

T/HBTS

团 体 标 准

T/HBTS XX-2026

工业废渣改良桥梁桩基钻渣应用技术规程

Technical specification for application of industrial waste residues
modified bridge pile drill cuttings
(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

湖北省公路学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 材料	3
5.1 一般规定	3
5.2 钻渣	3
5.3 工业废渣	3
5.4 固化剂	4
5.5 水	4
6 工业废渣环境风险评估	4
6.1 一般规定	4
6.2 环保检测与环境风险评估	4
7 配合比设计	5
7.1 一般规定	5
7.2 固化土路基填料性能要求	5
7.3 固化土配合比设计	5
8 施工准备	6
8.1 一般规定	6
8.2 材料准备	6
8.3 拌和基地	6
8.4 设备	7
8.5 路基基底处理	7
9 施工	7
9.1 一般规定	7
9.2 拌和	7
9.3 运输	9

9.4 摊铺 9

9.5 碾压 9

9.6 养护 9

9.7 检测 10

10 质量控制与验收 10

10.1 质量控制 10

10.2 验收 11

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。

本文件由中建三局集团有限公司提出。

本文件由湖北省公路学会归口。

本文件起草单位：中建三局集团有限公司、武汉工程大学。

本文件主要起草人：

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省公路学会，联系电话：027-83461637，邮箱：421378854@qq.com。对本文件的修改意见请反馈至武汉工程大学，联系电话：13407169249，邮箱：467798234@qq.com。

工业废渣改良桥梁桩基钻渣应用技术规程

1 范围

本文件规定了工业废渣改良桥梁桩基钻渣的材料、工业废渣环境风险评估、配合比设计、施工准备、施工、质量控制与验收等内容。

本文件适用于工业废渣改良公路桥梁桩基钻渣施工和质量检验，铁路桥梁、市政桥梁等可参照执行。

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 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
GB 18599	一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
GB/T 1596	用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 18046	用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 20491	用于水泥和混凝土中的钢渣粉
GB/T 37785	烟气脱硫石膏
GB/T 50123	土工试验方法标准
GB/T 50145	土的工程分类标准
CJ/T 486	土壤固化外加剂
JGJ 63	混凝土用水标准
JTG 3430	公路土工试验规程
JTG 3441	公路工程无机结合料稳定材料试验规程
JTG F80/1	公路工程质量检验评定标准
JTG/T 3610	公路路基施工技术规范
JTG/T F20	公路路面基层施工技术细则
T/HBTS 06	桥梁桩基钻渣固化土路基施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业废渣 industrial waste residue

工业生产过程中产生的固态废弃物，包括电力、冶金、建材、化工等行业产生的粉煤灰、矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏、电石渣等，经检测符合环保和工程性能要求的可再生利用材料。

3.2

桥梁桩基钻渣 bridge pile drill cuttings

桥梁桩基施工中岩土破碎与泥浆混合形成的复合型固体废弃物。

3.3

干化土 dewatered soil

将含水率较大的桥梁桩基钻渣（含废弃泥浆）通过机械处理或自然晾干处置后含水率达到规定要求的土。

3.4

固化剂 stabilizer

为降低钻渣的含水率，提升其强度、稳定性、耐久性而掺加的无机结合料，本文件中主要指石灰。

3.5

固化土 stabilized soil

干化土通过掺加固化剂或工业废渣，经拌料、闷料等工艺处理后可用于路基填筑的改良土。

3.6

路拌法 road mixing method

在路基施工现场，将钻渣、固化剂、工业废渣等材料就地拌和、闷料、摊铺、碾压成型的路基施工工艺。

3.7

简易厂拌法 simple plant mixing method

设置钢结构厂棚固化土集中拌和基地，对路基用土采用集中翻拌、闷料等工艺，制备固化土的施工方法。

3.8

厂拌法 plant mixing method

设置全封闭固化土集中拌和基地、配置厂拌生产线，对路基用土采用集中脱水、破碎和拌和等机械化工艺，制备固化土的施工方法。

3.9

砂化法 sanding treatment method

设置集中拌和基地、配置砂化处理生产线，在封闭空间内对钻渣进行破碎、搅拌、混炼一体化加工，制备砂状固化土的施工方法，无需前置拌料与闷料。

4 基本规定

- 4.1 应调查了解工程项目所在地及周边地区工业废渣的种类、来源、可供应量、成分、价格等，鼓励利用来源稳定、品质可靠的工业废渣与石灰复合改良桥梁桩基钻渣。
- 4.2 使用工业废渣改良桩基钻渣前，应根据工程要求、原材料特性，按本文件规定进行系统的配合比设计，并通过试验确定各项施工参数。
- 4.3 利用工业废渣改良桩基钻渣时，应建立完善的质量保证体系，制定质量管理制度，加强施工全过程的质量控制与检验。
- 4.4 应建立安全生产管理制度，制定安全生产技术与应急预案，严格执行安全操作规程，保障施工人员与设备的安全。
- 4.5 原材料储存、混合料制备、运输、摊铺、养护等全过程，应遵守国家环境保护法律法规，采取有效措施控制扬尘、废水、噪声及固体废弃物污染，做到文明施工。
- 4.6 代表性的工业废渣主要包括粉煤灰、矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏、电石渣等，当选用其他工业废渣或特殊固化剂时，其性能、掺量及改良效果应通过试验验证，并符合环保要求。

条文说明：利用工业废渣与石灰复合改良钻渣，能够实现固废资源化利用、降低工程造价以及增强改良效果。

代表性工业废渣粉煤灰、矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏、电石渣等，与石灰复合改良钻渣的作用机理可归纳为三类：粉煤灰、矿渣粉、钢渣粉等主要在石灰提供的碱性环境和钙源作用下，激发活性硅、铝组分，生成水化硅酸钙、水化铝酸钙等胶凝产物；脱硫石膏主要提供硫酸根，与体系中的活性铝组分及钙离子反应生成钙矾石等产物；电石渣的主要成分为氢氧化钙，可替代部分石灰改良钻渣，并提供碱性环境和钙源，促进其他工业废渣发挥活性。上述作用均有助于改善钻渣颗粒结构和孔隙状态，增强颗粒间胶结，提高改良钻渣的强度和稳定性。

- 4.7 当采用工业废渣与石灰复合改良钻渣时，掺加的工业废渣种类不宜多于 2 种。

条文说明：选用过多种类的工业废渣协同改良钻渣将显著增加配料、拌和及质量控制的复杂性，不利于施工现场的稳定操作和工程质量保证。

5 材料

5.1 一般规定

- 5.1.1 采用的桩基钻渣、工业废渣、固化剂、水等原材料，其技术性能应符合本文件及相关现行标准的规定。
- 5.1.2 原材料的采购、运输、储存与管理应符合国家环境保护、安全生产、消防及职业健康等相关规定。
- 5.1.3 所有原材料进场后，应按批次进行质量检验，检验合格后方可使用。
- 5.1.4 不同种类、规格和来源的原材料应分类堆放，标识清晰，并采取必要的防潮、防雨、防扬尘和防交叉污染措施。

5.2 钻渣

- 5.2.1 钻渣应符合下列要求：

- a) 不属于《国家危险废物名录》规定的危险废物；
- b) 干化土性质差别较大时，应按《土的工程分类标准》（GB/T 50145）要求进行分类；
- c) 按表 3 要求进行钻渣性质检测，严禁采用含有害物质的钻渣。

- 5.2.2 钻渣进场含水率应不超过40%。

5.3 工业废渣

5.3.1 粉煤灰

粉煤灰应符合《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》（GB/T 1596）中 II 级及以上等级的规定，烧失量不应大于 8%，需水量比不应大于 105%，含水率不应大于 1.0%；有害物质含量应符合相关标准规定。

5.3.2 矿渣粉

矿渣粉应符合《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》（GB/T 18046）中 S95 级及以上等级的规定，比表面积不应小于 350 m²/kg，活性指数（28 d）不应小于 95%，流动度比不应小于 95%。

5.3.3 钢渣粉

钢渣粉应符合《用于水泥和混凝土中的钢渣粉》（GB/T 20491）的规定。

5.3.4 脱硫石膏

脱硫石膏应符合《烟气脱硫石膏》（GB/T 37785）的规定，二水硫酸钙含量不应小于 85%，附着水含量不应大于 15%，pH 值宜为 5.0~9.0，不应含有影响使用性能的杂质。

5.3.5 电石渣

电石渣可参考《电石渣固化土道路路基工程应用技术规范》（T/CSER 002），且有效氧化钙含量（干基）不应小于 60%，湿电石渣含水率不应大于 40%。

5.4 固化剂

固化剂宜采用石灰，质量应符合《土壤固化外加剂》（CJ/T 486）的有关规定，并符合以下要求：

- a) 钙质生石灰的有效氧化钙加氧化镁含量，I 级不应低于 85%，II 级不应低于 80%，III 级不应低于 70%。
- b) 新鲜磨细生石灰可不经消解直接使用；对于储存较久或经过雨淋的消解石灰，应重新检测，当其有效氧化钙加氧化镁含量不低于 50%时方可使用。

5.5 水

固化土用水宜采用自来水；若采用清洁的地面水、地下水等其他水源，应符合《混凝土用水标准》（JGJ 63）的规定。

6 工业废渣环境风险评估

6.1 一般规定

6.1.1 应用工业废渣改良钻渣应遵守国家环境保护相关法律法规，将环境风险预防作为核心原则，确保在应用过程中不对周边土壤、地表水、地下水及大气环境造成污染。

6.1.2 在工程应用前，应针对工业废渣的材料特性开展环境风险评估，评估内容主要包括原材料环保检测与环境影响分析。

6.2 环保检测与环境风险评估

6.2.1 工业废渣放射性应符合《建筑材料放射性核素限量》（GB 6566）的规定。

6.2.2 工业废渣进场前,应提供由具备相应资质的检测机构出具的环保检测报告,重点包括铅、镉、汞、总铬、六价铬、砷等重金属以及无机有毒有害物质的浸出浓度,其浸出毒性指标应满足《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3)中规定的限值要求,确保不属于危险废物。

7 配合比设计

7.1 一般规定

7.1.1 应根据公路等级、钻渣性质、路基填筑部位,结合各类工业废渣特性,初步拟定石灰与工业废渣复合改良的掺配方案,兼顾技术、经济与环保要求,符合设计文件及相关规范要求。

7.1.2 固化土配合比应以质量比表示,石灰、工业废渣掺量以石灰、工业废渣质量占干钻渣质量的百分比表示,且需明确石灰与工业废渣的掺配比例。

7.1.3 配合比设计遵循“先室内试配、再现场验证、后工艺适配”原则,根据石灰与工业废渣的协同改良特性,控制固化土含水率、粒径及强度。

7.1.4 配合比设计及试验操作,应符合《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)、《公路土工试验规程》(JTG 3430)的相关规定。

7.2 固化土路基填料性能要求

7.2.1 采用厂拌法、砂化法加工时,固化土成品应拌和均匀,粒径符合配合比设计要求。

7.2.2 固化土填料的承载比(CBR)应符合《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610)的规定。

7.3 固化土配合比设计

7.3.1 配合比设计流程

先检测钻渣的基本性质指标并确认合格,再拟定石灰与工业废渣复合改良的掺配方案,经室内试配确定初步参数,再通过现场验证及填筑工艺适配,最终确定施工配合比。

7.3.2 钻渣基本性质检测

进行固化土配合比设计前,应对钻渣的含水率、液限、塑性指数、有机质含量及颗粒粒径等参数进行检测分析,并应符合表3的规定。

7.3.3 确定固化剂与工业废渣种类

钻渣检测合格后,应结合工程实际需求选择固化剂与工业废渣,宜优先采用石灰作固化剂。

7.3.4 初步计算石灰与工业废渣掺量

固化土应根据公路等级、钻渣性质、使用结构部位进行石灰与工业废渣室内掺量试配。不同结构部位的石灰与工业废渣掺量宜先按表1选取进行室内试配,并进行固化土最佳含水率、最大干密度、承载比(CBR)等室内试验,试验结果应满足路基填料设计要求。通过试配试验,初步确定固化土最佳配合比、石灰与工业废渣掺入量、固化土承载比(CBR)等。

表1 固化土试配石灰与工业废渣总掺量

结构部位	石灰与工业废渣总掺量(%)		
	高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路

路床	4~8	4~6	3~5
路堤	4~7	3~5	2~4
^a 生石灰掺量宜占总掺量的 50%~70%，具体比例应根据试验确定。			

7.3.5 试配和性能试验

根据室内试配试验初步确定的最佳配合比进行施工现场验证，若最佳含水率、最大干密度、承载比（CBR）符合设计要求，则明确目标配合比。

7.3.6 确定最佳配合比

根据现场验证的目标配合比进行填筑工艺验证，当填筑路基的压实度、弯沉检测结果符合表 5 要求时，确定最佳配合比。

8 施工准备

8.1 一般规定

8.1.1 施工前应进行施工调查及现场核对，并编制专项施工组织设计，明确施工程序、设备配置、质量控制要点、安全环保措施等。

8.1.2 应根据固化土路基施工规模，配置满足施工要求的人员与设备，并对施工人员进行岗位培训和技术、质量、安全及环保交底。

8.2 材料准备

8.2.1 材料抽检

材料抽检应符合下列要求：

- a) 钻渣的抽检应符合 10.1.1 的规定；
- b) 固化土抽检应符合 10.1.2 的规定；
- c) 石灰、工业废渣等原材料进场时，应提供对应批次的产品出厂质量合格证明文件及出厂检验报告，进场复验项目及指标应符合相应产品标准的规定，试验方法应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTG 3441）的规定。无对应试验方法的工业废渣，可按其产品标准规定的方法执行。

8.2.2 材料储存

- a) 不同来源的钻渣、干化泥浆等堆放存储应符合 8.3.3、8.3.4 的规定。
- b) 其他材料储存应符合下列要求：
 - 1) 不同生产商、品种、标号 and 不同生产日期的材料应分别堆放，不应混装；
 - 2) 石灰储存期宜小于 30 d。当石灰需要熟化时，运送到拌和场后应尽快进行熟化和陈伏，使储存期变成陈伏期；
 - 3) 工业废渣的贮存应符合《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB 18599）的规定，设置专用封闭堆场，采取防雨、防渗、防扬尘措施。

8.3 拌和基地

8.3.1 拌和基地宜设置在路基沿线，面积应与施工规模、进度相适应，占地面积不宜少于 8000 m²，

运距宜控制在 20 km 范围内。

8.3.2 厂拌法拌和作业区应全封闭，使固化土制备不受天气影响，能保持相对稳定的含水率，并避免翻拌闷料、粉碎和拌和过程中扬尘对环境的污染；简易厂拌法和砂化法作业区可半封闭。

8.3.3 厂拌法拌和基地应合理划分功能区，功能区应包括钻渣堆放区、闷料翻拌区、拌和区、成品料堆放区和其他区。

8.3.4 砂化法拌和基地应合理划分功能区，功能区应包括原材料收纳晾晒区、原料待处置暂存区、钻渣处理区、成品临时堆放区、成品装车区和其他区。

8.3.5 拌和基地应进行硬化，并应合理设置排水和污水处理系统。

8.4 设备

8.4.1 厂拌法拌和设备包括第一道预破碎设备、第二道破碎设备、输送带、振动筛、称重机、强制式拌和机、储料仓等，拌和机的产量应与工程规模相适应，输送带全程应采用封闭罩封闭，强制式拌和机应安装除尘炮机除尘。

8.4.2 砂化法拌和设备包括控制系统、固化剂储存与计量系统、給料系统、破碎混炼系统、出料输送系统等，产能应与工程规模相适应，出料输送系统宜配置防尘罩。

8.5 路基基底处理

8.5.1 路基基底处理按照《桥梁桩基钻渣固化土路基施工技术规范》（T/HBTS 06）的相关规定执行，并符合《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）的规定。

8.5.2 基底顶面应形成 2%~4%的排水横坡，以利于地表水的及时排出。

9 施工

9.1 一般规定

9.1.1 钻渣复合掺灰改良的拌和方法主要有路拌法、简易厂拌法、厂拌法、砂化法等，应根据工程规模、工期要求、工程造价及现场施工条件等，经技术经济比选后合理选用。

9.1.2 固化土宜采用厂拌法、砂化法集中制备，采用全封闭方式运输，并实现摊铺、碾压、检测与养护的连续作业，以保证施工质量与效率。

9.1.3 厂拌法、砂化法应采用计量装置进行石灰与工业废渣掺量控制。

9.1.4 固化土出料含水率应根据施工实际适当调整，使混合料运输、摊铺完成后碾压时处于最佳含水率。

9.1.5 固化土施工应提前考虑天气因素，避免雨天施工。

9.1.6 路基两侧应设置施工临时排水沟，加强施工排水。

9.1.7 施工前应铺筑试验路段，试验路段长度不宜小于 200 m，宜包括从路基基底第一层填筑起至路基顶标高止的全过程施工作业。

9.2 拌和

9.2.1 石灰与工业废渣复合改良钻渣的四种拌和方法的施工要点表2所示。

表 2 石灰与工业废渣复合改良钻渣拌和施工要点

拌和方式	施工要点	石灰与工业废渣掺加方法		备注
		石灰+粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏	石灰+电石渣	

拌和方式	施工要点	石灰与工业废渣掺加方法		备注
		石灰+粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏	石灰+电石渣	
路拌法	宜采用块状生石灰，翻拌 3 次、闷料约 7 d，配合筛分破碎斗或补充路拌 1~2 遍	第 1 次翻拌时掺加石灰，第 3 次翻拌时掺加废渣，第 7 d 左右摊铺；或摊铺固化土后撒布废渣再路拌	在第 1 次翻拌时掺加	前置闷料
简易厂拌法	宜采用块状生石灰，翻拌 3 次、闷料约 7 d，配合筛分破碎斗或粉土机，或补充路拌 1~2 遍	同路拌法	同路拌法	前置闷料
厂拌法	宜采用块状生石灰，翻拌 3 次、闷料 5 d~7 d	第 1 次翻拌时掺加石灰，固化土上生产线加工时掺加废渣，出料成品宜当日摊铺	第 1 次翻拌时掺加 ^a	前置闷料
砂化法	应采用粉状生石灰，成品应闷料 1 d~2 d	生石灰粉与废渣宜按比例均匀预混后在生产线上加工时掺加，也可从不同料仓分别同步掺加	不适用 ^b	后置闷料
^a 厂拌法上生产线加工时可第 2 次掺加其他工业废渣或粉状生石灰； ^b 普通压滤电石渣含水率约 30%，呈膏状，不适用于砂化法。				

9.2.2 路拌法

路拌法施工应符合下列规定：

- a) 钻渣运至施工现场后分段集中堆置，采用挖掘机按设计配合比掺加块状生石灰后打堆闷料。采用电石渣时，宜与块状生石灰同步掺加；
- b) 闷料约 7 d、翻拌 3 次，期间检测含水率变化，如遇降雨应覆盖防雨；
- c) 粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏等工业废渣宜在第 3 次翻拌时按设计配合比掺加，并翻拌均匀；
- d) 第 3 次翻拌后固化土含水率降至适合筛分破碎时，宜采用筛分破碎斗筛分破碎 1 遍，用以消除团块。否则，应补充路拌 1~2 遍；
- e) 当固化土含水率接近最佳含水率时应及时摊铺；
- f) 粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏等工业废渣也可在摊铺固化土后按比例均匀撒布，再用路面灰土拌和机路拌 1~2 遍；混合料应色泽一致、无明显灰条或灰团，并在最佳含水率时碾压成型。

9.2.3 简易厂拌法

简易厂拌法施工应符合下列规定：

- a) 钻渣运至拌和场后应晾晒风干，含水率降至约 30%时备用。采用挖掘机按设计配合比掺加块状生石灰后堆置闷料。采用电石渣时，宜与块状生石灰同步掺加；
- b) 闷料约 7 d、翻拌 3 次，期间检测含水率变化；
- c) 粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏等工业废渣宜在第 3 次翻拌时按设计配合比掺加，并翻拌均匀；
- d) 第 3 次翻拌后固化土含水率降至适合筛分破碎时，宜采用筛分破碎斗或粉土机筛分、破碎以消除团块。否则，应补充路拌 1~2 遍；
- e) 当固化土含水率接近最佳含水率时应及时摊铺；
- f) 粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏等工业废渣也可在摊铺固化土后按比例均匀撒布，拌

和施工方法与“路拌法”相同。

9.2.4 厂拌法

厂拌法施工应符合下列规定：

- a) 钻渣运至拌和场后应晾晒风干，含水率降至约 30%时备用，采用挖掘机按设计配合比掺加块状生石灰后堆置闷料。采用电石渣时，宜与块状生石灰同步掺加；
- b) 闷料 5 d~7 d、翻拌 3 次，期间检测含水率变化，当混合料含水率降至输送带可输送范围时进入厂拌法生产线加工；
- c) 厂拌法生产线包括“2 次破碎”与“第 2 次掺灰”，第 1 次破碎使混合料破碎为粒径为 20 mm~60 mm 的粗粒土，第 2 次破碎使混合料成为粒径为 5 mm~20 mm 的中粒土；粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏等工业废渣，或粉状生石灰，应在第 2 次掺灰时掺加；
- d) 拌和均匀的固化土经输送带出料后宜直接运至现场填筑，也可储存堆放，储存堆放时间和使用时限应通过试验确定。

9.2.5 砂化法

砂化法施工应符合下列规定：

- a) 钻渣运至拌和场后应晾晒风干，含水率降至约 30%时备用；
- b) 对石块、砖块、钢筋、木棒、超大团块及其他杂物，应在上料前清理达标或破碎处理，刚性物料粒径宜 ≤ 20 mm；
- c) 生石灰粉与粉煤灰或矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏等工业废渣，宜按比例均匀预混后在砂化法处理加工时掺加，也可从不同料仓分别同步掺加；
- d) 成品应颜色较均匀、颗粒较离散、呈松散砂状，无明显灰团、泥团或素土夹层；
- e) 加工后的成品应集中堆置闷料 1 d~2 d，经含水率、均匀性检测合格后方可用于填筑；堆放期间应采取防雨、防尘措施。

9.3 运输

9.3.1 固化土宜采用全封闭渣土车运输，装车前应先清理车厢，不应存有杂物；

9.3.2 运输车辆配置应匹配拌和、摊铺产能，并预留富余运力。

9.4 摊铺

9.4.1 固化土可采用人工摊铺、推土机联合平地机摊铺、摊铺机摊铺等方式。对采用厂拌法、砂化法制得的固化土，用于上路床填筑宜采用摊铺机摊铺。

9.4.2 路拌法、简易厂拌法未采用筛分破碎铲斗或粉土机时，摊铺时应采用路面灰土拌和机补充翻拌 1~2 遍。

9.4.3 后场拌和阶段未掺加设计所需的工业废渣时，应在摊铺固化土后按比例均匀撒布工业废渣，采用路面灰土拌和机翻拌均匀。

9.4.4 其他技术要求应符合《桥梁桩基钻渣固化土路基施工技术规范》（T/HBTS 06）的相关规定。

9.5 碾压

按《桥梁桩基钻渣固化土路基施工技术规范》（T/HBTS 06）的相关规定执行。

9.6 养护

按《桥梁桩基钻渣固化土路基施工技术规范》（T/HBTS 06）的相关规定执行。

9.7 检测

固化土施工中的质量检测项目、检测要求等应符合表4、表5和表6的规定。

10 质量控制与验收

10.1 质量控制

10.1.1 钻渣

- a) 钻渣分类应符合 5.2 的规定；
- b) 钻渣试验应采用综合多点法取样，并采用四分法做物理力学性能相关试验，其检测项目如表 3 所示。

表 3 钻渣检测项目

检测项目	允许范围	检验数量或频率 ^a	检验方法	检测标准、规程
有机质含量	≤5%	每批次 5000 m ³ 检验 1 次	重铬酸钾容量法	《土工试验方法标准》（GB/T 50123）
含水率	≤40%	每天使用前测 2 个样品	烘干法或酒精燃烧法	《公路土工试验规程》（JTG 3430）
最佳含水率	—	每种土使用前测 2 个样品，使用过程中每 2000 m ³ 测 2 个样品	击实试验	
最大干密度	—		击实试验	
液 限	≤50%		液塑限联合测定法	
塑性指数	≤26			
^a 单项工程量未达到检测要求的数量时，单项工程检测频率应不少于2 次。				

10.1.2 固化土

固化土检测应符合表 4 的规定。

表 4 固化土检测项目

检测项目	允许范围	检验数量或频率 ^a	检验方法	检测标准、规程
含水率	最佳含水率±2%	每天使用前测 2 个样品	烘干法或酒精燃烧法	《土工试验方法标准》（GB/T 50123）
CBR 值	不小于设计值	每 5000 m³ 抽检 1 组	承载比（CBR）试验	《公路土工试验规程》（JTG 3430）
颗粒分析 ^b	d≤20 mm 且 d>15 mm 土颗粒应小于 5%	固化土使用前测 2 个样品，使用过程中每 2000 m³ 测 2 个样品	筛分法	《公路土工试验规程》（JTG 3430）
^a 单项工程量未达到检测要求的数量时，单项工程检测频率不应少于 2 次； ^b 适用于厂拌法与砂化法。				

10.1.3 计量和抽检

计量和抽检应满足以下要求：

- a) 采用工业废渣与石灰组成的复合固化剂时，核查石灰、工业废渣的掺量宜采用施工、监理双方现场共同计量、记录并签认《现场计量确认单》，结合施工日志、监理日志、材料进场凭证、设备运行记录等全过程资料核定材料实际消耗量。所有记录应完整、连续，并经监理审核确认。

条文说明：常规 EDTA 滴定法依据游离钙离子含量测定石灰掺量，体系内掺入粉煤灰、矿渣粉等工业废渣后，废渣含结合态钙组分，且固化水化反应会改变体系钙形态，无法区分钙质来源，导致该方法不能准确测定石灰掺量。目前可区分钙质来源或规避钙干扰的检测手段包括：钙质组化化学分析、物理参数间接推算、X 射线衍射（XRD）定量分析、热重分析（TGA）等。上述方法普遍操作流程复杂，需配套专业仪器、标准试样与专业技术人员，同时依赖原材料精确化学成分参数，检测周期长，不适用于工程现场常态化快速检测。无侧限抗压强度受土质、含水率、压实度、养护条件等多重因素影响，仅可作为辅助定性参考，无法定量反推固化材料掺量。基于此，规定优先采用现场全过程计量方式管控固化剂实际掺量。

- b) 拌和后的固化土应留检验批，每 400 m³ 取样不少于 1 次，做好相关记录存档工作。

10.2 验收

10.2.1 固化土路基主控项目包括压实度和弯沉值，检查方法和频率应符合表 5 的规定。

表 5 固化土路基主控项目要求

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	压实度 (%)	大于或等于设计要求	密度法：每 200 m 每压实层测 2 处
2	弯沉 (0.01 mm)	不大于设计弯沉值	①贝克曼梁测量：测路基顶面，双车道评定路段测 80~100 点； ②落锤式弯沉仪 (FWD)：同一高度，同一测试点进行连续 40 次重复弯沉测试。

10.2.2 固化土路基实测项目还包括纵断高程、中线偏位、宽度、平整度等，按《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610) 规定的检测数量和检测方法执行，检测结果符合表 6 的规定。

表 6 固化土路基检查要求

序号	检查项目	允许偏差			检查方法或频率
		高速公路、一级公路	二级公路	三、四级公路	
1	纵断高程 (mm)	+10, -15	+10, -20	+10, -20	水准仪：每 200 m 测 2 点
2	中线偏位 (mm)	50	100	100	全站仪：每 200 m 测 2 点，弯道加 HY、YH 两点
3	宽度	不小于设计值	不小于设计值	不小于设计值	尺量：每 200 m 测 4 处
4	平整度 (mm)	15	20	20	3 m 直尺：每 200 m 测 2 处×5 尺

5	横坡 (%)	± 0.3	± 0.5	± 0.5	水准仪：每200 m 测2个断面
6	边坡坡度	不陡于设计坡度	不陡于设计坡度	不陡于设计坡度	尺量：每200 m 抽查4处

10.2.3 外观鉴定：路床应平整、坚实，无显著轮迹、翻浆、波浪、起皮等现象，路基边坡应密实、稳定、平顺等。
