

团 体 标 准

T/JSCTS 41—2023

环氧高聚物稳定钙基脱硫灰道路基层施工 技术规范

Technical specification for construction of epoxy polymer stabilized
calcium-based desulfurization ash roadbase

2023-12-04 发布

2024-02-01 实施

江苏省综合交通运输学会 发布

TJ SCTS 41-2023

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 材料	2
5 配合比设计	2
6 施工	4
7 质量控制	8
附录 A（规范性） 改性水分散环氧基齐聚物含量试验	9

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这些专利的责任。

本文件由江苏赛福瑞新材料有限公司提出。

本文件由江苏省综合交通运输学会归口。

本文件起草单位：上海梅山钢铁股份有限公司、江苏赛福瑞新材料有限公司、江苏国路环保科技有限公司、南京市交通运输局、南京大学、南京江北生态环境科技园有限公司。

本文件主要起草人：杨小青、孙颖刚、韩加友、王东、汤浦、任华、仲正、卞晓静、林子熙、马卫星、王金万、孟祥康、朱祥勇、王军、宋超。

T/JSCTS 41-2023

环氧高聚物稳定钙基脱硫灰道路基层施工技术规范

1 范围

本文件规定了环氧高聚物稳定钙基脱硫灰道路基层施工材料、配合比设计、施工、质量控制的要求。本文件适用于二级及以下公路、市政道路和堆场的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰基层、底基层的施工。

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 175 通用硅酸盐水泥
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB/T 6324.1 有机化工产品试验方法 第1部分：液体有机化工产品水混溶性试验
- GB/T 8077 混凝土外加剂匀质性试验方法
- GB/T 14848-2017 地下水质量标准
- GB/T 25499 城市污水再生利用 绿地灌溉水质
- CJ/T 486 土壤固化外加剂
- CJJ/T 286-2018 土壤固化剂应用技术标准
- JTG 3430 公路土工试验规程
- JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
- JTG E51 公路工程无机结合料稳定材料试验规程
- JTG/T F20-2015 公路路面基层施工技术细则
- DB32/T 3960-2020 抗水性自修复稳定土基层施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

环氧高聚物固化剂 epoxy polymer soil stabilizing admixtures

采用高分子聚合物微粒制备的、内含改性水分散环氧齐聚物的液体类外加剂。

3.2

改性水分散环氧基齐聚物 modified waterborne epoxy oligomer

含有环氧基团，且分子量大于 200g/mol 的组分。

3.3

钙基脱硫灰 calcium-based desulfurization ash

以钙基化合物作为吸收剂，干法、半干法脱硫工艺过程中产生的脱硫副产物。

3.4

环氧高聚物稳定钙基脱硫灰 epoxy polymer stabilized calcium-based desulfurization ash

采用环氧高聚物固化剂和水泥按一定比例掺入钙基脱硫灰形成的具有良好路用性能的混合料。

3.5

固含量 solid content; SC

固化剂液体中所含固形物的总量，包括液体中的可溶物经干燥后可以形成固体的所有化学物质。

3.6

自修复性能 self-healing performance

环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料基层在产生微裂纹条件下能够自动愈合的能力，可采用自修复系数和自修复系数比两个指标表征。

3.7

自修复系数 self-healing coefficient; SHC

T/JSCTS 41-2023

标准养生 7d 后对检测试件施加极限强度 80%的荷载，然后进行 15d 标准养生后测试的劈裂强度与 7d 标准养生后劈裂强度的比值，以%计。

[来源：DB32/T 3960-2020 3.10]

3.8

自修复系数比 self-healing coefficient ratio; SHCR

检测试件与基准试件（不添加固化剂的钙基脱硫灰试件）自修复系数的比值。

[来源：DB32/T 3960-2020 3.11]

4 材料

4.1 钙基脱硫灰

钙基脱硫灰被稳定前技术要求宜满足表 1。

表 1 钙基脱硫灰的技术要求

序号	检测项目	技术要求	试验方法
1	结块最大粒径/mm	≤20	JTG 3430 中 T 0115
2	结块粒径大于 10mm 的质量 占总质量的比例/%	≤10	
3	液限/%	≤40	JTG 3430 中 T 0118
4	塑性指数	≤17	

4.2 环氧高聚物固化剂

环氧高聚物固化剂的技术指标宜满足表 2。

表 2 环氧高聚物固化剂的技术要求

序号	检测项目	技术要求	试验方法
1	外观	呈均匀状态，不应有沉淀或絮状现象	目测
2	固含量/%	≥40	GB/T 8077
3	密度/ (g/cm ³)	1.05±0.03	GB/T 8077
4	pH 值	6.0~9.0	GB/T 8077
5	溶解性	完全溶解	GB/T 6324.1
6	稳定性 ^a /%	≤3	JTG E20 中 T 0656
7	改性水分散环氧基齐聚物含量/%	≥5	附录 A
8	可溶性金属离子含量 ^b	水溶液中重金属含量最大值应符合 GB/T 25499 的规定	GB/T 25499

^a 稳定性是测定静置 28 天后的高聚物固化剂上层与下层的固含量差值。
^b 可溶性金属离子含量是固化剂中镉、砷、汞、铅、铬、镍、铜、锌重金属含量。

4.3 水泥

4.3.1 水泥应符合 GB 175 中普通硅酸盐水泥的相关规定。

4.3.2 宜采用强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥，不应采用快硬水泥、早强水泥。

4.3.3 水泥初凝时间应大于 3h，终凝时间应在 6h~10h。

4.4 水

环氧高聚物稳定钙基脱硫灰拌和和养生用水应符合 JTG/T F20-2015 中拌和与养生用水的相关规定。

5 配合比设计

5.1 一般规定

5.1.1 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料除应符合 JTG E51 中无机结合料稳定类基层材料相关要求，还应符合本文件性能要求。

5.1.2 季冻区施工时，应验证环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料的抗冻性能。

5.2 混合料性能要求

5.2.1 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料配合比设计和施工质量控制的主要指标应采用 7d 龄期无侧限抗压强度，7d 龄期无侧限抗压强度技术要求应符合表 3。

表 3 7d 龄期无侧限抗压强度技术要求

单位为 Mpa

结构层	重交通	中、轻交通
基层	3.0~5.0	2.0~4.0
底基层	2.0~4.0	1.0~3.0

注：公路等级高或交通荷载等级高或结构安全性要求高时，取上限强度标准。

5.2.2 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰的水稳定性和自修复性能技术要求应符合表 4。

表 4 水稳定性和自修复性能技术要求

使用性能	技术指标	技术要求	试验方法
水稳定性	水稳定性系数 WSC/%	≥85	CJ/T 486
	水稳定性系数比 WSCR	≥1.2	
自修复性能	自修复系数 SHC/%	≥120	DB32/T 3960-2020
	自修复系数比 SHCR	≥1.3	

5.2.3 在进行路面结构设计时，环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料的弹性模量取值范围应符合表 5。

表 5 弹性模量取值范围

弹性模量 MPa
4000~6000

注：水泥用量高、环氧高聚物固化剂用量高、混合料性能好、压实度大时取高值，反之取低值。

5.3 配合比设计流程

5.3.1 配合比设计宜按照图 1 的步骤进行。

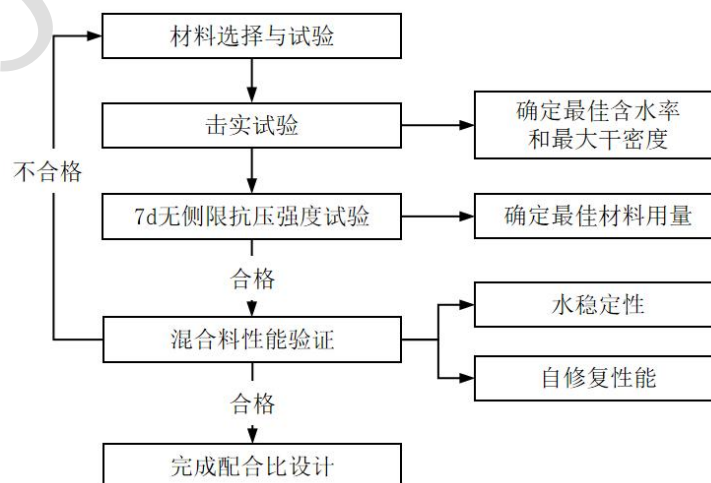


图 1 配合比设计流程图

5.3.2 按照 JTG E51 中 T 0804 确定 3 个水泥掺量条件下钙基脱硫灰与水泥混合料的最佳含水率和最大干密度，水泥掺量宜符合表 6。

表 6 配合比试验掺量

层位	水泥掺量 ^a %	固化剂掺量 ^b mL/m ³
基层	5~8	200~400
底基层	2~5	100~250
^a 水泥掺量为水泥干质量与钙基脱硫灰干质量的百分比。 ^b 固化剂掺量为固化剂原液体积与环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料压实后体积的比值。		

5.3.3 根据 5.3.2 中确定的钙基脱硫灰与水泥混合料的最佳含水率和最大干密度，按照 DB32/T 3960-2020 中附录 B 进行 7d 无侧限抗压强度试验，固化剂掺量宜符合表 6。

5.3.4 对于满足强度要求的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料应视需求开展水稳定性验证试验和自修复性能验证试验，对于不满足要求的应调整配合比，重新开展试验。

6 施工

6.1 一般规定

- 6.1.1 二级公路应采用厂拌法施工，三、四级公路宜采用厂拌法施工。
- 6.1.2 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰季节性施工应符合 CJJ/T 286-2018 中 6.4 相关要求。
- 6.1.3 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰从拌和至碾压完成时间不宜超过 2h，使用缓凝水泥时不宜超过 4h。
- 6.1.4 施工前，路基底面应平整、坚实，具有规定的路拱。

6.2 铺筑试验段

- 6.2.1 道路施工前应铺筑试验段，长度宜为 200m~300m；厂区施工前应铺筑试验区，面积宜为 1000m²~2000m²。
- 6.2.2 应通过试验段铺筑确定钙基脱硫灰的松铺系数，试验段的松浦系数可按 1.45~1.55 进行选择试用。
- 6.2.3 若使用撒布机撒布水泥，应根据施工段面尺寸和水泥用量测算好摊铺宽度及厚度，选择合适型号的撒布机，机械布撒不到的地方用人工进行补足，布撒结束后用路拌机充分拌和再进行碾压。若一次性施工段面过大，应根据水泥初凝时间进行分段施工。
- 6.2.4 应根据路宽、压路机的轮宽和轮距的不同，制定不同碾压方案，并根据试验段实施效果确定合理的碾压工艺。
- 6.2.5 通过试验段铺筑验证混合料配合比设计结果，确定环氧高聚物稳定钙基脱硫灰拌和、摊铺及碾压等施工关键技术参数，并根据工程实际情况进行调整。
- 6.2.6 应对试验段施工过程中的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料含水率、7d 无侧限抗压强度、浸出毒性等以及施工后的压实度、弯沉、取芯结果等进行检测，并开展试验段总结，编制试验段总结报告。
- 6.2.7 将试验段确定的配合比、含水率、松铺系数、碾压工艺等施工关键技术参数作为施工过程中质量要求和控制的标准。

6.3 施工放样

应在路基底面上设置中线，直线段应每 15m~20m 设一桩，平曲线段应 10m~15m 设一桩，并应在两侧路肩边缘外设指示桩，且用明显标记标出环氧高聚物稳定钙基脱硫灰层边缘的设计高程。

6.4 厂拌法施工

6.4.1 施工流程

厂拌法施工流程宜按图 2 步骤进行。

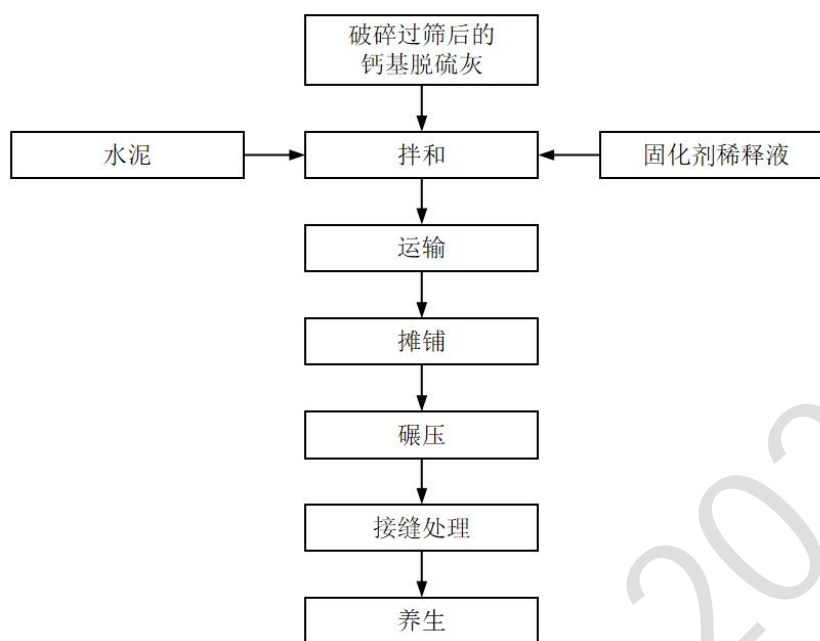


图2 厂拌法施工流程

6.4.2 施工准备

6.4.2.1 厂拌法拌和设备宜采用强制式搅拌机，并配备水泥料仓、储水罐、固化剂存储罐等，拌和机的拌和能力应与现场摊铺能力相匹配。各类原材料存储设备应分别具有合格的计量系统。

6.4.2.2 钙基脱硫灰中结块应粉碎，最大尺寸应不大于20mm，且宜采取覆盖措施，防止雨淋。

6.4.2.3 固化剂应按照设计掺量预先加入到水中进行稀释。固化剂使用前要充分摇匀，使沉淀充分溶解。配制固化剂稀释液时，应根据混合料的实测含水率和最佳含水率以及设计的固化剂掺量来确定稀释比例，稀释倍数一般为25倍~30倍。

6.4.2.4 水泥存放、破拆等工作应符合当地扬尘防治标准。

6.4.3 拌和

6.4.3.1 混合料在拌缸中拌和时间不应少于8s，确保环氧高聚物稳定钙基脱硫灰混合料的均匀性。

6.4.3.2 天气炎热或运距较远时，环氧高聚物稳定钙基脱硫灰拌和时宜适当增加1%~2%的水。

6.4.4 运输

运输车装好料后应及时运送到铺筑现场，并采用篷布进行覆盖，减少路途或现场排队等候造成的水分散失。

6.4.5 摊铺

6.4.5.1 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰作为底基层时，摊铺环氧高聚物稳定钙基脱硫灰基层前，宜将底基层顶面拉毛或采用凸块式压路机碾压。

6.4.5.2 对无法使用机械摊铺的路段，应采用人工同步摊铺，并同时碾压成型。

6.4.5.3 摊铺后的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰层应平整，并有一定的路拱，应检验松铺环氧高聚物稳定钙基脱硫灰层的厚度。

6.4.6 碾压

6.4.6.1 碾压成型后每层的厚度宜不小于160mm，最大厚度宜不大于200mm。

6.4.6.2 采用钢轮压路机初压时，宜采用双钢轮压路机稳压2遍~3遍，再用22t以上的单钢轮压路机、18t~21t三轮压路机或30t以上的胶轮压路机继续碾压密实，最后采用双钢轮压路机碾压消除轮迹或采用凸块式压路机碾压收面。

6.4.6.3 采用轮胎压路机初压时，应采用 30t 以上的胶轮压路机稳压 1 遍~2 遍，错轮不超过 1/3 的轮迹带宽度，再采用重型振动压路机碾压密实，最后采用双钢轮压路机碾压，消除轮迹。

6.4.6.4 碾压过程中，环氧高聚物稳定钙基脱硫灰的表面应始终保持湿润，水分蒸发过快时，宜及时补洒少量的水，不准许大量洒水。

6.4.7 接缝处理

6.4.7.1 摊铺机摊铺混合料时，不宜中断。如中断时间超过 2h，应设置横向接缝。

6.4.7.2 横向接缝处理应将摊铺机附近 1m~2m 及其下面未经压实的混合料铲除，并将已碾压密实且高程和平整度符合要求的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰层末端挖成与路中心线垂直并垂直向下的断面，然后再摊铺新的混合料。

6.4.7.3 每天最后一段施工缝的做法应符合 JTG/T F20-2015 中 5.5.19。

6.4.7.4 纵向接缝处理应符合 JTG/T F20-2015 中 5.5.20。

6.4.8 养生

6.4.8.1 碾压完成，并经压实度检查合格后应立即开始养生，养生期不应少于 7d。

6.4.8.2 在养生期间未采用覆盖措施的水泥稳定土层上，除洒水车外，不准许一切其他机械车辆通行。在采用覆盖措施的水泥稳定土层上，不能封闭交通时，应限制车速不应超过 30km/h，荷载不超过 13t。

6.4.8.3 宜结合工程实际情况，选择适宜的洒水养生、薄膜覆盖养生、土工布覆盖养生、草帘覆盖养生等方式。不同养生方式要求应按照 JTG/T F20-2015 执行，并应始终保持环氧高聚物稳定钙基脱硫灰层表面湿润。

6.5 路拌法施工

6.5.1 施工流程

路拌法施工流程宜按图 3 步骤进行。

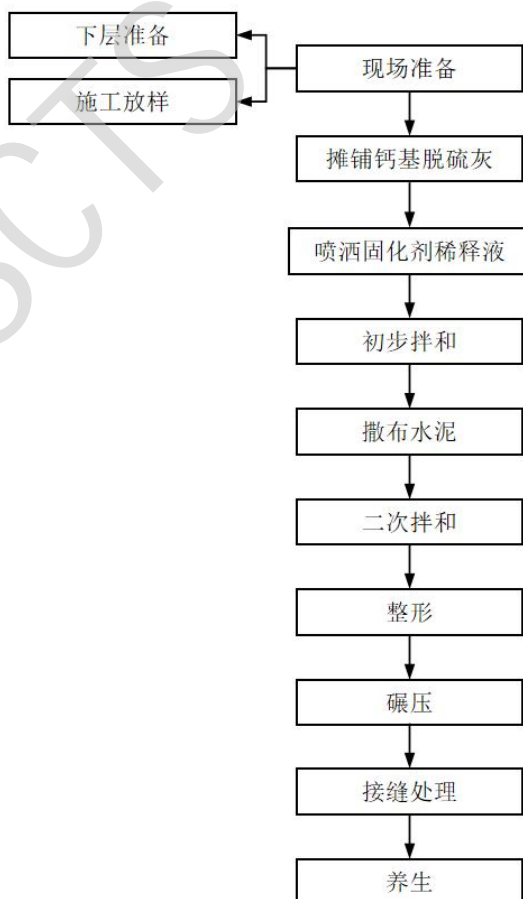


图 3 路拌法施工流程

6.5.2 施工准备

6.5.2.1 应符合 6.4.2.2、6.4.5.1 和 6.4.5.3 的规定。

6.5.2.2 将检验合格的钙基脱硫灰在摊铺水泥前运至施工路段进行摊铺。摊铺过程中，应将结块、超尺寸颗粒及其它杂物拣除。当结块较多时，应采用专用机械进行粉碎，无专用机械时，也可用旋转耕作机、圆盘耙等设备进行粉碎。

6.5.3 喷洒固化剂稀释液

6.5.3.1 配制固化剂稀释液应符合 6.4.2.3。

6.5.3.2 应喷洒固化剂稀释液，并通过试喷，检查压力洒水车液流的压力，并根据用量调整车速和流量。固化剂稀释液喷洒宜分两次进行，每次喷洒量为 50%。

6.5.4 初步拌和

6.5.4.1 采用路拌机或其它拌和机械沿路拌和，使固化剂稀释液和钙基脱硫灰充分混合。拌和次数不少于两遍，且应设专人随时检查拌和深度，拌和深度应达稳定层底并宜侵入下层不小于 5mm~10mm。

6.5.4.2 采用农用旋转耕作机与多铧犁或平地机相配合拌和时，拌和时间不可过长，拌和次数不少于 4 遍。

6.5.4.3 拌和层底部不准许留有未拌和部分。

6.5.5 撒布水泥

6.5.5.1 使用撒布机撒布水泥前，宜用振动压路机静压一遍，以满足水泥撒布机的运行条件。

6.5.5.2 人工撒布水泥时，按计算的每袋水泥摆放的纵横间距，在摊铺后的钙基脱硫灰层上做标记，并将当日施工用的水泥卸在做标记的地点，并检查有无遗漏和多余。用刮板将水泥均匀摊开，路段表面应没有空白位置，也没有水泥过分集中的区域，每袋水泥的摊铺面积应相等。

6.5.6 二次拌和

6.5.6.1 对摊铺水泥后的钙基脱硫灰进行二次拌和，拌和次数为 2 遍~3 遍。

6.5.6.2 拌和过程结束时，应及时检测含水率，含水率宜略大于最佳值。含水率不足时，宜用喷管式洒水车补充洒水。

6.5.6.3 拌和后的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰应色泽一致，没有灰条、灰团和花面现象。

6.5.7 整形

6.5.7.1 环氧高聚物稳定钙基脱硫灰拌和均匀后，应及时采用平地机进行初步整形。在初平的路段上，应用轮胎压路机快速碾压一遍。

6.5.7.2 初步整形前，对局部低洼处应用齿耙将其表层 50mm 以上的混合料耙松，并用新拌的混合料找平，再碾压一遍。

6.5.7.3 初步整形后，至少用平地机再整形一次，应将高出料直接刮出路外。

6.5.7.4 每次整形都应达到规定的坡度和路拱。完成整形后的固化土表面应无坑洼和鼓包、无薄层补贴现象。

6.5.7.5 采用人工整形时，应用锹和耙先将混合料摊平，用路拱板整形。用 6t~8t 两轮压路机初压 1 遍~2 遍后，应根据实测松铺系数，确定纵横断面高程，并设置标记和挂线。

6.5.8 碾压

6.5.8.1 应符合 6.4.6 的规定。

6.5.8.2 采用人工摊铺和整形的环氧高聚物稳定钙基脱硫灰，宜先用 6t~8t 两轮压路机或轮胎压路机碾压 1 遍~2 遍，再用重型压路机碾压。

6.5.9 接缝处理

6.5.9.1 应符合 6.4.7.1、6.4.7.3 和 6.4.7.4 的规定。

6.5.9.2 中断时间不超过 2h 时，前一段拌和整形后，留 5m~8m 不碾压，后一段施工时，在前一段的未压部分再加部分水泥重新拌和，并与后一段一起碾压。

6.5.10 养生

应符合 6.4.8 的规定。

7 质量控制

7.1 一般规定

基层、底基层施工结束后，应开展质量检查，合格后方可进行下一个工序。凡经检验不合格的部分，应进行整改。

7.2 施工质量控制

7.2.1 开工前及施工过程中，材料质量检查应符合表 7。

表 7 材料质量检查

序号	材料	检查项目	频度	质量标准
1	水泥	强度、初凝时间、终凝时间	每批次	满足本文件要求
2	固化剂	密度、固含量、改性水分散环氧基齐聚物含量、溶解性、稳定性、pH 值	每批次	
3	被稳定材料	含水率、液限、塑限、颗粒分析	每 1000m ³ 不少于 1 次	满足本文件要求
4	混合料	水泥掺量	每 2000m ² 1 次	不小于设计值-1.0%
5		固化剂掺量	每 2000m ² 1 次	不小于设计值
6		最大干密度	每 2000m ² 1 次	/
7		含水率	每 2000m ² 1 次	与最佳含水率绝对误差不大于 2%
8		7d 无侧限抗压强度 ^a	每 1000m ³ 1 次	不小于设计值
9		水稳定性	每次配合比试验	满足本文件要求
10		自修复性能	每次配合比试验	满足本文件要求
11		浸出毒性 ^{b,c}	每 1000m ³ 1 次	浸出液满足 GB/T 14848-2017 中 III 类地下水要求

^{a,b} 7d 无侧限抗压强度和浸出毒性检测采用施工现场取回的样本进行室内成型。
^c 浸出毒性检测方法应按照 GB 5085.3。

7.2.2 施工过程中应随时检查现场摊铺和碾压的质量，包括摊铺是否出现离析、压实机械是否满足要求、碾压组合和碾压次数是否合理等。

7.2.3 施工过程中的工程质量控制主要包括外形尺寸检查和压实度检查。外形尺寸检查的检查项目、频度和质量标准应符合 JTG/T F20-2015 中表 8.4.2，压实度检查应符合表 8。

表 8 压实度检查

检查项目		频度	质量标准	
			基层	底基层
压实度/%	标准值	每一评定段 6~10 处	≥94	≥93
	极限低值		≥90	≥89

附录 A

(规范性)

改性水分散环氧基齐聚物含量试验

A.1 改性水分散环氧基齐聚物提取

精确称取 10.0000g (精确到 0.0001g) 固化剂材料于 100ml 烧杯内 (记录质量为 m , 单位: g), 加入 25ml 甲苯溶剂, 用保鲜膜封口, 并用针扎几个小孔, 然后在 50°C 水浴条件下, 用超声波振荡器提取 30min, 静置分层后, 收集下层清液, 再次加入 25ml 去离子水, 超声波震荡提取 10min, 重复两次。将提取的高分子-甲苯溶液 80°C, 0.098MPa 条件下除去甲苯, 得到聚合物成分。重复提取三份。

A.2 改性水分散环氧基齐聚物含量测定

配制盐酸-丙酮溶液, 用移液管移取 150mL 丙酮溶液, 放入塞磨口锥形瓶中, 用新的移液管移取 1.2mL 盐酸倒入, 均匀混合, 现配现用。

在提取到的聚合物成分中, 用移液管准确加入盐酸-丙酮 20mL, 塞紧瓶口, 摇匀后, 放在 45°C 水浴中恒温静置 1 小时, 使其充分反应。

至少加 3 滴混合指示剂在已经溶解的试样中。在自动电位滴定仪中加入已准确标定浓度的氢氧化钠乙醇-水溶液 (浓度为 C , 单位: mol/L), 在不断搅拌的状态在滴定碱液, 直至刚好显现紫蓝色并保持颜色至少稳定 10s, 滴定结束, 记录数据 (V_1 , 单位: L)。

用 20mL 溶剂以相同方法进行空白测定。记录所滴定氢氧化钠乙醇-水溶液体积 (V_0 , 单位: L)。

A.3 计算方法

改性水分散环氧基齐聚物含量 W 按公式 (A.1) 计算。

$$W = \frac{(V_0 - V_1) \times C}{m} \times M \times 100 \quad (\text{A.1})$$

式中:

W —固化剂材料改性水分散环氧基齐聚物含量, 单位为百分比 (%);

V_0 —20ml 盐酸-丙酮溶液所消耗的 NaOH 的溶液体积, 单位为升 (L);

V_1 —固化剂材料改性水分散环氧基齐聚物所消耗的 NaOH 溶液的体积, 单位为升 (L);

C —NaOH 乙醇-水标准溶液的浓度, 单位为摩尔每升 (mol/L);

m —固化剂材料的质量, 单位为克 (g);

M —改性水分散环氧基齐聚物的摩尔质量, 单位为克每摩尔 (g/mol)。