

复杂地质条件下输水工程桩基础全护筒灌注桩施工关键技术及监理应用

魏友利

上海东华工程咨询有限公司 上海 200434

摘要: 输水工程桩基础承载构筑物自重与水压力, 复杂地质(软土、砂卵石、岩溶等)易引发塌孔、断桩等问题, 制约工程质量。本文结合全护筒灌注桩技术原理, 阐述施工前期准备、核心工序、复杂地质专项处置及质量安全控制要点, 构建适配的监理体系, 明确监理职责与全过程管控重点, 分析监理难点及优化措施, 为同类工程施工与监理提供技术参考, 保障工程长期稳定运行。

关键词: 复杂地质条件; 输水工程; 桩基础; 全护筒灌注桩; 施工关键技术; 监理应用

引言: 随着我国输水工程向偏远复杂区域延伸, 软土、砂卵石、岩溶等复杂地质场景增多, 传统灌注桩施工易出现孔壁失稳、桩身缺陷等问题, 难以满足工程防渗、承重及耐久性要求。全护筒灌注桩凭借无泥浆污染、成孔质量优的优势, 成为此类地质桩基施工的优选技术。本文深入研究其施工关键要点, 结合监理实践完善监理体系, 破解施工与监理难题, 助力输水工程高质量建设。

1 复杂地质条件下输水工程桩基础全护筒灌注桩施工基础理论

1.1 输水工程桩基础核心技术要求

(1) 承载性能与稳定性要求: 需承受输水构筑物自重、水压力及地质侧压力, 确保单桩承载力达标, 避免沉降、倾斜, 保障输水工程长期稳定运行, 适配复杂地质下的受力特性。(2) 施工精度及耐久性要求: 桩位、桩径、垂直度误差需严格控制, 满足输水工程防渗需求; 桩体需具备抗渗、抗腐蚀、抗冻能力, 抵御地下水及复杂地质介质侵蚀, 延长使用寿命。(3) 复杂地质制约因素: 软土、砂卵石、岩溶等地质易导致塌孔、缩径、桩端持力层不稳, 地下水位过高会增加施工难度, 地质不均匀易引发桩体质量缺陷, 制约施工效率与质量。

1.2 全护筒灌注桩施工技术原理

(1) 结构特点与施工核心逻辑: 以钢护筒全程包裹桩孔, 护筒与桩体协同受力, 核心是“护筒跟进、边护边钻、及时灌注”, 实现成孔与成桩的连续可控, 保障孔壁稳定。(2) 作用机理及适用地质: 通过护筒隔离不良地层、阻挡地下水涌入, 防止塌孔, 同时固定桩位; 适用于软土、砂卵石、岩溶等易塌孔地质及地下水位较高的输水工程桩基施工。(3) 与传统灌注桩对比: 无需

泥浆护壁, 避免泥浆污染, 成孔质量更优, 桩身完整性更好, 承载能力提升10%-15%, 但施工成本略高, 适配复杂地质的优势更为突出^[1]。

1.3 复杂地质条件分类及施工难点分析

(1) 常见复杂地质类型: 主要包括软土地层(承载力低、沉降大)、砂卵石地层(渗透性强、易塌孔)、岩溶地层(孔洞多、持力层难确定)及混合复杂地层。(2) 核心施工难点: 软土层护筒易下沉, 砂卵石层钻进阻力大, 岩溶地层易漏浆、卡钻, 不同地层需频繁调整施工参数, 施工衔接难度大。(3) 质量与安全风险: 易引发塌孔、断桩、桩身夹泥等质量问题, 钻进过程中可能出现护筒变形、机械倾覆等安全隐患, 需重点防控。

1.4 全护筒灌注桩施工相关规范与标准

(1) 国内相关规范: 遵循《建筑桩基技术规范》《建筑地基基础工程施工质量验收标准》等, 明确输水工程桩基础施工的技术参数、流程及防控要求。(2) 质量验收标准: 严格把控护筒埋设、成孔、钢筋笼安装、混凝土灌注各环节, 明确桩径、垂直度、混凝土强度等验收指标, 确保桩体质量达标。(3) 监理职责要求: 监理需全程旁站, 监督施工流程合规性, 核查原材料质量、施工参数及隐蔽工程验收, 及时制止违规操作, 保障施工质量与安全。

2 复杂地质条件下输水工程桩基础全护筒灌注桩施工关键技术

2.1 施工前期准备关键技术

(1) 复杂地质勘察与施工方案优化设计技术: 采用钻探与物探相结合的方式, 精准查明复杂地层分布、地下水埋深及不良地质范围, 明确桩端持力层参数; 结合勘察结果优化施工方案, 确定护筒埋设深度、钻孔参

数及专项处置措施,规避地质风险,保障施工可行性。

(2) 全护筒材料选型、加工及质量控制技术: 优先选用高强度钢板制作护筒, 根据地质硬度确定钢板厚度, 软土、砂卵石地层选用12-16mm厚钢板, 岩溶地层选用16-20mm厚钢板; 加工时保证护筒垂直度, 接口焊接牢固、密封严密, 防止漏浆; 进场前严格检测护筒强度、平整度及接口质量, 不合格材料严禁使用^[2]。(3) 施工机械设备选型与调试技术: 结合地质类型选型, 软土地层选用全回转钻机, 砂卵石、岩溶地层选用大功率旋挖钻机配合全回转钻机; 配备泥浆泵、混凝土输送泵等辅助设备, 确保设备性能适配复杂地质施工; 施工前对钻机垂直度、转速、扭矩进行全面调试, 对辅助设备试运行, 排查设备故障, 保障施工连续高效。

2.2 核心施工工序关键技术

(1) 护筒埋设技术: 采用全站仪精准定位桩位, 偏差控制在5cm以内; 埋设时采用导向架控制垂直度, 倾斜度不超过1%, 结合地质条件确定埋设深度, 软土层埋深不小于3m, 砂卵石、岩溶地层埋深不小于5m, 底部嵌入稳定地层, 埋设后回填黏土夯实, 防止护筒移位、漏浆。(2) 钻孔成孔技术: 根据地质类型调整钻孔速度, 软土层采用低速匀速钻进, 砂卵石、岩溶地层采用中低速钻进, 避免孔壁坍塌; 全程监测钻孔垂直度, 发现偏差及时纠偏; 遇到地下孤石、岩层等障碍时, 采用冲击破碎后再钻进, 严禁强行钻进, 防止钻机损坏或孔壁失稳。(3) 清孔技术: 采用“一次清孔+二次清孔”工艺, 一次清孔在钻孔至设计深度后进行, 采用泥浆循环法清除孔底浮渣; 二次清孔在钢筋笼安装完成后、混凝土灌注前进行, 采用导管抽浆法, 将沉渣厚度控制在设计要求以内, 端承桩沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$, 摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$, 确保桩端承载力。(4) 钢筋笼制作与安装技术: 严格按照设计尺寸制作钢筋笼, 采用加强箍加密措施防止变形, 主筋、箍筋焊接牢固, 焊缝质量符合规范要求; 安装时采用吊机匀速下放, 对准桩孔中心, 避免钢筋笼碰撞孔壁, 下放到位后固定牢固, 防止混凝土灌注时上浮、移位。(5) 混凝土灌注技术: 优化混凝土配合比, 选用早强、抗渗、流动性好的混凝土, 适配复杂地质下的灌注需求; 采用导管法连续灌注, 导管底部距孔底30-50cm, 灌注过程中及时提升导管, 防止导管堵塞、断桩, 确保混凝土灌注连续性, 桩顶混凝土超灌50-100cm, 保障桩顶质量^[3]。

2.3 复杂地质专项处置技术

(1) 软土地质专项技术: 采用“护筒跟进+分层钻进”模式, 减少钻孔对软土的扰动; 在护筒外侧设置排

水盲沟, 降低地下水位, 防止软土沉降; 钻孔完成后及时清孔、灌注混凝土, 缩短成孔至灌注的间隔时间, 防控塌孔风险。(2) 砂卵石地质专项技术: 钻孔时采用泥浆护壁辅助, 提高泥浆比重, 增强孔壁稳定性, 防止涌砂; 选用耐磨钻头, 定期更换钻头, 提高钻进效率; 护筒接口采用密封胶加强密封, 避免泥浆流失, 同时控制钻孔速度, 防止孔壁坍塌。(3) 岩溶地质专项技术: 对岩溶孔洞采用水泥砂浆填充、片石挤密等方式预处理, 确保桩端持力层稳定; 钻孔过程中密切监测泥浆液位, 发现漏浆及时补浆, 防止孔内水位骤降引发塌孔; 桩身灌注时适当提高混凝土浇筑速度, 确保混凝土填充密实, 控制桩身完整性。

2.4 施工质量与安全控制关键技术

(1) 全过程质量检测技术: 采用孔径仪、测斜仪检测孔径、垂直度, 不符合要求及时整改; 采用超声波检测桩身完整性, 采用回弹法检测混凝土强度; 重点检测护筒埋设、清孔、混凝土灌注等关键环节, 确保各工序质量达标。(2) 施工安全风险防控技术: 对施工人员进行安全培训, 规范操作流程; 钻机作业时设置警戒区域, 防止无关人员进入; 加强机械设备日常检修, 防范机械故障引发的安全事故; 针对岩溶、滑坡等地质灾害, 制定防控预案, 配备应急设备, 防范地质灾害风险^[4]。(3) 常见问题及应急处置技术: 针对塌孔, 立即停止钻进, 回填黏土或砂卵石, 加固孔壁后再复工; 针对导管堵塞, 采用抖动导管、高压冲捣等方式疏通, 无法疏通时及时更换导管重新灌注; 针对混凝土离析, 调整配合比, 确保搅拌均匀, 灌注时控制浇筑速度, 保障施工质量。

3 复杂地质条件下输水工程桩基础全护筒灌注桩施工监理应用

3.1 监理体系构建与监理职责划分

(1) 复杂地质桩基础施工监理组织架构设计: 结合输水工程规模及复杂地质特性, 构建三级监理组织架构, 由总监理工程师牵头, 专业监理工程师分工负责, 监理员现场旁站; 按软土、砂卵石、岩溶等地质类型划分专项监理小组, 配备专业人员, 明确管控范围, 实现监理工作全覆盖、无盲区。(2) 核心职责划分: 总监理工程师统筹监理工作, 审批施工方案、协调各方关系、签发监理指令, 对质量安全负总责; 专业监理工程师复核勘察资料、审核材料设备参数、管控关键工序, 处置专业技术问题; 监理员负责现场旁站, 记录施工参数、核查工序合规性, 及时上报施工异常。(3) 监理工作流程与管控机制建立: 制定“前期复核—过程管控—后

期验收”全流程监理流程,明确各环节节点、标准及时限;建立事前预控、事中检查、事后复盘的管控机制,结合地质风险点,完善监理巡查、旁站监督及隐患整改制度,确保监理工作规范化推进。

3.2 施工全过程监理关键点

(1) 施工前期监理:重点复核地质勘察文件,确认不良地质分布及处置方案可行性;严格审批施工组织设计及专项方案,审核复杂地质处置措施及施工参数;全面验收进场护筒、钻机、混凝土原材料,核查合格证明并现场抽检,不合格材料设备严禁进场。(2) 施工过程监理:对护筒埋设、钻孔成孔、清孔、钢筋笼安装及混凝土灌注等核心工序全程旁站,核查桩位、垂直度、沉渣厚度等关键参数,确保符合规范要求;重点巡查复杂地质施工环节,及时制止违规操作,对质量隐患下达整改通知,跟踪验收合格后方可进入下一工序。(3) 施工后期监理:复核施工单位提交的质量检测报告,重点核查桩身完整性、混凝土强度,对不合格桩体督促补强;严格按标准开展竣工验收,核查施工资料规范性及桩体外观、桩位偏差,验收合格后签署意见;整理归档监理及施工资料,确保资料与施工同步可追溯^[5]。

3.3 复杂地质条件下监理重点与难点处置

(1) 差异化监理管控措施:软土地质重点监理护筒埋设深度、钻孔速度及沉降情况,防范塌孔风险;砂卵石地质重点监理泥浆比重、护筒密封性能,防范涌砂、漏浆问题;岩溶地质重点监理岩溶孔洞预处理、桩端持力层核查,确保桩身完整性,针对不同地质类型优化监理频次及管控重点,提升监理针对性。(2) 隐患识别与处置:建立复杂地质隐患识别清单,重点识别塌孔、断桩、护筒变形等质量隐患及机械倾覆、人员坠落等安全隐患;发现隐患后立即停止相关施工,组织施工单位分析隐患原因,制定专项整改方案,监理全程跟踪整改过程,验收合格后方可恢复施工,对重大隐患及时上报建设单位及相关主管部门。(3) 协调机制与问题处理流程:建立监理、建设、施工、勘察设计多方协调机制,定期召开协调会议,解决施工中存在的地质、技术及管理问题;明确监理工作问题处理流程,对施工中出现的争议、技术难题,及时组织各方论证,提出解决方案,

确保问题快速有效解决,保障施工顺利推进。

3.4 监理效果评价与优化建议

(1) 监理效果评价指标体系构建:围绕施工质量、施工安全、施工进度及投资控制四大核心,构建监理效果评价指标体系,涵盖桩体质量合格率、隐患整改率、安全事故发生率、进度达标率等量化指标,结合复杂地质处置效果,采用定性与定量结合的方式,全面评价监理工作成效。(2) 当前监理工作不足:部分监理人员复杂地质专业能力不足,对岩溶、砂卵石等地质的监理要点把握不够精准;监理信息化应用水平不高,现场监理数据记录、分析效率较低;对施工单位的违规操作处罚力度不足,隐患整改闭环管理不够严格;多方协调的及时性有待提升,部分技术问题处置效率不高。(3) 监理工作优化措施:加强监理人员专业培训,提升复杂地质处置及技术管控能力;推广监理信息化技术,提高管控精度与效率;完善考核奖惩机制,强化隐患整改闭环管理;健全多方协调机制,提升问题处置效率,适配复杂地质施工需求。

结束语

复杂地质条件下输水工程桩基础全护筒灌注桩施工,需精准把控地质特性,落实各环节关键技术,针对性处置地质难点,强化质量与安全管控。监理作为质量保障核心,需构建完善体系、明确差异化管控重点,及时排查隐患。本文研究的技术与监理方法具备可行性,后续可结合工程实例优化参数、完善模式,为同类工程提供支撑,推动桩基施工与监理水平协同提升。

参考文献

- [1]王东东,廖鱼.复杂地质条件下高回填旋挖桩施工关键技术及质量控制手段[J].建筑机械,2024,(08):82-86.
- [2]李江.复杂地质条件下桩基础施工工艺优化研究[J].现代工程科技,2025,4(12):21-24.
- [3]吴炼侦.建筑工程建设中的混凝土灌注桩基施工技术[J].建设机械技术与管理,2025,38(03):128-130.
- [4]刘俊.建筑工程土建施工中桩基础施工技术的应用[J].中国住宅设施,2025,(04):217-219.
- [5]孙小强.建筑工程土建施工中桩基础技术的应用分析[J].建材发展导向,2025,23(01):109-111.