

水利施工钻孔灌注桩施工技术研究

连锦州

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要:水利钻孔灌注桩施工技术是水利工程基础处理的关键工艺,具有成桩质量可靠、承载性能优异、适用地质范围广等技术特性。本文从施工前期准备、成孔与泥浆护壁、清孔与钢筋笼安装、水下混凝土灌注及桩顶处理等方面,系统阐述了核心施工工艺流程及技术控制要点。重点分析了混凝土原材料配比、首批灌注方量计算、导管理深控制、桩顶超灌处理等关键技术环节。同时针对塌孔、桩身缺陷、桩底沉渣超标等施工常见质量问题,提出了泥浆参数调控、二次清孔工艺、灌注连续性保障等控制措施,为水利桩基施工质量管理提供系统性技术依据。

关键词:水利施工;钻孔灌注桩;施工技术

引言:水利工程多地处河道、库区、滩涂等复杂水文地质环境,基础工程施工面临地下水位高、土体稳定性差、施工条件受限等多重挑战。钻孔灌注桩凭借整体性强、承载力高、适应性广等技术优势,已成为水利水闸、堤防加固、泵站承重及桥梁墩台等基础施工的主流技术。然而,该技术在临水环境下对泥浆护壁性能、成孔精度、水下混凝土灌注连续性及桩底沉渣控制等方面均提出了远高于常规建筑桩基的要求。施工过程中塌孔、断桩、夹渣、沉渣超标等质量通病频发,严重影响桩基承载性能与工程安全。本文围绕水利钻孔灌注桩施工全流程,系统阐述其技术特性、关键工艺要点及质量问题防控措施,为工程实践提供技术参考。

1 水利钻孔灌注桩施工技术特性与适用场景

钻孔灌注桩通过机械钻孔成孔、泥浆护壁稳定孔壁、钢筋笼下放安装、导管法水下混凝土灌注等标准化工序成型,成型桩基整体性强、承载力高、沉降量小,能够适配水利工程复杂的地质与水文施工条件。在水利工程施工中,该技术区别于常规建筑桩基施工,具备独特的技术特性与施工要求。(1)在施工环境方面,水利钻孔灌注桩多处于河道、湖泊、滩涂、库区等临水区域作业,地下水位高、水流扰动频繁,土体含水量大、稳定性差,钻孔过程中极易出现孔壁坍塌、缩径及涌水等问题,对泥浆护壁性能与成孔工艺提出了更高要求。在质量要求方面,水利桩基长期浸泡于水中或处于干湿交替环境,需具备良好的抗渗性、抗冲刷性及耐腐蚀性,桩身混凝土密实度、桩底沉渣厚度及钢筋保护层厚度的控制标准均高于常规建筑桩基。在施工难度方面,水上及浅水区域施工需搭设钢栈桥、浮箱等临时作业平台,大型钻机设备就位与孔位校正精度控制难度大,泥浆循环系统的排渣与净化管理要求更高。(2)目前该技术主

要适用于水利水闸基础、河道堤防加固桩基、泵站承重基础、跨河水利支架基础、库区护岸桩基及桥梁墩台基础等工程场景,可适配软土、砂土、粉质黏土、碎石层及岩溶地层等多种复杂地质条件,是水利工程基础加固与承重施工的主流技术手段^[1]。

2 水利钻孔灌注桩核心施工工艺流程

2.1 施工前期准备与场地处理

前期准备工作是保障桩基施工精度和稳定性的基础,主要包含场地平整、设备调试、地质复核、测量放线四项核心工作。针对水利工程临水施工场景,旱地施工区域需清理表层杂草、淤泥、松散土层,采用压路机碾压夯实,保证施工场地承载力满足钻机作业要求,避免设备沉降偏移;浅水、滩涂区域需搭建钢管临时作业平台,加固平台支撑结构,抵消水流冲击和土体沉降影响。施工前需复核现场地质勘察数据,明确施工区域土层分布、地下水水位、透水层位置等参数,据此确定钻孔深度、泥浆配比、成孔速度等工艺参数。同时完成钻机、泥浆泵、导管、搅拌机等设备的调试检修,检查设备运行稳定性。最后通过高精度测量仪器进行桩位放线,做好点位标记和复核记录,保证桩位偏差控制在规范允许范围内,为后续成孔施工奠定基础。

2.2 成孔与泥浆护壁施工

成孔是钻孔灌注桩施工的核心工序,直接决定桩身的垂直度、孔径精度和成孔质量。水利工程多采用回转钻机施工,设备就位后需调整钻机水平度和垂直度,确保钻杆垂直,避免成孔出现倾斜、偏位问题。钻孔施工遵循“慢进稳钻、循序渐进”的原则,针对软土层、砂层等不稳定土层,降低钻进速度,减少钻头对孔壁的扰动;针对硬土层、碎石层,适当调整钻进扭矩,避免钻头卡顿、孔径不均。泥浆护壁是水利桩基施工防塌孔

的关键技术,适配临水高地下水的施工环境。泥浆主要采用黏土、膨润土调配,根据现场地质条件调整泥浆比重、黏度和含砂率,软土、砂层区域需适当提高泥浆比重,增强孔壁支护能力,减少地下水渗透和土体坍塌。钻进过程中保持孔内泥浆液面高于地下水位,形成稳定的静水压力,平衡孔外土体压力。同时持续循环泥浆,带出孔内钻渣,避免钻渣堆积影响成孔质量。成孔完成后,需及时对孔径、孔深、垂直度进行检测,合格后方可进入下一工序^[2]。

2.3 清孔、钢筋笼安装与导管布设

成孔后孔底会残留大量钻渣,若清理不彻底,会导致桩底承载力不足、桩基沉降超标,因此清孔工序至关重要。水利桩基施工采用二次清孔工艺,首次清孔在成孔完成后进行,通过泥浆循环置换带出孔内大部分钻渣;钢筋笼和导管安装完成后进行二次清孔,进一步清理孔底残余沉渣,严格控制沉渣厚度,保障桩底接触密实。清孔过程中需缓慢置换泥浆,避免流速过快冲刷孔壁造成塌孔,同时监测泥浆指标,确保清孔后泥浆参数满足施工要求。钢筋笼提前在加工厂分段预制,根据设计图纸把控钢筋间距、保护层厚度、焊接质量,确保钢筋笼整体刚度和稳定性。运输和吊装过程中做好防护,避免钢筋笼变形、脱焊。吊装采用单点或多点平稳起吊,缓慢下放至设计标高,避免碰撞孔壁,下放完成后固定钢筋笼位置,防止混凝土灌注过程中钢筋笼上浮、偏移。导管采用密封性良好的钢制导管,安装前检查导管壁厚、接口密封性,分段吊装拼接,保证导管笔直、连接紧密,底部导管下放至距孔底合理高度,为水下混凝土灌注提供通畅通道。

3 水下混凝土灌注施工关键技术

3.1 混凝土原材料与配比控制

水利钻孔灌注桩水下混凝土灌注施工中,原材料品质与配比设计直接决定桩身混凝土的强度、密实度及耐久性。水利桩基长期处于水下或干湿交替环境,对混凝土抗渗性、抗冲刷性要求严格,原材料筛选需满足水下灌注工艺及长期水环境运行的双重标准。(1)骨料选择方面,粗骨料宜选用级配良好的连续级配碎石,最大粒径不超过钢筋净距三分之一且不超过导管内径六分之一,细骨料宜选用细度模数2.3~3.0的中粗砂,骨料含泥量控制在百分之一以内,泥块含量控制在百分之零点五以内。水泥宜选用普通硅酸盐水泥或抗硫酸盐水泥,强度等级不低于42.5级。(2)配比设计方面,水下灌注混凝土需具备良好的流动性、和易性与缓凝性能,水胶比控制在0.50~0.55,坍落度控制在180~220mm,保证混

土在水下自由流淌、填充密实,避免离析与堵管。同时需根据施工气温及灌注速度调整缓凝剂掺量,缓凝时间控制在6~10小时,避免混凝土提前凝固,保障整桩灌注连续施工^[3]。

3.2 水下灌注施工工艺要点

混凝土灌注前,须再次核查孔底沉渣厚度是否满足规范要求,逐节检测导管连接部位的密封性能,确认导管埋设深度处于设计范围内,各项指标均合格后方可启动灌注作业。(1)首批混凝土灌注为整个水下灌注工艺的核心控制环节。首批混凝土方量须经精确计算,确保灌注后混凝土液面一次性完全淹没导管底部,有效隔绝孔内泥浆,防止泥浆侵入混凝土内部形成夹渣或断层缺陷。首批灌注完成后,应保持持续、匀速、连续的灌注节奏,全程不得中途停顿,以杜绝泥浆回流及混凝土离析现象的发生。(2)灌注期间,须实时监测孔内混凝土液面上升高度,依据液面变化及时提升并拆卸导管,严格将导管埋置深度控制在2至6米的合理区间内。埋深不足时易导致导管底口脱离混凝土液面,引发断桩事故;埋深过大则可能造成导管无法顺利拔出,并影响桩身混凝土的密实度。施工全过程应详细记录灌注时间、混凝土用量及导管埋深等关键参数,精准核对实际灌注量与桩身理论体积的匹配情况,及时识别并预判可能存在的桩身填充缺陷。

3.3 桩顶处理与成桩保护

混凝土灌注至设计桩顶标高以上后应停止灌注,预留一定超灌高度,以有效抵消桩顶浮浆层及松散混凝土的不利影响,确保有效桩身范围内混凝土强度满足设计要求。超灌高度的确定应结合桩径、泥浆浓度及清孔质量等因素综合判定,一般控制在0.8至1.0米。(1)灌注完成后,须及时清理孔口周边杂物及溢出泥浆,设置明确的桩位标识,严禁施工机械在桩体附近碾压、碰撞,防止桩身结构在混凝土未达到强度前受到外力损伤而产生偏移或断裂。(2)待混凝土达到初凝状态后,应使用人工或小型机具凿除桩顶浮浆层及松散混凝土,将桩顶修整至平整状态,同时确保桩顶锚固钢筋和桩身主体结构的完整性,钢筋保护层不得因凿除作业而受到破坏。(3)养护工作应根据环境温度条件合理安排。常温环境下须进行充分的保湿养护,养护时长不少于规范规定的最短天数,覆盖养护材料应保持湿润状态,有效防止混凝土表面因水分散失过快而产生干缩裂缝或强度发展不足等质量问题,切实保障桩基成型质量。

4 施工常见质量问题及控制措施

4.1 塌孔问题及控制措施

塌孔是水利桩基施工中最为常见的质量通病,多发于砂层、软土层等松散地质条件下。其主要诱因包括泥浆比重不足、孔内液面高度偏低、钻进速度过快及施工振动扰动过大等。塌孔发生后将直接导致孔径超出设计允许范围,并引发桩身夹渣、桩基承载力不足等严重缺陷。防控措施方面,应依据实际地质条件精准调配泥浆参数,在松散地层中适当提高泥浆比重与黏度,全程维持孔内液面稳定,确保液面高度不低于地下水位。同时严格控制钻进速度,避免快速钻进对孔壁产生扰动,并减少孔口周边荷载堆积,禁止大型设备在近距离范围内进行震动作业。若施工中出现轻微塌孔,应及时补充优质泥浆并提升液面以稳定孔壁;塌孔严重时须采用黏土回填,待静置固结后重新钻孔施工^[4]。

4.2 桩身缺陷问题及控制措施

桩身缺陷是水利桩基施工中的关键质量问题,主要表现为断桩、夹渣、蜂窝空洞及桩身倾斜等。其成因包括混凝土灌注不连续、导管密封失效、钢筋笼偏移以及成孔垂直度偏差过大等。此类缺陷将直接破坏桩身结构整体性,显著降低桩基抗渗性能与承载能力,无法满足水利工程长期运行的设计要求。控制措施方面,施工中须保障混凝土灌注全程连续无停顿,提前预判设备故障风险并配备备用设备。灌注前严格检查导管各连接节点的密封性能,杜绝泥浆渗入。钻机就位后须精准校正水平度与垂直度,全程监测成孔偏差,确保偏差控制在规范允许范围内。钢筋笼须固定牢固,防止吊装及灌注过程中发生偏移或上浮。对于成型后的轻微桩身缺陷,可采用注浆补强工艺进行修复处理;缺陷严重时须拆除重做,重新成桩施工。

4.3 桩底沉渣超标问题及控制措施

桩底沉渣厚度超标是水利桩基施工中影响成桩质量的关键隐患,会导致桩基沉降量增大、端承力不足,严重时无法满足设计承载要求。其主要成因包括清孔作业不彻底、泥浆性能指标不合格以及成孔后静置时间过长导致孔底二次沉渣堆积。控制措施方面,须严格执行二

次清孔工艺,重点把控清孔质量,确保孔底沉渣厚度满足规范及设计标准。施工中应优化泥浆循环系统,及时排出孔内钻渣,有效降低泥浆含砂率与比重。同时合理缩短成孔、清孔与混凝土灌注之间的间隔时间,防止孔底发生二次沉渣堆积。清孔完成后须及时组织验收,沉渣厚度不达标时严禁开展灌注作业,从源头把控桩底施工质量^[5]。

结束语

水利钻孔灌注桩施工技术是水利工程基础处理的核心工艺手段,其施工质量直接关系到水闸、堤防、泵站及库区护岸等工程的运行安全与使用寿命。本文系统梳理了该技术的施工特性、核心工艺流程、水下混凝土灌注关键技术及常见质量问题控制措施,涵盖场地处理、成孔护壁、清孔安笼、导管灌注、桩顶处理等全工序要点。施工中须重点把控泥浆护壁参数、导管埋深区间、桩底沉渣厚度及桩身连续灌注等关键环节,针对塌孔、断桩、沉渣超标等常见缺陷落实预防与处理措施。水利工程施工环境复杂、质量标准严格,各参建单位应严格执行工艺规范,强化过程管控与验收检测,切实保障桩基成型质量,为工程长期安全运行奠定坚实基础。

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]尤志强,赵金鹏.水利施工钻孔灌注桩施工技术研究[J].中国科技期刊数据库 工业B,2026(4):028-030.
- [3]李伟,贺凯凯.水利施工中钻孔灌注桩施工技术的应用研究[J].工程机械与维修,2026(1):89-91.
- [4]杨林.水利工程渡槽桩基础钻孔灌注桩施工中泥浆护壁技术及质量控制研究[J].现代工程科技,2026,5(5):149-152.
- [5]陈雪茜.水利施工中钻孔灌注桩技术的应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(6):101-104.