



湖北省优秀期刊  
《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊  
《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊  
万方数据——数字化期刊群入网期刊  
《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊  
维普网全文收录期刊

ISSN 1671-3354

# 水电与新能源

## HYDROPOWER AND NEW ENERGY

水电与新能源

2020年第7期(第34卷)



乌东德水电站\_许健摄

ISSN 1671-3354



主办单位 中国三峡出版传媒有限公司  
湖北省水力发电工程学会

7

2020  
第34卷

# 热烈祝贺金沙江乌东德水电站首批机组投产发电

2020年6月29日上午11:25分，随着“我宣布，金沙江乌东德水电站首批6号、7号机组，投产发电！”的指令声，国家重大工程——乌东德水电站首批机组投产发电。习近平总书记对金沙江乌东德水电站首批机组投产发电作出重要指示，代表党中央，对首批机组投产发电表示热烈的祝贺，向全体建设者和为工程建设作出贡献的广大干部群众表示诚挚的问候。习近平总书记强调，乌东德水电站是实施“西电东送”的国家重大工程。希望同志们再接再厉，坚持新发展理念，勇攀科技新高峰，高标准高质量完成后续工程建设任务，努力把乌东德水电站打造成精品工程。要坚持生态优先、绿色发展，科学有序推进金沙江水能资源开发，推动金沙江流域在保护中发展、在发展中保护，更好造福人民。

中国三峡集团董事长、党组书记雷鸣山表示，习近平总书记的重要指示高瞻远瞩、思想深邃，高度评价了乌东德水电站建设取得的成就，深刻阐明了工程建设的重要地位，对坚持新发展理念、打造精品工程、科学有序推进金沙江水能资源开发做出重大部署，具有很强的思想性、针对性和指导性，为三峡集团改革发展指明了方向，提供了根本遵循。三峡集团要以乌东德水电站首批机组投产发电为契机，坚定信心、艰苦奋斗，乘势而上、一鼓作气，慎终如始地完成乌东德水电站后续工程任务，打造精品工程，为决胜全面建成小康社会、决战脱贫攻坚贡献更多三峡力量。

乌东德水电站位于云南省昆明市禄劝县和四川省凉山州会东县交界的金沙江上，由三峡集团于2015年12月全面开工建设，总装机容量1020万千瓦，年均发电量389.1亿千瓦时。

湖北省水力发电工程学会



乌东德水电站首批机组投产发电仪式



乌东德水电站\_许健摄

月刊  
2020年第7期  
第34卷(总第193期)  
2020年7月30日出版  
1987年9月创刊  
2010年1月更名

顾问 (以姓氏笔画为序)  
刘经南 许崇育(挪威)  
陆佑楣 张超然  
钮新强 郭生练

编辑委员会  
主任委员 常晓林 李磊  
副主任委员 黄介生 张海星 张博庭  
柳建乔

委员 (以姓氏笔画为序)  
王小毛 王义峰 方创新 卢文波  
付明 任大春 刘运志 刘建平  
关杰林 李文伟 李冰 李志祥  
李翀 李智 李磊 杨广杰  
杨柏华 何金平 汪在芹 张志猛  
张海星 张维平 张博庭 陆忠民  
陈启卷 陈晓明 余敦先 郑斌  
周伟 周友斌 周宜红 周建中  
赵英林 胡伟 柳建乔 袁建伟  
郭光文 郭棉明 涂长庚 涂圣勤  
宾洪祥 黄介生 黄国兵 常晓林  
蔡义钧 颜绍富

编辑部  
主编 夏军  
常务副主编 赵英林  
执行副主编 徐云修  
副主编 陈启卷 李文伟 周伟  
办公室主任 刘卫民  
办公室副主任 江晖  
联络部主任 程汉兰  
责任编辑 刘雪琴  
编辑 刘雪琴 于华东 江晖  
陆丹

英文翻译 程勇刚  
视觉编辑 黎明  
广告部 唐晏军  
编务 钱小玉

主管单位 湖北省科学技术协会  
主办单位 中国三峡出版传媒有限公司  
湖北省水力发电工程学会  
编辑出版 《水电与新能源》编辑部  
地址 武汉大学工学部  
邮编 430072  
电话 027-68772726  
E-mail sdxny5429@163.com  
学会网站 http://www.hshe.org.cn  
印刷单位 武汉市宏达盛印务有限公司  
刊号 ISSN 1671-3354  
CN42-1800/TV  
广告经营许可证号 4200003300079  
广告电话 027-87874931  
国内定价 10.00元/册  
公开发行 自办证订

### □高端论坛□

- 乌东德水电站建设岩石力学工程问题科技创新的思考 ..... 樊启祥,杨宗立,彭吉银,周绍武,王义锋,李果(1)
- 南公1水电站面板堆石坝垫层料、过渡料碾压参数研究 ..... 任强,王建魁(8)
- 水利工程爆破安全监理的现状分析与对策探讨 ..... 葛立芳,樊保龙,周桂松(13)
- 非洲某供水项目融资可行性研究报告编制和审查实例研究 ..... 罗京龙,林恒(17)
- 关于风电项目分阶段建设移交运行管理工作的探讨 ..... 刘超,刘帅(21)

### □科学研究□

- 晒谷坪电站机组稳定性测试分析 ..... 祝迪,朱智岳,覃士勇(23)
- 一种便携式带电作业空调装置 ..... 陈柯豪,赵毅林,陈方伟,肖大林(28)
- 天生桥一级水力发电厂AGC控制策略改进分析 ..... 常辉,杨红江,卢亚萌(33)
- 基于机舱传递函数的风机性能评估 ..... 杨明明(37)
- 地下电站岩锚梁裂缝成因分析研究 ..... 朱浩,贺明武,张钊(41)
- 基于轴流止回阀和空气罐的高扬程泵站水锤防护研究 ..... 黄昕珂,戴亮,廖志芳,王荣辉,张白云,胡曾昊,蒋劲(49)

### □建设与管理□

- 新型液压自动盘车装置在三峡机组的应用 ..... 赵永辉,成传诗,范江宏(54)
- 浅析塔里木河流域综合治理及生态输水成效 ..... 阿迪力江·买买提(57)
- 岷江龙溪口航电枢纽工程施工总布置综述 ..... 李志伟,张毅驰,陈海坤(60)
- 乌东德水电站地质灾害防治工作实践 ..... 李玉峰,庞庆庄,晁燕安,何小鹏,郭进扬,刘袁春(64)
- 某水电站1号机组支持盖振动增大分析及处理 ..... 侯俊龙,杨明扬,卢楠(68)
- 新形势下水电厂运行班组安全精细化管理的探索与实践 ..... 沈同科,孙勇(73)
- 浅议水电工程移民安置区环境保护管理工作 ..... 周建,张燕萍,辜清华,孙小敏(76)

# HYDROPOWER AND NEW ENERGY

July 2020      Number 7

## Contents

---

Scientific and Technological Innovation of Rock Mechanics Engineering in Wudongde Hydropower Station .....	
.....	<i>FAN Qixiang, YANG Zongli, PENG Jiyin, ZHOU Shaowu, WANG Yifeng, LI Guo</i> (1)
Study on Rolling Compaction Parameters of the Cushion and Transition Materials in the Concrete Face Rockfill Dam in Namkong I Hydropower Station .....	<i>REN Qiang, WANG Jiankui</i> (8)
Current Status and Countermeasures of the Blasting Safety Supervision in Water Conservancy Projects .....	
.....	<i>GE Lifang, FAN Baolong, ZHOU Guisong</i> (13)
On the Preparation and Examination of the Financing Feasibility Study Report: Case Study of a Water Supply Project in Africa .....	<i>LUO Jinlong, LIN Heng</i> (17)
Phased Construction, Handover and Operation of Wind Power Projects .....	<i>LIU Chao, LIU Shuai</i> (21)
Test and Analysis of the Stability of Hydro-turbine Generator Units in Shaiguping Hydropower Station .....	
.....	<i>ZHU Di, ZHU Zhiyue, QIN Shiyong</i> (23)
A Portable Live Working Air-conditioning Clothing Device .....	
.....	<i>CHEN Kehao, ZHAO Yilin, CHEN Fangwei, XIAO Dalin</i> (28)
On the Improvement of the AGC Control Strategy in Tianshengqiao I Hydropower Plant .....	
.....	<i>CHANG Hui, YANG Hongjiang, LU Yameng</i> (33)
Performance Evaluation of Wind Turbine Units based on Nacelle Transfer Function .....	<i>YANG Mingming</i> (37)
Analysis of the Causes of Cracks in Rock Anchor Beam in Underground Powerhouse .....	
.....	<i>ZHU Hao, HE Mingwu, ZHANG Zhao</i> (41)
Water Hammer Protection in High Lift Pumping Station with Axial Flow Check Valve and Air Tank .....	
... ..	<i>HUANG Xinke, DAI Liang, LIAO Zhifang, WANG Ronghui, ZHANG Baiyun, HU Zenghao, JIANG Jin</i> (49)
Application of a New Hydraulic Automatic Turning Gear in Three Gorges Hydropower Station .....	
.....	<i>ZHAO Yonghui, CHENG Chuanshi, FAN Jianghong</i> (54)
Comprehensive Management and Ecological Water Supply in Tarim River Basin .....	<i>Adeline Maimaiti</i> (57)
General Construction Layout of Minjiang Longxikou Navigation Power Junction Project .....	
.....	<i>LI Zhiwei, ZHANG Yichi, CHENG Haikun</i> (60)
Geological Disaster Prevention and Control Practice in Wudongde Hydropower Station .....	
.....	<i>LI Yufeng, PANG Qingzhuang, ZHAO Yan'an, HE Xiaopeng, GUO Jinyang, LIU Yuanchun</i> (64)
Analysis and Treatment of Excessive Vibration of the Support Cover in a Hydro-turbine Unit .....	
.....	<i>HOU Junlong, YANG Mingyang, LU Nan</i> (68)
Exploration and Practice of the Delicate Safety Management of Operation Team in Hydropower Stations under the New Situation .....	<i>SHEN Tongke, SUN Yong</i> (73)
Management of the Environmental Protection Work in Resettlement Areas of Hydropower Projects .....	
.....	<i>ZHOU Jian, ZHANG Yanping, GU Qinghua, SUN Xiaomin</i> (76)

---

**Editor:** Editorial Office of Hydropower and New Energy

**Post Address:** No. 8 South East-lake Road, Wuhan, Hubei, China

**Post Code:** 430072

**Chief Editor:** XIA Jun

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.001

# 乌东德水电站建设岩石力学工程问题科技创新的思考

樊启祥, 杨宗立, 彭吉银, 周绍武, 王义锋, 李 果

(中国长江三峡集团有限公司, 北京 100038)

**摘要:** 乌东德工程因所处河谷复杂严峻的自然环境条件及区域地质地震背景, 面临枢纽工程布置、高陡边坡治理、大坝建基岩体选择与建基面确定、复杂地下洞室群安全施工、远程泥石流灾害预警、近坝大型滑坡体及水库岸坡安全稳定等工程地质和岩石力学关键问题的挑战。建设单位、设计单位、科研单位与技术咨询单位的众多工程师和科学家协同攻关, 艰辛探索, 攻克了工程建设过程中一系列的岩石力学关键技术问题, 创新了遵循岩石力学规律特性的工程管理方法, 促进了乌东德工程安全优质建设。本文结合工程建设进展, 总结了乌东德工程岩石力学关键技术的科技创新, 展望了绿色水电开发、建设、运行科技创新的方向。

**关键词:** 乌东德水电站; 岩石力学; 科技创新

**中图分类号:** TU452      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3354(2020)07-0001-07

## Scientific and Technological Innovation of Rock Mechanics Engineering in Wudongde Hydropower Station

FAN Qixiang, YANG Zongli, PENG Jiyin, ZHOU Shaowu, WANG Yifeng, LI Guo

(China Three Gorges Corporation, Beijing 100038, China)

**Abstract:** The river valley where Wudongde Hydropower Station project is located is of complex and severe natural environment conditions and regional geological and seismic influences. Thus, various challenging engineering geology and rock mechanics issues are encountered in the construction of the project, such as the overall layout, high and steep slope treatment, selection of the dam foundation rock mass and determination of the foundation surface, safe construction of the complex underground cavern group, remote warning of debris flow disaster, safety and stability of large landslides near the dam and the reservoir bank slope. With the close cooperation of engineers and scientists from the construction, design, research and technical consulting units, these key technical problems of rock mechanics in the construction are successfully solved. Also, innovated engineering management methods are developed following the principles of rock mechanics. These innovations greatly promote the safe and high-quality construction of Wudongde project. The direction of green hydropower development, construction and operation innovation is prospected.

**Key words:** Wudongde Hydropower Station; rock mechanics; scientific and technological innovation

习近平总书记代表党中央对“西电东送”国家重大工程金沙江乌东德水电站首批机组投产发电表示热烈的祝贺, 向全体建设者和为工程建设做出贡献的广大干部群众表示诚挚的问候。作者作为曾参加过乌东德水电站工程建设的工程师, 既十分激动与自豪, 又倍感亲切, 深受教育与鼓舞。习近平总书记在重要指示中希望同志们再接再厉, 坚持新发展理念, 勇攀科技新

高峰, 高标准高质量完成后续工程建设任务, 努力把乌东德水电站打造成精品工程<sup>[1]</sup>。这是对全体工程建设者莫大的鞭策。在当前世界科技竞争态势下, 在疫情防控常态化推进经济社会发展中, 在实现伟大中国梦的征程上, 学习落实习总书记重要指示, 贯彻新发展理念, 增强工程科技自主创新和高质量建设能力, 具有现实意义和历史意义。高标准建设水电精品工程, 更

收稿日期: 2020-07-05

作者简介: 樊启祥, 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水利水电工程建设技术与项目管理研究。

为工程科技人员技术创新和工程建设指明了方向,提出了要求。本文结合乌东德工程建设历程,谈谈乌东德水电建设岩石力学工程关键技术科技创新。

## 1 工程背景

水电站是一个生命体,岩体和水流如同机体与血液,是她的内在组成部分。岩体不仅提供了电站依存依靠的环境与条件,也在科技进步中,从一个承载者逐步转变为电站建筑物的共同工作者,是一个命运共同体。水工结构与岩体联合受力、共同工作、相互依存,这样的工作特性带来了工程生态环保、资源节约、技术经济等综合效益。为实现这一目标,岩石力学提供了有效的工具方法,中国岩石力学科技工作者通过自主创新成果为水电岩石工程科技创新提供了卓越的技术支撑。

乌东德工程因所处河谷复杂严峻的自然环境条件及区域地质地震背景,面临复杂地质环境下枢纽工程布置、高陡边坡治理、大坝建基岩体选择与建基面确定、复杂地下洞室群围岩加固稳定与安全施工、远程泥石流灾害的治理、监测与预警、近坝大型滑坡体及水库岸坡安全稳定等工程地质和岩石力学关键问题的挑战<sup>[2]</sup>,并成为工程建设的首要问题。为此,建设单位、设计单位、科研单位与技术咨询单位的众多工程师和科学家共同工作,艰辛探索,攻克了岩石力学一系列关键技术问题,创新了遵循岩石力学规律特性的工程管理方法,促进了乌东德工程安全、优质建设。中国工程地质和岩石力学的科学家及其团队,作为工程建设者的一分子,主动融入工程,扎根贴近工程,为乌东德工程按期投产做出了贡献。工作中的切身经历及工程实践成效表明,中国岩石力学与工程领域的科学家把论文写在了祖国的大地,写进了国家重点工程乌东德按期投产的奋斗中,融进了清洁能源开发与美丽中国建设的社会实践,是值得信任、依靠和敬佩的。

## 2 工程建设岩石力学关键技术

### 2.1 坝址选择和枢纽工程布置

在不同坝址、不同枢纽布置、不同坝型的综合精细比选中,在对金坪子大型滑坡体长期稳定性研究的定论中,现在的乌东德坝址能发挥地形地质条件优势,也很好地实现了流域水资源综合规划提出的功能要求。

乌东德坝址峡谷,河谷狭窄、两岸高陡、白沟及红沟较大断层穿过、拱坝坝肩岩石受力体范围内溶洞

有一定分布、泥石流沟众多、河床覆盖层深厚,不同地层的力学性能与水文地质特性差别较大<sup>[3]</sup>。在这样的约束条件下,在有限的优质岩体范围内,创新性地布置了大坝、地下厂房洞室群、泄洪洞群等枢纽建筑物以及工程施工导流与蓄水过流建筑物,如地下厂房系统紧靠河岸布置就有其独特性,大坝建基面开挖揭露的岩石分界线精确到了米级以内,泄洪洞出口消能系统协调了华山沟泥石流安全排泄、电站尾水与大坝泄洪水流共同作用下岸坡防护、坝下右岸硝沟堆积体及金坪子滑坡体安全防护等问题。

精准的枢纽布置在于地质工程师和岩石力学工程师的精准定量勘探和科学准确分析,在于与结构工程师等设计团队的协同联合工作。项目前期阶段及筹建阶段的每次现场查勘,都能深切地体会到地质工程师对周边地形地质环境了如指掌、对坝址区河床演变的生动过程有依有据、对地质与工程的结合分析清晰明确,这一切不仅仅是多年野外勘测设计的安危艰辛,更寄托了工程师的家国情怀与科学精神。地表与影响范围岩体内多层多排纵横勘探平洞与垂直地质钻孔相结合的立体地质测绘技术、水上安全地质钻探及深厚覆盖层原状取芯技术、岩体特性多方法多手段的测试与原型试验技术、地下厂房大型洞室群与周边近距离交通洞及导流洞的安全协调控制技术、紧邻大坝泄洪消能区的厂房防渗技术等,都促进和保障了枢纽布置及其配套系统的有效实现。

### 2.2 自然边坡与工程边坡的安全治理

#### 2.2.1 自然边坡治理

乌东德主体建筑物开挖边坡以上还有 500 ~ 1 000 m 高的陡峻的天然边坡,随机分布有不稳定块体<sup>[4]</sup>。从泄洪洞进口到出口的两岸边坡范围,有泄洪洞、电站进水口及其闸门系统、大坝及其坝顶闸门与泄洪消能系统、电站尾水系统及分层布置的地表交通系统,运行期有设备与人身安全问题,施工期河床基坑及进水口区域更是施工作业人员密集,立体交叉作业重大安全隐患问题突出。

自然边坡治理事关施工安全也事关电站长期运行安全,如同头上悬着的利剑,施工初期陡立岩壁中上部突发掉块事故也敲响了警钟。自然边坡安全治理是工程建设的首批项目,是大规模主体工程展开的安全前提。受交通限制和人力能力,地质勘测条件与高陡边坡地质精准化测绘手段方法有限,精准界定和精确治理需要技术与管理的创新融合。

一是确定了自然边坡治理的原则及相应的技术方案。如维护自然边坡整体安全特性为主,保持自然风貌和水土保持;系统性截水防水排水措施,有效隔绝边坡失稳主要安全因素降雨汇流及施工汇水的影响;针对性个性化处理原则,对不稳定块体在安全措施上对症下药;地表主动网防护与分级被动网防护相结合,防止可能落石的连锁反应,也为施工人员作业提供条件;交通布置以山体交通洞为主结合地表钢栈道,有利于永久检查和施工便利;蜘蛛人地质工程师及无人机测绘等多种测绘技术与多阶段设计动态复核深化优化技术,持续提高块体识别和处理方案的准确性;按需为主使用表面喷护、浅层锚杆、深部锚索相结合的综合措施,不大开挖,确有需要的坚决局部清除挖除;制定陡立高边坡上支撑性承重排架和悬空承重排架的安全施工控制技术,做好边坡施工安全风险评价及措施制定,防止群体性伤害事故的发生;加强不利气候环境等的应急演练及应急响应,制定边坡施工安全禁令;创新自然边坡块体监测技术,采用光纤变形系统对块体进行前兆预警,沿陡立边坡不同高程布置地震动监测系统以获取地震环境下的边坡动力响应规律,开发集降雨监测、含水量监测、地振动监测以及视频监控与应急呼叫系统于一体的花山沟泥石流综合预警系统。

二是确定了遵循自然边坡治理技术规律及安全规律的工程管理方法和工程组织方式。针对初期施工条件,选用了集地质勘测、边坡设计、工程施工与变形监测于一体的总承包施工模式,有利于地质勘探工作的深入,有利于设计、施工的快速响应,有利于施工与运行的结合,争取了时间,提高了效率,控制了成本。随着自然边坡治理取得的现场安全效果,结合地质勘测多手段应用后设计工作的深化,主体工程开挖边坡呈现大面积、多部位、多层立体交叉的局面,采用了把部分自然边坡治理纳入主体工程施工范围的施工组织模式,做到责任边界的明确清晰。制定自然边坡治理对象与措施动态变化情况下的个性化施工组织设计及合同经济措施,聚焦实用有效的个性化现场施工组织设计的制定和审查,通过专项措施费用以及工效实测,为施工单位的合同结算与变更处理打好基础,消除边坡治理一线施工作业人员的后顾之忧。发挥产学研用协同创新优势,从边坡地质精准勘测、到设计方案复核评审、多方法变形监测技术,发挥了多家优势科研团队的作用,也体现了这些科研团队的责任担当。弘扬承担自然边坡治理工程的建设者身上所展现的不畏艰难、尊重科学、严格管理、团结协作、自我超越的奋斗精神,

苦中有乐、危中求安、互相帮助的乐观主义精神,以及他们平常工作中展现的为了清洁能源早日开发、为了金沙江两岸人民富裕努力工作的家国精神。

乌东德工地有一部短视频《悬崖上的舞者》,反映承担边坡治理工程的建设者的工作场景和心路历程。这个群体以施工人员为主体,包括监理及地质工程师,他们采用蜘蛛人技术在边坡上辛勤忘我地工作。惊心动魄中是这些普通朴实劳动者的奉献,是他们把岩石力学工程师们的蓝图变为现实,是他们织起了乌东德主体工程大规模施工及安全运行的安全网。

### 2.2.2 工程开挖边坡的治理

系统性的工程边坡治理措施的制定,需要统一对工程运行条件下以及大规模施工条件下的边坡处理原则的共识。随着对大坝泄洪雾化范围两岸岩体不同空间特性及稳定特性下工程边坡安全性的认识,随着对开挖边坡开口段岩体变形与上部自然边坡联动变形规律的把握及处理方案的确定,系统性的边坡施工在有条不紊、忙而不乱中展开;严格的施工程序和严密的现场组织及现场落地的管控手段,促进边坡系统性施工方案与措施的有序展开。边坡的设计方案、锁口支护、开挖爆破、表面混凝土喷护、浅层锚杆施工、深部锚索施工、变形监测、设计优化、施工组织优化等环节,按分层分区分序的有序展开。水垫塘两侧边坡以及右岸电站进水口边坡的施工条件最艰难、地质复杂、岩体性状变化快,需要小梯段、弱爆破、快支护,在滞后紧张的工期中仍然实现了边坡安全与人身设备安全,满足了总工期向混凝土施工提交工作面的要求。水垫塘两侧陡立边坡以及右岸电站进水口边坡工程施工质量和进度,体现了以支护为核心的边坡安全施工体系的建立与成效。以支护及时到位促开挖,并在施工组织方法上通过时空协调推进落地,这些工程实践上升到了施工工法和企业标准,指导了后续工程安全建设。

工程边坡地质条件变化以及变形异常问题的处理是检验工程建设技术与管理能力的试金石。乌东德右岸导流洞群进水口顺向坡在导流洞进水口区下部开挖中出现了整体变形,左岸导流洞出口围堰在主汛期度汛中出现过突发透水等异常情况。泄洪洞出口左侧水垫塘边坡有花山沟泥石流排导系统,受断层和复杂岩体结构的影响,开挖下降过程耦合雨水等条件,工程边坡变形多次出现异常,采取了加强支护、分区开挖等措施后,为泄洪洞水垫塘混凝土施工提供了条件。这个部位的长期稳定还受泄洪洞泄洪雾化的影响,地位十分重要。在常规支护系统和监测系统的基础上,增加

了集监测、预警、加固、控制一体化的 NPR 锚杆、锚索支护及大变形控制技术<sup>[5]</sup>,以及牛顿力远程监测预警系统,以更好地了解边坡锚索受力特征及边坡变形规律,实现边坡稳定性状况的远程智能实时监测。

工程边坡与地下洞室进出口交汇段的时空关系与技术措施是工程管理的重点,尤其是两者在时间上空间上贯通重叠时更为紧要。左岸导流洞出口边坡薄层陡立顺向坡岩体在导流洞贯通爆破与边坡切角施工中出现了变形突增,处于同一整体边坡的泄洪洞出口及电站尾水洞出口部位出现了喷混凝土层开裂及锚索应力陡增的情况。险情出现,现场技术力量与后方技术支撑队伍沟通紧密,从结构布置、开挖次序、爆破药量控制、支护加强、外部支撑结构等方面进行综合分析,制定综合措施,并通过施工中的实时多维监测,及时反馈,动态调整,最终妥善化解险情。西南山区河流水电工程导流洞一般都处在水电工程建设的关键线路上,决定着工程截流和蓄水发电的总工期。乌东德右岸导流洞群进口段施工中,不对称双向边坡安全与软弱破碎岩体成洞开挖交织在了一起,成为了导流洞按期过流的难点,也成为整个工程的焦点。结合地质条件与结构运行状态的不同施工方案的对比,建立在对围岩变形与工程特性的认识上,建立在不同方案的支护效果的分析上,制定了先固定边坡、先洞口锁口再开挖洞身的施工次序,确定了洞身随支护结构布置尤其是锚索布置特性进行多层分半短进尺开挖、锚索快支护、支护钢支撑及时形成整体、衬砌混凝土及加强钢支柱及时跟进的施工措施,发挥了现场施工资源和技术队伍的能力,也增强了导流洞衬砌结构安全性。

有些工程问题的发生时间正值不同年份的春节,参建单位的地质工程师、结构工程师和岩石力学科学家,急工程之所急,想工程之所想,告别家人,来到了工地,现场查勘、模型计算、方案对比。对拟定中的方案,春节期间马洪琪院士在昆明专门听取了方案汇报,给予了肯定。随后工地召开的技术咨询会,进一步充分地听取了院士专家的意见。设计、施工、科研相结合,经过多方面专家评审的技术方案起到了见效快、见效好的效果,解决了制约工程进度的关键问题。

## 2.3 主体建筑物的高品质开挖成型及变形控制

### 2.3.1 拱坝建基岩体成型

乌东德拱坝坝肩槽的开挖施工与下游泄洪消能区、雾化区边坡治理及拱坝抗力体范围内溶洞处理,有序进展;出现在建基面上的地质缺陷,如溶蚀缝及局部

软弱岩体都随分层开挖下降进行了及时的处理。作者参加过陕西汉江安康混凝土重力坝、长江三峡混凝土重力坝、金沙江向家坝重力坝、金沙江溪洛渡双曲拱坝、金沙江白鹤滩双曲拱坝的建设,参与大坝建基岩体的基础验收,并在建基岩体上浇筑大坝混凝土,对乌东德大坝建基表体质量充满期待。乌东德 300 m 级高双曲拱坝坝基岩体新鲜完整,三维曲面的建基面上留下的规则整齐的爆破孔,是三维精准爆破技术和精细过程管理的体现,最能彰显中国水电人“开挖就是雕刻”的高品质追求。

站在大坝建基面,沉睡金沙江江底亿万年的河床岩体袒露了它们的质朴和坚强,在大家认为乌东德峡谷是天造地设的高拱坝好坝址的基础上,增加了上帝给予的一块天然建坝宝地的感叹,水电人的欣慰感、满足感、幸福感油然而生。多年的穿山越岭、钻洞爬坡、绘图演算、两地分居、聚少离多,都有了回报。站在乌东德大坝坝基,看到新鲜完整的建基岩体,触摸规格整齐的建基面,仰望一线天的蔚蓝天空,飘过的云朵如一条丝带,把建设者的喜悦带给四方。如今,这里耸起了一座举世瞩目的大坝,把清洁电力送到远方,把光明撒到人间。大坝河床两侧高陡的边坡,如同纳鞋底一般的预应力锚索墩头整齐中彰显着他们维护安全的力量;边坡马道上,绿色密织安全网防护下的高排架上,传来锚索钻机进尺中穿越岩体的悦耳声音;一条长龙随着低沉的号声整齐缓行,工人们正在把长大粗壮的锚索顺着钻孔下到岩体内,再经过灌浆与张拉,把经历千万年历史风雨的自然边坡岩体变成造福人类社会、展现现代科学技术和工匠精神的大气磅礴的工程作品。

### 2.3.2 大坝围堰防渗体系

横亘在坝基上下游高达 150 m 的围堰,保护基坑内上千劳动者及逐步成型的上千亿资产的安全,将承担把梦想如期变更现实的责任。150 m 高的围堰,实际是由下部约 80 m 高的深厚覆盖层及坐落在其上的 70 m 高的土石坝组成,采用防渗墙、墙下帷幕及土工布综合防渗体系,面临着围堰防渗、变形控制等技术问题。施工过程中,由建设单位牵头、施工监理设计地质等单位的工程师们共同组成的混凝土防渗体系工艺质量技术联合攻关团队,围绕深厚覆盖层中百米高混凝土防渗墙施工、以及陡立河床地形与复杂地质条件下防渗墙嵌入基岩及墙下防渗帷幕的各项工艺、设备和



技术,进行了系列攻关,形成多项技术革新成果,把围堰建得滴水不漏;坝体碾压以及防渗墙+土工布复合防渗体系各工艺质量的严格管理,把围堰建得固若金汤。乌东德工程蓄水后,担负艰巨光荣使命的围堰安卧在碧水之中,没有一丝喧嚣,如同新生,既无繁华,即刻宁静,在坦然中默默关注着这段河流的前世今生。

### 2.3.3 地下厂房精细开挖

工程建设要遵循共性规律,更要把握特性和关键,不出现大的失误和反复,不要出现意想不到甚至无中生有的问题,坚持一次性地把工程做好。乌东德地下厂房洞室群建设集成传承了大型水电工程地下洞室群的设计施工成功经验,遵循了一般规律,也加强了特定地应力场与厂房洞室群布置结构协同关系的研究。厂房三大洞室变形稳定问题主要受陡倾结构面控制,制定了小夹角层面、块体、B类角砾岩及层面附碳质薄膜区等八类特有地质问题下的工程设计和施工技术措施。地下厂房洞室群的建设是顺利的,厂房顶拱开挖、高边墙上部施工,根据变形监测反馈情况进行了设计和施工的动态调整。

乌东德地下厂房建设过程中有变化的主要问题表现在以下几方面:一是主厂房顶拱受特殊构造组合影响的深层持续变形控制问题;二是高边墙岩锚梁成型控制以及复合型岩锚梁结构的变形适应性问题;三是高边墙下部贯通中,由于下层局部先挖,上层岩体爆破后,洞室应力集中大范围释放带来的变形控制问题;四是厂房底部机窝部位相邻机组间隔墙变形控制问题。通过详实的地质分析,采取增强系统支护、严格控制爆破、岩体预灌浆加固、加强对穿锚索及深层锁口锚桩、规范施工次序等措施,进行了有效控制和问题解决。

大型的复杂地下洞室群的顺利建设,必然遵循了岩石力学与工程的规律。从一开始就建立了地下工程“认识岩体、利用岩体、保护岩体、监测岩体、反馈分析”的工作方法,严格执行了“开挖一层、分析一层、验收一层、预测一层”的实施程序<sup>[6]</sup>,建立了科研单位深度实时融入工程建设提供技术支撑的工作机制,在发挥设计技术力量及建设各方技术力量的基础上,发挥了第三方科技力量的作用。通过洞室群变形时空联动协调控制技术,做到进度服从安全、开挖听从支护、支护确保变形受控。地下厂房施工过程中的分层分析预测验收技术咨询机制,开挖爆破设计第三方审查机制,都发挥了国内技术专家团队的作用;在常规技术工作

的基础上,开展专项科技研究,分析变化环境下洞室变形规律,提高工程应对变化的能力;创新水电工程安全鉴定工作机制,把蓄水验收安全鉴定,分解到工程建设过程转换的重要阶段,开展了地下厂房从开挖向混凝土施工与机组安装转换过程中的阶段性的安全鉴定,增强了技术主管部门对工程技术解决方案有效性的全面判定。

### 2.4 大坝及地下厂房基础水泥灌浆防渗系统

水泥灌浆是水电工程基础加固和防渗安全的重要措施。乌东德工程坚持问题导向和目标导向,在数字灌浆的基础上,开展了水泥灌浆工艺过程智能控制系统及成套设备的研究<sup>[7]</sup>。通过建立水泥灌浆工艺过程三区(快速升压区、稳定灌浆区和灌浆风险区)五阶段(无压无回、大注入率、稳定灌浆、小注入率、屏浆)智能控制模型与六参数(灌浆压力-注入率-浆液密度-基岩抬动-浆液温度-灌浆历时)联动控制方法,实现了灌浆路径智能寻优及特殊情况智能处理;通过发明包括工艺控制、自动配浆、自动压力调整、灌浆参数数字传输等装置的集成式智能灌浆系统,解决了大规模精细化水泥灌浆施工难题,树立了隐蔽工程阳光作业的样板,并在乌东德高压帷幕灌浆中大规模应用,也推广到了白鹤滩等其他工程。

### 2.5 产学研用协同创新与专家团队的支持保障

乌东德工程建设贯彻新发展理念,围绕精品、创新、绿色、和谐和廉洁等五个方面,制定了创建“十三五”典范工程的工作计划和实施重点<sup>[8]</sup>。工程建设者通过信息技术与水工技术及岩土技术的融合创新,开发了数字化边坡管理系统,升级了水工混凝土通水冷却智能温控系统,全坝应用了低热硅酸盐水泥水工混凝土成套技术<sup>[9]</sup>,开发了全面感知、真实分析、实时控制的智能建造技术,对资源要素、业务流程、工艺过程、结构安全、工程进度、实物成本进行数字化、智能化管理<sup>[10-11]</sup>,这些成果体现了建设者强烈的工程质量意识和自主创新与产学研用协同创新活力<sup>[12]</sup>。

宽阔的水库,泄洪中的大坝,运转的机组,美丽的移民新村,过往皆成序章。建设过程中,不同领域不同专业的院士大师专家及乌东德工程产学研用前后方技术团队为关键技术的解决把关定向,众多院士专家的技术咨询讲话和专题技术讲座照亮乌东德技术创新之路。前期工作中,在道路不畅颠簸险峻且生活条件困难的情况下,陆佑楣院士与陈德基大师、薛果夫与蒋养

成等工程地质专家来到了乌东德,进行现场调查;汪旭光院士、金振民院士、郑守仁院士、马洪琪院士、张超然院士、钟登华院士、钮新强院士、李文刚大师、黄润秋教授、彭启友教高等,在工程建设的不同阶段亲临现场查勘,深入指导工程技术;钱七虎院士等众多院士大师专家,对不同技术专题阶段性地进行了工程咨询,指出了地下厂房变形发展等岩石力学工程问题的工作机理和规律。乌东德工程业主、设计、监理、施工等参建各方前后方技术团队、冯夏庭院士团队、何满朝院士团队、殷跃平专家团队、丁秀丽专家团队、长科院爆破团队等众多专家团队和科技人员,把研究成果写进了乌东德工程,推进了岩石力学与工程的技术进步,保障了乌东德工程建设的高质量。2016年6月,何满朝院士专程来到乌东德,系统实地了解工程建设进展及工程地质构造、边坡治理施工等情况,对工程推进提出了建设性意见。乌东德工地的夜晚,何院士给广大工程技术人员做了《双体灾变力学的理论与实践》的技术讲座,不仅为乌东德工程建设过程中的高边坡处理、地下工程高边墙提供了宝贵经验和有益帮助,更是勉励大家不但要把工程建设好,更要把工程建设好的做法提升为一种科学,由科学提炼成一种文化,对世界的岩石力学进步做出更大的贡献,极大地激发了现场技术人员的学习热情,提升了现场工程技术人员理论专业水平<sup>[13]</sup>。

全体建设者通过持续的技术创新和管理提升,勇于超越自我,实现了初期蓄水发电目标,未来还要经受正常高水位挡水及年运行消落水位的检验。乌东德电站岩体工程及水库岸坡与金坪子滑坡体,将接受蓄水后重构渗流场与地温水温环境、高水头大流量泄洪雾化与水垫塘脉动水流、变化气候环境下泥石流以及突发地震冲击的考验。工程全生命周期理论揭示,在建设好水电工程的基础上,运行好水电站更为重要。如临深渊、如履薄冰,怀敬畏之心,定周全之策,是水电建设者的座右铭与护身符。祝愿金沙江优质水电资产实现可持续的价值创造。

### 3 坚持绿色发展,持续发挥水电综合效益

金沙江水能资源富集,在国计民生和“西电东送”中发挥着重要作用。习近平总书记重要指示提出要坚持生态优先、绿色发展,科学有序推进金沙江水能资源

开发,推动金沙江流域在保护中发展、在发展中保护,更好造福人民。水电工程是有灵魂与思想的,必须与河流及周边自然生态及社会人文环境和谐共赢。习总书记的重要指示是做好水电工作的根本遵循,也为岩石力学更好地服务水电工程指明了方向。未来的水电工作,要聚焦水电资源的高质量开发建设和梯级水电站联合运行综合效益发挥两方面,自身体会主要是做好增量开发和存量增效两方面的工作。

#### 3.1 水电资源的高质量开发建设

待开发的水电资源总量有限,主要集中在高原地区河流。这些地区生态更为敏感脆弱、工程地质与水文地质环境更为复杂,地灾环境和气候条件更为恶劣。高原地区水电工程建设与运行具有“五高”(高海拔、高边坡、高应力、高地震烈度、高水头)、“四大”(大埋深、大落差、大保护、大温差)、“三长”(长冬歇、长隧洞、长周期)等特点<sup>[14]</sup>。要在高海拔、强地震、高地应力、高地温环境下开展高质量水电工程建设,技术难度与管理挑战极大。身处这些河流,雪域高原、潺潺流水、丰沛的降雨、多样的森林、脆弱的地表、易发多发的雪崩地灾,时刻告诫水电人一定要把践行习近平总书记坚持生态优先、绿色发展、造福人民的重要指示放在水电开发的首要位置。

河流梯级开发规划、枢纽布置及施工规划、工程建设技术与管理,一定要研究流域系统性、梯级累积性、项目综合性及专业独特性的技术、环保与管理问题,主动把握工程建设的脉搏,把生态优先落到实处。创新以生态环境保护为核心的多目标协同调控技术,有利于保护多样化的生态环境、有利于做好水土保持、有利于改善失衡的自然地质环境、有利于构建工程与自然与人类友好共生的生态系统。梯级水电及串珠式水工结构生态联通性技术、泄洪水体气体过饱和控制技术、梯级水库低温水调控技术、水生生态与陆生生态保护恢复技术、面向多样性及自然河流特性的水库运行可调节技术、避免开挖创面的水电工程枢纽布置及施工布置技术、工程开挖料资源利用与地质灾害防护技术、大规模施工设施和集中人类活动下资源节约生态友好的施工组织技术、突发极端事件下电站用水及生态安全应急调控技术等,都是水电建设者必须正视并妥善解决的首要问题。

梯级水电工程的灵活调节性,能把生态优先落到实处。流域梯级水电工程多目标综合功能、水工建筑

物布置的适应性、水电站运行的可调节性、生态友好的全生命周期水电建设技术,都能让我们从一开始就把生态优先与环境保护工作落到实处。国内已经开发的水电工程,围绕绿色水电技术进行了实验研究工作,在工程实践的有效探索中创新了河流水生生态保护技术,并积累了宝贵的运行资料。金沙江下游梯级水电开发注重践行“规范、有序、协调、健康”建设管理和“以人为本、生态友好,环境保护、资源节约、社会和谐、利益共享”绿色水电理念<sup>[15]</sup>,树立并坚持了只有把“保护中开发”放到第一位才能做好“开发中保护”的工作方法,取得了生态环境效益与社会经济效益的和谐共赢。高海拔地区深厚覆盖层土石坝复杂基础与液化地层处理与加固技术、深埋超大洞径超长距离 TBM 隧洞开挖支护与围岩大变形控制与监测成套技术都将为岩石力学工作者提供广阔的舞台。高海拔智能建造技术与管理创新,将有效减少人类活动干扰,支撑安全、绿色、优质、高效的工程建设,是未来水电岩石力学与工程的前沿和发展方向。

### 3.2 梯级水电站联合运行综合效益的发挥

对已经投入运行的水电站,要站在流域综合的全局高度,从自然河流的定位转换到可调控河流,创新以生态环境保护为核心的多目标协同调控技术,充分发挥梯级水库的辐射与传递作用,发挥水风光储多能互补的作用。从库区、大坝、生态、泄洪、机组和通航等方面,加强梯级水库群联合调度安全风险调控技术研究,确定风险要素、评价指标和处置流程,开发风险辨识-监测-分析-预警-调控处置为一体的多维安全风险调控平台<sup>[16]</sup>,推动梯级水库群安全管控模式向智能化转变,在提高流域综合效益的同时,提升流域安全保障水平。

## 4 结 语

面对新时代水电工作的新要求,水电建设者要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,按照习近平总书记“对国之大者要心中有数”的要求,加强理论和专业知识学习与能力提升,求真务实创新,在实践中持续提高推进高质量发展的能力,以时不我待,只争朝夕的精神,让水电清洁资源造福社会与人民。

备注:此文是为中国岩石力学与工程学会 2020 年 7 月 2 日上午举行的“学习习近平总书记重要指示精神,坚持新发展理念,勇攀科技新高峰”座谈会上的发言所写。在此,感谢乌东德建设同仁的支持。

## 参考文献:

- [1]新华社. 习近平对金沙江乌东德水电站首批机组投产发电作出重要指示强调坚持新发展理念勇攀科技新高峰努力打造精品工程更好造福人民[EB/OL]. [2020-06-29]. [http://www.xinhuanet.com/2020-06/29/c\\_1126172330.htm](http://www.xinhuanet.com/2020-06/29/c_1126172330.htm)
- [2]钮新强,石伯勋,翁永红. 金沙江乌东德水电站设计重大技术问题研究[J]. 人民长江, 2014, 45(20): 1-7, 11
- [3]石伯勋,薛果夫,李会中,等. 乌东德水电站重大地质问题研究与论证[J]. 人民长江, 2014, 45(20): 37-42
- [4]王汉辉,李盛青,刘权庆,等. 乌东德水电站自然边坡防治设计思路与经验总结[J]. 人民长江, 2014, 45(20): 28-31
- [5]何满潮,李晨,宫伟力,等. NPR 锚杆/索支护原理及大变形控制技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(8): 1513-1529
- [6]樊启祥,王义锋,裴建良,等. 大型水电工程建设岩石力学工程实践[J]. 人民长江, 2018, 49(16): 76-86
- [7]樊启祥,黄灿新,蒋小春,等. 水电工程水泥灌浆智能控制方法与系统[J]. 水利学报, 2019, 50(2): 165-174
- [8]樊启祥,杨宗立. 践行新发展理念建好乌东德水电站[J]. 中国水利, 2017(z1): 1-12
- [9]计涛. 低热硅酸盐水泥在水工混凝土中的应用[C]//中国水利水电科学研究院青年学术交流会. 2010
- [10]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
- [11]樊启祥,张超然,陈文斌,等. 乌东德及白鹤滩特高拱坝智能建造关键技术[J]. 水力发电学报, 2019, 38(2): 22-35
- [12]樊启祥,洪文浩,汪志林,等. 溪洛渡特高拱坝建设项目管理模式创新与实践[J]. 水力发电学报, 2012, 31(6): 288-293
- [13]刘科. 中科院院士何满潮赴乌东德工地指导[EB/OL]. [2016-06-25]. [https://www.ctg.com.cn/sxjt/uiFrame-work/commonResource/zip/dzgeb/html/2016-06/25/content\\_22498.htm](https://www.ctg.com.cn/sxjt/uiFrame-work/commonResource/zip/dzgeb/html/2016-06/25/content_22498.htm)
- [14]樊启祥,林鹏,蒋树,等. 金沙江下游大型水电站岩石力学与工程综述[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2020, 60(7): 537-556
- [15]Fan Q. Technology improvements and management innovations in construction of Xiluodu hydropower station on Jinsha River[J]. Frontiers of Engineering Management, 2017, 4(2): 231-237
- [16]樊启祥. 梯级水利枢纽多维安全管理框架与重大挑战[J]. 科学通报, 2018, 63(26): 2686-2697

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.002

# 南公1水电站面板堆石坝垫层料、过渡料碾压参数研究

任强,王建魁

(中国电建集团中国水利水电第三工程局有限公司,陕西 西安 710024)

**摘要:**为确定南公1水电站面板堆石坝垫层料和过渡料的碾压施工参数,在现场开展了相关的碾压工艺试验,研究了垫层料及过渡料的干密度与碾压遍数的关系、分析了碾压后颗粒级配关系及累计沉降量。结合试验结果最终得到了现场碾压施工的各项参数,为坝体垫层料及过渡料填筑施工和质量控制提供技术依据。

**关键词:**面板堆石坝;垫层料;过渡料;碾压参数

中图分类号:TV641.4 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)07-0008-05

## Study on Rolling Compaction Parameters of the Cushion and Transition Materials in the Concrete Face Rockfill Dam in Namkong I Hydropower Station

REN Qiang, WANG Jiankui

(Powerchina Sinohydro Bureau 3 Co., Ltd., Xi'an 710024, China)

**Abstract:** The rationality of the rolling compaction parameters of rockfill materials in the construction of concrete face rockfill dams is directly related to the construction quality and the operational safety of the projects. In order to determine the rolling construction parameters for the cushion and transition materials in the concrete face rockfill dam in Namkong I Hydropower Station, a series of relevant in-situ rolling compaction tests are carried out. The relationship between the dry densities of the cushion and transition materials and the rolling times is obtained. The particle gradation and accumulated settlement of the materials after rolling are analyzed. Based on the test results, the rolling compaction parameters of the materials are determined, which provide useful technical basis for the filling construction and quality control of the cushion and transition materials of the dam.

**Key words:** concrete face rockfill dam; cushion material; transition material; rolling compaction parameters

南公1水电站位于老挝南部阿速坡省内的南公河下游,地处老挝、越南、柬埔寨3个国家的交界区域。南公1水电站是南公河四级开发方案中的第三级,工程等别为二等大(2)型,主要任务是发电,兼顾防洪、灌溉、交通、航运、旅游等,满足当地社会经济发展的需求。工程由首部枢纽和引水发电系统组成,其中首部枢纽包括面板堆石坝、左岸溢洪道、左岸导流隧洞和右岸电站进水口。电站主挡水建筑物为布置于主河床的混凝土面板堆石坝,坝顶长400 m,坝顶宽8.8 m,坝顶高程325.0 m,最大坝高为90 m。面板堆石坝坝体填筑总量达184.7万 $m^3$ ,其中主要包括垫层料6.9万 $m^3$ 、过渡料10.5万 $m^3$ 和堆石料157.4万 $m^3$ ,料源

主要来自导流洞、引水洞、溢洪道开挖和右岸下游石料场。面板堆石坝具有填筑量大,填筑工期紧的施工特点,坝体填筑料碾压质量事关坝体运行安全,如何在满足施工工期要求下,严格保证碾压施工的质量是南公1水电站面板堆石坝填筑施工过程中面临的一大技术问题。因此在碾压施工前,需要对坝料进行必要的碾压试验,确定各种填筑料经济合理的压实参数。

### 1 主要技术指标

面板堆石坝坝体材料具体的填筑分区见图1,坝体填筑区由上游向下游依次为上游盖重区(1B)、上游黏土铺盖区(1A)、特殊垫层区(3B)、垫层区(2A)、过

收稿日期:2019-12-04

作者简介:任强,男,高级工程师,从事市场开发和工程技术研究工作。

渡区(3A)、主堆石区(3B)和次堆石区(3C),填筑料主要为垫层料、过渡料和堆石料,其中过渡料主要来源于溢洪道开挖的弱风化及微风化流纹岩、垫层料主要来

源于左右岸砂石系统加工,均要求级配连续、无断径、超粒径料在挖装过程中剔除,同时在碾压前要进行颗粒级配筛分试验。

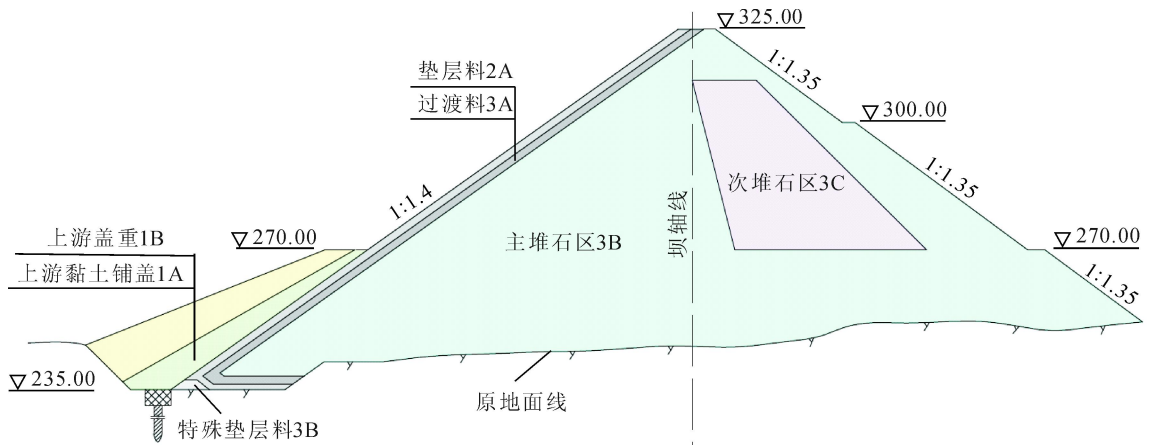


图1 堆石坝坝体材料填筑分区示意图

过渡料和垫层料的相关填筑设计标准为:过渡料最大粒径为 300 mm,小于 5 mm 颗粒含量控制在 20% 以内,小于 0.075 mm 颗粒含量不大于 5%,并且级配连续,压实后孔隙率应不大于 20%,填筑干密度  $\geq 2.20 \text{ g/cm}^3$ ;垫层料最大粒径为 80 mm,压实后的孔隙率不大于 18%,填筑干密度  $\geq 2.23 \text{ g/cm}^3$ 。过渡料和垫层料的料源及填筑标准统计见表 1,设计颗粒级配见表 2。

表 1 过渡料、垫层料的料源及填筑标准统计表

填筑料	特殊垫层料	垫层料	过渡料
料源	导流洞弱风化及以下的流纹岩开挖料,左岸砂石系统加工	引水隧洞开挖料或溢洪道弱风化及以下的流纹岩开挖料,右岸砂石系统加工	溢洪道弱风化及以下的流纹岩开挖级配料,直接上坝
最大粒径/mm	40	80	300
设计孔隙率/%	18	18	20
压实干密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	2.23	2.23	2.20

表 2 过渡料、垫层料的设计颗粒级配统计表

颗粒级配/mm	过渡料		垫层料		特殊垫层料	
	上包线	下包线	上包线	下包线	上包线	下包线
300	-	100	-	-	-	-
200	100	73	-	-	-	-
100	68	47	-	-	-	-
80	60	40	-	100	-	-
40	44	23	100	78	100	100
10	25	0	67	42	75	55
5	18	0	55	32	62	40
1	7	0	32	17	39	22
0.1	-	-	7	3	9	5

校核为辅的方法,即在全过程沉降测量的基础上,初步判断压实情况后,进行干密度压实质量检测。本次坝体填筑料碾压试验场地设在 1 号渣场,场地先用推土机推平,碾压至基础坚实不再下沉,并采用弱风化流纹岩进行基础硬化,振动碾碾压,压实到设计标准,消除基础面对碾压试验的影响;随后布置试验区,用试验料先在地基上铺一层,表面不平整度不超过  $\pm 5 \text{ cm}$ ,试验场地尺寸约为  $30 \text{ m} \times 60 \text{ m}$ ,每条试验带有效面积为  $6 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ ;试验料铺好后,人工配合机械进行摊铺整平后,振动碾先进行静碾 2 遍,全站仪测出松铺厚度,

## 2 现场碾压试验

### 2.1 试验方法及流程

现场碾压试验采用以“全质量法”为主、“干密度”

同时填筑料碾压前按体积法计算洒水量,并进行现场洒水;试验结束后在试验区采用挖坑检测碾压后填筑料的颗粒级配,干密度等参数。现场碾压试验具体流程见图2。

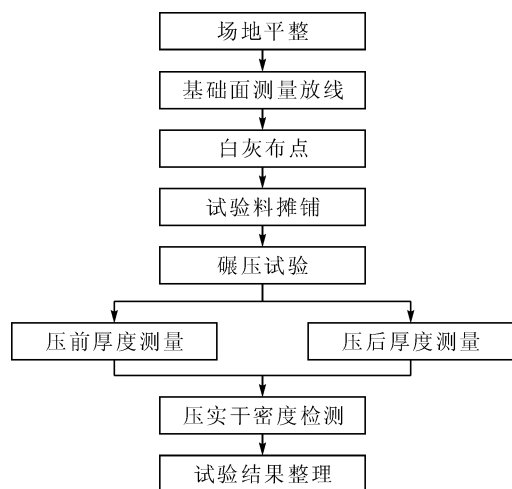


图2 过渡料、垫层料碾压试验操作流程

## 2.2 试验方案及设备

本次碾压试验采用进占法卸料,振动碾先进行静碾2遍,全站仪测出松铺厚度,随后振动碾采用进退错距法进行振动碾压,针对不同填筑料进行不同碾压遍数的碾压试验,试验中的碾压参数选取见表3。

表3 过渡料及垫层料碾压参数统计表

坝料名称	碾压机具	洒水量/ 体积比%	铺料厚度 /cm	碾压遍数
过渡料	32 t 振动碾	10	45	8/10
垫层料	18 t 振动碾	10	45	8/10
特殊垫层料	18 t 振动碾	10	45	8/10

考虑过渡料和垫层料的施工特性差异,过渡料采用YZ32Y型32 t振动碾,垫层料及特殊垫层料则采用AW2669型18 t振动碾。现场配备的其他施工设备有1台SD22型推土机、2台CAT330液压反铲、8辆20 t自卸汽车和1辆10 t洒水车。

## 3 试验结果分析

### 3.1 铺料厚度与沉降量

碾压试验过程中,过渡料和垫层料均采用45 cm

的铺料厚度,不同填筑料的累计沉降量见表4。从试验结果来看,碾压遍数越大,填筑料的累计沉降量越大、压缩率越高,同时试验中碾压遍数满足压实要求,碾压试验完毕后层面密实平整,挖坑取样检测时也显示碾压层板结性较好,填筑料基本压实到密实状态。

表4 过渡料、垫层料铺料厚度及累计沉降量统计表

坝料名称	铺料厚度 /cm	碾压 遍数	累计沉降量 /mm	压缩率 /%
过渡料	45	8	45	10
		10	48	10.7
垫层料	45	8	43	9.6
		10	47	10.4
特殊垫层料	45	8	38	8.4
		10	40	8.9

### 3.2 压实干密度

在碾压完成后,在试验区进行了挖坑取样,并利用灌水法进行了干密度测量,干密度测试结果见表5和图3。从试验结果来看,压实后的填筑料孔隙率较小,孔隙率均在15%以下,同时碾压遍数为8遍和10遍时,过渡料及垫层料的干密度参数均能达到设计要求。

表5 填筑料干密度统计表

坝料名称	表观密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	碾压 遍数	干密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	孔隙率 /%
过渡料	2.56	8	2.23	13
		10	2.26	11
垫层料	2.58	8	2.25	13
		10	2.28	11
特殊垫层料	2.59	8	2.27	12
		10	2.29	11

### 3.3 颗粒级配曲线

在垫层料和过渡料碾压结束后,在一定范围内利用灌水法进行干密度检测,同时将试验坑挖出的填筑料进行颗粒筛分试验,得到了碾压遍数为8遍和10遍条件下过渡料及垫层料的颗粒级配情况,详细的颗粒级配分析结果见表6、表7和图4。

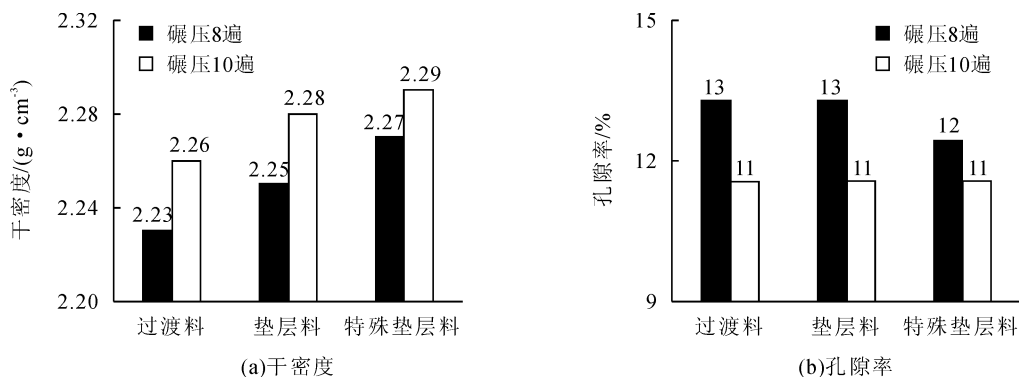


图3 各碾压方案下填筑料干密度与孔隙率图

表6 过渡料碾压试验颗粒分析汇总表

编号	粒径小于该粒径的试样质量占试样总质量的百分数/%							
	300	200	100	80	40	10	5	1
45-8-1	100.0	83.1	66.4	59.4	42.3	16.8	8.8	3.1
45-8-2	100.0	85.7	57.0	51.3	29.2	13.8	8.1	3.1
45-10-1	100.0	79.5	56.8	52.7	35.7	22.0	13.8	5.7
45-10-2	100.0	77.9	64.9	58.7	41.4	21.6	14.4	5.2

表7 垫层料碾压试验颗粒分析汇总表

坝料名称	编号	粒径小于该粒径的试样质量占试样总质量的百分数/%					
		80	40	10	5	1	0.1
垫层料	45-8-1	100.0	79.7	48.8	37.6	21.1	4.5
	45-8-2	100.0	81.6	53.4	40.5	20.5	2.6
	45-10-1	100.0	82.9	45.4	37.4	20.3	6.9
	45-10-2	100.0	77.4	45.7	33.6	20.5	6.5
特殊垫层料	45-8-1	-	100.0	72.6	53.3	25.4	5.8
	45-8-2	-	100.0	69.4	51.1	30.8	7.4
	45-10-1	-	100.0	61.7	41.6	27.3	5.1
	45-10-2	-	100.0	64.6	41.5	23.7	9.4

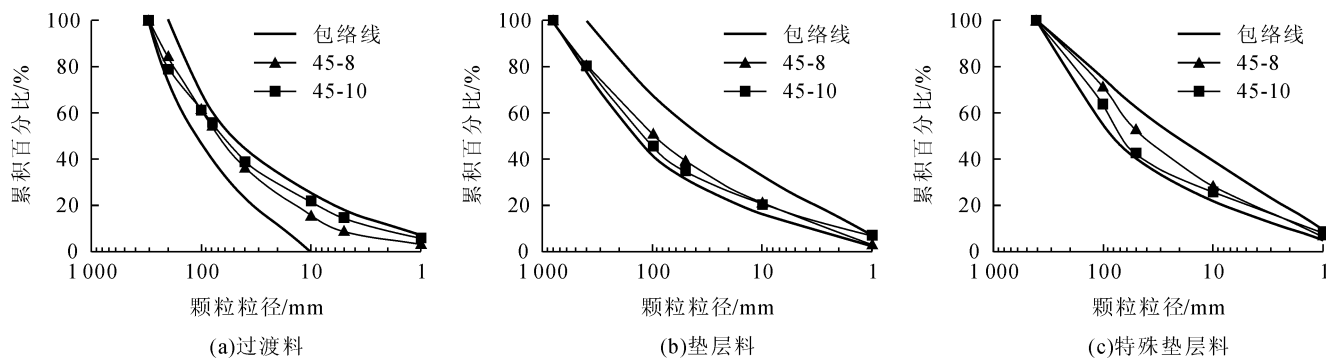


图4 过渡料和垫层料碾压试验的级配曲线图

由表6,7及图4可知,碾压8遍和碾压10遍情况下过渡料和垫层料的级配曲线都在设计包络线以内,满足设计级配要求。同时随着碾压遍数增大,颗粒的级配曲线的形状也有一定的变化,细粒径颗粒的占比增大、粗粒径的颗粒占比减小,同时由于过渡料采用了

更大吨位(32 t)的振动碾、激振力更大,因此过渡料的颗粒级配曲线中细颗粒料的上抬效应更为明显。

经过在现场开展的碾压工艺试验,并对试验结果进行分析总结,最终得到了适用于坝体过渡料和垫层料填筑的碾压施工参数,具体的施工参数见表8。

表8 过渡料、垫层料施工参数统计表

坝料名称	铺料厚度 /cm	碾压机械	碾压遍数	洒水量 /%	最大激振力 /kN	振动碾行驶速度 /(km·h <sup>-1</sup> )
过渡料	45	YZ32Y型32t振动碾	静碾2遍+动碾8遍	10	590	2.5
垫层料	45	AW2669型18t振动碾	静碾2遍+动碾8遍	10	280	2.5
特殊垫层料	45	AW2669型18t振动碾	静碾2遍+动碾8遍	10	280	2.5

## 4 结 语

针对南公1水电站面板堆石坝垫层料和过渡料的填筑施工及质量控制难题,经过精细的组织和实践,在现场成功地开展了相关的碾压试验,取得了垫层料和过渡料的碾压施工参数,得出了以下结论。

1)现场施工时过渡料采用32t振动碾,垫层料及特殊垫层料则采用18t振动碾,垫层料和过渡料的铺料厚度为45cm为宜,碾压施工加水量(体积比)为10%,碾压时以静碾2遍+动碾8遍为宜。

2)应结合工程实际,取与碾压试验相同的代表性垫层料、过渡料作为试验用料,同时应在碾压试验场定点检测碾压前后颗粒级配及破碎率等实验。检测碾压前后级配变化值,并对铺筑层厚度全料进行颗粒级配分析论证,调整更为经济合理的级配曲线。

3)碾压施工参数为垫层料及过渡料的填筑施工和质量控制提供技术依据,采用此碾压施工参数不仅可以满足填筑料的压实标准,还可以保证填筑施工效率,同时碾压试验的流程和相关参数可以为类似工程提供借鉴。

### 参考文献:

[1]李志鑫,张保胜,于秀明.柏叶口水库混凝土面板堆石坝坝料填筑碾压试验[J].山西水利科技,2011(3):21-23,34

[2]贾高峰,王保欣,李志龙,等.抽水蓄能电站土石坝填筑料现场碾压工艺性试验[J].西北水电,2018(5):64-69

[3]李兴.胡家山水库混凝土面板堆石坝填筑碾压试验分析[J].水利建设与管理,2015,35(1):36-40

[4]任海军.面板堆石坝砂砾石料填筑碾压试验研究[J].福建建筑,2017(8):57-60

[5]沈克金.某水库面板堆石坝坝体填筑碾压试验[J].西部探矿工程,2012,24(4):14-16

[6]徐巨辉,杨向上.响水涧抽水蓄能电站上水库坝体垫层料掺配、碾压试验研究与施工应用[J].四川水力发电,2010,29(3):40-43

[7]付军,孙役,蒋涛,等.水布垭面板堆石坝填筑碾压参数的合理选择[J].水力发电,2005,31(12):36-38

[8]苏满红.唐河水电站面板坝主堆料填筑碾压参数的确定[J].山西建筑,2011,37(32):207-208

[9]胡旭方,陈和勇.桐柏抽水蓄能电站上库填筑料现场碾压试验[J].人民长江,2003,34(3):25-27

[10]陈帮生,钟长虹,肖燕.武隆接龙水库面板堆石坝填筑碾压参数的合理选择[J].重庆建筑,2008(7):39-41

[11]潘福营,张卫林.响水涧抽水蓄能电站上水库主坝垫层料填筑施工[J].四川水利,2012(4):16-18

[12]邹武,陈建飞,曹雪廷,等.张河湾电站上水库坝体垫层料碾压试验研究[J].土工基础,2012,26(5):108-111

[13]周于鸿,袁雪岷,高艳.长河坝水电站坝体堆石料碾压试验分析[J].水电站设计,2012,28(z1):26-28,47



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.003

# 水利工程爆破安全监理的现状分析与对策探讨

葛立芳<sup>1</sup>, 樊保龙<sup>2</sup>, 周桂松<sup>3</sup>

(1. 北京矿冶科技集团有限公司, 北京 100106; 2. 北方爆破科技有限公司, 北京 100089;  
3. 中国葛洲坝集团易普力股份有限公司, 重庆 400023)

**摘要:** 爆破工程是我国水利工程建设领域的基础工程, 爆破安全监理直接关系到社会公共安全和水利工程质量。通过对我国水利工程爆破安全监理现状的分析表明, 存在爆破安全监理机制不完善、监管职责不清、爆破安全监理付费主体和取费标准不明确、现场监管的信息化程度不高等问题, 并重点探讨了信息化手段在爆破工程安全监理中的应用, 提出了我国爆破工程安全监理发展的改进建议。

**关键词:** 安全监理; 现状分析; 改进建议; 信息化

中图分类号: TD235.1      文献标志码: A      文章编号: 1671-3354(2020)07-0013-04

## Current Status and Countermeasures of the Blasting Safety Supervision in Water Conservancy Projects

GE Lifang<sup>1</sup>, FAN Baolong<sup>2</sup>, ZHOU Guisong<sup>3</sup>

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100106, China; 2. North Blasting Technology Co., Ltd., Beijing 100089, China;  
3. China Gezhouba Group Explosive Co., Ltd., Chongqing 400023, China)

**Abstract:** Blasting engineering is a basic work in the construction of water conservancy projects. The safety supervision of the blasting work is directly related to the social public safety and the engineering quality. Analysis on the present situation of the blasting safety supervision in China shows that certain problems exist such as imperfect blasting safety supervision mechanism, unclear supervision responsibility, unclear charging subjects and charging standard, and low informatization level of on-site supervision. Then, improvement suggestions are proposed for the development of the blasting safety supervision work in China, especially the application of the information technology.

**Key words:** safety supervision; status analysis; improvement suggestion; informatization

爆破安全监理不同于工程监理, 爆破工程具有巨大的破坏威力, 同时施工过程中存在着极大不确定性。当爆破工程出现重大失误时, 会造成重大损失, 其后果不堪设想, 因此安全问题是爆破工程的重中之重<sup>[1-3]</sup>。伴随着我国水利工程大规模建设, 衍生了大量的水利工程爆破安全监理项目, 部分地方政府积极推进“放管服”模式, 通过充分发挥地方爆破协会作用, 来间接控制爆破评估与监理工作<sup>[4-6]</sup>。爆破安全监理可以保证水利水电工程爆破顺利实施, 有效降低事故发生概率。

《中华人民共和国建筑法》明确规定建筑工程应

当实施工程监理制度, 然而, 目前我国已经制订的爆破工程安全监理方面相关的制度还十分有限, 现行《爆破安全规程》(6722-2014)、《民用爆炸物品安全管理条例》、《爆破作业项目管理要求》(GA991-2012)等爆破行业规程对监理作业只能提供有限的参考性标准和条例<sup>[7-9]</sup>。中国爆破行业协会2019年发布的《爆破安全监理规范》(征求意见稿)为爆破安全监理提供了纲领性文件, 不仅对爆破安全监理服务的基本原则、机构人员、监理流程和工作内容等进行了具体规定, 同时明确提出“爆破安全监理应实施信息化管理”, 通过信息化手段来开展监理业务, 将会带来水利工程爆破安

收稿日期: 2019-12-16

作者简介: 葛立芳, 女, 高级工程师, 主要从事工程爆破及爆破装备方面的研究。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51809017)。

全监理领域的发展新机遇。

## 1 水利工程爆破安全监理的现状分析

### 1.1 水利工程爆破安全监理机制不完善

目前,水利工程爆破安全监理的管理模式和运行机制是根据国家标准《爆破安全规程》规定,凡是经公安机关审批的爆破作业项目都必须进行安全监理,在一个爆破工程中,爆破作业单位承担设计施工、安全评估、安全监理的某一项<sup>[10-12]</sup>。但爆破业绩的认定主要是以设计施工为主,爆破安全监理不作为爆破作业单位的业绩标准。这样就导致了爆破安全监理单位对现场监管的重视度不高,监理人员责任心不强,爆破作业单位之间相互推荐,形成默契、“轮流坐庄”,既当“运动员”,又当“裁判员”,使得爆破安全监理形同虚设,名存实亡,对爆破安全监理缺乏有效的制约机制。

### 1.2 水利工程爆破安全监理监管职责不清

爆破安全监理的最根本职责就是要对整个工程爆破过程进行全方位监管,有效降低水利工程爆破中事故发生的概率。为进一步明确爆破安全监理的监管职责,首先从水利工程爆破事故的产生原因进行梳理,经调研分析,造成爆破事故发生的原因大概有16种,如图1所示。从事故原因可以看出,爆破安全监理的监管内容不仅包括爆破器材和爆破施工人员的管理,还应包括工程设计、施工以及工程质量的管理。此外,《爆破安全规程》(GB6722-2014)明确规定了水利工程爆破安全监理的具体内容,但在实际执行过程中往往把爆破安全监理片面理解为公共安全监理,没有把爆破作业项目的工程质量与安全作为爆破安全监理的职责范围<sup>[13-16]</sup>。

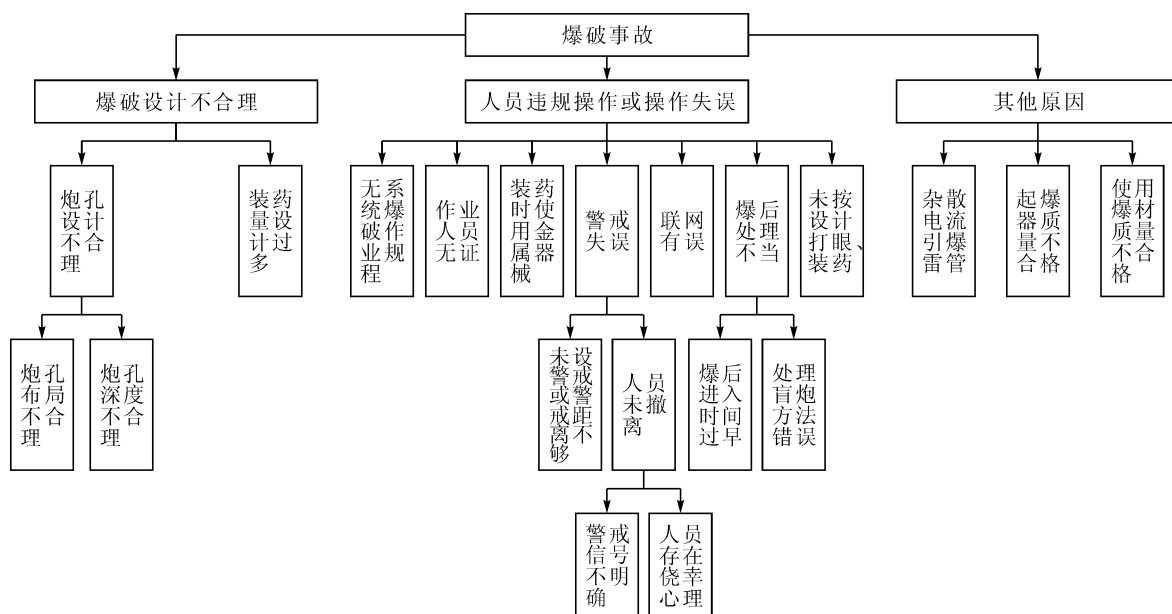


图1 爆破事故的原因梳理图

### 1.3 水利工程爆破作业现场没有专职监理员

在《爆破作业单位资质条件和管理要求》(GA990-2012)、《爆破作业项目管理要求》(GA991-2012)等行业标准中,均没有对水利工程爆破作业现场安全监理人员的配置作出明确规定和要求,只对爆破施工单位的爆破员、安全员和保管员职责和资格有明文规定,当爆破单位在实施爆破工程监理时,通常用爆破员和安全员代替现场监理的旁监<sup>[17-18]</sup>。因此,从爆破安全监理人员的配置、职责、结构等方面,都不能

适应爆破安全监理的现实要求,需要加强爆破安全监理单位队伍建设,规范爆破作业现场人员配置,明确爆破安全监理单位职责,改善爆破安全监理单位结构,提高现场监理人员的专业化水平。

### 1.4 爆破安全监理付费主体和取费标准不明确

建设方本应是爆破评估单位、爆破安全监理单位以及爆破施工单位的共同甲方,应由建设方签订合同并付费。但爆破设计施工单位为了满足业绩需要,主动找单位签订爆破评估合同与爆破监理合同,付费主

体转移给施工单位,如图2所示。同时水利工程爆破安全监理单位在收取服务费时没有统一标准<sup>[17]</sup>,取决于业主与爆破安全监理单位的协议约定,受业主和爆破作业单位的投资预算影响,工程项目业主没有爆破安全监理项目的定额预算。这种收费方式造成对爆破安全监理盲目压价,使得爆破作业单位的安全监理只能维持在较低水平下运行,安全监理工作不到位,发展后劲不足,总体实力削弱,行业整体素质难以提高,不能充分履行爆破安全监理职责。

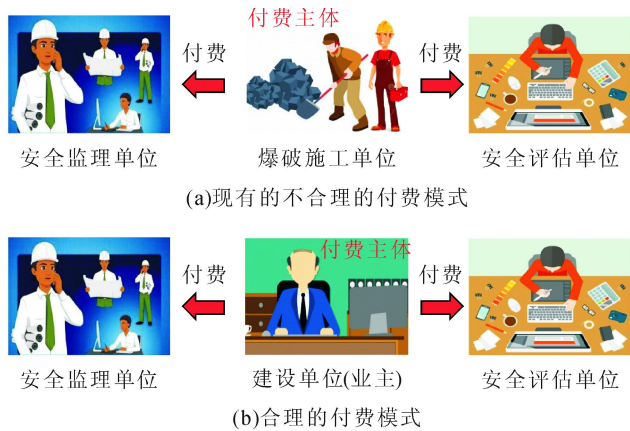


图2 爆破安全监理付费主体图

### 1.5 水利工程爆破安全监理现场监管的信息化程度不高

现行的爆破安全作业信息监控系统,主要是针对雷管、炸药的生产、存储、运输、出库等环节的实时定位监控和流向跟踪,在应用过程中暴露出了一定的局限性:①系统仅局限于民爆器材的末端管控<sup>[19]</sup>;②数据采集自动化程度低,部分品种的民爆物品的采集还是采用传统人工填写的方式,无法保证数据的准确性;③没有与现有的爆破安全作业信息监控系统数据共享,导致一体化程度低,使得生产、销售及使用环节与爆破安全监理管理平台相脱节<sup>[20]</sup>。因此,爆破安全监理信息化建设仍有拓展空间。

## 2 关于水利工程爆破安全监理的改进建议

针对目前我国水利工程爆破安全监理领域存在的问题,为进一步完善我国爆破领域的管理水平,提升爆破领域的工程化程度,降低爆破领域安全事故的发生,提出改进建议如下。

### 2.1 完善爆破安全监理的体制机制

把爆破安全监理从现行的爆破作业单位中剥离出来,注册成立专业的爆破安全监理企业,实行公司化法人代表运作模式,建立第三方独立监管机制,推行爆破监理单位资格准入和资质许可制度。爆破安全监理公司资质许可由公安机关审批。爆破安全监理公司设法人和总监理工程师、监理工程师、监理员。法人对监理公司负主体责任,总监理工程师对监理业务负总责,监理工程师对监理项目负责,监理员负责现场旁监。总监理工程师必须持有公安部核发的爆破工程技术人员高级安全操作证书,监理工程师必须持有公安部核发的爆破工程技术人员中级以上安全操作证书,监理员应从爆破作业单位的爆破员和安全员人员中选拔,并有2年以上爆破作业经历,经专业培训合格后持证上岗。监理单位和监理人员的项目监理业绩,纳入其考核、晋升和评定标准。

### 2.2 拓展爆破安全监理的范围及内容

爆破安全监理除了目前所要求的工作内容与职责外,还要进一步向质量、投资、进度控制和合同管理方面拓展,把工程监理“四控、两管、一协调”纳入爆破安全监理职责,利用先进的手段和方法为业主提供咨询和技术服务,全程参与爆破工程的前期策划、工程招标和组织施工。

### 2.3 建立科学一体化的水利工程爆破安全监理信息管理系统

中国爆破行业协会2019年发布的《爆破安全监理规范》为水利工程爆破安全监理提供了纲领性文件,明确提出“爆破安全监理应实施信息化管理”。GA991《爆破作业项目管理要求》(征求意见稿)明确规定“爆破作业安全监理与爆破安全评估应进行信息化管理”。因此,通过信息化手段来开展监理业务将会为该领域的发展带来新的机遇。将“电子信息化管理”理念植入爆破安全监理系统的全过程,融合爆破施工方案的执行情况、有害效应的控制情况以及爆材的末端管控等,结合自动识别技术、电子围栏定位技术、卫星定位系统,形成科学有效的爆破安全监理动态管控系统,如图3所示,该系统主要解决以下两个问题:①爆破监理对水利工程爆破作业现场信息有效地采集、挖掘以及无盲点的管控;②行业主管部门对爆破监理能够有效的监管。从而达到对爆破工程安全监管的目的,消除和避免了爆破安全监理机构形同虚设、名存实

亡的窘境。

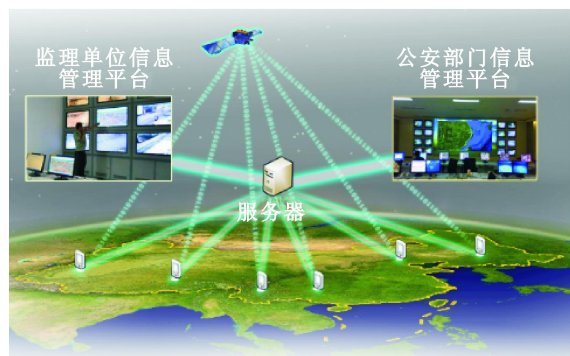


图3 爆破安全监理信息化手段图

水利工程爆破安全监理动态管控系统信息化服务流程主要包括开工准备、现场准备、施工阶段和竣工阶

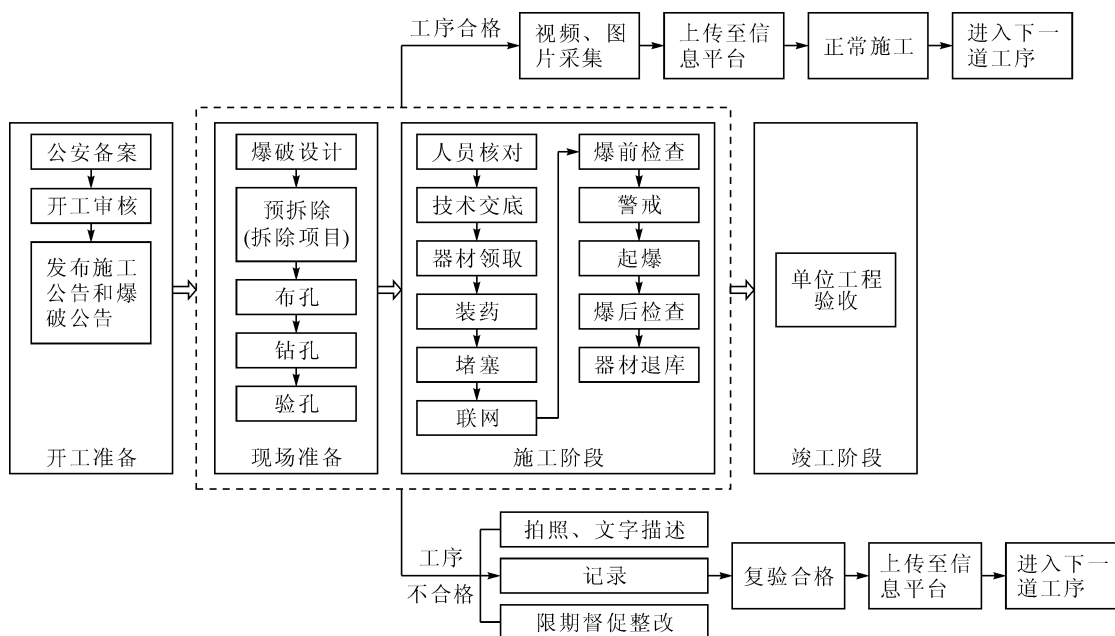


图4 水利工程爆破安全监理信息化服务流程图

### 3 结 语

通过对水利工程爆破安全监理的现状分析,我国水利工程爆破安全监理存在着爆破安全监理机制不完善、监管职责不清、付费主体和取费标准不明确、现场监管的信息化程度不高等问题。

针对这些现状,实施爆破安全监理信息化管理既能促进监理作业的规范化、标准化、信息化,保证水利工程爆破现场施工有序进行,也能实现爆破作业远程监管,对于强化施工现场过程安全管控,减轻业主以及

段的信息化管理,如图4所示。现场准备和施工阶段各工序的信息化管理是爆破安全监理信息化管理的核心部分。通过信息化管理手段将爆破作业现场每一个工序按照监理作业流程规范化、标准化及网络化管理,爆破安全监理信息化服务平台应该具备以下功能。

1)作业网络化管理。对爆破工程、批次、爆破器材领取等业务流程规范化管理,对现场爆破器材分发、人员分工、人员考勤管理。

2)信息智能化收集。对工程批次信息、进度信息、器材信息、组网信息、爆破效果信息全方位收集、传输和汇总,供负责人全局掌控。

3)远程协同化监控。对人员实施电子化流程审批,对现场施工各关键节点通过视频、图片实时在线监测,对各环节产生的问题能够及时发现和纠偏。

行业主管部门监管压力,提升水利行业的施工信息化水平也将具有十分深远的意义。

#### 参考文献:

[1]刘光忱,程凯,赵亮.关于建设工程监理发展趋势的探讨[J].工业技术经济,2009,28(10):48-50  
 [2]刘先魁,孙五继,李金书.爆破工程安全监理的探讨[J].工程爆破,2001,7(4):83-87,71  
 [3]满建新,邵玉刚.浅谈爆破工程安全监理[J].爆破,2004,21(2):86-88,92

(下转第20页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.004

# 非洲某供水项目融资可行性 研究报告编制和审查实例研究

罗京龙, 林 恒

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051)

**摘要:**以非洲某生活供水项目 F + EPC 模式的融资可行性研究报告编制、技术核定、融资审查等实际工作为基础,分析前期技术工作深度与成本控制、融资报告核心内容和审查关切点、技术风险识别及其排除,全面总结了中西方标准差异等问题及处理的经验和教训。

**关键词:**融资可行性研究报告;报告编制;技术审查;实例研究

**中图分类号:**F114.4      **文献标志码:**B      **文章编号:**1671-3354(2020)07-0017-04

## On the Preparation and Examination of the Financing Feasibility Study Report: Case Study of a Water Supply Project in Africa

LUO Jinlong, LIN Heng

(Powerchina Kunming Engineering Co., Ltd., Kunming 650051, China)

**Abstract:** Based on a domestic water supply project in Africa which adopts the F + EPC (finance, engineering, procurement and construction) mode, the preparation, technical examination and approval of the financing feasibility study report are discussed. The work scope and cost of the preliminary technical study, the core contents and the major examination points of the financing report, and the identification and exclusion of the technical risks are analyzed. Also, the discrepancies between the Chinese and foreign standards and corresponding handling experience are summarized.

**Key words:** financing feasibility study report; report preparation; technical examination; case study

在我国对外工程承包业务中,“F + EPC”(“融资 + 工程总承包”模式)是应用较为普遍的模式之一。该模式的实施挑战在于:①借贷国或业主需具备一定的担保和还贷能力;②执行企业需协调和配合两国相关机构、信保和银行等的融资工作<sup>[1]</sup>;③项目需具备一定要求的经济合理性。在此过程中,融资可行性研究报告发挥着承前启后的关键作用,是项目成功的核心因素之一。

融资可行性研究报告的主要难点在于:把握成本投入与工作深度的矛盾;在缺乏资料情况下对工程地质、隐蔽工程、不可预见事项等重大风险点的识别和控制;对项目执行成本、合理利润及融资可行性的准确把握<sup>[2]</sup>。

笔者作为技术负责人参与了非洲某“F + EPC”生活供水工程的项目考察、前期技术组织、融资可行性研究报告编制、融资技术和商务审查等阶段的工作。本文总结了从项目考察开始至融资可行性研究报告审查结束过程中的主要经验和教训,为类似项目和相关业务人员提供参考。

## 1 背景

### 1.1 项目概况

非洲某国为典型的热带草原气候,雨季旱季分明。其中雨季集中了近 90% 的全年降雨量,而旱季则持续干热。受地质条件限制,项目所在区域地下水资源可开采量极其有限。为解决区域内主要城市及周边的居

收稿日期:2020-01-06

作者简介:罗京龙,男,高级工程师,从事境内外水电、水务等工程规划设计及管理工作。

民生活供水问题,当地水务主管部门提出了利用地表水源解决城市及周边供水问题的方案,并将项目列入了该国的15年供水规划文件中。

该项目利用2条水源河流筑坝蓄水,为邻近区域约45万人提供生活用水。工程包括2个大坝、2个水厂及若干泵站、水池、管道,供水能力 $30\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用中国金融机构贷款,由中国承包商实施。

## 1.2 技术基础

当地水务主管部门委托第三方咨询公司编制了项目建议书,确定了“水源河流筑坝蓄水-取水泵站-水厂/加压泵站-水池/水塔”的总体供水方案、明确了供水范围以及主体建筑物规模等主要内容,并估算了项目总投资。

技术团队针对性收集到了邻近流域水文站的降雨、蒸发等气象资料及少量的短系列洪水资料,并获得了项目业主的年度经营报告、财务审计报告、水价定价文件、国家饮用水供应战略等辅助材料。

## 2 前期工作

在初步研究基础技术资料后,技术团队分析确定本项目的主要技术难点和风险有:①坝体填筑材料(含防渗材料)的料源和性能;②平缓地形条件下的坝体工程量估算;③缺乏资料及季节流量差别极大情况下河流来水量的准确计算;④项目实施成本、利润等费用的准确把握。

带着以上问题,技术团队进行了现场考察和资料收集,主要采取了以下措施:

1)现场地质调查结合大比例尺区域地质成果,确定项目的基本地质条件、坝体填筑料类型和来源;

2)开展了坝址及上下游河道断面、管线、主要建筑物的地形测绘工作,以准确把握坝体工程量、供水工程水头、库容等核心内容;

3)实地调查水源河流水量情况及周边类似水库蓄水情况,为水库径流量计算提供辅助参考依据;

4)对当地的建筑材料、施工机械、水电油费用、劳工政策及费用、运输及清关费用、财税政策、外汇政策等进行了调查和资料收集,以准确把握项目成本、利润等费用。

另外委托当地权威检测机构完成了水源点的水质检测,用于确定水处理工艺。

期间根据原技术方案结合现场考察和收资成果编制了项目技术建议书,供承包商启动当地政府和中方

相关机构的商务工作使用。

## 3 报告编制

在前期工作成果的基础上,参考国内水利水电工程可行性研究报告编制规程、室外给水设计规范、给水排水设计手册(城镇给水)等内容完成了项目融资可行性研究报告初稿。

根据当地相关机构和金融机构对项目融资可行性研究报告初稿的审查意见,强化了报告中的工程建设必要性说明,增加了项目业主的技术和财务状况说明的章节,细化了投资估算内容,根据初步融资条件调整了经济分析,增加了风险分析<sup>[3]</sup>和防范措施章节(含社会风险、水量风险、水质风险、技术和施工风险、运营风险等),形成了融资可行性研究报告的基本内容。此后根据各方审查和修改意见,对融资可行性研究报告细节内容进行了多次修改和补充。

## 4 报告审查

本融资可行性研究报告主要接受中国金融机构的技术内容和经济指标审查,当地政府等相关机构在报告编制和审查过程中提供基础资料、辅助材料等协助。中国金融机构在审查中重点关注项目的实施必要性、技术可行性、经济合理性和项目自身还款能力。

### 4.1 实施必要性

结合项目的情况和当地的实际需求,从项目受益区的经济和政治地位重要性、区域生活供水保障安全、区域经济发展<sup>[4]</sup>和地下水资源保护、项目的政策符合性等方面在报告中说明项目实施的必要性。

### 4.2 技术可行性

本项目主要工程风险在于2个拦河大坝(最大坝高20 m以下,坝顶长600~900 m)在融资可研阶段无详细的水文资料,未开展实物工程地质勘察,对水源的天然来水量和坝体填筑料的性能尚未精确掌握。

通过类似流域的类比分析计算,结合已有资料的复核分析,核定了可满足规划水平年供水需求的相对保守的天然来水量;通过现场地质调查和大比例尺地质普查,掌握了现场基本地质条件,推荐了相对保守的粘土心墙坝方案(备选土工膜心墙坝),基本保证了项目的技术可行性。

### 4.3 经济合理性

经济合理性是金融机构和业主重点关注的内容。

由于河道两岸地形极为平缓,蓄水大坝虽然不高,但长度较长,因此本项目造价远高于直接从河道抽水的其他生活供水项目。通过对类似水库库容、工程量和造价的对比及类似规模供水项目覆盖人口、工程量和造价的对比等方式,分项说明了项目的经济合理性,并通过国民经济评价、财务评价等,进一步说明项目的经济合理性。

#### 4.4 项目还款能力

项目的还款能力为金融机构关注的核心内容,也是生活供水项目较难满足的条件之一。本项目通过以下措施综合解决项目还款能力:①由业主解决供水范围内的全部配水管网问题;②业主提供历史水费收缴率、水生产和销售统计数据,并说明项目预期收缴率的合理性;③相关部门提供国家水价调整机制文件,以此说明在相对固定周期内的售水价格调整的合理空间。加之考虑本项目覆盖的人口较多、水价相对较高、现供水缺口极大等因素,经测算,本项目收益足够还本付息,满足融资机构的评审要求。

### 5 经验和教训

#### 5.1 关键数据问题

当地严重缺乏水文、泥沙、气象、地质、地形等基础数据以及城市、农业等考虑因素的现状和规划资料,难以按照传统方式开展项目技术工作和可研报告编制。项目融资可研报告沿用了原项目建议书的供水覆盖范围和人口数量,但未开展具体村镇名称和人口复核;参考中国规范、国内统计数据中的类似地区及世界卫生组织(WHO)相关资料确定了供水定额、人口机械增长率、供水接通率等核心数据。

实际实施过程中发现覆盖的村镇、人口、水消费数据等均与原方案及融资可研报告存在一定的差异。后根据当地政府最新发布的人口普查成果,与项目业主逐个核对了供水覆盖范围内的城区、村镇名称和地点;逐个核算了涉及的人口数据(人口基数增加);采用了人口普查中的实测自然增长率、取消了机械增长率(增长率降低);采用了当地列入规划文件的人均水消费定额(定额降低)。

综合考虑上述人口基数增加、人口增长率降低、人均水消费定额降低以及规划水平年延长、接通率提高等因素,项目总体供水规模基本维持不变、单体设施规模有所调整。

#### 5.2 地质勘察问题

鉴于国际工程的现场坑槽探、钻探、取样、实验等地质勘察实物工作涉及较大的人员、设备、材料和技术成本投入,在前期跟踪和技术研究阶段需合理把握成本投入与工作深度的矛盾。

本项目在前期工作中未安排勘察实物工作量,但开展了现场地质调查和大比例地质普查的工作,并通过采用分析河道冲刷断面、主体建筑物附近简易坑探及对比类似项目实地调研成果等手段对坝址区和主要建筑物的地质条件进行了初步判断。从后续地质勘察揭露情况看,融资可研阶段的判断和把握基本准确,但对黏土料和石料、部分建筑物基础的判断有所偏差。由于当地土料、石料取样、实验条件极为有限,对后续土料场、石料场的判断和确定造成了不小的影响。最终通过分担实验任务、送交邻国实验室验证等措施解决了问题。

#### 5.3 水库淹没问题

本项目周边土地基本私有化,库区少量涉及森林保护区边缘,在考察阶段发现库区分布较多的腰果、棉花、木薯等农作物以及季节性农业用地,除少量地边简易窝棚以外无永久建筑物和敏感设施。为把握水库淹没范围和库区淹没情况,在前期阶段安排了2个水库的库区测量,并汇总淹没范围、耕地类别和数量等关键指标,并提交业主评估判断(水库淹没赔偿、占地移民等由业主负责)。经评估淹没指标在项目业主承受范围之内。

后续实施过程中,业主根据水库淹没图、淹没实物指标及建筑物占地范围图等开展征地补偿、谈判等工作,有效促进了项目的顺利实施。

#### 5.4 执行标准问题

项目约定采用中国标准开展设计、采购和施工,在融资可研和融资审查阶段未遇到标准矛盾问题。但在后续阶段由西方咨询公司以欧美标准为基准对中国标准技术成果(详细设计报告、施工图、计算书等)进行审查时,从数据来源和取值、工程等级、洪水标准、勘察实验内容和数量、报告章节、图纸习惯、计算软件、溃坝分析等方面均出现了较多的中外标准差异问题<sup>[5]</sup>。

具体的标准差异问题中,除了工程等级、洪水标准两项对工程影响较大以外,其他基本为报告和图纸细节、设计理念和思维类差异(如不接受任何管径的埋

管形式、水厂 24 h 运行、按照 3 d 考虑柴油发电机储油、混凝土保护层采取法国标准、水池防渗等涂料采用法国标准、修改中国标准图集阀门井入孔位置、阀门位置等),对工程本身影响不大。

审查过程中,为与咨询公司进行技术沟通和说明,技术团队采取的主要组合措施包括对主要规范条文摘录进行翻译和说明,增加基础数据取值论证、增加设计成果理论计算、提供类似工程案例对比、提供主要规范英文版。在中西方标准差异造成的问题上采取了“保原则、让细节”的原则,对可能导致工程重大变更的工程等级、洪水标准问题据理力争,在可接受范围内适当提高标准,最终与咨询公司达成了共识;对于工程影响较小的非中国标准审查要求,如报告和图纸细节修改、混凝土保护层厚度、钢筋标号、补充土石料实验内容、增加实时出厂水质检测仪器、调整絮凝剂种类等则完全接受修改。

需注意的是,本项目咨询公司中的西方工程师基本认可中国规范及中国企业的设计、施工能力。上述绝大部分标准差异问题均源自咨询公司聘用的当地工程师相对教条地套用欧美标准进行审查而导致。

## 6 结语

1) 针对严重缺乏基础资料、需控制前期投入风险的境外融资项目,需发挥技术优势和工程经验,采取必要的措施对技术方案、工程风险、工程量和价格等进行

准确把握,保障融资项目最基本的技术可行性、经济合理性。

2) 融资可行性研究报告除传统的技术内容和章节构成以外,需重视金融机构关注的实施必要性、项目自身还款能力等问题,在此基础上还需进行充足的调研、论证和说明。

3) 项目融资过程中或融资落地后,需开展必要的深化技术研究,修正前期技术成果,识别和消除潜在工程风险,为后续技术审查奠定基础,为项目执行做好技术准备。

4) 需高度重视中西方标准差异。采用基础数据取值论证、设计成果理论计算、类似工程案例对比等对方相对容易接受的形式解决审查问题。

### 参考文献:

- [1] 杜健. “一带一路”背景下企业走出去面临的融资困境和解决之道[J]. 中国商论, 2020(3): 95 - 96
- [2] 蔡绍宽, 钟登华, 刘东海. 水电工程 EPC 总承包项目管理理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011
- [3] 何伯森. 工程项目管理的国际惯例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [4] Shen L Y, TAM V W Y, Tam L, et al. Project Feasibility Study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice [J]. Cleaner Production, 2010, 18(3): 254 - 259
- [5] 王绮绮. 中国工程企业执行境外 EPC 项目难点研究[J]. 铁道工程学报, 2013(7): 111 - 115
- [6] 工程爆破, 2005, 11(1): 82 - 84, 21
- [7] 吴剑锋. 武汉饭店爆破拆除工程安全监理[J]. 工程爆破, 2002, 8(1): 71 - 72, 52
- [8] 张道振, 屠欢根, 李运喜, 等. 浅谈组织协调在爆破安全监理中的作用[J]. 工程爆破, 2011, 17(1): 92 - 94, 23
- [9] 赵超群. 爆破工程师及爆破监理工程师安全生产责任初探[J]. 工程爆破, 2005, 11(1): 78 - 81
- [10] 倪嘉滢. 浅谈监理在爆破安全施工中的责任[J]. 西部探矿工程, 2014, 26(3): 93 - 94
- [11] 王光荣, 胡奇. 大规模岩土爆破安全问题及控制措施研究[J]. 工程技术研究, 2019(21): 161 - 162
- [12] 王占军. 爆破作业项目安全监理工作浅析[C]//中国铁道学会工程分会//中国铁道学会. 爆破工程技术交流论文集. 北京, 2018
- [13] 陈宏涛, 程贵海. 基于 Access 数据库的爆破评估及监理系统运用[J]. 价值工程, 2019, 38(34): 233 - 235
- [14] 刘忠民, 徐靖宇. 隧道爆破工程中的爆炸物品安全管控[J]. 工程爆破, 2018, 24(3): 86 - 90

(上接第 16 页)

- [4] 杨磊, 罗衍涛, 苏凯凯. 城市隧道施工爆破安全监理探讨[J]. 江西建材, 2017(4): 196 - 196, 198
- [5] 闫鸿浩, 杨瑞, 李晓杰. 爆破安全评估技术的探究[J]. 科技创新导报, 2016, 13(5): 20 - 22
- [6] 张道振, 何华伟, 唐小再, 等. 监理在爆破施工安全中的作用[J]. 爆破, 2007, 24(4): 96 - 98
- [7] 赵坤. 册子岛航道 AB 段水下炸礁及爆破安全监理[J]. 爆破, 2010, 27(2): 74 - 76, 80
- [8] 张道振, 何华伟, 邵晓宁. 浅谈爆破工程监理存在的问题及对策[J]. 工程爆破, 2008, 14(3): 82 - 84
- [9] GB 6722 - 2014, 爆破安全规程[S]
- [10] 安玉东, 陈德志. 在复杂环境下土石方爆破安全监理的实践[J]. 爆破, 2005, 22(4): 120 - 121
- [11] 何华伟, 张道振, 唐小再, 等. 高耸建筑物拆除爆破安全监理实践[J]. 工程爆破, 2009, 15(1): 89 - 91
- [12] 赵坤, 尹志华, 蒋昭镡. 场平工程深孔爆破安全监理[J].



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.005

# 关于风电项目分阶段建设移交运行管理工作的探讨

刘超<sup>1</sup>, 刘帅<sup>2</sup>

(1. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南长沙 410014; 2. 三亚广兴实业开发有限公司, 海南三亚 572000)

**摘要:** 由于多数风电场建设和生产运行维护工作分属两个不同专业团队或公司, 再加上风电项目建设存在分批次投运及专项验收过程较长等问题, 按常规项目竣工验收后再进行整体移交, 势必会引起双方工作界面不清晰, 责任不明确或影响投产时间等问题。总结归纳以往的经验, 提出了分阶段分批次移交的方式, 在具备条件的情况下尽量做到零缺陷移交投运的目标。

**关键词:** 风电项目; 分阶段; 建设; 移交; 生产运营

中图分类号: TM614

文献标志码: B

文章编号: 1671-3354(2020)07-0021-02

## Phased Construction, Handover and Operation of Wind Power Projects

LIU Chao<sup>1</sup>, LIU Shuai<sup>2</sup>

(1. Powerchina Zhongnan Engineering Co., Ltd., Changsha 410014, China;

2. Sanya Guangxing Industrial Development Co., Ltd., Sanya 572000, China)

**Abstract:** In many wind power projects, the construction and the production, operation and maintenance are carried out by different professional teams or companies. Also, wind power projects are usually put into operation in phases and the acceptance process is of a long time. If the traditional mode of overall handover after construction completion is adopted, certain problems will arise such as unclear boundaries and responsibilities of each parties, and the delay of the production time. Therefore, a phased construction, handover and operation mode is proposed. When certain conditions are satisfied, a defect-free handover should be realized as far as possible.

**Key words:** wind power project; phased; construction; handover; production operation

近年来,为推进资源全面节约和循环利用,倡导绿色低碳的生活方式,清洁能源产业得到大力发展,风电产业作为清洁能源之一,也得到了迅猛的发展<sup>[1]</sup>。开发风电是降低国家化石资源消耗比重的有效措施,有利于调整电网的能源结构,促进地方经济和社会的可持续发展<sup>[2]</sup>。在大量风电项目建设的同时,由于多数风电场建设和生产运行维护工作分属两个不同专业团队或公司。根据《风力发电场项目建设工程验收规程》(GB/T 31997-2015)(以下简称“规程”)关于工程移交生产验收的相关规定,工程项目在具备相应的条件后(如所有风电机组通过240 h考核等)可进行工程移交生产验收工作,是一个整体移交的过程,但在项目实际实施过程中,由于风电场项目现场建设周期短,

投产发电时间急,造成现场较多项目边施工边投产发电的情况,如果按“规程”要求,可能造成部分设备和设施已移交给生产运营单位发电使用,却不符合规程移交条件的情况,使得建设和生产运营交接双方职责界定不明确。本文根据某投资建设的项目实施的实际情况进行整理分析,提出分阶段分批次进行工作移交的方式,希望为后期建设单位项目建设移交运行管理工作提供借鉴和参考<sup>[3]</sup>。

### 1 项目概况

湖南永州市某风电场工程,项目区域海拔高度在800~1 200 m之间。项目装机容量为50 MW,设计安装25台单机容量为2 000 kW的风力发电机组,预计

收稿日期:2019-12-20

作者简介:刘超,男,高级工程师、一级注册建造师、咨询工程师(投资)、招标师,主要从事新能源、投资项目管理方面的工作。

年上网电量为 10 075 万 kWh,年等效满负荷小时为 2 015 h;风电场新建 1 座 110 kV 升压站,以 1 回 110 kV 架空线就近送至附件 220 kV 变电站,项目总投资 4.3 亿元,建设总工期为 12 个月。项目建设主要内容包 括:进场及场内新建道路工程、集电线路工程、风电机组工程、升压变电站土建及电气设备安装工程等。

## 2 分阶段工作移交定义及意义<sup>[4]</sup>

分阶段工作移交是指因为项目实施过程中,为满足项目建设方提前投产发电使用需求,由建设实施方分阶段、分批次将项目建设成果移交给项目生产运营方,并履行相应的签字手续和责任界面划分。依工程常规移交方式,一般为建设项目在整个项目或本期项目整体通过竣工验收后,由建设实施单位整体移交给生产运营单位,而风电项目由于建设进度快,存在分批次投产、各专项验收、完工结算时间长和工程整体竣工验收时间长等问题,生产运营单位需要在项目部分投产后提前介入或使用部分已完成的建设成果,为满足项目使用需求,提早发挥项目投资效益,建设单位可考虑采用分阶段分批次移交方式,部分设施或设备在具备实体移交条件后,先行移交给生产运营机构,办理相应移交手续,明确相关方的责任和义务。这种分阶段工作移交更能贴合现场实际要求,更能满足风电这种建设周期短,分批次投运的项目实际情况。

## 3 移交工作内容

本风电项目移交主要包含风力发电机组、集电线路、升压站电气设备、升压站设施、道路工程五个主要部分。移交时可归纳为三类:设备类、设施类、工程管理类。项目的移交包括项目实体移交和项目文件移交两部分。

设备类是指风电场内所有电气设备(含升压站电气设备),如风电机组、箱式变电站、集电线路、主变压器、断路器、无功补偿装置、开关柜、监控系统、水泵等。

设施类是指为满足风电场设备正常运行而建设的建(构)筑物或其他附属结构,如道路、升压站建(构)筑物、风机及箱变基础、电缆沟(涵)/线路塔架、供水(电)工程和附属设施等。

工程管理类包括合同管理、已完成的批复和专项验收(含前期各项批复和建设实施后的水土保持、环境保护、消防和安全等行政主管部门要求的各专项验收)、工程档案等。

## 4 移交工作条件

### 4.1 设施移交条件

设施施工完成现场验收工作并经过电力质量监督部门检查验收通过,工程档案验收合格,具备移交条件。

### 4.2 设备移交条件

1)升压站电气设备。在升压站通过并网验收实现反送电后具备移交条件。

2)集电线路和箱式变电站设备。在全部集电线路和箱变通过并网验收后具备移交条件。

3)风力发电机组设备。在风电机组通过 240 h 试运行考核后具备移交条件,对于已通过电力质量监督检查验收且整套并网,因风机厂家原因暂无法通过 240 h 试运行考核的,由建设实施机构提出专题说明,在不影响生产的情况,可实行带缺陷移交。

4)专用工器具、备品备件。专用工器具和在建设过程中形成的且运营过程中需要的合格适量备品备件,做好相应清单,可以移交。

### 4.3 工程管理类事项的移交

1)相关批复文件和专项验收的移交。建设实施机构负责所有专项验收工作,取得应在建设阶段完成的相关批复文件;如专项验收和相关批复文件的获取与归档在移交后完成,另行专门移交档案清单。

2)工程档案资料移交。在移交验收时,原则上要求工程设施和设备档案资料进行移交,建设实施机构负责工程文件的收集和整理并提交建设单位归档,并向生产运营机构移交档案资料清单,其中工程技术资料应向运营机构提供一份;生产运营机构负责移交后新产生的文件整理并负责其归档。

## 5 移交验收与移交实施

### 5.1 移交验收

移交验收由建设实施机构筹备,在设备和设施具备移交条件后,向建设单位提出移交申请,同时提交移交验收自检报告、移交清单、设备/设施/工程管理等移交签证表、生产运营准备工作报告、相关材料,建设单位主持移交验收。

1)成立移交验收小组,组长为建设单位负责人,副组长为建设实施机构、生产运营机构、监理单位、施工单位等单位负责人,验收小组成员包括建设单位、建设实施机构、生产运营管理机构、监理单位和施工单位

(下转第 27 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.006

# 晒谷坪电站机组稳定性测试分析

祝迪,朱智岳,覃士勇

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

**摘要:**晒谷坪电站于2018年实施了增效改造项目,对水轮发电机组及相关辅助设备进行了更换。改造后针对新机组运行工况的稳定性进行了相关试验。依据试验数据进行分析探讨,对机组运行振动区间进行了评估,并建议安装振动与摆度在线监测系统,以便对该机组稳定性参数进行实时监测。

**关键词:**稳定性试验;水轮机;卧式机组;机组振动

中图分类号:TM312 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)07-0023-05

## Test and Analysis of the Stability of Hydro-turbine Generator Units in Shaiguping Hydropower Station

ZHU Di, ZHU Zhiyue, QIN Shiyong

(Hubei Qingjiang Hydroelectric Development Co., Ltd., Yichang 443000, China)

**Abstract:** In the renovation work of Shaiguping Hydropower Station in 2018, the hydro-turbine generator units and related auxiliary equipment are replaced. After the renovation, relevant tests are carried out to check the stability of the new units in operation conditions. The test data are analyzed and the operating vibration interval of the units are evaluated. It is also proposed to install an online monitoring system of the unit vibration and swinging to realize a real-time monitoring of the unit stability parameters.

**Key words:** stability test; hydro-turbine unit; horizontal unit; unit vibration

晒谷坪电站是清江隔河岩水利枢纽保安自备电厂,位于长阳县隔河岩水利枢纽左岸,利用清江隔河岩电站施工导流隧洞改建引水式地下厂房。电站安装2台5 MW卧式水轮发电机组,总装机10 MW,最大流量 $13.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。2018年晒谷坪水电站实施了增效改造项目,更换了水轮发电机组及相关辅助设备<sup>[1]</sup>。

### 1 稳定性试验的目的

本次试验的主要目的在于检测晒谷坪水电站2台水轮发电机组在启动试运行过程中的稳定性参数,分析该机组在试运行期间可能存在的问题,并提出相应的处理措施,为机组安全稳定运行提供技术保证。

### 2 机组形式与测点布置<sup>[2-3]</sup>

由于该水轮发电机组为卧式机组,整个轴系由水

轮机转子和发电机转子组成,其中发电机转子由2个径向轴承支承,水轮机转子为悬臂结构,因此未测量水轮机振动。

1)摆度测点。在发电机前后轴承布置涡流传感器,测量机组摆度,共2个测点。

2)振动测点。在发电机前、后轴承处垂直方向和水平方向布置振动速度探头,测量发电机轴承座振动,共4个测点。

3)键相测点。在发电机前轴承附近大轴表面布置光标,在发电机前轴承上布置光电探头,测量机组转速,共计1个测点。

### 3 1号机组数据分析

晒谷坪水电站1号水轮发电机组稳定性试验,试验数据如下所示。

收稿日期:2019-12-24

作者简介:祝迪,男,工程师,主要从事自动化维护方面的工作。

1)变转速试验,试验数据如表1,波德曲线如图1所示。从图表数据可以看出,在定速过程中,1号机组发电机前轴承摆度在 180  $\mu\text{m}$  左右。频谱分析表明,该信号工频分量振动幅值约 140  $\mu\text{m}$ ,说明发电机存在一定的质量不平衡。

2)变电流试验,试验数据如表2,振动趋势如图2所示。从图表数据可以看出,在变励磁电流试验过程中,1号机组发电机振动变化不大(振动轻微变化主要是由水力不稳定振动引起的),说明该机组电磁平衡状态良好。

表1 变转速试验过程中1号机组稳定性试验数据表  $\mu\text{m}$

工况 (转速)	发电机前轴承			发电机后轴承		
	垂直 振动	水平 振动	摆度	垂直 振动	水平 振动	摆度
25%	18	16	160	12	10	113
50%	13	14	167	9	10	103
75%	18	15	174	18	19	94
100%	24	18	182	19	25	100

表2 变励磁电流试验过程中1号机组稳定性试验数据表  $\mu\text{m}$

工况 (励磁)	发电机前轴承		发电机后轴承	
	垂直 振动	水平 振动	垂直 振动	水平 振动
25%	24	18	19	23
50%	23	18	19	23
75%	22	18	19	25
100%	21	18	19	24

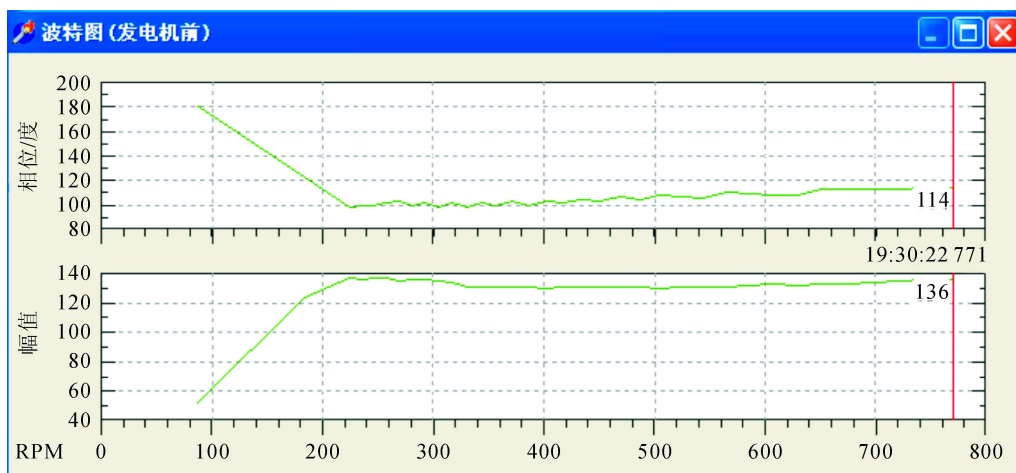


图1 发电机前轴承摆度波德图

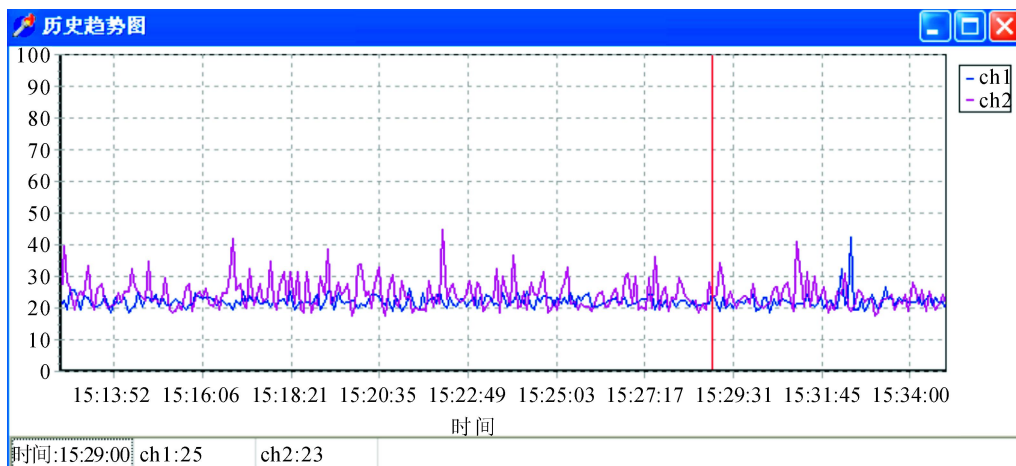


图2 励磁试验过程中发电机振动趋势图

3) 变负荷试验, 试验数据如表 3, 振动趋势如图 3 所示。从图表数据可以看出, 1 号机组在 0.1 ~ 2.6 MW 负荷区间运行时, 发电机振动在 20 ~ 50  $\mu\text{m}$  之间波动; 但 2.8 MW 以上负荷运行时, 发电机振动变化不大, 说明 0.1 ~ 2.6 MW 负荷区域很可能为该水轮发电机组的振动区域。

表 3 变负荷试验过程中 1 号机组稳定性试验数据表  $\mu\text{m}$

工况 (励磁)	发电机前轴承		发电机后轴承	
	垂直振动	水平振动	垂直振动	水平振动
25%	30	29	34	35
50%	26	24	30	33
75%	19	16	18	19
100%	21	18	19	21

## 4 2 号机组数据分析

晒谷坪水电站 2 号水轮发电机组进行了稳定性试

验, 试验数据如下所示。

1) 变转速试验, 试验数据如表 4, 波德曲线如图 4 所示。从图表数据可以看出, 在定速过程中, 2 号机组发电机前轴承摆度在 180  $\mu\text{m}$  左右。频谱分析表明, 该信号工频分量振动幅值约 150  $\mu\text{m}$ , 说明发电机存在一定的质量不平衡。

表 4 变转速试验过程中 2 号机组稳定性试验数据表  $\mu\text{m}$

工况 (转速)	发电机前轴承			发电机后轴承		
	垂直 振动	水平 振动	摆度	垂直 振动	水平 振动	摆度
25%	15	12	177	23	32	107
50%	15	13	173	24	37	104
75%	21	16	157	22	33	106
100%	24	18	164	19	23	101

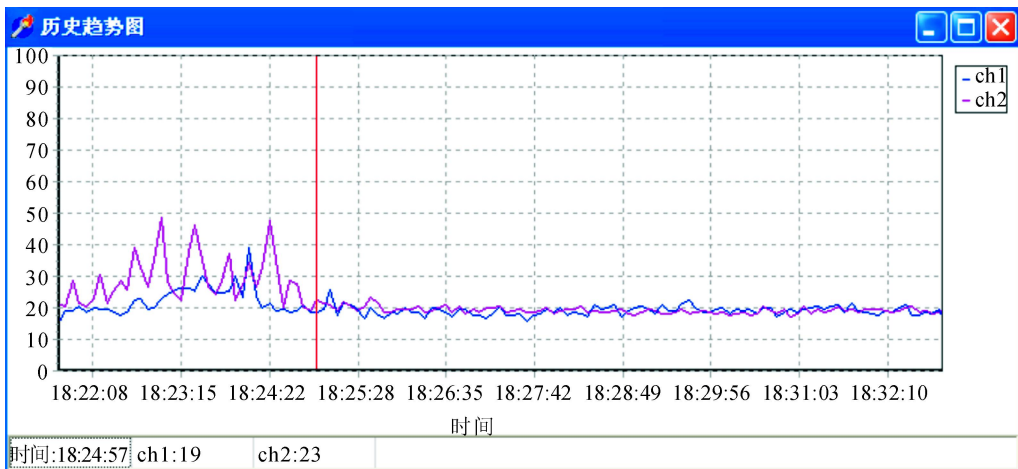


图 3 带负荷试验过程中发电机振动趋势图

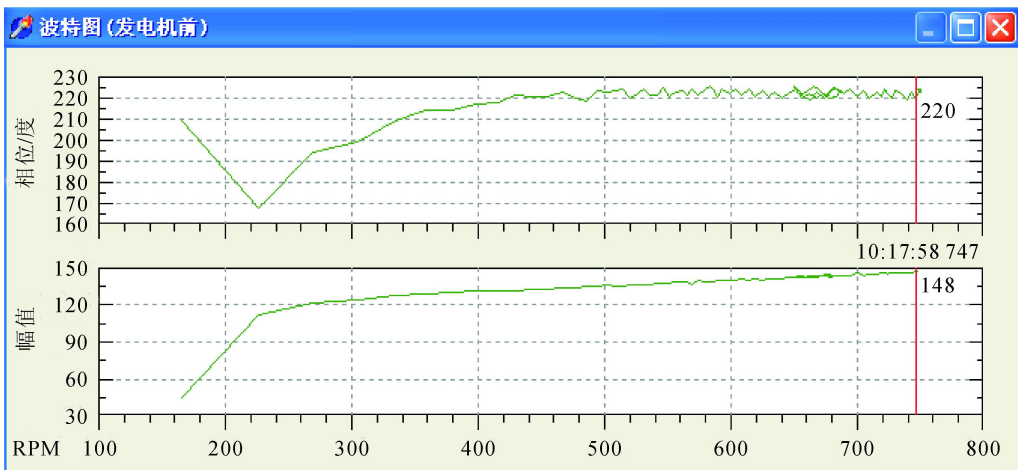


图 4 发电机前轴承摆度波德图

2) 变电流试验, 试验数据如表 5, 振动趋势如图 5 所示。从图表数据可以看出, 在变励磁电流试验过程中, 2 号机组发电机振动变化不大( 振动轻微变化主要是由水力不稳定振动引起的), 说明该机组电磁平衡状态良好。

表 5 变励磁电流试验过程中 2 号机组稳定性试验数据表  $\mu\text{m}$

工况 (励磁)	发电机前轴承		发电机后轴承	
	垂直振动	水平振动	垂直振动	水平振动
25%	24	18	19	23
50%	23	18	19	24
75%	25	22	20	34
100%	22	19	25	36

3) 变负荷试验, 试验数据如表 6, 振动趋势如图 6 所示。从图表数据可以看出, 2 号机组在 0.1 ~ 2.7 MW 负荷区间运行时, 发电机振动在 20 ~ 100  $\mu\text{m}$  之间波动; 但在 2.8 MW 以上负荷运行时, 发电机振动变化不大, 说明 0.1 ~ 2.7 MW 负荷区域很可能为该水轮发电机组的振动区域。

表 6 变负荷试验过程中 2 号机组稳定性试验数据表  $\mu\text{m}$

工况 (励磁)	发电机前轴承		发电机后轴承	
	垂直振动	水平振动	垂直振动	水平振动
25%	54	58	72	78
50%	28	32	26	25
75%	20	23	18	20
100%	19	22	17	19

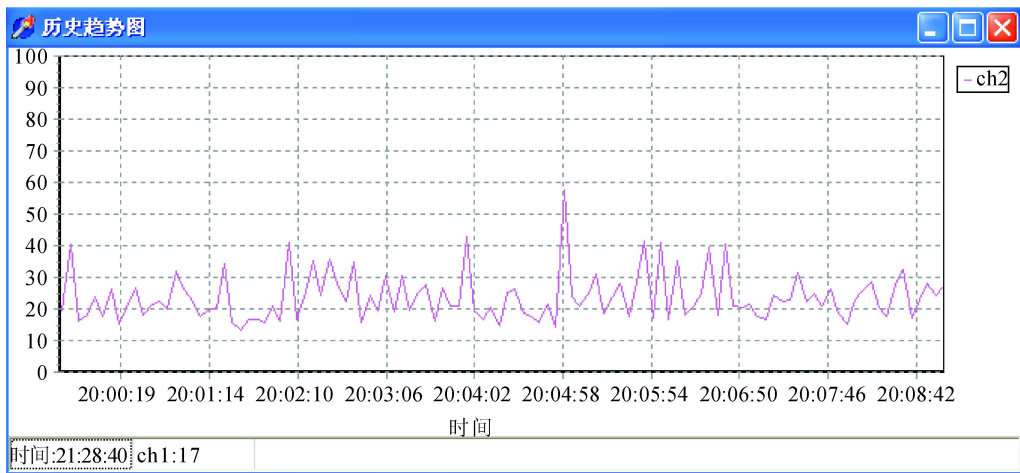


图 5 励磁试验过程中发电机振动趋势图

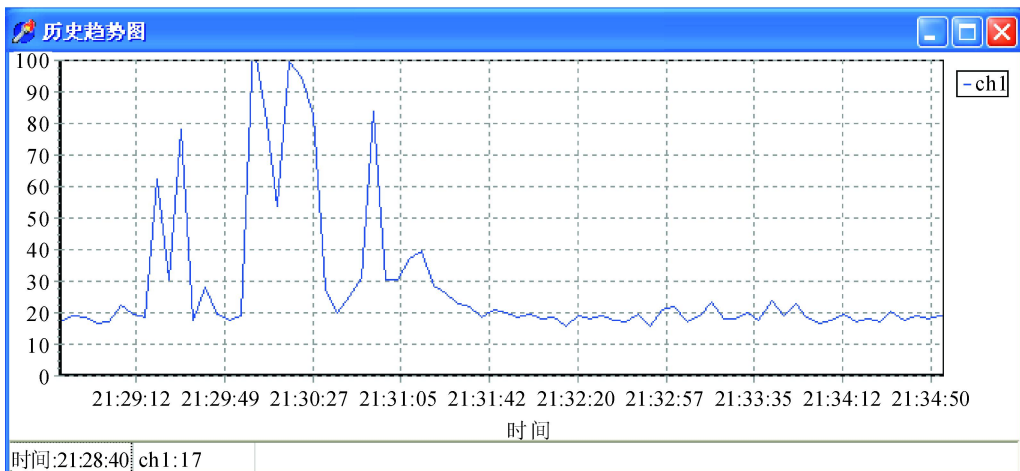


图 6 带负荷过程中发电机振动趋势图

## 5 结论与建议

1) 1号水轮发电机组发电机前轴承摆度小于185  $\mu\text{m}$ ,后轴承摆度小于110  $\mu\text{m}$ ,发电机垂直振动和水平振动均小于50  $\mu\text{m}$ ;2号水轮发电机组发电机前轴承摆度小于180  $\mu\text{m}$ ,后轴承摆度小于110  $\mu\text{m}$ ,振动和摆度满足标准要求。

2) 1号水轮发电机组在0.1~2.6 MW负荷区间运行时,发电机振动在20~50  $\mu\text{m}$ 之间波动;2号水轮发电机组在0.1~2.7 MW负荷区间运行时,发电机振动在20~100  $\mu\text{m}$ 之间波动。说明该负荷区域很可能为该水轮发电机组的振动区。建议在机组运行期间尽量避免在该负荷区域运行。

3) 晒谷坪水电站2号水轮发电机组在0.1~2.7 MW负荷区间运行时,发电机振动在20~100  $\mu\text{m}$ 之间波动,最大振动超过标准要求。在其他工况下,发电机垂直振动和水平振动均小于30  $\mu\text{m}$ ,该机组振动

(上接第22页)

相关人员,根据情况可以聘请相关技术专家参加验收小组。

2) 验收小组审核建设实施机构与生产运营管理机构提交的相关材料,组织现场检查验收。

3) 验收签证办理。①交接双方达成一致意见,验收前自行办理验收签证,签证相关人员需报验收小组批准。②带缺陷移交的、或者交接双方存在较大分歧意见,由验收小组提出意见,明确缺陷处理责任和消缺计划安排时间表,再办理签证手续。③全部签证手续办理完成,形成工程移交意见书,工程移交意见书应报建设单位备案,并归档。

### 5.2 移交实施

1) 设施、设备移交。签证完成即视为已办理移交。

2) 工程管理移交。①设备合同移交在办理签证时完成。②工程档案资料移交:签证时完成移交。移交验收后完成的相关批复文件和专项验收档案清单另行专门移交<sup>[5]</sup>。

满足标准要求。

4) 2台水轮发电机组电磁平衡状态良好,在励磁电流试验过程中,振动的轻微变化主要是由水力不稳定振动引起的。

5) 2台水轮发电机组发电存在一定的质量不平衡。如有机会,可考虑对发电机转子实施现场动平衡,进一步提高机组稳定性水平。

6) 2台水轮发电机组未配备振动与摆度在线监测系统,如有机会,建议安装振动与摆度在线监测系统,以便对该机组稳定性参数进行实时监测。

### 参考文献:

- [1] 胡永亭, 靳冰晔. 晒谷坪水电站水力机械增容改造初步设计[J]. 水电与新能源, 2016(12): 13-17
- [2] 胡永亭. 黄龙滩水力发电厂转轮改造初步设计[J]. 水电与新能源, 2016(1): 38-41
- [3] 万元, 谭振国. 基于振动特性试验的大型混流式机组稳定性分析与评估[J]. 水利水电技术, 2014, 45(12): 15-19

## 6 结语

建设移交工作涉及范围广泛,移交内容多,移交过程长,涉及移交双方利益和责任义务,本文以实际实施的项目为例,提出的分阶段分批次移交更适用同一单位内的建设团队向运行团队的移交工作模式,对于不同单位间的分阶段分批次移交,在处理好合同相关问题后亦可采用。做为电力建设项目,涉及电力安全运行,在具备条件的情况尽量做到零缺陷移交投运目标<sup>[6]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 邹敦宇. 浅谈大型陆上风力发电技术[J]. 中国新技术新产品, 2019(14): 11-12
- [2] 雷栋, 摆念宗. 我国风电发展中存在的问题及未来发展模式探讨[J]. 水电与新能源, 2019, 33(5): 74-78
- [3] 李康学. 市政工程建设移交项目的积极应对[J]. 企业导报, 2013(1): 39-39
- [4] 成辉. 大中型建设项目竣工验收工程移交新模式探讨[J]. 西铁科技, 2006(z1): 23-24
- [5] 邹婷. 建设工程档案移交存在的问题及对策研究[J]. 城建档案, 2018(11): 46-47
- [6] 金仁云, 张振龙. 电力建设工程“零缺陷”移交生产运行对策分析[J]. 机电信息, 2013(36): 165-166

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.007

# 一种便携式带电作业空调装置

陈柯豪<sup>1</sup>, 赵毅林<sup>1</sup>, 陈方伟<sup>1</sup>, 肖大林<sup>2</sup>

(1. 云南电网有限责任公司昆明供电局, 云南 昆明 650000;

2. 云南电网有限责任公司昆明局东川供电局, 云南 昆明 650000)

**摘要:**针对暑热环境下电网作业人员身着绝缘服带电作业时的散热问题,研制了一种便携式带电作业空调装置,设计了各模块,通过对其进行的高温环境降温试验以及电池供电持久性试验表明,空调装置可以满足带电作业人员在高温环境中身着绝缘服进行带电作业的要求。

**关键词:**液冷空调服;制冷原理;comsol 仿真;空调服设计;带电作业

**中图分类号:** TB69      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3354(2020)07-0028-05

## A Portable Live Working Air-conditioning Clothing Device

CHEN Kehao<sup>1</sup>, ZHAO Yilin<sup>1</sup>, CHEN Fangwei<sup>1</sup>, XIAO Dalin<sup>2</sup>

(1. Kunming Power Supply Bureau, Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650000, China;

2. Dongchuan Branch of Kunming Power Supply Bureau, Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming 650000, China)

**Abstract:** To solve the heat dissipation problem of live working power grid operators wearing the insulation clothing under hot weather, a portable live working air-conditioning clothing device is developed. The overall design scheme and each modules are introduced. Tests of the cooling performance in high temperature environment and the battery power durability show that the air-conditioning clothing device can fulfill the requirements of live working personnel wearing insulation clothing in high temperature environment.

**Key words:** liquid cooling air-conditioning clothing; cooling principle; COMSOL simulation; air-conditioning clothing design; live working

在酷热的环境下进行配电网带电作业时<sup>[1]</sup>,作业人员需要身穿厚重且相对封闭的绝缘服,其散热效果很差。因此,作业人员极易出现脱水<sup>[2]</sup>、中暑、精神恍惚等症状,从而会导致触电及高处坠落等安全事故,故而需要为高温电力抢修及带电作业人员研制一种能长时间降温,同时又能保证其安全工作、提高作业效率的便携式降温空调装置,从而有利于减少电网停电时间,保证配电网线路及设备安全稳定运行。

目前国内外针对空制冷原理以及制冷介质的不同,空调服可以分为气冷空调服、液冷空调服以及相变制冷空调服<sup>[3]</sup>。气冷空调服利用空气作为制冷介质,文献[4]提出在皮肤表面引入微型风扇阵列的方法,通过微型风扇阵列提供流动空气利用对流及人体汗液蒸发降温。文献[5]研究了风扇布置位置情况对气冷

型空调服降温效果的影响,结果表明后腰及脊柱位置为风扇最佳布置点。文献[6]用小型压缩机产生压缩空气,高速通过涡流管后分成冷气与热气,冷气进入空调服与皮肤通过对流进行一次降温,最后喷射到人体热敏感部位进行二次降温,大大提高降温效率。相变制冷空调服利用相变材料相变吸热进行降温<sup>[7]</sup>,常见的相变材料有冰、水凝胶和石蜡等。文献[8]构想在消防服内穿着冰背心进行降温,这种降温方式可以有效降低高温环境中从事体力活动的主观与生理反应。文献[9]提出了一种胶囊相变调温服,在服装内外层中填充胶囊,胶囊内含有相变材料。液冷空调服是通过冷却液体在空调服内循环,与人体表面进行传导、对流换热,从而达到降温目的<sup>[10]</sup>。Billingham首次提出将水作为冷却液的液冷空调服思想<sup>[11]</sup>,之后人们进行

收稿日期:2020-01-03

作者简介:陈柯豪,男,高级工程师,主要从事电力系统供电可靠性研究。

基金项目:云南电网有限责任公司科技项目(YNKJXM20180378)。



了大量相关研究。国内的液冷服研制始于军事等特殊领域,在20世纪80年代开始研制便携式局部液冷服(YL-IA型)系统,并成功在“远望号”远洋测量船两次执行任务中试用<sup>[12]</sup>。文献[13-14]研究了液冷服中换热管路的排布方式对于液冷服降温效果的影响。液冷服可以根据人体与环境的换热情况灵活控制换热介质的温度及流速,从而能够主动对换热进行调节,且比相变与气冷两种空调服更加舒适、安全,已经成为研究的热点。

对于身着空调服进行不停电作业的应用场景,目前的研究较少,本文基于液冷主动降温原理研制出一种电网不停电作业用空调服,采用微型压缩机、与绝缘服配合穿着对带电作业人员进行大冷量体表降温,为作业人员提供安全、便利、舒适的工作环境。

## 1 理论仿真

### 1.1 制冷原理

工作人员在身着空调服工作时,其皮肤表面与空调服之间存在着一个微气候区。如图1所示。

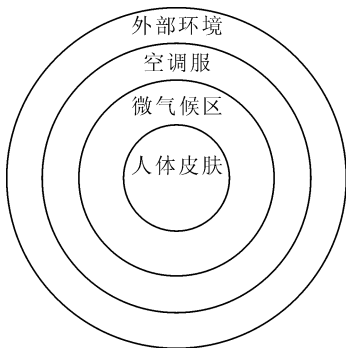


图1 微气候区示意图

微气候区内人体的热量传递满足热平衡方程<sup>[15]</sup>:

$$s = m - w - r - c - e - d \quad (1)$$

式中: $s$ 是人体蓄热率; $m$ 是新陈代谢产热; $w$ 是人体做功产热; $r$ 是人体皮肤通过辐射方式与外部的换热量; $c$ 是人体皮肤通过对流方式与外部的换热量; $e$ 是人体皮肤通过蒸发等方式的散热量; $d$ 是人体皮肤通过热传导方式与外部的换热量。

由于 $m, w, r, e$ 均取决于工作性质或周围环境,因此要想使 $s$ 尽可能减小,就应该增加人体通过对流及传导两种方式的散热量。

将冷却管以一定方式敷设于空调服内,通过空调服循环系统使恒温(低于人体温度)液体在管中循环,加速人体表面与微气候区的对流与传导换热,增大 $c$ 与 $d$ ,从而有效减少 $s$ ,实现工作人员在高温环境下的

散热降温。

人体通过皮肤表面与外界交换热量,有传导、对流、辐射和蒸发四种方式,但从传热学的角度看,热传递只包含传导、对流、辐射三种方式。求解传热问题就是求解温度在空间中随时间的变化情况,用傅里叶定律可以描述为

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (-k \nabla T) + \rho C_p u \nabla T = Q \quad (2)$$

式中: $\rho$ 是温度调节区域中物质的密度; $C_p$ 是物质温度每升高1 K时所吸收的热量; $Q$ 是热流密度,表示物质所吸收的热量; $k$ 是热传导系数; $u$ 是对流项中的变量。

利用式(2)以及相关参数和边界条件可以求解区域中任意一点温度随时间变化的规律: $T(x, y, z, t)$ 。

### 1.2 仿真计算

本文利用 comso 15.4 建立并求解模型来描述有无冷却液对人体在暑热环境下降温效果的影响,为了突出液冷制冷原理的特点,忽略对流传热仅考虑热传导。模型由圆柱体与镶嵌在其表面的环形冷却管构成,将圆柱体材料设置为皮肤,用空气包裹住整个模型。分别在管中加入水和空气,并将水分别设置为恒温(相当于加入外部冷源)与不恒温(令水自然变温不加外部冷源),观察一段时间后圆柱体切面温度分布。模型的三维立体图如图2所示,冷却管与皮肤材质的圆柱体如图3所示。

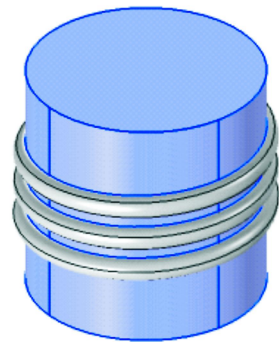


图2 模型的三维立体图

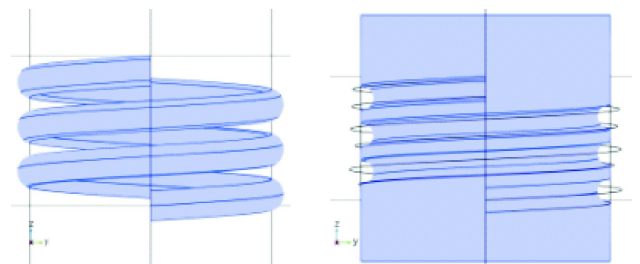


图3 模拟冷却管与皮肤材质的圆柱体图

仿真过程如下。

1) 管中加入水, 水的初始温度设为 288.15 K, 不设恒温, 模拟加入冷却液但不设置外部冷源的情况, 皮肤初始温度设为 310.15 K, 周围空气温度设为 323.15 K。10 000 s 后的切面温度分布如图 4 所示。

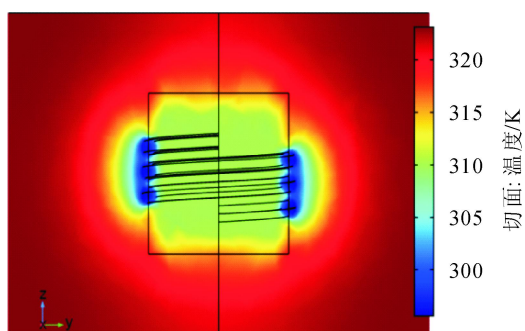


图 4 冷却液不设恒温时的温度分布图

2) 再将管中水设置为恒定温度, 各部分温度初始值不变, 模拟加入冷却液并设置外部冷源使冷却液持续保持低温的情况, 10 000 s 后切面温度分布如图 5 所示。

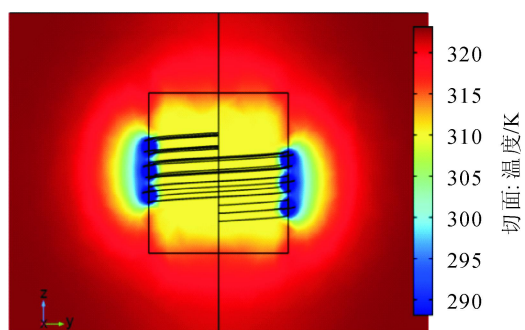


图 5 冷却液设为恒温时的温度分布图

3) 将管中的水换成空气, 模拟不加入冷却液的情况, 将管中空气的初始温度设为 288.15 K, 不设恒温, 皮肤初始温度设为 310.15 K, 周围空气温度设为 323.15 K。10 000 s 后的切面温度分布如图 6 所示。

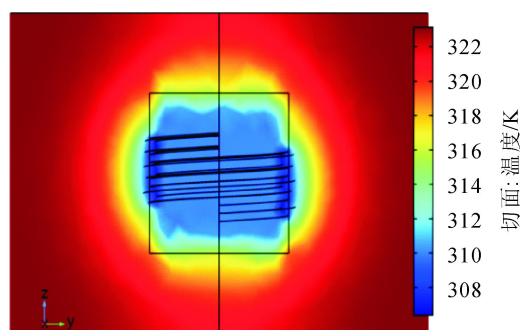


图 6 无冷却液时的温度分布图

对比管中材料为水且不设恒温与管中材料为空气两种情况, 前者 10 000 s 后切面温度整体要比后者低, 尤其是管与皮肤接触部位, 这种差别更加明显。这是因为水的比热容较大, 因此在水与空气的初始温度相同时, 水升温要比空气慢, 且升温相同时要吸收更多的热量。可以看出管中加入低温液体, 可以起到很好的降温效果。

对比管中材料为水并设置为恒温与不设置为恒温两种情况, 前者 10 000 s 后切面温度整体要比后者低, 同样地, 在管与皮肤接触部位, 这种差别也更加明显。这是因为由于外界冷源的存在, 水在整个热量传递过程中可以一直保持低温不再升温。由此可见, 在服装中加入使冷却液不断在体表循环并保持恒温的液冷系统可以有效降低冷却管附近人体体表温度, 并使气候区中的整体温度也有所降低, 很好地解决人体在暑热环境中的散热问题。

## 2 空调服装设计

空调服装置采用制冷微型压缩机对人体进行大冷量的高能冷却, 为了保证系统稳定正常运行, 对其核心部件及配套部件实施同步制冷温控。系统组成如图 7 所示。

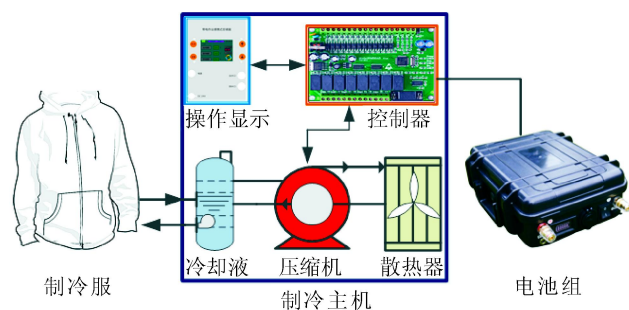


图 7 整机系统结构图

系统主要由制冷服、制冷主机、电池组三大部分组成, 电池组对整个系统供电, 制冷主机负责整个系统的制冷、电源控制以及冷却液的循环等。

### 2.1 制冷服

制冷服是空调服的重要部分, 是人机交互的结点 (见图 8)。

制冷服直接贴近人体, 应该具有轻便、舒适、无毒无害等特点。本制冷服为制冷上衣形式, 采用高耐磨网格面料制成, 其夹层中均匀镶嵌纵向走向的制冷液循环通路管道。管路连接接头为自闭式快速拔插接头。



图8 制冷服实物图

## 2.2 电池组

电池组是制冷系统的重要组成部分,为整个空调服制冷系统提供电能。为了使空调服在穿戴后不妨碍带电工作,放弃笨重的液压发电机等供电方案,采用24 V可充电锂电池组对整个系统供电,电池组参数及性能如表1所示。

表1 电池组性能指标表

电池类型	输出电压/V	容量/AH	尺寸(长×宽×高)/mm	充电器规格
可充锂电池	DC 18 ~ 25.2	60	290 × 240 × 110	25.2 V 10 A

## 2.3 制冷主机

制冷主机包含温度采集模块、单片机控制器、压缩机、冷却液循环组件、操作显示模块和电源模块;制冷主机如图9所示,负责完成整个系统的制冷、电源控制以及冷却液的循环等。其中冷液系统由循环系统和电气控制系统组成,其中的循环系统又由制冷系统和供回液系统组成;循环系统和电气控制系统有机的组合在设备内。



图9 制冷主机正面图

1) 单片机控制器。单片机控制器是制冷主机的核心模块,接收处理各模块发来的信息,并向各模块发送控制命令以实现对整个系统的控制。单片机控制器采用STM32F103RCT6为核心处理器,分别与压缩机、温度采集模块和操作显示模块相连接,接收温度采集模块及操作显示模块发来的信息,进行处理后通过压缩机驱动电路控制压缩机的启停,并向操作显示模块发送信息显示系统状态。

2) 压缩机。用于制冷的微型压缩机由直流供电,制冷剂为R134a。R134a别名R-134a,化学式为 $\text{CH}_2\text{FCF}_3$ ,大气压下的沸点为 $-26.3^\circ\text{C}$ 。是一种热力学性质与二氟二氯甲烷(R-12)类似的卤代烷制冷剂,但与R-12相比,其臭氧破坏潜势更低。冷凝器采用平行流式微通道换热器,蒸发器采用集成式微通道换热器。此外,还装设了无刷冷凝调速风机散热,保障制冷量的同时大大降低了风扇噪音。

3) 温度采集模块。温度采集模块包含环境采集模块与体表温度采集模块,分别位于制冷服的内表与外表,采集外界环境温度与体表温度,并将采集到的信号传输至单片机控制器进行处理。本模块中采集温度信息的温度传感器DS18B20是常用的数字温度传感器,其每个器件都有唯一的64位长的ROM代码,故可在同一根总线上挂接多片DS18B20,实现同时在多点进行温度采集。DS18B20将采集的温度信号通过数模转换器转换为数字信号并发送给单片机控制器,单片机控制器再根据此信号输出信号控制压缩机的启停。

4) 冷却液循环组件。冷却液循环组件通过使低温冷却液在制冷服中敷设的绝缘软管中不断循环来达到给人体降温的效果。本文使用水作为冷却液,组件包括水泵、水箱、绝缘软管以及水位传感器。水箱负责盛装冷却液,水泵提供冷却液循环的动力,绝缘软管构成冷却液在系统中循环的通路。水位传感器装设在水箱中,实时监测水箱中的冷却液量,一旦水量过少,便发出报警信息,提示带电作业人员可能发生液体泄漏。

5) 电源模块。电源模块分别用两个电路去实现电源管理和充电管理两个功能。前者是指将电池组的输出电压分别转化为各个受电模块相应的电压,后者则是指控制电池组的充放电。

6) 操作显示模块。本装置的操作显示系统由4个按键及3.2寸TFT液晶屏组成。液晶屏上显示出水温度、进水温度、环境温度以及设定温度信息,电池工作状态信息,时间信息及空调服系统整体工作状态信息。装置可由面板上显示屏两侧的4个按键进行操作(见图10)。

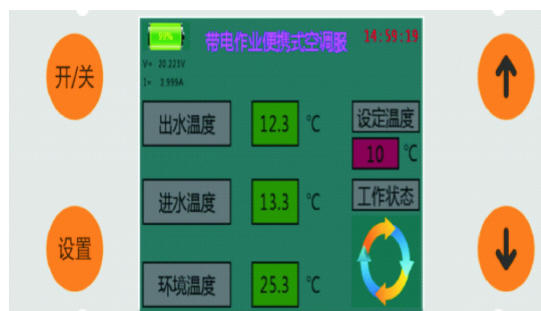


图10 操作显示模块图

### 3 装置试验

为了测试空调服装置在高温环境下的降温效果,对空调服装置进行高温环境降温试验以及电池供电持久性试验(见图11)。



图11 试验现场服装及电池摆放图

#### 3.1 高温环境降温试验

将空调服置于40℃的高温环境下,并用输出电压为24 V的电池组供电,通过空调服装置的显示屏观察冷却液温度,制冷液最低可以稳定地维持在15℃,完全满足人体所需环境温度。

#### 3.2 电池供电持久性试验

延长高温环境降温试验的时长直到电池组无法维持正常供电,并记录试验时长,得到在40℃的工作环境下,维持制冷液在15℃,电池组持续供电时间为4 h。

试验表明,本文空调服装置完全满足工作人员在高温环境下身着绝缘服进行带电作业的要求。

## 4 结语

针对在暑热环境下带电作业人员身穿厚重绝缘服导致散热不佳易出现热应激反应的问题,本文研制出了一种基于单片机控制器的带电作业便携式空调服装置。comsol 仿真结果表明,液冷方式能够很好地起到降温效果,40℃高温环境降温试验表明,该空调服装置完全满足带电作业人员在暑热环境下身着绝缘服安全、舒适、便利地进行带电作业的要求。

#### 参考文献:

- [1]王伟,刘飞,李成龙,等.一种用于配电网带电作业的空调服装置[J].电子测量技术,2018,41(17):32-36
- [2]Guo T, Shang B, Duan B, et al. Design and testing of a liquid cooled garment for hot environments [J]. Thermal Biology, 2015, 49-50: 47-54
- [3]神惠子.液体冷却服的发展现状及趋势[J].美与时代(上旬刊),2018(12):107-110
- [4]曾彦彰,邓中山,刘静.基于微型风扇阵列系统的人体降温空调服[J].纺织学报,2007,28(6):100-105
- [5]Zhao M, Gao C, Wang F, et al. A study on local cooling of garments with ventilation fans and openings placed at different torso sites [J]. Industrial Ergonomics, 2013, 43(3): 232-237
- [6]孙晓阳.一种新型高效环保空调服的提出[J].应用能源技术,2015(4):33-38
- [7]盛伟,郑海坤.人体降温服在矿井热环境中的应用综述[J].中国安全生产科学技术,2013,9(12):95-101
- [8]Smolander J, Kuklane K, Gavhed D, et al. Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighters protective clothing in the heat[J]. Occupational Safety & Ergonomics Jose, 2004, 10(2): 111-117
- [9]王学晨,张兴祥,牛建津.一种调温服装:200420029562.2 [P]. 2004-08-11
- [10]郭庭辉.液冷服中的流动与传热及其系统研制[D].武汉:华中科技大学,2015
- [11]Billingham J. Heat exchange between man and his environment on the surface of the moon [J]. Interplanetary Society, 1959, 17: 297-300
- [12]孟运余,葛申然,杜国杰,等.便携式局部液冷服系统[J].航天医学与医学工程,1988,1(2):122-126
- [13]牛丽,钱晓明,范金土,等.可降温式消防服的设计与降温效果评价[J].纺织学报,2018,39(6):106-112
- [14]牛丽,钱晓明,范金土.换热管路间隔大小对可降温消防服降温效果的影响[J].纺织导报,2018(5):92-94
- [15]徐灏,郑克全,刘兰兰,等.配网不停电作业空调服研制[J].智慧电力,2017,45(9):98-103

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.008

# 天生桥一级水力发电厂 AGC 控制策略改进分析

常 辉, 杨红江, 卢亚萌

(天生桥一级水力发电厂, 贵州 兴义 562400)

**摘要:** 为提高天生桥一级水力发电厂 AGC 调节性能, 技术人员在深入分析 AGC 调节过程数据的基础上, 分别就机组穿越振动区、一次调频和 AGC 配合、机组小负荷分配等方面改进了 AGC 控制策略。经试验测试并在实际运行中验证, AGC 调节性能有较大改善。

**关键词:** AGC; 控制策略; 穿越振动区; 一次调频; 小负荷分配

**中图分类号:** TV737      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1671-3354(2020)07-0033-04

## On the Improvement of the AGC Control Strategy in Tianshengqiao I Hydropower Plant

CHANG Hui, YANG Hongjiang, LU Yameng

(Tianshengqiao I Hydropower Plant, Xingyi 562400, China)

**Abstract:** In order to improve the AGC regulation performance of Tianshengqiao I Hydropower Plant, the AGC regulation process data are analyzed in depth. Then, the AGC control strategy is improved from the aspects of the unit vibration interval crossing, coordination of the primary frequency regulation and the AGC, and the small load distribution. Tests and actual operation show that the AGC regulation performance is greatly improved.

**Key words:** AGC; control strategy; vibration interval crossing; primary frequency regulation; small load distribution

天生桥一级水力发电厂(以下简称天一电厂)位于贵州省安龙县与广西壮族自治区隆林县交界处的南盘江上,总装机容量  $4 \times 300$  MW,属南方电网直调电厂,在统一调频控制区内承担调频调峰任务。天一电厂 AGC(自动发电控制)功能通过南瑞水利水电 NC2000(V3.0)监控系统中的 AGC 高级应用模块实现。自 2018 年 9 月参与南网调频辅助服务市场以来,天一电厂多次出现 AGC 综合调频性能指标不合格的情况。电厂和监控厂家技术人员详细分析调频过程数据,确定了 AGC 控制策略存在的问题,并对其进行了改进优化。

## 1 AGC 现存问题分析

### 1.1 机组穿越振动区问题

天一电厂机组额定水头 111 m,运行水头范围为 83 ~ 143 m。受限于当年机组设计和制造水平,为了适应水头变幅大的工况,机组在额定水头、额定负荷区域

附近时有较高效率,而机组振动区(不可运行区域和不建议运行区域)较宽。139 m 水头以上时,振动区范围甚至达到 50 ~ 280 MW,可运行区域过小。为减少全厂负荷大幅度变动对电网稳定断面潮流的影响,2009 年天一电厂 AGC 正式投运时,南方电网总调对 AGC 振动区处理方式提出了新的要求:允许机组短时间在振动区内运行,每次最长不超过 30 min<sup>[1]</sup>。

天一电厂 AGC 投运后,机组穿越振动区存在两个主要的问题:

其一,总调给定总有功值落在全厂联合振动区上下时,会造成单机频繁穿越振动区。例如 2018-09-14 日 05:00-06:00,1、2、4 号机并网运行,投入 AGC。总调给定总有功在 585 ~ 707 MW 之间设值。给定总有功设值落在全厂联合振动 3 区(650.00,680.00)上下时,造成机组频繁穿越振动区,如图 1 所示。此种调节方式非常不利于机组安全稳定运行,调节性能自然也无法达标。

收稿日期:2019-12-26

作者简介:常 辉,男,工程师,主要从事水电厂检修管理方面的工作。

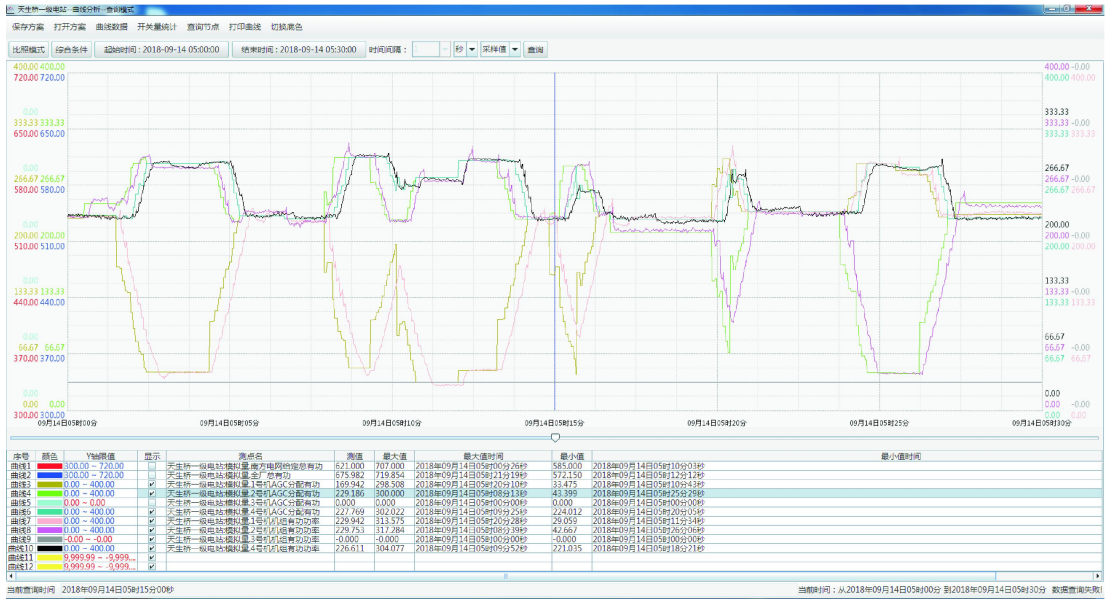


图1 AGC 设置在联合振动区上下变化,1、2号机频繁进出振动区图

南方电网使用综合调频性能指标( $k$ )衡量发电单元响应 AGC 控制指令的综合性能表现,  $k = 0.25 \times (2 \times k_1 + k_2 + k_3)$ 。式中: $k_1$  为调节速率; $k_2$  为响应时间; $k_3$  为调节精度。若  $k$  小于 0.5, 则性能不达标。查询该时段调频性能指标, 调节速率  $k_1$  值偏小, 调节精度  $k_3$  为负值且较大, 致使综合调频性能指标  $k$  小于 0.5。

其二, 多次发生因全厂实发总有功与全厂设定总有功偏差过大, 致使总调侧 AGC 闭锁事件。原因为多台机组联合穿越振动区时, 向上穿越振动区的机组(1台机)增负荷速率与向下穿越振动区的机组(2台机或3台机)减负荷速率相差较大, 全厂实发总有功短时间降低较多, 与全厂设定总有功偏差过大。如图 2 所示。

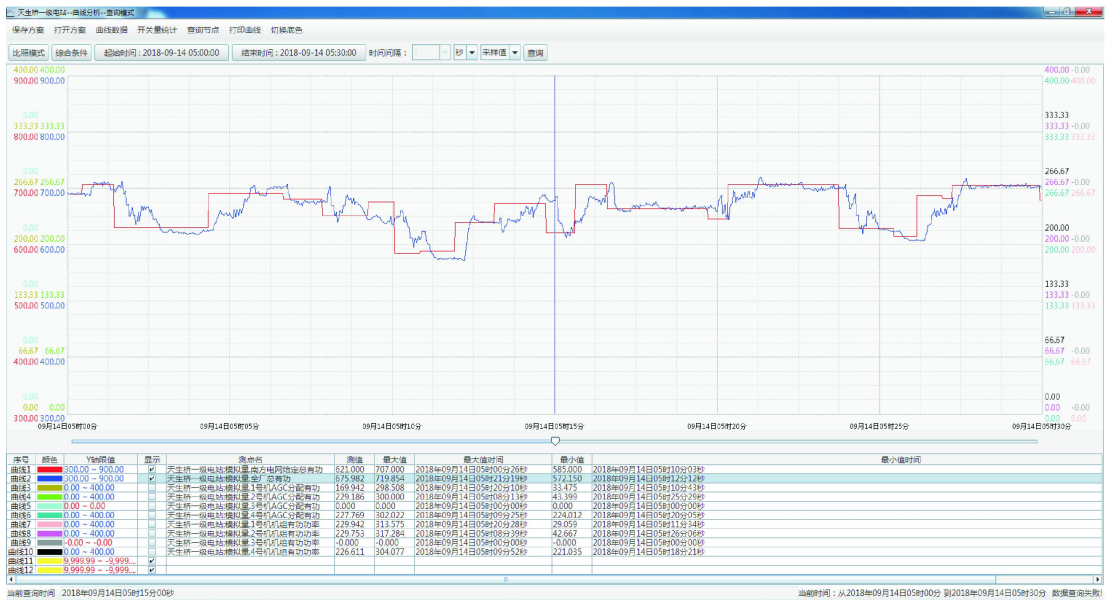


图2 全厂实发总有功与调度设定总有功偏差较大图

### 1.2 机组一次调频和 AGC 配合问题

天一电厂 AGC 调节过程: 监控系统远动通信机接收南网总调 AGC 负荷调节指令, 经主机 AGC 程序

运算后分配至各参与 AGC 调节的机组。机组有功调节由 LCU 有功 PID + 调速器开度模式完成, 即 LCU 程序运算后开出有功增、减脉冲至调速器, 调速器在开度

模式下相应增、减导叶开度给定,通过调整导叶开度的大小从而调整机组有功负荷至设定值。

一次调频则是调速器系统的基本功能。机组频率越过一次调频死区后,调速器系统自发进行频率响应调整机组有功负荷,稳定机组频率直至重新回到一次调频动作死区内。

天一电厂 AGC 与一次调频控制策略为:两者调节量不叠加,AGC 指令优先。有 AGC 指令时退出机组一次调频功能,AGC 调节结束后投入机组一次调频功能。机组一次调频动作期间闭锁 LCU 有功 PID 设定值。参与调频辅助服务市场以来,多次发生 AGC 调节过程中夹杂一次调频动作事件,致使综合调频性能指标  $k$  值不达标。需要对两者配合策略进行优化。

表 1 AGC 负荷分配情况表

时间	总调给定总有功	AGC 有功分配值	1 号机	2 号机	3 号机	4 号机	备注
9:13:26	677	689	235.667	235.667	0	235.667	收到新的总调 AGC 指令; 两次给定值差值 11 MW
9:13:31	677	685	228.333	228.333	0	228.333	小负荷分配策略未起作用

进一步检查,确认当总调给定总有功下发与上次数值相同的设定值时,AGC 不重新分配有功,小负荷分配策略未起到应有作用。

## 2 AGC 控制策略改进优化

### 2.1 机组穿越振动区控制策略优化

主要从以下几个方面对机组穿越振动区控制策略进行优化。

1) 增设手动振动区优先功能,振动区优先系数较低的机组优先穿越振动区。

2) 在电网对天一电厂没有低负荷运行需求时,通过设置“最小可运行区不可用”标记为 1 的方式取消 0~50 MW 运行区间,避免机组频繁上下穿越振动区;在电网需要天一电厂在低负荷 50 MW 以内运行时,通过设置“最小可运行区不可用”标记为 0 的方式投入 0~50 MW 运行区间,响应电网负荷需求和调频备用要求。

3) 机组穿越振动区时,AGC 采用分步调整策略负荷,以 60 MW 的步长分步穿越振动区,避免多机联合穿越振动区时增、减负荷速率不一致造成发电厂实发总有功与全厂设定总有功偏差过大。

### 2.2 机组一次调频和 AGC 配合策略优化

天一电厂与南网总调、监控厂家技术人员多次沟

### 1.3 机组小负荷分配策略不合理

天一电厂 AGC 具备小负荷调节功能,即总调给定总有功两次设值之差大于 AGC 调节死区(10 MW)且小于小负荷门槛值(20 MW)时,负荷调节量分配至参与 AGC 的其中 1 台机组执行,而不是平均分配至所有参与 AGC 机组。但在实际运行中,发生过 AGC 小负荷分配策略未起作用的情况。2018-09-14 日,09:13:25 南方电网给定总有功由 689 MW 设置为 677.00 MW。总调给定总有功两次设值差大于 10 MW,正常应由小负荷分配策略分配到参与 AGC 的其中 1 台机组执行。但 AGC 仅分配至 685 MW,且平均分配给参与 AGC 的 3 台机组,存在未有效执行的情况。AGC 负荷分配情况见表 1。

通达成一致意见,取消当前 AGC 优先的策略,修改为一次调频和 AGC 二者调节量叠加的策略。即:当有功调节进行中或进入有功调节死区 24 s(4 个调节周期)内,一次调频与二次调各自独立调节,调节效果为叠加。当有功调节进入死区 24 s(4 个调节周期)后,由于一次调频动作 20 s 内偏离出有功 PID 死区,不进行再次调节;超过 20 s 且非一次调频动作导致有功偏离出 PID 死区,或者有新的设定值下发,有功 PID 将再次进行调节<sup>[2-3]</sup>。

### 2.3 机组小负荷调整策略优化

增加相同总调给定总有功设值投退功能。

投入该功能:AGC 在调度模式时,全厂有功实发值与调度设定值差值大于全厂死区时,调度下发新的与上次相同的有功设定值时,AGC 会对机组有功进行重新分配,将有效触发 AGC 小负荷分配功能。

退出该功能:调度下发与上一次设定值相同的设定值时,AGC 不重新分配有功。

## 3 结 语

天一电厂 AGC 策略优化后,经试验验证并在实际运行中观察,AGC 调节性能有较大改善。以一次 AGC 多机联调过程为例来说明其调节效果:2020-05-13 日 15:15-15:45,调度设定总有功由 470 MW 升至

900 MW,4 台机组联合穿越振动区。期间在全厂联合振动区附近调节时,4 台机组均未出现频繁进出振动

区的情况,如图 3 所示;全厂实发值跟踪调度设定总有功,相差不大,调节效果很好,如图 4 所示。

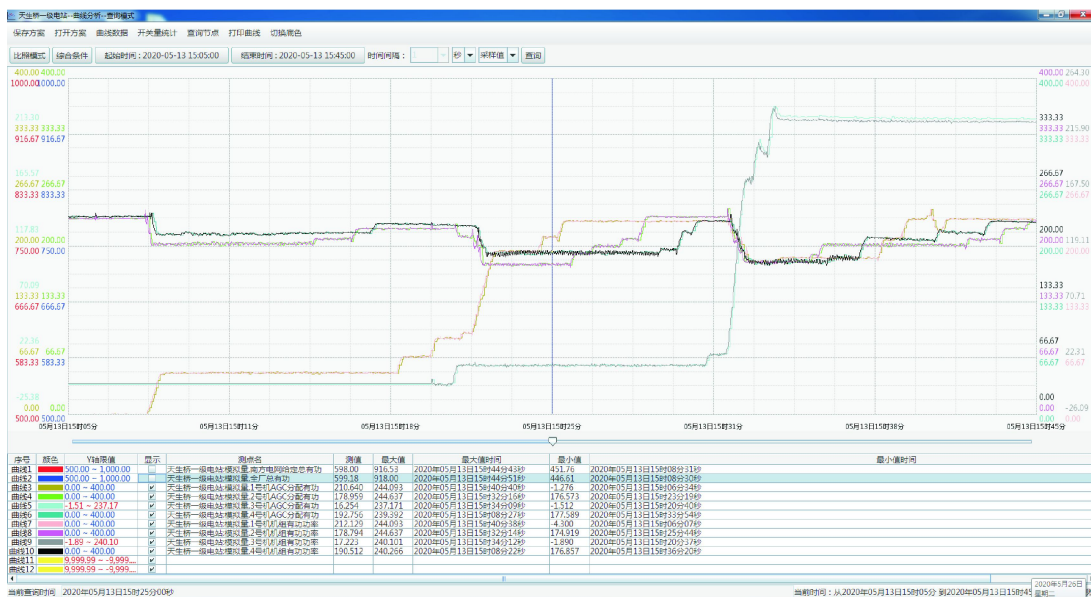


图3 AGC 设置在联合振动区附近变化,机组未出现频繁进出振动区情况图

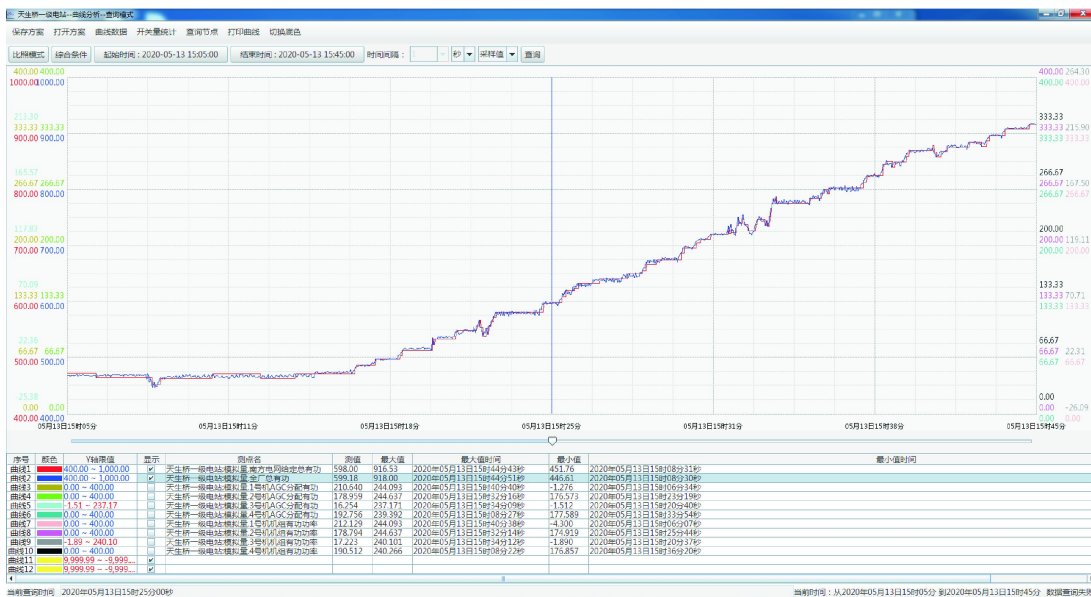


图4 全厂实发总有功跟踪调度设定总有功,偏差很小图

当然,天一电厂 AGC 控制策略的优化,不可能解决机组振动区较宽的“先天不足”。这需要水轮机及相应部件改造才能彻底改善。AGC 控制策略的优化是结合电网和电厂的实际需求,随着技术的进步、经验的积累而逐步完善的一个过程。希望此次 AGC 控制策略改进过程的分析梳理,能够为水电同行提供经验借鉴。

参考文献:

[1]单鹏珠,石冰,刘永华. 天生桥一级水电站 AGC 振动区处理策略[J]. 水电自动化与大坝监测, 2010, 34(3): 5-7  
 [2]朱华,李丽. 构皮滩水电站一、二次调频控制策略[J]. 变频器世界, 2011(4): 109-111  
 [3]郝秀峰,李丽,朱华. 小湾水电站高精度自动发电控制策略的实现[J]. 水电自动化与大坝监测, 2013, 37(1):



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.009

# 基于机舱传递函数的风机性能评估

杨明明

(华润电力技术研究院,广东 深圳 518002)

**摘要:**根据风电场 SCADA 系统 10 min 平均风速及平均功率,利用机舱传递函数(NTF)和 Bin 法计算出全场各机组运行功率曲线,通过功率曲线与保证功率曲线的保证率  $K$  值对各机组的性能进行评估。某风力发电场风机性能评估结果表明仍有 32% 风电机组的  $K$  值低于承诺值 95%, 偏离度最大的风电机组保证率  $K$  值仅为 80%。通过对异常风电机组最大风能追踪区、恒转速区、恒功率区三种运行工况下风速、桨距角和发电机转速分析发现,部分工况区桨距角未达到最优状态,经常出现提前变桨动作,偏离了最佳叶尖速比,从而对风电机组发电性能有较大影响,异常风电机组的发电性能存在进一步优化提升的空间,对改善发电场发电效益具有重要意义。

**关键词:**机舱传递函数; 风机性能; 保证率; 功率曲线; 运行工况

中图分类号:TK29 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)07-0037-04

## Performance Evaluation of Wind Turbine Units based on Nacelle Transfer Function

YANG Mingming

(China Resources Power Technology Research Institute, Shenzhen 518002, China)

**Abstract:** Based on the 10 min average wind speed and average power data from the supervisory control and data acquisition (SCADA) system in a wind farm, the power curve of each wind turbine can be calculated using the nacelle transfer function (NTF) and the Bin Method. Then, the performance of each wind turbine can be evaluated by the guarantee rate  $K$  of the actual power curve and the guaranteed power curve. The evaluation results of a wind farm show that the guarantee rates of 32% of the wind turbines are lower than the guaranteed rate of 95%. The  $K$  value of the wind turbine with the lowest guarantee rate is only 80%. Analysis on the wind speed, pitch angle and generator speed under the maximum wind energy tracing condition, constant rotation speed condition and constant power condition of those abnormal operating wind turbines shows that the pitch angle in certain operating conditions is not in its optimal state, and the pitch action often occurs too early resulting in the deviation from the optimal tip speed ratio, which have great impacts on the power generation performance of wind turbines. Thus, further optimization and improvement of the power generation performance of those abnormal operating wind turbines are still possible. The results are of great significance for the efficiency improvement of wind farms.

**Key words:** nacelle transfer function; wind turbine performance; guarantee rate; power curve; operating condition

中国风电行业迅猛发展,截止至 2019 年 6 月,全国累计并网装机容量达到 1.93 亿 kW。从 2019 年 6 月全国电力装机来看,火力发电占比 62.8%,水力发电占比 16.8%,风力发电占比 10.5%,风电成为中国的第三大能源来源,其对于中国的能源结构改善、能源安全、绿色发展的意义重大。因此,针对已经投运风电

场的发电性能评估、技术改造、性能优化等相关工作的意义凸显,更加值得关注<sup>[1-2]</sup>。

风力发电机组功率曲线是风电机组运行效益优劣的决定性因素,是风电机组的基本性能评估的重要指标<sup>[3]</sup>。目前行业内通过单台机组的功率曲线测试来评估全场风电机组是否达到设计值的方法无法全面评

收稿日期:2019-12-28

作者简介:杨明明,男,工程师,风资源评估分析师,主要从事新能源发电技术方面的研究。

估全场机组性能,气象和环境条件以及风电场中的排布均对机组性能有着较大影响<sup>[4]</sup>。本研究旨在通过机舱传递函数(NTF)<sup>[5]</sup>,结合各风电机组 SCADA 系统的运行数据,高效准确地对全场机组运行功率曲线进行评估,并通过保证率  $K$  值来评估机组的发电性能,并对异常风电机组提出相关优化方案或建议,这对于提高机组效能,改善发电场发电效益具有重要意义<sup>[6]</sup>。

## 1 分析方法与数据来源

### 1.1 机舱风速传递函数

根据《风力发电机组基于机舱风速计法的功率特性测试》GB/T 33225-2016<sup>[7]</sup>,机舱传递函数(NTF)旨在利用机舱前的测风塔或者激光雷达测风数据与机舱风速的相关性进行函数拟合,通过传递函数进行风速修正。

将同时段的机舱前测风数据和机舱风速数据按扇区进行筛选,剔除受障碍物影响扇区及无效数据后,再按 Bin 法进行分区处理,分区分段计算机舱传递函数,计算公式如下:

$$V_{\text{free}} = \frac{V_{\text{free},i+1} - V_{\text{free},i}}{V_{\text{nacelle},i+1} - V_{\text{nacelle},i}} \times (V_{\text{nacelle}} - V_{\text{nacelle},i}) + V_{\text{free},i}$$

式中: $V_{\text{nacelle},i}$ 、 $V_{\text{nacelle},i+1}$ 为区间  $i$  和区间  $i+1$  中机舱风速的区间平均值; $V_{\text{free},i}$ 、 $V_{\text{free},i+1}$ 为区间  $i$  和区间  $i+1$  中机舱前测风仪器风速的区间平均值; $V_{\text{nacelle}}$ 为机舱风速实测值; $V_{\text{free}}$ 为采用实测机舱风速和机舱前实测风速估算并针对地形引起的气流畸变修正后的自由流风速。

### 1.2 监测数据

某风场 25 台 WTG2000-104 机组 2018 年 11 月至 2019 年 10 月 SCADA 系统的 10 min 平均风速和功率以及机组参数。

激光雷达 2019-04-20 日-2019-07-14 日 80 m 高 10 min 平均风速,风向。

## 2 分析与计算

### 2.1 机舱函数拟合

某平原风电场共有 25 台额定功率 2 000 kW,风轮直径为 104 m 的 WTG2000-104 风电机组,D34(海拔 40 m)机位西南侧 250 m 处布置激光雷达 1 号(海拔 40 m)进行传递函数推导,机位与雷达相对位置如图 1 所示。

根据 GB/T 33225-2016 对数据进行处理,对各扇

区进行自我一致性检验,从图 2 中可以看出干扰扇区  $[0^\circ, 100^\circ]$  和  $[300^\circ, 350^\circ]$  受障碍物影响,激光雷达与机舱风速的比值出现大幅波动,对以上扇区数据予以剔除,对剔除后数据采用 Bin 法计算各风速段的均值绘制机舱传递函数,机舱传递函数曲线见图 3。



图1 激光雷达与风机位置示意图

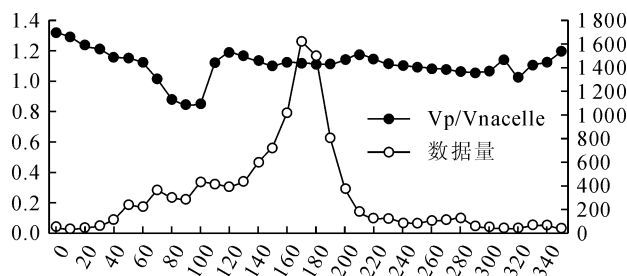


图2 自我一致性核查图

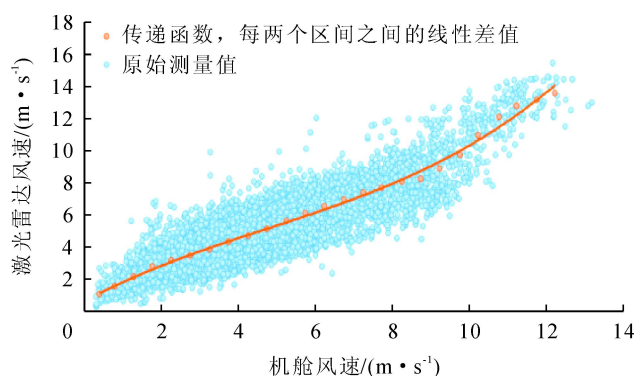


图3 机舱传递函数图

### 2.2 风机性能评估

对收集到 25 台风电机组 2018 年 11 月-2019 年 10 月的 10 min 平均风速和功率进行数据筛选,从图 4 可以看出,风电场采集到的数据中存在大量异常数据点。导致数据异常的原因有计划外停机、弃风限电、风速传感器失灵、通信设备故障、电磁干扰、风机脱网、极端天气情况、风机叶片污垢或受损等因素。这部分点

对 Bin 法有较大影响,为增加分析结果的可靠性,对上述点位进行剔除<sup>[8-9]</sup>,剔除后的功率散点图如图 5。

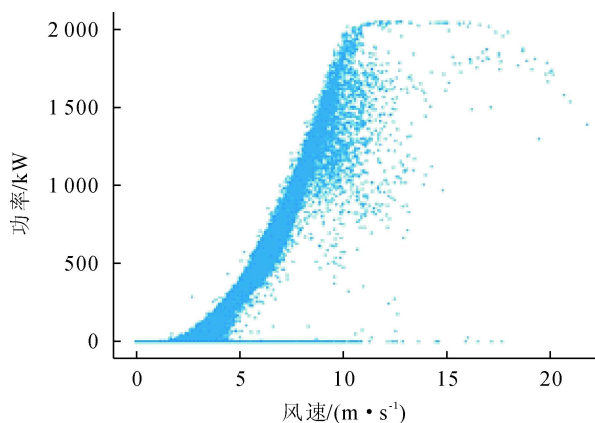


图 4 数据筛选前的功率曲线散点图

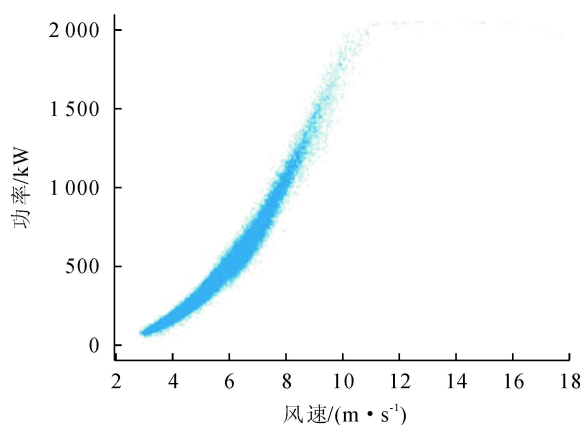


图 5 数据筛选后的功率曲线散点图

利用机舱传递函数对机舱风速进行修正,并根据 GB/T 33225 - 2016 标准对修正后风速与功率按 Bin 散点进行功率曲线计算,并对其进行绘制,结果如图 6。

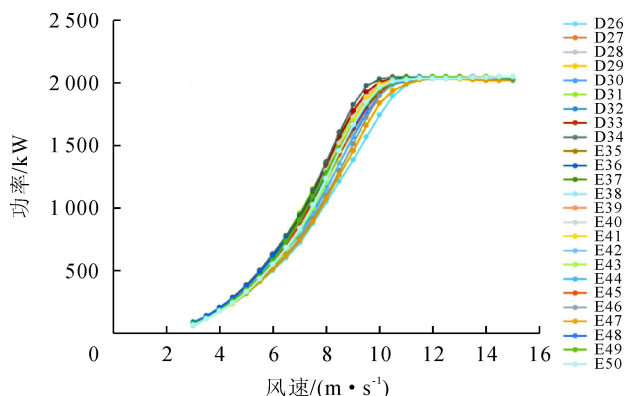


图 6 风电各机位运行功率曲线图

通过计算各机型功率曲线的实际保证率评估机组是否达到设计性能。各机组的实际保证率  $K^{[10]}$  为场内测风塔风频和运行功率曲线所计算年发电量与场内测风塔风频和承诺功率曲线所计算发电量的比值。场内测风塔风频分布见图 7,对各发电机组的  $K$  值进行分布图绘制,成果如图 8。

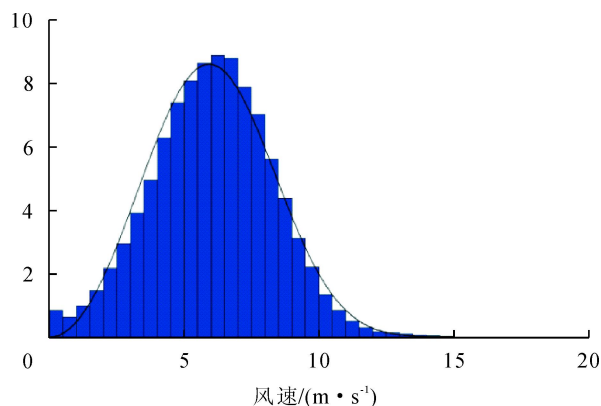


图 7 测风塔风频分布图

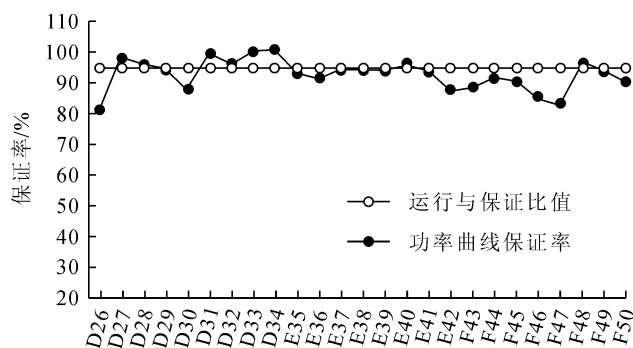


图 8 运行机组  $K$  值分布图

$K$  值越大,表明机组发电性能越好。当  $K$  值低于 95% (厂家承诺值),即机组未达标,需重点考虑其性能优化,以提高风场收益。从图 8 中可以看出 D26、D30、E42、F43、F45、F46、F47 和 F50 的  $K$  值低于 95% 的保证值,其中 D26、F46 和 F47 偏离幅度较大,最小  $K$  值仅 80%。

### 2.3 影响风机性能因素分析

针对 D26、F46 和 F47 机组运行功率曲线与保证功率曲线之间出现较大偏差,进一步对其运行工况进行分析。风力发电机组在不同的运行工况下,为追寻最佳性能,桨距角和转速应遵循相应控制策略(见图 9)。风力发电机组运行一般存在 5 种工况,即启动

区、最大风能追踪区、恒转速区、恒功率区、停机区<sup>[11-12]</sup>。风机在最大风能追踪区、恒转速区、恒功率区的控制策略如下。

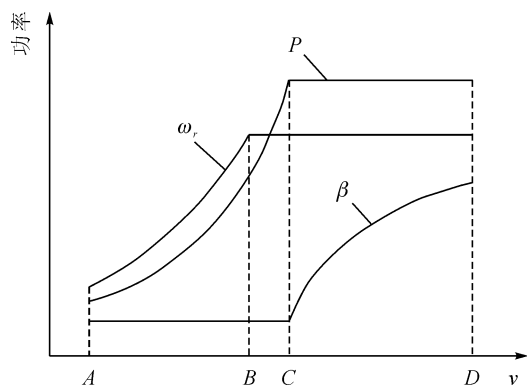


图9 运行工况桨距角与转速的变化曲线图

1)最大风能追踪区。风速处于切入风速以上,但发电机未达到额定转速。该区域内实行最大风能追踪控制的变速运行,此风速区间,桨距角 $=0^{\circ}$ 。

2)恒转速区。发电机已达到额定转速,但风速未达到额定值。此时输出功率继续上升,通过转速控制,使风力机组处于恒转速运行状态,但不调节桨距角,桨距角 $=0^{\circ}$ 。

3)恒功率区。风速达到额定风速。随着风速的增大,风力机输出功率不断增大,此时,需在转速控制的基础上增加功率控制,调节桨距角,控制风力机对风能的吸收,使输出功率不超过额定值。此区域风电机处于恒转速、恒功率运行状态, $0^{\circ} < \text{桨距角} < 90^{\circ}$ 。

从图10~图12可以看出D26、F46和F47机组在各运行工况区控制策略表现不佳,具体如下:①3~8 m/s最大风能追踪区,D26、F46和F47机组桨距角大部分时段保持在 $5^{\circ}$ 以下,但当风速处于3~5 m/s低风速段时,桨距角出现大量离散点,部分时段桨距角达到 $20^{\circ}$ ,风机出现频繁的变桨动作,机组无法获得最佳的风能利用系数 $C_p$ ,主要原因在于机组的变桨控制策略无法应对随机风速波动对变桨控制的影响,波动较大的低风速段无法实现最大风能的捕获。②8~10 m/s恒转速区,发电机组处于恒转速,机组风速尚未达到额定风速,桨距角呈现变大的趋势,变桨系统的过早启动,导致风机无法保持最佳叶尖速比,这也是影响机组性能的重要因素<sup>[13-15]</sup>。

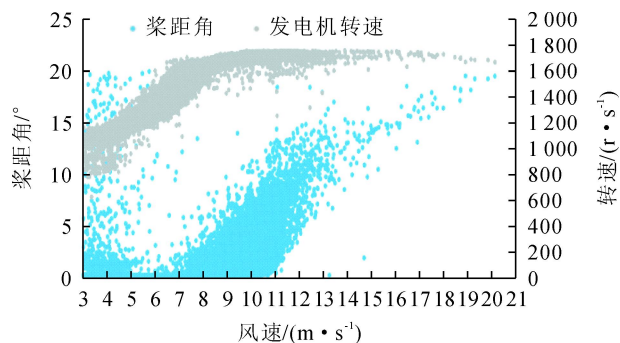


图10 D26 机组风速与桨距角、转速关系图

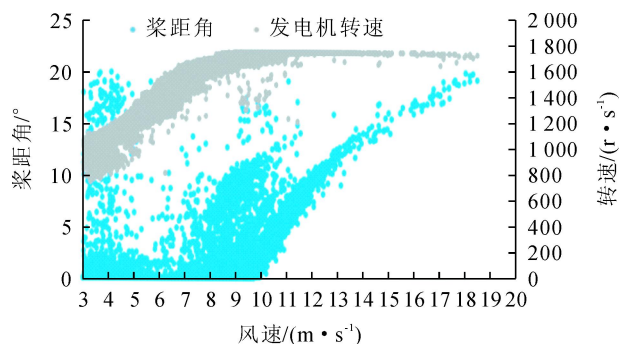


图11 F46 机组风速与桨距角、转速关系图

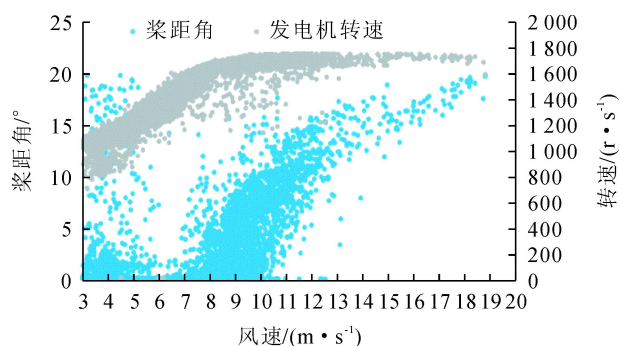


图12 F47 机组风速与桨距角、转速关系图

### 3 结语

风电机组功率曲线是评估风电机组性能的重要指标,决定了风场的效益。通过机舱传递函数(NTF)能高效计算风电场所有机组的功率曲线,根据运行功率曲线计算实际保证率 $K$ 值来判断异常风电机组。本风电场68%的风电机组保证率 $K$ 值达到厂家承诺的保证率(95%),32%风电机组的 $K$ 值低于承诺值。通过对异常机组的运行工况分析发现其变桨策略有待优化,经常出现提前变桨动作,偏离了最佳叶尖速比,降低了机组性能。

(下转第48页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.010

# 地下电站岩锚梁裂缝成因分析研究

朱浩, 贺明武, 张钊

(中国三峡建设管理有限公司, 四川 成都 610031)

**摘要:** 岩锚梁的结构安全对水电站地下厂房安全稳定运行至关重要。从混凝土配合比与施工温度、爆破震动、围岩变形、结构分缝等方面, 对 A 水电站左岸主厂房岩锚梁裂缝产生的原因进行了系统分析研究。岩锚梁裂缝原因复杂多样, 其与围岩差异变形、伸缩缝设置的关联性较强。为减少裂缝产生, 除防止围岩出现较大变形和不均匀变形, 还应根据地地质条件合理设置伸缩缝。

**关键词:** 岩锚梁; 裂缝; 成因分析

中图分类号: TV698.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)07-0041-08

## Analysis of the Causes of Cracks in Rock Anchor Beam in Underground Powerhouse

ZHU Hao, HE Mingwu, ZHANG Zhao

(China Three Gorges Construction Management Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The structural safety of rock anchor beam is of great importance to the safe and stable operation of underground powerhouse in hydropower station. A comprehensive analysis is carried out to determine the causes of cracks found in the rock anchor beams in a hydropower station from the aspects of the mixture ratio and construction temperature of concrete, blasting vibration, surrounding rock deformation, structure joints, and so on. It is found that the cracks in rock anchor beams are caused by various and complex factors. The influences of the differential deformation of surrounding rock and the expansion joint arrangement are relatively greater. Thus, in order to reduce the cracks, not only large and differential deformation of surrounding rock should be avoided, but also expansion joints should be arranged reasonably according to geological conditions.

**Key words:** rock anchor beam; crack; cause analysis

岩锚梁是水电站地下厂房的一种特殊结构形式, 它通过注浆锚杆将钢筋混凝土梁固定在岩壁上, 梁体承受的全部荷载通过锚杆和混凝土与岩台的接触面传递给围岩。地下洞室采用这种承重结构, 不仅可以缩小厂房跨度, 经济社会效益巨大, 而且有利于围岩稳定, 可以提前安装桥机, 加快厂房下部开挖, 方便混凝土浇筑及发电机组安装。然而, 由于岩锚梁成型较早, 且要承担较大的吊车荷载, 在后续的洞室爆破开挖形成的应力集中可能会导致岩锚梁附近围岩产生大变形及开裂, 进而使得附着其上的岩锚梁产生裂缝。

A 水电站左岸主厂房岩锚梁于 2014-11-19 日浇筑完成。2015 年 1 月至 2016 年 10 月份多次普查发

现, 岩锚梁共出现横向裂缝 45 条, 纵向裂缝 32 条。尽管岩锚梁出现裂缝非常正常, 几乎所有的地下电站如三峡、溪洛渡、向家坝、猴子岩、构皮滩等的岩锚梁都或多或少出现严重程度不一的裂缝。但像 A 水电站这样, 在主厂房整体变形不大的情况下, 岩锚梁仍出现多条裂缝, 实属罕见。因此有必要对岩锚梁的裂缝产生原因进行分析研究, 为同类工程提供借鉴参考。

## 1 工程概况

### 1.1 主厂房概况

A 水电站左岸主厂房位于峡谷岸坡内, 主厂房外

收稿日期: 2019-12-20

作者简介: 朱浩, 男, 工程师, 主要从事水利水电工程质量管理工

侧端墙距岸边 90 ~ 100 m,埋深 160 ~ 540 m。主厂房长 333 m,为圆拱直墙型,顶拱中心高程 855.00 m,机窝底板高程 765.20 m,高 89.80 m。岩锚梁台面高程

839.70 m,岩锚梁以上跨度 32.50 m,以下跨度 30.50 m,高度居世界第一,跨度居世界第四。主厂房共分 11 层进行开挖(见图 1)。

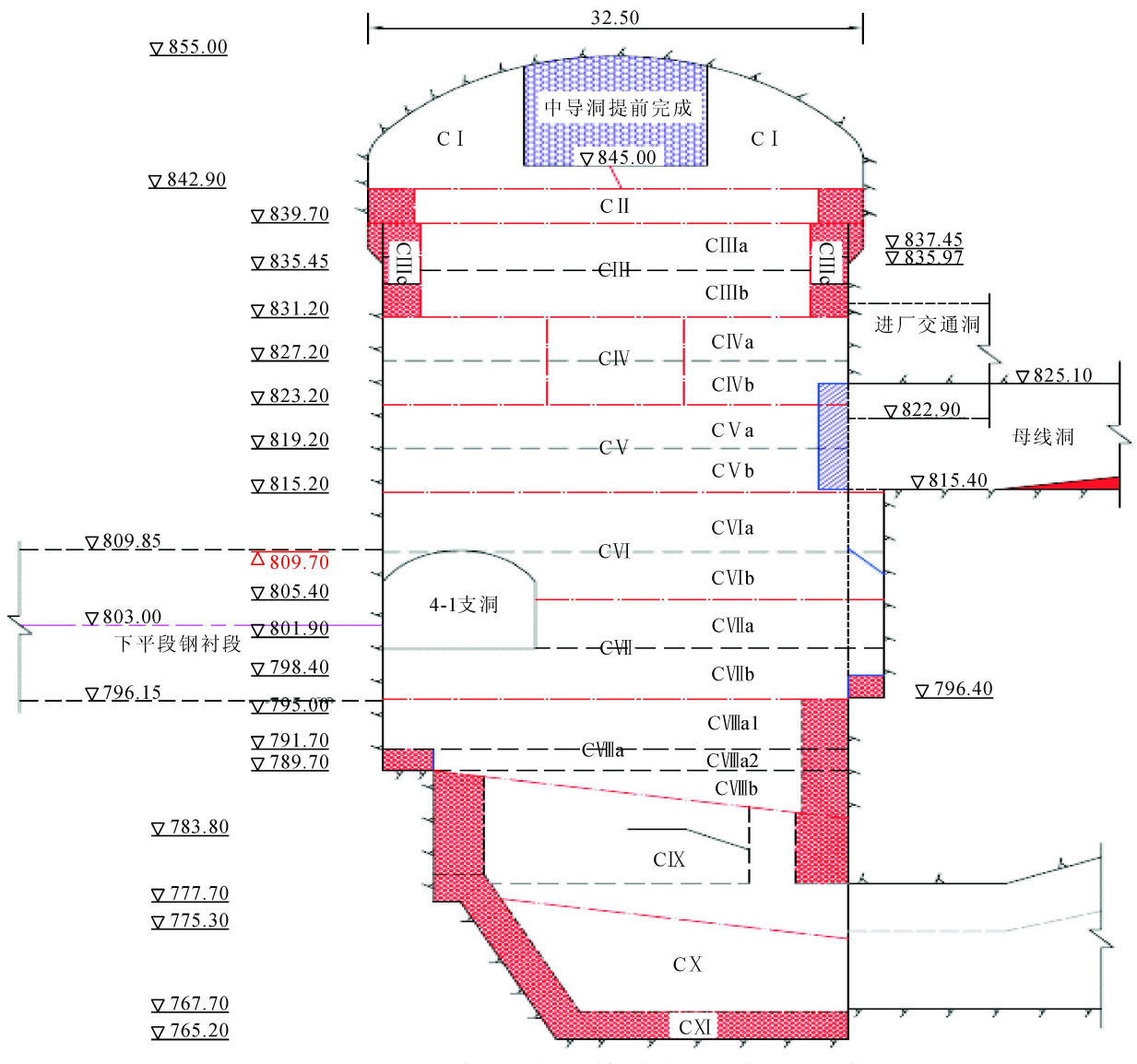


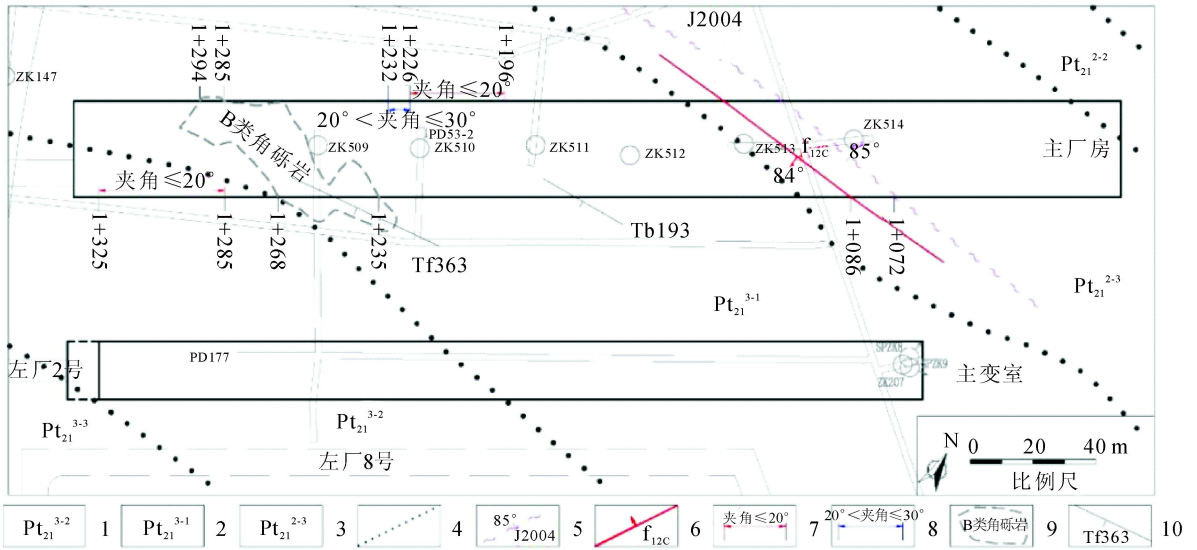
图 1 主厂房分层分区开挖图

## 1.2 岩锚梁地质概况

主厂房围岩从山内往山外依次为落雪组第二段第三亚段( $Pt_{21}^{2-3}$ )、第三段第一亚段( $Pt_{21}^{3-1}$ )、少量第三段第二亚段( $Pt_{21}^{3-2}$ )地层。其中  $Pt_{21}^{2-3}$  为互层夹中厚层大理岩化白云岩,位于主厂房山里侧,约占主厂房的 1/3; $Pt_{21}^{3-1}$  以中厚层夹厚层及少量互层灰岩及大理岩为主,局部为厚层白云岩、B 类角砾岩; $Pt_{21}^{3-2}$  以中厚、厚层白云岩为主。

主厂房岩锚梁高程 839.7 ~ 836.0 m 附近开挖揭

露地层岩性为大部分  $Pt_{21}^{3-1}$  中厚夹厚层及少量互层灰岩、大理岩、局部 B 类角砾岩,少部分  $Pt_{21}^{2-3}$  互层夹中厚层局部薄层大理岩化白云岩,少量  $Pt_{21}^{3-2}$  中厚夹厚层白云岩及灰岩。岩层走向与厂房轴线夹角以  $30^\circ \sim 40^\circ$  为主,局部夹角小于  $30^\circ$  (4 号机上游、6 号机与副安装场下游),山内侧局部夹角  $40^\circ \sim 50^\circ$ ,见图 2。岩锚梁围岩多为微新岩体,仅 B 类角砾岩为弱风化~微风化。岩溶不发育,未见溶洞,干燥。最大水平主应力为低~中等地应力水平。



1.落雪组第三段第二亚段; 2.落雪组第三段第一亚段; 3.落雪组第二段第三亚段; 4.地层界线; 5.层间剪切带及编号; 6.断层及编号; 7.岩层走向与洞轴线夹角 $\geq 20^\circ$ 洞段; 8.岩层走向与洞轴线夹角 $20^\circ \sim 30^\circ$ 洞段; 9.B类角砾岩; 10.小夹角长大构造结构面。

图2 主厂房岩锚梁837 m高程工程地质平切图

### 1.3 岩锚梁设计方案

岩锚梁位于主厂房上下游边墙,上下游长度均为333 m。岩锚梁为钢筋混凝土牛腿结构,牛腿底部高程835.97 m,顶面高程839.60 m,高3.63 m,梁面宽2.20 m。梁体布置有两排受拉锚杆和一排受压锚杆,其中受拉锚杆为张拉力为200 kN的 $L=12\text{ m}$ , $\Phi 32$ 的精轧螺纹钢,间距为60 cm,受压锚杆为 $L=9\text{ m}$ , $\Phi 32$ 的普通钢筋,间距为75 cm(见图3)。

### 1.4 岩锚梁裂缝特性

2015年1月至2016年10月份多次普查发现,岩锚梁共出现横向裂缝45条,裂缝最大长度265 cm,裂缝最大宽度0.3 mm;纵向裂缝32条(即32个部位与竖向基岩拉开),裂开处最长212 cm,最宽22 mm。裂缝情况详见图4~图7。

## 2 岩锚梁裂缝成因分析<sup>[1-4]</sup>

岩锚梁产生裂缝的原因是多方面的,从混凝土自身因素来看,有混凝土抗拉强度低和施工中温度应力大等方面的影响;从外部因素来看,有基础围岩的不均匀变形、锚固系统约束、下层洞室围岩的爆破开挖以及爆破飞石对已浇梁体的击损等方面的影响。根据收集的资料,从以下几方面对岩锚梁产生裂缝的原因进行系统分析研究,具体如下。

### 2.1 混凝土配合比

岩锚梁混凝土设计指标为 $C_{30}F_{100}$ ,28 d 极限拉伸值 $\geq 85 \times 10^{-6}$ 。岩锚梁的配合比经过施工单位、监理单位及第三方复核,均符合设计技术要求。施工过程中,监理及第三方对岩锚梁混凝土性能进行了检测,岩锚梁混凝土劈裂抗拉强度在2.53~3.38 MPa,平均值2.99 MPa。岩锚梁混凝土配合比的设计指标与同类工程相似,施工配合比合适,混凝土抗拉性能良好。

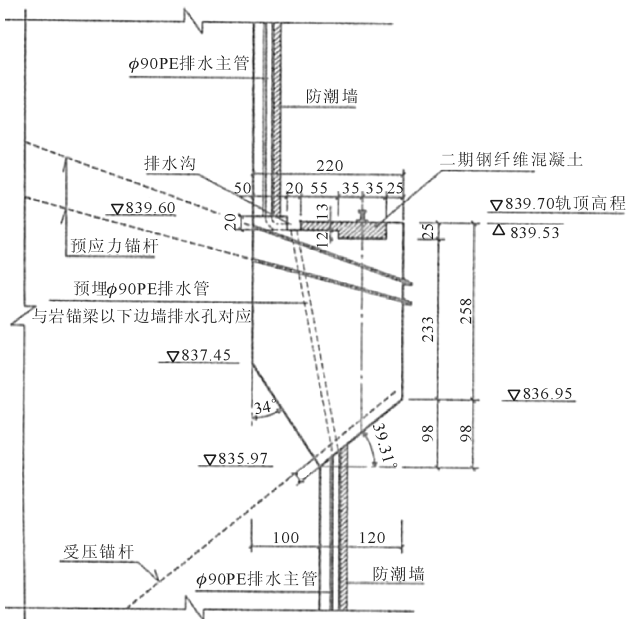


图3 岩锚梁结构型式和支护锚杆示意图

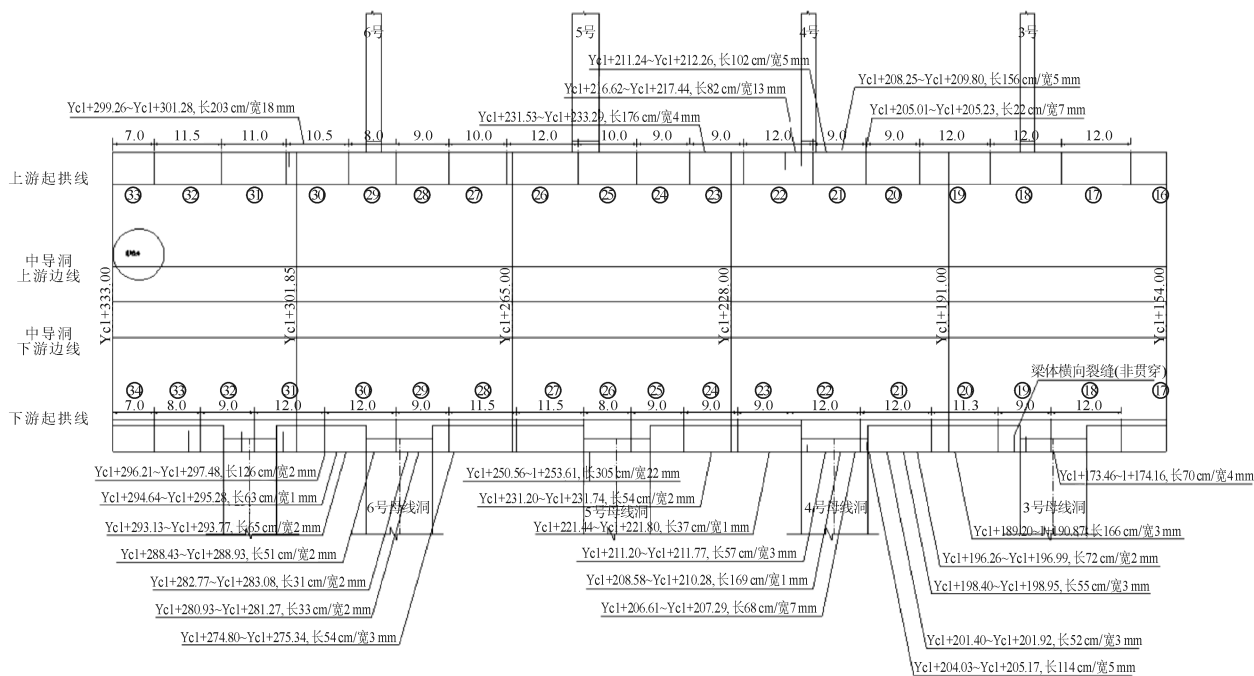


图4 岩锚梁裂缝分布图(左半段)

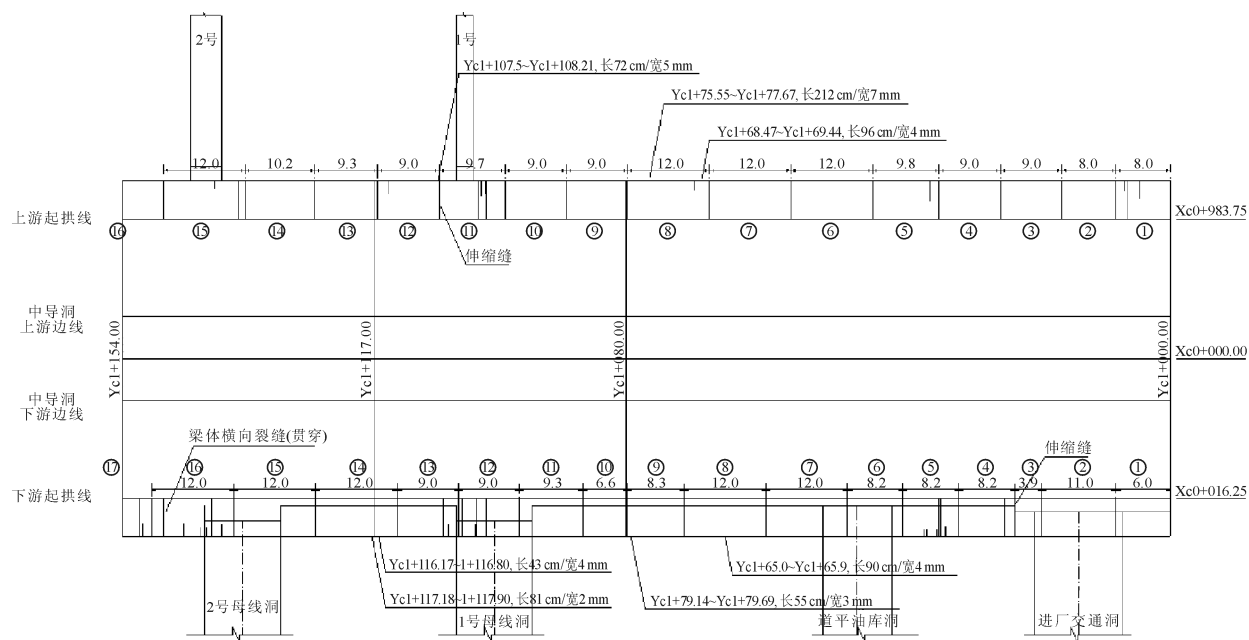


图5 岩锚梁裂缝分布图(右半段)



图6 岩锚梁横向裂缝影像图



图7 岩锚梁纵向裂缝影像图



## 2.2 混凝土内部温度

岩锚梁浇筑时段为 2014-09-10 日~2014-11-19 日,主要采用吊罐、布料机及混凝土泵三种手段入仓,底部两层(每层厚度约 0.5 m)浇筑坍落度 16~18 cm 混凝土,其余均浇筑坍落度 12~14 cm 混凝土。岩锚梁混凝土每仓铺设一组冷却水管,在混凝土浇筑时即通 12~14℃ 制冷水,通水时间一般为 7~12 d。岩锚梁上下游梁体共埋设 17 支温度计观测混凝土内部温度。

经统计分析,15 个布置温度计的混凝土浇筑仓,超温的有 13 仓,其中超温且有裂缝的 5 仓,占比不到 40%;未超温的有 2 仓,1 仓有裂缝,1 仓无裂缝。上游岩锚梁第 5 段超温情况最严重,最高温度达 50.82℃,超设计允许最高温度 10.82℃,但仅出现 1 条非贯穿性裂缝,而上游岩锚梁第 1、11、15 段,仅超设计允许最高温度 6.4℃、3.65℃、0.31℃,却出现 4 条贯穿性裂缝、5 条非贯穿性裂缝。由此可见,岩锚梁内部温度超温及超温严重程度与裂缝产生及其严重程度没有必然联系。

## 2.3 爆破震动

主厂房岩锚梁以下部位开挖时,对岩锚梁进行了 8 次爆破质点振速监测,共 30 个测点。其中超标部位 4 个,超标测点数 11 个,超标部位及对应的裂缝情况见表 1。

通过统计爆破部位 10 m 范围内的岩锚梁裂缝的情况,质点振速超标部位(如 Yc1+051 m~Yc1+060 m、Yc1+085 m~Yc1+095 m),出现横向和纵向裂缝;质点振速未超标部位(如 Yc1+127 m~Yc1+137 m、Yc1+200 m~Yc1+210 m、Yc1+290.0 m~Yc1+298.0 m),也出现横向和纵向裂缝,且数量较超标部位更多。因此,爆破质点振速是否超标与岩锚梁裂缝产生不存在必然联系(见图 8)。

## 2.4 围岩变形

### 2.4.1 围岩变形对横向裂缝的影响

2016 年 6 月,主厂房开挖完成。根据多点位移计监测数据,上游岩锚梁部位围岩累计变形在 0.65~29.65 mm,最小值出现在 1 号机岩锚梁(仪器编号 M14Z01),最大值出现在 2 号机岩锚梁(仪器编号 M04Z02)。下游岩锚梁部位围岩累计变形在 6.58~30.77 mm,最小值出现在 3 号机岩锚梁(仪器编号 M16Z03),最大值出现在 4 号机岩锚梁(仪器编号 M05Z04)。岩锚梁部位岩体差异变形显著(见图 9~图 10),岩锚梁产生多条横向裂缝与其所在部位岩体

表 1 爆破质点振速超标与裂缝情况统计表

爆破部位编号	爆破部位	质点振速超标点数/个	10 m 范围内裂缝条数/条	
			横向裂缝	纵向裂缝
B1	主厂房(Yc1+051~Yc1+060)	4	1	1
B2	主厂房(Yc1+085~Yc1+095)	1	4	1
B3	主厂房(Yc1+116~Yc1+126)	3	0	2
B4	主厂房(Yc1+127~Yc1+137)	0	5	0
B5	主厂房(Yc1+200~Yc1+210)	0	2	9
B6	主厂房 1 号补气洞(Yc1+102~Yc1+105)	0	4	1
B7	主厂房(Yc1+290.0~Yc1+298.0)	0	1	6
B8	主厂房(Yc1+310.0~Yc1+325.0)	3	0	1

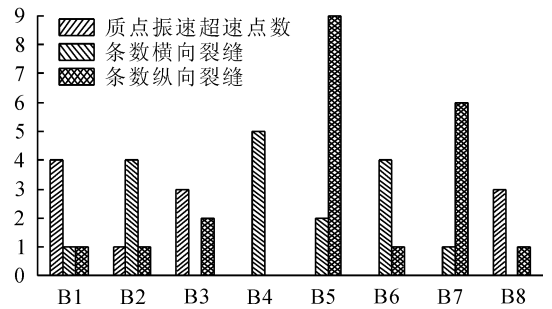


图 8 爆破质点振速超标情况与裂缝情况对比图

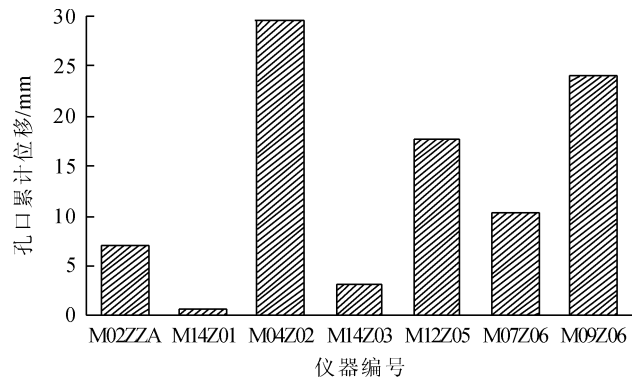


图 9 上游岩锚梁多点位移计累计位移图

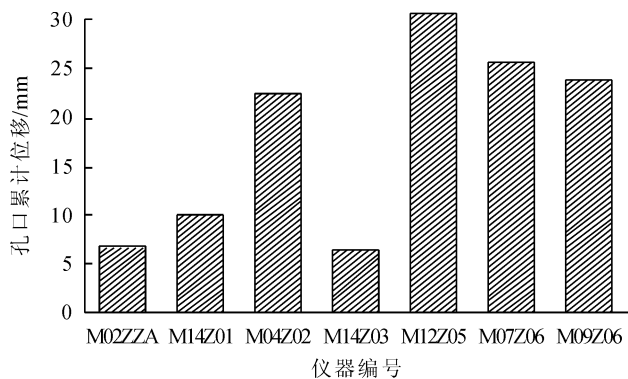


图10 下游岩锚梁多点位移计累计位移图

的差异变形有关联性。

#### 2.4.2 围岩变形对纵向裂缝的影响

统计分析岩锚梁测缝计与多点位移计、锚索测力计变化过程线可知,测缝计开合度发生较明显变化时,多点位移计孔口位移、锚索测力计锚固力也发生明显变化,如,2015-01-01日至1月8日,4号机上游岩锚梁围岩变形7.10 mm,开合度分别增加0.27 mm和0.22 mm;2015-08-27日至9月3日,4号机下游岩锚梁围岩变形4.64 mm,开合度分别增加0.20 mm和0.67 mm;2015-05-13日至5月22日,5号机下游岩锚梁围岩变形2.95 mm,开合度增加0.48 mm。可见,岩锚梁纵向裂缝与围岩变形有明显关联性(见图11~图15)。

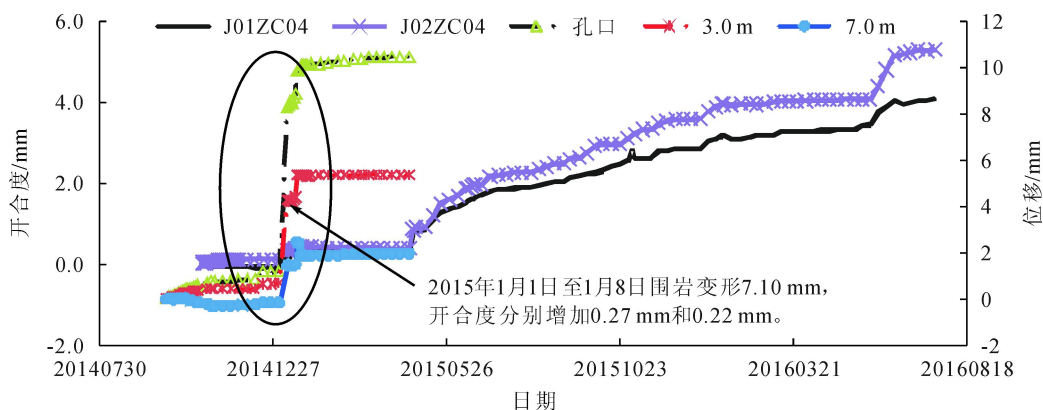


图11 左岸4号机上游岩锚梁测缝计与多点位移计(M04Z04)变化过程线对照图

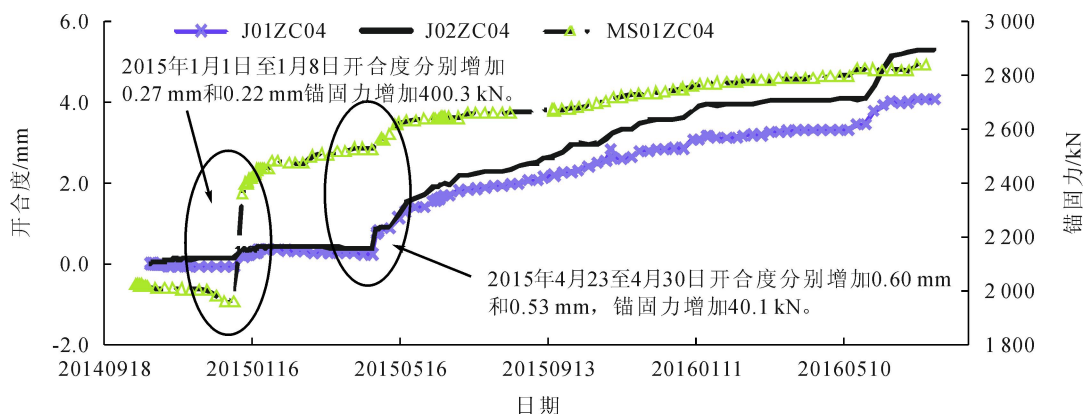


图12 左岸4号机上游岩锚梁测缝计与锚索测力计变化过程线对照图

## 2.5 结构分缝

1) 强约束区。上游岩锚梁两端头及下游岩锚梁靠江侧端头,均处于强约束区。上游岩锚梁两端头均未发现地质缺陷,下游岩锚梁靠江侧端头附近 Yc1 + 302 m ~ 325 m, 高程 843 ~ 765 m 范围为小夹角

( $\leq 20^\circ$ ) 区域。上游岩锚梁靠江侧端头 25 m 范围内分别在桩号 Yc1 + 326.00 m 及 Yc1 + 314.50 m 处设置了 2 道伸缩缝,靠江侧端头 25 m 范围内未发现裂缝;而靠山侧端头仅在桩号 Yc1 + 025.00 m 处设置了伸缩缝,其 8 m 范围内出现了 3 条裂缝,其中 1 条为贯

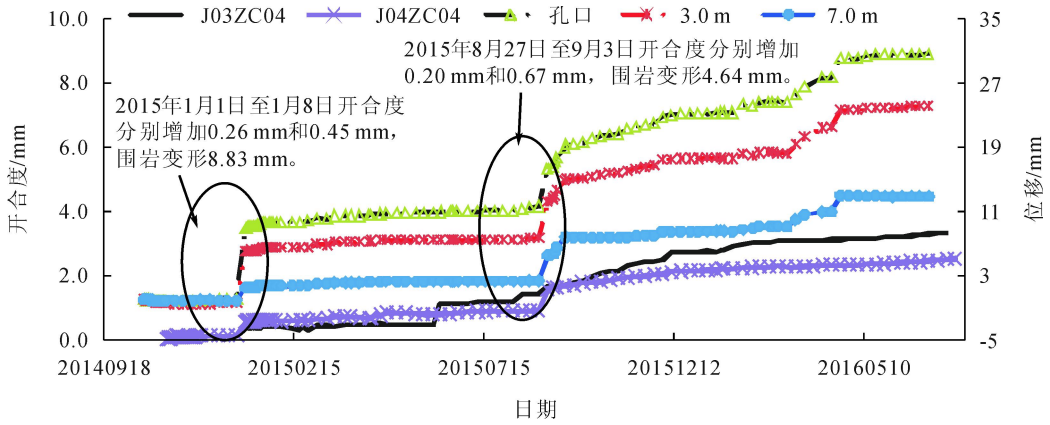


图 13 左岸 4 号机下游岩锚梁测缝计与多点位移计(M05Z04)变化过程线对照图

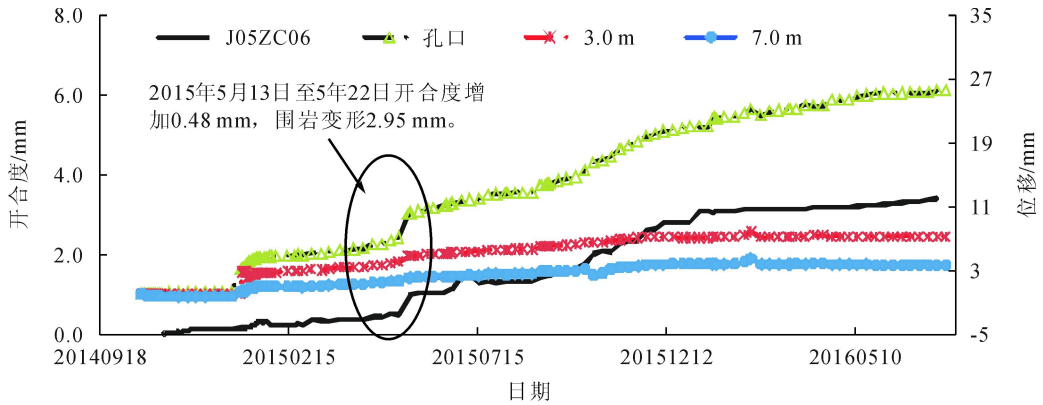


图 14 左岸 5 号机下游岩锚梁测缝计与多点位移计(M13Z05)变化过程线对照图

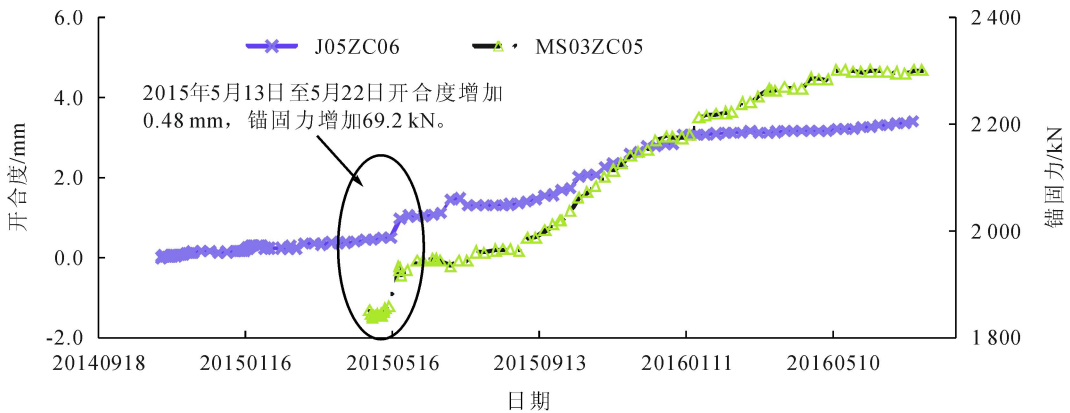


图 15 左岸 5 号机下游岩锚梁测缝计与锚索测力计变化过程线对照图

穿性裂缝。下游岩锚梁靠江侧端头 25 m 范围内仅在桩号 Yc1 + 326.00 m 设置了伸缩缝,因其处于小夹角部位,且下部电缆廊道距岩锚梁仅 8 m,出现了 2 条非贯穿性裂缝。因此在强约束区,伸缩缝设置与岩锚梁裂缝有关联性。

2) 岩层性状变化区。Pt<sub>21</sub><sup>2-3</sup> 中厚层夹互层大理岩化白云岩与 Pt<sub>21</sub><sup>3-1</sup> 中厚层灰岩,在上游岩锚梁的分界

线位于桩号 Yc1 + 140.00 m 附近,该部位未设置伸缩缝,其附近产生了 1 条贯穿性横向裂缝;Pt<sub>21</sub><sup>2-3</sup> 中厚层夹互层大理岩化白云岩与 Pt<sub>21</sub><sup>3-1</sup> 中厚层灰岩,在下游岩锚梁的分界线位于桩号 Yc1 + 103.00 m 附近,该部位也未设置伸缩缝,其附近产生了 6 条横向裂缝,其中 4 条为贯穿性裂缝。Pt<sub>21</sub><sup>3-2</sup> 中厚~厚层白云岩、灰岩与 Pt<sub>21</sub><sup>3-1</sup> 中厚层灰岩,在下游岩锚梁的分界线位于桩号

Yc1 + 268.70 m 附近,距离最近的伸缩缝桩号为 Yc1 + 264.50 m,该处未出现横向裂缝。因此在岩层性状变化区,伸缩缝设置与岩锚梁裂缝有关联性。

3) B类角砾岩区。B类角砾岩位于上游岩锚梁 Yc1 + 285 m ~ 294 m、下游岩锚梁 Yc1 + 235 m ~ 268 m,上游岩锚梁对应部位设置了2条伸缩缝,下游岩锚梁对应部位设置了3条伸缩缝,上述部位均未出现横向裂缝。因此在B类角砾岩区,伸缩缝设置与岩锚梁裂缝有关联性。

4) 小夹角区。小夹角区上游岩锚梁对应部位设置了2条伸缩缝,分别在 Yc1 + 196 m、Yc1 + 226 m,但zf48块体范围 Yc1 + 213 m ~ 218 m 未设置伸缩缝,其附近出现3条非贯穿性裂缝。小夹角区下游岩锚梁对应部位设置了2条伸缩缝,分别在 Yc1 + 285 m、Yc1 + 326 m,但因上述2条伸缩缝距离太远(达41 m),加上该部位下部距离不到8 m处存在电缆廊道,出现了3条非贯穿性裂缝,桩号分别为 Yc1 + 304 m、Yc1 + 311 m、Yc1 + 320 m。因此,小夹角区,伸缩缝设置与岩锚梁裂缝有关联性。

(上接第40页)

#### 参考文献:

- [1] 王晓宇,丁同光,摆念宗,等. 风电机组风向仪测量误差分析与修正方法[J]. 分布式能源, 2019, 4(6): 57-62
- [2] 姜全越. 我国风电后市场运营探究[J]. 经贸实践, 2018(18): 204-205
- [3] 付立,刘晓光. 基于激光雷达测风仪的风电场风电机组性能评估研究[J]. 华电技术, 2017, 39(6): 14-16, 40
- [4] 刘昊. 大型风电机组综合性能评估方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009
- [5] 高峰,杨锡运,王伟,等. 基于测风塔测风数据的风电机组机舱风速修正[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(11): 2790-2797
- [6] 张泽龙. 大型风电机组功率曲线测试与评估方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2019
- [7] GB/T 33225-2016, 风力发电机组基于机舱风速计法的功率特性测试[S]
- [8] 沈小军,付雪姣,周冲成,等. 风电机组风速-功率异常运行数据特征及清洗方法[J]. 电工技术学报, 2018,

### 3 结 语

地下电站岩锚梁裂缝产生原因复杂多样,A水电站左岸主厂房岩锚梁裂缝的产生与围岩差异变形、伸缩缝设置有关联性。因此,为防止地下电站岩锚梁出现裂缝,一方面需防止围岩出现大变形和不均匀变形;另一方面需根据岩锚梁部位的地质条件及下部的洞室布置情况合理设置伸缩缝。

#### 参考文献:

- [1] 王佛凯,彭琦,汤荣,等. 地下厂房岩锚梁裂缝成因分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 2125-2129
- [2] 唐军峰,徐国元,唐雪梅. 地下厂房岩锚梁纵向裂缝成因分析及发展趋势[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(5): 1000-1009
- [3] 龚少红,邓瞻,张恩宝. 地下厂房岩锚梁裂缝成因分析及处理[J]. 山西建筑, 2011, 37(34): 67-68
- [4] 毛振凯,张西锋. 乌弄龙水电站工程地下厂房岩锚梁裂缝分析[J]. 陕西水利, 2018(4): 83-85
- [5] 王丰,饶宇. 地下厂房洞室群爆破对岩锚梁浇筑质量影响研究[J]. 人民长江, 2019, 50(z1): 312-316
- [6] 33(14): 3353-3361
- [9] Khoury E, Cazacliu B, Remond S. Control of effective water in recycled aggregate concrete using power curves of the mixer[J]. Materials Today Communications, 2019, 21
- [10] 袁红亮,胡义. 基于运行数据的风电机组功率曲线可靠性评估[J]. 西北水电, 2018(5): 80-83
- [11] 何明斐. 风机变桨距液压系统仿真及轮毂、塔筒的 ANSYS 有限元分析[D]. 沈阳: 东北大学, 2013
- [12] 李传斌,梁俊宇,赵明,等. 变桨距风力机在全风速段内的桨距角控制策略仿真研究[J]. 电机与控制应用, 2015(3): 56-60
- [13] 贾锋,李征,蔡旭. 提高大型风电机组恒转速段发电量的变桨策略[J]. 电工技术学报, 2017, 32(1): 58-68
- [14] 周志超,王成山,郭力,等. 变速变桨距风电机组的全风速限功率优化控制[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(8): 1837-1844
- [15] 张树鑫. 双馈风力发电机变桨与变速协调控制[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.011

# 基于轴流止回阀和空气罐的高扬程泵站水锤防护研究

黄昕珂<sup>1</sup>, 戴亮<sup>2,3</sup>, 廖志芳<sup>2,3</sup>, 王荣辉<sup>2,3</sup>, 张白云<sup>4</sup>, 胡曾昊<sup>4</sup>, 蒋劲<sup>4</sup>

(1. 长安大学, 陕西 西安 710018; 2. 天津市输水系统水锤阀门控制技术企业重点实验室, 天津 300051;  
3. 博纳斯威阀门股份有限公司, 天津 300051; 4. 武汉大学, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 高扬程短距离泵站在事故停泵时, 水泵会快速出现倒转, 一般的泵后阀门无法实现快速的关闭, 导致机组迅速倒流倒转, 而且管线中会出现负压甚至液柱分离, 伴随较大的升压。针对这种情况, 用特征线方法模拟水泵失电的过渡过程, 并用轴流止回阀、空气罐和空气阀对系统进行水锤防护, 效果非常显著, 机组倒转和管线正负压力都控制在较理想的范围内。

**关键词:** 轴流止回阀; 空气罐; 高扬程泵站; 水锤; 防护

中图分类号: TU991.39

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)07-0049-05

## Water Hammer Protection in High Lift Pumping Station with Axial Flow Check Valve and Air Tank

HUANG Xinke<sup>1</sup>, DAI Liang<sup>2,3</sup>, LIAO Zhifang<sup>2,3</sup>, WANG Ronghui<sup>2,3</sup>, ZHANG Baiyun<sup>4</sup>, HU Zenghao<sup>4</sup>, JIANG Jin<sup>4</sup>

(1. Chang'an University, Xi'an 710018, China;

2. Tianjin Enterprise Key Laboratory of Water Hammer Valve Control Technology for Water Supply System, Tianjin 300051, China;

3. Bensv Valve Stock Co., Ltd., Tianjin 300051, China; 4. Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** In case of an accident shutdown of a high lift and short distance pump station, the water pump will reverse rapidly, and the usual valve behind the pump cannot be closed quickly, which leads to the rapid reverse flow of the unit, and negative pressure and even liquid separation in the pipeline accompanied by large pressure rise. In this paper, the characteristic line method is adopted to simulate the transient process of the pump in case of power failure, and the axial flow check valve, air tank and air valve are used for the water hammer protection. Simulation results show that the protection performance is significant as the unit reverse and pipeline positive and negative pressures are all controlled in satisfactory ranges.

**Key words:** axial flow check valve; air tank; high lift pumping station; water hammer; protection

水锤现象经常出现在流体管道输送系统中, 是一种极其复杂的压力波动过程。由于流体运动的惯性、流体自身的压缩性以及管道弹性之间的相互作用, 当压力管道中的流体的流速因为某些原因发生突然改变的时候, 如阀门启闭, 工况突然切换等, 流体在惯性的作用下会维持原有的状态。水锤现象具有很大的破坏力, 过高或者过低的压力都会造成管段的破坏, 除此之外, 对于阀门、水泵、水轮机及相关的水利设备均会有所损坏。水锤现象在系统中是难以避免却又破坏力极

强, 在西部包括西南有大量的高扬程和超高扬程的泵站。因此, 对于其防护措施进行研究, 有其必要性与紧迫性。武汉大学研究了空气罐与空气阀的防护效果比较<sup>[1-3]</sup>, 河海大学<sup>[4]</sup>对空气罐与调压塔进行了水锤防护比较。虽然轴流止回阀应用了较长时间, 但是有关的论文相对较少, 兰州理工大学和西华大学对轴流止回阀的三维流场进行了研究<sup>[5-6]</sup>, 最近武汉大学研究团队应用轴流止回阀对高扬程泵站水锤进行了防护研究<sup>[7]</sup>。本文结合轴流止回阀和空气罐对高扬程短距

收稿日期: 2020-01-06

作者简介: 黄昕珂, 女, 本科在读, 研究方向: 能源应用工程。

离管道进行水锤防护研究。

## 1 数学模型

### 1.1 管道瞬变计算

管道特征网格中任一点  $i$  的  $H, Q$  可表示为

$$\text{沿 } C^+ : H_{pi} = H_{i-1} - B(Q_{pi} - Q_{i-1}) - RQ_{i-1}|Q_{i-1}| \quad (1)$$

$$\text{沿 } C^- : H_{pi} = H_{i+1} + B(Q_{pi} - Q_{i+1}) + RQ_{i+1}|Q_{i+1}| \quad (2)$$

令：

$$\left. \begin{aligned} C_p &= H_{i-1} - B(Q_{pi} - Q_{i-1}) - RQ_{i-1}|Q_{i-1}| \\ C_m &= H_{i+1} + B(Q_{pi} - Q_{i+1}) + RQ_{i+1}|Q_{i+1}| \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则有：

$$\left. \begin{aligned} C^+ : H_{pi} &= C_p - BQ_{pi} \\ C^- : H_{pi} &= C_m + BQ_{pi} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

或：

$$\left. \begin{aligned} H_{pi} &= (C_p + C_m)/2 \\ Q_{pi} &= (C_p - C_m)/(2B) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中：

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{a}{gA} \\ R &= \frac{f\Delta x}{2DAg} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

利用特征线法求解水锤问题时,初始条件下管路各点的  $H, Q(t=0)$  时刻是给定的,通过上面公式可以计算出  $t = \Delta t$  时刻管路中对应点的  $H, Q$ ,按照这种方法,直到完成规定的计算时长。

由 Suter 全特性曲线,水泵的瞬态扬程可表示为

$$H = hH_R = H_R(\alpha^2 + v^2)WH(\pi + \arctan v/\alpha) \quad (7)$$

$$H = H_N + H_f - Els \quad (8)$$

式中,  $H_N$  可由出水管道的相容性方程表示:

$$H_N = H_{p1} = C_M + BQ_{p1} \quad (9)$$

水泵的瞬态流量  $Q_{p1}$  为泵的无量纲流量  $v$  与额定流量之积:

$$Q_{p1} = Q_R v$$

停泵后,水泵机组转子由于惯性作用而减速旋转,其减速的快慢取决于机组转动部分的惯性矩及作用于泵的瞬态力矩。描述泵机组转矩与转速变化特性的方程是机组的惯性方程,它是水泵端边界条件的另一特性方程。可表示为

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i - \alpha &= \frac{\Delta t}{2k}\beta_i + \frac{\Delta t}{2k}(\alpha^2 + v^2) \\ [C_0 + C_1(\pi + \arctan v/\alpha)] \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

### 1.2 水泵及阀门

管线中泵的压力水头应满足如下条件:即在忽略进水短管损失条件下,任意瞬时泵的工作扬程  $H$  应等于阀出口压力水头  $H_N$  加上阀门的瞬态阻力损失  $H_f$  与进水池水位  $Els$  之差,即:

$$H = H_N + H_f - Els \quad (11)$$

式中,  $H_N$  可由出水管道的相容性方程表示:

$$H_N = H_{p1} = C_M + BQ_{p1} \quad (12)$$

水泵的瞬态流量  $Q_{p1}$  为泵的无量纲流量  $v$  与额定流量之积:

$$Q_{p1} = Q_R v \quad (13)$$

轴流止回阀是一个随动阀门,其动作取决于阀门前后的压差和自带的弹簧的状态,停泵后当流速降至额定流速的 0.8 倍开始关闭,接近零流速时阀门关闭。

阀门的压力水头损失可表示为

$$H_f = \frac{H_{f0}}{\tau^2} v |v| \quad (14)$$

式中:  $H_{f0}$  为阀全开、流量为  $Q_R$  时的压力水头损失;  $\tau$  为阀的无量纲开度;  $v$  为泵的无量纲流量。在计算中,阀在任意瞬时的行程开度可根据关阀程序线性插值确定,进而计算其相应的无量纲开度  $\tau$ 。

停泵后,水泵机组转子由于惯性作用而减速旋转,其减速的快慢取决于机组转动部分的惯性矩及作用于泵的瞬态力矩。描述泵机组转矩与转速变化特性的方程是机组的惯性方程,它是水泵端边界条件的另一特性方程。可表示为

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i - \alpha &= \frac{\Delta t}{2k}\beta_i + \frac{\Delta t}{2k}(\alpha^2 + v^2) \\ [C_0 + C_1(\pi + \arctan v/\alpha)] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

### 1.3 空气罐

空气罐是一种内部充有一定量压缩气体的压力缓冲装置。由于过渡过程时间相对较短,空气的压缩和膨胀过程可以视为绝热过程。设蓄能罐横截面积为  $A$ ,直径为  $D$ (圆柱形),高度为  $H$ ,液面高度为  $Z$ ,储气罐壁面摩擦系数为  $\lambda$ ,气体的绝热指数为  $\gamma$ ,气体的初始压力为  $P_0$ ,初始体积为  $V_0$ ,则蓄能罐的动量方程为

$$P - P_c = \rho_m g Z + \frac{Z \rho d Q}{A dt} + \frac{\lambda \rho_m Z}{2DA^2} Q |Q| \quad (16)$$

式中:  $P$  为空气罐进口压力;  $P_0$  为空气罐气体压力。

连续性方程为

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (17)$$

式中:  $Q_1$  是空气罐前管道流量;  $Q_2$  是空气罐后管道流

量; $Q_3$ 是流入蓄能罐的流量。液面高度变化和流量的关系为

$$A \frac{dZ}{dt} = Q \quad (18)$$

气体的绝热压缩(膨胀)方程为

$$P_c V_c^\gamma = const \quad (19)$$

联立以上方程,再加上相容性特征线方程,就能求解出空气罐边界的所有未知量。

## 2 计算实例

某工程任务主要为城镇、工业供水。工程设计总流量为 $2.83 \text{ m}^3/\text{s}$ ,多年平均供水量约 $5\,000 \text{ 万 m}^3$ 。泵站净扬程 $600 \text{ m}$ ,管长 $2\,700 \text{ m}$ ,管道布置如图1所示。

机组台数4台,3工1备,水泵性能曲线如图2所示。

额定转速 $1\,480 \text{ r/min}$ ,额定流量 $1\,700 \text{ m}^3/\text{h}$ ,设计扬程 $601.00 \text{ m}$ ,单机功率 $4\,000 \text{ kW}$ ,比转速 $106$ 。

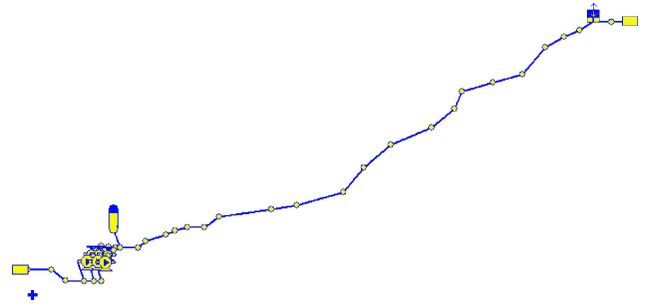


图1 管道布置图

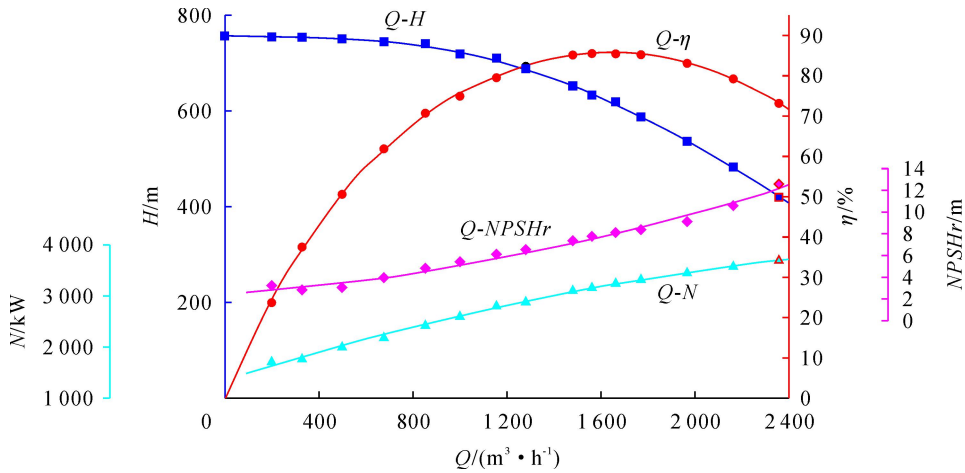


图2 水泵性能曲线图

### 2.1 稳态工况计算

水泵出口为速闭式轴流式止回阀,3台机稳态运行,以下为计算结果:水泵出口压力为 $6\,222.7 \text{ kPa}$  ( $622.27 \text{ m}$ ),单泵流量为 $1\,695.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ,干管流量为 $1.413 \text{ m}^3/\text{s}$ (见图3~图7)。

### 2.2 无防护停泵

在代表性特征水位下计算同一个水力单元内3台工作水泵失电,没有防护措施时,泵站各特征量的变化情况,取进水池水位为 $1\,859.30 \text{ m}$ ,出水池水位为 $2\,454.86 \text{ m}$ ,3台机稳态运行,10 s后3台泵事故停机。以下为计算结果:系统最大压力为 $810.90 \text{ m}$ ,出现在水泵转轮出口,最小压力为 $-8.00 \text{ m}$ (为设定的汽化压力),出现在桩号 $2+400$ 之后的管道,水泵机组最大倒转速为 $-2\,100 \text{ rpm}$ ,为额定转速的 $1.40$ 倍;进水管路最大压力为 $30.06 \text{ m}$ ,出现在岔管进口处,最小压力为 $1.00 \text{ m}$ ,出现在节点GA3处。

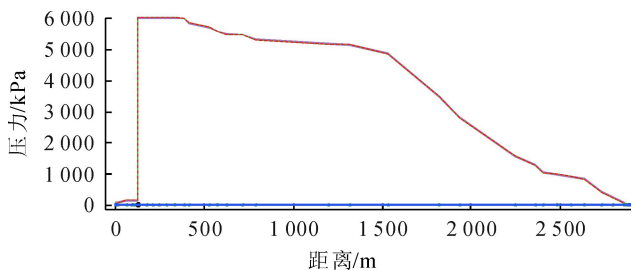


图3 稳态压力包络线图

### 2.3 有防护措施时事故停泵

根据无防护过渡过程计算,零流速时间为掉电后 $1.3 \text{ s}$ 。采用的水锤防护措施如下。

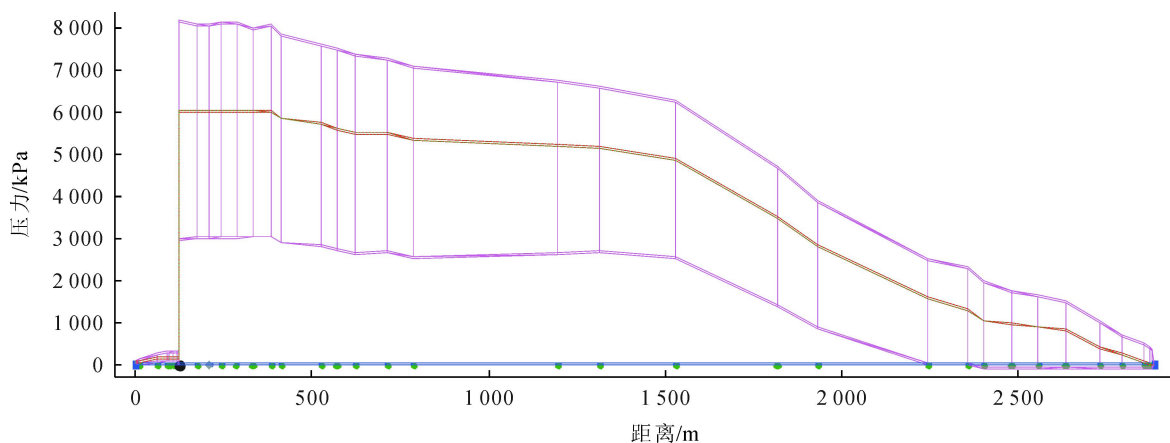


图4 压力包络线图

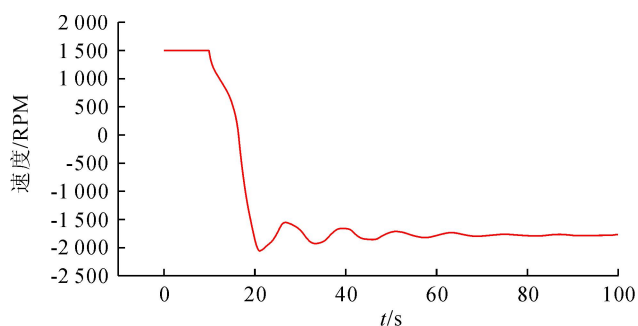


图5 水泵转速变化图

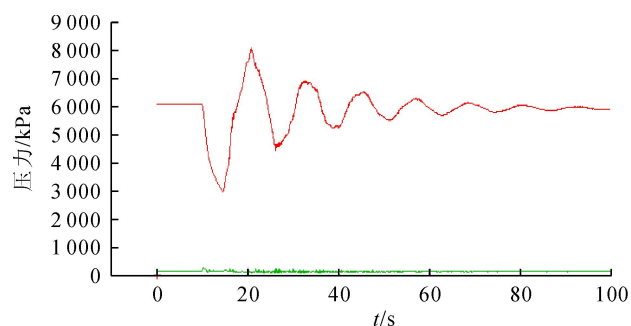


图6 最大压力点压力变化图

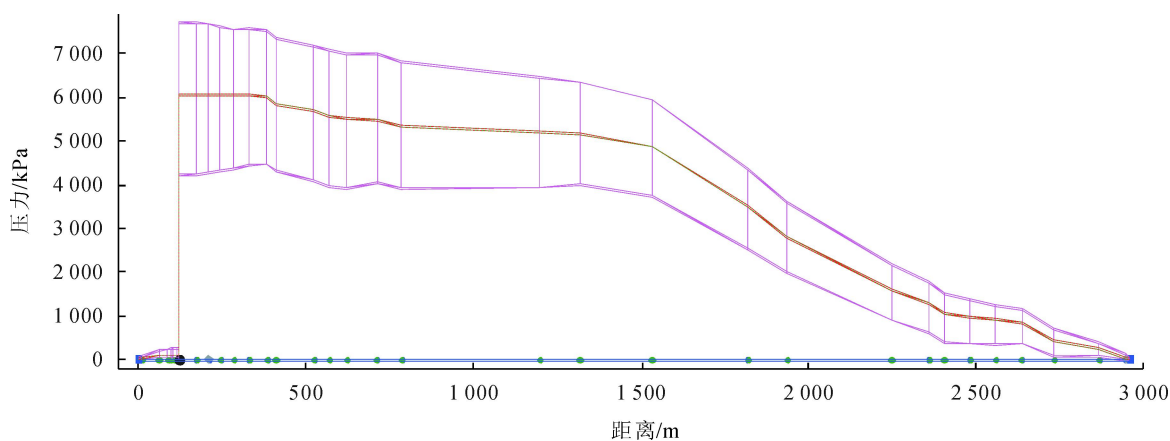


图7 压力包络线图

1) 适合的止回阀型式为轴流式止回阀,因此在每台水泵后设置1台轴流式止回阀,当流速降到额定流速的0.8倍时开始关闭,0流量时关死。

2) 在水泵出口总管首端设置1个 $20\text{ m}^3$ 空气罐,压力等级为10 MPa,水气比1:1,连接管直径DN300。

3) 在管道高程为2452.95 m处设置防弥合水锤的注气微排阀1个,其进气口径150 mm,排气口径8 mm。

计算同一个水力单元内3台工作水泵同时因故障失电停泵,确定泵站特征参数的变化,取进水池水位为1855.40 m,出水池水位为2454.86 m,3台机稳态运行,10 s后3台泵事故停机。以下为计算结果:系统最大压力为762.38 m,出现在水泵转轮出口,最小压力为-1.75 m,出现在管道高程为2452.95 m处,水泵机组无倒转。进水管路无负压产生,最小压力为0.93 m,出现在折点GA3处,最大压力为26.16 m,出



现在岔管进口处(见图8~图9)。

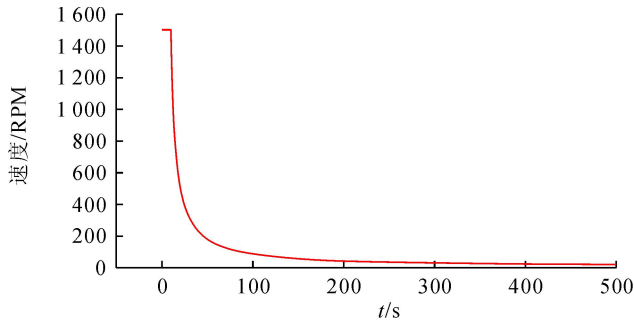


图8 水泵转速变化图

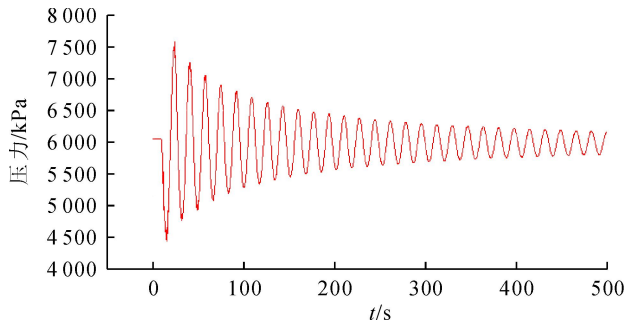


图9 最大压力点压力变化图

### 3 结 语

此泵站扬程高,管线短,在无防护事故停泵中主要的问题是管线2 km之后的管段产生过大负压,机组倒转超过相应标准,而泵后升压不明显。在事故停泵的水锤防护中,考虑到倒流出现的时间(1.3 s)较短,故水泵出口采用轴流式止回阀较好,其具体防护方案为在水泵出口设置20 m<sup>3</sup>空气罐,水气比1:1,在管道高程为2 452.95 m处设置防弥合水锤的补气微排阀,其进气口径150 mm,排气口径8 mm。泵后为轴流式止回阀,当流速降到额定流速的0.8倍时开始关闭,0流量时关死。计算结果汇总如表1。

泵站事故停泵水锤防护方法为轴流式止回阀+空气罐+空气阀,该方案可以保证在事故停泵中系统最大压力不超过770 m,最小压力不小于-4 m,水泵机组无倒转。该防护方法能保证管线最大最小压力以及泵转速都在泵站设计规范要求的范围内。其余校核工况包括正常停机和开机、稳态运行均满足运行要求。

表1 计算结果表

序号	工况	出水管最大压力	出水管最小压力	进水管最大压力	进水管最小压力	机组相对倒转
		/m	/m	/m	/m	
无防护停泵	3台泵事故停泵	810.90	-8.00	30.06	1.00	1.40
有防护停泵	3台泵事故停泵	762.4	-1.75	26.16	0.93	-

### 参考文献:

- [1]梁兴,刘梅清,张进国,等.空气罐对输水管道水锤的防护研究[J].排灌机械,2005,23(6):16-18
- [2]邓安利,蒋劲,兰刚,等.长距离输水工程停泵水锤的空气罐防护特性[J].武汉大学学报:工学版,2015,48(3):402-406
- [3]黄玉毅,李建刚,符向前,等.长距离输水工程停泵水锤的空气罐与气阀防护比较研究[J].中国农村水利水电,2014(8):186-188,192
- [4]王思琪,俞晓东,倪尉翔,等.长距离供水工程空气罐调

- 压塔联合防护水锤[J].排灌机械工程学报,2019,37(5):406-412
- [5]伍国果.轴流式止回阀动态特性的数值模拟[D].兰州:兰州理工大学,2013
- [6]杨国来,伍国果,刘小熊,等.轴流式止回阀的数值模拟[J].西华大学学报:自然科学版,2012,31(3):97-99,112
- [7]廖志芳,王荣辉,肖玉平,等.基于轴流止回阀的高扬程泵站水锤防护仿真计算[J].水电与新能源,2019,33(4):26-29

欢 迎 投 稿      欢 迎 订 阅

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.012

# 新型液压自动盘车装置在三峡机组的应用

赵永辉, 成传诗, 范江宏

(中国长江电力股份有限公司, 湖北宜昌 443001)

**摘要:** 根据三峡电站原有电机齿轮驱动盘车装置的弊端, 通过结构优化重新设计了一套新型液压自动盘车装置, 新装置不仅解决了原有问题, 而且提高了盘车工作效率, 节省了工期, 同时降低了人力资源投入。

**关键词:** 自动盘车装置; 液压; 水轮发电机组; 转盘轴承; 万向驱动杆

**中图分类号:** TM312      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1671-3354(2020)07-0054-03

## Application of a New Hydraulic Automatic Turning Gear in Three Gorges Hydropower Station

ZHAO Yonghui, CHENG Chuanshi, FAN Jianghong

(China Yangtze Power Co., Ltd., Yichang 443001, China)

**Abstract:** Considering the disadvantages of the original motor-gear-driven turning gear in Three Gorges Hydropower Station, a new hydraulic automatic turning gear is developed through structural optimization. The new device not only solves the original problems, but also improves the turning efficiency, shortens the construction period and reduces the investment in human resources.

**Key words:** automatic turning gear; hydraulic; hydro-turbine generator unit; turntable bearing; universal drive rod

立式水轮发电机组在扩大性检修中需要对机组轴线进行测量和调整, 这是一项非常重要的工作。机组轴线调整质量直接影响到机组运行时的稳定性, 甚至关系到机组的出力和安全运行等<sup>[1]</sup>。调整机组轴线时通常采用盘车的方法来采集机组各部位摆度、水平、转子圆度及定子圆度等重要数据。三峡机组在机电安装时, 采用传统的人工盘车, 其可控性差、转速不均匀、操作人员劳动强度大、甚至反复无效的劳动, 效率极低, 且耗时耗力<sup>[2]</sup>。为改善盘车效果, 于2010年采购了1套电机齿轮驱动的自动盘车装置<sup>[3]</sup>(见图1), 效率大幅提高, 但其动力传递部分为刚性接触, 机械驱动不够平稳, 驱动力无法控制, 在误操作或过载情况下, 无过载保护, 容易对水轮发电机组造成损害。

为进一步提高盘车的稳定性和安全性, 研发了一套新型液压自动盘车装置。与采用电机齿轮驱动的盘车装置相比, 液压驱动的盘车装置具有输出扭矩大, 启停及运行平稳, 停点精准, 操作方便等特点, 并且能够

根据实际使用需求进行无级调速, 盘车过程中受力更均匀、主轴倾覆力矩更小, 对抱瓦力度要求更低, 运行更为平稳, 能够更好地保证盘车精度。目前, 该液压自动盘车装置已在三峡电站多台机组盘车过程中得到很好的应用。



图1 电机齿轮传动的自动盘车装置图

收稿日期: 2020-01-07

作者简介: 赵永辉, 男, 工程师, 主要从事水轮发电机组检修方面的工作。

## 1 原有电机驱动盘车装置的弊端

因不同类型机组在接口上存在差异,三峡电站原有的电机驱动盘车装置仅可用于 ALSTOM 与 VGS 机组,无法满足全电站检修的需要。同时,由于设计原因,原有盘车装置无法对盘车时间及盘车力矩进行调整,存在盘车时因力矩过大而损坏设备的风险,且停车测量时无法确保盘车驱动装置与大轴完全脱开,影响测量数据真实性。

如图2,由于齿盘的安装中心与旋转轴中心不可能重合,即二者存在偏心距,一般小于 10 mm,且两平面度也存在一定误差。所以在盘车时,驱动杆与主轴延伸轴的止口接触点同时存在径向和轴向位移,驱动杆对旋转轴系存在偏转力矩;并且存在某些驱动杆在旋转中存在无法接触到主轴延伸轴的止口的可能,即多驱动杆驱动过程中,无法保证所有驱动杆受力一致。

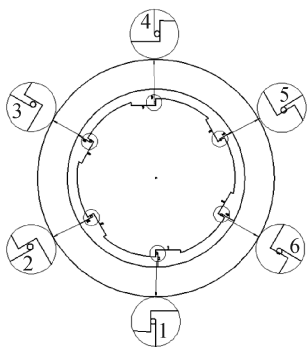


图2 电机驱动盘车装置原理图

如图3,原有盘车装置通过电机上的小齿轮驱动无固定装置的大齿轮。因大齿轮的轴向和径向都不固定,大齿轮与小齿轮的啮合就可能存在倾斜传动,当超过一定角度时,会导致以下结果:①驱动杆产生变形或断裂;②大轴轴系被改变原始安装状态;③小齿轮齿部产生变形或断裂。

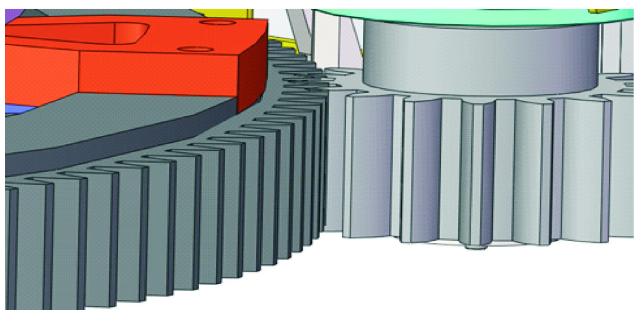


图3 齿轮驱动示意图

## 2 新型液压自动盘车装置基本特征

针对原有装置的缺点及问题,优化设计了1套液压自动盘车装置(见图4)。

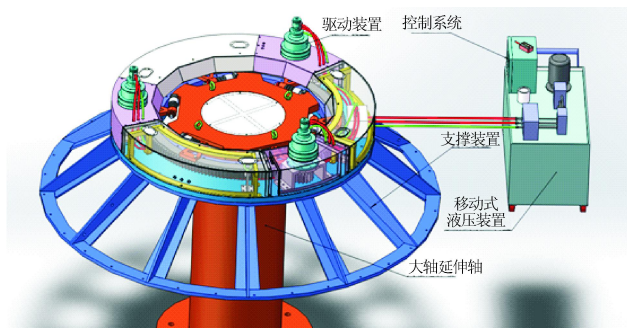


图4 液压自动盘车装置结构示意图

### 2.1 结构组成

1)驱动装置:包括1套基座、1套转动齿轮(外圈为大齿轮)、3套液压马达减速装置、3套主动齿轮(小齿轮)和6套万向驱动杆装置。

2)支撑装置(底座):分瓣组成1套装置。

3)移动式液压装置:包括1套变频系统、1套液压系统、1台移动小车(带50 m电源电缆)和3套快装高压软管(两端压接快速接头)。

4)大轴延伸轴(连接过渡轴)。

5)控制系统:包括1套 PLC 控制系统、1套本地操作系统和1套遥控操作系统(100 m 范围内)。

### 2.2 工作原理

支撑装置通过螺栓固定在机组上机架上,驱动装置与支撑装置通过螺栓固定连接,大轴延伸轴下端法兰与大轴通过螺栓固定连接,上端法兰圆周均布6个止口槽,与驱动装置中6个万向驱动杆活动接触。移动式液压装置通过3根高压软管(两端压接快速接头)集中提供3套液压马达减速装置动力源,3套小齿轮与大齿轮同步啮合传动,由6套万向驱动杆与大轴延伸轴6个止口逐个接触并持续提供切向力矩,再由大轴延伸轴旋转,从而带动大轴旋转,通过 PLC 控制系统完成机组自动盘车工作。

### 2.3 结构优化

1)如图5,将大齿轮设计为转盘轴承形式,转盘轴承的外圈带齿(即大齿轮),内圈固定在基座上。转盘轴承内外圈厚度方向为错层,这种结构形式有两大特点:一是大齿轮的轴向和径向均固定,因此盘车过程中,大小齿轮的啮合不存在倾斜传动;二是大齿轮转动过程中为滚动摩擦;因此,盘车过程中,大齿轮本身几乎不消耗转矩。

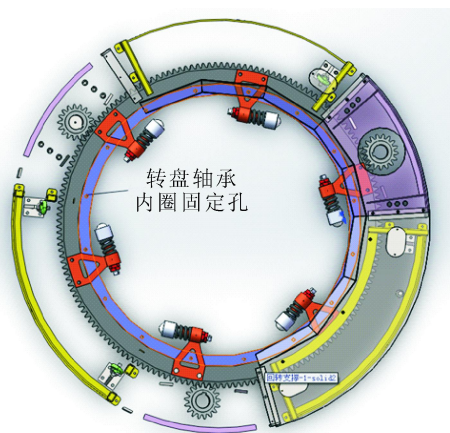


图5 液压自动盘车装置结构示意图

2)如图6,驱动杆设计为万向驱动杆结构形式,万向驱动杆前部由万向球头和弹簧组成,盘车过程中,对X轴、Y轴、Z轴三维方向均能得到补偿,因球头接触大轴延伸轴法兰止口传力,即点接触传力,所以不存在偏转力矩。

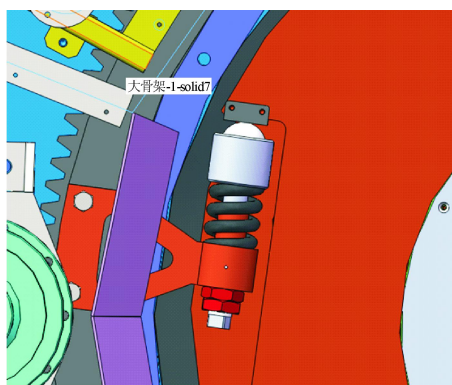


图6 驱动杆结构示意图

3)采用6套万向驱动杆同时驱动大轴延伸轴法兰止口。这种传力形式特点有:一是减小每个驱动杆的切向力;二是盘车过程中通过万向球头的滚动完成自动调心;三是通过弹簧的压缩让6套万向驱动杆同时提供切向力(每套出力有大小),使得盘车更加平衡且不改变大轴轴系原始安装状态。

4)增加变频控制系统+PLC控制系统。盘车启动时,通过其逐步提高马达转速,使6套万向驱动杆装置逐一缓慢接触大轴延伸轴法兰止口,从而保证盘车平稳启动和匀速旋转;盘车停车后再反转操作,使6套万向驱动杆装置逐一脱开大轴延伸轴法兰止口,保证大轴轴系停车测量时处于自由状态。

## 2.4 主要创新点

1)具有良好通用性。本装置驱动装置共有2套,

以补气管法兰外径尺寸为依据,设计提供7套过渡轴和盘车底座,适用于三峡电站所有机型盘车需求。改进了原有盘车装置仅可用于ALSTOM与VGS机组,无法满足全电站检修的需要的缺点。

2)盘车更加平衡。驱动装置采用6套万向驱动杆结构,前部由万向球头和弹簧组成,盘车过程中通过万向球头的滚动完成自动调整,不存在偏转力矩,通过弹簧的压缩让6套驱动杆同时提供切向力,使盘车更加平衡且不改变轴系原始安装状态;改进了原有盘车装置盘车不平衡的缺点。

3)盘车测量数据更准确。采用变频控制系统+PLC控制系统,6套万向驱动杆装置可逐一缓慢接触大轴延伸轴法兰止口,从而保证盘车平稳启动和匀速旋转,盘车停车后可反转操作,使6套万向驱动杆装置逐一脱开大轴延伸轴法兰止口,让大轴在停车测量时完全处于自由状态,确保数据测量的准确性。

4)设置过载保护装置,运行更加安全。通过调节供油量任意设定额定转矩,超过设定力矩时,通过溢流阀溢流来限制力矩,防止盘车时力矩过大,保护大轴轴系及附属设备。

5)盘车停点更加准确。本盘车装置减速比 $i=1\ 680$ ,通过自动控制反向制动可实现定点停车。停车动作迅速及时,停点准确,停点距离误差在转子磁极外圆周上不超过5 mm。改进了原有盘车因转动惯性大而停点距离误差较大的缺点。

6)盘车速度可调,且为无级变速,变速平稳可靠。启动和停止时,盘车机能缓慢的增速和减速,使机械运转平稳,防止对主轴产生较大冲击力;停止和点动运转时,运转速度慢,便于准确对位。改进了原有盘车装置盘车时间不可调,盘车读数精确度无法提高的缺点。

## 3 结语

三峡新型液压自动盘车装置适用于三峡电站所有机型机组,有很好的通用性,提高了盘车时数据测量的准确性和停点的精准性。三峡新型液压自动盘车装置的应用使盘车工作效率与质量得到了提高,且减少了员工的劳动强度,安全性能也得到了提高。该成果已成功应用在多台三峡机组检修中。

### 参考文献:

- [1]胡成学,李泽彦,陆明.立式水轮发电机组检修中轴线找正的探讨[J].水电能源科学,2005,23(3):86-88
- [2]苟小军,张建伟,冯铁成.自动盘车装置在刘家峡水电厂的应用[J].水电能源科学,2008,26(1):160-163
- [3]庞子敬.自动盘车装置在三峡机组的应用[J].水电站机电技术,2016,39(6):18-19

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.013

# 浅析塔里木河流域综合治理及生态输水成效

阿迪力江·买买提

(塔里木河流域干流管理局,新疆 库尔勒 841000)

**摘要:**通过对塔里木河流域实施综合治理,落实最严格的水资源管理制度,确保开展生态输水,使塔河干流上中游林草植被得到有效保护和恢复,下游生态环境得到初步改善,有效缓解了流域生态严重退化的被动局面,受水区地下水水位大幅抬升、水质明显好转,产生广泛而又良好的社会影响,取得了显著的成效。

**关键词:**塔里木河;综合治理;生态输水;生态环境;生态效益

中图分类号:TV213.4 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)07-0057-03

## Comprehensive Management and Ecological Water Supply in Tarim River Basin

Adeline Maimaiti

(Xinjiang Tarim River Basin Management Bureau, Korla 841000, China)

**Abstract:** The comprehensive management of Tarim River Basin is introduced, in which a strict water resources management system is adopted and an ecological water supply scheme is implemented. With these measures, the vegetation of forest and grassland in the upper and middle reaches of the Tarim River mainstream has been effectively protected and restored, and the ecological environment in the lower reaches has been preliminarily improved. Serious degradation of the ecological environment of the river basin has been effectively alleviated. The groundwater level in the receiving area has been greatly raised and the water quality has been significantly improved. These remarkable achievements produce extensive and good social impacts.

**Key words:** Tarim River; comprehensive management; ecological water supply; ecological environment; ecological benefits

塔里木河是我国最长的内陆河,从最长的源流叶尔羌河算起,全长2 486 km。塔里木河流域地处新疆的南部,其流域水系包括阿克苏河、喀什噶尔河、叶尔羌河、和田河、开都-孔雀河等九大水系,据数据统计,塔里木河的流域总面积为102万km<sup>2</sup>。整个流域内包括的地(州)、县(市)和兵团师分别为5、45、57个。据2012年统计资料,流域周边的人口数约为1 094万人,通过塔里木河行灌溉的农田面积达306万hm<sup>2</sup>[1-2]。

塔里木河流域的产流量来自于其周围的主要水系,主要水系包括阿克苏河、和田河、叶尔羌河,根据塔里木河平均径流量统计数据,得出塔里木河流域的平均径流量46亿m<sup>3</sup>。塔里木河流域具有以下特点<sup>[3]</sup>:一是塔里木河是我国最长的内陆河,其全长为

2 486 km;二是塔里木河流域是我国面积最大的内陆河流域,其总面积为102万km<sup>2</sup>,占我国国土面积和全疆面积的百分比分别为11%、60%;三是塔里木河流域是距离海洋最远的流域,据不完全统计,塔里木河距离最近的印度洋的距离约为2 200 km,同时因塔里木河所处的环境,其也是我国最干旱和生态环境最脆弱的地区之一;四是塔里木河流域拥有丰富的土地、光热和石油天然气资源,具有很重要的能源补给作用;六是塔里木河流域拥有世界最大的天然胡杨林区,其中胡杨天然林面积为30万hm<sup>2</sup>,占全国胡杨林面积的百分比为90%以上。

上个世纪50年代以来,随着人类活动的影响以及气候变化,塔里木河流域的多条源流出现断流现象,再

收稿日期:2020-01-05

作者简介:阿迪力江·买买提,男,工程师,从事塔河水文、地下水、生态变化方面的研究。

加上对水资源无节制的利用和低效的使用,使得上游对下游的补给水越来越少,致使河道下游断流现象越来越严重,地下水也逐渐下降,地下水的矿化现象也越来越严重,导致大片的胡杨林死亡。

## 1 塔河综合治理概况

为解决塔河流域的生态环境问题,经国务院批复的文件,开始实施塔河综合治理工程。工程建设地点分布于南疆5个地(州)的29个县(市)和新疆生产建设兵团4个师的18个团场。通过实施生态建设保护、山区控制性水利枢纽、流域水资源统一调度管理等九大类工程与非工程措施,实现“四源一干”总节水目标。塔河经过多年综合治理,使其干流上中游林草植被得到有效保护和恢复,下游生态环境得到初步改善,并有效缓解了流域生态严重退化的被动局面,受水区地下水水位大幅抬升、地下水水质明显好转,产生广泛而又良好的社会影响<sup>[4]</sup>。

### 1.1 塔河流域水资源特点

1)在水源形成上,主要以冰雪融化水为主,流域地大中河流发源于降雨量较多的山区。

2)在水资源分布的空间格局上,地表水的分布特点为北多南少,西多东少,地表水量占全流域的50.4%<sup>[5]</sup>。

3)在时间分布上,塔河利于地表水呈夏秋多、冬春少。其中6~9月地表水量占到全年水量的70%~80%,容易产生洪灾;3~5月因灌溉水量少,约占全年水量的10%左右,易造成春旱现象。

### 1.2 塔河流域水资源综合治理措施

结合塔河流域水资源特点、按照《塔河流域近期综合治理规划》以及塔河流域治理输水目标等,严格执行一系列治理措施,为加强塔河流域水资源管控,提高塔河流域输水成效起到关键性作用<sup>[6]</sup>。

1)严格落实“三条红线”,有效控制用水总量。塔河相关管理部门全面贯彻落实最严格水资源管理制度,塔河流域水量分配方案转到了“三条红线”用水总量控制指标上来。流域各地州、兵团师在分配的用水限额内负责区域水资源的统一调配和管理,实行行政首长负责制。通过加强水量调度管理,有效控制了用水总量。

2)开展联合执法行动,为生态输水创造有利条件。在进行塔河综合治理的同时,组织国土、林业等部门和流域管理机构,健全机制、密切协作,实施大范围、

多频次、常态化的联合、交叉、集中执法行动,大力推进生态环境整治,严厉打击违法违规行为,取得了显著成效,为塔河流域生态输水创造了有利条件<sup>[7]</sup>。

3)实施生态输水,恢复塔河流域生态。为使塔河下游生态环境恶化趋势尽快得到遏制,坚持边治理边输水的原则,在近期综合治理项目实施的同时,计划向塔里木河下游生态输水,其中重点加强向胡杨林保护区生态输水工作,加强对塔里木河流域胡杨林生态保护。

## 2 塔河近期综合治理成效

面对塔里木河严重的生态环境问题,针对性的采取一系列的措施。其中完成各项重要的节水工程项目有9项,实现年节水27.22亿 $m^3$ 的目标。利用生态输水工程,截止2017年,塔里木河下游湿地和湖泊面积为511 $km^2$ ,这一湿地和湖泊面积是生态输水以来的最大水面。通过不断向塔里木河持续输水这一举措有效缓解了流域生态因人类活动及气候变化引起的严重退化的现象,随着塔里木河流域生态环境的好转,流域内地下水水位也大幅度提升、地下水水质也越来越高,截至目前,通过对塔里木河进行综合整治,取得了良好的成效,塔里木河下游的植被恢复成效显著,据统计塔河下游植被恢复和改善面积达2285 $km^2$ 。

通过综合治理项目,使得塔里木河流域内水利基础设施条件更加完善,截止到2017年,塔里木河累计完成渠道防渗约为7173 $km$ 、改造水库8座,生态闸61座等重要基础设施。通过对流域近期治理项目的实施,在保障积极稳定发展的同时也加大保护生态环境,达到人与自然和谐相处。

## 3 塔河生态输水成效

近年来,通过对塔河干流的多项综合治理工程,使塔里木河下游的来水量得到了明显的增加。同时,建设输水堤649.45 $km$ ,生态闸(堰)78座和乌斯满枢纽工程、阿其克河分水枢纽、恰拉拦河枢纽、东河滩枢纽等引水控制工程的建成,增强了干流对生态用水的调配能力。建立塔里木河下游输水通道,把水送到台特玛湖后,再通过沿途的生态闸分水,扩大植被受水面积,抬高地下水位,恢复塔里木河下游生态植被,对改善生态环境提供重要的支撑作用<sup>[8-9]</sup>。

### 3.1 节输水效益明显,基本实现了规划输水目标

随着综合治理项目工程建设的有力推进,各项节

水工程陆续建成,节输水效益逐步显现,塔河各断面水量明显增加。2002~2016年间,塔河干流阿拉尔断面多年平均来水量44.5亿 $m^3$ ,基本接近46.5亿 $m^3$ 的规划目标;恰拉断面多年平均来水量6.24亿 $m^3$ ,比治理前的2.24亿 $m^3$ 增加了近两倍水量,输水效益显著。

通过对塔里木河下游实施生态输水,据统计共累计输送生态水57.86亿 $m^3$ ,年均下泄生态水3.4亿 $m^3$ ,结束了下游河道连续干涸近30年的历史。2017年经过向下游生态输水,加上车尔臣河汛期来水,台特玛湖形成491 $km^2$ 的水面,为近40年来实测最大水域面积。

2016年,实施了塔里木河流域重点胡杨林区生态补水和水事治理专项行动,塔河干流向流域重点胡杨林保护区应急补水3.8亿 $m^3$ 。沙雅、轮台重点胡杨林保护区实际应急补水分别为1.65亿 $m^3$ 和2.15亿 $m^3$ ,完成计划的110%和108%,超额完成补水任务。通过对沙雅和轮台胡杨林区的生态补水,有效改善了单一沿河道输水,受水面积不足的局限,而且对胡杨林下土壤种子库萌发起到促进的作用<sup>[10]</sup>。

### 3.2 有效保护和恢复了生态环境,生态效益显著

为动态监测塔河综合治理工程调水方案实施后生态环境的恢复和改善情况,综合评价工程实施的生态效应,可以在塔河干流沿线建设生态监测断面,并设置遥测站,对塔河地下水位、水质等数据进行实时监测。据统计,自生态输水以来,塔河干流下游地下水得到了有效补给,随着地下水位的抬升、地下水的水质也日益好转,水环境得到明显改善。2000~2017年监测数据显示,塔河干流下游距主河道1 $km$ 处的地下水埋深由9.8~10.1 $m$ 回升到2.1~5.3 $m$ ;地下水矿化度由5.3~7.8 $g/L$ 降至1.1~3.0 $g/L$ ;下游植被恢复和改善的面积达2285 $km^2$ ,其中新增植被覆盖面积达362 $km^2$ ;沙地面积减少854 $km^2$ ;植物物种由17种增加到46种。曾干涸的台特玛湖一度达到492 $km^2$ 的水面,由于输水以来常年保持有水,湖周形成了223 $km^2$ 的湿地。

输水前塔河干流下游河道有2/3河道被风沙掩埋,在依干布及麻流沙填满河道,堆积至公路,经过输水前清除积沙,使河道畅通,输水后两岸植被恢复,部分流动沙丘转为半固定沙丘,土壤湿度增加,削弱了风蚀沙化,塔克拉玛干、库鲁克塔格两大沙漠合拢趋势得到有效遏制,218国道畅通无阻,现在几乎看不到路面、路肩有积沙,各种车辆畅通无阻,大大方便了且末、

若羌与库尔勒联系,促进了两县经济的发展。同时也为库尔勒-格尔木铁路和库尔勒-若羌高速修建创造了较好的环境条件。

### 3.3 通过落实“三条红线”,减少用水总量

据数据统计,2002年至2018年塔河流域实际用水量逐渐呈下降的而变化趋势,其中2002年实际用水量最大,为175亿 $m^3$ ,2018年计划指标最小,为155.63亿 $m^3$ 。

### 3.4 通过联合执法行动,创造生态输水条件

据统计,通过联合执法行动,减少非法地下水取水量1.6亿 $m^3$ ,退出耕地1.64万 $hm^2$ 。查处水事违法案件主要包括调解水事纠纷、拆除非法取水水泵、非法泵房,填埋非法机电井眼,拆除非法供电设施等。通过联合执法行动,大力减少非法地下水取水量。

### 3.5 通过生态输水,有效改善塔河流域生态

据统计,自大西海子水库累积下泄生态水70亿 $m^3$ ,年均下泄生态水3.49亿 $m^3$ 。其中,塔里木河流域近期治理项目实施完成后的2012~2016年,每年平均下泄水量为4.6亿 $m^3$ ,超过了规划报告确定的年均下泄3.5亿 $m^3$ 的生态输水任务。自2016年开始,通过重点向胡杨林保护区生态输水工作,使塔里木河流域胡杨林生态得到保护。2016、2017年,向塔河下游、孔雀河及塔河流域其他重点胡杨林区累计输送生态水37.32亿 $m^3$ 。

2017年向塔里木河流域国家级胡杨林保护区生态输水和向塔河下游生态输水工作均实现历史性突破:一是全年全流域累计输送生态水24.69亿 $m^3$ ;二是曾经干涸的台特玛湖形成511 $km^2$ 最大水面和湿地;三是断流15年的孔雀河中下游503 $km$ 河道恢复通水;四是濒临消失的艾西曼湖迎来20年来首次补水。生态输水结束了塔河下游河道连续断流的现象,对下游生态系统的恢复提供基础。

## 4 结语

通过对塔里木河进行综合整治和一系列输水工程的实施,使得塔里木河工程自生态输水以来,塔河干流下游地下水得到了有效补给,随着地下水位的抬升、地下水的水质也日益好转,水环境得到明显改善。据最新监测数据表明,生态输水通过引洪灌溉胡杨林面积约18万 $hm^2$ ;输水前后,监测断面距河道100~500 $m$ 地下水上升明显,可见针对塔里木河开展综合整治和输水的生态效益已逐渐显现。

(下转第63页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.014

# 岷江龙溪口航电枢纽工程施工总布置综述

李志伟,张毅驰,陈海坤

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司,贵州 贵阳 550081)

**摘要:**岷江龙溪口航电枢纽工程距离犍为县城较近,土石方开挖量、弃渣量相对较大,实施阶段结合枢纽布置、导流方式、场区地形地质条件、交通运输条件、料场及弃渣场分布,通过进一步优化施工总布置,为工程顺利建设创造了良好条件。目前,龙溪口航电枢纽工程建设正在有序推进,从现场情况反映,施工总布置紧凑合理。

**关键词:**岷江龙溪口航电枢纽;枢纽布置;施工导流;施工总布置

中图分类号:TV511 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)07-0060-04

## General Construction Layout of Minjiang Longxikou Navigation Power Junction Project

LI Zhiwei, ZHANG Yichi, CHENG Haikun

(Powerchina Guiyang Engineering Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

**Abstract:** Minjiang Longxikou Navigation Power Junction project is close to the Jianwei County, and the total volumes of the earth-rock excavation and waste are rather large. In the project implementation phase, the general construction layout is further optimized, including the junction layout, construction diversion scheme, topographical and geological conditions, traffic and transportation requirements, and the embankment and waste material yard arrangement. Actual construction of the project shows that the optimized construction layout is reasonable and compact, which provides a satisfactory condition for the smooth implementation of the project.

**Key words:** Minjiang Longxikou Navigation Power Junction; junction layout; construction diversion; general construction layout

岷江龙溪口航电枢纽工程位于四川岷江干流下游河段,是岷江下游河段(乐山—宜宾)规划4个航电梯级中的最末一级,其上游为犍为航电枢纽工程,坝址位于乐山市犍为县新民镇上游约1 km处,坝址距离乐山市84 km,距离成都214 km。龙溪口航电枢纽工程等为二等,工程规模为大(2)型,总库容约3.24亿 $m^3$ ,装机容量为480 MW,为河床式电站,闸坝式挡水建筑物,Ⅲ级船闸通航1 000 t级船舶。本工程开发任务为以航运为主,航电结合,兼顾防洪、供水、环保等综合利用,永久性水工建筑物为2级。

枢纽主要建筑物采用“一”字型布置,厂房和船闸分岸布置,从左至右分别布置有左岸挡水坝段

(24.8 m),鱼道挡洪闸坝段(24.08 m),厂房坝段(287.20 m),泄洪闸坝段(470.79 m),船闸坝段(70 m),右岸挡水坝(72 m),坝顶总长948.87 m,坝顶高程为324.50 m。

本工程枢纽区施工总布置采用两岸分岸独立布置方式。左岸施工布置满足厂房、13孔泄洪闸施工需要,右岸施工布置满足船闸、11孔泄洪闸施工需要。左右岸各布置一套相对独立的附属设施,包括生活办公营地、生产施工营地、仓储系统、砂石及拌和系统、施工机械设备停放场(修理厂)、综合加工厂、实验室、预制厂、金结机电存放场、施工供风、供水、供电、以及交通道路布置等<sup>[1-2]</sup>。

收稿日期:2020-01-17

作者简介:李志伟,男,工程师,主要从事水利水电施工组织设计工作。



## 1 工程条件

### 1.1 自然条件

工程区内河谷两岸坡属中低山~丘陵宽谷侵蚀地貌,河谷呈不对称的“U”形宽谷。左岸坡以丘陵地貌为主,山势低矮,且较平缓,自然坡度 $4^{\circ}\sim 21^{\circ}$ ;右岸坡体是以中低山地貌为主,山势较为陡峻、雄厚,自然坡度 $39^{\circ}\sim 51^{\circ}$ 。该河段河流较为顺直,区内河床宽约650 m,主河道位于右岸。该河段河谷左岸为堆积岸,河漫滩及阶地发育分布,右岸为冲刷岸,岸坡基岩多裸露。

坝址两岸阶地发育,植被较好,多为耕地,其中少量为水田,其他部分为河滩地及低洼地。坝址附近阶地可作为施工场地布置,施工布置条件较好。

工程区岷江左岸河岸漫滩、阶地发育,右岸下游5.2 km有河心滩,天然砂卵石储量丰富。坝址左岸河道疏浚开挖的砂砾石渣量大、集中,可充分利用工程开挖料作为混凝土骨料。

### 1.2 导流方式

枢纽工程采用三期导流方式:一期(第1年11月~第2年10月)主要进行左岸部分河床疏浚,左岸13孔泄洪闸底板、临时航道左右导墙浇筑;二期(第2年11月~第5年10月)主要进行左岸厂房施工、完成左岸河床疏浚、右岸11孔泄洪闸和船闸施工,右岸船闸具备通航条件,右岸11孔泄洪闸闸门安装完成并具备挡水和启闭条件;三期(第5年11月~第6年5月)主要进行左岸13孔泄洪闸及厂房机电安装施工,左岸13孔泄洪闸在第6年汛前具备挡水及启闭条件。

### 1.3 工程施工特点

1)对外交通方便,公路交通网较发达,铁路从坝址附近经过,岷江航道为IV级航道,基本上可全年通航。

2)工程施工期间河道有通航要求,需基本维持原有通航能力。

3)工程两岸河漫滩即为天然砂砾石料场,可利用开挖料作为混凝土骨料。

4)枢纽工程左右两岸交通连接不便,施工布置采用两岸独立布置方式。

5)可利用邻近县、市生活服务设施,简化工程配套设施。

## 2 施工交通运输

### 2.1 对外交通运输

龙溪口航电枢纽工程位于乐山市犍为县新民镇上游约1 km处,距犍为县28 km,距离乐山市84 km,距离成都214 km。公路运输:成都至乐山为成乐高速,乐山至宜宾的乐宜高速从坝址左岸经过,高速出口距离坝址约0.5 km;铁路运输:工程区附近无铁路通过,距离坝址较近铁路转运站为成昆铁路上峨眉山市燕岗卸货站,成都至峨眉山市燕岗卸货站铁路运距为156 km,燕岗卸货站至坝址公路里程为102 km;水路运输:岷江乐山至宜宾段为IV级航道,基本全年通航。陆路水路交通网发达,对外交通条件方便。

岷江(乐山-宜宾)航道是四川省重要水运干线之一,为承运省内特重大构件的主要通道。坝址附近分布有乐山港及犍为港,乐山市设有专用大件运输码头,坝址公路铁路交通网较发达,因此除部分重大件机电设备及金属构件考虑采用水运外,其余外来物资采用公路或铁路与公路联合运输。

### 2.2 场内交通运输

根据枢纽工程施工总布置特点,场内交通运输采用左右两岸独立布置方式,为满足泄洪闸、厂房及船闸的施工要求,以及满足各生产生活设施至施工现场的运输要求,拟新建和改建9条施工道路与现有公路组成交通网,坝址右岸下游设置临时大件运输码头。

#### 2.2.1 左岸施工道路

1)左岸进场公路:从坝址上游X144县道至坝址下游大件码头,公路全长3.8 km。

2)斑竹村渣场公路:从左岸进场公路K1+167附近至斑竹村渣场,公路全长1.8 km。

3)岩门村渣场公路:从斑竹村渣场公路至岩门村渣场,公路全长1.6 km。

4)沐川河大桥:位于沐川河与岷江交汇处上游约580 m处,桥面宽度为0.5 m(防撞护栏)+11.0 m(行车道)+0.5 m(防撞护栏)=12.0 m,桥长1.96 km。

5)下基坑公路:从左岸进场公路至左岸各期基坑。

#### 2.2.2 右岸施工道路

1)右岸进场公路:从五一坝人渡至沐川河大桥,公路全长5.5 km。

2)右岸1号公路:从沐川河大桥至船闸平台,公

路全长 3.4 km。

3) 右岸 2 号公路: 从船闸平台至右岸下游临时码头, 公路全长 1.3 km。

4) 下基坑公路: 从右岸 1 号公路至右岸二期、三期基坑。

## 3 施工总布置规划

### 3.1 施工总布置及分区规划<sup>[3-4]</sup>

施工总布置遵循施工临建与永久利用相结合、因地制宜、因时制宜、有利生产、方便生活、节约用地、易于管理、安全可靠、经济合理的原则。根据工程场地的

地形、地质条件、枢纽布置, 施工总布置采用集中与分散相结合的布置方式, 枢纽工程分为大坝左岸和大坝右岸 2 个施工区, 两岸生产生活区均分开布置, 减少干扰。枢纽施工总布置图详见图 1。

#### 3.1.1 大坝左岸施工区

大坝左岸施工区布置有混凝土生产系统、综合加工厂、施工营地等生产设施及施工临时生活设施。主要考虑左岸厂房、鱼道、13 孔泄洪闸、临时航道左右导墙、围堰等的施工。

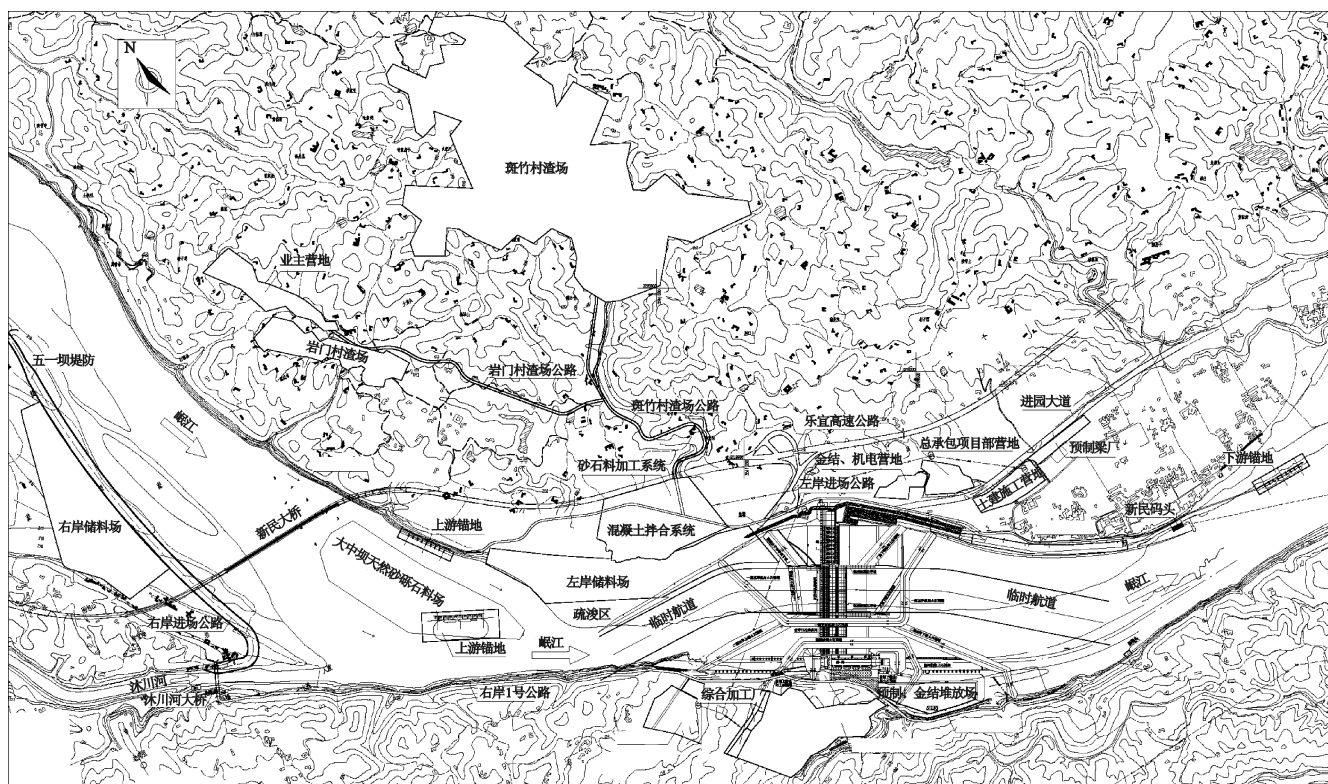


图 1 枢纽施工总布置图

1) 砂石加工和混凝土生产系统。集中布置在大坝左岸上游 700 m 阶地, 砂石加工系统的生产设计能力 920 t/h, 混凝土系统的生产设计能力 11 万 m<sup>3</sup>/月。

2) 综合加工厂。为充分利用施工场地, 左岸钢筋加工场、模板加工场、金结机电堆放场、部分材料仓库布置在大坝下游左岸护坡内侧回填平台上, 该场地处于下游永久征地红线内, 不需额外征地。

3) 施工营地。左岸布置总承包项目部营地、土建施工营地和金结、机电营地, 集中在大坝左岸坝肩, 临

近新民镇。

4) 储料场。坝址区左岸天然砂砾石开挖料可利用料储量约 300 万 m<sup>3</sup>, 左岸混凝土骨料料场设计需要量约 250 万 m<sup>3</sup>, 因此, 天然砂砾石开挖量满足混凝土骨料需要, 利用大中坝天然砂砾石料场作为储料场, 方便混凝土生产系统取料。

#### 3.1.2 大坝右岸施工区

大坝右岸施工区布置有混凝土生产系统、综合加工厂、施工营地等生产设施及施工临时生活设施。主

要考虑右岸船闸、11孔泄洪闸、围堰等的施工。

1) 砂石加工和混凝土生产系统。集中布置在右岸上游一冲沟两侧,砂石加工系统的生产设计能力900 t/h,混凝土系统的生产设计能力11.6万 $\text{m}^3$ /月。

2) 综合加工厂。初步设计阶段临时用地部分占用基本农田,无法征用,剩余部分临时用地无法布设全部施工工厂,实施阶段对临时用地范围进行了调整,分成两个部分布设施工工厂,加工厂位于上游引航道右侧,预制场与金结堆放场位于船闸下游回填区。

3) 施工营地。本工程采用设计施工总承包模式,右岸规划建设一个施工营地,位于右岸鹰嘴后方场地(靠近船闸主体工程)。

4) 储料场。位于五一坝下游端防洪堤内侧,用于有用料的储存和部分开挖渣料的临时堆存,规划容量150万 $\text{m}^3$ 。

### 3.2 土石方平衡及弃渣场规划

1) 左岸渣场包括岩门村渣场和斑竹村渣场,岩门村渣场位于左岸业主营地附近,设计堆渣顶高程为415.00 m,容量为128万 $\text{m}^3$ ;斑竹村渣场位于大坝上游新民镇斑竹村,设计堆渣顶高程为405.00 m,容量为1400万 $\text{m}^3$ ,实施阶段结合地方政府规划,左岸开挖弃渣约500万 $\text{m}^3$ 用于地方回填。

2) 右岸土石方平衡:①右岸开挖总量165.22万 $\text{m}^3$ ,其中有用料98.19万 $\text{m}^3$ ,无用料67.03万 $\text{m}^3$ ,另外二期围堰填筑需从五一坝料场开挖料39万 $\text{m}^3$ ;②根据施工期通航模型试验结果,船闸下游引航道出口存在较大回流,为确保安全通航,需对船闸下游引航道外侧回填,其中砂卵石回填49.92万 $\text{m}^3$ ,无用料回

填145万 $\text{m}^3$ 。

右岸开挖有用料98.19万 $\text{m}^3$ ,其中49.92万 $\text{m}^3$ 用于回填,48.27万 $\text{m}^3$ 用于生产骨料,开挖无用料67.03万 $\text{m}^3$ ,考虑松方及压实系数,回填容量为83万 $\text{m}^3$ ,加上五一坝料场开挖料填筑围堰39万 $\text{m}^3$ ,二者之和为122万 $\text{m}^3$ ,小于无用料回填量145万 $\text{m}^3$ 。实施阶段,根据右岸土石方平衡的结果,右岸不需布置渣场。

## 4 结 语

岷江龙溪口航电枢纽工程采用设计施工总承包模式,左岸枢纽工程由中国水利水电第五工程局有限公司承建,右岸枢纽工程由中交第四航务工程局有限公司承建,结合枢纽工程施工导流方案,施工总布置采用两岸独立布置方式,两岸各布置一套独立的附属设施,两岸施工相对独立,满足施工现场生产生活需要。实施阶段基于更好地保护基本农田和减少对当地居民的生产生活的干扰,进一步做好施工总布置规划,目前,龙溪口航电枢纽工程建设正在有序推进,从现场情况反映,施工总布置紧凑合理。

### 参考文献:

- [1]张涛,秦晓亮,李志伟,等.龙滩水库施工总布置概述[J].四川水利,2017(5):91-93
- [2]王雨帆.岷江犍为航电枢纽主体工程施工总布置规划[J].红水河,2015,34(1):5-9,59
- [3]金昌辉,卫继鑫,王婷.老挝南欧江四级水电站施工总布置综述[J].四川水力发电,2019,38(z1):90-92
- [4]范雄安.叶巴滩水电站施工总布置的调整与优化[J].四川水力发电,2019,38(1):18-21
- [5]探究[J].水能经济,2017(1):91-91
- [6]宋虹兵.探析塔里木河流域近期综合治理对干流生态环境的影响[J].水能经济,2016(4):88-89
- [7]缪康.塔里木河流域近期综合治理经验与对策[J].水利技术监督,2015,23(4):23-25
- [8]贾小俊.塔里木河流域综合治理成效分析[J].水利规划与设计,2015(8):24-26
- [9]孟栋伟.塔里木河流域生态环境分析评价及治理与保护探析[J].内蒙古水利,2018(1):75-76
- [10]谭立超.塔里木河流域生态输水效益分析[J].水能经济,2017(1):188-188

(上接第59页)

### 参考文献:

- [1]刘华利.塔里木河流域水资源动态变化及其趋势分析[J].甘肃水利水电技术,2019,55(10):6-9
- [2]张小清,崔洪礼.塔里木河干流水资源统一调度现状分析与评价[J].吉林水利,2019(6):5-8,22
- [3]徐玉玲.水资源配置下的河流生态水文演化分析研究[J].黑龙江水利科技,2019(5):17-19
- [4]龙新玲.塔里木河干流水资源特征分析[J].内蒙古水利,2016(3):24-25
- [5]朱娣萱.塔里木河流域水资源合理利用及中下游生态保护

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.015

# 乌东德水电站地质灾害防治工作实践

李玉峰, 庞庆庄, 晁燕安, 何小鹏, 郭进扬, 刘袁春

(中国三峡建设管理有限公司乌东德工程建设部, 云南 禄劝 650041)

**摘要:** 乌东德水电站地处川滇交界的金沙江上, 环境条件恶劣, 地质灾害多发易发, 给安全建设与运行带来了极大的威胁。通过全面深入查清乌东德水电站坝区产生岸坡崩塌、滑坡和泥石流等地质灾害的潜在因素, 研究制定了工程治理措施和管理手段, 经过现场实施的检验, 证明是可行、有效的。

**关键词:** 乌东德水电站; 地质灾害; 防治; 实践

中图分类号: TV698      文献标志码: B      文章编号: 1671-3354(2020)07-0064-04

## Geological Disaster Prevention and Control Practice in Wudongde Hydropower Station

LI Yufeng, PANG Qingzhuang, ZHAO Yan'an, HE Xiaopeng, GUO Jinyang, LIU Yuanchun

(Wudongde Project Construction Department, China Three Gorges Construction Management Co., Ltd., Luquan 650041, China)

**Abstract:** Wudongde Hydropower Station is located on the Jinsha River at the border of Sichuan and Yunnan Provinces. Due to the adverse environmental conditions, geological disasters are frequently encountered, which poses a great threat to the safe construction and operation of the project. The potential factors of geological disasters such as bank collapse, landslide and debris flow in the dam area are investigated comprehensively. Then, engineering treatment measures and management methods are proposed correspondingly. Practical experience shows that the proposed measures are feasible and effective.

**Key words:** Wudongde Hydropower Station; geological disaster; prevention and control; practice

乌东德水电站是金沙江下游河段四个水电梯级乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝中的最上游梯级, 电站左岸隶属四川省凉山州会东县, 右岸隶属云南省昆明市禄劝县, 电站上距攀枝花市 165 km, 下距白鹤滩水电站 182 km。乌东德水电站是我国实施“西电东送”战略的骨干电源, 也是我国“十三五”期间的重大支撑和标志性工程, 电站总装机 10 200 MW, 多年平均发电量 389.1 亿 kWh。乌东德水电站因地理环境和位置条件等不利因素影响, 发生崩塌、泥石流、滑坡等地质灾害的风险极大, 加之施工高峰期人员密集, 发生地质灾害后极易造成群死群伤事故, 因此做好乌东德水电站地质灾害防治工作, 是遏制重特大事故发生的重点管控领域, 也是安全生产的必然要求<sup>[1]</sup>。

## 1 乌东德水电站常见的地质灾害类型及分布

乌东德水电站地处川滇两省山地的高山峡谷地带, 两岸形成了高达 1 000 m 以上的峡谷高边坡, 地质环境条件极为恶劣。乌东德水电站常见的地质灾害种类有崩塌、泥石流、滑坡、地面沉陷等, 其中崩塌、泥石流、滑坡对乌东德工程生产安全的威胁最大, 也是施工过程中需重点防控的对象<sup>[2]</sup>。

### 1.1 崩塌

崩塌也叫崩落、垮塌或塌方, 是较陡斜坡上的岩土体在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动、堆积在坡脚(或沟谷)的地质现象。乌东德水电站坝址区存在大

收稿日期: 2019-12-28

作者简介: 李玉峰, 男, 工程师, 主要从事安全管理、防汛减灾及应急方面的研究。

量悬坡、峻坡,主要集中在左右岸高位自然边坡上,是崩塌地质灾害的易发区,坝址区的自然边左岸自上游红崖湾沟至下游花山沟区域,长度约为1 800 m,左右岸基本对称,左右岸分布有300余个块体,潜在不稳定倾倒岩体20余个,高边坡整体稳定,主要安全风险是不稳定块体、倾倒岩体等,受长时间风化、强降雨或震动等外部因素影响,治理过程中可能发生崩塌。边坡下方主要是交通道路和人员密集的施工场所,发生崩塌易造成重大安全生产事故。乌东德工程通过清理浮石和危石、挂设主被动防护网、开挖支护、监测预警和应急等措施,有效保障了高边坡的安全运行。

## 1.2 泥石流

泥石流是指在山区或者其他沟谷深壑,地形险峻的地区,因为暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流。乌东德坝区地形变化剧烈,山高谷深,暴雨集中,泥石流整体较为发育,工程区内对施工安全构成威胁的泥石流沟主要有阴地沟、猪拱地沟、磨槽沟、花山沟、沙地沟等。其中阴地沟、猪拱地沟和磨槽沟的出口分布于坝址左岸上游约5.9、4.1、2.7 km处,主要对堆场、永久道路以及下白滩砂石加工系统构成威胁,花山沟出口位于坝址左岸下游泄洪洞口水垫塘上方,主要对泄洪洞水垫塘施工构成威胁;沙地沟位于金沙江右岸对外交通连接线,主要对交通安全构成威胁。目前,各泥石流沟的排导槽、拦挡坝等工程治理措施均已实施,施工过程中不断强化管理和应急措施,近几年运行整体情况较好,未发生作业人员因灾致伤致死事故。

## 1.3 滑坡

滑坡是指斜坡上的土体或者岩体,受河流冲刷、地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素影响,在重力作用下,沿着一定的软弱面或者软弱带,整体地或者分散地顺坡向下滑动的自然现象。乌东德坝址区主要滑坡体有:金坪子滑坡、小横山堆积体、陡皮坡滑坡等3处,此外开挖工程弃渣等形成的渣场堆场等,也会产生滑坡的风险。其中金坪子滑坡体位于坝址右岸下游,分为V、IV、III、II、I等5个区,金坪子滑坡V、IV、III、I区处于整体稳定状态,对枢纽无直接影响,II区前端临江部位欠稳定,地质灾害的规模有限,对工程建设与运行不构成威胁,但对该区域布置的生产辅助设施有一定的安全风险。小横山堆积体位于金坪子营地后缘西侧,该滑坡体的中后部处于稳定状态,在暴雨和地震工况下,局部处于欠稳定状态,对民工营地造成有

一定影响;陡皮坡滑坡体位于新村营地东侧,布置有少量民工简易房,坡体整体上未出现变形失稳的迹象,故地质宏观评价滑坡体整体基本稳定,但在强降雨、加载、大挖大填等外因的诱发作用下局部可能产生蠕动变形。目前乌东德工程各滑坡体经完善排水系统、拦挡、减载等措施后,有效降低了地质灾害发生概率。

## 2 地质灾害防治措施

### 2.1 工程措施<sup>[3-4]</sup>

#### 2.1.1 崩塌工程治理措施

乌东德水电站崩塌地质灾害主要集中在坝址区两岸的自然边坡上。根据崩塌风险点的分布、危险程度、经济性和可行性等综合考虑,对坝址上方的边坡浮石、危岩体等采取了清除、锚固和锚喷支护等措施,并在坡面系统覆盖了主动防护网,高程上分级布设了4~5层被动防护网。为保证施工效率和安全,按照自上而下、分区分级的程序进行处理。优先完成坡面浮石和危岩体清理清除,危岩体和坡面锚喷支护以及主被动防护网挂设视情况结合施工实施。

1)浮石和危岩体清除。对于规模小、稳定性差、安全性低的危岩体,采用人工挂安全母绳配合风镐清除或手风钻打孔爆破清除。同时做好上下交叉作业的防护(见图1)。受地形条件和施工手段限制,浮石和危岩体清除往往会有残留,需要二次甚至多次清除。清除浮石和危岩体产生的石渣就近在低洼处砌筑填埋或用于砌筑拦石坎和截排水沟,解决出渣问题。



图1 清除浮石和危石(清撬)图

2)危岩体锚固及锚喷支护。对于规模较大、处于临界稳定状态或稳定性较差的危岩体优先考虑锚固措施(锚索、锚筋桩和锚杆锚固),避免出现挖山不止的情况。对于表面破碎、节理裂隙发育或下部有重要防护部位的危岩体或坡面,采用挂机编镀锌网喷混凝土或挂主动防护网喷混凝土等进行封闭处理。锚固或锚

喷支护作业过程中涉及的高危作业较多,需加强过程监管,确保安全。

对于已完成清除处理的危岩体,随时间推移,受风化和降雨等影响可能会产生新的危岩体或浮石等,需要定期巡查和清理,过程中可能会占用大量的人工,形成上下交叉作业后还可能会影响其他部位的施工进度。因此,浮石和危岩体清除完毕后还须视情况采用主动防护网覆盖、拦石坎和被动防护网分级拦挡等措施作进一步处理,对于重要部位可采用挂网锚喷支护进行封闭(见图2)。



图2 边坡喷射混凝土图

3)加强排水规划。降雨汇水以及施工废水侵入岩(土)体,可能导致掩体受力变化和加载失衡,同时导致岩土体抗剪力变小,下滑力增加,进而增大崩塌的风险。因此存在崩塌风险的部位及周边区域要规划完善的截、排水系统,避免降雨汇水和施工弃水等无序排放,冲刷边坡。

4)改变边坡形状。主要通过放坡和削坡处理,增加边坡自身的稳定性,进而减小崩塌风险。

5)增加支挡设施。对于一些较难处理的浮石和危岩体,可以设置挡墙、增加主被动防护网进行防护,发生崩塌后,隔挡设施可以对崩塌体与人员和设备等有效隔离(见图3)。



图5 泥石流沟拦挡坝图

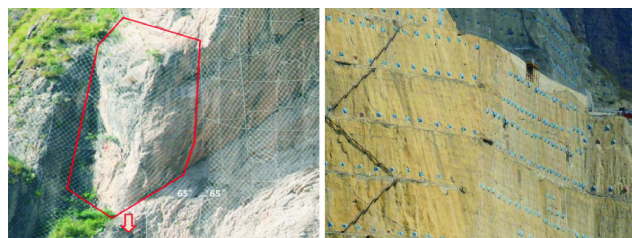


图3 主动防护网和边坡锚固图

### 2.1.2 泥石流工程治理措施

1)治水措施。通过修建引水渠、排水渠、隧洞工程,调蓄引导泥石流沟流域的地表水,减少上游流域降雨汇水流量,改善泥石流形成与发展的条件,进而降低泥石流发生的概率和规模。

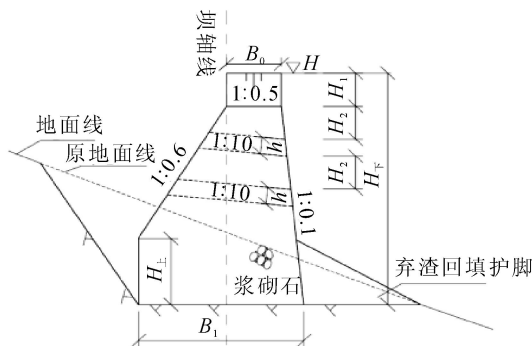
2)排导措施。修建排导沟、导流堤等工程,规划泥石流流径,削弱泥石流强度(见图4)。



图4 泥石流沟排导槽图

3)拦挡措施。修建拦挡坝、谷坊坝等拦截泥石流,防止沟床下切,抬高沟床基准面,稳住泥石流沟两岸残坡积、崩塌积体的部分坡脚,减少松散固体物参与洪水运动,削弱其强度,减小泥石流危险性和破坏性(见图5)。

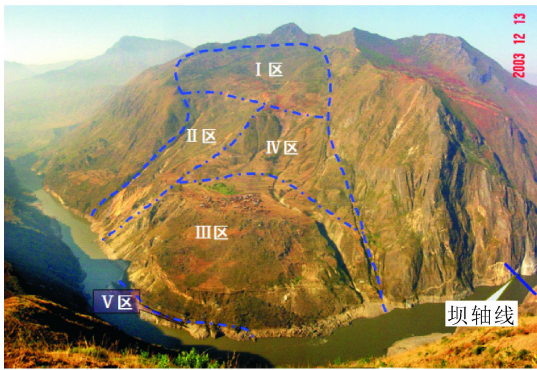
4)防护措施。修建护坡、挡墙等,保护泥石流影响区域内的重要设施免受泥石流的冲击。



5) 避让措施。布置在泥石流沟影响区且线路难以调整的公路、交通隧洞以及桥梁等,通过调整施工方案,以隧洞或棚洞形式从泥石流沟下方或上方穿过,或路改桥跨越泥石流沟,主动避让。

### 2.1.3 滑坡工程治理措施

金坪子滑坡位于金沙江右岸,属于推移式滑坡体,是乌东德滑坡工程治理重点。根据地形地貌、地质构造和成因不同,将金坪子滑坡分为五个区(如图6)。勘察资料和变形监测资料表明,金坪子滑坡整体稳定,仅Ⅱ区存在局部蠕滑变形,局部年变形量最大达0.5 m/年;Ⅰ区受下部Ⅱ区变形牵引影响,地表变形监测速率约为0.07~0.12 mm/d。



常见的滑坡治理措施中,削方减载一般适用于“推移式”滑坡治理,监测资料表明金坪子滑坡Ⅱ区变形呈现“牵引式”变形的特征,后缘削方减载不会提高前缘稳定性,反而会对其产生扰动,故不宜采用。Ⅱ区规模达2 700万 $m^3$ ,抗滑支挡所需要的支挡力非常巨大,且滑体深厚,抗滑支挡的效率很低,技术和经济上均不宜采用。

稳定计算和监测资料表明,地下水(降雨)对Ⅱ区滑坡的稳定性影响很大,滑坡的变形速率与降雨的关系密切,雨季变形大、旱季变形小。Ⅰ区和Ⅱ区滑坡防护措施以排水为主,具体包括:地表排水系统、地下排水系统、冲沟防护等。

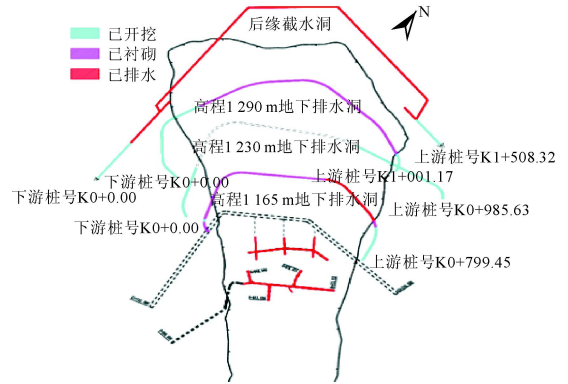


图6 金坪子滑坡分区示意图

1) 地表排水。考虑Ⅰ、Ⅱ区地下水补排路径,参考类似工程经验,统筹考虑Ⅰ区、Ⅱ区的防护要求,在Ⅰ区古滑坡堆积体边界以外3~10 m设置周边截水沟,在古滑坡堆积体内设置横向排水沟,截排水沟总长约3 500 m。

2) 地下排水。Ⅱ区地下水主要来源于Ⅰ区,其地下水的防治主要是截断Ⅰ区对Ⅱ区的补给,在Ⅰ区前缘基岩凹槽下10~30 m左右布置截水洞拦截通过Ⅰ区进入Ⅱ区的地下水。为进一步疏排进入Ⅱ区的地下水、降低地下水位及暴雨工况下形成的暂态水荷载,在Ⅱ区地表变形相对较小的滑体中后部内布置2纵5横7条地下排水洞。各条排水洞均布置在滑带以下基岩中,距基岩顶板界线净距6~15 m。排水洞顶拱布置30~50 m深的主排水孔,穿过滑带引排滑床内地下水。

3) 冲沟防治。金坪子滑坡Ⅱ区下游发育阿摆大沟,区内发育熊家水井大沟呈叉枝状分布于滑坡体内,上述冲沟向滑坡体内补给地下水。

阿摆大沟高程1 130 m以上切割不深,对冲沟开

挖衬砌后形成周边截水沟;高程1 130 m以下下切较深,采取对沟底适当清理后衬砌、两侧边坡防护的方案。

熊家水井大沟发育有2条支沟,下切深度相对较浅,将其顺势修挖后形成纵向排水沟,采用浆砌石砌护和砂浆抹面。为防止地表持续变形拉裂排水沟造成地表水入渗,在沟底衬砌之下设置10 cm厚中砂垫层,垫层下设一层防渗土工布。熊家水井大沟切割较深的部位亦采用沟底适当清理后衬砌、两侧边坡防护的方案。

## 2.2 管理措施<sup>[5]</sup>

1) 持续开展地质灾害安全评估。建设管理单位每年组织编制项目实施安全评价和地质灾害危险性评估,评估报告作为防灾减灾的设计依据,各单位根据原有的责任分区,制定推进工作计划,落实各项措施,实行“销号制”,各单位管好自己的“责任田”。

2) 健全群测群防安全监测体系。乌东德水电站的建设管理单位组织各单位建立了建设单位、设计单位、监理单位、施工单位和现场协作单位的“五级”监

(下转第72页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.016

# 某水电站1号机组支持盖振动增大分析及处理

侯俊龙, 杨明扬, 卢楠

(中国长江电力股份有限公司 湖北宜昌 443002)

**摘要:**通过对某水电站1号机支持盖振动增大原因分析,就可能存在的原因进行逐一检查,发现1号机1号转轮叶片局部缺失是振动增大的根本原因。利用机组检修机会对缺失部位进行了修复,有效解决了1号机支持盖振动增大及超标缺陷。

**关键词:**水轮机;支持盖;振动;超标

**中图分类号:**TV734.2

**文献标志码:**B

**文章编号:**1671-3354(2020)07-0068-05

## Analysis and Treatment of Excessive Vibration of the Support Cover in a Hydro-turbine Unit

HOU Junlong, YANG Mingyang, LU Nan

(China Yangtze Power Co., Ltd., Yichang 443002, China)

**Abstract:** The excessive vibration problem of the support cover in a hydro-turbine unit is analyzed. It is found that the essential reason of the excessive vibration is the partial damage of the 1# runner blade. Then, the damaged part is repaired during the unit maintenance, which effectively solves the excessive vibration problem.

**Key words:** hydro-turbine; support cover; vibration; excessive

某水电站1号机布置于左岸电站,由东方电机有限公司生产制造,1981年7月投运。1号机水轮机基本参数如下。

水轮机型号:ZZ560-LH-1130;额定功率176 MW;额定转速:54.6 r/min;额定水头:18.6 m;额定流量:1 130 m<sup>3</sup>/s;转轮直径:11.3 m;轮毂比:0.4;最大轴向水推力:3 800 t;转轮体高2.75 m,长和宽各为4.024 m,重量为120 t,转轮体为球形结构,球体直径为4.52 m,装有4个可转动叶片,其转角范围-10°~+24°,操作叶片转动的接力器直径为2.85 m。

## 1 故障现象

水电站1号机于2017-11-14日至12月1日期间完成常规性C级检修工作后处于备用状态。在12月13日开机运行后发现其支持盖垂直振动整体偏大,接近上限值(标准 $\geq 110 \mu\text{m}$ ),且偶有超标情况,水平振动正常。经查询1号机支持盖历史稳定性数据发现

(如图1),在1号机停机检修前支持盖垂直及水平振动均正常,开机运行后垂直振动明显增大、水平振动趋势无明显变化。

## 2 故障诊断分析

### 2.1 支持盖结构及传感器布局

水电站1号机组水轮机支持盖结构型式如图2、3所示,外形尺寸 $\Phi 11\ 780 \times \Phi 5\ 000 \times 2\ 670 \text{ mm}$ ,布局于顶盖内侧,是水轮机导水机构的重要组成部分。

支持盖水平及垂直振动传感器互成90°布置于支持盖内侧+X和+Y方向处,传感器型式为低频速度传感器<sup>[1]</sup>。

### 2.2 可能原因分析

1)传感器通讯线路或系统软件故障。水轮机支持盖振动传感器属于在线监测系统的一部分。由于在线监测系统在传输数据时,主要通过电缆,转接端子,采集箱等元件进行传输,而这些电缆或者接线端子的

收稿日期:2019-12-16

作者简介:侯俊龙,男,工程师,主要从事水电站水轮发电机组机械设备维护及检修工作。



信号线随着长时间的运行后可能产生松动或者脱落,导致接触不良,因此可能造成传感器输出信号异常,导致在线监测系统显示值与实际值不符。另外,在线监

测系统在运行时需要采集、分析、存储各种状态量,在运行过程中可能产生刷新数据不及时等情况也会导致数据失真<sup>[2]</sup>。

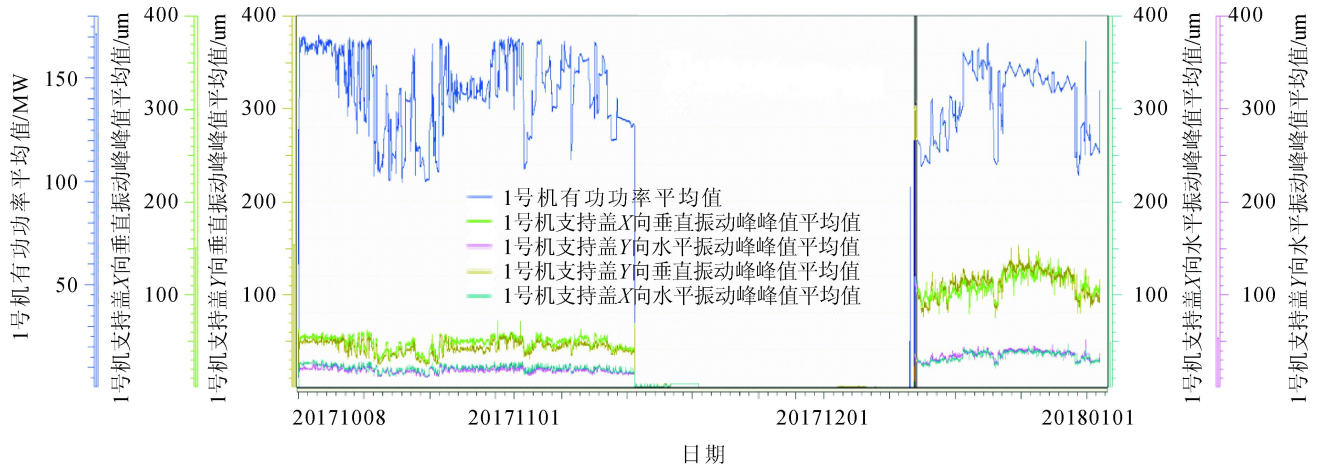


图1 1号机支持盖振动变化趋势图

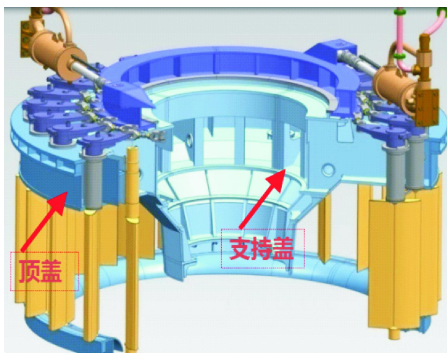


图2 1号机支持盖三维示意图

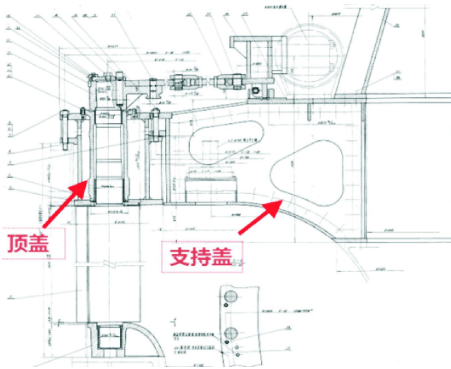


图3 1号机支持盖平面示意图

2)传感器异常。水轮机支持盖振动传感器运行环境比较复杂<sup>[3]</sup>,长时间运行后可能会导致性能异常或损坏。最终也会影响水轮机支持盖真实振动值的输出。

3)水轮机工况不佳。水轮机未在协联工况或在振动区下运行<sup>[4]</sup>,也会导致支持盖振动增大。

4)水轮机水下部件异常。水轮机过流部件偏差、流道偏差、导叶控制部件运动偏差、转轮安装高程偏差以及转轮叶片形态异常等均有可能导致支持盖振动异常。但由于1号机在此之前的运行状态、稳定性均正常,因此可以排除导叶控制部件运动偏差、转轮安装高程偏差等存在问题。但可能存在因机组在运行过程中出现的如过流部件、流道部件脱落或转轮叶片缺失等情况。

## 2.3 检查情况

### 2.3.1 传感器通讯线路、系统及传感器检查

现场检查传感器线路、监测系统以及传感器电压输出均正常。传感器安装牢固、不存在接反或装反情况。

### 2.3.2 水轮机工况检查

查看和跟踪1号机运行工况,发现除支持盖垂直振动以外,导叶开度、轮叶开度协联关系,出力以及其他稳定性参数等均无异常。且机组均未在振动区运行过。以下列举了1号机自支持盖振动增大以来的4个工况点数据,见表1。

长期跟踪1号运行情况发现,自支持盖垂直振动增大以来,除了在低负荷运行时有所降低和改善外,其他大部分垂直振动趋势并未随工况的变化而有明显的变化<sup>[5]</sup>,且振动值基本处于上限或偶有超标情况,以下为1号机自支持盖垂直振动增大后1年的支持盖振

动趋势概览图,见图4。

表1 1号机自支持盖振动增大以来的4个工况点数据表

参数	工况点			
	1	2	3	4
水头/m	24.5	24.3	18.8	14.1
导叶开度/%	59.6	49.3	82.7	90.0
轮叶开度/%	38.1	18.9	73.0	77.2
出力/MW	137.7	104.3	164.8	120.4
水导 X 向摆度/ $\mu\text{m}$	98	93	105	100
水导 Y 向摆度/ $\mu\text{m}$	102	99	122	102
支持盖 X 向水平振动/ $\mu\text{m}$	30	27	37	32
支持盖 Y 向水平振动/ $\mu\text{m}$	29	28	38	27
支持盖 X 向垂直振动/ $\mu\text{m}$	114	95	96	98
支持盖 Y 向垂直振动/ $\mu\text{m}$	124	92	112	95

注:其他稳定性数据如上导摆度、上机架振动均正常;其中水导摆度 $\geq 600\ \mu\text{m}$ ,支持盖水平振动 $\geq 90\ \mu\text{m}$ 、支持盖垂直振动 $\geq 110\ \mu\text{m}$ 。

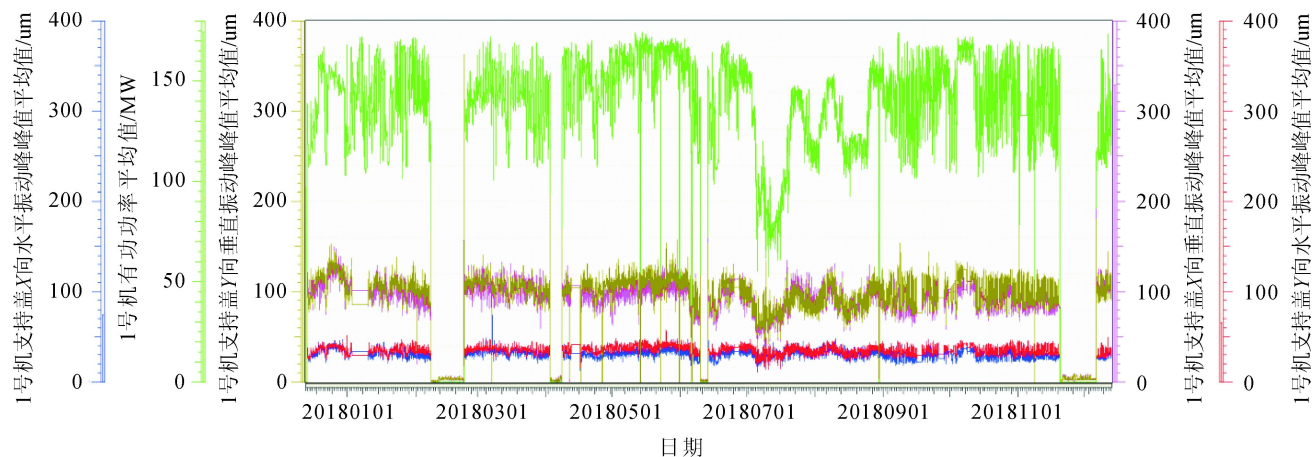


图4 1号机支持盖振动概览图



图5 1号机1号叶片出水边脱落图

### 2.3.3 水下部件检查

结合1号机大修,对1号机水下部件进行详细检查。检查发现1号机1号叶片出水边靠近裙边侧有约 $975\ \text{mm} \times 880\ \text{mm}$ 的扇形区域叶片整体脱落缺失(见图5),距离叶片内圆约 $2\ 180\ \text{mm}$ ,整体延伸至叶片裙边根部,且叶片进水边、出水边、叶片根部均存在不同程度的裂纹缺陷。其他水下部件如过流部件、转轮室、流道等除了存在一定磨蚀以下,无其他异常情况。由此可初步认为1号机1号叶片局部脱落是导致1号机支持盖垂直振动增大的根本原因。

## 3 缺陷处理

为保证1号机1号叶片脱落区域的处理效果以及叶片处理后叶型匹配性和完整性,委托机组厂家对缺失叶片区域进行加工。结合此次机组大修对转轮其他叶片缺陷进行了一并处理,处理情况如下。

1) 1号叶片脱落部位缺陷处理。现场测量叶片脱落区域接口处型线尺寸,在2号叶片同一位置处描绘出脱落部分模型,确定镶块模型尺寸;对原断口位置进行吹割打磨处理,打磨深度约 $5\ \text{mm}$ ;装焊镶块,调整好镶块位置,焊前采用烤枪预热,多层多道焊接,清根焊透,每一次焊接前检查焊缝表面质量;焊后打磨,焊接位置处圆滑过渡,无突变;PT和超声波探伤检查,无裂纹等缺陷,主要处理过程详见图6~图11。

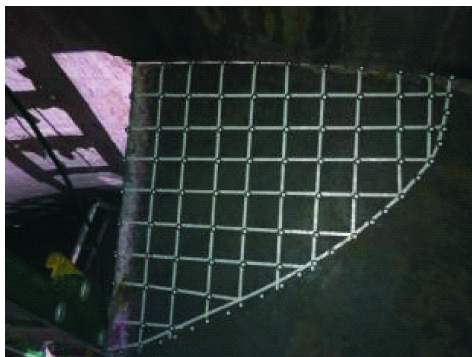


图6 确定模型尺寸图

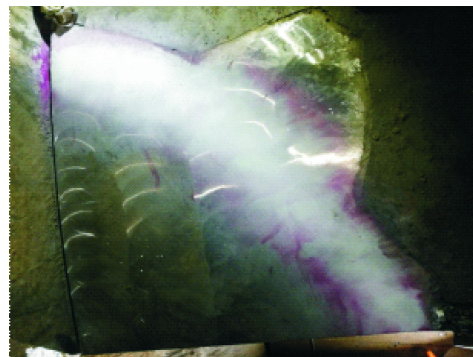


图10 PT探伤图



图7 模型定位图

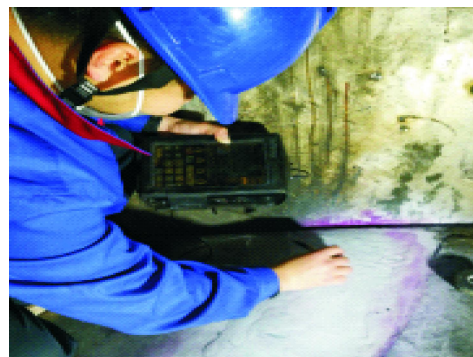


图11 超声波探伤图



图8 焊接图

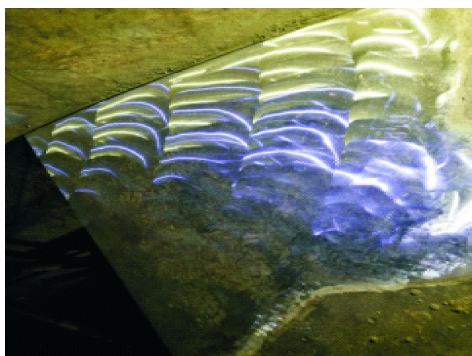


图9 打磨图

2) 对1号叶片及其他叶片裂纹区域进行处理。叶片裂纹主要为:1号叶片进水边长约170 mm的贯穿性裂纹,1号叶片出水边正面长360 mm、背面长470 mm的贯穿性裂纹,1号叶片根部背面R角两处长约70 mm的裂纹;2号叶片进水边长约30 mm的贯穿性裂纹。

对裂纹处进行清理,PT探伤,确定叶片裂纹源头后,在源端钻止裂孔,防止吹刨时裂纹扩展;先从叶片下部吹刨叶片厚度的1/2,进行补焊,再从叶片正面进行吹刨补焊;焊接及处理工艺与叶片脱落区域处理工艺基本一致。

3) 对叶片气蚀区域进行补焊打磨,叶片光滑过渡。

#### 4 处理评价

1号机1号叶片缺陷处理后,机组按计划进行了开机,开机运行后跟踪查看1号机稳定性情况,发现支持盖垂直振动有所减少及改善,变化趋势如图12所示。对比处理前后支持盖垂直振动基本由95~115 μm减少至72~85 μm,降幅为26%~35%。其他稳定性数据均正常。此次处理达到了预期效果,同时也找到了支持盖垂直振动增大的根本原因。

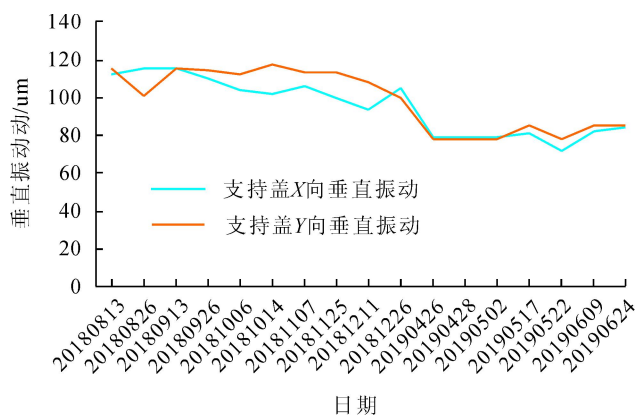


图12 1号机支持盖垂直振动趋势变化图

## 5 结语

通过对某水电站1号机支持盖振动增大原因进行了分析。根据可能存在的原因进行了一系列检查,最终检查发现1号机1号转轮叶片局部存在缺失,明确了支持盖振动增大并偶发超标的原因。利用机组检修机会对缺失部位进行了修复处理,解决了1号机支持盖振动增大及超标缺陷。

结合此次缺陷分析检查及处理,针对后续其他同类型设备的运行及维护提出了以下两点建议:

(上接第67页)

控网络。同时,工区在花山沟和电站右岸边坡(鸡冠梁子高边坡)示范性的应用了自动化灾害监测预警与应急管理平台系统,可实现对泥石流和崩塌的相关参数进行全天候监测,依托信息平台自动发布监测预警信息。人工与自动化信息监测和预警体系的综合运用,有效保障发现地质灾害隐患后,可以及时预警、迅速处置、快速撤离。

3) 强化现场隐患查改。目前乌东德水电站实行防灾减灾月度检查、专项检查、雨前雨后排査和日常巡视的“四个层级”的检查工作机制,各类检查以通报和工作联系单的方式进行督办,确保整改到位。

4) 强化应急管理工作。建设管理单位组织编制了地质灾害防治方案和突发地质灾害应急预案,积极开展培训和实战应急演练,广泛宣传辨灾、识灾、避灾知识,提升各级人员尤其是一线人员的应急意识和应急能力。

5) 做好基础保障工作。高效正确的应急处置工作是减少灾害损失的最后保障,各单位在日常即做好应急保障工作,主要包括应急通讯、监测预警、应急设备物资、应急抢险队伍、经费和供水供电等保障工作,确保关键时刻“拿得出、用得上”。

1) 充分考虑机组水下部件运行环境和运行状态的复杂性。结合机组水下部件运行寿命及检修周期,定期对水下部件进行仔细检查和处理。确保机组安全稳定。

2) 针对机组在运行过程中如支持盖振动等稳定性指标出现恶化时,应立即停机进行检查。避免机组相关部件造成不可预估的损失。

该缺陷的分析、检查及处理的思路和方法可为其他同类型水电机组存在的类似问题提供借鉴和参考。

### 参考文献:

- [1] 彭兵, 李友平, 曹长冲, 等. 大型水轮机顶盖振动传感器安装位置对比分析[J]. 大电机技术, 2016(2): 33-36, 56
- [2] 蒋小辉, 李初辉, 张家治. 基于电站最优维护信息系统的机组机械振动分析——以葛洲坝电厂10号机组为例[J]. 人民长江, 2017, 48(6): 88-91
- [3] 付文强, 许菲. 水轮发电机组振动原因及分析[J]. 青海师范大学学报: 自然科学版, 2015(1): 71-74
- [4] 方友林. 水轮发电机组振动过大的原因分析及处理方法研究[J]. 机电信息, 2015(9): 51-51, 53
- [5] 高峰, 郑南轩. 基于水头因素影响的轴流转桨式水轮机振动分析[J]. 水电与新能源, 2014(7): 53-58

## 3 结语

乌东德水电站在建设过程中,地质灾害风险高,施工人员设备密集,一旦发生崩塌、泥石流等地质灾害,易造成人员重大伤亡和经济损失。在现场实际应用中,针对一种地质灾害通常采用多种工程措施,同时辅以管理措施进行综合治理,基本达到了预期的效果。因此,做好防灾减灾的实践,对于指导乌东德水电站以及其他山地筹建在建工程防治地质灾害具有一定的指导意义和示范作用。

### 参考文献:

- [1] 王民浩, 杨志刚, 刘世煌. 水电水利工程风险辨识与典型案例[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010
- [2] 郝文忠, 黄孝泉, 王吉亮, 等. 乌东德工程坝址区主要项目实施期安全风险及评价[J]. 中国水利, 2017(z1): 41-44
- [3] 牟荣峰, 蒋龙, 晁燕安, 等. 乌东德工程高位自然边坡治理安全管控思路探析[J]. 中国水利, 2017(z1): 45-46
- [4] 李亚丽, 杨凯, 陈金珍, 等. 乌东德水电站工程施工安全管控难点及对策分析[J]. 水利水电技术, 2015, 46(z1): 99-100
- [5] 王义锋. 乌东德水电工程地质构造对建设管理的挑战[J]. 中国水利, 2017(z1): 18-20

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.017

# 新形势下水电厂运行班组 安全精细化管理的探索与实践

沈同科, 孙 勇

(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北 宜昌 443000)

**摘要:**近年来随着水力发电企业安全管理水平不断提高,基层班组管理也越来越规范。从精细化角度分析水电厂运行班组安全管理的各项措施,并对如何实现班组安全精细化管理进行了积极的探索和实践,有效提高了班组安全管理水平,保障了企业经济效益和可持续发展。

**关键词:**水电厂运行班组;安全精细化管理;探索与实践

**中图分类号:**TV737      **文献标志码:**B      **文章编号:**1671-3354(2020)07-0073-03

## Exploration and Practice of the Delicate Safety Management of Operation Team in Hydropower Stations under the New Situation

SHEN Tongke<sup>1</sup>, SUN Yong<sup>2</sup>

(Hubei Qingjiang Hydroelectric Development Co., Ltd., Yichang 443000, China)

**Abstract:** With the improvement of the safety management level of hydropower enterprises, the management of the fundamental teams is also becoming more and more standardized. From the angle of the delicate management, various measures are proposed and analyzed for the delicate safety management of the operation team in hydropower stations. These measures can effectively improve the safety management level of the operation team and guarantee the economic benefits and sustainable development of hydropower enterprises.

**Key words:** operation team in hydropower stations; delicate management of safety; exploration and practice

班组安全管理是指为保证班组的安全生产在良好的环境和工作秩序中开展,杜绝人身、设备等事故的发生,保证员工的人身安全、设备安全得到保障而进行的一系列管理工作<sup>[1]</sup>。近年来随着国有企业面临的环境和形式不断变化,水力发电企业管理水平大幅提高,同时对安全管理的要求越发规范和精细化,传统的粗犷式的安全管理模式已不能满足现代的企业安全生产和可持续发展的需要,因此,科学的精细化的管理方式越来越受到重视。

### 1 精细化管理的含义

精细化管理的思想源于现代发达国家的一种管理理念,是社会分工的精细化以及服务质量的精细化对现代管理的必然要求<sup>[2]</sup>。同时,精细化管理又是一种管理方法和管理工程,其内涵就是企业在规范化和标

准化的基础上,对其生产流程、管理流程进行科学细化和合理优化的过程,实现组织结构专业化、工作方式标准化、管理制度化、员工职业化<sup>[3]</sup>。对于电力企业基层班组来说,实施班组安全精细化管理,就是通过对班组内部各项安全生产要素和环节精细化控制和管理,以确保班组各项安全生产和管理工作顺利进行。

### 2 实施班组安全精细化管理的必要性

班组是企业内部最小的管理单位,是企业从事安全生产、经营管理活动最基础的组织单元。运行班组作为水电企业电力生产的第一线班组,是完成电力安全生产任务的主要实施者,也是水力发电企业安全生产管理的主体和基础,班组安全管理水平不仅关乎班组成员个人的安危,而且影响电厂机组安全运行和企业的经济效益。因此,实施基层运行班组安全精细化

收稿日期:2019-12-20

作者简介:沈同科,男,工程师,主要从事水电厂运行生产管理方面的工作。

管理,是强化企业安全管理基础、提高生产效益以及增强核心竞争力的必然要求。

### 3 班组安全精细化管理实施对策

班组安全精细化管理包含管理意识、管理制度、成员管理、日常工作等几个方面,本文以水电厂运行班组为例,探索实施班组精细化管理之路。

#### 3.1 树立安全精细化管理意识

实施安全精细化管理的前提是要充分认识精细化管理意义,并在班组内部树立精细化管理的意识。精细化管理是一种理念、一种管理方法和工具、也是一种精益求精的文化。实现精细化管理就是立足本职岗位,从小事入手,对每一项工作都要求精细化、制度化、标准化,对每个工作细节都要精益求精,从而实现班组各项安全工作精细化管理,保障企业安全生产。

#### 3.2 班组安全管理制度精细化

“没有规矩,不成方圆”。要实现班组安全的精细化管理首先要做到有法可依,有章可循,所以,完善的班组内部安全管理制度不仅是基础更是关键。

1)安全管理标准精细化。制定班组内部具体而有实效的《安全学习教育制度》、《工具管理制度》、《安全生产检查管理制度》等基础管理标准,各项管理标准明确细致地规定了相应的管理内容和工作标准,为班组基础安全管理提供管理制度保障,实现班组日常基础管理工作精细化、制度化、标准化。

2)安全目标管理精细化。结合生产工作计划制订班组年度安全生产工作目标,明确班组安全控制目标要求,如制定“零违章 零失误”的双零目标和“两票”合格率100%等。对安全目标进行细化,可分解为班员的个人安全目标和工作目标,对个人要防止违章,对班组要防止出现事故。安全目标表要具体、可量化,并且要有保证实现目标的控制措施。

3)安全生产责任精细化。“安全生产,人人有责”,要实现安全目标必须做到责任到位。班组全员与班长签订可量化考核的年度安全生产责任书,明确和细化每一位成员的安全承诺和安全职责,并与员工绩效考核挂钩,层层压实安全生产责任,发生责任事件时严格按照“四不放过”原则严肃处理,确保班组生产计划顺利进行。同时,完善班组安全激励机制,对保证安全生产做出突出贡献的员工进行奖励,调动员工安全生产积极性。

#### 3.3 班组成员管理精细化

班组成员是班组安全管理的核心要素,只有全员

参与并具备专业化的业务技能才能有效实施班组精细化管理。

1)岗位职责精细化。根据岗位性质制定科学规范的班组岗位职责分工说明书,明确、细化班组成员工作分工和班务分工,班组“五大员”配备齐全,工作任务分解横向到个人、纵向到车间。工作安排要以人为本,注意沟通,工作任务分派要细化,根据任务量合理周密的安排计划和时间,并强调执行力,做到班组内部人人有事做,事事有人管,消除管理上的盲点,提高管理效能,保证班组各项工作高效运行不“空转”。

2)技能培训精细化。专业岗位技能直接影响着电力安全生产质量。一是组织实施“导师带徒”培训活动,根据员工岗位和工作性质,因材施教,按需培训,制定科学详细的培训计划,实施精准培训。二是要选用针对性强的培训手段,选择《水电厂运行值班技能培训手册》等专项培训教材,并利用职业性格测试(MBTI)教学对策以及TWI知识方法<sup>[4]</sup>,提高员工培训效果。三是加强综合安全技能培训,针对运行岗位要强化实操能力,定期开展事故实战演练,提高全体班员事故应急处理能力;开展职业健康技能培训,掌握各种劳保用品和绝缘工器具使用方法,保障作业安全;进行消防灭火及触电急救等技能培训,掌握应急救援技能,以此着力培养职业化、专业化技能人才。

#### 3.4 日常安全基础管理精细化

日常安全管理工作是班组安全管理工作中重要基础,做实做细基础安全管理工作是实施安全精细化管理的关键。

1)班组安全教育精细化。安全教育是班组安全管理重要内容之一,目的是提高员工安全思想认识和责任心,消除人的不安全行为,减少“三违”现象。①制定安全学习管理制度,规定安全学习频次乃至形式,学习活动常态化,强化班员安全责任意识,树立“安全第一、预防为主”的安全理念。②实施多元化的安全教育日活动。班组安全教育是一种实践教育,要积极采用教育效果好、灵活新颖的形式,如利用KYT危险预知训练、视频案例和情景模拟等动态教育方法,加深员工安全学习体验。③建立班组特色安全文化墙。树立班组安全理念和安全价值观,安全承诺、安全口号、安全标语等上墙,营造人人懂安全、人人讲安全、人人会安全的班组安全氛围,培育良好的班组安全文化,安全管理台账管理规范,大力传承工匠精神,展现班组专业、良好的文明生产形象。

2)“两票三制”管理精细化。“两票三制”即工作票、操作票和交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮

换制,是运行工作安全管理基础关键环节。①两票管理标准化。根据实际工作对工作票和操作票进行分类和分级管理,细化安全措施和技术措施内容,采用标准化手段,建立标准操作票,并利用电厂AMS生产系统规范办理两票流程。②建立班组巡检制度。规范班组交接班清单,细化交接班内容,严格按照交接班表逐项履行交接班手续,无缝对接各项生产工作;制定班组人员周末 oncall 值班制度,保证节假日期间巡检不间断;优化巡检方式,根据设备运行规律、环境因素和设备属性制定专项巡检和联合巡检方法,提高巡检质量,保证设备巡检深度和广度;完善巡检作业指导书,细化设备巡检内容,规范巡检路线,做到精细化巡检,省时省力。③设备定期工作实施系统化。利用AMS生产系统内电子工单系统生成可操作性强的执行工单,按时完成各项设备定期工作,并及时登记好台账。

3)作业标准管理精细化。作业标准化管理是精细化管理的基础。①实行作业指导书制度。运行班组主要包含巡检及定期工作作业指导书,两票工作作业指导书等。作业指导书作为日常工作的一个依据,明确规定班组成员各项工作的具体内容、操作方法、所需工具、危险源清单及防范措施和工作流程等,具有很强的操作性和实用性,并根据工作实际不断修编完善<sup>[5]</sup>。②检修和操作流程标准化、精细化。编制和完善设备《检修流程执行卡》及复杂设备《倒闸操作操作指南》,并采用目视化手段张贴在设备醒目位置,用于精细化控制检修进度,规范指导员工现场操作步骤,避免操作失误,提高工作效率。③建立标准化操作票库。将固定化的操作形成统一作业标准票,让每一名操作人员明确每一个环节、每一个过程应该做什么、怎么做,做到什么程度。④事故应急预案精细化。运行事故预案要简洁,事故处理步骤要细致、流程化,可操作性强,发生事故时便于快速响应和启动。

4)班组安全检查精细化。安全第一,预防为主。①组织开展班组内部定期和不定期安全大检查,检查安全管理薄弱环节和安全措施的落实情况,检查要全方位、精细化,及时发现存在的安全隐患,详细记录于安全台账。②开展班组危险源辨识管理活动。对于安全检查中发现的不安全隐患编制班组内部危险源清单,并制定详细的危险点防范措施,实施动态管理,及时更新和完善。

5)设备和物资管理精细化。①设备管理精细化。对运行设备实施目视化管理,设备标牌做到标牌、设备、图纸相符;对不同设备制定不同身份标牌和巡检二维码并在AMS生产系统内使用“设备树”方法管理,

办理工作票时可便捷选择设备;使用相应色彩标明设备油、水、气管道介质流向;对设备盘柜内二次电源开关实行双重名称编号管理。②设备运行分析精细化。使用智能巡检仪进行设备巡检,将智能巡检仪扫描的运行参数进行深入分析和判断,运用大数据处理手段对数据变化趋势进行精细化分析,及时发现设备隐患和运行异常,并根据分析结果建立设备健康履历表,实时掌握设备运行规律,对可能发生运行异常的设备巡检时进行重点跟踪观察,采取相应预控措施,保障设备连续稳定运行。③工器具定置管理。班组安全工器具和劳保用品管理执行5S标准,并做到“四定”,即定期检查、定期校验、定期保养、定置管理,由工器具管理员专人管理,确保安全工器具和劳保用品合格齐备,性能满足工作要求,避免因工器具不合格导致人身伤害事故。

### 3.5 现场操作精细化

班组生产现场是安全管理的主体,据统计,90%的事故时发生在一线现场,因此,班组安全管理关键是要加强工作现场安全管控。运行操作是运行班组日常工作的一项重大内容,也是最容易出现失误的地方<sup>[6]</sup>。

1)加强现场操作过程管理。从现场倒闸操作前、操作中、操作后三个环节进行精心把控。操作前对重点、难点操作项目集中梳理操作步骤和流程,提前拟好操作票,精心安排各项操作环节;操作中全面落实安全生产标准化,实行精细化操作。操作过程全面推行“手指口述安全确认法”,保证各项倒闸操作步骤安全、准确;操作后全面检查,用“交叉检查法”,对操作票所有执行项目进行全面检查,防止安全措施执行不到位。

2)开展岗前“五分钟思考法”。系统分析操作过程风险,制定操作事故预防措施,合理安排操作人员,把人员职业健康、精神状态纳入安全管理范围,不安排情绪不佳、身体不适的班组成员进行倒闸操作。

## 4 结语

安全生产是电力企业永恒的话题,也是不可逾越的红线。“安全在于细节”,运行无小事,安全是大事。基层班组安全管理工作是一项长期的系统性工作,也是每一个电力企业管理工作的重中之重,安全管理必须精耕细作,要坚持以精细化管理思想和手段抓好电力安全生产每一个环节,建立科学、完善、精细的安全管理体系,不断提高班组安全管理水平,从而保障电力企业安全生产、经济效益和可持续发展。

(下转第78页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.07.018

# 浅议水电工程移民安置区环境保护管理工作

周建,张燕萍,辜清华,孙小敏

(中国长江三峡集团有限公司移民工作办公室,云南 昭通 657000)

**摘要:**移民安置区环境保护管理工作是我国水电工程移民安置管理的重要组成部分,其有效性和科学性是水电移民专项工程竣工验收的重要组成部分。通过对水电工程移民安置区环境保护工作现状与问题的分析总结,探索性地提出了有效的移民安置区环境保护管理措施,建立和完善移民安置区环境保护法规政策体系,开展移民安置区环境保护规划环评工作,严格执行移民安置区环境监理制度等。

**关键词:**水电工程;移民安置区;环境保护;管理措施

**中图分类号:**TV737 **文献标志码:**C **文章编号:**1671-3354(2020)07-0076-03

## Management of the Environmental Protection Work in Resettlement Areas of Hydropower Projects

ZHOU Jian, ZHANG Yanping, GU Qinghua, SUN Xiaomin

(Office of Resettlement Work, China Three Gorges Corporation, Zhaotong 657000, China)

**Abstract:** Management of the environmental protection in resettlement areas is an important part of the resettlement management work in hydropower projects. Its validity and reasonability are essential parts of the completion acceptance of resettlement work. The current situation and existing problems of the environmental protection work in resettlement areas of hydropower projects are summarized. Then, some effective management measures for the environmental protection work in resettlement areas are proposed, such as the establishment and improvement of the environmental protection regulation and policy system, the environmental protection planning and assessment, and the strict implementation of environmental supervision system.

**Key words:** hydropower project; resettlement area; environmental protection; management measure

目前,国内外关于水电工程移民安置区环境保护管理研究较少且缺乏系统性,现有研究一般只针对移民安置过程中的部分环节提出环境保护对策或建议,很少对水电工程移民安置全过程环境保护管理进行研究分析<sup>[1-3]</sup>。本文以国内水电工程移民安置区环境保护工作现状和存在问题为切入点,研究探讨有效的水电工程移民安置环境保护管理方法,旨在进一步规范 and 推动水电工程移民安置区环境保护管理体系和制度化建设,为今后水电工程移民安置环境保护管理工作提供参考。

## 1 水电工程移民安置区环境保护管理研究的必要性

按照工程建设区域划分,水电工程环境保护工作主要包括枢纽工程区和移民安置区两个组成部分,目前国家有关枢纽工程区环境保护管理法律规范较为系统和全面,枢纽工程建设区域内环境保护工作在水电工程建设过程中均能按照相关规程规范要求开展环境保护措施落实和全过程管理工作;由于移民工作的复杂性和相关政策规范的不完善,移民安置区的环境保护措施实施和管理工作因各种主客观因素影响而相对

收稿日期:2020-04-28

作者简介:周建,男,工程师,主要从事水电工程移民管理工作。



进展缓慢和滞后,严重制约水电工程竣工移民专项验收和工程总体验收工作。因此加快研究和制定完善水电工程移民安置区环境保护管理办法,推进移民安置区环境保护政策法规体系的建立,明确移民安置区环境保护管理工作方法和重点,既是移民安置区环境保护工作的需要,也是提升水电工程环境保护工作成效的客观需要。

随着水电工程环境保护工作的不断深入,一系列有关水电工程项目环境保护法律法规和规程规范相继出台,在一定程度上缓和了水电工程开发建设与工程区生态环境保护之间的矛盾,促进了水电工程移民安置区环境保护工作的落实。在现行的水电工程移民工作体制下,国家实行“政府领导、分级负责、县为基础、项目法人参与”的移民工作管理机制,移民安置区环境保护工作参与方众多(包括环境保护行政主管部门、移民管理机构、地方政府、项目业主、设计、监理单位等),且移民工程类别繁杂(包括生产安置、搬迁安置及专业项目复建等),如若不建立系统全面的环境保护法规政策体系,必然会导致移民安置区环境保护管理工作权责不清、效率低下。

根据近年来国内水电工程移民安置区域环境保护工作的实际情况,在移民安置区环境保护管理过程中存在一些问题与困难。例如:移民工程项目数量众多、种类涵盖广、分布区域散,移民安置区环境保护工作开展较为复杂;移民安置区环境保护工作开展方法在现有规程规范中没有明确;对需开展环境保护工作的移民项目暂无明确界定和开展程序。为有效解决以上问题,有必要根据水电工程移民安置区环境保护工作的特点制定统一的管理办法,进一步明确移民安置区环境保护管理的工作内容和技术要求,以更好地规范和指导移民安置区环境保护管理工作,为水电工程环境保护政策法规体系完善提供有益补充。

## 2 国内水电工程移民安置区环境保护工作概况

### 2.1 移民安置区环境保护政策法规体系建立过程

在我国水电工程开发建设发展过程中,可以明显看到国家对移民安置区环境保护工作的重视程度的加深。从建国初期到改革开放以前,由于当时我国自然生态环境较好,加之业内普遍存在“重工程、轻移民”的思想倾向,移民安置区环境保护工作基本不受重视;改革开放以后,国家提出了“开发性移民”的方针,并

颁布实施了《中华人民共和国环境保护法》,水电工程开发建设环境保护工作得到了逐步重视<sup>[4-5]</sup>。

2006至2007年,国务院和国家发改委先后修订颁布了《大中型水利水电工程建设征地补偿和移民安置条例》(国务院令471号)、《水电工程建设征地移民安置规划设计规范》(DL/T 5064—2007)和《水电工程水库库底清理设计规范》(DL/T 5381—2007),对建设征地补偿和移民安置工作开展原则、移民安置规划中有关环境保护设计内容和库底清理设计编制等提出了明确要求。在这期间,随着《环境影响评价法》的颁布与实施,国家对水电工程环境保护工作提出了新的要求:在工程可行性研究阶段需编制环境影响报告书并获国家批复,在实施阶段需全面落实环评批复文件中各项环境保护措施并严格执行“三同时”制度,水电工程移民安置区环境保护工作迈入了新阶段。

### 2.2 国内水电工程移民安置区环境保护工作现状与问题

1)移民安置区环境影响评价制度执行情况。在大型水电工程开工核准前,移民安置区与枢纽工程区共同编制工程环境影响报告书和水土保持方案并逐级报国家有关部门审核批复,较好地执行了移民安置区总体环境影响评价制度;但对于移民安置区域(集镇、工矿企业及专业项目迁(复)建等移民单项工程,大多未单独开展环境影响评价工作(例如,金沙江下游的溪洛渡水电站库区移民单项工程基本未进行环境影响评价)。国内中小型水电工程基本未严格执行移民安置区环境影响评价制度<sup>[6]</sup>。

2)移民安置区环境保护措施设计和实施情况。在大中型水电工程移民安置规划大纲或移民安置规划报告编制阶段,单独设立“环境保护与水土保持”篇章,对移民迁(复)建工程选址和建设提出有关环境保护与水土保持要求,在开展移民安置点、城(集)镇及专业项目等移民单项工程规划设计时,同步进行了城(集)镇市政工程和专项设施配套的环境保护和水土保持措施设计,提出了环境保护与水土保持工程施工图设计和概算费用;在大中型水电工程移民安置实施阶段,绝大部分移民安置区环境保护项目均能按要求得到实施。相比之下,我国小型水电工程移民安置区环境保护措施设计和实施工作落实较差<sup>[6]</sup>。

3)移民安置区环境保护验收制度执行情况。根据我国现行政策法规的有关规定,对于移民安置区未单独编制环境影响报告书的水电工程项目,在开展工

程竣工环境保护专项验收工作时,移民安置区环境保护措施需纳入工程整体环保验收调查范围,并与枢纽工程区同时进行整体验收;对于部分移民安置区专门编制环境影响报告书的水电项目,应对移民安置区开展专门的环境保护验收工作。从目前国内水电工程竣工环境保护验收工作现状来看,由于移民安置区移民单项工程环境影响评价工作未及时开展、已建成的移民工程环保设施未及时投运等一系列原因,我国大中型水电工程移民安置区竣工环境保护验收工作相比于枢纽工程区严重滞后,通常无法与主体工程同时完成竣工环境保护验收。

### 3 水电工程移民安置区环境保护管理措施探讨

1)进一步建立和完善移民安置区环境保护法规政策体系。近年来,国家和地方各级政府对水电工程移民安置工作关注程度在逐步加深,制定了一系列水库移民安置有关政策和规范,但有关移民安置区环境保护工作政策法规较为缺乏和不完善。为加快推动我国水电工程移民安置区环境保护工作,移民安置区环境保护相关制度体系亟需进一步建立完善,研究出台专门的移民安置区环境保护管理相关法规与规范,明确地方政府、项目法人及有关各方的环境保护责任,细化移民安置区环境保护规划设计管理要求和技术规范,推动移民工程环境保护措施及时有效建设,落实国家有关环境保护工作要求。

2)单独开展移民安置区环境保护规划环评工作。目前国内仅有少数电站单独开展了移民安置区环境保护规划环评工作,绝大多数水电工程将移民安置区环境保护规划环评内容纳入可研阶段工程总体环境影响评价报告,涉及移民工程建设对库区环境影响分析篇幅较短,较难满足新形势下水电工程移民安置工作对环境保护的要求。由于水电工程(尤其是大中型水电工程)移民安置工作普遍存在长期性、复杂性、点多面

广等特点,将移民安置区环境保护规划环评从水电工程总体环境影响评价中剥离并单独编制,将会极大提升水电工程移民安置区环境保护的针对性和管理效率。

3)严格执行移民安置区环境监理制度。根据国家环境保护法的有关规定,建设项目需与环境保护实行“三同时”原则,引入移民安置区环境监理制度是实现移民工程“三同时”的根本保障,但目前国内水电工程移民安置区基本未开始施行环境监理制度。在水电工程移民安置实施阶段,环境监理单位需对移民工程的规划环评、环保设施建设以及后续验收进行全生命周期管理,其工作职责主要为:指导督促地方政府及时按照有关要求开展移民单项工程环评文件编审与报批工作;监督移民安置区环保设施实施单位严格按照设计文件和有关规范进行施工,确保环保设施施工进度和质量;在移民安置区环保设施建成后保证设施正常运行,及时协调地方政府开展各移民单项工程环保验收工作。在现行水电工程环境保护管理体系下,可以考虑将移民安置区环境监理工作内容纳入移民综合监理或主体工程环境监理考核范畴,或者通过聘请第三方环境监理机构对移民安置区环境保护工作进行评估和管理。

#### 参考文献:

- [1]魏浪.浅析水电工程水库移民的环境保护[J].贵州水力发电,2003,17(3):68-71
- [2]李晓莉,郭芳华.水电站建设项目移民安置点规划研究[J].人民黄河,2012,34(9):108-110
- [3]孟戈,沈珍,李明,等.乌东德水电站移民安置区水环境保护[J].武汉工程大学学报,2013,35(7):16-20
- [4]朱东恺,施国庆.水利水电移民制度研究[M].北京:社会科学文献出版社,2011
- [5]梁福庆.三峡工程移民问题研究[M].武汉:华中科技大学出版社,2011
- [6]楚凯锋,殷海波,李国卿,等.水电水利工程移民安置区环境保护管理探讨[J].四川环境,2015,34(1):107-112

用,2012(32):253-253

- [4]孙勇.水电厂运行值班技能培训手册[M].北京:中国水利水电出版社,2018
- [5]孙勇,谭勇.流域电厂班组标准化管理浅析[J].水电与新能源,2011(4):36-38
- [6]张雄烈.大朝山水电厂运行班组管理[J].云南水力发电,2017,33(5):160-162

(上接第75页)

#### 参考文献:

- [1]马克勤.电力企业班组建设操作实务[M].北京:中国电力出版社,2013
- [2]邹春江,唐小智.水利工程项目施工精细化管理的实施[J].水利水电技术,2015,46(8):49-51
- [3]谢方立.浅谈精细化管理的几点认识[J].科技创新与应

## 《水电与新能源》顾问郭生练院士



郭生练，教授，挪威工程院外籍院士。1990年在爱尔兰大学获博士学位回国任教。1993年湖北省有突出贡献中青年专家;1995年国务院政府特殊津贴专家;1996年获国家科委“八五”科技攻关重大科技成果奖;1997年被国家人事部、国家教委授予“有突出贡献优秀回国留学人员”称号;1998年原电力工业部、国家教委跨世纪学科带头人;2019年获武汉大学第四届研究生教育杰出贡献校长奖;第九届、十届、十一届和十二届全国人大代表。现任国际水文科学协会中国国家委员会名誉主席，湖北省科协主席，水资源研究主编和多个学术刊物编委。主要从事变化环境中的水文水资源学、水文预报和水库调度、水资源配置、水电工程等科研工作。先后主持完成国家级课题30余项和70多项横向课题;指导培养博士后10人、博士52人、硕士(含硕博)62人;发表学术论文500多篇，其中SCI论文160多篇、引用6000多次;发明专利16项，编著《设计洪水研究进展与评价》等12本著作，有18项成果获省部级和国家科技进步奖。鉴于郭生练教授在水文学，水资源和水电工程等多个研究和工程领域做出了开创性的贡献并创造了巨大的经济和社会效益;并在过去20年来通过与挪威科学家的紧密合作，为挪威在水资源和水电工程方面的教学、科研和技术进步，以及国际合作做出的重大贡献，2020年2月被聘为挪威工程院外籍院士(本批唯一外籍院士)。2020年7月被聘为《水电与新能源》期刊顾问。

## 湖北在建最大水电工程项目江坪河水电站

### 首台(1号)机组进入72小时试运行



江坪河水电站工程

2020年7月25日8时8分，江坪河水电站首台(1号)机组并网发电，正式进入72小时试运行，标志着投产发电进入倒计时。湖北能源集团有限公司总装机容量突破1000万千瓦指日可待。

江坪河水电站工程位于湖北省恩施土家族苗族自治州鹤峰县走马镇的溇水上游河段，是溇水干流规划建设5个梯级电站（江坪河水电站、淋溪河水电站、江垭水电站、关门岩水电站、长潭河水电站）中的龙头电站，为湖北省重点工程。江坪河水电站坝址控制流域面积2140平方公里，水库总库容13.66亿立方米，大坝高219米，是世界目前第二高的混凝土面板堆石坝。电站装机2台，总装机容量45万千瓦，年发电量9.6亿千瓦时。（彭天波供稿）

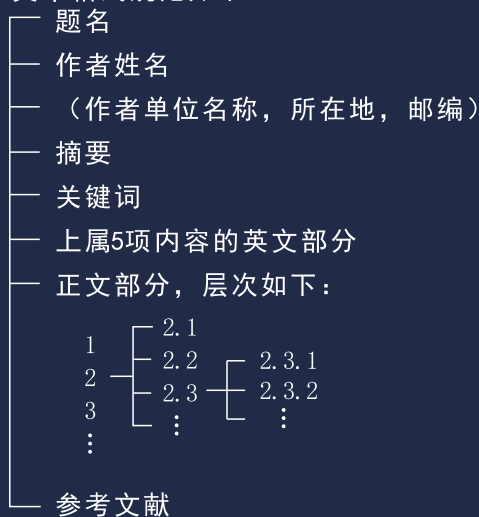
### 《水电与新能源》投稿须知

1、《水电与新能源》杂志创刊于1987年，现由湖北省水力发电工程学会与中国长江三峡传媒有限公司主办。中国科学院院士夏军教授任主编，五位国内外院士担任本刊顾问。编辑部由多位教授组成，编辑部设在武汉大学。

2、《水电与新能源》为向国内外公开发行的科技类期刊，月刊。服务于水电与新能源的开发利用，为水电与新能源工作者交流技术经验和沟通技术信息提供平台，促进我国水电与新能源科学技术的研究、开发与利用。刊物秉持建设与管理并重，理论与实践结合。主要内容有水电、核电、风力发电、太阳能发电、生物质能发电、垃圾发电、地热发电、潮汐发电、清洁煤技术、智能电网以及相关的生态环境等。热忱欢迎相关的专家、学者和生产一线科技工作者投稿。来稿请投E-mail: sdxny5429@163.com，并附上作者电话、邮箱、简介。

3、稿件须论点鲜明正确、论据真实可靠、论证逻辑严密、数据准确、文字精练、可读性强，符合国家保密规定，具有创新性，内容务必实事求是。

4、文章格式规范如下：



5、题名以20个汉字以内为宜；欢迎多作者共撰文章，多个作者不同单位的用阿拉伯数字在名字右上角标序；单位名称等按名字标序依次列出；各位作者均应注明单位详细地址、邮编。摘要按“目的、方法、结果、结论”四要素写出，以第三人称书写，写成报道性文摘，客观阐述，不加评论，控制在150字以内为宜；关键词3~5个。

6、文章控制在6000字（含图表）以内。前言中不宜有图、表及数学公式的推导证明。图、表在文中要有明确的交代。应有图序、图题，置于图的下方居中；坐标图的标目、标值应清楚，图应清晰简练，不宜照搬设计图纸，图中外文应译为中文。表采用三线表，应有表序和表题，置于表的上方居中，表注一般置于表的底线以下，多条内容宜编序。

7、参考文献著录

- (1)参考文献按“顺序编码制”标注。应在文中引用处标注文献序号，其标序应与文后参考文献一一对应。
- (2)只著录公开发表的文献；最新的文献；一般要求至少5篇。
- (3)文献著录格式应符合规范要求。

8、本刊为适应信息化建设，扩大知识信息交流渠道，除发行纸质版外，已被CNKI中国知网、万方数据库等全文收录，凡投本刊的文章均视为同意。

本刊编辑部