

# 抽水蓄能电站尾水隧洞斜井导井施工技术研究

李亚斌

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西 西安 710100

**摘要:** 随着全球能源结构的转型和电力需求的不断增长,抽水蓄能电站作为重要的调峰调频电源,在电力系统中的作用日益凸显。尾水隧洞斜井导井施工是抽水蓄能电站建设中的关键环节,其施工质量和效率直接关系到电站的运行性能和投资效益。本文基于某抽水蓄能电站尾水隧洞斜井导井施工实例,详细研究了导井施工的设备选型、施工程序、施工方法,并对施工中遇到的偏斜问题提出了有效的纠偏方案。通过LM-400反井钻机应用,成功实现了尾水隧洞斜井导井的精确施工,为类似工程提供了宝贵的技术参考和经验借鉴。

**关键词:** 抽水蓄能电站;尾水隧洞斜井;导井施工;LM-400反井钻机;纠偏方案

## 引言

抽水蓄能电站是一种利用水能和电能相互转换原理进行调峰调频的电源设施,具有调节电网负荷、提高电能质量、促进可再生能源消纳等多重功能。尾水隧洞斜井作为抽水蓄能电站的重要组成部分,其施工质量和效率对电站的整体性能具有重要影响。因此,研究尾水隧洞斜井导井施工技术,对推动抽水蓄能电站建设具有重要意义。

## 1 工程概况

本文研究的抽水蓄能电站尾水系统是一项庞大的工程,共设置了四条尾水洞,每条洞室均包含下平段、斜井段和上平段。斜井段特别复杂,由上弯段、斜直段和下弯段构成,中心长度各异,与上下平段的夹角也各有特点。斜井设计开挖断面为马蹄形洞,底宽和高度均经过精确计算。工程地质条件方面,斜井段及两端弯管段的地表高程和洞室上覆岩体厚度均经过详细测量。洞室围岩主要为弱至微风化的熔岩角砾岩和流纹岩,岩性分界线清晰。断层和裂隙发育情况复杂,包括多组不同方向的裂隙,局部存在渗水或滴水现象。岩体结构为镶嵌至次块状,整体较破碎至较完整,围岩类别以Ⅲ类为主,局部为Ⅳ至Ⅴ类。

## 2 设备选型

在设备选型阶段,充分考虑了工程的地质条件、施工要求以及设备性能等因素,经过综合比较,最终选择了LM-400反井钻机作为施工设备。该钻机采用全液压驱动,额定功率161kW,适应岩性单向抗压强度 $\leq 140\text{Mpa}$ ,能够满足尾水斜井导井深度及直径的施工要求。同时,该钻机还具有操作简便、维护方便等优点,能够提高施工效率和质量。

## 3 施工程序

当斜井的顶部开挖至设计结构面后,进行反井钻机临时设施施工,待基础强度达到70%的标准后,进行反井钻机及其附属设备的安装与调试工作。在 $\phi 280\text{mm}$ 导孔施工阶段,特别选用了 $\phi 254\text{mm}$ 钻杆与 $\phi 280\text{mm}$ 稳定钻杆,以确保导孔施工的精度与效率。当导孔成功贯通后,在尾水的下弯段安装 $\phi 2.0\text{m}$ 的反扩钻头,进行导孔的反扩施工,直至导井完全贯通。全部工序完成后,拆除反井钻机并进行转运,为下一步施工做准备。

尾水斜井施工顺序:斜井顶部平台开挖→施工临建设施→反井钻机就位调试→导孔施工→导孔贯通→更换 $\phi 2.0\text{m}$ 反扩钻头→扩孔贯通→反井钻机拆除、转运→下一步施工。

## 4 施工方法

### 4.1 施工准备

#### 4.1.1 技术准备

设计图纸下发后,项目技术人员对图纸进行了细致的研究,并请监理方组织了设计交底。根据设计图纸及交底要求,编制了施工技术方案。此外,针对安全技术、施工工艺进行了交底工作,所有参与施工的人员均参加交底,并形成书面的交底记录<sup>[1]</sup>,确保施工顺利。开钻前,对水文地质资料进行深入研究,明确不良地层的位置和深度,制定防范措施及对策,为施工提供了科学依据。

#### 4.1.2 现场准备

施工准备阶段,首先进行风、水、电等临时设施的布置工作,确保施工环境和场地安全。同时,对施工材料进行严格试验检验,确保材料质量符合施工要求。机械设备进场后严格执行报验程序,制定操作规程及保证措施,确保机械设备性能满足设计要求,为施工过程中的安全提供了有力保障。

#### 4.1.3 钻机基础及沉淀池施工

根据反井钻机基础及沉淀池的尺寸要求,进行精确的测量放线工作,采用浅孔爆破方式进行开挖,局部欠挖采用破碎锤进行处理,基础底部松散石渣采用人工进行清理,确保基础质量。反井钻机基础采用C25混凝土自下库混凝土拌和站拌制而成,运输至现场后采用自卸入仓方式进行浇筑,人工进行平仓振捣、抹面,按设计图纸预留二期混凝土槽及排水沟槽。沉淀池采用红砖砌筑,底部设C15垫层混凝土,池壁及排水沟进行砂浆抹面处理。待基础强度达到设计强度70%后,进行了反井钻机的安装调试工作。

#### 4.1.4 反井钻机安装调试

LM-400反井钻机包含多个系统部件,根据现场实际情况合理布置了主机、泵车、起动箱等设备的位置,为确保钻机精准安装,严格按照操作规程进行安装。同时,对钻机进行了定位及角度调节工作,确保斜井导孔的偏斜度控制在允许范围内,完成角度调节后进行了基础二次浇筑以固定钻机位置。最后,对反井钻机系统进行了全面的调试工作,确保各部件安装正确且系统运行正常,一切准备就绪后,开始开孔钻进工作。

### 4.2 反井钻机导孔施工

#### 4.2.1 开孔前准备

在开孔前,相关技术人员对钻机、泥浆泵、备件材料、钻机安装、电气设备安装、泥浆沉淀池、钻场安全设施与防护以及钻具、相应工具进行了质量检验,确保质量数量满足要求后方可开工。同时,钻机需进行精确找正,确保钻孔中心和动力头主轴中心重合,为开孔角度的准确性提供保障<sup>[2]</sup>。此外,还需完成钻孔泥浆的制备并确保其充分循环。

#### 4.2.2 开孔操作

开孔钻进时,导孔钻头垂直斜面开孔,调整动力头出轴转速为低转速,使用与导孔钻头直径相同的稳定钻杆配合扶正器进行慢速开孔。随着钻进深入,逐步替换为普通钻杆,并保持稳定钻杆紧贴孔壁,直至无法继续钻进时,提出钻杆并更换为正常稳定钻杆组合,继续钻进直至完成开孔,开始正常导孔钻进。在钻进过程中,每隔一定距离加设钻杆稳定器以保证钻进精度。

#### 4.2.3 钻具布置

钻具布置为导孔钻头、异型接头、稳定钻杆和普通钻杆的组合,组合方式可选为:导孔钻头+异型接头+稳定钻杆(1)+普通钻杆(1)+稳定钻杆(1)+普通钻杆(1)+稳定钻杆(1)+普通钻杆(1)+稳定钻杆(1)+……。稳定钻杆组数根据钻孔孔深确定,并根据围岩情

况适时调整,以确保导孔开孔及钻进精度。

#### 4.2.4 导孔钻进注意事项

导孔钻进时,需根据岩石地质条件调整钻压和转速,保持钻进速度均匀。同时,密切观察孔内返浆量,及时清理返出的岩渣,防止岩渣流入沉淀池。在更换钻杆前,需确保孔内岩屑全部排出。钻压控制需根据地层特性进行,松软地层采用低钻压,硬岩和稳定地层采用高钻压。在导孔钻透前,需通知相关人员警戒,防止人员和机械设备靠近<sup>[3]</sup>。遇到破碎地层时,需调整泥浆参数以增强其携渣能力。整个钻进过程中需避免中途停电、停水等情况,以确保施工安全。

#### 4.2.5 导孔钻进偏斜保证措施

为确保导孔钻进精度,施工过程中采取了一系列措施:使用开孔扶正器保证开孔精度,合理布置稳定钻杆以稳定钻进方向,选用硬岩保径三牙轮钻头以防止导孔过程中缩径。精确设计和控制泥浆参数,利用泥浆作为循环液携渣。导孔钻头开孔处做成与钻进方向垂直的斜面,保证钻头受力。导孔钻进采用高转速低扭矩,根据国内或国外的经验导孔转速防止偏斜。恒压钻进防止钻进速度忽快忽慢造成的人为偏斜,采用KXZ-1A型高精度测量仪器进行偏斜测量。以上保证措施为导孔成孔起到了至关重要的作用,保证了施工质量,提高导孔钻进的成功率。

#### 4.2.6 纠偏方案

若施工过程出现严重偏斜情况,采用灌浆回退重新钻进的方式进行纠偏。首先进行偏斜量的反复测量以确定偏斜程度和位置,然后进行灌浆至偏斜开始突变增大的深度。待灌浆初凝并具有一定强度后,按照纠偏钻具组合进行钻进,在重新钻进过程中需密切观察返渣情况以确认纠偏效果。当导孔钻进方向指向设定透孔位置时停止纠斜钻进并进行光孔复测以确认纠偏成功,最后恢复正常钻进至完成导孔施工。

### 4.3 反井钻机导井施工

#### 4.3.1 导井施工流程

当导孔钻进与尾水下弯段成功贯通后,施工人员将拆除导孔的 $\varnothing 280\text{mm}$ 钻头,并在底部安装 $\varnothing 2.0\text{m}$ 扩孔钻头。安装前,根据导孔的实际坐标精确计算,确定导孔延长线与下弯段底板的交点,并进行放样作为钻头卸落点。安装过程中,首先将吊帽等专用工具运送至井底,扩孔钻头通过平板车运输至斜井钻孔中心点位置,利用开挖阶段的钻爆台车作为20t电动葫芦的悬挂点,通过外延电缆远程控制电动葫芦,将钻头起吊至一定高度后,平板车驶离工作面,随后缓慢下放钻头至地面。当反井钻机钻杆下放至下弯段时,利用液压反铲对钻头位置和

角度进行精细调整,反扩钻头完成调整后,通过反井钻机下放和旋转钻杆,使钻头与公、母吊帽连接牢固。此过程中调整钻机钻速为1~2转/分钟,以确保信息传递的及时性。在整个安装过程中,确保上下通讯畅通无阻,上部反井钻机操作手根据底部施工人员的指令进行操作,同时约定以敲击钻杆次数作为信号传递方式。扩孔直径为2.0m,每米实渣量为3.14m<sup>3</sup>,反井钻机每天可扩孔钻进5m,因此每天的出渣量约为15.7m<sup>3</sup>。斜井底部安排专人值班,与井口通过专线对讲机保持联系。值班人员需密切观察存渣量,一旦存渣高度接近隧道顶板,应立即通知钻机司机暂停钻进,同时平洞内要确保及时清理渣料,渣料采用ZL50C装载机装载至20t自卸汽车,运至指定堆存场地。完成出渣工作后,通知钻机司机继续钻进,如此循环直至扩孔工作完成<sup>[4]</sup>。扩孔期间,为确保施工安全,采取围栏将尾水下弯段与斜井底部段隔离开,值班人员在观察存渣时,需保持与扩孔中心点不小于10m的距离。

#### 4.3.2 完孔及钻机拆除

当钻头扩孔至距基础2.5m时,施工人员将降低钻压进行慢速钻进,并密切观察基础周围情况。如出现异常现象,需及时采取措施处理,继续缓慢扩孔直至钻头露出地面。完孔后,利用钢丝绳将反扩钻头固定于井口钢梁上,并通过20t电动葫芦及钢丝绳将钻架主机和辅助设备拆下,运输至下一工作面。随后利用相同的吊装方式将反扩钻头从井口调离,最后将泵车、油箱等设备拆装整理并运输,完成现场清理后,整个钻孔工作结束。

#### 4.3.3 扩孔钻进及故障排查

在扩孔钻进过程中,为防止导孔孔壁因扰动而塌落岩块造成堵塞等事故,需将孔内稳定钻具全部提出,仅保留扩孔钻头上部一或两根稳定钻具。此外,还需注意以下几点:拆除洗井液胶管,并将冷却器出水接到井口,为扩孔钻头提供冷却并消除尘土。调节动力水龙头出轴转速至预定值,即采用低转速。在扩孔钻头初次接触岩石时,因岩石表面不平整,需采用低钻压和低转速以防止扩孔钻头剧烈晃动损坏刀具,待扩孔钻头完全进入孔内后,方可加压进行正常钻进。扩孔钻压的大小应根据地层情况和钻井深度合理调整,通常不宜超过300kN以确保刀具使用寿命。扩孔钻进前需检查工作面的平整情况并处理锚杆等障碍物,以每小时0.5m的钻进速度慢速钻进,待钻头完全进入孔内后再进行正常扩孔钻进。

如遇排渣不畅、钻头晃动剧烈或钻进困难等情况,可能是大块矸石挤压刀具所致。此时需将刀具下放一定距离并多次高速旋转以甩掉矸石,如无效则需将钻头下放至底部进行处理。正常扩孔时需及时清除岩渣以防止堵塞下孔口,工作人员严禁进入扩孔口附近10m范围内以防落石伤害。如需通过该区域,应通知斜井顶部反井钻机暂停钻进,通过后再通知其继续施工。扩孔钻进时需时刻观察冷却水的供给情况,避免打干孔以防止损伤钻头。根据进尺速度和导孔记录调节钻压和旋转压力,岩石较软时采用低钻压高扭矩,岩石较硬时采用高钻压低扭矩。如遇频繁卡钻需降低钻压并在即将扩透时进一步降低钻压和扭矩直至扩孔钻头露出。

### 5 总结与启示

通过LM-400反井钻机的应用和实践,本工程成功实现了抽水蓄能电站尾水隧洞斜井导井的精确施工。在施工过程中,项目施工人员严格遵循施工程序和施工方法,有效控制了导孔钻进偏斜现象,确保了施工质量和效率。本文为类似工程施工提供了经验和借鉴,对于推动抽水蓄能电站建设具有重要意义。

#### 结语

随着抽水蓄能电站建设的不断推进和技术的不断创新,尾水隧洞斜井导井施工技术将不断得到优化和改进。未来研究可进一步探索新型施工设备和技术在导井施工中的应用,加强施工现场管理和技术创新,降低施工成本和风险,提高施工效率和质量。此外,还可研究导井施工与环境保护的协调发展策略等,实现抽水蓄能电站建设的可持续发展。

#### 参考文献

- [1]杨国良,李传波.抽水蓄能电站超长斜井导井施工技术[J].工程技术研究,2020,5(24):92-93.
- [2]王志晓,陈振国,陈龙.抽水蓄能电站斜井导孔施工关键技术研究[J].水力发电,2021,47(04):84-87+101.
- [3]张旭柱,侯晓斌,齐俊修.呼和浩特抽水蓄能电站引水系统斜井开挖方法研究[C]//2020中国隧道与地下工程大会(CTUC)暨中国土木工程学会隧道及地下工程分会第十八届年会论文集.,2020:476-480.
- [4]何金星.荒沟抽水蓄能电站引水斜井开挖施工技术[J].云南水力发电,2022,38(06):174-179.