

水利施工中灌注桩基础的施工工艺优化与应用

黄志伟

广东南力工程建设管理有限公司 广东 佛山 528000

摘要: 水利施工中灌注桩基础质量关乎工程安全与耐久性。本文剖析传统施工工艺流程、常见质量问题及成因,指出地质复杂与参数控制不当是关键因素。随后阐述成孔、清孔、混凝土灌注等工艺优化关键技术,以及特殊地质应对策略。构建涵盖质量控制目标、全流程要点、验收标准与评价方法的质量控制体系,旨在为水利灌注桩基础施工提供工艺优化思路与质量控制参考,提升工程质量。

关键词: 水利施工;灌注桩基础;施工工艺优化

引言:在水利工程建设中,灌注桩基础作为重要结构形式,其施工质量直接影响工程整体稳定性与安全性。传统灌注桩施工工艺虽具通用性,但面对复杂地质条件与高精度要求,常出现孔壁坍塌、桩身缺陷等质量问题。深入分析传统工艺问题成因,探索施工工艺优化技术,构建科学的质量控制体系,对提升水利灌注桩基础施工质量、保障水利工程长期稳定运行具有重要的现实意义与迫切需求。

1 水利施工中灌注桩基础施工工艺现状与问题分析

1.1 传统施工工艺流程

水利施工中传统灌注桩基础施工工艺流程具有较强的规范性和通用性,核心环节围绕成孔、清孔、钢筋笼制作安装及混凝土灌注逐步开展。施工前期需完成场地平整、测量放线与泥浆池搭建,精准定位桩位并做好防护措施。成孔阶段多采用冲击钻、回旋钻等设备,结合泥浆护壁技术防止孔壁坍塌,根据地质情况调整钻进速度与泥浆浓度。成孔完成后立即进行清孔作业,通过换浆法清除孔底沉渣,确保沉渣厚度符合规范要求。随后开展钢筋笼加工与吊装,钢筋笼需严格按设计尺寸制作,吊装时采用两点起吊法避免变形,就位后固定牢固防止浇筑时上浮^[1]。最后进行混凝土灌注,采用导管法连续浇筑,控制导管埋深在2-6米范围,直至混凝土顶面超出设计桩顶标高,完成整个施工流程。传统工艺适配性强,但流程繁琐,对施工人员操作熟练度要求较高。

1.2 常见质量问题

水利灌注桩基础施工中常见质量问题直接影响工程结构安全性与耐久性,主要集中在孔壁、桩身及桩底三方面。孔壁问题表现为孔壁坍塌、缩径与扩径,坍塌多发生在松散土层或泥浆性能不佳时,易导致桩身夹泥、断桩;缩径会使桩身截面尺寸不足,降低承载能力,扩径则造成混凝土浪费,且易引发桩身不均匀沉降。桩身

问题以断桩、夹泥、蜂窝麻面为主,断桩多由混凝土浇筑中断、导管拔脱或钢筋笼上浮导致,是影响最严重的质量缺陷;夹泥源于清孔不彻底或泥浆含砂量过高,使桩身存在夹层,降低整体性;蜂窝麻面则因混凝土和易性差、浇筑振捣不足所致。桩底问题主要是沉渣过厚,超出规范允许范围后,会减少桩底受力面积,引发基础沉降。另外,还存在桩位偏差过大、钢筋笼保护层厚度不足等问题,这些缺陷易导致灌注桩在水利工程长期水压力作用下提前损坏,影响工程整体稳定性。

1.3 问题成因分析

1.3.1 地质条件复杂

地质条件复杂是水利灌注桩施工质量问题的核心自然成因,水利工程多建于河道、库区周边,地质环境具有多样性和不确定性。施工区域常存在砂卵石层、淤泥层、强风化岩层等复杂地层,不同地层物理力学性质差异显著。砂卵石层颗粒松散、渗透性强,钻进时泥浆护壁难度大,易出现孔壁坍塌与漏浆现象,且沉渣清理难度高,易导致桩底沉渣超标。淤泥层承载力低、压缩性高,钻进过程中易产生孔壁缩径,同时泥浆在淤泥层中循环不畅,清孔效果难以保证。强风化岩层结构破碎,硬度不均匀,钻进时易引发孔壁坍塌,且会加剧钻头磨损,影响成孔精度。部分区域存在地下水丰富、水位变化大的问题,地下水的渗透作用会破坏泥浆护壁效果,导致孔内水位骤降,引发孔壁失稳,同时地下水还可能携带泥沙进入孔内,增加沉渣量与夹泥风险,给施工质量控制带来极大挑战。

1.3.2 施工参数控制不当

施工参数控制不当是人为因素中导致质量问题的主要原因,贯穿灌注桩施工全流程,参数偏差直接引发各类质量缺陷。成孔阶段,钻进速度与泥浆参数控制不合理最为常见,在松散地层中钻进速度过快,易扰动孔壁土体导致坍塌;泥浆比重、粘度与含砂量不符合要求,

会降低护壁效果, 泥浆比重过大则增加孔底沉渣厚度, 过小则无法有效平衡孔壁压力。清孔阶段, 换浆时间不足、清孔后静置时间过长, 会导致沉渣再次沉积, 使沉渣厚度超出规范标准。混凝土灌注阶段, 导管理深控制不当是关键问题, 埋深过浅易导致管内进水引发断桩, 过深则会造成混凝土浇筑阻力增大, 出现顶升困难, 同时混凝土浇筑速度过快或过慢, 会分别引发钢筋笼上浮、混凝土离析等问题。钢筋笼吊装就位时定位偏差过大、混凝土配合比调整不合理等参数控制失误, 也会间接引发桩位偏差、桩身强度不足等质量问题。

2 水利施工中灌注桩施工工艺优化关键技术

2.1 成孔工艺优化

成孔工艺优化是提升灌注桩施工质量的核心环节, 需结合地质条件精准选型与技术改进, 实现成孔效率与精度的双重提升。针对不同地层特性优化成孔设备, 松散砂层与淤泥层采用旋挖钻配合套管护壁技术, 套管随钻进同步下沉, 有效隔绝土体扰动, 防止孔壁坍塌; 坚硬岩层采用冲击钻与回旋钻联合成孔工艺, 先用冲击钻破碎岩层, 再用回旋钻修整孔壁, 提升成孔平整度与效率^[2]。优化钻进参数控制, 采用智能化钻进系统, 实时监测钻进速度、孔底压力与泥浆性能, 根据数据反馈自动调整参数, 如在强风化岩层中降低钻进速度, 同时加大泥浆比重, 增强护壁效果。改进成孔导向技术, 采用GPS定位与孔斜实时监测设备, 确保桩位偏差控制在规范允许范围内, 孔斜度不超过1%。针对富水地层, 优化泥浆循环路径, 增设泥浆净化装置, 提升泥浆重复利用率, 同时采用孔内注浆加固技术, 提前稳定孔壁, 减少渗漏与坍塌风险, 为后续施工奠定良好基础。

2.2 清孔工艺优化

清孔工艺优化核心目标是彻底清除孔底沉渣与有害泥浆, 确保桩底承载力满足设计要求, 避免因清孔不彻底引发质量缺陷。采用“二次清孔”工艺替代传统单次清孔, 第一次清孔在成孔完成后立即进行, 采用换浆法将孔内沉渣与废弃泥浆排出, 初步降低沉渣厚度; 第二次清孔在钢筋笼安装完成、导管下放后进行, 采用气举反循环清孔技术, 利用压缩空气将孔底沉渣与泥浆混合物向上提升排出, 该技术清孔效率比传统方法提升30%以上, 能有效控制沉渣厚度在50mm以内。优化清孔参数, 根据孔深、孔径与地质情况调整空气压力、泥浆流量与清孔时间, 确保清孔均匀彻底, 避免局部沉渣残留。改进泥浆处理技术, 采用高效泥浆净化设备, 去除泥浆中的泥沙、杂物, 调整泥浆比重与粘度至合理范围, 使清孔后泥浆含砂量不超过2%、粘度控制在18-22s。清孔完

成后及时进行混凝土浇筑, 缩短静置时间, 同时实时监测孔底沉渣变化, 若沉渣厚度超出标准, 立即补做清孔作业, 确保清孔质量稳定可靠。

2.3 混凝土灌注工艺优化

混凝土灌注工艺优化重点在于保障混凝土浇筑连续性与均匀性, 杜绝断桩、夹泥等严重质量缺陷。优化混凝土配合比, 针对水利工程水下浇筑需求, 配制高流动性、高抗渗性混凝土, 掺入高效减水剂与膨胀剂, 确保混凝土坍落度控制在180-220mm, 初凝时间不小于4小时, 避免浇筑过程中出现离析、初凝过快问题。改进导管施工技术, 导管选用高强度无缝钢管, 提前进行水密性试验与接头强度检测, 防止浇筑时渗漏; 导管下放采用分层对接方式, 精准控制下放深度, 浇筑过程中通过液位计实时监测孔内混凝土高度, 动态调整导管理深, 始终保持在2-6米合理范围。优化浇筑速度与顺序, 采用连续浇筑模式, 浇筑速度控制在2-3m³/h, 避免中途停顿; 浇筑至桩顶部位时, 适当放慢速度, 同时提升导管, 确保桩顶混凝土密实, 减少浮浆厚度。采用智能化浇筑监测系统, 实时监测混凝土浇筑量、上升速度与导管理深, 及时预警异常情况, 保障灌注过程稳定可控, 提升桩身混凝土质量^[3]。

2.4 特殊地质条件应对技术

针对水利施工中特殊地质条件, 需采用针对性应对技术, 破解施工难题, 保障灌注桩施工质量。对于砂卵石层, 采用“套管跟进+泥浆强化护壁”联合技术, 套管选用壁厚不小于10mm的无缝钢管, 随钻进同步跟进, 阻挡砂卵石坍塌, 同时配制高粘度、高比重泥浆, 增强泥浆悬浮沉渣能力, 减少孔底沉渣积累。对于淤泥质软土, 采用深层搅拌桩预处理技术, 在桩位周边布置深层搅拌桩形成复合地基, 提升土体承载力与稳定性, 再进行灌注桩成孔施工, 有效防止孔壁缩径与坍塌; 浇筑混凝土时, 适当提高浇筑速度, 避免混凝土与淤泥混合引发夹泥。对于富水断层破碎带, 采用超前注浆加固技术, 通过注浆管向断层破碎带注入水泥浆, 形成加固帷幕, 阻断地下水渗透, 同时稳定破碎岩体, 待注浆体强度达标后再进行成孔作业; 成孔过程中加大泥浆循环量, 及时排出破碎岩渣与地下水。对于强风化岩层与岩溶地层, 采用钻孔压浆桩技术, 成孔后向孔底及孔壁压注水泥浆, 填充岩层裂隙与溶洞, 再进行钢筋笼安装与混凝土浇筑, 提升桩体与岩层的结合力, 保障灌注桩承载能力。

3 水利灌注桩基础施工质量控制体系构建

3.1 质量控制目标

水利灌注桩基础施工质量控制目标以符合设计要求与行业规范为核心,兼顾安全性、耐久性与经济性,构建全方位质量管控目标体系。核心质量目标包括桩身质量达标,桩身混凝土强度符合设计等级,无断桩、夹泥、蜂窝麻面等质量缺陷,桩身完整性检测合格率达到100%;桩位与孔斜精度控制,桩位偏差不超过50mm,孔斜度不大于1%,确保桩体受力均匀。承载能力目标需满足设计要求,单桩竖向抗压承载力与水平承载力经检测均达到设计标准,桩底沉渣厚度严格控制在规范允许范围内,端承桩不超过50mm,摩擦桩不超过100mm。耐久性目标针对水利工程水下环境特点,确保桩体混凝土抗渗等级不低于P8,抗冻等级不低于F200,钢筋保护层厚度符合设计要求,防止钢筋锈蚀与混凝土碳化,保障灌注桩使用寿命不低于工程设计使用年限。同时兼顾施工过程质量目标,实现施工参数控制精准、原材料质量合格、施工工序合规,杜绝重大质量事故,减少一般质量缺陷,确保工程整体质量稳定可靠。

3.2 全流程质量控制要点

构建全流程质量控制体系,需覆盖灌注桩施工各环节,明确各阶段控制要点,实现闭环管控。施工准备阶段,控制要点包括地质勘察精度,确保勘察报告真实反映场地地质条件,为施工工艺选型提供依据;原材料进场检验,对水泥、砂石、钢材、外加剂等原材料进行抽样检测,不合格材料严禁进场;施工方案审核,结合地质条件与工程要求,审核施工工艺、设备选型、参数设置等内容,确保方案可行性。施工过程阶段,成孔环节重点控制钻进参数、泥浆性能与孔位孔斜,实时监控并记录数据,及时调整异常参数;清孔环节严格执行二次清孔工艺,控制沉渣厚度与泥浆指标,清孔完成后及时验收。钢筋笼制作与安装环节,控制钢材质量、焊接工艺与安装精度,确保钢筋笼尺寸、保护层厚度符合要求。混凝土灌注环节,控制配合比、浇筑速度与导管埋深,保障浇筑连续性。施工完成后,控制要点包括桩身养护,采用保湿养护方式,确保混凝土强度正常增长;质量检测,对桩身完整性、承载力进行全面检测,不合格桩及时采取加固处理措施,形成全流程质量管控链条。

3.3 质量验收标准与评价方法

质量验收标准以《水利水电工程混凝土灌注桩施工技术规范》《建筑桩基技术规范》为依据,结合水利工程特点制定针对性验收标准。原材料验收标准,水泥强度等级、安定性等指标需符合国家标准,砂石含泥量、颗粒级配达标,钢材力学性能与焊接质量合格;泥浆性能验收,成孔与清孔阶段泥浆比重、粘度、含砂量分别控制在1.1-1.3、18-22s、 $\leq 2\%$ 范围内^[4]。成孔验收标准,桩位偏差 $\leq 50\text{mm}$,孔斜度 $\leq 1\%$,孔径不小于设计桩径,沉渣厚度端承桩 $\leq 50\text{mm}$ 、摩擦桩 $\leq 100\text{mm}$ 。桩身质量验收标准,混凝土强度达到设计等级,桩身完整性经低应变法检测为I、II类桩,无III、IV类桩;承载力验收经静载试验检测,单桩竖向抗压与水平承载力满足设计要求。评价方法采用“过程评价+结果评价”结合模式,过程评价通过检查施工记录、旁站监督记录等,评价工序合规性;结果评价采用低应变法、高应变法、静载试验等检测手段,全面评估桩身质量与承载能力,形成验收评价报告,对不合格项制定整改方案,整改完成后重新验收,确保工程质量符合标准。

结束语

水利施工中灌注桩基础施工工艺优化与质量控制是保障工程质量的关键。通过针对不同地质条件优化成孔、清孔、混凝土灌注等工艺,采用特殊地质应对技术,并构建全流程质量控制体系,可有效解决传统工艺中的质量问题,提升桩身质量与承载能力。未来,随着技术不断进步,需持续完善施工工艺与质量控制体系,推动水利灌注桩基础施工向更高质量、更高效益方向发展。

参考文献

- [1]贾云龙.钻孔砼灌注桩施工技术在水利施工中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(18):173-176.
- [2]宋斌.水利水电工程基础处理施工技术浅析[J].工程技术研究,2024,6(21):125-127.
- [3]谢鹏.水利施工中钻孔灌注桩施工关键技术与优化研究[J].奥秘,2024(9):67-6.
- [4]朱令坤.水利工程施工中的灌注桩基础技术研究[J].工程管理与技术探讨,2024,6(17).