

大型地下洞室开挖期全过程智能监测反馈

邹兴宏¹, 魏大晗², 董常文¹, 王杨成¹, 丁健¹

(1. 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650041;

2. 华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

摘要: 对大型地下洞室开挖期进行智能化监测的必要性、可行性、难点及对应措施进行了系统介绍, 并对所取得的成果进行分析, 旨在为其他水电工程开挖的自动化监测提供借鉴。

关键词: 地下洞室; 开挖期; 监测自动化; 变形; 预警

中图分类号: **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2024)S1-0071-03

Intelligent monitoring and feedback for the entire process of large underground cavern excavation//ZOU Xinghong¹, WEI Dahan², DONG Changwen¹, WANG Yangcheng¹, DING Jian¹ (1. POWERCHINA Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming 650041, China; 2. Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

Abstract: The necessity, feasibility, difficulties, and corresponding measures of intelligent monitoring during the excavation period of large underground caverns are systematically introduced, and the results are analyzed, aiming to provide a reference for the automated monitoring of other hydropower project excavations.

Key words: underground cavern excavation period; automated monitoring; deformation; early warning

TB 水电站属一等大(1)型工程, 枢纽主要建筑物由挡水建筑物、泄洪消能建筑物、右岸地下输水发电系统等组成。挡水建筑物采用碾压混凝土重力坝, 坝顶高程 1740.00 m, 坝顶长度 477 m, 最大坝高 158.00 m。主厂房开挖尺寸 178.6 m×25.50 m×68.73 m(长×宽×高), 洞室顶拱采用三心圆弧拱, 拱顶开挖高程 1650.03 m, 主厂房安装 4 台单机容量为 350 MW 的混流式机组, 引水和尾水系统采用单机单洞的布置方式。主变洞、尾水隧洞等主要建筑物均为大开挖断面的地下洞室, 具有大跨度和高边墙的特点, 并且各洞室之间相互交叉, 布置复杂^[1-2]。本文对大型地下洞室开挖期进行智能化监测的必要性、可行性以及难点进行分析, 并介绍了 TB 水电站开挖期自动化系统的实践, 旨在为其他水电工程开挖的自动化监测提供借鉴。

1 必要性分析

大型地下洞室开挖期常规监测方法即采用人工数据采集方式, 再由技术人员对采集数据集中录入进行整编计算、分析, 这种方式效率低、工作量大、数据容易出现错误、现场数据采集人员安全风险高、监测成果预警迟缓等等, 无法适应高质量、快速施工、预

警迅速、智能化实施等需求, 因此, 开挖期智能化监测是未来发展方向, 将在工程建设中发挥重要作用。

2 可行性分析

大型地下洞室在开挖期实现自动化监测的项目目前尚未见到报道, 实施难度较大。TB 水电站监测项目部秉承质量优先、过程创新、预警迅速、确保安全的基本方针, 在综合前期大型地下洞室安全监测经验基础上, 组织后方专家多次研究讨论, 在监测仪器安装、电缆走线规划、电缆保护措施等环节上加大力度, 确保各个环节高标准实施, 为开挖期自动化实施做好充分准备。

3 难点分析及应对措施

a. 洞室开挖期监测电缆被放炮损坏的事件基本伴随整个开挖期, 维护难度大。监测电缆全部穿管(钢管+钢丝管配合使用)保护, 在管外喷混凝土加以覆盖, 在出线口位置采用轮胎固定进行保护, 并悬挂标识牌以提醒现场施工人员注意安全。

b. 监测仪器分布零散, 开挖期监测电缆很难进行统一规划、集中牵引、集中保护, 实施自动化难度较大, 规划设计关口前移带来较大挑战。采取提前

策划、综合考虑,将监测电缆采取提前预埋、远离开挖面方式,能很大程度降低监测电缆损坏的可能性,监测数据获取率明显提高,也为自动化监测打下坚实基础。常规自动化设计在监测电缆全部集中于观测站后实施,不满足 TB 水电站开挖期自动化实施要求,设计规划需有重大突破,关口前移,才能满足现场实际需要。多次同各方沟通、协调,采用自主设计、紧跟现场实施方案,确保实现自动化监测。从实际运用效果来看,开挖期间近 85%监测点按需要纳入自动化监测系统,约 15%测点受施工影响过大,无法保证自动化设备安全,采用人工加密观测方式进行数据采集。

c. 无固定电源,自动化监测系统供电比较困难。根据现场实际情况,在具有临时电源附近安装自动化设备则使用临时电源作为供电方式;在没有电源附近安装自动化监测设备,则采用更换蓄电池的方式实现系统供电。

d. 大部分位置无信号,监测数据自动化传输比较困难。根据 TB 水电站实际情况,主厂房安装间及部分区域开挖初期即覆盖有移动网络,该区域采用配置 GPRS 通信模块进行自动化数据传输;在无移动网络区域,数据传输相对复杂,采用自组网模式进行数据传输,在设备通过 LoRa 终端与集中器入网配对后方可进行通信^[3-4],设备入网后,用户便以集中器为中心对设备进行局域化分区管理。集中器与服务器之间按指定的信息格式传递信息。

e. 开挖期围岩应力调整明显,变形问题突出,迅速捕捉围岩变形数据并及时反馈,对施工方案及时调整优化,确保施工安全,是重中之重,也是最大难点。①体系建立。建立地下厂房动态管控小组,由建管局总工程师为组长,工程部主任为副组长,小组成员包括工程部责任工程师、设计代表处值班负责人、分管生产副总监理工程师、土建单位生产副经理、监测单位项目负责人。体系完善,对监测指导施工、设计优化发挥了关键作用。②反馈机制。当位移速率增大,出现抬头趋势,则进行复测,确保监测数据真实可靠,立即向组长汇报并以快报形式发布在动态管控小组群内,组长立即组织各小组成员进行研究,制定处理措施,各小组成员随即落实。③责任落实。各小组成员各司其职,根据制定的处理措施完成相应工作。在确保处理措施完成后,变形未继续加大,且经监理单位检查、确认完成相应处理措施后方可进行下一步作业。

4 开挖期自动化系统实施实践

4.1 实践 1:预警迅速,指导施工,确保安全

2021 年 9 月底受 IV 层开挖影响,厂房上游侧

0+54 位置变形、应力均出现明显增长,变化近似直线,表明该区域存在异常变形。监测单位随即报告小组长并以监测快报形式发布于动态管控小组群内,当天小组长组织各小组成员现场查勘并对监测成果进行综合分析判断,待该区域支护完成后方可进行下一步开挖处理措施,土建单位停止开挖后加强支护。由于预警及时,果断采取处理措施,避免围岩变形进一步发展,有效指导施工开挖,确保安全施工。

4.2 实践 2:全过程自动化监测效果

多点位移计孔口位移与开挖及支护时间相关性统计结果见表 1、表 2,典型测点孔口位移-开挖(支护)时间曲线见图 1、图 2,多点位移计孔口位移分布见图 3。

表 1 多点位移计孔口位移与开挖时间相关性统计结果

时间	孔口位移量/mm			
	G1 断面 (0+156)	G2 断面 (0+107)	G3 断面 (0+54)	G4 断面 (0+33)
I 层开挖结束(2020-12-26)	0.8	0.1		
II 层开挖结束(2021-04-15)	2.2	3.1	2.9	2.4
III 层开挖结束(2021-06-20)	4.2	3.5	5.1	3.4
IV 层开挖结束(2021-10-19)	4.2	8.4	12.9	3.8
V 层开挖结束(2021-11-20)	6.2	14.9	20.0	4.9
VI 层开挖结束(2022-01-08)	15.6	21.0	20.8	5.8
VII 层开挖结束(2022-02-18)	23.9	22.6	21.0	6.3
当前(2022-04-07)	26.7	23.5	21.0	6.4

表 2 多点位移计孔口位移与支护时间相关性统计结果

时间	孔口位移量/mm			
	G1 断面 (0+156)	G2 断面 (0+107)	G3 断面 (0+54)	G4 断面 (0+33)
I 层支护结束(2021-02-28)	1.1	2.8	0.6	0.4
II 层支护结束(2021-06-18)	4.2	3.5	5.1	3.4
III 层支护结束(2021-07-27)	4.1	3.5	5.0	3.3
IV 层支护结束(2021-10-29)	4.3	9.6	17.4	4.0
V 层支护结束(2021-11-25)	6.8	15.1	20.0	4.9
VI 层支护结束(2022-01-20)	18.3	21.7	20.9	5.9
VII 层支护结束(2022-02-25)	24.9	22.9	21.0	6.3
当前(2022-04-07)	26.7	23.5	21.0	6.4

注:表中数据为各监测断面孔口最大位移量。

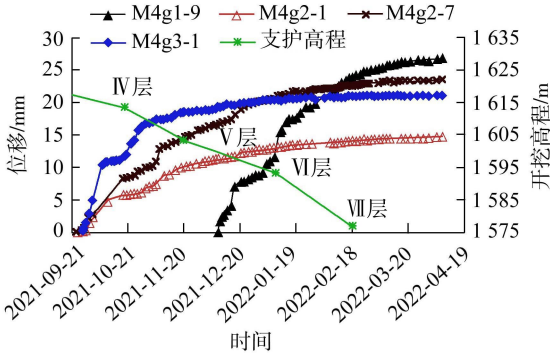


图 1 典型测点孔口位移-开挖高程关系曲线

a. III 层开挖结束最大位移 5.1 mm,根据工程经验此位移量偏小,分析认为主要因素为拱顶、拱腰、拱脚均布置有 2 000 KN 无黏结锚索(5 m×5 m 布

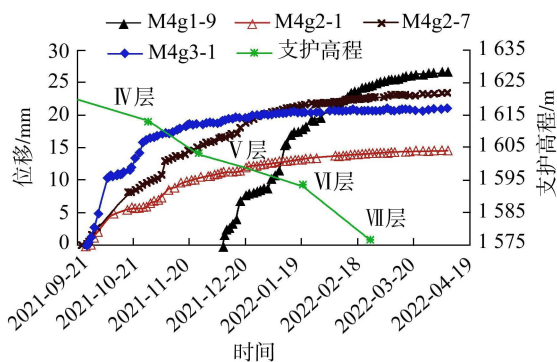


图2 典型测点孔口位移-支护高程关系曲线

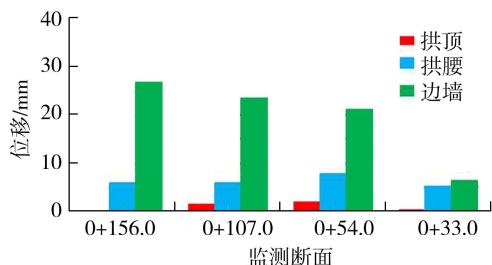


图3 主厂房多点位移计孔口位移分布

置,共布置有148根锚索)。

b. 拱顶、拱腰位置最大位移量仅7.6 mm,位移量总体较小。

c. 边墙上下游1627 m高程、1609 m高程当前位移最大测点M4g1-9(G1断面,厂0+156桩号下游边墙1609 m高程)当前孔口位移量为26.7 mm,其次最大位移量分别为23.5 mm(G2断面,厂0+107桩号下游边墙1627 m高程)、21.0 mm(G3断面,厂0+54桩号上游边墙1627 m高程),其他测点孔口位移量介于3.1~14.7 mm,当前位移变化趋势总体趋于平稳。

d. 位移主要集中于围岩2 m深度范围内,同类似工程基本一致。支护结束后,个别测点存在一定蠕变—趋于平稳情况,当前(支护结束约40 d)各测点位移速率接近为零,围岩应力调整基本结束,同类似工程相比应力调整时间较短。

5 结语

本文对大型地下洞室开挖期进行智能化监测的必要性、可行性、难点及对应措施进行了系统介绍,并对所取得的成果进行分析,可为其他水电工程开挖期自动化监测提供借鉴。

参考文献:

- [1] 国家能源局:混凝土坝安全监测技术规范:DL/T5178—2016[S].北京:中国电力出版社.
- [2] 国家能源局.大坝安全监测自动化技术规范:DL/T5211—2019[S].北京:中国电力出版社.
- [3] 杨宁,卢正超,乔雨,等.乌东德水电站施工期大坝安全监测自动化[J].水利发电,2021,47(11):113-117. (YANG Ning, LU Zhengchao, QIAO Yu, et al. Automation of dam safety monitoring during the construction period of Wudongde Hydropower Station [J]. Hydropower, 2021, 47(11): 113-117. (in Chinese))
- [4] 胡旭阳,陈昌华,段杭,等.白鹤滩水电站施工期安全监测自动化技术的应用[J].中国水利,2019(1):99-102. (HU Xuyang, CHEN Changhua, DUAN Hang, et al. Application of safety monitoring automation technology during the construction period of Baihetan Hydropower Station [J]. China Water Resources, 2019 (1): 99-102. (in Chinese))

(收稿日期:2024-09-23 编辑:彭桃英)

(上接第23页)

参考文献:

- [1] 钟登华,王飞,吴斌平,等.从数字大坝到智慧大坝[J].水力发电学报,2015,34(10):1-13. (ZHONG Denghua, WANG Fei, WU Binping, et al. From digital dam toward smart dam [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2015, 34(10): 1-13. (in Chinese))
- [2] 李庆斌,林鹏.论智能大坝[J].水力发电学报,2014,33(1):139-146. (LI Qingbin, LIN Peng. Demonstration on intelligent dam [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(1): 139-146. (in Chinese))
- [3] 樊启祥,张超然,等.特高拱坝智能化建设技术创新和实践—300 m级溪洛渡拱坝智能化建设[M].北京:清华大学出版社,2018.
- [4] 马洪琪,卢吉,陈豪.澜沧江流域水电站大坝智慧管理实践与展望[J].中国水利,2018(20):7-11. (MA

Hongqi, LU Ji, CHEN Hao. Practice and prospect of intelligent management for hydropower dams in Lancang River Basin [J]. China Water Resources, 2018(20): 7-11. (in Chinese))

- [5] 樊启祥,陆佑楣,周绍武,等.金沙江水电工程智能建造技术体系研究与实践[J].水利学报,2019,50(3):294-304. (FAN Qixiang, LU Youmei, ZHOU Shaowu, et al. Research and practice on intelligent construction technology system of Jinsha River hydropower projects [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 50(3): 294-304. (in Chinese))
- [6] 樊启祥,强茂山,金和平,等.大型工程建设项目智能化管理[J].水力发电学报,2017,36(2):112-120. (FAN Qixiang, QIANG Maoshan, JIN Heping, et al. Intelligent management of large-scale construction projects [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2017, 36(2): 112-120. (in Chinese))

(收稿日期:2024-09-23 编辑:王培)