

T/LCH

团 体 标 准

T/LCH XXXX—2025

绿色低碳水利地基施工技术规范

Green low carbon water foundation construction technical code

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国长城绿化促进会 发 布

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 低碳材料与设备 1

5 绿色施工工艺 2

6 生态环境保护 4

7 数字化与智能化 5

8 质量验收 6

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××××提出。

本文件由中国长城绿化促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

绿色低碳水利地基施工技术规范

1 范围

本文件规定了绿色低碳水利地基施工的术语和定义、低碳材料与设备、绿色施工工艺、生态环境保护、数字化与智能化、质量验收。

本文件适用于绿色低碳水利地基的施工。

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/T 14848 地下水质量标准

GB 20891 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法

GB/T 33190 电子文件存储与交换格式版式文档

GB/T 38624.1 物联网 网关 第1部分：面向感知设备接入的网关技术要求

GB/T 50328 建设工程文件归档规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地基 foundation

指承受建筑物荷载并传递至下部岩土层的岩土体，包括自然地基和经人工处理后的增强地基。

4 低碳材料与设备

4.1 一般规定

4.1.1 水利地基工程所用材料与设备应符合绿色低碳发展要求，优先选用低能耗、低排放、可循环利用的环保型产品。

4.1.2 材料与设备的全生命周期碳足迹应纳入选型评估体系，重点管控生产、运输、施工及废弃阶段的碳排放强度。

4.1.3 施工单位应建立低碳材料与设备进场检验制度，核查产品环保认证、能效标识及碳排放检测报告。

4.2 低碳材料要求

4.2.1 材料选型原则

4.2.1.1 地基处理用固化剂宜采用工业固废基胶凝材料，其掺量比例应满足强度要求且不低于总胶凝材料的30%。

4.2.1.2 级配砂石填料可选用建筑垃圾再生骨料，其粒径分布与力学性能应符合现行行业标准。

4.2.1.3 防渗材料应避免使用含挥发性有机物的化学制剂，宜采用膨润土、生物基聚合物等环境友好型材料。

4.2.2 材料生产与运输

4.2.2.1 材料供应商应提供低碳生产工艺证明文件，水泥等建材宜选择采用碳捕集技术的生产企业。

4.2.2.2 运输半径超过200 km的材料，宜采用新能源车辆或铁路运输，并核算运输碳排放强度。

4.2.2.3 现场材料堆放应采取防尘、防流失措施，散装物料储存损耗率应控制在1%以内。

4.3 低碳设备要求

4.3.1 设备能效管理

- 4.3.1.1 桩工机械、注浆设备等主要施工机具应满足国家现行节能标准，其能效等级不得低于二级。
- 4.3.1.2 柴油动力设备宜加装尾气净化装置，氮氧化物排放浓度限值应符合 GB 20891 的要求。
- 4.3.1.3 单台功率超过 50 kW 的固定设备，可配置变频控制系统，实现负载自适应调节。

4.3.2 新能源设备应用

- 4.3.2.1 施工现场宜配置光伏发电系统，为照明、监控等低功率设备供电，其覆盖率不宜低于用电负荷的 20%。
- 4.3.2.2 移动式设备可选用氢燃料电池或锂电池动力替代传统燃油动力，替代比例宜达到设备总量的 15%。
- 4.3.2.3 塔吊、龙门吊等大型设备宜安装能量回馈装置，制动能量回收效率不应低于 60%。

4.4 低碳技术集成

地基处理工艺宜与低碳材料协同优化，符合下列要求：

- 采用微生物诱导碳酸盐沉淀技术时，菌液培养应使用可再生碳源；
- 静压桩施工宜采用预制竹筋混凝土桩等生物基复合材料；
- 注浆加固可配合 CO₂矿化封存技术，每立方米浆液封存 CO₂量不应低于 5 kg。
- 施工设备宜配置智能监控系统，实时采集能耗、排放数据，并与项目管理平台实现数据互通。

4.5 监测与验证

- 4.5.1 施工单位应定期对材料碳足迹声明进行第三方核查，偏差超过 10%时应启动溯源程序。
- 4.5.2 主要设备运行能效应每月进行统计分析，单位工程量能耗较定额值降低幅度不应低于 8%。
- 4.5.3 新能源设备使用效果宜通过碳减排量核算予以验证，并作为环保验收的支撑材料。

4.6 档案管理

- 4.6.1 所有进场低碳材料应留存生产批号、检测报告及运输记录，保存期限不应少于工程竣工后 10 年。
- 4.6.2 设备运行数据应通过物联网终端自动记录，形成包含能耗、工效、排放的电子档案。。
- 4.6.3 低碳技术应用案例宜编制专项总结报告，纳入企业绿色施工技术库。

5 绿色施工工艺

5.1 一般规定

- 5.1.1 水利地基施工工艺应遵循“节能、减排、循环、高效”原则，优先采用环境扰动小、资源消耗低的工法。
- 5.1.2 施工方案编制应进行全流程碳足迹预评估，关键工艺碳排放强度较传统工法降低幅度不应低于 15%。
- 5.1.3 施工单位应建立绿色工艺动态优化机制，根据监测数据实时调整施工参数。

5.2 施工准备

- 5.2.1 场地布置应符合下列要求：
 - 临时道路宜利用既有路基或再生骨料铺设，新建道路硬化率不宜超过 60%；
 - 材料加工区应设置防尘隔音屏障，噪声敏感区施工时昼间等效声级不应超过 70 dB(A)；
 - 临时设施可采用装配式钢结构，重复利用率不应低于 80%。
- 5.2.2 技术交底应包含绿色施工专项内容，明确工艺碳排放控制目标及实施路径。

5.3 地基处理工艺

5.3.1 桩基施工

- 5.3.1.1 预制桩施工宜采用静压法，液压系统工作压力应优化至设计值的 80%~110%区间。
- 5.3.1.2 灌注桩成孔可选用螺旋钻机等低扰动设备，泥浆循环利用率不应低于 90%。
- 5.3.1.3 桩头破除应采用液压分裂器，扬尘浓度应控制在 1.0 mg/m^3 以内。

5.3.2 土方工程

- 5.3.2.1 开挖作业应实施分层分段施工，开挖料直接回填率不宜低于 30%。
- 5.3.2.2 边坡支护宜采用生态混凝土格构，植被覆盖率应达到坡面面积的 60%以上。
- 5.3.2.3 基坑降水可结合地下水回灌系统，回灌量不应小于抽水量的 50%。

5.4 低碳工法应用

5.4.1 能源管理

- 5.4.1.1 施工机械群宜配置智能调度系统，空载运行时间占比不应超过总工时的 15%。
- 5.4.1.2 电焊作业区可设置烟气净化装置，颗粒物捕集效率不应低于 85%。
- 5.4.1.3 连续施工工序应优化热能利用，余热回收设备宜覆盖 60%以上热源点。

5.4.2 水资源利用

- 5.4.2.1 混凝土养护应采用自动喷淋系统，节水率不应低于传统工艺的 40%。
- 5.4.2.2 钻探废水应经三级沉淀处理后回用，回用率不应低于 75%。
- 5.4.2.3 施工现场宜设置雨水收集池，收集面积不应小于硬化地面的 30%。

5.5 数字化施工

5.5.1 BIM 技术应用应符合下列要求：

- 复杂地基工程应建立三维地质模型，优化桩位布置减少废桩率；
- 施工进度模拟宜关联碳排放计算模块，实现动态碳排预测；
- 隐蔽工程可应用 AR 技术进行质量验评，减少二次开挖。

5.5.2 物联网监测系统应满足：

- 关键设备应安装能耗监测终端，数据采集频率不宜低于 1 次/分钟；
- 扬尘在线监测仪布置密度不宜小于每 5000 m^2 1 个；
- 监测数据应实时上传至监管平台，异常值响应时间不应超过 2 h。

5.6 污染防控

5.6.1 大气污染防治

- 5.6.1.1 尘物料运输应封闭覆盖，装运高度不应超过车厢挡板。
- 5.6.1.2 非道路移动机械宜安装远程监控，尾气超标设备应立即停用。
- 5.6.1.3 焊接烟尘可采用移动式除尘机组处理，排放浓度不应超过 20 mg/m^3 。

5.6.2 土壤与地下水保护

- 5.6.2.1 化学注浆材料应进行毒性检测，半致死量不应低于 1000 mg/kg 。
- 5.6.2.2 油料储存区应设置防渗托盘，渗透系数不应大于 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 。
- 5.6.2.3 污染土壤开挖宜采用原位固化技术，修复后浸出液污染物浓度应达Ⅲ类地下水标准。

5.7 资源循环利用

5.7.1 建筑垃圾管理

- 5.7.1.1 桩基混凝土碎块可加工为再生骨料，粒径 $5 \text{ mm} \sim 31.5 \text{ mm}$ 级配通过率不应低于 90%。
- 5.7.1.2 废弃泥浆应经压滤处理，脱水后含水率不应超过 40%。
- 5.7.1.3 废旧模板回收利用率不宜低于 70%，木模板周转次数不应少于 5 次。

5.7.2 材料节约措施

- 5.7.2.1 钢筋下料应通过 BIM 优化，损耗率应控制在 3%以内。

5.7.2.2 灌浆料配合比宜采用人工智能算法优化，水泥用量降幅不应低于 10%。

5.7.2.3 临时围挡可选用可拆卸式金属构件，重复使用次数不应少于 10 次。

5.8 环境修复

施工完成后应实施生态修复：

——临时占地植被恢复度不应低于原植被覆盖率的 90%；

——河道工程宜采用生态护岸，挺水植物种植密度不应小于 6 株/m²；

——弃土场应进行地形重塑，坡度不宜大于 25°并实施复绿工程。

5.9 过程监测

5.9.1 施工单位应每周统计单位工程量的水、电、燃油消耗量，偏差超过 15%时应启动纠偏程序。

5.9.2 工艺碳排放强度宜每月进行核算，核算结果应作为施工方案调整依据。

5.9.3 环境监测数据应形成日报制度，重点管控 PM_{2.5}、COD 等关键指标。

5.10 验收管理

5.10.1 绿色施工专项验收应核查实际碳排放量，不得超过设计值的 110%。

5.10.2 生态修复效果应通过连续 3 年的生物多样性监测进行评估。

5.10.3 数字化施工记录应完整存档，数据可追溯期不应少于工程全生命周期。

6 生态环境保护

6.1 水土保持

6.1.1 施工场地布置应符合下列要求：

——临时堆土场应设置挡土墙及排水沟，边坡坡度不宜大于 1:1.5；

——裸露地表宜采用防尘网覆盖，覆盖率不应低于 90%，且每季度检查一次破损情况；

——雨季施工时，应在作业区下风向设置雨水沉淀池，容积不宜小于 100 m³。

6.1.2 土方工程应采取以下措施：

——开挖作业宜采用分段分层工艺，单层开挖深度不应超过 3 m；

——回填土压实度应达到设计要求，并同步实施坡面绿化，草本植物存活率不应低于 85%；

——弃渣运输车辆应安装北斗定位系统，弃渣场选址应符合土地利用规划。

6.2 水环境保护

6.2.1 地表水保护

临近水域施工应设置浮式拦污栅，悬浮物扩散范围不得超过作业区边界50m。

钻探废水应经三级沉淀处理，pH值应控制在6~9，化学需氧量（COD）不得超过100mg/L。

船舶作业区应配备油污收集装置，水面浮油层厚度不得大于0.1mm。

6.2.2 地下水防护

化学灌浆材料应进行浸出毒性检测，砷、铅等重金属含量不得超过GB/T 14848的Ⅲ类限值。

油料储存区应采用双层防渗结构，防渗层渗透系数不应大于 1×10^{-7} cm/s。

基坑降水回灌系统应安装水质在线监测仪，回灌水浑浊度不应超过20NTU。

6.3 大气与噪声控制

6.3.1 大气污染防治

6.3.1.1 易扬尘工序作业时应同步开启雾炮装置，作业面 PM₁₀ 浓度不得高于 150 μg/m³。

6.3.1.2 非道路机械应加装颗粒捕集器（DPF），黑烟排放林格曼黑度不得超过 1 级。

6.3.1.3 焊接烟尘可选用移动式净化机组处理，颗粒物去除效率不应低于 90%。

6.3.2 噪声管控

- 6.3.2.1 距居民区 500 m 内的施工现场，昼间等效声级不应超过 65 dB(A)，夜间不应高噪声作业。
- 6.3.2.2 桩基施工宜采用液压振动锤，距声源 10 m 处噪声值不应超过 85 dB(A)。
- 6.3.2.3 固定噪声源应设置隔声屏障，降噪量不宜小于 15 dB(A)。

6.4 生物多样性保护

6.4.1 施工前应完成下列工作：

- 开展陆生、水生生物本底调查，编制重点保护物种名录；
- 鸟类繁殖期应避开巢区 200 m 范围内施工，必要时设置人工鸟巢；
- 鱼类洄游通道施工应选择枯水期，并设置仿生鱼道临时导流设施。

6.4.2 施工期间应采取以下措施：

- 照明灯具应加装遮光罩，昆虫趋光死亡率较施工前增幅不得超过 10%；
- 运输道路宜设置野生动物通道，每月红外相机监测有效通行次数不应少于 3 次；
- 珍稀植物移植成活率应达到 90%以上，并实施三年跟踪养护。

6.5 生态修复

6.5.1 植被恢复

- 6.5.1.1 临时占地区域应选用乡土植物进行生态复绿，群落结构与原生植被相似度不应低于 70%。
- 6.5.1.2 河道护岸宜采用生态混凝土结合沉水植物种植，挺水植物覆盖度不宜小于 40%。
- 6.5.1.3 弃渣场边坡应进行客土喷播，三年后植被覆盖度应达到 80%以上。

6.5.2 地形重塑

- 6.5.2.1 开挖区域回填后应恢复原有地貌特征，高程偏差不应超过 ± 0.3 m。
- 6.5.2.2 人工湿地构建时，水面率宜保持在 30%~50%，并配置底栖动物投放系统。
- 6.5.2.3 鱼类产卵场修复应设置人工鱼礁，单体间距不宜大于 5 m。

6.6 监测与应急

6.6.1 环境监测应符合下列要求：

- 应建立水、气、声、生物四维监测体系，数据采集频率每周不应少于 2 次；
- 无人机航拍宜每月开展一次，重点监控水土流失及植被恢复动态；
- 监测数据异常时，应在 24 h 内启动溯源排查程序。

6.6.2 应急预案应包含：

- 化学品泄漏处置方案，应急物资储备量应满足 3 日连续处置需求；
- 突发环境事件报告流程，重大污染事故应 1 h 内上报属地环保部门；
- 生态损害赔偿机制，明确修复标准及第三方评估机构选定规则。

6.7 档案管理

- 6.7.1 生态保护措施实施记录应包含影像资料、检测报告及监理签认单，保存期不少于 10 年。
- 6.7.2 生物多样性监测数据应上传至省级生态数据库，实现区域联网共享。
- 6.7.3 生态修复效果应通过遥感影像对比分析，并纳入工程后评价体系。

7 数字化与智能化

7.1 BIM 技术应用

7.1.1 建模与设计优化

- 7.1.1.1 复杂地基工程应建立三维地质-BIM 集成模型，岩土层参数精度误差不应超过 10%。
- 7.1.1.2 桩位布置宜通过碰撞检测优化，废桩率应控制在 3%以内。
- 7.1.1.3 绿色施工方案应关联碳排放计算插件，动态生成碳排热力图。

7.1.2 施工协同管理

- 7.1.2.1 关键工序应基于 BIM 模型进行 4D 进度模拟，工期偏差预警阈值宜设为 5%。
- 7.1.2.2 材料需求计划可通过模型自动提取，库存量与施工进度匹配度不应低于 90%。
- 7.1.2.3 隐蔽工程验收应结合 BIM 模型与 AR 技术，验收记录宜包含三维空间坐标信息。

7.2 物联网监测系统

7.2.1 数据采集与传输

- 7.2.1.1 深基坑支护结构应安装倾角、应力传感器，采样频率不宜低于 1 次/10 分钟。
- 7.2.1.2 桩基施工设备宜加装振动、压力监测终端，数据应实时上传至项目管理平台。
- 7.2.1.3 环境监测设备应支持 LoRa/NB-IoT 双模通信，断线续传时间不得超过 30 s。

7.2.2 智能预警与调控

- 7.2.2.1 地基沉降监测值超过设计允许值的 80%时，应自动触发报警并启动应急响应。
- 7.2.2.2 混凝土养护系统可集成温湿度感应模块，喷淋间隔宜动态调整。
- 7.2.2.3 碳排放实时监测数据应可视化展示，日均碳强度超标时需在 24 h 内提交优化方案。

7.3 智能施工设备

7.3.1 自动化机械应用

- 7.3.1.1 桩基定位宜采用北斗/GNSS 双模导航系统，平面定位误差不应超过 ± 20 mm。
- 7.3.1.2 灌浆设备可配置自适应压力控制系统，流量波动范围应控制在 $\pm 5\%$ 以内。
- 7.3.1.3 土方机械群宜搭载智能调度模块，燃油效率较传统模式提升幅度不宜低于 15%。

7.3.2 无人机与机器人技术

- 7.3.2.1 地形测绘宜采用多光谱无人机，点云数据密度不应低于 50 点/m²。
- 7.3.2.2 危险区域巡检可应用四足机器人，续航时间不宜少于 4 h。
- 7.3.2.3 狭小空间作业宜采用微型施工机器人，其荷载能力应满足设计要求的 120%。

7.4 大数据与人工智能

7.4.1 数据分析平台

- 7.4.1.1 应建立施工大数据中心，存储容量不宜低于项目总数据量的 150%。
- 7.4.1.2 机械能效分析宜采用机器学习算法，识别低效设备的准确率不应低于 85%。
- 7.4.1.3 材料消耗预测模型输入参数应包含天气、地质条件等 10 类以上变量。

7.4.2 智能决策支持

- 7.4.2.1 施工方案优化可应用遗传算法，迭代次数不宜少于 1000 次。
- 7.4.2.2 风险预警系统应集成 CNN 神经网络，误报率应控制在 5%以下。
- 7.4.2.3 资源调度决策宜结合数字孪生技术，仿真模拟次数不应少于 3 种工况。

7.5 信息安全与标准

- 7.5.1 数据传输应使用国密算法加密，密钥更新周期不宜超过 30 天。
- 7.5.2 系统操作权限应分级管理，敏感数据修改需双重身份认证。
- 7.5.3 设备通信协议应符合 GB/T 38624.1 物联网安全技术要求，兼容性测试覆盖率应达 100%。

8 质量验收

8.1 一般规定

- 8.1.1 绿色低碳水利地基工程质量验收应遵循“过程控制、数据支撑、多级复核”原则，确保工程质量与低碳目标双达标。
- 8.1.2 验收应分为隐蔽工程验收、分项工程验收及竣工验收三个阶段，各阶段均应形成专项验收记录。
- 8.1.3 质量验收文件应与碳排放核查报告同步存档，数据保存期限不应少于工程使用年限。

8.2 验收组织与程序

8.2.1 组织架构

- 8.2.1.1 隐蔽工程验收应由监理单位主持，施工、设计单位共同参与，并留存影像资料。
- 8.2.1.2 分项工程验收宜增加环保专家作为评审组成员，重点核查生态保护措施落实。
- 8.2.1.3 竣工验收应由建设单位组织，行政主管部门监督，必要时可引入第三方检测机构。

8.2.2 验收流程

- 8.2.2.1 施工单位应提前 7 日提交验收申请，附自检报告及检测数据。
- 8.2.2.2 验收组应现场抽查不少于 10% 的检测点位，重点核查争议区域。
- 8.2.2.3 发现不合格项时，应签发整改通知单，复验间隔时间不应超过 15 日。

8.3 验收内容与标准

8.3.1 结构质量验收

- 8.3.1.1 桩基承载力检测应采用静载试验法，抽检率不应低于总桩数的 1% 且不少于 3 根。
- 8.3.1.2 防渗帷幕渗透系数应通过压水试验验证，允许值不应大于 1×10^{-5} cm/s。
- 8.3.1.3 复合地基置换率偏差应控制在设计值的 $\pm 5\%$ 以内。

8.3.2 低碳专项验收

- 8.3.2.1 再生材料使用比例应核查进场记录及检测报告，掺量不得低于设计要求。
- 8.3.2.2 施工期碳排放总量应通过第三方核查，不得超过立项批复值的 110%。
- 8.3.2.3 设备能效达标率应达到 100%，燃油机械尾气排放抽检合格率不应低于 95%。

8.3.3 生态保护验收

- 8.3.3.1 水土流失量应通过遥感监测对比分析，较施工前增幅不得超过 5%。
- 8.3.3.2 水体修复效果应检测 pH 值、溶解氧等 6 项指标，达标率应达 100%。
- 8.3.3.3 植被恢复区生物量应达到周边原生植被的 80% 以上。

8.4 检测方法与工具

8.4.1 传统检测

- 8.4.1.1 地基压实度宜采用灌砂法检测，每 1000 m² 不少于 3 个测点。
- 8.4.1.2 桩身完整性可选用低应变反射波法，I 类桩比例不应低于 90%。
- 8.4.1.3 注浆体强度应以 28 d 龄期试块抗压强度为准，每组试件不应少于 3 个。

8.4.2 智能检测

- 8.4.2.1 隐蔽工程宜采用探地雷达扫描，分辨率不宜低于 10 cm。
- 8.4.2.2 碳排放数据应通过物联网终端校核，人工干预率不得超过 5%。
- 8.4.2.3 生态指标可运用多光谱无人机航拍分析，植被覆盖度计算误差应 $\leq 3\%$ 。

8.5 不合格项处理

- 8.5.1 轻微缺陷（如局部蜂窝）应限期修补，并重新检测合格后方可进入下道工序。
- 8.5.2 重大质量问题（如承载力不足）应组织专项论证，整改方案需经原设计单位确认。
- 8.5.3 生态不可逆破坏应启动生态赔偿机制，修复费用纳入工程结算。

8.6 验收记录与档案

8.6.1 资料要求

- 8.6.1.1 应形成纸质与电子双套档案，电子档案存储格式应符合 GB/T 33190 的要求。
- 8.6.1.2 影像资料应标注时间、坐标及检测值，视频时长不宜少于关键工序的 80%。
- 8.6.1.3 智能设备原始数据应保留未删改版本，哈希值校验匹配率应达 100%。

8.6.2 档案管理

8.6.2.1 验收文件应按 GB/T 50328 分类整理，检索目录完整率应达 100%。

8.6.2.2 涉及专利技术的工艺资料宜设置访问权限，保密期限不应少于 10 年。

8.6.2.3 竣工后 3 年内应定期更新维护记录，档案缺损率不得超过 5%。

8.7 验收责任追溯

8.7.1 质量终身责任制信息应铭刻于工程显著位置，包含参建单位名称及责任人。

8.7.2 数字化验收记录宜采用区块链存证，数据篡改识别准确率不应低于 99.9%。

8.7.3 因验收失职导致的质量事故，应依法追究相关单位技术与管理责任。
