

深覆盖层地基中混凝土灌注桩入岩施工技术与质量控制研究

王晓亮

中国水电建设集团十五工程局有限公司, 陕西 西安 710016

[摘要]在水利水电工程建设面临深覆盖层地基处理难题的背景下,为提升混凝土灌注桩入岩施工质量,保障工程稳定性,以新疆霍尔古吐水电站为研究对象,剖析其施工工艺、技术难题应对策略及质量控制要点。通过现场实践、数据分析等方法,明确了各施工环节关键技术参数,有效解决施工难题,研究成果为同类工程提供技术借鉴,推动相关施工技术发展,对提高水利水电工程建设水平意义重大。

[关键词]深覆盖层地基;混凝土灌注桩;入岩施工技术;质量控制

DOI: 10.33142/hst.v8i4.16063

中图分类号: TV6

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Concrete Grouting Pile Entering Rock in Deep Overcover Foundation

WANG Xiaoliang

15th Engineering Bureau Co., Ltd. of Sinohydro Group, Xi'an, Shaanxi, 710016, China

Abstract: Against the backdrop of the difficult problem of deep cover foundation treatment in water conservancy and hydropower engineering construction, in order to improve the quality of concrete pouring pile into rock construction and ensure project stability, this paper takes the Horgutu Hydropower Station in Xinjiang as the research object, analyzes its construction technology, technical difficulties response strategies, and quality control points. Through on-site practice, data analysis and other methods, the key technical parameters of each construction link have been clarified, effectively solving construction problems. The research results provide technical references for similar projects, promote the development of related construction technologies, and have significant implications for improving the level of water conservancy and hydropower engineering construction.

Keywords: deep cover layer foundation; concrete cast-in-place pile; rock construction technology; quality control

引言

随着水利水电工程不断向地质条件复杂区域拓展,深覆盖层地基上的混凝土灌注桩入岩施工面临诸多挑战。混凝土灌注桩入岩施工质量关乎工程安全与稳定,如何攻克技术难题、保障施工质量成为亟待解决的问题。本文聚焦此关键,以新疆霍尔古吐水电站工程为实例,深入探索相关施工技术与质量控制方法,为同类工程提供创新思路与实践参考,助力水利水电建设事业在复杂地质条件下稳健前行。

1 深覆盖层地基特性剖析

1.1 坝址区覆盖层物质组成分析

以新疆霍尔古吐水电站为例,坝址区河床覆盖层最大厚度达47m左右,一般厚度在35~40m。其整体分选较差,无明显成层规律,主要以含漂石砂卵砾石为主。通过对钻孔资料的详细分析可知,局部漂卵石较为集中,且在上坝址 ZK08 和中坝址 ZK07 钻孔揭示有含砾中粗砂层,但其他钻孔砂层发育较少,这种物质组成使得在灌注桩入岩施工时,钻孔难度增加,对钻头的磨损较大,同时也影响着桩身与地基的结合效果,需要在施工中针对性地选择合适的钻进设备和工艺,以确保施工顺利进行及桩身质量。

1.2 覆盖层结构及分布特征研究

霍尔古吐水电站坝址区覆盖层结构复杂,砂层主要呈

透镜体状或窝状发育,分布面积较小且不连续,未贯穿坝基。从分布高程来看,上坝址 ZK08 钻孔含砾中粗砂层分布在2050.69~2052.69m,厚约2m;中坝址 ZK07 钻孔该砂层厚约1m^[1]。这种结构及分布特征导致在灌注桩施工过程中,不同桩位的地质条件差异较大,增加了施工的不确定性,在入岩施工时,需根据覆盖层结构及分布特点,精准调整施工参数,如钻进速度、护壁措施等,以适应不同地质状况,保障桩身质量和承载能力,为工程的长期稳定运行奠定基础。

2 混凝土灌注桩入岩施工工艺详解

2.1 钻孔施工技术要点探究

以新疆霍尔古吐水电站工程实践为依据,钻孔设备选用上,可采用DX215-9CN旋挖钻机搭配徐工240e高压气动潜孔锤,利用其强大的钻进能力应对复杂地层。钻进过程中,精准控制钻孔垂直度是要点之一,需时刻关注潜孔锤钻头与桩位的垂直度,初钻时低速钻进并频繁复核钻杆垂直度,及时调整偏差。遇到特殊地层,如含漂石砂卵砾石层,要控制潜孔锤下沉速度,安排专人观察钻具下沉状态,一旦发现挤偏等异常,迅速分析原因并采取纠偏措施,引孔施工时利用空压机产生的高压空气作为清孔介质,及时清理孔口岩屑,确保钻孔环境良好,为后续工序创造有

利条件,保障钻孔施工的顺利推进与成孔质量。

2.2 钢筋笼制作与安装工艺解析

在新疆霍尔古吐水电站混凝土灌注桩施工中,钢筋笼于左岸 S3 料场的钢筋加工场制作,依据设计图纸,结合桩身钢筋笼设计长度、来料长度和搭接长度进行分段配料,保证钢筋锚固长度符合设计要求,且考虑吊装长度需求灵活调整分段实际长度。制作过程严格把控允许偏差,主筋间距偏差控制在 $\pm 1\text{cm}$,箍筋间距偏差 $\pm 2\text{cm}$,钢筋笼直径偏差 $\pm 1\text{cm}$,长度偏差 $\pm 10\text{cm}$ ^[2]。分段制作的钢筋笼,主筋接头采用焊接连接或套筒连接,确保连接质量。安装时,采用 10t 平板车将加工成型的钢筋笼转运至现场,由 25t 汽车吊或 50t 履带吊整体吊装入孔。吊装过程确保钢筋笼平稳、无变形,吊点位置精准,对准孔位轻放、慢放,避免碰撞孔壁。入孔后,牢固定位钢筋笼,控制标高误差不大于 5cm,并采取焊接定位钢筋、设置砂浆定位垫块等措施,保证钢筋笼保护层厚度,稳固钢筋笼平面位置,防止上浮和移位。

2.3 混凝土灌注施工流程及要点

在霍尔古吐水电站工程中,灌注桩采用 C30W6F200 混凝土,于 S3 料场拌合站集中拌制,确保和易性、坍落度等符合设计要求,通过 10m^3 混凝土罐车水平运输至现场。灌注前,先进行导管安装,选用直径 300mm 的快速卡口垂直提升导管,使用前进行组装编号、拉力和水密度试验,确保导管性能良好,下放至孔底 0.5m 处。灌注时,在导管内设置隔水球,用 8#铁丝悬挂在距孔内表面 0.5m 处,料斗内装满混凝土后剪断铁丝,使隔水球顺利下落。控制导管底部至孔底间距在 30cm~50cm,初灌先灌少量水泥砂浆,保证导管一次埋入混凝土灌注面以下不小于 1.0m。灌注过程连续进行,严格控制导管埋深在 2.0~5.0m,提升导管时速度均匀,严禁提出混凝土灌注面。混凝土进入钢筋骨架下端时,适当深埋导管并放慢灌注速度,控制最后一次灌注量,超灌高度保持在 0.8~1.0m,确保清除泛浆后桩顶混凝土强度达到设计标准。

3 入岩施工中关键技术问题应对

3.1 复杂地层钻进技术难题破解

新疆霍尔古吐水电站坝址区覆盖层以含漂石砂卵石为主,分选差,局部漂卵石集中,且存在透镜体状或窝状砂层,给钻进作业带来诸多难题,采用徐工 240e 潜孔锤搭配 DX215-9CN 旋挖钻机,借助潜孔锤的高频冲击能破碎坚硬的漂石和卵砾石,旋挖钻机则提供稳定的钻进动力和精准的定位控制。钻进时,因地层不均导致的钻头受力失衡问题突出。对此,可利用设备自带的水平调节系统,实时监测并调整钻机的水平度,确保钻头始终垂直于桩位,根据地层变化动态调整钻进参数,如在遇到漂石集中区域,适当降低钻进速度,增加冲击频率,使钻头能有效破碎漂石,避免钻孔偏斜,钻孔过程中的排渣也是关键。利用空

压机产生的高压空气,将破碎后的岩屑及时吹出孔外,为提高排渣效率,可在钻头上设置特殊的排渣通道,使岩屑更顺畅地排出,减少岩屑在孔底的堆积,降低重复破碎能耗,保障钻进效率与钻孔质量,确保在复杂地层中顺利完成入岩钻进任务。

3.2 防止桩身缺陷的技术措施

在混凝土原材料控制方面,严格把关 C30W6F200 混凝土的配合比,对水泥、砂、石等原材料进行严格检验,确保其质量符合标准。选用优质水泥,保证水泥的强度和稳定性;控制砂的含泥量和石的粒径,确保粗骨料最大粒径不大于导管内径的 1/6 和钢筋最小净距的 1/3 且小于 4cm,同时保证砂的含砂率在 40%~50%,以确保混凝土的和易性和流动性^[3]。准确测量孔底沉渣厚度,若沉渣量过大,在下钢筋笼前进行二次清孔,保证导管底端距孔底不超过 0.5m,且初灌量能使导管埋入混凝土灌注面以下不小于 1.0m。灌注过程中,防止导管堵塞和埋管事故。连续快速浇筑混凝土,控制好浇筑速度,避免混凝土在导管内停留时间过长而初凝。同时,依据混凝土供应速度、浇筑速度和孔内护壁泥浆状态,合理控制导管埋深在 2~6m。若混凝土和易性稍差,适当缩短灌注时间,防止导管被混凝土埋住、卡死,从而有效防止桩身出现断桩、夹渣等缺陷,保障桩身质量。

4 基于施工流程的质量控制要点

4.1 施工前质量控制关键环节把控

组织专业技术人员对《生态机组基础处理图》(HESC1-H4-6-01~02)等设计图纸进行全面细致审核,确保桩位、桩径、桩长及入岩深度等设计参数准确无误,同时检查设计是否充分考虑当地复杂地质条件,若发现问题及时与设计单位沟通解决。运用高精度测量仪器,如 GPS 测量系统,对现场坐标控制点和水准点进行精确校验,保证测量数据的准确性。依据校验后的控制点,采用全站仪按照“从整体到局部的原则”进行桩位测设,为保证桩心定位精准,在桩中心引出四个方位控制点,其引出直径大于钢护筒定位器底座,并做好标识和保护,防止施工过程中桩位发生偏差。对徐工 240e 潜孔锤、DX215-9CN 旋挖钻机等施工设备进行全面检查和调试,确保设备性能良好、运行稳定。对钢筋、混凝土等原材料进行严格检验,钢筋应具备质量证明文件,且按规定进行复验,检验其抗拉强度、屈服强度等指标是否符合设计要求;对 C30W6F200 混凝土,检查其配合比设计是否合理,原材料质量是否达标,确保施工前各项准备工作满足质量要求。

4.2 施工过程质量控制要点梳理

使用徐工 240e 潜孔锤钻进时,密切关注潜孔锤钻头与桩位垂直度,利用水平尺和垂直度监测仪器实时监测,初钻时低速钻进,定期复核钻杆垂直度,若发现偏差及时调整,确保钻孔垂直。控制钻进速度,在松散粉砂土和流

砂层中,适当放慢速度,防止坍孔;在遇到坚硬岩石时,根据岩石硬度合理调整冲击频率和钻进参数,提高钻进效率并保证成孔质量。在左岸 S3 料场的钢筋加工场,按照设计要求制作钢筋笼,控制主筋间距、箍筋间距、钢筋笼直径和长度的允许偏差在规定范围内,主筋接头采用焊接或套筒连接时,严格执行相关规范。钢筋笼运输至现场后,采用 50t 履带吊进行吊装,吊装过程中确保钢筋笼平稳无变形,对准孔位缓慢下放,避免碰撞孔壁^[4]。下放到位后,牢固定位钢筋笼,控制其标高误差不大于 5cm,通过在钢筋笼四周焊接定位钢筋、设置砂浆定位垫块等措施,保证钢筋笼保护层厚度和平面位置准确。灌注前,对 C30W6F200 混凝土的和易性、坍落度进行检查,确保符合设计要求,选用直径 300mm 的快速卡口垂直提升导管,使用前进行拉力和水密度试验,确保导管性能良好。灌注时,在导管内设置隔水球,控制导管底部至孔底间距在 30~50cm,初灌先灌少量水泥砂浆,保证导管一次埋入混凝土灌注面以下不小于 1.0m,灌注过程连续进行,控制导管埋深在 2~5m,严禁将导管提出混凝土灌注面,同时控制混凝土灌注速度和高度,确保桩身混凝土质量。

4.3 成桩后质量检测技术与标准

低应变动力法用于检测桩身完整性,通过在桩顶施加激振力,产生应力波沿桩身传播,根据应力波反射信号分析桩身是否存在缺陷,如断桩、缩径等。检测时,在桩顶布置多个传感器,接收反射信号,利用专业分析软件对信号进行分析和处理,判断桩身缺陷的位置和程度,单桩竖向承载力检测采用《建筑基桩自平衡静载试验技术规程》JGJ/T-2017 规定的试验方法,在桩身合适位置安装荷载箱,通过加载装置对荷载箱施加压力,使桩身产生向上和向下的位移,根据位移和荷载数据绘制荷载-位移曲线,进而确定单桩竖向承载力,试验过程严格按照规程操作,确保试验数据的准确性和可靠性。灌注桩桩位偏差应满足设计和规范要求,基础的中间桩桩位允许偏差不大于 15cm,边桩桩位允许偏差不大于 10cm;有效桩径偏差控制在 ± 5 cm;桩顶和桩底高程及有效长度符合设计规定;灌注桩的贯入度标准也需符合相应要求,对钻孔灌注桩每根均进行取样制模,每组 3 块,检验混凝土强度是否达到 C30W6F200 设计强度等级。

5 入岩施工技术优化策略探讨

5.1 施工设备选型与组合优化

徐工 240e 潜孔锤搭配 DX215-9CN 旋挖钻机是较为理想的组合。徐工 240e 潜孔锤凭借其强大的冲击能力,能够有效破碎含漂石砂卵石等坚硬地层,高频冲击可使钻头获得足够动能,实现高效钻进。而 DX215-9CN 旋挖钻机则提供稳定的操作平台和精准的定位控制,确保钻孔位置

准确。在钢筋笼吊运与混凝土灌注环节,50t 履带吊与混凝土罐车、导管的配合至关重要,50t 履带吊起吊能力强,能够平稳吊运钢筋笼,保证其在吊运过程中不变形,精准入孔。12m³混凝土罐车负责将 C30W6F200 混凝土从拌合站运输至现场,与导管配合进行混凝土灌注,确保灌注过程连续稳定,避免因设备问题导致桩身质量缺陷,通过合理选型与组合设备,为施工顺利开展和桩身质量提升提供有力支持。

5.2 施工工艺参数调整与优化

在新疆霍尔古吐水电站施工过程中,钻进参数需根据不同地层条件精细调整,在含漂石砂卵石地层,徐工 240e 潜孔锤的冲击频率和钻进速度应科学匹配。冲击频率过高可能导致钻头过度磨损,过低则影响钻进效率,经试验确定适宜的冲击频率,同时控制钻进速度,防止因速度过快造成钻孔偏斜或坍孔^[5]。灌注速度过快易使混凝土产生离析,过慢则可能导致混凝土初凝,影响桩身质量,依据混凝土的和易性、坍落度以及现场施工条件,确定合理的灌注速度。导管埋深对桩身混凝土的密实度和连续性至关重要,一般控制在 2~5m,在混凝土进入钢筋骨架下端时,适当增加导管埋深并放慢灌注速度,防止钢筋笼上浮,通过对施工工艺参数的优化,确保混凝土灌注桩入岩施工质量达到最优。

6 结语

深覆盖层地基中混凝土灌注桩入岩施工技术与质量控制,对水利水电工程意义重大。以新疆霍尔古吐水电站为例,通过剖析地基特性,优化施工工艺、设备选型及参数,加强各环节质量控制,有效保障了施工质量,这些实践成果为同类工程提供了技术参考,推动混凝土灌注桩入岩施工技术在复杂地质条件下不断发展,助力水利水电工程建设迈向新高度,确保工程安全稳定运行。

[参考文献]

- [1] 李建学,王炜贵,张彩军,等.山地光伏工程混凝土灌注桩施工工艺及质量控制措施[J].工程建设与设计,2025(4):179-181.
- [2] 陈延鹏.水下浇筑混凝土旋挖灌注桩施工技术及其质量控制分析[J].散装水泥,2024(6):86-88.
- [3] 贾飞,孙海洋,杨志伟.粉质黏土夹砂地层中混凝土灌注桩施工质量控制技术[J].建筑机械,2023(10):45-49.
- [4] 付光胜.钢筋混凝土灌注桩施工技术及其质量控制探讨[J].建筑技术开发,2021,48(3):139-140.
- [5] 杨钊,徐丁.水下浇筑混凝土旋挖灌注桩施工技术及其质量控制研究[J].居业,2019(8):105-107.

作者简介:王晓亮(1992—),男,汉族,大学本科,工程师,主要从事水利水电工程施工技术研究与应用。