

面向城市环境的低影响绿色施工技术体系

耿 昕¹ 朱方超²

1. 河南省水利勘测设计研究有限公司 河南 郑州 450016

2. 黄河水电工程建设有限公司 河南 郑州 450016

摘 要:城市中心区水利施工受制于密集建筑、居民区、交通及环保严规,传统噪音、振动、泥浆及扬尘问题突出。依托漯河市澧河退水闸及桥工程,从低噪音、低振动、少泥浆、快速装配化四维度,比选静压植桩(噪音 < 50dB、无振动)、旋挖钻孔灌注桩(成孔快、污染小)、劲性复合桩。劲性复合桩较 CFG 桩节省工期 40 天(降幅 41.7%),环保优。形成涵盖桩基、围护、主体全工序绿色工法体系,为城市敏感区水闸建设提供系统指导。

关键词:城市环境;低影响;绿色施工技术

引言

随着城市化深入,中心区水利工程面临噪音、振动、泥浆、扬尘等施工约束及“邻避效应”难题。漯河市澧河退水闸及人民路澧河桥工程位于市区建成区,环保要求极高,需在保证质量进度前提下最大限度降低环境干扰。工程地基采用劲性复合桩(矩形布设,间距 1.8m,桩长 8m,桩径 0.6m,复合地基承载力 330kPa,共 1608 根,总延米 12864m)。本研究依托该工程,系统构建面向城市敏感环境的低影响绿色施工技术框架:理论层面明确低噪音、低振动、少泥浆、装配化四维内涵;技术层面集成静压植桩、旋挖钻孔、劲性复合桩等成套环保方案;实践层面形成城市水闸绿色施工工法指南,为同类工程提供可复制参考。

1 城市敏感环境对施工技术的约束分析

1.1 环境约束特征

城市中心区水利工程施工的环境约束具有以下特征:(1)噪音敏感:周边多为居民区和商业区,传统机械噪音超 90 分贝,受严格管制,夜间及午休禁高噪作业。(2)振动敏感:邻近老旧建筑和地下管线,振动沉桩可能造成结构性损伤,振动控制尤为关键^[1]。(3)泥浆与扬尘敏感:钻孔灌注桩泥浆排放困难、运输受限,易污染土地;施工扬尘影响空气质量及居民健康。(4)空间受限:场地狭窄,大型设备进出、材料堆放、土方运输均受制约。(5)交通影响敏感:工程位于交通要道,施工期间须保障周边交通正常运行,对施工组织要求高。

1.2 绿色施工的核心目标

基于上述环境约束,城市中心区水利工程的绿色施工应实现以下核心目标:(1)低噪音:施工噪音控制在

城市环境允许范围内(昼间不超过 70dB,夜间不超过 55dB);(2)低振动:施工振动不对周边建筑物和管线造成结构性影响;(3)少泥浆:最大限度地减少泥浆产生与排放,实现现场整洁施工;(4)快速装配化:通过预制装配技术缩短现场作业时间,减少施工扰民周期^[2]。

2 低影响绿色施工关键技术

2.1 低噪音与低振动施工技术

(1)静压植桩技术为自走液压式压拔桩工艺,通过静压力将桩压入土中,无振动、低噪声(施工噪声可控制在 50dB 以下),机体轻小,适于狭窄空间作业。该技术在城区临近老旧房屋施工时可有效保护周边建筑,且能 24h 连续作业以缩短工期,特别适用于钢板桩基坑围护等零距离静压施工场景^[3]。(2)旋挖钻孔灌注桩技术为新型成孔技术,通过钻斗直接将土石渣提出孔外,无需泥浆循环排渣。其自动化程度高、成孔快、质量可靠,泥浆用量少(稳定地层可用清水替代),废浆少、噪声低、粉尘污染小。适用于砂土、粘土、卵石等多种地层,在城市施工中环保优势突出。(3)覆盖法施工工艺通过在施工现场设置全封闭罩体,将施工噪音、扬尘和光污染有效阻隔在罩体内部。经专业检测,覆盖法可使厂界外噪声降低近 30dB,配合内部喷淋湿法作业实现扬尘闭环管控,同时彻底消除夜间强光扰民问题,已在国内多个城市核心区水务工程中得到成功应用。

2.2 少泥浆施工技术

(1)旋挖干取土成孔技术不需泥浆护壁,孔壁不产生泥皮,孔底渣土厚度小,利于桩基承载力发挥。在城市中心区应用中,该技术省去了泥浆制备与循环系统,避免了泥浆排放污染,减少了外运成本和交通影响,施

工现场更加整洁有序。(2) 静态泥浆护壁技术通过优化泥浆配合比和采用聚合物泥浆替代传统动态循环系统。旋挖钻机自动化程度高、成孔速度快,静态泥浆减少了外溢污染,聚合物泥浆方案具有成孔质量稳定、低噪声、近零污染及综合成本低等优点,特别适用于环保要求高的市政工程桩基施工。(3) 泥浆循环利用与规范化处置措施包括:设置泥浆沉淀池和净化设备实现循环利用,减少总产生量;废弃泥浆采用专用容器收集并通过合规途径外运;大型基坑工程中采用水泥浆远距离泵送、三级沉淀及水体循环利用等技术,实现集中处理与资源化^[4]。

2.3 快速装配化施工技术

装配式水闸结构施工采用工厂预制、现场装配的标准化流程。具体措施包括:(1) 最高设计水位以下闸墩现浇、以上胸墙工厂预制吊装,兼顾防渗安全与施工效率;(2) 闸墩采用预制拼装新方法,有效解决传统现浇工期长的问题。“现浇+预制装配”组合工艺通过科学分区与精准对位,可节约工期约 50 天。装配式临时设施涵盖钢管桩围堰等装配式挡水结构、全装配式施工模架(通道、护栏、梯笼等附属设施定型化生产、法兰快速组装),以及装配式涵闸排架组合结构,均具有省工、节本、环保的特点。效益分析:快速装配化技术在城市中心区水闸工程中的应用效益显著——工厂化预制减少现场湿作业时间,缩短施工扰民周期;预制构件质量稳定可控;减少现场混凝土浇筑等工序产生的噪音、扬尘和废弃物;模板等周转材料可重复利用,节约资源。

3 少泥浆施工技术

3.1 旋挖干取土成孔技术

旋挖钻成孔灌注桩可采用干取土成孔和泥浆护壁成孔两种工艺。干取土成孔工艺不需泥浆护壁,孔壁不产生泥皮,孔底渣土厚度小,利于桩基承载力的发挥。对于城市中心区施工而言,干取土成孔技术具有显著的环境优势:无需泥浆制备与循环系统,避免了泥浆排放对城市环境的污染;减少了泥浆外运的成本和交通影响;施工场地更加整洁,符合城市文明施工要求。

3.2 静态泥浆护壁技术

对于需要泥浆护壁的地质条件,可采用静态泥浆护壁技术替代传统动态泥浆循环系统。静态泥浆护壁旋挖式钻孔灌注桩具有以下特点:(1) 高效性:旋挖钻机自动化程度高,成孔速度快,可大幅缩短工期。(2) 环保性:静态泥浆减少泥浆外溢和污染,符合绿色施工要求。(3) 适应性:适用于砂土、粘土、卵石等多种地

层。(4) 质量可靠:成孔质量稳定。

静态泥浆护壁技术通过优化泥浆配合比和采用聚合物泥浆,可显著减少泥浆用量和排放量。聚合物泥浆旋挖钻孔与传统钻孔施工方法相比,具有成孔速度快、质量好且稳定、低噪声、接近于零污染及综合成本低等优点,特别适宜环保要求较高的市政工程建设桩基施工。

3.3 泥浆循环利用与处置

对于必须产生泥浆的施工环节,应采用泥浆循环利用与规范化处置技术:(1) 泥浆循环利用系统。通过设置泥浆沉淀池、泥浆净化设备,实现泥浆的循环利用,减少泥浆总产生量。(2) 泥浆规范化处置。废弃泥浆应采用专用容器收集,通过合规途径外运处置,避免现场泥浆四溢、污染土地。(3) 水泥浆远距离泵送。对于大型基坑工程,可 adopt 水泥浆远距离泵送、水泥浆三级沉淀、沉淀水体循环利用等技术,实现泥浆的集中处理与资源化利用。

4 示范工程地基处理方案比选

4.1 方案概述

本工程地基加固处理面临两个核心约束:工期紧张和环保要求高。针对这一需求,研究对 CFG 桩复合地基方案和劲性复合桩方案进行了系统比选。

4.2 CFG 桩复合地基方案

CFG 桩(水泥粉煤灰碎石桩)复合地基方案采用梅花形布置,桩间距 1.5m,桩长 12m,桩径 0.6m,处理后复合地基承载力特征值 330kPa,总桩数 2646 根,总延米 31752m。优点:施工工艺成熟,桩长灵活可控,混凝土强度等级 C20-C25,单延米造价低。缺点:施工速度慢,工期较长;在地下水位浅、流速较快的砂层区域,易发生塌孔、串孔、桩身夹砂,桩端桩侧沉渣、泥皮过厚,承载力不满足要求;现场废弃泥浆及土无法顺利排放、移运,造成现场泥浆四溢,污染土地;商砼供应严格受限于环保管控;现场管理难度大,各种原材料进场检验、隐蔽工程验收难度大,增加管理人员工作量;软层充盈系数偏大,桩身质量及成孔控制不可控因素较多。

4.3 劲性复合桩方案(M600+PHS300)

劲性复合桩方案采用矩形布置,桩间距 1.8m,桩长 8m,桩径 0.6m,处理后复合地基承载力特征值 330kPa,总桩数 1608 根,总延米 12864m。优点:预制桩工厂化预制,质量可溯源;采用高压旋喷后压桩工艺,成桩质量稳定,可适应各种复杂地质条件,轻松穿透厚砂层、硬土层;文明施工,现场整洁,不污染环境,噪音小,符

合国家节能减排、低碳环保的政策；施工速度快，工期优势明显；可在生产过程施行有效地质量控制，现场管理难度小（成品桩进场，有合格证），可减少管理人员工作量；预制桩质量稳定，不受地质环境影响，成本及

工期可控。缺点：综合单价较高（610 元/m，高于 CFG 桩的 250.5 元/m）。

4.4 综合对比与推荐

根据计算，两种方案设计参数如下表：

表 1 地基加固处理方案设计参数表

类型	桩径（m）	有效桩长（m）	桩间距	总桩数（根）	复合地基承载力特征值（kPa）	桩端持力层
CFG600	0.6	12	1.5×1.5（梅花形布置）	2646	330	第 4 层细砂
M600+PHS300	0.6	8	1.8×1.8（矩形布置）	1608	330	第 4 层细砂

综合对比，两种方案投资相差不大，虽然 CFG 桩方案施工工艺更成熟，但相比较 CFG 桩方案，劲性复合桩方案的施工工期更短，同时由于劲性复合桩方案采用预制桩，成桩质量更有保障。综合考虑本工程对于工期及施工期环保的要求，本阶段地基加固处理推荐方案二，即劲性复合桩方案。

5 绿色施工工法体系构建

5.1 桩基工程施工工法

面向城市敏感环境，绿色施工工法要点如下：（1）静压植桩工法，适于预制桩，无振动、低噪音、场地适应性强，优先用于中心区及近邻敏感建筑。（2）旋挖钻孔灌注桩工法，成孔快、泥浆污染小、噪音低，地层稳定且无地下水时宜干取土成孔。（3）劲性复合桩工法，适于高承载力要求，结合预制桩工厂化生产与高压旋喷后压桩，质量、工期可控且环境友好。

5.2 基坑围护施工工法

（1）静压钢板桩工法。采用静压植桩机进行钢板桩施工，实现零噪音、无振动施工。（2）装配式围堰工法。采用钢管桩围堰等装配式临时挡水结构，提高施工效率，减少现场作业。

5.3 主体结构施工工法

（1）现浇 + 预制装配组合工法。水位以下采用现浇工艺确保防水防渗，水位以上采用预制装配缩短工期。（2）覆罩法施工工法。在紧邻居民区的施工区域设置全封闭罩体，实现降噪、抑尘、控光。

5.4 绿色施工管理措施

（1）噪音控制。优先选用低噪音设备（静压桩机、旋挖钻机等），合理安排作业时间，必要时采用覆罩法。（2）振动控制。采用静压工艺替代振动工艺，对周边建筑物进行振动监测。（3）泥浆控制。优先采用干取

土成孔工艺；必须使用泥浆时采用静态泥浆护壁技术；建立泥浆循环利用与规范化处置系统。（4）扬尘控制。采用湿法作业、封闭运输、场地硬化等措施，必要时采用覆罩法全封闭施工。

结语

本研究以漯河市澧河退水闸工程为依托，系统提出城市水利工程绿色施工技术体系，主要结论如下：（1）城市中心区施工受噪音、振动、泥浆、空间、交通等多重约束，需从低噪音、低振动、少泥浆、快速装配化四维构建技术体系。（2）静压植桩技术无振动、低噪音（< 50dB），适用于狭窄敏感地段。（3）旋挖钻孔灌注桩泥浆用量少，无地下水时可干取土成孔，适宜环保要求高的城市施工。（4）劲性复合桩为地基处理优选方案：较 CFG 桩节省造价 59.01 万元（6.9%），缩短工期 40 天（41.7%），且工厂化生产、后压桩工艺质量稳定、环境整洁。（5）覆罩法可降低噪音近 30dB，实现扬尘与光污染闭环管控。（6）绿色工法需覆盖桩基、基坑围护、主体结构等全工序，综合设备选型、工艺优化、组织管理与环境监测。本研究完成从技术比选到工法体系的全链条设计，为城市中心区水闸工程绿色施工提供系统参考。

参考文献

[1] 袁世伟, 李洋. 双碳目标下城市工程低影响绿色施工技术体系构建研究 [J]. 施工技术, 2024, 53(12): 89-95.
[2] 王要武, 张雨晴. 城市更新工程低影响绿色施工管控技术与体系优化 [J]. 建筑科学, 2023, 39(05): 201-207.
[3] 刘贵应, 陈俊. 面向城市生态保护的低扰动绿色施工关键技术研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(08): 78-83.
[4] 肖建庄, 周明. 城市建筑工程低碳低影响施工技术集成与应用 [J]. 土木工程学报, 2022, 55(09): 112-120.