

水利施工钻孔灌注桩施工技术研究

常晨雨

河南水建集团有限公司 河南 郑州 450008

摘要: 在水利施工领域, 钻孔灌注桩技术占据关键地位。本文详细阐述该技术原理与分类, 剖析水利施工各关键技术环节, 包括施工准备、护筒施工、成孔、清孔、钢筋笼制作安装及混凝土灌注等。针对深水、软土地基、岩层交界面等特殊施工条件提出应对策略, 并从成孔、混凝土、钢筋笼三方面明确技术质量控制要点。通过系统研究, 为水利施工钻孔灌注桩技术应用提供全面指导。

关键词: 水利施工; 钻孔灌注桩; 关键技术; 特殊条件; 质量控制

引言: 水利工程建设中, 基础结构的稳定性直接影响工程整体质量与安全。钻孔灌注桩凭借承载力高、适应性强等优势, 成为水利基础施工常用技术。然而, 水利施工环境复杂, 地质条件多变, 对钻孔灌注桩技术提出更高要求。从施工准备到各环节操作, 再到特殊条件应对与质量控制, 每个步骤都关乎桩体质量与工程安全。深入探究水利施工钻孔灌注桩技术, 对保障水利工程建设质量意义重大。

1 钻孔灌注桩技术原理与分类

1.1 成桩技术原理

钻孔灌注桩成桩过程是机械成孔与混凝土灌注两大核心环节的有机衔接。机械成孔阶段, 钻机通过旋转或冲击等方式破碎地层, 形成与桩设计尺寸匹配的孔洞, 钻头与地层相互作用, 不同地质条件对钻进方式提出差异化要求。例如, 在软土地层, 旋转钻进可高效完成成孔; 面对坚硬岩层, 冲击钻进则凭借冲击力破碎岩石^[1]。成孔质量直接影响后续混凝土灌注效果, 孔壁的垂直度、孔径大小及孔底沉渣厚度等参数均需严格控制。混凝土灌注是桩体形成的关键, 成孔完成后, 将导管插入孔底, 通过导管向孔内连续灌注混凝土。混凝土在重力作用下逐渐填充孔洞, 同时将孔内泥浆或水体排出, 随混凝土灌注高度上升, 桩体逐步形成。混凝土与周围土体产生复杂力学作用, 桩体承受上部结构荷载时, 通过桩身将荷载传递至桩端土层及桩周土体, 桩端土层提供端阻力, 桩周土体则通过侧摩阻力分担荷载。桩土相互作用力学模型需综合考虑土体性质、桩身材料特性及荷载作用方式等因素: 竖向荷载下, 桩身产生轴向压缩变形, 桩周土体发生剪切变形, 二者共同构成桩土体系的力学平衡; 水平荷载下, 桩身产生弯曲变形, 桩周土体通过抗剪强度提供水平抗力, 维持桩体稳定性。

1.2 技术分类体系

依据护壁方式差异, 钻孔灌注桩分为泥浆护壁与全套管法两类。泥浆护壁法通过向孔内注入泥浆, 利用泥浆液柱压力平衡孔壁土体侧压力, 防止孔壁坍塌。泥浆还具有携带钻渣、冷却钻头及润滑钻具等作用。全套管法采用全套管跟进技术, 在钻进过程中, 套管随钻头同步下压, 将孔壁土体与外界隔离, 形成稳定护壁空间。此方法无需泥浆循环系统, 施工效率较高, 但设备成本相对较高。按成孔工艺划分, 钻孔灌注桩包含旋转钻进、冲击钻进及旋挖钻进三种类型。旋转钻进利用钻头旋转产生的切削力破碎地层, 适用于软土、砂土等地层。冲击钻进通过钻头周期性冲击破碎岩石, 对坚硬岩层具有良好适应性。旋挖钻进结合旋转与提升动作, 利用钻斗取土成孔, 具有成孔效率高、环境污染小等优势, 广泛应用于各类地质条件。从施工环境角度, 钻孔灌注桩分为陆上施工与水上施工。陆上施工受地形条件限制较小, 设备布置及材料运输较为便利。水上施工需考虑水流、潮汐及波浪等因素影响, 需搭建水上施工平台, 采用专用水上钻机及配套设备, 施工难度及成本相对较高。

2 水利施工关键技术环节

2.1 施工准备阶段

水利施工钻孔灌注桩前期准备需严谨对待地质勘察与方案制定工作。地质勘察需全面掌握施工区域地层结构、岩土性质及地下水位等信息, 为后续施工提供基础数据支撑。依据勘察结果, 结合工程需求与设计规范, 制定科学合理的施工方案, 明确各环节技术参数与操作流程。施工设备选型需充分考虑地质条件、桩径尺寸及施工效率等因素。钻机应具备足够扭矩与转速调节范围, 以适应不同地层钻进需求; 泥浆泵流量与扬程需满足泥浆循环要求; 起重设备起吊能力应覆盖钢筋笼及导管等重物吊装需求。泥浆循环系统设计需兼顾泥浆制

备、储存、净化及回收等环节。泥浆池容量应满足施工连续性要求,净化装置需具备高效分离钻渣能力,确保泥浆性能指标符合护壁需求。

2.2 护筒施工技术

护筒材料选择需兼顾强度与耐久性要求。钢制护筒因加工方便、强度高成为主流选择,厚度需根据地层压力与施工深度确定^[2]。护筒结构应具备足够刚度,防止埋设过程中发生变形。埋设深度需穿透软弱地层,确保孔口稳定性。垂直度校正需采用全站仪或铅垂线等精密测量工具,通过调整护筒周边土体密实度实现纠偏。

2.3 成孔施工技术

钻进参数控制需建立动态调整机制。转速应根据地层硬度调整,软土层可适当提高转速,岩层则需降低转速以防止钻头磨损。进尺速度需与泥浆排渣能力匹配,避免钻渣堆积影响成孔质量。泥浆比重需根据地层渗透性调节,砂层需提高比重增强护壁效果,黏土层则可适当降低比重减少泥浆消耗。复杂地层钻进需针对性调整工艺,软硬交界地层应采用低转速、小进尺方式,防止斜孔发生;卵石层需配备捞砂斗或冲击钻头,提高钻进效率。孔壁稳定性维护需综合运用泥浆性能调控与施工操作控制,通过维持泥浆液柱压力平衡土体侧压力,避免孔壁坍塌。

2.4 清孔技术

一次清孔与二次清孔需形成工序衔接,一次清孔在成孔完成后立即进行,采用正循环工艺清除大颗粒钻渣。二次清孔在钢筋笼安装后实施,改用反循环工艺清除细粒沉淀物。清孔质量判定需综合多项指标,泥浆性能应达到相对密度、黏度与含砂量要求,孔底沉渣厚度需通过测绳测量验证。沉渣厚度控制需优化清孔工艺,延长清孔时间提高清除效率,采用气举反循环增强扰动效果,清孔完成后静置一段时间复测沉渣厚度。

2.5 钢筋笼制作与安装

钢筋笼结构强度设计需进行力学计算,主筋直径与间距根据桩身受力确定,箍筋间距需满足抗剪要求。分段制作时需预留连接长度,主筋连接采用机械连接或焊接工艺,接头位置应错开布置。垂直度控制需在制作阶段设置定位支架,安装过程采用吊线法监测偏移量,通过调整吊点位置保证钢筋笼居中。定位技术需融合机械固定与测量校准,在护筒顶端设置定位架限制钢筋笼上浮,利用超声波检测仪验证钢筋笼位置准确性。

2.6 混凝土灌注技术

导管法水下灌注依托密封导管形成混凝土柱体,利用自身重力克服孔内水压实现连续浇筑。首批混凝土封

底需确保导管埋深,通过计算确定初灌量,采用大容量料斗实现快速灌注。灌注过程连续性保障需建立多级供应体系,混凝土运输车与泵车协同作业,设置中转储料斗防止供料中断。灌注过程中需持续监测导管埋深,通过测量混凝土面上升高度指导导管提拔,确保埋深始终处于规范要求范围。

3 特殊施工条件应对策略

3.1 深水环境施工

深水环境施工对平台稳定性提出严苛要求。水流冲刷、波浪作用及船舶碰撞等因素均可能引发平台位移或倾斜,需通过优化平台结构设计增强抗倾覆能力。采用大直径钢管桩作为基础支撑,扩大桩基入土深度,利用土体摩擦力与端阻力形成稳定支撑体系^[3]。平台面板需设置防滑装置与排水系统,避免人员操作安全隐患。护筒水下定位技术需综合运用声呐探测与激光导向系统。声呐设备可实时监测护筒下放轨迹,通过数据分析修正偏移量;激光导向装置在护筒顶端设置反射靶,利用全站仪测量垂直度,指导调整下放角度。混凝土输送管路设计需突破传统布局模式,采用分段式柔性连接减少水流阻力影响。管路固定装置应具备可调节功能,根据水流方向动态调整支撑角度,防止管路摆动导致混凝土离析。输送泵选型需考虑水头压力与输送距离,确保混凝土灌注压力满足设计要求。

3.2 软土地基施工

软土地基施工需构建多层次孔壁坍塌预防体系。泥浆护壁强度是首要防线,通过添加膨润土与高分子聚合物改善泥浆黏度,形成致密泥皮隔离土体与孔内水体。护筒埋设深度需穿透软弱夹层,利用护筒刚度抵抗土体侧压力。成孔过程中严格控制钻进速度,避免因快速钻进导致孔壁应力失衡。泥浆性能动态调整需建立实时监测机制,在砂层段提高泥浆比重增强携渣能力,在黏土层降低比重减少泥浆消耗。配备泥浆分离设备对循环泥浆进行净化处理,维持泥浆性能指标稳定。成孔垂直度保障技术需融合机械控制与人工校正。钻机就位时采用十字交叉法调整底座水平度,钻进过程中通过电子导向系统实时监测垂直度偏差,偏差超限时立即停钻进行纠偏处理。采用轻质合金钻杆减少自重影响,提高垂直度控制精度。

3.3 岩层交界面施工

岩层交界面施工需实现钻进工艺平滑转换。当钻头从土层进入岩层时,需逐步降低转速并增大轴向压力,防止因冲击力突变导致钻头损坏。配备复合式钻头,前端设置硬质合金齿破碎岩石,后端设置螺旋叶片清理钻

渣,提高钻进效率。孔底平整度控制需采用双层钻进工艺,先用大直径钻头破碎岩层主体,再用小直径钻头修整孔底凹凸面。安装孔底平整度检测装置,通过超声波扫描生成三维孔底模型,指导精准修整作业。嵌岩深度确定方法需综合地质勘察数据与现场试验结果。根据岩石单轴抗压强度计算理论嵌岩深度,在施工现场进行载荷试验验证实际承载力,通过对比分析确定最终嵌岩深度。采用动态监测技术记录钻进过程中的扭矩变化,当扭矩出现突变时判断已进入完整基岩,为嵌岩深度控制提供辅助依据。

4 技术质量控制要点

4.1 成孔质量控制

孔径偏差控制需建立动态监测机制。成孔过程中采用超声波测壁仪实时扫描孔壁轮廓,通过数据反馈系统自动调整钻头直径补偿磨损量。终孔后使用专用孔规进行全段检测,孔径允许偏差需控制在设计值的 $\pm 50\text{mm}$ 范围内,确保桩体与土体间形成有效摩擦力^[4]。孔深测量技术应突破传统测绳局限,采用电子测斜仪与激光测距仪组合测量。电子测斜仪可同步记录孔深与垂直度数据,激光测距仪通过发射反射信号精确测定孔底位置,两种设备数据交叉验证提高测量精度。垂直度检测方法需融合机械导向与光学测量技术。钻机安装时配备液压调平装置,确保底座水平度偏差小于 0.1% 。钻进过程中通过电子罗盘实时监测钻杆倾斜角度,偏差超限时立即启动纠偏程序,采用轻质合金钻杆减少自重对垂直度影响。

4.2 混凝土质量控制

配合比设计原则需兼顾施工性能与结构强度。根据原材料性能进行正交试验,确定最优水胶比与砂率参数。掺入粉煤灰与矿渣粉等矿物掺合料改善混凝土工作性,通过调整减水剂种类与掺量控制坍落度损失。坍落度控制范围需根据施工环境动态调整。常温环境下控制在 $180\text{--}220\text{mm}$ 范围,高温季节需适当降低至 $160\text{--}200\text{mm}$ 并添加缓凝剂,低温环境则提高至 $200\text{--}240\text{mm}$ 并掺入早强剂。采用智能坍落度检测仪实现实时监测,数据自动上传至控制系统指导生产调整。初凝时间管理需建立多级预警机制。根据运输距离与灌注速度计算理论初凝时间,实验室定期抽检混凝土试件验证实际凝结特性。施工现场配备温度传感器监测混凝土入模温度,当环境温度高于 30°C 时采取覆盖保湿或添加冰屑等降温措施,确

保初凝时间满足连续灌注要求。

4.3 钢筋笼质量控制

焊接质量检测标准需执行三级验收制度。焊缝外观检查要求无裂纹、气孔及夹渣缺陷,咬边深度不得超过 0.5mm 且累计长度小于焊缝长度 10% 。采用超声波探伤仪对关键部位进行内部缺陷检测,合格标准需达到《钢结构焊接规范》二级要求。保护层厚度保障措施需构建全过程控制体系。加工阶段在主筋外侧焊接定位钢筋,间距控制在 2m 以内且呈梅花形布置。运输过程采用专用托架固定防止变形,吊装时使用扁担梁分散受力。下放过程中通过测绳测量钢筋笼顶端标高,利用定位架控制保护层厚度偏差在 $\pm 20\text{mm}$ 范围内。防腐处理技术要求需根据环境等级差异化实施。一般环境采用环氧树脂涂层防护,涂层厚度不小于 $200\mu\text{m}$ 且附着力达到 5MPa 以上。腐蚀性环境需升级为热喷锌铝合金复合涂层,涂层厚度增加至 $300\mu\text{m}$,并配套阴极保护系统延长结构使用寿命^[5]。定期采用电化学阻抗谱技术检测涂层完整性,破损区域及时修补确保防护效果。

结束语

水利施工钻孔灌注桩技术涉及多方面内容,从技术原理到施工环节,再到特殊条件应对与质量控制,每个环节紧密相连。通过严谨的地质勘察、科学的施工方案制定、合理的设备选型与配置,以及针对不同地质条件和施工环境的精准施策,能够有效保障钻孔灌注桩施工质量。加强各环节技术质量控制,可确保桩体承载力与稳定性,为水利工程建设奠定坚实基础,推动水利行业持续健康发展。

参考文献

- [1]王鹏.水利施工钻孔灌注桩施工技术研究[J].现代工程科技,2026,5(2):109-112.
- [2]钮雪君.水利施工钻孔灌注桩施工技术分析[J].建筑与装饰,2025(1):175-177.
- [3]许军.水利施工钻孔灌注桩施工技术研究[J].水上安全,2024(14):181-183.
- [4]苏通.水利施工钻孔灌注桩施工技术研究[J].价值工程,2025,44(31):97-100.
- [5]唐尊刚.水利施工钻孔灌注桩施工技术方案[J].工程建设与设计,2023(3):210-212.