准备工作

D.3.1.1 按照规范方法准备矿料及沥青,拌制沥青混合料,或按规范方法从拌和厂或施工现场取代表性沥青混合料。

D.3.1.2 将预热用的模具、旋转压实试模及其配套上、下压盘置于已加热至试验温度 $\pm 10^\circ\text{C}$ 的烘箱内放置至少 30min。

D.3.1.3 旋转压实开始前 15min~30min 将预热用的模具放入 PCG 套筒内,对设备进行预热。

D.3.1.4 打开旋转压实仪电源开关,设定试件参数、试件数量、旋转压实次数、混合料最大理论密度、油石比等参数。

D.3.1.5 用小毛刷在试模内壁上均匀涂抹薄层润滑剂,放入下压盘及圆形纸片,将备好的混合料快速装入试模,调整混合料重量精确至 $\pm 0.1\%$,将混合料表面整平后在顶面盖上一张圆形纸片,最后盖上上压盘。

D.3.1.6 试模中应装入的混合料质量 m 根据公式 (D.1) 计算:

$$m = 10^{-9} \pi D^2 / 4 h_{\min} \rho_m \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

m ——应装入试模中的混合料质量 (kg);

D ——试模内径 (mm);

$h_{\min}$ ——设定的混合料完全压实后 (空隙率为0) 的高度 (mm), $h_{\min}$ 与 D 的比值应满足0.66~1.05;

ρ_m ——混合料的最大理论密度 (kg/m³)。

D.3.2 试验步骤

D.3.2.1 取出旋转压实仪中的预热模,将装有沥青混合料的试模放入旋转压实仪中并拧紧旋转压实套筒的上固定端头,启动计算机程序,旋转压实仪将按照设定好的工作参数开始自动成型试件。

D.3.2.2 试验过程中旋转压实仪自动连续记录不同压实次数下的试件高度,以此计算并显示混合料的孔隙率及压实度随压实次数的变化。

D.3.2.3 到达规定的旋转压实次数后,压实结束,等待设备复位后松开上固定端头,从旋转压实仪中取出试模。

D.3.2.4 成型好的热试件不宜马上脱模,需在室温下适当冷却3~5min,需继续进行性能试验的试件或孔隙率较大的试件,应适当延长冷却时间,脱模后的试件应小心挪放,进一步冷却后揭去垫在试件底面和顶面的圆形纸片。

D.4 计算

D.4.1 PCG 旋转压实仪在压实混合料的过程中自动测量每次旋转压实后试样的高度 $h(n_g)$ 。试样在压实过程中对应空隙率根据公式 (D.2) 计算:

$$v(n_g)\% = 100 \frac{h(n_g) - h_{\min}}{h(n_g)} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

$v(n_g)$ ——旋转压实 n_g 次时试件的空隙率 (%);

$h(n_g)$ ——旋转压实 n_g 次时试件的高度 (mm);

$h_{\min}$ ——同公式 (D.1)。

D.5 报告

D.5.1 除非另有规定,以至少三次平行试验的平均值作为一种给定混合料的试验结果。

D.5.2 试验过程中若经20次以上旋转压实后同组各试件的高度变异系数大于1.5%,试验应作废。

D.5.3 试验报告应包括拌和及压实温度、旋转压实仪的内旋转角、旋转速度、轴向压力及完成指定旋转压实次数时的空隙率,并给出空隙率随旋转压实次数的变化曲线。

附 录 E
(规范性附录)
沥青混合料板型试件制备方法

E.1 目的与适用范围

本方法规定采用BBPAC轮碾成型机压实制备沥青混合料板型试件，根据试验需要，可制备用于车辙性能试验的板型试件，也可制备用于切割梯形试件（用于复数模量及疲劳性能测试）的大型板块试件。本方法适用于粒料最大粒径小于31.5mm的沥青混合料。

E.2 仪器与材料技术要求

E.2.1 BBPAC 沥青混合料轮碾压实仪，包括：

- a) BBPAC 沥青混合料轮碾压实仪主机及控制台。
- b) BBPAC 配套标准金属试模，共三种规格：
 - 1) H50, 500 mm×180mm ;
 - 2) H100, 500 mm×180mm ;
 - 3) H150, 600 mm×400mm。
- c) 试模支撑金属框架和底盘，各两种规格，分别用于车辙试验制件和疲劳与模量试验制件；
- d) 充气碾压单轮（用于制备车辙试验的板型试件）；
- e) 充气碾压双轮（用于制备切割梯形试件的大型板块）。

E.2.2 试验室用沥青混合料拌和机：用于制备车辙试件的拌和锅容量不小于 10 L，用于制备大型板块的拌和锅容量不小于 75 L。

E.2.3 烘箱：大、中型各 1 台，装有温度调节器。

E.2.4 空气压缩机：能够为试验系统提供稳定的动力荷载，输出气源压强不低于 0.6 MPa。

E.2.5 天平或电子秤，感量不大于 0.1 g。

E.2.6 温度计：宜采用有金属杆的插入式数显温度计，量程 0℃～300℃，分度值 1℃。

E.2.7 其它：防粘剂、隔离剂、托盘、拌和铲、刮刀、隔热手套、牛皮纸等。

E.3 方法与步骤

E.3.1 准备工作

E.3.1.1 按照规范方法准备矿料及沥青，拌制沥青混合料，或按规范方法从拌和厂或施工现场取代表性沥青混合料。

E.3.1.2 打开轮碾成型机控制台电源开关，开启空气压缩机，根据板型试件的类型，更换碾压轮、试模支撑框架及底盘，并在碾压轮上涂抹一层防粘剂，调整碾压轮胎压至初始胎压。

E.3.1.3 混合料拌和前至少 15min 将金属试模放入不低于 150℃ 的烘箱中加热，混合料拌和结束后在出料前将试模安装并固定于轮碾成型机支撑位置。

E.3.1.4 用小毛刷在试模内壁上均匀涂抹薄层隔离剂，在底盘铺满一层牛皮纸，将备好的混合料一次性快速装入试模，四周进行插捣，混合料表面应中间略高于四周。

E.3.1.5 试模中需要加入的混合料质量按公式 (E.1) 计算：

$$m = 10^{-9} L B e \rho_m \frac{100 - v}{100} \dots\dots\dots (E.1)$$

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 ——混合料最大理论密度 (kg/m³)；

v ——设定的混合料压实后试件的空隙率 (%)，一般取旋转压实试件的体积孔隙率。

E.3.2 试验步骤

E.3.2.1 将 BBPAC 初始化，根据采用的碾压图谱将定位选择旋钮旋至对应位置，将各计数器清零。

E.3.2.2 根据选择的碾压图谱调整汽缸工作状态（锁定或自由）及支撑底盘的千斤顶压力。

E.3.2.3 根据选择的碾压图谱设置压实程序，按下启动开关，执行压实程序。

E.3.2.4 碾压完成后，至试件降至室温后方可脱模，大型板块试件应至少放置 24 h 后方可脱模。

E.4 报告

E.4.1 试验报告中应注明试模规格以及试件厚度、混合料制件密度（或空隙率）、板型试件重量 M 以及混合料拌和及压实温度。

E.5 附录—BBPAC 碾压图谱

E.5.1 车辙试验试件制备见表 E.1 所示。

表E.1 制备500×180规格板型试件（用于车辙试验）的单轮压实图谱

碾压轮不同位置时的碾压次数 ^a						碾压轮 胎压 (MPa)	千斤顶 压力 (kN)	碾压 起点	碾压轮横向位 置换算系数 ^b (mm)	碾压轮高度 定位模式
前		中		后						
	累计 ^{a)}		累计 ^{a)}		累计 ^{a)}					
1		1		1		0.1	1	右	75	锁定
1		1		1						
2	2	1	1	2	2	0.6	5	右	45	自由
2	4	1	2	2	4					
4	8	2	4	4	8					
8	16	4	8	8	16					
8	24	4	12	8	24					
4	28	2	14	4	28					
2	30	1	15	2	30					
2	32	1	16	2	32					
1		1		1		0.6	5		45	锁定
1		1		1						

^a 碾压轮执行一个完整的往或返碾压行程为一次碾压。

^b 碾压过程中，只有当碾压轮轴高度定位模式为“自由”模式时才进行碾压次数累计。

E.5.2 大规格平板试件制备见表 E.2。

表E.2 制备600×480规格大型板块试件（用于切割梯形试件）的双轮压实图谱

碾压轮不同位置时的碾压次数 ^a						碾压轮 胎压 (MPa)	千斤顶 压力 (kN)	碾压 起点	碾压轮横向位 置换算系数 ^b (mm)	碾压轮高度 定位模式
前		中		后						
	累计 ^{a)}		累计 ^{a)}		累计 ^{a)}					
1		1		1		0.1	2	右	75	锁定
1		1		1						
2	2	1	1	2	2	0.6	10	右	63	自由
2	4	1	2	2	4					
4	8	2	4	4	8					
8	16	4	8	8	16					
8	24	4	12	8	24					
4	28	2	14	4	28					
2	30	1	15	2	30					
2	32	1	16	2	32					

表E.2 制备600×480规格大型板块试件（用于切割梯形试件）的双轮压实图谱（续）

碾压轮不同位置时的碾压次数 ^a						碾压轮 胎压 (MPa)	千斤顶 压力 (kN)	碾压 起点	碾压轮横向位 置换算系数 ^b (mm)	碾压轮高度 定位模式
前		中		后						
	累计 ^{a)}		累计 ^{a)}		累计 ^{a)}					
1		1		1		0.6	10		63	锁定
1		1		1						
^a 同表E. 1。 ^b 同表E. 1。										