



T/CECS G XXXX: 2017

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路钢渣环氧沥青面层技术规程

Technical Specification for Steel Slag Epoxy Asphalt Pavement
surface on Highways

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

中国工程建设标准化协会标准

公路钢渣环氧沥青面层技术规程

(征求意见稿)

Technical Specification for Steel Slag Epoxy Asphalt Pavement Surfacing on
Highways

T/CECS 1xxx-202x

主编单位：东南大学

发布机构：中国工程建设标准化协会

实施日期：XX年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2023 年第二批中国工程建设标准化协会标准(CECSG)制修订项目编制工作的通知》(中建标公路[2023]279 号)的要求,由东南大学承担《公路钢渣环氧沥青面层技术规程》(以下简称“本规程”)的制订工作。

本规程共分为 8 章和 1 个附录,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、材料、钢渣环氧沥青混合料设计、环氧沥青黏结层、钢渣环氧沥青路面施工、质量管理及验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理,由东南大学负责具体技术内容的解释,在执行过程中如有意见或建议,请函告本标准日常管理组,中国工程建设标准化协会公路分会(地址;邮编;电话;传真;电子邮箱),或 XX(地址;邮编;传真;电子邮箱),以便修订时研用。

主 编 单 位: 东南大学

参 编 单 位: 苏州交通投资集团有限责任公司
江苏永钢集团有限公司
苏州交通工程集团有限公司
苏州三创路面工程有限公司

主 编: 胡 靖

主要参编人员: 王新明 黄焯旻 陆 卫 路明鉴 徐汉江 袁希一 吴 鑫
张大为 钱丽英 任晓健 范文忠 朱惠勇 王丽丽 殷金海

主 审: 伍石生

参与审查人员:

目 次

1 总则	1
2 术语与符号	2
3 基本规定	3
4 材料	4
4.1 钢渣	4
4.2 环氧沥青	6
4.3 粘层沥青	7
4.4 矿粉	7
5 钢渣环氧沥青混合料设计	8
5.1 矿料级配要求	8
5.2 配合比设计方法	8
5.3 钢渣环氧沥青混合料技术指标	10
5.4 容留时间	12
6 环氧沥青粘结层	12
6.1 一般要求	12
6.2 施工工艺	12
7 钢渣环氧沥青路面施工	13
7.1 一般规定	13
7.2 混合料拌制	14
7.3 混合料运输	14
7.4 混合料摊铺	15
7.5 混合料碾压	15
7.6 施工接缝处理	16
7.7 养护及开放交通	16
8 质量管理及验收	16
8.1 一般要求	16
8.2 施工过程中质量管理及检查	17
8.3 验收	18
附录 A 试验方法汇总	19
用词说明	22
引用标准名录	23
制定说明	24

CONTENTS

1 General Provisions	1
2 Terminology and Symbols.....	2
3 Groung Rules.....	3
4 Materials.....	4
4.1 Steel Slag	4
4.2 Epoxy Asphalt.....	6
4.3 Bonded Asphalt.....	7
4.4 Mineral Powder.....	7
5 Steel Slag Epoxy Asphalt Mix Design	8
5.1 Mineral Gradation Requirements.....	8
5.2 Mix Design Method	8
5.3 Technical Specifications of Steel Slag Epoxy Asphalt Mixture	10
5.4 Holding Time	12
6 Epoxy Asphalt Binder Layer	12
6.1 General Requirements.....	12
6.2 Construction Process.....	12
7 Steel Slag Epoxy Asphalt Pavement Construction.....	13
7.1 General Provisions.....	13
7.2 Mixture Mixing.....	14
7.3 Mixture Transportation	14
7.4 Mixture Paving	15
7.5 Mixture compaction.....	15
7.6 Construction Joint Treatment.....	16
7.7 Maintenance and Opening to Traffic	16
8 Quality Control and Acceptance.....	16
8.1 General Requirements.....	16
8.2 Quality Control and Inspection During Construction.....	17
8.3 Acceptance	18
Appendix A Summary of Test Methods	19
Glossary of Terms.....	22
List of Referenced Standards	23
Development Notes	24

1 总则

- 1.0.1 为规范钢渣环氧沥青混合料在路面工程中的应用,保证工程质量,制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于各级公路钢渣环氧沥青路面的设计、施工、检测、验收。
- 1.0.3 钢渣环氧沥青路面应用除应符合本规程的规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 沥青路面用钢渣集料 Steel Slag Aggregate for Asphalt Pavement

经过加工处理，可作为沥青路面集料使用的钢渣。

2.0.2 环氧体系 Epoxy System

由专用固化剂与环氧树脂按设计比例混合后，通过化学反应形成的可用于沥青的改性材料。

2.0.3 掺配沥青 Asphalt for blending epoxy asphalt

用于制作环氧沥青的组份之一，一般为基质沥青或SBS改性沥青。

2.0.4 固化剂 Curing Agent

环氧沥青复合材料形成过程中，与环氧基团产生化学反应的成分。

2.0.5 环氧树脂 Epoxy Resin

含有两个或两个以上环氧基团的高分子聚合物。

2.0.6 环氧沥青 Epoxy Asphalt

由环氧树脂、环氧树脂固化剂与掺配沥青三种组分通过化学改性形成的复合材料。

2.0.7 钢渣环氧沥青混合料 Steel Slag Epoxy Asphalt Mixture

由环氧沥青与钢渣集料、矿粉按一定比例拌和而成的热固性混合料。

2.0.8 钢渣环氧沥青路面 Steel Slag Epoxy Asphalt Pavement

钢渣环氧沥青混合料经过摊铺、碾压成型的路面。

2.0.9 热固性 Thermosetting Property

材料在通过加热或其他方式固化时能够转变为显著不可熔化、在溶剂中不可溶解的特性。

2.0.10 容留时间 Holding Time

规定温度下，环氧沥青黏度增长至 $1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 所需的时间，可表征环氧沥青混合料从开始拌和到铺筑碾压结束的最大容许时间。

2.0.11 体积膨胀率 Volume Expansion Rate

钢渣环氧沥青混合料在浸水后的体积膨胀量与原体积之比。

2.0.12 重金属浸出含量 Heavy Metal Leaching Content

钢渣及钢渣环氧沥青混合料在一定处理方式下的重金属元素析出含量。

3 基本规定

3.0.1 公路钢渣环氧沥青面层的采用，应根据公路等级、交通荷载、气候条件、环境条件、结构形式和使用功能，经技术经济论证后确定。

3.0.2 公路钢渣环氧沥青面层设计应与基层、下承层或桥面铺装结构条件相协调，并应综合考虑材料特性、层位功能、界面黏结、施工工艺和使用性能等因素。

3.0.3 公路钢渣环氧沥青面层所用钢渣、环氧体系、掺配沥青、黏结材料及矿粉等原材料，均应符合本规程规定，并应经检验合格后方可使用。

3.0.4 公路钢渣环氧沥青面层混合料设计应满足路用性能、体积稳定性和环境安全性要求。

3.0.5 公路钢渣环氧沥青面层施工前，应铺筑试验段，并应据此确定施工工艺、施工温度、施工时间和质量控制标准。

3.0.6 公路钢渣环氧沥青面层施工应实行全过程质量控制。上一道工序未经验收合格，不得进入下一道工序。

3.0.7 公路钢渣环氧沥青面层用于特殊环境条件或环境敏感区域时，应开展专项论证，并应符合国家现行有关环境保护和安全生产的规定。

4 材料

4.1 钢渣

4.1.1 钢渣集料技术要求

钢渣应采用经稳定化处理合格并适用于公路工程的转炉钢渣或电炉钢渣。其规格应符合《道路用钢渣》（GB/T 25824）中的规定，考虑到环氧树脂特性，使用的钢渣集料不需要经过陈化处理，其吸水率、磨光值、磨耗值、浸水膨胀率以及细集料表观相对密度、棱角性应满足表 4.1-1 和表 4.1-2 的要求。

表 4.1-1 钢渣环氧沥青混合料用钢渣粗集料（粒径为 2.36mm 以上）技术要求

指标	单位	技术要求	检测方法	
钢渣粗集料孔隙率	%	≤8	JTG 3432 中 T 0309	
表观相对密度	-	≥3.100	JTG 3432 中 T0304	
吸水率	%	≤2.5	JTG 3432 中 T0307	
磨光值（表面层）	PSV	≥42	JTG 3432 中 T0321	
沥青粘附性	级	5	JTGE20 中 T0616	
水洗法<0.075mm 颗粒含量	%	≤1	JTG 3432 中 T 0310	
坚固性	%	≤12	JTG 3432 中 T0314	
压碎值	%	≤16	JTG3432 中 T0316	
磨耗值	%	≤22	JTG3432 中 T0321	
针片状颗粒含量	其中粒径大于 9.5mm	%	≤12	JTG 3432 中 T0312
	其中粒径小于 9.5mm	%	≤15	
软弱颗粒含量	%	≤2.8	JTG3432 中 T 0320	
浸水膨胀率	%	≤2.0	GB/T 24175	

表 4.1-2 钢渣环氧沥青混合料用钢渣细集料（粒径为 2.36mm 以下）技术要求

指标	单位	技术要求	检测方法
表观相对密度	-	≥2.600	JTG 3432 T0328
坚固性（>0.3mm 部分）	%	≤12	JTG 3432 T0340
含泥量（<0.075mm 含量）	%	≤3	JTG 3432 T0333
砂当量	%	≥60	JTG 3432 T0334
棱角性（流动时间）	s	≥30	JTG 3432 T0345

4.1.2 钢渣集料的金属铁含量

环氧沥青混合料用钢渣集料中的金属铁含量应低于 2.0%，试验方法应按本规程附录 A 的规定执行。

（条文说明：钢渣存在的较多的金属铁会使钢渣膨胀，当 Fe、FeO 和 FeS 含量过高时，易水化生成 Fe(OH)₂、Fe(OH)₃ 导致体积增大。）

4.1.3 钢渣集料的游离氧化钙含量

环氧沥青混合料用钢渣集料中的游离氧化钙的含量应低于 2.5%。

（条文说明：钢渣的 f-CaO 含量较高时，会导致环氧沥青混合料的膨胀率较高，会使混合料表面部分集料发生粉化和膨胀开裂现象，导致路面病害，进而影响路面的使用寿命。）

4.1.4 钢渣集料的重金属浸出含量

钢渣集料浸出液中重金属浓度应符合表 4.1-3 中的要求。

（条文说明：采样方法参照《道路用钢渣》（GB/T 25824-2010）规范进行，样品前处理参照《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557-2010）规范进行，检测方法参照《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3-2007）规范进行。）

表 4.1-3 钢渣集料中的重金属浸出含量要求

元素	单位	技术要求
铜 (Cu)	mg/L	≤2.0
锌 (Zn)	mg/L	≤5.0
镉 (Cd)	mg/L	≤0.5
铅 (Pb)	mg/L	≤0.5
汞 (Hg)	mg/L	≤0.5
总铬 (Cr)	mg/L	≤1.5
(Cr6+)	mg/L	≤0.5
镍 (Ni)	mg/L	≤1.0
锰 (Mn)	mg/L	≤5.0
钒 (V)	mg/L	≤1.0
铍 (Be)	mg/L	≤0.010

（条文说明：钢渣粗集料在堆放和使用过程中，会在酸雨水浸泡作用下，钢渣中的重金属可能溶出到环境中，造成土壤和水资源污染。Cu、Zn、Mn 含量参考《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）第二类污染物要求，Cd、Cr、Ni、Be、Pb 含量参考第一类污染物控制要求。Hg 含量参考《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》（GB5085.3-2007）控制要求。《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1-2010）规定：地面水 V 的最高容许浓度为 0.1mg/L。）

4.2 环氧沥青

4.2.1 环氧体系技术要求

环氧体系原材料包含专用固化剂（A 组分）和环氧树脂（B 组分），环氧体系技术指标应满足表 4.2-1 和表 4.2-2 的要求。

表 4.2-1 A 组分（专用固化剂）技术指标

试验项目	单位	技术要求
黏度（23℃）	mPa·s	5~200
胺值（KOH/g）	mg	180~230
闪点（克立夫兰开口杯）	℃	≥145
比重（25℃）	-	0.75~1.10

表 4.2-2 B 组分（环氧树脂）技术指标

试验项目	单位	技术要求
黏度（23℃）	mPa·s	10000~15000
环氧当量（含 1 克环氧当量的材料克数）	g	180~200
闪点（克立夫兰开口杯）	℃	≥240
比重（25℃）	-	1.00~1.40

4.2.2 掺配沥青技术要求

掺配沥青应有产品出厂合格证。可选用 70#石油沥青、I-C 型 SBS 改性沥青和 I-D 型 SBS 改性沥青，掺配沥青的选择应符合下列规定：

1. 年极端最高温 ≤35℃ 且无极端低温（≥-10℃）地区，宜选用 70# 石油沥青；
2. 年极端最高温 35-40℃、极端最低温 -10~-20℃ 地区，宜选用 I-C 型 SBS 改性沥青；
3. 年极端最高温 >40℃ 或极端最低温 <-20℃ 地区，宜选用 I-D 型 SBS 改性沥青。
4. 沥青的性能应满足 JTG F40-2004 的相关技术要求。

4.2.3 环氧树脂技术要求

环氧体系 A、B 组分按照规定比例混合，完成搅拌后放入 150℃ 烘箱预固化 3h，其后放入 60℃ 烘箱养生 4d 形成固化后的环氧树脂，其性能应满足表 4.2-3 要求。

表 4.2-3 固化后环氧树脂技术要求

试验项目	单位	技术要求	检测方法
拉伸强度（23℃）	MPa	≥3.0	JTG/T3364-02-2019
断裂延伸率（23℃）	%	≥100.0	GB/T 2567
拉伸强度（-10℃）	MPa	≥12.0	JTG/T3364-02-2019

断裂延伸率 (-10℃)	%	≥20.0	GB/T 2567
--------------	---	-------	-----------

（条文说明：环氧沥青的断裂延伸率检测方法参照 GB/T 2567 进行，性能测试应在环氧树脂完全固化后，于标准实验室环境（23±2℃）下调节不少于 24h 后进行。）

4.2.4 环氧沥青技术要求

将环氧体系混合物与掺配沥青进行混合搅拌得到环氧沥青。固化后路用环氧沥青的性能应满足表 4.2-4 要求。

表 4.2-4 环氧沥青技术要求

试验项目	单位	技术要求	检测方法
拉伸强度 (23℃)	MPa	≥2.0	JTG/T3364-02-2019
断裂延伸率 (23℃)	%	≥100.0	GB/T 2567
拉伸强度 (-10℃)	MPa	≥5.0	JTG/T3364-02-2019
断裂延伸率 (-10℃)	%	≥50.0	GB/T 2567
耐柴油性	%	≤5.0	GB/T 30598
耐饱和盐水性	%	≤1.0	GB/T 30598

4.3 粘层沥青

钢渣环氧沥青路面各面层之间（包括上面层与中面层、中面层与下面层）均应喷洒不粘轮环氧沥青做粘层，其技术指标应满足表 4.3 要求。

表 4.3 不粘轮环氧沥青粘结层的性能

项目	单位	技术要求	试验方法
拉伸强度 (20℃, 500mm/min)	MPa	>1.0	GB/T 16777-2008
断裂延伸率	%	>80.0	
热固性 (200℃)	/	不熔化	/
拉拔强度 (20℃, 与混凝土)	MPa	≥1.2	T 0985

4.4 矿粉

钢渣环氧沥青混合料的矿粉应采用石灰岩或岩浆岩中的强基性岩石等憎水性石料经磨细得到的矿粉，原石料中的泥土杂质应除净。矿粉应干燥、洁净，能自由地从矿粉仓流出。矿粉质量技术要求应满足表 4.4 要求。不得将拌和机回收的粉尘作为矿粉使用。

表 4.4 钢渣环氧沥青混合料用矿粉质量技术要求

指标	单位	技术要求	试验方法
表观密度	t/m ³	≥2.500	T 0352
含水量	%	≤1.0	T 0103 烘干法
粒度范围	<0.6mm	100.0	T 0351
	<0.15mm	90.0~100.0	
	<0.075mm	75.0~100.0	
外观	/	无团粒结块	/
亲水系数	/	<1.0	T 0353
塑性指数	/	<4.0	T 0354

5 钢渣环氧沥青混合料设计

5.1 矿料级配要求

钢渣环氧沥青路面上面层矿料级配宜采用 ESMA-13，中面层宜采用 EAC-20，级配范围应满足表 5.1-1 和表 5.1-2（推荐使用级配曲线图）。钢渣环氧沥青混合料矿料级配应采用基于密度换算的体积法替换进行级配设计。

表 5.1-1 ESMA-13 钢渣环氧沥青混合料矿料级配范围

筛孔尺寸 (mm)	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率上限 (%)	100	100	75	34	26	24	20	16	15	12
通过率下限 (%)	100	90	50	20	15	14	12	10	9	8

表 5.1-2 EAC-20 钢渣环氧沥青混合料矿料级配范围

筛孔尺寸 (mm)	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率上限 (%)	100	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7
通过率下限 (%)	100	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3

5.2 配合比设计方法

5.2.1 一般规定

- 1 钢渣环氧沥青混合料的目标配合比设计宜按图 5.2 的框图的步骤进行。
- 2 如采用其他方法设计沥青混合料时，应参考本规程规定的马歇尔试验及各项配合

比设计检验。

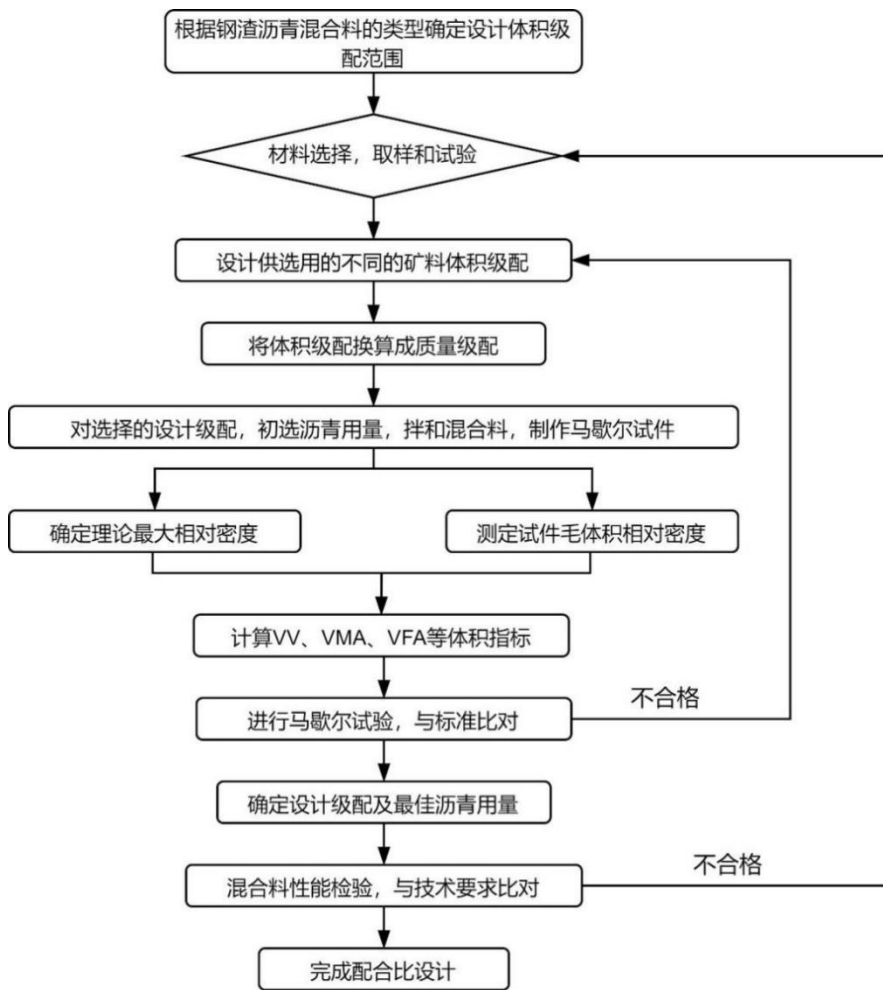


图 5.2 钢渣环氧沥青混合料目标配合比设计流程图

5.2.2 确定工程设计体积级配范围

钢渣环氧沥青混合料宜使用本规程 5.1 规定的体积级配范围。

5.2.3 材料的选择与准备

- 1 配合比设计所使用的各种材料应符合本规程第 4 章规定的技术要求。
- 2 各种材料规格及性能试验应参考《公路工程集料试验规程》（JTG 3432）。

5.2.4 矿料配合比设计

- 1 矿料配合比设计应参考《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）。

2 设计方法

采用体积法替换，具体方法如下：

- 1) 基于各类矿料密度相近的前提，在初步设计时可将其质量百分比视为体积百分比 P_{vi} 进行近似计算，按式 5.2-1 计算集料的初始体积百分比。-

$$P_{vi}=P_i a_i f_i \quad (5.2-1)$$

式中：i—各种矿料成分，i=1, 2, …, n;

P_{vi} -集料体积百分比，%;

P_i -集料设计配合比，%;

a_i -集料毛体积相对密度;

f_i -设计体积占比，%。

（条文说明：‘ f_i （设计体积占比）’按本规程附录 A 新增‘矿料设计体积占比计算方法’确定，计算需参考各集料毛体积相对密度、级配通过率及混合料目标空隙率。）

2) 对集料的实际密度应进行修正，保证各种集料体积百分比 P_{vi} 不变，从而求得集料的实际质量比 P_{mi} ，如式 5.2-2 所示。

$$P_{mi} = \frac{P_i a_i f_i}{M} \quad (5.2-2)$$

$$\text{其中，} M = \sum_{i=1}^n P_i a_i f_i \quad (5.2-3)$$

式中： P_{mi} -集料质量占比，%。

（条文说明：体积法替换是指首先将质量比视为体积比，然后通过两者的密度差值进行体积与质量的修正。）

5.2.5 马歇尔试验

钢渣环氧沥青混合料马歇尔试验技术规程及体积指标计算方法和技术要求应满足《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）。

针对 ESMA-13 钢渣环氧沥青混合料，其空隙率宜在 1.0~3.5%范围、沥青饱和度 VFA 宜在 75~90%范围、矿料骨架间隙率 VMA 宜大于 15.5%、渗水系数宜控制为不渗水。

5.2.6 确定最佳沥青用量（或油石比）

确定最佳沥青用量（或油石比）应按《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）执行。

5.2.7 钢渣环氧沥青混合料性能检验

钢渣环氧沥青混合料性能检验要求应符合本规程 5.3 相关规定。

5.3 钢渣环氧沥青混合料技术指标

5.3.1 钢渣环氧沥青混合料的技术性能应满足表 5.3-1 要求。

表 5.3-1 钢渣环氧沥青混合料路用性能要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
------	----	------	------

		EAC-20 混合料	ESMA-13 混合料	
稳定度	kN	≥22	≥18	T0709
流值	0.1mm	20~50	20~50	T0709
空隙率 VV	%	1~3.5	1~3.5	T0708
沥青饱和度 VFA	%	70~90	75~90	T0708
浸水马歇尔残留稳定度	%	≥85	≥85	T0790
冻融劈裂强度比	%	≥80	≥80	T0729
动稳定度	次/mm	≥12000	≥12000	T0719
低温弯曲破坏应变	μ ε	≥2000	≥1800	T0715
渗水系数	mL/min	不渗水	不渗水	T0730

（条文说明：根据《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》（JTG/T3364-02-2019）第 5.3.2 条的规定，环氧沥青混合料的空隙率为 1-3%；且相关工程实践和试验结果表明，保持这一低空隙率有助于确保混合料的密水性，并有效防止钢渣集料因水分侵入而导致的体积膨胀现象。因此，考虑实际情况，规定钢渣环氧沥青混合料的空隙率为 1-3.5%。）

5.3.2 钢渣环氧沥青混合料体积膨胀性应满足表 5.3-2 要求。

表 5.3-2 钢渣环氧沥青混合料膨胀率要求

试验项目	单位	技术要求		
		钢渣含量≤30%	钢渣含量≤60%	钢渣含量≤100%
体积膨胀率(3天)	%	≤0.4	≤0.6	≤0.8
体积膨胀率(9天)	%	≤0.9	≤1.2	≤1.5
体积膨胀率(15天)	%	≤1.2	≤1.5	≤1.8

（条文说明：钢渣环氧沥青混合料体积膨胀性试验方法应按本规程附录 A 的规定执

行。)

5.3.3 钢渣环氧沥青混合料中浸出液重金属浓度应符合表 5.3-3 中的要求。

表 5.3-3 钢渣环氧沥青混合料的重金属浸出含量要求

元素	单位	技术要求
铜 (Cu)	mg/L	≤0.5
镉 (Cd)	mg/L	≤0.1
铅 (Pb)	mg/L	≤0.1
锌 (Zn)	mg/L	≤0.5
总铬 (Cr)	mg/L	≤1.5
(Cr6+)	mg/L	≤0.5
镍 (Ni)	mg/L	≤0.1
汞 (Hg)	mg/L	≤0.01
锰 (Mn)	mg/L	≤0.1

(条文说明: 钢渣环氧沥青混合料重金属浸出含量试验方法应按本规程附录 A 的规定执行。)

5.4 容留时间

钢渣环氧沥青混合料的施工容留时间应不小于 4h。

6 环氧沥青粘结层

6.1 一般要求

不粘轮环氧沥青喷洒量宜为 0.7~0.9kg/m²。

6.2 施工工艺

6.2.1 准备工作

1 在进行环氧沥青粘结层的施工前, 原路面强度或者路面下承层应满足《公路沥青路面设计规范》(JTG D50) 中相关要求。作业面应进行清扫并且达到无浮尘要求, 并保持干燥。

2 凡与待铺路面层接触的部位属于粘结层作业面, 粘结层作业面边缘应比路面区边缘宽出 20 mm~30 mm。为防止粘结层非作业面部位遭受污染, 应事先用塑料薄膜或胶

粘带等覆盖。

3 环氧沥青粘结料喷洒前应分别加热到规定温度，其中环氧体系加热到 80~90℃、沥青组分加热到 160℃~170℃。加热过程中应确保作业区域通风良好，操作人员应穿戴防护手套、护目镜及防护服，避免直接接触高温物料。环氧体系加热时严禁明火，并应远离热源与易燃物，防止挥发气体聚集。加热设备应稳固放置，避免溢溅。

6.2.2 环氧沥青粘结层施工

1 环氧沥青洒布车应设定各组分的混合比例，洒布时应喷洒均匀。

2 为防止施工中机具发生粘轮，环氧沥青粘层喷洒一定工作面后，跟踪现场撒布情况，确保不粘轮的状态下方可进行施工。一般情况下，环氧沥青粘结料撒布 24h~48h 可以进行后续施工。

7 钢渣环氧沥青路面施工

7.1 一般规定

7.1.1 基面处置

1 检查下面层的工程质量，对下面层局部质量缺陷（例如严重离析和开裂以及油污造成松散等）应按规定进行修复。

2 对下面层表面浮动混合料应扫至路面以外，表面杂物亦清扫干净。灰尘应提前冲洗，风吹干净。

3 铺筑面层前，对下面层表面应进行彻底清扫，清除纹槽内泥土杂物，风干后均匀喷洒粘层。粘层喷洒后应进行交通管制，禁止任何车辆通行和人员踩踏，不粘车轮时才可摊铺钢渣环氧沥青混合料。

7.1.2 施工气候条件

施工期间应无雨且路面干燥。气温低于 10℃，或气温低于 15℃且风速大于 5 级时，不得进行钢渣环氧沥青路面施工。

7.1.3 施工准备

钢渣环氧沥青混合料施工前应制定安全技术措施，包括技术交底和培训、施工设备的检验。环氧沥青各组分应分开存放，不得混杂，准确控制各组分比例，并能满足生产要求。

7.2 混合料拌制

7.2.1 拌制设备要求

钢渣环氧沥青混合料的拌和设备应增设专用的环氧树脂结合料添加管道或装置，且应能够准确控制各组分比例与拌制混合温度。

7.2.2 环氧体系拌制

在拌制环氧沥青混合料之前，应将环氧体系各组分预热至 60℃，然后采取机器添加投入的方式，并按比例倒入混合容器里，用搅拌器充分搅拌，随时准备投入到拌合楼里。

7.2.3 拌制条件和温度

钢渣环氧沥青混合料拌制时间和温度见表 7.2-1 和表 7.2-2。

表 7.2-1 钢渣环氧沥青混合料拌制时间

混合料类型	干拌时间 (s)	湿拌时间 (s)
钢渣环氧沥青混合料	≥5	30~50

表 7.2-2 钢渣环氧沥青混合料拌制温度 (°C)

温度类型		基质沥青	改性沥青
沥青加热温度		155~165	160~170
集料加热温度		165~175	175~190
混合料出厂温度		正常范围 150~165，超过 195 者废弃	正常范围 160~170，超过 190 者废弃
运到现场温度		不低于 145	不低于 155
摊铺温度	正常施工	不低于 135	不低于 150
	低温施工	不低于 150	不低于 155
初压开始温度	正常施工	不低于 130	不低于 140
	低温施工	不低于 145	不低于 145
碾压终了表面温度		不低于 70	不低于 70

7.3 混合料运输

7.3.1 采用数字显示插入式热电偶温度计（应经常标定）检测钢渣环氧沥青混合料的出厂温度和运到现场温度。插入深度应大于 150mm。在运料卡车侧面中部设专用检测孔，孔口距车箱底面约 300mm。

7.3.2 拌和机向运料车放料时，汽车应前后移动，分三堆装料，以减少粗集料离析。

7.3.3 自卸车应使用状况良好，使用前车厢内壁应涂非溶剂型隔离剂（非溶剂型隔离剂应符合以下技术要求：200℃高温下无分解、与环氧沥青无化学反应（按 GB/T 30598《道路用抗车辙剂》中‘相容性测试方法’验证）、残留量≤0.1g/m²），确保车辆不漏

油、不滴水、不黏附。

7.3.4 根据料车到场时混合料平均温度及容留时间确定卸料摊铺时间范围，施工方工作人员应加强培训，做到能够迅速的计算出可用时间范围，及时为料车调度提供资料。

7.3.5 一般情况下，一辆车宜装 5~7 盘料，根据现场运输距离、摊铺速度、拌和楼产量以及每车运输量确定车辆数量，并留够备用车辆。

7.3.6 运料车厢需要有保温措施，已经离析或结成团块或在运料车卸料后滞留于车上的混合料，以及低于规定铺筑温度或被雨水淋湿的混合料均予以废弃。

7.4 混合料摊铺

7.4.1 钢渣环氧沥青混合料的摊铺速度不宜大于 3m/min，摊铺后的钢渣环氧沥青混合料表面应无明显的离析、波浪、拖痕、鱼尾纹等现象。

7.4.2 摊铺机每天摊铺工作前 1 小时进行预热，预热温度应控制在 110~120°C，摊铺时温度不应低于 150°C。

7.4.3 钢渣环氧沥青混合料从拌制生产到摊铺的时间应控制在 4h 以内。

7.4.4 摊铺厚度应符合设计要求，允许偏差宜控制在 ±5mm 以内。施工中应每 10m 检查一个断面，每个断面不少于 3 个测点，并记录实测厚度。如发现厚度偏差超出允许范围，应及时调整摊铺参数或处理基层平整度。

7.5 混合料碾压

7.5.1 为防止碾压时粘轮，宜采用非溶剂性隔离剂擦涂轮胎或钢轮表面，禁止使用水、柴油等溶剂型隔离剂。

7.5.2 压路机应以缓慢而均匀的速度碾压，压路机的适宜碾压速度随初压、复压、终压及压路机的类型而别，具体见表 7.5。

表 7.5 压路机碾压速度 (km/h)

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢轮式压路机	1.5~2.0	3.0	2.5~3.5	5.0	2.5~3.5	5.0
轮胎压路机	-	-	3.5~4.5	8.0	4.0~5.0	8.0
振动压路机	1.5~2.0 (静压)	5.0 (静压)	4.0~5.0 (振动)	4.0~5.0 (振动)	2.0~3.0 (静压)	5.0 (静压)

7.5.3 接缝处，应用钢轮压路机进行横缝处的碾压，终压后若发现表面仍有横向微纹，应立即用轮胎压路机碾压，再用钢轮压路机碾平。

7.5.4 当摊铺层一侧为自由边时，初压第一次碾压要将自由边先空出 30cm~40cm 不压，待中间部位压过后，将压路机大部分重力位于已经压过的混合料上，再压边缘；或设专机压边缘，以尽量减少摊铺层向外推移。

7.5.5 摊铺层边缘、自由边或压路机难以完全压实的部位，应在常规碾压工序完成后，采用小型振动夯实机或手持式压实设备进行补压。补压应沿边缘纵向进行，每次重叠 1/3 轮宽，确保边缘密实度达到设计要求。补压过程中应注意避免过度压实导致边缘材料推移或损坏。

7.6 施工接缝处理

7.6.1 纵向施工缝

对于采用两台摊铺机成梯队联合摊铺方式的纵向接缝，应在前部已摊铺混合料部分留下 10~20cm 宽暂不碾压作为后高程基准面，并有 5~10cm 左右的摊铺层重叠，以热接缝形式在最后作跨接缝碾压以消除缝迹，上中层纵缝应错开 15cm 以上。

7.6.2 横向施工缝

横向施工缝应全部采用平接缝。用三米直尺沿纵向位置，在摊铺段端部的直尺呈悬臂状，以摊铺层与直尺脱离接触处定出接缝位置，用锯缝机割齐后铲除；继续摊铺时，应将接缝锯切时留下的灰浆擦洗干净，涂上少量粘层沥青，摊铺机熨平板从接缝后起步摊铺；碾压时用钢筒式压路机进行横向压实，从先铺路面上跨缝逐渐移向新铺面层。

7.7 养护及开放交通

7.7.1 新摊铺的钢渣环氧沥青面层应做好保护、保持整洁、不得造成污染。

7.7.2 新摊铺的钢渣环氧沥青表面温度应冷却至低于 40℃时，方可开放交通。

7.7.3 新摊铺的钢渣环氧沥青面层养生时间，在高温季节（20-30℃），应至少为 5h，温度较低时（10-20℃），养生时间应不少于一天。

7.7.4 对于改扩建或者新建道路，建议混合料养生后稳定度不低于表 5-3 规定值可初期通车，钢渣环氧沥青面层养生至稳定度达到 40kN 以上才能完全开放交通。

8 质量管理及验收

8.1 一般要求

8.1.1 除环氧沥青层外，沥青面层的质量检查应符合 JTGF40 的有关规定。除本规范规定外的原材料的检验以及环氧沥青混合料的其他质量检查应满足 JTGF40 的有关规定。

8.1.2 所有与工程建设有关的原始记录、试验检测及计算数据、汇总表格，应如实记录和保存。对于已经采取措施进行返工和补救的项目，可在原记录和数据上注明，但不应销毁。

8.2 施工过程中质量管理及检查

钢渣环氧沥青混合料路面施工中，应按照表 8.2 的要求进行环氧沥青及其钢渣混合料检查，其质量应符合本规范规定的技术要求。

表 8.2 钢渣环氧沥青混合料施工质量检验要求

类型	项目	检查频度	质量要求或允许差		试验方法
环氧沥青	拉伸强度	1~2 次/批	符合要求		GB/T528
	断裂延伸率	1~2 次/批	符合要求		GB/T528
	容留时间	1 次/批	满足工程项目的施工要求		布氏粘度试验
环氧沥青混合料	混合料级配	2~3 次/d	≥4.75mm	±4%	JTG E20 T0725
			≤2.36mm	±3%	
			0.075mm	±2%	
	环氧沥青用量		±0.3%		JTG E20
	空隙率、马歇尔稳定度、流值	2~3 次/d	符合要求		JTG E20
	低温弯曲应变	必要时 ¹	符合要求		JTG E20
	混合料摊铺温度	随时	工序设定温度±5℃		JTG E20
	混合料出厂温度 ²	逐车检测	工序设定温度±5℃		JTG E20
	混合料初压、终压温度	随时	工序设定温度±5℃		红外或插入式温度计
	压实度(%)	每层 1 次/200m/车道	≥97 (旋转压实密度) ≥98 (马歇尔密度) 93~97 (最大理论密度)		现场钻孔试验(用核子密度仪随时检查)
	体积膨胀率(%)	1 次/200m/车道	<1.5		马歇尔试件水浴浸泡法
	厚度(mm)	1 次/200m/车道	≤4		钻孔检查并铺筑时随时插入量取，每日用混合料数量校核
	平整度σ(mm)	每车道连续检测	≤1.0		用连续式平整度仪检测
	宽度	2 处/100m	不小于设计宽		用尺量
	纵断面高程(mm)	3 处/100m	±15		用水准仪或全站仪
	横坡(%)	3 处/100m	±0.3		用水准仪检测
中线平面偏位(mm)	4 点/200m	≤20		用经纬仪检测	
渗水系数(mL/min)	与压实度相同	≤50		渗水仪	

注：1 环氧沥青混合料运至施工现场应逐车检测温度。

2 “必要时”是指施工各方任何一个部门对其质量产生怀疑，提出需要检查时，或是根据需要商定的检查频

度。

8.3 验收

钢渣环氧沥青路面施工结束后应以 1km 长的路段为评定单位进行交工检查验收，判定质量是否合格。采用随机抽样检查，检查项目、频率和质量标准应符合本规程和现行技术标准的规定。

附录 A 试验方法汇总

A.0.1 钢渣

1 钢渣金属铁含量

1) 选取有代表性的钢渣不少于100kg, 并称取质量, 计为 m_0 (称量精度应不低于0.1kg)。

2) 将钢渣全部破碎到粒径为30 mm以下, 混匀后按四分法将钢渣缩分到每份10kg, 破碎过程中手选出粒径大于30 mm的难以破碎的金属铁颗粒, 并称取质量, 计为 m_1 (称量精度应不低于0.05kg)。取2份已制备好的钢渣试样, 分别进行测试。

3) 将钢渣试样用小型颚式破碎机破碎至5mm以下, 破碎过程中手选出难以破碎的小铁块。

4) 将按 3) 挑出来的铁块放入球磨机中研磨20min, 取出后过1mm方孔筛, 称量筛上物质量及筛下物质量, 分别记为 m_2 和 m_3 (称量精度应不低于0.001kg), 并将筛下物放入密闭式制样机中研磨, 直到全部通过筛孔尺寸0.08mm方孔筛, 按YB/T140中规定测定筛下物中金属铁含量 ω_1 (%)。

5) 破碎到5mm以下的钢渣按四分法缩分出1kg渣样。

6) 将 5) 缩分好的1kg钢渣样放在纸上或不含铁的容器中摊开, 用纸包裹磁铁块在渣粉中吸取磁性颗粒。吸附后将纸从磁铁块上脱下, 用毛刷把磁性颗粒刷下, 直至磁性颗粒吸取完全。吸除磁性颗粒后的渣粉为尾渣。

7) 将 6) 磁选出的磁性颗粒放入密闭式制样机中研磨1min。取出后过1mm方孔筛, 称量筛上物质量 m_4 (称量精度应不低于0.001kg)。

8) 将 6) 中的尾渣放入密闭式制样机中研磨至1mm以下与 6) 的筛下物合并, 缩分代表性试样100g放入密闭式制样机中研磨直到全部通过0.08mm方孔筛, 按YB/T140中规定测定其中金属铁含量 ω_2 (%) (称量精度应不低于0.01g)。

9) 计算公式如下:

$$W_{MFe} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times \frac{m_2 + m_3 \times \omega_1 + [(1 - m_4) \times \omega_2 + m_4] \times (10 - m_2 - m_3)}{10} + \frac{m_1}{m_0} \times 100$$

W_{MFe} —钢渣中金属铁含量, %;

m_0 —钢渣原样质量, kg;

m_1 —手选粒径大于30mm的金属铁质量, kg;

m_2 —手选筛上物质量, kg;

- m_3 —手选筛下物质量, kg;
 m_4 —磁选筛上物质量, kg;
 ω_1 —手选筛下物金属铁含量, %;
 ω_2 —磁选尾渣金属铁含量, %。

A. 0. 2 环氧沥青

1 环氧沥青拉伸强度

- 1) 将环氧树脂及固化剂预热至 60℃, 70#沥青预热至 130℃备用;
- 2) 在烘箱中放入玻璃板及调节器, 调节玻璃板水平, 并用水平检测仪检测模具的水平状态;
- 3) 喷涂脱模剂, 随后打开烘箱, 将模具加热至固化温度 (60℃或 150℃)。
- 4) 将环氧树脂及固化剂按照设计比例混合并搅拌 5min, 得到环氧体系。随后, 按照质量份数, 称量环氧体系和 70#石油沥青称量相关样品, 混合后利用搅拌机继续搅拌 5min, 得到环氧沥青;
- 5) 按照密度及模具体积计算倒入模具的环氧体系/环氧沥青质量, 随后利用电子秤称量倒入模具的液体质量, 在 150℃下预固化 3h, 随后在 60℃下固化 96h, 或仅在 60℃下固化 96h。固化结束后, 将浇筑的试件放在 23℃进行冷却, 冷却后利用冲片机及哑铃型槽刀将环氧体系/环氧沥青切割成哑铃型的拉伸试件。
- 6) 对两种固化条件后获得的环氧体系/环氧沥青拉伸试件工作区选取三个位置, 使用量厚仪测量每个位置处的厚度并记录, 拉伸试件工作区的尺寸: 长 25mm, 宽 6mm。
- 7) 将试件置于万能材料试验机的 23℃或-10℃环境箱中保温 4h。
- 8) 试验前注意将试样和夹具的长轴对齐并牢固, 以防止试样滑动。启动万能材料试验机, 进行拉伸试验至试件断裂, 拉伸速率为 500mm/min。

A. 0. 3 钢渣环氧沥青混合料

1 钢渣环氧沥青混合料体积膨胀率(3天, 9天, 15天)

对马歇尔试件进行水浴浸泡然后测量其体积变化, 以评估其体积稳定性。即将试件在60℃水浴箱中浸泡3d、9d、15d) 并测量其浸泡前后的体积(将马歇尔试件表面围绕

试件中心按照60 °C一个点进行依次标记，共标记6次。然后使用游标卡尺测量标记后试件的6个高度与3个直径并取平均值），以此计算试件的体积膨胀率，计算公式如下：

$$D = \frac{V_2 - V_1}{V_1} * 100$$

式中，D为试件体积膨胀率(%)；V₁和V₂分别为浸泡前、后试件体积(mm³)。

2 钢渣环氧沥青混合料重金属浸出含量

通过切割成型的马歇尔试件，采用固液比（沥青混合料马歇尔试件：pH值=4酸性浸取剂）1kg:10L制备浸出液样品（称量精度应不低于0.1kg，体积量取精度应不低于0.1L）。浸出液样品采用恒温振荡器（300r/min）振荡6h+静态浸泡18h的抽取方法，对振荡和静置共24h后的样品取上部清液作为检测试样，用电感耦合等离子体发射光谱仪进行重金属元素含量检测。

用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待，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”。

引用标准名录

本规程引用下列国家标准及行业标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

- 1 《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40）
- 2 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20）
- 3 《公路工程集料试验规程》（JTG 3432）
- 4 《公路土工试验规程》（JTG E40）
- 5 《污水综合排放标准》（GB 8978）
- 6 《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》（GB 5085.3）
- 7 《工业企业设计卫生标准》（GBZ 1）
- 8 《树脂浇铸体性能试验方法》（GB/T 2567）
- 9 《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》（JTG/T 3364-02）
- 10 《建筑防水涂料试验方法》（GB/T 16777）
- 11 《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F400）。
- 12 《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》（GB/T 528）
- 13 《固体废物 浸出毒性浸出方法 水平振荡法》（HJ 557）
- 14 《道路用钢渣》（GB/T 25824）

制定说明

钢渣作为一种大宗工业固体废弃物，具有强度高、耐磨性好等特点，在道路工程中具有较好的资源化利用潜力。但已有研究和工程应用表明，钢渣集料在水分作用下易产生膨胀和耐久性风险，普通钢渣沥青混合料难以充分满足长寿命路面的使用要求。为更好发挥钢渣集料的力学优势并抑制其体积膨胀，编制组引入环氧沥青作为胶结材料，以增强对钢渣颗粒的包裹作用和界面黏结性能，提高混合料的路用性能和体积稳定性。

在前期研究和工程实践中，钢渣环氧沥青复合技术已在苏嘉杭高速、苏州绕城高速等试验段工程中得到应用验证，表明该材料体系在施工适应性、路用性能和工程可实施性等方面具有较好的应用基础。基于试验段铺筑效果、工程应用反馈及室内研究成果，编制组认为有必要针对钢渣环氧沥青路面的材料选择、配合比设计、施工工艺和质量验收等内容形成专门的技术规程。

本规程相关技术指标综合室内试验结果、试验段铺筑效果及既有工程应用资料提出。其中，混合料路用性能指标、体积膨胀率控制指标及配合比设计方法，主要依据前期系统试验研究和典型工程验证确定；对直接引用或参考现行国家、行业标准的指标，则主要依据相关标准限值和试验方法进行衔接确定。考虑到环氧沥青混合料与普通沥青混合料在材料组成、性能形成机理及施工控制要求等方面存在差异，本规程中部分材料技术要求和性能指标并非简单沿用现行标准，而是结合钢渣环氧沥青混合料的材料特点进行了针对性调整。针对相关调整，编制组开展了室内对比与验证试验，各试验条件下平行试验组数均不少于 5 组。试验结果表明，环氧沥青对钢渣颗粒具有较好的包裹和阻水作用，可在一定程度上改善混合料界面状态并抑制体积膨胀发展，因此本规程对钢渣粗集料部分技术要求进行了适当调整，并增加了钢渣细集料技术要求，以适应钢渣环氧沥青混合料的应用特点。

对于第 5.2 节配合比设计方法，编制组结合钢渣集料密度较大、与普通天然集料差异明显的特点，提出了基于密度换算的体积法替换设计思路，并结合苏嘉杭高速和苏州绕城高速、常台高速等试验段工程进行了验证，形成了相应的目标配合比设计方法及要求。对于表 5.3-1 和表 5.3-2 所列技术指标，编制组围绕钢渣环氧沥青混合料的路用性能与体积稳定性开展了系统室内试验，针对不同钢渣掺量、不同级配类型及不同配合比条件，进行了稳定度、流值、空隙率、浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂强度比、动稳定度、低温弯曲破坏应变、渗水性能以及 3d、9d、15d 浸泡条件下体积膨胀率等试验，各

试验条件下平行试验组数均不少于 5 组。基于试验结果，并结合现行规范、既有工程经验和材料特点，形成了第 5 章相关设计方法、表 5.3-1 路用性能要求及表 5.3-2 体积膨胀率分级控制要求。

目前，国内针对钢渣环氧沥青路面的设计、施工、检测、质量控制与验收尚缺乏较为系统、完备的专项技术规程。编制组在充分调查研究和分析相关工程、试验成果及科技文献的基础上，形成了本规程，旨在为钢渣环氧沥青路面的规范化设计、专业化生产、标准化施工和工程应用提供技术依据。为便于使用者正确理解和执行条文规定，编制组另按章、节、条顺序编制了条文说明，对有关条款的制定依据、适用条件及执行中应注意的问题进行了说明。条文说明仅供参考，不具备与规程正文及附录同等的效力。