

江苏省综合交通运输学会团体标准 《固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工技术要求》 编制说明

一、背景、目的意义和作用

2024年1月11日,《中共中央、国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》首次把“加快‘无废城市’建设”纳入美丽中国考核体系,明确交通、港口等基础设施“优先利用工业固废替代天然资源”。此前,《2030年前碳达峰行动方案》(国发〔2021〕23号)已要求“推动水泥错峰生产、鼓励低碳胶凝材料研发应用”,并将“交通基础设施绿色升级”列为十大专项行动。传统水泥搅拌桩单位碳排放量大,已无法满足《绿色交通“十四五”发展规划》提出的减污降碳指标,替代型胶凝材料及其配套标准亟待出台。

围绕国家“碳达峰、碳中和”和“无废城市”建设总体目标,紧扣江苏经济社会绿色低碳转型发展的科技创新需求,针对传统水泥、石灰等土体硬化剂在省内高含水量淤泥质黏土中存在的“加固强度低、施工效率差、碳排放高、造价昂贵”等突出问题,同时面对粉煤灰、矿渣、脱硫石膏等一般工业固废“来源复杂、产生量大、处置困难”的现实矛盾,亟需制定覆盖“原材料评价-配合比设计-施工控制-质量验收”全链条的《固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工技术要求》,打通多源固废规模化、高值化、工程化应用的“最后一公里”,形成可复制、可推广的江苏样板。

江苏是水运大省,也是水运强省,内河航道总里程达2.4万

公里,《加快打造更具特色的“水运江苏”三年行动计划(2024-2026年)》和《江苏省干线航道网规划(2017-2035年)》提出:到2026年,全省将新增33个沿海10万吨级及以上泊位、149个沿江5万吨级及以上泊位,千吨级干线航道网达4010公里,港口、航道、码头等基础设施建设规模位居全国前列。然而,江苏地处长江、淮河下游,湖荡密布,海相、湖相软土广泛分布,天然含水量普遍超过50%,孔隙比大、强度低、灵敏度高,传统水泥、石灰硬化剂在这种高含水量饱和淤泥质黏土中易发生“稀释-团聚”现象,28天无侧限强度往往低于0.8MPa,无法满足港口码头高承载、低工后沉降的设计要求;且水泥生产能耗高、碳排放量大,与交通强国“绿色交通”考核指标背道而驰。

江苏沿海港口建设需大面积软基加固,搅拌桩是最常用的深层处理工法,仍以水泥为主要胶凝材料。但海相淤泥成分复杂、均匀性差,水泥固化效果有限,且价格高、碳排大,日益严峻的环保约束使传统水泥路线难以为继。以粉煤灰、矿粉、工业石膏等固废制备的低碳胶凝材料,强度增长稳定、和易性好、成本低廉,可100%替代水泥,单位碳排放可降低30%以上,既满足地基加固要求,又契合“无废港口”“无废城市”建设和国家“双碳”战略。

以粉煤灰、高炉矿渣、钢渣、脱硫石膏等工业固废为主料制备的低碳胶凝材料,具有“火山灰-硫铝酸盐”复合水化特性,微膨胀、低水化热、抗硫酸盐侵蚀能力强,在高含水量软土中可形成更多低碱度C-A-S-H凝胶和钙矾石晶体,28天强度提高30%~

50%，材料成本下降 15%~20%，堪称“以废治废、绿色加固”的核心利器。然而，目前国内尚无针对固废基低碳胶凝材料在搅拌桩中应用的专用技术标准，现有《水运工程质量检验标准》（JTS 257-2008）和《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）均以普通硅酸盐水泥为唯一胶结物，缺乏固废活性指数、流动度保持时间、强度龄期折算、碳排放因子等关键参数，导致设计单位“无参数可依”、施工单位“无工艺可循”、监理单位“无条款可检”、建设单位“无依据可验”，严重制约了固废基低碳胶凝材料的大规模推广应用。

因此，编制《固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工技术要求》，建立统一的技术语言和质量标尺，可为江苏省乃至全国港口、航道、市政等软基处理工程提供科学、规范、低碳、经济的一体化解决方案，助力“水运江苏”绿色升级，支撑江苏由水运大省向水运强省跨越，为全国“无废城市”和“双碳”目标贡献江苏经验。

交通运输部《公路水运工程应用工业固废管理办法（试行）》（交办规划〔2022〕21号）率先打开粉煤灰、矿渣微粉等固废规模化利用通道，但设计、施工、验收标准的缺失成为“最后一公里”瓶颈。江苏省《加快打造更具特色的“水运江苏”三年行动计划（2024—2026年）》进一步将“固废规模化利用”写入绿色港口创建指标，并把“制定一批地方（团体）标准”列为政策工具，本标准正是直接响应。

二、编制过程

本文件按 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》规定编制。编制组主要人员多年从事港口堆场软基处理工作，对相关行业特征特性比较了解。本文件的编制主要经历了以下的几个过程：

1. 前期预研（2024.08~2025.02）

围绕文献资料、法律法规、标准规范等方面开展全面检索与梳理分析，充分掌握了固废基低碳胶凝材料资源化利用的发展趋势及相关政策导向；同时依托连云港区旗台作业区南区混矿堆场一期工程、盐城内河港滨海港区界牌内河码头一期工程等项目开展低碳胶凝材料搅拌桩试桩施工，总结其技术参数与操作要点，验证了固废基低碳胶凝材料搅拌桩应用的可行性，为本标准的编制奠定了坚实的技术和经验基础。

2. 成立编制组（2025.03）

2025年3月起启动团体标准制定工作，组建了由江苏筑港建设集团有限公司、南京工业大学、连云港新晟港码头有限公司、连云港港口工程设计研究院有限公司、中交第三航务工程勘察设计院有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司等参与的标准制定工作小组，负责标准的调研、起草、编制和修改。

3. 标准起草（2025.04~2025.09）

（1）2025年4月，编制组初步确立了标准框架，经组内多次研讨，完善了框架内容并初步确立了标准要素。本稿确立的标准内容包括“1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 固废基低碳胶凝材料技术要求、5 固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工、6 检

验与验收”，初步确定标准名称为《固废基低碳胶凝材料搅拌桩应用技术规程》。

(2) 2025 年 5 月~9 月，编制组多次前往连云港区旗台作业区南区混矿堆场一期工程针对低碳胶凝材料搅拌桩施工展开调研工作。编制组深入施工一线，参与了低碳胶凝材料搅拌桩施工参数优化以及数据收集工作。编制组通过专家意见征求结合现场调研结果，对标准进行持续修改完善，形成标准《固废基低碳胶凝材料搅拌桩应用技术规程》工作组讨论稿。

4. 标准立项（2025. 10）

2025 年 10 月，编制组前往江苏省综合交通运输学会参加标准立项审查会议。经专家指导，标准名称改为《固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工技术要求》并批准立项。10 月 27 日，学会发布《江苏省综合交通运输学会关于〈固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工技术要求〉等 2 项团体标准立项的公告》。

5. 预审稿编制（2025. 11）

编制组按照专家意见及工作计划对标准内容进行修改完善，章节调整为“1 范围、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 技术要求、5 施工要求、6 检验预验收、7 质量评定、8 不合格桩处理”并形成标准预审稿。

6. 标准初审审查会（2025. 12）

2025 年 12 月 19 日下午，江苏省江综合交通运输学会港航分会在南京组织召开了《一般煤电固废基固化土回填应用技术要求》初审审查会，与会专家听取了编制组对标准编制情况的汇报，审

阅了相关资料，对标准内容进行了认真讨论和审议，并对标准提出修改建议：目次第4章~第8章调整为“4 基本规定、5 材料、6 施工、7 质量检验”，“8 不合格桩处理”内容并入相关章节；进一步符合规范性引用文件的合理性、必要性；按照《水运工程质量检验标准》（JTS 257-2008）的相关章节要求修改“7 质量检验”的内容。同时编制组根据与会专家和代表提出的其他意见，进一步完善“标准”，并展开征求意见工作。

7. 征求意见（2026.1~2026.2）

对征求意见稿和编制说明展开定向和公开征求意见。

三、与现有相关标准的关系

本文件符合相关法律法规要求，不违反相关法律法规及强制性标准，不存在国家标准、行业标准与该标准的内容相同。

本文件引用和参考了下列标准：

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤风险管控标准

GB/T 1345 水泥细度检验方法

GB/T 1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间与安定性检验方法

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO法)

GB/T 50123 土工试验方法标准

HJ 1091 固体废物再生利用污染防治技术导则

JGJ 63 混凝土用水标准

JTS 257 水运工程质量检验标准

DB32/T 2283 公路水泥搅拌桩成桩质量检测规程

DB32/T 5135 固废基低碳胶凝材料在道路工程中应用技术规范

四、标准主要内容的先进创新

1. 本标准主要技术指标确立

(1) 材料技术指标

对固废基低碳胶凝材料外观与物理特性、凝结时间、力学强度、净浆流动度、环保指标以及拌合用水做出要求。

1) 外观与物理特性：要求为均匀粉状固体无结块（目测判断，避免因结块影响浆液均匀性）；含水率 $\leq 1\%$ （用 GB/T 50123 烘干法检测，防止含水率过高导致强度降低）； $45\ \mu\text{m}$ 筛余量 $\leq 10\%$ ，（按 GB/T 1345 检测，控制颗粒细度以保证水化反应效率）最大粒径 $\leq 250\ \mu\text{m}$ 。

2) 凝结时间：初凝 $\geq 200\text{min}$ ，终凝 $\leq 18000\text{min}$ ，均按 GB/T 1346 检测。

3) 力学强度：7d 胶砂抗压强度 $\geq 8.0\text{MPa}$ ，28d 抗折 $\geq 20.0\text{MPa}$ （工程核心强度节点，匹配地基承载需求），按 GB/T 17671 检测。

4) 净浆流动度：初始 $\geq 100\text{mm}$ 、30min $\geq 90\text{mm}$ 、60min $\geq 80\text{mm}$ （软土地基深层加固必测，用附录 A 方法检测，防止浆液流动性衰减导致堵管）。

5) 环保指标：需符合 HJ 1091 固废再生污染防治要求，重金属含量满足 GB 36600 第二类建设用地筛选值（适配交通、港口等建设用地，避免污染土壤）。

6) 拌合用水：常规需符合 JGJ 63 标准，若用特殊水（如港

口苦咸水），需单独试验验证（防止非标准水影响材料性能）。

（2）施工指标

1）工艺试桩：正式施工前，至少进行 3 根试桩，地质条件变化大时需针对不同地质补试，确定适配本工程的喷浆量、提升速度等关键参数。

2）浆液制备：严格按试桩配合比拌制，不离析、不长时间放置，倒入集料斗时需筛滤，避免块状物损坏泵体，保证浆液均匀。

3）提升与复搅：提升速度 0.5~0.8m/min，距地面 1m 时慢速提升，喷浆口出地面前停升搅拌数秒以保证桩头均匀；复搅速度同提升速度，增强桩体密实度。

4）停浆与搭接：停浆后搅拌头下沉至停浆面下 0.5m，停机超 4h 需拆管路清洗，防止浆液硬结堵管；相邻桩搭接 ≤ 24 h，超期需放慢搅拌速度，无法搭接需记录“冷缝”并经设计认可补救，避免产生桩间薄弱带。

5）过程记录：需实时记录喷浆压力、喷浆量、钻进/提升速度，用以追溯质量，异常时复盘。

（3）检验与验收指标

1）材料验收

检验批划分：按厂家年产能定批次规模，如 120×10^4 t 以上每 1200t 一批， 10×10^4 t 以下每 200t 一批（避免批次质量波动）；贮存超 3 个月或受潮需复验，检验内容含核查合格证、出厂报告及进场复验（验证表 1 基本性能）。

2）成桩验收

检测时间与方法：成桩 28d 后做钻孔取芯、载荷试验（匹配材料强度发展周期）；取芯时将桩分上中下三段，每段制 3 块试件（高径比 1.0-2.0），强度按公式 $R'=\beta R$ 修正。

成桩质量判定：无侧限抗压强度代表值应按一组试件强度的平均值确定，受检桩中不同深度位置芯样试件代表值中的最小值为该桩无侧限抗压强度代表值，当桩体检测无侧限抗压强度代表值大于或等于设计要求时，判定该桩合格；当无侧限抗压强度代表值小于设计要求时，判定该桩不合格。

3) 不合格桩处理

对于判定不合格的桩，根据设计要求采取补桩或补强措施。

2. 标准主要内容的创新先进性

(1) 填补现有标准空白

1) 填补专用标准缺失空白：国内此前无针对“固废基低碳胶凝材料搅拌桩”的专项技术标准，现有《水运工程质量检验标准》（JTS 257-2008）、《建筑地基处理技术规范》（JGJ 79-2012）等均以普通硅酸盐水泥为唯一胶结物，未覆盖固废基材料的应用场景。本标准首次构建“原材料评价-配合比设计-施工控制-质量验收”全链条技术体系，打通固废基低碳胶凝材料规模化工程应用的“最后一公里”。

2) 补充固废特性关键参数空白：首次明确固废基材料的核心技术参数，包括固废活性指数、流动度保持时间等，解决了设计单位“无参数可依”、施工单位“无工艺可循”、监理单位“无条款可检”的行业痛点。

3) 完善环保与低碳指标空白：紧扣“碳达峰、碳中和”及“无废城市”战略，创新将环保要求纳入材料指标：明确固废基材料需符合 HJ 1091 固废再生污染防治要求，重金属含量满足 GB 36600 第二类建设用地筛选值，避免土壤污染；同时通过材料替代实现单位碳排放降低 30%以上，契合《绿色交通“十四五”发展规划》减污降碳指标。

4) 填补高含水量软土适配标准空白：针对江苏沿海海相、湖相软土（天然含水量超 50%）的特性，首次明确固废基材料在高含水量土体中的适配技术要求，解决了传统水泥在该类土体中易“稀释-团聚”、强度不足的问题。

(2) 优于现有标准技术要求

1) 材料性能要求更精准先进：

强度指标更贴合工程需求：要求 28d 胶砂抗压强度 $\geq 20.0\text{MPa}$ 强度指标，同时明确 7d 强度 $\geq 8.0\text{MPa}$ 的早期强度节点，匹配港口堆场高承载、低工后沉降的设计要求。

2) 流动度控制更科学：新增净浆流动度时序要求（初始 $\geq 100\text{mm}$ 、30min $\geq 90\text{mm}$ 、60min $\geq 80\text{mm}$ ），避免浆液流动性衰减导致的堵管问题。

3) 物理特性控制更严格：限定 $45\mu\text{m}$ 筛余量 $\leq 10\%$ 、最大粒径 $\leq 250\mu\text{m}$ ，保证水化反应效率，较传统水泥细度控制更适配固废基材料的复合水化特性。

(3) 施工工艺要求精细可控

1) 强化工艺试桩针对性：要求试桩数量不少于 3 根，地质条

件变化大时需分区域试桩，明确需确定喷浆量、提升速度等关键参数，提升标准的实操性。

2) 细化关键工序控制：明确提升速度（0.5-0.8m/min）、复搅速度（同提升速度）、停浆处理（下沉 0.5m）、搭接时间（ $\leq 24h$ ）等细节，新增“冷缝记录与补救”要求，有效提升桩体整体性。

3) 突出过程追溯性：要求实时记录喷浆压力、喷浆量等参数，便于质量追溯与异常复盘。

(4) 质量检验要求科学严谨

1) 取芯检测更规范：明确成桩 28d 后取芯，取芯率 $\geq 85\%$ ，且按上中下三段制样；新增高径比修正系数（公式 $R' = \beta R$ ），使强度检测结果更精准。

2) 验收指标更全面：将材料环保指标、固废来源合规性（符合 HJ 1091）纳入验收，较传统标准仅关注力学性能和尺寸偏差更贴合绿色工程要求。

(5) 环保低碳要求更贴合时代需求

1) 固废资源化利用要求：明确以粒化高炉矿渣、粉煤灰等工业固废为主要原料，推动“以废治废”，较传统标准依赖天然矿产资源更具可持续性。

2) 碳排放控制：通过材料替代实现单位碳排放降低 30%以上，响应《绿色交通“十四五”发展规划》减污降碳指标，是现有标准未涉及的先进要求。

五、标准主要内容的可行依据

1. 资料查阅与政策支撑：系统梳理《建筑地基处理技术规范》《水运工程质量检验标准》等现行标准，紧扣国家“双碳”、“无废城市”战略及江苏省“水运江苏”建设规划，参考交通运输部固废应用管理办法等政策文件，确保标准符合行业发展导向与法规要求。

2. 实地调研与工程实践：编制组多次深入连云港区旗台作业区南区混矿堆场一期工程现场，全程参与低碳胶凝材料搅拌桩施工，收集施工参数、优化工艺细节，积累了沿海软土地基加固的实操经验，为标准条款提供工程实践支撑。

3. 课题研究与技术依托：依托连云港市科技成果转化“揭榜挂帅”项目、江苏省“碳达峰碳中和”科技创新基金项目等，借助工业固废资源化利用相关课题研究，明确固废基低碳胶凝材料的复合水化特性，为材料性能指标设定提供理论依据。

4. 试验论证与数据支撑：开展两次专项试桩（共 12 根）及大量室内试验，试桩覆盖 10%~25%不同掺量，验证了固化剂替代水泥的可行性；室内试验完成无侧限抗压、耐水、抗海水侵蚀、剪切等测试，核心数据（如 10%掺量固化剂 28d 强度 4.14MPa，优于水泥的 2.9MPa）为强度、耐久性等指标提供量化依据。

5. 经济与环保合理性验证：通过项目实测，固化剂替代水泥 1.2 万吨，节省材料费用 300 余万元，减少 CO₂ 排放约 2.3 万吨，材料成本下降 15%~20%，同时实现工业固废资源化利用，兼顾经济性与环保性，验证了标准内容的经济合理与可持续性。

六、标准宣贯和推广应用的实施计划与措施

1. 加强标准在我省水运行业实施的应用，推进标准实施

建议固废基低碳胶凝材料搅拌桩的设计、施工、监理、管理、建设等单位，积极采用本标准。

2. 加大标准宣贯力度，扩大宣贯范围

定期组织针对采用固废基低碳胶凝材料搅拌桩的相关企业和相关从业人员的技术培训活动，邀请专家对《固废基低碳胶凝材料搅拌桩施工技术要求》的内容进行详细解读和讲解。标准的宣贯工作不仅包括标准文本本身，还应包括标准的编制说明，使得标准使用者不仅了解标准文本中规定的内容，还了解本标准编制说明中对于标准制定背景、制定依据等内容，以利于标准的贯彻执行。

3. 做好信息反馈和适用性评价，提高标准实施效果

在本标准宣贯后，要时刻跟踪本标准的实施情况，记录标准在实际应用中的具体效果，对于实用性不强、适用性差的条款要及时反馈到相关行业管理部门，以便采取相应的措施。

七、编制过程发生的重大分歧意见处理情况

本标准编制过程中未出现重大分歧意见。

八、其他予说明的事项

无。