

团 体 标 准

T/CCATS XXXX—2025

热闷法钢渣沥青面层施工技术指南

Technical guidelines for construction of disintegrated by steam steel slag asphalt pavement

（征求意见稿）

（本草案完成时间 2025 年 7 月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

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 钢渣 2

4.1.1 一般规定 2

4.1.2 规格要求 2

4.1.3 性能指标 2

4.2 沥青 2

4.3 其他粗、细集料 2

4.4 填料 3

4.5 纤维稳定剂 3

5 配合比设计 3

5.1 一般规定 3

5.2 目标配合比设计 3

5.2.2 初选矿料级配 4

5.2.3 矿料级配换算 5

5.2.4 最佳油石比确定 5

5.2.5 体积安定性检验 5

5.2.6 配合比设计检验 5

5.3 生产配合比设计 6

5.4 生产配合比验证 6

6 施工 6

6.1 一般规定 6

6.2 拌和 6

6.3 运输 7

6.4 摊铺与碾压 7

6.5 开放交通 7

7 质量控制 7

7.1 原材料质量控制 7

7.2 施工过程质量控制 7

附 录 A （资料性） SUP 类钢渣沥青混合料配合比设计方法 8

附 录 B （资料性） 沥青浸渍法 11

附 录 C （资料性） 钢渣沥青混合料浸水膨胀试验 13

附 录 D （资料性） 沥青混合料冻融劈裂试验方法（旋转压实仪试件） 14

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。

本文件由中国交通运输协会交通工程设施分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

热闷法钢渣沥青面层施工技术指南

1 范围

本文件提供了热闷法钢渣沥青路面的原材料、配合比设计、施工及质量控制等技术指导。
本文件适用于各等级公路新建、改扩建及养护工程中沥青面层的施工。

2 规范性引用文件

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

- GB/T 24765-2009 耐磨沥青路面用钢渣
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB 6566 建筑材料放射性核素限量
- JTG 3432 公路工程集料试验规程
- 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
- JT/T 533 沥青路面用纤维
- YB/T 804-2009 钢铁渣及处理利用术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热闷钢渣 **disintegrated steel slag by steam**

热态钢渣经余热自解热闷工艺处理后得到的钢渣。

[来源：YB/T 804-2009，3.2.8]

3.2

钢渣陈化 **steel slag aging treatment**

钢渣破碎后堆放一定的时间以促进钢渣中游离氧化钙和游离氧化镁接触水气发生消解，提高钢渣集料体积稳定性的过程。堆放过程中可定期淋水保湿加速钢渣集料游离氧化钙和游离氧化镁消解。

3.3

钢渣粗集料 **coarse aggregate from steel slag**

经稳定化处理、破碎、分级后作为粗集料用于道路等工程的钢渣。在沥青混合料和基层材料中，钢渣粗集料是指大于2.36mm的钢渣。

[来源：YB/T 804-2009，6.1.16]

3.4 浸水膨胀率 immersion expansion ratio

钢渣或钢渣沥青混合料在规定试验条件下，浸水后的体积变化率。

[来源：GB/T 24765-2009，3.1，有改动]

3.5

游离氧化钙 **free calcium oxide**

钢铁渣中所含的未结合成矿物的游离态的生石灰颗粒，以f-CaO表示。

[来源：YB/T 804-2009，7.8]

3.6

钢渣沥青混合料 **steel slag asphalt mixture**

由钢渣粗集料、碎石粗集料、碎石细集料、沥青胶结料及填料等以一定比例拌和而成的混合料。

4 原材料

4.1 钢渣

4.1.1 一般规定

4.1.1.1 宜选用经过 6 个月以上陈化或其他稳定化处理的热闷钢渣。钢渣应加强源头分类使用，不得使用混渣加工钢渣集料。

4.1.1.2 钢渣的放射性指标应符合 GB 6566 的规定，可浸出重金属含量应符合 GB 5085.3 的规定。

4.1.2 规格要求

宜采用颗粒洁净、干燥、无杂质的钢渣作为沥青混合料的粗集料，其粒径规格应符合表1的要求。

表 1 钢渣粗集料规格

规格名称	公称粒径 (mm)	通过下列筛孔 (mm) 的质量分数 / %							
		31.5	26.5	19.0	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S8	10~25	100	90~100	—	0~15	—	0~5		
S9	10~20		100	90~100	—	0~15	0~5		
S10	10~15			100	90~100	0~15	0~5		
S11	5~15			100	90~100	40~70	0~15	0~5	
S12	5~10				100	90~100	0~15	0~5	
S13	3~10				100	90~100	40~70	0~20	0~5
S14	3~5					100	90~100	0~15	0~3

4.1.3 性能指标

钢渣粗集料性能指标应符合表 2 规定。

表 2 钢渣粗集料性能指标

检验项目	单位	高速及一级公路		二、三、四级公路	试验方法
		上面层	中、下面层		
表观相对密度	—	≥2.9	≥2.9	≥2.9	JTG 3432 T0304
压碎值	%	≤20	≤24	≤28	JTG 3432 T0316
洛杉矶磨耗损失	%	≤26	≤28	≤33	JTG 3432 T0317
坚固性	%	≤12	≤12	—	JTG 3432 T0314
针片状颗粒含量（混合料）	%	≤15	≤18	20	JTG 3432 T0312
其中粒径大于 9.5mm	%	≤12	≤15	—	
其中粒径小于 9.5mm	%	≤18	≤20	—	
磨光值（PSV）	BPN	≥45	—	≥42	JTG 3432 T0321
软弱颗粒含量	%	≤2	≤3	≤3	JTG 3432 T0320
沥青粘附性	级	≥5	≥5	≥5	JTG E20 T0616
吸水率	%	≤3	≤3	≤3	JTG 3432 T0307
水洗法<0.075mm 颗粒含量	%	≤1.0	≤1.0	≤1.0	JTG 3432 T0302
浸水膨胀率	%	≤1.8	≤1.8	≤1.8	JTG 3432 T0348
游离氧化钙含量	%	≤2.0	≤3.0	≤3.0	JTG 3432 T0375
金属铁含量	%	≤2.0	≤2.0	≤2.0	JTG 3432 T0374

4.2 沥青

钢渣沥青混合料所用道路石油沥青或改性沥青的技术要求应符合 JTG F40 的规定。

4.3 其他粗、细集料

4.3.1 钢渣粗集料与其他粗集料混合使用时，其他粗集料的技术要求应符合 JTG F40 的规定。

4.3.2 宜优选石灰岩类细集料进行钢渣沥青混合料生产，细集料的技术要求应符合 JTG F40 的规定。

4.4 填料

4.4.1 钢渣沥青混合料的矿粉宜采用石灰岩等碱性石料经磨细得到的矿粉，严禁使用拌和机回收的粉尘。

4.4.2 填料的技术要求应符合 JTG F40 的规定。

4.5 纤维稳定剂

钢渣沥青混合料所用纤维稳定剂技术指标应符合 JT/T 533 的规定。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 钢渣沥青混合料配合比设计分为目标配合比设计、生产配合比设计以及生产配合比验证三个阶段。

5.1.2 钢渣沥青混合料目标配合比设计宜根据混合料类型选择合适的设计方法。其中，AC 类或 SMA 类钢渣沥青混合料采用马歇尔试验方法进行配合比设计，SUP 类钢渣沥青混合料采用旋转压实试验方法进行配合比设计。

5.1.3 当采用钢渣集料与天然集料进行级配合成时，同一粒径规格宜全部采用钢渣集料或全部采用天然集料。

5.2 目标配合比设计

5.2.1 钢渣沥青混合料的目标配合比可按照图 1 的设计流行进行。

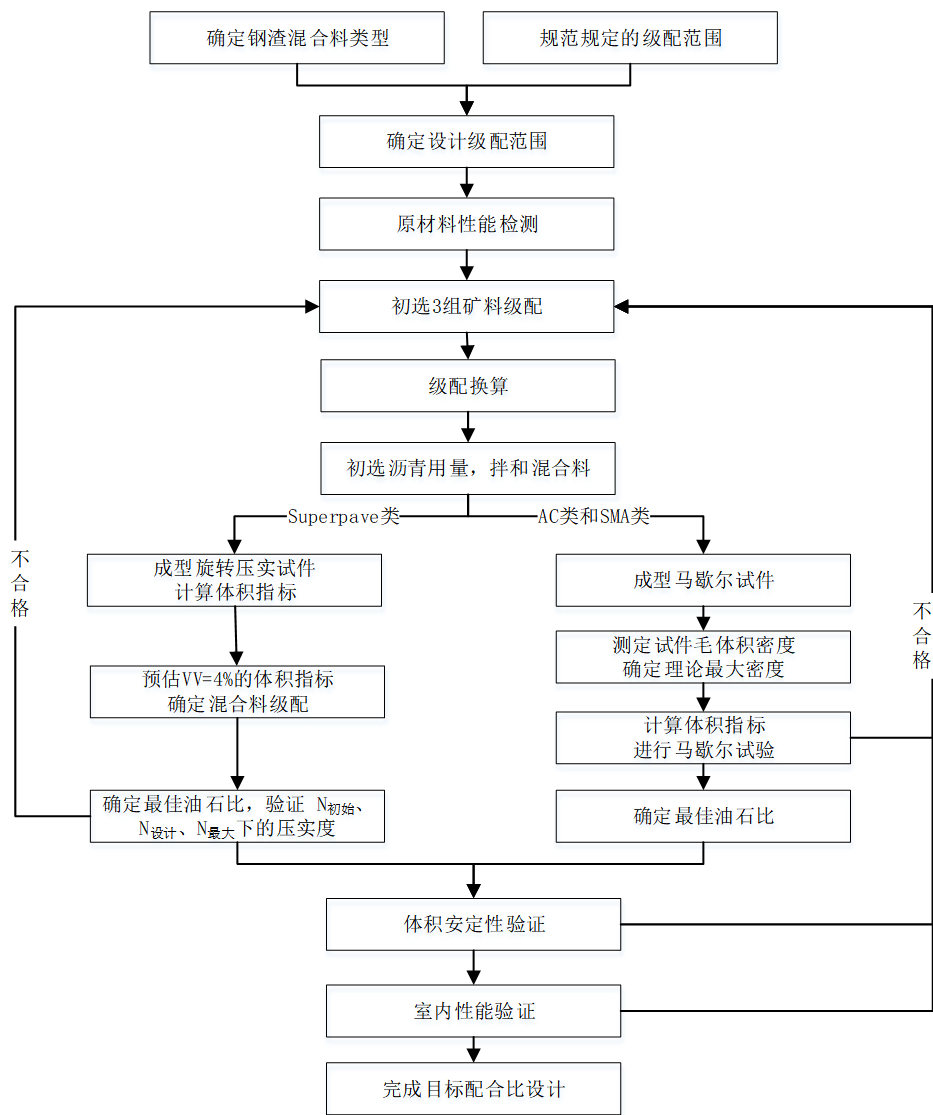


图 1 钢渣沥青混合料目标配合比设计流程

5.2.2 初选矿料级配

按照规定的矿料级配范围，结合已有工程经验，初选3组矿料级配。AC类或SMA类钢渣沥青混合料矿料级配应符合JTG F40的要求，SUP类钢渣沥青混合料矿料级配控制点应符合表3的要求。

表 3 SUP 类沥青混合料矿料级配控制点筛孔通过率（%）

筛孔尺寸 /mm	混合料类型									
	Sup-25		Sup-20		Sup-13		Sup-10		Sup-5	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
37.5	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26.5	90	100	100	—	—	—	—	—	—	—
19.0	—	90	90	100	100	—	—	—	—	—
13.2	—	—	—	90	90	100	100	—	100	—
9.5	—	—	—	—	—	90	90	100	95	100
4.75	—	—	—	—	—	—	—	90	90	100
2.36	19	45	23	49	28	58	32	67	—	—
1.18	—	—	—	—	—	—	—	—	30	55
0.75	1	7	2	8	2	10	2	10	6	13

5.2.3 矿料级配换算

在级配设计时，宜采用体积法，按公式（1）将钢渣沥青混合料体积配比换算为钢渣沥青混合料质量配比。后续试验及生产宜以钢渣沥青混合料质量配比进行。

$$P_i' = \frac{P_i \times \gamma_i}{\sum P_i \times \gamma_i} \times 100 \tag{1}$$

式中：
P_i'——第*i*种规格矿料的质量百分比，%；
P_i——第*i*种规格矿料的体积百分比，%；
γ_i——第*i*种规格矿料的毛体积相对密度，无量纲。

5.2.4 最佳油石比确定

5.2.4.1 AC 类或 SMA 类钢渣沥青混合料应按照 JTG F40 的规定选择马歇尔试验配合比设计方法进行试验，确定最佳沥青用量。

5.2.4.2 SUP 类钢渣沥青混合料的设计沥青用量宜按照附录 A 确定，并满足表 4 的要求。

表 4 SUP 类沥青混合料体积指标设计要求

检验项目		交通等级	单位	技术要求	试验方法
压实度	N _{初始}	轻	%	≤91.5	JTG E20 T0736
		中等		≤90.5	
		重、特重、极重		≤89.0	
	N _{设计}	/	%	96.0	
	N _{最大}	/	%	≤98.0	
矿料间隙率（VMA）	Sup-25	/	%	≥12.0	JTG E20 T0705
	Sup-20	/	%	≥13.0	
	Sup-13	/	%	≥14.0	
	Sup-10	/	%	≥15.0	
	Sup-5	/	%	≥16.0	
沥青饱和度（VFA）	Sup-25/Sup-20/ Sup-13	轻	%	70~80	JTG E20 T0705
		中等	%	65~78	
		重、特重、极重	%	65~75	
	Sup-10	轻	%	70~80	
		中等	%	65~78	
		重、特重、极重	%	73~76	
	Sup-5	轻	%	67~79	
		中等、重、特重、 极重	%	67~77	
粉胶比（DP）	Sup-25/Sup-20/ Sup-13/Sup-10 [*]	/	—	0.6~1.2	JTG E20 T0705
	Sup-5	轻、中等	—	1.0~2.0	
		重、特重、极重	—	1.5~2.0	
* 当级配为粗级配时，粉胶比可增至 0.8~1.6。					

5.2.4.3 采用普通沥青制备钢渣沥青混合料时，钢渣沥青混合料理论最大相对密度应采用真空法测定。采用改性沥青制备钢渣沥青混合料时，钢渣沥青混合料理论最大相对密度应采用计算法测定，天然集料和吸水率不大于 1.7% 的钢渣集料的有效相对密度宜采用水中重法进行测定。吸水率大于 1.7% 的钢渣集料宜采用附录 B 中沥青浸渍法测定钢渣集料的有效相对密度。

5.2.5 体积安定性检验

按照附录C测定钢渣沥青混合料的浸水膨胀率，宜不大于1.5%。

5.2.6 配合比设计检验

AC类沥青混合料配合比检验技术要求宜满足表5的要求。SMA类改性沥青混合料配合比检验技术要求宜满足表6的要求。SUP类沥青混合料配合比检验技术要求宜满足表7的要求。

表5 AC类沥青混合料配合比检验技术要求

检验项目		单位	技术要求		试验方法
			普通沥青混合料	改性沥青混合料	
车辙试验	60℃动稳定度	次/mm	≥1000	≥2800	JTG E20 T 0719
水稳定性试验	残留稳定度	%	≥80	≥85	JTG E20 T 0709
	冻融劈裂试验强度比	%	≥75	≥80	JTG E20 T 0729
低温弯曲试验	弯曲破坏应变	με	≥2000	≥2500	JTG E20 T 0715

表6 SMA类改性沥青混合料配合比检验技术要求

检验项目		单位	技术要求	试验方法
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失		%	≤0.1	JTG E20 T 0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失(20℃)		%	≤15	JTG E20 T 0733
车辙试验	60℃动稳定度	次/mm	≥3000	JTG E20 T 0719
水稳定性试验	残留稳定度	%	≥85	JTG E20 T 0709
	冻融劈裂试验强度比	%	≥80	JTG E20 T 0729
低温弯曲试验	弯曲破坏应变	με	≥2500	JTG E20 T 0715

表7 SUP类沥青混合料配合比检验技术要求

检验项目		单位	技术要求		试验方法
			普通沥青混合料	改性沥青混合料	
水稳定性试验	冻融劈裂试验强度比	%	≥80	≥80	附录D
车辙试验	60℃动稳定度	次/mm	≥1200	≥4000	JTG E20 T 0719
低温弯曲试验	弯曲破坏应变	με	≥2000	≥2500	JTG E20 T 0715

5.3 生产配合比设计

钢渣沥青混合料的生产配合比设计应按照JTG F40的规定进行。

5.4 生产配合比验证

钢渣沥青混合料的生产配合比验证应按照JTG F40的规定进行。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 钢渣集料宜覆盖堆放，料场地坪须硬化，并具有良好的排水系统，避免材料被污染。
- 6.1.2 各类规格的钢渣集料宜用墙体隔开，以免相互混杂。
- 6.1.3 钢渣沥青路面在施工前应铺筑试验段。试验段的长度宜为200~300 m，宜选在正线上铺筑。
- 6.1.4 不宜在低于10℃气温、雨天、路面潮湿情况下施工，大风天气下施工宜设置风挡以降低温度损失速率。

6.2 拌和

- 6.2.1 钢渣沥青混合料应采用间歇式拌和机拌和，拌和时间经试拌确定，以所有集料均匀裹覆沥青为度。AC类和SUP类沥青混合料拌和时间不宜少于55 s，SMA类沥青混合料拌和时间不宜少于65 s，其中干拌时间不宜少于10 s。
- 6.2.2 拌和生产温度宜在普通沥青混合料的基础上提高5℃~10℃。拌和生产温度应符合表8的要求。

表 8 钢渣沥青混合料摊铺与碾压温度控制

工序	单位	普通沥青混合料	改性沥青混合料	
			AC类、SUP类	SMA类
沥青加热温度	℃	150~160	165~175	165~175
集料加热温度	℃	170~180	180~195	180~195
混合料出厂温度	℃	≥155	≥175	≥175
混合料运输到现场温度	℃	≥150	≥170	≥170
摊铺温度	℃	≥140	≥165	≥165
初压温度	℃	≥135	≥155	≥155
复压温度	℃	-	≥135	≥135
碾压终了温度 ^a	℃	≥70	≥90	≥110

^a 沥青混合料的摊铺温度、初压温度、复压温度和碾压终了温度均指铺层中部的温度。

6.3 运输

- 6.3.1 钢渣沥青混合料宜采用车况良好的自卸车运输，并加装保温和防雨措施。
- 6.3.2 拌和机或储料仓向运料车放料时，料车应“前、后、中”移动，分堆装料。
- 6.3.3 宜采用水银温度计或数字显示插入式热电偶温度计检测混合料的出厂温度和运到现场温度。插入深度要大于 150 mm。在运料卡车侧面中部设专用检测孔，孔口距车箱底面大于 300 mm。
- 6.3.4 在运输过程中，运料车应用布覆盖，卸料过程中应保持继续覆盖，直到卸料结束，方可取走篷布。
- 6.3.5 宜采用“双层篷布+棉被”的覆盖方式，并将布覆盖至运料车侧翼板。

6.4 摊铺与碾压

- 6.4.1 摊铺应均匀、缓慢、连续不间断，摊铺速度应根据摊铺厚度、摊铺宽度确定，宜控制在 2~3 m/min。
- 6.4.2 钢渣沥青混合料摊铺后，宜按初压、复压和终压的碾压步骤进行压实。各阶段碾压宜遵循高温、紧跟、高频、低幅、慢压的原则进行。
- 6.4.3 初压采用双钢轮振动压路机紧随摊铺机高频低幅振动压实 2~4 遍，碾压速度宜为 1.5~2 km/h，相邻碾压带轮迹重叠宽度为 20 cm 左右；AC 类和 SUP 类沥青混合料复压宜采用轮胎压路机，SMA 类沥青混合料复压宜采用双钢轮振动压路机，碾压 3~6 遍，碾压速度宜为 2~4 km/h；终压采用双钢轮压路机碾压 1~2 遍，碾压速度宜为 3~4 km/h。

6.5 开放交通

钢渣沥青路面施工后宜封闭交通，待摊铺层完全自然冷却温度低于50℃方可开放交通。

7 质量控制

7.1 原材料质量控制

除应按照JTG F40规定的材料质量检查的项目和频度对原材料进行检查外，还应按照表9规定对钢渣集料进行抽样检查。

表 9 钢渣集料质量检查的项目与频度

项目	检查频度	试验方法
浸水膨胀率	钢渣集料宜以每种规格2000 t为一批，不足2000 t亦为一批	JTG 3432 T0348
游离氧化钙含量	钢渣集料宜以每种规格2000 t为一批，不足2000 t亦为一批	JTG 3432 T0375
金属铁含量	钢渣集料宜以每种规格2000 t为一批，不足2000 t亦为一批	JTG 3432 T0374

7.2 施工过程质量控制

钢渣沥青混合料的施工过程质量控制应按JTG F40的规定执行。

附录 A
(资料性)
SUP 类钢渣沥青混合料配合比设计方法

A.1 材料选择

A.1.1 配合比设计所用各种材料应与实际工程使用材料一致, 取样应具有代表性。

A.1.2 对取样材料进行试验, 试验结果应符合本指南第3章的有关规定。

A.2 设计矿料级配确定

A.2.1 应选择3个试拌矿料级配, 其控制点应满足表3的要求。

A.2.2 按照5.2.3节的规定将钢渣沥青混合料体积配比换算为钢渣沥青混合料质量配比。

A.2.3 根据换算后的试拌级配, 预估初始沥青用量 P_{bi} , 成型旋转压实试件。每个试拌级配至少成型2个试件, 旋转压实次数宜按照表A.1确定, 初始沥青用量 P_{bi} 应按照公式(A.1)计算。

表 A.1 沥青混合料旋转压实次数表 (次)

交通等级	旋转压实次数		
	$N_{\text{初始}}$	$N_{\text{设计}}$	$N_{\text{最大}}$
轻	6	50	75
中等	7	75	115
重、特重	8	100	160
极重	9	125	205

$$P_{bi} = 100 \times \left(\frac{\gamma_b(V_{be} + V_{ba})}{(\gamma_b(V_{be} + V_{ba})) + W_s} \right) \quad (\text{A.1})$$

式中:

P_{bi} ——初始沥青用量估值, 混合料的质量百分率, %;

γ_b ——沥青相对密度;

V_{be} ——有效沥青体积, cm^3 ;

V_{ba} ——吸收沥青体积, cm^3 ;

W_s —— 1cm^3 混合料中集料质量, g。

A.2.4 有效沥青体积 V_{be} 按照公式(A.2)计算。

$$V_{be} = 0.176 - [0.0675 \log(S_n)] \quad (\text{A.2})$$

式中:

S_n ——集料公称最大粒径, mm。

A.2.5 吸收沥青体积 V_{ba} 按照公式(A.3)计算。

$$V_{ba} = W_s \left(\frac{1}{\gamma_{sb}} - \frac{1}{\gamma_{se}} \right) \quad (\text{A.3})$$

式中:

γ_{sb} ——合成矿料的毛体积相对密度;

γ_{se} ——合成矿料的有效相对密度。

A.2.6 1cm^3 混合料中集料质量 W_s 按照公式(A.4)计算。

$$W_s = \frac{P_s(1-VV)}{\frac{P_b}{\gamma_b} + \frac{P_s}{\gamma_{se}}} \quad (\text{A.4})$$

式中:

P_b ——沥青质量百分率, 十进制表示, 假设为5%;

P_s ——集料质量百分率, 十进制表示, 假设为95%;

VV —空隙率，假设为 4%；

A. 2. 7 压实试件空隙率为 4. 0% 时的体积指标宜按照以下步骤计算：

A. 2. 7. 1 测试沥青混合料的理论最大相对密度以及旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时试件的毛体积相对密度。

A. 2. 7. 2 按照公式 (A. 5) 计算试拌混合料在旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时的空隙率与 4. 0% 的差 (ΔVV)。

$$\Delta VV = 4.0 - VV \quad (\text{A. 5})$$

式中：

VV —旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时试拌混合料空隙率。

A. 2. 7. 3 按照公式 (A. 6) 计算空隙率为 4. 0% 时的预估沥青用量 $P_{b\text{预估}}$ 。

$$P_{b\text{预估}} = P_{bi} - 0.4 (\Delta VV) \quad (\text{A. 6})$$

A. 2. 7. 4 按照公式 (A. 7) 或公式 (A. 8) 计算试拌混合料 VMA 的变化量 (ΔVMA)。

$$\text{如果 } VV > 4.0, \text{ 则 } \Delta VMA = 0.2 (\Delta VV) \quad (\text{A. 7})$$

$$\text{如果 } VV < 4.0, \text{ 则 } \Delta VMA = 0.1 (\Delta VV) \quad (\text{A. 8})$$

A. 2. 7. 5 按照公式 (A. 9) 计算空隙率为 4. 0% 时的预估 VMA。

$$VMA_{\text{预估}} = VMA_{\text{初始}} + \Delta VMA \quad (\text{A. 9})$$

式中：

$VMA_{\text{预估}}$ —空隙率为 4. 0% 时的 VMA 预估值；

$VMA_{\text{初始}}$ —初始沥青用量时的 VMA 计算值。

A. 2. 7. 6 按照公式 (A. 10) 计算空隙率为 4. 0% 时的预估 VFA。

$$VFA_{\text{预估}} = 100\% \times \frac{(VMA_{\text{预估}} - 4.0)}{VMA_{\text{预估}}} \quad (\text{A. 10})$$

式中：

$VFA_{\text{预估}}$ —空隙率为 4. 0% 时 VFA 的预估值。

A. 2. 7. 7 按照公式 (A. 11) 计算空隙率为 4. 0% 时的初始压实度。

$$\gamma_{t\text{初始}} = 100 \times \left(\frac{\gamma_{fh_d}}{\gamma_{th_i}} \right) - \Delta VV \quad (\text{A. 11})$$

式中：

$\gamma_{t\text{初始}}$ —沥青用量调整后，旋转压实次数为 $N_{\text{初始}}$ 时的压实度，%；

γ_t —试件的理论最大相对密度；

γ_t —试件的毛体积相对密度；

h_d —旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时的试件高度，mm；

h_i —旋转压实次数为 $N_{\text{初始}}$ 时的试件的高度，mm。

A. 2. 7. 8 按照公式 (A. 12)、公式 (A. 13) 和公式 (A. 14) 计算预估有效沥青含量 ($P_{be\text{预估}}$) 和粉胶比 (DP) 应。

$$\gamma_{se} = \frac{100 - P_{bi}}{\frac{100 - P_{bi}}{\gamma_t} \gamma_b} \quad (\text{A. 12})$$

$$P_{be\text{预估}} = - (P_s \times \gamma_b) \frac{(\gamma_{se} - \gamma_{sb})}{(\gamma_{se} \times \gamma_{sb})} + P_{b\text{预估}} \quad (\text{A. 13})$$

$$DP = \frac{P_{0.075}}{P_{be\text{预估}}} \quad (\text{A. 14})$$

式中：

$P_{be\text{预估}}$ —有效沥青含量的预估值，%；

P_s —集料含量，占混合料的质量百分比，%；

$P_{0.075}$ —0. 075mm 筛孔通过百分率，%。

A. 2. 7. 9 对比计算得到的预估体积指标与表 4 中各指标的技术要求，结合工程实践经验，选择满足表 4 要求的最佳试拌级配作为最终的设计矿料级配。

A. 3 设计沥青用量确定

A. 3. 1 根据最终的设计矿料级配，选用 $P_{b\text{预估}}$ 、 $P_{b\text{预估}} \pm 0.5\%$ 、 $P_{b\text{预估}} + 1\%$ 四种沥青用量，每种沥青用量至少成型 2 个试件，成型前松散沥青混合料应进行短期老化。

- A.3.2 测试不同沥青用量混合料的理论最大相对密度。
- A.3.3 测试旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时试件的毛体积相对密度。
- A.3.4 计算旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时混合料的VV、VMA和VFA。
- A.3.5 计算粉胶比DP。
- A.3.6 四种沥青用量的混合料在旋转压实次数为 $N_{\text{初始}}$ 时试件的平均压实度 $\gamma'_{t\text{初始}}$ 应按照公式(A.15)计算。

$$\gamma'_{t\text{初始}} = 100 \times \left(\frac{\gamma_f h_d}{\gamma_t h_i} \right) \quad (\text{A.15})$$

式中:

$\gamma'_{t\text{初始}}$ —旋转压实次数为 $N_{\text{初始}}$ 时的压实度, %;

γ_f —试件的毛体积相对密度;

h_d —旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时的试件高度, mm;

γ_t —试件的理论最大相对密度;

h_i —旋转压实次数为 $N_{\text{初始}}$ 时的试件的高度, mm。

- A.3.7 绘制VV、VMA、VFA及相对密度与沥青用量的关系图。
- A.3.8 通过图解或内插法确定空隙率为4.0%时的沥青用量, 即为设计沥青用量, 精确到0.1%。
- A.3.9 相应的设计沥青用量下的体积指标可通过内插法确定, 并满足表4的要求。
- A.3.10 按照设计矿料级配和设计沥青用量成型至少2个试件, 验证旋转压实次数为 $N_{\text{最大}}$ 时的压实度, 其应不大于98%; 并根据公式(A.16)反算旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时的压实度, 其应为96%±0.5%。

$$\gamma'_{t\text{设计}} = 100 \times \left(\frac{\gamma_f h_m}{\gamma_t h_d} \right) \quad (\text{A.16})$$

式中:

$\gamma'_{t\text{设计}}$ —反算得到的旋转压实次数为 $N_{\text{设计}}$ 时的压实度, %;

h_m —旋转压实次数为 $N_{\text{最大}}$ 时的试件的高度, mm。

- A.3.11 旋转压实次数为 $N_{\text{初始}}$ 时试件平均压实度应按照公式(A.15)计算, 并应满足表4的要求。

A.4 性能验证

- A.4.1 成型试件, 按照附录B测定钢渣沥青混合料的浸水膨胀率, 宜不大于1.5%。
- A.4.2 进行相关性能试验, 并满足表7的要求。

附录 B
(资料性)
沥青浸渍法

B.1 目的

本方法适用于测定吸水率大于1.7%的钢渣集料的有效相对密度。

B.2 试验仪器

浸水天平、烘箱、网篮、溢流水箱、试样悬吊装置、搪瓷盆、钢勺。

B.3 试验步骤

- B.3.1 选择适宜的浸水天平，最大称量应不小于试样质量的1.25倍。
- B.3.2 将钢勺放入1号盆中，称量钢勺及1号盆的总质量(m_1)及水中质量(m_4)，称量完水中质量后须将钢勺和1号盆擦拭干净备用。
- B.3.3 称量2号盆的质量(m_6)及水中质量(m_7)，称量完水中质量后，须将2号盆擦拭干净备用。
- B.3.4 将烘干至恒重的规定数量的集料装入放钢勺的1号盆中，准确称量钢勺、1号盆与集料的总质量(m_3)。
- B.3.5 将装有钢勺及集料的1号盆放入160℃~165℃(改性沥青180℃~185℃)烘箱中加热不少于4 h。
- B.3.6 将备好的沥青(适量)加热至150℃~155℃(改性沥青160℃~165℃)，取出装有钢勺及集料的1号盆，倒入沥青，使集料完全浸入沥青中，同时将沥青倒入2号盆中不少于200 g;然后，将1号盆用钢勺搅拌2 min，排出气泡，2号盆不用搅拌，放入温度145℃~150℃(改性沥青160℃~165℃)的烘箱中，1号盆每隔20 min搅拌一次，共搅拌3次(即从第一次搅拌开始，20 min、40 min后各搅拌一次)，每次2 min，第3次搅拌完成后，放入烘箱中保温20 min观察，如表面无气泡，即可将1号盆、2号盆取出在室温下放置不少于12 h至完全冷却，如表面有气泡，重复上述步骤继续搅拌直至无气泡为止。
- B.3.7 称量装有钢勺、沥青及集料的1号盆的总质量(m_4)及水中质量(m_5)。
- B.3.8 称量装有沥青的2号盆的总质量(m_8)及水中质量(m_9)。

B.4 试验结果

B.4.1 计算沥青的相对密度，按式(B.1)计算，取3位小数。

$$\gamma_b = \frac{m_8 - m_6}{(m_8 - m_9) - (m_6 - m_7)} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

γ_b ——沥青相对密度，无量纲；

m_6 ——2号盆的质量（g）；

m_7 ——2号盆的水中质量（g）；

m_8 ——装有沥青的2号盆的总质量（g）；

m_9 ——装有沥青的2号盆的水中质量（g）。

B. 4. 2 计算集料的有效相对密度，按式(B. 2)计算，取3位小数。

$$\gamma_{se} = \frac{m_3 - m_1}{(m_4 - m_5) - (m_1 - m_2) - (m_4 - m_3) / \gamma_b} \dots\dots\dots (B. 2)$$

- 式中：
- γ_{se} ——集料有效相对密度, 无量纲；
 - γ_b ——沥青相对密度, 无量纲；
 - m_1 ——钢勺及1号盆的总质量（g）；
 - m_2 ——钢勺及1号盆的水中质量（g）；
 - m_3 ——钢勺、1号盆与集料的总质量（g）；
 - m_4 ——装有钢勺、沥青及集料的1号盆的总质量（g）；
 - m_5 ——装有钢勺、沥青及集料的1号盆的水中质量（g）。

附 录 C
(资料性)
钢渣沥青混合料浸水膨胀试验

C.1 目的

本方法适用于测定钢渣沥青混合料的浸水膨胀率，以评价其体积安定性。

C.2 仪器与材料

- C.2.1 恒温水浴：能恒温（60±1）℃，深度不小于150 mm。
- C.2.2 温度计：量程100℃，分度值1℃。
- C.2.3 烘箱：能控温在（100±5）℃。
- C.2.4 其他：卡尺等。

C.3 试验步骤

- C.3.1 按钢渣沥青混合料的实际配合比，采用JTG E20中T 0702沥青混合料试件制作方法（击实法），制作标准马歇尔试件，数量不少于3个。
- C.3.2 用卡尺在试件底部、中部和顶部三个断面测定直径，取所有测定值算术平均值作为试件直径。在高度方向测定4次，取所有测定值算术平均值作为试件高度值。计算试件体积 V_1 。
- C.3.3 将试件放入（60±1）℃恒温水浴中浸泡养生（72±0.5）h。
- C.3.4 取出试件冷却至室温，观察有无裂缝或鼓包，立即按C.3.2 再次测量试件体积 V_2 。

C.4 计算

- C.4.1 钢渣沥青混合料的浸水膨胀率按式（C.1）计算。

$$C_v = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：
 C_v ——钢渣沥青混合料的体积膨胀率（%）；
 V_1 ——浸泡养生前试件体积（ cm^3 ）；
 V_2 ——浸泡养生后试件体积（ cm^3 ）。

- C.4.2 取3个试件浸水膨胀率测定值的算数平均值作为钢渣沥青混合料浸水膨胀率试验结果，精确至0.1%。

C.5 报告

报告应说明钢渣沥青混合料试件有无裂缝及鼓包等情况。

附录 D

(资料性)

沥青混合料冻融劈裂试验方法 (旋转压实仪试件)

D.1 目的

本方法适用于在规定条件下对沥青混合料进行饱水和冻融循环,测定混合料试件在受到水损害前后劈裂破坏的强度比,以评价沥青混合料水稳定性。

D.2 试验仪器

D.2.1 压条:上下各一根,试件直径为100mm时,压条宽度为12.7mm,内侧曲率半径为50.8mm;试件直径为150mm时,压条宽度为19mm,内侧曲率半径76.2mm;压条的长度应超过试件的厚度。

D.2.2 旋转压实仪及附件:本方法成型沥青混合料所用旋转压实仪及附件按照JTG E20中T0736的要求配置。

D.2.3 除D.2.1和D.2.2外,本方法所需其他器具与材料应按照JTG E20中T0729的要求配置。

D.3 试验步骤

D.3.1 试件准备

D.3.1.1 每次试验至少要制备6个试件,其中一半用于常规条件试验,另一半用于饱水及冻融循环条件试验。

D.3.1.2 试件尺寸为 $\Phi 100\text{mm} \times (63.5 \pm 2.5)\text{mm}$,或者 $\Phi 150\text{mm} \times (95 \pm 5)\text{mm}$,如果集料公称最大粒径大于25mm,应使用尺寸为 $\Phi 150\text{mm} \times (95 \pm 5)\text{mm}$ 的试件。

D.3.1.3 每一批应准备足够的混合料,其质量应保证一次至少同时成型3个试件,或者一次仅成型1个试件。当某一批成型多个试件时,应根据单个试件的质量将松散混合料分成若干份,随后置于烘箱内。

D.3.1.4 将拌和均匀的混合料放在面积为 $48400\text{mm}^2 \sim 12900\text{mm}^2$ 的托盘中在室温下冷却 $(2 \pm 0.5)\text{h}$,托盘深度约为25mm。然后将混合料放入 60°C 烘箱里养生 $(16 \pm 1)\text{h}$ 。托盘底部应保证空气流通,每盘最多放置3个试件的混合料,且事先称好每个试件的量分开放置。

D.3.1.5 养生后,将混合料放入烘箱中,在压实温度 $\pm 3^\circ\text{C}$ 的条件下放置 $2\text{h} \pm 10\text{min}$,随后调整旋转压实次数,将混合料压实至空隙率为 $(7.0 \pm 0.5)\%$ 。

D.3.1.6 脱模之后,试件应在室温下放置 $(24 \pm 3)\text{h}$ 。

D.3.2 试件评价和分组

D.3.2.1 松散混合料完成D.3.1.4和D.3.1.5所述养生、加热或干燥过程后,测试其理论最大相对密度 γ_t 。

D.3.2.2 测量每个试件的厚度 h 。

D.3.2.3 测量每一个试件直径 D 。

D.3.2.4 测量每个试件毛体积密度 γ_f 。

D.3.2.5 计算试件的空隙率 VV 。

D.3.2.6 将试件分成两组,每组至少三个试件,且两组试件的平均空隙率应基本一致。

D.3.2.7 用于饱水和冻融循环的试件的空隙体积应按照公式(D.1)计算。

$$V_a = \frac{VV \cdot V}{100} \quad (\text{D.1})$$

式中:

V_a ——空隙体积, cm^3 ;

V ——空隙率, %;
 V ——试件体积, cm^3 。

D.3.3 试件预处理

D.3.3.1 一组试件在常规条件下试验, 另一组试件在试验前应经部分真空饱水、冻融循环。

D.3.3.2 常规条件试件按 D.3.1.6 所述方法在室温下进行养生, 养生结束后, 用塑料膜包裹试件或将试件放入厚实、防水的塑料袋中。随后将试件浸入 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的恒温水槽中 $2\text{h} \pm 10\text{min}$, 水面至少距离试件表面 25mm, 然后根据 D.3.4 所述方法试验。

D.3.3.3 部分真空饱水、冻融循环试件应按下述方法进行:

- 1) 将试件放入真空容器中, 试件底部垫有 25mm 厚的穿孔隔板, 向容器注入蒸馏水至试件以上不少于 25mm。在真空度为 13kPa~67kPa (254mm Hg ~660mm Hg) 条件下保持 5~10min, 恢复常压后将试件浸在水中 5~10min。

注: 部分试件饱水率达到 70%~80% 时所需时间小于 5min, 同时, 部分试件所需真空度可能高于 67kPa (660mm Hg) 或低于 13kPa (254mm Hg)。

- 2) 测得部分真空饱水后试件的饱和面干质量。
- 3) 试件吸收的水的体积 J' 应按照公式 (D.2) 计算。

$$J' = B' - A \quad (\text{D.2})$$

式中:

J' ——吸收水的体积, cm^3

B' ——真空饱水后饱和面干质量, g;

A ——干燥试件质量, g。

- 4) 试件的饱水率应按照公式 (D.3) 计算。

$$S' = \frac{100J'}{V_a} \quad (\text{D.3})$$

式中:

S' ——饱水率, %;

V_a ——空隙体积。

- 5) 如果饱水率为 70~80%, 按照 7) 进行试验。
- 6) 如果饱水率低于 70%, 重复 1) 的真空饱水操作, 并提高真空度或者延长真空时间。如果饱水率超过 80%, 试件被破坏, 应废弃。重新选择试件并按 1) 所述方法进行饱水试验, 并减少真空度或者时间。
- 7) 将真空饱水的试件用塑料薄膜或相当的塑料膜紧密裹紧, 将每个裹好的试件放入塑料袋中, 向其中注入 (10 ± 0.5) mL 水后扎紧袋口。将装有试件的塑料袋放入 $(-18 \pm 3)^\circ\text{C}$ 的冰箱中至少 16h。
- 8) 试件移出冰箱后, 立即放入 $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的恒温水槽中浸泡 (24 ± 1) h, 水面应高于试件表面至少 25mm。一旦试件浸入水中就尽快将塑料袋或薄膜去除。
- 9) 取出试件, 将其在 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 水中浸泡 $2\text{h} \pm 10\text{min}$, 同时水面应高于试件表面 25mm。必要时可以向水槽中加冰块, 防止水温超过 25°C , 使调整室温达到 25°C 的时间不超过 15min。随后取出试件按 D.3.4 进行试验。

D.3.4 试验

D.3.4.1 测试常规条件和饱水冻融循环条件试件在 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 时的间接抗拉强度。

- 1) 从 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 水槽中拿出试件, 测得试件的高度 t , 将试件放在两个钢条之间, 随后将试件和钢条放在试验机的两块承载板之间, 以 50mm/min 的恒定速度加载。
- 2) 记录仪器上显示的最大压力, 继续加载, 出现竖向裂缝时停止试验。取出试件, 检查内表面是否有裂缝或破碎集料的迹象, 并予以记录。

D.4 计算

D.4.1 间接抗拉强度应按照公式 (D.4) 计算。

$$S_t = \frac{2000P}{\pi t D} \tag{D. 4}$$

式中：
 S_t ——抗拉强度，kPa；
 P ——最大荷载，N；
 t ——试件高度，mm；
 D ——试件直径，mm。

D. 4. 2 劈裂强度比TSR应按照公式（D. 5）计算。

$$TSR = \frac{S_2}{S_1} \tag{D. 5}$$

式中：
TSR——劈裂强度比，%，精确到0. 01
 S_1 ——常规试件平均间接抗拉强度，kPa；
 S_2 ——条件试件平均间接抗拉强度，kPa。
