

抽水蓄能电站勘探平洞施工关键技术研究分析

李磊

云南华电金沙江中游水电开发有限公司梨园发电分公司

DOI:10.12238/hwr.v8i12.5910

[摘要] 抽水蓄能水电站工程规模大,坝址地质条件复杂,为了确保抽水蓄能电站主体工程的结构性能,文章就该工程的勘探平洞高质量施工关键技术展开全面分析,提出了地下洞室群紧凑布置设计准则及其相应的时空布局设计,并结合室群施工关键技术的优势,研发复杂地质构造条件下米级精准勘察技术,为抽水蓄能电站主体工程的功能性、适用性提供重要保障。同时,文章结合技术运用成效,做出技术创新经验总结,为抽水蓄能电站主体工程良性施工提供重要保证。

[关键词] 勘探平洞; TBM施工; 关键技术; 梨园水电站; 建设管理

中图分类号: TV743 文献标识码: A

Research and analysis on key technologies for the construction of exploration tunnels in pumped storage power stations

Lei Li

Yunnan Huadian Jinsha River Middle Reaches Hydropower Development Co., Ltd.

[Abstract] The pumped storage hydropower station project has a large scale and complex geological conditions at the dam site. In order to ensure the structural performance of the main project of the pumped storage power station, this article comprehensively analyzes the key technologies for high-quality construction of the exploration adit of the project, proposes the design criteria for compact layout of underground caverns and their corresponding spatiotemporal layout design, and combines the advantages of key technologies for chamber group construction to develop meter level precise survey technology under complex geological structural conditions, providing important guarantees for the functionality and applicability of the main project of the pumped storage power station. At the same time, the article combines the effectiveness of technological application to summarize the experience of technological innovation, providing important guarantees for the benign construction of the main project of pumped storage power stations.

[Key words] exploration of flat caves; TBM construction; Key technologies; Liyuan Hydropower Station; Construction management

1 研究背景

实现“碳达峰、碳中和”目标,构建以新能源为主体的新型电力系统是党中央、国务院作出的重大决策部署。2020年12月12日,国家领导人在气候雄心峰会上宣布:到2030年中国风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。风、光等新能源的大规模开发及其发电的波动性、间歇性特点,决定电力系统需建设大量调节电源。抽水蓄能电站作为一种重要的储能方式,能够在电力供需高峰和低谷之间进行调节,提高电力系统的稳定性和经济性。2021年9月国家能源局发布了《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035年)》,重点实施项目340个,总装机容量约4.21亿千瓦;储备项目247个,总装机规模约3.05亿千瓦。根据中国水力发电工程学会抽水蓄能行业分会信息,2022年已核准48个

项目,装机合计6889.6万千瓦。

目前我国抽水蓄能全产业链体系完备,机组国产化率高,大规模开发建设经验丰富,但同时开展数百个抽水蓄能电站开发工作,对整个水电行业来说面临着较大的机遇和挑战。勘探平洞施工是抽水蓄能电站建设可研阶段勘察设计的关键环节,其质量直接影响到工程设计的安全和效益。勘探平洞如何高质量施工值得关注。

2 研究概况

我国大地构造位于欧亚板块的东南缘,与太平洋板块和冈底斯、印度板块相接,在各期板块活动影响下,区域地质构造复杂,地形地貌多样,地震多发,局部地质灾害频发,地质条件是工程开发限制性条件之一。

勘探平洞施工是抽水蓄能电站建设可研阶段勘察设计的关键环节,其质量直接影响到工程设计的安全和效益。现有勘探平洞施工研究主要集中在施工及支护技术、供电方案、边坡稳定、封堵技术等方面。例如,王立群等人研究了高拱坝地质勘探平洞封堵原则及施工方法;吴世友等人探讨了长距离勘探平洞洞内施工技术的供电方案;任朱和等人分析了杨房沟水电站金波石料场顺坡中缓倾角结构面对边坡稳定的影响;田一亩等人介绍了地下勘探平洞长距离混凝土输送封堵技术的应用;顾兴宇等人研究了长河坝水电站勘探平洞的回填检查及脱空补强等问题。这些研究为复杂地质混合式抽水蓄能电站勘探平洞高质量施工提供了重要参考,但仍需进一步深入研究,以解决实际工程中遇到的各种技术难题。

任朱和等人分析了杨房沟水电站金波石料场顺坡中缓倾角结构面对边坡稳定的影响,为类似地质条件下的边坡稳定性评估提供了参考。田一亩探讨了地下勘探平洞长距离混凝土输送封堵技术的应用,这一技术的应用提高了施工效率和封堵质量。顾兴宇则针对长河坝水电站勘探平洞的回填检查及脱空补强进行了研究,这对于确保勘探平洞的长期稳定性具有重要意义。

杨林的研究则聚焦于中、深勘探平洞施工技术,提出了一系列施工方法和技术要点,以应对复杂地质带来的施工难题。何晓东和苗喆研究了硬岩库岸局部变形体边坡的基本特征,为边坡稳定性分析提供了基础数据和理论依据^[1]。王家兴等人基于微观试验研究了片岩的力学特性,这对于理解复杂地质条件下岩石的力学行为和施工风险评估具有指导意义。

付宇帅比较了中梁一级水库的防渗处理方案,并进行了设计优化,这对于确保水电站水库的防渗效果和运行安全至关重要。谢琨研究了大渡河上游某水电站滑坡体的成因机制及稳定性,为预防和控制水电站滑坡灾害提供了科学依据。李广场则关注了柱状节理玄武岩的松弛特性,这对于评估和设计复杂地质条件下的勘探平洞施工具有参考价值。

在地质特征方面,何晓东、苗喆等人对硬岩库岸局部变形体边坡的基本特征进行了研究,为边坡治理提供了理论依据。王家兴等人则通过微观试验研究了片岩的力学特性,为相关工程提供了重要的基础数据。此外,付宇帅、谢琨等人的研究也涉及到水库防渗处理、滑坡体成因机制及稳定性等方面,这些研究对于保障勘探平洞施工的安全和稳定具有重要意义^[2]。

综上所述,勘探平洞施工的研究涵盖了封堵技术、供电方案、边坡稳定性、混凝土输送封堵、回填检查、脱空补强、施工技术、岩石力学特性、防渗处理以及滑坡稳定性等多个方面。这些研究成果为复杂地质条件下的勘探平洞高质量施工提供了理论支持和技术指导,对于确保混合式抽水蓄能电站的安全、高效建设和运行具有重要意义。这些研究不仅关注施工技术的具体应用,还强调了施工过程中的安全管理和质量控制。勘探平洞施工技术研究在多个方面取得了显著进展,但仍需不断深入研究和实践,以应对复杂地质条件下混合式抽水蓄能电站勘探平洞施工所面临的挑战。未来研究应更加注重技术创新和集成,

提高施工效率和施工质量,为电站建设提供坚实的技术支撑。

3 混合式抽水蓄能电站勘探平洞施工重点难点

3.1 抽水蓄能电站地勘工作需要结合抽水蓄能电站特点开展,主要包括以下特点:

3.1.1 水文地质勘测要求高。水是抽水蓄能电站能量转换的介质,上水库、输水发电系统内的水体,需要消耗电能从下水库通过可逆式水泵水轮机组提升,为了提高电站的技术经济指标,工程防渗要求高。有的抽水蓄能电站的下水库需定期外购水以满足电站正常运行。抽水蓄能电站输水系统内水压力大,对围岩的抗劈裂和防渗要求高。输水系统渗水量较大时,不仅影响电站技术经济指标,还会影响周围山体的稳定性。

3.1.2 水库水位变幅大、变化频率高,对库岸勘察和稳定性评价要求高。抽水蓄能电站水库水位骤升骤降会影响库内人工边坡、库外自然岸坡的稳定,水位变化幅度和库盆大小有关,一般上水库水位变幅约30米。

3.1.3 地下发电厂房洞室埋深深,尺寸大,厂房地墙和顶拱的大变形等地质问题突出。

3.1.4 上水库位于高耸的山头,多利用山顶凹地或冲沟挖填筑坝形成,地基不均匀沉降和人工高边坡问题突出。

抽水蓄能电站地勘工作主要按《水力发电工程地质勘察规范》GB50287开展,工程建设阶段和常规水电站相同,分为:选点规划阶段、预可行阶段、可行性研究阶段、招标阶段和施工详图设计阶段^[3]。随着勘察阶段的递进,勘察手段和工作量随之增加,蓄能电站地勘工作绝大部分在预可研、可研阶段完成。根据现有部分抽蓄项目的统计,百万千瓦装机规模的电站预可研阶段钻孔数通常约30个,进尺约3000米;可研阶段钻孔数量通常约100个,进尺约8000米。

3.2 在抽水蓄能高质量快速发展时期,需要重点关注以下内容:

2.2.1 关注地震地质、地质灾害的调查工作,确保拟推进的项目不受活断层等因素制约。

3.2.2 重视弃渣场、料场、交通工程、筹建期工程、施工场地等地的勘测工作。需要指出的是,可研阶段料源勘察应按详查深度开展,料场勘探时,除了布置钻探孔,尽可能布置适量勘探平洞,查清石料场的地层岩性分布,减少项目开工后料源不足等风险^[4]。

3.2.3 根据运营期抽水蓄能电站反馈的经验,在山势陡峭处修建交通工程时,尽可能采用洞线工程,减少形成人工高边坡,宜从抽水蓄能全寿命周期角度考虑问题,减少运营期高陡边坡治理维护投入。

3.3 梨阿混合式抽水蓄能电站区域地质概况。

3.3.1 地形地貌。区域地貌属滇西纵谷山原区兰坪高山峡谷亚区地貌单元,山体切割强烈,地形零乱,山脉、水系和山间盆地均受构造控制,以冰蚀、侵蚀和剥蚀地貌为主。总体地势西北高、东南低,大致以小金河—丽江断裂带为界分为两个地貌单元:西北部属青藏高原,主要由海拔4000m以上的高山组成,最高峰为

玉龙雪山, 高程5596m, 金沙江为区内深切河谷, 高程1440m左右, 形成高山峡谷地貌特征; 东南部属川西和云贵高原, 由海拔1500m~4000m的高原和中高山组成, 总体上高原面西北高、东南低, 向东南倾斜, 其间有若干个不连续阶梯。

坝址属西北部高山峡谷地貌, 山顶面海拔4000 m~5000m, 河流深切呈“V”型。最高峰为玉龙雪山, 高程5596m, 最低为金沙江河谷, 高程1440m左右, 最大高差约4200m。区内主要为金沙江水系, 其西南侧为澜沧江水系, 金沙江由南西流入本区, 向北至三江口转折向南。依据地貌成因及形态组合, 主要有构造侵蚀地貌、侵蚀构造地貌、溶蚀侵蚀构造地貌, 以及相对较发育的冰川、冰蚀、冰碛等地貌。

3.3.2地层岩性。区内地层出露较全, 从震旦系~第四系均有分布。震旦系仅在工程区外围的图幅东南角零星分布, 为一套以碳酸岩为主的海相沉积; 古生界出露齐全, 广布全区, 主要为碳酸盐岩、碎屑沉积岩和基性火山喷出岩。中生界主要出露三叠系, 在区内广泛分布, 岩性为碳酸盐岩、碎屑沉积岩。新生界第三系在鸣音、丽江以东和永胜东北一带较发育, 多沿断陷盆地呈条带状分布。第四系零星分布在洼地、缓坡、河谷和山间盆地之中, 为坡积、冲积、洪积、湖积和冰碛等。

区域内岩浆活动较为强烈, 具明显的多期性, 华力西期、印支期及喜山期均有活动, 尤以华力西期最为强烈。活动形式和岩石类型亦较复杂, 有喷出也有侵入活动, 岩性有超基性、基性及中性、中基性岩。坝址区的玄武质喷发岩属于二叠系岩浆活动的产物。

区域变质作用不强烈, 在玉龙雪山至哈巴雪山一带有绢云板岩、大理岩、变质火山岩等变质岩, 属区域低温动力变质作用为主, 其余以接触变质和动力变质作用次之。

3.3.3地质构造及注意事项。区域主要断裂活动性评价。大地构造分区上, 工程区主要属于扬子准地台西部和松潘—甘孜褶皱系南部的交界部位, 坝址则处于扬子准地台西部盐源—丽江台缘褶皱带二级构造单元西北侧靠近松潘—甘孜褶皱系的东南边缘。同时工程区位于由北西向的金沙江—红河断裂带(西边界)和近南北向的安宁河—则木河—小江断裂带(东边界)构成的川滇菱形块体的中部, 而北东向的小金河—丽江断裂带将川滇菱形块体一分为二, 工程区处于北部的次级断块内。区域构造基本特征总体上以断裂构造为主, 褶皱构造处于次要地位, 区域地质构造背景十分复杂。

梨阿抽蓄工程区位于松潘—甘孜褶皱系之中甸褶皱带, 新构造运动以整体抬升为主, 近场区无活动性断裂发育。根据云南省地震局对工程场地地震安全性评价成果的行政许可(云震许可(2023)33号), 工程区50年超越概率10%的基岩场地水平向地震动峰值加速度为142.2gal, 地震基本烈度为Ⅶ度。区域构造稳定性较好。

输水线路沿线地层岩性主要为二叠系上统东坝组杏仁状玄武岩、致密状玄武岩夹火山角砾熔岩等, 属硬质岩, 岩体较完整, 围岩以Ⅲ类为主, 凝灰岩夹层以及局部蚀变岩体影响围岩稳定, 高压岔管段发育小规模断层, 需加强支护。隧洞过梨园大沟段埋深较小, 岩体完整性差, 围岩为Ⅳ类、Ⅴ类, 稳定性差, 且存在涌水风险, 加强支护。

上水库进/出水口位围堰堰基范围涉及念生垦沟堆积体原弱变形区, 初步判断现状基本稳定, 应重视围堰填筑后对堆积体的稳定影响。洞脸边坡以岩质边坡为主, 整体稳定, 两侧土质边坡稳定性差, 应加强支护处理。

地下厂房洞室群岩性以杏仁状玄武岩、致密状玄武岩夹火山角砾熔岩为主, 岩质坚硬, 岩体较完整~完整, 结构面多见擦痕和蚀变现象, 以Ⅲ类围岩为主。勘探揭露的t5-1等凝灰岩夹层、断层F21以及局部发育的蚀变岩体等对顶拱围岩稳定存在影响, 应加强支护处理^[5]。

4 结论

近年来, 随着施工技术的不断创新和发展, 我国在抽水蓄能电站施工技术方面取得了一定的进展, 如TBM施工技术、地质超前预报技术等, 为抽水蓄能电站勘察设计施工提供了新的技术支持。在地下工程方面, 研究者们针对地质条件、隧道开挖方法、支护技术等方面进行了大量的研究。为设计和施工提供了系统理念和基本方法科学依据。

本文就抽水蓄能电站复杂地质勘探平洞关键技术进行了研究分析, 对复杂地质混合式抽水蓄能电站勘探平洞关键技术研究已经取得了一定的进展, 有助于提高我国抽水蓄能电站勘察设计施工技术水平, 推动我国抽水蓄能电站建设事业的发展。然而, 该项工作仍然需要进一步深入研究, 以解决地下工程的施工安全、复杂地质支护工程的控制等问题。这将对我国抽水蓄能电站的建设水平具有重要意义。

[参考文献]

- [1]赵全胜, 郝军刚. 我国西部抽水蓄能电站水库工程设计的系统理念和基本方法[J]. 水力发电, 2023, 49(10): 1-6+11.
- [2]张学清, 王炳豹, 殷康. 洛宁抽水蓄能电站引水斜井TBM施工关键技术研究[J]. 水力发电, 2022, 48(02): 81-87.
- [3]董金良, 段君奇. 抽水蓄能电站地下洞室地质超前预报体系建立与工程应用[J]. 水力发电, 2022, 48(02): 48-54+80.
- [4]刘永奇, 张杰, 王小军. 抽水蓄能电站高压管道斜井采用TBM施工的工程布置方案研究[J]. 水力发电, 2020, 46(12): 71-74.
- [5]王槐, 苏超, 张峰. 蟠龙抽水蓄能电站地下厂房顶拱软岩分布与支护影响分析[J]. 水力发电, 2019, 45(08): 47-49+75.

作者简介:

李磊(1982—), 男, 汉族, 河北赵县人, 硕士研究生, 主要从事水电工程建设技术管理工作。