



T/CECS G XXXX: 2017

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路低标号沥青高模量沥青混 合料应用技术规程

Technical regulations for application of high modulus asphalt
mixture using low penetration bitumens in highway

中国工程建设标准化协会发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路低标号沥青高模量沥青混合料 应用技术规程

Technical regulations for application of high modulus asphalt mixture
using low penetration bitumens in highway

T/CECS G: ××-××-××××

主编单位：河北省交通规划设计院

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2020 年 XX 月 XX 日

人民交通出版社股份有限公司

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2015 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2015]044 号）的要求，由河北省交通规划设计院承担《公路低标号沥青高模量沥青混合料应用技术规程》（以下简称“本规程”）的制订工作。

编写组在总结国内高模量沥青混合料应用近二十年来的工程经验和相关科研成果的基础上，以完善和提升采用低标号沥青的高模量沥青路面技术为核心，完成了本标准的编写工作。

本标准分为 5 章和 5 篇附录，主要内容包括总则、术语和符号、材料及混合料设计、施工、质量管理与检查，附录 A 旋转压实试验方法，附录 B 高温稳定性试验方法、附录 C 动态模量测试方法、附录 D 疲劳性能试验方法及附录 E 沥青混合料板型试件成型方法。

本标准基于通用的工程建设理论及原则编制，适用于本标准提出的应用条件。对于某些特定专项应用条件，使用本标准相关条文时，应对适用性及有效性进行验证。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由吉林省松原市交通运输局或吉林中路新材料有限责任公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本标准日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或孟会林（地址：河北省石家庄市桥西区振岗路 120 号；邮编：050091；传真：0311-83058757；电子邮箱：smenghl@163.com），以便修订时研用。

主编单位：河北省交通规划设计院

参编单位：交通运输部公路科学研究

中国路桥工程有限责任公司

主编：王庆凯

主要参编人员：李彦伟、孟会林、王旭东、闫涛、薛善光、周兴业、焦彦利、马华宝、张蕾、王笑森、曹振民、袁建、金海兵、鞠秀颖、汪淼、吕欢

主审：路凯冀

参与审查人员：

参加人员：

征求意见稿

目 次

1 总则.....	- 1 -
2 术语、符号	- 1 -
2.1 术语.....	- 1 -
2.2 符号.....	- 2 -
3 基本规定	- 2 -
4 材料及混合料设计	- 3 -
4.1 沥青.....	- 3 -
4.2 集料.....	- 4 -
4.3 混合料设计.....	- 4 -
5 施工.....	- 13 -
5.1 施工准备.....	- 13 -
5.2 混合料生产	- 14 -
5.3 混合料运输.....	- 15 -
5.4 压实与成型.....	- 15 -
6 质量管理与检查	- 16 -
6.1 原材料.....	- 16 -
6.2 混合料.....	- 17 -
6.3 路面.....	- 18 -
附录 A 旋转压实试验方法	- 19 -
附录 B 高温稳定性试验方法.....	- 22 -
附录 C 动态模量测试方法	- 26 -
附录 D 疲劳性能试验方法	- 31 -
附录 E 沥青混合料板型试件成型方法.....	- 35 -

1 总则

1.0.1 为规范采用低标号沥青的高模量沥青路面的原材料、配合比设计、施工及施工过程中的质量管理与检查，保证高模量沥青路面工程的质量，特制定本规程。

条文说明国内对高模量沥青混合料的研究应用已经有十余年，各地采取的技术措施不同，对混合料的技术要求也不同，且多数与法国的高模量沥青混合料不同，本规程的目的在于规范采用低标号沥青的高模量沥青路面的原材料技术要求、配合比设计、施工及施工过程中的质量管理与检查。

1.0.2 低标号沥青高模量沥青路面施工应遵守国家安全生产的有关法律法规，建立健全安全生产管理体系，明确安全责任，严格执行安全操作规程，保障施工人员的职业健康，保证施工安全。

1.0.3 低标号沥青高模量沥青混合料设计与施工，除应符合本规范的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 低标号沥青

指在 25℃ 条件下，按标准试验方法测得的针入度不大于 30 (0.1mm) 的基质沥青。

2.1.2 高模量沥青混合料

指在同等标准测试条件下测得的静态或动态模量较普通沥青混合料具有显著提高的沥青混合料。

2.1.3 动态模量

沥青混合料试件在一定温度、加载频率及周期性或非周期性动态荷载作用下，应力与应变幅值之比，以 MPa 计。

2.1.4 疲劳破坏应变

根据疲劳试验结果得到的疲劳寿命为 100 万次时对应的加载应变。

2.1.5 车辙变形率

一定的温度和碾压次数后，平均车辙深度与试件初始厚度的比值。

2.2 符号

本规程各种符号、代号及其意义见表 2.2。

表2.2 符号及代号

编号	符号或代号	意义
2.2.1	HMAC	高模量沥青混合料
2.2.2	TFOT	薄膜烘箱老化
2.2.3	RTFOT	旋转薄膜烘箱老化
2.2.4	MS	马歇尔试验稳定度
2.2.5	FL	马歇尔试验流值
2.2.6	VMA	压实沥青混合料矿料间隙率
2.2.7	VFA	压实沥青混合料沥青饱和度
2.2.8	SGC	Superpave 旋转压实仪
2.2.9	GTM	美国工程兵旋转试验机

3 基本规定

3.0.1 本规程规定的低标号沥青高模量沥青混合料适用于冬严寒区以外的气候区域，适用于各等级公路新建及改扩建工程路面结构的中、下面层。

条文说明 采用低标号沥青的高模量沥青混合料具有优良的抗永久变形及抗疲劳性能，但低温抗裂性与普通 70 号沥青混合料相当或略差一些，因此，为充分发挥高模量沥青混合料的优势，避免其不足之处，本规程规定高模量沥青混合料用于冬严寒区以外气候区域公路工程路面结构的中、下面层。

3.0.2 高模量沥青混凝土路面可选择半刚性基层结构、厚沥青混凝土结构和全厚式沥青混凝土结构。选定结构组合形式后，按照《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）有关规定确定各结构层厚度。

条文说明 半刚性基层结构是指采用无机结合料稳定材料修筑基层和底基层，且沥青混凝土面层厚度不大于 15cm 的路面结构；厚沥青混凝土结构指沥青混凝土结构层厚度大于 20cm，并采用半刚性或粒料类材料作为下基层，或下基层和底基层的路面结构；全厚式沥青混凝土是指采用沥青混凝土修筑基层，或基层和底基层，路面沥青混凝土材料结构层厚度大于 30cm 的路面结构。

3.0.3 不同公称最大粒径HMAC的分层厚度应符合表3.0.3的要求。

表3.0.3 分层厚度（mm）

公称最大粒径	9.5	13.2	16.0	19.0
一般厚度	50~60	60~80	70~100	90~150
最小厚度	40	50	60	80

条文说明 《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 中规定沥青层一层的压实厚度不宜小于集料最大公称粒径的 2.5~3 倍, 实际工程中一般取 3 倍, 如 AC13 沥青混合料结构层的最小施工厚度为 4cm。但为充分发挥高模量沥青层的强度优势, 同时保证沥青层的材料及强度均匀性, 本规程参照法国沥青混合料设计指南“LPC Bituminous Mixtures Design Guide”中的相关规定, 确定不同最大公称粒径高模量沥青混合料层的结构层厚度, 与现行规定相比, 结构层平均厚度与最小厚度均略有提高。

当高模量沥青混合料结构层厚度确定后, 应综合考虑应用层位, 优先选择公称最大粒径较小的混合料类型。

3.0.4 HMAC 施工的最低气温应不低于 10℃。

条文说明 我国现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 中规定高速公路和一级公路沥青路面不得在气温低于 10℃ 的条件下施工, 其它等级公路沥青路面施工最低气温不得低于 5℃。考虑到低标号沥青具有较高的温度敏感性且黏度相对较大, 本规程统一规定高模量沥青路面施工的最低气温应不低于 10℃, 混合料最低摊铺温度不得低于 160℃。

4 材料及混合料设计

4.1 沥青

4.1.1 HMAC 可采用的低标号沥青技术指标要求见表 4.1.1。

表 4.1.1 沥青技术指标要求

指标		沥青标号		试验方法
		15	25	
针入度 (25℃), 0.1mm		10~20	20~30	T0604
软化点 (T&B), °C		63~73	55~63	T0606
60℃动力粘度, Pa·s		> 800	> 450	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	T0606
	残留针入度比, %	> 65	> 65	T0604
	质量变化, %	< 0.5	< 0.5	T0609 或 T0610

条文说明 根据规程主编单位的大量试验结果, 沥青混合料的动态模量、特别是梯形梁两点弯曲动态模量与所用基质沥青的针入度显著相关, 沥青针入度

越小，混合料的动态模量越高。在合适的沥青用量前提下，不论采用何种矿料级配，为保证混合料的两点弯曲动态模量不低于 14000MPa，所用沥青的针入度最大不得超过 30 (0.1mm)，一般应在 25 (0.1mm) 以下。另一方面，沥青针入度过低，如 10 (0.1mm) 以下，则沥青混合料的低温抗裂性及抗疲劳性能显著降低。因此，在参照 EN 13924 系列标准的基础上，综合考虑对国内生产的低标号沥青的试验评价，确定如表所示的低标号沥青技术指标体系及要求。

4.2 集料

4.2.1 所用粗集料、细集料及填料应符合JTG F40的有关要求。

条文说明依托科研项目，主编单位对多种来源的石灰岩、玄武岩，甚至花岗岩进行过混合料性能评价，均满足高模量沥青混合料的技术要求。因此，本标准对低标号沥青高模量沥青混合料多用的集料无特殊要求，仅规定所用集料应符合JTG F40规范对集料的有关要求即可。

4.3 混合料设计

4.3.1 HMAC的配合比设计包括以下步骤。

(1) 目标配合比设计阶段。采用工程实际使用的材料确定满足要求的矿料级配及各档矿料的掺配比例；采用规定的设计方法确定沥青用量；按照确定的矿料级配及沥青用量进行混合料性能验证。混合料满足设计技术标准和性能检验即确定了目标配合比。

(2) 生产配合比设计阶段。按照目标配合比确定的矿料掺配比例上料，按规定方法取样检测各热料仓的材料级配，确定各热料仓的产配比例，供拌和机控制室使用。同时选择适宜的筛孔尺寸和安装角度，尽量使各热料仓供料平衡，不出现等料、溢料的情况。取目标配合比设计确定的沥青用量及上下各浮动0.3%共3个沥青用量旋转压实或马歇尔试验，结合室内试验及拌和机取样试验综合确定生产配合比的沥青用量，由此确定的沥青用量与目标配合比设计的结果相差不宜大于±0.2%。

(3) 生产配合比验证阶段。现场按生产配合比设计结果进行试拌、铺筑试验段，并取样进行旋转压实或马歇尔试验，同时从路上取芯观察空隙率的大小，由此确定生产用的标准配合比。标准配合比的矿料合成级配中，至少应包括0.075mm、2.36mm、4.75mm及公称最大粒径筛孔的通过率接近优选的工程设计级配范围的中值。对确定的标准配合比，宜再次进行车辙试验和水稳定性检验。

4.3.2 HMAC的目标配合比设计宜按图4.3.2所示步骤进行。配合比设计中，混合料的最大理论密度采用计算法确定，混合料的拌和温度应根据所用沥青的标号按表5.2.2-1确定。

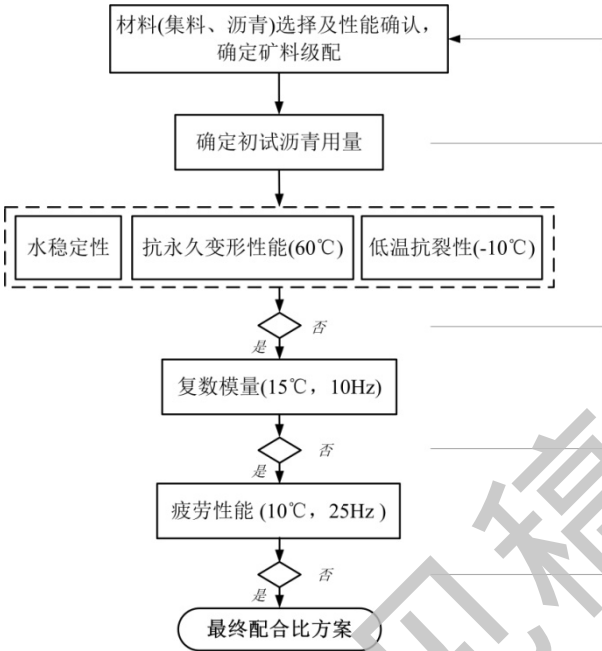


图4.3.2 目标配合比设计步骤

条文说明 完整的高模量沥青混合料配合比设计过程包括原材料选择、混合料组成设计、基本路用性能检验及力学性能检验四部分，与国内目前采用的方法相比主要是增加了模量与疲劳两项力学性能指标的检验，因此，整个设计周期也较长，一般需要约3周左右的时间。具体设计过程遵循由简到繁的原则，即先进行试验简单、耗时短的路用性能指标进行检验，满足要求后再进行试验相对复杂、耗时相对较长的力学性能指标进行检验，直至完成整个配合比设计过程。

HMAC配合比性能检验时，车辙变形率和动稳定度选择其中一项指标检验即可。动态模量和疲劳破坏应变指标根据检测单位实际情况选择其中一种试验方法进行检验。路用性能指标是配合比设计中必须进行检验的项目，是否需要进行模量或者疲劳性能指标的检验，需要结合项目实际情况或根据项目的重要性来确定。

4.3.3 HMAC宜采用表4.3.3所示工程设计级配范围。

表4.3.3 矿料级配推荐范围

级配类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）								
		19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
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

级配类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）								
		19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
HMAC13	上限	—	—	100	75	60	42	28	22	8
	下限	—	—	100	60	43	28	18	12	5
HMAC10	上限	—	—	—	100	70	43	35	30	7.5
	下限	—	—	—	100	45	31	20	13	6.5

条文说明为保证混合料具有较高模量的同时具有良好的抗疲劳性能，高模量沥青混合料一般采用连续级配，根据主编单位及国内多家科研院所完成的试验结果，采用骨架级配，减少细集料用量，虽然可以保证混合料的密实性并获得较高的动态模量，但即使采用较大的沥青用量也很难保证混合料的抗疲劳性能满足要求。因此，在国内研究及应用的基础上，提出上表所示高模量沥青混合料设计推荐连续级配范围。

另一方面，本规程规定高模量沥青混合料用于沥青路面的中、下面层，工程上一般会采用较大的矿料粒径，但为保证高模量沥青层的材料及强度均匀性，综合考虑国内现实情况及经济成本，本规程建议高模量沥青混合料所用矿料的最大公称粒径不超过20.0mm，因此仅给出了HMAC20、HMAC16、HMAC13及HMAC10四种规格的高模量沥青混合料矿料级配范围。实际上，在法国，高模量沥青混合料的最大公称粒径已经从20.0mm下降至14.0mm，其目的同样也是为了提高高模量沥青层的均匀性，以保证路面结构层不出现局部缺陷。

4.3.4 HMAC的初试沥青用量应根据旋转压实试验结果确定，也可采用马歇尔试验方法确定。采用旋转压实试验时，混合料的技术指标应符合表4.3.4-1要求，采用马歇尔试验方法时，相应的混合料技术指标应符合表4.3.4-2的规定。

表4.3.4-1 旋转压实技术要求

混合料类型	旋转压实次数 N	体积空隙率（%）
HMAC10	80	<6
HMAC13	100	<6
HMAC16	100	<6
HMAC20	120	<6

表4.3.4-2 HMAC马歇尔试验技术标准

试验指标	公称最大粒径（mm）			
	9.5	13.2	16.0	19.0
击实次数（双面），次	75			
试件尺寸，mm	Φ101.6mm×63.5mm			
空隙率，%，不大于	4			
稳定度 MS，kN，不小于	15			
流值 FL，mm	2~4			
矿料间隙率 VMA，%，不小于	12.5	12.0	11.5	11
沥青饱和度 VFA，%	70~80		65~75	

条文说明 本规程推荐采用旋转压实方法确定HMAC的初试沥青用量，但鉴于旋转压实仪在国内仍未普及，特别是工地试验室一般均不配置，因此，本规程基于主编单位试验对比研究，提出了采用马歇尔方法确定HMAC沥青用量的基本技术指标与要求。

4.3.5 一般情况下，不同级配HMAC的最小油石比不小于表4.3.5中的数值。

表4.3.5 不同级配HMAC最小油石比

级配类型	HMAC10	HMAC13	HMAC16	HMAC20
最小油石比	5.0%	4.8%	4.5%	4.5%

条文说明作为高模量沥青混合料配合比设计中的一项重要参数，沥青胶结料用量一直是国内高模量沥青混合料研究及应用中的关注的焦点。《道路用高模量抗疲劳沥青混合料》（GBT 36143-2018）中规定高模量沥青混合料的最小沥青用量应不低于 5.2%，对应的油石比约为 5.5%，该值的确定充分参考了法国沥青混合料设计指南中关于高模量沥青混合料丰度系数 K（类似于国内的沥青膜厚度）不小于 3.4 的要求。但作为指南性文件，丰度系数 K 实际上并没有强制性要求，其在国内的适用性同样值得研究。

根据主编单位、交通运输部公路科学研究院等多家单位的试验结果，采用国内生产的低标号沥青，即使沥青用量不满足丰度系数K的要求，混合料的路用性能及力学性能也可满足要求，反而满足K值要求的沥青混合料其模量指标有可能无法满足要求。因此，综合考虑，本规程规定高模量沥青混合料胶结料的确定应根据压实特性试验结合性能试验结果综合确定。但根据试验结果，采用表2所示连续矿料级配时，HMAC20及HMAC16的油石比一般不低于4.5%，HMAC13的油石比一般不低于4.8%，而HMAC10的油石比一般不低于5.0%，建议值与AC级配70号沥青混合料的油石比相比略高，但相差不大。

4.3.6 旋转压实试验宜优先采用附录A方法，采用SGC、GTM等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±0.02）°，外角（1±0.02）°。

条文说明 高模量沥青混合料配合比设计时采用旋转压实方法成型试件，目前国际上旋转压实方法主要有三种，其一是法国 PCG 旋转压实成型方法，即本规程推荐优先采用的方法，主要参照规范 EN12697-31；其二是源自 SHRP 的 SGC 旋转压实制件方法，在国内应用较多；其三是源自美国工程兵的 GTM 旋转压实制件方法，在国内亦有应用，特别是在河北广泛应用取得了良好效果。三种方法的工作原理本质相同，均通过施加的竖向压力和因旋转而产生的剪切力实现混合料压实的结果。不同之处在于三者的旋转压实设备工作参数、压实结束条件及空隙率计算方法。具体对比见表 4.3.6 所示。

表4.3.6 旋转压实方法对比

压实设备 工作参数		SGC	GTM	PCG
旋转压实角度	内部	$1.16 \pm 0.02^\circ$	0.8°	$0.82 \pm 0.02^\circ$
	外部	$1.25 \pm 0.02^\circ$	—	$1.0 \pm 0.02^\circ$
转速		$30 \pm 0.5 r/min$	$12 \sim 18$	$30 \pm 0.5 r/min$
竖向压力		$0.6 \pm 0.018 MPa$	一般采用 $0.7 MPa$	$0.6 \pm 0.018 MPa$
试件直径		$150 \pm 0.1 mm$	$101.6 mm$	$150 \pm 0.1 mm$
结束条件		指定旋转次数或 指定高度	平衡状态	指定旋转次数
空隙率计算方法		$V = (1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}) \times 100$ 式中, γ_f 为采用表干法测得的试件毛体积密度; γ_t 为混合料试件的最大理论密度。	$V = (1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t}) \times 100$ 式中, γ_f 为采用表干法测得的试件毛体积密度; γ_t 为混合料试件的最大理论密度。	$V = (1 - \frac{h_{min}}{h_n}) \times 100$ 式中, h_{min} 为试件空隙率达到 0 时的最小高度; h_n 为旋转压实 n 次后试件的高度。

从旋转压实设备工作参数可见, PCG 旋转压实角度与 GTM 基本一致, 均明显小于 SGC, 而 PCG 的竖向压力与 SGC 一致, 均小于 GTM, 因此, PCG 的旋转压实功小于 SGC 与 GTM, 达到相同的压实度, PCG 需要更多的旋转压实次数。另一方面, 从空隙率的计算方法可见, PCG 设备给出的空隙率包含试件表面的开口空隙, 实际上为体积空隙率, 因此, 即使试件实际压实度相同, PCG 给出的空隙率也偏大。

SGC 旋转压实要求试件的表干法空隙率不大于 4%; GTM 旋转压实方法对空隙率没有具体要求, 但平衡状态下试件的表干法空隙率实际上仅有 2% 左右, 甚至更小; PCG 旋转压实方法要求试件的体积空隙率不大于 6%。根据主编单位及苏交科集团的试验对比, 当连续级配采用 PCG 旋转压实得到混合料体积空隙率不大于 6% 时, 采用表干法检测混合料的空隙率将不大于 4%, 即按照 PCG 旋转压实方法进行配合比设计时, 试件的表干法空隙率同样满足我国现行规范中采用马歇尔或 SGC 方法时对空隙率的要求。因此, 本规范推荐采用附录 A 所示 PCG 旋转压实方法进行高模量沥青混合料的配合比设计, 但不具备条件, 采用 SGC 或 GTM 进行设计时, 建议旋转压实仪的工作参数调整至与 PCG 一致。同时, 给出采用 PCG 旋转压实方法进行配合比设计时体积空隙率的要求, 由此可确定 HMAC 的沥青用量, 并用于性能指标检验。

4.3.7 HMAC 的水稳定性采用 T0729 标准冻融劈裂试验方法进行检验, 高温抗永久变形性能可采用本规程附录 B 或 T0719 的方法, 试验温度均为 $60^\circ C$; 低温性能检验采用 T 0715 方法, 试验温度 $-10^\circ C$ 。

4.3.8 基本路用性能均满足要求, 则进一步检验 HMAC 的动态模量, 可采用本规程的附录 C 或 T0738 的方法, 试验温度均为 $15^\circ C$, 加载频率均为 10Hz。

4.3.9 动态模量满足要求，则最后检验HMAC的疲劳性能，可采用本规程的附录D或T0739的方法，试验温度均为10℃，采用附录D方法时加载频率为25Hz，采用T0739方法时加载频率为10Hz。

4.3.10 HMAC的性能技术指标应满足表4.3.10-1的规定，不符合技术要求的混合料，必须重新进行配合比设计或更换原材料。

表4.3.10-1 混合料配合比设计技术指标

技术指标		技术要求	试验方法
冻融劈裂残留强度比，%	不小于	80	T0729
车辙变形率（60℃），%	不大于	7.5	附录 B
动稳定度（60℃），次/mm	不小于	4000	T0719
低温弯曲破坏应变（-10℃）， $\mu\epsilon$	不小于	2200	T0715
动态模量（15℃，10Hz），MPa	不小于	14000	附录 C
		18500	T0738
10^6 次疲劳破坏应变， $\mu\epsilon$	不小于	130（10℃，25Hz）	附录 D
		240（10℃，10Hz）	T0739

条文说明

（1）水稳定性

法国标准中规定采用多列士试验评价高模量沥青混合料的水稳定性，试验方法参照标准EN12697-12。该方法通过静压成型直径120mm的圆柱体试件，让后将试件分为两组，对照组试件在温度为（18±1）℃、湿度为（50±10）%的条件下放置7天，条件组试件在浸水后1h内完成负压饱水，然后在负压（47±3）kPa的条件下浸水2h±10min，取出后在温度为（18±1）℃的水浴中浸泡7天。最后在18℃的条件下对两组试件进行单轴抗压强度试验，以条件组和对照组的抗压强度比作为评价水稳定性的指标，对高模量沥青混合料，要求该值不低于70%。

多列士试验采用的试件较大、试模笨重，操作不便，且试验周期较长，因此，本规程放弃采用多列士试验评价高模量沥青混合料的水稳定性。根据国内已有研究结果及主编单位的多项试验结果，采用连续级配的高模量沥青混合料水稳定性一般均能满足要求，且标准规范中的冻融劈裂试验在评价高模量沥青混合料水稳定性方面与多列士试验结果接近，因此，本规程规定采用冻融劈裂试验评价高模量沥青混合料的水稳定性。根据研究及试验结果，冻融劈裂残留强度比控制在80%比较合理。

（2）高温稳定性

沥青混合料的高温稳定性评价国际上有多种方法，将法国的标准车辙试验、美国的APA车辙试验及我国现行规范中的标准方法对比如下：

表4.3.10-2 车辙试验方法对比

试验设备 参数	法国车辙试验	美国 APA	国标车辙试验
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 次往返后， 车辙变形深度与试件厚 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

法国标准中对高模量沥青混合料高温稳定性的要求是30000次循环加载后车辙变形率不大于7.5%，根据调研的国内研究结果，这一标准对应的国标车辙试验动稳定度约为3500次/mm，另一方面，根据试验研究结果，即使采用较大的沥青用量，连续级配高模量沥青混合料的动稳定度也在4000次/mm以上。因此，将高模量沥青混合料60℃的动稳定度指标规定为不低于4000次/mm是可以接受的，也体现了高模量沥青混合料良好的高温稳定性。

此外，考虑到法国标准车辙试验采用充气轮胎加载且加载次数为国内车辙试验的10倍以上，具有一定的先进性，且国内交通运输部公路科学研究院、河北省交通规划设计院及苏交科集团等多家单位也具备开展此项试验工作的硬件基础，修订的《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E40）同样考虑纳入法国标准车辙试验等因素，本规亦将法国标准车辙试验列入高模量沥青混合料的技术指标体系，控制标准为60℃、30000次循环加载后车辙变形率不大于7.5%。附录B参照EN 12697-22标准给出了具体试验方法。

（3）低温抗裂性

由于气候比较温和，法国的沥青混合料技术标准体系中一直没有对低温性能的规定，近几年开始有所关注和研究，但尚未形成标准方法。欧盟标准体系中对混合料低温性能的评价规定采用低温单轴拉伸试验（即国内研究中的约束试件温度应力试验），标准编号为EN 12697-46。

我国现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E40）中规定采用小梁低温弯曲试验（T0715）评价沥青混合料的低温抗裂性，该方法具有广泛的应用基础，且沥青混合料的低温抗裂性在国内必须要进行检验。因此，本规程规定采用T0715小梁低温弯曲试验来评价高模量沥青混合料的低温抗裂性，试验温度为-10℃。

采用针入度等级为20（0.1mm）的国产低标号沥青进行了油石比为4.5%、4.8%及5.4%的低温弯曲试验，混合料为HMAC20型级配。试验结果表明，低标号沥青高模量沥青混合料的低温弯曲破坏应变基本上均在2200μ_ε以上。此外，本规程规定高模量沥青混合料用于沥青路面的中、下面层，且京港澳高速公路

京石段改扩建工程中低标号沥青高模量沥青路面实体工程已应用近5年，效果良好，在低温寒潮的侵袭下也未出现开裂。因此，本规程认为要求高模量沥青混合料-10℃的低温弯曲破坏应变不低于2200 $\mu\epsilon$ 是合理的。

(4) 动态模量

沥青混合料动态模量测定目前比较主流的是采用动态加载、圆柱体试件单轴压缩的方法进行，一般采用AMPT设备，另外常用的方法是采用梁形试件，包括法国的梯形梁两点弯曲加载以及矩形梁三点或四点弯曲加载两种方式，标准试验方法有EN12697-26。

我国现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E40）中规定采用AMPT单轴压缩的方式测试沥青混合料的动态模量，标准试验方法为T0738；《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）中关于沥青混合料动态模量第一水平取值的规定是按照T0738的方法测定，试验温度要求为20℃，加载频率10Hz；《道路用高模量抗疲劳沥青混合料》（GBT 36143-2018）中同样规定采用T0738的方法测定高模量沥青混合料的动态模量，但试验温度定为45℃，加载频率同样为10Hz；欧美国家的动态模量标准试验温度一般为15℃，加载频率同样为10Hz。

作为粘弹性材料，温度越高沥青混合料表现出的粘性成分比例越高，弹性比例越小，反之，则弹性比例越高。一般认为，沥青混合料动态模量测定应尽可能在弹性范围内进行，以保证试验的精度和可重复性。因此，从试验精度的角度考虑，本规程规定高模量沥青混合料动态模量的试验温度采用15℃，加载频率同样为10Hz。

在动态模量测定方法上，考虑到梯形梁两点弯曲测试方法纳入我国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E40）进程的加快以及该方法的独特之处，同时结合我国现行规范的要求及实际可操作性，本规程规定可根据实际情况选择两种方法之一来进行高模量沥青混合料动态模量的测定。同时，对采用低标号沥青、橡胶及SBS改性沥青和高模量添加剂在内的6种不同混合料进行了单轴压缩及两点弯曲动态模量试验，将两种方法测得的动态模量进行线性拟合，结果表明，两点弯曲动态模量与单轴压缩动态模量之间具有良好的线性相关性，相关系数 R^2 达到0.9以上，因此，可以通过拟合的关系式确定两者之间的等效关系。根据试验结果，当要求两点弯曲动态模量不低于14000MPa时，对应的单轴压缩动态模量应不低于18500MPa。

(5) 疲劳性能

沥青混合料室内小型试件疲劳试验方法同样繁多，北美国家多采用梁形试件进行重复加载的疲劳试验，欧洲国家多采用梯形试件悬臂端正弦波加载的疲劳试验，而采用圆柱体试件进行间接拉伸疲劳试验在日本开展的较多。另外还

有半圆弯曲疲劳试验方法、加铺层间接拉伸疲劳试验方法（OT）等。各种疲劳试验方法中，试件的破坏形式不尽相同，但本质上均是沥青与集料之间的界面破坏或沥青层的破坏。

EN12697-24标准中规定了梯形梁两点弯曲疲劳试验方法，同时也规定了小梁四点弯曲疲劳试验方法，我国现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E40）中仅规定了小梁四点弯曲疲劳试验方法T0739。两点弯曲与四点弯曲疲劳试验的加载图示及试件受力状态分别见图4.3.10-1及图4.3.10-2，显然两种方法不论在试件形状还是加载方式与受力状态方面，均显著不同。

对于高模量沥青混合料，法国沥青混合料设计指南“LPC Bituminous Mixtures Design Guide”中仅给出采用梯形梁两点弯曲疲劳试验方法在10℃、25Hz条件下得到的100万次疲劳加载破坏应变不小于130 $\mu\epsilon$ 的要求，其它欧美国家尚缺乏采用小梁四点弯曲疲劳试验方法时高模量沥青混合料破坏应变控制标准的研究。我国《道路用高模量抗疲劳沥青混合料》（GB/T 36143-2018）中规定采用T0739的方法评价高模量沥青混合料的抗疲劳性能，要求15℃、10Hz、230 $\mu\epsilon$ 加载条件下，疲劳破坏次数不小于100万次，也即15℃、10Hz加载条件下得到的100万次疲劳破坏应变不小于230 $\mu\epsilon$ 。

本规程主编单位对20号沥青、30号沥青、70号沥青及30号沥青添加PR高模量改性剂的四种混合料进行了两点弯曲与四点弯曲疲劳试验的对比，疲劳试验对比中，试验温度均为10℃，且均为正弦波加载、应变控制模式，疲劳试验的终止条件均为初始劲度模量衰减50%，但两点弯曲的加载频率为25Hz，而四点弯曲的加载频率为10Hz。

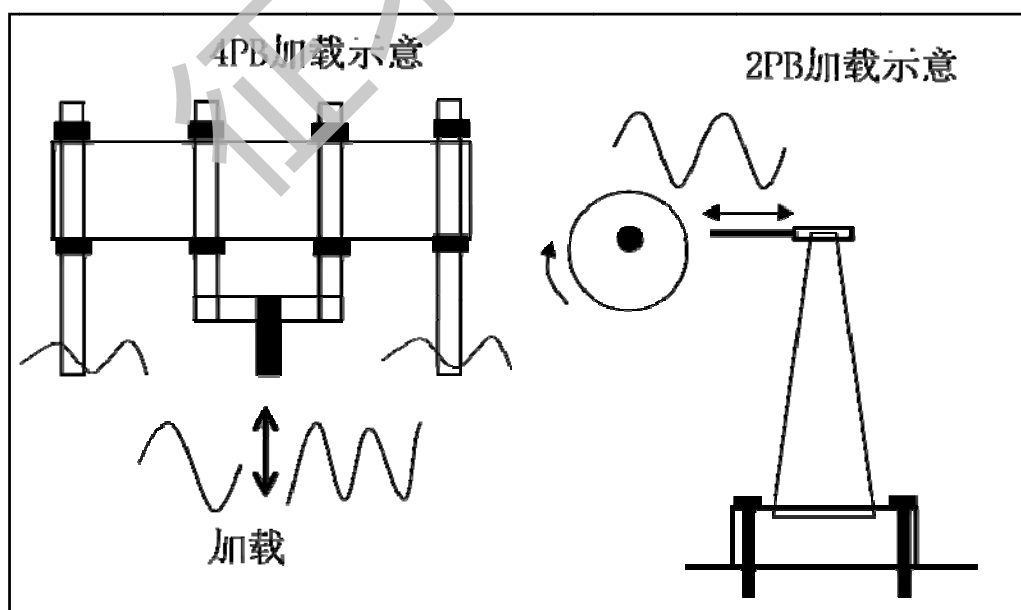


图 4.3.10-1 4PB 与 2PB 加载示意图

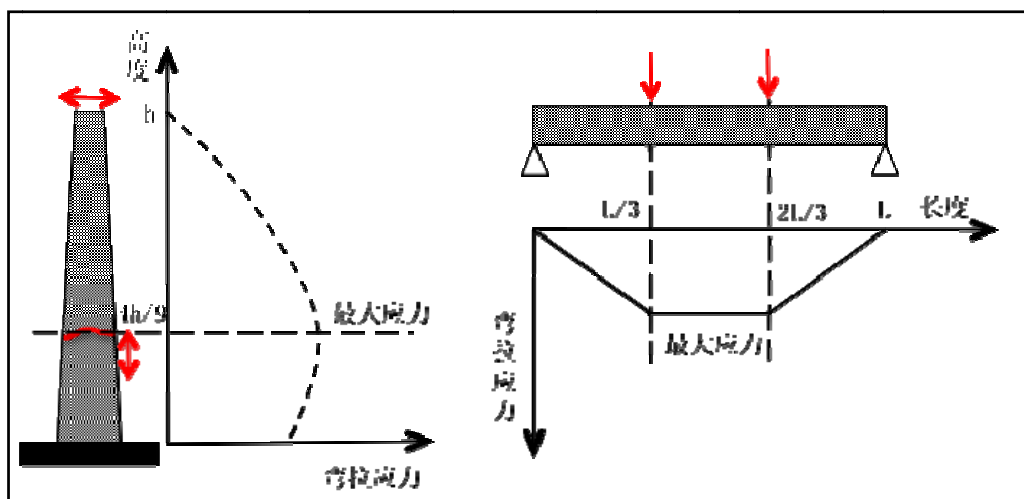


图4.3.10-2 4PB 与 2PB 试件受力示意图

根据疲劳试验结果在双对数坐标系下分别拟合疲劳曲线，根据得到的疲劳曲线方程计算100万次加载对应的破坏应变，将两点弯曲（2PB）与四点弯曲（4PB）疲劳破坏应变进行指数关系拟合。结果表明，10℃、25Hz条件下的两点弯曲破坏应变与10℃、10Hz条件下的四点弯曲破坏应变具有良好的指数相关性， R^2 达到0.87，根据拟合的关系式计算，两点弯曲疲劳破坏应变为 $130\mu\epsilon$ 时对应的四点弯曲疲劳破坏应变为 $236.1\mu\epsilon$ 。

在疲劳性能评价方法上，同样考虑到梯形梁两点弯曲测试方法纳入我国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E40）进程的加快以及该方法的独特之处，同时结合我国现行规范的要求及实际可操作性，本规程规定可根据实际情况选择两种方法之一来进行高模量沥青混合料疲劳性能的评价，同时规定采用两点弯曲疲劳试验方法时（附录D），加载条件为10℃、25Hz，100万次疲劳破坏应变应不小于 $130\mu\epsilon$ ，而采用四点弯曲疲劳试验方法时，加载条件为10℃、10Hz，根据试验对比结果，考虑一定的保证率，认为该方法下控制100万次疲劳破坏应变不小于 $240\mu\epsilon$ 是合理的。

4.3.11 HMAC生产配合比设计与验证的其它规定参照JTG F40的有关要求。

5 施工

5.1 施工准备

5.1.1 铺筑HMAC结构层前，应检查下承层的质量，不符合要求的不得铺筑HMAC层。

5.1.2 HMAC 层铺筑前，应将下承层清扫干净，并撒布粘层油，下承层为粒料类及非沥青稳定材料时，应先撒布透层油再撒布粘层油。粘层油及透层油的规格和质量应符合现行“公路沥青路面施工技术规范（JTG F40）”的要求。

5.2 混合料生产

5.2.1 HMAC 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 45s（其中干拌时间不少于 5s~10s）。

5.2.2 HMAC 的生产温度应根据所用沥青针入度水平来确定，具体可参照表 5.2.2-1 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℃。

表5.2.2-1 生产温度

沥青针入度（0.1mm）	沥青加热温度（℃）	出料温度（℃）	废弃温度（℃）
10~20	180~190	170~190	>210
20~30	175~185	165~185	>200

条文说明为确定低标号沥青的生产温度，首先采用布氏旋转黏度计对针入度等级为 10 号、20 号、30 号及 50 号四种沥青进行了不同温度下的黏度测试，试验采用 27 号转子，转速根据黏度试验结果调整，试验结果见表 5.2.2-2，不同沥青的黏温曲线见图 5.2.2 所示，根据黏温曲线确定的不同标号沥青混合料的拌合温度及碾压温度见表 5.2.2-3 所示。

表5.2.2-2 不同低标号沥青的旋转黏度试验结果

10 号		20 号		30 号		50 号	
温度/℃	旋转黏度 /Pa.s	温度/℃	旋转黏度 /Pa.s	温度/℃	旋转黏度 /Pa.s	温度/℃	旋转黏度 /Pa.s
135	25.24	100	14.69	100	10.09	100	4.54
160	6.49	135	1.80	135	0.89	135	0.67
175	2.44	160	0.62	160	0.32	160	0.11
200	0.78	175	0.41	175	0.12	175	0.06
/	/	190	0.15	/	/	/	/

表 5.2.2-3 不同低标号沥青混合料的拌合与碾压温度范围

沥青标号	拌合温度范围	碾压温度范围
10	224~229℃	215~219℃
20	186~191℃	176~181℃
30	166~170℃	158~162℃
50	154~158℃	146~150℃

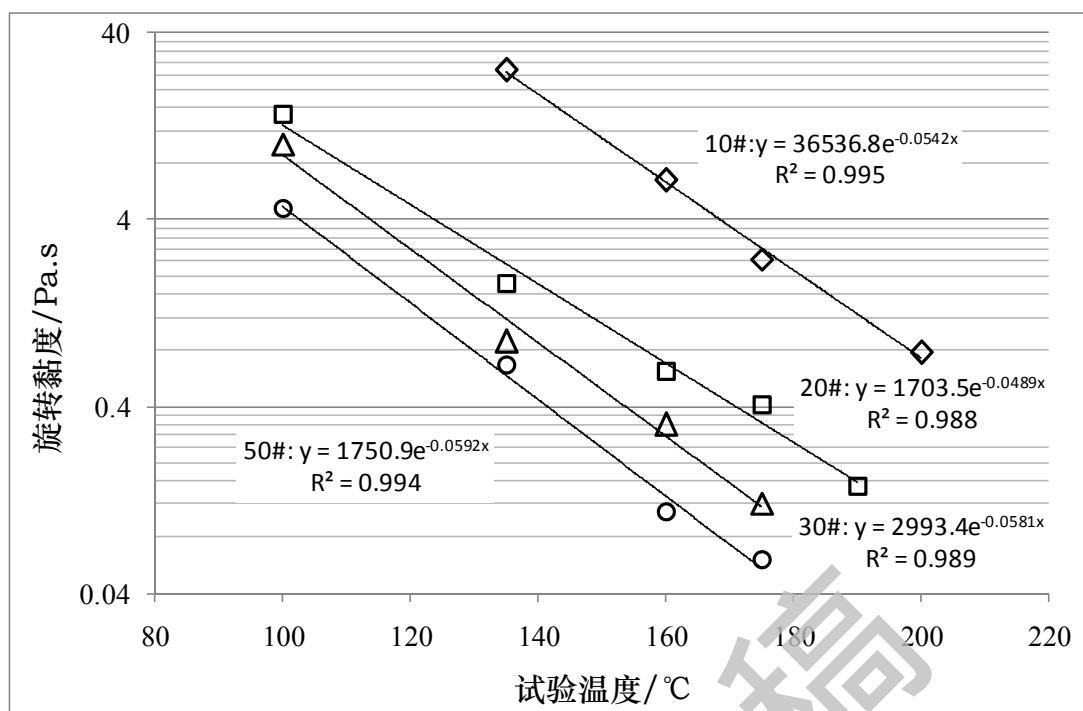


图 5.5.2 不同低标号沥青的黏温曲线

根据黏温曲线计算结果，参照《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）中规定的 50 号、70 号与 90 号沥青混合料施工温度范围，确定不同低标号沥青的生产温度。并要求集料加热温度比沥青温度高 10~30℃，当环境气温较低时，高模量沥青混合料的生产温度取高值。

5.3 混合料运输

5.3.1 采用低标号沥青的 HMAC 对施工温度要求较高，混合料运输过程中应注意采取必要的保温措施。

5.3.2 HMAC 其它运输要求按照 JTG F40 中对沥青混合料运输的有关规定。

5.4 压实与成型

5.4.1 HMAC 最低摊铺温度不得低于 160℃。施工过程中的温度应符合表 5.4.1 的要求。

表 5.4.1 压实温度（℃）

沥青针入度（0.1mm）	10~20	20~30
开始碾压的混合料内部温度，不低于	160	155
碾压终了的表面温度，不低于	100	90
开放交通的路表温度，不高于	50	50

条文说明 主要根据低标号沥青不同温度下的黏度试验结果，参照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40) 中的相关规定，确定低标号沥青的压实温度。

5.4.2 压路机应以慢而均匀的速度碾压，压路机的碾压遍数、碾压速度应符合表 5.4.2 的规定，具体采用的碾压工艺宜通过铺筑试验段来确定。

表5.4.2 碾压方案

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

条文说明 本规程规定的高模量沥青混合料采用连续级配，且沥青用量相对偏高，因此，施工和易性好，易压实。国内已有实体工程多按照 SBS 改性沥青混合料的碾压工艺进行高模量沥青路面施工，根据已有实体工程施工单位反馈结果，碾压过程中除个别情况出现混合料推移之外，无其它异常情况，且压实度能够保证。

本规程主编单位参与指导了京港澳高速京石段高模量沥青路面实体工程施工，单向 4 车道试验段铺筑时采用 3 台 VOGELE2100-2 型摊铺机错位平行摊铺，采用 2 台徐工 XP302 型胶轮与 4 台 DYNAPAC CC624HF 型双钢轮压路机组合的碾压方式，钢轮错轮 1/2 弱振碾压 2 遍进行初压，其后采用胶轮错轮 1/3 碾压 2 遍进行复压，最后采用钢轮强振 2 遍进行终压，施工过程未现异常，经检测，压实度均达到要求。因此，基于已有经验，结合高模量沥青混合料的组成特点，制定本规定 HMAC 碾压方案。

6 质量管理与检查

6.1 原材料

6.1.1 HMAC 生产过程中，必须按照表 6.1.1 规定的检查项目与频度，对各种原材料进行抽样试验，其质量应符合本规程或相关规定的技术要求。每个检查项目的平行试验次数或一次试验的试样数必须按相关试验规程的规定执行，并以平均值或相关规定统计值是否合格。未列入表中的材料的检查项目和频度按材料质量要求确定。

表6.1.1 施工过程中材料质量检查的项目与频度

材料	检查项目	检查频度		试验规程规定的平行试验次数或一次试验的试样数
		高速公路、一级公路	其他公路	
粗集料	外观（石料品种、含泥量等）	随时	随时	—
	针片状	随时	随时	2~3
	颗粒含量颗粒组成（筛分）	随时	必要时	2
				2

	压碎值	必要时	必要时	4
	磨光值	必要时	必要时	2
	洛杉矶磨耗值	必要时	必要时	2
	含水量	必要时	必要时	
细集料	颗粒组成（筛分）	随时	必要时	2
	砂当量	必要时	必要时	2
	含水量	必要时	必要时	2
	松方单位量	必要时	必要时	2
矿粉	外观	随时	随时	—
	<0.075mm 含量	必要时	必要时	2
	含水量	必要时	必要时	2
沥青	针入度	每 2~3 天 1 次	每周一次	3
	软化点	每 2~3 天 1 次	每周一次	2
	动力黏度	每 2~3 天 1 次	每周一次	3
	含蜡量	必要时	必要时	2~3

6.2 混合料

6.2.1 HMAC 生产过程中须按现行“公路沥青路面施工技术规范（JTG F40）”的有关规定进行质量控制，并按表 6.2.1 规定的项目和频度检查混合料产品的质量，如实计算产品的合格率。单点检验评价方法应符合相关试验规程的试样平行试验要求。

表6.2.1 HMAC的频度和质量要求

项目		检查频度及单点检验评价方法	质量要求或允许偏差	试验方法
混合料外观		随时	集料粗细、均匀性、离析、油石比、色泽、冒烟、有无花白料、油团等各种现象	目测
拌和温度	沥青、集料的加热温度	逐盘检测评定	符合本规程规定	传感器自动检测、显示并打印，出厂时逐车按 T 0981 人工检测
	混合料出厂温度	逐车检测评定	符合本规程规定	
		逐盘测量记录，每天取平均值评定	符合本规程规定	
矿料级配（筛孔）	0.075mm	逐盘在线检测	±1%	计算机采集数据计算
	≤2.36mm		±4%	
	≥4.75mm		±5%	
	0.075mm	逐盘检查，每天汇总 1 次取平均值评定	±1%	总量检验
	≤2.36mm		±2%	
	≥4.75mm		±2%	
	0.075mm	每台拌和机每天 1~2 次，以 2 个试样的平均值评定	±1%	T 0725 抽提筛分与标准级配比较的差
	≤2.36mm		±3%	
	≥4.75mm		±4%	
沥青用量（油石比）		逐盘在线监测	±0.1%	计算机采集数据计算
		逐盘检查，每天汇总 1 次取平均值评定	±0.1%	总量检验
		每台拌和机每天 1~2 次，以 2 个试样的平均值评定	±0.2%	抽提 T 0722、T0721

马歇尔试验: 空隙率、稳定度与流 值	每台拌和机每天 1~2 次, 以 4~6 个试件的 平均值评定	符合本规程规定	T 0702、T 0709
冻融劈裂试验	每 10000t 为一批, 超 过 5000t 不足 10000t 时 按一批	符合本规程规定	T0729
车辙试验	过 5000t 不足 10000t 时 按一批	符合本规程规定	T0719
低温弯曲试验	每个项目施工过程中不 少于 1 次	符合本规程规定	T0715
动态模量试验		符合本规程规定	附录 C 或 T0738
疲劳试验		符合本规程规定	附录 D 或 T0739

6.3 路面

6.3.1 HMAC 铺筑过程必须随时对铺筑质量进行评定, 质量检查的内容、频度、允许偏差应符合表 6.3.1 的规定。

表6.3.1 HMAC铺筑过程中工程质量的控制标准

项目		检查频度及 单点检验评价方法	质量要求或允许偏差	试验方法
外观		随时	表面平整密实, 不得有明显轮迹、 裂缝、推挤、油印、油包等缺陷, 且无明显离析	目测
接缝		随时	紧密平整、顺直、无跳车	目测
		逐条缝检测评定	3mm	T 0931
施工 温度	摊铺温度	逐车检测评定	符合本规程规定	T 0981
	碾压温度	随时	符合本规程规定	插入式温度计实测
厚度	每一层次	随时 厚度 50mm 以下 厚度 50mm 以上	设计值的 5% 设计值的 8%	施工时插入法量测松铺 厚度及压实厚度
	每一层次	1 个台班区的平均值 厚度 50mm 以下 厚度 50mm 以上	-3mm -5mm	总量检验
	总厚度	每 2000m ² 一点 单点评定	设计值的-5%	T 0912
压实度		每 2000m ² 检查 1 组 逐个试件评定并计算平 均值	实验室标准密度的 98% 最大理论密度的 94% 试验段密度的 99%	T 0924、T 0922
平整度 (最大间隙)		随时 接缝处单杆评定	3mm	T 0931
平整度 (标准差)		连续测定	1.2mm	T 0932
渗水系数		每层 5 点/km/车道	不大于 50 ml/min	T0971
宽度	有侧石	检测每个断面	±20mm	T 0911
	无侧石	检测每个断面	不小于设计宽度	
纵断面高程		检测每个断面	±10mm	T 0911
横坡度		检测每个断面	±0.3%	T 0911

附录 A 旋转压实试验方法

A.1 目的与适用范围

A.1.1 本方法适用于采用 PCG 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。

A.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。

A.1.3 本方法适用于集料最大粒径不大于 31.5mm 的沥青混合料的旋转压实试验。

A.2 仪器与材料技术要求

A.2.1 PCG 沥青混合料旋转压实仪主机及如下配件：

- 1 PCG 配套标准金属 $\phi 150\text{mm}$ 圆筒试模。
- 2 PCG 配套标准金属圆形压盘。
- 3 PCG 配套脱模器。

A.2.2 试验室用沥青混合料拌合机：容量不小于 10L 。

A.2.3 烘箱：大、中型各 1 台，装有温度调节器。

A.2.4 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 。

A.2.5 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 $0\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，分度值 1°C 。

A.2.6 其他：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。

A.3 方法与步骤

A.3.1 准备工作

1 按规范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。或按照规范方法在试验室拌制沥青混合料。

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 取出预热试模置于台秤或电子秤上，用毛刷在试模内壁上均匀涂抹一薄层润滑剂。

4 在试模下压盘上放一片圆形垫纸，台秤或电子秤归零后将称重、备好的混合料迅速通过漏斗装入试模，调整装入试模的混合料重量为 $M \pm 0.1\%$ ，将混合料表面整平，在顶面放一片圆形垫纸，将上压盘盖于垫纸上。

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。沥青用量较大时，要特别注意沥青析漏的风险。

6 在旋转压实开始前 15~30min 将预热模具放入压实仪中进行预热。

A.3.2 试验步骤

1 设定或复核预压力 P ， P 应在 150~3000N 范围内取值。

2 设定或复核压实力 F ，压实力取 11700N ($\phi 150\text{mm}$ 试模)。

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。

4 复核转速，试验采用恒定转速 30r/min ($\pm 10\%$)。

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。

6 设定旋转压实次数 n_g 。

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。

8 在程序中输入油石比、沥青密度、混合料理论最大密度及装入试模的混合料质量 M 。

9 将已填装混合料和压盘的试模放入 PCG 旋转压实仪中，固定顶盖。

10 启动程序，PCG 自动开始预压及压实，到达设定的旋转压实次数后，压实结束，等待设备复位后松开顶盖，从旋转压实仪中取出试模及混合料。

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。

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 3 个。

A.4 计算

A.4.1 按照式 (A-1) 计算试模中应装入的混合料质量 M 。

$$M = 10^{-9} \pi D^2 / 4 h_{\min} \rho_M \quad (\text{A-1})$$

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/m^3) 。

A.4.2 PCG 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 (n_g) , 按照式 (A-2) 计算试件在压实过程中对应的空隙率。

$$v(n_g)\% = 100 \frac{h(n_g) - h_{min}}{h(n_g)} \quad (\text{A-2})$$

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} —混合料完全压实后 (空隙率为0) 的最小高度 (mm) 。

A.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。

A.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。

A.5 报告

A.5.1 试验报告应该包括 PCG 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。

A.6 允许误差

A.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%。

A.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%。

附录 B 高温稳定性试验方法

B.1 目的与适用范围

B.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。

B.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。

B.1.3 本方法适用于按 T0786 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。

B.2 仪器与材料技术要求

B.2.1 车辙试验机：主要由以下部分组成：

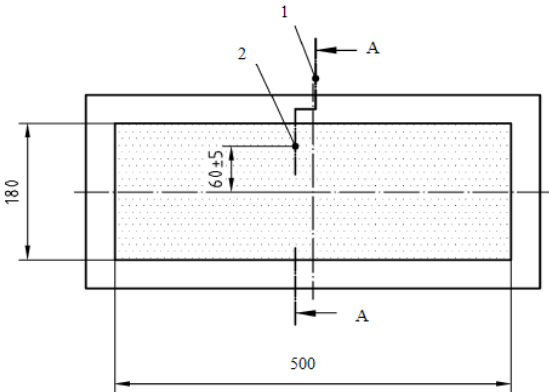
1 试件台：可牢固的安装试件的试模。用钢尺在对角线上检测，表面不平整度小于 1mm，试验温度条件下，厚度方向的挠曲变形不大于 0.5mm。

2 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。

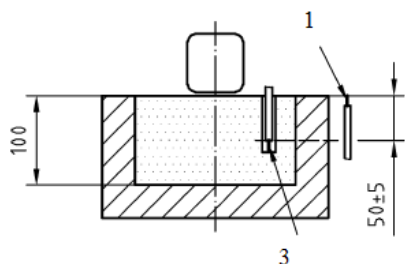
3 加载装置：通常情况下试验轮与试件的接触压强为 0.6MPa±0.03 MPa，施加的荷载为 5000N±50N，可满足 1Hz±0.1Hz 的加载频率。

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，尺寸精度±2mm，强度足够保证试验条件下不产生变形。

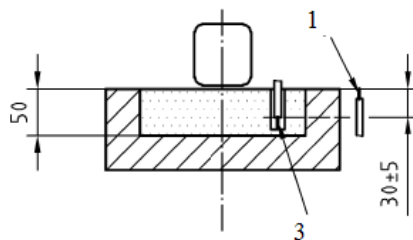
5 温度传感器：温度传感器分别安装在试件内部和温控室内，可自动检测温控室内部和试件内部温度，精度±0.5℃。温度传感器布置如附图 B-1 所示。



(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

附图 B-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

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 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

B.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。

B.2.3 隔离剂: 如甘油滑石粉。

B.3 方法与步骤

B.3.1 准备工作

1 按附录 E 用轮碾成型法制作车辙试验试块, 板块状试件尺寸为长 $500\text{mm} \times$ 宽 $180\text{mm} \times$ 厚 50mm 或长 $500\text{mm} \times$ 宽 $180\text{mm} \times$ 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。

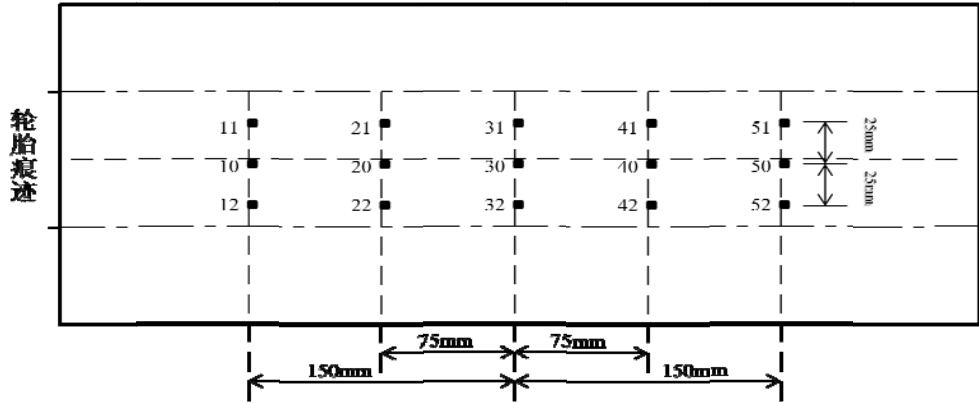
2 试件成型后, 连同试模一起在常温下放置时间不少于 48h, 同一批次试样存放时间差异不宜太大, 实际存放时间计入试验记录。

3 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 $\pm 5\%$, 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 $\pm 2.5\text{mm}$ 。试件表面应光滑平整, 变形大于 5mm 时, 试件作废。

4 轮胎的检查: 通过相应装置, 检查调节轮胎压力到 $0.6\text{MPa} \pm 0.03\text{MPa}$, 轮胎痕迹宽度 $80\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。轮胎表面要清洁, 并涂膜隔离剂 (甘油滑石粉)。

B.3.2 试验步骤

1 将试件连同试模一起固定在试件台上, 在 $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 温度条件下试验轮往返碾压 1000 次, 测试初试 m_{ij} 值, 如附图 B-2 所示。



附图 B-2 车辙深度测试点

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 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。

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。

B.4 计算

B.4.1 车辙深度按式 (B-1) 计算。

$$P_i\% = 100 \times \frac{\sum_{j=1}^{15} (m_{ij} - m_{0j})}{15 \times h} \quad (\text{B-1})$$

式中： P_i —车辙深度变化百分率，也称为车辙深度（%）；

h —试件厚度（mm）；

m_{ij} —循环碾压 i 次，第 j 个测试点的测量值（mm）；

m_{0j} —预压后第 j 个测试点的测量值（mm）。

B.4.2 绘制双对数坐标曲线，车辙深度和碾压次数关系按 (B-2) 计算。

$$Y = A(N / 1000)^b \quad (\text{B-2})$$

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。

B.5 报告

B.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。

B.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。

征求意见稿

附录 C 动态模量测试方法

C.1 目的与适用范围

C.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。

C.1.2 标准试验温度为 $15^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，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。

C.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。

C.2 仪器与材料技术要求

C.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 $\pm 4\%$ 。

C.2.2 数控切割锯：数控切割锯：要求能够自动控制、自动定位、自动喷淋、自动切割试件，定位精度不大于 0.1mm ，切割成型的试件尺寸精度不大于 1mm ，切割速度不大于 $50\text{mm}/\text{min}$ ，且可调。

C.2.3 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。

C.2.4 传感装置

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 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。

C.2.5 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。

C.2.6 粘接平台：用于将梯形试件和上下端头粘接在一起，保证梯形试件粘接于上下端头的中心位置，便于固定在疲劳试验机上。

C.2.7 粘结剂：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。

C.2.8 其它：游标卡尺、天平等。

C.3 方法与步骤

C.3.1 准备工作

1 试件准备：按照附录 E 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附表 C-1 的要求。

附表C-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。

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℃（20℃）。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 后才能粘接，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 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。

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。

5 试件粘接：选择满足尺寸及空隙率要求的干燥试件，在试件上、下底面均匀涂抹粘接剂后置于粘接平台上，将试件上、下底面与预先固定在粘结平台上的上、下端头对接并充分挤压，尽可能减薄粘结层，以保证粘结牢固。试件粘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。

C.3.2 试验步骤

1 试件固定：将粘结牢固的试件及上、下端头从粘结平台上拆卸下来，固定于动态模量试验机的加载平台上。

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 $50\mu\text{m}$ ，加载持续时间应控制在 $30\text{s}\sim 60\text{s}$ 。

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。

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。

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。

6 确定动态模量主曲线时，应至少进行间隔不大于 10°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。

C.4 计算

C.4.1 动态模量的实部和虚部分别按式（C-1）和式（C-2）计算：

$$E_1 = \gamma \times \left(\frac{F}{z} \times \cos(\phi) + 10^{-6} \times \mu \times \omega^2 \right) \quad (\text{C-1})$$

$$E_2 = \gamma \times \frac{F}{z} \times \sin(\phi) \quad (\text{C-2})$$

式中： γ —试件的形状因子；

μ —质量因子，分别按式（C-3）和式（C-4）计算：

$$\gamma = \frac{12h^3}{e(B-b)^3} \left[\left(2 - \frac{b}{2B} \right) \frac{b}{B} - \frac{3}{2} - \ln\left(\frac{b}{B}\right) \right] \quad (\text{C-3})$$

$$\mu = 0.135M + m \quad (\text{C-4})$$

式中： h —梯形试件的高，mm；
 e —梯形试件的厚，mm；
 B —梯形试件的下底宽，mm；
 b —梯形试件的上底宽，mm；
 M —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。

C.4.2 系统分别根据式（C-5）和式（C-6）计算动态模量 $|E^*|$ 和相位角 ϕ ：

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (\text{C-5})$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (\text{C-6})$$

C.5 报告

C.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 至见附表 C-2。

C.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 $|E^*|$ 。

$$|E^*| = \overline{|E^*|} - t \times \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{C-7})$$

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%， $t/\sqrt{n}$ 值见附表 C-2。

附表 C-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

C.5.3 报告应包括如下内容

- 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。
- 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。
- 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。

征求意见稿

附录 D 疲劳性能试验方法

D.1 目的与适用范围

D.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。

D.1.2 标准试验温度为 $15^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，加载频率为 $25\text{Hz}\pm 1\text{Hz}$ ，采用恒位移控制的连续正弦加载模式。

D.1.3 试验终止条件为弯曲反作用力降低到初始力的 50%。

D.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。

D.2 仪器与材料技术要求

D.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 $25\text{Hz}\pm 1\text{Hz}$ 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 $\pm 4\%$ 。

D.2.2 数控切割锯：要求能够自动控制、自动定位、自动喷淋、自动切割试件，定位精度不大于 0.1mm，切割成型的试件尺寸精度不大于 1mm，切割速度不大于 50mm/min，且可调。

D.2.3 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。

D.2.4 传感装置，包括：

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 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 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 以内。

D.2.5 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。

D.2.6 粘接平台：用于将梯形试件和上下端头粘接在一起，保证梯形试件粘接于上下端头的中心位置，便于固定在疲劳试验机上。

D.2.7 粘结剂：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。

D.2.8 其它：游标卡尺、天平。

D.3 方法与步骤

D.3.1 准备工作

1 试件准备：按照附录 E 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附表 D-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。

附表D-1 梯形试件尺寸要求

梯形试件尺寸（mm）	D≤13.2mm	13.2mm<D≤19.0mm	19.0mm<D≤37.5mm
B	56mm±1mm	70±1mm	70±1mm
b	25±1mm	25±1mm	25±1mm
e	25±1mm	25±1mm	50±1mm
h	250±1mm	250±1mm	250±1mm

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。

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℃（20℃）。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 后才能粘接，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 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。

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±0.5%范围内。

5 试件粘接：选择满足尺寸及空隙率要求的干燥试件，在试件上、下底面均匀涂抹粘接剂后置于粘接平台上，将试件上、下底面与预先固定在粘结平台上的上、下端头对接并充分挤压，尽可能减薄粘结层，以保证粘结牢固。试件粘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。

D.3.2 试验步骤

1 试件固定：将粘结牢固的试件及上、下端头从粘结平台上拆卸下来，固定于疲劳试验机的加载平台上。

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：

$$K_{\varepsilon i} \times z_i = \varepsilon_i \quad (\text{D-1})$$

$$K_{\varepsilon i} = \frac{B_i^2 \times (B_i - b_i)^2}{4b_i \times h_i^2 \times \left[(b_i - B_i) \times (3B_i - b_i) + 2B_i^2 \times \ln\left(\frac{B_i}{b_i}\right) \right]} \quad (\text{D-2})$$

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。

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。

5 变形水平的选择：设定的变形水平应满足以下条件：

- 1) 变形水平在对数坐标系下均匀分布或至少进行三个变形水平的试验；
- 2) 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。

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。

D.4 计算

D.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 (D-3) 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 。

$$\lg(N) = a + (1/b) \times \lg(\varepsilon) \quad (\text{D-3})$$

D.4.2 根据式 (D-3) 计算得到 100 万次疲劳破坏应变 ε_6

$$\varepsilon_6 = 10^{b \times (6-a)} \quad (\text{D-4})$$

D.4.3 按照式 (D-5) 计算疲劳寿命残余标准差 S_N

$$S_N = S_{\lg(N)} \sqrt{\frac{(1-(R^2)^2) \times (n-1)}{n-2}} \quad (\text{D-5})$$

式中: n —疲劳试验总数;

$S_{\lg(N)}$ —为 $\lg(N_i)$ 的标准差。

D.4.4 按式 (D-6) 计算疲劳试验质量指数 $\Delta\varepsilon_6$, 式中 S_0 按 (D-7) 计算。

$$\Delta\varepsilon_6 = 0.5 \times \varepsilon_6 \times (10^{-2b \times S_0} - 10^{2b \times S_0}) \quad (\text{D-6})$$

$$S_0 = S_N \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\lg(\varepsilon_6) - \lg(\varepsilon))^2}{(n-1) \times S_{\lg(\varepsilon)}^2}} \quad (\text{D-7})$$

式中: $\lg(\varepsilon)$ — $\lg(\varepsilon_i)$ 的平均值;

$S_{\lg(\varepsilon)}$ — $\lg(\varepsilon_i)$ 的标准差。

D.5 报告

D.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 至见附表 D-2。

附表 D-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

D.5.2 报告应包括如下内容

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。

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。

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。

附录 E 沥青混合料板型试件成型方法

E.1 目的与适用范围

E.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。

E.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。

E.2 仪器与材料技术要求

E.2.1 BBPAC 沥青混合料轮胎轮碾机及配套标准金属试模，包括：

- 1 H50 —长 500mm×宽 180 mm×厚 50mm；
- 2 H100 —长 500mm×宽 180 mm×厚 100mm；
- 3 H150 —长 600mm×宽 400mm×厚 150mm。

E.2.2 试验室用沥青混合料拌合机：容量 30L 及 75L。

E.2.3 活塞或螺杆式空气压缩机：工作压力 0.5~0.8MPa。

E.2.4 充气碾压单轮：固定于其轮毂上，用于制备 H50 及 H100 板型试件。

E.2.5 充气碾压双轮：固定于其轮毂上，用于制备 H150 板型试件。

E.2.6 烘箱：大、中型各 1 台，装有温度调节器。

E.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。

E.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℃。

E.2.9 其它：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、防粘剂或隔离剂（必须选择与沥青不相溶的材料）、牛皮纸等。

E.3 方法与步骤

E.3.1 准备工作

1 按规定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。或按规定方法在试验室拌制沥青混合料，用于一块试件的混合料宜通过一次拌合完成。

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 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。

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粘剂或隔离剂。

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。

E.3.2 试验步骤

1 将 BBPAC 设备初始化。

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附表 E-1 及附表 E-2 执行。

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。

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。

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。

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。

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。

8 试件冷却至室温后，启动脱模程序取出试件，水平放置备用。

E.4 计算

E.4.1 按照式（E-1）计算试模中应装入的混合料质量 M 。

$$M = 10^{-9} L B \rho_M \frac{100 - v}{100} \quad (\text{E-1})$$

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 —混合料理论最大密度 (kg/m^3) ;
 v —试件的设计或预估空隙率 (%) 。

E.5 报告

E.5.1 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。

附表E-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

附表E-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