

岩沥青 + SBS 复合改性沥青混合料设计与 施工技术规范

Technical specifications for design and construction of rock asphalt and SBS
composite modified asphalt mixture

2025 - 01 - 24 发布

2025 - 02 - 24 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 原材料 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 岩沥青 2

 4.3 SBS 改性沥青 3

 4.4 集料 3

 4.5 矿粉 3

5 配合比设计 3

 5.1 一般规定 4

 5.2 矿料级配 5

 5.3 室内拌和 5

 5.4 布敦岩沥青掺量 5

6 混合料性能技术要求 5

 6.1 一般规定 5

 6.2 混合料性能要求 5

7 施工技术要求 7

 7.1 一般规定 7

 7.2 拌和 7

 7.3 运输 7

 7.4 摊铺 8

 7.5 碾压 8

 7.6 开放交通及其他 8

8 质量管理与验收 8

 8.1 一般规定 8

 8.2 施工质量管理 8

 8.3 交工验收 9

附录 A（资料性） 目标配合比设计示例 10

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由安徽省交通控股集团有限公司提出。

本文件由安徽省交通运输厅归口。

本文件起草单位：安徽省交通控股集团有限公司、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司、安徽宏泰交通工程设计研究院有限公司、安徽省七星工程测试有限公司、安徽中印天然岩沥青科技有限公司、安徽交通职业技术学院、铜陵市公路管理服务中心、安徽省通皖建设工程有限公司。

本文件主要起草人：陆学元、张玉斌、王重阳、任园、戚云生、陈为成、李小红、吴红波、王春红、杨勇、王祥彪、刘小明、鲍世辉、张立峰、吴一帆、沈药、刘桂芳、王建立、王凯、张素云、凌东强、常德章、毛隆权、罗宝莲、陈冬洁、张乐乐、谭宜飞、周银宝、方肖立、高申万。

岩沥青 + SBS 复合改性沥青混合料设计与施工技术规范

1 范围

本文件规定了岩沥青 + SBS复合改性沥青混合料设计与施工的原材料、配合比设计、混合料性能技术要求、施工技术要求、质量管理与验收。

本文件适用于各等级公路新建、改扩建及养护工程的沥青混合料设计与施工，城镇道路可参考使用。

2 规范性引用文件

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

JC/T 478.1 建筑石灰试验方法 第1部分：物理试验方法
JC/T 478.2 建筑石灰试验方法 第2部分：化学分析方法
JT/T 860.5 沥青混合料改性添加剂 第5部分：天然沥青
JTG 3432 公路工程集料试验规程
JTG D50 公路沥青路面设计规范
JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
JTG F40 公路沥青路面施工技术规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩沥青 Rock Asphalt, 简称 RA

原油在地壳运动的挤压下从地壳中冒出，存在于山体、岩石裂隙中，经过亿万年的蒸发凝固而形成的固体形态的天然沥青。

3.2

布敦岩沥青 Buton Rock Asphalt, 简称 BRA

产自印度尼西亚苏拉威西省布敦岛，经长期变化和综合作用下形成由一定含量的布敦沥青和布敦岩矿料组成的共混融合岩体，经过机械挖掘、运输、破碎、分离、研磨、筛分、除尘、分拣等工艺制作而成的黑褐色固态粉末状天然岩沥青。

3.3

布敦沥青 Buton Asphalt, 简称 BA

布敦岩沥青经回收后得到的纯沥青物质，即布敦岩沥青中的沥青组分。

3.4

布敦岩矿料 Buton Rock, 简称 BR

布敦岩沥青在规定试验条件下经燃烧后所得的固体残留物。

3.5

布敦沥青含量 Buton Asphalt Content, 简称 BAC
单位质量布敦岩沥青中布敦沥青质量与总质量的比值, 以百分比计。

3.6

布敦岩矿料含量 Buton Rock Content, 简称 BRC
单位质量布敦岩沥青中布敦岩矿料质量与总质量的比值, 以百分比计。

3.7

岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料 Rock Asphalt and SBS composite Modified Asphalt mixture
以岩沥青与SBS改性沥青作为复合结合料, 在一定温度条件下, 经过拌和均匀后形成的复合改性沥青混合料。

3.8

布敦岩沥青掺量 Additive Content of BRA
布敦岩沥青质量占含布敦岩矿料在内的矿质集料总质量的比值, 以百分比计。

3.9

干法工艺 Dry process
将布敦岩沥青直接加入拌和锅(搅拌缸)干拌后再喷入 SBS改性沥青, 经湿拌用于生产布敦岩沥青+SBS复合改性沥青混合料的工艺。

4 原材料

4.1 一般规定

- 4.1.1 岩沥青运至现场应取样进行质量检验合格后方可使用, 不得单独以供应商提供的检测报告或商检报告替代现场检验。
- 4.1.2 岩沥青宜采用防潮、不易破损的编织袋包装, 并存放于干燥、防水的仓库中。
- 4.1.3 本文件无特殊说明, 未列出的其它原材料要求应符合 JTG F40 的规定。
- 4.1.4 相关试验方法和技术要求应符合 JTG E20 和 JTG 3432 的规定。

4.2 岩沥青

4.2.1 布敦岩沥青技术要求应符合表 1 的规定。

表1 布敦岩沥青技术要求

检测项目	单位	质量要求	试验方法
外观	—	黑褐色粉末颗粒状	目测
布敦沥青含量	%	24.5~30	JTG E20 T0735 或 T0722
布敦岩矿料含量	%	65~75	JTG E20 T0614
含水率	%	≤1.5	JTG E20 T0612
密度 (15℃)	g/cm ³	1.6~1.9	JTG E20 T0603
溶解度 (三氯乙烯)	%	≥18	JTG E20 T0607
不同批次布敦岩矿料含量差 ^[1]	%	≤2	JTG E20 T0614
布敦岩沥青抽提后	软化点	℃	≥80
	闪点	℃	≥260
	针入度	0.1mm	≤10

“1” 为保证 SBS+布敦岩沥青复合改性沥青混合料性能的稳定性，不同批次布敦岩矿料含量差不应超过 2%，超过2%时，应重新进行 SBS+布敦岩沥青复合改性沥青混合料配合比设计。

4.2.2 应按照规定的试验方法进行布敦岩沥青燃烧试验或抽提试验，对剩余的岩矿料水洗筛分，其公称粒径应符合表 2 的规定。

表2 布敦岩沥青粒径组成技术要求

检测项目	通过下列各方孔筛筛孔尺寸（mm）的质量百分率 /%							试验方法
	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
布敦岩沥青	100	95~100	85~100	58~94	25~36	10~34	2~10	JTG 3432 T0327
布敦岩矿料	100	98~100	92~100	80~92	62~85	54~73	36~60	JTG 3432 T0351

4.2.3 其他岩沥青技术要求应符合 JT/T 860.5 的规定。

4.3 SBS 改性沥青

4.3.1 采用 SBS 改性沥青作为基质沥青时，其技术要求应符合 JTG F40 的规定。

4.3.2 宜通过试验分别确定岩沥青掺量和 SBS 改性沥青用量。

4.4 集料

4.4.1 沥青路面表面层用粗集料宜采用玄武岩或其他耐磨性集料，压碎值 ≤20%、软石含量 ≤1%；其他沥青面层宜采用石灰岩集料，压碎值 ≤24%、软石含量 ≤3%。

4.4.2 沥青路面表面层和中面层用细集料应采用石灰岩粗集料加工研磨而成的机制砂，砂当量宜 ≥65%，0.075 mm~2.36 mm 粒径亚甲蓝值 ≤2 g/kg，其他面层 0.075 mm~2.36 mm 粒径亚甲蓝值 ≤2.5 g/kg。

4.4.3 SBS 改性沥青与集料的黏附性达不到规定要求时，宜采用工厂化方式生产的消石灰作为抗剥落剂替代部分矿粉使用，总量不应超过矿质集料总量的 2%，其技术要求应符合表 3 的规定。

表3 沥青面层用消石灰技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
外观	/	无团粒结块	目测
CaO+MgO	%	≥75	JC/T 478.2
MgO	%	≤5	
SO ₃	%	≤2	
游离水含量	%	≤2	
细度（下列筛孔通过率）	%	≥98	JC/T 478.1
<0.2 mm		≥93	
<90 μm			
加热安定性	/	合格	JC/T 478.1

4.5 矿粉

矿粉应采用石灰岩加工，应干燥、洁净，能从矿粉罐中自由流出，不得使用回收粉尘。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料配合比设计宜参照附录 A 的方法进行，配合比设计流程宜按照图 1 步骤进行。当采用其他设计方法时，应进行马歇尔试验和配合比设计检验，并报告不同设计方法的试验结果。

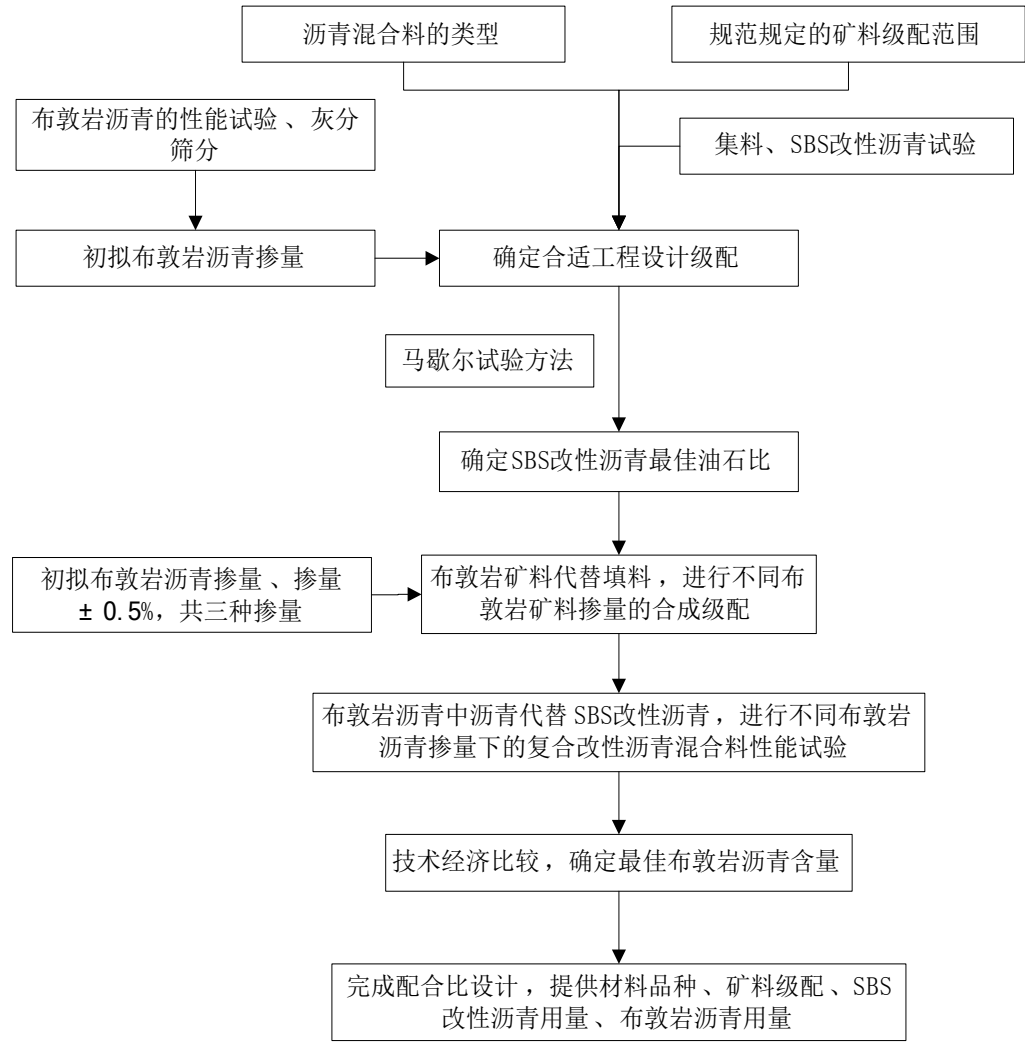


图1 布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料目标配合比设计流程图

5.1.2 布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料配合比设计时，理论最大相对密度宜采用真空实测法确定，采用计算法确定时，应采用布敦岩矿料表观相对密度。

注：JTG F40 推荐改性沥青混合料理论最大密度采用计算法，而布敦岩沥青+SBS复合改性沥青混合料中的颗粒容易剥离，实际操作工作中，真空实测法和计算法相比，真空实测法得到的理论最大密度更大，大量的试验结果表明，布敦岩沥青+SBS复合改性沥青混合料进行配合比设计时，真空实测法得到的空隙率较计算法得到的空隙率偏大 0.2%~0.4%，从最不利的工况进行考虑，在配合比设计时，理论最大密度应推荐采用真空实测法；布敦岩矿料密度较常规矿料小的多，如若采用计算法，在进行合成密度计算时，要充分考虑布敦岩矿料对密度影响。

- 5.1.3 布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料配合比设计除符合本文件要求外，尚应符合 JTG F40 和 JTG D50 的有关规定。
- 5.1.4 其他类型的岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料配合比设计应符合相关规范要求。

5.2 矿料级配

- 5.2.1 布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料，宜采用公称最大粒径不大于 26.5 mm 的 AC 类连续密级配或 SMA 类间断级配类型。
- 5.2.2 干法工艺布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料配合比设计时，布敦岩矿料应参与级配设计。
- 5.2.3 布敦岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料矿料级配范围应符合 JTG F40 的相关规定。

5.3 室内拌和

岩沥青+SBS复合改性沥青混合料配合比设计时，室内拌和应按照以下顺序和要求进行：

- a) 用烘箱将 SBS 改性沥青加热至 160℃~165℃，集料加热至 185℃~190℃；
- b) 将加热后的集料按照设计级配对应的各档集料用量投入拌和锅拌和 60 s；
- c) 投入不加热的预定布敦岩沥青掺量拌和 45 s；
- d) 加入预定 SBS 改性沥青用量拌和 45 s；
- e) 加入预定填料和其他外加剂拌和 90 s，拌和温度为 175℃~180℃（拌和锅设定 190℃）；
- f) 按照 163℃±2.5℃击实温度制作试件。

5.4 布敦岩沥青掺量

- 5.4.1 布敦岩沥青掺量的确定应考虑以下因素：
- a) 布敦岩沥青技术性能；
 - b) 基质 SBS 改性沥青的技术性能；
 - c) 拟建工程项目的材料、交通、气候、环境条件与设计使用层位及路用性能要求；
 - d) 已有工程经验，特别是本地区成功应用布敦岩沥青的典型工程。
- 5.4.2 布敦岩沥青掺量宜为 1.4%~2.7%，具体用量应通过试验确定。

6 混合料性能技术要求

6.1 一般规定

- 6.1.1 公称最大粒径等于或小于 13.2 mm 的 AC 类和 SMA 类岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料，应以 4.75 mm 作为粗集料骨架的分界点。公称最大粒径等于或小于 9.5 mm 的 AC 类和 SMA 类岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料，应以 2.36 mm 作为粗集料骨架的分界筛孔。
- 6.1.2 岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料进行性能试验时，不得采用二次加热的混合料。
- 6.1.3 本文件无特殊说明，未列出的其它要求应符合 JTG F40 的规定。

6.2 混合料性能要求

- 6.2.1 AC 类岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料的马歇尔试验技术要求应符合表 4 的规定。

表4 AC 类马歇尔试验技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
马歇尔试件尺寸	mm	Φ 101.6×63.5	JTG E20 T0702

表 4（续）

试验项目		单位	技术要求					试验方法			
双面击实次数		次	75					JTG	E20	T0702	
空隙率		%	3~5					JTG	E20	T0705	
马歇尔稳定度		kN	≥10.0					JTG	E20	T0709	
流值 ^[1]		0.1mm	15~40					JTG	E20	T0709	
矿料间隙率VMA ^[2]	设计空隙率	%	相应于以下公称最大粒径（mm）的最小VMA技术要求					JTG	E20	T0705	
			26.5	19	16	13.2	9.5				
	3		≥11	≥12	≥12.5	≥13	≥14				
	4		≥12	≥13	≥13.5	≥14	≥15				
	5		≥13	≥14	≥14.5	≥15	≥16				
沥青饱和度VFA		%	55~70		65~80		70~85		JTG	E20	T0705
^[1] 对岩沥青+SBS复合改性密级配沥青混合料，马歇尔试验的流值可增加至 4.5 mm。											
^[2] 当设计空隙率不是整数时，由内插确定要求的 VMA最小值。											

6.2.2 SMA 类岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料的马歇尔试验技术要求应符合表 5 的规定。

表5 SMA 类马歇尔试验技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
马歇尔试件尺寸	mm	Φ 101.6×63.5	JTG E20 T0702
双面击实次数	次	50	JTG E20 T0702
空隙率	%	3~4	JTG E20 T0705
马歇尔稳定度	kN	≥8.0	JTG E20 T0709
流值	0.1mm	15~45	JTG E20 T0709
矿料间隙率	%	≥17.0	JTG E20 T0705
沥青饱和度VFA	%	75~85	JTG E20 T0705
粗集料骨架间隙率VCA _{mix} ^{【1】}	%	<VCA _{dec}	JTG E20 T0705
析漏损失	%	≤0.1	JTG E20 T0732
飞散损失	%	≤10	JTG E20 T0733

6.2.3 岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料马歇尔残留稳定度>85%，马氏试件空隙率在 7%~8%条件下冻融劈裂强度比>80%。

6.2.4 岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料的动稳定度应符合表 6 的规定。

表6 动稳定度技术要求

混合料类型	单位	技术要求		试验方法
	次/mm	中、轻交通	重交通及以上	
AC类沥青混合料		≥3000	≥4000	JTG E20 T0719
SMA类沥青混合料		≥3500	≥5000	

6.2.5 岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料的低温弯曲应符合表 7 的规定。

表7 低温弯曲试验破坏应变技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
低温弯曲试验破坏应变	$\mu\epsilon$	≥ 2500	JTG E20 T0715

6.2.6 岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料表面层的车辙板渗水系数应符合表 8 的规定。

表8 渗水系数技术要求

混合料类型	单位	技术要求	试验方法
AC类沥青混合料	ml/min	≤ 120	JTG E20 T0719
SMA类沥青混合料	ml/min	≤ 80	

7 施工技术要求

7.1 一般规定

- 7.1.1 施工前应制定详细施工组织方案，保证合理的施工工期。
- 7.1.2 不得在气温低于 10℃，以及雨天和下承层潮湿的情况下施工。
- 7.1.3 施工前，应对下承层质量进行检查和验收，合格后方可施工。
- 7.1.4 规模化施工前，应铺筑试验路段，长度为 200 m~300 m，通过试验段确定工艺组合和相关技术参数。
- 7.1.5 各沥青结构层宜连续施工，避免与可能污染沥青层的其他工序交叉干扰，减少施工和运输污染。
- 7.1.6 本文件无特殊说明，未列出的其它要求应符合 JTG F40 的规定。

7.2 拌和

- 7.2.1 岩沥青材料应采用专用设备投放，并与沥青拌和站相连接，具有自动计量装置，计量稳定、准确。
- 7.2.2 按照生产配合比设计，先将岩沥青与矿质集料干拌 10 s~15 s，再与 SBS 改性沥青和填料拌和 45 s~60 s。当采用 SMA 沥青混合料时，纤维可在粗集料与岩沥青干拌的同时自动加入进行拌和。
- 7.2.3 拌和后的沥青混合料应均匀裹覆沥青，无花白料、无团结和粗细集料分离现象。
- 7.2.4 岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料生产拌制温度控制应符合表 9 的规定。

表9 拌制生产温度控制要求

施工工序	控制要求 (℃)
沥青加热温度	165~175
矿料加热温度 ^[1]	180~220
混合料出厂温度	170~185
混合料摊铺温度	≥ 165
混合料废弃温度	> 195
^[1] 拌制生产过程中矿料加热温度设置，应根据岩沥青+SBS改性沥青复合改性沥青混合料出厂温度确定。	

7.3 运输

- 7.3.1 运料车应采取棉被+苫盖布双层严密覆盖等保温措施。
- 7.3.2 运料车到达施工作业面后应逐车检测温度，到场温度不应低于 165℃。
- 7.3.3 加强运料车与摊铺机衔接管理，派专人指挥倒车，运料车不得撞击摊铺机前滚轮。
- 7.3.4 铺筑桥面沥青混合料时，应以倒车方式匀速行驶，不得破坏桥面防水粘结层。当桥梁较长时，可在特定区域设置调头区域；防水粘结层出现破损时，应及时修复。

7.4 摊铺

- 7.4.1 正常施工摊铺温度不宜低于 165℃。
- 7.4.2 当下卧层表面温度为 10℃~15℃时，铺筑层厚度为 50 mm~80 mm，最低摊铺温度不应低于 160℃；铺筑层厚度低于 50 mm，最低摊铺温度不应低于 165℃。
- 7.4.3 摊铺机受料斗两侧应设置防漏料挡板措施，避免漏料于待铺下卧层表面。
- 7.4.4 施工前应对摊铺机各部件及液压系统进行检修，并检查附带的非接触式传感器精度与完好度，保证摊铺作业时正常运转。
- 7.4.5 摊铺过程中不宜出现纵向冷接缝；当两台及以上摊铺机梯队摊铺时，纵向接缝搭接宽度宜为 10 cm~20 cm，摊铺机前后距离宜为 10 m~20 m；摊铺方向宜按照路面纵坡由低处向高处摊铺。
- 7.4.6 摊铺过程应做到缓慢、均匀、连续不间断。

7.5 碾压

- 7.5.1 双向四车道及以上公路沥青路面的 AC 类的岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料施工时，双钢轮振动压路机不应少于 3 台，重型胶轮压路机不应少于 4 台；SMA 类的岩沥青+SBS 复合改性沥青混合料不应少于 5 台双钢轮振动压路机，不应采用胶轮压路机碾压。
- 7.5.2 初压温度不应低于 160℃，终压温度不应低于 90℃。
- 7.5.3 加强压路机碾压组合和工艺管理，应能与摊铺机同步均匀、连续不间断碾压。当碾压过程中出现需要加水、加油时，压路机应停放于终压后路段。
- 7.5.4 压路机驱动轮面向摊铺机方向，应沿路面纵坡由低处向高处碾压，不应出现混合料推移现象。

7.6 开放交通及其他

- 7.6.1 待沥青层完全自然冷却，表面温度低于 50℃后，方可开放交通，不得采用洒水降温方式。
- 7.6.2 铺筑好的沥青层应严格控制交通，不得造成损伤和污染。

8 质量管理与验收

8.1 一般规定

- 8.1.1 岩沥青应在施工前以批次为单位进行检查，宜以 100 t 为 1 批次进行。
- 8.1.2 施工质量管理与检查验收应符合本文件技术要求，未列出的其它要求应符合 JTG F40 的规定。
- 8.1.3 试拌试铺应按照 JTG F40 规定执行。

8.2 施工质量管理

- 8.2.1 施工过程中质量检查应符合表 10 的规定。

表10 施工过程中质量检查技术要求

检查项目		单位	技术要求	检查频率
压实度		%	≥ 试验室标准密度 98%	每 2000 m ² 不低于 3 个点位
			最大理论密度的 93%~97%	
渗水系数	中面层	ml/min	≤200	每 200 m 检查 1 处
	AC上面层		≤180	
	SMA上面层		≤120	
构造深度	AC路面	mm	0.6~0.8	每 200 m 检查 1 处
	SMA路面		0.8~1.2	每 200 m 检查 1 处

8.2.2 生产过程中，每个台班宜取样进行动稳定度试验，其结果应符合本文件表 6 的规定。

8.2.3 施工过程中，横向施工缝接缝平整度（最大间隙）应逐条进行直尺检测，中面层平整度≤3 mm；上面层平整度≤2 mm。

8.3 交工验收

交工检查与验收应按照 JTG F40 和 JTG F80/1 有关热拌沥青混合料的规定执行。

附 录 A
(资料性)
目标配合比设计示例

A.1 原材料试验

布敦岩沥青工程粒径为 0 mm~3 mm, SBS改性沥青选用 I-D型;粗集料采用玄武岩,公称粒径分别为 9.5 mm~13.2 mm、4.75 mm~9.5 mm,细集料采用机制砂,公称粒径分别为 2.36 mm~4.75 mm、0.075 mm~2.36 mm,填料为矿粉,试验结果见表A.1~表A.4。

其他技术指标均符合 JTG F40 的要求。

表A.1 布敦岩沥青筛分试验结果

筛孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
燃烧后布敦岩矿料水洗筛分	100.0	100.0	99.0	94.9	83.5	64.5	50.7
布敦岩沥青干筛分	100.0	99.6	85.6	62.6	35.4	14.9	4.3

表A.2 布敦岩沥青含量与密度试验结果

试验项目	布敦岩沥青相对密度 (g/cm ³)	布敦沥青含量 (%)
试验结果	1.645	26.6

表A.3 SBS 改性沥青技术指标试验结果

检测项目	单位	试验结果
针入度 (25℃, 100g, 5s)	0.1mm	55
针入度指数PI	—	0.14
延度 (5℃, 5cm/min)	cm	34
软化点 (TR&B)	℃	77
相对密度 (25℃)	—	1.021
溶解度	%	99.5
RTFOT (或TFOT) 后残留物		
质量变化	%	-0.102
针入度比 (25℃)	%	76.4
延度 (5℃)	cm	20

表A.4 矿料与布敦岩矿料密度试验结果

公称粒径 /mm	表观相对密度 (g/cm ³)	毛体积相对密度 (g/cm ³)
9.5~13.2	2.931	2.859
4.75~9.5	2.923	2.844
2.36~4.75	2.729	2.686
0.075~2.36	2.700	2.632
矿粉	2.698	2.698

表 A.4（续）

公称粒径 /mm	表观相对密度 (g/cm ³)	毛体积相对密度 (g/cm ³)
燃烧后布敦岩矿料	2.136	/

A.2 布敦岩沥青矿料级配设计

A.2.1 分别对粗玄武岩集料粗、石灰岩机制砂细集料、填料矿粉和布敦岩沥青燃烧后的布敦岩矿料进行水洗筛分试验，配制成粗型、中型和细型级配，试验结果见A.5；在布敦岩沥青掺量为 1.4%和总油石比为 4.8%条件下分别进行粗、中、细型马歇尔试验，结果见表A.6。

表A.5 粗、中、细矿料级配优化设计

各种矿料水洗筛分合成级配										
各筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1.0%BR细型级配	100	94.2	78.6	46.2	30.3	23.0	17.3	11.3	8.8	6.9
1.0%BR中型级配	100	94.2	78.6	44.6	28.1	21.2	15.9	10.3	8.0	6.3
1.0%BR粗型级配	100	94.2	78.6	42.2	27.4	20.7	15.4	9.8	7.5	5.8

表A.6 粗、中、细型级配马歇尔试验结果

级配类型	空隙率 (%)	稳定度 (KN)	流值 (0.1mm)	VMA (%)	VFA (%)
1.0%BR细型级配	1.50	12.56	36.63	11.4	86.9
1.0%BR中型级配	2.65	14.34	36.68	12.4	78.8
1.0%BR粗型级配	3.47	15.24	38.32	13.2	73.6

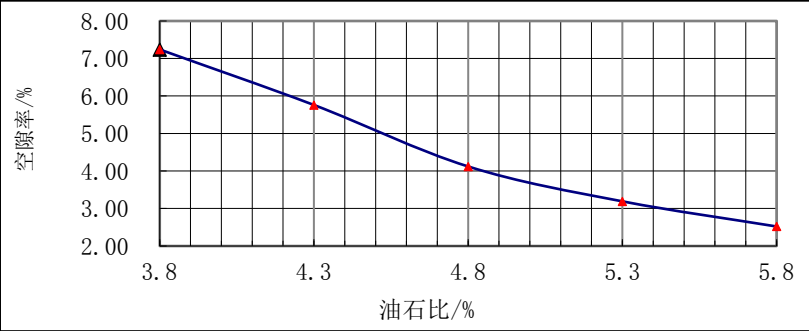
A.2.2 由上述试验结果可知，粗型AC-13C级配条件下技术指标较为优越，强度较高，确定粗型级配为最优级配。此时，布敦岩沥青、布敦沥青分别占SBS改性沥青油石比的质量百分数为 30.6%、8.1%，占总油石比 4.8%的质量百分比为 28.3%、7.5%。

A.3 最佳沥青用量确定

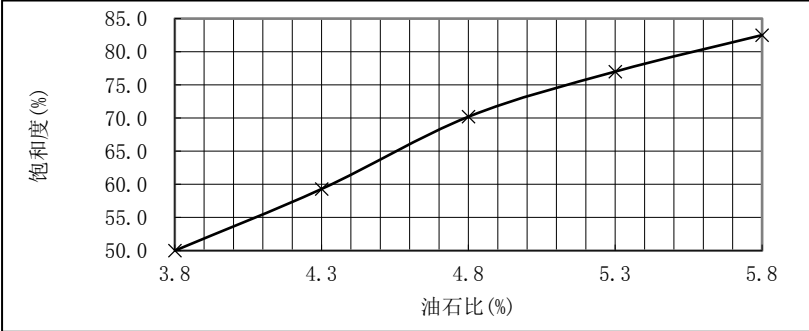
A.3.1 依据表A.5 粗型级配，在总油石比分别为 3.8%、4.3%、4.8%、5.3%、5.8%（对应SBS改性沥青油石比分别为 3.4%、3.9%、4.4%、4.9%、5.4%）条件下分别进行马歇尔试验，结果见表A.7和图A.1～A.7。

表A.7 总油石比为 3.8%的不同油石比马氏试验结果

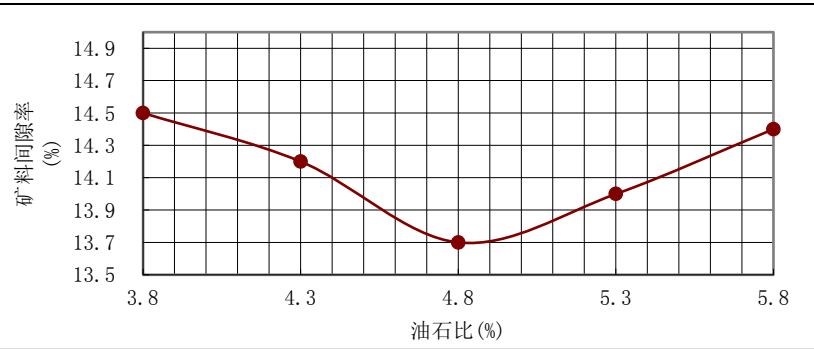
油石比 (%)	试件毛体积相对密度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	稳定度 (KN)	流值 (0.1mm)	VMA (%)	VFA (%)
3.8	2.46	7.24	11.48	24.47	14.5	50
4.3	2.48	5.77	12.97	33.61	14.2	59.3
4.8	2.50	4.12	12.67	46.23	13.7	70.2
5.3	2.51	3.19	11.78	48.77	14.0	77.0
5.8	2.51	2.52	11.71	39.80	14.4	82.5



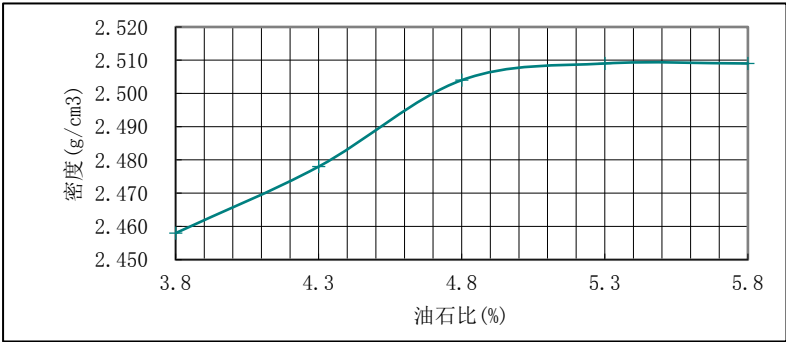
图A. 1 空隙率与总油石比关系



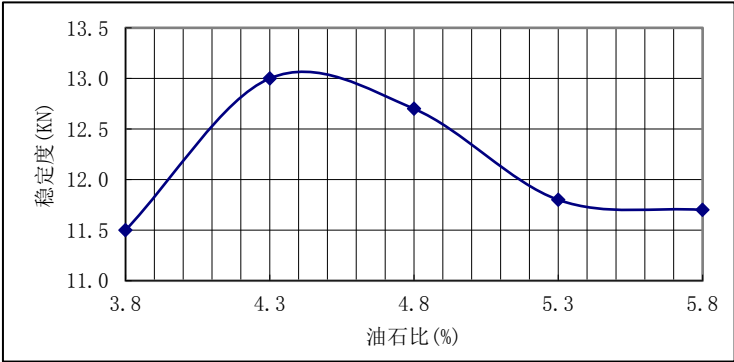
图A. 2 饱和度与总油石比关系



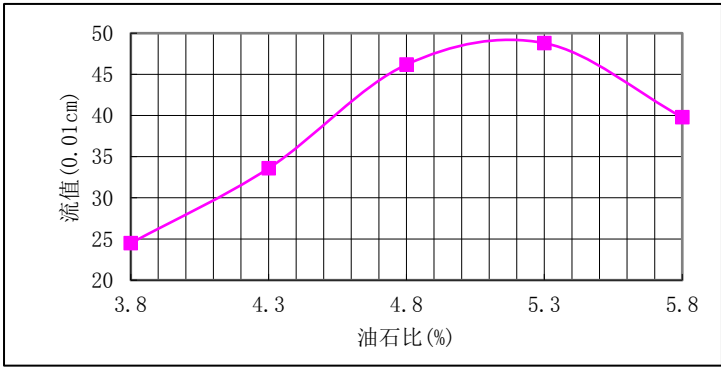
图A. 3 矿料间隙率与总油石比关系



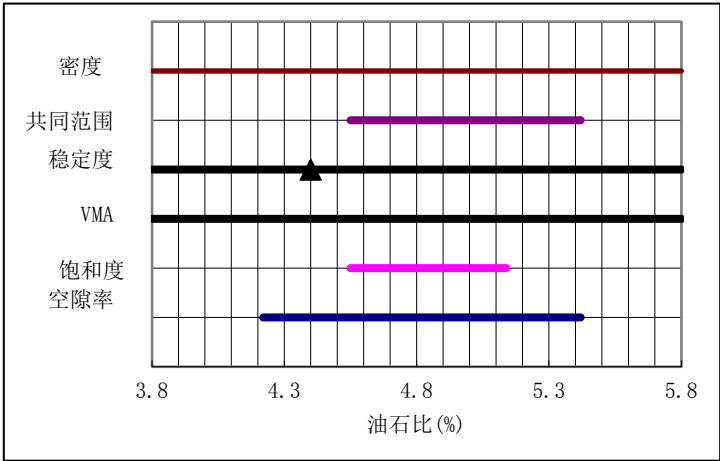
图A. 4 毛体积相对密度与总油石比关系



图A. 5 稳定度与总油石比关系



图A. 6 流值与总油石比关系



图A. 7 马歇尔试验结果示例

A. 3.2 根据 JTG F40 规范，选取沥青油石比范围内的试件密度没有峰值，直接以目标空隙率 4% 对应的总油石比为 4.85% 作为 OAC_1 ， $OAC_{min} \sim OAC_{max} = 4.5\% \sim 5.4\%$ ，取中值 $OAC_2 = 5.0\%$ 。取 OAC_1 和 OAC_2 的中值作为计算的最佳总油石比 $OAC = 4.9\%$ 。其中，布敦沥青油石比为 0.4%，SBS 改性沥青油石比为 4.5%，二者之比为 7.9%。

A. 4 路用性能检验

A.4.1 分别以 0%BR、1.0%BR 掺量为基础，调整各种矿料用量（配合比）使得合成级配基本保持不变进行级配设计，分别见表A.8、表A.9。在最佳总油石比为 4.9%条件下分别进行动稳定度（DS）试验、冻融劈裂强度比（TST）试验，结果见表A.10。其中，TSR试验按照美国SHRP中Superpave技术要求，模拟成型路面剩余空隙率在 7%~8%条件下的双面击实次数为 10~15次。

表A.8 不同布敦岩矿料掺量的配合比及配重

材料名称	0%BR	称重 (g)	1.0%BR	称重 (g)
1#料	23.5	1762.5	23	1725
2#料	42	3150	43	3225
3#料	6	450	6	450
4#料	25	1875	24	1800
矿粉	3.5	262.5	3	225
BR	0	/	1	/
BRA	0	0	1.36	102
BA	/	/	0.36	/
SBS改性沥青油石比/%	4.9	367.5	4.54	340.5
总油石比/%	4.9	/	4.9	/

表A.9 不同布敦岩矿料掺量的合成级配

各筛孔尺寸/mm	各筛孔通过率 (%)									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
0.0%BR	100	94.1	78.1	42.5	27.0	20.2	14.9	9.5	7.4	5.8
1.0%BR	100	94.2	78.6	42.2	26.6	20.1	14.9	9.6	7.4	5.7

表A.10 不同布敦岩矿料掺量下沥青混合料性能试验结果

检测指标	动稳定度 (次/mm)	冻融劈裂强度比 (%)
0.0%BR	7583	98.7
1.0%BR	8668	93.1

A.4.2 当总油石比为 4.9%时，由不同布敦岩沥青掺量下的布敦岩沥青 + SBS改性沥青复合 AC-13C 改性沥青混合料的冻融劈裂强度比和动稳定度试验结果较为优越，确定布敦岩沥青合理掺量范围为 1.4%，布敦岩矿料掺量为 1.0%进行和 -10℃低温弯曲试验，结果如表A.11：

表A.11 布敦岩矿料掺量为 1.0%的低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度 (Mpa)	弯曲劲度模量 (Mpa)	最大弯拉应变 ($\mu\epsilon$)
岩沥青+SBS改性AC-13C	10.11	4133	2580

A.4.3 经技术经济比较，布敦岩沥青最佳掺量为 1.4%，对应级配设计时的布敦岩矿料最佳掺量为 1.0%。
