

# 抽水蓄能电站地下厂房防渗处理研究

赵恒磊 陈瑞波

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 本论文以抽水蓄能电站地下厂房为研究对象,对其施工期防渗与排水等问题展开深入的研究。首先对工程地质和水文地质条件进行分析,理清厂房区域内断层和节理发育规律以及对建设产生的影响。然后,提出本课题的研究内容及目标,目的是通过采取合理的防渗、排水措施来保证地下厂房建设安全及后期运营可靠。在技术原理一节中论述了减少地下水浸润线,布置防渗帷幕及排水孔幕,达到阻断渗流,降低地下水位的目的。创新之处在于:以落水孔为送浆通道,灌浆台车灌浆,新型钻机用于排水孔施工。最后对防渗帷幕及排水孔施工技术进行了详细描述,强调质量控制十分重要。

**关键词:** 抽水蓄能电站; 地下厂房; 防渗; 排水; 施工技术

## 引言

抽水蓄能电站是可再生能源的重要存储方式之一,其在现代电力系统中所起的作用也日益凸显。地下厂房是电站最核心的组成部分,施工质量的好坏直接影响着电站整体安全运行及使用寿命。由于地下厂房一般都处于地下水位之下,防渗与排水施工技术就成了保证其结构安全与功能的关键所在。文章通过对厂房区域工程地质与水文地质条件进行分析,并针对防渗与排水施工技术提出系列创新性措施,以期类似项目提供借鉴与参考。通过本课题研究,希望可以提升地下厂房建设的科学性与有效性,从而为电站长期平稳运行打下坚实基础。

## 1 工程地质及水文地质条件

电站工程区位于燕山晚期侵入的牢山花岗岩体附近,地层岩性主要以燕山晚期的灰白、肉红色中粗粒二长花岗岩类为主,出露地层岩性简单,主要是泥盆系南湾组片岩、变粒岩,岩脉以及分布极不均一的散堆积物。这种岩性在地质应力的作用下,库区发育有大量错综复杂的节理裂隙,使得岩体结构复杂化,对岩体稳定性产生一定影响,极易造成渗漏问题,从而威胁电站的安全运行。

地下厂房区有f1、f6、f8三条断层,其中f1走向35°,断层带两侧发育有节理密集带,均有蚀变现象,但宽度并不大。在厂房中部斜穿厂房的f6断层,宽度小于0.1m破碎带,带内充填断层泥、石英脉,可见蚀变蒙脱石,石英脉挤压破碎。f8断层规模不大,宽度一般在0.05m~0.2m,走向23°~28°。所有的断层地下水发育程度都不高,主要是少量渗水和潮湿。地下厂房区一带构造发育的主要特征为节理发育较高,主要有以下两组:①走向30°~50°发育程度相对较高,但长度一般较小,与洞轴线大角度相交;②走向290°~300°,发育长度最大可

达10m以上。此外,厂房区共揭露有节理密集带8条,均为陡倾。此外,局部地段还发育有一组中倾角节理,走向340°~350°与厂房轴线近于一致,对厂房边墙的局部稳定可能会造成一定的影响<sup>[1]</sup>。

## 2 本文研究内容及目标

### 2.1 研究内容

抽水蓄能电站由于其布置的特殊性(通常会采用首部或尾部式地下厂房布置)和高程差(上水库高于地下厂房)以及地下水水位的影响(地下厂房基本都建与地下水高程以下),在地下厂房运行后,往往会面临从上水库、下库向地下厂房的渗流的问题,上库渗流并会融合于天然地下水,对地下厂房产生较大的危害。<sup>[2]</sup>如何采取相应的防渗措施,避免渗流对地下厂房的影响,以及如何最短时间内完成防渗和排水的施工,是亟待解决的问题,是本课题研究的主要内容,也是保证地下厂房开挖稳定以及后期电站安全运行的关键。

### 2.2 达到的目标

地下厂房长期深埋在天然地下水以下,使厂房结构承受很大外水压力,增加了地下洞室开挖及后期运行的安全风险,特别是对洞室地质条件不好的地段,渗流会对洞顶、洞壁围岩长期侵蚀,使围岩力学指标恶化,进而对洞顶、洞壁安全造成威胁。另外,渗水会使整个地下厂房环境潮湿,不仅对电器设备运行不利,也对人体健康会造成不良后果。

为防止上、下库渗水进入地下厂房,在引水高压钢管钢衬首端和尾水高压钢管钢衬末端设置环形帷幕,在厂房四周设置垂直防渗帷幕,来阻断渗流,另外在厂房四周设置排水孔幕,降低地下厂房顶拱及边墙的地下水位,保证厂房开挖以及后期运行创造有利条件。

### 3 技术原理及创新点

#### 3.1 技术原理

将地下厂房周边的地下水浸润线在洞壁渗漏点的高程降至主变室高程以下,才能有效的保证地下厂房、主变室、发电机层以上的顶拱及厂房洞壁干燥,不受渗水侵蚀,工作人员和电器设备才能保证安全作业。地下厂房长期安全运行环境方可改善。

(1) 为防止库区蓄水后出现,库区渗流汇入地下水中,从而导致的进入地下厂房,造成地下厂房渗水。在地下厂房区四周设置防渗垂直帷幕作为防渗体系的治理措施,起到切断渗水的作用。

(2) 通过布置围绕地下厂房四周垂直排水幕的防水措施,经排水幕收集渗水后由廊道系统排出厂区外。采用此种措施,可做到干扰小、施工方便、排水效果经济可靠,最重要的是运行后期如果发现排水效果未达到预期的,可通过在排水廊道内增加排水孔解决引流效果。

#### 3.2 创新点

##### (1) 防渗施工时利用落水孔作为送浆通道

地下厂房帷幕灌浆施工时,地下洞室交错布置,没有足够的场地布置制浆站。在洞外制浆时,由于洞外离工作面距离在2km以上,洞外送浆的管路占浆以及弃浆量非常大,地下厂房顶部开挖完成后,利用上层排水廊道制浆站进行中层以及下层帷幕灌浆的施工,不仅可以节约重复搭设制浆站的费用,还可以减少水泥损耗,主要是通过制浆站附近的落水孔进行送浆时,制浆站离工作面最远距离在300m以内。

##### (2) 防渗施工时通过灌浆台车进行灌浆

帷幕灌浆时由于规范要求,灌浆泵离孔口的距离不得大于30m,对于一个2.5km长的上中下廊道来说就需要不停地搬动制浆站,累计需要搬运25次,每搬运一次灌浆站一般需要2~3天的时间,通过灌浆台车可以有效缩短搬运时间,当灌浆结束时,通过推动灌浆台车进行前行,一般只需要一个台班就能实现灌浆站的就位,极大的缩短了灌浆的准备时间<sup>[1]</sup>。

##### (3) 排水孔施工进行采用新型钻机进行施工

廊道排水孔的施工机具常规采用锚杆钻和100D钻机,但锚杆钻和100D钻机钻进效率不能满足工期要求,施工时需要搭设简易脚手架,造成施工成本增加;对于仰孔施工时,由于缺少支撑反力施工存在安全隐患。因此,引进液压钻机进行排水孔的钻孔,不仅施工速度快,施工质量也得到了保证。

### 4 施工技术

#### 4.1 防渗帷幕施工技术

厂房防渗系统主要在上层排水廊道、中层排水廊道以及4个引水支洞,4个尾水支洞,共同构成厂房的防渗体系,上层排水廊道防渗帷幕灌浆布置在上游测、以及左右两侧,帷幕灌浆孔距2.0m,上层排水廊道帷幕灌浆孔深深入中层排水廊道,中层排水廊道孔深深入到厂房底部以下6.0m,上层与中层之间通过搭接帷幕连接。为防止钢筋混凝土衬砌段的渗透水渗入钢管段,在钢管起始点上部横向排水廊道以及钢管区域两外侧的纵向排水廊道内布置两道灌浆帷幕,帷幕灌浆孔距2.0m,灌浆排数为前后两排,分段分序进行灌浆,灌浆帷幕深度直达高压钢管底部以下约8m,另在钢管起始端设置了2道环向防渗帷幕,与顶部钢管排水廊道内的垂直帷幕灌浆相接,形成封闭有效的防渗帷幕体系。

帷幕灌浆在上层排水廊道和中层排水廊道布设时,上层排水廊道分布在上游测和两侧,中层排水廊道分布在四周,帷幕灌浆深入厂房开挖高程底部以下6.0m。平均孔深35m左右,引水高压钢管排水廊道孔深55m左右。

##### (1) 帷幕灌浆施工技术

###### 1) 钻孔

帷幕灌浆先导孔采用地质钻机,其他灌浆孔采用液压钻机钻进,配备金刚石、硬质合金钻头。先导孔配置岩芯钻具,孔径为 $\phi 76\text{mm}$ 。其他灌浆孔孔径为 $\phi 90\text{mm}$ ,引进了液压钻机后,能够满足工作要求,为进一步提高钻孔效率降低成本,对新钻机钻进方式进行改进,将钻机钻孔方式由回转式钻进改变成冲击式钻进,改进后的钻机主要用于仰孔的钻孔,回转式钻进用于斜孔。风由钻杆进入到孔底,成为风动冲击式钻机,钻孔效率进一步提高。

###### 2) 灌浆

选用灌浆泵进行灌注,灌浆泵额定压力为6MPa,灌浆泵压力大于设计灌浆压力的1.5倍符合设计要求。为满足灌浆泵距灌浆孔口的输浆管长度不大于30m的要求,需要不断地移动灌浆泵等设备,为有效缩短灌浆准备时间,通过灌浆台车进行灌浆泵的移动,方便快捷。灌浆通过优化施工工艺,采用自下而上灌浆法进行,可有效缩短灌浆时间,避免在狭小的廊道内不停地搬运钻孔设备,也保证了灌浆的质量。

灌浆过程采用灌浆自动记录仪四参数大循环进行数据采集与分析,并进行智能灌浆信息化管理,通过公网访问灌浆实时监控网络,监控现场施工情况。

##### (2) 搭接帷幕

搭接帷幕分为洞内搭接和压力钢管内搭接,洞内搭接,孔深6.0m,间距2.0m,孔向倾角 $60^\circ$ ,孔径不小于

38mm, 采用全孔一次灌浆法。压力钢管内搭接在钢衬始端及钢衬末端, 一环12个孔, 共2环, 采用100D钻孔, 孔深15m, 采用分段灌浆法<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 排水施工技术

排水系统主要在上层排水廊道、中层排水廊道、下层排水廊道中, 主要由洞顶排水体系和防渗体系后的排水体系共同构成。

##### (1) 仰孔施工

地下厂房排水孔仰孔施工在排水廊道开挖完成之后进行, 排水孔俯孔在帷幕灌浆检查孔合格后进行, 排水孔钻孔孔径均为110mm, 所有钻孔按设计图纸统一编号, 孔位偏差不得大于 $\pm 10\text{cm}$ , 孔深误差不得大于孔深的1%(贯通类排水孔孔深无偏差)。钻孔采用全液压履带式深孔钻机, 钻机倾角采用量角器和水平仪控制。全液压履带式深孔钻车长宽高为3800 $\times$ 1050 $\times$ 1950, 尺寸小、能够满足狭小洞室作业要求, 钻孔角度为360°, 任意角度的孔都可以施打, 满足排水孔仰孔倾角35°、60°的作业要求。该钻机行动方式为履带式行走, 转移工作面方便, 钻进、起钻过程钻杆可自动拧紧、松卸, 一般每班只需要2~3个工人, 自动化程度高, 大大降低了人工成本。钻机自带双卡瓦, 有效的防止在加钻杆时, 钻杆下滑砸伤人员。钻机回转转矩较大, 反力矩需要机体本身承担, 两根立柱总成顶紧廊道内顶板, 可防止因钻机转矩突然增大, 发生机体构件击人的人身事故, 保证了施工的安全。

##### (2) 俯孔施工

俯孔钻孔完成后, 检查合格后及时在孔顶部1.0m范围内回填混凝土, 防止排水沟中的水通过俯孔流入到下层排水廊道中, 影响整个排水体系, 俯孔施工尤其注重20.0m范围的孔斜, 孔斜控制质量差将影响上中下三层排水廊道的贯通, 主要通过孔斜测量仪和改变钻进压力等方式控制钻孔孔斜<sup>[5]</sup>。

##### (3) 排水管道的安装

对于单孔地下排水量较集中处, 现场确定是否需要外接孔口装置及PPR排水管引至排水沟, 断层破碎带部位排水量较大部位的排水孔全孔设置 $\Phi 90$ 的塑料盲管。

#### 5 预防措施

为增强地下厂房的防渗漏效果, 在地下厂房建设中就必须充分考虑到可能出现的渗漏问题, 并采取相应的预防措施。比如说: 施工缝的留设位置不当、缝内清洗不干净、浇筑混凝土时下料方法不当等都可能造成渗漏问题, 其预防措施如下: 根据工程建设要求确定施工缝的留设位置, 尽量减少施工缝, 若为竖向的施工缝, 则可留设在变形缝上, 底板则连续浇筑; 若为水平的施工缝, 则应留设在距离底板 20~1000px 的范围内。若板墙的厚度较薄, 采用凹缝或 V 形缝最好, 不仅施工简单, 且界面结合性较好, 但清理难度大, 但其仍然是当前工程施工中最常采用的一种施工缝留设方法。若板墙厚度较厚, 使用凸缝较好, 其缺点是支模难度大。

#### 6 结语

通过本课题研究, 不仅对于抽水蓄能电站地下厂房防渗与排水施工技术有着更加深刻的认识, 同时也提出一系列创新性施工方法与质量控制措施。这些研究结果不仅对该项目的成功实施有重要指导意义, 而且还可为同类项目提供有价值的经验与借鉴。今后, 在工程技术不断进步, 新材料新设备不断使用的情况下, 地下厂房防渗与排水施工技术也会进一步优化与完善。我们希望这些技术能被更多工程项目所采用, 对电力系统安全高效运行有较大帮助。并期望业界同仁继续探索与创新, 为抽水蓄能电站地下厂房建设技术进步做出贡献。

#### 参考文献

- [1]杨海滔, 张志崇, 金贤, 等. 抽水蓄能电站地下厂房防渗排水方案数值模拟研究 [J]. 大坝与安全, 2024, (03): 20-23+34.
- [2]李炎隆, 贾巍, 温立峰, 等. 抽水蓄能电站输水及地下洞室系统渗流场三维有限元分析 [J]. 西北水电, 2022, (05): 92-97.
- [3]吴凯. 抽水蓄能电站地下厂房防渗设计问题的探讨 [J]. 水电站设计, 2019, 35 (04): 15-17+22.
- [4]胡林江, 冯树荣, 胡育林, 等. 溧阳抽水蓄能电站地下厂房洞室群防渗排水设计 [J]. 水力发电, 2017, 43 (11): 39-42+90.
- [5]罗绍基, 刘学山. 抽水蓄能电站地下工程关键技术研究 [J]. 水电与抽水蓄能, 2016, 2 (05): 1-6.