

# 橡胶沥青路面技术标准

Technical standard for rubberized asphalt pavement

2019 – 04 – 19 发布

2019 – 11 – 01 实施

---

中华人民共和国住房和城乡建设部

发布

中华人民共和国行业标准

橡胶沥青路面技术标准

Technical standard for rubberized asphalt pavement

**CJJ/T 273 - 2019**

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 9 年 1 1 月 1 日

中国建筑工业出版社

**2019 北 京**



# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2019 年 第 97 号

---

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准 《橡胶沥青路面技术标准》的公告

现批准《橡胶沥青路面技术标准》为行业标准，编号为 CJJ/T 273-2019，自 2019 年 11 月 1 日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（[www.mohurd.gov.cn](http://www.mohurd.gov.cn)）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2019 年 4 月 19 日

# 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2013 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2013〕6 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和代号；3 基本规定；4 材料；5 热拌橡胶沥青混合料设计；6 热拌橡胶沥青混合料路面施工；7 表面处治与石屑封层。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由广州市市政集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广州市市政集团有限公司（地址：广州市环市东路 338 号银政大厦；邮编：510060）。

本 标 准 主 编 单 位：广州市市政集团有限公司

福建省金泉建设集团有限公司

本 标 准 参 编 单 位：上海孙祖望路桥技术研究有限公司

长安大学

苏交科集团股份有限公司

重庆大学

广州市市政工程设计研究总院有限公司

北京路新沥青混凝土有限公司

重庆特铺路面工程技术有限公司

漳州金泉建设发展有限公司

山东建筑大学

本标准主要起草人员：安关峰 郑海锋 陈舜明 张广春  
孙祖望 金年喜 宁平华 黄庆捷  
郝培文 贾 渝 杜 莘 张京锋  
吴春颖 董瑞琨 王立志 任 民  
王泽民 刘 强 徐栋良 闫东波  
曹建新 赖见吾 洪 钢  
本标准主要审查人员：李立寒 黄文元 温学钧 张红春  
李爱国 肖庆一 张 蓉 柳 浩  
吴旷怀

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语和代号 .....	2
2.1	术语 .....	2
2.2	代号 .....	3
3	基本规定 .....	4
4	材料 .....	6
4.1	原材料 .....	6
4.2	橡胶改性沥青 .....	12
4.3	沥青-橡胶 .....	14
5	热拌橡胶沥青混合料设计 .....	17
5.1	一般规定 .....	17
5.2	连续级配橡胶改性沥青混合料 .....	17
5.3	SMA 橡胶改性沥青混合料 .....	19
5.4	S 形级配沥青-橡胶混合料 .....	21
5.5	骨架密实型沥青-橡胶混合料 .....	23
5.6	骨架空隙型沥青-橡胶混合料 .....	24
6	热拌橡胶沥青混合料路面施工 .....	26
6.1	一般规定 .....	26
6.2	施工准备 .....	27
6.3	试验路段铺筑 .....	27
6.4	拌制 .....	28
6.5	运输 .....	32
6.6	摊铺 .....	33
6.7	碾压 .....	34
6.8	接缝处理 .....	36

6.9 开放交通 .....	37
6.10 质量控制和检验 .....	37
7 表面处治与石屑封层 .....	43
7.1 设计 .....	43
7.2 施工 .....	45
7.3 质量控制和检验 .....	50
附录 A 橡胶屑物理特性的测定 .....	54
附录 B 沥青-橡胶试验方法 .....	60
附录 C 悬浮密实型橡胶沥青混合料设计方法 .....	66
附录 D 骨架密实型橡胶沥青混合料设计方法 .....	71
附录 E 骨架空隙型橡胶沥青混合料设计方法 .....	77
附录 F 平均有效沥青膜厚度和有效粉胶比计算方法 .....	79
附录 G 橡胶沥青表面处治与石屑封层设计方法 .....	81
附录 H Vialit 平板冲击试验方法 .....	85
附录 J 表面处治与石屑封层缺陷的表观评价方法 .....	90
本标准用词说明 .....	94
引用标准名录 .....	95
附：条文说明 .....	97

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Marks .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Marks .....	3
3	Basic Requirements .....	4
4	Materials .....	6
4.1	Raw Material .....	6
4.2	Rubber Modified Asphalt .....	12
4.3	Asphalt-Rubber .....	14
5	Design of Rubbrized Hot Mix Asphalt .....	17
5.1	General Requirements .....	17
5.2	Continuously Graded Rubber Modified Hot Mix Asphalt .....	17
5.3	Rubber Modified Stone Matrix Asphalt .....	19
5.4	S-Shape Graded Asphalt-Rubber Hot Mixture .....	21
5.5	Skeleton-Dense Graded Asphalt-Rubber Hot Mixture .....	23
5.6	Open Graded Asphalt-Rubber Hot Mixture .....	24
6	Construction of Rubbrized Hot Mix Asphalt Pavement .....	26
6.1	General Requirements .....	26
6.2	Preparation of Existing Pavement .....	27
6.3	Placement of Test Strips .....	27
6.4	Hot Mix Operation .....	28
6.5	Delivery .....	32
6.6	Spreading .....	33
6.7	Compaction .....	34
6.8	Joints Treatment .....	36

6.9	Opening to Traffic .....	37
6.10	Quality Control and Inspection .....	37
7	Surface Treatment and Chip Seal .....	43
7.1	Design .....	43
7.2	Construction .....	45
7.3	Quality Control and Inspection .....	50
Appendix A	Physical Property Test of the Crumb Rubber .....	54
Appendix B	Laboratory Test Methods for Inspection of Asphalt-Rubber Properties .....	60
Appendix C	Design Method for Rubberized Asphalt Mixes, Suspension-Dense Type .....	66
Appendix D	Design Method for Rubberized Asphalt Mixes, Skeleton-Dense Type .....	71
Appendix E	Design Method for Rubberized Asphalt Mixes, Open-Graded Type .....	77
Appendix F	Calculation Method for Average Effective Asphalt Film Thickness and Filler-Asphalt Ratio .....	79
Appendix G	Design Method for Rubberized Asphalt Surface Treatment and Chip Seal .....	81
Appendix H	Vialit Plate Shock Test Method .....	85
Appendix J	Apparent Evaluation Method for Defects of Rubberized Asphalt Surface Treatment and Chip Seal .....	90
	Explanation of Wording in This Standard .....	94
	List of Quoted Standards .....	95
	Addition; Explanation of Provisions .....	97

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范橡胶沥青路面的原材料、设计、施工和验收的技术要求，提高工程质量，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于采用热拌橡胶为铺面的新建、扩建、改建的城镇道路及其他公共设施铺面工程的设计、施工及验收。

**1.0.3** 热拌橡胶沥青路面的设计、施工及验收除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。



## 2 术语和代号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 橡胶屑改性剂 crumb rubber modifier

加工成碎屑用于改善沥青材料性能的废旧轮胎橡胶的统称,简称橡胶屑。

#### 2.1.2 橡胶沥青 rubberized asphalt

用湿法工艺生产的含有橡胶屑改性剂的沥青结合料的统称,包括沥青-橡胶和橡胶改性沥青两大类。

#### 2.1.3 沥青-橡胶 asphalt-rubber

由基质沥青、回收的废旧轮胎制成的橡胶屑和某些添加剂掺和成的混合物,其中至少有占混合物总质量 15% 的橡胶成分,并在热的基质沥青中充分反应使橡胶颗粒融胀而形成的非均质两相材料。

#### 2.1.4 橡胶改性沥青 rubber modified asphalt

橡胶颗粒在热沥青中经机械剪切研磨,使其消融并均匀地分布在基质沥青中的改性沥青材料。

#### 2.1.5 均质型橡胶改性沥青 homogeneous rubber modified asphalt

橡胶颗粒的绝大部分以微米级的形态消融在基质沥青中,溶解度达 97% 以上的橡胶改性沥青。

#### 2.1.6 亚均质型橡胶改性沥青 subhomogeneous rubber modified asphalt

橡胶屑在基质沥青中相当大比例消融,但仍保留部分较粗颗粒,在使用前需搅拌均匀的橡胶改性沥青。

#### 2.1.7 沥青-橡胶应力吸收膜夹层 stress-absorbing membrane interlayer-asphalt rubber

由沥青-橡胶和石屑组成的用以延缓反射裂缝在新路面上传播的石屑封层，简称沥青-橡胶应力吸收层。

## 2.2 代 号

A-R (Asphalt-Rubber)——沥青-橡胶；

ARHM (Asphalt-Rubber Hot Mix)——沥青-橡胶热拌混合料；

ARHM-SG (Asphalt-Rubber Hot Mix, S Shape-Graded Type)——S形级配沥青-橡胶热拌混合料；

ARHM-SD (Asphalt-Rubber Hot Mix, Skeleton-Dense Type)——骨架密实型沥青-橡胶热拌混合料；

ARHM-OG (Asphalt-Rubber Hot Mix, Open-Graded Type)——骨架空隙型(开级配)沥青-橡胶热拌混合料；

ARST (Asphalt-Rubber Surface Treatment)——沥青-橡胶表面处治；

CRM (Crumb Rubber Modifier)——橡胶屑改性剂；

RMB (Rubber Modified Binder)——橡胶改性沥青；

SAMI-AR (Stress Absorbing Membrane Interlayer-Asphalt Rubber)——沥青-橡胶应力吸收层；

TRSMA (Terminal Blend Rubber Modified Stone Matrix Asphalt)——(厂拌掺和)SMA 橡胶改性沥青混合料；

TRHMA-AC (Terminal Blend Rubber Modified Hot Mix Asphalt, Continuously Dense-Graded)——(厂拌掺和)连续级配橡胶改性沥青混合料。

### 3 基本规定

**3.0.1** 橡胶沥青混合料面层的结构应按国家现行标准的有关规定进行设计，各类沥青-橡胶混合料面层的结构厚度不宜大于6cm。

**3.0.2** 各种路面面层结构的热拌混合料类型应根据气候特点、交通条件、道路等级与使用要求等因素进行选择，并应符合表3.0.2的规定。

表 3.0.2 橡胶沥青路面面层结构组合

结构 方案	上面层	中面层	下面层
三层 式	连续级配橡胶改性沥青混合料； SMA 橡胶改性沥青混合料； S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料； 骨架密实型沥青-橡胶混合料； 骨架空隙型沥青-橡胶混合料	密级配沥青混合料； 密级配其他改性沥青混合料； 骨架填隙型其他改性沥青混合料； 连续级配橡胶改性沥青混合料； 骨架填隙型橡胶改性沥青混合料	密级配沥青混合料； 密级配其他改性沥青混合料； 连续级配橡胶改性沥青混合料； 骨架填隙型橡胶改性沥青混合料
双层 式	连续级配橡胶改性沥青混合料； SMA 橡胶改性沥青混合料； S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料； 骨架密实型沥青-橡胶混合料； 骨架空隙型沥青-橡胶混合料	—	密级配沥青混合料； 密级配其他改性沥青混合料； 骨架填隙型其他改性沥青混合料； 连续级配橡胶改性沥青混合料； 骨架填隙型橡胶改性沥青混合料

**3.0.3** 沥青路面、水泥路面、桥面铺装的防水粘结层、应力吸收层及沥青路面预防性养护的保护层和交通等级较低的城乡道路的表面层宜采用喷洒型橡胶沥青。

## 4 材 料

### 4.1 原 材 料

#### 4.1.1 基质沥青的技术要求应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 基质沥青的技术要求

特性指标	单位	110 号	90 号	70 号	50 号	试验方法
针入度 (25℃, 5s, 100g)	0.1mm	100~120	80~100	60~80	40~60	JTG E20 T0604
针入度指数 $PI$	—	-1.5~+1.0				JTG E20 T0604
软化点 $T_{REB}$	℃	≥43	≥45	≥46	≥49	JTG E20 T0606
60℃ 动力黏度	Pa·s	≥120	≥160	≥180	≥200	JTG E20 T0620
10℃ 延度	cm	≥40	≥30	≥20	≥15	JTG E20 T0605
15℃ 延度	cm	≥100			≥80	JTG E20 T0605
蜡含量 (蒸馏法)	%	≤2.2				JTG E20 T0615
闪点	℃	≥230	≥245	≥260		JTG E20 T0611
溶解度	%	≥99.5				JTG E20 T0607
密度 (15℃)	g / cm <sup>3</sup>	实测记录				JTG E20 T0603
TFOT (或 RTFOT) 后						JTG E20
质量变化	%	≤±0.8				T0610 或 T0609
残留针入度比	%	≥55	≥57	≥61	≥63	JTG E20 T0604
残留延度 (10℃)	cm	≥8	≥6	≥4	≥2	JTG E20 T0605

#### 4.1.2 粗集料应符合下列规定：

1 应采用石质坚硬、耐磨、清洁、不含风化颗粒、近立方体颗粒的碎石，并应与沥青有良好的粘附性。上面层粗集料质量

应满足表 4.1.2-1 的技术要求。中面层和下面层粗集料质量应满足表 4.1.2-2 的技术要求。

**表 4.1.2-1 上面层粗集料质量技术要求**

特性指标	单位	技术要求	试验方法
石料压碎值	%	$\leq 26$	JTG E42 T0316
洛杉矶磨耗损失	%	$\leq 28$	JTG E42 T0317
粗集料磨光值 PSV	—	$\geq 42$	JTG E42 T0321
表观相对密度	—	$\geq 2.60$	JTG E42 T0304
吸水率	%	$\geq 2.0$	JTG E42 T0304
坚固性	%	$\geq 12$	JTG E42 T0314
针片状颗粒含量（混合料）	%	$\leq 15$	JTG E42 T0314
粒径大于 9.5mm	%	$\leq 12$	
粒径小于 9.5mm	%	$\leq 18$	
水洗法 $<0.075\text{mm}$ 颗粒含量	%	$\leq 1$	JTG E42 T0310
软石含量	%	$\leq 3$	JTG E42 T0320
粗集料与沥青的粘附性	—	$\leq 5$ 级	JTG E20 T0616、 JTG E20 T0663

注：当公称粒径为 13mm 及以上时，对 3mm~5mm 规格的粗集料，针片状颗粒含量可不要求，小于 0.075mm 颗粒含量可放宽到 2%。

**表 4.1.2-2 中、下面层粗集料质量技术要求**

特性指标	单位	技术要求	试验方法
石料压碎值	%	$\leq 28$	JTG E42 T0316
洛杉矶磨耗损失	%	$\leq 30$	JTG E42 T0317
表观相对密度	—	$\leq 2.50$	JTG E42 T0304
吸水率	%	$\leq 3.0$	JTG E42 T0304
坚固性	%	$\leq 12$	JTG E42 T0314
针片状颗粒含量（混合料）	%	$\leq 18$	JTG E42 T0312
粒径大于 9.5mm	%	$\leq 15$	
粒径小于 9.5mm	%	$\leq 20$	

续表 4.1.2-2

特性指标	单位	技术要求	试验方法
水洗法 $\leq 0.075\text{mm}$ 颗粒含量	%	$\leq 1$	JTG E42 T0310
软石含量	%	$\leq 5$	JTG E42 T0320
粗集料与沥青的粘附性	—	$\geq 4$ 级	JTG E20 T0616、 JTG E20 T0663

注：当公称粒径为 13mm 及以上时，对 3mm~5mm 规格的粗集料，针片状颗粒含量可不要求，小于 0.075mm 颗粒含量可放宽到 3%。

**2** 粗集料应按 3 种~4 种规格尺寸供料，粒径规格和控制尺寸及适用的面层应分别符合表 4.1.2-3 和表 4.1.2-4 的规定。

表 4.1.2-3 沥青混合料用粗集料粒径规格和控制尺寸

规格名称	规格尺寸 (mm)	控制尺寸 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
			31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S8	10~25	31.5~13.2	100	90~100	—	0~15	—	0~5	—	—
S9	10~20	26.5~9.5	—	100	90~100	—	0~15	0~5	—	—
S10	10~15	16~9.5	—	—	100	90~100	0~15	0~5	—	—
S12	5~10	13.2~4.75	—	—	—	100	90~100	0~15	0~5	—
S14	3~5	9.5~2.36	—	—	—	—	100	90~100	0~15	0~3

表 4.1.2-4 各面层用集料规格组成

面层结构层	集料规格	各面层用集料规格组成			
下面层	规格尺寸 (mm)	10~25	10~20	5~10	3~5
	控制尺寸 (mm)	31.5~13.2	26.5~9.5	13.2~4.75	9.5~2.36

续表 4.1.2-4

面层结构层	集料规格	各面层用集料规格组成			
中面层	规格尺寸 (mm)	—	10~20	5~10	3~5
	控制尺寸 (mm)	—	26.5~9.5	13.2~4.75	9.5~2.36
上面层	规格尺寸 (mm)	—	10~15	5~10	3~5
	控制尺寸 (mm)	—	16~9.5	13.2~4.75	9.5~2.36

**4.1.3** 用于橡胶沥青表面处治与石屑封层的粗集料应符合下列规定：

1 硬质石料应采用具有良好立方性的单粒径石屑，其针片状颗粒的含量不应大于 12%，其余各项技术指标应符合本标准表 4.1.2-1 的规定。

2 用于道路表面处治的石屑，其磨光值  $PSV$  不应小于 42。

**4.1.4** 用于热拌橡胶沥青混合料与石屑封层的细集料应符合下列规定：

1 应采用坚硬、洁净、干燥、无风化、无杂质的机制砂、天然砂或石屑，严禁采用采石场带有表面风化层碎屑的下脚料作为细集料。上面层细集料宜采用碱性的硬质石料制作的机制砂或石屑，其质量技术要求应符合表 4.1.4-1 的规定。沥青-橡胶混合料的细集料宜使用机制砂，粉料含量不应大于 10%。

表 4.1.4-1 细集料质量技术要求

特性指标	单位	技术要求	试验方法
表观相对密度	—	$\geq 2.50$	JTG E42 T0328
坚固性 ( $>0.3\text{mm}$ 部分)	%	$\leq 12$	JTG E42 T0340
砂当量	%	$\geq 60$	JTG E42 T0334
亚甲蓝值	g/kg	$\leq 25$	JTG E42 T0349
棱角性 (流动时间)	s	$\geq 30$	JTG E42 T0345

2 中面层和下面层的细集料可采用部分天然砂，天然砂在矿料中的比例不宜超过 20%，天然砂中的含泥量不应大于 3%。



### 3 面层用细集料规格应符合表 4.1.4-2 的规定。

**表 4.1.4-2 面层用细集料规格**

规格尺寸 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							
	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0~3	—	100	80~100	50~80	25~60	8~45	0~25	0~15
0~5	100	90~100	60~90	40~75	20~55	7~40	2~20	0~10

**4.1.5** 热拌沥青混合料的填料宜采用经磨细的石灰岩石料矿粉，矿粉应干燥、清洁，其质量应符合表 4.1.5 的规定。不得使用回收粉。烘干的热集料中粉料不得超过填料总量的 25%，新矿粉加入量不应小于 75%。

**表 4.1.5 矿粉质量技术要求**

特性指标		单位	技术要求	试验方法
表观相对密度		—	$\geq 2.50$	JTG E42 T0352
含水量		%	$\leq 1$	JTG E42 T0103
外观		—	无团粒结块	—
亲水系数		—	$< 1$	JTG E42 T0353
塑性指数		—	$< 4$	JTG E42 T0354
加热安定性		—	实测记录	JTG E42 T0355
粒度范围	小于 0.6mm	%	100	JTG E42 T0351
	小于 0.15mm	%	90~100	
	小于 0.075mm	%	75~100	

**4.1.6** 酸性粗集料应采用抗剥落剂，抗剥落剂应符合下列规定：

- 1 抗剥落剂可采用消石灰、水泥或化学抗剥落剂。
- 2 消石灰和水泥的用量宜为 1%~2% 和 1%~3%。
- 3 化学抗剥落剂应采用热稳定性好的耐热抗剥落剂，添加剂量应根据供应商的规格确定。

4 抗剥落剂的性能检验应符合现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 的有关规定,浸水马歇尔试验残留稳定度不应小于 85%,冻融劈裂试验残留强度比不应小于 80%。

4.1.7 稳定剂宜采用木质素纤维、矿物纤维等,木质素纤维的质量应符合表 4.1.7 的规定。

表 4.1.7 木质素纤维质量技术要求

检验项目	单位	技术要求	试验方法
纤维长度	mm	$\leq 6$	水溶液中显微镜观测
灰分含量	%	$18 \pm 5$	590℃~650℃燃烧后测定残余物
pH	—	$7.5 \pm 1.0$	水溶液用 pH 试纸或 pH 计测定
吸油率	—	$\geq$ 纤维质量的 5 倍	煤油浸泡后放在筛上经振敲后称量
含水率(以质量计)	%	$< 5$	105℃烘箱烘 2h 后冷却称重

4.1.8 橡胶沥青的橡胶屑应符合下列规定:

1 橡胶屑应为通过常温磨碎或粒化加工成碎屑用于改善沥青材料性能的橡胶颗粒碎屑。

2 橡胶屑应干燥,其物理特性应符合表 4.1.8-1 的规定。

表 4.1.8-1 橡胶屑物理特性技术要求

技术指标	单位	质量要求	试验方法
纤维含量	%	$\leq 0.5$	本标准附录 A
金属含量	%	$\leq 0.01$	
相对密度	—	1.1~1.2	
颗粒的单边长度	mm	$\leq 4.75$	
其他杂质含量	%	0	

3 橡胶屑原材料的化学成分应符合表 4.1.8-2 的规定。

表 4.1.8-2 橡胶屑原材料化学成分技术要求

测试指标	最小 (%)	最大 (%)	试验方法
丙酮抽提物	6	16	GB/T 3516
灰分	—	8	GB/T 14837
炭黑	28	—	GB/T 14837
橡胶碳氢化合物	42	65	GB/T 14837

注：橡胶碳氢化合物含量宜根据不同用途确定。

4 橡胶屑应储存在通风、干燥的环境中，应采取防火、防潮措施。

4.1.9 各种添加剂质量应符合现行行业标准《沥青混合料改性添加剂》JT/T 860 的有关规定。

## 4.2 橡胶改性沥青

4.2.1 橡胶改性沥青宜采用工厂化方式制备，并应以成品结合料提供拌合站或现场使用，生产工艺应采用胶体磨或高速剪切混融法进行，可采用批量式的混融工艺或连续式的混融工艺，生产工艺和设备可采用常规改性沥青的生产工艺和设备，并应根据橡胶改性沥青的特点调试工艺参数。

4.2.2 基质沥青与橡胶屑应有良好的相容性，基质沥青标号应根据气候区域按表 4.2.2 选择，并应符合本标准表 4.1.1 的规定。

表 4.2.2 基质沥青选择

气候区域	热区	温区	寒区
沥青标号	50 号~70 号	70 号~90 号	90 号~110 号

注：气候分区按最低月平均气温确定：寒区小于 $-10^{\circ}\text{C}$ ；温区为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ ；热区大于 $0^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.3 橡胶改性沥青技术要求应符合表 4.2.3-1、表 4.2.3-2 的规定。

表 4.2.3-1 均质型橡胶改性沥青技术要求

技术指标	单位	技术要求			试验方法
		寒区	温区	热区	
针入度 (25℃, 5s, 100g)	0.1mm	60~80	50~70	40~60	JTG E20 T0604
针入度指数 $PI$	—	$\geq -0.8$	$\geq -0.4$	$\geq 0$	JTG E20 T0604
延度 (5℃, 5 cm/min)	cm	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 10$	JTG E20 T0605
软化点 $T_{R\&B}$	℃	$\geq 50$	$\geq 55$	$\geq 60$	JTG E20 T0606
旋转黏度 (135℃)	Pa·s	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3$	JTG E20 T0625
闪点	℃	$\geq 230$	$\geq 230$	$\geq 230$	JTG E20 T0611
溶解度	%	$\geq 97.5$	$\geq 97.5$	$\geq 97.5$	JTG E20 T0607
弹性恢复 (25℃)	%	$\geq 60$	$\geq 60$	$\geq 60$	JTG E20 T0662
储存稳定性, 离析, 48h 软化点差异	℃	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3$	JTG E20 T0661
TFOT (或 RTFOT) 后残留物					
质量变化范围	%	$\leq \pm 1.0$	$\leq \pm 1.0$	$\leq \pm 1.0$	JTG E20 T0610、T0609
针入度比 (25℃)	%	$\geq 55$	$\geq 60$	$\geq 65$	JTG E20 T0604
延度 (5℃)	cm	$\geq 15$	$\geq 10$	$\geq 5$	JTG E20 T0605

注: 1 若在不改变橡胶改性沥青物理力学性质并符合安全条件的温度下易于泵送和拌合, 或经证明适当提高泵送和拌合温度时能确保橡胶改性沥青的质量, 容易施工, 可不要求测定 135℃ 黏度。

2 气候分区按最低月平均气温确定: 寒区小于  $-10^{\circ}\text{C}$ ; 温区为  $-10^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ; 热区大于  $0^{\circ}\text{C}$ 。

表 4.2.3-2 亚均质型橡胶改性沥青技术要求

技术指标	单位	技术要求			试验方法
		寒区	温区	热区	
针入度 (25℃, 5s, 100g)	0.1mm	40~70	35~65	30~60	JTG E20 T0604

续表 4.2.3-2

技术指标	单位	技术要求			试验方法
		寒区	温区	热区	
针入度指数 $PI$	—	$\geq -0.8$	$\geq -0.4$	$\geq 0$	JTG E20 T0604
软化点 $T_{R\&B}$	$^{\circ}\text{C}$	$\geq 50$	$\geq 55$	$\geq 60$	JTG E20 T0606
旋转黏度 (177 $^{\circ}\text{C}$ )	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	$\geq 1$	$\geq 1$	$\geq 1$	JTG E20 T0625
闪点	$^{\circ}\text{C}$	$\geq 230$	$\geq 230$	$\geq 230$	JTG E20 T0611
溶解度, $\geq$	%	实测	实测	实测	JTG E20 T0607
弹性恢复 (25 $^{\circ}\text{C}$ )	%	$\geq 50$	$\geq 55$	$\geq 60$	JTG E20 T0662
储存稳定性, 离析, 48h 软化点差异	$^{\circ}\text{C}$	实测	实测	实测	JTG E20 T0661
TFOT (或 RTFOT) 后残留物					
质量变化范围	%	$\leq \pm 1.0$	$\leq \pm 1.0$	$\leq \pm 1.0$	JTG E20 T0610、T0609
针入度比 (25 $^{\circ}\text{C}$ )	%	$\geq 55$	$\geq 60$	$\geq 65$	JTG E20 T0604

注: 1 亚均质型橡胶改性沥青由于部分橡胶屑未能消融于沥青中, 通常在使用前需要重新搅拌使顶部与底部的结合料混合均匀, 但在采用某些添加剂的场合, 如能使储存稳定性达到软化点变化小于 3 $^{\circ}\text{C}$  时, 也可不采用重新搅拌的工艺。

2 气候分区按最低月平均气温确定: 寒区小于 -10 $^{\circ}\text{C}$ ; 温区为 -10 $^{\circ}\text{C}$  ~ 0 $^{\circ}\text{C}$ ; 热区大于 0 $^{\circ}\text{C}$ 。

### 4.3 沥青-橡胶

#### 4.3.1 橡胶屑粒径、级配与用量的选择应符合下列规定:

##### 1 橡胶屑粒径与级配应符合表 4.3.1-1 的规定。

表 4.3.1-1 橡胶屑粒径与级配范围

筛孔尺寸 (mm)	质量通过百分率 (%)	
	用于热拌沥青混合料	用于表面处治与石屑封层
2.00	98~100	100
1.18	45~100	95~100

续表 4.3.1-1

筛孔尺寸 (mm)	质量通过百分率 (%)	
	用于热拌沥青混合料	用于表面处治与石屑封层
0.60	20~100	35~85
0.30	0~45	10~30
0.15	0~10	0~4
0.075	0~5	0~1

**2** 橡胶屑用量宜符合表 4.3.1-2 的规定,不应低于结合料总量的 15%,用于表面处治与石屑封层的结合料,在喷洒设备的条件容许时,宜选用高值。

表 4.3.1-2 橡胶屑用量

橡胶屑用量 (%)	
用于热拌沥青混合料	用于表面处治与石屑封层
16.7~22	15~20

注:橡胶屑用量为橡胶屑质量占结合料总质量的百分率。

**4.3.2** 沥青-橡胶应现制现用。

**4.3.3** 生产前应根据气候、交通负荷等路面使用条件,通过沥青-橡胶设计,确定各因素之间的关系,并通过实验室试验评估所设计的沥青-橡胶,达到预期的路用性能。

**4.3.4** 沥青-橡胶设计宜根据原材料的实际供应条件,选择几种沥青-橡胶的配比方案和工艺参数,通过实验室的性能评估,对不同方案进行比选和优化。

**4.3.5** 基质沥青标号应根据气候区域按本标准表 4.2.2 选择,并应符合本标准表 4.1.1 的规定。

**4.3.6** 设计、试生产、正式生产的沥青-橡胶性能应符合表 4.3.6 的规定,用于表面处治与石屑封层时,在喷洒设备条件容许时,其黏度宜选用高值。

表 4.3.6 沥青-橡胶的技术性能要求

试验指标	单位	技术要求				试验方法
		热拌沥青混合料			表面处治与 石屑封层	
		热区	温区	寒区		
Haake 黏度 (180℃~190℃)	mPa·s	1500~4000			1500~3000	本标准附录 B
锥入度 (25℃)	0.1mm	25~40	40~55	55~70	40~55	本标准附录 B
回弹恢复 (25℃)	%	≥30	≥25	≥20	≥25	本标准附录 B
软化点 $T_{R\&B}$	℃	≥65	≥60	≥50	≥60	JTG E20 T0606

注：Haake 黏度应根据设计融胀温度在 180℃~190℃内测定。

**4.3.7** 经过稳定性验证的结合料配比，应作为设计配比供沥青-橡胶实际生产使用。在试生产和正式生产时均应按本标准表 4.3.6 的规定进行实验室的性能检验。

**4.3.8** 沥青-橡胶延期使用与再加热应符合下列规定：

1 制作好的成品结合料应及时投入使用，成品结合料存储时间不宜超过 6h（在 45min~60min 的反应周期结束后），成品结合料的使用温度不应低于 180℃。

2 成品结合料持续储存时间不宜超过 10h，在储存期间内应不断搅动，再加热的次数不应超过 2 次。当再次启动使用时结合料的温度不得低于 180℃，否则应重新加热到 180℃~210℃，应重新检验结合料，并应符合本标准表 4.3.6 的规定。

3 当储存时间超过 10h 再次加热重新使用时，应适当添加橡胶屑，在 180℃~210℃内搅拌反应至少 45min，并应符合本标准表 4.3.6 的规定。

## 5 热拌橡胶沥青混合料设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 热拌橡胶沥青混合料的配合比设计应包括组成设计和性能检验两部分；组成设计应包括原材料的选用与特性试验、矿料级配组成设计、最佳沥青用量的确定三项；性能检验应包括车辙试验、低温弯曲试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、渗水试验五项。

**5.1.2** 热拌橡胶沥青混合料的配合比设计应通过目标配合比设计、生产配合比设计、配合比验证三个阶段进行。

### 5.2 连续级配橡胶改性沥青混合料

**5.2.1** 连续级配橡胶改性沥青混合料的矿料级配应满足均匀性和密水性的要求，并应按表 5.2.1 级配范围选择。混合料配合比的马歇尔设计方法应按本标准附录 C 执行。

表 5.2.1 连续级配橡胶改性沥青混合料级配范围

混合料类型		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
TRHMA -AC-25	上限	100	90	83	76	65	52	42	33	24	17	13	7
	下限	90	75	65	57	45	24	16	12	8	5	4	3
TRHMA -AC-20	上限	—	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7
	下限	—	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3
TRHMA -AC-16	上限	—	—	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
	下限	—	—	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4
TRHMA -AC-13	上限	—	—	—	100	85	68	50	38	28	20	16	8
	下限	—	—	—	90	68	38	24	15	10	7	6	4

注：TRHMA-AC-××代号意义：TRHMA-AC 为连续级配橡胶改性沥青混合料；  
××为公称最大粒径 (mm)。



**5.2.2 连续级配橡胶改性沥青混合料马歇尔试验配合比设计的技术标准应符合表 5.2.2 的规定。**

**表 5.2.2 连续级配橡胶改性沥青混合料马歇尔试验配合比设计技术标准**

试验指标		单位	技术要求			
试件尺寸		mm	$\phi 101.6 \times 63.5$			
击实次数		次	双面各 75			
空隙率 $VV$		%	4~6			
稳定度 $MS$		kN	$\geq 8$			
流值 $FL$		mm	2~5			
矿料间隙率 $VMA$ (%)	设计空隙率 (%)	VMA 技术要求 (%)				
		TRHMA -AC-25	TRHMA - AC-20	TRHMA -AC-16	TRHMA - AC-13	
	3	$\geq 11$	$\geq 12$	$\geq 12.5$	$\geq 13$	
	4	$\geq 12$	$\geq 13$	$\geq 13.5$	$\geq 14$	
	5	$\geq 13$	$\geq 14$	$\geq 14.5$	$\geq 15$	
	6	$\geq 14$	$\geq 15$	$\geq 15.5$	$\geq 16$	
沥青饱和度 $VFA$ (%)		65~75				

注：当设计空隙率不是整数时，VMA 最小值由内插法确定。

**5.2.3 连续级配橡胶改性沥青混合料性能检验的技术要求应符合表 5.2.3 的规定。**

**表 5.2.3 连续级配橡胶改性沥青混合料性能检验技术要求**

试验项目		单位	技术要求	试验方法
车辙试验 (60℃空气介质, 设计空隙率 $\pm 1\%$ )		次/mm	$\geq 3000$	JTG E20 T0719
水稳 定性	浸水马歇尔试验 残留稳定度	%	$\geq 85$	JTG E20 T0709
	冻融劈裂试验 残留强度比	%	$\geq 80$	JTG E20 T0729

续表 5.2.3

试验项目	单位	技术要求			试验方法
渗水系数	mL/min	$\leq 120$			JTG E20 T0730
低温弯曲试验应变	$\mu\text{E}$	寒区	温区	热区	JTG E20 T0715
		$\geq 3000$	$\geq 2800$	$\geq 2500$	

注：气候分区按最低月平均气温确定：寒区小于 $-10^{\circ}\text{C}$ ；温区为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ ；热区大于 $0^{\circ}\text{C}$ 。

### 5.3 SMA 橡胶改性沥青混合物料

**5.3.1** SMA 橡胶改性沥青混合料的矿料级配应满足粗集料骨架嵌挤结构的要求，并应按表 5.3.1 级配范围选择。

表 5.3.1 SMA 橡胶改性沥青混合物料级配范围

混合物料类型		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
TRSMA-20	上限	100	100	92	82	55	30	22	20	16	14	13	12
	下限	—	90	72	62	40	18	13	12	10	9	8	8
TRSMA-16	上限	—	100	100	85	65	32	24	22	18	15	14	12
	下限	—	—	90	65	45	20	15	14	12	10	9	8
TRSMA-13	上限	—	—	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12
	下限	—	—	—	90	50	20	15	14	12	10	9	8
TRSMA-10	上限	—	—	—	100	100	60	32	26	22	18	16	13
	下限	—	—	—	—	90	28	20	14	12	10	9	8
TRSMA-5	上限	—	—	—	—	100	100	65	36	28	22	19	15
	下限	—	—	—	—	—	90	28	22	18	15	14	12

**5.3.2** 粗集料骨架分界筛孔尺寸应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 粗集料骨架分界筛孔尺寸

级配规格	骨架分界筛孔尺寸 (mm)
公称最大粒径 19mm	4.75
公称最大粒径 16mm	4.75
公称最大粒径 13.2mm	4.75
公称最大粒径 9.5mm	2.36
公称最大粒径 4.75mm	1.18

5.3.3 混合料配合比的马歇尔试件体积设计方法应按本标准附录 D 执行,其初选的结合料用量宜根据矿料的合成毛体积相对密度按表 5.3.3 取值,混合料中纤维添加量应由结合料析漏率决定。

表 5.3.3 沥青用量与集料合成毛体积相对密度之间的关系

集料合成毛体积 相对密度	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
初选结合料用量 (%)	6.8	6.7	6.6	6.5	6.3	6.2	6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5

5.3.4 SMA 橡胶改性沥青混合料马歇尔试验配合比设计的技术标准应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 SMA 橡胶改性沥青混合料马歇尔试验技术标准

试验项目	单位	技术要求	试验方法
试件尺寸	mm	$\phi 101.6 \times 63.5$	JTG E20 T0702
试件击实次数	次	双面各 75	JTG E20 T0702
空隙率 VV	%	3~4	JTG E20 T0705
矿料间隙率 VMA	%	$\geq 17.0$	JTG E20 T0705
粗集料骨架间隙率 $VCA_{mix}$	—	$< VCA_{DRC}$	JTG E20 T0705
沥青饱和度 VFA	%	75~85	JTG E20 T0705
稳定度	kN	$\geq 6.0$	JTG E20 T0709

续表 5.3.4

试验项目	单位	技术要求	试验方法
沥青析漏试验的结合料损失	%	$\leq 0.1$	JTG E20 T0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失	%	$\leq 15$	JTG E20 T0733

注：对高温稳定性要求较高的重交通路段或炎热地区，设计空隙率允许放宽到 4.5%，VMA 允许放宽到 16.5%，VFA 允许放宽到 70%。

**5.3.5 SMA 改性沥青混合料性能检验的技术要求应符合表 5.3.5 的规定。**

**表 5.3.5 SMA 橡胶改性沥青混合料性能检验技术要求**

试验项目		单位	技术要求			试验方法
车辙试验（60℃空气介质，设计空隙率±1%）		次/mm	$\geq 3000$			JTG E20 T0719
水稳定性	浸水马歇尔试验 残留稳定度	%	$\geq 85$			JTG E20 T0709
	冻融劈裂试验 残留强度比	%	$\geq 80$			JTG E20 T0729
渗水系数		mL/min	$\leq 80$			JTG E20 T0730
低温弯曲试验应变		$\mu\text{E}$	寒区	温区	热区	JTG E20 T0715
			$\geq 3000$	$\geq 2800$	$\geq 2500$	

注：气候分区按最低月平均气温确定：寒区小于  $-10^{\circ}\text{C}$ ；温区为  $-10^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ；热区大于  $0^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.4 S 形级配沥青-橡胶混合料

**5.4.1 S 形级配沥青-橡胶混合料的矿料级配应按表 5.4.1 级配范围选择。**

**表 5.4.1 S 形级配沥青-橡胶混合料级配范围**

混合料类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）										
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ARHM-SG-16	上限	100	100	87	70	37	22	16	12	9.5	8	6
	下限	—	90	83	65	33	18	12	8	5.5	4	2
ARHM-SG-13	上限	—	100	100	87	37	22	16	12	9.5	8	6
	下限	—	—	90	83	33	18	12	8	5.5	4	2
ARHM-SG-10	上限	—	—	100	100	72	22	16	12	9.5	8	6
	下限	—	—	—	80	68	18	12	8	5.5	4	2

**5.4.2 S 形级配沥青-橡胶混合料马歇尔试验配合比设计的技术标准应符合表 5.4.2 的规定。**

**表 5.4.2 S 形级配沥青-橡胶混合料马歇尔试验技术标准**

试验项目	单位	技术要求	试验方法
试件尺寸	mm	$\phi 101.6 \times 63.5$	JTG E20 T0702
试件击实次数	次	双面各 75	JTG E20 T0702
空隙率 VV	%	4~6	JTG E20 T0705
矿料间隙率 VMA	%	$\geq 18.0$	JTG E20 T0705
稳定度	kN	实测	JTG E20 T0709
流值	0.1mm	实测	JTG E20 T0709

**5.4.3 S 形级配沥青-橡胶混合料性能检验的技术要求应符合表 5.4.3 的规定。**

**表 5.4.3 S 形级配沥青-橡胶混合料性能检验技术要求**

试验项目		单位	技术要求	试验方法
车辙试验 (60℃ 空气介质, 空隙率 4%±1%)		次/mm	$\geq 3000$	JTG E20 T0719
水稳定性	浸水马歇尔试验 残留稳定度	%	$\geq 85$	JTG E20 T0709
	冻融劈裂试验 残留强度比	%	$\geq 80$	JTG E20 T0729

续表 5.4.3

试验项目	单位	技术要求			试验方法
渗水系数	mL/min	$\leq 60$			JTG E20 T0730
低温弯曲试验应变	$\mu\epsilon$	寒区	温区	热区	JTG E20 T0715
		$\geq 3000$	$\geq 2800$	$\geq 2500$	

注：气候分区按最低月平均气温确定：寒区小于 $-10^{\circ}\text{C}$ ；温区为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ ；热区大于 $0^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.5 骨架密实型沥青-橡胶混合料

**5.5.1** 骨架密实型沥青-橡胶混合料的矿料级配应满足粗集料骨架嵌挤结构的要求，并应按表 5.5.1 级配范围选择。混合料配合比的马歇尔试件体积设计方法应按本标准附录 D 执行。

表 5.5.1 骨架密实型沥青-橡胶混合料级配范围

混合料类型		通过下列筛孔（mm）的质量百分率（%）										
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ARHM-SD-16	上限	100	100	85	65	30	22	16	12	9.5	8	6
	下限	—	90	65	45	18	10	6	4	2	1	0
ARHM-SD-13	上限	—	100	100	75	30	22	16	12	9.5	8	6
	下限	—	—	90	50	18	10	6	4	2	1	0

**5.5.2** 骨架密实型沥青-橡胶混合料马歇尔试验配合比设计的技术要求应符合表 5.5.2 的规定。

表 5.5.2 骨架密实型沥青-橡胶混合料马歇尔试验技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
试件尺寸	mm	$\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$	JTG E20 T0702
试件击实次数	次	双面各 75	JTG E20 T0702
空隙率 VV	%	4~6	JTG E20 T0705
矿料间隙率 VMA	%	$\geq 18.0$	JTG E20 T0705
粗集料骨架间隙率 $VCA_{\text{mix}}$	—	$< VCA_{\text{DRC}}$	JTG E20 T0705

**5.5.3 骨架密实型沥青-橡胶混合料性能检验的技术要求应符合表 5.5.3 的规定。**

**表 5.5.3 骨架密实型沥青-橡胶混合料性能检验的技术要求**

试验项目		单位	技术要求			试验方法
车辙试验 (60℃空气介质, 空隙率 4%±1%)		次/mm	≥3000			JTG E20 T0719
水稳 定性	浸水马歇尔试验 残留稳定度	%	≥85			JTG E20 T0709
	冻融劈裂试验 残留强度比	%	≥80			JTG E20 T0729
渗水系数		mL/min	≤80			JTG E20 T0730
低温弯曲试验应变		με	寒区	温区	热区	JTG E20 T0715
			≥3000	≥2800	≥2500	

注：气候分区按最低月平均气温确定：寒区小于-10℃；温区为-10℃~0℃；热区大于0℃。

## 5.6 骨架空隙型沥青-橡胶混合料

**5.6.1 骨架空隙型沥青-橡胶混合料的矿料级配应按表 5.6.1 骨架空隙型沥青-橡胶混合料级配范围选择。混合料配合比的马歇尔试件体积设计方法应按本标准附录 E 执行。**

**表 5.6.1 骨架空隙型沥青-橡胶混合料级配范围**

混合料类型		通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)					
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
ARHM-OG-13	上限	100	100	60	20	10	4
	下限	—	85	35	4	2	1
ARHM-OG-10	上限	—	100	100	45	8	2.5
	下限	—	—	85	20	2	1

**5.6.2 骨架空隙型沥青-橡胶混合料马歇尔试验配合比设计的技术要求**应符合表 5.6.2 的规定,并应检验混合料平均沥青膜厚度,其值宜控制在  $45\mu\text{m}\sim 55\mu\text{m}$ ,平均有效沥青膜厚度应按本标准附录 F 的方法计算。

**表 5.6.2 骨架空隙型沥青-橡胶混合料马歇尔试验技术要求**

试验项目		单位	技术要求	试验方法
试件尺寸		mm	$\phi 101.6\times 63.5$	JTG E20 T0702
试件击实次数		次	双面各 50	JTG E20 T0702
空隙率 VV		%	18~23	JTG E20 T0705
稳定度		kN	实 测	JTG E20 T0709
肯特堡 试验	非老化试件	%	$<20$	JTG E20 T0733
	老化试件 (未压实混合料 135℃, 44h)	%	$<40$	
沥青析漏试验的结合料损失		%	$\leq 0.3$	JTG E20 T0732
沥青 (结合料) 的吸收率		%	0~1.0	—

注:老化试件成型时,5kg 松散的透水性混合料平摊在  $50\text{cm}\times 30\text{cm}\times 8\text{cm}$  的盘中放入通风的烘箱中在 135℃ 的温度下进行 44h 的老化处理,在最初 4h 内,每 1h 翻动一次混合料。

**5.6.3 骨架空隙型沥青-橡胶混合料性能检验的技术要求**应符合表 5.6.3 的规定。

**表 5.6.3 骨架空隙型沥青-橡胶混合料性能技术要求**

试验项目		单位	技术要求	试验方法
水稳 定性	浸水马歇尔试验残留稳定度	%	$\geq 85$	JTG E20 T0709
	冻融劈裂试验残留强度比	%	$\geq 80$	JTG E20 T0729
透水系数		mm/s	实 测	CJJ/T 135



## 6 热拌橡胶沥青混合料路面施工

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 热拌橡胶沥青混合料路面的施工，除应符合本标准的规定外，尚应符合现行行业标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 的有关规定。

**6.1.2** 施工单位应建立健全施工技术、质量、安全生产等管理体系，制定各项施工管理规定。

**6.1.3** 施工单位在开工前应编制施工组织设计或专项施工方案。

**6.1.4** 施工测量应符合国家现行标准《工程测量规范》GB 50026 和《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定，并应填写相关记录。

**6.1.5** 工程所用的沥青、橡胶屑、矿料等主要原材料和产品进厂时应进行进厂验收并妥善保管。进厂验收时应检查每批产品的订购合同、质量合格证书、性能检验报告、使用说明书、进口产品的商检报告及证件等，并应按国家有关标准的规定进行复验，验收合格后方可使用。

**6.1.6** 施工单位应采取有效措施控制施工现场的各种粉尘、废气、废弃物及噪声、振动等对环境造成的污染和危害。

**6.1.7** 施工气候条件应符合下列规定：

1 热拌橡胶改性沥青混合料的施工气候条件应按常规橡胶类改性沥青混合料的要求执行。

2 沥青-橡胶混合料适宜在温暖、干燥的气候条件下施工，大气和路表面的温度均宜大于 18℃。

3 对于开级配或铺层厚度不大于 25mm 的沥青-橡胶混合料，大气温度应大于 18℃，路表面温度应大于 21℃。

**6.1.8** 沥青路面各面层施工前，应先铺筑试验路段，试验路段

宜选在主线直线段，长度不宜少于 200m，对于工程量小的城镇道路可不铺筑试验路段。

## **6.2 施 工 准 备**

**6.2.1** 施工前应清扫待铺的表面，清除掉落的集料、杂物，去除泥土等污染，必要时可用水洗刷后晾干，对油污染部位，应局部凿除，用相同沥青混合料修补。

**6.2.2** 对于旧路面维修改造工程的罩面施工，当原状路面弯沉大而承载能力不足时，应进行局部路段或全路段的补强处理后，再铺设橡胶沥青罩面层。

**6.2.3** 铺设密实型橡胶沥青混合料前应在下层路面上喷洒粘层油，铺设排水型橡胶沥青混合料前应在下层路面上铺设橡胶沥青或其他材料的防水粘结层。

**6.2.4** 施工前应对各种施工机械进行保养、调试，各类配件、备件应配备齐全。

**6.2.5** 混合料摊铺前应在待铺路面上划线放样，检查待铺路面的高程、横坡、架设基准线。

## **6.3 试验路段铺筑**

**6.3.1** 铺筑试验路段前应制定试验路段的施工和试验方案，明确铺筑试验路段的目的、工作任务和内容。

**6.3.2** 试验路段的施工应包括试拌和试铺两个阶段，试拌工作未达到预定要求前，不得进行试铺。

**6.3.3** 试拌阶段应包括下列内容：

1 确定搅拌设备的工作参数，包括各冷料仓的供料流量、各筛网的筛孔尺寸、热料仓的供料比例、搅拌过程的拌合时间（干拌和湿拌），集料、沥青的加热温度与成品料的拌合温度等，并确定搅拌设备合理的生产能力。

2 采集搅拌设备生产数据，分析集料、矿粉、沥青的称量控制值的误差和变异性。

3 通过热料取样筛分和成品料的抽提分析与马歇尔试验,验证实际拌合的混合料与实验室拌合混合料的矿料级配与油石比的一致性,并进一步调整生产配合比。

#### 6.3.4 试铺阶段应包括下列内容:

- 1 检验各种施工机械的类型、数量、组合方式的匹配性。
- 2 检验摊铺作业工艺参数(摊铺速度、供料流量、料位高度、振捣机构的振幅、频率、摊铺温度等)的合理性,确定松铺系数。

3 检验碾压工艺,包括压实机械的选用和组合、碾压的工艺参数(振幅、频率、碾压速度和碾压遍数)、碾压模式的设计和碾压温度设置,对不同的碾压方案进行比较,确定正式施工用的碾压工艺。

4 验证生产配合比的设计并确定最终供生产用的标准生产配合比。

5 验证所拟定的施工方案、施工组织、质量管理体系,并确定正式施工时的施工方案、施工组织和质量管理体系。

6.3.5 试验路段铺筑完工后应对试验路面的工程质量进行全面检测,检测的频度应比生产路段路面施工时增加一倍。对于取芯检验,芯样的数量不应少于12个,渗(透)水系数的检测点不应少于10个,摩擦系数和构造深度的检测点不应少于5个。对试验路段铺层的压实质量除取芯检验外,尚应采用无损测量密度仪进行拉网检测,网格应为纵向间隔5m、横向间隔1m。

## 6.4 拌 制

6.4.1 混合料生产前应对沥青搅拌设备调试和校正,调试应包括下列内容:

- 1 集料、粉料、沥青秤的标定。
- 2 冷料给料系统的标定。
- 3 筛分系统的调试与标定。
- 4 计量控制系统的调试。

**6.4.2** 连续级配橡胶改性沥青混合料拌制应按常规密级配橡胶类改性沥青混合料的拌制工艺进行，其生产温度宜符合表 6.4.2 的规定，拌合时间应以获得裹覆良好、拌合均匀的沥青混合料为准，从结合料给料结束至拌缸门打开为止的净拌合时间不宜低于 35s。

**表 6.4.2 连续级配橡胶改性沥青混合料的生产温度（℃）**

橡胶改性沥青温度	170~180
集料加热温度	190~200
混合料拌合温度	170~180
成品料出料温度	165~175

**6.4.3** SMA 橡胶改性沥青混合料拌制应按常规橡胶类改性沥青 SMA 混合料的拌制工艺进行，其生产温度宜符合表 6.4.3 的规定，拌合时间应以获得裹覆良好、拌合均匀的沥青混合料为准，从结合料给料结束至拌缸门打开为止的净拌合时间不宜低于 40s。

**表 6.4.3 SMA 橡胶改性沥青混合料的生产温度（℃）**

橡胶改性沥青温度	175~185
集料加热温度	190~200
混合料拌合温度	175~185
成品料出料温度	170~180

**6.4.4** 在采用间歇式搅拌设备生产沥青-橡胶混合料时，除应满足热拌沥青混合料的生产工艺要求外，尚应符合下列规定：

1 沥青-橡胶的制备设备应靠近沥青混合料搅拌设备。

2 泵送高黏度的沥青-橡胶应采用重载沥青泵，并应在通往沥青搅拌设备的结合料输送线上安装三通阀，可变换输送给搅拌设备普通沥青或沥青-橡胶。

3 结合料输入拌缸的管道应有足够的截面积，对于压力喷射的沥青喷洒管应加大喷孔的直径。

4 结合料生产设备与沥青混合料搅拌设备之间的生产能力应相匹配。

5 拌制沥青-橡胶混合料时,应保持冷集料规格的一致性,热集料级配和热料筛分系统的筛分效率与混仓率的稳定性,筛分系统筛网宜按表 6.4.4-1 配置。

表 6.4.4-1 常用筛网的筛孔规格

要求分离的集料规格段公称最大粒径 (mm)	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36
对应的控制筛孔尺寸 (mm)	30	22	15	11	6	4

6 每天生产前应检查筛网堵塞或破损情况,采集当天的各热料仓的料样进行筛分分析,检查矿料的级配变化,必要时应重新进行生产配合比设计。

7 集料的加热温度、结合料的温度、混合料的拌合温度、成品料的出料温度宜符合表 6.4.4-2 的规定。

表 6.4.4-2 沥青-橡胶混合料生产温度 (°C)

沥青-橡胶温度	180~190
集料加热温度	190~200
混合料拌合温度	175~185
成品料出料温度	170~180

6.4.5 混合料生产时应正确使用和操作沥青搅拌设备,不得出现集料残余含水量过大、温度波动、集料混仓、计量不准、拌合不匀、材料离析等使用操作不当的情况。

6.4.6 直投式干法处理沥青-橡胶混合料的拌制工艺应符合下列规定:

1 集料、橡胶屑和反应剂应直接加入到拌缸内干拌规定的时间后,再加入沥青,在规定的温度和时间下进行反应。

2 橡胶屑与反应剂加入拌缸内可采用自动投料或人工加料;

自动投料时，采用的装置应具有计量、显示和记录的功能；人工加料时，宜将橡胶屑与反应剂按质量比例配成袋装材料，从搅拌缸上方的专门开口处卸入搅拌缸。

**6.4.7** 直投式干法处理沥青-橡胶混合料的反应过程宜在具有良好保温性能的成品料仓内或大吨位保温卸卡车内进行。

**6.4.8** 直投式干法处理沥青-橡胶混合料生产过程的温度、拌合与反应的时间应根据反应剂的要求确定。

**6.4.9** 成品混合料质量控制应采用在线过程控制和实验室取样检测控制。

**6.4.10** 在线生产过程控制应符合下列规定：

1 每天开机待生产过程稳定后，应逐批记录一小时各热料仓的集料、粉料、结合料及混合料总量的称量数据，称量值相对设定值的允许偏差应符合表 6.4.10 的规定，超差率不应超过 5%。

**表 6.4.10 搅拌设备自动配料系统按批采样的允许偏差**

材料	占每批混合料总质量的百分比 (%)
各粒径段的集料	$\pm 1.5$
矿粉	$\pm 0.5$
沥青材料	$\pm 0.1$

2 应以一个工作日或一个台班为周期对沥青用量和矿料级配进行总量检验。

3 应实时监测和采集烘干筒出口热集料、热料仓中细集料及成品料的温度，并应与设定温度进行比较和调整。

**6.4.11** 实验室取样检测应符合下列规定：

1 应通过冷料堆的取样筛分检测和斜皮带冷集料混合料的取样筛分检测，监测各个规格段冷集料的级配变化情况，必要时应调整配合比。

2 热料仓取样时应从全断面上采集，进行筛分分析，监测各个规格段热集料及成品混合料矿料的级配变化情况。

3 成品混合料的生产质量检测项目应包括混合料抽提分析、马歇尔试件密度—体积分析、成品料温度检测。

6.4.12 实验室取样检测项目与频度应符合表 6.4.12 的规定。

表 6.4.12 生产质量控制的检测项目与频度

检测项目	频度
冷料堆级配分析	每天 1 次
冷料斜皮带级配分析	每天 1 次
热料仓级配分析	每天 1 次
冷料堆含水量	雨天后或必要时（间歇式）
热骨料残余含水率	雨天后或必要时
混合料组成分析	每天 1 次～2 次，每次 6 个料样
马歇尔试验	每天 1 组～2 组，每组 4 个～6 个试件
混合料试件的理论密度	每天 1 次～2 次
成品料温度	每车

6.4.13 沥青-橡胶混合料的组成分析应采用燃烧法，并应通过标准试样的标定，确认合理的燃烧温度和修正系数。

6.4.14 实验室检测的橡胶沥青混合料的控制指标与技术要求应符合表 6.4.14 的规定。

表 6.4.14 橡胶沥青成品混合料控制指标与技术要求

指标	矿料级配（通过下列筛孔（mm） 的质量百分率）（%）			结合料用量 （%）	实验室试件 体积指标 （%）
	≥4.75	2.36～0.15	0.075		
技术要求	设计值±4	设计值±3	设计值±1	设计值±0.3	符合设计要求

## 6.5 运 输

6.5.1 橡胶沥青混合料的运输宜采用大吨位的自卸卡车，运输车的运量应与拌合能力和摊铺能力协调。摊铺机前方应有不少于 3 辆运料车等候卸料。

**6.5.2** 搅拌设备向运料车卸料时，料车应前后移动，分三次装料。

**6.5.3** 自卸卡车应配备覆盖混合料的不透水篷布，宜采用多层式保温篷布，篷布应遮盖严密。

**6.5.4** 各类橡胶沥青混合料不应长时间储存，混合料的运输距离不应过长。短时间的储存不宜超过 24h，运输距离允许的长度应由混合料到达现场时按本标准第 6.5.8 条规定的温度确定。

**6.5.5** 车槽在装载橡胶沥青混合料之前应清洗干净，去除粘结在底板和侧板上的任何残留物质，并应在底板和侧板上均匀喷洒一层防粘剂，不得使用柴油或其他溶剂作为防粘剂。

**6.5.6** 自卸卡车应在摊铺机前 10cm~30cm 处停住，让摊铺机前方滚轮逐渐接近卡车车轮，不得撞击摊铺机，卸料过程中自卸卡车应挂空挡，靠摊铺机推动前进。

**6.5.7** 自卸卡车的卸载作业应与摊铺机的操作协调一致，车槽中的混合料宜作为一个整体卸入摊铺机的料斗中。

**6.5.8** 自卸卡车中混合料到达摊铺现场的温度应为 165℃~175℃。气温高于 18℃，运距较短时可取低值，气温低于 18℃应取高值。

## **6.6 摊 铺**

**6.6.1** 摊铺橡胶沥青混合料的摊铺机宜配备具有温度可调节的加热熨平板装置，熨平板的温度宜调节至 130℃~135℃。

**6.6.2** 摊铺机的摊铺宽度不宜超过 8m，当铺层较宽时，宜采用多台摊铺机按梯队作业的方式摊铺。

**6.6.3** 搅拌设备、自卸卡车、摊铺机的生产率应匹配，并保持摊铺机的连续作业，减少停顿次数。

**6.6.4** 摊铺作业应符合下列规定：

1 应监测卸入摊铺机料斗前和熨平板后方铺层混合料的温度，混合料在卸入摊铺机料斗前的温度低于 160℃时应废弃



不用。

2 橡胶沥青混合料的摊铺温度宜符合表 6.6.4 的规定。

表 6.6.4 橡胶沥青混合料的摊铺温度

摊铺温度	气温与待摊路面温度 (°C)	
	≥18	<18
摊铺机料斗内混合料温度	160~175	165~175
摊铺机熨平板正后方刚摊铺好的铺层温度	150~165	155~165

注：对于级配或铺层厚度不大于 25mm 的沥青-橡胶混合料，路面温度应以 21°C 为界。

3 应保持恒定的摊铺速度，并应连续稳定摊铺作业，摊铺速度宜为 2m/min~3m/min。

4 摊铺机料斗内的混合料不得形成凹坑，两边的混合料不应由于冷却而结成大块，料位高度不得低于料门的高度，严禁放空料斗或使刮板输送机接近空走。

5 摊铺机与压路机之间的距离不应超过 30m，当碾压作业跟不上摊铺作业的速度时，应增加压路机。

6 摊铺机的停顿时间不宜超过 15min，当摊铺机需较长时间停顿时，应将摊铺机驶离作业面，将已摊好的铺层压实后，方可切边形成一道横向接缝。

6.6.5 当摊铺排水性混合料时，应降低熨平板振捣系统的振动强度，不得压碎粗集料，对于厚度为 3cm 以下薄层和超薄结构路面及排水型路面应关闭振捣系统，并应降低振动熨平板的振动能量。

6.6.6 在摊铺作业和接缝处理中应减少手工作业，混合料温度不应低于 150°C。

## 6.7 碾 压

6.7.1 应配备足够数量的压路机，并应在较高温度下完成压实作业，每台压路机承担的碾压道数不应超过 2 道。压实设备应采

用高频、低振幅的双钢轮振动压路机，宜选择高频振动压路机或大吨位的振荡压路机。沥青-橡胶混合料不宜采用轮胎压路机碾压。

**6.7.2** 连续级配橡胶改性沥青混合料的碾压可按常规沥青混合料的碾压工艺进行。

**6.7.3** SMA 橡胶改性沥青混合料的碾压除应符合碾压常规沥青混合料的规定外，尚应符合下列规定：

1 应采用紧跟碾压的方式，压路机在每遍碾压时应一直压至摊铺机熨平板的正后方。

2 应控制压实能量，不得过度压实，初压在静压一遍后，即可采用振动压路机进行复压，复压的遍数宜控制在 3 遍～4 遍。

3 压实作业应采用相同型号与规格的压路机并列成梯队进行，压路机轮迹的重叠宽度应控制在 20cm～30cm。

**6.7.4** 悬浮密实型和骨架密实型沥青-橡胶混合料的碾压除应符合碾压常规沥青混合料的规定外，尚应符合下列规定：

1 除应采用紧跟碾压的方式外，初压应采用振动压路机进行振动压实。

2 初压与复压应至少配备 2 台～3 台振动压路机按梯队作业的方式碾压，使压实作业在较高的温度下进行，初压与复压宜在 4 遍～6 遍完成。

3 压路机轮迹的重叠宽度应控制在 20cm～30cm。

**6.7.5** 骨架空隙型沥青-橡胶混合料的碾压应适度，碾压工艺应符合下列规定：

1 应控制压实能量，防止由于过度压实而导致集料压碎和结合料唧浆上浮，堵塞排水空隙。

2 应控制碾压温度，采用紧跟摊铺机碾压和多台压路机梯队作业的模式，配备足够数量的压路机，并应在第一遍碾压时即能覆盖整个铺层宽度。

3 碾压作业不宜采用振动压路机或轮胎压路机。

4 压路机的吨位宜为 10t 级，不再区分初压、复压、终压，碾压速度宜为 80m/min，碾压遍数宜为 2 遍~4 遍。

6.7.6 超薄结构层的橡胶沥青混合料和薄层罩面的碾压工艺应控制压实能量，不得压碎集料。宜采用多台振荡压路机或 10t 级的静碾压路机或静作用方式的振动压路机，在每碾压一遍时，同时覆盖整个铺层。

6.7.7 橡胶沥青混合料的碾压温度应符合表 6.7.7 的规定。

表 6.7.7 橡胶沥青混合料的碾压温度

摊 铺 温 度	气温与待摊路表面温度 (°C)	
	≥18	<18
初压开始温度	150~165	155~165
初压结束温度	140~155	145~155
复压结束温度	>125	>125

注：对于级配或铺层厚度不大于 25mm 的沥青-橡胶混合料，路表面温度应以 21℃ 为界。

6.7.8 应实时监测橡胶沥青混合料的碾压温度和压实密度，及时调整橡胶沥青混合料的生产、运输、摊铺与碾压过程的温度。宜采用非核子密度仪监测碾压过程中铺层密度的增长情况，并应检查压实质量。

6.7.9 当无法在规定温度范围内碾压时或现场空隙率与压实度不满足规定时，应停止摊铺作业进行返工。

## 6.8 接 缝 处 理

6.8.1 纵向接缝宜采用热接缝，两条相邻铺层处的搭接宽度宜为 25mm~40mm，铲除、扒平多余材料的作业应在混合料温度较高时进行，并应由一台压路机首先从接缝处进行跨缝碾压。

6.8.2 纵向冷接缝的处理应符合下列规定：

1 冷接缝的铺设可采用下列方法：

- 1) 在压路机上宜加装切边器,在混合料尚未冷却前应切出垂直的接缝面,切边的宽度宜为 50mm~150mm。铺设相邻路面前,应在接缝面上喷涂粘层油。
- 2) 在铺设第一幅路面时,当混合料尚未冷却前,应采用镐刨齐边缘,留下毛槎,并应喷涂粘层油。在铺设相邻路面时,重叠的宽度应为 25mm~40mm,松铺层高出已压实路面的高度应控制在每 25mm 铺层厚高出 3mm~6mm。

2 应从热铺层开始压实,应第一时间进行跨缝碾压,并应保留 150mm 的重叠度骑跨在已压实的冷铺层上。

### 6.8.3 横向接缝的处理应符合下列规定:

1 施工前宜采用 3m 直尺沿路面纵向在接缝处测量,使 3m 直尺平整度在 2mm 以下,确定横向接缝的位置。

2 应采用混凝土切缝机沿确定的位置横向切开铺层,切深应为铺层厚度,并应清除多余的铺层材料。

3 宜采用汽油喷灯对横缝立面边移动边加热,加温时喷灯应移动进行,温度不应太高,防止立面处沥青老化。

4 在接槎处,应涂刷适量橡胶沥青或粘层油。

5 上下相连两层的横向接缝应至少错开 2m 以上。

6 不应在接缝处撒落混合料。

7 横向碾压宜在碾压 1 遍~2 遍后,转为纵向碾压。

## 6.9 开放交通

6.9.1 开放交通的时间,对于橡胶改性沥青混合料不应少于 24h,对于沥青-橡胶混合料不应少于 48h。

6.9.2 当要求缩短开放时间时,应采取可靠方法使路表温度低于 40℃方可开放交通。

## 6.10 质量控制和检验

6.10.1 橡胶沥青混合料用原材料验收试验频度应符合表

6.10.1 的规定，结合料的质量应符合本标准第 4.2.3 条和第 4.3.6 条的规定。

**表 6.10.1 橡胶沥青混合料用原材料验收试验频度**

原材料	取样与试验频度	备注
集料	每批	每批是指同一料源、同一次购入并运至生产现场的材料
填料	每批	
基质沥青	每批	
橡胶屑（物理特性）	每批	
橡胶屑（化学成分）	同一料源	
橡胶改性沥青	每批	每批是指现场制备的每一批已完成反应过程，已达到要求温度与黏度并已进入储存罐的成品结合料
沥青-橡胶	每批	

**6.10.2** 在路面施工前应按本标准第 5.1 节和第 6.3 节进行目标配合比设计、生产配合比设计及试验路段的试拌和试铺工作。

**6.10.3** 各种施工机械应处于良好技术状态，沥青搅拌设备应按本标准第 6.4.1 条的要求进行调试、校正和标定。

**6.10.4** 施工前应对下承层的施工质量进行检测和验收，各项质量指标符合规定后，方可施工橡胶沥青面层。

**6.10.5** 施工过程中橡胶沥青混合料质量控制应符合表 6.10.5 的规定。

**表 6.10.5 施工过程中橡胶沥青混合料的质量控制**

检验项目	取样方法与数量	频 度	质量要求
外 观	逐车观察	随时	集料粗细均匀、无离析，色泽光亮、不滴漏、不干涩，无花白料或油团，适度蓝烟，不得冒黑烟或白烟

续表 6.10.5

检验项目		取样方法与数量	频 度	质量要求
拌合温度 (℃)	集料、沥青 加热温度	逐盘计算机采集, 全天汇总	每天汇总 一次	符合本标准第 6.4 节的有关规定
	混合料出厂 温度	逐盘计算机采集, 全天汇总	每天汇总 一次	符合本标准第 6.4 节的有关规定
		逐车检验	逐车检测	符合本标准第 6.4 节的有关规定
混合料组成分析	矿料级配(筛孔通过率)和沥青用量(或油石比)与标准配合比之差	逐盘计算机采集, 全天汇总	每天汇总 一次	0.075mm: ±0.5% 个值合格率≥95% 平均值为±0.5% 其余筛孔: ±1.5% 个值合格率≥95% 平均值≤1.5% 沥青用量: ±0.1% 个值合格率≥95% 平均值为±0.1%
		拌合机热料仓和拌缸或卡车取样, 不少于 20kg	每台拌合机 每天 1 次	0.075mm: ±1% ≤2.36mm: ±3% ≥4.75mm: ±4% 沥青用量: ±0.3%
马歇尔试件体积指标、稳定度、流值		拌合机下方或卡车取样不少于 20kg	每台拌合机 每天 1 次	符合本标准第 5 章的有关规定

**6.10.6 施工过程中橡胶沥青混合料路面工程质量控制和检验方法**应符合表 6.10.6 的规定。

表 6.10.6 施工过程中橡胶沥青混合料路面工程质量控制和检验方法

检验项目		频度	质量要求	检验方法
外观		随时	表面平整密实, 无明显轮迹、裂缝、推挤、油斑、油包、离析等缺陷, 接缝平整、顺直、无跳车	目测
施工 温度	摊铺温度 (°C)	逐车检测	符合本标准 6.6 节、6.7 节的有关规定	JTG E20 T0981 插入式温度计 手工检测
	碾压温度 (°C)	随时		
压实 度	芯样毛体积相对密度与最大理论相对密度之比	1 芯样 /200m/车道	压实度范围: 94%~97% 平均值的代表值 $\geq 94\%$	取芯: JTG E60 T0924 芯样密度: JTG E20 T0705
	无破损拉网检测以最大理论相对密度为标准的压实度	网格间隔: 纵向×横向 =10m×1m 每天汇总一次	压实度范围: 93%~97% 合格率 $\geq 85\%$ 平均值 $\geq 95\%$	统计分析
厚度	芯样厚度与设计厚度之差	1 芯样 /200m/车道	厚度 $\leq 50\text{mm}$ : $\geq$ 设计厚度值的 95% 厚度 $> 50\text{mm}$ : $\geq$ 设计厚度值的 92%	JTG E60 T0912
	按一天摊铺总量计算的平均厚度	每天 汇总一次	$\geq$ 设计值	JTG F40
平整 度	按 100m 计算的纵断面高程标准差	每天每车道 连续测量	中面层 $\leq 1.5\text{mm}$ 上面层 $\leq 1.2\text{mm}$	JTG E60 T0932
宽度		2 处/100m	$\geq$ 设计宽度	JTG E60 T0911
纵断面高程		3 处/100m	$\pm 10\text{mm}$	JTG E60 T0911
横坡度		3 处/100m	$\pm 0.3\%$	JTG E60 T0911
渗水系数		1 点/200m	$\leq 120\text{mL}/\text{min}(\text{TRHMA-AC})$ $\leq 80\text{mL}/\text{min}(\text{TRSMA})$ $\leq 60\text{mL}/\text{min}(\text{ARHM-SG})$ $\leq 80\text{mL}/\text{min}(\text{ARHM-SD})$	JTG E60 T0971

续表 6.10.6

检验项目	频度	质量要求	检验方法
摩擦系数(摆值)	1点/200m	符合设计要求	JTG E60 T0964
构造深度	1点/200m	符合设计要求	JTG E60 T0961
空隙率	1芯样	设计值 $\pm 1\%$	JTG E20 T0705
透水系数	/200m/车道	实测	CJJ/T 135

注：1 对于渗水系数骨架空隙型混合料不做压实度和渗水系数检验，改为检验芯样的空隙率和透水系数。

2 空隙率检验项目仅适用于骨架空隙型混合料。

## 6.10.7 橡胶沥青路面完工验收标准应符合表 6.10.7 的规定。

表 6.10.7 橡胶沥青路面完工验收标准

检查项目		检查频率 (单幅双4道)	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、裂纹、推挤、油斑、油包等缺陷，且无明显离析	目测
面层 厚度	代表值	每 1km 5 点	$\geq$ 设计厚度值的 90%	JTG E60 T0912
	极值		$\geq$ 设计厚度值的 80%	
压实 度	代表值	每 1km 5 点	最大理论密度的 94%~97%	JTG E60 T0924
	极值		比代表值放宽 1%(1km)或 2%(全部)	
平整度 (按 100m 计算的纵断面 高程标准差)		全线连续	$\leq 1.2\text{mm}$	JTG E60 T0932
渗水系数		每 1km 5 点	$\leq 120\text{mL}/\text{min}(\text{TRHMA-AC})$ $\leq 80\text{mL}/\text{min}(\text{TRHMA})$ $\leq 60\text{mL}/\text{min}(\text{ARHM-SG})$ $\leq 80\text{mL}/\text{min}(\text{ARHM-SD})$	JTG E60 T0971
宽度		每 1km 20 断面	$\geq$ 设计宽度	JTG E60 T0911



续表 6.10.7

检查项目	检查频率 (单幅双 4 道)	质量要求或允许偏差	试验方法
纵断面高程	每 1km 20 断面	$\pm 15\text{mm}$	JTG E60 T0911
中线偏位	每 1km 20 断面	$\pm 20\text{mm}$	JTG E60 T0911
横坡	每 1km 20 断面	$\pm 0.3\%$	JTG E60 T0911
弯沉 (贝克曼梁 回弹弯沉值)	全线每 20km 1 点	符合设计要求	JTG E60 T0951
构造深度	每 1km 5 点	符合设计要求	JTG E60 T0961
摩擦系数 (摆值)	每 1km 5 点	符合设计要求	JTG E60 T0964
空隙率	1 芯样	设计值 $\pm 1\%$	JTG E20 T0705
透水系数	/200m/车道	实 测	CJJ/T 135

注：1 骨架空隙型混合料不做压实度和渗水系数检验，改为检验芯样的空隙率和透水系数。

2 空隙率检验项目仅适用于骨架空隙型混合料。

## 7 表面处治与石屑封层

### 7.1 设 计

**7.1.1** 橡胶沥青表面处治的层数和厚度应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169 的规定。

**7.1.2** 单层橡胶沥青石屑封层适用于预防性养护面层和水泥混凝土路面加铺面层下的应力吸收层及各种防水粘结层。

**7.1.3** 橡胶沥青表面处治和石屑封层的集料级配应符合表 7.1.3 的规定。

**表 7.1.3 表面处治与石屑封层的集料级配**

集料规格 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)								备注
	26.5	19	16	13.2	9.5	6.35	4.75	0.075	
19~9.5	100	95~ 100	—	0~20	0~5	—	—	—	用于双层表面处治第一层
16~6.35	—	100	95~ 100	—	0~10	0~5	—	—	
13.2~6.35	—	—	100	95~ 100	0~20	0~5	—	0~1	用于单层表面处治或双层表面处治第二层
9.5~6.35	—	—	—	100	70~ 100	0~10	—	0~1	

注：在城市次干路、支路、乡村道路等要求较低的场合可采用 4.75mm 取代 6.35mm 粒径的规格。

**7.1.4** 橡胶沥青表面处治与石屑封层的结合料宜采用沥青-橡胶，其各项技术指标应符合本标准第 4.3.6 条的规定。

**7.1.5** 用于石屑封层设计的集料和结合料试样应与生产用的原材料相同。

**7.1.6** 对石屑在封层上的保持性有更高要求的场合,可在新铺的石屑封层上加铺雾封保护层。

**7.1.7** 单层橡胶沥青表面处治用石屑可选择公称粒径为 9.5mm,其级配应符合本标准表 7.1.3 的规定。

**7.1.8** 结合料用量和石屑用量可按本标准附录 F 的方法确定。

**7.1.9** 双层表面处治的石屑粒径与级配可按本标准表 7.1.3 选用,上、下层石屑粒径之间的关系宜符合表 7.1.9 的规定。

**表 7.1.9 双层表面处治上、下层石屑粒径的匹配关系**

封层层数	石屑粒径 (mm)	
下层 (第一层)	19~9.5	16~6.35
上层 (第二层)	9.5~6.35 或 13.2~6.35	9.5~6.35

注:在城市次干路、支路、乡村道路等要求较低的场合可采用 4.75mm 取代 6.35mm 粒径的规格。

**7.1.10** 双层表面处治上下层的石屑用量应按本标准第 7.1.8 条的规定首先确定单层表面处治的石屑用量,然后在单层石屑封层的基础上对第一层和第二层的石屑用量分别乘以 0.95 和 1~1.05 的系数后确定为石屑撒布率。

**7.1.11** 双层表面处治上、下层的结合料用量应按本标准第 7.1.8 条的规定首先确定单层表面处治的结合料用量,然后在第二层单层表面处治用量的基础上乘以 1.05~1.10 的系数后确定为第二层结合料的洒布率。

**7.1.12** 用于橡胶沥青应力吸收层的石屑可选择公称粒径为 9.5mm 和 13.2mm 的集料,其级配应符合本标准表 7.1.3 的规定。

**7.1.13** 橡胶沥青应力吸收层应采用沥青-橡胶作为结合料,沥青-橡胶应采用天然橡胶含量高的橡胶屑制作,并应符合本标准第 4.3.6 条的规定。

**7.1.14** 用于橡胶沥青应力吸收层的结合料与石屑用量应按本标准第 7.1.8 条的规定执行。

**7.1.15** 单纯用于防水功能的橡胶沥青防水粘结层可采用粘附于下层路面上的橡胶沥青防护层，或采用由橡胶沥青与撒布在其上的一层粗砂组成的砂封层。

**7.1.16** 防水粘结层用的粗砂应采用清洁、无其他有害杂质的石屑或机制砂，其级配应符合表 7.1.16 的规定。

**表 7.1.16 粗砂级配**

筛孔尺寸 (mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.3
通过相应筛孔的质量百分率 (%)	100	85~100	10~40	0~10	0~5

**7.1.17** 防水粘结层用的橡胶改性沥青应符合本标准第 4.2.3 条的规定，对喷洒于基层表面的结合料洒布量宜为  $0.8\text{L}/\text{m}^2 \sim 1.0\text{L}/\text{m}^2$ ，对喷洒于沥青层的结合料的洒布量宜为  $0.7\text{L}/\text{m}^2 \sim 0.9\text{L}/\text{m}^2$ 。

**7.1.18** 防水粘结层用的沥青-橡胶应符合本标准第 4.3.6 条的规定，对喷洒于基层表面的结合料洒布量宜为  $1.2\text{L}/\text{m}^2 \sim 1.6\text{L}/\text{m}^2$ ，对喷洒于沥青层的结合料的洒布量宜为  $1.0\text{L}/\text{m}^2 \sim 1.4\text{L}/\text{m}^2$ 。

**7.1.19** 粗砂的撒布量宜为  $8\text{kg}/\text{m}^2 \sim 11\text{kg}/\text{m}^2$ 。

## **7.2 施 工**

**7.2.1** 橡胶沥青表面处治与石屑封层施工的气候条件应符合下列规定：

1 各类橡胶沥青表面处治和石屑封层宜选择在气温高于  $18^\circ\text{C}$  时施工，最低气温不应低于  $16^\circ\text{C}$ ，大气的湿度应小于 50%。

2 橡胶沥青表面处治与石屑封层不得在雨天或湿度很大及大风的天气条件下施工。

**7.2.2** 施工准备应符合下列规定：

1 施工前应根据工程量和工程进度的要求组织好施工机械的组合，沥青洒布机、石屑撒布机、自卸卡车、压路机等主要机械生产能力应相互匹配，形成连续作业的施工方式。

2 各种施工机械与设备应进行开工前的保养、调试和试车，

并应处于良好的技术状态，各类配件、备件应配备齐全。

3 工地实验室应配置必要的试验和施工质量检测仪器。

### 7.2.3 待铺路面应符合下列规定：

1 待铺路面的各种结构性损坏，包括坑洞、裂缝、泛油、壅包、车辙等都应事先进行修补、铲除和填封。待铺路面应有足够的承载能力，原状路面的承载能力不足时，应进行补强处理。

2 待铺路面在喷洒结合料前应清扫干净，松散材料应扫除，路面上标志线应刮除，粉尘应采用压缩空气吹净。必要时可用高压水冲洗路面，路面完全干燥后方可施工。

3 待铺路面为砂石路面时，在施工前应先喷洒透层油；待铺路面为旧沥青路面、水泥混凝土路面时，可在铺设第一层时，根据原状路面的纹理、干湿情况，适当增加结合料用量。

7.2.4 在铺筑试验路段前应制定试验路段的施工和试验方案，明确铺筑试验路段的目的、工作任务和内容。

7.2.5 石屑封层的试验路段不宜少于 200m，其宽度为一个车道。

7.2.6 在试验路段铺筑前，应按本标准第 7.2.2 条、第 7.2.3 条做好施工前的各项准备工作，结合料洒布机、石屑撒布机、轮胎压路机等施工机械应按本标准第 7.3.3 条规定的检验项目、内容、方法与质量要求进行检查、调试和标定，结合料和石屑的洒布量应通过试洒布将其调整至要求的撒布率。

### 7.2.7 铺筑试验路段应符合下列规定：

1 各种施工机械的类型、数量、组合方式应匹配。

2 设计的结合料洒布率和石屑撒布率应确定。

3 石屑封层的施工工艺应切实可行。

4 石屑封层的质量应符合要求。

5 拟定的施工方案、施工组织、质量管理体系应具有可行性，并应确定正式施工时的施工方案、施工组织和质量管理体系。

**7.2.8** 试验路段铺筑完工后的质量检验应符合本标准第 7.3 节的规定。

**7.2.9** 沥青-橡胶洒布机性能应符合下列规定：

1 洒布机应具有自行式底盘，配置具备加热与搅拌功能的沥青-橡胶储存罐。

2 结合料的喷洒系统应配置高黏度沥青泵，在  $1500\text{mPa}\cdot\text{s}\sim 2000\text{mPa}\cdot\text{s}$  的黏度下有良好的喷洒均匀性。

3 每一喷嘴应有独立控制开启与关闭的阀门，喷杆两端的喷嘴宜向内侧倾斜一定角度，使喷洒的结合料形成一条清晰的边线。

4 配备有自动测速系统和计算机控制的喷洒量自动调节系统，使洒布量不受车速变化的影响。单个喷嘴的喷洒误差应控制在  $\pm 2\%$ 。

5 喷洒管的宽度应能自由调节，以适应不同洒布宽度的要求。

6 沥青管道、泵、阀门、喷杆、喷嘴应有导热油加热功能。

7 应配备有清洗系统，在作业结束后可及时清除喷洒杆内残余的橡胶沥青。

8 宜配备手动喷洒系统，用于补洒喷洒作业的某些缺陷和某些狭窄、不规则的手工作业的区域。

**7.2.10** 石屑撒布机宜采用前方撒布、后方接料的自行式石屑撒布机，性能应符合下列规定：

1 应配置安装在前方的撒布装置、中间的输送带和后方的接料斗，可与装载有高温预裹覆石屑的自卸卡车协同作业，连续工作。

2 石屑撒布装置应配置全宽度的螺旋分料器和撒布料滚。

3 石屑撒布装置的卸料口应在全宽度上配置一系列等宽度的料门，每个料门的开度均可独立调节。

4 应配置计算机自动控制的石屑撒布量调节系统。

5 当石屑撒布机采用同步石屑封层机时，不宜用于要求采

用高温预裹覆处理石屑的场合。

**7.2.11** 轮胎式压路机质量宜为 10t 级，性能应符合下列规定：

1 应配置全轮摇摆机构。

2 应配置轮胎气压的调节机构，轮胎气压调节宜为 400kPa~700kPa，各轮胎气压应保持一致，调节误差不应大于 5%。

3 前后轮胎之间的重叠度应为 30mm~50mm。

**7.2.12** 用于待铺路面清扫、中间复拌合完工后铺面清扫的滚刷式清扫机，性能应符合下列规定：

1 应具有自行式的轮式底盘，在前进和后退过程中均可作业。

2 应装备可调节的滚刷。

3 滚刷的刷毛应由高强度的尼龙丝制作。

**7.2.13** 用于最终清扫工序的真空吸扫式清扫机应具有足够的吸力，可将多余的石屑吸除。

**7.2.14** 橡胶沥青表面处治与石屑封层的施工工艺宜由沥青洒布、石屑预裹覆、石屑撒布、碾压、中间复拌及最终清扫等工序组成。

**7.2.15** 沥青-橡胶的喷洒作业应符合下列规定：

1 沥青-橡胶应在 195℃~200℃ 的温度下喷洒到路面上，喷洒作业应能确保石屑在 2min 之内覆盖在结合料上，在十字路口、三角地带等不规则的区域喷洒沥青-橡胶时应确保石屑能在 15min 内覆盖结合料。

2 沥青-橡胶的喷洒不得有条状带痕、漏洒等缺陷，对局部漏洒的部位应人工补洒，结合料洒布率相对设计值的偏差应为 ±7.5%。

**7.2.16** 喷洒接缝的处理应符合下列规定：

1 喷洒的纵向接缝应设置在道路中心线或车道的分界线上。

2 纵向接缝的处理应首先将已铺好的石屑封层的边缘修整平齐，将多余的石屑清扫干净。在喷洒结合料时应与已铺的铺层有一重叠度，重叠度不应大于 100mm。

3 横向接缝应切齐, 并应清理干净。

### 7.2.17 石屑撒布作业应符合下列规定:

1 石屑的撒布应在橡胶沥青洒布后立即进行, 并应在整个撒布宽度上按要求的撒布率均匀地覆盖在已喷洒好结合料的路面上。石屑撒布机应紧跟橡胶沥青洒布机工作, 与后者的距离不应超过 30m, 并在橡胶沥青处于流动状态下撒布石屑, 应确保石屑颗粒在结合料中有 50%~70% 的埋入量。埋入量的检查应在石屑封层开始阶段调节好撒布率后立即进行。

2 石屑撒布机的作业速度不宜过快, 不得使覆盖的集料颗粒在车轮的碾压下翻滚或被推移拱起。

3 橡胶沥青石屑封层用的石屑宜预先在沥青搅拌设备中进行预裹覆处理, 石屑的预裹覆工序应符合下列规定:

1) 预裹覆沥青用量与干集料的质量百分比可取 0.5%~0.8%;

2) 预裹覆的石屑撒布至路面时的温度宜为 150℃~160℃;

3) 运输预裹覆石屑的自卸卡车宜用多层保温篷布覆盖保温。

4 自卸卡车的载重量应选择恰当, 使新铺的封层能承受住车轮的碾压, 双轴驱动桥的卡车载重量宜为 9t~12t, 单轴驱动桥的卡车载重量宜为 4.5t~6t。

5 自卸卡车的轮胎应清洗干净, 必要时可撒防粘砂。

6 自卸卡车在进入新铺封层时, 车速应限制在 10km/h 内, 严禁急刹车、急转弯。车轮的轮迹应错开, 不应在同一轮迹带上来回走动。

7 石屑撒布率相对设计值的偏差应为±7.5%。石屑覆盖结合料的面积宜为 85%, 对于覆盖石屑过少的区域, 应采取人工补撒, 对于石屑覆盖过多的区域应将多余的石屑扫除。

8 当石屑撒布率偏高或撒布不均匀时, 可采用滚刷进行中间复拌, 不应将已埋入结合料中的集料颗粒翻出。



9 石屑撒布机的撒布作业不得出现带状条痕和波纹等缺陷。

**7.2.18 铺层的碾压作业应符合下列规定：**

1 碾压工序应紧跟石屑撒布进行，石屑覆盖结合料后 90s 内应得到碾压。压路机应紧跟石屑撒布机碾压，在碾压过程中压路机与撒布机的距离始终不应超过 60m。

2 应配备足够数量的轮胎压路机，压路机在进行第一遍碾压的同时应覆盖整个结合料的洒布宽度。

3 压路机的碾压速度应为 6km/h~10km/h，不应使石屑发生推移和滚翻等缺陷。碾压作业宜在 3 遍~4 遍内完成。当碾压作业不能使压路机与石屑撒布机之间距离保持在 60m 内时，应降低结合料洒布机的速度。

**7.2.19 清扫作业应符合下列规定：**

1 铺层碾压完成后的清扫作业应在石屑封层完成后 30min 内进行，清扫作业应多遍重复地进行，直到所有松散的集料被清除掉。

2 最终清扫宜采用真空吸扫式清扫机。

3 清扫作业不得将已埋入封层中的石屑颗粒翻出。

**7.2.20 新铺的橡胶沥青表面处治路面应在完工 5h 后开放交通，**当施工车辆必须在新铺封层上行驶时，其速度不得超过 10km/h，开放交通最初的 12h 车速应限制在 15km/h 内，开放交通 1d~2d 内车速不应大于 25km/h，严禁车辆急刹车或在新铺封层上转弯、调头。

### **7.3 质量控制和检验**

**7.3.1 用于橡胶沥青表面处治与封层的橡胶改性沥青和沥青-橡胶验收试验的取样方法、数量、频度应符合本标准第 6.10.1 条的规定。**

**7.3.2 施工设备检查、调试和标定应符合表 7.3.2 的规定。**

表 7.3.2 施工设备检查、调试和标定质量标准

检验项目		检查或试验内容	要求	检验方法	频度
结合料洒布机	洒布罐	结合料温度	195℃～200℃	温度表目测	随时
		喷杆压力	检查喷射压力或流量	压力表或流量计目测	
	喷嘴	每个喷嘴的喷洒图形	喷嘴无堵塞、滴漏，喷洒角度符合规定	目测	施工前试洒布
	喷杆高度	相邻喷嘴喷洒重叠度	重叠度达到三层重叠要求	目测	随时
	洒布性能	洒布率和洒布精度	检查洒布率和洒布精度	目测	施工前试洒布
		喷洒均匀性	喷洒均匀	目测	
石屑撒布机	撒布性能	洒布率和洒布精度	检查撒布率和撒布精度	目测	施工前试撒布
		撒布均匀性	无带状条痕和波浪	目测	
压路机	轮胎气压	每个轮胎气压	620kPa～690kPa	压力表目测	施工前
		各轮胎气压变化	±5%	压力表目测	
	配重设置	前后轴载荷符合规定要求	—	核对	
清扫机	滚刷与盘刷	刷丝完好性	刷丝无断裂、损坏、分布均匀，清洁、未粘附污物	目测	施工前
	抽吸系统	抽吸完好性	检查抽吸系统	目测	

7.3.3 施工过程中的质量检验应符合表 7.3.3 的规定。

表 7.3.3 施工过程中的质量检验

检验项目	检查或试验内容	质量要求	检验方法	频度
待铺路面	路面清洁性	待铺路面处于适合封层施工的状态	目测	随时

续表 7.3.3

检验项目		检查或试验内容	质量要求	检验方法	频度
石屑	料堆	清洁性	清洁、无污染物	目测	随时
	预裹覆石屑	温度	符合规定要求	温度计检测	
		清洁性	清洁、无污染物	目测	
结合料	喷洒罐	喷洒温度	符合规定要求	温度表目测	随时
		喷洒压力或流量	符合规定要求	压力表或流量计目测	
结合料洒布		洒布图形、重叠度	喷洒均匀、三层重叠，无条痕	目测	随时
		洒布率、洒布精度	洒布率偏差： ±7.5% 横向洒布精度： Cv≤7.5%	本标准附录 J	每 25000m²和更改结合料或料源时
石屑撒布		撒布均匀性	撒布均匀，无条痕、波浪	目测	随时
		撒布率、撒布精度	撒布率偏差： ±7.5% 横向撒布精度： Cv≤7.5%	本标准附录 J	每 25000m²和更改石屑尺寸或料源时
石屑埋入		埋入深度	50%~70%	目测	随时
石屑覆盖		覆盖率	85%~90%	目测	随时
实验室检验		石屑与结合料粘附性 石屑保持性	≥90% ≥90%	本标准附录 H 本标准附录 H	更换材料 料源或有疑问时

注：1 粘附性试验采用施工现场所用的结合料与石屑制作平板试件，石屑按附录 H 规定要求处理，试验温度为 5℃。

2 保持性试验采用施工现场所用的结合料与石屑制作平板试件，石屑除经现场处理过程外，不做其他任何处理，试验温度为 5℃、-10℃、-22℃ 三种。

### 7.3.4 橡胶沥青石屑封层施工质量验收应符合表 7.3.4 的规定。

表 7.3.4 橡胶沥青石屑封层施工质量验收标准

检验项目	单位	试验方法	质量标准
埋没、轮迹、泛油	%	本标准附录 J	$\leq 1$
局部露白、石屑局部集中脱落	%	本标准附录 J	$\leq 0.5$
跑石（个别石屑脱落）	%	本标准附录 J	$\leq 6$
带状条痕	m	本标准附录 J	$\leq 10$
表面宏观构造	mm	JTG E60 T0961	粒径 6.35mm~9.5mm 石屑 $\geq 1.5$
			粒径 9.5mm~13.2mm 石屑 $\geq 2.0$
表面摩擦系数	BPN	JTG E60 T0964	$\geq 50$

## 附录 A 橡胶屑物理特性的测定

### A.1 一般规定

**A.1.1** 本方法适用于测定橡胶屑的各项物理特性，包括金属丝的含量、含水率、纤维的含量、橡胶屑的级配和密度等，颗粒的单边长度用筛分或测量方法检测，杂质用目测法判定。

**A.1.2** 试验仪器、材料应符合下列规定：

- 1 天平或电子秤感量不应大于 0.1g。
- 2 实验室套筛应为方孔筛 No8(2.36mm)、No10(2.00mm)、No16(1.18mm)、No30(0.6mm)、No50(0.3mm)、No100(0.15mm)、No200(0.075mm)。
- 3 烘箱应满足保持温度在  $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的要求。
- 4 吸铁石应能用于收集橡胶屑中的残余金属。
- 5 橡胶球应为直径  $24.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$  的圆球，质量为  $9.3\text{g} \pm 0.5\text{g}$ ，每个筛网配一个。
- 6 盛样盘应为底面积不小于  $800\text{cm}^2$  的铝盘。
- 7 滑石粉应能用于防止橡胶屑颗粒之间的粘连。
- 8 比重瓶应为标准李氏比重瓶。
- 9 配重环应为包有塑料带或橡胶的金属环，内径 64mm 左右，有足够的质量可将比重瓶直立在恒温水中。
- 10 恒温水应满足控温  $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  的要求。
- 11 温度计应满足量程  $50^{\circ}\text{C}$ 、分辨率  $0.1^{\circ}\text{C}$  的要求。
- 12 橡胶屑的取样应采用专门的管状取样器，插入袋装橡胶屑的深处采集。

### A.2 钢丝含量与含水率

**A.2.1** 钢丝含量的测定应按下列步骤进行：

1 用切分或四分法从橡胶屑的料样中缩分出  $300\text{g}\pm 5\text{g}$  的试样, 并进行称重。

2 将橡胶屑试样平摊在一面积不小于  $800\text{cm}^2$  的铝盘内, 用吸铁石在试样上方缓慢移动, 扫过全部橡胶屑平摊面积。在 60s 内完成这一过程后将吸附在磁铁上的金属丝取下。

3 将分离出的钢丝进行称重。

4 应按下式计算橡胶屑中钢丝的含量:

$$C_M = (m_S/m_R) \times 100 \quad (\text{A. 2. 1})$$

式中:  $C_M$ ——钢丝含量 (%);

$m_S$ ——钢丝质量 (g, 精确至 0.1g);

$m_R$ ——橡胶屑质量 (g, 精确至 0.1g)。

**A. 2. 2 含水率的测定应按下列步骤进行:**

1 将除去钢丝后的橡胶屑作为含水率测定用的试样, 称取试样质量。

2 将橡胶屑试样平摊在一面积不小于  $800\text{cm}^2$  的铝盘内, 放入烘箱, 在  $60^\circ\text{C}\pm 3^\circ\text{C}$  的恒温下烘干 4h 至恒重。

3 称取烘干后的试样质量, 橡胶屑含水率应按下式计算:

$$C_W = [(m_R - m_D)/m_R] \times 100 \quad (\text{A. 2. 2})$$

式中:  $C_W$ ——橡胶屑含水率 (%);

$m_R$ ——橡胶屑质量 (g, 精确至 0.1g);

$m_D$ ——烘干后的试样质量 (g, 精确至 0.1g)。

### **A. 3 橡胶屑级配与纤维含量**

**A. 3. 1 橡胶屑级配与纤维含量的测定应按下列步骤进行:**

1 称取烘干的橡胶屑  $100\text{g}\pm 5\text{g}$  作为筛分用的试样。

2 称取  $5\text{g}\pm 0.5\text{g}$  滑石粉。滑石粉宜在 0.075mm 筛网上过筛一遍后再加入橡胶屑中。

3 将称好的橡胶屑与滑石粉一起放入罐内, 加盖密封后, 用手摇振 1min 以上, 使试样与滑石粉混合均匀。

4 在每个筛网上放置一橡胶球, 将带有滑石粉的橡胶屑倒

入套筛顶部筛格，用刷子将罐内所有的橡胶屑与滑石粉扫刷至顶部筛格内，盖上盖子。经 10min 的摇筛后，对套筛进行解体，将每层筛网反面底部所粘连的橡胶屑用刷子刷入下一层的筛格中。

5 对 2.36mm 筛网上的材料进行称重。然后将橡胶屑中的纤维线团检出放在秤盘的边上以免在下一筛网材料进行称重时被覆盖或干扰。

6 将秤盘中 2.36mm 以上的橡胶屑在秤盘上拨至一边另行放置。然后将 2.00mm 筛网上的橡胶屑倒入秤盘进行称重。

7 按上述方法继续称重，直至确定出筛底上的累计质量为止。

8 在废弃橡胶屑之前应将秤盘上合在一起的纤维线团进行单独称量，如采用橡胶球，则应将粘聚在球上的纤维用镊子取下与秤盘上的纤维合在一起称重。

A.3.2 橡胶屑级配计算步骤应符合下列规定：

1 应记录橡胶屑原始质量和滑石粉质量，按表 A.3.2 填写。

2 应记录获得的各筛网上的累计筛余量、筛底的累计筛余量和橡胶屑加滑石粉的总量。

3 应根据累计筛余量计算各筛网上的筛余量。

4 筛底的滑石粉质量  $m_{PT}$  应按下式计算：

$$m_{PT} = m_{TOTAL} - m_{CRM} \quad (A.3.2-1)$$

式中： $m_{PT}$ ——筛底中的滑石粉质量 (g)；

$m_{TOTAL}$ ——筛底的累计总质量 (g)；

$m_{CRM}$ ——橡胶屑的原始质量 (g)。

5 当筛底的滑石粉质量  $m_{PT}$  大于筛底的质量时，留下的滑石粉质量应按下式计算：

$$m_{RT} = m_{PT} - m_{PAN} \quad (A.3.2-2)$$

式中： $m_{RT}$ ——留在 0.075mm 粒径以上的滑石粉质量 (g)；

$m_{PT}$ ——筛底的滑石粉质量 (g)；

$m_{\text{PAN}}$ ——筛底质量（筛底分计筛余量）（g）。

6 当筛底的滑石粉质量小于或等于筛底质量时，修正的筛底质量应按下式计算：

$$(m_{\text{PAN}})_{\text{ADJ}} = m_{\text{PAN}} - m_{\text{T}} \quad (\text{A. 3. 2-3})$$

式中： $(m_{\text{PAN}})_{\text{ADJ}}$ ——修正的筛底质量（g）；

$m_{\text{PAN}}$ ——筛底质量（g）；

$m_{\text{T}}$ ——滑石粉质量（g）。

7 应分别计算修正后的累计筛余量、各筛网上的累计筛余百分率和各筛网的质量通过率。

表 A. 3. 2 橡胶屑级配计算表

橡胶屑原始质量 ( $m_{\text{CRM}}$ )

滑石粉原始质量 ( $m_{\text{T}}$ )

	A	B	C	D	E	F
筛网尺寸 (mm)	累计筛余量 (g)	分计筛余量 (g)	修正的分计 筛余量 (g)	修正的累计 筛余量 (g)	累计筛余 百分率 (%)	CRM 质量 通过率 (%)
2.36						
2.00						
1.18						
0.6						
0.3						
0.15						
0.075						
筛底						
总质量						

A. 3. 3 橡胶屑的纤维含量根据纤维总量和橡胶屑的原始质量应按下式计算：

$$C_{\text{FAB}} = \frac{m_{\text{FAB}}}{m_{\text{CRM}}} \times 100 \quad (\text{A. 3. 3})$$

式中： $C_{\text{FAB}}$ ——纤维含量（%）；



$m_{\text{FAB}}$ ——纤维总量 (g);

$m_{\text{CRM}}$ ——橡胶屑的原始质量 (g)。

**A. 3.4 橡胶屑密度的测定应按下列步骤进行:**

1 称取烘干的橡胶屑 100g。

2 将煤油注入李氏比重瓶至高于零刻度线, 将比重瓶刻度线 24mL 刻度以上的瓶颈内壁擦干。

3 盖上瓶盖, 将配重环套在比重瓶球体处, 直立浸入 20℃ 的恒温水中, 瓶颈露出水面, 水平面应在瓶颈的 24mL 刻度附近。

4 比重瓶在水中静置至少 2h, 直到瓶中煤油的温度与水浴相等为止。

5 取出比重瓶, 除去配重环, 擦干比重瓶外壁。

6 读取水温度, 读取煤油在比重瓶中的体积。

7 称取比重瓶的质量。

8 将橡胶屑的一部分倒入比重瓶, 直至比重瓶中的液面达到 19mL~23mL。

9 倾斜瓶体, 沿着水平面轻轻滚动比重瓶, 做陀螺运动, 空气逸出后盖上瓶塞。

10 称取比重瓶、橡胶屑与煤油的总质量。

11 套上配重环, 将比重瓶再次放入 20℃ 恒温水中至少 4h。

12 浸放 4h 后, 取出比重瓶, 除去配重环, 再次轻轻滚动比重瓶使煤油中的空气逸出。

13 读取水温度, 读取煤油在比重瓶中的刻度。

**A. 3.5 橡胶屑密度的计算步骤应符合下列规定:**

1 体积变化值应按下列式计算:

$$\Delta V = V_2 - V_1 \quad (\text{A. 3.5-1})$$

式中:  $\Delta V$ ——体积变化值 (mL);

$V_2$ ——最终体积 (mL);

$V_1$ ——原始体积 (mL)。

2 应按测定最终体积和原始体积时的温度差 ( $\Delta T = T_2 -$

$T_1$ ) 修正体积变化值  $\Delta V$ ,  $\Delta T$  每增加  $0.6^\circ\text{C}$ , 应在  $\Delta V$  中减去  $0.1\text{mL}$ ;  $\Delta T$  每减少  $0.6^\circ\text{C}$ , 应在  $\Delta V$  中增加  $0.1\text{mL}$ 。

3 应记录修正后的体积变化值  $\Delta V_c$ , 橡胶屑密度应按下式计算:

$$\rho_{\text{CRM}} = \frac{m_1 - m_2}{\Delta V_c} \quad (\text{A. 3. 5-2})$$

式中:  $\rho_{\text{CRM}}$ ——橡胶屑在  $T_1$  温度下的密度 (g/mL);

$m_2$ ——比重瓶、橡胶屑与煤油质量之和 (g);

$m_1$ ——比重瓶与煤油质量之和 (g);

$\Delta V_c$ ——温度修正后的体积变化值 (mL)。

## 附录 B 沥青-橡胶试验方法

### B.1 沥青-橡胶的配制方法

**B.1.1** 沥青-橡胶拌合机应符合下列规定：

1 拌合机应具有自动加热和控温装置，加热温度不应低于 230℃。

2 拌合机搅拌转子的转速应能自动无级调节和控制拌合时间，最高转速不应低于 2000r/min。

3 拌合器容量不应小于 3L。

**B.1.2** 温度计应满足量程为 0℃～250℃、分度为 1℃的要求。

**B.1.3** 配制沥青-橡胶时应按下列步骤进行：

1 将基质沥青在烘箱中加热至 175℃左右。

2 将存放沥青-橡胶的容器放在电子秤上，用减量法将加热好的基质沥青按规定质量加入搅拌容器中。

3 开启搅拌器的可控制热源将结合料继续加热至 200℃～210℃，在加热过程中搅拌器持续搅动基质沥青。

4 当基质沥青的温度达到规定要求时，将称好的橡胶屑倒入搅拌容器，边投入边搅拌；当橡胶屑全部投入后，将温度设定在 180℃～190℃。

5 在设定温度的状态下，基质沥青与橡胶屑反应 45min～60min，应持续对掺和的结合料进行搅动。

**B.1.4** 配制好的沥青-橡胶应及时使用，在短时间内不能马上使用时，结合料仍应保持在设定的温度上，并应不停地进行搅动。制备好的沥青-橡胶保存的时间不得超过 4h，超过时间的结合料应废弃。

## B.2 哈克旋转黏度试验方法

**B.2.1** 旋转黏度计应采用宽量程的手持式哈克 (Haake) 旋转黏度计, 并应符合下列规定:

- 1 模拟式黏度计应带有指针和刻度盘显示, 分度应为  $1\text{dPa} \cdot \text{s}$ 。
- 2 数字式黏度计应带有读数显示屏, 分辨率应为  $0.1\text{dPa} \cdot \text{s}$ 。
- 3 转子应为直径  $24\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ , 高  $53\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ , 带有通气孔和  $87\text{mm} \pm 2\text{mm}$  的主轴。

**B.2.2** 试验仪器和材料应符合下列规定:

- 1 温度计宜为数字式, 精度应为  $0.1^{\circ}\text{C}$ 。
- 2 盛样器容量宜为  $1\text{L} \sim 3\text{L}$ , 并应带盖和金属丝提手。
- 3 标准黏度液应在  $1000\text{mPa} \cdot \text{s} \sim 5000\text{mPa} \cdot \text{s}$  范围内选用三种黏度的标准液。
- 4 加热热源应具有温控功能, 结合料应保持在  $100^{\circ}\text{C} \sim 230^{\circ}\text{C}$  设定的温度上, 温控精度应为  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 5 水平支架应可调节放置盛样器的水平面, 并应容许热源加热盛样器内的结合料。
- 6 搅拌棒应为玻璃或金属制成的圆棒。

**B.2.3** 在测定前, 哈克黏度仪应在三种已知其黏度的标准液体中进行标定。当标定值与标准黏度之差在  $300\text{mPa} \cdot \text{s}$  以内时, 应根据标定结果对测量值进行修正。标定试验应在标准黏度液制造商规定的标准温度下进行。

**B.2.4** 沥青-橡胶黏度测量应按下列步骤进行:

- 1 将盛有已调制好的沥青-橡胶的罐放在热源上方适当的高度处, 并不断地搅动结合料。
- 2 将黏度仪的转子从罐边上放入热的结合料试样内。
- 3 停留  $1\text{min}$ , 使转子有适应的过程。
- 4 在适应的过程中充分搅动试样, 并测量试样的温度。
- 5 转子移至罐的中央, 准备进行黏度的测量。
- 6 测量时, 黏度仪取正确的手持位置, 使转子的轴线垂直

于结合料液面和黏度仪的水平面，此时当转子旋转时会形成一水平的旋涡，同时转子浸没至试样内，其深度在转子轴上标志的刻度范围内。

7 正确定位后，开动转子旋转，并在黏度仪刻度盘上与转子相应的刻度上读取峰值黏度。

8 进行三次测量，每次测量后将转子移至罐的边上，并重新充分搅动试样，使橡胶颗粒较均匀地分布在结合料中。

9 取三次测量的平均值作为沥青-橡胶的黏度，并记入试验报告中。

10 试验结束后，将转子悬挂在适宜的溶剂中，洗去沥青橡胶。

**B. 2. 5** 试验报告应包括下列主要内容：

- 1 结合料的类型和料源。
- 2 黏度计和转子的型号。
- 3 试验的温度和相应的黏度。
- 4 采样和试验的时间。
- 5 试验相关人员。

### **B. 3 锥入度试验**

**B. 3. 1** 锥入度仪应能测定圆锥体贯入试样的深度，其圆锥贯入器应能上下移动使圆锥体的尖端精确地安放在试样表面上，当释放圆锥贯入器时圆锥体应能在没有明显摩擦的情况下，自由贯入试样。

**B. 3. 2** 圆锥贯入器的总质量应为  $150\text{g} \pm 0.1\text{g}$ 。

**B. 3. 3** 盛样皿应为容积 177mL 的金属制圆形平底容器。

**B. 3. 4** 将配制好的沥青-橡胶倒入盛样皿内，结合料装填至盛样皿的边缘，试样在标准室温 ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) 下养生冷却 2h。

**B. 3. 5** 锥入度试验应按下列步骤进行：

1 将盛样皿放入  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  的恒温水中养生 2h 后取出，吸干试样表面水分，在试样表面径向相隔  $120^{\circ}\text{C}$  的线上进行三次

试验，每个试验点落在试样中心至边缘的一半处。

2 将圆锥头移向试验点，在适当的灯光下观察圆锥顶尖，使之正好与试样的表面接触。

3 释放圆锥贯入杆，让圆锥贯入试样，计时 5s 后停止贯入，测量贯入的深度。

4 进行三次同样的试验，每次试验后将圆锥顶点清洁和擦干。

5 将三次试验结果的平均值作为锥入度值，记入试验报告。

**B.3.6** 在整个试验进行时应保持环境温度在标准室温下，试样的温度应始终控制在  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

**B.3.7** 试验报告应包括下列主要内容：

- 1 结合料的类型和料源。
- 2 锥入度仪的型号。
- 3 试验的温度和相应的锥入度。
- 4 采样和试验的时间。
- 5 试验相关人员。

**B.3.8** 当试验结果在 40mm~80mm 时，在同一试验员、同一试验条件下，重复性试验的允许误差应为 3mm，在多个实验室条件下，复现性试验的允许误差应为 9mm。

## **B.4 回弹恢复试验**

**B.4.1** 回弹恢复试验可采用锥入度仪进行，并应采用球形贯入器取代标准圆锥体。

**B.4.2** 球形贯入器运动部分的总质量应为  $75\text{g} \pm 0.01\text{g}$ 。

**B.4.3** 盛样皿应为容积 177mL 的金属制圆形平底容器。

**B.4.4** 将配制好的沥青-橡胶注入盛样皿。将结合料装填到盛样皿边缘，试样在标准室温下养生冷却 2h。

**B.4.5** 回弹恢复试验应按下列步骤进行：

1 将盛样皿放入  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  的恒温水槽中养生 2h 后取出，吸干试样表面的水分，在试样表面上均匀地撒上一些滑石

粉，用吹风机吹去多余的滑石粉。

2 将试样皿放在针入度仪的平台上，调节指示器刻度盘为零；慢慢放下球形贯入器，在适当的灯光下观察球头，与试样表面接触。

3 释放针入度仪主轴，使球形贯入器贯入试样 5s 的时间，将此时指示器的读数记为球入度  $P$ 。

4 继续加压球形贯入器以均匀的速度在 10s 内贯入试样至附加的 100 单位（1 单位 = 0.1mm）。重新啮合止动器使球形贯入器保持在这一位置上附加 5s 时间，并在这一时间内调整指示器刻度盘至零。

5 释放止动器，让球形贯入器自由回弹 20s，并将指示器的最终读数记为残余变形  $F$ 。

6 升起球形贯入器，球头能自由离开试样表面，否则此试验结果作废，并重新撒布滑石粉、重做试验。

7 在整个试验过程中，环境温度在标准室温下，试样的温度控制在  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

8 进行三次同样试验，每次试验的 3 个试验点落在试样表面相隔  $120^{\circ}$  的径向线上，并距离试样表面边缘至少 13mm。

**B. 4. 6** 回弹值或回弹恢复系数应按下式计算：

$$X = P + 100 - F \quad (\text{B. 4. 6})$$

式中： $X$ ——回弹值（mm，精确至 0.1mm）或回弹恢复系数（%）；

$P$ ——球入度（mm，精确至 0.1mm）；

$F$ ——残余变形（mm，精确至 0.1mm）。

**B. 4. 7** 应将三次试验结果的平均值作为回弹试验值记入试验报告。

**B. 4. 8** 试验报告应包括下列主要内容：

- 1 结合料的类型和料源。
- 2 锥入度仪的型号。
- 3 试验的温度和相应的回弹值或回弹恢复系数。

4 采样和试验的时间。

5 试验相关人员。

**B. 4. 9** 在同一试验员、同一试验条件下，重复性试验的允许偏差应为 4 个回弹单位。



## 附录 C 悬浮密实型橡胶沥青混合料设计方法

### C.1 矿料级配

**C.1.1** 连续级配橡胶改性沥青混合料矿料级配应以本标准表 5.2.1 所列的矿料级配范围的中值作为设计级配的控制目标，并应符合下列规定：

1 下面层宜采用连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-25 的中值线作为目标配合比的初选级配曲线。

2 中面层可根据集料密度的高低，在连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-20 与连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-20C 的中值线之间选其一作为目标配合比的初选级配曲线。

3 上面层可根据集料密度的高低，在连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-13 与连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-13C 的中值线之间选其一作为目标配合比的初选级配曲线，或在连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-16 与连续级配橡胶改性沥青混合料 AC-16C 的中值线之间选其一作为目标配合比的初选级配曲线。

**C.1.2** S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料矿料级配应符合下列规定：

1 集料之间应留有较大的矿料间隙，结合料的用量宜占混合料总量的 6.5%~8.5%。

2 矿料之间的空隙在充填沥青-橡胶后应形成密实的结构。

3 S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料的设计级配应符合本标准表 5.4.1 规定的级配范围；初选的矿料级配可按级配范围的中值确定，然后根据马歇尔试件的空隙率进行调整。

### C.2 混合料马歇尔设计法

**C.2.1** 悬浮密实型橡胶沥青混合料的马歇尔设计方法应按下列

步骤进行:

1 在初选矿料设计级配的基础上, 采用 4 种~5 种规格的集料用试凑法在合成矿料级配曲线, 并应确定各档规格集料的比例。

2 矿料的合成表观相对密度、合成毛体积相对密度、有效相对密度应按下列公式计算:

$$\gamma_{sa} = \frac{100}{\frac{P_1}{\gamma_{1a}} + \frac{P_2}{\gamma_{2a}} + \dots + \frac{P_n}{\gamma_{na}}} \quad (\text{C. 2. 1-1})$$

$$\gamma_{sb} = \frac{100}{\frac{P_1}{\gamma_{1b}} + \frac{P_2}{\gamma_{2b}} + \dots + \frac{P_n}{\gamma_{nb}}} \quad (\text{C. 2. 1-2})$$

$$\gamma_{sc} = C \times \gamma_{sa} + (1 - C) \times \gamma_{sb} \quad (\text{C. 2. 1-3})$$

$$C = 0.033w_x^2 - 0.2936w_x + 0.9339 \quad (\text{C. 2. 1-4})$$

$$w_x = \left[ \frac{1}{\gamma_{sb}} - \frac{1}{\gamma_{sa}} \right] \times 100 \quad (\text{C. 2. 1-5})$$

式中:

$\gamma_{sa}$ ——矿料合成表观相对密度;

$\gamma_{sb}$ ——矿料合成毛体积相对密度;

$\gamma_{sc}$ ——矿料的合成有效毛体积相对密度;

$P_1, P_2, \dots, P_n$ ——各种矿料成分的配合百分比 (%), 其和为 100%;

$\gamma_{1a}, \gamma_{2a}, \dots, \gamma_{na}$ ——各种矿料成分的表现相对密度;

$\gamma_{1b}, \gamma_{2b}, \dots, \gamma_{nb}$ ——各种矿料成分的毛体积相对密度;

$C$ ——合成矿料的沥青吸收系数;

$w_x$ ——合成矿料的吸水率 (%).

3 预估的结合料用量应符合下列规定:

1) 橡胶改性沥青混合料应按不同的结构层选择;

2) 沥青-橡胶混合料可按期望达到的耐久性水平, 在 7.0%~8.0%的结合料用量中选择;

3) 可按类似工程的结合料用量预估新建工程的结合料用量, 根据集料密度不同, 在两个不同工程中的油石比

可按式确定其当量关系：

$$\frac{P_{a2}}{P_{a1}} = \frac{\gamma_{sb1}}{\gamma_{sb2}} \quad (\text{C. 2. 1-6})$$

式中：\$P\_{a1}\$——已建工程采用的油石比；

\$P\_{a2}\$——预估工程的当量油石比；

\$\gamma\_{sb1}\$——已建工程的矿料合成毛体积相对密度；

\$\gamma\_{sb2}\$——预估工程用的矿料合成毛体积相对密度。

4 应以预估的最佳结合料用量为中值，按 0.5% 的间隔，取 5 个不同的结合料用量制作 5 组马歇尔试件，每组试件的数量不宜少于 5 个。

5 制作马歇尔试件的工艺参数可按表 C. 2. 1 确定。

表 C. 2. 1 马歇尔试件制作的工艺参数

工艺参数	橡胶改性沥青混合料	沥青-橡胶混合料
矿料加热温度 (°C)	180~190	190~195
结合料加热温度 (°C)	170~180	190~195
拌锅加热温度 (°C)	180~190	180~190
试模加热温度 (°C)	150~160	160~170
拌合温度 (°C)	165~175	170~180
击实温度 (°C)	160~170	160~170
拌合时间 (min)	3	3

6 应测定马歇尔试件的毛体积相对密度 \$\gamma\_f\$ 和吸水率 \$S\_a\$，应计算其平均值，并应符合现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTGE20 的规定。

7 各组马歇尔试件的最大理论相对密度、空隙率、矿料间隙率、有效沥青饱和度和平均值应按下列公式计算：

$$\gamma_t = \frac{100 + P_a}{100/\gamma_{sc} + P_a/\gamma_b} \quad (\text{C. 2. 1-7})$$

$$VV = \left[ 1 - \frac{\gamma_f}{\gamma_t} \right] \times 100 \quad (\text{C. 2. 1-8})$$

$$VMA = \left[ 100 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{sb}} \times P_s \right] \quad (C. 2. 1-9)$$

$$VFA = \left( 1 - \frac{VV}{VMA} \right) \times 100 \quad (C. 2. 1-10)$$

式中： $\gamma_t$ ——混合料最大理论相对密度；

$P_s$ ——所计算的沥青混合料的矿料含量（矿料占矿料与结合料总质量的百分比，%）；

$P_a$ ——所计算的沥青混合料中的油石比（%）；

$\gamma_{sc}$ ——矿料合成有效毛体积相对密度；

$\gamma_b$ ——结合料的相对密度；

$VV$ ——沥青混合料试件空隙率（%）；

$\gamma_f$ ——混合料试件的毛体积相对密度；

$\gamma_t$ ——混合料的最大理论相对密度；

$VMA$ ——混合料试件的矿料间隙率（%）；

$\gamma_{sb}$ ——矿料合成毛体积相对密度；

$VFA$ ——有效沥青饱和度（%）。

**8** 应根据马歇尔稳定度试验方法，测定各马歇尔试件稳定度和流值，计算其平均值，并应符合现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 的规定。

**9** 对连续级配橡胶改性沥青混合料，应按下列步骤确定最佳结合料用量：

- 1) 绘制马歇尔试件平均密度、空隙率、稳定度、流值、矿料间隙率、有效沥青饱和度与沥青含量的关系曲线，确定相应于最大密度、最大稳定度、目标空隙率、沥青饱和度范围中值的 4 个沥青用量，取四者的平均值为初选的最佳沥青用量；
- 2) 确定各项指标均符合本标准表 5.3.3 的沥青用量范围的中值；
- 3) 取初选的最佳沥青用量与各项指标均符合本标准表 5.3.3 的沥青用量范围中值的平均值作为最佳结合料

用量。

**10** 对 S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料，以结合料用量为横坐标，绘制空隙率随结合料用量而变化的曲线，在空隙率的图表上寻找与目标空隙率相应的结合料用量作为最佳结合料用量。

**11** 检查与最佳结合料用量相应的各项马歇尔指标。

**C.2.2** 对连续级配橡胶改性沥青混合料应符合本标准表 5.3.4 的规定；对 S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料应符合本标准表 5.4.2 的规定。

**C.2.3** 应采用最终确定的矿料级配和最佳结合料用量进行混合料性能检验，其各项指标应分别符合本标准表 5.2.3 或表 5.3.5 的规定；当不符合要求时，应重新进行混合料的设计。

## 附录 D 骨架密实型橡胶沥青混合料设计方法

### D.1 矿料级配

**D.1.1** SMA 橡胶改性沥青混合料矿料级配应符合下列规定：

- 1 作为骨架的粗集料应形成集料之间石碰石的嵌挤结构。
- 2 矿料中应有足够数量的粉料，与相对较高的结合料用量形成的沥青砂胶充填粗集料之间的空隙。

3 集料之间应有足够的空间容纳沥青砂胶，应具有相对较高的矿料间隙率，并应在充填沥青砂胶后空隙率很小。

**D.1.2** 骨架密实型沥青-橡胶混合料矿料级配应符合下列规定：

- 1 作为骨架的粗集料应形成集料之间石碰石的嵌挤结构。
- 2 矿料中的细集料和粉料较少，可让出空间容纳固体的橡胶颗粒和较高用量的结合料，结合料的用量根据不同的要求可为 6.0%~8.5%。

3 矿料之间的空隙充填沥青-橡胶后，应形成空隙率很小的密实结构。

### D.2 混合料体积设计法

**D.2.1** 骨架密实型混合料的马歇尔试件体积设计法的步骤应符合下列规定：

1 在骨架分界筛孔通过率的中值附近，在本标准表 5.3.1 或本标准表 5.4.1 所列的矿料级配范围内，应选择粗、中、细三种不同的矿料级配作为初选级配。

2 应在三种初选矿料级配的基础上，采用 3 种~5 种规格的集料，用试凑法合成三种矿料的级配曲线，并确定各档规格集料的比例，并应按本标准附录第 C.2 节的方法分别计算三种初选矿料级配的合成表观相对密度、合成毛体积相对密度、有效相

对密度。

3 应按三种初选的矿料级配制备三组矿料混合料, 并应按现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 的方法测定骨架粗集料在捣实状态下的毛体积相对密度。

4 粗集料骨架部分的各档集料在全部矿料混合料中的质量百分比应按下式计算:

$$P_i = (100 - P_{BPi}) \times P_{Pi} / 100 \quad (\text{D. 2. 1-1})$$

式中:  $P_i$ ——粗集料骨架部分的各档集料在全部矿料混合料中的质量百分比 (%);

$P_{BPi}$ ——各档集料骨架分界筛孔的质量通过率 (%);

$P_{Pi}$ ——各档集料的配合比 (%).

5 骨架粗集料的合成毛体积相对密度应按下式计算:

$$\gamma_{CA} = \frac{P_1 + P_2 + \cdots + P_n}{\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{P_2}{\gamma_2} + \cdots + \frac{P_n}{\gamma_n}} \quad (\text{D. 2. 1-2})$$

式中:  $\gamma_{CA}$ ——骨架粗集料的合成毛体积相对密度;

$P_1, P_2, \cdots, P_n$ ——集料骨架部分的各种集料在全部矿料混合料中的质量百分比 (%), 其和为 100 %;

$\gamma_1, \gamma_2, \cdots, \gamma_n$ ——粗集料骨架部分的各种集料相应的毛体积相对密度。

6 各组初选矿料级配的骨架粗集料在捣实状态下的骨架间隙率应按下式计算:

$$VCA_{DRC} = \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_{CA}}\right) \times 100 \quad (\text{D. 2. 1-3})$$

式中:  $VCA_{DRC}$ ——各组初选矿料级配的骨架粗集料在捣实状态下的骨架间隙率 (%);

$\gamma_s$ ——骨架粗集料在捣实状态下的毛体积相对密度;

$\gamma_{CA}$ ——骨架粗集料的合成毛体积相对密度。

7 应根据已建工程的经验预估适宜的结合料用量, 对 SMA 橡胶改性沥青混合料通常可选 6.0 %, 也可根据表 D. 2. 1 按矿料

的合成毛体积相对密度取相应的最小结合料用量作为初选的结合料用量。对骨架密实型沥青-橡胶混合料通常可选 6.5% 作为初选的沥青-橡胶用量。

表 D. 2. 1 沥青用量与集料合成毛体积相对密度间的关系

集料合成 毛体积相 对密度	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
最小沥 青用量 (%)	6.8	6.7	6.6	6.5	6.3	6.2	6.1	6.0	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5

8 当按类似工程的结合料用量预估新建工程的结合料用量时，在两个不同工程中的结合料用量与集料毛体积相对密度应符合本标准式 (C. 2. 1-6) 所示的当量关系。

9 应按三种初选的矿料级配和一种初选的结合料用量制作三组马歇尔试件，每组 5 个试件。马歇尔试件的标准击实次数应为 75 次。制作马歇尔试件的工艺参数，对 SMA 橡胶改性沥青混合料可采用本标准表 C. 2. 1 为橡胶改性沥青混合料提供的温度范围，对骨架密实型沥青-橡胶混合料可采用本标准表 C. 2. 1 为沥青-橡胶混合料提供的温度范围，并根据经验确定。

10 混合料的最大理论相对密度应按下式计算：

$$\gamma_t = \frac{100}{\frac{P_s(1 - P_x/100)}{\gamma_{se}} + \frac{P_b(1 - P_x/100)}{\gamma_b} + \frac{P_x}{\gamma_x}} \quad (\text{D. 2. 1-4})$$

式中： $\gamma_t$ ——混合料的最大理论相对密度 (%)；

$P_s$ ——矿料含量（矿料占矿料与结合料总质量的百分比，%）；

$P_b$ ——结合料含量（结合料占矿料与结合料总质量的百分



比, %);

$P_x$ ——纤维稳定剂含量 (纤维占矿料与结合料总质量的百分比, %), 混合料不用纤维稳定剂时,  $P_x$  为零;

$\gamma_{sc}$ ——矿料的有效毛体积相对密度;

$\gamma_b$ ——沥青的相对密度;

$\gamma_x$ ——纤维稳定剂的相对密度。

**11** 对每个马歇尔试件应按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 测定马歇尔试件的毛体积相对密度  $\gamma_f$  和吸水率  $S_a$ , 并计算其平均值, 并按本标准式 (C. 2. 1-8)~式 (C. 2. 1-10) 计算 VV、VMA、VFA 等体积指标。应按每组试件计算各体积指标的平均值。

**12** 马歇尔试件中骨架粗集料占试件混合料总质量的百分比应按下式计算:

$$P_{CA} = \frac{(100 - P_{BP}) \times (100 - P_b)}{100} \quad (D. 2. 1-5)$$

式中:  $P_{CA}$ ——马歇尔试件中骨架粗集料占试件混合料总质量的百分比 (%);

$P_{BP}$ ——矿料级配曲线中骨架分界筛孔的质量通过率 (%);

$P_b$ ——结合料含量 (结合料占矿料与结合料总质量的百分比, %)。

**13** 马歇尔试件中粗集料的骨架间隙率应按下式计算:

$$VCA_{mix} = \left[ 100 - \frac{\gamma_f}{\gamma_{CA}} \times P_{CA} \right] \quad (D. 2. 1-6)$$

式中:  $VCA_{mix}$ ——马歇尔试件中粗集料的骨架间隙率 (%);

$\gamma_f$ ——混合料试件的毛体积相对密度;

$P_{CA}$ ——马歇尔试件中骨架粗集料占试件混合料总质量的百分比 (%);

$\gamma_{CA}$ ——骨架粗集料的合成毛体积相对密度。

**14** 应对 3 组初选级配的马歇尔试件的各项体积指标进行评估, 应按同时满足下式条件, 在 3 种级配中选择 1 种作为矿料的设计级配。当有两组以上的级配均能满足下式条件时, 应选择其空隙率接近目标空隙率且 VMA 较大者作为设计级配。当 3 组级配均不满足下式条件时, 应重新进行混合料设计:

$$\begin{cases} VCA_{DRC} - VCA_{mix} = 1 \sim 1.5 \\ VMA \geq VMA_{crit} \end{cases} \quad (D. 2. 1-7)$$

式中:  $VCA_{DRC}$ ——骨架粗集料在捣实状态下的骨架空隙率 (%);

$VCA_{mix}$ ——马歇尔试件中粗集料的骨架空隙率 (%);

$VMA$ ——马歇尔试件的矿料空隙率 (%);

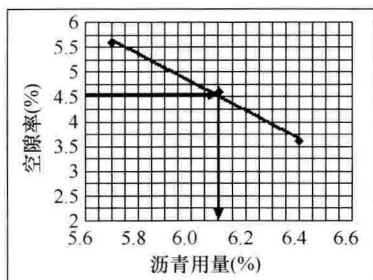
$VMA_{crit}$ ——马歇尔试件的矿料空隙率的临界值, 对 SMA 橡胶改性沥青混合料取 17, 对骨架密实型沥青-橡胶混合料取 18。

**15** 应以所选择的设计级配为基础, 根据初选结合料用量的马歇尔试件空隙率, 按 0.3%~0.4% 的间隔, 重新调整 3 个不同的结合料用量制作 3 组马歇尔试件, 每组 5 个试件。

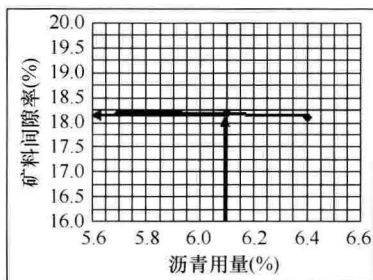
**16** 应对各组试件进行马歇尔试验, 测定和计算  $\gamma_f$ 、VV、VMA、VFA、MS、FL 和  $VCA_{mix}$ , 并应计算其平均值。

**17** 应绘制 VV、VMA、 $VCA_{mix}$ 、 $VCA_{DRC}$  随结合料用量而变化的曲线 (图 D. 2. 1)。以  $VV=4\% \sim 4.5\%$  作为目标空隙率, 在空隙率图表上找出相应的结合料用量作为最佳结合料用量 OAC, 并验证与 OAC 相应的 VMA 和  $VCA_{mix}$  之值应符合式 (D. 2. 1-7) 的条件。

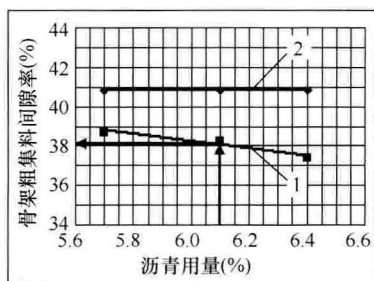
**18** 应以最佳结合料用量与矿料设计级配制作橡胶改性沥青混合料和马歇尔试件, 测定 SMA 橡胶改性沥青混合料的析漏值并验证与最佳沥青用量相应 SMA 橡胶改性沥青混合料和骨架密实型沥青-橡胶混合料的各项马歇尔指标, SMA 橡胶改性沥青混合料应符合本标准表 5.3.4 的规定; 骨架密实型沥青-橡胶混合料应符合本标准表 5.5.2 的规定。



(a)



(b)



(c)

图 D. 2. 1 VV、VMA、 $VCA_{mix}$ 、 $VCA_{DRC}$  随结合料用量而变化的曲线

1— $VCA_{mix}$ ；2— $VCA_{DRC}$

**D. 2. 2** 应以最终确定的矿料级配和最佳结合料用量进行混合料性能检验，其各项指标应分别符合本标准表 5. 3. 5 或表 5. 5. 3 的规定。不符合要求时，应重新进行混合料的设计。

## 附录 E 骨架空隙型橡胶沥青混合料设计方法

### E.1 矿料级配

**E.1.1** 骨架空隙型沥青-橡胶混合料矿料级配应符合下列规定:

- 1 矿料中作为骨架的粗集料应形成“石碰石”的嵌挤结构;
- 2 矿料中应以粗集料为主, 2.36mm 筛孔以下细集料为辅, 形成全开的级配;

3 矿料中细料部分应由要求的空隙率和结合料用量来决定。

**E.1.2** 骨架空隙型沥青-橡胶混合料的用量宜为 8.7%~9.7%。

### E.2 混合料体积设计法

**E.2.1** 骨架空隙型(开级配)沥青-橡胶热拌混合料的马歇尔试件体积设计方法应按下列步骤进行:

1 在本标准表 5.6.1 所列的矿料级配范围内选择粗、中、细三种不同的矿料级配作为初选的级配。

2 在三种初选矿料级配的基础上, 采用 3 种~5 种规格的集料用试凑法在计算机上合成三种矿料的级配曲线, 并确定各档规格集料的比例。

3 应按式 (E.2.1) 估算初选的结合料用量:

$$P_{AR} = (0.38 \times W + 8.6) \times \frac{2.620}{C} \quad (\text{E.2.1})$$

式中:  $P_{AR}$ ——初选的结合料用量 (%);

$W$ ——集料的吸水率 (%);

$C$ ——烘干集料的合成毛体积相对密度。

4 按三种初选的矿料级配和一种初选的结合料用量制作三组马歇尔试件, 每组 5 个试件, 马歇尔试件的标准击实次数为 50 次, 马歇尔试件的制作温度可按本标准附录 C 表 C.2.1 根据

经验确定。

5 对每个马歇尔试件应按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 真空密封法或体积法测定试件的毛体积相对密度  $\gamma_s$  并计算平均值。

6 应按本标准附录 D 公式 (D. 2. 1-4) 计算骨架空隙型 (开级配) 沥青-橡胶热拌混合料的最大理论相对密度  $\gamma_t$ ，并按本标准附录 C 公式 (C. 2. 1-8) 计算它们的空隙率指标 VV 及每组试件 VV 指标的平均值。

7 在三组马歇尔试件中选择一组平均空隙率最接近目标空隙率的试件组。

8 以所选择的设计级配与初选结合料用量拌制混合料和制作一组马歇尔试件，进行析漏试验和肯塔基飞散试验，试验结果应满足本标准表 5. 6. 2 的要求。

9 按本标准附录 F 的方法计算集料平均沥青膜厚度，其值宜在  $45\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$  之间。

**E. 2. 2** 以最终确定的矿料级配和最佳结合料用量拌制沥青-橡胶混合料进行性能检验，其各项指标应符合本标准表 5. 6. 3 的规定，如不符合则应重新进行混合料的设计。

## 附录 F 平均有效沥青膜厚度和 有效粉胶比计算方法

**F.0.1** 平均有效沥青膜厚度的确定应符合下列规定：

1 应按表 F.0.1 确定不同粒径矿料的表面积系数。

**表 F.0.1 不同粒径矿料的表面积系数 (SAF)**

表面积 系数 SAF	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 $P_i$ (%)							
	通过率为 100% 的筛孔	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
	$P_{\max}$	$P_{4.75}$	$P_{2.36}$	$P_{1.18}$	$P_{0.6}$	$P_{0.3}$	$P_{0.15}$	$P_{0.075}$
$(SAF)_i$ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	0.41	0.41	0.82	1.64	2.87	6.14	12.29	32.77

2 矿料比表面积 SA 应按下式计算：

$$\begin{aligned}
 SA &= \Sigma (SAF)_i \times \frac{P_i}{100} \\
 &= \frac{(41 + 0.41 \times P_{4.75} + 0.82 \times P_{2.36} + 1.64 \times P_{1.18} + 2.87 \times P_{0.6})}{100} \\
 &\quad + \frac{(6.14 \times P_{0.3} + 12.29 \times P_{0.15} + 32.77 \times P_{0.075})}{100}
 \end{aligned}
 \tag{F.0.1-1}$$

式中：SA——矿料的比表面积 ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )；

$(SAF)_i$ ——不同粒径矿料的表面积系数 ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )；

$P_i$ ——不同粒径矿料的通过质量百分率 (%)。

3 平均有效沥青膜厚度应按下式计算：

$$T_F = \frac{V_{be}}{SA \times W} \times 10^6 \tag{F.0.1-2}$$

式中： $T_F$ ——平均有效沥青膜厚度 ( $\mu\text{m}$ )；

$V_{be}$ ——每立方米混合料中结合料有效体积 ( $\text{m}^3$ )；

SA——矿料比表面积 ( $\text{m}^2/\text{kg}$ );

W——每立方米混合料中矿料质量 (kg)。

**F. 0. 2** 混合料中有效结合料含量和有效粉胶比的确定应符合下列规定:

1 混合料中的有效结合料含量应按下式计算:

$$P_{\text{be}} = P_{\text{b}} - \frac{P_{\text{ba}}}{100}(100 - P_{\text{b}}) \quad (\text{F. 0. 2-1})$$

式中:  $P_{\text{be}}$ ——混合料中有效结合料含量 (%);

$P_{\text{b}}$ ——结合料用量 (%);

$P_{\text{ba}}$ ——混合料中被矿料吸收的结合料比例 (%).

2 混合料中有效粉胶比应按下式计算:

$$R_{\text{FB}} = \frac{P_{0.075}}{P_{\text{be}}} \quad (\text{F. 0. 2-2})$$

式中:  $R_{\text{FB}}$ ——混合料中有效粉胶比 (%);

$P_{0.075}$ ——混合料中 0.075mm 筛孔通过率 (%);

$P_{\text{be}}$ ——混合料中有效结合料含量 (%).

## 附录 G 橡胶沥青表面处治与 石屑封层设计方法

### G.1 石屑用量

**G.1.1** 集料平均最小尺寸应采用计算法和实际测定法确定，并应互相校核。

**G.1.2** 集料平均最小尺寸应按下式计算：

$$ALD = \frac{M}{1.139285 + 0.011506FI} \quad (G.1.2)$$

式中：ALD——集料平均最小尺寸（mm）；

M——通过率为 50% 的集料中间粒径（mm）；

FI——针片状颗粒质量占集料总质量的百分率（%）。

**G.1.3** 应取 200 颗集料颗粒，用游标卡尺测量其最小尺寸，并计算其平均值。

**G.1.4** 集料在松散堆积状态下的空隙率应按下式计算：

$$V_{LAG} = \left(1 - \frac{W}{\rho_b}\right) \times 100 \quad (G.1.4)$$

式中：V<sub>LAG</sub>——集料在松散堆积状态下的空隙率（%）；

W——集料的松散堆积密度（kg/L），按现行行业标准《公路工程集料试验规程》JTG E42 测定；

ρ<sub>b</sub>——集料的毛体积密度（kg/L）。

**G.1.5** 石屑用量应按下列公式计算：

$$C = (1 - 0.4 \times V_{LAG}) \times ALD \times \gamma_b \times E \quad (G.1.5-1)$$

$$E = 1 + L/100 \quad (G.1.5-2)$$

式中：C——石屑的用量（kg/m<sup>2</sup>）；

V<sub>LAG</sub>——以小数表示的集料在松散状态下的空隙率；

ALD——平均最小尺寸（mm）；



$\gamma_b$ ——集料的毛体积密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$E$ ——石屑颗粒失落因子;

$L$ ——石屑颗粒容许失落率 (%),  $L=5\%\sim 10\%$ , 对于低交通量的道路  $L$  取  $5\%$ , 对于较高交通量的道路  $L$  取  $10\%$ 。

**G.1.6** 用平板试验对所计算的石屑用量进行验证, 并应符合下列规定:

1 应按下式计算覆盖一块面积为  $0.4\text{m}^2$  的平板所需的石屑质量:

$$W = C \times 0.4 \quad (\text{G.1.6})$$

式中:  $W$ —— $0.4\text{m}^2$  的平板所需的石屑质量 ( $\text{kg}$ );

$C$ ——石屑用量 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )。

2 应将石屑烘干至恒重, 覆盖在  $80\text{cm} \times 50\text{cm}$  的盘内, 覆盖率宜为  $85\%\sim 90\%$ , 将石屑颗粒紧密地排列在平盘上, 保持石屑层的厚度为一颗石屑的厚度。

3 当石屑能全部覆盖整个平板面积, 所计算的石屑用量应为适宜; 当不能覆盖平板面积而有较多空隙, 或有较多的石屑颗粒重叠在一起, 应调整石屑的用量。

4 最终确定的石屑撒布量应为  $12\text{kg}/\text{m}^2 \sim 22\text{kg}/\text{m}^2$ 。

## G.2 结合料用量

**G.2.1** 准备工作应按下列步骤进行:

1 沥青-橡胶的用量在  $2.0\text{L}/\text{m}^2 \sim 3.2\text{L}/\text{m}^2$  的范围内选择 4 个~5 个不同的结合料用量进行平板冲击试验和构造深度试验。

2 按本标准附录 H 对每个结合料用量准备 3 个带试样的平板试件, 共 4 组~5 组试件, 每组 3 个。

3 对不同结合料用量的每个平板试件分别进行冲击板试验, 计算 3 个平板试件测定值的平均值, 获得与各结合料用量相应的石屑颗粒的平均保持率  $R_{\text{AVG}}$ 。

4 对每个结合料用量准备 3 个直径 300mm、边高 5mm~6mm 的平底圆盘，将每个结合料用量均匀地洒在各平底圆盘内，每个结合料用量为一组，每组 3 个圆盘试件，共 4 组~5 组试件。

### G. 2. 2 最佳结合料用量确定应按下列步骤进行：

1 将洒好结合料的圆盘从烘箱内取出，放置在 190℃ 的恒温加热板上，在结合料温度为 120℃~130℃ 的条件下，按覆盖率为 85% 的要求将石屑均匀撒布在结合料上，将圆盘试件移放至平坦的地面上，立即用平板冲击试验用的直径为 250mm、质量为 25kg 的橡胶滚轮，在圆盘表面直径方向上，每隔 45° 的 4 条分度线上各碾压 3 回（图 G. 2. 2-1），使石屑埋入结合料中，在室温下冷却 4h~6h 后备用。

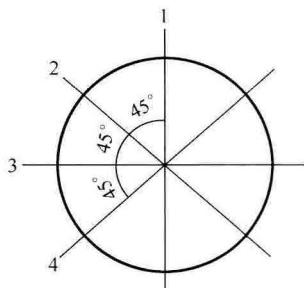


图 G. 2. 2-1 滚轮在圆盘上碾压方向示意图

1、2、3、4—滚轮碾压方向

2 按现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20 的方法分别测定每种结合料用量制作的 3 个试件的构造深度，每个圆盘试件可在表面径向相隔 120° 处取 3 个测点，计算 3 个圆盘上 9 个测点测定值的平均值，获得与各结合料用量相应的平均构造深度  $TD_{AVG}$ 。

3 以 AR 结合料用量为横坐标，石屑颗粒保持率  $R_{AVG}$  与构造深度  $TD_{AVG}$  为纵坐标，绘制  $R_{AVG}$  与  $TD_{AVG}$  随结合料用量而变化的曲线（图 G. 2. 2-2）。

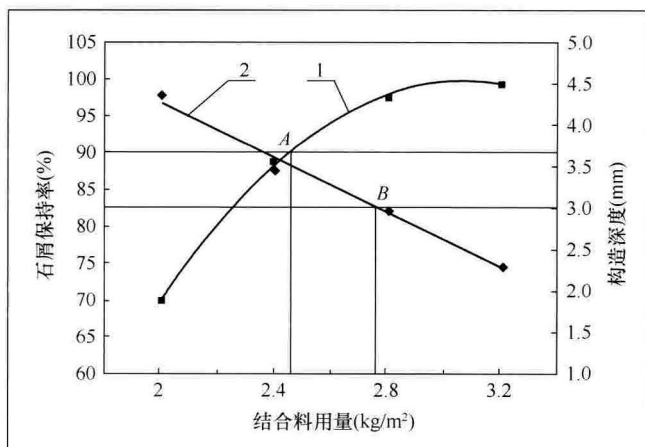


图 G. 2. 2-2 最佳结合料用量的确定

1—石屑保持率  $R_{AVG}$ ; 2—构造深度  $TD_{AVG}$

**4** 以 90%保持率和 2mm 或 3mm 的构造深度划两条水平线，分别与  $R_{AVG}$  和  $TD_{AVG}$  曲线交于 A 点和 B 点，在 A、B 两点间的结合料用量即为最佳结合料用量的范围。

**5** 最佳结合料用量根据原状路面硬度、纹理、吸油性等现场条件，在此基础上适当增减。

## 附录 H Vialit 平板冲击试验方法

### H.1 主动粘附性和机械粘附性试验

H.1.1 试验仪器和材料应符合下列规定：

1 平板钢板（图 H.1.1-1）应带有侧边，其尺寸为边长  $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 、厚  $2.0\text{mm}$ 。钢板的平面应经机械加工，在任何一方向上的整个长度的断面上的允许偏差应为  $0.2\text{mm}$ ，使用后最大偏差不应超过  $0.5\text{mm}$ 。

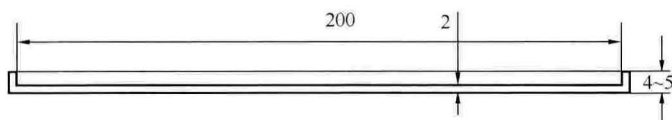


图 H.1.1-1 平板钢板 (mm)

2 三点支架应由一带有三个支点的刚性支座和一垂直的立柱组成，立柱的顶端有一轻微倾斜的 V 形溜槽投掷钢球（图 H.1.1-2）。

3 钢球应为质量  $510\text{g}$ 、直径  $50.0\text{mm}$  的钢制圆球。

4 橡胶滚轮（图 H.1.1-3）应为轮缘包有  $15\text{mm}$  硬橡胶的钢轮、质量  $25\text{kg}$ ，有效宽度应为  $260\text{mm}$ ，直径应为  $250\text{mm}$ ，橡胶硬度应为肖氏硬度  $40/150$ 。

5 湿度计应满足测量值在湿度为  $90\%$  时精确至  $5\%$  的要求。

6 电子秤测量范围应为  $0\text{g} \sim 1000\text{g}$ ，应精确至  $0.1\text{g}$ 。

7 恒温调节用气候箱调节的范围应为  $10^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ ，湿度应保持在  $90\%$  以上。

8 烘箱温度调节范围应满足  $50^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$  的要求。

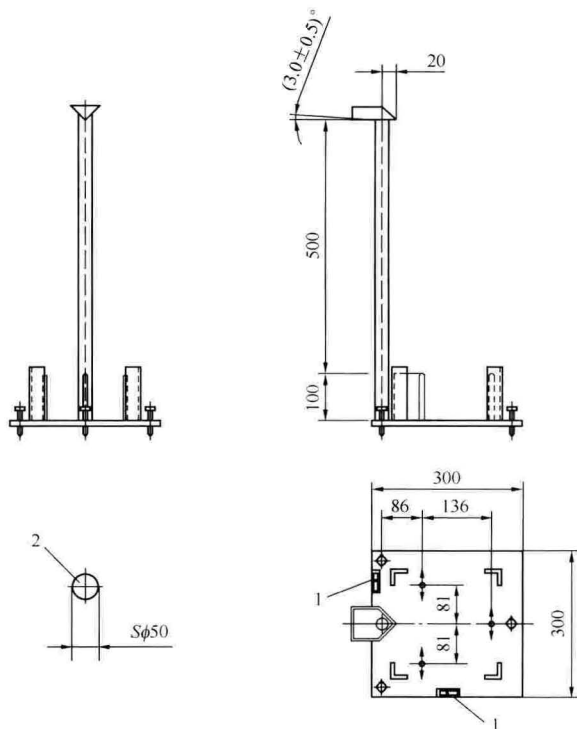


图 H. 1. 1-2 三点支架

1—水准仪；2—钢球

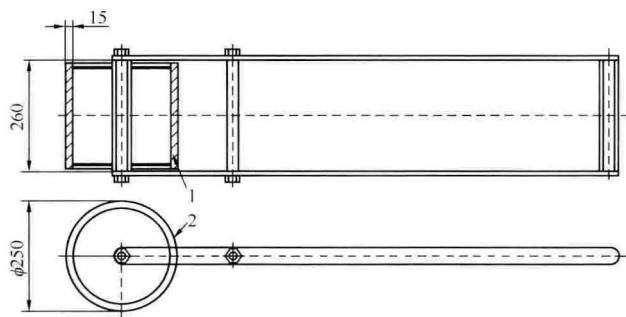


图 H. 1. 1-3 橡胶滚轮 (mm)

1—橡胶轮缘；2—滚轮

**H. 1.2** 结合料和石屑的准备应符合下列规定：

- 1 应按配比要求在实验室制备橡胶沥青。
- 2 应按要求的洒布率和平板的面积计算所需的结合料用量。
- 3 应按单粒径的要求准备 100 颗 6.35mm~9.5mm 的石屑，对石屑中大于和小于粒径范围的颗粒、针片状的颗粒应剔除。

**H. 1.3** 机械粘附试验用石屑的养生处理应按下列步骤进行：

- 1 将自然带有粉尘和细屑的石屑放在硬板纸上，然后放入通风的烘箱中在 50℃ 的温度下保温 24h。
- 2 将放有石屑的硬板纸从烘箱取出放入盒中，将其密封后，放入温度保持 5℃ 的气候箱中 24h。

**H. 1.4** 主动粘附性试验用石屑的养生处理应按下列步骤进行：

- 1 将自然带有粉尘和细屑的石屑颗粒放入一金属丝网篮中。
- 2 将网篮放置在温度 5℃，相对湿度大于 90% 的气候箱中 24h。

**H. 1.5** 平板的准备应符合下列规定：

- 1 每次试验前应清洗和干燥平板，并应将平板放入 180℃ 烘箱内预热备用。
- 2 应将结合料加热至 180℃~190℃。
- 3 应将平板放在电子秤上称取毛重或去皮。
- 4 应将热的结合料倒在平板上，称取规定用量的结合料。

**H. 1.6** 应将平板放入烘箱内的水平支架上，在 165℃ 的温度下放置 15min 使结合料均匀地分布在平板平面上。

**H. 1.7** 安放石屑和养生应按下列步骤进行：

- 1 从烘箱中取出平板放置在一水平安放的温度控制在 190℃ 左右的恒温加热板上，立即将准备好的 100 颗石屑按 10×10 的排列方式安放在平板的结合料上，平板结合料表面温度宜控制在 120℃~130℃。

- 2 将平板试件移至平地上，立即用橡胶滚轮在平板的纵向和横向各碾压 3 遍，使石屑埋入结合料中，待平板冷却至室温

后, 放置 4h~6h 进行养生。

**H. 1.8** 将带石屑的平板放入 5℃ 气候箱中 20min 进行温度调定处理。

**H. 1.9** 试验步骤应符合下列规定:

- 1 每一次试验应在同一条件下 1min 内完成。
- 2 应准备 3 块平板, 获得 3 个测量值。
- 3 试验装置应安放在稳固的基础上, 用气泡水准仪校正 3 点支架处于水平状态。
- 4 从气候箱中取出平板, 面向下放置在 3 点支架上。
- 5 将钢球放置在试验装置的溜槽内, 让其自由落下冲击平板, 在 10s 内连续冲击平板 3 次。
- 6 在完成 3 次冲击后, 应检查保留在板上和掉落在台面上的石屑颗粒的情况。
- 7 石屑颗粒的总数宜取 100。
- 8 应计算 3 次试验获得的没有粘附结合料的掉落石屑的颗粒数、粘附有结合料的掉落石屑颗粒数、粘结在平板上的石屑颗粒数, 并应计算其平均值。

**H. 1.10** 粘附性应采用石屑颗粒上粘附有结合料的颗粒总数进行评价。粘附性指标应为粘附有结合料的掉落石屑颗粒数平均值与粘结在平板上的石屑颗粒数平均值之和的百分值。

**H. 1.11** 试验报告应包括下列内容:

- 1 试验类型: 机械粘附性、主动粘附性、石屑保持性。
- 2 结合料的类型和性质。
- 3 结合料用量。
- 4 石屑埋入结合料的温度。
- 5 石屑的性质、粒径和数量。
- 6 石屑的处理: 自然状态、烘干或湿润、清洗或不清洗、预裹覆等。
- 7 平板的试验温度。
- 8 试验结果。

- 9 试验日期。
- 10 试验相关人员。

## H.2 保持性试验

**H.2.1** 结合料和石屑的准备应符合下列规定；

- 1 应按配比要求在实验室制备橡胶沥青。
- 2 应按要求的洒布率和平板的面积计算所需的结合料用量。
- 3 应准备 100 颗 6.35mm~9.5mm 的石屑。
- 4 应将石屑用水洗法除去粘附其上的粉尘，并应在 50℃ 的

温度下保温 24h 干燥处理。

**H.2.2** 平板的准备、石屑的安放、埋入与养生的操作应符合本标准第 H.1.5 条~第 H.1.7 条的规定。

**H.2.3** 养生结束后，应将平板试件分别在 5℃、-10℃、-22℃ 的试验温度下放入气候箱中，使试件在试验温度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 的范围内保持 50min 进行温度调定处理，平板试件的温度调定处理宜逐块地在气候箱中进行。

**H.2.4** 在不同温度下的保持率应为粘结在平板上的石屑颗粒数平均百分值。



## 附录 J 表面处治与石屑封层缺陷 的表观评价方法

**J.0.1** 对埋没、轮迹、泛油、露白、拉伤等缺陷的测评方法应按下列步骤进行：

1 确定供测评用的试验区段。

2 沿着试验区段的长度，以 20m 为间隔，确定 6 个测点，在这些测点上测定试验区段的宽度，求取 6 个测点车道宽度的平均值，并确定试验段的面积。

3 当缺陷的面积大于  $0.5\text{m}^2$  时，按下列方法测定缺陷的面积：

1) 对面积呈矩形的缺陷，测定矩形的长度和宽度，以两者的乘积计算缺陷的面积；

2) 对面积呈非矩形的缺陷，测定缺陷区的最大长度和最大宽度，按两者的乘积再乘以 0.8 的系数计算缺陷的面积；

3) 对重复性缺陷的测评，当一个重复性缺陷的长度大于 0.2m，而缺陷之间的间隔小于 0.5m，其中某一个缺陷宽度大于 0.1m 时，则以多个缺陷两端间的总长度和它们最宽处的宽度作为重复性缺陷的计算长度和计算宽度。

4 计算埋没、轮迹、泛油类缺陷的总面积。

5 计算露白、拉伤类缺陷的总面积。

**J.0.2** 对跑石类缺陷的测评应按下列步骤进行：

1 对双层或多层的石屑封层，当石屑的镶嵌结构遭到破坏时，以最大石屑规格的铺层作为缺陷测评的对象。

2 跑石缺陷以从石屑封层镶嵌结构中失落的石屑颗粒所占

的百分率表达。

3 测评的操作通过在石屑封层上放置一框架，用目测计数的方法测定；或由照相机摄取的图形，通过数字化的方法进行跑石缺陷的测评。

4 当采用照相机摄取图形测评时，通过对图形的目测或通过计算机及其他手段进行，根据参照试验进行校正。

5 测评的工具为带栅栏的  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$  正方形框架，或带栅栏的  $200\text{mm} \times 200\text{mm}$  的框架。

6 对公称最大粒径小于或等于  $8\text{mm}$  的石屑封层采用  $100\text{mm} \times 100\text{mm}$  的框架作为测评工具，对公称最大粒径大于  $8\text{mm}$  的石屑封层采用  $200\text{mm} \times 200\text{mm}$  的框架作为测评工具。

7 在石屑封层试验区段内选择一目测跑石缺陷最为严重的区域，作为测评的对象。

8 将框架放在所选的区域，测定从石屑镶嵌结构中失落的石屑颗粒数。

9 用在框架内测定的一个轴线上所包含的石屑数与另一垂直轴线上所包含的石屑数之乘积计算规定框架面积内石屑颗粒总数。

10 用同样的方法在石屑封层表面，相隔  $1\text{m}$  的距离进行三次测定，每一次测量的间隔距离为沿着交通方向，从中心至中心之间的距离。

11 计算三次测定值的平均值，确定表观测评值。

**J.0.3** 带状条痕的测评应按测定一条或多条条痕的长度进行评价。

**J.0.4** 石屑封层缺陷的表观测评表达应包括下列数值：

$P_1$ ——埋没、轮迹、泛油类缺陷的表观测评值，表达为试验区段内这些缺陷的总面积占试验区段面积  $S$  的百分率（%）；

$P_2$ ——露白、拉伤类缺陷的表观测评值，表达为试验区段内这些缺陷的总面积占试验区段面积  $S$  的百分

率(%)；

$P_3$ ——跑石缺陷的表观测评值，表达为石屑镶嵌结构中个别石屑颗粒的脱落率(%)；

$P_4$ ——带状条痕的表观测评值，表达为带状条痕总的线性长度。

**J.0.5** 应计算试验区段内埋没、轮迹、泛油类缺陷的总面积，此类缺陷占试验区段面积的百分率应按下式计算：

$$P_1 = 100 \frac{A_1}{S} \quad (\text{J.0.5})$$

式中： $P_1$ ——埋没、轮迹、泛油类缺陷的表观测评值(%)；

$A_1$ ——试验区段内埋没、轮迹、泛油类缺陷总面积( $\text{m}^2$ )；

$S$ ——试验区段面积( $\text{m}^2$ )。

**J.0.6** 应计算试验区段内露白、拉伤类缺陷的总面积，此类缺陷占试验区段面积的百分率应按下式计算：

$$P_2 = 100 \frac{A_2}{S} \quad (\text{J.0.6})$$

式中： $P_2$ ——露白、拉伤类缺陷的表观测评值(%)；

$A_2$ ——试验区段内露白、拉伤类缺陷总面积( $\text{m}^2$ )；

$S$ ——试验区段面积( $\text{m}^2$ )。

**J.0.7** 跑石类缺陷的表观测评值百分率宜按下式计算：

$$P_3 = 100 \times \frac{n}{N} \quad (\text{J.0.7})$$

式中： $P_3$ ——跑石类缺陷的表观测评值，以石屑颗粒失落的百分率表示(%)；

$n$ ——在试验框架内，石屑颗粒失落的数量；

$N$ ——在试验框架内，镶嵌结构的石屑颗粒的原始数量。

**J.0.8** 应采用条痕的总长作为报告带状条痕缺陷的表观测评值 $P_4$ ， $P_4$ 应采用线性长度的测量值表示。

**J.0.9** 试验报告应以表观测评报告的形式替代，表观测评报告

可采用表 J.0.9 的格式。

表 J.0.9 表观测评报告

建设单位：		施工单位：		
工地位置：		工地总的面积：		
实施表面处治（石屑封层）部分的面积和铺装日期：				
表面处治的类型和石屑的公称规格：				
试验段的位置	单位			
车道的位置				
具体检查的确切区域				
车道平均宽度	m			
试验区域面积的测定 $S=100 \times W$	$m^2$			
缺陷 —— 测量面积：				
埋没	$m^2$			
轮迹	$m^2$			
泛油	$m^2$			
总面积 $A_1$	$m^2$			
$P_1=100 \times A_1 / S$	%			
露白	$m^2$			
拉伤	$m^2$			
总面积 $A_2$	$m^2$			
$P_2=100 \times A_2 / S$	%			
$P_3$ 跑石	%			
$P_4$ 带状条纹	m			
备注：		试验日期： 试验相关人员： 签字：		

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《工程测量规范》GB 50026
- 2 《橡胶溶剂抽出物的测定》GB/T 3516
- 3 《橡胶和橡胶制品》GB/T 14837
- 4 《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1
- 5 《城市测量规范》CJJ/T 8
- 6 《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135
- 7 《城镇道路路面设计规范》CJJ 169
- 8 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》JTG E20
- 9 《公路工程集料试验规程》JTG E42
- 10 《公路路基路面现场测试规程》JTG E60
- 11 《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40
- 12 《沥青混合料改性添加剂》JT/T 860

中华人民共和国行业标准

橡胶沥青路面技术标准

CJJ/T 273 - 2019

条文说明

## 编制说明

《橡胶沥青路面技术标准》CJJ/T 273 - 2019 经住房和城乡建设部 2019 年 4 月 19 日第 97 号公告批准、发布。

本标准编制过程中，编制组对橡胶沥青路面的应用技术进行了大量的调查研究，总结了我国橡胶沥青路面的设计、施工和质量控制方面的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，包括：美国橡胶沥青路面协会（RPA）2012 年出版的《沥青-橡胶标准实践指南》；美国加利福尼亚州、亚利桑那州、德克萨斯州、佛罗里达州运输管理局的橡胶沥青技术规范；欧洲标准 EN12271《表面处治—技术要求》和相应的试验方法 EN12272-1、EN12272-2、EN12272-3 等，通过专题试验研究，取得了橡胶沥青及其悬浮密实型、骨架密实型、骨架空隙型混合料及表面处治方面的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《橡胶沥青路面技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。



# 目 次

1	总则 .....	100
2	术语和符号 .....	101
2.1	术语 .....	101
4	材料 .....	107
4.1	原材料 .....	107
4.2	橡胶改性沥青 .....	111
4.3	沥青-橡胶 .....	117
5	热拌橡胶沥青混合料设计 .....	132
5.1	一般规定 .....	132
5.2	连续级配橡胶改性沥青混合料 .....	144
5.3	SMA 橡胶改性沥青混合料 .....	145
5.4	S 形级配沥青-橡胶混合料 .....	148
5.5	骨架密实型沥青-橡胶混合料 .....	153
5.6	骨架空隙型沥青-橡胶混合料 .....	156
6	热拌橡胶沥青混合料路面施工 .....	167
6.1	一般规定 .....	167
6.4	拌制 .....	167
6.5	运输 .....	169
6.6	摊铺 .....	169
6.7	碾压 .....	170
6.8	接缝处理 .....	170
6.10	质量控制和检验 .....	171
7	表面处治与石屑封层 .....	172
7.1	设计 .....	172
7.2	施工 .....	174
7.3	质量控制和检验 .....	180

# 1 总 则

**1.0.1** 本条规定了制定本标准的目的。采用橡胶沥青作为结合料铺筑的沥青路面，由于结合料路用性能的一系列特点，在沥青路面的材料、设计、施工与验收等方面都有着某些与常规沥青路面不同的技术要求。这些不同环节中的技术要求都是由橡胶沥青的本质特征派生出来的，为规范各个环节的技术要求需要统一制定各项工作的技术标准。

**1.0.2** 本条规定了本标准的适用范围，包括各种道路及公共设施铺面工程等的橡胶沥青路面的设计、施工与验收，主要适用于新建路面、旧沥青路面养护维修、水泥路面加铺改造、桥面与隧道沥青铺装层的热拌型和喷洒型路面。同时也界定了橡胶屑应用于沥青路面的范围是以按湿法处理工艺生产的橡胶沥青作为结合料的热拌型和喷洒型的沥青路面。本标准不涉及将橡胶屑作为弹性集料用于沥青路面的干法处理技术。本标准在热拌型橡胶沥青混合料的拌制中也涉及某些具有融胀过程的橡胶屑干法处理拌制工艺，是因为无论在结合料与混合料的设计还是技术标准与性能检验方面都与湿法处理技术相同，在技术层面上与湿法处理类似。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

橡胶沥青技术的发展起始于 20 世纪 50 年代中期,在橡胶沥青技术的发展过程中形成了一系列专门的术语,这些术语经过长时间的传播,在国际上已经形成了共识。我国关于橡胶沥青的研究始于 20 世纪 80 年代,改革开放刚刚起步,接触国外的信息不多,与国际上的交流也有限。当时形成的某些概念,与国际上已经形成的概念有差别,进入 21 世纪后,国外的橡胶沥青技术开始进入我国,一些新的概念也随之引入国内。由于理解的不同,导致业内在橡胶沥青技术的一些基本概念上产生差异。因此本着尊重历史的精神,从历史发展的角度,厘清目前在橡胶沥青技术基本概念和术语方面的混乱,并尽可能与在橡胶沥青技术历史发展过程中已经形成并在国际上公认的基本术语和定义接轨十分必要。

本标准第 2.1 节中有关术语的定义主要参考了下列文献:

1 美国橡胶沥青路面协会(RPA)2012 年出版的《Asphalt-Rubber Standard Practice Guide》。

2 美国加州运输管理局 2006 年出版的《Asphalt Rubber Usage Guide》。

为厘清在概念和术语方面的混乱,了解橡胶沥青技术一些基本术语的形成和标准化的过程是有益的。在制定本标准时,对国外橡胶沥青术语的形成与标准化的历史发展进行了专题研究。橡胶沥青技术的术语包括材料(Material)、处理工艺(Process)、采用技术(Technology)、最终产品(Product)等四方面的基本概念。这一研究报告表明,在材料方面最早出现的术语是橡胶屑改性剂(Crumb Rubber modifier, CRM),与它类似的同义词还

有 Ground Crumb Rubber (GCR) 和 Ground Tire Rubber (GTR), 强调了不规则的磨碎状态的橡胶屑。在加工工艺方面, 湿法处理 (Wet Process) 和干法处理 (Dry Process) 是两大类最基本的将橡胶屑与沥青结合在一起的处理工艺。根据作用机理的不同及由此派生的在材料要求、生产工艺、使用条件等方面的不同, 湿法处理技术可分成两大类: 高黏度搅动型湿法处理技术和非搅动型厂拌掺和湿法处理技术, 与它们相应的产品则是沥青-橡胶和橡胶改性沥青两种结合料。在各种干法处理技术中, 大都是将橡胶屑作为弹性橡胶集料使用的。近年出现了一些具有融胀过程的干法处理新技术, 它们有着改善沥青性能的作用。

图 1 概括了在历史发展过程中, 橡胶沥青技术基本术语之间关系形成和演变的过程。

**2.1.1 橡胶屑改性剂 (Crumb Rubber modifier, CRM)** 是橡胶沥青技术中最早出现的术语, 在橡胶沥青发展的过程中, 一开始就将废旧轮胎橡胶屑作为一种沥青材料和沥青混合料的改性剂看待, 它曾广泛地在湿法处理和干法处理的技术中用来表示橡胶屑所起的改善沥青性能的作用, 因而是废旧轮胎橡胶屑用作改善沥青材料及其混合料性能的改性剂的统称。橡胶屑的英文原名为 “Crumb Rubber”, 美国在定义这一术语时不用 “Granular (粒)” 也不用 “Powder (粉)” 而采用 “Crumb (屑)” 在技术上是有所考量的。橡胶颗粒在热沥青中溶胀质量与橡胶颗粒的形状与表面积有重要关系。形状不规则、表面粗糙、有毛刺、比表面积大的橡胶颗粒更有利于形成其核心仍保持着固体橡胶颗粒, 表面则为被沥青中轻质油分融溶而成的凝胶体物质所包围的形态。因此, 在制备 AR 结合料时要求采用辊碾破碎法在常温下加工橡胶屑, 用这种方法加工出来的橡胶屑是以撕裂、剪切的方式形成的, 形状不规则而带有毛刺, 有着相对较高的比表面积。不允许采用低温冷冻法加工碾磨形成表面光滑如玻璃、比面积小的胶粉。国内一些出版物中沿用生产再生橡胶的术语 “胶粉” 没有

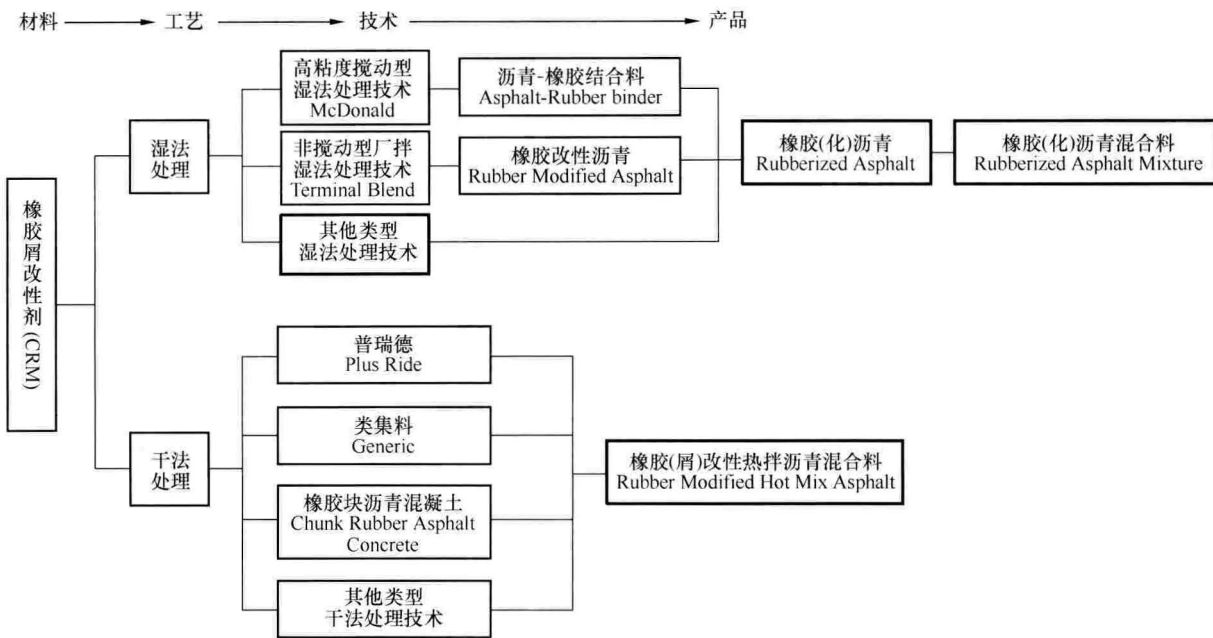


图 1 橡胶沥青基本术语之间的关系

很好理解生产再生橡胶和生产橡胶沥青对废轮胎碎化加工工艺。国外采用“Crumb Rubber”这一术语十分形象地表示了用撕裂方法加工的如同面包屑那样不规则而带有毛刺的粗粒径橡胶颗粒。在随后的发展中出现的用来代表橡胶屑的同义词有 Ground Crumb Rubber (GCR) 和 Ground Tire Rubber (GTR), 强调了不规则的磨碎状态的橡胶屑。

**2.1.2~2.1.4** 沥青-橡胶、橡胶改性沥青和橡胶沥青是三个相互关联的术语。沥青-橡胶与橡胶改性沥青是在作用机理、追求目标、制作工艺上完全不同的两种类型湿法处理技术的产品, 橡胶沥青则是这两种湿法处理技术产品的总称。

沥青-橡胶 (Asphalt-Rubber) 最为本质的特征是一种非均质的两相材料, 为了从本质上更好地表征沥青-橡胶的特点, 美国 ASTM 在它的术语标准中对沥青-橡胶作了以下定义: “沥青-橡胶是由沥青、回收的废轮胎橡胶和某些添加剂掺和成的混合物, 其中至少有总质量 15% 的橡胶成分, 并在热沥青结合料中充分反应从而使橡胶颗粒膨胀。”这一定义包含有三个要素, 充分反映了沥青-橡胶作为一种两相材料的本质属性:

- 1 沥青-橡胶是橡胶屑与基质沥青掺和而成的混合物;
- 2 橡胶屑的比例至少应占结合料总量的 15%;
- 3 橡胶屑在高温沥青中融胀, 一部分被沥青中的轻质油分所融溶, 而仍然保持着固体橡胶颗粒的核心。

ASTM 关于 “Asphalt-Rubber” 的定义, 在名称上采用将 “Asphalt” 与 “Rubber” 分开是有道理的, 这表明 “Asphalt” 不是 “Rubber” 的形容词, 而是一种两相材料, 沥青放在前表明沥青是主要的, 橡胶是附加的, 十分正确地表述了 “Asphalt-Rubber” 两相材料的特征。正如铁-碳合金 (Iron-Carbon Alloy)、铁-镍合金 (Iron-Nickel Alloy) 等术语, “铁” 不是 “碳” 或 “镍” 的形容词, 而是一种两相材料, “铁” 放在前表明铁是主要的, 碳、镍是附加的。因此, 尽管在不少资料中为简化起见省去了 “——”, 但在美国 RPA (rubber Pavement Association)

的正式场合和出版物都是采用有“——”的“Asphalt-Rubber”。

橡胶改性沥青 (Rubber Modified Asphalt) 最为本质的特征是绝大部分橡胶屑都已消融在热沥青中而成为一种均质的胶结材料。橡胶改性沥青在性质上所追求的目标, 在生产上所使用的工艺和设备与 SBR、SBS 等橡胶类改性沥青十分相似, 希望橡胶颗粒完全融溶在沥青中, 通过吸收橡胶屑中的高分子聚合物改善沥青的性能, 而制成一种均质的橡胶改性沥青。

橡胶化沥青 (Rubberized Asphalt) 也是在湿法处理工艺发展早期就出现的术语, 在中文翻译中可以将其简化为橡胶沥青。虽然, 它最初来源于 McDonald 的湿法处理工艺 (因为当时只有一种湿法处理技术), 但在随后的发展过程中被引申为所有用橡胶屑改性剂 (CRM) 制成的沥青结合料, 亦即所有用湿法处理工艺制备的结合料均被统称为橡胶 (化) 沥青。因此, 橡胶沥青的概念应该是所有用湿法工艺制作的由橡胶屑和沥青组成的结合料的统称, 它包括了橡胶改性沥青与沥青-橡胶两种不同类型的结合料。

美国橡胶路面协会 (Rubber Pavements Association, RPA) 在 2008 年 7 月召开的专题研讨会 (Asphalt-Rubber 101) 从机理和特征上进一步界定了这两种湿法处理方法的区别。

橡胶改性沥青的特征:

1 细的橡胶屑 (30 目/0.6mm 或更小的粒径) 在炼制厂或沥青总站加入到沥青中;

2 橡胶屑被制成可溶的、融解的、非粒子的;

3 低的黏度和结合料用量;

4 主要是一个结合料的改性过程;

5 结合料吸收橡胶中的高分子聚合物;

6 橡胶的含量可以在 0.1%~10%;

7 试图使橡胶屑具有像沥青那样的性质。

沥青-橡胶的特征:

1 粗的橡胶屑 (10 目/1.2mm 和更小的粒径) 在沥青搅拌

站加入到沥青中，并持续搅动直至达到平衡状态；

- 2 橡胶屑仍然保持颗粒状态；
- 3 高的黏度和沥青膜厚度；
- 4 成为一种结合料和混合料的改性剂；
- 5 橡胶含量为 15%~22%。

由此可见，橡胶改性沥青与沥青-橡胶在作用机理、追求目标、材料要求、生产工艺、使用条件等方面是完全不同的两种类型的橡胶（化）沥青，不应将两者混为一谈，也不应将沥青-橡胶等同于橡胶沥青。在概念上橡胶沥青并不完全等同于沥青-橡胶，橡胶（化）沥青是湿法处理产品的总称。

**2.1.5、2.1.6** 在橡胶改性沥青的发展中，由于要求获得一种均质型的结合料和良好的储存稳定性，结合料中胶粉含量通常都不超过 15%。但为了提升橡胶改性沥青的性能，增加胶粉的用量是橡胶改性沥青发展的一个重要方向。近些年来发表的资料表明，在采用某些物理方法或化学-物理方法的场合已可将胶粉的用量提高到 20%以上。但是随伴着胶粉用量的增加，结合料中未能完全消融的橡胶颗粒也将随之增加，因而在多数场合虽然能进行工厂化的生产和储存较长时间，但在使用之前仍需进行适当的搅拌，使顶部与底部的结合料重新混合均匀。此类橡胶改性沥青实际上是橡胶改性沥青和沥青-橡胶的杂交物，在国内外都已有成功应用的例子，它们虽在严格意义上不能作为非搅动型的湿法处理技术，但仍可归入厂拌橡胶改性沥青的范畴。因此，本标准将橡胶改性沥青进一步分为均质型和亚均质型两种类型。



## 4 材 料

### 4.1 原 材 料

**4.1.1~4.1.7** 用于热拌橡胶沥青混合料的基质沥青、粗集料、细集料、填料、抗剥落剂、纤维稳定剂等原材料的技术要求与常规的热拌沥青混合料并无原则上的区别，都应符合现行行业标准《城镇道路路面设计规范》CJJ 169 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ1 的有关规定，只是根据其应用领域，删除了与之无关的部分。

由于没有沥青与细料的裹覆，表面处治的石屑直接经受车轮的磨耗，其磨光值的要求高于对沥青混合料集料 *PSV* 值的要求。英国 TRL Road Note 39 对用于不同交通量和道路线形条件下的表面处治石屑磨光值 *PSV* 规定为 50、55、60、65、68 五个等级。欧洲标准 EN13043《用于沥青混合料和表面处治，机场和其他通行交通的地面的集料》规定的集料磨光值要求为 44、50、56、62、68 五个等级。澳大利亚 AAPA 的《National Sprayed Sealing Specification》对石屑封层用的集料的 *PSV* 值规定为最小 48，随后澳大利亚《Vic Roads T-42》对交叉路口、小的弯道曲线半径、坡道等场合和不同使用寿命条件下的集料的 *PSV* 值补充规定为 48、52、56、60 四个等级。南非 National Roads Agency 的 TRH3 规范规定表面处治、石屑封层用集料的 *PSV* 值最小为 50。

在 *PSV* 的试验方法上，我国 2005 年前的标准在橡胶轮硬度、压力等试验条件上要低于国外现行标准，2005 年新版的《公路工程集料试验规程》JTG E42 已做了修订，使之与国际标准一致。国外标准与国内标准唯一的不同是国外只做粗砂磨光试验。

对用于表面处治集料的磨光值,国内无相应的标准,由于缺乏粗砂磨光试验的 *PSV* 值与粗砂加细砂磨光试验的 *PSV* 值之间的对比试验资料,本标准第 4.1.3 条暂时仍按对沥青混凝土表面层集料的要求,规定用于干线公路表面处治石屑的 *PSV* 最小值为 42。

#### 4.1.8 对橡胶屑的技术要求主要包括以下三方面:

- 1 对废轮胎原材料的要求;
- 2 对橡胶屑加工方法的要求;
- 3 对橡胶屑粒径与级配的要求。

由于橡胶屑中合成橡胶与天然橡胶含量对沥青-橡胶的性能有重要影响,而各种不同用途的轮胎的合成橡胶烃与天然橡胶的含量是不一样的,应选用那些橡胶烃和天然橡胶含量高的废旧轮胎作为制作橡胶屑的原材料。

在各种用途的轮胎中,大型乘用车辆、载重货车,由于重载、行驶速度高、安全性要求高,因而所用轮胎中天然橡胶含量高,通常可占 50%~70%,对再生胶的用量则有严格限制。其次是轿车和轻型卡车的轮胎,它们中的合成橡胶的用量要占 60%~80%,而天然橡胶的含量约占 20%~40%。这两类废轮胎是生产橡胶屑的主要来源,其中卡车和大型乘用车辆、轮胎的打磨废料是生产橡胶屑的优质原料。高天然橡胶含量的橡胶屑还可来源于废网球、废高性能橡胶垫等用天然橡胶制作的橡胶制品。

用于各种低速车辆的轮胎,例如拖拉机、叉车、土方工程机械上的轮胎通常会有很大比例的再生胶,其弹性、延展性及与沥青的相容性远低于天然橡胶,因而不宜作为生产橡胶屑的原材料。高天然橡胶含量的橡胶屑还可来源于废网球、高品质的橡胶垫等含有较多天然橡胶的橡胶制品。

橡胶屑加工方法对沥青-橡胶性能的影响主要涉及橡胶颗粒的形状和表面积。形状不规则、表面粗糙有毛刺、比表面积大的橡胶屑更有利于在沥青中的融胀,因此用于制备沥青-橡胶的橡

胶屑应采用符合上述要求的加工方法生产。

各种废轮胎橡胶屑的加工方法可以分成低温加工和常温加工两大类。低温加工的生产工艺需要利用液态氮将 50mm 左右的橡胶块冷却至它的玻璃化温度（约 $-80^{\circ}\text{C}$ ）以下，使它如同玻璃一样变脆，然后通过反击式或锤式磨将其粉碎成细屑。冲击破碎可以生产出 6 目 $\sim$ 30 目的粗颗粒橡胶屑，通过进一步的研磨则可生产出 40 目以下的精细胶粉。冷冻法生产的橡胶屑表面光滑如玻璃，比表面积小，与热沥青融合作用的接触面小，所以不宜作为制作沥青-橡胶的原材料。在国外，只允许低温加工的橡胶屑作为供进一步常温加工用的粗原料使用。

目前常温加工的方法有螺杆挤压法（Screw Extruder or Press）、粒化加工法（Granulator）、辊碾破碎法（Cracker Mill）、微粉磨（Micro Mill）等多种方法。对用于制备沥青-橡胶的橡胶屑应选用能生产出不规则、比表面积大的橡胶屑的加工方法。目前最常用的加工方法是辊碾破碎法，这种方法采用剪切和撕拉的方法，让经粗加工的橡胶材料通过一对具有波纹状沟槽表面，以不同速度相对旋转的辊筒撕裂成细小的橡胶颗粒。这一加工方法可将橡胶颗粒加工成 4 目 $\sim$ 40 目（4.75mm  $\sim$  0.425mm）不同粒径的橡胶屑。用这种方法加工出来的橡胶屑是以撕裂、剪切的方式形成的，形状不规则而带有毛刺，部分呈细长形而有相对较高的比表面积，它们比较适合于作为制备沥青-橡胶用的橡胶屑。

橡胶屑的粒径和级配与橡胶屑在热沥青中相互作用的机理有很大关系，细粒径的橡胶屑与热沥青有更好的相容性，更容易消融于热沥青中，粗粒径的橡胶屑可以在较长的时间内在高温沥青中保持固体橡胶颗粒的核心，从而保持结合料两相材料的特征。

因此对于作用机理不同的两大类橡胶沥青，它们对橡胶屑粒径和级配的要求是不同的。对于以反硫化、解聚合作用为主的橡胶改性沥青要求细粒径橡胶粉，宜在 50 目以下，对级配则不需要。对于以物理融胀作用为主的沥青-橡胶则要求粗粒径的橡

胶屑，并对级配宜有一定的要求。

表 1 和表 2 是美国几个主要使用橡胶沥青的州运输管理局规范规定的橡胶屑化学成分和物理特性的规定。表 3 是南非沥青研究所规范对橡胶屑的技术要求。从这些表中可以看到对橡胶屑化学成分和物理特性的要求是大同小异的。本标准第 4.1.8 条对橡胶特性的技术要求与上述国外规范的要求基本上是一致的。

表 1 美国规范对橡胶屑化学成分的质量要求

化学成分含量 (%)	Caltrans		市政工程绿书		Sacramento 城	FDOT
	普通 橡胶屑	高天然橡 胶含量橡 胶屑	普通 橡胶屑	高天然橡 胶含量橡 胶屑	高天然橡 胶含量橡 胶屑	普通 橡胶屑
丙酮抽出物	6~16	4~16	6~16	4~16	4~16	≤25
灰分	≤8	—	≤8	—	—	≤8
炭黑	28~38	—	28~38	—	—	20~40
橡胶碳氢化合物	42~65	≥50	42~65	≥50	≥50	40~50
天然橡胶	22~39	40~48	22~39	40~48	40~48	16~45

表 2 美国规范对橡胶屑物理特性的质量要求

物理特性指标	Caltrans	市政工 程绿书	ADOT	FDOT	TexDOT
纤维含量(%)	≤0.05	≤0.05	≤0.1(A), ≤0.5(B)	—	0
钢丝含量(%)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0
相对密度	1.1~1.2	1.1~1.2	1.15±0.05	1.1~1.2	—
颗粒单边长度 (mm)	4.75	—	4.75	4.75	—
含水量(%)	—	—	—	≤0.75	—
滑石粉含量(%)	≤3	≤3	≤4	≤4	—
其他杂质含量 (%)	0	0	0	0	0

表 3 南非沥青研究所规范对橡胶屑的技术要求

特性指标	技术要求	试验方法
通过下列筛孔(mm)质量通过率(%): 1. 180 0. 600 0. 075	100 40~70 0~5	M-14
聚异戊二烯(总碳氢化合物的% $m/m$ )	$\geq 25$	热重法
纤维长度(mm)	$\leq 6$	
毛体积密度( $g/cm^3$ )	1. 10~1. 25	M-16

天然橡胶含量的多少对橡胶沥青的性能有着重要影响,在制定对橡胶屑化学成分的要求时,考虑到测定天然橡胶含量的方法比较复杂,我国目前尚无相应的试验标准,表 4.1.8-2 没有列入对天然橡胶含量的要求,但并不意味着这一指标不重要,需要时可委托专门的检测机构进行测定。

**4.1.9** 橡胶沥青一般不需加入其他的添加剂,但有时为改善某些方面的性能,或弥补基质沥青和橡胶屑在某些指标上的不足,也可适当添加一定比例的添加剂,例如调和油、高天然橡胶含量橡胶屑、稳定剂、反应剂、温拌剂等。

## 4.2 橡胶改性沥青

**4.2.1、4.2.2** 此两条规定了设计橡胶改性沥青时选择基质沥青和橡胶屑的基本原则,其中最重要的是两者之间的相容性。橡胶改性沥青设计的基本要求是希望橡胶颗粒尽可能消融于热沥青中并形成微米级形态的均匀分布,而不发生分层、离析,具有良好的储存稳定性和可以进行工厂化的生产。橡胶屑与基质沥青之间的相容性对橡胶改性沥青性能有着重要影响,因而是橡胶改性沥青设计中的一个至关重要的问题。所谓相容性是指橡胶屑能否消融并均匀地弥散在基质沥青中的性能。与各种高分子聚合物改性沥青一样,橡胶改性沥青的相容性可以通过颗粒分布的显微结构形态、结合料的溶解度和储存的稳定性(亦即在静止状态下是否

会发生离析)、结合料的各项性能是否长期保持稳定不变等方面进行评价,相容性良好的橡胶改性沥青其橡胶颗粒应基本消融于沥青中,并在显微结构上以微米级的形态均匀地分布在沥青中。

影响橡胶屑与沥青相容性的因素主要有:

- 1 橡胶屑和沥青的化学组成;
- 2 橡胶屑的物理形态——橡胶颗粒的细度;
- 3 橡胶屑与沥青湿法处理的工艺参数;
- 4 添加剂的作用。

为了提高橡胶改性沥青的性能,增加胶粉的用量一直是厂拌掺合生产成品橡胶沥青的一个主攻方向。近些年来的研究结果表明,已可将胶粉的用量增加至 15% 以上,而仍能使橡胶颗粒的绝大部分达到以微米级的形态消融在沥青中,其溶解度可保持在 98% 左右,从而具有良好的均质性和储存稳定性。美国的一些橡胶沥青生产企业已经生产有胶粉含量超过 18% 的均质型橡胶改性沥青的系列产品: PG64-28TR、PG70-22TR、PG76-22TR,并已列入不少州的规范中。

表 4 和表 5 为美国加利福尼亚州规定的厂拌掺和橡胶改性沥青的技术规格。

表 4 用于热拌沥青混合料的 PG-TR 技术规格

特性指标	PG64-28TR	PG76-22TR
闪点, $\geq(^{\circ}\text{C})$	230	230
溶解度, $\geq(\%)$	97.5	97.5
橡胶屑含量, $\geq(\%)$	10, 15	10, 15
旋转黏度@135 $^{\circ}\text{C}$ , $\leq(\text{Pa} \cdot \text{s})$	3.0	3.0
DSR, $G^* / \sin\delta$ , $\geq(\text{kPa})$	1.00@64 $^{\circ}\text{C}$	1.00@76 $^{\circ}\text{C}$
RTFO 老化后		
质量损失, $\leq(\%)$	1.00	1.00
DSR, $G^* / \sin\delta$ , $\geq(\text{kPa})$	2.20@64 $^{\circ}\text{C}$	2.20@76 $^{\circ}\text{C}$
DSR, $\delta$ @64 $^{\circ}\text{C}$ , $\leq(^{\circ})$	80	80

续表 4

特性指标	PG64-28TR	PG76-22TR
弹性恢复@25℃, $\geq(\%)$	75	65
PAV 老化温度(℃)	100	110
DSR, $G^* \sin\delta, \leq(\text{kPa})$	5000@22℃	5000@31℃
BBR, S 值(MPa)	300@-18℃	300@-12℃
BBR, m 值	0.300@-18℃	0.300@-12℃

表 5 用于石屑封层的 PG-TR 技术规格

特性指标	PG70-22TR	PG76-22TR
闪点, $\geq(^\circ\text{C})$	230	230
溶解度, $\geq(\%)$	97.5	97.5
橡胶屑含量, $\geq(\%)$	5, 10, 15, 18, 22	5, 10, 15, 18, 22
旋转黏度@163℃, $\leq(\text{cP})$	1000	1000
软化点, $\geq(^\circ\text{C})$	60	60
弹性恢复@25℃, $\geq(\%)$	70	70
DSR, $G^* / \sin\delta, \geq(\text{kPa})$	1.00@70℃	1.00@76℃
RTFO 老化后		
质量损失, $\leq(\%)$	1.00	1.00
DSR, $G^* / \sin\delta, \geq(\text{kPa})$	2.20@70℃	2.20@76℃
PAV 老化温度(℃)	100	100(110)
DSR, $G^* \sin\delta, \leq(\text{kPa})$	5000@28℃	5000@31℃
BBR, S 值(MPa)	300@-12℃	300@-12℃
BBR, m 值	0.300@-12℃	0.300@-12℃

**4.2.3** 本条分别规定了均质型与亚均质型橡胶改性沥青的技术标准。从国外的规范看, 均质型橡胶改性沥青技术标准基本上与常规聚合物改性沥青是一致的。表 6 列出了美国加利福尼亚州和内华达州关于聚合物改性沥青与橡胶改性沥青的 PG 分级标准的比较。从这些标准中可以看到, 美国是用溶解度评价均质型橡胶

改性沥青的均质性的，而且都有严格的要求(溶解度 $\geq 97.5\%$ )。对于均质型的橡胶改性沥青，由于其与沥青-橡胶在作用机理上的差异，不可能使结合料在  $180^{\circ}\text{C}$  左右的高温下具有像沥青-橡胶那样的高黏度，而  $135^{\circ}\text{C}$  黏度不大于  $3\text{ Pa}\cdot\text{s}$  则是此类结合料对施工和易性的要求，因此在上述这些标准中都没对结合料的高温黏度规定技术要求，而只规定了  $135^{\circ}\text{C}$  黏度的要求。

表 6 美国加利福尼亚州和内华达州关于聚合物改性沥青  
与橡胶改性沥青技术要求的比较

特性指标	内华达州		加利福尼亚州		
	PG64-28 NV/TR		PG76-22 NV/TR	PG64-28 PM/TR	PG76-22 PM/TR
	要求值	检测值	要求值	要求值	要求值
闪点, $\geq(^{\circ}\text{C})$	230	—	230	—	230
溶解度, $\geq(\%)$	99/97.5	—	99/97.5	98.5/97.5	98.5/97.5
旋转黏度@ $135^{\circ}\text{C}$ , $\leq(\text{Pa}\cdot\text{s})$	3.0	0.87/0.93	3.0	3.0	3.0
DSR, $G^*/\sin\delta$ , $\geq(\text{kPa})$	1.0 @ $64^{\circ}\text{C}$	1.85/1.79 @ $64^{\circ}\text{C}$	1.3 @ $76^{\circ}\text{C}$	1.0 @ $64^{\circ}\text{C}$	1.0 @ $76^{\circ}\text{C}$
延度@ $4^{\circ}\text{C}$ , 5cm/min(cm)	50/40	55/45	20	—	—
黏韧性(in-lb)	110	—	—	—	—
韧性(in-lb)	75	—	—	—	—
RTFO 老化后					
质量损失, $\leq(\%)$	1.0	0.395/0.44	1.0	1.0	1.0
DSR, $G^*/\sin\delta$ , $\geq(\text{kPa})$	2.2 @ $64^{\circ}\text{C}$	3.79/3.42 @ $64^{\circ}\text{C}$	2.2 @ $76^{\circ}\text{C}$	2.2 @ $64^{\circ}\text{C}$	2.2 @ $76^{\circ}\text{C}$
DSR, $\delta$ , $\leq(^{\circ})$	—	—	—	80	80
延度@ $4^{\circ}\text{C}$ , 5cm/min, $\geq(\text{cm})$	25/20	—	10	—	—
弹性恢复@ $25^{\circ}\text{C}$ , $\geq(\%)$	—	—	—	—	65



续表 6

特性指标	内华达州			加利福尼亚州	
	PG64-28 NV/TR		PG76-22 NV/TR	PG64-28 PM/TR	PG76-22 PM/TR
	要求值	检测值	要求值	要求值	要求值
PAV 老化后					
PAV 老化温度(°C)	100	—	110	100	100
$DSR, G^* \sin \delta,$ $\leq (\text{kPa})$	5000 @22°C	2087/2248 @22°C	5000 @31°C	5000 @22°C	5000 @31°C
$BBR, S$ 值(MPa)	300 @-18°C	153.5/191.8 @-18°C	300 @-12°C	300 @-18°C	300 @-12°C
$BBR, m$ 值	0.300 @-18°C	0.316/0.315 @-18°C	0.300 @-12°C	0.300 @-18°C	0.300 @-12°C

注: NV 和 PM 为聚合物改性沥青, TR 为橡胶改性沥青; “/”前、后分别为聚合物改性沥青和橡胶改性沥青指标值。

本条对均质型的橡胶改性沥青, 参照我国对橡胶类高分子聚合物改性沥青的技术标准, 规定了相应的要求, 其中包括了对溶解度和储存稳定性的要求, 而对 135°C 黏度则未做硬性规定(见表 4.2.3-1 注 2)。

国内的不少企业都生产有亚均质型的橡胶改性沥青, 它们大都要求在结合料使用之前重新进行搅拌和添加某些稳定剂或化学助剂提高其储存稳定性。表 7 是福建鑫海湾公司和天津海泰公司生产的橡胶改性沥青技术规格, 它们都没有溶解度的要求, 也没有 135°C 黏度不大于 3Pa·s 的要求, 并都要求在使用前必须进行搅拌。

表 7 福建鑫海湾公司和天津海泰公司的橡胶改性沥青技术规格

特性指标	单位	福建鑫海湾公司	天津海泰公司
闪点	℃	≥230	≥230
橡胶粉粒径	目	30~40	30~80
橡胶粉含量	%	≥15	≥15
针入度(25℃, 100g, 5s)	0.1mm	60~80	50~65
针入度指数 $PI$	—	>0	≥0.6
延度(5℃, 5cm/min)	cm	>8	≥20
软化点, $T_{R\&B}$	℃	≥55	≥60
旋转黏度(135℃)	Pa·s	≤8	—
旋转黏度(177℃)	Pa·s	≤1.0	1.0~4.0
弹性恢复	%	≥70	≥75
离析, 48h 软化点差	℃	7.0	2.5

表 8 则是江苏省地方规范对橡胶改性沥青的技术要求。

表 8 江苏省地方规范对橡胶改性沥青的技术要求

特性指标	单位	实测结果	DB32/T-2012 技术要求
针入度(25℃, 100g, 5s)	0.1mm	56	35~65
针入度指数 $PI$		0.1	—
延度(15℃, 5cm/min)	cm	60	—
软化点, $T_{R\&B}$	℃	89	≥60
旋转黏度(60℃)	Pa·s	>13000	—
旋转黏度(135℃)	Pa·s	7.15	—
旋转黏度(160℃)	Pa·s	3.075	—
旋转黏度(177℃)	Pa·s	1.3	1.0~4.0
相对密度		1.047	—
弹性恢复	%	99	75
离析, 48h 软化点差	℃	2.8	5
PG 等级		PG76-28	—

对于亚均质型的橡胶改性沥青,本条归纳了国内企业生产亚均质型橡胶改性沥青的技术要求,由于在使用前需要重新进行搅拌,因而对于溶解度和储存稳定性并未规定具体要求。同时考虑到亚均质型的橡胶改性沥青还保留着一部分橡胶颗粒的物理融胀效应规定了  $177^{\circ}\text{C}$  旋转黏度  $\geq 1\text{Pa}\cdot\text{s}$  的高温黏度要求。

### 4.3 沥青-橡胶

**4.3.1** 本条规定了确定橡胶屑粒径、级配与用量的原则。

**4.3.3~4.3.5** 沥青-橡胶设计的基本原则:一是结合料的设计应根据气候、交通负荷等路面使用条件,合理平衡各影响因素之间的关系;二是根据基质沥青和橡胶屑等原材料的实际供应条件,选择几种不同成分和工艺参数的配比方案,通过实验室性能评估进行比选和优化。

与橡胶改性沥青相比,沥青-橡胶的设计要复杂得多,这是因为影响结合料性能的因素众多,而且各因素之间大多存在着交互作用,因而不能给出一个固定不变的最佳配比,而只能在实际工作中根据基质沥青、橡胶屑等原材料的实际供应条件,选择几种有限的沥青-橡胶的配比方案,通过实验室的评估进行比选和优化。

在沥青-橡胶的设计中,合理选择基质沥青和橡胶屑是两个最基本的问题。此时,了解哪些因素是影响结合料性能的主要因素,哪些因素之间存在着明显的交互作用,这些交互作用的强烈程度如何,对于正确地选择和优化配比方案有着重要意义。

橡胶屑与热沥青的相互作用是一种十分复杂的物理和化学过程,影响这一过程的因素众多,它们主要来自以下三个方面:

1 基质沥青,包括它的化学组成与物理特性;

2 橡胶屑,包括它的化学组成、粒径的大小与级配、加入沥青中的比例;

3 橡胶屑在热沥青中处理的工艺参数,包括处理的温度、时间。

在这些因素中, 基质沥青与橡胶屑的用量是两个影响沥青-橡胶性能最为主要的因素。

基质沥青的选择通常是根据气候条件和与橡胶屑的相容性考虑的。从气候条件考虑, 较软的沥青其延伸、变形的能力较强, 因而有利于提高沥青-橡胶的低温性能, 而较硬的沥青其抵抗变形的能力较强, 因而有利于提高沥青-橡胶的高温性能。从相容性的角度考虑, 软的沥青轻质油分的比例高, 有利于橡胶颗粒的融胀, 而硬的沥青其轻质油分的比例低, 它与橡胶屑的相容性相对较差。因此, 太硬的沥青不宜用作沥青-橡胶的基质沥青, 通常以选择中等或中等偏软的沥青为宜。

美国《Standard specification for asphalt - rubber binder》ASTM D6114 中将沥青-橡胶分为适用于不同气候条件的三个等级(表 9)。D6114 并未明确规定哪一类型的沥青-橡胶应该用哪一等级的基质沥青, 而只是说明了 I 型(适用于炎热的气候)应用较硬的基质沥青, II 型(适用于温和的气候)则应用较 I 型更软的基质沥青, 而 III 型(适用于寒冷的气候)则应采用最软的基质沥青, 也可能还需加入某些软化沥青的添加剂, 以获得所要求的物理特性。

从表 9 的技术指标中也可以看出, 对于适用炎热地区的沥青-橡胶应选用较硬的基质沥青, 而对于适用寒冷地区的结合料则应选用较软的基质沥青。

表 9 美国 ASTM D6114 对沥青-橡胶的技术要求

结合料特性指标	试验方法	各类型技术要求		
		I 型	II 型	III 型
表观黏度(175℃)(cP)	ASTM D2196	1500~5000	1500~5000	1500~5000
针入度(25℃、100g、5s) (0.1mm)	ASTM D5	25~75	25~75	50~100
针入度(4℃、200g、60s) (0.1mm), $\geq$	ASTM D5	10	15	25
软化点(环球法)(℃), $\geq$	ASTM D36	57.2	54.4	51.7

续表 9

结合料特性指标	试验方法	各类型技术要求		
		I 型	II 型	III 型
回弹恢复(25℃)(%), ≥	ASTM D5329	25	20	10
闪点(℃), ≥	ASTM D93	232.2	232.2	232.2
TFOT 残留物试验	ASTM D1754	—	—	—
针入度比(4℃、200g、60s) (%), ≥	ASTM D5	75	75	75

美国 Arizona 州的规范则对于上述三种等级的沥青-橡胶规定了相应基质沥青的 PG 等级: I 型采用 PG 64-16; II 型采用 PG 58-22; III 型采用 PG 52-28(表 10)。

表 10 美国 Arizona 州对沥青-橡胶的技术要求

粘结剂特性指标	单位	试验方法	各类型技术要求		
			I 型	II 型	III 型
基质沥青 PG 等级		—	PG 64-16	PG 58-22	PG 52-28
Haake 旋转黏度(177℃)	Pa·s	—	1.5~4.0	1.5~4.0	1.5~4.0
针入度(4℃、200g、60s)	0.1mm	ASTM D5	10	15	25
软化点(环球法)	℃	ASTM D36	57.2	54.4	51.7
回弹恢复(25℃)	%	ASTM	≥30	≥25	≥15

美国加州原来的标准(Caltrans standard specifications)规定主要采用按 RTFO 老化后黏度分级标准的 AR-4000 作为沥青-橡胶的基质沥青。AR-4000 是一种中等硬度的石油沥青,它的基本性能相当于 Superpave 分级的 PG 58-22。2006 年后改为采用 Superpave 的 PG 分级标准,同时规定在高原山区、高原沙漠等容易发生低温裂缝的地区采用 PG 58-22 等级的普通沥青作为基质沥青,而在沿海、盆地、平原沙漠等较热的地区则采用 PG64-16 非改性沥青作为基质沥青。

为了调节沥青-橡胶的稠度,加州的规范建议采用添加调和

油的方法改变基质沥青的稠度，或采用更软的基质沥青。

从以上的资料中可以看到，美国对基质沥青的要求，一方面是气候较热的地区，所采用的基质沥青应较硬，对于较冷的地区，所采用的基质沥青应较软。另一方面，由于沥青-橡胶的温度敏感性较低，它对基质沥青稠度的要求可不必像普通沥青那样严格。本标准根据国家标准《沥青路面施工及验收规范》GB 50092-96 附录 A 沥青路面施工的气候分区的标准规定了基质沥青选用的标号。

橡胶屑用量选择的依据主要是结合料在路面使用温度下的性能和施工和易性。沥青-橡胶的高、中、低温性能随着橡胶屑用量的增加而增长，而施工和易性则随着橡胶屑用量的增加而恶化。由于沥青-橡胶两相材料的性质只有橡胶屑含量达到一定程度时才会明显地呈现出来，尤其是它的高温黏度通常只有在橡胶屑含量超过 15% 后才会急剧增长。因此，美国 ASTM D8 的定义规定橡胶屑含量至少为 15%，而 ADOT 规定为至少为 16.7%，Caltrans 则规定为  $20\% \pm 2\%$ ，规定橡胶屑含量的上限主要考虑施工和易性的要求。关于橡胶屑用量的要求，本条对用于热拌混合料的结合料参考国外的规范规定为  $16.7\% \sim 22\%$ ，对用于喷洒型的结合料由于希望在喷洒温度下有较高的黏度，因而橡胶屑的含量理应较高，本条考虑到国产喷洒设备性能的限制放宽了含量的范围，但在设备能喷洒均匀性的条件下，仍应尽可能选用较高的橡胶屑用量。

关于橡胶屑粒径与级配的选择，由于橡胶屑与沥青的相容性、橡胶颗粒的细度与物理融胀的工艺条件(融胀温度与反应时间)之间存在着强烈的交互作用而变得更为复杂。为了弄清楚这些因素之间的相互作用关系，在制定本标准时针对各种因素对沥青-橡胶性能的影响进行了专题研究，在这一研究中采用不同天然胶含量的橡胶屑在不同的融胀温度与处理时间下的沥青-橡胶性能进行了一系列试验研究，并得出了一些重要的结论：

#### 1 沥青-橡胶的高温黏度(在融胀温度或施工温度范围内的

黏度)主要反映的是结合料在施工温度下的和易性与流动性,并不能完全代表它的路用性能,只有在采用相同粒径的橡胶屑和相同的处理条件下,沥青-橡胶的高温黏度才能比较正确地反映结合料路用性能的高低。因此在评价沥青-橡胶的路用性能时,应全面评估在路面使用温度下结合料的高温、中温和低温性能。

2 在基质沥青与橡胶屑的相容性、橡胶屑的粒径、融胀的温度、反应的时间之间存在着强烈的交互作用,对选择基质沥青标号、橡胶屑粒径、融胀温度、反应时间,提出一种适用于任何情况下的最佳值,是没有实际意义的,而只能在具体的应用条件下,通过试验获得一种相对优化的方案。

3 在比较粗粒径和细粒径橡胶屑对结合料的影响时可以指出,在各自合理的融胀工艺条件下,粗粒径的结合料性能总体上优于细粒径的结合料。在采用低天然橡胶含量的橡胶屑(轿车轮胎)的场合,这一优势尤为明显。国内外的许多研究所得的结果与上述结论是类似的。图2是 Superpave 试验体系对不同粒径货车与轿车轮胎制作的橡胶屑对沥青-橡胶性能影响的研究结果。从图2中可看到,用 Superpave 试验体系所得的试验结果与常规试验方法的结果是完全一致的。

橡胶屑粒径的选择需要结合橡胶屑化学成分(天然橡胶与合成橡胶的含量)、与基质沥青的相容性、融胀温度等条件及对结合料高、低温性能的要求一并综合考虑,进行合理的选择。本条没有规定具体的粒径要求,可以根据使用条件选择适当的橡胶屑粒径。对于用于热拌混合料的沥青-橡胶,尤其是对抗车辙能力有较高要求的场合,应选择较粗的橡胶屑,其粒径的大部分应在30目~16目。对于合成橡胶含量多而天然胶含量相对较少的橡胶(例如轿车轮胎制作的橡胶屑),为了增加融胀的效果,在选用粗粒径橡胶屑的同时,应提高融胀的温度。对于天然橡胶含量高的橡胶屑,由于对处理强度的敏感性高,可采用粒径以50目~16目为主的橡胶屑,并应适当降低融胀的温度。

对用于喷洒型的沥青-橡胶,由于喷洒温度通常要高达

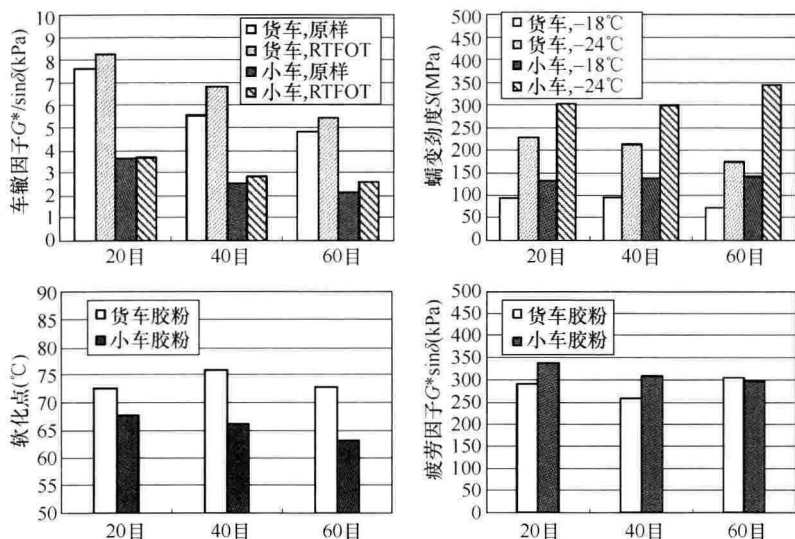


图2 不同粒径货车与轿车轮胎橡胶屑制备的沥青-橡胶性能比较试验

190℃~200℃,因而应采用粗颗粒的橡胶屑,在较长时间内保持结合料性能的稳定性。对于应力吸收层来说,增强沥青-橡胶的粘弹性是需要重点考虑的因素,因而采用天然胶含量高的橡胶屑或在合成橡胶含量高的橡胶屑中添加25%左右粒径较细的天然胶含量高的橡胶屑,常常是必要的。

对于橡胶屑级配要求,虽然不必十分严格,但具有一定级配的橡胶屑对兼顾结合料的高、低温性能是有利的,因此国外绝大部分规范都规定有对橡胶屑的级配要求。表11是美国四个州运输管理局规范对橡胶屑粒径与级配的规定。从表11中可看到,Caltrans只规定一种粗颗粒的橡胶屑,其主要部分分布在0.6mm~2mm(30目~10目),它既可用于热拌沥青混合料也可用于喷洒型的应用领域,其他三个州运输局的规范都将橡胶屑的粒径与级配分成两个或三个等级。ADOT规定A型(16目~10目)用于供表面处治和应力吸收层(SAMI)用的沥青-橡胶,B型(50目~16目)用于供断级配与开级配混合料用的沥青-橡胶。



TxDOT 规定 A 级(50 目~10 目)用于沥青-橡胶的裂缝填封料, B 级(30 目~16 目)用于供表面处治和应力吸收层(SAMI)用的沥青-橡胶, 对于橡胶沥青 SMA 混合料(SMAR)和透水性磨耗层(PFC)混合料则可以用 B 级也可用 C 级(40 目为主的细粒式橡胶屑), 对用于常规热拌沥青混合料和作为改性沥青使用的 AC-20-5TR 则只用 C 级。FDOT 的规范规定细粒径的 A 型(100 目~50 目)和 B 型(40 目~30 目)为供制作非搅动型橡胶改性沥青用的橡胶屑, 此类橡胶沥青通常作为 PG 76-22 等级的常规结合料用于磨耗层的混合料中, 而粗粒径的 C 型橡胶屑(50 目~16 目)则规定用于应力吸收层(SAMI)的沥青-橡胶。

表 11 美国四个州运输管理局规范对橡胶屑粒径与级配的规定

筛孔尺寸 (mm)	通过筛孔的质量百分率(%)									
	Caltrans 和 市政工程绿书		ADOT		TxDOT			FDOT		
	普通	高天然 胶	A 型	B 型	A 级	B 级	C 级	A 型	B 型	C 型
2.36	100	100	100	—	100	—	—	—	—	—
2.00	98~ 100	100	95~ 100	100	95~ 100	100	—	—	—	—
1.18	45~ 75	95~ 100	0~ 10	65~ 100	—	70~ 100	100	—	—	100
0.60	2~ 10	35~ 85	—	20~ 100	—	25~ 60	90~ 100	—	100	70~ 100
0.425	—	—	—	—	—	—	45~ 100	—	—	—
0.3	0~6	10~ 30	—	0~ 45	0~ 10	—	—	100	40~ 60	20~ 40
0.15	0~2	0~4	—	—	—	—	—	50~80	—	—
0.075	0	0~1	—	0~5	—	0~5	—	—	—	—

从表 11 中还可看到, 美国亚利桑那州规定橡胶屑级配范围较宽, 因而选择的余地也较大, 第 4.3.1 条为便于根据使用条件对橡胶屑的粗细度有更大的选择余地, 参考亚利桑那州的标准规定了对橡胶屑级配的要求。

**4.3.6 沥青-橡胶**是一种非均质的两相材料, 它与普通的沥青结合料或常规的改性沥青有着许多本质上的不同, 因此在进行性能的实验室评估时, 不论在试验方法或是评价指标方面都存在着一一些重要的差异。现在世界各国对沥青-橡胶评价指标和技术要求的相关标准, 基本上都来源于美国的标准。而美国各州规范的标准则大体上可分为两大类, 一类是从 ASTM D6114 中演化而来的, 另一类则是以 Caltrans 规范为代表的技术标准。

ASTM D6114(表 9)规定的沥青-橡胶技术标准与普通沥青和常规改性沥青技术标准最大的差别为:

(1)增加了 175℃ 的旋转黏度指标, 它是反映沥青-橡胶高温粘弹性的一个重要参数;

(2)取消了延度指标, 而增加了反应沥青-橡胶低温性能的 4℃、200g、60s 的低温针入度指标;

(3)用 25℃ 的回弹性取代了常规改性沥青弹性恢复性质的指标, 这是因为结合料中存在着橡胶的固体颗粒, 它不能像改性沥青那样将试件拉得很长而不断, 因而常规的弹性恢复试验不能真正反映沥青-橡胶的弹性性质。

表 12 是美国 4 个州运输管理局沥青-橡胶的技术标准。从表 12 中可看到, TxDOT 的技术标准采用的是 ASTM D6114 的标准, ADOT 的技术标准基本上也采用了 ASTM D6114 的各项指标, 只是作了某些简化, 删除了 TFOT 残留物试验, 对某些技术要求做了微小的改动, FDOT 则只有一项旋转黏度的指标, Caltrans 的技术标准则不论在评价指标上还是在技术要求上都有较大差别。

表 12 美国 4 个州运输管理局沥青-橡胶的技术标准

技术指标	单位	ADOT			Caltrans <sup>1</sup> (市政工程绿书) <sup>2</sup>		TxDOT			FDOT
		I	2	3	1	2	I	II	III	ARB 20
橡胶屑来源: 废轮胎 (ST)、 高天然橡胶 (HN)	—	ST —	ST —	ST —	75%ST 25%HN	75%ST 25%HN	ST —	ST —	ST —	ST —
基质沥青等级	—	PG 64-16	PG 58-22	PG 58-28	PG 58-22 (AR 4000)	PG 64-16	AC10 或 AC20			PG 64-16
橡胶屑含量 (结合料总质量 之比)	%	—	—	—	20±2	20±2	≥15	≥15	≥15	—
橡胶屑含量 (基质沥青质量 之比)	%	≥20	≥20	≥20	—	—	—	—	—	≥20
调和油 (基质 沥青质量之比)	%	不允许	不允许	不允许	2~6	2~6	可用	可用	可用	可用
融胀温度范围	℃	160~190	160~190	160~190	190~218 (190~226)	190~218	—	—	—	170~190
最小融胀时间	min	60	60	60	45	45	—	—	—	30

续表 12

技术指标	单位	ADOT			Caltrans <sup>1</sup> (市政工程绿书) <sup>2</sup>		TxDOT			FDOT
		1	2	3	1	2	I	II	III	ARB 20
用于混合料/石屑封层的旋转黏度 @规定温度 (°C)	Pa·s	1.5~4.0/ 1.5~4.0 @177	1.5~4.0/ 1.5~4.0 @177	1.5~4.0/ 1.5~4.0 @177	1.5~4.0/ 1.5~3.0 @190	1.5~4.0/ 1.5~3.0 @190	2.5~5.0/ @175	2.5~5.0/ 1.5~5.0 @175	/1.5~5.0 @175	/≥1.5 @175
针入度@25°C、 100g、5s	0.1mm	—	—	—	—	—	25~75	25~75	25~75	—
针入度@4°C、 200g、60s	0.1mm	≥10	≥15	≥25	—	—	≥10	≥15	≥25	—
锥入度@25°C、 150g、5s	0.1mm	—	—	—	25~70	25~70	—	—	—	—
软化点 (环球 法)	°C	≥57	≥54	≥52	52~74	52~74	≥57	≥54	≥52	—
回弹性@25°C、 回弹	%	≥25	≥20	≥15	≥18	≥18	≥25	≥20	≥15	—
TFOT 后残留 针入度比@4°C、 200g、60s	0.1mm	—	—	—	—	—	≥75	≥75	≥75	—

注：1 Caltrans 规定 PG58-22 用于高山和高原沙漠气候区，PG64-16 用于沿海、河谷、盆地、南部低山和低海拔地区。

2 市政工程绿书基本上仿照 Caltrans 的技术标准，括号内为不同之处。

Caltrans 规范(表 13)与 ASTM D6114 最大区别为:

(1)将旋转黏度的测试温度从 175℃ 提高到了 190℃,这显然是与加州规范要求的融胀温度较高有关;

(2)用 25℃ 锥入度取代了 25℃ 的针入度,这是因为固体橡胶颗粒的存在会影响针入度试验数据的稳定性,用 25℃ 锥入度替代针入度能更为真实地反映沥青-橡胶这种两相材料在常温下的稠度。

表 13 Caltrans 沥青-橡胶的技术标准

试 验 指 标	单 位	试 验 方 法	技 术 要 求	
			最 小	最 大
Haake 黏度@190℃	$\text{Pa} \cdot \text{s} \times 10^{-3}$	Caltrans LP-11	1500	4000
锥入度@25℃	0.1mm	ASTM D217	25	70
回弹恢复@25℃	%	ASTM D5329	18	—
软化点, 环球法	℃	D36	52	74

Caltrans 规范采用了四项指标表征沥青-橡胶的基本性能。其中 190℃ 的旋转黏度代表了沥青-橡胶在外力作用下抵抗流动的阻力,它反映了结合料在施工温度下的和易性与流动性,同时也在一定程度上反映了结合料的黏弹性。25℃ 锥入度则反映了沥青-橡胶在常温下的稠度,代表了结合料的软、硬程度。软化点则代表了沥青-橡胶在沥青路面工作温度下的高温性能。25℃ 回弹性则代表了沥青-橡胶在常温下的弹性性质,它反映了结合料抗疲劳破坏和抗反射裂缝的能力。

沥青-橡胶是一种在沥青中悬浮着橡胶颗粒的两相材料,它的作用机理与作为一种均质材料的改性沥青有着很大的不同,因此一些评价普通沥青与改性沥青特性的常用指标,例如常温延度和低温延度、脆点、弹性恢复系数等往往不能真实地反映出沥青-橡胶的实际性能。如果说普通沥青和改性沥青在常温(25℃)和低温(5℃)下的延度是以数十厘米至 100cm 计的,那么对于沥青-橡胶来说则通常只有几厘米至十几厘米。这是因为后者不可能像

改性沥青那样拉得很长而不断，但是将它拉伸至一定的伸长量却需要更大的力和功，因此沥青-橡胶在测力延度仪上的表现通常都比常规的改性沥青更好。同样的原因，沥青-橡胶拉伸至 10cm 时的弹性很可能不如普通的改性沥青，但是它在毫米级上的弹性却会明显地优于改性沥青。如果说这两项指标对于采用细粒径橡胶粉制备的沥青-橡胶还有一定的参考价值，那么对于粗粒径橡胶屑制备的结合料，尤其是在采用轿车轮胎制作橡胶屑的场合，显然是完全不适用的。

美国 WES 对沥青-橡胶的 4℃ 和 25℃ 延度进行了很多试验，表 14 是 WES 对三种沥青-橡胶各项性能指标测定的结果。从表 14 中可以看到对于针入度较低的 AC-20R 其 4℃ 的延度只有 0.9cm，而对于针入度为 85 和 125 的较软的沥青-橡胶其 25℃ 的延度也只有 20.2cm 和 18.7cm。而且奇怪的是，较软的结合料的 25℃ 延度不仅比较硬结合料的低，而且也比自身的 4℃ 延度低。这些现象表明，由于结合料中存在着固体的橡胶颗粒，延度的测试结果带有很大的偶然性。由此，在 WES 研究报告的结论中明确指出：“本项研究表明延度试验不适用于沥青-橡胶这样类型的结合料”。

表 14 美国 WES 对三种沥青-橡胶性能指标的测定结果

特性指标	单位	沥青-橡胶类型		
		AC-5RE	AC-5R	AC-20R
动力黏度@60℃	Pa · s	202.7	322.1	577.3
布氏旋转黏度@90℃	Pa · s	37.0	198.0	104.0
布氏旋转黏度@105℃	Pa · s	21.5	24.3	23.3
布氏旋转黏度@122℃	Pa · s	17.0	15.5	18.5
布氏旋转黏度@135℃	Pa · s	8.3	8.8	9.3
针入度@200g、60s、4℃	0.1mm	63	39	20
针入度@100g、5s、25℃	0.1mm	125	85	40
锥入度@60s、4℃	0.1mm	94	58	25

续表 14

特性指标	单位	沥青-橡胶类型		
		AC-5RE	AC-5R	AC-20R
锥入度@5s、25℃	0.1mm	111	71	38
延度@5cm/min、4℃	cm	25.4	22.5	0.9
延度@5cm/min、25℃	cm	18.7	20.2	35.0
软化点, $T_{R\&B}$	℃	56.1	61.7	66.1
回弹	%	-20	11	32

注: AC-5RE—79%AC-5+16%橡胶屑+5%调和油;

AC-5R—83%AC-5+17%橡胶屑;

AC-20R—84%AC-20+16%橡胶屑

表 15 是德国 HEIDEN 实验室对 45 号普通沥青、SBS 改性沥青、沥青-橡胶和 TOR 沥青-橡胶等四种结合料物理性质所做的对比试验结果。从表 15 中可以看到, SBS 改性沥青的 25℃ 延度高达 87cm, 而常规沥青-橡胶(GmB30/45)与 TOR 沥青-橡胶(GVmB30/45)分别只有 11cm 与 9cm。同样, SBS 改性沥青的弹性恢复系数都比常规沥青-橡胶与 TOR 沥青-橡胶更高。但表 15 的试验资料同时却显示出常规沥青-橡胶与 TOR 沥青-橡胶在测力延度仪上测定的功可达 0.957J 和 0.990J, 而 SBS 改性沥青则只有 0.446J, 当比较两者 DSR 的试验结果时, 后者也远不如前者。

表 15 德国 HEIDEN 实验室对四种结合料物理性质所做的对比试验结果

指 标	单位	普通沥青 B30/45	SBS 改性沥 青 PmB45A	橡胶沥青 (20%橡胶屑) GmB30/45 搅拌 30min	TOR 橡胶沥青 (20%橡胶屑) GVmB30/45 搅拌 30min
针入度	0.1mm	42	55	30	29
软化点(环球法)	℃	55	55.8	69.4	71.0
脆点	℃	-9	-15	—	—

续表 15

指 标	单位	普通沥青 B30/45	SBS 改性沥 青 PmB45A	橡胶沥青 (20%橡胶屑) GmB30/45 搅拌 30min	TOR 橡胶沥青 (20%橡胶屑) GVmB30/45 搅拌 30min
25℃延度	cm	—	87	11	9
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.044	1.023	1.051	1.049
25℃弹性恢复	%	—	80	77	78
-16℃弯曲梁流变试验(BBR) (弯曲蠕变劲度模量 <i>S</i> )	MPa	177	124	154	156
-16℃弯曲梁流变试验(BBR) (蠕变曲线斜率 <i>m</i> )	—	0.36	0.423	0.306	0.300
25℃力延度试验(Force Ductility Test)	J	0.166	0.446	0.957	0.990
60℃动态剪切流变试验(DSR) (剪切模量 <i>G*</i> )	Pa	6850	7046	25953	34835
60℃动态剪切流变试验(DSR) (相位角 $\delta$ )	(°)	78.5	69.3	58.4	57.3

本条参考美国的规范, 规定了沥青-橡胶的技术标准, 其中高温黏度给出了一个测定温度的范围 (180℃~190℃) 是考虑到由于橡胶屑材质与粒径的不同, 需要不同的融胀温度, 可在此温度范围内选择一合适的温度作为测定高温黏度的标准温度。

本条规定的技术标准采用 25℃锥入度作为结合料常温稠度的指标是因为锥入度比针入度对影响沥青-橡胶性能的因素更为敏感, 其测量稳定性也比后者更好, 因而可以更真实地反映沥青-橡胶在常温下的稠度。图 3 展示了 WES 采用针入度与锥入度方法对同样的试样进行对比试验的结果。从图 3 中可看到, 针入度对不同稠度结合料的反应是不灵敏的, AC-5R 与 AC-5 的针入度只差 0.1mm, AC-40 与 AC-20 相比也只差 0.1mm, 而加有 16%



橡胶屑的 AC-20R 的稠度反而比基质沥青 AC-20 更软，前者为 20 (0.1mm)、后者为 15 (0.1mm)。相对于针入度而言，锥入度对不同试样的敏感性则要高得多，因而其规律性也好得多，加有橡胶屑的结合料的稠度明显比不加的硬，而基质沥青 AC-40 的稠度也明显硬于 AC-20。

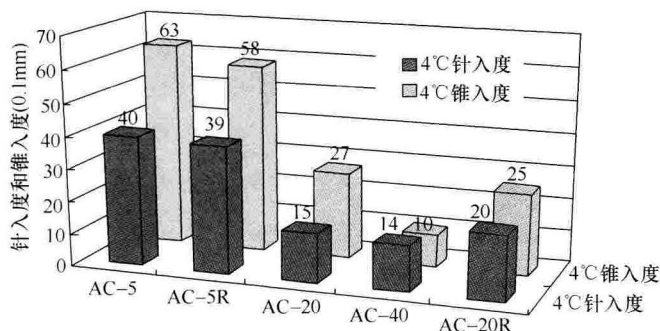


图3 沥青-橡胶针入度与锥入度试验结果的比较

注：AC-5、AC-20、AC-40 为以黏度分级的基质沥青；

AC-5R、AC-20R 为加有 16% 橡胶屑的沥青-橡胶

## 5 热拌橡胶沥青混合料设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 橡胶沥青混合料设计的基本原则与常规沥青混合料并无原则区别,配合比设计的三个阶段和步骤与常规沥青混合料是相同的,有关混合料性能检验的项目、方法与要求,除车辙试验外,现行行业标准的规定对橡胶沥青混合料都是适用的,唯一需审视的是橡胶沥青混合料的抗车辙性能检验。

从国内许多单位对沥青-橡胶混合料按现行规范进行的车辙试验资料来看,动稳定度大体上都在 1500 次/mm~3000 次/mm。在制定本标准时,对沥青-橡胶混合料车辙试验的方法和技术标准进行了专题研究并得出了以下结论:

**1** 现行车辙试验方法不能正确反映沥青-橡胶混合料抗车辙性能的原因首先是因为现行的试验方法无法严格控制试件的空隙率。

沥青-橡胶混合料是一种对压实密度非常敏感的混合料,混合料能否得到充分压实直接影响到混合料抗车辙的能力,而我国目前沿用的车辙试验设备和方法很难确保沥青-橡胶混合料获得充分和必要的压实。首先是因为试验方法未明确规定试件空隙率的要求,而只是规定了压实度要达到马歇尔标准密度的 100%,但对于沥青-橡胶混合料来说,作为压实标准的马歇尔试验密度本身往往低于现场铺层所能达到的密实度。其次,采用国内通用的轮碾成型机不能严格控制成型试件所用的混合料数量,在制作试件时,虽然规范规定按马歇尔密度的 103%称取制作试件的混合料数量,但由于沥青-橡胶混合料的压实性能较差,很多材料被挤出试模以外而并没有真正进入试模而成型为试件。由于以上一些原因,用现行的轮碾法成型的试件,其空隙率常可高达 7%

以上,从而导致车辙试验的动稳定度急剧下降,而完全不能反映实际沥青-橡胶路面的抗车辙能力。

2 除了对试件的空隙率没有严格的要求外, JTG E20 T0917 方法本身,即使是对于其他类型的沥青混合料,也存在着一些严重的缺点。车辙试验是一种对沥青混合料的抗车辙性能进行相对评价的试验方法。还没一种车辙试验方法能根据车辙试验结果预测现场的沥青混合料路面在经受多少次交通载荷的碾压后能达到多深的车辙变形。但即使是相对的评价,现行的车辙试验方法也很难对不同沥青混合料抗车辙性能优劣的程度做出客观、正确的评价。常常可以看到一些文献报道采用了某种改进的矿料级配或加入了某种抗车辙剂后,动稳定度达到了七八千次/mm 甚至 1 万多次/mm。

现行车辙试验方法和设备的缺点主要表现在以下几方面:

(1) 试件车辙变形的测定采用的是单点测定的方法,负荷轮每经过车辙带的中心位置时测定一次垂直位移的读数,不论是某一时刻的车辙变形,还是记录的变形曲线都没有经过平均化和曲线回归处理。这种单点测定的方法会由于试件表面的状况、负荷轮粘附沥青、细料等随机因素的影响而带来很大的随机误差。

(2) 试件的动稳定度是根据 15min,亦即碾压 630 次之间车辙深度之差计算出来的,如此窄小的区间对于具有较强抗车辙能力的试件,车辙深度的变化是很小的。例如,假设试件的动稳定度为 3000 次/mm,则 630 次碾压区间的车辙变化只有 0.21mm,这种变化完全可能淹没在车辙深度试验误差的范围之内。需要指出的是,这里所说的试验误差并不是指位移传感器的测量误差,而是指由于试件表面起伏不平、试验轮表面可能粘附有沥青、细砂等随机因素导致的测量误差(试验不是在一块刨平的钢板上进行碾压)。图 4 是在 Hamburg 车辙仪上测定的轮迹带上均匀分布的 11 个测点的平均值的散布情况及其回归曲线。从图 4 中可看到,测点平均值散布带的宽度本身就有 0.2mm~0.3mm,因而微小的车辙深度变化完全可能淹没在试验的误差中。

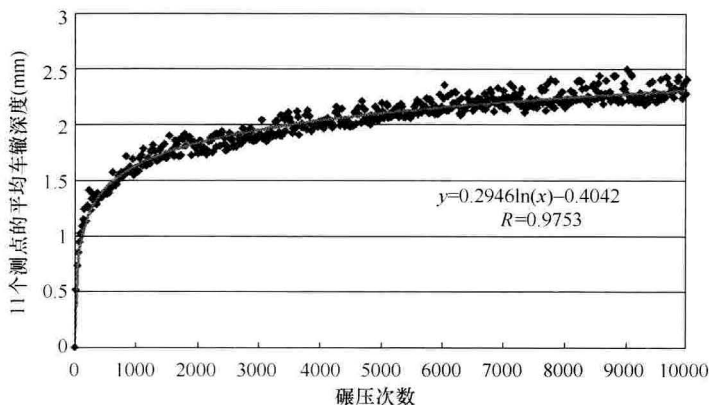


图4 微小的车辙深度变化可能淹没在试验误差中

因此，关于用现行车辙试验方法测定的动稳定度可以达到6000次/mm～7000次/mm，甚至超过10000次/mm的报道是缺乏可信度的，因为它在碾压630次的区间内，车辙深度的变化小到了只有零点零几毫米，这一变化值已远小于测量误差的范围（图4）。

（3）试件的抗车辙能力是根据很短的一段车辙变形的变化过程（碾压0～2520次）预测随后很长时间的车辙变形结果，这显然无法考察车辙深度增长、变化的全过程。通常车辙深度的增长过程在一开始时会有一段车辙深度以较快速率增长的混合料压密区，随后有一增长速率逐步减小的过渡区，而最终转入一渐变的线性蠕变区。对于许多沥青混合料，碾压2520次常常还处在过渡区的范围内。现行的车辙试验方法对混合料抗车辙性能的评价，只有一个动稳定度的指标，亦即在碾压1890次～2520次区间车辙深度变化斜率的指标，它没有反映出车辙深度在压密区和线性蠕变区的情况，也没有反映出经长时间碾压后的车辙深度。因此，现行车辙试验方法的动稳定度评价指标必然带有很大的局限性。

（4）现行车辙试验方法计算动稳定度的区间是45min～

60min, 亦即碾压 1890 次~2520 次, 这一区间对于橡胶沥青混合料或其他改性沥青混合料, 正处在车辙深度变化曲线的斜率处于急剧变化的过渡阶段, 即使试验数据没有任何误差且是绝对正确的, 它仍有很大可能会由于原始的起点不一样和斜率的变化不一样而导致完全错误的判断结果。在图 5 上展示了在相同的动稳定度下, 在随后碾压过程中可能产生的完全不同的试验结果。在图 5 中 1、2、3、4 四条曲线切割通过 45min~60min 两条垂直直线区间的高度差, 亦即 45min~60min 时的车辙深度之差  $\Delta h$  是相等的, 这意味着这四条曲线的动稳定度是完全相同的, 但在 60min 以后车辙深度的进展情况却可以是完全不同的。

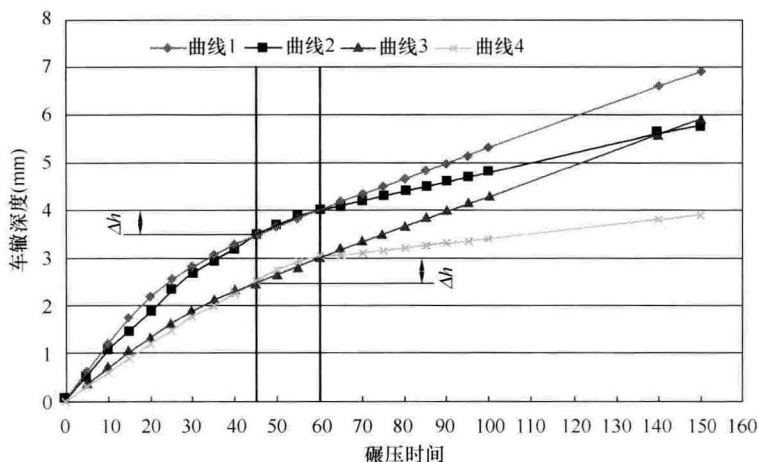


图 5 在相同的动稳定度下, 可能产生完全不同的试验结果

图 5 中的曲线 1, 其斜率急剧变化的转折点在不到 45min 线的附近, 随后曲线进入斜率变化很小的稳定变化段。在曲线 2 上, 过渡到稳定变化段的转折点在 45min 线~60min 线, 这两条曲线虽然在 45min~60min 区间有着相等的车辙深度之差, 但是由于 60min 之后的平稳变化段的斜率不同, 在比较它们在碾压 10000 次后的车辙深度时, 曲线 2 就可能大大低于曲线 1。曲线 3 虽然过渡段的斜率变化转折点也是在靠近 45min 线附近, 而在

45min~60min 区间的  $\Delta h$  值也与曲线 1 相等,但是由于它在转折处的原始车辙深度要小于曲线 1,因而尽管在 60min 之后两者平稳变化段的斜率相同,但曲线 3 的车辙深度始终会比曲线 1 小。曲线 4 的转折点是在靠近 60min 线的附近,所以它的平稳变化段的斜率比曲线 2 更小,再加上转折处的原始车辙深度要比曲线 1 和曲线 2 小,曲线 4 在 60min 后的车辙深度将会是四条曲线中最小的。

JTG E20 T0917 车辙试验方法来源于英国运输和道路研究所(TRL)20 世纪 70 年代开发的车辙试验机,日本在引进后做了一些改进。我国现行的试验方法和设备是 20 世纪 80 年代末至 90 年代初从日本引进的。当时还很少应用改性沥青的材料,沥青路面的面层材料主要是普通沥青的热拌混合料,其车辙试验的动稳定度只有每毫米几百次,在碾压 1890 次~2520 次区间的车辙深度的变化量可以有 1mm 左右,因此此种车辙试验方法对普通热拌沥青混合料可以适用。但是随着改性沥青等新沥青材料的大量使用,上述试验方法与设备已很难适应试验高性能沥青混合料的抗车辙性能要求了。国外的车辙试验方法与设备已经有了很大进步,目前在欧洲和美国采用最多的是 Hamburg、APA 和 FRT 等三种车辙试验设备,它们都能严格地控制试件的压实度和空隙率,比国内现行的车辙试验设备更适合于沥青-橡胶混合料的车辙试验。

在上述三种车辙试验设备中,由于 Hamburg 车辙试验机能精确地控制试件的空隙率及试验的误差小、重复性好,是世界各地使用最为广泛的一种检验沥青混合料车辙敏感性的试验设备,它的最大特点是:

(1) 试件是由滚轮通过碾压一系列薄板将压力传递到沥青混合料进行压实的(图 6)。此种碾压方式既很好地模拟了压路机碾压沥青路面的实际工况,又能准确地控制试件的压实度(空隙率);

(2) 试件可以放在空气介质中进行,也可以放在水中进行;

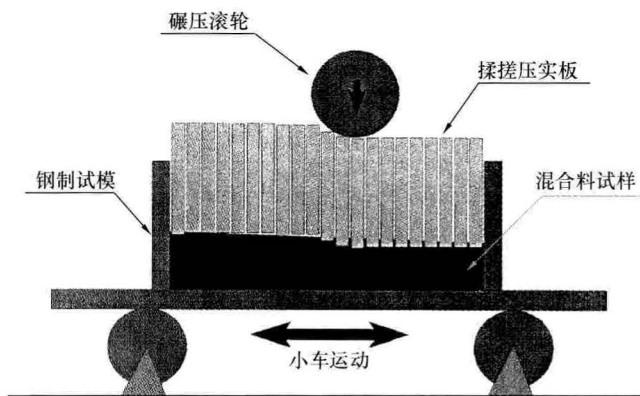


图 6 线性揉搓压实机

(3) 在运动中车辙深度的检测是多点的平均值（通常为 11 个~25 个点）作为碾压一次的车辙深度，而整个碾压过程的车辙深度变化曲线是由大量数据经统计回归处理而得出的。每次试验将平行做两个试件，取两个试件回归曲线的平均值作为最终的试验结果，从而大大提高了试验的精度和可重复性。

这些特点对于橡胶沥青混合料显得尤为重要，因此是一种比较适合于检验橡胶沥青混合料车辙性能的试验设备。

Hamburg 车辙试验机最早是 20 世纪 70 年代由德国汉堡的 Esso 公司开发的，当时称为“Esso 轮辙形成装置 (Esso Wheel Tracking Device)”。随后由汉堡市的市政交通部门制定了考核沥青混合料是否具有低的车辙敏感性的试验方法。最初的 EWTD 规定：试件在 40℃或 50℃的水中碾压 9540 次，随后汉堡市政局将碾压次数增加至 19200 次，并提出了在 10000 次左右发生水损害（沥青膜剥落）的概念，使 EWTD 不仅用于抗车辙性能试验，还用于评价沥青混合料的抗水损害能力。

汉堡车辙试验机 (Hamburg Wheel Tracking Device, HWTD) 被世界许多国家广泛地使用于评价沥青混合料的抗车辙性能，并制定了相应的试验方法和检验标准。在使用 Ham-

burg 车辙试验机的过程中,许多国家根据本国的情况作了某些局部的修改,它们主要是:

(1) 增加了在空气介质中进行试验的方法;

(2) 将钢轮改为钢轮外包有橡胶层的橡胶轮,以降低钢轮压碎集料的风险;

(3) 加载负荷改为 710N;

(4) 规定了试件空隙率的要求;

(5) 增加了 50mm 试件厚度的规定。

这些修正大都已体现在欧洲标准《Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt-part 22: wheel tracking》EN12697-22 的车辙试验方法中。

欧洲标准 EN12697-22 车辙试验方法 (Test method for hot mix asphalt — part 22: wheel tracking) 是在吸收了德国 HWTD 和法国 FRT 试验方法的基础上形成的。EN12697-22 的试验规程规定有适用三种试件尺寸的试验设备:小型 (320mm × 260mm)、大型 (500mm × 180mm) 和超大型 (700mm × 500mm),其中小型试件的试验方法主要参考德国 HWTD 试验标准,而大型试件的试验方法则主要参考法国 FRT 的试验标准。小型试件主要用于磨耗层,小型试件的试验方法分为 A 和 B 两种方法,其中 A 方法规定适用于热滚碾沥青混合料 (Hot Rolled Asphalt),B 方法适用于通用的沥青混合料和 SMA 混合料。B 方法中的水中试验用于检验沥青混合料水损害敏感性的试验,空气介质中的试验则主要用于检验沥青混合料的抗车辙性能,也更加适合于橡胶沥青混合料的车辙敏感性试验。表 16 汇总了 JTG E20 0703 和 JTGE 20-T0719 与 EN12697-33 和 EN12697-22 在评价沥青混合料抗车辙性能的指标及测定方法上的差异。

从以上的分析中可以看到,与 JTG E20 T0719 相比,EN 12697-22 的车辙试验方法可更全面、客观地评价不同沥青混合料的抗车辙性能。

为验证采用 EN 12697-22 中的空气介质 B 方法和所制定评



价标准的可行性,制定本标准时,在 Hamburg 车辙试验设备上对悬浮密实结构和骨架密实结构的沥青-橡胶混合料及常规的 SBS 改性沥青 SMA 混合料进行了对比性的车辙试验。

表 16 我国现行车辙试验评价指标与测定方法与欧洲标准的比较

试验标准		JTG E20	EN12697
试件制作方法	标准号	JTG E20-T0703	EN12697-33
	成型方法	弧形碾轮静碾成型	线性揉搓压实成型
	压实度控制方法	有压实度要求 但无精确控制方法	通过控制加入试模 混合料数量可精确 控制压实度和空隙率
车辙试验方法	测定方法	标准号	JTG E20-T0719
		车辙变形测定方法	轮迹带 25 点 读数平均值
		车辙曲线处理方法	—
	评价指标	动稳定度或斜率	1890~2520 次 区间动稳定度
		车辙深度	—
		车辙深度变化曲线	—

Hamburg 车辙试验机和试件线性揉搓成型机为美国 PMW 公司生产的 Wheel Tracking Machine 4.5 和 PMW 型 Roller Compactor。三种混合料按设计的配合比在实验室拌和机上拌制后倒入成型机试模后碾压成型,三种试件用的混合料质量按预期空隙率为 4%和混合料的理论密度确定。

试件成型后,待冷却至室温后进行脱模。脱模后的试件首先

测量厚度，并用表干法测定其毛体积密度、空隙率等各项体积指标，每个试件的各項体积参数列于表 17。从表 17 的数据中可看到用线性揉搓压实机成型的车辙试件可以非常精确地控制试件的压实度和空隙率。经密度测定后的试件装入车辙试验机的试模内，夹紧后安装在试验机的平台上，经 5h 左右的恒温加热，达到规定温度后开始进行车辙试验，试验的碾压总次数为 10000 次（5000 个循环）。车辙试验的试验条件列于表 18。

表 17 试件的体积参数

混合料类型	试件 序号	试件尺寸 (长×宽) (mm)	平均厚度 (mm)	毛体积 相对密度	最大理论 相对密度	空隙率 (%)	马歇尔压 实度 (%)
ARHM-G-13	1 号 (左)	320×260	48.5	2.367	2.449	3.4	101.0
	1 号 (右)		49.5	2.361		3.6	100.8
	2 号 (左)		52.0	2.349		4.1	100.3
	2 号 (右)		52.3	2.350		4.1	100.3
ARHM-S-13	3 号 (左)	320×260	51.3	2.393	2.501	4.3	100.7
	3 号 (右)		51.5	2.393		4.3	100.7
	4 号 (左)		51.8	2.409		3.7	101.4
	4 号 (右)		51.6	2.405		3.8	101.2
SMA-13	5 号 (左)	320×260	52.2	2.424	2.516	3.7	100.0
	5 号 (右)		52.1	2.419		3.9	99.8

表 18 车辙试验的试验条件

试 验 设 备	PMW 滚轮成型机
	PMW Hamburg 车辙试验机
试验介质	空气
试验温度	60℃
试验轮 (D×B)	钢轮 (203mm×47mm)
试验轮载荷	700N
试验频率	42 次/min
试验时碾压总次数	10000 次 (5000 个循环)

注：D 为直径；

B 为宽度。

图 7 是悬浮密实型沥青-橡胶混合料第 2 组试件左、右两个试件的车辙深度变化曲线。从这些试验曲线中可以看到车辙深度的变化是平稳的，车辙深度变化曲线的斜率在进入 5000 次碾压后就进入了完全平稳的线性变化阶段，因而 10000 次碾压后的车辙深度已足以反映出混合料抗车辙性能。由于在某个特定时刻的车辙深度是由经过多次平均和整个过程的回归曲线确定的，因此按碾压 5000 次~10000 次区间计算的动稳定度的试验误差也小得多，而由于这一区间处于车辙深度变化曲线的线性区段，因而比按处于过渡区间的 1890 次~2520 次计算的动稳定度更能反映试件的真实抗车辙能力。

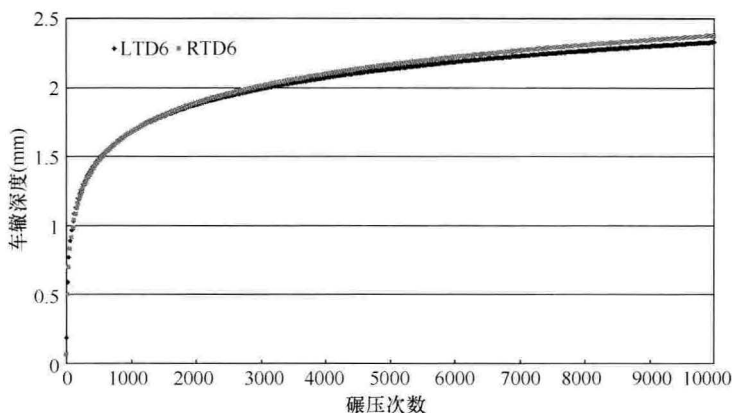


图 7 悬浮密实型沥青-橡胶混合料  
第 2 组试件左、右两个试件的车辙深度变化曲线

表 19 为三种类型沥青混合料试件车辙试验各项评价指标的试验结果。从表 19 中可看到，两个试件车辙深度平均值之间的差异很小。

图 8 是三种混合料各组试件碾压 10000 次后的平均车辙深度和线性段动稳定度的比较，从图 8 中可看到三种混合料的车辙深度和线性段动稳定度有着明显的差别。

表 19 三种类型沥青混合料试件车辙试验各项评价指标的试验结果

混合料类型	试件 序号	在下列碾压次数下的 车辙深度 (mm)				动稳定度 (次/mm)
		1890 (45min)	2520 (60min)	5000	10000	按 5000 次~ 10000 次 区间计算
悬浮密实型 沥青-橡胶混合料 (ARHM-G-13)	1 号 (左)	2.28	2.41	2.75	3.08	15408
	1 号 (右)	1.49	1.58	1.80	2.01	22967
	平均值	1.89	2.00	2.28	2.55	19188
	2 号 (左)	1.86	1.94	2.13	2.33	25562
	2 号 (右)	1.87	1.96	2.17	2.38	23776
	平均值	1.87	1.95	2.15	2.36	24669
	总平均值	1.87	1.97	2.21	2.45	21928
骨架密实型 沥青-橡胶混合料 (ARHM-S-13)	3 号 (左)	1.50	1.62	1.91	2.19	17403
	3 号 (右)	1.13	1.22	1.41	1.61	25536
	平均值	1.32	1.42	1.66	1.90	21470
	4 号 (左)	1.28	1.35	1.49	1.64	33647
	4 号 (右)	1.71	1.83	2.10	2.38	17889
	平均值	1.50	1.59	1.80	2.01	25768
	总平均值	1.41	1.51	1.73	1.96	23626
SMA 改性沥青混合料 (SMA-13)	5 号 (左)	1.67	1.79	2.08	2.38	16989
	5 号 (右)	2.14	2.30	2.67	3.05	13214
	总平均值	1.91	2.05	2.38	2.71	15102

图 9 是车辙曲线线性段动稳定度与 10000 次碾压后的车辙深度之间的相关性检验,从图 9 中可看到两者之间的相关系数  $R$  为 0.82,显示了较好的相关性。

图 10 是三种混合料试件经碾压 10000 次后的车辙外观,用目测的方法也可分辨出车辙深度最浅的是骨架密实结构的沥青-橡胶混合料,其次是悬浮密实结构沥青-橡胶混合料,第三是

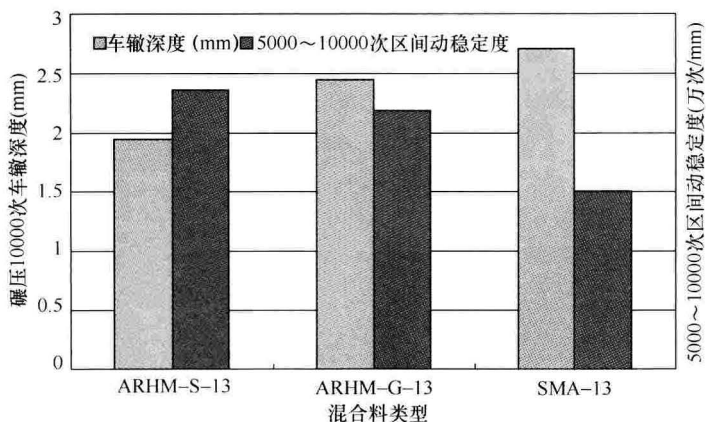


图 8 三种混合料的平均车辙深度和线性段动稳度

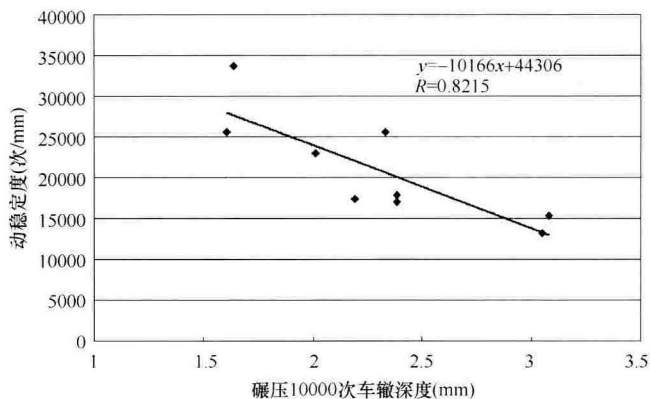
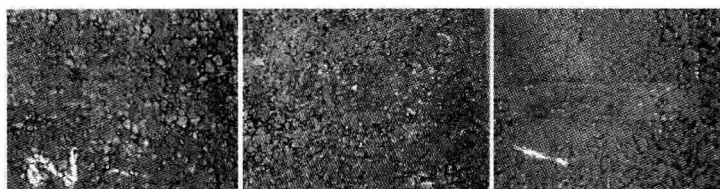


图 9 按 5000~10000 次区间计算的动稳度  
与 10000 次车辙深度之间的相关关系



(a) 骨架密实型,  $VV=4.3\%$  (b) 悬浮密实型,  $VV=4.1\%$  (c) SMA,  $VV=3.7\%$

图 10 三种混合料试件经碾压 10000 次后的车辙深度

SBS 改性沥青 SMA 混合料。

通过以上的试验验证可以认为引进欧洲标准 EN 12697-22 中的空气介质 B 方法来检验橡胶沥青混合料的抗车辙性能是完全可行的。但考虑到已经存在有大量按现行试验方法生产的车辙试验设备,完全按 EN 12697-22 试验方法的要求进行试验目前还有困难。在制订本标准时,作为一种过渡的办法,仍规定采用 JTG E20 T0719 的试验方法,只是对试件空隙率的要求和试验结果的评价指标做了以下改进:

(1) 对于密实型的橡胶沥青混合料规定试件的空隙率要求达到  $4\% \pm 1\%$  或目标空隙率  $\pm 1\%$ ;

(2) 采用车辙深度变化曲线线性段 (5000 次~10000 次) 的动稳定度取代 45min~60min 区段的动稳定度作为混合料抗车辙性能的评价指标之一;

(3) 增加碾压 10000 次的车辙深度作为另一项评价指标。

对于有条件的单位也可按 EN 12697-22 方法进行试验,这样可获得更为精确的试验结果。

## 5.2 连续级配橡胶改性沥青混合料

连续级配悬浮密实型沥青混合料,也常称为密级配沥青混合料 (Dense-Graded Asphalt Mixture),是一种传统的沥青混合料,在国内外目前仍有大量的应用,尤其是用于中、下面层中。近些年来,随着美国 Superpave 技术的引进,国内开始对密级配混合料的矿料设计提出了增粗减细,使之形成 S 形曲线的尝试,以改善密级配沥青混合料的抗车辙性能。但需要指出的是,此种改善不应有损于密级配沥青混合料的均匀性与密水性的基本技术特征。大量实验室与现场的试验研究已经证明,仅仅依靠控制空隙率而放弃级配均匀性的原则设计密级配沥青混合料并不能确保密级配沥青混合料具有良好密水性,这是导致许多按 Superpave 原则设计的沥青混合料发生水损害病害的重要原因。因为空隙率的大小并不能完全代表沥青混合料透水性的 高低。相同空隙率的

混合料有的可能是透水的，有的却可以是不透水的。因为混合料中的某些空隙由于被沥青和细料堵塞而没有与其他空隙构成水流通的通道，只有那些连通的空隙才能起到透水的作用。因此，在选择连续级配橡胶改性沥青混合料的矿料级配时仍应以中值线作为初选的参考，注意满足均匀性和连续性的要求。

### 5.3 SMA 橡胶改性沥青混合料

**5.3.1~5.3.3** 橡胶改性沥青作为一种均质型的橡胶类改性沥青，它在沥青混合料中的性状与常规的 SBS 改性沥青类似，因而其混合料的矿料级配、设计方法与常规 SMA 混合料没有差别。我国关于 SMA 混合料的设计方法主要来源于美国，这是一种体积设计方法，理解此种方法与密级配混合料设计方法的本质区别对正确执行规范的有关规定有着重要意义。

SMA 混合料的结构原理是建立在粗集料与沥青砂胶的体积关系基础上的，它与集料、沥青的质量或密度无关。这种体积关系如图 11 所示，当一定直径的固体圆球（代表粗集料）以最紧密的方式

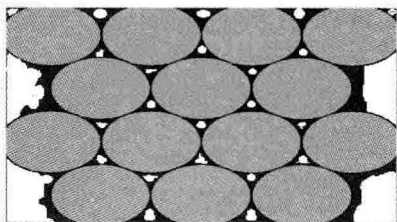


图 11 粗集料与沥青砂浆体积关系

排列在一立方体内，则立方体内的空隙  $V$ （代表粗集料的骨架空隙）是由立方体的体积减去圆球体积决定的，而与圆球是钢制的、木制的还是塑料制作的无关。当空隙  $V$  中充填一部分沥青砂胶时，其剩余的空隙  $V_s$  则是由空隙  $V$  减去沥青砂胶的体积决定的，也与沥青砂胶的质量或密度无关。因此，SMA 混合料的组成设计应该是一种体积设计的方法，从理论上讲，矿料的级配应该是一种体积级配，并用体积通过率表示，而不是像密级配混合料那样用质量通过率表示，沥青的用量也应该用体积用量表示，而不是用质量比例表示。但是由于集料的筛分试验和最佳沥

青用量的试验都是通过称重来测定的,这就存在着一个质量与体积的换算问题。对于结合料来说,因为只有一种结合料,只要已知它的密度,其换算系数就是一个常量,而对于集料来说,通常是由若干种规格矿料合成的,只有当各种规格矿料的密度相同时其换算系数才是一常数,亦即只有当各种规格集料的密度相同时才可用质量通过率代替体积通过率。

在结合料用量与集料用量的关系上,如采用质量的比例关系(油石比),则它们的密度将会影响两者之间的体积关系。不同来源沥青的密度虽然有差异,但其差异较小可以忽略不计,对不同来源和品种的矿料,它们的密度可以相差很大,因而其影响是需要考虑的。因为对于相同体积的矿料,密度大的矿料其质量也大,如果采用同样的油石比,则沥青的体积将相应增大,导致更多的沥青充填在骨架空隙中而减少了混合料的空隙率,从而增加泛油的风险。反之,密度小的矿料,如采用同样的油石比,则沥青的体积将相应减小而导致混合料空隙率增大,从而增加渗水的风险。因此,当采用高密度的矿料时应适当减小油石比,而采用低密度的集料时就应适当提高油石比。同样的理由,在 SMA 混合料的设计中规定一个统一的最小结合料用量显然是不合理的,这也是导致我国早期 SMA 路面发生泛油或渗水的重要原因之一。

在 SMA 混合料的矿料级配曲线上,最为关键的筛孔是骨架分界筛孔,它的通过率坐标在矿料级配图上的位置,决定了级配曲线的基本走势,而不像密级配混合料是由 3 个~4 个关键筛孔共同决定的。而骨架分界筛孔的通过率则是由形成粗集料骨架“石碰石”和必要的矿料间隙空间两个基本条件决定的。因此, SMA 混合料矿料级配范围与中值不像对密级配混合料那样显得十分重要。SMA 矿料级配设计的核心是确定骨架分界筛孔的通过率,这一通过率的约束条件是需满足  $VCA_{mix} < VCA_{DRC}$  和  $VMA > 17\%$  的要求。虽然本标准给出的 4.75 mm 筛孔的通过率范围较宽(带宽为 12%~14%),但实际可能满足上述约束条件的范围是很窄的。《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 对骨



骨架分界筛孔的通过率之所以定得较宽是考虑到适应各种不同密度和类型的矿料所需，并不是只要在这一的范围内就可以用，也不是说范围的中值就是最好的。这也是我国和国外不少国家的规范仍然采用重量通过率设计 SMA 混合料矿料级配的原因，因为粗集料骨架分界筛孔的通过率最终还是通过它的体积结构确定的，矿料的级配范围只是为适应矿料的不同密度而设置的。

了解 SMA 混合料体积结构原理对正确掌握 SMA 混合料的配合比设计和碾压工艺都是十分重要的。对 SMA 混合料的设计，当骨架粗集料形成“石碰石”的结构后，必须有足够数量的结合料和细集料充填其中的空隙。过少的结合料和过高的粉胶比都会减少粗集料裹覆的沥青膜厚度和削弱密封粗集料之间连通空隙的能力，从而不仅降低了混合料抗疲劳性能还将削弱混合料的密水性。对 SMA 混合料的碾压，要求的是“适度压实”而不是“尽量压实”，混合料的目标空隙率不能完全依靠压实实现。当混合料的碾压过程已达到骨架粗集料“石碰石”的嵌挤结构时，压实即终止。继续加大压实能量，只能产生两个结果：一个是将粗集料压碎，破坏其嵌挤结构；二是将沥青砂浆唧浆至表面形成泛油。

渗水和泛油是 SMA 混合料路面两个常见的缺陷，其原因在多数情况下都是由于不恰当的混合料设计造成的。我国引进 SMA 技术的初期按德国的标准不论采用何种密度的粗集料，结合料用量大多设计在 6.5% 左右，而设计空隙率多在 3% 左右。由于沥青用量过大，而设计空隙率又偏小，导致在高温季节经受车轮重载碾压时出现普遍的泛油现象，以后在吸收美国的经验，减少了结合料用量，加大了设计空隙之后，又常常出现渗水的现象。这些都与对 SMA 混合料体积结构的原理理解不够深入有关。在一些不成功的 SMA 路面上还常常可以看到这样的情况，在同一块路面上同时存在着严重透水和严重泛油的部位。发生这种局面的原因，常常是由于混合料配合比设计中结合料的用量过少导致在施工中发生透水，而施工人员则认为是压实不足，而不断增加振动压实的

遍数。结果是铺层的压实度和空隙率分布极不均匀,空隙率大的部位表现为透水,空隙率小的部位则表现为泛油。

由此可见,美国规范《Standard Specification for stone Matrix Asphalt CSMA》AASHTO M325 和欧洲标准《Bituminous mixtures-Material Specifications-Part5: Stone Mastic Asphalt》EN13108-5 及德国 ZTV 在 2007 年修订的规范 ZTV Asphalt-STB07 中都规定有按集料密度选择最小结合料用量的要求,这不仅是为了确保 SMA 混合料的耐久性,同时也是为了提高 SMA 铺层的密水性。表 5.3.3 参照美国的规范规定了初选结合料用量宜根据集料合成相对密度选择相应的结合料用量的要求。

#### 5.4 S 形级配沥青-橡胶混合料

本节涉及对此类 A-R 混合料的归类问题。对沥青-橡胶混合料,由于混合料中除矿料的粒径外,还加入有固体橡胶颗粒的成分,因而简单地按矿料级配分类,往往还不能完全反映沥青-橡胶混合料的性质。在目前应用最为广泛的沥青-橡胶混合料中,最为典型的和具有代表性的矿料级配当推美国加利福尼亚州和亚利桑那州规范中提出的矿料级配,美国称为断级配(表 20)。

表 20 加利福尼亚州和亚利桑那州规定的沥青-橡胶混合料矿料级配

筛孔尺寸 (mm)	公称最大粒径 12.5mm				公称最大粒径 19mm			
	加利福尼亚 州规范		亚利桑那 州规范		加利福尼亚 州规范		亚利桑那 州规范	
	通过左列筛孔 质量百分率 (%)		通过左列筛孔 质量百分率 (%)		通过左列筛孔 质量百分率 (%)		通过左列筛孔 质量百分率 (%)	
	范围	中值	范围	中值	范围	中值	范围	中值
19	—	—	100	100	—	—	100	100
12.5	—	—	90~100	95	83~87	85	80~100	90
9.5	83~87	85	83~87	85	65~70	62.5	65~80	72.5
4.75	33~37	35	28~42	35	33~37	35	28~42	35
2.36	18~22	20	14~22	18	18~22	20	14~22	18
0.6	8~12	10	8~12	10	8~12	10	—	—
0.075	—	—	2~3	2.5	—	—	0~2.5	1.25

在表 20 中加利福尼亚州规定的设计级配范围比较窄, 亚利桑那州的要稍宽一些, 但它们的中值基本上是一致的 (Caltrans 在 2010 年的标准中已将设计级配范围放宽至与 ADOT 的标准相近)。此类矿料级配的设计出发点是希望尽可能提高结合料的用量, 使混合料获得更高的耐久性和疲劳寿命。将表 20 中的矿料级配与同样断级配的 SMA 相比, 就可以看到前者矿料级配与后者的差别, 它们主要表现在以下几点:

- 1 4.75mm 以上粗集料的比例明显小于 SMA 的级配;
- 2 与 SMA 的矿料级配相比在粗集料中较细的料多而较粗的料少;
- 3 2.36mm~4.75mm 的细集料的比例明显大于 SMA 相应粒径段的比例, 而在 2.36mm~4.75mm 的粒径上并没有明显的间断点;
- 4 0.075mm 以下的粉料的用量很小, 与 SMA 高达 10% 左右的粉料用量形成鲜明的对比。

上述矿料级配结构的特点是希望在密级配的基础上通过增粗减细, 在混合料中形成更大的矿料间隙率, 能容纳更多的结合料和留出一定的空间供填放固体的橡胶颗粒之用。

表 21 则是其马歇尔试件和粗集料骨架间隙率的试验结果。从表 21 中可看到, 在 8% 的结合料用量下空隙率为 4.45%、VMA 为 20.5%、VFA 为 78.3% 的悬浮密实结构的沥青-橡胶混合料其骨架粗集料在捣实状态下的松装间隙率  $VCA_{DRC}$  为 41.38%, 而马歇尔试件的骨架粗集料的间隙率  $VCA_{mix}$  则为 48.21%, 已经大大超过了  $VCA_{DRC}$  的数值。

显然, 按图 12 所示的矿料级配制备的 A-R 混合料不可能实现骨架粗集料“石碰石”的嵌挤结构。尽管矿料级配减少了 2.36mm 以下的细料比例, 但实质上仍属于悬浮密实结构的类型。图 13 是马歇尔试件切开的剖面图。从图 13 中可以明显地看到粗集料被沥青-橡胶和细料撑开的情况, 显示出明显的悬浮密实型混合料的结构特征。

表 21 悬浮密实型沥青-橡胶混合物料马歇尔试件密度和粗集料骨架间隙率

试件 序号	A-R 用量 $P_b$ (%)	表干 密度 $\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	吸水率 $S_a$ (%)	理论 密度 $\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	空隙率 VV(%)	矿料 间隙率 VMA (%)	沥青 饱和度 VFA (%)	VCA <sub>DRC</sub> (%)	VCA <sub>mix</sub> (%)
8.7-1	8.00	2.340	0.4	2.452	4.6	20.6	77.7	41.38	48.29
8.7-2	8.00	2.342	0.4	—	4.5	20.5	78.2		48.23
8.7-3	8.00	2.342	0.4	—	4.5	20.5	78.1		48.24
8.7-4	8.00	2.344	0.5	—	4.4	20.5	78.4		48.20
8.7-5	8.00	2.348	0.5	—	4.2	20.3	79.1		48.10
平均值		2.343	0.436	—	4.45	20.50	78.29	41.38	48.21

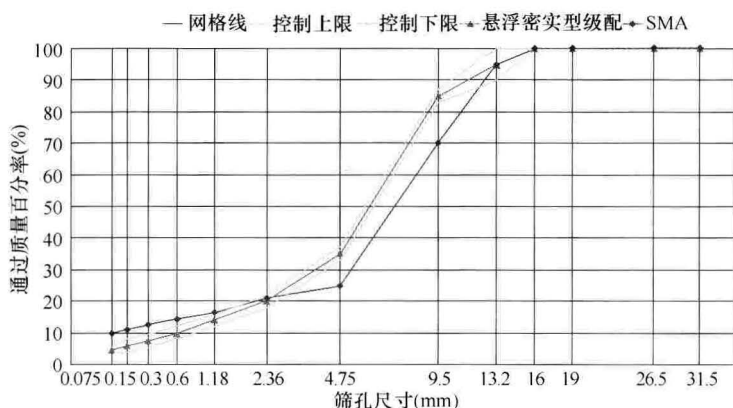


图 12 悬浮密实型沥青-橡胶混合物料与 SMA 混合物料矿料级配曲线的比较

由此可见，这一类型的矿料级配与常规的密级配矿料相比，虽然降低了 2.36mm 和 4.75mm 细集料的通过率，但并未形成粗集料的骨架嵌挤结构，因而其对应的沥青-橡胶混合物料实质上仍然是一种悬浮密实结构的沥青混合物料，而常规的密级配矿料级配由于不能提供足够的空间容纳固体的橡胶颗粒，因而不适合于沥青-橡胶混合物料。但是此种混合物料与常规密级配混合物料仍然有着很大差异。图 14 展示了悬浮密实型沥青-橡胶混合物料与常规

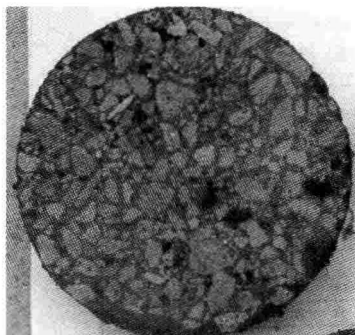


图 13 悬浮密实结构沥青-橡胶混合料试件剖面图

密级配混合料曲线的比较。

从图 14 中可以看到悬浮密实型混合料的级配曲线是在密级配曲线基础上减少了 2.36mm 以下细集料的比例和 9.5mm 以上的粗集料的比例形成的，从而使 2.36mm~9.5mm 中间粒径的比例占了绝大部分（约 65%左右）。按这一原则调整的级配曲线呈现出明显的 S 形特征。

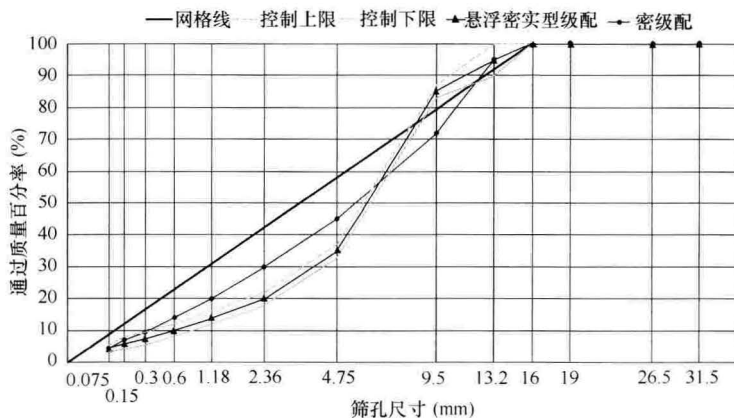


图 14 悬浮密实型沥青-橡胶混合料与常规密级配混合料的矿料级配曲线的比较

美国将这种混合料归入断级配混合料的类型，似乎有些勉强，因为断级配的矿料级配通常需要满足两个条件：一是某一个或几个粒径段的集料数量空缺或很少；二是骨架粗集料要形成“石碰石”嵌挤结构，而这两个条件它都未能满足。因此与其说这种混合料是按断级配的思路设计的，还不如说它更类似于按“减少粗、细两端集料数量而突出中间部分，使之形成S形曲线”的 Superpave 混合料的设计思路。本条将其归入于悬浮密实型混合料的类型，主要基于以下的三点考虑：

1 混合料中还有 40%左右的 4.75mm 以下的较细集料起着将骨架粗集料撑开的作用；

2 混合料的设计原则与常规密级配混合料相同，是以靠近级配范围的中值线作为矿料的级配设计原则，而不像骨架密实型混合料那样以满足骨架粗集料“石碰石”的嵌挤结构作为其设计原则；

3 实际上此种混合料级配范围的中值线基本上仍在现行规范密级配矿料的级配范围内，只是为容纳固体的橡胶颗粒而将 2.36mm 以下通过率适当降低了，因此如将固体橡胶颗粒的粒径计算在内，则将完全位于密级配矿料的级配范围内（图 15）。

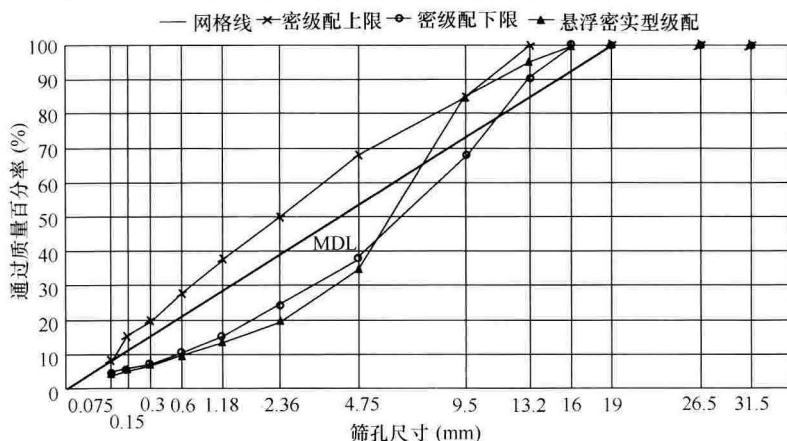


图 15 S 级配悬浮密实型混合料的矿料级配曲线与密级配矿料级配范围的比较

根据以上分析,为显示这种悬浮密实型沥青混合料与常规连续型密级配沥青混合料的差异称为 S 形级配沥青-橡胶混合料。这种 S 形的矿料级配曲线一方面增大了矿料之间的空隙,从而可以容纳更多的带有固体颗粒的沥青-橡胶,另一方面由于增强了粗集料之间的嵌挤作用而提高了抵抗水平载荷(抗车辙)的能力。此种 S 形级配悬浮密实型沥青-橡胶混合料的特点是:

1 具有较高的矿料间隙率, VMA 通常可达  $18\% \sim 20\%$ , 可以有更多的空间容纳固体的橡胶颗粒;

2 要求采用很高的结合料用量, 沥青-橡胶的含量通常可高达  $9\%$ , 从而大大增加了裹覆粗集料的沥青膜厚度, 使之高达  $25\mu\text{m}$ ;

3 由于沥青-橡胶的高黏度可以容许采用很少的  $0.075\text{mm}$  以下粉料和不用稳定剂也不会导致沥青的析漏, 混合料的有效胶比通常在  $0.4 \sim 0.7$  内;

4 S 形曲线提高了粗集料之间的嵌挤与摩擦作用, 增强了密实结构混合料的抗车辙能力。

## 5.5 骨架密实型沥青-橡胶混合料

骨架密实型沥青-橡胶混合料是国内近几年来按断级配混合料的矿料级配设计原则开发的新型沥青-橡胶混合料。此种混合料的矿料级配降低了骨架分界筛孔 ( $4.75\text{mm}$ ) 的通过率, 使集料在  $2.36\text{mm} \sim 4.75\text{mm}$  之间形成间断的级配, 并要求与 SMA 混合料的设计一样检验骨架粗集料是否形成“石碰石”的嵌挤结构。目前国内按这一原则设计的 A-R 混合料的矿料级配列于表 22。从表 22 中可见, 粉料用量与美国的 A-R 混合料类似都很少, 而  $4.75\text{mm}$  和  $2.36\text{mm}$  的通过率则大幅减少。此种矿料结构将进一步增大 VMA 值, 而为保持  $0\% \sim 5\%$  的空隙率则需要有更多的沥青-橡胶去填充。因此设计思路突出了高 VMA 的要求, 以期加入更多的沥青-橡胶, 从而在保持较好高温稳定性、水稳定性的前提下, 设计出一种具有更高抵抗低温裂缝和抗疲劳性能

的 A-R 混合料。

表 22 骨架密实型沥青-橡胶混合料的矿料级配

通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)					
16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
100	90~100	50~70	18~30	10~22	0~5
100	90~100	45~65	12~32	8~18	0~3
100	90~100	50~75	20~30	18~22	2~6

矿料级配在美国 A-R 混合料矿料级配的基础上降低骨架分界筛孔 4.75mm 的通过率,但保持了 2.36mm 通过率不变,更好地形成断级配的特征。同时为了适当降低结合料的用量,提高了 0.075mm 以下的粉料用量,用以填充矿料间的空隙,以降低过大的 VMA 数值。此种 A-R 混合料的设计思路是希望在形成粗集料嵌挤结构的基础上适当地降低结合料的用量,以获得更高的抗车辙性能并减小沥青-橡胶混合料的生产成本,但同时仍然保持着沥青-橡胶混合料的基本特点:粗颗粒的橡胶屑和高的橡胶屑用量,高的沥青膜厚度与低的粉胶比,良好的耐久性与疲劳寿命。

此种新型的骨架密实型沥青-橡胶混合料有以下技术特点:

1 矿料结构是综合了 SMA 和悬浮密实型 A-R 混合料矿料结构特点的结果。图 16 展示了骨架密实型与悬浮密实型沥青-橡胶混合料和 SMA 混合料在矿料结构上的异同。从图 16 中可看到,在骨架分界筛孔 (4.75mm) 以上部分的粗集料是按 SMA 混合料的结构设计的,从而可以满足骨架粗集料之间“石碰石”嵌挤结构的条件。在 2.36mm 筛孔以下的细集料则是按悬浮密实型沥青-橡胶混合料的结构设计的,它通过减少细集料的用量确保容纳固体颗粒所需的空隙。适当增加 0.075mm 以下的粉料则是为了补偿由于降低了骨架分界筛孔 (4.75mm 的通过率) 而造成的矿料间的多余空隙。

2 骨架密实型沥青-橡胶混合料与悬浮密实型的 A-R 混合料相比,适当降低了结合料的用量,在骨架密实型 A-R 混合料



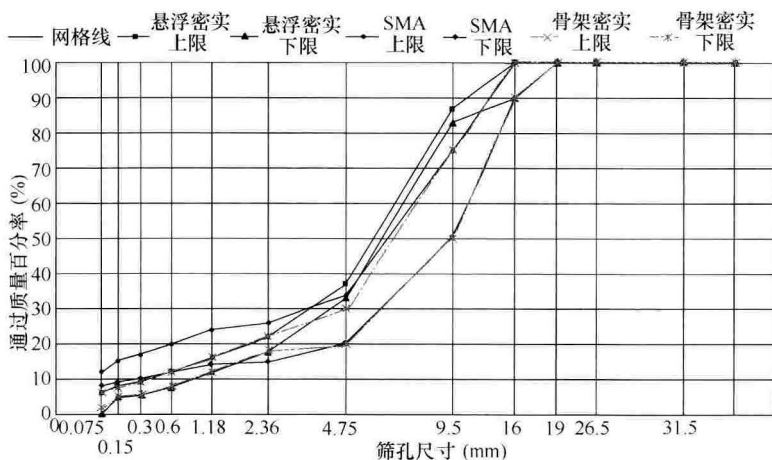


图 16 骨架密实型与悬浮密实型沥青-橡胶混合物和 SMA 混合物在矿料结构上的异同

中的沥青用量通常规定在 6%~7.5% 内。由于实现了粗集料“石碰石”的嵌挤结构，又适当降低了结合料用量，使此种新型的沥青-橡胶混合物具有更高的稳定性和抵抗变形与抵抗水平推力的能力，从而可以获得很高的抗车辙性能（图 13、图 15）。

3 骨架密实型沥青-橡胶混合物虽然适当降低了沥青-橡胶的用量，但仍较普通的密级配沥青混合物和常规的改性沥青混合物具有更高的沥青膜厚度和更低的粉胶比。表 23 是三种混合物沥青膜厚度和粉胶比。从表 23 中可看到，骨架密实型 A-R 混合料的沥青膜厚度虽然低于悬浮密实型 A-R 混合物，但仍远高于常规的改性沥青 SMA 混合物。

表 23 三种混合物沥青膜厚度和粉胶比

混合物类型 指 标	悬浮密实型 ARHM-SG-13	骨架密实型 ARHM-SD-13	SBS 改性沥青 SMA-13
平均沥青膜厚度 ( $\mu\text{m}$ )	19.7	17.0	7.59
粉胶比	0.64	0.74	1.98

表 24 是不同类型沥青混合料沥青膜厚度和粉胶比。从表 24 中可看到, 尽管适当降低了结合料用量, 但骨架密实型沥青-橡胶混合料的沥青膜厚度仍然远远高于密级配和 SMA 混合料, 这一新型的 A-R 混合料仍然可保持有较高的耐久性和抗疲劳性能。

**表 24 不同类型沥青混合料沥青膜厚度和粉胶比**

混合料类型	悬浮密实结构的 沥青-橡胶混合料	骨架密实结构的 沥青-橡胶混合料	普通密级配 沥青混合料	SMA 结构改性 沥青混合料
平均沥青膜 厚度 ( $\mu\text{m}$ )	20~25	13~17	6~8	8~10
粉胶比	0.4~0.7	0.6~0.9	0.8~1.2	1.6~1.9

**4 骨架密实型沥青-橡胶混合料**由于适当地降低了结合料的用量, 大大降低了它的生产成本, 当沥青-橡胶用量为 6%~7% 时, 它的生产成本大体上与 SMA 混合料相当或稍低, 有利于它的推广应用。

本节规定的矿料级配满足了这两种不同设计思路的骨架密实型 A-R 混合料的需要, 应用时可根据不同应用条件和设计要求进行选择。ARHM-SD 型混合料的配合比设计方法与 SMA 混合料是类似的, 只是由于沥青-橡胶的高黏度, 通常不需做混合料的析漏试验。

## 5.6 骨架空隙型沥青-橡胶混合料

开级配的排水降噪路面是沥青-橡胶混合料的又一优势应用领域。骨架空隙结构的沥青-橡胶混合料是一种开级配大空隙的混合料, 它通常用在排水性的路面上。这种路面在美国常称为开级配抗滑磨耗层 (open-graded friction course, OGFC), 在欧洲称为多孔性沥青混合料 (porous asphalt); 在日本则称为排水性路面 (drainage pavement)。

沥青-橡胶骨架空隙型混合料通常用来铺设新路面的磨耗层和旧路面的罩面, 最常用于厚度为 25mm~30mm 的薄层路面,

在某些情况下,厚度可达 50mm,也常用来铺设厚度为 15mm 左右的超薄结构罩面。

采用骨架空隙型沥青-橡胶混合料铺设排水性路面有着以下独特优势:

1 由于沥青-橡胶良好的黏弹性使它与开级配的大空隙混合料结合起来可以获得更好的降噪效果;

2 沥青-橡胶在 180℃~190℃ 的高温下仍可保持很高黏度,使它在高温下不会导致结合料的析漏,因而可以采用高达 9%~10% 的结合料用量和高达 45 $\mu$ m~55 $\mu$ m 的沥青膜厚度,从而更好地改善混合料的抗水损害能力和耐久性;

3 沥青-橡胶是一种低成本、高性能的结合料,橡胶屑主要来源于报废的旧轮胎,其成本远低于 SBS 等橡胶类的改性剂,即使混合料中结合料用量高达 9%~10%,其生产成本仍可比高黏度改性沥青低 10% 左右,这对于降低排水性路面的工程造价有重要意义。

沥青-橡胶的特点使得骨架空隙型沥青-橡胶混合料的设计与常规 OGFC 混合料的设计相比,有着一系列不同的技术要求。为给骨架空隙型沥青-橡胶混合料设计提供必要的实验室试验依据,在制定本节的技术要求时,针对 ARHM-OG 型的混合料设计特点进行了专题试验研究,这一试验研究主要包括以下两部分内容:

- 1) 矿料级配对骨架空隙型沥青-橡胶混合料空隙率和耐久性的影响;
- 2) 混合料的老化特性和实验室老化方法对骨架空隙型沥青-橡胶混合料耐久性的影响。

第一部分的研究涉及本节 5.6.1 条中矿料级配范围的合理确定和合理地规定沥青-橡胶排水性混合料的空隙率范围。第二部分的研究主要涉及第 5.6.2 条中肯塔堡耐久性试验的技术要求。

**5.6.1 开级配排水性沥青混合料**由于需要很大的空隙率保持必

要的排水功能，因而需要大大降低矿料级配中 2.36mm 以下细集料的用量。表 25～表 28 分别列出了德国、日本、美国、中国规范对排水性路面混合料规定的级配范围。

**表 25 德国《欧盟标准 07-道路沥青测试技术》  
多孔性混合料矿料级配范围**

级配类型	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)							沥青用量 <sup>①</sup> (%)
	22.4	16	11.2	8	5.6	2	0.063	
PA16 <sup>②</sup> (16mm)	100	90~100	5~15	—	—	5~10	3~5	$\geq 5.5 \times \alpha$
PA11 (11.2mm)	—	100	90~100	5~15	—	5~10	3~5	$\geq 6.0 \times \alpha$
PA8 (8mm)	—	—	100	90~100	5~15	5~10	3~5	$\geq 6.5 \times \alpha$

注：① 沥青用量中的系数  $\alpha$  为考虑集料密度的系数， $\alpha = 2.65/\rho_a$  ( $\rho_a$  为集料的表观密度)；

② 双层排水性路面下层的矿料级配。

**表 26 日本《排水性路面技术指南》排水性混合料矿料级配范围**

级配类型	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)						沥青用量 (%)
	26.5	19	13.2	4.75	2.36	0.075	
最大公称粒径 (20mm)	100	95~100	64~84	10~31	10~20	3~7	4~6
最大公称粒径 (13mm)	—	100	90~100	11~35	10~20	3~7	4~6

**表 27 美国新一代 OGFC 混合料矿料级配范围**

级配类型	通过下列筛孔 (mm) 的质量百分率 (%)						沥青用量 (%)
	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.075	
ASTM D7064(12.5mm)	100	85~100	35~60	10~25	5~10	2~4	$\approx 6.25$
Georgia(12.5mm)	100	85~100	55~75	15~25	5~10	2~4	5.5~7.0
Georgia PEM(12.5mm)	100	90~100	35~60	10~25	5~10	1~4	5.5~7.0
Georgia(9.5mm)	—	100	85~100	20~40	5~10	2~4	6.0~7.25
Florida FC-5(12.5mm)	100	85~100	55~75	15~25	5~10	2~4	5.5~7.0

续表 27

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)						沥青 用量 (%)
	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.075	
Florida(9.5mm)	—	100	85~100	10~40	4~12	2~5	≈6.5
Texas PFC(12.5mm)	100	80~100	35~60	1~20	1~10	1~4	6.0~7.0
Arizona ACFC(9.5mm)	—	100	100	35~55	9~14	0~2.5	≈6.0

表 28 中国《公路沥青路面施工技术规范》OGFC 混合料矿料级配范围

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)						
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
OGFC-16	100	90~100	70~90	45~70	12~30	10~22	2~6
OGFC-13	—	100	90~100	60~80	12~30	10~22	2~6
OGFC-10	—	—	100	90~100	50~70	10~22	2~6

沥青-橡胶排水性混合料还需要考虑有足够的空间容纳橡胶颗粒,因而混合料中的 2.36mm 以下的细料还应进一步减少。表 29 是美国 ADOT、Caltrans、TxDOT、FDOT、ASTM 规范中沥青-橡胶 OGFC 混合料的矿料级配,表 30 是江苏省地方规范 AR-OGFC13S 混合料矿料的级配范围。

表 29 美国 ADOT、Caltrans、TxDOT、FDOT、ASTM 规范中  
沥青-橡胶 OGFC 混合料的矿料级配

规范	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)							A-R 用 量 <sup>①</sup> (%)
	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.075	
ADOT	—	100	100	30~45	4~8	—	0~2.5	8.7~9.7
Caltrans	100	100	90~100	29~36	7~18	0~10	0~3	6.1~7.0 <sup>②</sup> 7.8~9.1 <sup>③</sup>
Caltrans	100	95~100	78~89	28~37	7~18	0~10	0~3	6.1~7.0 <sup>②</sup> 7.8~9.1 <sup>③</sup>
TxDOT	100	95~100	50~80	0~8	0~4	—	0~4	8.0~10.0

续表 29

规范	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)							A-R 用量 <sup>①</sup> (%)
	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.075	
FDOT	100	85~100	55~75	12~25	5~10	—	2~4	5.5~7.0 <sup>④</sup> 6.5~8.0 <sup>⑤</sup>
ASTM D7064	100	85~100	35~60	10~25	5~10	—	2~4	—

注：① A-R 用量均为与混合料总量之比；

② RAC-O；

③ RAC-O-HB；

④ 花岗岩；

⑤ 石灰岩。

表 30 江苏省地方规范 AR-OGFC13S 混合料矿料级配范围

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)					
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	0.075
AR-OGFC13S	100	85~100	45~80	3~30	0~15	0~4

从表 29 中可以看到，四个州的规范都在不同程度上减少了 2.36mm 细集料和粉料的用量，但是下降的幅度还是有很大差异的。Caltrans 矿料级配的 2.36mm 通过率最大（7%~18%），TexDOT 的通过率最小（只有 0~4%），ADOT 和 FDOT 则居中，2.36mm 通过率为 4%~8% 和 5%~10%。在矿料级配中影响混合料空隙率最大的因素是 2.36mm 筛孔的通过率。2.36mm 筛孔通过率的大小决定了混合料空隙率的大小，而在空隙率与混合料的耐久性之间又存在着相关的关系。空隙率越大，在同样的结合料用量下，混合料的耐久性越差，为保持一定的耐久性就必须提高沥青-橡胶的用量。因此，在表 29 中可以看到在 2.36mm 筛孔的通过率、混合料的目标空隙率、沥青-橡胶的用量之间存在着某种关联的关系：TexDOT 的 2.36mm 通过率最小，其目标空隙率则最大（18%~22%），而相应的结合料用量也随之为最大；Caltrans RAC-O 的 2.36mm 通过率最小，目标空隙率则

最小 (15%~18%), 相应的结合料用量也最小; ASTM 规定的 2.36mm 通过率居中, 则它们目标空隙率与结合料用量也居中 ( $\geq 18\%$ )。在表 30 中则可看到 AR-OGFC13S 的级配是在中国《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 的 OGFC 混合料矿料级配范围的基础上, 大大降低了 4.75mm 和 2.36mm 筛孔的通过率而形成的。

为进一步揭示矿料级配、混合料空隙率与结合料用量之间的相关关系, 在表 29 和表 30 中选择若干种矿料级配和结合料用量制作马歇尔试件, 测定了它们的空隙率与连通空隙率, 并采用肯塔堡飞散试验的方法研究和比较了它们的耐久性能。

从第一阶段试验研究中得出了以下的结论:

- 1) 与常规改性沥青排水性混合料相比, 为获得同样的空隙率, 沥青-橡胶混合料必需大幅度降低 2.36mm 以下的细集料;
- 2) 过高的空隙率将严重恶化排水性混合料的耐久性, 骨架空隙型沥青-橡胶混合料的空隙率不宜超过 23%;
- 3) 为确保混合料必要的耐久性, 保持一定数量的 2.36mm 以下的细集料是必要的;
- 4) 沥青-橡胶排水性混合料的结合料用量宜保持在 8.7%~9.7%。

本条根据本标准专题研究的结论规定了骨架空隙型沥青-橡胶混合料的矿料级配范围。

本标准在规定骨架空隙型沥青-橡胶混合料设计的技术标准时, 在现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 OGFC 混合料的技术标准的基础上, 根据沥青-橡胶混合料的特点做了以下改进:

1 为保持混合料必要的耐久性, 将混合料空隙率的上限限制在 23%。过大的空隙率虽然能获得更好的排水能力, 但是将严重影响使用寿命。从世界各国的标准看, 除少数欧洲国家外, 大部分国家规定的空隙率范围都在 18%~23%。表 31 列出了各

国规范对排水性混合料空隙率的规定。

表 31 各国规范对排水性混合料空隙率指标的规定

排水性混合料空隙率 (%)												
西班牙	丹麦	瑞士	荷兰	德国	比利时	意大利	澳大利亚	南非	美国 ASTM	美国 TexDOT	日本	中国
>20	26	>18	>20	24~ 28	>21	18~ 23	低交通 >20 高交通 20~25	低交通 18~20 高交通 >20	>18	18~22	≈20	18~ 25

2 在检验混合料耐久性的肯塔堡试验指标中增加了对老化试件的飞散率要求。在国外的规范中,美国、新西兰、荷兰等不少国家都要求对经过老化处理的试件进行肯塔堡试验。排水性混合料的高空隙率导致混合料中的沥青更容易老化发脆,是造成排水性路面损坏的重要原因,因此提出采用老化处理的试件进行肯塔堡试验是合乎逻辑的。问题是采用怎样的老化试验条件能模拟现场条件下混合料的实际老化状态。目前供肯塔堡试验用试件的老化处理方法有以下三种:

(1) 美国规范规定的方法是将压实成型的试件直接放入通风的烘箱中在 60℃ 下保持 168h (7 天),然后将试件取出冷却至 25℃ 时再保持 4h 后进行肯塔堡试验。

(2) 新西兰规范规定的方法先将透水性混合料在 125℃ 下进行 2h 的短期老化,然后制作马歇尔试件,将压实试件放入专门的压力老化容器中在 85℃ 和 2070MPa 的条件下进行 72h 的加压老化处理。

(3) 荷兰代尔夫特大学等单位提出的老化方法是将 5kg 松散的透水性混合料平摊在 50cm×30cm×8cm 的盘中放入通风的烘箱中在 135℃ 下进行 44h 的老化处理,在最初 4h 内,每 1 小时翻动一次混合料,然后将经老化处理的混合料再加热至规定的温度制作马歇尔试件。经过老化处理后的混合料可获得相当于现场使用条件下 10 年的老化效果。



为验证在肯塔基试验中对试件进行老化处理的可行性,在本标准专题研究第一阶段试验结果的基础上,对不同的老化处理方法处理的试件及未经老化处理的试件进行了肯塔堡飞散率的对比试验,依据试验结果得出了以下结论:

(1) 将压实试件在 60℃ 下老化处理 168h 的方法,对混合料所起的老化作用是极其有限的,因而这一方法不宜作为沥青-橡胶透水性混合料的老化处理方法。

(2) 将未压实的混合料在 135℃ 温度下老化处理 44h 的方法,对混合料具有强烈的老化作用。这一方法简单易行,作为沥青-橡胶透水性混合料的老化处理方法是可行的。

(3) 同样的混合料未经老化处理制作的试件可以通过肯塔堡飞散率 20% 的检验,但经老化处理后有可能完全失去必要的耐久性。因此,在骨架空隙型沥青-橡胶混合料的设计标准中增加对老化试件的肯塔堡飞散率检验指标是必要的。

(4) 细集料对骨架粗集料支撑作用对沥青-橡胶透水性混合料在老化条件下的耐久性有着强烈的影响,因而在混合料中保留一定数量的 2.36mm 以下的细集料是必要的。

本条规定了骨架空隙型沥青-橡胶混合料的老化处理方法和老化试件肯塔堡试验的技术要求。

3 对混合料平均沥青膜厚度的技术要求和计算方法进行了修正。裹覆在集料颗粒表面的沥青膜厚度对透水性混合料的耐久性有着重要影响,许多国家的规范都将沥青膜厚度作为透水性混合料设计的一项参考指标。在美国的许多州将裹覆集料的平均沥青膜厚度作为考核沥青-橡胶透水性混合料耐久性的主要指标,日本和中国则将沥青膜厚度作为确定排水性混合料的初始结合料用量的依据。我国现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004 提出的初始沥青用量的计算公式来源于日本的规范《排水性路面技术指针指南》:

$$P_a = h \times A \quad (1)$$

式中:  $P_a$ ——混合料的油石比 (%);

$h$ ——混合料的沥青膜厚度 ( $\mu\text{m}$ ),  $h=14\mu\text{m}$ ;

$A$ ——集料总的表面积 ( $\text{mm}^2$ )。

日本的沥青膜厚度计算公式为一纯经验的公式, 公式两边的量纲是不等价的, 这是它略去了集料所吸收的沥青并假设沥青的密度等于水的密度造成的。对于沥青-橡胶, 由于橡胶屑的存在, 其密度明显大于水的密度, 采用此公式计算的混合料沥青膜厚度会产生 10%~15% 的误差。

《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004 附录 D 将这一公式中的  $P_a$  (油石比) 改为  $P_b$  (沥青含量), 但未说明依据。在《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004 附录 B 中, 将计算密级配混合料沥青膜厚度的公式表述为:

$$DA = [P_{be}/(\gamma_b \times SA)] \times 10 \quad (2)$$

式中:  $DA$ ——沥青膜有效厚度 ( $\mu\text{m}$ );

$P_{be}$ ——有效沥青含量 (%);

$\gamma_b$ ——沥青相对密度;

$SA$ ——集料的比表面积 ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )。

这一公式两边的量纲同样是不等价的, 虽然在“条文说明”中注明为引自美国的 NCAT, 但与 NCAT 的原公式: 相比有很大差异, 两个公式的计算结果也完全不同。NCAT 原公式为

$$T_F = \frac{V_{be}}{SA \times W} \times 304800 \quad (3)$$

或

$$T_F = \frac{V_{be}}{SA \times W} \times 10^6 \quad (4)$$

式中:  $T_F$ ——平均沥青膜厚度 ( $\mu\text{m}$ );

$V_{be}$ ——有效沥青体积 ( $\text{ft}^3$ ) 或 ( $\text{m}^3$ );

$SA$ ——集料单位重量总表面积 ( $\text{ft}^2/\text{lbf}$ ) 或 ( $\text{m}^2/\text{kgf}$ );

$W$ ——集料重量 ( $\text{lbf}$ ) 或 ( $\text{kgf}$ )。

4 《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004 规定, 采用渗水仪测定 OGFC 混合料的渗水系数, 这一规定来源于日本

《排水性路面技术指南》。日本《排水性路面技术指南》所采用的测量 OGFC 混合料透水性能的方法存在着明显的缺点，与美国、欧洲规范采用的方法有很大不同。

沥青路面的渗水性与排水性是两个完全不同的概念，前者要求水尽可能不要渗入沥青混合料中，因而水在混合料中的流动是非常缓慢的，流过混合料的水量也是很少的。而后者则要求水在混合料中有良好的通过性，能顺畅地在混合料中流动。因此，对沥青路面的渗水性能和排水性能的检验，在性能指标、测量方法和所用仪器上应是不同的。对于渗水性能的检测通常采用高水头、低水量的方法，它模拟的是水缓慢渗入沥青路面的状态，检测的是水在单位时间内渗入沥青混合料的水量。对于排水性能的检测通常采用低水头、大水量的方法，它模拟的是雨水在多孔性混合料中的流动状态，检测的是水在混合料中的流动速率。

水在多孔性材料中流动的基本规律是由达西定律表述的：

$$Q = KA \frac{\Delta h}{L} \quad (5)$$

式中：Q——水通过砂层的流量；

$\Delta h$ ——高低水位的压头差；

A——砂层的截面面积；

L——砂层的厚度；

K——砂层的透水系数。

透水系数 K 也称水传导系数，在物理意义上代表的是水在截面面积为 A、长度为 L 的多孔性材料中的流动速率。在测量沥青路面的渗水性能时，水的流速很低、水量很小，所用的渗水仪的出口管直径只有 7mm~8mm，由于水在混合料中是很缓慢地流动，所以可以不考虑诸如透水层的厚度、透水试样的截面积、水的流速等因素的影响，而用单位时间内的渗水量评价混合料抵抗水渗入的能力。但是，如果用渗水仪测量排水性路面的透水性能，在理论上不符合达西定理的原理，而在实践上会由于透水层厚度、透水面积、流速等因素的影响而使试验数据发生很大

的离散性,从而失去试验结果的可比性。因此,采用渗水仪和渗水系数测量和评价排水性混合料的透水性能,原则上是不合理的。因此,在美国和欧洲各国排水性混合料技术规范中都规定采用测定透水系数  $K$  作为评价混合料透水性能的指标。透水系数  $K$  在理想的条件下,按达西定律在理论上应为不变的常量。在实际工程中不可能完全满足达西定律的要求,因而  $K$  并非是完全不变的常数,但其离散程度显然会远低于渗水系数。为了减少诸多因素对现场透水性试验结果的影响,美国和欧洲标准都没有对直接测定的现场透水系数规定具体的限值,而改为规定用现场所取芯样通过实验室的透水仪测定的透水系数评价混合料的透水性能,英国 BS 4987 曾采用现场测定的透水系数作为评价标准,但该标准已于 2006 年作废,改用 EN 13108-7 (表 32)。

表 32 排水性路面透水性能的技术标准

规范		美国 ASTM D7064	欧洲 EN 13108-7	英国 BS 4987	日本 《排水性路面 技术指南》
实 验 室	试验方法	FDOT FM5-565	EN 12697-19	—	铺装试验法
	透水系数 技术要求	$>100\text{m/d}$	0.1、0.5、1.0、 1.5、2.0、2.5、 3.0、3.5、4.0 ( $10^{-3}\text{m/s}$ ) 九级	—	$>10^{-2}\text{cm/s}$
现 场	试验方法	—	—	EN 12697-40	铺装试验法
	透水系数 技术要求	—	—	$0.1\text{s}^{-1} \sim$ $0.4\text{s}^{-1}$	900 (mL/min)

本条考虑到国内目前没有相应的测定透水性能的仪器,只规定了要给出混合料透水系数的实测值而未规定其限值,便于使用单位采用进口或自制仪器测定,并规定了应注明所采用的试验方法、仪器和相应的参数。

## 6 热拌橡胶沥青混合料路面施工

### 6.1 一般规定

6.1.1~6.1.6 这几条规定了沥青路面施工的一般要求。

6.1.7 由于沥青-橡胶混合料的施工和易性较差，因而对施工的气候条件的要求比常规沥青混合料更严，而对于铺设铺层厚度小于或等于 25mm 的薄层罩面和开级配的排水性混合料，其施工气候条件将更为严格。表 33 列出了美国四个州规范对沥青-橡胶混合料施工气温条件的要求。

表 33 美国四个州规范对沥青-橡胶混合料施工气候条件的要求

混合料 类型	Caltrans		ADOT		气温 TexDOT		FDOT	
	气温 (°C)	路表面 温度 (°C)	气温 (°C)	路表面 温度 (°C)	气温 (°C)	路表面 温度 (°C)	气温 (°C)	路表面 温度 (°C)
断级配沥青-橡胶 混合料	≥13	≥16	≥18	≥18	—	≥21	≥18	—
开级配沥青-橡胶 混合料	≥13	≥16	—	≥21	—	≥21	≥18	—

本条根据我国的施工经验，参考国外的标准，对沥青-橡胶混合料施工的气候条件规定了相应的要求。

### 6.4 拌 制

6.4.1~6.4.4 橡胶沥青混合料的拌制与普通沥青混合料并无原则区别，在拌制中最为关键的是掌握拌制的温度。美国规范对橡胶沥青混合料的拌和温度和成品料的出料温度的规定，大体上在 165℃ 左右，根据我国的经验，这一温度相对偏低，容易造成碾压时的困难。本节第 6.4.2 条、第 6.4.3 条、第 6.4.4 条根据国

内的施工经验适当提高了各类橡胶沥青混合料的生产温度。

**6.4.5~6.4.8** 在本标准中直投式干法处理是指将矿料、橡胶屑、反应剂直接投入拌缸与沥青拌制成混合料后，让沥青与橡胶屑在混合料状态下进行融胀反应的处理方法，它在结合料与混合料的设计、技术标准、性能检验方面都与湿法处理技术相同。国内目前应用较多的反应剂是辛烯聚合物橡胶连接剂（Trans-Polyoctenamer Rubber, TOR），表 34 是 TOR 反应剂对干法处理沥青-橡胶混合料生产和施工工艺参数的要求。

**表 34 TOR 反应剂对干法处理沥青-橡胶混合料生产和施工工艺参数的要求**

混合料生产温度和反应时间		摊铺和碾压温度	气温与待铺表面温度	
			≥18 (°C)	<18 (°C)
基质沥青温度 (°C)	160~165	摊铺机料斗内混合料温度 (°C)	150~160	155~165
集料加热温度 (°C)	180~190	熨平板后方刚摊铺好铺层温度 (°C)	140~150	145~155
混合料拌和温度 (°C)	170~180	初压开始温度 (°C)	140~150	145~155
混合料出料温度 (°C)	160~170	复压开始温度 (°C)	130~140	135~145
混合料干拌时间 (s)	10~25	复压结束温度 (°C)	110~120	115~125
混合料湿拌时间 (s)	50	—	—	—
成品料反应温度 (°C)	160~170	—	—	—
成品料反应时间 (min)	120	—	—	—

**6.4.10** 现代化的沥青混合料搅拌设备是高度自动化的生产系统，也是沥青混合料施工过程中最容易做到在线过程控制的环节。本条规定了在橡胶沥青混合料生产过程中对各热料仓集料、矿粉、结合料称量数据进行统计分析的要求，并参照美国 ASTM D995 对间歇式沥青搅拌设备规定的材料计量控制精度的

要求，规定了搅拌设备生产过程中，对每批材料称量控制值的允许偏差。

## 6.5 运 输

**6.5.1~6.5.8** 橡胶沥青混合料对运输设备和装卸作业在保温、防粘和减少材料与温度离析方面有更高的要求。虽然任何常规的自卸卡车都可作为沥青-橡胶混合料的运输车辆，但如能采用具有隔热车厢的自卸卡车则效果更好。

## 6.6 摊 铺

**6.6.1~6.6.6** 橡胶沥青混合料的摊铺作业最为关键的是控制好混合料的温度。表 35 展示了美国四个州规范对沥青-橡胶混合料在卡车和摊铺机料斗内的温度要求。

表 35 美国四个州规范对沥青-橡胶混合料在  
卡车和摊铺机料斗内的温度要求

混合料温度检测部位	Caltrans		ADOT	TexDOT	FDOT
	待铺表面温度（℃）				
	≥18℃	<18℃			
运输车车槽内温度（卸入卡车时）	163	163	≤177	—	160
运输车车槽内温度（抵达现场时）	≥138	≥143	—	—	—
摊铺机料斗内	138~163	143~163	—	138~143	—

从表 35 中可见，在美国规范中成品料的出料温度大都在 163°C 左右，而摊铺温度则大都在 143°C 左右，根据我国的施工经验这一温度显得偏低，容易导致橡胶沥青混合料压实不足，在本标准第 6.5.8 条和第 6.6.4 条中适当提高了混合料到达施工现场的温度和混合料的摊铺温度。

在摊铺工艺中还要注意摊铺机与压路机之间的距离不能太远，以保持铺层较高的温度，为此在第 6.6.4 条中规定了两者之间距离不应超过 30m。

## 6.7 碾 压

**6.7.1~6.7.9** 对橡胶沥青混合料碾压工艺的总体要求是保持较高的碾压温度和尽快将混合料压实到规定的压实度。为此需要配备足够数量的压路机,在碾压工艺方面可采用紧跟碾压的方式,对于沥青-橡胶混合料还可采用初压即进行振动碾压的工艺。这样做的好处是在混合料温度还很高的情况下,获得较高的初压压实度,通常可使初压达到所要求的混合料密度的95%以上。对沥青-橡胶混合料,通常复压所能增高的压实度是很小的。由于断级配的沥青-橡胶混合料有较大的抵抗水平推力的能力,因此碾压一开始就用振动压路机,并不至于导致很大的混合料推移。

对骨架密实型(包括 SMA 混合料)和骨架空隙型的橡胶沥青混合料,碾压过程只能是适度压实,减少压碎集料和结合料唧浆上浮,因此控制压实能量是十分重要的,在第 6.7.3 条~第 6.7.6 条中分别规定了对各类橡胶沥青混合料碾压遍数的限制。在第 6.7.7 条中规定了各类橡胶沥青混合料的碾压温度。

在压实质量的实时监测方面,由于橡胶沥青混合料获得充分压实比常规沥青混合料更为敏感,因而加强压实密度的实时监测显得更为重要。第 6.7.8 条规定了以现场无损检测密度仪进行实时监测的要求。

## 6.8 接 缝 处 理

**6.8.1** 在沥青-橡胶混合料的摊铺过程中,由于混合料的和易性较差,手工作业容易造成不良的外观,对热接缝的摊铺重叠度作了适当限制。

**6.8.2** 对于纵向冷接缝的碾压,传统的方法是从冷铺层上开始进行跨缝碾压,此时滚轮大部分在冷铺层上行走,而只有 150mm 左右压在新铺的热铺层上。此种碾压方式由于热铺层需有较长时间的等待而导致铺层温度的下降,因而不适于对碾压温度十分敏感的橡胶沥青混合料。本条同时规定了应从热铺层开始



碾压的方法。

## 6.10 质量控制和检验

橡胶沥青混合料的施工质量检验和管理与一般热拌混合料并无原则区别。本节有关施工过程中原材料的质量检验、橡胶沥青混合料的质量控制和检验标准、橡胶沥青路面工程质量控制和检验标准，基本上是按现行行业标准《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40 和《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1 中的相应条款制定的。其中，对现行规范作出修改和补充的主要是以下两方面：

1 本标准第 6.10.5 条对现有规范规定的沥青混合料生产过程中采用实时、在线过程控制的质量标准，进行了修正；

2 本标准第 6.10.6 条在压实度的检验标准方面取消了以马歇尔试验密度作为标准密度的规定，只以按最大理论密度计算的压实度（现场空隙率）作为控制标准，其允许偏差不仅下限还有上限，并补充了用无损检测仪器进行拉网检测的要求。

## 7 表面处治与石屑封层

### 7.1 设计

**7.1.1~7.1.19** 关于表面处治的设计方法，在国外大体上可分为两大类：基于以往实践经验的经验性设计法和基于某种工程计算形式的分析性设计法。

目前纯经验的设计已很少使用了，经验性设计通常从给出某一基础性的结合料和集料用量（应用率）开始，然后根据现场的条件，例如：原状路面条件、交通条件、气候条件、集料的尺寸和石屑封层的类型等，进行某种修正。现代先进的经验性设计方法的代表首推英国 TRL 的 RN39，这是一种建立在多层次输入参数基础上的综合设计法，它可以延伸为一种基于决策树系统的计算机设计程序。

基于工程计算的 analysis 设计方法，国外应用最多的是所谓“平均最小尺寸法”。所谓平均最小尺寸 ALD (average least dimension) 是覆盖在结合料上的集料颗粒的最小尺寸的平均值 (图 17)。这一方法最早是由新西兰的工程师 Hason 提出的。后来 Hason 的设计方法得到进一步的发展和改进，例如加拿大的 McLeod、美国的 Kearby 和改进的 Kearby 方法及英国的 Jackson 方法等，这些方法的共同特点是增加某些反映不同使用条件下沥青和石屑用量的修正因子。

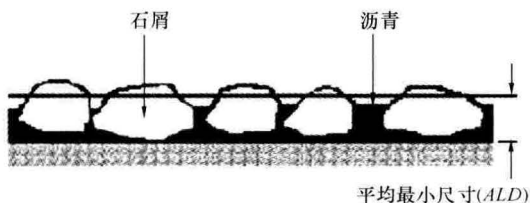


图 17 石屑平均最小尺寸 ALD 示意图

Hason 确立了以充填集料颗粒之间空隙率达到某个百分比计算结合料和集料应用率的原则，这一原则在后来发展的各种 ALD 设计方法中得到了广泛的引用。在现代石屑封层的各种设计方法中，都采用了以石屑颗粒的平均埋入量百分率作为设计的追求目标，而这一目标埋入量则大体都定在 50%~70%。

对石屑封层，沥青和石屑最佳用量由于受到众多因素的影响而存在着较大的不确定性和变化性，因此在石屑封层的设计中，不论是经验性设计法还是分析性设计法，石屑封层性能的检验都是十分重要的。如何检验石屑封层的基本性能，研制必要的试验手段，制定相应的试验方法及实验室试验和现场质量检验的技术标准是现代石屑封层技术发展的又一个重要的热点。在石屑封层的基本性能中，抗泛油和抗滑性能与其他沥青面层并无实质上的区别，而石屑颗粒保持性 (chip retention) 及集料与封层结合料相容性 (aggregate-binder compatibility) 的研究则成为石屑封层技术近十余年来的新进展。为检验集料颗粒在封层上的保持性能，在国外已经开发了不少集料保持性试验或集料-结合料相容性试验的方法和手段，有些已进入欧洲和美国的国家标准及州标准。

鉴于以上考虑，在本标准附录 E 中提出了一种经验设计、分析计算与实验室检验相结合的橡胶-沥青石屑封层的设计方法，在已有经验的基础上，通过目前国外应用较为广泛的 McLeod 法得出石屑的用量，最终依靠某些基本的性能试验确定石屑和结合料的最佳用量。这一方法的要点是：

1 采用平均最小尺寸法计算石屑的用量，通过平板试验 (board test) 确定石屑的最佳用量。

2 用以下两种实验室试验分别控制泛油和石屑脱落这两种石屑封层的主要损害：

- 1) 用铺砂法试验测定的构造深度控制结合料用量的上限；
- 2) 采用 Vialit 平板冲击试验作为石屑保持性的试验方法 (retention test)，通过测定石屑脱落的百分率控制结合料用量的下限。

## 7.2 施 工

**7.2.1** 施工的气候因素对橡胶沥青表面处治与石屑封层的施工质量有着重要影响,对气候条件的要求比常规的乳化沥青表面处治与石屑封层更为严格。橡胶沥青表面处治与石屑封层应尽量选择  
在初夏温暖而干燥的天气下施工,避免在早春或深秋、寒冷的季节施工。选择在初夏季节施工的好处是刚铺设而尚未完全稳定的石屑封层路面可以经过一个高温夏季车辆的碾压,很快地嵌入下层路面而形成稳定的嵌挤结构,从而降低在气温下降后车辆高速行驶造成石屑脱落的风险。

**7.2.8** 试验路段的施工总结报告对随后的施工起着重要的指导作用,包括以下内容:

1 试验路段概况说明,包括试验路段所在的位置与桩号,试验段总长,石屑和结合料的类型,施工的日期,施工时的天气(晴雨、气温、风力等),施工单位、监理单位和建设单位等。

2 石屑封层的设计,包括原材料特性的检验结果、设计的结合料洒布率和石屑撒布率、对所设计的石屑封层在实验室进行性能评估和检验的结果。

3 试验路段确定的施工工艺和方案执行的情况及需要修正的环节。

4 试验路段性能评估和质量检验的结果。

5 结论意见,包括:

- 1) 建议正式施工用的结合料洒布率和石屑撒布率;
- 2) 对施工方案作出的修正和补充,并建议正式采用的施工方案;
- 3) 对试验路段施工过程中的技术措施、组织管理、质量保证等方面的改进意见,并确定正式施工中的施工组织管理和质量管理体系。

**7.2.9~7.2.13** 施工设备是实施橡胶沥青表面处治与石屑封层施工的基本保证,第 7.2.9 条~第 7.2.13 条对设备的配置和技

术性能提出了专门的要求。在施工设备中最重要的设备是结合料洒布机和石屑撒布机。自 20 世纪 90 年代国内引进了一些技术性能和自动化程度高的沥青洒布机后,国产的沥青洒布机在技术水平上已有了很大提高。目前国产的沥青洒布机大多都配备有计算机自动控制的洒布量自动调节系统,洒布精度和均匀度大体上已达到小于等于 2% 的误差范围。但用来洒布沥青-橡胶时还需进行某些必要的改装,例如改用高黏度的变量沥青泵、防堵塞的喷嘴,及喷杆、喷嘴部分的导热油加热结构等。

**7.2.14~7.2.19** 关于橡胶沥青石屑封层的施工工艺同样经历了从最简单的基本工序向更为完善的工艺发展的历程。石屑封层最基本的施工工序是结合料(橡胶沥青)的喷洒、石屑的撒布、封层的碾压。现代橡胶沥青石屑封层的施工工艺主要是增加了以下三道工序:

- 1 预裹覆工序;
- 2 中间复拌工序;
- 3 清扫工序。

其中最重要的是预裹覆(precoated)工序。预裹覆工序早在 20 世纪 70 年代已经提出了,但在国外,普通石屑封层的施工规范中大多没有规定为乳化沥青石屑封层施工的必备工序。但在美国各州沥青-橡胶石屑封层的施工规范中,无一例外都是将预裹覆工序作为一道必需的工序,这显然是与沥青-橡胶石屑封层对于粉料屏障作用的敏感性较高有关。粉尘对石屑颗粒与封层的结合强度有十分显著的影响,这是因为粘附在集料表面的粉尘将在沥青与石屑颗粒的结合面上形成一层屏蔽层,从而严重影响沥青与集料的粘附性能,对黏度高、流动性差的沥青-橡胶,此种影响将显得更为严重。采用预裹覆工序的好处一是通过烘干筒可以将大部分粉尘抽吸掉,二是少量沥青分布在集料表面将形成封层沥青进一步裹覆的着力点,三是较高温度的石屑可以更好地埋入高黏度的沥青-橡胶中。美国 NCAT 曾对石屑颗粒脱落率的影响和预裹覆工序的效果做了大量的试验研究,图 18 展示了石屑

颗粒的脱落率随粉尘含量的增大而增加的规律。从图 18 中可以看到,石屑颗粒从封层上脱落的数量随着粉尘含量的增加而增大,尤其是当含量超过 3% 后石屑的脱落率将急剧地增长。因此,严格地控制石屑中的粉尘含量不超过 2% (水洗筛分) 是完全必要的。

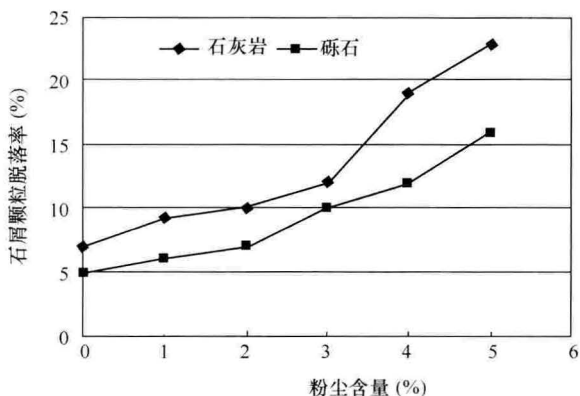


图 18 石屑颗粒的脱落率随粉尘含量的增大而增加的规律

图 19 展示了预裹覆面积对改善石屑颗粒在封层上保持性的

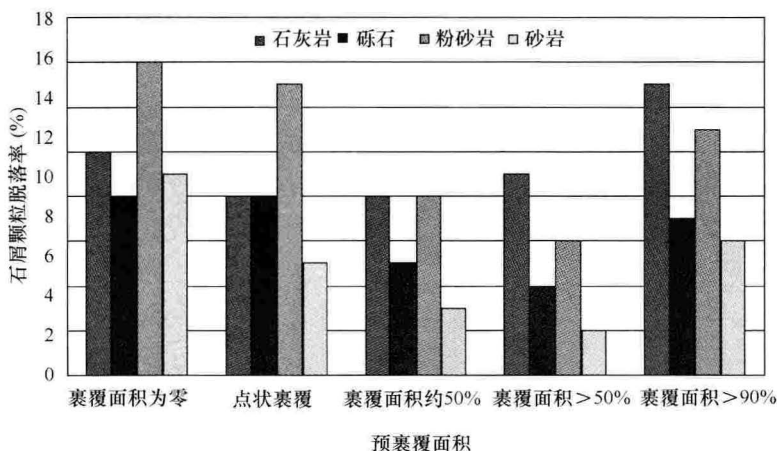


图 19 预裹覆面积对改善石屑颗粒在封层上保持性的影响

影响。从图 19 中可以看到,随着预裹覆面积的增大,石屑颗粒的脱落率变化的总趋势是随之下降。但当裹覆面积超过 90%后,效果反而变差,因此将裹覆的面积控制在 50%~90%是合理的。

表 36 列出了美国州规范对沥青-橡胶石屑封层的集料进行预裹覆的沥青用量要求。

表 36 美国州规范对沥青-橡胶石屑封层的集料  
进行预裹覆的沥青用量要求

规范名称	沥青标号	预裹覆沥青用量 (与干集料的质量比)(%)	预裹覆温度 (℃)
California	PG 58-28	0.7~1.0	127~163
Arizona	PG 58-28	0.4~0.6	≥121
Pennsylvania	PG 64-22 或 PG 58-28	0.5~1.0	110~149
Kentucky	PG 64-22	0.75±0.25	≥120
Maine	PG 64-28 或 PG-58-28	0.4~0.8	93~149

中间复拌工序也是沥青-橡胶石屑封层经常采用的辅助工序。由于沥青-橡胶的黏度大,为防止压路机轮胎上粘附石屑,沥青-橡胶石屑封层的石屑用量通常都会偏大,用量偏大的石屑如撒布不均匀将使部分石屑重叠在一起而导致集料压碎和发生杠杆与楔入效应,从而损害石屑与封层的正常结合(图 20)。中间扫拌应紧接着石屑撒布工序后进行,通过扫拌将石屑分布均匀,并将多余的石屑扫至路边,不得将已埋入结合料的石屑颗粒翻转过来,图 21 为滚刷在进行复拌工序。

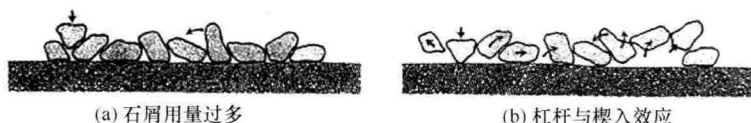


图 20 石屑用量过大产生的杠杆与楔入效应



图 21 滚刷在进行中间复拌工序

最终的清扫工序对于减少开放交通初期的石屑飞散和养护工作是十分必要的，除采用滚刷清扫外，还应采用真空吸扫车将多余的松散石屑吸走。

本标准在第 7.2.15 条中规定了橡胶沥青的喷洒作业的要求。在结合料洒布机的调试工作中，最基本的要求是形成三层重叠的喷洒图形（图 22）。

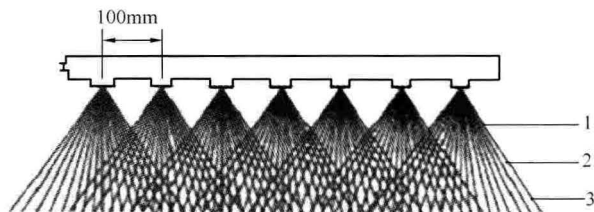


图 22 结合料的喷洒图形

1—单层覆盖；2—双层覆盖；3—三层覆盖

在第 7.2.16 条中规定了接缝的处理要求，在处理横向接缝时用屋面纸、土工布、油毛毡等遮盖铺层的方法如图 23 所示。

在第 7.2.17 条中规定了石屑撒布作业的各项要求，包括预裹覆和中间复拌工序的要求。

在第 7.2.18 条中规定了碾压作业的要求，表面处治与石屑封层碾压过程的目的和作用与沥青混合料的碾压是有区别的。碾压表面处治与石屑封层的作用是将石屑埋入结合料，并使石屑以



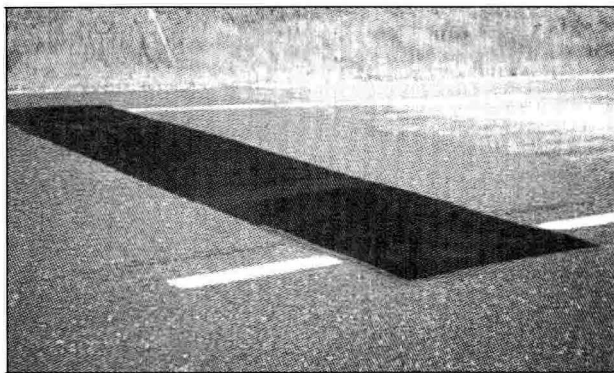


图 23 安放在起点和终点横向接缝处的油毛毡

肩并肩的嵌挤方式排列成单层的石屑结构，因而并非传统意义上的压实过程。石屑封层的碾压工序由于铺层薄，又是单粒径的石料通常只能采用轮胎压路机，并对轮胎压路机的吨位和气压有一定的限制，美国规范要求吨位在  $7\text{t}\sim 11\text{t}$ ，充气压力在  $620\text{kPa}\sim 690\text{kPa}$ ，过大吨位的压路机会导致集料压碎和石屑过深地埋入原状路面。碾压作业最基本的要求是在结合料保持较高温度的状态下尽快将石屑埋入结合料中，为减少压路机轮胎的热量损失而采用帆布将其围起的方法（图 24）。



图 24 用帆布围起的轮胎压路机

在第 7.2.19 条中规定了最终的清扫作业的要求。

**7.2.20** 本条规定了对橡胶沥青表面处治路面开放交通初期进行交通管制的要求,交通管制对表面处治路面的早期养护是十分必要的,尤其在开放交通后的几个小时至 1 天~2 天内。

### 7.3 质量控制和检验

**7.3.3、7.3.4** 表面处治,尤其是单层的表面处治是敷设在原状路面上的一层养护层,因而不可能要求它承担提高路面承载能力、校正路面纵向和横向轮廓等复原性养护的功能。在我国现行规范中,对表面处治面层规定了 7 项实测项目,其中绝大部分(例如平整度、弯沉值、纵断面高程、横坡等)应该是由表面处治的下层路面解决的质量要求,而恰恰缺少了与石屑封层本身的设计、施工有直接关系的质量项目。本节有关橡胶沥青表面处治与石屑封层施工质量检验的技术要求主要参考了欧洲标准《Surface dressing-Requirements》EN 12271。

本节在制定橡胶沥青表面处治与石屑封层施工质量检验的技术要求时,考虑到我国的实际情况作了适当简化,删除了目前还没有条件实施的摆式试验,并按我国规范的习惯用语作了修改(表 37)。

表 37 橡胶沥青石屑封层的现场和实验室性能检验项目

类别	检验项目	试验方法	参考标准
现场 检验	缺陷外观检验	外观缺陷评定方法	12271-2
	表面宏观构造深度	铺砂法	T0961
	摩擦系数	摆值法	T0964
	结合料洒布率与精度	接盘法	12271-1
	石屑撒布率与精度	接盘法	12271-1
实验室 检验	集料-结合料粘附性	Vialit 平板冲击法	12271-3
	集料保持性	Vialit 平板冲击法	12271-3

注:试验方法按现行行业标准《公路路基路面现场测试规程》JTG E60-2008 和欧洲标准 EN 12271 执行。

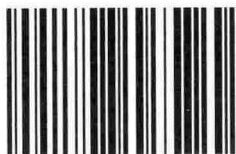
橡胶沥青石屑封层工程质量标准适用于施工工程质量检验和工程完工后的质量验收。最终的质量验收时缺陷表观检验和宏观构造深度的测定宜在石屑封层通车一年后进行，因为石屑封层的大部分缺陷都会在一年左右的行车期间显现，而表观缺陷和宏观构造深度的测定将指示出一个石屑封层的预期寿命。石屑封层宏观构造深度的测定不仅反映了封层的抗滑性能，而且在很大程度上可反映出石屑颗粒埋入下层路面的程度。石屑封层经一年交通载荷的碾压，石屑的埋入量会相对稳定下来并在颗粒之间形成一种镶嵌式的稳定结构，它们代表了封层经压路机和交通载荷碾压后的石屑埋入深度。石屑封层经过一年的车辆碾压后，各种病害已经稳定下来，而石屑的埋入量经过早期较快速率的埋入后进入了渐进的埋入阶段，随着埋入量的逐年增加泛油的风险也在增长。因此，通车一年后的构造深度在很大程度上可以反映出石屑封层继续使用的耐久性，新西兰在大量观察数据的基础上归纳了根据石屑封层通车一年后的构造深度预测经验公式：

$$T_{dl} = 0.07 \times ALD \times \lg Y_d + 0.9 \quad (6)$$

式中： $T_{dl}$ ——通车一年后测得的构造深度（mm）；

$Y_d$ ——石屑封层的设计寿命（年）；

$ALD$ ——集料的平均最小尺寸（mm）。



1 5 1 1 2 3 4 3 3 6

统一书号: 15112 · 34336  
定 价: 42.00 元