

附件 2

《工业废渣改良桥梁桩基钻渣应用技术规程》 编制说明

起草单位：中建三局集团有限公司，武汉工程大学

1.项目现状及编制或修订目的和意义

在公路建设过程中，常常面临着两大痛点问题，一是路基填料匮乏，二是桥梁桩基施工排出的大量钻渣、泥浆难以处置消纳。通过前期研究和工程应用表明，采用石灰对钻渣进行改良后用于路基填筑，效果良好，既为钻渣利用提供了途径，同时又减少了开山采石对环境的破坏。然而，单一石灰改良可能存在成本较高、适应性不足等问题。同时我国粉煤灰、矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏、电石渣等工业废渣堆存量巨大，引发系列环境问题且造成资源浪费。针对此，本“标准”编制单位开展专题研究，通过室内试验表明，采用工业废渣与石灰复合改良桩基钻渣，可实现多组分协同增效，大幅提升钻渣路用性能，同时实现钻渣与工业废渣的双重资源化利用。改良后钻渣满足路基填筑要求，为解决上述工程与环境问题提供了创新性的解决方案。

工业废渣改良桩基钻渣用于路基填筑，对工业废渣选用、复合配合比设计、施工工艺及质量控制等有特殊要求和规定，无法套用《公路路基设计规范》（JTG D30-2015）、《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610）、《道路固化土应用技术规程》（T/CECS 737）等现行标准。因此，为规范和指导工业废渣改良桩基钻渣的工程应用，确保工程质量和施工安全，并推动资源循环利用、践行绿色建设理念，拟编制《工业废渣改良桥梁桩基钻渣应用技术规程》。

编制本规程的意义如下：

（1）破解道路行业技术难题，推动行业技术进步。既为粉煤灰、矿渣粉、钢渣粉、脱硫石膏、电石渣等工业废渣的资源化利用提供了新路径，同时又促进了改良后钻渣综合品质的提升。

（2）经济效益明显。本研究节约了工业废渣无害化处理成本，大幅降低材料采购与运输开支。此外，石灰与工业废渣复合改良后的钻渣稳定性强、承载力

高，以此填筑的路基病害少、后期养护成本低，综合经济效益明显。

(3) 社会及环保价值较大。本研究实现桩基钻渣与工业废渣的“变废为宝”，既减少了固体废弃物堆存对土地资源的占用和生态环境的污染，又降低了传统路基填料开采对自然资源的破坏，助力了绿色低碳发展，社会与环保意义深远。

2.确定标准的主要内容或技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法等依据和理由

本标准共十章，分别为范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、材料、工业废渣环境风险评估、配合比设计、施工准备、施工、质量控制和验收。主要内容如下：

- 1 范围——说明了本标准编制的内容及适用范围。
- 2 规范性引用文件——说明了本标准编制的主要引用文件。
- 3 术语和定义——明确了适用于本标准的术语和定义。
- 4 基本规定——对钻渣改良填筑路基的质量、安全、施工等作出基本规定。
 - 5.1 一般规定——规定了对桥梁桩基钻渣、工业废渣、固化剂和水等材料的要求。
 - 5.2 钻渣——规定了对钻渣的要求。
 - 5.3 工业废渣——规定了对各类工业废渣的要求。
 - 5.4 固化剂——规定了对石灰为主的固化剂的要求。
 - 5.5 水——规定了对水的要求。
 - 6.1 一般规定——规定了工业废渣应用的环境管理基本要求。
 - 6.2 工业废渣环境风险评估——明确了工业废渣进场前环保检测与风险控制要求。
 - 7.1 一般规定——规定了配合比设计原则。
 - 7.2 固化土路基填料性能要求——规定了混合料的性能要求。
 - 7.3 固化土配合比设计——明确了配合比设计的方法。
 - 8.1 一般规定——规定了施工准备的基本要求。
 - 8.2 材料准备——从材料抽检、材料储存等方面作出基本规定。
 - 8.3 拌和基地——规定了对拌和基地的相关要求。
 - 8.4 设备——规定了对固化土施工设备的要求。

- 8.5 路基基底处理——明确了施工前对路基处理的要求。
- 9.1 一般规定——规定了固化土施工的基本要求。
- 9.2 拌和——明确了路拌法、简易厂拌法、厂拌法、砂化法的要求。
- 9.3 运输——规定了对固化土运输的要求。
- 9.4 摊铺——从准备工作、摊铺方法等方面作出规定。
- 9.5 碾压——规定了对固化土碾压的要求。
- 9.6 养护——对固化土养护作出规定。
- 9.7 检测——规定了固化土施工中的质量检测项目与检测要求。
- 10.1 质量控制——从土源、固化土、运输和储存等方面作出规定。
- 10.2 验收——规定了固化土路基验收的项目与要求。

3.主要试验、验证结果

(以石灰-粉煤灰复合改良桥梁桩基钻渣为例)

3.1 击实试验结果

对钻渣掺灰改良后进行重型击实试验，得到最大干密度及最佳含水率。不同石灰与粉煤灰掺量改良钻渣的最大干密度及最佳含水率如表 1 所示。

表 1 不同固化剂掺量改良钻渣的最大干密度及最佳含水率

掺灰量	最佳含水率（%）	最大干密度（g/cm³）
3%石灰+2%粉煤灰	13.77	2.11
3%石灰+3%粉煤灰	14.07	2.07
3%石灰+4%粉煤灰	15.12	2.09
3%石灰+5%粉煤灰	16.02	2.04
4%石灰+2%粉煤灰	13.51	2.08
4%石灰+3%粉煤灰	14.34	2.05
4%石灰+4%粉煤灰	14.75	2.04
4%石灰+5%粉煤灰	15.62	2.02

根据表 1 数据，固定石灰掺量条件下，随着粉煤灰掺量的增加，改良钻渣的最佳含水率逐步升高，最大干密度总体呈下降趋势。可见，复掺粉煤灰可有效提升钻渣的持水能力，且在试验掺量范围内，最大干密度未出现急剧下降，表明石灰与粉煤灰复掺可兼顾含水率调节与密度控制。

3.2 承载比（CBR）试验结果

通过承载比试验测得不同配比的 CBR 值，将试验结果与《公路路基施工技术规范》（JTG/T 3610-2019）中对路基不同层位的 CBR 值进行比较，可以有针

对性进行复合掺灰改良。控制含水率处于最佳条件下对改良钻渣进行制样，养护 96 h 后测试承载比，试验结果如图 2 所示，不同石灰掺量下试样 CBR 值如表 2 所示。

表 2 承载比（CBR）试验结果

序号	击实次数	30	50	98
1	3%生石灰+2%粉煤灰	4.3	5.2	7.3
2	3%生石灰+3%粉煤灰	3.9	5.3	7.6
3	3%生石灰+4%粉煤灰	4.6	5.9	8.1
4	3%生石灰+5%粉煤灰	5.3	6.5	8.4
5	4%生石灰+2%粉煤灰	7.8	8.6	11.8
6	4%生石灰+3%粉煤灰	9.1	11.9	15.1
7	4%生石灰+4%粉煤灰	8.9	10.9	14.6
8	4%生石灰+5%粉煤灰	8.4	10.3	14.3

根据表 2 可知，随着掺灰量增加 CBR 值也随之增大，当生石灰掺量从 3% 提升到 4%时 CBR 值大幅上升，当掺灰量为 4%生石灰+3%粉煤灰时 CBR 值达到最大。表 2 中第 5~8 组钻渣经过复合掺灰改良后 CBR 值显著大于 8，根据《公路路基施工技术规范》（JTG 3610T-2019）对路基填料的要求可知，上述掺配组的改良钻渣可用于各级公路的路基填筑。

3.3 无侧限抗压强度试验结果分析

无侧限抗压强度是无机结合料稳定类材料的重要力学指标，可用于评价钻渣复合掺灰改良后的力学性能。无侧限抗压强度与试件含水率、养护时间有关。在最佳含水率条件下制备试件并在标准养护箱中养护 7 天、14 天和 28 天，再测定无侧限抗压强度，结果见表 3。改良钻渣的无侧限抗压强度变化规律如图 1、图 2 所示。

表 3 无侧限抗压强度试验结果（MPa）

序号	试样	7d	14d	28d
1	0%生石灰+0%粉煤灰	0.29	0.48	0.63
2	3%生石灰+2%粉煤灰	1.03	1.22	1.56
3	3%生石灰+3%粉煤灰	1.09	1.30	1.65
4	3%生石灰+4%粉煤灰	1.17	1.37	1.69
5	3%生石灰+5%粉煤灰	1.21	1.44	1.78
6	4%生石灰+2%粉煤灰	1.12	1.33	1.86
7	4%生石灰+3%粉煤灰	1.27	1.56	2.06
8	4%生石灰+4%粉煤灰	1.12	1.49	1.95
9	4%生石灰+5%粉煤灰	1.18	1.55	1.99

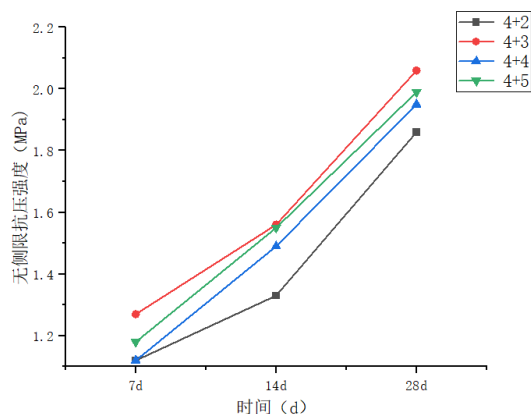
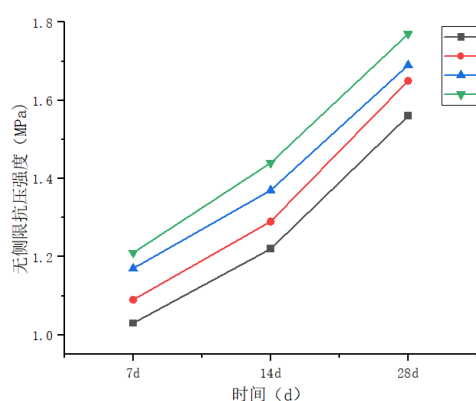


图 1 3%生石灰+2%~5%粉煤灰抗压强度 图 2 4%生石灰+2%~5%粉煤灰抗压强度

根据表 3 可知，钻渣经过复合掺灰改良后强度显著提升，28 d 无侧限抗压强度均大于 1.5 MPa，远大于 28 天无侧限抗压强度不低于 0.2MPa 的经验值。未改良钻渣风干 28 d 后抗压强度为 0.63 MPa，复合掺灰改良后抗压强度最小提升 2.47 倍，最大提升 3.27 倍，为 4%生石灰+3%粉煤灰复合掺灰改良试样，28 d 无侧限抗压强度达到最高值 2.06 MPa。

以上试验结果表明：用工业废渣取代部分生石灰是可行的，在满足路用性能要求的同时，可降低工程成本，同时实现钻渣与工业废渣的协同资源化利用。

4.其它(包括采用国际标准；国内外标准水平对比分析；参考资料；存在问题与措施；调查研究统计数据；主要试验；验证原始记录；分析或综述报告；例行试验报告等。若页面不够，可另作附页)

4.1 本标准未采用国际标准。

4.2 国内外标准水平对比分析

本标准对工业废渣改良桥梁桩基钻渣用于路基填筑的材料要求、工业废渣环境管理、配合比设计、施工准备、施工及质量控制与验收等作出了系统规定。与国内外相关标准关系分析如下：

(1) 《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)

该规范统一了公路路基设计的技术标准，对一般路基、路基排水、路基防护与支挡、路基拓宽改建及特殊路基等的设计作了规定，适用于各级新建和改扩建公路的路基设计。该规范可作为本标准开展路基工程应用的重要依据，但未针对工业废渣改良桥梁桩基钻渣这一特殊复合填料的材料特性、适用条件及设计控制

要求作出专门规定。

(2) 《公路路基施工技术规范》(JTG/T 3610-2019)

该规范涵盖了路基施工从施工准备到验收的全过程,包括施工准备、一般路基、路基排水工程、路基防护与支挡、特殊路基、路基施工安全与验收,适用于各级新建和改扩建公路的路基施工。该规范为本标准中的路基填筑、压实、排水及验收等内容提供了通用依据,但主要针对常规路基填料施工,未涉及桥梁桩基钻渣预处理、工业废渣环境风险评估、石灰与工业废渣复合改良、不同拌和工艺适配等专项内容。

(3) 《公路路面基层施工技术细则》(JTG/T F20-2015)

该细则对公路路面基层混合料的组成设计、生产、摊铺、碾压和养生等作出了规定,其无机结合料计算方法、厂拌与运输、摊铺碾压及施工质量控制要求,可为本标准相关内容提供参考。但二者适用对象和技术重点存在明显差异:一是该细则主要适用于路面基层工程,而本标准适用于路基填筑;二是本标准涉及钻渣闷料、翻拌及砂化处理等专门工艺,该细则未作规定。

(4) 《道路固化土应用技术规程》(T/CECS 737-2020)

该规程明确了固化土应用于道路工程的技术要求,内容包括原材料、固化土与混合料、设计、施工、质量控制与验收,适用于各等级公路和城镇道路的固化土基层、底基层、垫层等,可为本标准编制提供参考。但该规程主要针对“常规土壤—固化剂”的改良体系,而本标准针对的是“桥梁桩基钻渣—工业废渣—固化剂”的复合改良体系;同时,该规程主要适用于道路基层、底基层和垫层,本标准则重点面向路基填筑,二者在处理对象和应用场景上均有不同。

(5) 《公路工程工业废渣复合再生材料稳定土施工技术规范》(DB41/T 1961-2024)

该规程明确了工业废渣复合再生材料稳定土的全流程应用要求,涵盖通用工业废渣与土壤的复合配比设计、集中厂拌、摊铺碾压及质量检测等内容,能够满足公路工程基层、底基层等场景的承载与稳定需求。但该规程主要面向通用稳定土,技术重点在于工业废渣与一般土体的适配及施工控制,未涉及桥梁桩基钻渣脱水、破碎、筛分等预处理要求,也未结合石灰与工业废渣复合改良钻渣的特点

提出针对性的配合比设计和施工控制内容。相比之下，本标准对桥梁桩基钻渣资源化利用的针对性更强。

(6) 《再生细骨料与工业废渣改良土填筑公路路基技术规程》(T/JSJTQX 45-2023)

该规程明确了再生细骨料与工业废渣协同改良土用于公路路基填筑的技术要求，涵盖材料性能、配合比设计、拌和摊铺、压实养生及质量检测等内容，对固废改良土路基填筑具有一定借鉴意义。但该规程主要针对普通路基土与再生细骨料的改良体系，未针对桥梁桩基钻渣高含水率、成分复杂及颗粒级配不均等特点提出专门要求，也未涉及钻渣预处理及多种拌和工艺选择等内容。本标准则围绕桥梁桩基钻渣的资源化利用建立了更具专用性的技术体系。

(7) 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG 3441-2024)

该规程明确了公路工程无机结合料稳定材料的试验方法体系，对含水率、击实、强度及耐久性等试验方法作出了统一规定，可为本标准配合比设计、施工控制和质量验收提供试验依据。但该规程主要规定试验方法，不涉及桥梁桩基钻渣的材料预处理、工业废渣环境风险评估、复合配合比设计流程及现场施工工艺。本标准在采用相关试验方法的基础上，进一步形成了适用于工业废渣改良桥梁桩基钻渣的成套应用技术要求。

(8) 《全固废胶凝材料道路工程应用技术规范》(DB64/T 2004-2024)

该规程明确了以矿渣粉、粉煤灰、钢渣粉等固废制备的全固废胶凝材料在公路路基、路面基层等工程中的原材料、配合比设计、施工及质量管控要求，实现了固废胶凝材料的标准化应用。但该标准主要围绕全固废胶凝材料本身的制备与应用提出通用要求，未针对桥梁桩基钻渣高含水率、岩土与泥浆混合等特性设置专项预处理工艺，也未明确工业废渣与石灰复合改良钻渣的应用要求。本标准则结合桥梁桩基钻渣特点，对工业废渣种类选择、环境管理、复合改良及施工工艺进行了针对性规定。

4.3 参考资料

- [1] 刘泽, 李长利, 廖鹏, 等. 桩基泥浆固化土工程特性试验研究与路用可行性分析[J]. 湖南交通科技, 2021, 47(2): 70-73.
- [2] 曾亚平. 工业废渣改良水泥土配合比设计及耐久性分析[J]. 路基工程, 2024,

(6): 100-106.

- [3] 张鲲鹏, 丁北斗, 张宁, 等. 基于工业固废的粉土改良路用性能及固土机理研究[J]. 公路, 2025, 70(8): 9-19.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. 公路土工试验规程: JTG 3430-2020[S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [5] 丁飞鹏. 钻孔灌注桩泥浆固化处理以及在路基填筑中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [6] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基路面现场测试规程: JTG 3450-2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [7] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基设计规范: JTG D30-2015 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [8] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基施工技术规范: JTG/T 3610-2019 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 公路路面基层施工技术细则: JTG/T F20-2015 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [10] 中国工程建设标准化协会. 道路固化土应用技术规程: T/CECS 737-2020 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.
- [11] 河南省市场监督管理局. 公路工程工业废渣复合再生材料稳定土施工技术规范: DB41/T 1961-2024 [S]. 郑州: 河南省市场监督管理局, 2024.
- [12] 江苏省交通企业协会. 再生细骨料与工业废渣改良土填筑公路路基技术规范: T/JSJTQX 45-2023 [S]. 南京: 江苏省交通企业协会, 2023.
- [13] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程: JTG 3441-2024 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2024.
- [14] 宁夏回族自治区市场监督管理局. 全固废胶凝材料道路工程应用技术规范: DB64/T 2004-2024 [S]. 银川: 宁夏回族自治区市场监督管理局, 2024.
- [15] 盐城市市场监督管理局. 公路工程工业废渣及海泥复合再生材料稳定土施工技术规范: DB3209/T 1290-2024 [S]. 盐城: 盐城市市场监督管理局, 2024.
- [16] 浙江省交通运输厅. 浙江省交通建设指南: 固化土路堤施工技术指南: ZJ/ZN 2022-07[S]. 2022.

5.重大意见分歧的处理（包括处理过程、依据和结果。）

无。

6.标准编制过程

（1）项目立项阶段

标准工作组针对钻渣掺灰改良利用的实际需求，调研钻渣与工业废渣应用现状、工程痛点与标准缺口，收集国内外相关规范与工程案例，结合中建三局集团有限公司与武汉工程大学技术积累，确定规程编制原则、框架与核心内容，形成标准草案，向湖北省公路学会提交立项申请。

（2）项目申报阶段

2026年8月19日，湖北省公路学会召开了本标准立项评审会。标准立项评审会上，专家组听取立项汇报，对标准必要性、适用范围、技术指标、创新性等进行质询与讨论，一致同意立项。湖北省公路学会发布《工业废渣改良桥梁桩基钻渣应用技术规程》团体标准立项公告。

（3）标准征求意见阶段

起草组开展原材料试验、配合比优化、施工工艺验证与专家研讨，广泛征求施工企业、科研院所、检测机构、行业协会意见，对性能指标、检验方法、施工要求等逐条完善，确保技术先进、安全可靠、工程适用，形成征求意见稿。

7.主要起草人（专家组）信息（包括姓名、单位、职务、专业、在制定团标方面开展了哪些工作等）

主要起草人员名单

序号	姓名	工作单位	职称/职务	专业	主要工作
1	黄华	中建三局第二建设工程有限责任公司	高级工程师	路桥	统筹编制，总体协调
2	胡国祥	武汉工程大学	教授	路桥	技术负责，起草文稿
3	金奇	中建三局第二建设工程有限责任公司	高级工程师	路桥	标准的总体框架设计
4	肖盼	中建三局第二建设工程有限责任公司	高级工程师	路桥	标准的总体框架设计
5	郭伟超	中建三局第二建设工程有限责任公司	高级工程师	土木	统筹编制，总体协调

6	章恒	中建三局第二建设工程有限责任公司	执行总经理	管理学	统筹编制，总体协调
7	徐雄	武汉工程大学	副教授	材料	起草标准的“术语和定义”部分
8	陈曦	武汉工程大学	研究生	路桥	收集资料、起草文稿