

水利工程深大竖井开挖施工技术应用对比及管理措施

李浩

新疆水发建设集团有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6382

[摘要] 本文在实际水利工程案例中的深大竖井在开挖施工阶段通过对比分析,选取了最优的开挖施工方案,同时加大了施工管理的力度,不仅能够提升建设速度,降低工程难度,而且有助于改善工作环境,保障工程的精确性和质量,同时产生明显社会和经济效益。本文通过对复杂环境下大直径深井采用爆破与非爆破两种开挖施工方法的应用与实践进行分析、比较和总结,为竖井开挖施工方式的选择提供了丰富的参考和理论基础。

[关键词] 水利工程; 深大竖井; 开挖施工技术; 管理措施

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Comparison and management measures of deep shaft excavation technology in water conservancy projects

Hao Li

Xinjiang Shuifa Construction Group Co., LTD

[Abstract] This paper selects the optimal construction plan for deep shafts in the construction phase of actual water conservancy projects through comparative analysis. It also intensifies construction management, which not only accelerates construction speed and reduces engineering difficulty but also improves working conditions, ensuring the accuracy and quality of the project. Additionally, it generates significant social and economic benefits. By analyzing, comparing, and summarizing the application and practice of blasting and non-blasting methods for large-diameter deep shafts in complex environments, this paper provides rich references and theoretical foundations for selecting excavation construction methods.

[Key words] water conservancy project; deep shaft; excavation construction technology; management measures

引言

在城市化进程的推进中各类建筑工程逐渐发展,由于不同城市所面临的建设条件各异实际施工过程中常遇到许多挑战,如施工难度大、耗时长、成本高以及对周边环境的影响。在水利工程中深大竖井开挖施工技术对整个工程项目的施工质量具有决定性作用,因此施工单位要加强对深大竖井开挖施工技术进行严格的质量管理。

1 工程概况

某水库设计装机容量达到1200MW,该工程由四个大型一级水机组构成,每台机组的装机容量均为300MW。工程结构包含上水库、输水系统、地下厂房、地面开关站以及地下水库等关键部分,该工程的核心技术特点是“一管两机”配置,即两根高压主管并行设置,主管间中心距离为47m。在地表部分采用单竖井设计,竖井截面呈环形,导井直径为2.4m,竖井直径为7.6m,长度为7.6m。竖井内部采用钢筋混凝土结构,外部则覆盖一层混凝土,内部净尺寸为6.2m。1#引水渠上部中心点标高为

EL497.89m,井底中心点标高为EL118m;2#引水渠上部中心点标高为EL498.07m,井底中心点标高为EL118m,两引水渠之间的高差为380.07m。

2 水利工程深大竖井开挖施工技术应用对比

2.1 全断面一次开挖法

由于水利工程规模的扩展及竖井数量的增加,传统的手工钻机全断面切割方法已无法满足当前项目的建设及安全需求,在工期紧迫、竖井下部隧道成型滞后或不具备通行能力的条件下为加快工程进度并提高工程自动化水平,优先考虑采用水力伞钻法进行自上而下的全线成型。本工程的竖井高度为1206.50m,深井深度为668.114m,最大孔径为9.5m,浇筑C30混凝土后内径为7.6m。对于深度小于9m的深井,如果无法使用伞钻以YT-28型手风钻为主要施工设备;当深度超过9m时,则采用XFJD-6.10型液压伞钻机,以压缩气体为动力源,同时采用HZ-6型中央回转抓岩机进行装渣作业,通过升降系统使用5m³的吊桶进行渣土提升,开挖完成后进行锚网喷支护施工,随后在完成两个开挖支护循

环后进行钢筋混凝土砌筑施工。针对当地的地形和气象条件,项目计划采用水力降落伞全剖面技术,实现大直径深井的高效掘进,在实际施工过程中有效工期为10个月,实现了最高日进尺4.5m,月均掘进速度最高达到81m,平均每月掘进67m。在同期五个竖井井群中项目率先实现了与主洞的贯通,提升了施工进度,同时确保了施工的质量与安全,有效提升了工程的综合效益^[1]。

2.2 导井——扩挖法

2.2.1 反井钻机法技术

反井钻进技术作为我国水利工程竖井开挖中较为成熟的新型施工工艺,改善竖井开挖施工工作环境,有效解决了现有水利工程中面临的安全挑战。反井钻进技术的施工过程分为两个阶段:导孔施工和扩孔施工,在施工过程中通常利用反井钻机自上而下钻出导向孔或自下而上将其扩成导向孔,如果导孔贯通便将其拆卸,更换为扩孔钻头,采用手风钻钻爆法将导井分层完成。基于实际施工经验,项目目前应用的反井钻孔技术的孔径通常为1.4米,展现明显的经济效益和可靠性,反井钻具的可钻性排序从低到高依次为花岗岩、玄武岩、泥灰岩。为了适应不同地质条件及其他环境要求,对该技术进行定制化改进,在施工过程中加强管理与监控,是确保安全可靠性的关键。此外该技术具有高机械化水平、快速施工速度和高效作业能力,其快速安全的贯通能力相较于传统导井方法,不仅大幅降低水利工程的投资成本,而且对水利工程的经济效益和社会效益产生正面影响。

2.2.2 反井钻机法的应用

目前针对钻孔爆炸立井的施工过程和方法已有广泛研究,然而在复杂条件下进行的无爆破立井施工技术研究相对较少。反井钻机法的应用实现了“无需下井即可打井”的目标,相较于传统反井钻机的导井技术,该方法降低了施工难度,提升了工程进度,通过非爆破手段改善了工作条件,推动了竖井挖掘技术的发展。该项目中的1#和2#竖井开挖半径为4.5m,深度均为230m,采用反井钻机进行导向后利用直径4.5m的刀盘从下向上进行反拉成型施工工艺,取得了在效率、安全性、精度和质量方面成效明显。在安全方面,该技术缩短了爆破挖掘的时间,确保水利工程竖井开挖施工过程的安全性;在岩石特性方面,机械破岩对岩石的扰动较小,尤其在岩石结构较为疏松的情况下,有利于保持岩石的稳定性;在工程进度方面,4.5m导流立井单次回拨的掘进速度可达14米/天,支护速度可达5~6m/d,通过机械破岩替代爆炸法,大幅提高了工程效率。

2.2.3 竖井掘进机扩大反井钻机导井法

竖井式掘进机(TBM)作为新型的岩石破碎设备在我国的研究处于起步阶段,尽管其在水利建设应用未实现突破性进展,但已成功解决了并行作业的难题。中国水利工程第14工程局基于多年建设经验将该设计方法应用于以礼河4号机组改建工程的进风井建设中,进水竖井的顶端标高为1127.5m,底部标高为845m,竖井深度为282.5m,直径10.3m~12m之间,其下排出口平洞

口与地下工厂相连,而上部竖井则与地面出水线相接。在竖井掘进机开挖前要对井口段进行处理、导孔施工以及1.4m导井(溜渣井)的建设。竖井掘进机利用反井钻机所钻的导井,从上至下钻出一口5.8m的二次导井后在竖井掘进机拆卸后进行扩挖作业,形成直径10m的井筒,根据现场施工资料从竖井掘进机进入至成功贯通整个过程耗时90d。在排除外界干扰因素的情况下,36d的纯钻期内最大挖掘及支护速率可达8m/d,而日常挖掘及支护速率约为6m/d。本工程标志着我国首次将5.8m竖井井壁掘进机应用于实际工程,提升了钻孔质量、钻井效率以及施工安全性和自动化水平。

2.3 方案比对

在制定竖井施工方案的过程中,除了考虑时间、成本等关键因素外,还要综合评估施工安全性、质量、组织难度及施工队伍技能水平等多方面因素,上述因素的综合影响难以通过解析方法构建统一的数理模型。为解决此问题施工单位可将模糊综合评价法应用于工程实践,应对复杂环境下的深层大竖井施工,该方法从施工难度、机械化水平、施工速度、工程成本、施工安全及施工强度等多个维度进行综合评价,从优劣及应用情况等角度对不同施工方案进行比较。通过全面评估各影响因素对应的指标及其在选择时的重要性,最终确定综合评分最高的方案为最优建设方案,如表1所示。

表1 方案比选

施工方案	方案1	方案2	方案3	方案4
方案名称	液压伞钻全断面法 (钻爆法)	反井钻机导井 法(钻爆法)	反井钻机法 (非钻爆法)	竖井掘进机扩大反井钻机导 井反井钻机法(非钻爆法)
施工难度	大	较大	较小	小
施工速度	慢	较慢	较快	快
施工安全性	低	较低	较高	高
工程造价	低	较低	较高	高
机械化程度	较低	较低	较高	高
施工强度	高	较高	较低	低
适用条件	地下洞室、露天	地下洞室、露天	地下洞室、露天	露天

3 水利工程深大竖井开挖施工技术应用的管理措施

3.1 开挖

在竖井开挖工程实践中采用YT-28手动风钻机进行自上而下的大范围爆破作业,基于多年相似工程的经验该工程使用“多孔均装药,高消耗,低单向短进尺”的爆破策略,防止在爆破过程中导井被“堵死”,确保导井在爆破过程中安全无事故,竖井开挖初期的爆破参数如表2所示。为满足水利工程需求施工单位要在实际现场开展生产性爆炸试验并进行合理设计,根据工程实际情况对爆破工艺进行持续优化。

每次扩挖中从周边孔至立轴中心的各列炮孔高度要控制在30cm以内,确保爆破后能在导井方向形成便于人工剥渣的倾斜

面。爆破后的洞渣经手工剥除,沿导井顺畅滑落至下部平洞口,随后利用装载机和自卸车将渣滓从洞内运出并运至预定的弃渣场。

表2 竖井扩挖初爆破参数表

参数名称	单位	竖井扩挖
扩挖直径	m	6.6
钻孔倾角	度	90
孔径	mm	40
钻孔长度	m	23
孔距	m	0.68-1.0
堵塞长度	m	0.5-0.8
排距	m	0.4-0.5
药卷直径	mm	32/25
主爆孔圈数	圈	4
计划进尺	m	2.3
单耗	kg/m ³	1.34

3.2 支护

水利工程在实施深大竖井开挖锚杆成孔过程中要严格遵循设计图纸所规定的锚固参数,锚固材料应选用直径为25mm的精轧螺旋钢筋,其纵向间距应保持在100cm,孔深应达到300cm。孔内钢筋间距不得超过15cm,孔径误差应控制在5cm以内,钻孔中心线与设计轴线的偏差应不超过3%,结合该工程实例及图纸要求采用YT-28型手动风钻法能够满足钻孔尺寸的准确度标准,如图1所示。

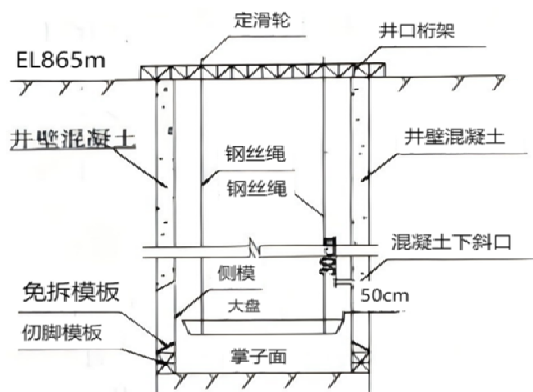


图1 支护施工

在锚杆孔钻进完成后立即进行钻孔清理工作,该工程中采用高压气枪技术去除孔内悬浮颗粒后利用高压水炮进行冲洗作业,直至孔内钻屑及浮粒被彻底清除,在监理部门进行检查并确

认合格后进行验收程序^[2]。

根据实验室出具的砂浆配比报告,该工程在施工现场制备创新的水泥基复合材料,项目计划采用容积为350L的高强度混凝土搅拌机,水泥等级与P. 0. 42. 5普通硅酸盐水泥等同,最大粒径限制在2. 5mm以下,确保所有材料出厂前均经过筛分处理。为满足设计要求锚固件的抗拉强度必须经过实验室的专门设计和校验,在搅拌过程中按照既定的重量配比进行计量严格遵循规定的混合程序,确保拌合物的均匀性。

在灌浆过程中通过注浆器向锚杆钻孔内注入水泥浆施加0. 6MPa的压力以确保灌浆的充分性直至钻孔完全充满,保证各钻孔之间的连通性,如果灌浆操作与前次操作间隔时间过长应立即向注浆器管道内注入适量水泥浆,维护管道的畅通性,锚固材料在进场后应依据相关规范对其机械性能进行检测,当检测结果满足规定要求时可投入使用。在安装过程中施工单位要确认栓钉的垂直度及完整性并清除表面油污,灌浆完成后采用大铁锤手工敲击方式将栓钉打入钻孔中,其外露长度需满足设计规范要求,确保栓钉内端与钻孔底部的间距不小于10cm。在锚固阶段为防止锚固件发生位移,已完成锚固的锚固件在锚固过程未完成前不得受到撞击,所有锚杆安装完毕后应用干燥的水泥砂浆对孔进行封闭处理^[3]。

在28d后施工单位依据1%的抽样频率执行锚杆拉拔试验,验证锚杆设计锚固力是否达到150kN的标准,评估锚杆施工质量;对于未满足标准的锚杆,施工单位提高其所在区域的抽样频率,对不合格的锚杆实施进一步加固措施。

4 结论

在该水利工程中深大竖井开挖采用自上而下的大范围爆破技术,避免了二次扩挖溜渣井的需要,扩大深大竖井开挖工作面面积,提升水利工程的自动化水平,减少了安全隐患,并且加快水利工程速度,施工单位依据实际情况对爆破工艺进行科学合理的调整,确保炮渣能够安全地通过滑渣井,防止堵塞现象的发生。

[参考文献]

- [1]陈泽盟,李帅,陈浩然.有限空间下硬岩地层小截面竖井开挖施工技术[J].施工技术(中英文),2025,54(07):151-156.
- [2]朱向东.现代技术在竖井开挖及支护施工中的应用与优化研究[J].技术与市场,2024,31(12):141-144.
- [3]石建国,万永正.复杂环境条件下深大竖井开挖施工技术应用与管理[J].水科学与工程技术,2024,(04):65-69.

作者简介:

李浩(1994—),男,汉族,四川中江人,本科,助理工程师,从事研究方向: 水利水电。