



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5月(第34卷)



向家坝水力发电厂

ISSN 1671-3354



9 771671 335203

0.5

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

5

2020  
第34卷



## 湖北省水力发电工程学会第四届中小水电专业委员会

**主任委员：** 陈晓明

**副主任委员（按姓氏笔画排序）：**

于国忠、庄新建、李伟、李强、杨华、费军、翟建平、潘世一

**委员（按姓氏笔画排序）：**

于国忠、马世新、王怀胜、白久武、刘培超、庄新建、李 云、李云霓、李 伟、李宇皓、李海东、李 强、李 鑫、杨卫东、杨 华、杨 军、杨春风、肖 伍、吴运开、邹金良、汪峰樊、张龙杰、陈 刚、张保华、陈晓明、陈拥军、陈俊才、周 喻、郑 勇、郑昌建、费 军、姚沅鹤、唐 栋、彭祖贤、谢文波、翟建平、熊文彬、潘世一

**秘书长：** 杨春风（兼）

**副秘书长：** 彭祖贤（兼）

## 湖北省水力发电工程学会中小水电专委会换届暨学术交流会成功举办

2019年11月8日，湖北省水力发电工程学会中小水电专业委员会换届工作会议暨中小水电建设与管理学术交流研讨会在湖北恩施州成功召开，来自全省水电行业的50余位代表参加了会议。在充分酝酿的基础上，会议选举产生了中小水电专委会第四届委员会；进行了学术交流，并在会前刊印了论文集。



中小水电专委会换届暨学术交流会场



出席中小水电专委会换届暨学术交流会议代表合影



月刊  
2020年第5期  
第34卷(总第191期)  
2020年5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

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 王绍良 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  
技术总监 王绍良  
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 自办订

## □高端论坛□

- 更好的大坝 造福更好的世界——国际大坝委员会第87届年会的观察与思考 ..... 杨骏,商艳光,戴凌全,李帅,张娅(1)
- 水布垭电厂计算机监控系统优化改造 .....  
..... 徐兴友,陶纪军,王勇,兰志专(6)
- 沙坪二级水电站堆石混凝土坝防渗设计与研究 .....  
..... 刘明华,涂承义,叶建群(11)
- 河北省农村水电增效扩容改造浅析 .....  
..... 左燕霞,吴君乐,程群旺,宋京亚(15)
- 新型支臂千斤顶在解决水轮发电机组振动的应用 .....  
..... 李红,郭益钻,向靖,向会琼(17)

## □科学研究□

- 基于 Ansys Fluent 的多孔水闸三维湍流数值试验分析研究 .....  
..... 穆燕(21)
- 大型发电机转子接地故障真机模拟试验分析 .....  
..... 杨新志,李伟,慎志勇(26)
- 汉江石泉水库洪水统计特性及基本规律分析 ..... 巩祥照(32)
- 发电机进相和欠励限制研究与应用 .....  
..... 周美英,刘喜泉,孙宏军,孙涛(35)
- 电子系统在水电工程隧道安全运行的应用探讨 .....  
..... 马中刚,宛良朋,魏然(39)

## □建设与管理□

- 电力企业职工(模范导师)创新工作室创建的实践与思考 .....  
..... 王彬,孙勇,徐子雅(43)
- 高坝洲水电厂轴流转桨式水轮机组调速器抽动故障研究分析 .....  
..... 张兴斌,黄安国,孙勇(46)
- 浅析水电站调速器液压系统内漏诊断与处理 ..... 段水航(51)
- 向家坝升船机通航调度管理系统设计与应用 ..... 徐新才,孙文才(55)
- 浅析吸排油雾装置在水电站的应用 ..... 邓尧曦,叶玉麟(58)
- 水布垭电厂2F机组接力器推拉杆改造 ..... 杨俊,刘维斌(62)
- 一起上导油槽油混水原因的分析与处理 ..... 曾竣波(65)
- 500 kV GIS 电流互感器 SF<sub>6</sub> 微水含量超标分析与处理——以猴子岩水电站为例 ..... 陈伟林,钟斌,秦知了(68)
- 大型水轮发电机定子线棒电晕处理和分析 ..... 毛业栋(72)
- 隔河岩电厂3号发电机转子一点接地案例分析 .....  
..... 胡昌雄,李冬(74)
- 水电联调模式下的“调度运行岗位培训”探析 ..... 董峰(76)



# HYDROPOWER AND NEW ENERGY

May 2020      Number 5

## Contents

---

---

Better Dams for a Better World : Observation and Reflections on the 87th Annual Meeting of ICOLD .....	YANG Jun, SHANG Yanguang, DAI Lingquan, LI Shuai, ZHANG Ya(1)
Optimization Renovation of the Computer Supervision and Control System in Shuibuya Hydropower Plant .....	XU Xingyou, TAO Jijun, WANG Yong, LAN zhizhuan(6)
Design and Analysis of the Seepage Control Structure in the Rock-filled Concrete Dam in Shaping II Hydropower Station Project .....	LIU Minghua, TU Chengyi, YE Jianqun(11)
Renovation of Rural Hydropower Projects in Efficiency Improvement and Capacity Expansion in Hebei Province , China .....	ZUO Yanxia, WU Junyue, CHENG Qunwang, SONG Jingya(15)
Vibration Treatment of Hydro-turbine Generator Unit with Innovative Support-arm Jacks .....	LI Hong, GUO Yizuan, XIANG Jing, XIANG Huiqiong(17)
Three-dimensional Turbulence Analysis of Multi-gate Sluice using ANSYS Fluent .....	MU Yan(21)
Real-machine Simulation of Grounding Faults of Large-scale Generator Rotor .....	YANG Xinzhi, LI Wei, SHEN Zhiyong(26)
Statistical Characteristics and Basic Variation Pattern of Floods in Hanjiang Shiquan Reservoir .....	GONG Xiangzhao(32)
Leading Phase Operation and Under-excitation Limit of Generators .....	ZHOU Meiyong, LIU Xiquan, SUN Hongjun, SUN Tao(35)
Application of Electronic System in Safety Management of Highway Tunnels in Hydropower Projects .....	MA Zhonggang, YUAN Liangpeng, WEI Ran(39)
Practice and Reflections of Staff (Model Mentor) Innovation Studio in Electric Power Enterprises .....	WANG Bin, SUN Yong, XU Ziya(43)
Analysis and Treatment of Abnormal Governor Twitching in Kaplan Turbine Units in Gaobazhou Hydropower Plant .....	ZHANG Xingbin, HUANG Anguo, SUN Yong(46)
Analysis and Treatment of Internal Leakage of Governor Hydraulic System in Hydropower Stations .....	DUAN Shuihang(51)
Design and Application of Navigation Dispatching Management System in Xiangjiaba Ship Lift .....	XU Xincui, SUN Wencai(55)
Application of Oil Mist Absorption and Drainage Device in Hydropower Stations .....	DENG Yaoxi, YE Yulin(58)
Renovation of the Driving Rods of Servomotors in 2F Generator Unit in Shuibuya Hydropower Plant .....	YANG Jun, LIU Weibin(62)
Analysis and Treatment of a Water Induction Fault of the Upper Guide Oil Groove .....	ZENG Junbo(65)
Analysis and Treatment of Excess SF <sub>6</sub> Micro-water Content in 500 kV GIS Current Transformer in Houziyan Hydropower Station .....	CHEN Weilin, ZHONG Bin, QIN Zhiliao(68)
Analysis and Treatment of Stator Bar Corona in Large-scale Hydro-turbine Generator .....	MAO Yedong(72)
Case Study of a One-point Grounding Fault of Generator Rotor in No.3 Unit in Geheyan Hydropower Plant .....	HU Changxiong, LI Dong(74)
On the Dispatching and Operation Post Training under the Joint Dispatching Mode of Hydropower Stations .....	DONG Feng(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.1671-3354.2020.05.001

# 更好的大坝 造福更好的世界

## ——国际大坝委员会第87届年会的观察与思考

杨骏<sup>1</sup>, 商艳光<sup>1</sup>, 戴凌全<sup>1</sup>, 李帅<sup>2</sup>, 张娅<sup>3</sup>

(1. 中国长江三峡集团有限公司, 北京 100038; 2. 三峡集团流域枢纽运行管理局, 湖北 宜昌 443000;  
3. 三峡国际能源投资集团有限公司, 北京 100032)

**摘要:**介绍了国际大坝委员会(ICOLD)的历史、组织机构和第87届年会的情况。国际大坝委员会成立90多年来坚持倡导安全、高效、经济、环保的大坝建设,致力于推动坝工技术发展和世界水利水电资源可持续开发。通过制定标准、指导方针和不断完善技术推广与机制保障,推动理念引领和公众认知,建设运行更好的水库大坝造福人类。

**关键词:**国际大坝委员会;大坝;水电;环境

**中图分类号:**TV63 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)05-0001-05

## Better Dams for a Better World: Observation and Reflections on the 87th Annual Meeting of ICOLD

YANG Jun<sup>1</sup>, SHANG Yanguang<sup>1</sup>, DAI Lingquan<sup>1</sup>, LI Shuai<sup>2</sup>, ZHANG Ya<sup>3</sup>

(1. China Three Gorges Corporation, Beijing 100038, China;  
2. Riven Basin Project Operation Management Department, China Three Gorges Corporation, Yichang 443000, China;  
3. China Three Gorges International Corporation, Beijing 100032, China)

**Abstract:** The history, organization structure and the 87th annual meeting of International Commission on Large Dams (ICOLD) are introduced. Since its establishment for more than 90 years, ICOLD has been continuously advocating the safe, efficient, economic and environment-friendly dam construction, and promoting the advancement in dam construction technology and the sustainable development of water and hydropower resources. By formulating standards and guidelines, and constantly improving the dam construction technology and management mechanism, ICOLD promotes the latest concepts and public awareness to build better reservoirs and dams for the benefits of all mankind.

**Key words:** ICOLD; dam; hydropower; environment

2019-06-08日至14日,国际大坝委员会(International Commission on Large Dams, ICOLD)第87届年会在加拿大首都渥太华召开,会议的主题为“世界大坝的安全与可持续发展”,来自70多个国家的1300余名专家和代表出席了本次会议。会议围绕创新、可持续发展、灾害、极端情况、尾矿坝等五个主题开展了36场学术交流活动。

本文的几位作者通过参加相关会议及与各国参会专家交流,深切感受到ICOLD在推动全球水库大坝行业可持续发展中的积极作为,深切感受到世界各国水库大坝行业在水库大坝规划建设运行的理念、科技和

机制创新方面的不懈努力,深切感受到水坝在减缓气候变化(低碳发电)和适应气候变化(水库蓄水以应对干旱或洪水)方面发挥着越来越重要的作用。

## 1 ICOLD第87届年会简况

### 1.1 年会总体情况

2019-06-08日至11日,ICOLD组织召开专委会主席会议。27个专委会分别组织了各自专业的专题研讨会和专委会会议。

6月12日,大会举行开幕式,ICOLD现任主席 Mi-

收稿日期:2020-03-20

作者简介:杨骏,男,哲学博士,新闻高级编辑,中国长江三峡集团有限公司副总经济师,中国大坝工程学会理事、副秘书长、公众认知专委会主任,国际大坝委员会公众认知专委会委员,主要从事企业品牌宣传、水库及大坝公共认知管理和研究工作。



Michael Rogers 先生(同时也是美国大坝协会 USSD 的名誉主席)致词欢迎与会成员,承办此次会议的加拿大大坝委员会介绍了本届会议相关情况。大会开幕式安排了主题发言,重点介绍了老挝阿速坡省溃坝事故调查,详细展示了事故发生过程、现场调查、事故成因、经验教训等。

6月12日至13日,创新、可持续发展、灾害、极端情况、尾矿坝等五个主题各相关分论坛平行进行。大会前期征集论文入选作者在分论坛中发言交流。

6月14日,大会举行闭幕式。会上,第88届年会主办国印度大坝委员会介绍了近年印度在坝工方面的成就和第88届年会的准备工作情况,热情欢迎各成员国赴印度参会。

闭幕式上颁发了相关奖项。中国专家、华能澜沧江水电股份有限公司高级顾问马洪琪院士荣获国际大坝委员会终身成就奖。

会议期间还安排了技术交流展和世界各地、各个时期、各种类型的知名大坝图片展。中国大坝工程学会的展位吸引了众多专家前往交流。中国的三峡水库、锦屏一级大坝等的图片资料在大会展出。

## 1.2 本次会议论文情况

ICOLD 每年围绕行业内各专业领域的研究方向、成果、实践等在全球范围内征集论文,2019年论文的主题是世界大坝的安全与可持续发展。本届年会共收到来自47个国家的315篇论文。从大会发言和论文展示中,我们选择了一些经典案例,来展现国际大坝行业在水库大坝建设运行维护方面研究和实践的新进展。

### 案例一:美国·Morris Sheppard 大坝的混凝土维护

20世纪初美国建造了大量的水坝,在经济崛起中发挥了巨大的作用,随着时间的推移正面临大坝基础设施老化的危机。位于得克萨斯州的 Morris Sheppard 支墩坝,长500 m、高15.7 m、库容6.86亿 $m^3$ ,坝龄已超过80年,是美国老化最严重的大坝之一。大坝管理单位采取一系列措施对大坝混凝土进行养护,包括重新浇筑混凝土提高坝体的稳定性、新建减压井降低扬压力等措施,有效延长了大坝使用寿命。

### 案例二:葡萄牙·Alto Tamega 双曲拱坝优化设计

为充分利用葡萄牙 Tamega 河的水资源,Iberdrola 公司正在其上游建设3座梯级水电站,Alto Tamega 电站是其中之一。Alto Tamega 电站坝高106 m,坝型为双曲拱坝,装机容量为160 MW。由于大坝建在云母片岩基上,同时泄流量较大,大坝的安全格外重要,工程设计和建造者通过巧妙的设计,在左右岸各布置一

条泄洪道,溢洪道设计流量为1826 $m^3/s$ ,通过挑流鼻坎将高速水流转向并扩散到空中,以达到消能的目的,从而确保大坝的安全稳定运行。

### 案例三:日本·Sakawa River 泥沙淤积对环境的影响监测

Sakawa River 位于日本神奈川县小田原市,河道上建有多座水电站,泥沙淤积问题对当地环境造成了不利影响。目前当地政府正在制定多种泥沙管理方案。其中一种是通过长期的环境监测,包括生物(植被、鱼类、底栖生物、藻类)和地质(河床物质、河床高程、悬浮泥沙)数据来分析泥沙对生物和地质的影响。河床质和生物数据的调查结果显示,截至2017年,上游地区泥沙沉积可以暂时缓解河床质粗化。2010年玛瑙台风引发的特大洪水对生态系统、河床物质状况造成了灾难性破坏,目前已经得到恢复。

### 案例四:印度·Nathpa Dam 泥沙调度

印度可开发的水电位于喜马拉雅山和东北地区,由于山区地质条件脆弱,河谷坡度陡峻,在季风时期河流携带了大量的泥沙。泥沙处理是水库设计和运行中面临的一个重大挑战。在Nathpa水库通过开闸冲沙、液压冲洗和机械扰动等不同的方法减少水库泥沙淤积,取得了较好的效果。

### 案例五:加拿大·水下水工结构遥测技术

水下遥测技术对准确掌握大坝运行后的性能具有重要意义,加拿大学者K. W. Sherwood综述了近年来大坝水下结构遥测技术和方法的最新进展,包括如何成像和多波束声纳、摄影测量、水下激光和高清视频来监测大坝的运行状态。同时也介绍了对坝踵和坝趾附近的侵蚀物质、碎屑和泥沙堆积等观测方法,包括声纳、无线定位和导航等新技术。

### 案例六:中国·三峡水库优化调度

三峡工程是治理、开发和保护长江的关键性骨干工程,具有防洪、发电、航运、水资源利用等巨大综合利用效益。三峡水库投入运行以来,水库的运行方式随着运行条件的变化不断得到优化。开展了汛期中小洪水优化调度、蓄水期优化调度、枯水期下游河道及通江湖泊生态补水调度、促进四大家鱼自然繁殖的生态调度等。运行实践表明:三峡水库的综合效益得到了显著发挥。

### 案例七:中国·乌东德水电站移民搬迁安置研究

现有研究往往将水库移民作为非自愿移民,而忽视其搬迁安置动力机制研究。这一状况使现行理论对水库移民搬迁安置工作缺乏解释力和指导力。基于对乌东德水电站移民工作的分析,作者提出了包含搬迁



意愿与合作意愿的水库移民搬迁安置动力机制,并指出如果搬迁后的生活符合移民群众对美好生活的向往,他们会有较强的搬迁意愿;如果地方政府的行为符合移民群众的期待,他们会有较强的合作意愿。文章梳理出影响搬迁意愿与合作意愿的 18 个因素。

### 1.3 年会专委会的特点

年会期间,专委会分别组织了委员会议,对各专业技术公报进行讨论,部分专委会还组织了研讨会。

1) 大坝安全成为核心议题。在 27 个专委会中,至少有大坝安全、大坝监测、洪水评估与大坝安全、气候变化、尾矿坝等 5 个专委会在本年度会议重点关注了大坝安全问题,其中大坝安全专委会对 322 个大坝安全问题案例进行了统计学分析,找出问题的主要因素,引起了广泛关注。5 个专委会中,大坝安全、大坝监测、尾矿坝等 3 个专委会参会人数近百人,体现出大坝安全已经成为国际坝工领域的核心议题。

2) 技术问题仍然最受重视。ICOLD 会员多数是具有工程背景的专家,传统的技术问题,包括坝型选择、混凝土坝、土石坝、防洪堤、水库淤积、大坝水力学等专委会都非常活跃。其中土石坝专委会参会人数达到近 300 人,是参会人数最多、最受关注的专委会。

3) 大坝修补加固问题引起关注。在大坝安全成为核心议题的同时,由于发达国家的水坝运行时间较长,大坝的修补加固问题逐步引起了关注,一些新的技术手段不断出现,是一个非常值得关注的动向。

4) 环境与社会议题重要性逐步提升。环境与社会议题涉及的专委会有环境、大坝周围的公共安全、水库移民、公众认知与教育等 4 个专委会。体现出环境与社会议题与大坝建设之间存在的密切关系。

## 2 ICOLD 简介

国际大坝委员会作为世界水库、大坝领域权威的行业组织,成立 90 多年来坚持倡导安全、高效、经济、环保的大坝建设理念,致力于推动坝工技术发展和世界水利水电资源可持续开发。通过制定标准和指导方针以确保大坝建设以安全、经济、环境友好和社会发展可持续的方式建设,引导全球水库大坝行业的健康发展。目前,国际大坝委员会拥有 101 个成员国,得到了各成员国政府的广泛支持,是引领全球水利水电行业可持续发展的非政府国际组织,在制定国际大坝建设标准和指导原则中处于领导地位。

### 2.1 ICOLD 的历史

国际大坝委员会成立于 1928 年,最初由 5 个国家

发起,中心办公室设在巴黎,其宗旨是为确保世界水资源的可持续发展和管理,通过信息交流,包括技术、经济、财务、环境和社会等问题的研究,促进大坝及其有关工程的规划、设计、施工、运行和维护的技术进步。ICOLD 的组织以四大支柱为基础:国家委员会,执行会,中心办公室,专业委员会。

ICOLD 每三年召开一次大会(受二战影响,1939、1942 和 1945 年未能举行),每次讨论四个与水电开发和建设相关的技术议题。第一届国际大坝会议于 1933 年 6 月至 7 月在瑞典斯德哥尔摩召开,迄今共召开了二十六届,共讨论了 103 个议题,所选取的报告和编印的论文集在坝工界都具有较强的权威性。

### 2.2 ICOLD 专业委员会

专业委员会是 ICOLD 核心专业技术机构,由行业内各领域专家和代表组成,负责定期发布体现行业最高技术水平及最佳实践的技术公报,从专业委员会的情况,可以看出 ICOLD 在世界坝工领域所覆盖的工作范围。目前 ICOLD 共有 27 个专委会。

### 2.3 ICOLD 在推动全球水库大坝可持续发展方面的积极作为

1) 发布《ICOLD 道德规范》,规范全球水库大坝从业组织和人员的行为。

2006 年 6 月,国际大坝委员会在西班牙锡切斯的第 74 次执行会议通过了《ICOLD 道德规范》。《规范》明确了 ICOLD 的每个成员和每个国家委员会所有参与建设大坝的技术、经济、社会和环境科学的专业人员都应共同遵守的十条原则:

第 1 条、责任:个人对其(或他们的)活动承担道德责任;

第 2 条、目标:所有行为必须考虑社会、生态和经济的责任;

第 3 条、尊严:始终维护 ICOLD 和大坝工程行业的尊严、标准和声誉;

第 4 条、能力:确保获得足够的专业能力,并通过继续教育加以完善;

第 5 条、创新:在以创新为基础的技术进步中发挥作用,造福社会、环境和经济;

第 6 条、风险:认真评估和考虑与新技术应用有关的优势和风险;

第 7 条、可持续性:限制使用不可再生资源,帮助减少对环境的不利影响;鼓励使用可再生能源;

第 8 条、全球视野:获得广博的知识,以便能够评估相互关系并开展跨学科合作;

第9条、对话:在与各专门领域专家合作和与公众建立对话中发挥作用;

第10条、诚实:坚持对他人和对自己真实和诚信的原则。

2)通过发布相关世界宣言,推动水库大坝可持续发展。

2008年,ICOLD推动了与非洲联盟、世界能源理事会、非洲电力生产国联盟等国际组织共同签署的《水坝和水电促进非洲可持续发展世界宣言》。增强了国际社会通过水利基础设施建设和水电开发,促进非洲可持续发展的共识和行动。

2012-06-05日,国际大坝委员会(ICOLD)联合国际灌溉与排水委员会(ICID)、国际水电协会(IHA)、国际水资源协会(IWRA)等国际组织共同发起了《储水设施与可持续发展的世界宣言》。《宣言》认为:由于世界人口的不断增长、社会经济的发展以及人们生活水平的改善,将不断提升对水、粮食和能源的需求,面对这一特殊形势,储水基础设施将变得更加重要。我们需要加强现有储水设施并进一步建设新的储水基础设施,优化利用水资源:包括洪水管理与抗旱、粮食生产灌溉、发电、饮用水和卫生、工业用水、航运、环境和其他功能。

## 2.4 CHINCOLD与ICOLD

中国大坝工程学会(CHINCOLD)前身是成立于1974年的中国大坝委员会,是国际大坝委员会的国家会员,是由我国与大坝业务有关的企业和事业单位组成的国家一级学会。中国大坝工程学会的宗旨是通过组织全国技术交流与合作等方式,促进我国坝工建设和管理理论的不断进步,促进大坝技术水平的不断提高,促进大坝与环境的和谐。

中国坝工行业与国际大坝委员会交往历史悠久。中国代表1936年曾参加过第二届大坝会议,但一直不是成员国。1973年,张光斗院士率中国代表团参加了在西班牙马德里召开的国际大坝委员会第41届年会和第11届大会。1974年4月在雅典第42届执行会议上,中国正式成为国际大坝委员会的国家会员。

自1981年瑞典斯德哥尔摩国际大坝委员会第49届执行会上,原电力工业部副部长李鹗鼎当选为国际大坝委员会副主席以来,先后有5位中国专家任国际大坝委员会主席、副主席职务,在国际大坝委员会领导岗位上积极发挥作用,深度参与国际组织工作。其中,中国大坝工程学会副理事长兼秘书长贾金生2003~2006年任国际大坝委员会副主席,2009~2012年任主席,现担任国际大坝委员会荣誉主席。

2000年9月中国在北京承办了国际大坝委员会第20届大会和第68届年会,会议期间时任全国人大委员长李鹏接见参会嘉宾,时任国务院副总理温家宝参加大会开幕式并致辞。

目前,在国际大坝委员会的27个专委会中,我国专家共参加了24个专委会,并担任胶结坝、水电站与水库联合运行和水库移民3个专委会的主席职务。通过专委会交流机制,积极促进我国水库大坝规划建设运营的理念、技术标准与国际接轨,并不断推动中国标准成为国际标准。

中国大坝工程学会积极推荐中国专家参与国际大坝委员会“坝工专家终身成就奖”评选,2001年至今已有陆佑楣院士、潘家铮院士、朱伯芳院士、陈厚群院士、郑守仁院士、马洪琪院士和汪恕诚等7位专家获此殊荣。

## 3 推动水库大坝更好造福世界

长期以来,水库大坝为全球可持续发展提供不竭的动力及活力,极大地改变了人类的能源结构和生产生活方式。ICOLD通过不断完善技术推广和机制保障,推动理念引领和公知认知,通过建设运行更好的水库大坝造福人类可持续发展目标。

### 3.1 更注重大坝安全

大坝安全一直以来都是ICOLD关注的重点,为此专门设有“大坝安全”专委会。大坝安全是大坝造福人类经济社会的前提和先决条件。大会开幕式上,来自挪威岩土工程研究所的Suzanne Lacasse教授做了题为《可靠性和风险分析方法在大坝设计和安全评价中的应用》的主旨报告,归纳其核心观点就是,大坝安全管理正在由常规(确定性)标准向风险(概率)型转变、自然科学驱动向多学科交叉融合转变、应急管理型向风险管理型转变、被动反应型向主动预见型转变。

ICOLD积极推动大坝安全监测系统建设,融合更多的先进的信息安全技术,通过风险评估掌握水库大坝安全监测监控系统网络安全现状,服务器、控制器、网络设备、安全设备等存在的安全漏洞,人员及管理等方面存在的安全风险。根据风险评估结果,提出水库大坝安全监测监控系统网络安全对策,不断加强对水库大坝安全监测监控系统的整体安全部署,完善和提供整体的水库大坝安全监测监控系统网络安全防护技术解决方案。

以老挝阿速坡省溃坝事故调查为例,充分证明了大坝注册和跟踪关注机制的重要意义。2018-07-23日,老挝首都万象东南约560 km的阿速坡省在建的



桑片-桑南内水电站(Xepian-Xe Nam Noy)副坝发生溃坝,涌入阿速坡省萨南赛县 13 个村庄,其中 6 个村庄严重受损,导致 35 人遇难、99 人失踪,另有 1.3 万人受灾,6 000 多人无家可归。ICOLD 对事故进行了调查,并公布了调查过程和调查结果。独立专家组调查报告指出,不能认为溃坝是不可抗力导致的,由于该副坝基础存在高渗透性、易被侵蚀,当水库蓄水水位上升时,坝的稳定性就无法保证,最终导致副坝崩裂,造成灾难性、不可控的洪水下泄。

### 3.2 更注重综合效益

大坝服务人类社会文明已经有超过五千年的历史。在过去的五千年里,水库大坝通过调蓄作用为维持人类生存提供水资源(占世界可利用水资源总量的 30%)的同时,在供水、灌溉、发电、防洪、航运、娱乐、旅游、环境保护等方面也产生了重要的社会效益和经济效益,为世界可持续发展和提高人类生活质量发挥着十分重要的作用。例如,水库灌溉全球 17% 的耕地,贡献全世界 40% 的农作物产量;全球近 20% 的水库具有防洪功能,以减轻洪水带来的社会经济影响;水电作为环境友好型、可再生清洁能源,贡献全世界约 20% 的电量。

自 1958 年起,ICOLD 就设立了“世界大坝注册”专委会,负责对坝高超过 15 m 或坝高介于 5~15 m 且蓄水量不少于 300 万 m<sup>3</sup> 的大型水库进行登记造册并持续跟踪关注,登记内容包括:大坝名称、完工时间、大坝高度、水库功能、水库库容、防洪能力、控制流域面积、装机容量、年平均发电量、灌溉面积、移民规模等。截至 2018 年,全球约有符合 ICOLD 大坝标准的 6 万座大坝在健康运行。

国际大坝委员会前主席, L. Berga 先生认为: ICOLD 环境政策的重点是,对大坝和水库的社会和环境方面的关注必须是贯穿我们所有活动的一个主要问题,就像对安全的关注一样。我们现在的目标是平衡水资源开发的需要和保护环境的可持续发展方式的需要,这种方式不会损害子孙后代。

### 3.3 更强调新技术推广

随着社会的发展,新材料、新技术、新工艺和新理念的大量出现并应用,大坝的规划、设计、建设、运行和管理水平到达了一个前所未有的新高度,规划更加合理、设计更加先进、建设更加智能、运行更加科学、管理更加高效。同时,在实现全球减排目标的大背景下,水电迎来了前所未有的良好发展机遇,已建水库大坝将以更加创新、绿色、和谐的运行方式,减小气候变化带

来的不利影响,最大限度满足社会发展需要,促进大坝工程行业水平的整体提升。

比如,在筑坝材料方面,胶结坝作为融合土石坝和混凝土坝优点的一种新坝型,强度高、抗剪能力和抗冲刷能力强,具有工程安全、经济合理、施工便捷、生态环保等特点,受到国际大坝行业的关注和青睐。在建设运行技术方面,智慧大坝以数字大坝为基础,以物联网、智能技术、云计算与大数据等新一代信息技术为基本手段,以全面感知、实时传送和智能处理为基本运行方式,对大坝空间内包括人类社会与水工建筑物在内的物理空间与虚拟空间进行深度融合,建立动态精细化的可感知、可分析、可控制的智能化大坝建设与管理运行体系。

### 3.4 更关注气候环境

经济社会发展与气候变化给大坝发展带来新的机遇和挑战。水库大坝是水资源的重要调蓄手段,涉及国家的防洪安全、供水安全和能源安全,因此大坝发展一直受到国际社会的广泛关注。而全球气候变化导致水资源时空分布更加不均匀,洪水和干旱发生的频次和强度增加,必然对已建水库大坝在防洪、供水、灌溉、发电等方面的功能产生严重影响,要求人类必须采取措施加以应对。一方面需要主动积极推动能源结构战略调整,改变化石能源在能源结构中的绝对主导地位,减少温室气体排放;另一方面要对全球气候变化所带来的后果,采取积极应对措施。

本次大会设有“气候变化与环境问题”分论坛,来自中国、加拿大、日本、伊朗、韩国等国家的 11 位专家分别介绍了水库温室气体排放、水库水质模拟及预测、气候变化下的水电资产评估、水利水电工程对动物的影响及保护措施、水库调度方式对咸潮入侵影响等方面的最新研究成果。本次会议票选出 2021 年 ICOLD 第 27 届大会的四个议题中,“大坝与气候变化”仍然是 ICOLD 未来持续关注的重点之一。

### 3.5 更好的公众认知

包括水利、水电项目在内的重大工程是人类文明的标志,代表时代科技进步的水平,反映人类文明发展程度。在传统的水库大坝和水电工程建设中,公众认知对工程本身的意义往往被忽视,社会公众对重大工程的认知处于滞后的状态。事实上,社会公众对重大工程越了解,他们对工程的理解和支持度就越高,就越容易发挥工程的综合效益。同样地,工程与公众的交流沟通越充分,就越有助于业主认清自身问题,协调与

(下转第 10 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.002

# 水布垭电厂计算机监控系统优化改造

徐兴友,陶纪军,王 勇,兰志专

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北 宜昌 443000)

**摘要:**基于水布垭电厂原分布式双环网络计算机监控系统存在的问题,对系统硬件进行了更新改造。采用可靠性高的双星型网络,将转速、电压、电流等重要信号实施冗余配置,使统一对时系统、电源、同步检查闭锁继电器等方面均满足现有国家标准要求,提高了系统的可靠性和自动化水平。

**关键词:**计算机监控系统;优化;双星型网络

中图分类号:TV736 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)05-0006-05

## Optimization Renovation of the Computer Supervision and Control System in Shuibuya Hydropower Plant

XU Xingyou, TAO Jijun, WANG Yong, LAN zhizhuan

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

**Abstract:** Considering the problems found in the distributed double-loop network computer supervision and control system in Shuibuya Hydropower Plant, an optimization renovation of the system hardware is carried out. The double-star type network with higher reliability is adopted. Redundant configuration is set for important signals such as speed, voltage and current. Thus, the requirements of the national standards on the unified timing system, power supply and synchro-check lockout relay are satisfied, and the reliability and automation level of the system are greatly improved.

**Key words:** computer supervision and control system; optimization; double-star type network

水布垭电厂装有4台容量为460 MW混流式机组,引水式地下厂房,发电机主变单元接线,两回500 kV双母分段出线。原计算机监控系统为分布式双环网系统,投产12年来,存在旧型号元件停产,故障频发,部分配置先天不满足目前国家和行业规范,以及在运行维护中发现存在不合理的地方等问题,后针对性对监控系统硬件进行了更新改造。

### 1 总体结构

新计算机监控系统结构图如图1。

电厂计算机监控系统一般采用两层结构<sup>[1]</sup>,系统为分层分布式监控系统,分为厂站层和现地层。双星型网络结构。

厂站层设备主要包括2台数据采集服务器、2台历史数据服务器、3台操作员工作站、2台调度远动通信工作站、2台清江梯调通信网关工作站、1台工程师

工作站、1台厂内通信数据服务器、1台多功能服务工作站、KVM及显示设备、2台核心交换机、2套同步时钟装置、1套防火墙以及打印机和网络柜。

大型或重要的中型电厂,数据服务器在结构配置上一般应采用冗余节点的结构方式<sup>[1]</sup>。数据采集服务器采用双机热备运行方式,主要负责主控制层实时数据采集和处理,运行及管理电站的高级应用功能,自动发电控制(AGC),自动电压控制(AVC),记录数据的计算和处理,实时数据和运行文档的保存和检索,实时数据库生成及管理、系统时钟管理等。

历史数据服务器主要负责历史数据的存储、归档和检索,历史数据库生成及管理,历史数据和运行文档的保存和检索等。

操作员工作站主要作为操作员人机接口工作台,负责完成监视、控制调节和参数设置等操作,但不允许修改或测试各种应用软件。事故时自动或按人员召唤

收稿日期:2019-10-23

作者简介:徐兴友,男,高级工程师,从事水电站电气设备的维护与管理工。

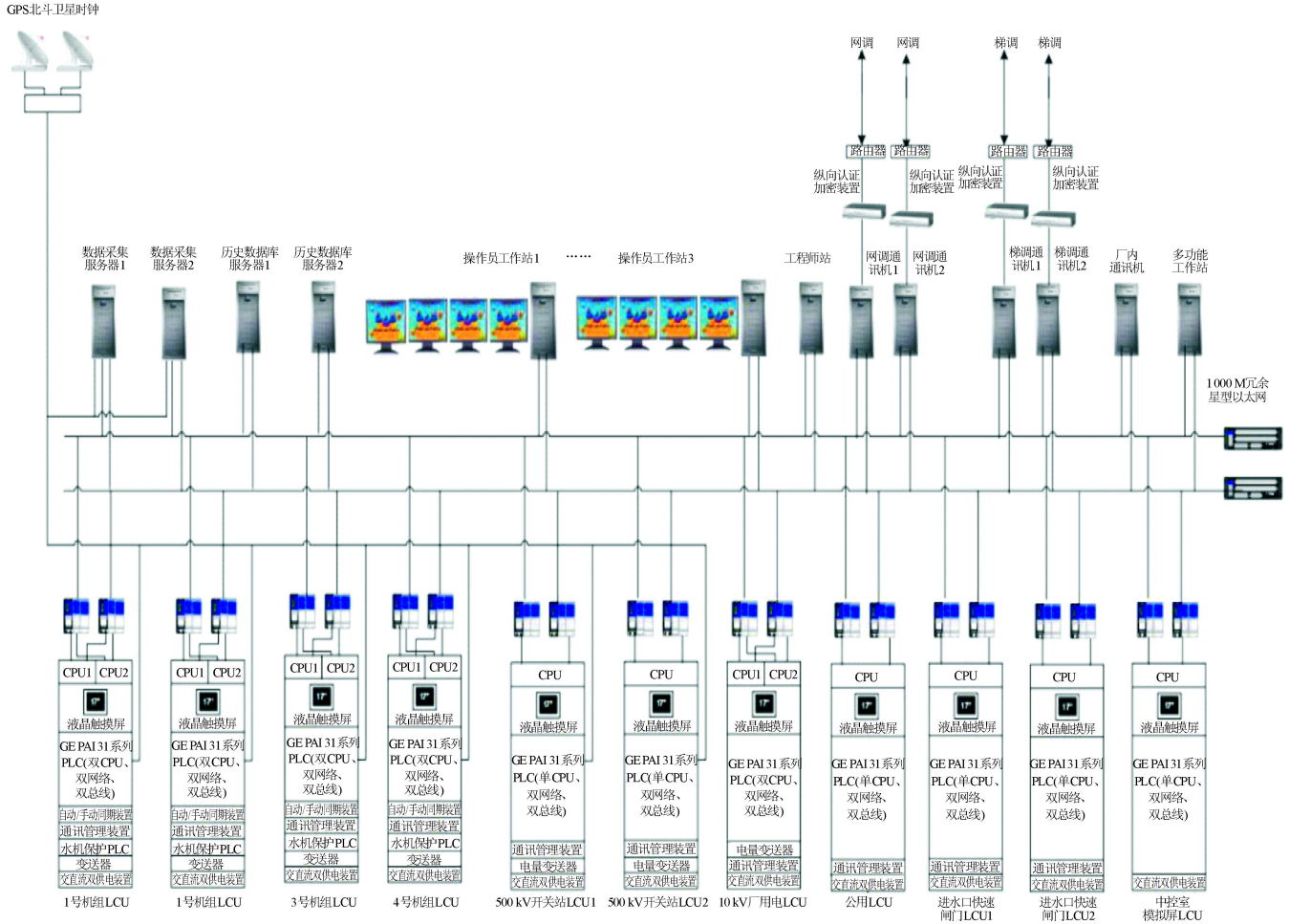


图1 新系统结构图

实时打印主要设备的各类操作,事故和故障记录及有关参数和表格等人机界面(MMI)功能。

2台调度远动通讯工作站互为热备,用于与华中网调、湖北省调的通信。

2台梯调通信网关机互为热备,用于与梯调中心的通信。

工程师工作站主要负责监控系统的开发、编制和修改应用软件、建立系统数据库、系统维护和管理、程序下载、远程诊断维护等工作。

厂内通信数据服务器主要负责与厂内其他综合自动化系统的连接,实现与系统时钟、机组状态监测系统、继电保护及故障录波信息管理系统、消防监控系统、溢洪道闸门集控等的通信。

多功能服务工作站主要负责事故语音报警、电话语音及短信报警,同时可以实现历史数据查询、报表生成、打印等功能。

每台水轮发电机组分别设置1套现地控制单元(LCU)、500 kV开关站、10 kV厂用电设备、公用设备、模拟屏驱动设备、进水口快速闸门各设置1套现地控

制单元(LCU)。机组LCU、10 kV厂用电LCU为双CPU双总线,其他LCU为单CPU双总线。

4台水轮发电机组、主变及辅助设备(LCU1-LCU4),LCU1至LCU4按照6屏(4块主屏+2块远程测温屏)进行组屏。

机组LCU主要监控对象如表1。

表1 机组LCU监控对象表

监控对象名称	监控对象数量	说明
水轮机及其辅助设备/台	4	
发电机及其辅助设备/台	4	
主变压器及其辅助设备/台	4	
发变组 20 kV 断路器/台	2	2、3号机组
发变组 20 kV 隔离开关/台	2	2、3号机组
发变组 20 kV 接地刀闸/台	2	2、3号机组
发变组 20 kV 电制动短路开关/台	4	每机组各一
发变组 500 kV 断路器/台	4	每机组各一
发变组 500 kV 隔离开关/回线	8	每机组各二
发变组 500 kV 接地刀闸/回线	12	每机组各三



开关站(LCU5),按照5屏(3块主屏+2块远程屏)组屏。

其主要监控对象如表2。

表2 开关站 LCU 监控对象表

监控对象名称		监控对象数量
500 kV 出线	水渔 I、II 回线接地刀闸/回线	4
	水渔 I、II 回线隔离开关/回线	2
500 kV 母线	I 母、II 母隔离开关/回线	2
	I 母、II 母接地刀闸/回线	1
电源 系统	地面厂房 220 V 直流电源系统/段	2
	厂内 220 V UPS 电源系统/套	2
	进水口 10 kV 配电屏/段	2
	上游水位信号/套	1
0.4 kV 厂内公用配电系统(5P)/套		1

厂用电(LCU6)按照5屏(3块主屏+2块远程屏)组屏。

其主要监控对象如表3。

表3 10 kV 厂用电 LCU 监控对象表

监控对象名称		监控对象数量
10 kV 配电系统/套		1
0.4 kV 厂内公用配电系统(不含5P)/套		1
地下厂房 220 V 直流电源系统/段		2
下游水位信号/套		1

公用设备(LCU7),按照1屏组屏。

其主要监控对象如表4。

表4 辅机 LCU 监控对象表 套

监控对象名称		监控对象数量
检修排水系统		1
厂房渗漏排水系统		1
低压空压机系统		1
中压空压机系统		1
封闭母线微正压系统		1
厂外排水系统		1
右护泵站排水系统		1
厂房通风系统		1

更换原有中控室模拟屏驱动 PLC、GPS 时钟等设备,按照3屏组屏。

其主要监控对象如表5。

表5 模拟屏 LCU 监控对象表 套

监控对象名称	监控对象数量	说明
模拟屏驱动 PLC	1	
GPS 时钟	1	系统时钟显示装置
低位水池水位监视	1	

在1号和2号进水口油缸房各新增2个控制屏,拆除原控制屏,保留动力屏。

其主要监控对象如表6。

表6 进水口 LCU 监控对象表 套

监控对象名称	监控对象数量
进水口快速闸门	4

## 2 监控系统优化改造要点

### 2.1 网络拓扑

双环网改为双星网,主交换机由百兆升级为千兆。旧系统为双环形网,主站交换机和其他 LCU 交换机均为封闭网络的节点,当有2个 LCU 同时处于停电检修或者交换机异常状态时,双环网处于断开状态,主站层设备不能监控其他正常 LCU。改为双星型结构后,2个以上 LCU 同时停电或者异常离线时,不影响其他 LCU 信号上送。

### 2.2 入侵检测和日志审计系统

新增启明星辰入侵检测和日志审计系统。

### 2.3 同步时钟系统

旧系统仅有 GPS 对时,并且不能给电厂其他系统授时,不方便发生异常情况时基于同一时标进行全面分析。新系统为恒宇卫星时钟同步系统,北斗和 GPS 双输入,并接收清江梯调 PTP 地基对时,默认清江梯调对时优先。各机组 LCU、厂用电 LCU、500KV 开关站 LCU 和进水口 LCU 均布置有扩展时钟装置,全厂共设置有9个同步时钟分授时点。预备将来为线路保护、机组保护、故障录波装置、调速器控制系统、励磁控制系统等其他系统统一授时。

### 2.4 跨 LCU 信号读取方式变更

旧系统涉及跨 LCU 信息读取,由各 LCU 根据需要在两段 LCU 独立编写通讯程序收发数据,新系统所有此类信息改为统一从厂站层读取,规范了编程方式,减轻了主干网负载,提高了信号准确率。

### 2.5 厂站层主机电源改进

大容量发电厂的计算机系统需要交流不间断电源

装置供给可靠的交流电源<sup>[2]</sup>。旧系统厂站层未实现全部主机都是双电源供电,虽然前端监控主站 UPS 进线电源一共有两路交流两路直流一路旁路共计五路独立电源,但旧 UPS 为双机并联运行,如果 UPS 故障会影响整个主站层供电,不严格满足《防止电力生产事故的二十五项重点要求》第 9.2.1.5“监控系统上位机交流供电电源应采用两路独立电源供电”要求,改造后,UPS 改为双机独立运行,并且新系统的厂站层所有主机均为双电源供电并且分别取自两段外部电源。不与其他设备合用电源,具备无扰自动切换功能<sup>[3]</sup>。

## 2.6 设置 KVM 设备

考虑到上位机设备比较多,在现场布线上比较繁琐,并且配置的显示器也比较多,因此采用 KVM 设备来减少显示器、鼠标和键盘,以及电缆,使得现场布线简洁明了,保证维护的方便性。新系统按如下方案配置:

1) 1 套数据采集服务器、1 套历史数据服务器、1 套电网调度通讯工作站、1 套梯级调度通讯网关工作站、1 套厂内通讯服务器布置在 1 面服务器机柜中,配置 1 套 1 切 8 可级联的 KVM 设备,采用延长线方式,将显示器、鼠标和键盘延长至机房控制台(10 m)。

2) 1 套数据采集服务器、1 套历史数据服务器、1 套电网调度通讯工作站、1 套梯级调度通讯网关工作站、布置在 1 面服务器机柜中,配置 1 套 1 切 8 的可级联 KVM 设备,采用延长线方式,将显示器、鼠标和键盘延长至机房控制台(10 m)。

3) 2 台操作员工作站分别布置在 1 面服务器机柜中,采用信号延长器方式,将显示器、鼠标和键盘延长至中控室(20 m)。

4) 1 套工程师工作站采用延长线方式,将显示器、鼠标和键盘延长至机房控制台(10 m)。

## 2.7 冗余测速装置

旧系统的机组转速信号模拟量和开关量均来自安装在系统外的瑞格大 SPCT1-3/6-225-23-2-11,齿盘和残压双输入。如果测频回路异常或测频精度无法达到要求,后续的控制回路将无法正常工作<sup>[4]</sup>。新系统在各机组 LCU 自身增加一套测速装置,型号 SJ-22D,也是齿盘和残压双输入,在原有齿盘测速位置新增一个专用测速探头,残压信号源和原测速装置一致,新测速装置的开关量信号定义和原有装置的测

点一致。新系统人机监控画面定义有软切换节点,可根据需要在人机界面成组切换信号源。

## 2.8 拆分开关站现地单元

电厂电气主接线方式为:4 台机组分别以发电机主变单元接线连接到两段 500 kV 母线,1 号机组和 2 号机组连接到 1 号母线,3 号机组和 4 号机组连接到 2 号母线,两段母线之间有 2 个常开状态的联络隔离开关,两段母线分别引一回出线接入系统。开关站 LCU 主要监视对象为:各主变以上到出线、地面厂房 220 V 直流系统、线路保护信号、监控系统 UPS 系统、400 V 厂内公用配电系统 5P。旧系统设置在此处的 LCU 一体监控所有以上设备,不方便停电检修,故而新系统以母线为单位拆分为两个子单元,两个子单元可以随对应线路停电检修分别开展停电状态下的定期工作和消缺。同时将旧系统开关站 LCU 管辖的地面厂房和进水口区域电气设备监控远程柜调整到辅机 LCU 管辖。

## 2.9 变更 LCU 与远程柜的连接介质

由于监控点分散,各 LCU 一般都附带有远程盘柜,旧系统的连接方式为同轴电缆连接,电厂投产 10 多年来,频发通讯故障报警,每次故障发生,现场检查均未发现 T 型接头真实松动,根据经验,认为原因是金属卡子压同轴电缆金属线芯有结构性接触电阻,处理方式为松开连接头后重新旋紧,新系统改为光纤连接。

## 2.10 开关站 LCU 增加变送器

旧系统在该部位仅配置有交采装置,故障情况下无后备信号源,也不方便对比参考,新系统新增了变送器作为后备。

## 2.11 纳入进水口快速闸门控制系统

该电厂为引水式地下电站,各机组进水口快速闸门距厂房较远,每 2 台机组布置 1 套控制系统和 1 套公用油系统。该系统负责监视 2 台闸门的位置和公用油系统的油压油位及油泵状态等,具备启动启停油泵,现地远方落闸门和现地提门以及正常运行时下滑监视自动提门功能。此次改造,将原先的独立系统作为新增的 LCU 纳入计算机监控系统,不同于旧系统只上送部分重要信号,新 LCU 上送所有信号,同时作为远离厂房的进水口区域集中授时点。为此新敷设了厂区到进水口区域的光纤。

机组快速闸门的落门按钮最好设置一个独立于监控软件操作之外的实物按钮,安装在中控室便于运行人员操作的地方<sup>[5]</sup>。此次改造,确认中控室模拟屏上的远方落门按钮独立于计算机监控系统主站和厂房任何LCU。

### 2.12 增加同步检查闭锁继电器

同期装置分为自准同期和手动同期两种控制方式,旧系统仅手动同期装有同步检查闭锁继电器,不符合《防止电力生产事故的二十五项重点要求》第10.9.1条“微机自动准同期装置应安装独立的同期鉴定闭锁继电器”,新系统在保留手动同期同步检查继电器基础上为自准同期回路增加了独立同步检查闭锁继电器。

### 2.13 增加与梯调数据库自动对点功能

通过104规约,当启动自动对点功能后,自动将厂站侧数据库信息传送到梯调形成表单,消除了双方都是人工情况下核对错报和漏点的可能。

### 2.14 修改盘柜尺寸

旧系统LCU盘柜尺寸为 $2\ 200 \times 800 \times 600$ ,经多年实际运行实践,存在散热不理想和维护空间狭窄的问题,新系统将大部分LCU盘柜尺寸修改为 $2\ 200 \times 800 \times 800$ ,拓展了安全维护空间,改善了盘柜散热。

(上接第5页)

工程有关的各相关方的利益平衡,推动工程和行业的完善与进步。

为向社会传递有关大坝的全面、准确和平衡的信息,更好推动水库大坝公众认知,ICOLD在2010年提出了《ICOLD全球传播计划和战略》,并成立了国际大坝委员会公众认知和教育专委会,希望通过专委会相关的沟通工作,提高ICOLD在科学、技术、社会、环境和伦理问题上作为大坝领先专业组织的声誉,促进公众了解大坝储水在开发和管理世界水资源方面的有益作用以及与气候变异和变化有关的风险,促进向公众提供关于大坝在流域蓄水和管理工作中的目的和作用的平衡和可信信息的项目,进一步发展国际媒体关系、确保世界各地都能获得关于大坝作用的平衡和可信的信息,提供关于大坝和水库的可靠信息来源、以应对媒体发表的不平衡文章。

本次公众认知专委会的一项工作就是审定由巴西伊泰普公司制作的视频片《水库大坝的效益》,在大会播放并向全球推广。

## 3 结 语

新系统参考当前主流设备配置情况相对旧系统进行了硬件性能升级,修改了主干网络配置,对照当前国家和行业标准补充了必要的元件和子系统,对测速和电流电压等重要信号新增了冗余配置,对过去10多年来运行维护问题实施了针对性解决方案,查阅电厂生产管理系统记录,监控系统缺陷从2015年13项,2016年5项,2017年5项,2018年6项,这4年其中2项是紧急缺陷;2019年下降为2项,这2项其中1项是新旧系统通讯问题,另1项是系统频率偏低导致同期困难,并非新系统本身问题。实践证明提高了系统可靠性和自动化水平。

### 参考文献:

- [1]梁建行,高光华,易先举,等.水电厂计算机监控系统设计[M].北京:中国水利水电出版社,2013
- [2]电力工业部西北电力设计院.电气工程电气设备手册:电气二次部分[M].北京:中国电力出版社,1996
- [3]中国华能集团公司.水力发电厂技术监督标准汇编[M].北京:中国电力出版社,2015
- [4]卢舟鑫,常中原,池成虎,等.水电站齿盘测频原理分析及优化应用[J].水电与新能源,2019,33(1):65-67
- [5]张丛波.潘家口水电厂计算机监控系统改造及总结[J].水电与新能源,2014(1):12-13,18

“更好的大坝,造福更好的世界”,是2018年ICOLD庆祝成立90年的公报中的一个关键理念。

大坝和水库在应对气候变化的全球背景下发挥着关键作用。ICOLD秘书长Michel de Vivo在多个国际论坛的主题演讲中指出:在缓解气候变化方面,清洁水电将取代化石燃料,成为无可比拟的电网调节工具,尤其是随着间歇性可再生能源的增加。同时为了适应气候变化,水库有助于减轻水患,调节毁灭性洪水的影响。目前,新大坝的大部分投资都用于水力发电。这将持续几年,直到我们达到水力发电的最大潜力。然后,我们将进入一个新的局面,其中大部分大坝投资将用于储能。风能和太阳能等间歇性可再生能源的大规模开发将需要相应的大规模抽水蓄能电站。抽水蓄能现在占全球发电容量的10%,预计2050年将达到100%。

因此,ICOLD认为:一个新的大坝建设的黄金时代即将到来,但它不会与战后的黄金时代一样。未来水电将依赖于新技术,其中一些技术尚在探索之中。这就是为什么ICOLD仍将发挥至关重要作用的原因。



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.003

# 沙坪二级水电站堆石混凝土坝防渗设计与研究

刘明华, 涂承义, 叶建群

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

**摘要:**以沙坪二级水电站工程设计与施工为依托,对堆石混凝土坝的防渗开展了设计与研究工作。堆石混凝土本身防渗性能优异,可直接挡水,但考虑施工因素,为提高堆石混凝土层间抗渗的保证率,一般在上游面设厚度0.5~1.0 m、防渗性能是常态混凝土2~3倍的自密实混凝土防渗层,以确保坝体的抗渗性能。竣工5年来的监测成果验证了本工程堆石混凝土抗渗指标满足设计要求。

**关键词:**沙坪二级水电站;堆石混凝土坝;坝体防渗;横缝;坝体止水

**中图分类号:**TV641.4      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-3354(2020)05-0011-04

## Design and Analysis of the Seepage Control Structure in the Rock-filled Concrete Dam in Shaping II Hydropower Station Project

LIU Minghua, TU Chengyi, YE Jianqun

(Powerchina Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** Based on the design and construction practice of Shaping II Hydropower Station Project, the design and analysis of the seepage control structure of the rock-filled concrete dam are introduced. The results show that the rock-filled concrete is of excellent performance in seepage prevention and thus can be used for water retaining directly. However, considering the influence of the practical construction process, seepage control structure is still necessary. To guarantee the inter-layer seepage prevention performance of the rock-filled concrete dam, a self-compacting concrete layer with the thickness of 0.5~1.0 m and two to three times of the impervious property is usually constructed on the upstream surface. Monitoring results of five years since the completion of the project verify that the seepage control performance of the rock-filled concrete dam meets the design requirements.

**Key words:** Shaping II Hydropower Station; rock-filled concrete dam; seepage control; transverse joint; dam waterstop

堆石混凝土(Rock-Filled Concrete,简称RFC)技术是我国自主知识产权的新型混凝土技术,具有低碳环保、低水化热、工艺简便、造价低廉、施工速度快等特点。堆石混凝土是指先将满足一定粒径要求的块石(或卵石)自然堆满仓面,然后在堆石体表面浇筑满足特殊要求的自密实混凝土(Self-Compacting Concrete,简称SCC),无需振捣仅依靠其自重充填堆石体的空隙,所形成完整密实的混凝土,其构成如图1所示<sup>[1-3]</sup>。

堆石混凝土自身具有良好的抗渗性能,原则上可用于坝体自身防渗。但是在现阶段考虑到施工过程

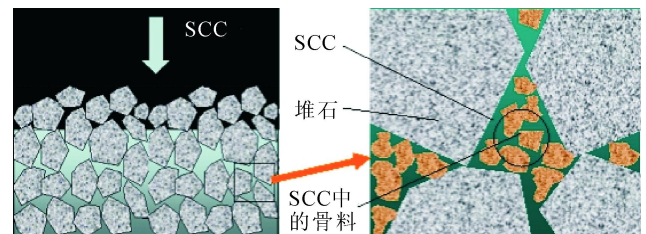


图1 自密实混凝土充填堆石体形成堆石混凝土示意图  
中,由于堆石冲洗不净,堆石铺填以后,堆石表面残留的少量泥土带到仓面表面,形成集中的薄弱环节,容易形成渗水通道,降低层面结合能力,可能造成的层间缺陷,需对防渗进行设计与研究。

收稿日期:2020-03-22

作者简介:刘明华,男,高级工程师,主要从事项目管理方面的工作。

# 1 工程概况

沙坪二级水电站位于四川省乐山市,是大渡河中游22个规划梯级中第20个梯级沙坪梯级的第二级,采用河床式开发。水库正常蓄水位554.00 m,总库容为2 084万m<sup>3</sup>,挡水建筑物最大坝高63.0 m,装机容量348 MW,多年平均发电量为16.10亿kW·h。枢

纽主要由泄洪闸、河床式厂房、鱼道、右岸挡水坝段等建筑物组成。泄洪闸布置在右岸主河床,将砂卵石覆盖层全部挖除后采用堆石混凝土回填,基础置于基岩上。共设置5孔泄洪闸,堰顶高程528.00 m,孔口尺寸13.0 m×16.0 m(宽×高)。泄洪闸典型剖面见图2。

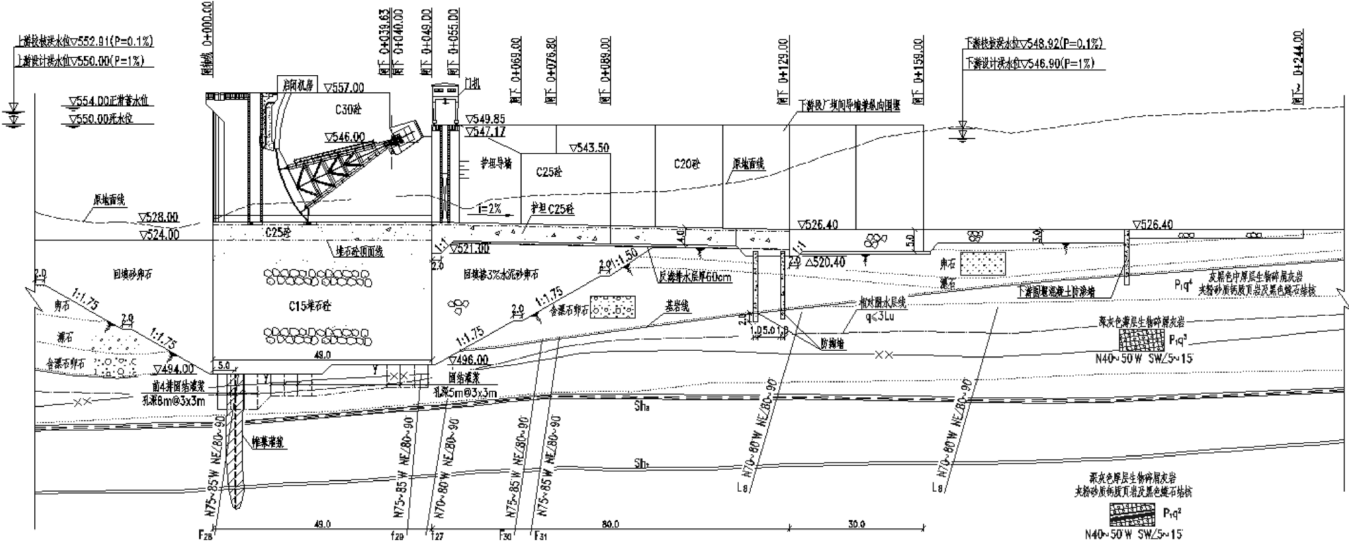


图2 泄洪闸典型剖面图

# 2 堆石混凝土防渗措施研究

大体积混凝土通常根据混凝土性能和结构要求进行分区,如龄期、抗渗标号、抗冻标号、抗冲刷要求、抗侵蚀性和低热性等。通过研究表明,堆石混凝土中相互搭接的堆石骨架有效提高了材料的综合性能,通常坝体采用统一标号的堆石混凝土,直接通过自身结构或是设置防渗层来满足大坝抗渗、抗冲刷和抗侵蚀性等的要求。堆石混凝土防渗层材料抗渗等级的最小允许值应满足:①H<30 m时,W4;②30 m≤H<70 m时,W6。当采用常态混凝土防渗层时,底部厚度宜为最大水头的1/30~1/60,顶部厚度不应小于0.3 m,宜配置温度钢筋,并做好分缝处理;当采用自密实混凝土防渗层时,顶部厚度宜为0.3~0.6 m,宜配置温度钢筋;坝高小于30 m时可不设防渗层,可采用坝体自身防渗,并对坝体与地基的连接做出防渗设计。

## 2.1 自密实混凝土的防渗参数与常态的对比

自密实混凝土是一种高性能混凝土,其耐久性能普遍高于常态混凝土或者碾压混凝土。日本东京大学土木系、清华大学水利系等国内外知名研究机构的混凝土实验室均通过研究表明自密实混凝土早期自身体积变形小、干缩小、水化热低、抗裂能力高,可以避免早

期缺陷;硬化后混凝土抗渗能力高,渗透系数数量级为10<sup>-12</sup> m/s;抗渗标号可达W30以上;抗冻标号可达F300以上,可有效抵制外界因素的影响,耐久性能优异。

## 2.2 自密实混凝土防渗层

堆石混凝土本身防渗性能优异,坝体本身可直接挡水。而从实际施工考虑,根据堆石混凝土的施工特点,一般采用防渗性能是常态混凝土2~3倍的自密实混凝土浇筑防渗层,从而进一步提高工程的安全系数,确保坝体的抗渗性能。

试验表明自密实混凝土的抗渗性能远高于同标号的其他常规混凝土,同时自密实混凝土胶凝材料用量较高,其水化热和自生体积变形略高于其他常规混凝土,不适宜用于厚度较大的结构。因此,采用自密实混凝土作为防渗层材料时其厚度应低于常规混凝土,出于对温度裂缝的考虑宜配制温度钢筋并控制最大厚度。

采用自密实混凝土防渗层与堆石混凝土坝体一体浇筑的方式,防渗层浇筑无需单独支立模板,仓内进行堆石时仅需在石块与模板之间预留出防渗层层厚即可。浇筑后的防渗层与堆石混凝土坝体的连接较好,无需在浇筑堆石混凝土前对防渗层内侧进行凿毛处

理,施工工艺简便,施工速度快,抗渗性能好。

### 2.2.1 自密实混凝土防渗层与堆石混凝土标号一致

根据堆石混凝土的施工特点,坝体防渗材料抗渗等级最小允许值为W6。一般C15标号的自密实混凝土抗渗等级即可达到W6~W8,因此在没有高抗冻要求和其他特别要求的情况下,为简化施工工序,防渗层可采用与坝体堆石混凝土一致的设计标号。自密实混凝土防渗层与坝体一体化浇筑结构如图3所示。

### 2.2.2 自密实混凝土防渗层与堆石混凝土标号不一致

基于抗冻等因素考虑,当设计防渗层与坝体混

土标号不一致时,可通过如下的方式实现一体化浇筑:

1) 防渗层与坝体的混凝土生产采用相同的原材料,包括水泥、粉煤灰、砂石等;

2) 在自密实混凝土配合比设计中,通过调整水泥、粉煤灰的比例来实现不同设计标号,保证配合比基本相同,所用外加剂型号相同,便于生产切换;

3) 在浇筑时,先生产高标号的防渗层混凝土并浇筑,防渗层浇筑完成后进行剩余坝体低标号混凝土的浇筑,从而实现一体化浇筑。该方法会多浇筑一部分高标号的混凝土,如图4所示。

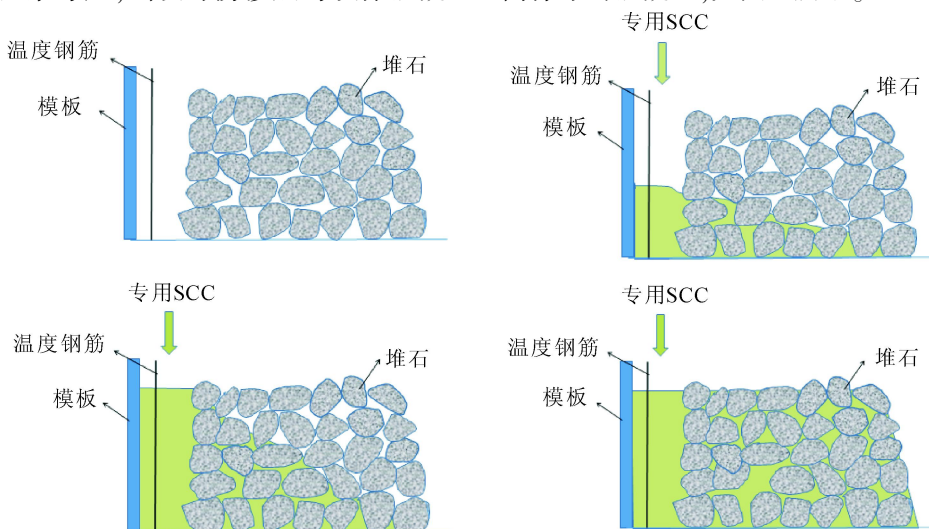


图3 自密实混凝土防渗层与堆石混凝土坝体一体化浇筑示意图

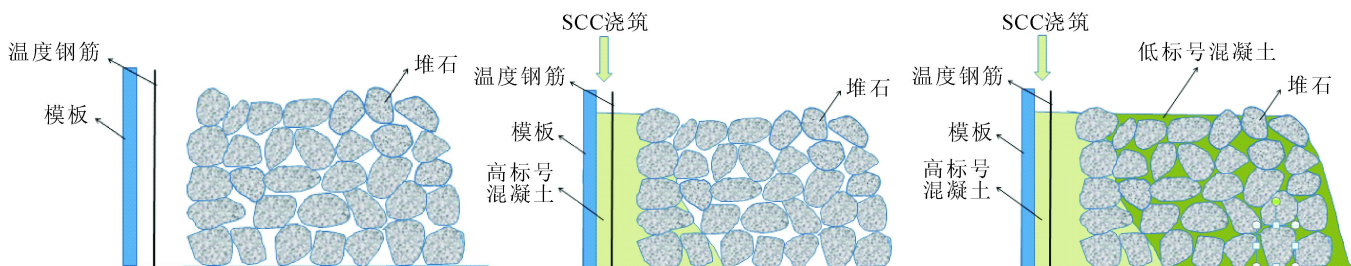


图4 不同标号自密实混凝土的防渗面板与坝体一体化浇筑示意图

结合自密实混凝土配合比设计的特性,相同原材料的情况下,不同设计标号可以通过调整水泥粉煤灰的比例来实现,二者经济性差别不大,水泥用量差别也

不大,对于温升的影响较小。如表1所示,标号分别为C15和C20时的自密实混凝土中水泥和粉煤灰用量差别较小,水泥强度等级相同。

表1 C15和C20的自密实混凝土配合比表

混凝土强度等级	水泥强度等级	水胶比	水泥	粉煤灰	水	砂	石子	外加剂
C15	42.5	0.40	180	280	185	820	810	7.0
C20	42.5	0.38	220	260	180	820	810	7.0

综上所述,在没有其他特别要求的情况下,可采用自密实混凝土防渗层与坝体堆石混凝土一致的设计标号进行一体化浇筑,优化施工方案,简化施工工序。实际

核算中,可对采用一体化浇筑的成本与支立模板进行防渗层浇筑等常规方案进行对比,选择最经济可行的施工方案。



## 3 沙坪二级堆石混凝土防渗设计

### 3.1 堆石混凝土防渗设计

沙坪二级水电站泄洪闸下部的堆石混凝土坐落在基岩上,坝基防渗通过帷幕灌浆解决。试验表明,堆石混凝土试块具有良好的抗渗性能,但施工过程中由于堆石冲洗不净,堆石表面残留的少量泥土带到仓面表面,容易形成渗水通道,造成层间缺陷,故堆石混凝土防渗问题主要考虑结构缝及堆石混凝土层间施工缝的防渗。

为提高堆石混凝土层间抗渗的保证率,设计在上游设置厚为0.5 m的自密实混凝土防渗层,考虑防渗层采用自密实混凝土浇筑与堆石混凝土一次浇筑成型,用于防渗层的自密实混凝土抗渗等级不宜小于W6。考虑本工程上下游最大水头差22 m,较小;且泄洪闸的顺河向较长,为49 m;另为加快施工,上游防渗层未布置钢筋。

在坝段间的横缝上游设置两道止水:第一道铜片止水布置上游坝面下游1.5 m,为1.0 mm厚的“U”型

铜片;第二道橡胶止水布置铜片止水下0.8 m,1.0 cm厚,见图5。止水周边0.5 m范围不铺填堆石,以填充自密实混凝土,并在块石码放时在止水两侧设置临时防护,以保证止水的完好。

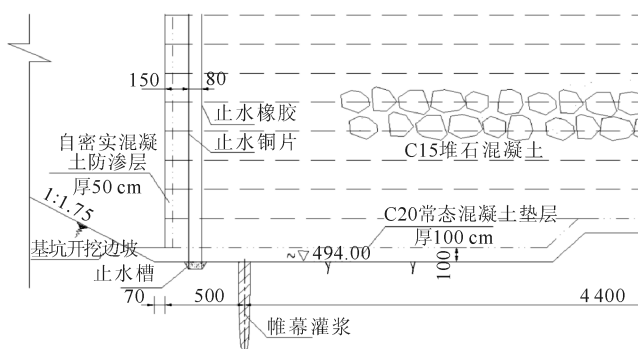


图5 堆石混凝土结构防渗剖面图

### 3.2 堆石混凝土渗压监测

堆石混凝土在523.50 m高程顺河向布置了4个渗压计,从5年多的监测成果来看,渗压水位变化渐趋于平缓,与库水位相关性不明显,说明堆石混凝土防渗性能整体较好。渗压计监测成果见图6。

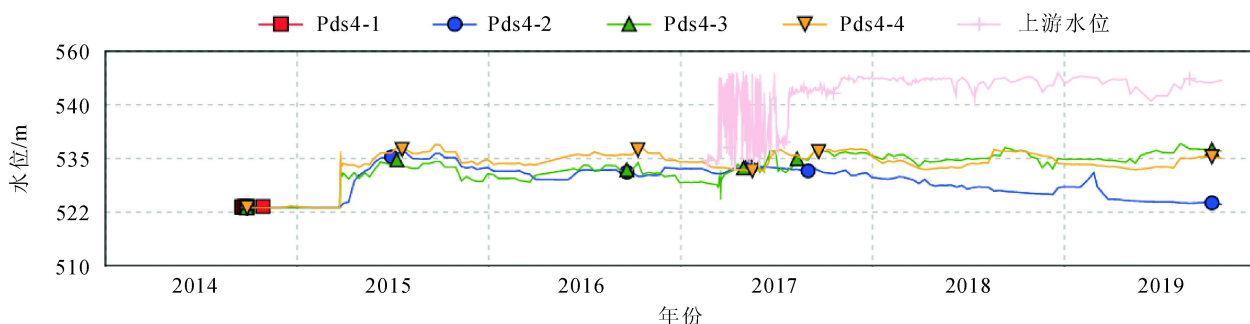


图6 堆石混凝土渗压监测成果图

## 4 结语

堆石混凝土作为混凝土材料的一种,在材料性能和筑坝原理方面与传统混凝土重力坝基本一致,但在坝体防渗有其自身的特点。堆石混凝土本身防渗性能优异,可直接挡水;但从实际施工考虑,为提高堆石混凝土层间抗渗的保证率,一般在上游面采用厚度0.5~1.0 m、防渗性能是常态混凝土2~3倍的自密实混凝土防渗层,从而确保坝体的抗渗性能。

2014年8月,沙坪二级电站泄洪闸下部堆石混凝土工程顺利完工,5年来的监测成果表明堆石混凝土

抗渗指标满足设计要求,层间结合良好。堆石混凝土在沙坪二级水电站的应用为首次在大型水电站主体工程应用,经研究与工程实践,成功解决了工程难题,取得了良好的工程效果,推动了堆石混凝土筑坝技术的发展。

### 参考文献:

- [1]金峰,安雪晖,石建军,等.堆石混凝土及堆石混凝土大坝[J].水利学报,2015,36(11):1347-1352
- [2]何世钦,陈宸,周虎,等.堆石混凝土综合性能的研究现状[J].水力发电学报,2017,36(5):10-18
- [3]刘玉梅.堆石混凝土重力坝设计探析[J].建筑工程技术与设计,2014(32):618-618,623

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.004

# 河北省农村水电增效扩容改造浅析

左燕霞, 吴君乐, 程群旺, 宋京亚

(河北省石津灌区管理局, 河北 石家庄 050051)

**摘要:**“十三五”农村水电增效扩容改造项目启动以来,河北省农村水电行业以绿色小水电建设为主线,加快推进项目的实施。结合田庄水电站增效扩容项目典型实例,从项目的环评事宜、实施情况、资金到位的管理情况等方面,采取多种整改措施,保障了项目的顺利实施。

**关键词:**农村水电;增效扩容;生态修复;安全生产;标准化

中图分类号:TM612 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)05-0015-02

## Renovation of Rural Hydropower Projects in Efficiency Improvement and Capacity Expansion in Hebei Province, China

ZUO Yanxia, WU Junyue, CHENG Qunwang, SONG Jingya

(Hebei Shijin Irrigation District Administration Bureau, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract:** Since the launch of the efficiency improvement and capacity expansion renovation work of rural hydropower projects in the “13<sup>th</sup> Five Year Plan”, the focus of the rural hydropower industry in Hebei Province is the development of green small hydropower projects. Taking the renovation work of Tianzhuang Hydropower Station as a typical example, the implementation process and management measures of the project are introduced, including the environmental impact assessment, construction process and fund in-position situation.

**Key words:** rural hydropower; efficiency improvement and capacity expansion; ecology restoration; safe production; standardization

“十三五”农村水电增效扩容改造项目启动以来,河北省农村水电行业以绿色小水电建设为主线,推进农村水电增效扩容改造,修复河流生态环境,增强民生、平安、绿色、和谐水电建设。《河北省农村水电增效扩容改造实施方案(2016-2019)》包括青龙河、滹沱河、唐河、大沙河和漳河跃峰渠等5条河流生态修复改造和7个农村水电增效扩容改造项目,共修复减脱水河段26 km,完善改造生态机组装机容量400 kW。增效扩容改造装机容量36 890 kW,扩容装机容量3 390 kW,年发电量增加3 385万kW·h,较改造前增加39%。全省“十三五”农村水电增效扩容改造项目总投资6 107万元,其中中央财政奖励资金2 820万元,省级财政配套资金1 410万元,项目法人自筹资金1 877万元<sup>[1-3]</sup>。

### 1 项目环评事宜

河北省环保部门无专门针对农村水电增效扩容改造项目环评相关规定。国家审计署京津冀特派办审查河北的水利项目规划环评时,基本认可河北省农村水电增效扩容改造项目实施情况,未要求补充规划环评或实施方案环评。按照水利部文件要求,加强农村水电增效扩容改造项目环评事中事后监管,积极开展督导检查,发现问题及时整改。

### 2 项目实施进展情况

1) 扎实推进项目实施。召开农村水电增效扩容改造工作推进会议,听取前期工作推进总体情况,明确农村水电增效扩容改造工作的相关要求,对下一步工

收稿日期:2020-01-02

作者简介:左燕霞,女,高级工程师,主要从事水利水电工程建设与管理的相关工作。

作进行安排。按照省水利厅、财政厅联合批复的项目初步设计和相应河流生态修复实施方案,抓紧组织招标投标工作,尤其是主机设备采购工作,选出真正有实力的生产厂,为设备制造和工程质量提供可靠的保证。至2016年11月底已全部上网公开招标,至12月底全部开标,完成关键设备招投标,签订工程施工和设备制造合同,项目已全部启动。

2)精心组织实施河流生态修复。河北省在项目实施中,根据批复的河流生态修复实施方案,按照“以自然修复为主、人工改造为辅”的原则进一步细化、优化设计,精心组织实施,使农村水电增效扩容改造成为河流生态修复的重要途径。河北省河流生态修复方案均已完成招投标工作,按进度安排,减脱水河段生态修复工程已集中在2018年进行。

### 3 资金到位及管理情况

1)中央及省级财政资金情况。至2017年10月底,河北省“十三五”农村水电增效扩容改造项目共到位资金5 032万元,其中中央财政奖励资金到位1 846万元,省级财政配套资金到位1 410万元,项目法人自筹资金到位1 776万元。中央财政奖励资金拨付省财政后,均按规定时限拨付项目单位;省级财政按中央奖励资金1:0.5的比例,配套资金1 410万元于2016年11月底全部拨付项目单位。

2)资金管理情况。在项目资金管理中,督促项目法人建立健全财务管理制度,配备符合要求的财务专业人员;严格执行各项财务制度,确保资金安全;督导项目法人加大资金自筹力度,确保自筹资金足额到位。保定市阜平县和唐县共落实了县级财政配套资金149万元,保证了工程建设资金需求。

### 4 保障措施相关情况

1)保证质量、安全、进度的措施。严格执行现有水利水电工程建设管理规章制度,落实“四制”,建立健全质量管理体系和安全工作体系,严格执行《河北省水利工程质量管理办法》和《河北省水利工程建设质量预警办法》,开展安全生产大检查并督导加快农村水电增效扩容改造项目进度。

2)防汛度汛措施及落实。全力克服2016年“7.19”特大暴雨洪水给河北省改造工程实施带来的困难,亡羊补牢,如邯郸市跃峰渠管理处海乐山、老刁沟水电站及时加装尾水防洪闸门、防洪排水泵和厂房防洪大门,有力地保障了2017年安全度汛和工程改造

进度。

3)安全生产标准化水电站建设开展情况。河北省农村水电安全生产标准化水电站建设工作稳步推进。全省共有35座水电站通过安全生产标准化建设外部评审,其中25座水电站被评定为安全生产标准化建设二级水电站,10座水电站被评定为安全生产标准化建设三级水电站。年底前还有4座水电站将评定为安全生产标准化建设水电站。

4)惠农强农典型培育情况。通过增效扩容改造,电站的发电能力、就近供电能力、供电可靠性大大提高,改善了灌溉条件,架桥修路、架线供电,改善了群众生产、生活条件,提高了群众生活质量,促进了地方经济发展。

## 5 工程改造典型实例分析

田庄水电站属于河北省石津灌区管理局,1983-05-13日正式交付使用,采用渠道引水式,建在石津总干渠上,装机容量 $2 \times 2\ 500\ \text{kW}$ ,设计流量 $107\ \text{m}^3/\text{s}$ ,年发电量为1 437万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ,根据1984~2001多年运行资料平均发电量为605.15万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。增效扩容项目的实施内容主要是对主副厂房进行了修缮,改造水轮机转轮浆叶,改造励磁装置、调速器、气系统、水系统等辅助设备,改造电站自动化监控系统和直流系统,改造主变压器和2台厂用变压器,新增了计算机监控保护设备。经过水能计算和对比分析,增效扩容后的装机容量仍为2 500 kW,设计水头为7.8 m。电站的增效主要体现在水轮机转轮的更换上,改造后的水轮机将在高效区运行,直接提高水轮机效率,达到增效目的,但对电气设备的改造在消除安全隐患、保障稳定、高效生产上有着不可替代的作用,提高了发电和输水能力,提升了自动化水平,基本实现了无人值守或少数人值守。增效改造完成后机组可以达到5 000 kW的设计负荷,年发电量达到1 001.6万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。经过改造前后对比,近5年平均年发电量增加107.79万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ,1、2号机组的综合效率分别为80.7%和81.1%,达到“单机功率小于3 000 kW,机组综合效率达到75%以上”的验收指标,按发电量计增效扩容能力达到23.7%,达到“按发电量计算的增效扩容潜力需达到20%以上”的验收指标。田庄电站增效项目完成总投资772.86万元,其中:中央补助资金350万元,省级配套资金175万元,项目法人自筹资金247.86万元,项目于2016年11月完成竣工验收。

(下转第20页)



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.005

# 新型支臂千斤顶在解决水轮发电机组振动的应用

李红, 郭益钻, 向靖, 向会琼

(1. 湖北能源集团淦水水电有限公司芭蕉河水电厂, 湖北 鹤峰 445800)

**摘要:** 根据对芭蕉河水电公司蕉4号水轮发电机组振动值偏大的案例, 系统分析和探讨了造成水轮发电机组振动的原因及解决方案。针对支臂千斤顶的结构、安装等, 采用精心制作与改造的支臂千斤顶解决水轮发电机组振动问题。经4个月的持续监测跟踪分析, 该机组径向振动值超标彻底消除, 达到了正常稳定运行要求。

**关键词:** 机组振动; 支臂千斤顶; 芭蕉河水电厂

中图分类号: TM312

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)05-0017-04

## Vibration Treatment of Hydro-turbine Generator Unit with Innovative Support-arm Jacks

LI Hong, GUO Yizuan, XIANG Jing, XIANG Huiqiong

(Bajiaohe Hydropower Plant, Loushui Hydropower Co., Ltd., Hubei Energy Group, Hefeng 445800, China)

**Abstract:** Excessive vibration is observed in the Jiao #4 hydro-turbine generator unit in Bajiaohe Hydropower Plant. Possible reasons of the vibration are investigated and treatment measures are proposed. The traditional support-arm jacks of the unit are renovated and installed, which successfully solve the vibration problem. Continuous monitoring of four months of the unit shows that the excessive radial vibration of the unit is completely eliminated and the requirements of stable operation are satisfied.

**Key words:** unit vibration; support-arm jack; Bajiaohe Hydropower Plant

芭蕉河二级电站位于湖北鹤峰县鸡公洞, 共装机2台, 合计16 MW, 为悬吊型混流式机组, 其流域编号为蕉4G、蕉5G。水轮机型号为HLD74-LJ-140, 发电机型号为SF8000-14/2860。蕉4G、蕉5G均为悬吊型水轮发电机, 推力与上导均共用1个油槽, 位于转子上方并布置在上机架中心体, 下导轴承设置在下机架中心体内, 上导和下导轴承各有8块乌金瓦, 设计单边间隙均为0.10~0.15 mm, 推力瓦为8块塑料瓦, 在推力瓦的下方有8块丁腈耐油橡胶板来配合调整, 水导轴承在最下方, 共16片活动导叶, 7个固定导叶, 活动导叶立面为刚性密封, 端面为弹性橡胶织布密封, 导叶与拐臂通过分半键连接, 拐臂、连板、控制环通过剪断销和销钉连接, 剪断销和销钉均不带偏心。其基本

参数如下: 额定功率8 000 kW, 额定电压10 500 V, 额定电流549 A, 额定转速428 r/min, 飘逸转速867 r/min。

### 1 振动原因分析

2018年10月对蕉4号机组进行设备日常巡检时发现, 蕉4号机组在运行时声音偏大, 测试径向振动值得知该数值比先前所测数值略有增加。揭开机组盖板上机架运行检查发现上机架+Y-X方向千斤顶基础板有轻微的窜动现象, 对机组安全运行造成了严重的威胁。通过对该现象进行全面分析和检查认为, 该千斤顶在安装初期使用的是水泥浇筑, 并没有对基础板与基坑壁内的钢筋焊接在一起, 随着机组运行的时间增

收稿日期: 2020-01-08

作者简介: 李红, 男, 工程师/高级技师, 从事水电站设备检修、技改等方面的工作。

长,该基础板出现了松动的现象,导致了振动的增大。

蕉4号机组原使用的上机架支臂千斤顶为一般机械千斤顶。其原理结构主要为,通过手动来实现摇杆转动,摇杆的转动带动小齿轮的转动,圆锥齿轮就会配合小齿轮一起转动,圆锥齿轮的转动使得螺杆跟着旋转,引起顶杆顶起或降落,保证千斤顶的顶杆和基座牢牢的支撑在上机架支臂与机坑壁之间。当齿轮反方向运动,顶杆就会收缩,千斤顶就会自然落下,当齿轮正方向运动,顶杆就会顶起。

## 2 造成立式机组一般振动原因<sup>[1-3]</sup>

水轮发电机组振动是一个复杂的问题,尤其是多段轴结构的水轮机组,由于自身的结构以及不平衡外力的干扰,在高速运转的过程中,会在其原有旋转运动的平衡位置附近附加周期性往复运动。另外,由于机组本身和外力的原因还会产生自激振动。但是从振动的原因来看,一般分为机械振动、水力振动和电磁振动等方面。

1)引起机械原因振动的是指振动中的干扰力来自机械部分的惯性力、摩擦力及其他力。引起振动的机械因素主要有:转动部分质量不平衡、机组转子的振摆、机组轴线不正、机组水平偏移、转子抖动、导轴承缺陷、连接法兰松动等,以及转动部分静不平衡、转动部分动不平衡、机组轴线缺陷、轴承缺陷、调速器调试不良等都是造成机组机械振动的原因。

2)引起水力原因的振动是指振动中的干扰力来自水轮机运行时的动水压力。压力降低时所产生的振动,其特征是带有随机性,当机组处在非设计工况或过渡工况运行时,水流状况恶化,机组各部件的振动也亦明显增大。其主要因素有:转轮破裂引起的水力不平衡、尾水管中的水力不稳定、导叶或转轮叶片产生不稳定的涡流等情况。主要特征是:当流入转轮的水流失去轴对称时,就会出现不平衡的横向力,造成转轮振动,也就是过流通道不对称,如:蜗壳变形,导叶开度不均匀,转轮压力分布不均等都是造成水力振动的根本原因。

3)引起磁振动的的原因是指出振动中的干扰力来自发电机电气部分的电磁力。主要因素有:转子磁极绕组匝间短路、转子与定子不圆、发电机气隙不均匀、定子铁芯整体性不够、转子磁极击穿、励磁系统工作不稳定、三相负荷不平衡、电力系统发生波动、可控硅整

流、负序电流、磁极次序错误而造成的振动。特别是当发电机转子两点接地时,部分线匝短路,有较大的短路电流流过短路点,励磁电流不正常的增大,发电机进相等,都可以引起磁场不平衡,造成发电机组强烈的振动。发电机突然短路还会使转子轴受到很大的电磁力矩作用,所受力矩又分为两种:一种是短路电流中使定子、转子绕组产生电阻损耗的有功电流分量所产生的阻力矩,另一种是突然短路过度过程中才出现的冲击交变力矩。这些电磁力及电磁力矩能使发电机组受到剧烈的振动,并给发电机部件带来危害。

## 3 支臂千斤顶的制作及改造

芭蕉河电站蕉4号机组径向振动值超标,通过对发电机转子磁极连接引线进行处理后,径向振动值达到了标准规定的要求,但是为了保证设备后期能够更好的安全、可靠、经济、稳定的运行,彻底处理掉蕉4号机组机械千斤顶存在窜动的设备缺陷,又对蕉4号发电机组上机架支臂千斤顶进行了改造和更换,更换完毕后开机试运行,该机组稳定性得到了进一步的提高。

本次安装所使用的千斤顶是一种适合大、中、小型立式水轮发电机组使用的千斤顶装置,4只千斤顶装置均同一水平面径向分布安装在立式水轮发电机的上机架支臂与机坑壁之间,确保立式水轮发电机位于居中的位置,能很好地减少水轮发电机径向振动,起到保护发电机,提高发电机的运转可靠性。安装完毕后效果图如图1。

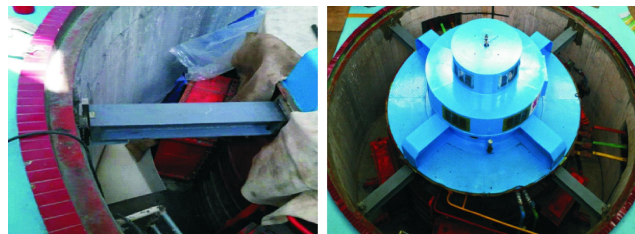


图1 安装完毕后效果图

## 4 支臂千斤顶的制作过程、基本参数及分析结果

该千斤顶在安装制作的过程中首先通过三维建模软件,对千斤顶进行初步的三维实体几何模型制作,并且对千斤顶支撑的几何模型采用了四面实体非线性网格划分,对局部进行了网格细化处理以满足计算精度要求,共计产生190 955个节点,112 986个单元。并

且形成了有限元网格模型,如图2所示。

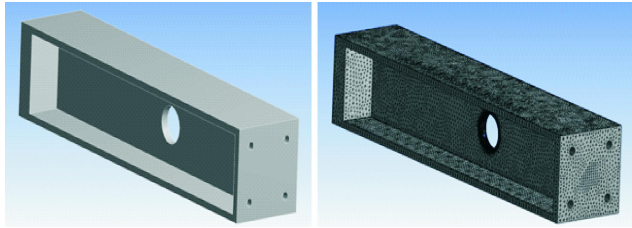


图2 千斤顶三维实体模型图

1)蕉4号机组所使用的支臂千斤顶为Q235的板材组焊而成,其材料基本参数见表1,材料机械性能参数见表2。

表1 材料基本参数表

弹性模数 $E$ /MPa	波桑比 $\mu$	密度 $\rho$ /( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	参考温度 $T_{\text{ref}}$ /°C
$2.068 \times 10^5$	0.29	$7.85 \times 10^3$	22

说明:参考温度  $T_{\text{ref}}$ 指未发生应力和应变情况下的缺省温度值。

表2 材料机械性能表

材料名称	厚度 $t$ /mm	屈服强度 $\sigma_s$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa
Q235	$t \leq 16$	235	370 ~ 500
	$16 < t \leq 40$	225	

2)根据千斤顶支撑的实际受力情况,充分的分析当发电机的气隙值在10%时出现偏心或者半数磁极短路的情况下,所产生的径向不平衡力对千斤顶的影响计算出如下数据,见表3。①10%气隙偏心时千斤顶支撑面受到的径向作用力  $F_{r1}$ ;②半数磁极短路时千斤顶支撑面受到的径向作用力  $F_{r2}$ ;③以上两种工况时均对其施加重力加速度  $g$ ,方向为  $-Z$  方向;④以上两种工况时均对千斤顶与基础接触面施加压缩支撑(Compression only Support)约束。

表3 主要技术数据表

名称	数值
额定容量 $P_r$ /kW	8 000
磁极个数	14
额定转速 $n_N$ /( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	428.6
重力加速度 $g$ /( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )	9.81
10%气隙偏心径向不平衡力 $F_{r1}$ /kN	139.26
半数磁极短路时径向不平衡力 $F_{r2}$ /kN	43.73

3)该千斤顶在支撑有限元模型上通过10%气隙偏心和半数磁极短路等两种工况下进行静力学分析,得到分析结果见表4所示,各工况下的最大等效应力值和最大位移值及其分布分别如图3至图6所示。

表4 千斤顶的分析结果表

序号	工况名称	最大等效应力值 $\sigma_{\text{em}}$ /MPa	最大位移值 $\delta$ /mm
1	10%气隙偏心	14.87	0.030
2	半数磁极短路	46.71	0.086

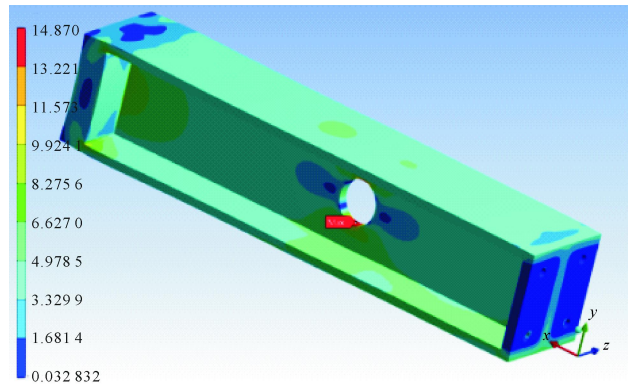


图3 10%气隙偏心时的最大等效应力值及其分布

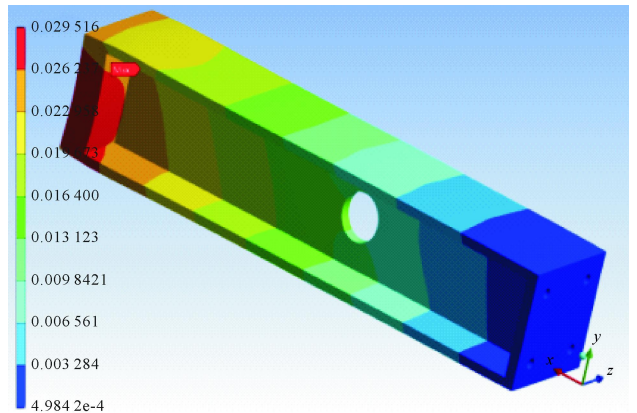


图4 10%气隙偏心时的最大位移值及其分布

从以上分析结果中可知,千斤顶在10%气隙偏心和半数磁极短路两种工况下,最大等效应力为46.71 MPa,位于吊孔内边沿上(如图5所示),此处板厚为20 mm,结合表2材料机械性能可知两种工况下,千斤顶均能满足设计强度要求和最大位移要求(如图6所示)。

千斤顶的支撑刚度为: $K_r = F/\delta = 1\text{e}6/0.612 = 1.634\text{e}6$  (N/mm)。



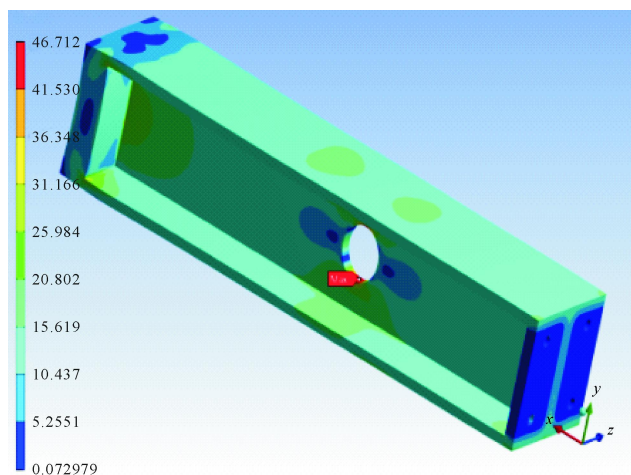


图5 半数磁极短路时的最大等效应力值及其分布

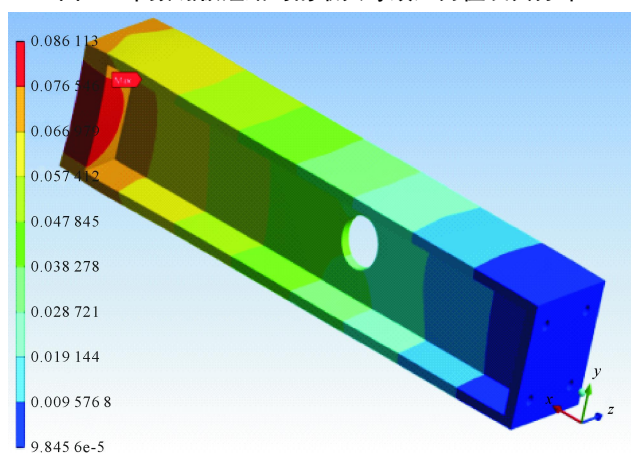


图6 半数磁极短路时的最大位移值及其分布

(上接第16页)

## 6 存在的主要问题及整改措施

1) 存在的主要问题。一是建设资金落实困难,有的县级政府承诺的配套资金迟迟不予解决,项目法人融资及银行贷款困难,影响项目实施进度;二是政策衔接有空隙,简政放权后,有的县级水行政部门承接管理职能有困难,项目质量监督工作未能及时到位;三是发电运行与改造矛盾突出,受降雨影响,河北省今年发电与改造工程实施矛盾较大,如省桃林口水电厂改造工程涉及建设、监理、设计、生产厂家多个单位,发电运行时间长,组织协调工作量很大。

2) 今后的整改措施。一是督促项目法人落实自

## 5 结 语

通过为期4个月的持续监测跟踪分析,芭蕉河电站蕉4号机组径向振动值超标隐患得到彻底消除,振动摆度值达到机组正常稳定运行要求。本案例对水轮发电机组振动值偏大的问题分析全面,告别了头痛医头脚痛医脚的简单处理方式,深入剖析,大胆采用新材料、新工艺,既节省成本,又很好地解决了实际问题。

### 参考文献:

- [1] 单文培. 水电站机电设备的安装、运行与检修/21世纪水力发电工程建设与管理实用技术丛书[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005
- [2] 周刚. 立式水轮发电机组上机架振动过大原因分析及处理[J]. 广西电力, 2007, 30(5): 35-37
- [3] 刘大恺. 水轮机[M]. 3版. 北京: 中国水利水电出版社, 1997

筹资金,争取县级政府和财政部门的支持,协助项目法人落实自筹资金;二是加大协调督导力度,督促县级水电主管部门尽快落实电站改造工程质量监督,确保改造工程质量;三是督导项目主管部门及项目法人加大协调力度,负起责任,科学调度,保证安全,确保发电改造两不误。

### 参考文献:

- [1] 张文斌, 陈鲁. 城头水库电站增效扩容探讨[J]. 小水电, 2012(5): 54-56
- [2] 毕铭轩, 刘肃. 农村水电增效扩容改造有关问题的探讨[J]. 小水电, 2013(5): 15-16
- [3] 吴建平. 小型水电站增效扩容工程的技术改造问题[J]. 江西建材, 2012(2): 149-150



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.006

# 基于 Ansys Fluent 的多孔水闸 三维湍流数值试验分析研究

穆燕

(五家渠农六师勘测设计研究有限责任公司,新疆 五家渠 831300)

**摘要:**针对多孔水闸湍流特性,引入三维湍流运动理论,建立数值分析模型,研究了堰流与闸孔流出状态下流速在水闸断面上变化特征,并分析了闸门相对开度对流速变化的影响,且对比了两种流态流速变化趋势特征在工况一与工况三下具有相似性。获得了三维湍流场中水气二相分布特征,研究了水气两相对水位抬升及回落的影响特性等。

**关键词:** Ansys Fluent;多孔水闸;湍流;流速

中图分类号:TV66

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)05-0021-05

## Three-dimensional Turbulence Analysis of Multi-gate Sluice using ANSYS Fluent

MU Yan

(Wujiaqu No.6 Agricultural Division Survey, Design and Research Co., Ltd., Wujiaqu 831300, China)

**Abstract:** Considering the turbulence flow characteristics of the multi-gate sluice, a three-dimensional numerical simulation model based on the turbulent motion theory is constructed to analyze the variation of the flow velocity on the cross section of the sluice under the weir flow or gate flow conditions and the influence of the gate opening on the flow velocity variation. It is found that the flow velocity variations under the weir flow or gate flow conditions are similar for the working condition 1 and 3. Also, the water-air two-phase distribution characteristics of the three-dimensional turbulent flow field are obtained. The influence of the water-air phases on the water level rising and falling is discussed.

**Key words:** ANSYS Fluent; multi-gate sluice; turbulence; flow velocity

水资源的有效利用与调度关乎国家可持续发展的经济发 展<sup>[1-3]</sup>,水闸作为重要水利资源调度设施,其在水利工程中应用及结构安全稳定是当前许多水利工程师与学者致力研究的方面。水闸在开启与关闭状态下实质上处于多相场条件下,其内部流体状态关乎水闸水利正常运营调度,分析流体不稳定运动状态,水闸可及时调整纠正,降低水闸结构磨损<sup>[4-5]</sup>。已有一些学者与工程师通过在水闸工程现场安装监测设备,分析水闸运营过程中流体运动状态<sup>[6-8]</sup>。另还有一些学者同样通过现场监测资料,对比流体运动理论值与实际值<sup>[9-10]</sup>。当然还有一些学者基于水工模型试验,研究水闸在实验室中运营状态,获取水闸流场特征<sup>[11-12]</sup>。

相比模型试验与现场监测,数值试验更较快速高效的获得流场各特征参数量值与分布<sup>[13-15]</sup>,为水闸管理运营部门提供重要参考。

## 1 三维湍流流动理论

### 1.1 湍流模型

水闸内水流的三维流体运动,服从下式

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

式中: $u_i$ 指流场中某方向的流速矢量; $x_i$ 指流场中某质点坐标参数。

含雷诺应力的 N-S 方程为

收稿日期:2020-03-06

作者简介:穆燕,女,工程师,主要从事水利工程方面的工作。

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = \rho f_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right] \quad (2)$$

式中:  $f_i$  指流场中某方向上的质量力;  $u_i$  指某质点的流速值;  $\rho \overline{u_i' u_j'}$  指雷诺应力值。

但不可忽视动量方程(2)式中存在有雷诺应力, 故而引入涡粘性模型, 表征雷诺应力解, 其表达式为

$$\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} \left[ \rho k + \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \delta_{ij} \quad (3)$$

除此之外, 还有标准简单的耗散能 - 湍动能表述雷诺应力解, 表达式为

$$\begin{cases} k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \\ \varepsilon = \frac{\mu}{\rho} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) \end{cases} \quad (4)$$

湍流运动粘度系数为

$$\mu = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

式中,  $C_\mu$  指常数。

该模型方程中水流运动输送式可为

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \rho + S_\varepsilon \quad (7)$$

式中:  $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 、 $C_{3\varepsilon}$  指水流运动常数;  $\sigma_k$ 、 $\sigma_\varepsilon$  指角标对应的 Prandtl 常数;  $S_k$ 、 $S_\varepsilon$  指可变量。

相比标准耗散与湍动能模型方程, 涡粘性模型能更好模拟处曲面下的流场环境, 计算精度更高。

## 1.2 控制方程

分析流场各个质点单元体特性, 即是求解模型中的控制方程, 本文引入压力修正方程理论, 解析三位湍流运动, 压力修正法基于压力场  $p^*$  与假设压力场  $p'$  之间的误差  $p$  为基准表达式, 即

$$p^* - p' = p \quad (8)$$

推广至流速等流场特征参数, 有

$$\begin{cases} u^* - u' = u \\ v^* - v' = v \end{cases} \quad (9)$$

为了使假设压力场等特征参数与实际场更接近, 进行 SIMPLE 式修正, 可得到修正后流速指为

$$\begin{cases} u_{i,j}^{**} - u'_{i,j} = d_{ij} (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \\ v_{i,j}^{**} - v'_{i,j} = d_{ij} (p'_{i-1,j} - p'_{i,j}) \end{cases} \quad (10)$$

获得修正后流速等流场特征参数后, 可反之代入动量守恒定律, 可

$$\begin{cases} a_{ij} u_{i,j}^{**} = \sum a_{nb} u_{nb}^* + (p_{i-1,j}^{**} - p_{i,j}^{**}) A_{i,j} + b_{ij} \\ a_{ij} v_{i,j}^{**} = \sum a_{nb} v_{nb}^* + (p_{i-1,j}^{**} - p_{i,j}^{**}) A_{i,j} + b_{ij} \end{cases} \quad (11)$$

再以动量方程计算得到二次修正后流速等特征参数, 即

$$\begin{cases} a_{ij} u_{i,j}^{***} = \sum a_{nb} u_{nb}^{**} + (p_{i-1,j}^{***} - p_{i,j}^{***}) A_{i,j} + b_{ij} \\ a_{ij} v_{i,j}^{***} = \sum a_{nb} v_{nb}^{**} + (p_{i-1,j}^{***} - p_{i,j}^{***}) A_{i,j} + b_{ij} \end{cases} \quad (12)$$

联系二次修正压力场  $p^{***}$  与流速参数  $u^{***}$ , 获得二次压力修正式为

$$\begin{aligned} a_{i,j} p''_{i,j} &= a_{i+1,j} p''_{i+1,j} + a_{i-1,j} p''_{i-1,j} + \\ & a_{i,j+1} p''_{i,j+1} + a_{i,j-1} p''_{i,j-1} + b''_{i,j} \end{aligned} \quad (13)$$

## 1.3 自由水面模拟

水闸结构中包括有水流场与气流场, 而其水面为两场交接面, 属水汽两场兼存, 如何确定即模拟出该自由水面是解析三位湍流运动重要方面。本文引入水气两相流模型表征该特征自由面, 以  $\alpha_q$  相体积分子表征自由面上的多相状态, 且由于相体积分子与插值时间有关, 将时间因子作为隐式插入, 得到隐式时间下的相体积分子式

$$\frac{\alpha_q^{n+1} \rho_q^{n+1} - \alpha_q^n \rho_q^n}{\Delta t} V + \sum_f (\rho_q^{n+1} U_f^{n+1} \alpha_{q,f}^{n+1}) = [S_{aq} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp})] v \quad (14)$$

在不考虑相变条件下, 三维湍流运动中, 有体积分子的连续方程为

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) = 0 \quad (15)$$

设定水相场与气相场体积分子数值和为 1, 引入修正式的 HRIC 控制准则, 获得自由界面容积表征值为

$$\bar{\phi}_c = \frac{\phi_D - \phi_U}{\phi_A - \phi_U} \quad (16)$$

式中, 下角标指参数自由界面容积控制参数。

另有容积界面与相界面之间交集。

基于上述自由界面多相场理论, 结合湍流运动模型理论, 研究水闸三维湍流运动特征。

## 2 工程概况

某水闸为多孔式,每孔宽度达到 6 m,净高超过 2.5 m,闸室基础以桩基承载,水闸设计流量值为  $125 \text{ m}^3/\text{s}$ ,最大安全流量值为  $180 \text{ m}^3/\text{s}$ ,输送水资源以涵管作为渠道,设计灌溉农业面积超过 300 万亩,但由于水闸年代久远(1980 年设计修建运营至今),农业灌溉面积逐年减少,由于区域内重要引水枢纽工程竣工投入使用,该水闸面临较大流量冲击及更多农业灌溉面积要求。为此,水闸管理部门针对该多孔水闸开展维修加固,使原老旧水闸能成为区域内重要调度水资源枢纽设施,加固后正常运营流量设计为  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 。水闸重新加固设计为六孔式混凝土闸室结构,设计闸室上游建设钢混铺盖结构,保证闸室能承受较大水流量冲击,下游建设有翼墙护坡结构,高度约为 6.8 m,闸顶高程设计为 22.53 m,闸室底部高程为 8.8 m,以 6 台卷扬式启闭机作为闸门启闭控制设备,闸室底部设置防渗土工膜结构,并铺设垫层,加固闸室稳定性,下游另布置 7 m 厚的反滤层,水闸调控水位差为 0.2 m,保证闸流量处于正常运营区间,该多孔水闸加固设计后的平面图如图 1 所示。

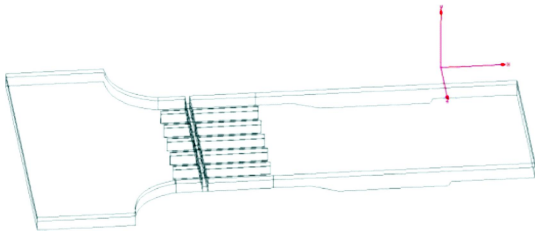


图 1 多孔水闸平面图

依据地质勘察资料得知,水闸所处区域内地质构造活动并不显著,部分地表出露岩石见有节理结构发育,夹层内含有第四系人工填土体,工程场地内覆盖土层为第四系表土层与冲积层,表土层以人工种植土为主,冲积层包括有粉质粘土与淤泥质砂土层,局部属软塑状态,厚度约在 4.5 ~ 7.8 m,砂砾粒径为 4 ~ 10 mm,土体含水量超过 35%,基岩为中风化灰岩,现场钻孔岩芯可看出基岩层表面孔隙较少,完整度较高,地基标准承载力探知为 200 kPa。

## 3 三维湍流数值模拟分析

### 3.1 模型建立与研究工况

以混凝土铺盖层上游 21 m 至下游反滤层结构 10 m 处为水闸计算模型范围,其中包括有消力池、闸

室等水闸附属结构,闸室顶底部高程参照前文所述,岩土体材料参数亦按照室内土工试验所得结果,以 Ansys Fluent 中六面体单元为基本组成,所建几何模型如图 2 所示。网格划分时,在流线分布较密集区域网格划分应较为密集,划分后相邻单元体尺寸变化应在 1.2 以内,流场区域内壁面网格划分应符合二次压力式修正计算原则,壁面区单元长宽比应在 5 ~ 10 之间,网格线与流场线间关系应方便修正 HRIC 控制准则计算。

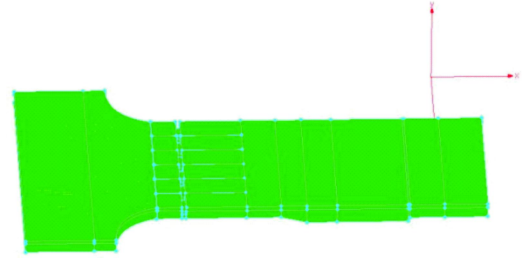


图 2 几何模型图

边界条件参照水闸所承受荷载施加,包括有上游进水位压力与入口空气压力、下游出口空气压力设定为 0、出水口水头压力、气体边界条件以壁面为限制区间,以二次压力式修正准则赋予气相约束条件。本文以闸孔的开启程度(相对开度值)作为区分水闸三维湍流场研究工况,当水闸相对开度超过 0.65,视为堰流,否则即为闸孔出流。该水闸模型计算出工况一、二、三相对开度值分别为 1、0.8、0.5,即分别属堰流、堰流、闸孔出流。

### 3.2 计算结果分析

#### 3.2.1 流速特征

流速分析选取水闸模型断面内 10 个断面作为代表,各断面所在模型位置如图 3 所示,将该 10 个断面流速以曲线图形式展示,获得图 4 中各工况不同时间段的流速变化曲线。

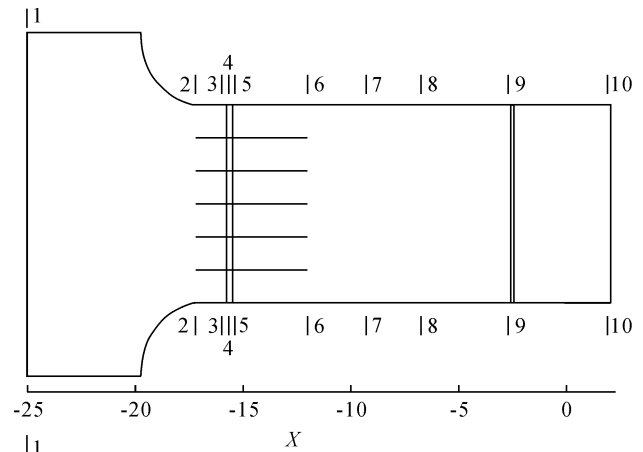


图 3 断面所在位置图

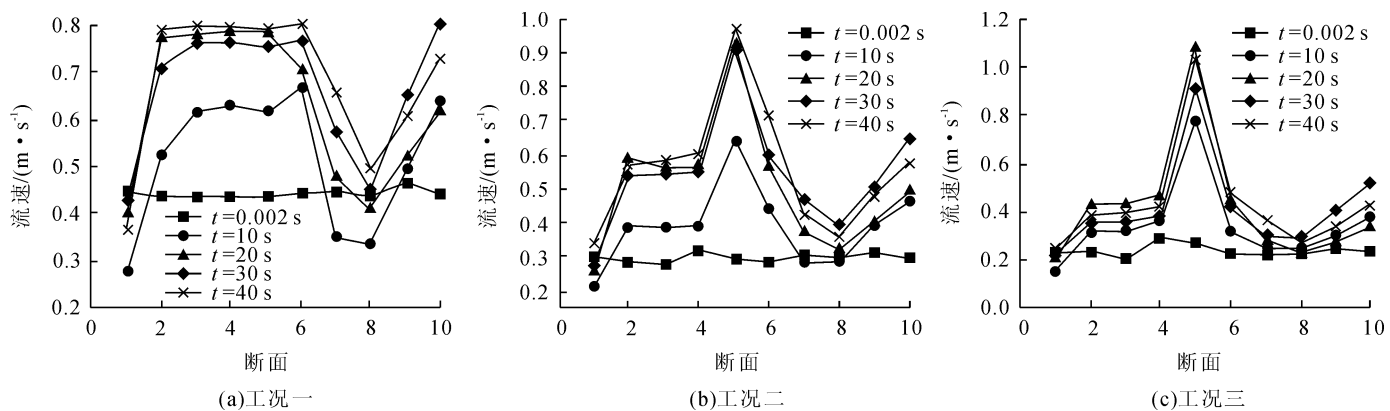


图4 不同时间段的流速变化曲线图

从各时间段的流速变化曲线可看出,不论是哪种流态,流速整体呈先增大后减小再发展增大态势,分析指出水闸上游入口处过水断面面积较大,故流速较小,进入水闸控制室后,过水面积逐渐降低,故流速增大,直至水闸闸室内达到最大流速,后出水闸进入下游泄洪及消力池等设备中,水面宽度增大,流速降低,直至进入下游末端陡坎处,水道变窄,故流速增大。工况一下最大流速值为 $0.8\text{ m/s}$ ,且整体上随时间增大,流速值有增大态势;在工况二堰流中, $40\text{ s}$ 最大流速是 $0.002\text{ s}$ 、 $10\text{ s}$ 、 $20\text{ s}$ 、 $30\text{ s}$ 的 $3.2$ 、 $1.51$ 、 $1.05$ 、 $1.07$ 倍,达到 $0.97\text{ m/s}$ ;对比工况一与工况三,除 $0.002\text{ s}$ 以外,各自工况下的 $10\sim 40\text{ s}$ 流速变化曲线均具有一致性,工况三最大流速均出现在断面5处( $X = -15\ 520$ ),且各流经时间下的最大流速值均高于工况一;对比工况一与工况二同为堰流状态下,工况二闸门相对开度值更低,但其在 $30\text{ s}$ 、 $40\text{ s}$ 、 $20\text{ s}$ 时间下流速值高于工况一,而 $0.002\text{ s}$ 与 $10\text{ s}$ 最大流速值基本相差无几,且工况二下流速变化特征与闸孔出流下具有相似特征。表明水闸堰流状态时,闸门相对开度愈小,流速值愈大,且流速表现特征愈接近于闸孔出流。

### 3.2.2 相特征

由各工况下不同时刻水闸下游泄流阶段水闸内相场分布云图(略)可看出,工况一下水流场在泄流过程中随时间推移区域平稳状态,除 $t = 10\text{ s}$ 时由于泄流初始导致水气相产生一定紊动,其他时间内稳定性超过水气两相波动性。工况二由于闸门开启程度并未全开,故在泄流时上游水位呈逐渐降低态势,下游水位由于消力池存在增大了流速,水位逐渐抬高,并达到设计水位,在 $t = 40\text{ s}$ 时,水位稳定。工况三为闸孔出流状态,水流场在初始泄流状态由于闸门开启程度较低,下游泄流时,流速降低,而水位逐渐抬升;直至 $100\text{ s}$ 时,

泄流水位逐渐在水闸上游降低至设计水位,故下游水闸的高水位亦逐渐降低至平稳状态。

### 3.2.3 流态特征

图5为各工况下不同时间的流场特征云图,限于篇幅展示出Y向速度流线与X向矢量图,并以 $t = 10\text{ s}$ 、 $40\text{ s}$ 水闸代表断面为例分析。从图5中可看出,工况一 $Y = 9\ 000$ 断面处最大流速值为 $0.85\text{ m/s}$ ,工况一堰流状态水流流速值不受闸门开启影响,在闸室内平缓变化,速度矢量方向沿侧边指向中间,此是由于过水断面的变化造成流速矢量方向由一侧倾向于另一侧。 $t = 40\text{ s}$ 时,同一个Y断面的最大速度增大了 $35.3\%$ ,达到 $1.15\text{ m/s}$ ,且流速矢量方向相比初始 $10\text{ s}$ 状态时,流速更倾向于水闸中间区域结构处,在下游陡坎处水流波动性愈小。工况二同为堰流状态,但其闸门并未全部开启,故闸室内处于部分水气两相场,影响闸门对流速的控制,另X、Y向同断面处闸门流速矢量向稳定性相比工况一更受到水气两相影响,工况二X向断面矢量方向无序性更显著。相比前两工况的堰流状态,工况三闸孔出流下水闸上游流速较小,但整体流速趋势较平稳,流速矢量方向在中间区域最大,向两侧扩散,且随时间推移,下游消力池端口处流速矢量较大。

## 4 结语

针对多孔水闸湍流特性,引入三维湍流运动理论,依据水闸工程地质资料,建立数值分析模型,分析水闸三维湍流场特征,得到了以下几点结论与认识:

1)研究了水闸在堰流与闸孔出流下流速均是先增大后减小再发展增大态势,工况一下最大流速值为 $0.8\text{ m/s}$ ;工况二的闸门相对开度愈小,流速值愈大,且流速表现特征愈接近于闸孔出流;工况一与工况三流速变化曲线具有一致性,最大流速均出现在断面5处。



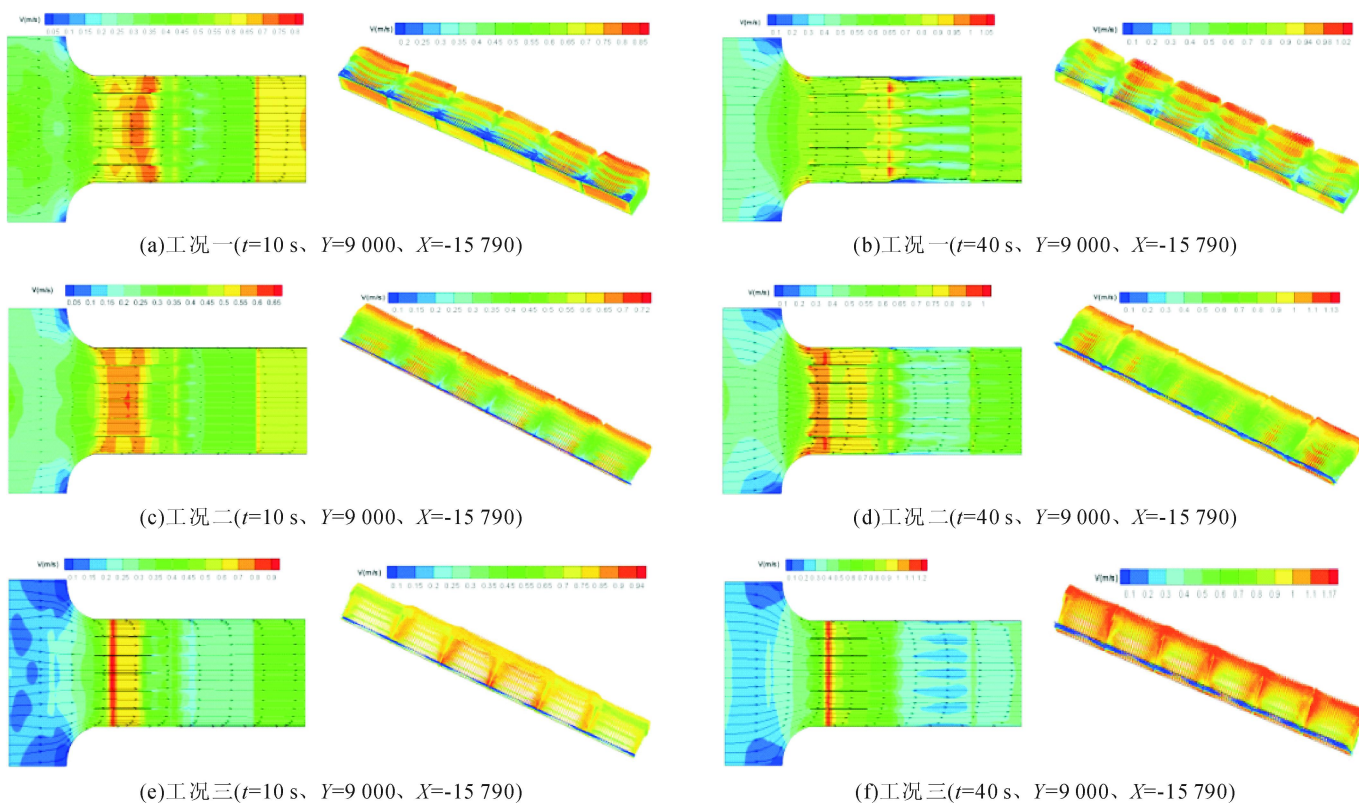


图 5 不同时间的流场特征云图

2) 分析了水闸下游泄流时相场分布特征,堰流下闸门相对开度愈小,流场受气场影响扰动较大;闸孔出流状态下随泄流带来流速降低,水位抬升,但下游水位会在 100 s 后趋于平稳。

3) 获得了三个工况下不同时间的流场特征,工况一  $Y=9\ 000$  断面处最大流速值为  $0.85\text{ m/s}$ ,而 40 s 时该断面处增大了 35.3%,达到  $1.15\text{ m/s}$ ,流速矢量在下游陡坎处水流波动性愈小;工况二流场特征与工况一类似,但其流速矢量分布更趋于无序性;工况三整体流速趋势较平稳,下游消力池端口处流速矢量较大。

#### 参考文献:

[1] 张志君, 陈伏龙, 龙爱华, 等. 基于模糊集对分析法的新疆水资源安全评价[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 53-58

[2] 余灏哲, 李丽娟, 李九一. 基于量—质—域—流的京津冀水资源承载力综合评价[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 358-371

[3] 郭丽峰, 林超, 侯思琰, 等. 州河流域水资源与水生态修复实践与启示[J]. 水利发展研究, 2020, 20(2): 54-57, 68

[4] 李巍, 张方坤, 余金煌. 沂沭泗水系水闸运行安全管理状况调查研究及分析建议[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(1): 70-74

[5] 于丹萍. 基于模糊 FMECA 方法的水闸安全评价研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2019

[6] 戚蓝, 汪祥胜, 马洪霞, 等. 沿海地区水闸安全鉴定分析[J]. 中国农村水利水电, 2014(12): 134-138

[7] 方浙东. 蜀山大闸原型观测资料分析及建议[J]. 水利建设与管理, 2011, 31(5): 52-55

[8] 段文刚, 王才欢, 黄国兵, 等. 京石段节制闸流量系数原型观测与分析[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(6): 186-190, 219

[9] 万继伟, 牛争鸣, 李鲁, 等. 小挑角跌坎加浅水垫消力池水力特性试验[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40(3): 300-306

[10] 潘世虎, 潘源. 水工模型试验对泵闸结构的优化与改进[J]. 水利规划与设计, 2020(1): 59-63

[11] 禹胜颖, 吕会娇, 李桂青, 等. 黄河海勃湾水利枢纽整体水工模型试验研究[J]. 海河水利, 2019(5): 26-29

[12] 王扬, 麦栋玲, 唐造造. 石榴岗水闸重建工程水工整体模型试验研究[J]. 中国水运, 2019(8): 64-65

[13] 魏雄. 泄洪闸下游消能措施的数值模拟研究[J]. 水利科技与经济, 2019, 25(12): 15-18

[14] 吕晓波, 李太民, 唐波, 等. 某节制闸水流流动特性数值模拟研究[J]. 山西水利科技, 2019(4): 35-38, 96

[15] 卢珊珊. 水闸底板闸室结构设计有限元分析[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(7): 26-29

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.007

# 大型发电机转子接地故障真机模拟试验分析

杨新志, 李伟, 慎志勇

(中国长江电力股份有限公司, 湖北宜昌 443002)

**摘要:**通过对某电厂2台增容改造前机组进行真机模拟各种短路接地故障实验,使用交流压降法、电压分布法及阻抗法查找各类故障,对定位故障点位置数据分析发现,各种接地故障查找方法真机试验数据与实际存在差异,对比其优劣,为今后该类型机组出现类似故障提供最优试验方法的选择及数据支撑。

**关键词:**转子接地;交流压降;电位分布;阻抗估算

**中图分类号:**TV734.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)05-0026-06

## Real-machine Simulation of Grounding Faults of Large-scale Generator Rotor

YANG Xinzhi, LI Wei, SHEN Zhiyong

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

**Abstract:** Real-machine simulation of various short-circuit grounding faults of the generator rotor is carried out in two generator units before the capacity expansion renovation. Then, different fault detection methods, including the AC voltage drop method, the potential distribution method and the impedance estimation method, are tested. It is found that the test results of these methods are of certain differences with the actual situation. The advantages and disadvantages of these methods are compared, which could be used for the choice of the optimal test method.

**Key words:** grounding fault of rotor; AC voltage drop; potential distribution; impedance estimation

发电机转子接地故障是机组最常见的故障之一<sup>[1-2]</sup>,如果发生转子一点接地,绕组与地之间未构成回路,对励磁电压和流经转子的励磁电流影响很小,基本不影响机组正常运转<sup>[3]</sup>。如果不及时处理,极有可能发生两点接地情况。假如发生两点接地,转子磁极部分被短路,使整个电机的气隙磁场对称性遭到破坏,磁场波形畸变,转子震荡加剧;总电阻降低,励磁电流增大,有可能发生转子绕组本体被烧坏<sup>[4]</sup>。转子接地故障查找常规方法有交流法与直流法,其故障判断方法大致可分为电压降法、电压分布法、阻抗法等<sup>[5]</sup>。直流法对于一点接地基本准确,但是对于两点接地因测量误差与短路回路分流等原因导致测量出现一定的偏差,同时因大电流通过两接地点形成回路,对转子铁芯也有一定的影响;同时对于不同的机组在使用相同的测量方法因干扰与内部结构不同,导致测量结果各

有不同。为能快速定位出故障位置、丰富试验方法及总结数据规律,本文针对某电厂2台增容改造前机组,利用真机模拟各种短路接地故障,使用交流压降法、电压分布法及阻抗法来查找各类故障,同时对比其优劣,为今后该类型机组出现类似故障提供了试验方法最优选择及数据支撑。

本次模拟试验在某电厂增容改造前的6、21号机组上进行,该2台机组基本相同,磁极数为96个,容量为12.5万kW。

## 1 交流压降法查找转子金属性及非金属一点接地故障

### 1.1 试验原理分析

交流压降法的基本原理是发电机转子引线两侧通

收稿日期:2019-10-24

作者简介:杨新志,男,工程师,主要从事高压电气试验方面的工作。

过隔离变压器通入恒值交流电源,当某点发生金属性短路接地时,该短路点并没有电流流过,只是把整个回路电压零电位参考点由隔离变零点转移至该接地点。测量转子引线两侧对地电压值及引线两侧的总电压,两侧的对地电压值大小即为该短路点到引线侧的磁极上的电压分量。因发电机转子每个磁极是一样的,每个磁极上的分压基本相同,该引线侧对地电压值与总电压值之比,为该引线侧磁极所占总磁极的百分数,总磁极已知,即可算出该段引线到短路点的磁极数。

计算公式如下:

$$U = U_1 + U_2$$

$$N_1 = \frac{U_1}{U}N$$

$$N_2 = \frac{U_2}{U}N$$

式中: $U$ 为引线两侧总电压; $N_1$ 为一侧引线侧通流磁极数量; $N_2$ 为另一侧引线侧通流磁极数量; $U_1$ 为一侧引线对地电压; $U_2$ 为另一侧引线对地电压。

### 1.2 故障模拟及试验接线

为验证试验的准确性,本次试验在21号发电机设置了四组故障情况。转子未吊出机坑,利用短接线将转子45号磁极第12匝经不同的电阻值接地,模拟转

子金属性及非金属一点接地故障,试验接线图如图1所示。

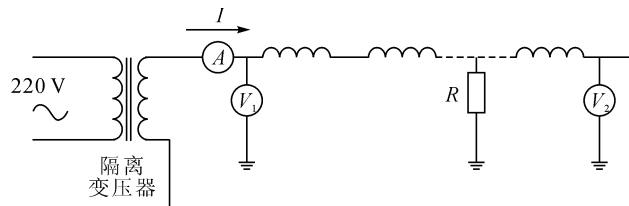


图1 转子磁极一点接地试验接线图

### 1.3 试验过程及结果分析

依图进行不同接地电阻故障设置,使用兆欧表确定转子故障设置成功。通过1号和96号磁极引线处对转子磁极通入1A交流。万用表分别测量正极引线对地电压和负极引线对地电压以及正负极引线之间的电压,并记录数据,试验结果如表1所示。

表1试验数据中,以金属性接地为例,计算值为45号磁极第13匝,而设置的接地点在45号磁极第12匝,误差为1匝,其他电阻值时计算磁极数与实际接地磁极最大只有4匝的误差。因此交流压降法对发电机转子一点金属性和非金属性故障判断非常准确,对磁极那一匝短路判断因受测量及干扰等因素影响,存在部分误差。

表1 转子金属及非金属性一点接地故障数表

接地电阻/ $\Omega$	1号-E/V	96号-E/V	1-96号/V	44~45号-E/V	45~46号-E/V	计算值
0	53.0	60.8	113.9	0.717	0.478	45号13匝
0.5	53.1	60.8	113.8	0.716	0.477	45号16匝
10	53.0	60.7	113.7	0.715	0.477	45号15匝
100	55.0	63.1	118	0.741	0.495	45号15匝
1000	54.7	62.6	117.3	0.838	0.574	45号15匝

## 2 交流压降法、阻抗估算法、电压分布法查找转子两点金属性接地故障

### 2.1 试验原理

转子两地接地交流压降法与一点接地原理基本相同,只是通入电流后,两个接地点之间磁极被短接,接地点之间的磁极无电流流过。此时零电位点变成了两个短接点之间的部分。测量正极引线对地电压值为正

极引线与其相连一个短接点之间磁极数分压,负极引线对地电压为负极引线与另一短接点之间磁极分压。通入电流不变,整个回路总电压值比正常时少了两个短接部分磁极分压。同时电流正常状态引线间的电压值已知,故障状态两引线之间电压值与正常状态引线电压值之比为两点接地故障状态回路磁极数,其他与一点接地电降法完全相同。

计算公式如下:

$$U_{总} = U_1 + U_2$$

$$N_{\text{总}} = \frac{U_1}{U_{\text{正常}}} \times 96$$

$$N_2 = \frac{U_2}{U_{\text{总}}} N_{\text{总}}$$

$$N_1 = \frac{U_1}{U_{\text{总}}} N_{\text{总}}$$

式中： $U$ 为引线两侧总电压； $U_{\text{正常}}$ 为正常状态下的总电压 21.03 V； $N_{\text{总}}$ 为实际总磁极数； $N_1$ 为一侧引线通流磁极数量； $N_2$ 为另一侧引线通流磁极数量； $U_1$ 为一侧引线对地电压； $U_2$ 为另一侧引线对地电压。

阻抗估算法基本原理是测量单个正常磁极分压及引线端对地的电压值，引线对地的电压值即短接点与引线之间的磁极分压。单个磁极分压已知，引线到短路点的分压已知，即可计算出引线到短接点的磁极数量。

电位分布法基本原理是测量整个转子磁极对地电压值，对地电压值突变为零的点即为短接点。但实际上短接部分还是有部分分流，不可能为零，只能是电压

突变为最小点为短路接地点。

### 2.2 故障模拟及试验接线

本次试验在 6 号发电机上进行，分别将 69 ~ 70 号磁极、13 ~ 14 号磁极使用短接线将磁极间连片短路接地，模拟发电机转子两点接地故障，试验接线图如图 2 所示。

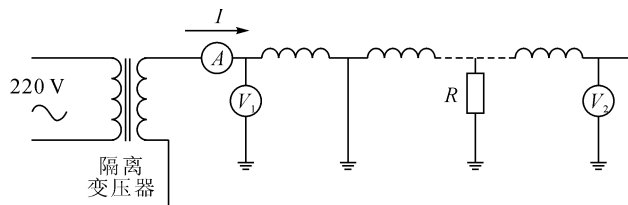


图 2 两点接地故障试验接线图

### 2.3 试验过程及结果分析

在 49、50 号磁极间通入 1 A 交流，然后依次测量两磁极引线处对地电压，并记录试验数据，如表 2、3 所示。

表 2 交流压降法试验数据表

电压/V				接地点	
49 ~ 50 号正常	49 ~ 50 号故障	49 号 - E	50 号 - E	计算值	实际值
80.3	46	29.2	16.75	14、70 号	69 ~ 70 号、13 ~ 14 号

表 3 电压分布法及阻抗法试验数据表

测量点	电压	测量点	电压
49 ~ 50 号正常状态	80.3 V	15 ~ 16 号接头处 - E	1.498 V
49 ~ 50 号故障状态	46 V	14 号磁极两端	0.644 V
49 号 - E	29.2 V	15 号磁极两端	0.838 V
50 号 - E	16.75 V	68 ~ 69 号接头处 - E	0.667 V
50 号磁极两端	0.835 V	69 号磁极两端	0.659 V
49 号磁极两端	0.835 V	68 号磁极两端	0.834 V
48 号磁极两端	0.832 V	69 ~ 70 号接头处 - E	12.2 mV
13 ~ 14 号接头处 - E	13.8 mV	70 号磁极两端	162.6 mV
12 ~ 13 号接头处 - E	159.3 mV	70 ~ 71 号接头处 - E	156.5 mV
14 ~ 15 号接头处 - E	0.663 V	15 号磁极两端	0.838 V

由表 2 可见，利用交流压降法计算的接地磁极号为 14、70 号磁极，与设置的故障点一致，该方法对故障

判断非常准确。

由表 3 可见，阻抗估算法中单个磁极的交流阻抗



取  $0.835\Omega$ , 则串入回路的磁极个数约为  $46/0.835 \approx 55$  个, 其他与分压法一样, 可得接地点计算值为 69.05 和 15.05, 69 ~ 70 号处无偏差, 13 ~ 14 号磁极与实际设置故障点偏差一个磁极。

阻抗法计算时, 不能取短路点磁极最邻近的磁极阻抗作为标准值, 因短路导致该部分磁极没有电流流过, 对邻近的磁极无耦合磁链, 整个阻抗值较小。如取该磁极作为标准计算阻抗, 会带来较大误差。在实际工作中因不知道磁极短路点在何处, 只能多测量几个磁极阻抗, 或者使用原始无短路数据作为标准值, 这样计算出来的数据基本误差不大。同时从阻抗估算法可见, 单个磁极交流阻抗受外界条件影响, 都有部分差别, 无论如何取值都会带来误差, 但判断基本准确。

从表 3 可见, 使用电位分布法, 电压最低点就在 69 ~ 70 号、13 ~ 14 号磁极, 该方法方便、准确。但定位故障位置时, 需测量全部磁极对地电压值, 费工费时, 因此该方法不作为首选方法使用, 可以结合阻抗法、或者电压降法再次确认故障位置配合使用。

### 3 无隔离变交流电位分布法查找转子磁极金属性一点接地故障

#### 3.1 试验原理

直接通过变压器给磁极引线一端通入交流恒流源, 通过接地点与变压器接形成回路。因接地点为零电位点, 沿该通流引线侧依次测量每一个磁极对地的电压值, 电压值沿引线侧不断下降, 直到接地点变为零。理论上接地点的电压为零, 但是实际上因地回路

也有部分电阻分流, 所以测量的短路点对地不可能为零, 只能是某一个最小值。

#### 3.2 故障模拟及试验接线

本试验在 6 号发电机进行, 共进行了两次, 通入电流不同, 故障点设置也不相同。试验接线图如图 3 所示。

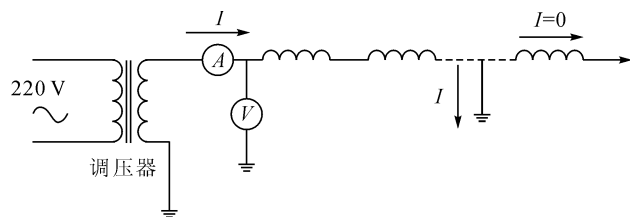


图3 电位分布法金属性一点接地故障试验接线图

#### 3.3 试验过程及结果分析

依图进行试验接线, 测量转子绝缘, 确定故障设置成功。在 50 号磁极引线侧通入电流, 第一次为 1 A 电流, 第二次电流为 2 A, 并记录试验数据, 如表 4 所示。

通过表 4 可见, 随着测量位置越接近故障点, 磁极对地的电压值也不断降低, 直至到故障点电压变为最小。然后从故障点继续向前测量, 磁极电压值反而有缓慢上升, 原因其一: 短路点以外部分电路电阻不可能趋于无穷大, 有部分细微分流; 其二: 短路点磁极磁场与相邻磁极耦合磁链产生电势, 所以测量值反而增大。但是从表 4 可见, 试验电流增大到 2 A 之后, 数据比较起来更加明显, 大电流会弱化干扰影响。因此在实际试验中如果采用此方法查找故障, 可适当加大试验电流, 减小干扰影响。

表4 电位分布法金属性一点接地试验数据表

电流 1 A		接地点		电流 2 A		接地点	
测量点	电压	实际值	测量值	测量点	电压	实际值	测量值
50 号磁极引线处 - E	40.22 V			50 号磁极引线处 - E	11.52 V		
1 ~ 2 号接头处 - E	0.996 V			54 ~ 55 号接头处 - E	3.140 V		
2 ~ 3 号接头处 - E	249.1 mV	3 号磁极 本体	3 号磁极	56 ~ 57 号接头处 - E	15 mV	56 ~ 57 号 磁极接头	56 ~ 57 号 磁极间
3 ~ 4 号接头处 - E	177.6 mV			56 ~ 57 号接头处 - E	15 mV		
4 ~ 5 号接头处 - E	262 mV			57 ~ 58 号接头处 - E	344.5 mV		
96 ~ 1 号接头处 - E	1.819 V			73 ~ 74 号接头处 - E	345 mV		

## 4 无隔离变电位分布法查找转子磁极低阻性接地故障

### 4.1 试验原理

试验原理同金属性接地完全相同,只是通过滑动电阻接地,接地点出现了较大的分压,接地点为整个转子磁极对地电压最小值点。

### 4.2 故障模拟及试验接线

本试验在6号发电机进行,通过滑动变阻器在69~70号磁极接头处接地。试验接线图如图4所示。

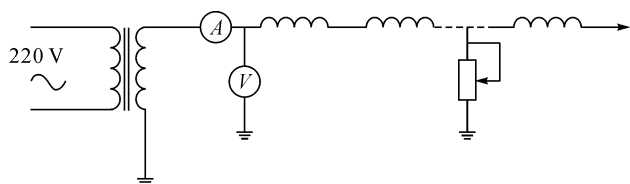


图4 电位分布法非金属性一点接地故障试验接线图

### 4.3 试验过程及结果分析

依图进行不同短接接地故障设置,测量转子绝缘,确定故障设置成功。自50号磁极引线处通入1A交流电流。在通交流电情况下,滑动变阻器阻抗为11.43Ω;断电情况下,测得滑动变阻器阻抗为1.2Ω。试验数据如表5所示。

表5 电位分布法非金属性一点接地故障试验数据表 V

测量点	电压	测量点	电压
50号磁极引线-E	23.16	59~60号接头处-E	16.25
1~2号接头处-E	11.16	58~59号接头处-E	16.91
69~70号接头处-E	11.21	57~58号接头处-E	17.55
68~69号接头处-E	11.07	56~57号接头处-E	18.26
67~68号接头处-E	11.42	55~56号接头处-E	18.94
66~67号接头处-E	12.32	54~55号接头处-E	19.64
65~66号接头处-E	12.76	53~54号接头处-E	20.37
64~65号接头处-E	13.29	52~53号接头处-E	21.07
63~64号接头处-E	13.89	51~52号接头处-E	21.80
62~63号接头处-E	14.39	50~51号接头处-E	22.55
61~62号接头处-E	15.00	49号磁极引线-E	11.11
60~61号接头处-E	15.61	48~49号接头处-E	11.13

将表格中数据转化为折线图,其变化趋势如图5所示。

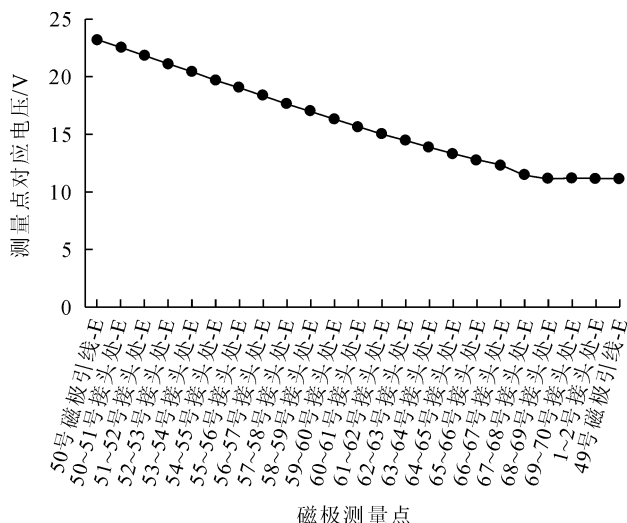


图5 电压分布法非金属性一点接地故障试验数据变化趋势图

从表5及图5可见,从66号磁极之后,磁极对地电压值基本上没有太大变化,故障大概位置也能从试验数据及图表中分析出来。图5可见短接点位置附近及后面的磁极对地电压值基本接近于一条直线,完全准确判断出故障磁极号就有一定的难度。虽然从数据上可见接地点69~70号磁极接头电压值最小,但相邻磁极接地电压与其相比差别并不大。如果故障位置的接地电阻分压和回路磁极分压相同,故障磁极范围就会在增加一个磁极,因此该方法适用性相对差一些。

## 5 无隔离变电位分布法查找转子两点接地研究

### 5.1 试验原理

与一点接地查找方式基本相同,需试验进行两次,从引线两侧各通入一次试验电流,使用电位分布法分别找出两次通流时的最小电压值磁极号即为接地点位置。

### 5.2 故障模拟及试验接线图

本试验在6号发电机进行,分别将69~70号、13~14号磁极间的接头直接接地。试验接线图如图6所示。

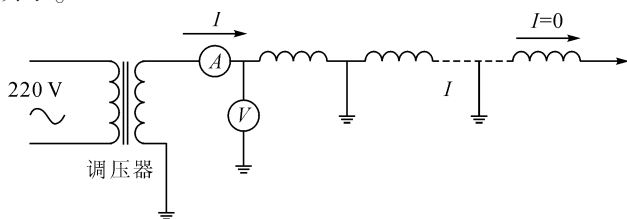


图6 电位分布法两点接地故障试验接线图

### 5.3 试验过程及结果分析

依图进行不同短路接地故障设置,测量转子绝缘,确定故障设置成功。69~70号磁极接地故障试验:自50号磁极引线处通入1A交流;13~14号磁极接地故障试验:自49号磁极引线处通入1A交流。试验数据如表6所示。

表6 电位分布法两点接地故障试验数据

50号通入电流		49号通入电流	
测量点	电压	测量点	电压
50号-E	16.27 V	49号-E	29.24 V
1~2号接头处-E	47.2 mV	1~2号接头处-E	107.6 mV
61~62号接头处-E	6.457 V	12~13号接头处-E	151.1 mV
67~68号接头处-E	1.499 V	69~70号接头处-E	13.7 mV
68~69号接头处-E	0.658 V	14~15号接头处-E	0.653 V
69~70号接头处-E	12.4 mV	15~16号接头处-E	1.479 V
70~71号接头处-E	171.7 mV	25~26号接头处-E	9.7 V

## 6 结语

从以上各种试验数据对比可见,理论分析与真机模拟试验有部分差距。交流压降法对于转子一点金属性及非金属性接地,受外电路影响比较小,基本上能判断到故障磁极的那一匝短路接地,相对非常准确;交流压降法、阻抗估算法、电位分布法对于查找转子两点接地故障定位都存在部分误差,主要受相关支路细微分流及外磁路的耦合磁链影响,但是这几种方法相互结合对故障的查找速度及准确定位能起到事半功倍作用;无隔离变压器电位分布法也因非通流回路部分磁极受通流磁极磁场影响,出现对地电压大于接地点磁极对地电压的情况,误差较大,理论与试验存在差距较大,使用性不强。通过各种方式短路的试验数据分析对比及规律分析,清晰可见各种查找短路点故障方式都有其特点,虽然一些方法对故障判断有误差但是基本准确。通过本次真机故障模拟试验,为今后该类问题分析奠定了通过数据支撑及方法选择基础。

但因工期及试验方案准备不足,导致故障模拟试

通过表6的试验数据对比可见,69~70号、69~70号磁极接头处-E电压最低,接地点即为69~70号、69~70号磁极接头。该方法能准确定位出接地点磁极号,但是该方法试验过程相对繁琐,需要基本完整的磁极数据,工作量较大,需要时间较多。可与阻抗估算法配合使用,提高效率。

验也存在部分差距:两机无同类型试验数据对比;两点非金属性接地故障无模拟,试验数据实际规律无法分析;试验数据收集也不够完整,特别是不经隔离变压器的电压分布法对整个磁极变化数据并没有收集完整,整个磁极变化情况并未知晓,对精准判断故障数据走势有部分影响,需要在今后在实际工作中不断完善、积累。

### 参考文献:

- [1]史泽兵,苗世洪,刘沛,等.一种新型的发电机转子接地保护装置的研制[J].继电器,2005,33(3):37-39
- [2]陈俊,谈涛,王光,等.发电机转子绕组接地故障定位功能的商榷[J].电力系统自动化,2011,35(21):31-33,73
- [3]安宁,丁爱飞,吴晓林.几种特殊转子接地故障分析及仿真[J].水电自动化与大坝监测,2014,38(4):17-20
- [4]高春如.叠加交流电压转子一点接地保护误动的分析[J].继电器,1994,22(3):19-23
- [5]李建明,朱康.高压电气设备试验方法[M].北京:中国电力出版社,2001

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.008

# 汉江石泉水库洪水统计特性及基本规律分析

巩祥照

(大唐石泉水力发电厂, 陕西 石泉 725200)

**摘要:** 根据石泉水库历年洪水资料, 运用概率统计的方法整理其 320 场洪水过程, 分析研究年内洪水变化的统计特征和基本规律, 确定了洪水的概率分布, 可作为石泉水库的防洪优化调度、减少不必要弃水和经济运行的重要依据。

**关键词:** 洪水次数; 概率分析; 洪水统计特性

**中图分类号:** TV697      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3354(2020)05-0032-03

## Statistical Characteristics and Basic Variation Pattern of Floods in Hanjiang Shiquan Reservoir

GONG Xiangzhao

(China Datang Shiquan Hydropower Plant, Shiquan 725200, China)

**Abstract:** Based on the historical data of 320 flood processes in Shiquan Reservoir, the statistical characteristics and basic variation pattern of these floods are studied using the probability statistics method. The probability distribution of the floods is obtained, which provides important reference for the optimal dispatching of the reservoir for the flood prevention, abandoned water reduction and economic operation.

**Key words:** flood frequency; probability analysis; statistical characteristics of flood

汉江石泉水库大坝设计多年平均径流量为 108 亿  $m^3$ , 经过 40 多年的发展运行, 目前水库多年平均径流量减少至 95.62 亿  $m^3$ , 汉江径流年际分配不均匀, 在汛期 5 ~ 10 月来水相对集中, 约占全年总径流量的 80%, 洪水发生场次频繁<sup>[1]</sup>; 根据汉江石泉水库 1954 ~ 2016 年历年洪水系列资料, 把峰值流量大于等于 1 000  $m^3/s$  的流量作为洪峰流量, 看作一场洪水, 统计得到石泉水库 63 年内共 390 场洪水资料, 为了便于分析研究, 将连续多峰型洪水视为一次洪水过程处理, 最后整理出的 320 场洪水, 根据年内洪水实际发生情况和随机现象的小概率事件的分析方法, 着重分析汉江石泉水库年可能发生洪水的概率, 以利于充分了解石泉水库的洪水特征, 对水库的日常防洪调度和经济运行管理有一定的指导意义。

### 1 基本原理

20 世纪 60 年代以来, 一种新的洪水频率分析方

法 PDS(Partial Duration Series) 模型被提出并得到了快速发展, 该模型选取的样本为大于某一限值的那一部分洪水观测值, 一般称作洪水超定量系列, 这种方法将丰水年中除年最大值洪水之外的一些大洪水选入样本, 增加样本容量, 扩大实测信息量。这种超定量概率模型最重要的假定就是洪水发生次数服从 Poisson 分布, 即大于某一阈值洪水每年发生的次数服从泊松分布, 且超定量样本洪水相互之间独立<sup>[2-3]</sup>。

由于连续年份中每年发生超过某一阈值流量的洪水是一个随机过程, 这种洪水发生的次数  $K$  值是一个随机变量, 假定  $K$  服从 Poisson 分布, 则每年发生  $K$  次超某定量洪水的概率为

$$p_r\{K=k\} = \frac{r^k}{k!} e^{-r} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

式中:  $r \geq 0$ , 为参数。

由式(1)可得随机变量  $K$  的数学期望:

$$E(k) = \sum_{k=0}^{\infty} k p_r\{K=k\} = r \quad (2)$$

收稿日期: 2019-12-21

作者简介: 巩祥照, 男, 工程师, 主要从事水电站水库调度方面的工作。



即参数  $r$  为  $K$  的数学期望,表示超定量洪水每年平均发生的次数。

按式(1),单位时间内发生不多于  $k$  次的洪水频率  $P^{(k)}$

$$P^{(k)} = p_0 + p_1 + \dots + p_k \quad (3)$$

其次,针对洪水各特征指标值的分布,与其量级的划分也有密切关系,常见洪水量级的划分运用黄金分割法来处理,普遍认为相对科学合理;黄金分割是将1分割为0.618和0.382;该组数据后者与前者的比趋近于一个常数,前者与后者之比也趋近于一个常数;而这两常数互为倒数,乘积约等于1。

假设某一特征指标  $\theta$  的均值为  $\bar{\theta}$ ,黄金分隔率  $\zeta = 0.618$ ,可按下式计算分割点  $\lambda$ ,实现  $n$  个量级的划分:

$$\lambda_i = \zeta^j \bar{\theta}, |j| \leq n, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

其中,  $j$  和量级数  $n$  可依据指标  $\bar{\theta}$  的值域大小来选取。

## 2 石泉水电站洪水的月分布统计

根据汉江石泉水电站 1954~2016 年历年洪水资料,依径流特点,把流量大于等于  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  的洪峰流量看作一场洪水,其中将连续多峰型洪水处理为一次洪水过程,共整理出 320 场洪水实测资料,对其洪水发生次数月分布情况进行统计分析,结果如表 1 所示。可看出,5~10 月百分值大于 9%,定义为汛期;7~9 月百分值大于 15%,定义为主汛期;11~次年 4 月百分值小于 9%,定义为非汛期;这与大家熟知的汉江流域汛期划分是一致的。

结合表 1 和图 1,从中看出,5~10 月洪水发生次数占全年洪水次数的 90% 以上,7~9 月洪水发生次数占全年的 60% 以上,7 月份洪水发生次数年内最多,9 月份次之。

表 1 石泉电站 1954~2016 年洪水月分布表

月份	月洪水次数	百分率/%
1	0	0
2	0	0
3	2	0.6
4	12	3.8
5	30	9.4
6	32	10.0
7	81	25.3
8	56	17.5
9	62	19.4
10	37	11.6
11	8	2.5
12	0	0

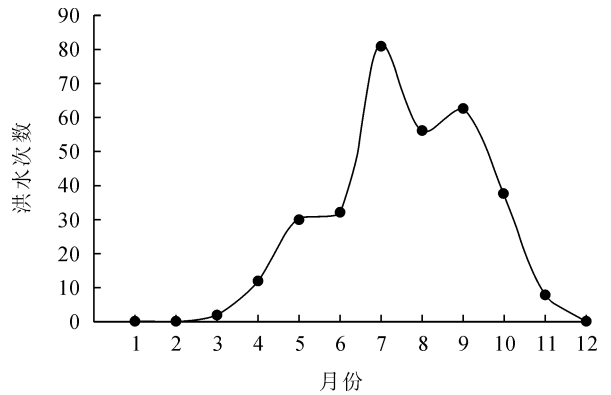


图 1 年内洪水次数月分布曲线

## 3 洪水年内次数分析

一般而言,河流水情的变化多数是由非汛期逐渐增强到主汛期,再经过一段衰减期后由主汛期缓慢过渡到非汛期,因此将主汛期前面的一段时间称为汛期增强期,主汛期后面的一段时间称为汛期衰减期;就汉江石泉水库而言,增强期在 6 月 30 日之前;衰减期则在 10 月 1 日之后。

表 2 为 1954~2016 年石泉水电站 63 年 320 场洪水场次分布情况表,算得洪峰流量指标的平均值为  $3822 \text{ m}^3/\text{s}$ ,依上述黄金分割原理,根据历年洪峰流量的量级范围,取  $n=6, j=-2 \sim 2$ ,依次进行洪水级别划分,利用式(1)、式(3)、式(4)进行计算处理并作统计。

在表 2 中,洪水次数  $k=2$  时,表示实测资料的 63 年内有 12 年每年发生 2 次洪峰流量大于  $1460 \text{ m}^3/\text{s}$  的洪水;有 13 年每年发生 1 次洪峰流量大于  $2362 \text{ m}^3/\text{s}$  的洪水,依次类推。而合值则由洪水发生次数与实际发生相应次数的年数之积求和确定,即实测资料的 63 年内共发生了大于某一超定量洪峰的洪水次数;年均值则表示每年平均发生某一超定量洪峰的洪水次数;例如流量大于  $10007 \text{ m}^3/\text{s}$  的洪水,在这 63 年内共发生了 25 次,每年发生 0.4 次;有 18 年每年发生 1 次,有 2 年每年发生 2 次,有 1 年发生了 3 次,另有 30 年没有发生过该量级的洪水<sup>[4]</sup>。

由此看出,石泉水库洪水多数为洪峰流量大于  $1460 \text{ m}^3/\text{s}$  的洪水,相对已发生洪水占比高达 80.9%;而流量大于  $10007 \text{ m}^3/\text{s}$  的洪水,占比仅为 7.8%,因此,可以认为石泉水库洪水大多数峰值介于  $1460 \text{ m}^3/\text{s}$  和  $10007 \text{ m}^3/\text{s}$  之间,基本为常见洪水。

另外,根据随机现象的小概率事件计算原理,就石泉水库年可能发生的洪水次数和极可能次数在表 2 统计基础上,进一步分析,见表 3。

表2 石泉电站1954~2016年发生洪峰次数及数学期望分布表

m<sup>3</sup>/s

洪水场次 $k$	流量 > 1 460	流量 > 2 362	流量 > 3 822	流量 > 6 184	流量 > 10 007	增强期	主汛期	衰减期
0	0	2	10	26	42	25	1	31
1	3	13	18	19	18	14	10	21
2	12	13	20	15	2	16	8	9
3	8	17	11	2	1	4	18	2
4	20	12	3	0	0	2	15	0
5	6	4	0	0	0	2	8	0
6	5	0	1	1	0	0	2	0
7	6	1	0	0	0	0	1	0
8	1	1	0	0	0	0	0	0
9	2	0	0	0	0	0	0	0
合值	259	173	109	61	25	76	199	45
年均值	4.11	2.75	1.73	0.97	0.40	1.21	3.16	0.71
%	80.9	54.1	34.1	19.1	7.8	23.8	62.2	14.1

洪水场次 $k$	概率/%							
0	0.0	3.2	15.9	41.3	66.7	39.7	1.6	49.2
1	4.8	20.6	28.6	30.2	28.6	22.2	15.9	33.3
2	19.0	20.6	31.7	23.8	3.2	25.4	12.7	14.3
3	12.7	27.0	17.5	3.2	1.6	6.3	28.6	3.2
4	31.7	19.0	4.8	0.0	0.0	3.2	23.8	0.0
5	9.5	6.3	0.0	0.0	0.0	3.2	12.7	0.0
6	7.9	0.0	1.6	1.6	0.0	0.0	3.2	0.0
7	9.5	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0
8	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表3 年可能洪水次数及极可能洪水次数表

洪水量级 (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	可能 次数	概率 /%	极可能 次数	概率 /%
流量 > 1 460	4	31.7	2~7	95.2
流量 > 2 362	3	27.0	1~5	93.7
流量 > 3 822	2	31.1	0~4	98.4
流量 > 6 184	1	30.2	0~3	98.4
流量 > 10 007	0	66.7	0~1	95.2
增强期	1	39.7	0~3	93.7
主汛期	3	28.6	1~5	93.7
衰减期	0	49.2	0~2	96.8

从表3可以看出,洪峰流量大于1 460 m<sup>3</sup>/s的洪水,每年极可能出现2~7次,概率在95.2%;洪峰流量大于6 184 m<sup>3</sup>/s的洪水,每年极可能出现0~3次,概率在98.4%,而主汛期7~9月发生洪水的极可能次数在1~5次,概率在93.7%。

## 4 结 语

文中对汉江石泉水库1954~2016年实际运行63年的320场实测洪水资料,进行整理、分析,运用统计概率,结合水库实际洪水特征指标,全面分析了汉江石泉水库的洪水分布特征,得到以下结论。

1) 石泉水库洪水多数为洪峰流量大于1 460 m<sup>3</sup>/s

(下转第45页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.009

# 发电机进相和欠励限制研究与应用

周美英<sup>1</sup>, 刘喜泉<sup>2</sup>, 孙宏军<sup>3</sup>, 孙涛<sup>1</sup>

(1. 国电电力山东新能源开发有限公司, 山东 烟台 264003; 2. 溪洛渡水力发电厂, 云南 永善 6573001; 3. 天津大学电气自动化与信息工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 研究发电机进相运行的重要性及其影响因素, 分析欠励限制对机组进相运行的安全控制及其整定原则, 通过现场进相试验, 进一步说明发电机进相能力影响因素及欠励限制整定值与机组实测进相能力相关性, 可供发电机组进相试验及欠励限制参数整定参考。

**关键词:** 发电机; 励磁系统; 进相; 欠励限制

**中图分类号:** TM31      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3354(2020)05-0035-04

## Leading Phase Operation and Under-excitation Limit of Generators

ZHOU Meiyang<sup>1</sup>, LIU Xiquan<sup>2</sup>, SUN Hongjun<sup>3</sup>, SUN Tao<sup>1</sup>

(1. Shandong New Energy Development Co., Ltd., GD Power Development Co., Ltd., Yantai 264003, China; 2. Xiluodu Hydropower Plant, Yongshan 657300, China; 3. School of Electrical and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The importance and influencing factors of leading phase operation of generators are analyzed. Safety control effect of the under-excitation limit on the leading phase operation and its setting principles are summarized. Then, with in-situ leading phase operation experiments, the relationships between the leading phase influencing factor, the under-excitation limit setting value and the measured leading phase capacity of generators are determined, which provides useful reference for the further study of the leading phase experiments and the setting of under-excitation limit parameters.

**Key words:** generator; excitation system; leading phase; under-excitation limit

随着国民经济的迅猛发展, 电力系统容量飞速增大, 在系统负荷处于低谷时, 尤其是在节假日、午夜时间, 系统线路产生无功功率过剩, 使得电力系统的母线电压偏高, 以至接近或超过系统运行电压的上限值, 严重地影响着送变电设备和用电设备的安全运行。

一般情况下, 可采用并联电抗器或同步调相机来吸收剩余的无功功率, 但增加了设备投资, 且在运行使用上有一定的局限性。从经济运行的角度考虑, 利用发电机, 尤其是大型发电机组通过进相运行, 吸收系统过剩的无功功率, 是一项切实有效的方法<sup>[1-4]</sup>。所谓发电机进相运行是指发电机向系统发出有功功率的同时, 通过调整励磁系统进入欠励运行, 从系统吸收无功功率的运行状态<sup>[5]</sup>。发电机进相运行不需要额外增加设备投资, 只要改变发电机励磁系统运行工况, 使发

电机进相运行, 即可达到平衡系统无功功率和调整系统电压的目的, 社会效益和经济效益十分显著。客观准确掌握发电机组的进相能力是维持电力系统稳定运行的关键技术指标。然而发电机组进相运行, 会使其静态稳定性能降低, 严重时可能导致发电机失去稳定而不能同步运行, 因此必须通过进相试验确定发电机的进相能力及相关控制措施确保发电机进相运行的安全性。

## 1 发电机组进相影响因素分析

依据《同步发电机进相试验导则 DL/T 1523》中规定, 发电机组的进相能力主要是由发电机定子端部温升、定子电流、定子电压、发电机功角、厂用电电压、系统母线电压限制等共同确定的, 在不同有功功率下发

收稿日期: 2019-11-05

作者简介: 周美英, 女, 助理工程师, 主要从事电站设备运行维护方面的工作。

电机最大进相深度<sup>[6]</sup>。为了确保发电机进相运行的安全性,通过设定发电机励磁系统中欠励限制定值,确定在不同有功功率下发电机吸收无功功率的最大值。下面对相关因素进行分析。

### 1.1 发电机定子端部温升

发电机定子端部温升主要是指定子铁芯、绕组及齿压板、压指的温升,其结构如图1所示。端部温升主要由定子铁芯损耗、绕组铜损、端部漏磁通等因素决定,发电机在进相时,励磁电流会减小,励磁绕组端部漏磁场会减弱,励磁绕组的漏磁场磁路磁阻会减小,使定子端部漏磁场会增大,铁损加大,致使定子端部会严重发热。这与发电机设计制造工艺密切相关,达到该限制条件的进相能力基本就是发电机本身进相能力,无法提升进相运行时,发电机定子铁芯和绕组、齿压板、压指等温升应不超过机组运行规程或 GB755、GB/T7064、GB/T7894 中的规定。发电机进相深度大小多数情况不受该条件限制。

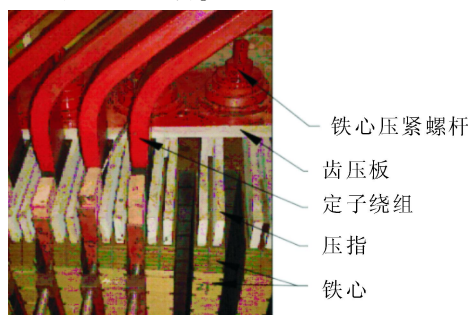


图1 发电机定子端部结构示意图

### 1.2 发电机功角

发电机功角稳定是发电机运行稳定的三要素之一。发电机功角  $\delta$  即在发电机并网运行时,发电机的感应电势  $E_0$  与端电压  $U_g$  之间的夹角<sup>[7]</sup>,如图2所示。

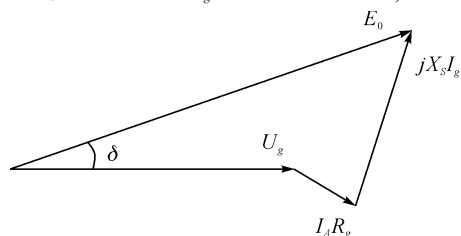


图2 发电机电势及功角向量图

图2中: $X_s$ 为发电机同步电抗(电枢反应电抗和定子端部漏电抗之和); $I_g$ 为发电机定子电流; $R_g$ 为发电机定子绕组电阻。

由于隐极发电机输出有功功率计算公式如下:

$$P_e = \frac{3E_0 U_g \sin\delta}{X_s}$$

由于静稳需要,因此其极限功角  $\delta$  最大为  $90^\circ$ ,为确保隐极发电机运行安全,依据 DL/T1164 的规定,隐极发电机的功角  $\delta$  宜不大于  $70^\circ$ ,而凸极发电机的输出功率输出计算公式如下式所示:

$$P_e = 3 \frac{E_0 U}{X_d} \sin\delta + 3 \frac{U^2 (X_d - X_q)}{2X_d X_q} \sin 2\delta$$

式中: $X_d$ 为直轴同步电抗; $X_q$ 为交轴同步电抗。

由于凸极发电机  $X_d$  与  $X_q$  不相等,其最大极限功角小于  $90^\circ$ ,且其极限功角随着有功功率的减小而降低,在不同有功功率、不同定子电压下,极限功角<sup>[6]</sup>  $\delta$  如图3所示。

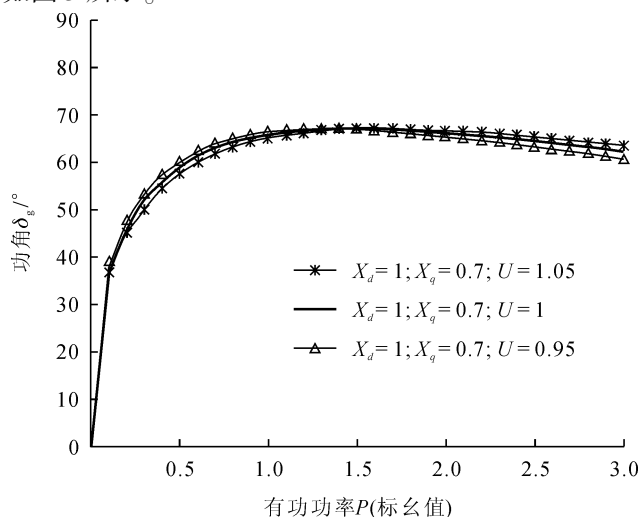


图3 凸极发电机在不同系统电压下的极限功角图

因此试验前应根据发电机及主变压器参数计算极限功角,在进相试验过程中,功角应比极限功角留有  $10^\circ \sim 20^\circ$  的安全裕度。

### 1.3 定子电压、电流、厂用电电压及母线电压

发电机进相运行时,定子电压应不低于其 90% 额定值,定子电流应不超过其额定值,厂用电电压一般应不低于负载额定电压的 95%。母线电压应在电力系统运行安全范围,具体以调度给定范围为准,一般带有厂用电的机组比不带厂用电的机组,其进相深度会浅。

## 2 发电机组进相稳定运行与欠励限制

为确保发电机进相运行的稳定控制,发电机励磁系统一般采用欠励限制来实现。欠励限制作为发电机励磁系统辅助控制环节之一,在保证有足够进相深度前提下,确保机组安全稳定运行,因此欠励限制相关参数的整定非常重要。所谓欠励限制是指发电机在进相运行时,发电机吸收的无功功率低于限制值时,通过自动增加励磁电流,将发电机进相深度调整至发电机 PQ 限制曲线稳定运行范围内的限制器,也称为低励限制。

其中发电机励磁限制功能示意图<sup>[8]</sup>如图4所示,其中

发电机P-Q图中中间空白位置为稳定运行范围。

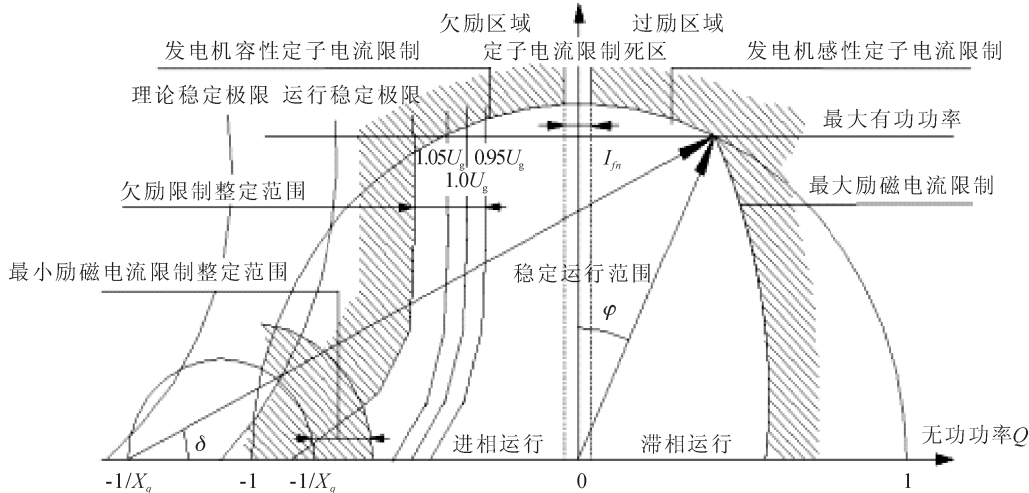


图4 发电机励磁限制示意图

欠励限制应满足定子端部热稳定限制、静态稳定限制、失磁保护整定、机端电压与厂用电电压等因素限制。确定欠励限制的参数要根据以上因素决定的最小值再留有一定的安全裕度。

励磁系统欠励限制的输出将与励磁控制主环配合,励磁系统主环控制是发电机机端电压闭环控制方式,欠励限制控制需要与励磁主环控制通过竞争门比较来确定是否欠励限制起作用,其控制模型如图5所示<sup>[9]</sup>。图5中: $U_g$ 为发电机机端电压; $U_{ref}$ 为电压参考值; $T_1$ 为励磁调节的超前时间常数; $T_2$ 为励磁调节的滞后时间常数; $K_{AVR}$ 为励磁调节器的比例增益; $U_{UEL}$ 为低励限制的输出; $U_{Amax}$ 为励磁输出上限; $U_{Amin}$ 为励磁输出下限; $HV$ 为高值比较门; $\Delta U$ 为欠励限制输出调节电压值。

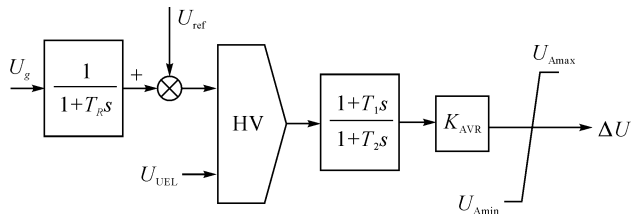


图5 励磁系统的欠励限制调节数学模型

当励磁控制主环信号与欠励限制通过高值比较门竞争控制使能,当机组在进相时,欠励限制高于励磁控制主环时,由欠励限制控制励磁调节器输出,即欠励限制动作,欠励限制通过增磁,提高发电机机端电压,减小进相深度,使发电机运行在稳定范围内。

欠励限制相关参数的整定应以发电机的进相试验为依据,在进相能力范围内整定低励限制定值,能够使机组在达到机组进相能力前提前动作,避免机组运

行到进相能力外的不安全区域,确保了机组进相运行安全。欠励限制定值一般采用在发电机定子电压为额定值时, $(P, Q)$ 多个点来控制,如在发电机定子电压 $U_g = 1$  pu时,分别在有功功率 $P$ 为 $0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$  pu下,无功功率 $Q$ 对应的值<sup>[9-10]</sup>,其中当发电机定子电压低于额定值时,欠励限制定值会向迟相方向偏移 $\frac{1-U_g^2}{X_d}$ ,即 $Q = Q(P) - \frac{1-U_g^2}{X_d}$ ,如图6所示。这主要是基于进相时,发电机组定子电压本身就低于额定值,再进相更深的话,发电机定子电压更低,容易导致失磁失稳。

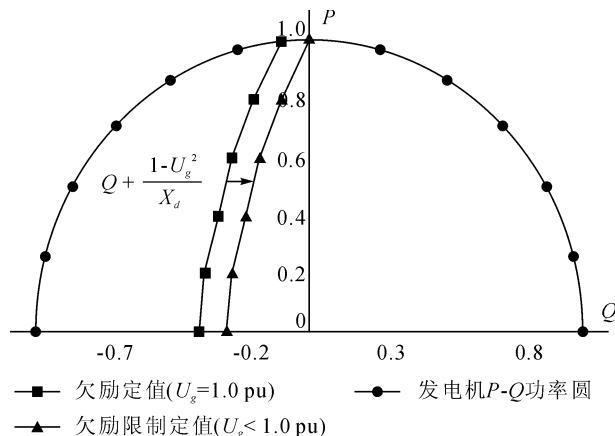


图6 欠励限制定值整定示意图

### 3 进相试验与欠励限制整定应用实例

以某电站700 MW机组进相试验为例,说明发电机进相深度相关因素及欠励限制整定应用情况。依据《DL/T 1523-2016 同步发电机进相试验导则》要求,进相前需要将电站母线电压运行在安全范围内的较高



区域、陪同试验机组(若有)工况调整至迟相状态,主要进相限制条件如下:

- 1) 发电机定子电压不得低于额定电压 20 kV 的 90% (18 kV);
- 2) 发电机定子电流不大于额定电流;
- 3) 由于不同有功功率时,水轮机的极限功角也不同,因此,试验前应根据水轮发电机及主变参数计算出试验条件下的极限功角,在试验过程中应确保功角相对于极限功角有一定(15°~20°)的安全裕度;
- 4) 发电机定子绕组温度不超过 115℃,铁芯和端部构件温度不超过 110℃;
- 5) 电站 500 kV 母线电压不低于调度允许的最低值 520 kV,最高值为 532 kV;
- 6) 电站 10 kV 厂用电电压不低于 95% (9.5 kV);
- 7) 电站 380 V 厂用电电压不低于 95% (361 V);
- 8) 根据《DL755 电力系统安全稳定导则》规定,通过静态稳定计算,得到进相试验工况下水轮发电机静

态稳定极限功角  $\delta_{\max}$  如表 1 所示。

表 1 某 700 MW 水轮发电机极限功角  $\delta_{\max}$

有功功率 $P/\text{MW}$	极限功角 $\delta_{\max}/^\circ$
525	51.41
700	46.17

进相试验机组正常运行,设备状况良好。试验机组自动发电控制(AGC)和自动电压控制(AVC)退出运行,低励限制、失磁保护、失步保护等功能正常投入运行。

由于额定有功功率为 700 MW 的发电机 50% 额定有功功率 350 MW 工况处于振动负荷区,进相试验时避开振动负荷区,因此进相试验在发电机有功功率为 0、525(75%)、700 MW(100%)三种工况下进行。

进相试验数据如表 2 所示,根据进相深度限制条件,基本受厂用电电压条件及功角限制,并确定欠励限制制定值如表 3 所示。

表 2 某 700 MW 水轮发电机进相试验数据表

$P$ /MW	$Q$ /MVar	功角 $\delta$ /°	$U_g$ /kV	$I_g$ /%	$U_b$ /kV	厂用电 10 /kV	厂用电 380 V	定子绕组 最高温度	定子铁芯 最高温度	齿压板 最高温度
0	-342	0	92.09%	43.41	525	9.7	361	66.8	65.9	73.5
525	-280	38.2	92.02%	78.8	527.1	9.9	361.6	78.7	75.3	92.7
700	-241	45.4	92.0%	97.26	526.2	9.9	360.9	87.5	81.4	105

依据在失磁保护功能未退出条件下的进相试验情况,欠励限制制定值与机组进相能力间留有一定安全裕度,该机组欠励限整定值如表 3 所示,同时该欠励定值也定先于该机组失磁保护动作,且有一定安全裕度,满足网源协调相关要求。

表 3 某 700 MW 水轮发电机欠励限制制定值表

有功功率 $P$ /MW	0	350	525	700	780
无功功率 $Q$ /MVar	-300	-280	-240	-200	0

## 4 结 语

通过对发电机组进相能力相关影响因素及欠励限制与进相运行的关系分析,并对欠励限制的控制原理及参数整定进行了论述,最后用机组进相现场试验实例说明了进相能力的确定方法和欠励限制参数整定方法,为电站机组进相能力确定及欠励限制参数整定提供有效指导。

### 参考文献:

- [1] 王成亮,王宏华. 同步发电机进相研究综述[J]. 电力自动

化设备, 2012, 32(11): 131-135

- [2] 韦延方,卫志农,张友强,等. 发电机进相运行的研究现状及展望[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(9): 146-154
- [3] 张建忠,万栗,刘洪志,等. 大型汽轮发电机组进相运行及对电网调压试验研究[J]. 中国电力, 2006, 39(12): 11-15
- [4] 曹侃,王涛,忻俊慧. 同步发电机进相能力的快速估算方法[J]. 中国电力, 2014, 47(1): 108-111
- [5] 李基成. 现代同步发电机励磁系统设计及应用[M]. 2版. 北京:中国电力出版社, 2009
- [6] DL/T1523-2016, 同步发电机进相试验导则[S]
- [7] Anderson P M, Fouad A A. 电力系统的控制与稳定[M]. 2版. 北京:电子工业出版社, 2012
- [8] 刘喜泉,谢燕军,陈小明,等. 水轮发电机低励限制与失磁保护整定配合研究与试验[J]. 大电机技术, 2016(1): 59-61
- [9] IEEE Std 421.5-2005, IEEE recommended Practice for excitation system models for power system stability studies[S]
- [10] 解兵,徐珂,刘建坤,等. 励磁调节器低励限制整定原则和整定方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(8): 142-147

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.010

# 电子系统在水电工程隧道安全运行的应用探讨

马中刚, 宛良朋, 魏然

(中国三峡建设管理有限公司, 四川成都 610031)

**摘要:**水电站多分布于山区,其进场道路及隧道比例比常规公路大,且隧道洞线长且多为单洞双向行驶,行车安全成为一个重要研究课题。通过视频监控系统、紧急电话系统等组成的电子系统,以及在监控视野内均可见的布设原则,实现隧道内视频无死角全覆盖,辅助隧道运行管理,并可指挥隧道紧急事故处理、疏散事故人员,达到隧道安全运行的目的。

**关键词:**水电工程;隧道;监控;紧急电话

中图分类号:TV672+.1 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)05-0039-04

## Application of Electronic System in Safety Management of Highway Tunnels in Hydropower Projects

MA Zhonggang, YUAN Liangpeng, WEI Ran

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

**Abstract:** Hydropower projects are usually located in mountainous areas. The access roads are often of larger proportion of tunnels than conventional roads, and the tunnels are often very long and of two-way traffic. Thus, the driving safety in the tunnels has become an important issue. An electronic system composed of video monitoring system, emergency phone system and cable broadcasting system is developed and installed according to the visible principle for all monitoring fields. Thus, a full video coverage of the tunnel without dead angle is realized. The system is of great help to the safe operation of the tunnels as it is able to assist the operation management and help to handle emergency accidents and evacuate people.

**Key words:** hydropower project; tunnel; monitoring; emergency phone

我国改革开放以来,经济高速发展,我国机动车车辆保有量快速增长,交通事故数量逐年增加。隧道是封闭空间,会增加交通事故的次生灾害风险并增加救援难度。电子系统可辅助指挥交通,第一时间采取救援,提高救援效率,消减次生事故发生率。水电工程所在地一般属于山原峡谷地貌类型,河谷深切,坡降大,谷坡陡峻。在这种地形地貌下,水电工程物资运输和重件、大件运输对公路线形和曲率半径提出较高的要求<sup>[1]</sup>,因此大型水电工程的“三通一平”道路多采取明线和隧道结合的方式设计,且多以隧道为主,使水电工程的进场道路隧道比一般较高<sup>[2-3]</sup>。隧道线路长,且多为单洞双向道路设计,交通安全隐患大,事故救援难度高。为降低事故率,提高救援效率,设置电子系统,对辅助救援、疏导人群具有十分重要的意义<sup>[4]</sup>。

目前,水电工程进场道路一般由建设单位自筹自建,建成后产权属于建设单位。但是,道路运行后,建设单位往往没有道路的执法权,而道路运行安全责任主体仍是建设单位。这样的矛盾使建设单位承担很大的安全运行压力,所以利用道路电子系统的监控作用,辅助建设单位做好道路运行安全管理十分必要。下面举例说明电子系统在水电工程隧道进场道路运行安全管理的应用。

### 1 工程特点

乌东德水电站右岸对外交通半角至新村为三级公路,设计速度40 km/h,路基(明线段)宽10 m,路面宽7.5 m。该公路位于云南省昆明市禄劝县境内,起点在昆明市禄劝县皎西乡的半角村接禄劝至半角地方公

收稿日期:2019-11-20

作者简介:马中刚,男,工程师,主要从事水电站对外交通工程施工管理方面的工作。

路,接点高程 2 219.7 m;终点在昆明市禄劝县大松树乡的新村附近与河门口大桥右岸接线公路相接,接点高程 1 297.0 m。路线全长 28.4 km,桥梁 12 座,总长 1 542.5 m;隧道共 7 座,总长 16 030.527 m,占比约 57%。在 28 km 长度范围内,陡降超 900 m 落差。乌东德水电站右岸对外交通线形成了较长的 2 个隧道群,且隧道内为 3% 单向纵坡。该公路属于典型的长大纵坡道路,坡陡弯急,行车条件较差。通过分析建成后车辆运行情况,针对安全隐患,利用电子系统辅助管理,提出工程安全管理措施,消减运行期交通事故率。同时为长陡坡公路运行管理积累经验,为水电工程场内交通管理提供参考,具有重要的社会、经济效益和较高的应用价值。

## 2 电子系统需求分析

半角至新村公路桥隧比高达 62%,道路主要由 2 个特长隧道群组成。由于难以隔离地方群众,半角至新村公路隧道内经常出现人、马车、摩托车、三轮车等交通参与方,给道路行车带来极大安全隐患。特长隧道群内移动通信信号弱,事故发生后的救援、事故责任处理等难度也增加,需要部署视频监控、紧急电话和有线广播系统等电子设备辅助道路安全管理。

视频监控系统在老鹰窝、红梁子、锅圈岩和龙头山 4 条隧道的进、出口及隧道内紧急停车带、转弯处、逃生通道交叉口处布设摄像机。在监控中心实现对隧道的远方监控和管理,并用于特长双向隧道的火灾监视,以达到对隧道内全覆盖、无死角的监控要求。

紧急电话和有线广播系统,用以提醒驾驶员注意行车安全,以及在发生事故时进行疏导、疏散车辆和人员。隧道内紧急电话系统要求达到事故发生后第一时间内帮助求助人员,并通过后台分析定位事故发生位置。这就要求紧急电话设置间距不能太大,使隧道内任何位置发生事故,事故人员都能看见紧急电话,并不需要跑动太远的距离就能达到。在隧道管理中心设置 1 套控制台主机和 1 台管理计算机,在老鹰窝隧道、红梁子隧道、锅圈岩隧道和龙头山隧道内每隔 200 m 处设置 1 台紧急电话分机,分别布置在隧道起点、终点洞外、紧急停车带、和施工支洞/疏散洞口和变电站处,共 76 部紧急电话分机,包括 68 部隧道型紧急电话;8 套立柱型,布置在洞外。

## 3 半新公路电子系统的设计原则与控制原理

水电工程道路电子系统设计遵循技术先进、功能

齐全、性能稳定、节约成本的原则<sup>[5]</sup>。并综合考虑施工、维护及操作因素,并将为今后的发展、扩建、改造等因素留有扩充的余地<sup>[6-7]</sup>。为对水电站隧道的车辆及人员通行状况实施监视,有效地防范各类突发事件,查处违规状况,增强工作的主动性,发挥科学管理的作用。

半角至新村公路在老鹰窝隧道群和锅圈岩隧道群 4 条隧道设置交通监控系统。包括隧道控制中心设备,现场通风控制设备、交通控制设备、照明控制设备等。监控交通信号与火灾自动报警系统和风机联动,完成火灾时风机联动控制,实现整个右岸公路的集中控制和管理。前端视频信号和控制信号通过现场的环形光纤以太网进入隧道控制中心,通过网络硬盘录像机进行图像的存储。通过图像工作站实现对前端实时图像的控制和浏览、以及历史录像资料的访问、调用和转存记录;通过网络管理工作站对系统进行管理,系统通讯网络拓扑图如图 1 所示。

隧道紧急电话实现管理中心对现场电话的集中监控和管理。系统采用“监视”和“监控”两种监管模式,如图 2 所示。

1) 灾情监控。紧急电话用户可直接与中心紧急电话控制台进行按键通话,全双工通话、并传送本机公里标号等通信联系,通话时语音清晰,声音洪亮,无回授啸叫,允许 2 处以上紧急电话排队报警,具有录音及回放功能。

紧急电话扩音系统是半新公路隧道布设的应急电话和广播设施,在半新公路隧道内发生交通事故、车辆出现故障或遇到其他紧急情况时,能提供紧急呼叫和应急广播服务。当隧道内发生紧急情况时,司乘人员可以通过紧急电话向右岸监控中心求助,监控中心可直接通过应急广播帮助和指挥隧道内人员疏散和撤离。紧急电话系统与隧道逃生通道设置密切相关,半新公路隧道群设置的逃生通道要求是保证求助人员在隧道内任何位置,到达最近安全区的距离不超过 1 000 m。

2) 运行监视。利用隧道监控的实时图像点播、系统历史图像的检索和回放的功能,能较好配合对隧道内各种配置进行监督管理,防止隧道内出现设施设备(主要是消防设施)损坏、被盗的现象。利用录像、回放,以供事后执法部门对事故处理分析。视频监控系统的的作用还包括准确判断隧道内事故灾情,采取处理措施。为消防、安保及其他系统设备的运行和人员活动提供了监视手段。

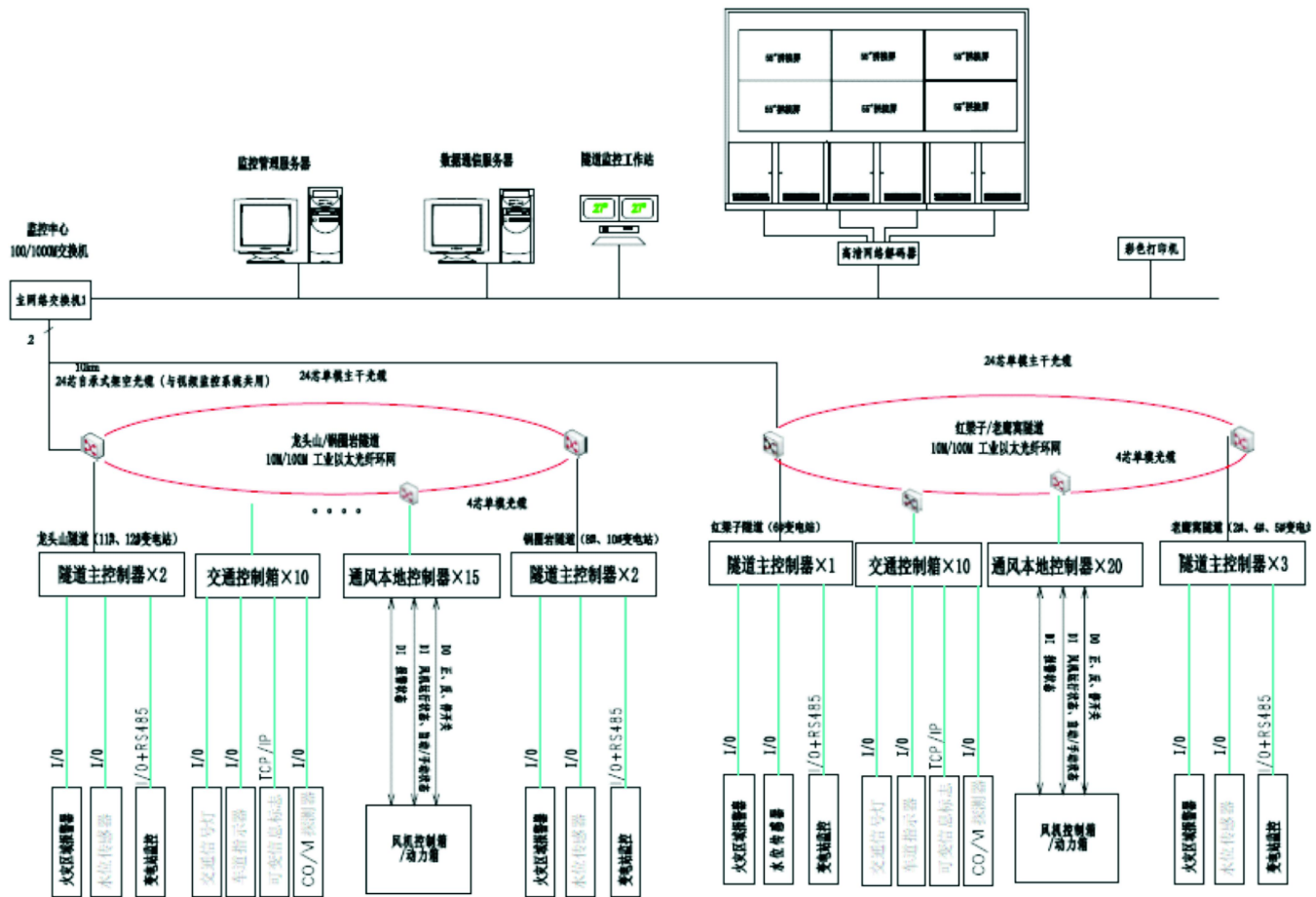


图1 系统拓扑图

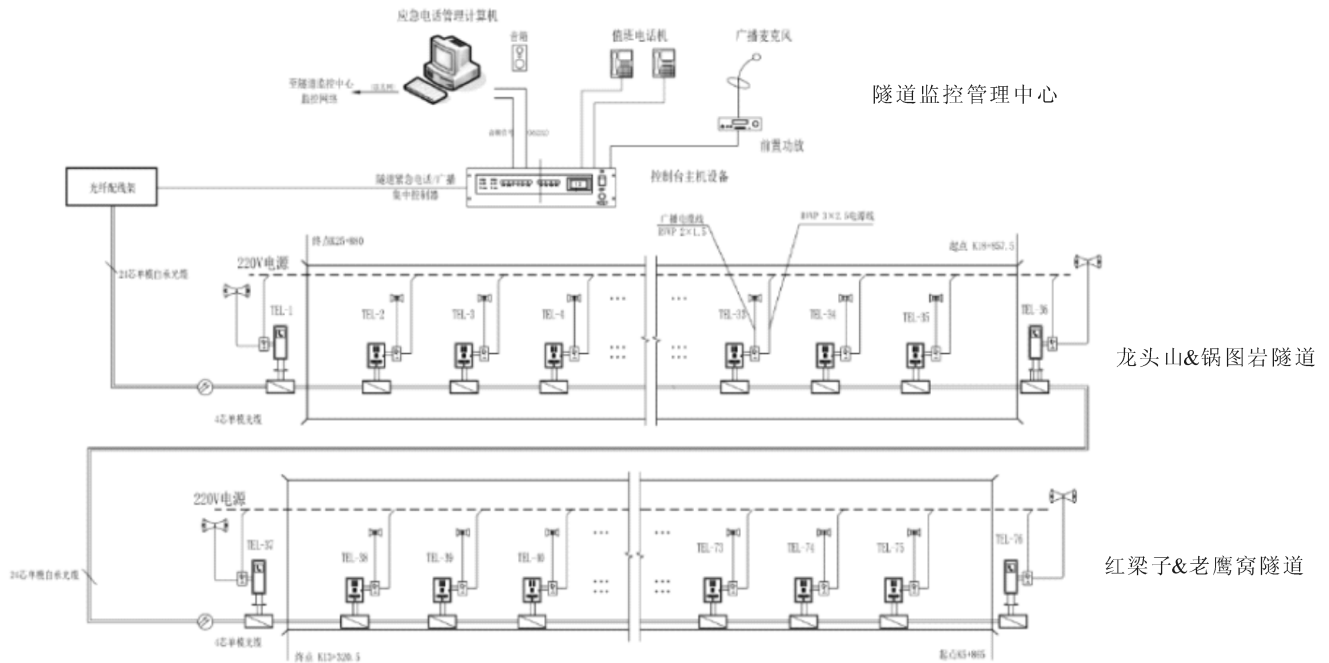


图2 系统结构示意图

## 4 运行效果

以老鹰窝隧道为例,当老鹰窝隧道内 K8 + 800 左右发生救援事故,求助人员视野范围内可看见 K8 + 883 和 K8 + 683 两个位置的紧急电话。由于到 K8 + 883 的位置较近,求助人员可通过拨打隧道内 K8 + 883 处的紧急电话。紧急电话自动接入监控中心,监控中心值班人员根据求助电话的编号,经过后台系统分析,对求助人员进行定位,初步计算求助人员到 K7 + 800 和 K9 + 750 两位位置的逃生通道的距离,告知求助人员向 K9 + 750 逃生通道自救,紧急电话系统终端显示界面如图 3 所示。求助人员挂断电话,监控中心可以通过观察 K8 + 953 至 K9 + 755 等 6 个视频监控,时刻观察疏散人员的疏散情况,并通过隧道设置的喇叭系统进行指导。



图 3 紧急电话系统终端显示界面图

监控中心通过对事故现场定位,可通过喇叭系统实时播报事故信息,通知隧道内的车辆撤离事故区域,禁止隧道外的车辆继续进入隧道,降低次生事故发生率,降低救援难度,视频监控画面如图 4。



图 4 视频监控显示图

此外,利用视频监控系统可监控隧道内车流量及车速,对于车流量较大的隧道可通过隧道口的红绿灯、广播播报等减少车辆进隧道的数量,以避免车辆在隧道内发生拥堵,以降低事故发生的概率。

## 5 结语

乌东德水电站半角至新村公路隧道设计为单洞双向行驶,内受其空间狭长、封闭、视野疲劳等特点限制,发生事故的概率较其他公路大。加之隧道长下坡,为控制车速,汽车行驶时,需频繁或长时间主动采取制动措施,易造成车辆制动器温度升高而引起制动失灵,从而导致交通事故发生。隧道事故易由小事故演变成灾难性事故,且救援困难。尤其隧道内的火灾事故,直接对隧洞安全运行带来威胁。对于隧道群的防灾救援设计多参考单体隧道的执行,缺乏针对性。

本文以乌东德水电站右岸对外交通为例,提出电子系统的布置方案、联动控制要求,最大限度达到快速辅助疏散、应急救援指挥、交通流量控制、防盗等作用,确保隧道群安全运行。

### 参考文献:

- [1] 杨洪. 单洞双向行车公路隧道运营及救灾通风技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011
- [2] 仇玉良. 公路隧道复杂通风网络分析技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2005
- [3] 吕康成. 公路隧道运营设施[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999
- [4] 卫巍. 长大公路隧道火灾烟气数值模拟及逃生研究[D]. 西安: 长安大学, 2008
- [5] 涂祖蕾. 高速公路隧道电子监控系统的应用[J]. 科技风, 2008(21): 53 - 53
- [6] 邢玮琦. 光纤环网系统在高速公路隧道监控工程中的应用[J]. 山西电子技术, 2013(2): 57 - 58
- [7] 尹劼. 高速公路视频监控系统的组建方案[J]. 科技资讯, 2019(4): 16 - 16, 18



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.011

# 电力企业职工(模范导师)创新工作室 创建的实践与思考

王彬<sup>1</sup>, 孙勇<sup>2</sup>, 徐子雅<sup>3</sup>

(1. 湖北能源集团股份有限公司, 湖北 武汉 430077; 2. 湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北 宜昌 443000;  
3. 国网湖北电力有限公司计量中心, 湖北 武汉 430077)

**摘要:**以湖北能源集团电力企业职工创新工作室为载体,就如何有效开展工作室的创新工作,进行了一系列积极有益的分析 and 探索,在激发职工创新意识,强化技能人才队伍建设,培育专业型工匠人才等方面发挥了较好作用,并提出了一些有益的思考与建议。

**关键词:**产业工人队伍建设;职工(模范导师)创新工作室;创建;实践与思考

中图分类号:F270.7 文献标志码:C 文章编号:1671-3354(2020)05-0043-03

## Practice and Reflections of Staff (Model Mentor) Innovation Studio in Electric Power Enterprises

WANG Bin<sup>1</sup>, SUN Yong<sup>2</sup>, XU Ziya<sup>3</sup>

(1. Hubei Energy Group Co., Ltd., Wuhan 430077, China;

2. Hubei Qingjiang Hydroelectric Development Co., Ltd., Yichang 443000, China;

3. Metering Center of State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Wuhan 430077, China)

**Abstract:** Based on the practice of the staff (model mentor) innovation studio in electric power enterprises in Hubei Energy Group, the experience on how to effectively carry out the innovation work of the studio is summarized and analyzed. It shows that the staff innovation studio plays a good role in stimulating the innovation awareness of the staff, strengthening the construction of skilled technicians, and cultivating professional talents. Also, some useful reflections and suggestions are presented.

**Key words:** construction of industrial workers; staff (model mentor) innovation studio; establishment; practice and reflection

党的十八大以来,习近平总书记站在党和国家工作全局的战略高度,就产业工人队伍建设作出一系列重要论述。中共中央、国务院在印发的《新时期产业工人队伍建设改革方案》中指出,要将产业工人队伍建设作为实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略的重要支撑和基础保障,造就一支有理想守信念、懂技术会创新、敢担当讲奉献的宏大的产业工人队伍。

产业工人队伍建设的改革关键在于调动和培育技能人才的创新意识,顺应企业创新驱动发展需求,增强企业核心竞争力。而在这背后,需要构建一套系统运作机制,涵盖技能人才的培养、提升、团队化发展以及

创新保障激励等多个方面。整个理论界和优秀企业均认识到,企业的创新不仅仅取决于领导者个体,更多地依赖于企业职工创新意识与创新力的整体水平<sup>[1]</sup>。在不断探索和实践的基础上,一批国有企业以职工创新工作室为载体,将高技能人才或有一技之长的职工动员组织起来,为他们提供团队、经费和政策支持,鼓励他们围绕企业发展的重点、难点和技术难题,开展本专业或跨专业领域的创新研究,职工创新工作室的建立为技能人才创新工作提供了一个新的有益的探索方向。

湖北能源集团职工创新工作室是在前期的“模范导师工作室”基础之上演变而来,有着良好的基础条

收稿日期:2019-10-31

作者简介:王彬,男,政工师,主要从事国有企业群团组织建设和、职工经济技术创新、职工队伍建设和班组管理等工作。

件和完善的管理机制,为企业发展提供了强劲的人才支撑。

## 1 创新工作室的创立与发展

湖北能源集团职工(模范导师)创新工作室源于公司早期导师带徒活动中的模范导师工作室。起初主要目的是为优秀导师提供集中授课、教学研讨和高技能人才“传帮带”的一个工作平台,后来进一步扩充了课题研究、创新攻关、团队化发展等工作内容,升级为职工(模范导师)创新工作室<sup>[2]</sup>。

1) 导师带徒活动的开展。导师带徒活动是在传统的师傅带徒弟的基础之上演化而来,是按照行政或员工要求,组织师徒双方以协议的方式明确师徒关系、培训目标、内容、措施和时间,并在工作岗位上结合生产实际进行传帮带的群众性活动,旨在进一步提高操作技能、弥补技能短板、优化微观管理水平。

2) 模范导师工作室的组建。为了进一步促进导师带徒活动科学规范和持续深入的开展,集团决定开展模范导师工作室建设工作。模范导师工作室是为导师带徒活动中涌现出的优秀模范导师提供固定的场所以及一定的人、财、物支持,并以其为核心,开展培训教学、课题研究和创新创效等相关活动的集体。工作室除了进行培训外,职工创新的功能逐步实践。

3) 职工(模范导师)创新工作室的创立。随着国有企业的改革发展,企业对技能人才的要求不断提高,国家也先后出台了一系列鼓励创新创业发展的新政策。湖北能源集团适时对原有工作室进行提升,创立职工(模范导师)创新工作室。创新工作室是在原模范导师工作室的基础之上,优中选优,先行试点,从16家模范导师工作室中选取了5家,具有较强技能水平、创新动力和管理能力的工作室,以技术创新、管理创新、服务创新和制度创新为主攻方向,着力开展解决工作现场难题、推动工艺流程创新发展、提升生产质效等方面课题研究,强化工作室的创新创效作用发挥。

## 2 创新工作室创建的经验与做法

湖北能源集团的创新工作室经过多年的发展完善,在人才培养、技术创新、管理创新和制度创新等方面作出了很大贡献,为企业发展提供了有效的支撑,同时对于职工创新工作室的创建也积累了一些有益的经验。

1) 企业和领导重视是前提。企业和领导只有认识到职工创新活动的重要意义,才可能重视和鼓励发展。湖北能源集团工会等相关部门一直非常重视职工

创新工作,从最开始的导师带徒活动开始,就致力将其打造成为公司的软资产,并多次召开推介会推广有益的创建经验。企业为工作室在资金、场地、人员配置等众多方面提供了持续的支持,公司各级组织都在多方面为工作室的创建和发展提供便利,使得创新工作室得到持续发展。

2) 规章制度是保障。职工创新工作室的创建以及持续、健康发展,科学有效的规章制度是保障,只有做到有章可依,才能使得工作室各项工作长期顺利推进。湖北能源集团先后出台了“导师带徒工作规范”、“模范导师工作室建设管理规范”等一系列管理制度,从集团公司层面规定了工作室组织机构、经费来源、办公场地、创建流程、工作内容、检查考核等内容,使得工作室各项工作有序开展,不断进步。

3) 工作室带头人是关键。工作室带头人全面负责工作室的日常管理,包括制定工作细则、工作计划、推进措施;确立工作理念、工作目标、攻关课题;组织培训、技术交流、科技攻关等。因为工作室带头人都是生产业务骨干,生产任务本身不少,加上工作室的各类工作,可谓任务艰巨,因此工作室带头人是职工创新工作室创建工作的关键。

## 3 创新工作室面临的问题和挑战

湖北能源集团职工(模范导师)创新工作室经过多年的不断发展,在职工人才培养、现场技术攻关、企业发展建议等方面都发挥了巨大的积极作用,但随着工作室不断提升和发展,也面临一些问题和挑战。

1) 专利保护意识不强。申请专利是在市场经济条件下保护发明创造知识产权的一项基本法律制度。职工创新工作室成员多为现场一线的生产技术人员,对现场技术问题有丰富的实践经验,经常解决一些技术难题,其中不少创新点,具有很强的实用性和先进性,具备申请专利的基本条件。但在具体实践中,因为专利保护意识不强,对专利的附加值认识不够深刻,没有意识到专利在技术创新领域中的价值,创新成果很少申请专利<sup>[3]</sup>。这对创新成果保护和推广都不利。

2) 科技论文提炼深度不足。科技论文是进行科学技术交流的主要载体,是获得科技信息、促进科学技术发展的重要途径<sup>[4]</sup>。企业职工在生产过程中的创新,有很多非常好的科学思维和经验,但往往由于很多情况下更关注现场问题的解决,而未做进一步深究分析,即使整理一些论文资料,往往因提炼深度不足,没有将生产中的创新点有效的展示。

3) 科研项目管理经验欠缺。随着工作室不断发

展,职工创新工作室除了解决生产现场的一些具体问题,逐步会承接和申报一些相关的科研项目。科研项目作为项目的一种形式,具有项目的一般特点,但又不同于其他项目如投资项目或工程建设项目<sup>[5]</sup>。这就对科研项目本身的参与者提出了较高要求,尤其是熟悉科研项目的管理的基本流程,但由于职工创新工作室非专门的科研机构,此类工作经验欠缺,项目推进难度较大。

## 4 创新工作室发展的思考与建议

伴随着职工(模范导师)创新工作室的不断发展,会逐步面临一些新的问题和挑战,诸如专利、论文和科研项目管理等,工作室要向更高层次推进,必须逐步解决这些问题,为此,进行了一些探索和思考。

1)加强创新系统知识的培训。职工创新工作室成员虽然是由企业优秀员工组成,但主要都是从现场生产中成长起来的,实践经验丰富,不少理论尤其是创新理论略显不足。专利保护、科技论文撰写、科研项目管理等都遵循一定的固有规律,经过专业的培训可以较快的提高相关方面的一些基本能力,邀请专业人士对创新工作室成员进行必要的相关知识培训,对提高工作室成员的相关能力和工作室的后续发展都有积极的意义。

2)注重对外合作与交流。合作交流对创新工作的促进作用明显,很多创新团队都有鲜明的特色和优势,通过交流可以取长补短,开拓眼界。同时,针对一些具体课题,可以进行联合研究或开发,生产企业的创新团队对一些设备具体应用问题更为了解,科研院所更擅长理论梳理研究,设备厂家对设备性能优化更为

(上接第34页)

的洪水,相对已发生洪水占比高达80.9%;而流量大于 $10\ 007\ \text{m}^3/\text{s}$ 的洪水,占比仅为7.8%,因此,可以认为石泉水库洪水大多数峰值介于 $1\ 460\ \text{m}^3/\text{s}$ 和 $10\ 007\ \text{m}^3/\text{s}$ 之间,基本为常见洪水。

2)根据汉江石泉水库历年洪水特征统计分析结果,应当每年汛期增强期,即从4月开始加强水情监测,密切关注天气,提前做好水库优化调度,减少不必要的弃水。

3)从汉江石泉水库每年洪水发生的次数统计来,7月和9月洪水发生次数占比最高,8月份洪水次之,应予重点关注,确保年度度汛安全。

4)就汉江石泉水库在汛末回蓄水位时间看,根据

便捷,若不同单位将各自的优势充分发挥并形成合力,对解决一些技术问题必然有着更为科学有效的方案。

3)提高信息化管理水平。信息化管理是现代管理的一个有效手段,尤其是一些专业的信息平台,可以有效解决职工创新工作室发展中遇到的一些问题,例如科研项目管理、专利申报等。可以通过信息化平台,让专业团队将相关内容制作成为标准的流程,现场具体人员根据需求填报即可,这样可以大幅度提高工作室相关工作效率,弥补专业差异带来的困扰。

## 5 结 语

伴随着国家的不断发展进步,创新驱动发展已经成为共识,职工创新工作室作为企业创新发展的有效载体,对企业创新发展起着非常有益的示范作用。湖北能源集团的职工(模范导师)创新工作室的发展历程和遇到的问题,有一定的普遍意义,通过不断探索实践,总结提出了一些观点和思考,对企业职工创新工作室的发展也有一定的借鉴意义。

### 参考文献:

- [1]郭莹. 浅析如何提升电力企业职工创新力[J]. 人力资源管理, 2013(12): 66-67
- [2]孙勇, 聂志立. 电力生产企业“模范导师工作室”培训模式探索[J]. 中国电力教育: 企业版, 2014(27): 91-92
- [3]孙勇娟. 试论企业专利的保护[J]. 中国高新区, 2017(12): 181-181
- [4]张清. 解析科技论文的撰写范式要求[J]. 价值工程, 2012, 31(14): 319-321
- [5]樊周杨. 对科研项目管理的相关思考[J]. 科技智囊, 2017(5): 78-85

洪水发生次数分析,结合天气预报,可从9月中旬准备,10月份开始回蓄,但也要防止10月下旬至11月可能出现的洪水。

### 参考文献:

- [1]李万绪. 汉江上游洪水的统计特征[J]. 大坝与安全, 1993(4): 64-66
- [2]Davison A C, Smith R L. Models for exceedances over high thresholds [J]. the Royal Statistical Society. Series B; Methodological, 1990, 52(3): 393-442
- [3]颜亦琪, 易建军, 孙华安. 泊松分布在水文频率计算中的应用[J]. 人民长江, 2010, 41(12): 92-94
- [4]任苇. 石泉水库拦蓄洪尾风险调度运用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2006

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.012

# 高坝洲水电厂轴流转桨式水轮机组 调速器抽动故障研究分析

张兴斌, 黄安国, 孙勇

(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北宜昌 443000)

**摘要:** 基于高坝洲水力发电厂轴流转桨式水轮发电机组运行过程中, 调速器及其系统经常出现抽动现象, 通过研判与探索, 采用诸如更智能的控制策略并优化参数、更新非接触式传感器、采用合格的透平油并定期滤油、对传输信号进行滤波处理或减少传输距离、更换信号传输线路材质和测量元件及安装位置、合理调整功率调节死区等, 可有效解决该类型调速器的抽动故障。

**关键词:** 轴流转桨式水轮机; 调速器; 抽动故障; 处理措施

**中图分类号:** TM312      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3354(2020)05-0046-05

## Analysis and Treatment of Abnormal Governor Twitching in Kaplan Turbine Units in Gaobazhou Hydropower Plant

ZHANG Xingbin, HUANG Anguo, SUN Yong

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

**Abstract:** In the Kaplan turbine units in Gaobazhou Hydropower Plant, abnormal twitching of the governor system is frequently observed. Possible causes of this fault are analyzed and tested. Then, treatment measures are proposed correspondingly, such as the adoption of more intelligent control strategies and parameter optimization, replacement of non-contact sensors, usage of qualified turbine oil and regular oil filtering, implementation of signal filtering or reduction of the transmission distance, changing the signal transmission line material, the measurement elements and their installation positions, and reasonable adjustment of the power regulation dead zone. These measures can effectively solve the twitching fault of this type of governor.

**Key words:** Kaplan turbine; governor; twitching; treatment

高坝洲水力发电厂位于清江梯级电站最下一级, 是隔河岩水力发电厂的反调节电站, 安装有3台90 MW的水轮发电机组, 总装机容量270 MW, 设计年发电量8.98亿kW·h。3台机组均为东方电机股份有限公司生产的ZZD231-LH-580型水轮机, 为轴流转桨式机组, 有12片导叶、5片桨叶。

水轮机调速器型号均为能事达MGC3000型电动自复中式微机调速器, 是采用奥地利贝加莱公司制造的32位可编程计算机控制器PCC控制的并联智能PID电液调速器。主要由机械液压系统、测频装置、

电/机转换装置、交流伺服电机装置和微机调节器等组成。该型号调速器具有转速和加速度检测、转速调节、导叶开度限制、机组频率跟踪控制、变参数变结构、自诊断和稳定性功能, 可实现对机组在各种运行工况下的远方自动或手动控制; 还可通过MB口等与电站计算机监控系统连接, 对机组进行网络监视与控制。

调速器采用AC220V和DC220V互为备用、共同供电的方式保证可靠性, 电源经过整形和隔离滤波后送至开关电源, 整合成DC24V供柜内自动化元件使用。该型号调速器系统有关技术参数如表1所示。

收稿日期: 2019-12-06

作者简介: 张兴斌, 男, 工程师, 主要从事水电厂设备运行管理、事故处理等方面的工作。

表1 高坝洲水力发电厂调速器系统参数表

	空载	功率模式/一次调频	频率给定范围	49.5 ~ 50.5 Hz
永态转差系数 $B_p$	0	0.03	电气开限调整范围	0 ~ 90%
比例 $K_p$	2.9	0.03	残压测频范围	0 ~ 100 Hz
积分 $K_i$	0.28	0.05	齿盘测频范围	0 ~ 100 Hz
微分 $K_d$	0.36	0	网频测频范围	49.5 ~ 50.5 Hz
转速死区	< 0.02%		甩 25% 额定负荷接力器不动时间	< 0.2 s
导叶开度死区	0.3%		桨叶开度死区	1.0%
功率死区	1.2 MW		供电需求	AC: 220 V $\pm$ 15%, DC: 220 V $\pm$ 10%
调节柜功耗	AC: 700 VA, DC: 600 W		频率需求	50 Hz
调节规律	并联 PID 调节		测频方式	残压测频 + 齿盘测频

## 1 水轮机调速器抽动故障概述

由于水轮机微机调速系统是一个非线性、时变、非最小相位的系统,故想保证在不同的工况下都具有优良的动态品质是非常困难的。

调速器抽动故障是水轮机组在空载或并网运行状态时,导叶接力器、引导阀及主配压阀出现等幅或非等幅的周期性快速往复移动,从而引起一系列故障联动的现象。其外在表现为:主配压阀上下抽动、导叶接力器抽动、桨叶开度跳变、液压油泵启动频繁、机组有功波动等现象<sup>[1-3]</sup>。

调速器抽动故障属于偶发性故障,在处理上具有一定难度,加上水力、机械、电气、环境等各种不确定因素的综合影响,仅仅依靠优化调速器的控制策略、控制算法,无法将其有效根除。

但是一旦这种故障不断累积,最后爆发,就可能使水轮机调速器因振动造成损坏,进而造成极其严重的安全事故。因此,要尽量避免水轮机调速器抽动故障,就需对调速器系统的硬件、软件、控制策略、运行环境等进行全面合理的调整及优化。

水轮机微机调速器抽动故障的外在表现为:主配压阀上下抽动、导叶接力器抽动、桨叶开度跳变、液压油泵启动频繁、机组有功波动等现象。

## 2 高坝洲水力发电厂微机调速器抽动故障分析及处理方法

2014年以来,高坝洲水力发电厂曾出现过负荷波动、桨叶开度跳变、负荷无法达到指定功率等故障,均伴有液压油泵频繁启动、主配压阀抽动等现象。经过分析,都属于调速器抽动故障,但产生的原因不尽相同,处理措施也相应不同。

### 2.1 有功功率调整过程中调速器抽动

2014-10-16日11:58,高坝洲水力发电厂2号机组在有功功率从84 MW调整至40 MW的过程中出现负荷波动,波动范围为38~42 MW,同时出现油泵频繁启动等调速器抽动故障现象。将负荷调整至70 MW后波动消失。2015年1月再次出现该问题,通过调整负荷的方式仍无法消除,将调速器手动/自动切换一次后故障消失。此后多次出现该现象,均通过负荷调整或进行手动/自动切换消除故障。

根据经验,引起有功功率波动的原因有很多,如:一次调频系统的影响、水力系统波动的影响、系统振荡的影响、AGC系统的影响、无功功率波动的影响、调速器控制的影响等。

结合当时的实际情况,首先,出现故障时电网系统频率稳定,机组一次调频未动作,可以排除一次调频系统的影响;第二,高坝洲水力发电厂机组属中水头机组,发生故障时上游来水量均匀无突变,且机组调整负荷对水头的影响甚小,水头保持在33 m左右,因此水力系统波动的影响也可以排除;第三,故障期间,电网系统稳定,未有振荡事件发生,对机组的影响也可以忽略不计;第四,故障发生时,AGC系统正常投入,无异常变化。因此,电厂技术人员对最后两个因素进行了重点分析。

#### 2.1.1 无功功率波动的影响

受机组功率因数的影响,机组有功功率和无功功率之间是相互影响的。如图1所示,机组出现有功功率波动时,无功功率同时出现波动。但从时序上来看,无功功率的波动滞后于有功功率的波动,可以得知无功的波动是由有功波动引起。

因此可以排除本次有功功率波动是由无功功率波动引起的可能。



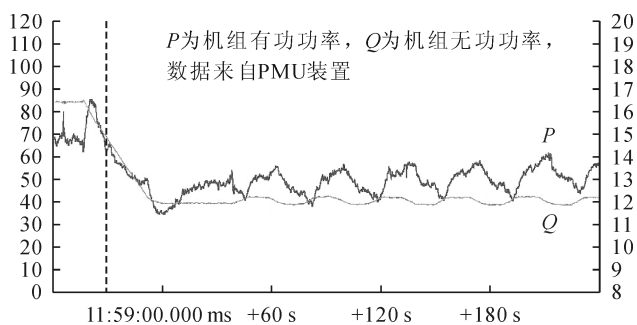


图1 机组出现有功功率波动时的机组  $P-Q$  录波图

### 2.1.2 调速器控制的影响

由图2和图3可看出:机组负荷调整过程中,导叶开度先是动作至协联曲线确定的开度,维持约20s后略微增大。

由此可以认为,在机组有功给定从84 MW调整为40 MW时,导叶回关出现了少量的超调,桨叶随动导叶,也发生了轻微超调,使得机组负荷达到42 MW,超出了功率死区。为控制机组有功功率,导叶开度随即变小,桨叶随动,但桨叶动作较慢,当桨叶动作到位后,机组负荷又跨过了功率死区,如此循环。于是,导叶、桨叶开度就出现了如图3所示的  $P-Y-R$  等幅振荡。

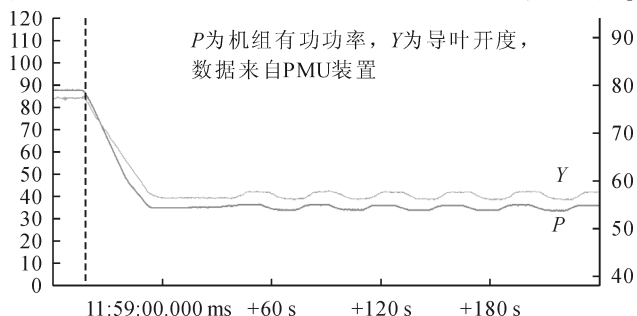


图2 机组出现有功功率波动时的  $P-Y$  录波图

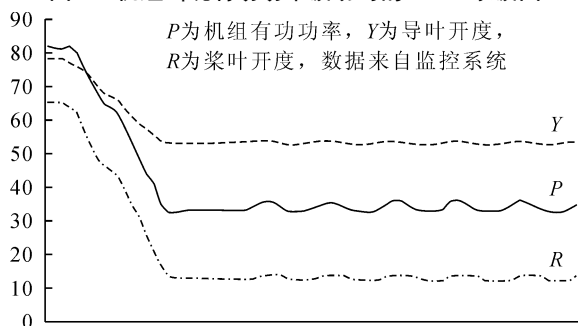


图3 机组出现有功功率波动时的  $P-Y-R$  录波图

为进一步探究调速器对机组负荷的影响,电厂对调速器进行了空载上扰和空载下扰试验。试验结果如图4和图5所示,可以看出,2号机组调速器导叶在上扰过程中无超调现象,在下扰过程中存在超调现象,但在合理的范围内。试验结果与机组在减负荷过程中出现有功功率波动时导叶出现少量超调现象相吻合。

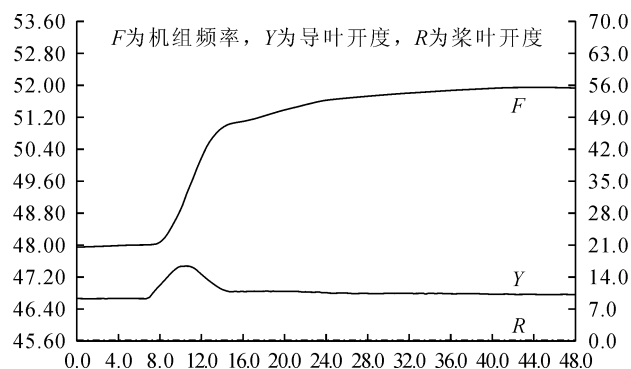


图4 高坝洲水力发电厂2号机组

调速器空载上扰试验录波波形图(48~52 Hz)

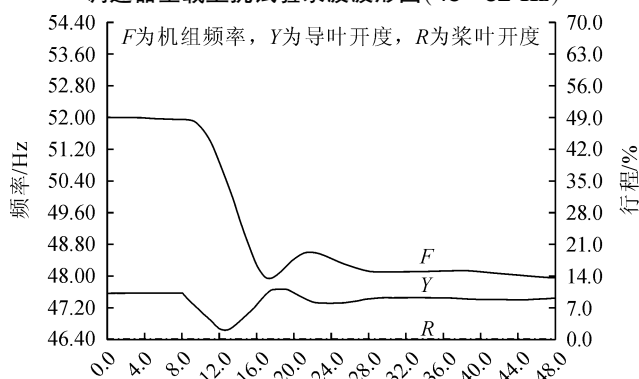


图5 高坝洲水力发电厂2号机组

调速器空载下扰试验录波波形图(52~48 Hz)

通过以上试验可知,此次2号机组有功功率的波动是由机组调速器引起的。主要因为导叶在回关过程中出现了超调,桨叶的随动进一步放大了超调对机组负荷的影响。

原因找到之后,电厂就开始着手进行具体故障设备的排查,排查步骤如下。①当桨叶控制系统出现抽动故障时,将机组导叶控制方式切至“机手动”,观察桨叶抽动是否消失。若消失,则桨叶抽动原因是跟随导叶协联,桨叶系统为正常,需进一步排查导叶系统。②当导叶控制系统出现抽动故障时,将机组导叶控制方式切至“机手动”,观察机组频率值。若机组频率跳变值  $< 0.05$  Hz 为正常,大于跳变值则需进一步检测测频系统。③以上两个步骤均未解决该故障时,则需将导/桨叶控制方式同时切至“机手动”,观察导/桨叶开度值是否有大波动。若跳变数值  $< 0.20\%$ ,则为正常值;若跳变大于正常值,则需检查传感器屏蔽线接地是否正常或是否存在干扰信号,同时检查传感器有无松动。④将导/桨叶控制方式同时切至“机手动”后,还需观察导/桨叶主配压阀中位显示值是否为零点值。如不为零点值请重新校核主配中位零点。⑤将导/桨叶控制方式同时切至“机手动”后,需对机械漂移进行监视观察。若10 min内导/桨叶开度值漂移量

在 $<0.5\%$ ,则为正常;若超过正常值,则需重新调整机械零点。

通过以上步骤的排查,初步认定调速器存在传感器老化、机械零点漂移、透平油优质不佳、控制策略不完善等故障。

因此,利用机组检修期间,电厂对此进行了针对性检查,发现问题如下。①导叶、桨叶引导阀位置传感器不满足运行要求。对主配压阀进行解体检修后发现主配压阀上的导叶、桨叶引导阀位置传感器老化严重,自复中装置并没有准确回归零位。这就造成机组导叶、桨叶引导阀中性点调整时间过长,产生漂移,使主配压阀零位不准确,导致压力泄漏、自复中装置判断错误、继电器位置偏离,进而引起负荷波动和液压油泵频繁启动。电厂将该引导阀位置传感器更换为较先进的电磁感应式非接触继电器。②油质不佳,导致电液转换器堵塞严重。为避免此类因素,电厂对透平油进行了更换,并增设了滤油装置。③控制策略不满足实际需求。由于轴流转桨式机组调速器需要对导叶、桨叶进行双调,其控制策略、控制算法不能太简单,只采用基础的PID运算并不满足现场需要。电厂将此次故障现象反馈给调速器生产厂家,建议生产厂家更新升级调速器控制策略,使用更复杂和及时的控制算法,来使调速器更加“智能”,更加满足多变的现场需求。

## 2.2 有功功率稳定、桨叶开度波动

2016-01-29日,高坝洲水力发电厂2号机组负荷稳定状态下,液压油泵启动间隔为38 min左右,明显缩短;而停机状态下油泵启动间隔为5 h左右,无明显变化。现地检查机组油系统未发现明显漏油点,调速器伺服电机驱动器及PLC装置正常,但油系统管路、压力油罐、回油箱各部温度较高,交流伺服电机温度较高。

调出机组桨叶开度曲线(见图6),发现桨叶开度有持续漂开及跳变现象,约5 min 0.3个开度,漂开1个开度后,跳变回原有开度,往复循环。

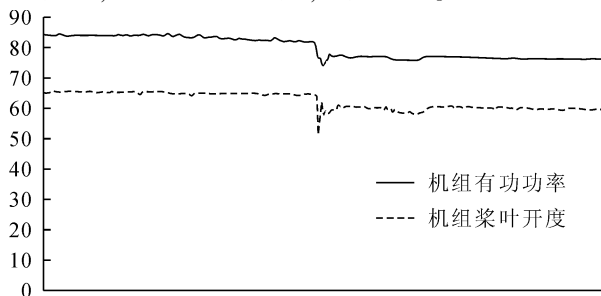


图6 高坝洲水力发电厂2号机组桨叶开度跳变图

经现场检查,排除了调速器控制程序不完善、阀门卡涩、自复中装置偏移、电磁干扰等原因。但出现该故障时,调速器伺服电机频繁转动,温度偏高(超过 $45^{\circ}\text{C}$ )。这说明伺服电机长期保持在处理脉冲信号的状态,脉冲信号可能存在积累。

技术人员发现导致此现象的原因有两个:一是伺服电机驱动器与伺服电机之间控制电缆过长,且无滤波装置,长时间运行造成静电积累致使伺服电机收到的脉冲信号不完整且无法及时释放;二是机组桨叶开度反馈元件位置设置不合理,受到的振动干扰较大,造成调节器收到的桨叶开度值不准确。

为解决该故障,电厂采取了以下措施:

1)针对静电积累的问题,在检修之前,为满足机组正常运行,电厂每隔规定时间将机组调速器控制方式“手动/自动”切换一次,释放控制脉冲,借以消除累积的静电,可暂时缓解脉冲积累和调速器抽动现象,并将其临时列入定期工作。之后利用机组检修期机会,将该控制光缆进行了更新,优化了架设方向,有效缩短了铺设长度,并增加了滤波装置。

2)针对桨叶开度反馈元件位置设置不合理的问题,电厂将该测量反馈元件更换为可有效屏蔽振动干扰的可靠型式,安装在远离振动中心的区域,有效避免了振动干扰。

## 2.3 有功给定不变时,有功功率、桨叶开度同时波动

2018-07-04日,高坝洲水力发电厂2号机组开机并网后,有功功率给定83 MW,但机组有功功率实发值在81~84 MW之间波动,且2台液压油泵启停间隔时间缩短至约10 min。

此故障与2.1节中故障类似,不同的是,此次故障是在有功功率给定未调整的情况下,同时出现了有功功率波动和桨叶开度波动。同样的,通过调取历史数据和波形图,分析得知无功功率波动、水力系统波动、电网系统频率波动均不是此次产生有功功率波动的原因。

现地检查、试验发现,机组有功功率给定为84 MW时,导叶开度维持在87%左右,未发生明显变化,而桨叶实际开度往复出现了2%左右的小幅跳变;有功功率给定为75 MW时,有功功率实发值在72~77 MW之间波动,桨叶开度在75%~80%之间波动;有功功率给定为70 MW及以下时,有功功率实发值与给定值之间差异较小,桨叶开度波动较小,油系统运行趋于稳定。由此可初步判断,在负荷较高的情况下,桨叶开度的波动容易引起机组负荷的波动值超出功率死区,进一步导致导叶、桨叶协联动作,从而引起调速器

抽动故障,增加油压装置用油量。

于是,初步判断该故障与一次调频功率叠加和桨叶位移反馈波动两个因素有关。

经检查,技术人员发现桨叶位移传感器磁滑块有上下抖动的现象,同时历史记录显示桨叶开度的波动量在0.4~0.7之间,且持续漂开。

电厂随即对2号机组进行了低水头条件下桨叶开度与出力的关系的测试。测试将2号机组调速器导叶、桨叶切至机手动,有功给定设置为84 MW。试验发现,10 min内桨叶开度漂开3.5个开度,同时有功增大1 MW,不满足《水轮机调节系统并网运行技术导则》DL/T1245-2013 5.1.11条“继电器在机械手动稳定位置时30 min内位移漂移量,应不大于1%”的要求。

由此可得出桨叶开度波动是机组有功出力波动的主因,且在桨叶开度 $>70\%$ 时,影响更加明显。

为减小2号机组桨叶开度小幅波动对机组有功出力的影响,维护人员调整了该机组调速器控制程序中功率控制区间参数值,将功率调节死区数值由0.8%调整至2%,功率控制目标死区由0.6%调整至1%。同时,更换了桨叶位移传感器磁滑块,调整了安装位置。

调整后,2号机组调速器实际功率与给定功率差值大于 $90 \times 2\% = 1.8$  MW时,调速器功率模式即会通过PID计算对实际出力进行调整;当调整至实际功率与给定功率差值小于 $90 \times 1\% = 0.9$  MW时,调速器停止对有功出力的调整,有功实发稳定在允许区间内。调整后,机组桨叶漂开跳变现象得到缓解,有功功率也趋于稳定。

针对这种同时出现负荷波动和桨叶开度跳变的故障,得出结论:当机组负荷较大时(约大于80%),桨叶开度的变化与机组出力的变化呈强相关性,此特性在2014年由中国电科院完成的调速器建模试验中也被印证。

### 3 解决措施

结合高坝洲水力发电厂2号机组调速器抽动故障的现场处理经验,可以得出:当水轮机微机调节器出现抽动故障时,必须进行系统性综合分析,确定出现抽动故障的原因,从而采取针对性的消除措施<sup>[4-5]</sup>。

主要的措施总结如下:

1)采用更智能的控制策略并优化参数。当数字阀调节进入开度死区时,延时停止数字阀输出,修改优化控制参数,可最大限度减少或避免调速器的抽动,保

证调节顺畅。更新控制程序,采用更先进更智能的控制策略,分别优化比例伺服阀和数字阀控制状态下的调节参数,消除参数设置上的误差,促使其接近于调速器的目标参数,可有效预防抽动故障。

2)将旧式传感器更新为非接触式传感器。非接触式传感器可有效避免机械磨损造成的测量误差。较好地解决了位移传感器平衡点不准的问题,能够满足水轮机微机调速器长期运行的要求。

3)采用合格的透平油并定期滤油。合格的透平油既满足压力传递的需要,又可有效避免乳化、固化、流动性差等缺陷,为调速器的准确调节提供合适的液压力能。当然,透平油也要设置检测、滤油、更换周期,防止长期运行造成油品下降。

4)对传输信号进行滤波处理。若水轮机微机调速器抽动故障是由于信号干扰造成的,则可采用滤波处理。可通过调整主配压阀,过滤掉影响输出信号的干扰波;也可先将比例伺服阀控制信号清零,再根据调速器的抽动状态进行滤波,采取非频率调节的方法,直至伺服阀的工作状态稳定。

5)减少信号传输距离、更换信号传输线路材质。若水轮机微机调速器抽动故障是由于信号传输距离过长造成的,则根据实际情况采取措施尽量减少传输距离。若水轮机微机调速器抽动故障是由于信号传输线路材质不佳造成的,则可更换为屏蔽性能更好的电缆或采用传输可靠性更高的光纤材质。

6)更换测量元件型式及安装位置。测量反馈元件一般安装在导叶、桨叶等机械部位专门设置的机械支架上。因此,开机后机组的振动造成元件振动,使反馈信号出现波动,导致PLC控制器收到的信号并不代表真正的状态。一般来说,机组运行时产生的振动无法有效改善,只有通过将测量元件更换为更可靠的装置型式,并安装在可有效避免振动的位置,才可减少振动干扰。

7)合理调整功率调节死区。合理设置功率调节死区,会减少调速器调整导叶、桨叶开度的频率,进而避免产生调速器抽动故障。

### 4 结 语

水轮机调速器系统有其自有特点,所处的运行环境具有不确定性,倘若其中任何一个环节或因素发生故障,就可能会引起整个调速器系统的不稳定。在实际生产工作中,针对水轮机调速器可能出现的各种故障,尤其是最为常见的抽动故障,应考虑多方面的因

(下转第57页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.013

# 浅析水电站调速器液压系统内漏诊断与处理

段水航

(中国长江电力股份有限公司向家坝电厂,四川 宜宾 644612)

**摘要:** 调速器液压系统内漏会造成系统自启间隔时间缩短,压油泵启动频繁,回油箱油温升高等问题,甚至可能导致机组非计划停运,严重威胁机组的安全稳定运行。制定严谨的内漏试验流程,分析、查找内漏部位及原因,采取针对性的措施,在调速系统设计、制造、加工装配等方面精益求精,对系统各阀组的密封件进行闭环跟踪管理,在密封失效前进行“预防性检修”,可有效控制液压系统内漏问题。

**关键词:** 调速系统;内漏;密封;试验;分段关闭阀

中图分类号:TV698

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)05-0051-04

## Analysis and Treatment of Internal Leakage of Governor Hydraulic System in Hydropower Stations

DUAN Shuihang

(Xiangjiaba Hydropower Plant, China Yangtze Power Co., Ltd., Yibin 644612, China)

**Abstract:** Internal leakage of the hydraulic system of the hydro-turbine unit governor may lead to various problems such as the decrease of the interval of automatic startup of the system, frequent startup of the pressure oil pump, oil temperature rising of the sump oil tank, and even the unplanned shutdown of the unit, which may seriously affect the safe and stable operation of the unit. A rigorous internal leakage detection process is developed to locate the leakage position and the causes. Then, corresponding treatment measures are proposed. To effectively control the internal leakage problem, we should keep improving the quality of the design, manufacture, machining and assembly work of the governing system, adopt a close-loop tracking management of the seals of all valve parts, and conduct preventive maintenance before sealing failures.

**Key words:** speed governing system; internal leakage; sealing; test; sectional closing valve

巨型混流式水轮发电机组机械部分主要由水轮机、发电机、调速器三部分构成,其中调速器液压系统为控制机构,它主要由油压装置系统、主配压系统、事故配压系统、分段关闭系统及接力器组成,通过这些子系统的相互协同运作,实现了机组开停机、负荷调节等操作(见图1)。调速系统作为水轮发电机组控制系统的“心脏”,全面控制机组运行,保证输出电力负荷的稳定性。其功能主要有:在单台机组运行时用来维持机组转速的恒定(频率调节模式);承担机组启动、停机、并网和增减负荷等操作;在并网运行时,按有差特性承担系统的负荷,实现按功率调节、开度调节、频率

调节、水位调节模式运行;是水电站与机组的安全监控系统的执行装置之一,事故时通过紧急停机电磁阀或事故配压阀快速关闭导叶切断水流,使机组紧急停机或事故停机,保护机组及电站厂房的安全。

### 1 水电站调速系统内漏情况概述

国内某巨型电站调速器油压装置系统由3台大油泵和1台小油泵共同提供压力油源,机组正常运行情况下,当系统油压低于6.15 MPa时,小油泵启动为系统充油补压至6.3 MPa;机组备用期间,当压力油罐油压低于5.9 MPa时或压油罐油位小于1 635 mm,大油

收稿日期:2019-11-12

作者简介:段水航,男,工程师,从事水电站调速系统的检修和维护方面的工作。

泵启动为系统充油补压至 6.3 MPa。机组备用期间,调速系统内漏量和压油泵启动频次直接相关,并成正比。

2017年3月至5月间,某机组调速系统小压油泵加载时间间隔由 50 min 减小到 18 min,每次加载时长从 5 min 增加到 7 min,加载时间间隔呈逐渐缩短趋势;机组停机备用期间,调速系统大泵启动加载时间间

隔由 24 h 减小至 1.2 h,自启能使时间间隔亦呈逐渐缩短趋势。

两种情况均可表明调速系统内漏情况的恶化:①机组正常运行时,小油泵加载时间间隔缩短、每次加载时长延长;②机组停机备用期间,自启能使时间间隔缩短。

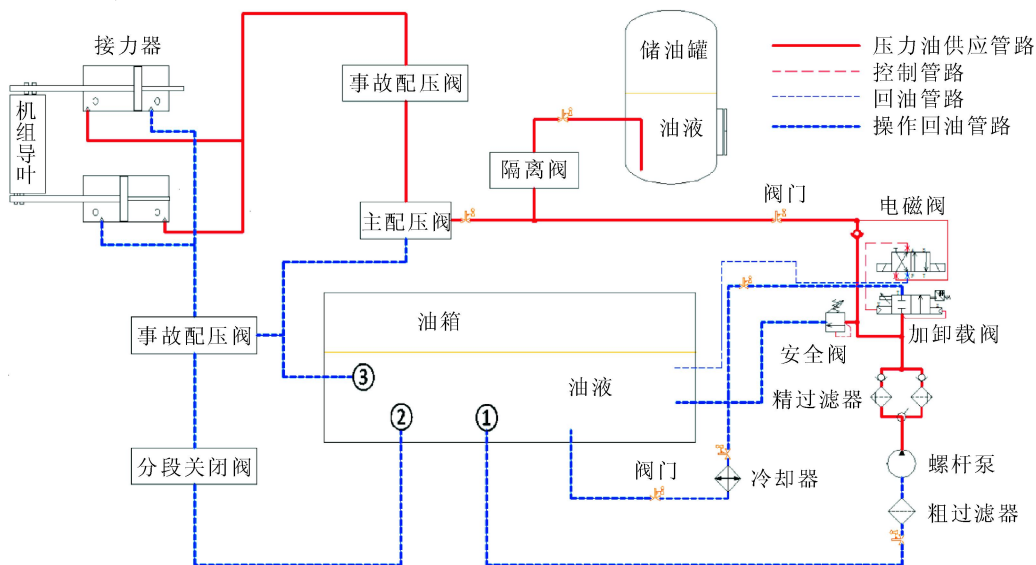


图1 混流式水轮发电机组调速系统概览图

## 2 水电站调速系统内漏危害

水电机组调速器液压系统漏油有外漏和内漏两种情况。外漏主要是油管破裂、接头松动、紧固不足等情况造成的,只需运行维护人员在机组状态条件允许的情况下,做好安全保证措施即可处理;而内漏主要是液压系内部串联、并联的球阀、主配压阀、液压插装阀、接力器等设备内部零部件或密封老化、损坏造成的,往往比较隐秘,不易被发现,需要完整的试验流程,甚至借助超声波流量计等仪器进行检测,才能够准确查找和排除。调速系统内漏的危害主要有:

1) 停机备用状态下,调速器液压系统自启使能时间间隔缩短,压油泵启动频繁,油泵机械部件磨损加剧,造成轴承发热严重、振动噪声增大等问题;

2) 调速系统油温上升,油品黏度降低,进一步加剧液压系统内漏情况,形成恶性循环;

3) 压油泵启停频繁,导致联轴器弹性体破损,油泵无法运转,影响调速系统安全稳定运行,甚至可能造成机组非计划停运;

4) 调速系统油温长期维持在 45℃ 以上,油品加速老化、劣化,调速系统液压元件内部油泥产生量增加,

透平油使用寿命缩短;

5) 接力器活塞导向环破损会导致本体内漏,主配压阀调节频繁,步进电机及驱动器发热严重,严重内漏会导致负载时有功晃动,空载时并网困难(见图2);

6) 在导叶端面间隙测量时,往往需要导叶开度保持在 30% 左右,调速系统撤压过程中,事故配压阀会在 0.8 MPa 以下自动动作,如在撤压过程中进行导叶端面间隙测量,调速系统事故配压阀主供油源阀的内漏,会造成导叶异常快速关闭,严重威胁测量人员的人身安全。



图2 接力器导向环撕裂情况



### 3 水电站调速系统内漏试验流程

当调速器液压系统发生内漏时能够迅速找到原因,提出有效的解决办法十分重要。由于液压系统是密封带压系统,管路中油液的流动情况,液压元件内部的零件动作和密封是否损坏都不易观察到,因此分析内漏的部位和内漏原因都比较困难,需要行之有效的试验方案,才能保证准确、高效的找到内漏部位。

观察调速系统回油箱内冒油情况,步骤为:

1)退出调速器液压系统“自启使能”,打开回油箱上方人孔门盖板,观察回油箱有无油液流动迹象,可直观判断出漏油管路的所属回路。

2)如发现图1中回油箱1号管路冒油,表明压油泵出口加载侧单向阀内漏,造成压力油串入油泵出口管路,油泵反转,回油箱中油泵进口处冒油。

3)如发现图1中回油箱2号管路冒油,表明分段关闭阀、事故配压阀或接力器内漏。首先全开、全关相应主阀体的控制油源阀,并依次动作事故配压阀、分段关闭阀查看回油箱内的冒油情况,综合判断内漏设备;其次查看接力器进、排油管及缸体处是否有较大的窜油声音,用燥声仪辅助测量其进、出油管处的分贝数,用红外线测温仪辅助测量其管体温度,同时与其他机组接力器进行横向比较,综合判断接力器内漏的情况。

4)如发现图1中回油箱3号管路冒油,表明主配压阀或事故配压阀内漏。首先动作事故配压阀,查看管路冒油情况,如停止冒油,则确认为事故配压阀内漏;如依然冒油,应是主配压阀内漏,可查看主配压阀内油流的噪声情况进行确认。

5)如发现回油箱中控制回油管路冒油(因控制油管较多,图1中未标明),首先怀疑事故配压阀和分段关闭阀的控制回油腔和操作油腔串油,结合全开、全关控制油源阀和动作事故配压阀、分段关闭阀可综合判断出内漏设备。

6)如确认渗漏点为事故配压阀或分段关闭阀,可将该设备与系统隔离,用打压泵依次对疑似渗漏点单独进行打压试验,可确认渗漏部位。

7)可在调速系统“机手动”模式下,调整主配压阀中位,同时观察回油箱中主配压阀回油管的冒油量来判断主配压阀是否存在内漏。

其他内漏情况:①使调速系统主供油管路保持额定压力,查看油泵电机有无反转现象,可判断油泵出口

加载侧单向阀有无内漏;启动1台泵,并保持卸载状态,检查其他油泵有无反转现象,可判断油泵出口卸载侧单向阀有无内漏;②全开图1中隔离阀和储油罐之间的阀门,全关隔离阀与主配压阀之间的阀门,观察系统管路压力变化情况,可判断出隔离阀是否内漏;③投入紧急停机电磁阀、动作事故配压阀、全关事故配压阀主供油源阀和事故配压阀主供油源阀,观察系统管路压力表变化情况,如事故配压阀主供油源阀内漏,可在调速系统撤压前及时处理,有效防止本文2中第6)条发生。

### 4 水电站调速系统内漏处理及改进建议

#### 4.1 调速系统内漏处理

1)针对调速系统主供油管路上的大通径球阀,球体密封无法在不拆阀门的情况下更换,如事故配压阀主供油源阀、主配压阀主供油源阀、主配压阀检修阀等发生内漏,应制定方案,及时更换新球阀。

2)针对隔离阀、事故配压阀、分段关闭阀等液压插装阀,更换造成内漏的密封即可解决内漏问题。如插装阀的壳体密封、活塞密封、衬套密封等。《液压插装阀阀芯密封更换装置》和《液压插装阀连接座拆卸装置》两个实用新型专利装置(见图3),可显著提高更换密封的效率,保证施工过程的安全,专利申请号为:2018210698282和2018210705040。

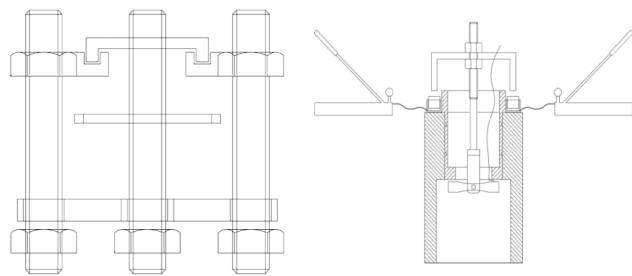


图3 液压插装阀阀芯密封更换装置和  
液压插装阀连接座拆卸装置示意图

3)针对设计原因造成的,更换密封后无法解决内漏的密封部位,或更换新密封后,耐久性不足1年的密封部位,应联系设计单位、制造单位,进行密封换型论证。国内某巨型水轮机组调速系统分段关闭阀连接座密封因O型密封圈内漏方面耐久性不足,更换为哑铃型密封件后,内漏问题得到了彻底解决(见图4)。

4)针对接力器的内漏,水轮发电机组B修或A修时,可将接力器缸盖拆除,检查活塞导向环的使用情



图4 调速系统分段关闭阀连接座密封换型图

况,需要更换时3层导向环层间错位120°安装。回装后,制作专用装置对接力器进行打压试验,测量漏油量。机组并网运行后,查看接力器进、出油管及缸体处的窜油声音,测量进出油管处的分贝数及管体温度,与修前接力器的内漏情况进行比较,提供数据支持。

#### 4.2 防止、减小调速系统内漏的建议措施

1)对关键部位密封件进行“预防性检修”。统计调速系统所有密封件,生成汇总表,包括密封件的名称、型号规格、安装部位、已使用年数、风险说明等内容,依据风险说明,对可能造成重大外漏、内漏后果的密封件,进行重点管理,在其使用寿命年限内,未失效前进行“预防性检修”,更换新的密封件。

2)严控制造、加工质量。调速器液压系统中一些间隙密封,以及由于加工装配误差、磨损不均和零件工作变形等产生的缝隙,它们因工作时动作磨损而逐渐增大。当油流经这些缝隙时,必然引起泄漏。液压系统各元件生产过程中,严格控制加工精度,同时尽量缩小装配误差,对新投入使用的液压系统必须认真清洗后,才可使用,以消除装配时留下的各种杂质、污物,减小液压系统运行中的磨损。加工制造时保证液压插装阀各控制腔之间有足够强度,防止机组运行过程中,液压插装阀阀体内暗管之间被油压击穿,威胁机组的安全稳定运行。

3)运用设备趋势分析系统,跟踪液压系统运行规律。利用设备趋势分析系统,查看各台机组运行时的油泵加载间隔时间和机组停机备用时自启使能时间间隔等历史数据,生成折线图等图表,实时跟踪,定期分析。运行维护人员进行机组巡检时,记录回油箱油温、主配压阀调节频率,以辅助判断调速系统内漏量的变化情况。

4)增设计量元器件,辅助分析判断。调速器液压

系统会配置一些基本的测量元器件,如压力油罐、压力气罐本体安装压力表、空气安全阀等安全附件,还有液位计、压力传感器、压力开关等测量元器件,监控压油罐安全运行;系统管路上设置压力传感器、压力开关等测量元器件,以监控液压系统管路上的压力波动。

仅依靠基本测量元器件,运行维护人员较难对调速器液压系统内漏情况进行准确判断,必要时,可在操作油管和控制油管路上增设压力表、流量计等测量元器件。如在事故配压阀操作油管路上增加压力表,可在机组停机备用状态下,快速判断事故配压阀主供油源阀的内漏情况;在分段关闭阀连接座控制油管路上增加压力表或流量计,可直观的判断出分段关闭阀的内漏情况;在接力器开腔管路上增加压力表、流量计,可快速判断出接力器的内漏情况。水电厂生产管理人员可依据本电站调速系统的具体布置情况,在不产生设备安全隐患的情况下,增加必要的计量元器件,辅助分析判断调速系统各阀组的内漏情况。

## 5 结 语

水电站调速器液压系统内漏是比较常见的问题,同时又是影响调速系统安全稳定运行的一个比较严重的缺陷。要分析、控制、减小调速系统的内漏量,首先要在设计、制造、加工装配等方面做好管理工作;其次运行维护人员必须充分了解整个液压系统的动作原理、结构特点和元件及材料配置情况;最后重中之重是对调速系统各阀组的密封件进行闭环跟踪管理,在密封失效前进行“预防性检修”,提出有针对性的措施,可有效控制液压系统内漏问题。水电站运行维护人员及时发现调速系统内漏,并积极分析处理,提升调速系统稳定运行特性,保证水电站机组安全可靠运行。

#### 参考文献:

- [1]陈安明,雷山凤.对隔河岩电厂4号机调速器接力器窜油的分析及处理[J].水电与新能源,2016(3):41-42,51
- [2]吴甲铨.调速器的运行与故障分析[M].北京:中国水利水电出版社,1997
- [3]李国晓.水轮机调速器运行与维护[M].北京:中国水利水电出版社,2012
- [4]师柱.水电站调速系统漏油的分析与处理[J].工业B,2016(7):194-194
- [5]蔺峰.向家坝电站调速系统内漏试验方法简析[J].工业,2016(1):169-169

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.014

# 向家坝升船机通航调度管理系统设计与应用

徐新才<sup>1</sup>, 孙文才<sup>2</sup>

(1. 长江三峡集团福建能源投资有限公司, 福建 福州 350000; 2. 三峡机电工程技术有限公司, 四川 成都 610000)

**摘要:** 升船机是向家坝水电站的唯一通航建筑物, 为确保升船机安全、高效、有序运行, 利用先进的 B/S 架构开发设计了升船机通航调度管理系统, 实现了船舶通过升船机一系列流程的信息化、便捷化。该系统在向家坝升船机的成功应用, 证明了其设计的可行性。

**关键词:** 升船机; 通航调度管理系统; 系统功能

**中图分类号:** U642      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1671-3354(2020)05-0055-03

## Design and Application of Navigation Dispatching Management System in Xiangjiaba Ship Lift

XU Xincai<sup>1</sup>, SUN Wencai<sup>2</sup>

(1. Fujian Energy Investment Co., Ltd., China Three Gorges Corporation, Fuzhou 350000, China;

2. China Three Gorges Mechanical and Electrical Engineering Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

**Abstract:** Ship lift is the only navigation structure in Xiangjiaba Hydropower Station. In order to ensure the safe, efficient and orderly operation of the ship lift, a ship lift navigation dispatching management system is developed with the advanced B/S architecture, which realizes the informatization and convenience of the ship passing processes. The successful application of the system in Xiangjiaba Ship Lift demonstrates the feasibility of its design.

**Key words:** ship lift; navigation dispatching management system; system functions

向家坝水电站通航建筑物型式为一级全平衡垂直升船机, 布置在河道左侧, 主要由上游引航道、上闸首、船厢室段、下闸首和下游引航道等五部分组成, 全长 1 530 m<sup>[1]</sup>。升船机按 IV 级航道设计, 最大单船为 1 000 t 级货船; 最大提升高度为 114.2 m, 机型采用全平衡齿条爬升螺母柱保安式<sup>[2]</sup>。

向家坝升船机设计全年通航天数为 330 d、日运转 22 h、日运转循环次数为 17 次。为提高升船机的运行效率, 确保船舶安全、有序通航, 在研究其他枢纽通航调度的基础上, 并结合实际需求, 建立了向家坝升船机通航调度管理系统。

### 1 系统功能

在结合向家坝升船机通航需求和现有的边界条件下, 利用先进的 SOA(service-oriented architecture) 架构和标准规范, 并通过构件化、图形化、一体化的平台

产品提供了完整的覆盖 SOA 应用全生命周期的支撑, 遵循 J2EE(Java 2 Platform, Enterprise Edition) 技术规范, 并采用成熟的三层应用架构开发设计了向家坝升船机通航调度管理系统<sup>[3]</sup>。该系统实现了业务数据、业务逻辑、用户展示相分离, 利于系统横向纵向扩展, 实现系统性能动态提升、资源动态扩展等, 实现了向家坝枢纽高效、快速通航调度, 其系统总体架构如图 1 所示。

该系统实现了船舶定位动态管理(从 VTS 接收船舶相关动态信息、手机定位等)、船舶过机申报(设置移动终端应用系统, 用于过机申报与船舶安检信息录入)、智能化调度方案生成、调度计划信息通知、调度计划管理、调度管理、违章管理、水位和气象管理及信息发布、数据统计分析、船舶数据库基础信息管理、日志管理、权限管理和运行管理等功能; 开发网页发布平台, 实现了向家坝调度计划信息对社会公开, 开通了微信公众号平台, 其系统功能如图 2 所示。

收稿日期: 2019-12-09

作者简介: 徐新才, 男, 工程师, 主要从事水电站运行、信息化管理等方面的工作。

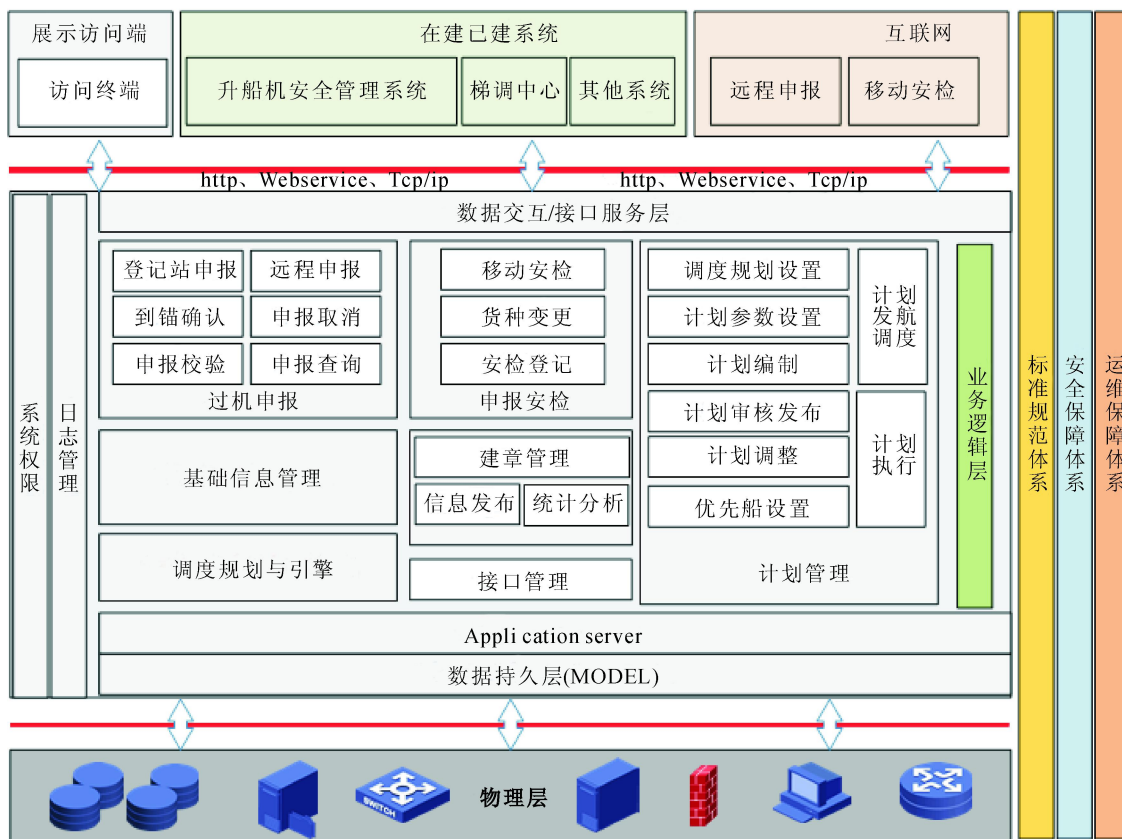


图1 向家坝升船机通航调度管理系统总体架构图

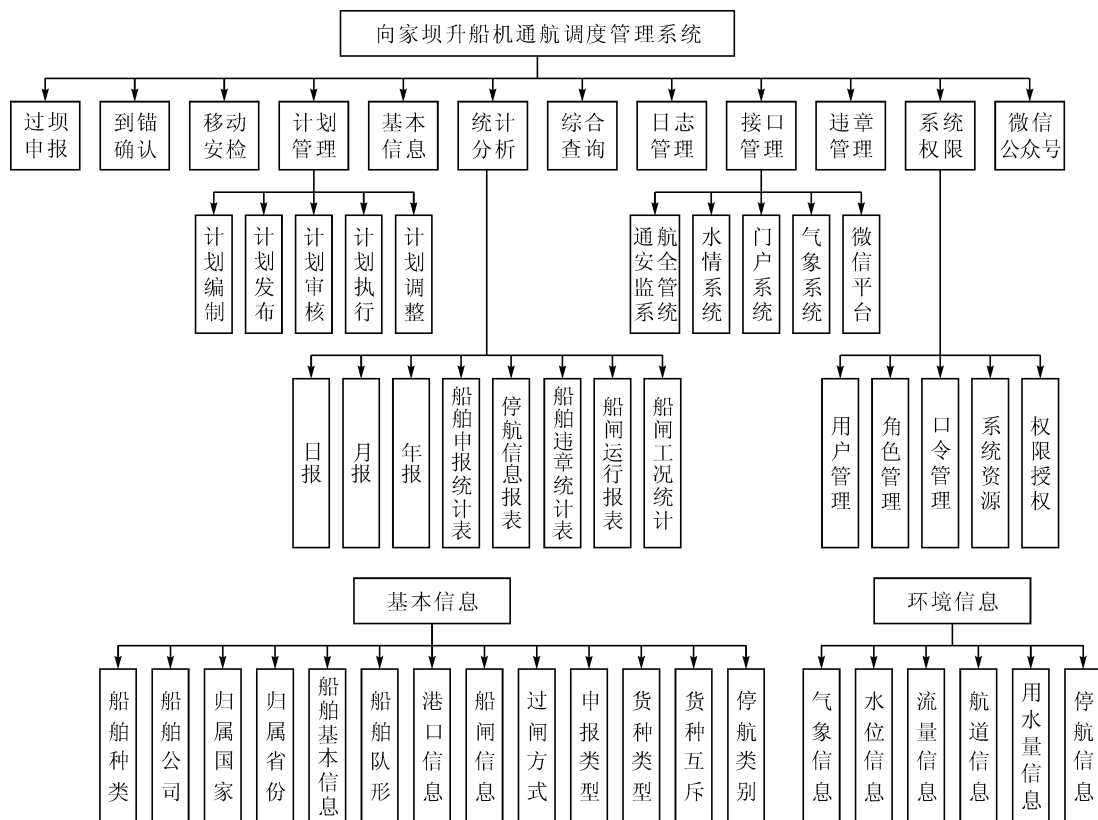


图2 向家坝升船机通航调度管理系统功能架构图

## 2 系统特点

向家坝升船机通航调度管理系统实现了升船机通航调度管理需求,并与已建的安全设施结合起来,实现了对运行区域内船舶的在线监控。具有如下特点:

1)采用先进的 SOA 架构和标准规范,并通过构件化、图形化、一体化的平台产品提供了完整的覆盖 SOA 应用全生命周期的支撑;遵循 J2EE 技术规范。

2)通过采用成熟的三层应用架构 SSM,实现了业务数据、业务逻辑、用户展示相分离,利于系统横向纵向扩展,实现系统性能动态提升、资源动态扩展。

3)采用手机 APP 与 AIS 融合定位技术,根据不同的管理需求分别建立业务管理图层,实现了整个航域的航道、升船机、船舶等数据的图层汇聚和可视化展示。在重点监控区域,建立了高比例尺的 AIS 地图,并将船舶航行、过机相关的各类动、静态信息(包括升船机设施、水位、过机、待机船舶和升船机状态等重要信息)分别展现在不同的 AIS 管理图层中,为航道及升船机的运行调度提供了支持。

4)智能通航调度系统 APP 采用 IOS 和 Andriod 原生加 web 混合模式,内网接口通过 http 协议和 xml 格式进行接口。

5)开发了升船机船舶调度排挡算法技术。

6)采用全新的移动互联网技术应用于船舶调度与船舶安检。

## 3 经济和社会效益

向家坝升船机还没有正式通航时,凡是经过枢纽断面的大宗物资都必须经过上下游翻坝码头进行货物转运来满足物资流通需求,耗费的资源主要包含汽车运输的油费、路费、道路养护、汽车损耗、码头物资装卸机械损耗、人力资源等,以现金计算每年累计不低于1亿元。升船机通航后,除不具备通过升船机通航条件的船舶,其他船舶及大宗物质都可以通过升船机进行运输,极大降低了翻坝转运的地方补助费用。特别是

(上接第50页)

素,不断从实践中探索解决方案,尽量避免故障发生,将不稳定因素消除在萌芽状态,提高设备的可靠度,保证水轮机组设备的稳定运行。

经过落实以上措施,高坝洲水电厂机组出现调速器抽动故障的概率大幅降低,有效避免了该故障引起的机械损伤、设备疲劳等隐患,提升了设备健康水平。同时,也为国内轴流转浆式水轮机组如何有效避免出现同类型故障,提供了切实可行的方案。

2017年上游船厂已根据升船机可通船的规格设计新型船型,该船型投入使用后将极大地提高航运效益,带动金沙江上游经济的快速发展。而该系统则实现了过机船舶的高效、有序的调度。

在社会效益方面,主要体现在如下方面:

1)有效提高航运管理水平,确保通航安全,通过信息化的航运管理手段可以提升金沙江航运的国内影响;

2)运用现代化监控监管手段,有利于提高调度效率,减少船舶滞留时间,从而提高船舶运输企业和港口的营运效益,极大地提升了升船机服务对象及相关方的满意度;

3)通过系统实现对未来一段时期内交通流情况做出科学的预测,并采取有效管理手段,通过调度系统、升船机、锚地的综合协同调度,提升管理水平。

## 4 结语

2018年5月,升船机试运行通航调度系统已同步运行,至今已顺利平稳运行了8个多月,累计运行1148厢次,安全调度通过船舶1015艘次,通货量达35万t,为金沙江流域向家坝航段上下游带来巨大的直接、间接经济效益与社会效益。

升船机通航系统采用成熟的技术架构和通用的业务架构,以通用架构与个性需求相融合的原则,在使用过程中不断优化调度运行业务流程,保证设备的可靠运行,以满足向家坝通航的新需求;同时,由于不同枢纽通航调度的范畴及调度业务流程的类似性,因此该系统具备广泛的推广性和可实施性。

### 参考文献:

- [1] 钮新强,覃利明,于庆奎.三峡工程齿轮齿条爬升式升船机设计[J].中国工程科学,2011,13(7):96-103
- [2] 赵锡锦.三峡升船机工程建设综述[J].中国工程科学,2013,15(9):9-14
- [3] 刘贤梅,刘茜,徐锋.基于SOA的企业应用集成模型的研究[J].计算机工程与设计,2009,30(16):3790-3793

### 参考文献:

- [1] 林繁鑫.水轮机调速器系统抽动故障及其消除措施[J].科技与企业,2015(9):238-238
- [2] 姚远.发电机组桨叶频繁抽动分析及处理[J].东北水利水电,2014(8):58-59
- [3] 徐朝晖,陈乃祥,樊红刚.基于古而维茨判据分析水轮机调速器配压阀抽动原因[J].水利水电技术,2003,34(2):59-61
- [4] 王玲花,沈祖诒,陈德新.水轮机调速器控制策略研究综述[J].水利水电科技进步,2002,22(2):56-58,62
- [5] 王韧.水轮机调速器抽动故障及解决措施[J].科技资讯,2016,14(27):49-49,65



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.015

# 浅析吸排油雾装置在水电站的应用

邓尧曦<sup>1</sup>, 叶玉麟<sup>2</sup>

(1. 国家能源集团国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900; 2. 中国水电基础局有限公司, 天津 301700)

**摘要:** 水轮发电机组轴承油槽甩油是一种常见缺陷, 为了解决此问题, 往往采用改善油槽结构或密封方式等, 但都不能彻底解决某些甩油现象。国内外文献中鲜有报道的吸油雾装置是中国水电基础局一种解决油雾现象的新型装置, 它从油雾产生机理出发对油雾进行搜集, 效果较好。通过对多种类型吸油雾装置的结构和原理研究, 应用于某电站的吸油雾装置改造, 取得了良好的效果。

**关键词:** 吸油雾装置; 轴承油槽; 甩油

**中图分类号:** TK730.<sup>4+5</sup> **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)05-0058-04

## Application of Oil Mist Absorption and Drainage Device in Hydropower Stations

DENG Yaoxi<sup>1</sup>, YE Yulin<sup>2</sup>

(1. Dadu River Maintenance and Installation Co., Ltd., China Energy Investment Corporation, Leshan 614900, China;

2. Sinohydro Foundation Engineering Co., Ltd., Tianjin 301700, China)

**Abstract:** Oil spill of the bearing oil groove is a common problem observed in hydro-turbine generator units. In order to solve this problem, measures such as improving the oil groove structure or the sealing modes are usually adopted. However, these measures cannot completely solve the oil spill problem. Oil mist absorption device is a novel facility to solve the oil spill problem, while it is seldom reported in literatures. Based on the oil mist generation mechanism, it can effectively collect the oil mist. Following the analysis of the structure and working mechanism of several types of the oil mist absorption devices, the successful application and renovation practice of the oil mist absorption device in a hydropower station are introduced. It provides useful reference for other hydropower stations to solve the oil spill problem.

**Key words:** oil mist absorption device; oil groove of bearing; oil spill

目前, 国内外的水轮发电机组的导轴承和推力轴承多采用油槽冷却方式, 轴承油槽因结构设计形式、制造安装质量以及运行工况等因素的影响, 运行中存在甩油及油雾溢出现象。无论是早期机组还是近期机组、国内机组或者国外的机组, 立式或卧式机组均会出现油雾泄漏问题, 油雾的形成不仅影响水电站清洁卫生, 严重时导致轴承油槽内油位下降, 降低冷却效果, 从而影响机组的安全运行。

### 1 油雾形成的原因

水轮发电机组在运行过程中, 油槽中的润滑油会被高速运转的部件甩出, 使油飞溅和雾化, 当油雾聚集到一定程度, 油槽内空气压力升高, 油雾就会从密封部

件与转动部件结合的薄弱处溢出, 包括轴承油槽盖与大轴间缝隙、呼吸孔、油槽盖板接缝处、内挡油筒等, 导致大量油雾在发电机内部弥漫, 在定子、转子绝缘层上形成油雾附着层造成腐蚀, 使其绝缘性能下降, 极易造成发电机定子转子线圈短路或击穿, 威胁发电机的运行安全。油雾附着灰尘在定子铁芯通风沟和转子磁极通风沟处堆积, 造成发电机通风散热变差, 严重影响发电机散热效果。另外也会与碳刷粉末在滑环室结合形成油污, 附着在刷架和集电环支架上, 致使接地短路, 严重影响机组的安全和运行。历年来各电厂及主机厂技术人员针对清除油雾问题采取多种措施。有些措施短期能取得一些效果, 运行一段时间则无法有效解决此问题。

收稿日期: 2019-09-18

作者简介: 邓尧曦, 男, 助理工程师, 主要从事水电厂检修方面的工作。

## 2 油雾的泄漏处理措施

轴承油槽油雾过重是各个水电站普遍存在的问题,各电站采用多种手段对油雾进行处理,主要有以下几点。

### 2.1 设置呼吸器

在水轮发电机冷却油槽盖外壁上安装呼吸器,呼吸器内部有互相交错的挡板,油槽内溢出的油雾沿着挡板排出,其工作原理是延长油雾的溢出路线,使部分油雾凝集在呼吸器挡板壁上,对减少油雾溢出会产生一定的效果。

几乎所有的水轮发电机轴承设计时均设有呼吸器,以释放油槽内部压力。但因为发电机内部结构空间小、油槽内油位较高,油槽内油位上部空间无法加大到理想程度,造成油雾容积空间不足,油槽内油雾压力高于外部压力,呼吸器无法全部聚结通过的油雾,从而形成了油雾外泄的直接通道。某些电厂在机组运行过程中就明显的观测到油雾从呼吸器外泄。

### 2.2 改善油槽内部结构

优化油槽内部结构有助于减小油面波动,防止油雾溢出。通过增加挡油管的刚度、圆度,防止运行时与转动部件产生泵效应;另一方面是增加稳油板或稳油密封盖,尽量减小油面波动;再有就是设置吸油雾装置及补气管路,及时将机组运行时产生的油雾排出,防止油雾聚积、溢出污染定转子。

从改善油槽内部结构以减小油面波动,防止油雾溢出方面着手,在已投运的机组中改造难度巨大,很难实现。在新项目设计中由于油槽内部轴承结构复杂,不确定性过多,加之安装调试差异,导致常出现同一结构在不同电站或同一电站不同机组中差异很大,无规律可循,也由于水轮发电机设计生产单位因设计周期

短,油雾问题一般不在机组性能指标考核范围内,重视度不足,在国外也无成熟技术方案,所以一直没有从根本上解决油雾问题。

### 2.3 改善密封

近10多年来行业内的专家、技术人员都从改善轴承油槽密封方面进行了大量的探讨和实践,取得了一些成果。很多方法都试图解决轴承油槽转动部件与固定部件接触面的密封问题。希望通过这一问题的解决可有效地解决轴承甩油和大轴的爬油外溢问题,使机组内部的油污污染得以根本解决。但是这只是“堵”的方法,密封严密了,油槽内部的油雾并不会减少,并且因为油槽在结构上并不是一个完全密闭的承压空间,这就造成了油雾会寻找出路,释放压力。从而加大了呼吸器、内挡油桶、油槽盖板间隙等处的油雾外泄量。经常出现对油槽盖板密封结构加强了以后,油雾大量从油槽内挡油桶溢出,水车室油雾明显增加的现象。油雾外溢的问题并没有彻底解决。

### 2.4 加装油雾吸收装置

此类油雾收集装置的统一特点是通过风机产生压力将油槽内的油雾吸出,再通过各种方式将油雾分离(有离心式、静电式、过滤式等),通过在油槽上开有孔洞或者通过管路把油雾吸入油槽内部。

吸油雾装置是新建电站常用设备,提升了以往通过改变结构或者密封减少轴承油槽油雾的方法,从而使油槽油雾大大减少,图1是某电站的导轴承油槽吸油雾装置布置。

## 3 吸油雾装置的分类

### 3.1 平压式和负压式吸油雾装置

平压式吸油雾装置采用小风量大风压风机,腔体

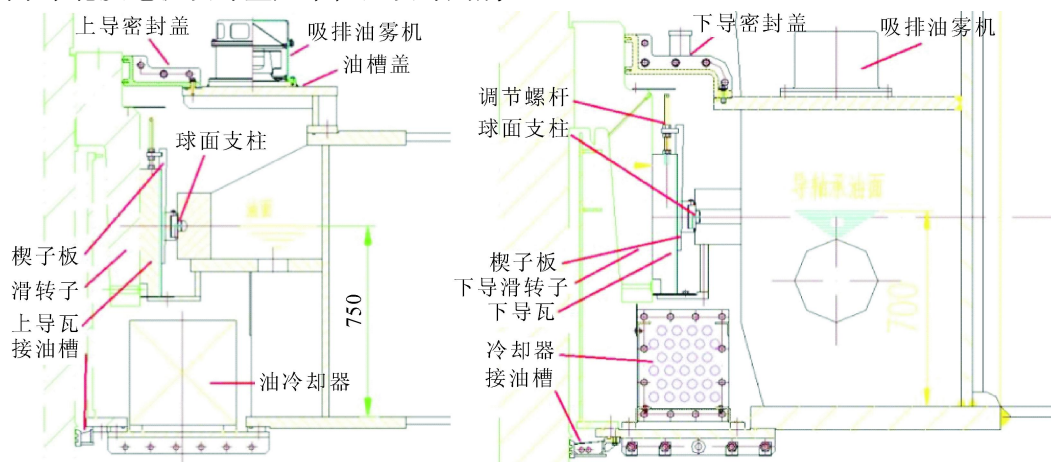


图1 某电站导轴承吸油雾装置布置图

与呼吸孔之间无任何阻隔,腔体外壳进气阻力小于孔内油雾吸出的阻力,只需要对溢出油雾抽取,这样就不会对油槽内部形成负压,抽取油槽内的油雾,将溢出到吸油软管中的油雾通过多层过滤将油滴凝结在过滤介质中,排出洁净空气,可保持油槽内外空气压力的平衡,不会在油槽内形成负压,无油品损失,并可通过轴承油雾吸收装置中的排油孔将收集的油品直接排入油槽(见图2)。



图2 平压式吸油雾装置图

负压式吸油雾装置的统一特点是通过风机产生负压将油槽内的油雾吸出,再通过各种方式将油雾分离

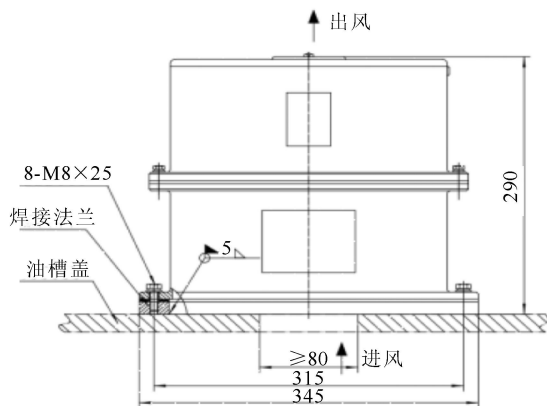


图3 直排式吸油雾装置图

壁挂式吸油雾装置不在油槽盖板上开孔,而是通过管路回收油雾,功率往往较大,将其挂在机架,它的主要特点是风机功率大,风压大、风量高,适合安装在基坑外,通过较长的吸风管路收集油雾,如图4、图5,不同的型号各项参数也不一样,如表1。

#### 4 某电站吸油雾装置改造

某电站接触式密封处油雾长期存在泄漏问题,影响了机组正常运行,为解决此泄漏问题,拟从双层密封中间对称位置各开1( $\phi 65 \sim \phi 100$  根据油槽盖尺寸确定)圆孔,并接1根不锈钢引流管与之相连,并布置油槽外侧的主管连接。主管下部装有密闭式回油桶,主管上部安装具有呼吸器功能的吸油雾装置。

(有离心式、静电式、过滤式等),由于油槽内的油雾是持续产生的,而且油面上的空气都是油气混合物,在被抽出的一瞬间,新的油雾立刻产生,故对油雾收集装置的油雾处理能力要求很高,现各电站多采用负压式吸油雾装置。

#### 3.2 壁挂式和直排式吸油雾装置

直排式吸油雾装置通过法兰盘安装在发电设备油槽开口上,如图3所示,包括底端带有开口的连接法兰盘,在连接法兰盘上面设有风机壳体,风机壳体的空腔内设置有风机,风机上有风机上面设置有滤油网,滤油网从上面封闭风机壳体的空腔;在风机壳体上端,设置有若干个出风口,滤油网、风机壳体的空腔、法兰盘的开口相连通,形成气体流动通道。由于直排式风机有封闭油槽开口,使从油槽开口飘散出来的油雾能全部吸入装置内进行分离处理,所以油雾在装置内被离心分离处理,它有几大优点:①上端经滤油网二次分离,分离效果较好;②具有较强的环保作用,能保护发电设备周围的环境;③安装方便,不需要进出管路连接,可在较小空间内安装,非常适合安装空间受限的发电的需要。

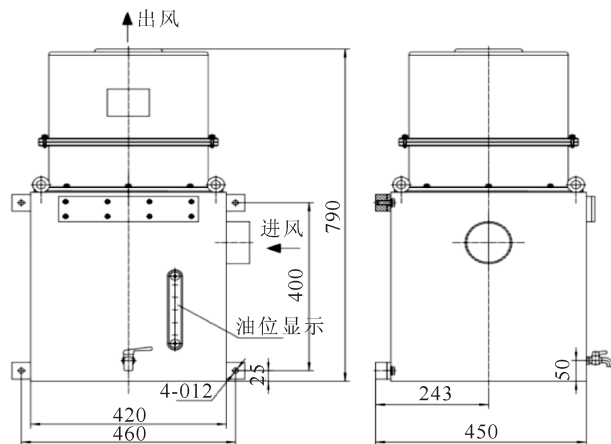


图4 壁挂式吸油雾装置结构图





图5 壁挂式吸油雾装置图

表1 不同型号吸油雾装置参数表

型号	功率 /kW	电压 /V	频率 /Hz	风量 /( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	噪音 /dB
1	1.0	380	50	1 200	$\leq 70$
2	0.13	380	50	330	$\leq 60$
3	0.5 (0.23)	380 (220)	50	400 (350)	$\leq 60$

通过此结构布置可以将密封夹层内的油雾引流至引流管同时自然降温使大部分油雾形成冷凝,并流至回油桶。未凝结油雾通过平压式油雾吸收装置,进行收集,并可分离出的油回流至回油桶,如图6所示。

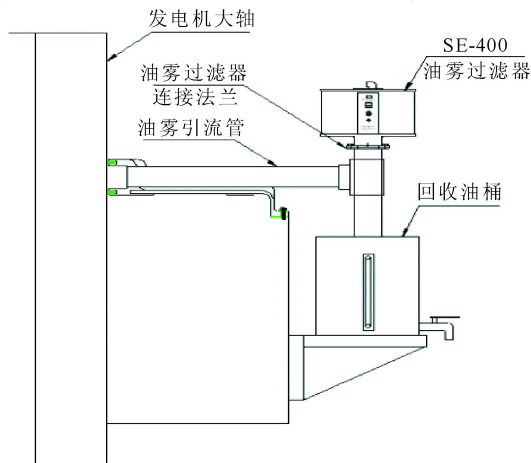


图6 某电站吸油雾装置改造图

此结构通过对称布置的两套集油/分离装置,大大的增加了双层密封的夹层空间,弥补了双层密封的缺陷。

现采用的双层式接触密封与单层密封在本质上并无区别,只是简单的增加了一道密封,因两道密封之间距离及空间较小,下密封如泄漏,泄漏的油、油雾、压力会很快充满密封夹层,当夹层内压力与油槽内压力平衡时,上密封的工况就与下密封工况完全相同,只是泄漏时间有所滞后而已。但是增加了平压式的油雾回收装置后,上层密封的工况环境发生了极大的改变,原来是在有压的状态下进行工作,现在改变为在无压的状

态下进行简单的阻挡。只要接触式密封能起到基本的密封作用,经过改造后的结构可解决油槽盖接触式密封的油雾外溢问题。

采用绝对湿度测量法对机组内空气中含水(油)量  $\text{g}/\text{m}^3$  进行绝对值测量,通过对吸油雾装置改造前、后效果对比,发现改造后的油雾量大大减少,此次改造卓有成效。

## 5 结语

本文介绍了水电站轴承油槽产生油雾的原因和治理方法等,重点对吸油雾装置的类型和原理进行了阐述,分别介绍了从安装形式和作用原理进行了分类,具体详述了某电站的吸油雾装置的改造工作,证明了吸油雾装置的使用是卓有成效的,有利于电站的正常运行。

### 参考文献:

- [1] 宋洪占. 立式水轮发电机轴承防甩油及油雾溢出结构分析[J]. 防爆电机, 2012, 47(1): 11-14
- [2] 黄开寿. 布仑口-公格尔水电站机组水导甩油分析及处理[J]. 水电站机电技术, 2016, 39(2): 70-71
- [3] 邓尧曦. 大岗山电站水导瓦温偏高分析及处理[J]. 水电与新能源, 2017(9): 66-70
- [4] 白延年. 水轮发电机设计与计算[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [5] 陈新泉. 察汗乌苏水电站3号机组推力油槽甩油及油雾外溢现象大处理[J]. 科技与创新, 2016(14): 70-70
- [6] 杨举, 王涛, 周峰峰, 等. 葛洲坝水电站发电机推力轴承油雾防治分析[J]. 人民长江, 2018, 49(17): 103-106
- [7] 蓝瑞乐, 韦海斌, 吴峰. 岩滩水电站发电机粉尘与油雾产生原因及防治措施[J]. 红水河, 2016, 35(6): 96-97, 102
- [8] 钟宁. 浅析五一桥水电站发电机油雾对转子绝缘的影响及技改措施[J]. 科技创新与应用, 2014(3): 110-110
- [9] 谢金韦. 瑞丽江水电站发电机油雾及转子绝缘问题处理[J]. 水电站机电技术, 2010, 33(4): 52-54
- [10] 何兆品. 瀑布沟水电站推力油槽油雾治理方案探讨[J]. 水电与新能源, 2015(8): 65-67
- [11] 杜刚海. 大型泵站机组安装与检修[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995
- [12] 于兰阶. 水轮发电机组的安装与检修[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995
- [13] 刘云. 水轮发电机故障处理与检修[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002
- [14] 胡金. 水电站轴承油雾污染分析与处理[J]. 水电站机电技术, 1993(3): 32-37
- [15] 姚玉才. 推力轴承甩油的原因及处理方法[J]. 广西水利水电, 2008(5): 63-64

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.016

# 水布垭电厂 2F 机组接力器推拉杆改造

杨俊, 刘维斌

(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北宜昌 443000)

**摘要:** 对水布垭电厂 2F 机组接力器推拉杆进行改造和安装, 解决了传动销与销孔配合间隙过大、压板弹性圆柱销频繁剪断以及 2 台接力器压紧行程不一致等问题。经动作试验, 各项运行指标均正常, 符合相关规程要求, 保障了机组的安全稳定运行。

**关键词:** 水电厂; 接力器; 推拉杆; 改造

中图分类号: TV734.2      文献标志码: B      文章编号: 1671-3354(2020)05-0062-03

## Renovation of the Driving Rods of Servomotors in 2F Generator Unit in Shuibuya Hydropower Plant

YANG Jun, LIU Weibin

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

**Abstract:** The renovation of the driving rods of servomotors in 2F generator unit in Shuibuya Hydropower Plant is introduced, which successfully solves the problems such as the excessive fit clearance between the driving pin and the pin hole, frequent cutting of the elastic cylindrical pin of the pressing plate, and the inconsistent pressing strokes of two servomotors. Operation tests show that all operational indexes are normal and meet the requirements of relevant regulations, which ensure the safe and stable operation of the unit.

**Key words:** hydropower plant; servomotor; driving rod; renovation

水布垭电厂位于湖北省巴东县境内, 是清江梯级开发的龙头枢纽, 首台机组于 2007 年底投产发电。由于长时间运行, 电厂 2F 机组调速器接力器存在推拉杆传动销与销孔配合间隙过大、压板弹性圆柱销频繁剪断以及 2 台接力器压紧行程不一致等问题, 严重影响机组稳定运行和经济效益。经研究决定对 2F 机组调速器接力器推拉杆进行改造, 以解决上述问题。

### 1 原推拉杆存在的问题

在导水机构的传动系统中, 推拉杆连接接力器和导叶控制环, 导叶通过接力器的驱动达到同步转动。接力器固定在水轮机机组上, 控制环绕水轮机主轴转动<sup>[1]</sup>。原 2F 机组接力器推拉杆为锻钢制造, 由上连接板、下连接板和筋板组成, 上下连接板通过焊接筋板连在一起, 如图 1 所示。推拉杆通过 2 个传动销分别与导叶接力器活塞和控制环相连。销与孔之间采用

间隙配合。

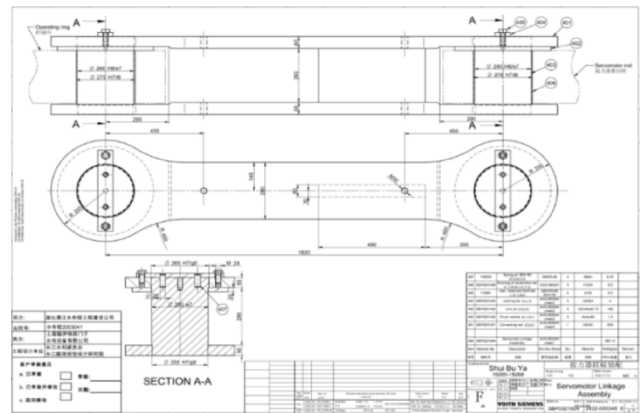


图 1 原推拉杆装配图

#### 1.1 销、孔配合间隙过大

根据图纸结合技术要求, 通过查公差等级尺寸表 (GBT1800.4-1999) 得出<sup>[2]</sup>; 在上下两端和中间位置

收稿日期: 2019-11-20

作者简介: 杨俊, 男, 工程师, 主要从事调速器检修方面的工作。



时,推拉杆传动销和孔允许的最大配合间隙分别为  $0.052 + 0.049 = 0.101 \text{ mm}$ 、 $0.081 + 0.162 = 0.243 \text{ mm}$ ,如图 2、表 1 所示。

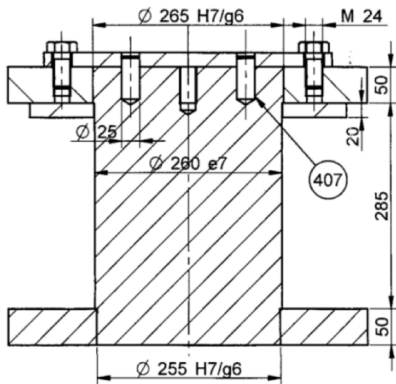


图 2 原推拉杆传动销图

表 1 原传动销与对应孔设计尺寸表 mm

设计部位	设计尺寸		
	上端	中部	下端
孔尺寸	$\phi 265_0^{+0.052}$	$\phi 260_0^{+0.081}$	$\phi 255_0^{+0.052}$
销尺寸	$\phi 265_{-0.049}^{-0.017}$	$\phi 260_{-0.162}^{-0.11}$	$\phi 255_{-0.049}^{-0.017}$
孔、销配合 间隙误差	0.017 ~ 0.101	0.110 ~ 0.243	0.017 ~ 0.101

通过对传动销与对应孔之间的间隙尺寸进行现场核实,如表 2 所示,发现实际间隙已超过设计间隙允许最大值。

表 2 原传动销与对应孔配合间隙测量表 mm

接力器	传动销 位置	上端孔销	中部孔销	下端孔销
		配合间隙 平均值	配合间隙 平均值	配合间隙 平均值
1 号	靠控制环侧	0.295	0.347	0.601
接力器	靠接力器	0.105	0.904	0.64
2 号	靠控制环侧	0.085	0.649	0.21
接力器	靠接力器	0.032	0.314	0.081

### 1.2 压板圆柱销频繁剪断

推拉杆传动销沉入销孔中,主要靠压板防止其在机组开停机时向上跳动,压板的作用就是将传动销与推拉杆连接成一个整体。压板与传动销之间垂直装设两弹性圆柱销,其作用是防止传动销转动。但因为其本身与压板有一定间隙,接力器动作时,无法保证传动销完全不转动。所以机组开停机时,接力器活塞杆将作用力传递给推拉杆,大部分作用力传递给控制环,用

于控制导叶转动,还有一部分作用力作用在传动销上,但因为传动销不是固定的,销在孔内与轴套产生摩擦,导致间隙渐渐变大。同时,传动销所受的这部分作用力会传递给压板及其螺栓、圆柱销上,这样开机多次后,压板上的螺栓及圆柱销就会因为这部分作用力而变松或剪断,压板固定传动销的目的也将失去,销与轴套的摩擦更加频繁,间隙也会越来越大。最终导致导叶开、关不能达到理想状态,影响机组的安全稳定运行。

## 2 推拉杆改造

改造后的推拉杆是一种可拆卸式推拉杆,如图 3 所示,制造厂家为东方电机有限公司。推拉杆整体包括上连接板、下连接板、支撑管和螺柱。支撑管支撑在上连接板和下连接板之间,螺柱穿设于支撑管内,螺柱的两端分别与上连接板和下连接板固定<sup>[3]</sup>。

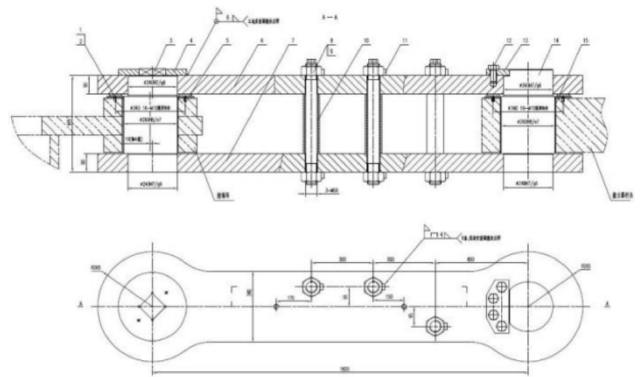


图 3 改造后的推拉杆装配图

新设计的推拉杆相比于原推拉杆,有以下改进:

- 1) 杆体采用 Q345C 高强度钢材,钢板厚度由原来的 60 mm 调整为 90 mm 以上,增加其刚度;
- 2) 推拉杆中增加 3 组上下板加强螺栓组,增加推拉杆刚度;
- 3) 控制环、接力器销孔更换新型进口轴套,传动销与轴套之间的配合间隙减少至满足设计要求;
- 4) 推拉杆与控制环连接处的传动销,由直销改为偏心销,偏心销相比于直销,在传递推拉杆推力的基础上,可微调导叶行程和消除长度方向的尺寸偏差,直销、偏心销均采用 42CrMo;
- 5) 直销、偏心销采用套装锁定装置,如图 4 所示;
- 6) 更改止推垫板材料为 FZ-6。

改造后的推拉杆上连接板和下连接板可以拆卸,放在一起加工,提高了加工精度,降低了加工难度,便于运输。

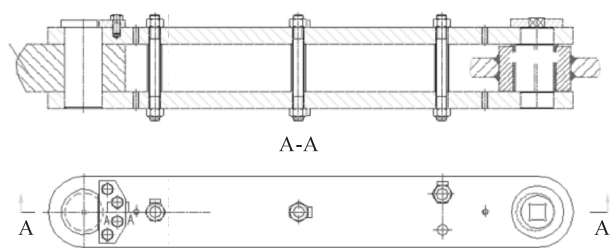


图4 传动销锁定形式图

### 3 推拉杆的更换与安装

#### 3.1 更换前的数据采集

原推拉杆拆卸前进行调速器系统试验,测量机组的开机时间、紧急关机时间、接力器全行程、自动锁锭投拨时间、压紧行程。

测量接力器和控制环高程。接力器基础安装允许误差:垂直度 $\geq 0.30$  mm/m;中心及高程 $\geq 1.5$  mm;与机组坐标基准线平行度 $\geq 1.5$  mm;至机组坐标基准线距离 $\geq 3$  mm<sup>[4]</sup>。

接力器在全开和全关位置时,分别测量两推拉杆平面中心及两端高程,测量两推拉杆之间中心点距离及对应销孔的中心点距离。

#### 3.2 推拉杆的更换与安装

1)将原装配发货的新推拉杆及相关配件全部拆开清扫,进行小部件的预装;

2)拆除旧推拉杆两端压板的螺栓和弹性圆柱销,做好标记;

3)分别吊出传动销与推拉杆,放于指定位置;

4)按图纸要求对新推拉杆进行安装,轴套和传动销现场冷冻,利用专用工具进行安装调整,确保各部位连接可靠。

#### 3.3 安装后的数据测量

1)接力器杆头、控制环大耳孔轴套更换后,与传动销的配合间隙如表3所示,均满足图纸要求(最小配合间隙0.11 mm,最大配合间隙0.243 mm)。

表3 新传动销与对应孔配合间隙测量表 mm

编号	1号		2号	
	1-1号	1-2号	2-1号	2-2号
实测间隙	0.13~0.15	0.15~0.16	0.14~0.15	0.11~0.17
设计要求	0.11~0.243			

2)在半开位置时,2个接力器高程差为0.42 mm,

满足标准(2个接力器原始安装高程差应小于1 mm)。

3)接力器在半开位置时,1、2号推拉杆长度方向的水平度分别为0.28 mm/m和0.07 mm/m,部分超标。(单个推拉杆长度方向水平度误差应小于0.1 mm/m)推拉杆长度方向水平度的偏差可能会导致调整板偏磨情况的产生,但不影响导水机构控制系统的正常运行,可定期检查控制环大耳孔上平面、接力器杆头上平面与推拉杆上连板下平面之间的间隙,观察调整板的磨损情况。

4)1、2号推拉杆在接力器从全关到全开过程中的高程误差分别为0.22 mm和0.12 mm,均满足标准(2个推拉杆从全关到全开过程中的高程误差应小于0.3 mm)。

### 4 建压试验

在所有部件安装完成后,进行动作试验。调速器系统建压至正常工作压力6.3 MPa,缓慢全开、全关导叶数次,在此过程中,观察接力器各部位无渗漏,活塞运动灵活,无发卡及异常现象;控制环和接力器两侧传动销均无转动,压板螺栓紧固,弹性圆柱销无变形;操作开停机阀,测量开机时间、紧急关机时间,符合规程要求;自动锁锭投拨时间正常,动作灵活,无卡阻;1、2号接力器全行程一致,压紧行程均为5 mm,符合规程要求<sup>[5]</sup>。

### 5 结语

通过对2台接力器的推拉杆进行改造,解决了传动销与销孔配合间隙过大、压板弹性圆柱销频繁剪断以及2台接力器压紧行程不一致等问题,消除了安全隐患,提高了机组运行稳定性。同时,这也是水布垭电厂首次进行推拉杆改造项目,为以后的设备改造及安装积累了丰富经验。

#### 参考文献:

- [1]李宝英,李跃春.水轮机调速器检修[M].北京:中国电力出版社,2013
- [2]GB/T1800.4-1999,极限与配合 标准公差等级和孔、轴的极限偏差表[S]
- [3]蔡剑峰,方海清,张丽钧.可拆卸式接力器连杆:201510567934.8[P].2016-02-03
- [4]GB/T8564-2003,水轮发电机组安装技术规范[S]
- [5]王伟,蒋君操,戴超,等.调速器接力器压紧行程测量及调整[J].水电站机电技术,2019,42(2):88-90

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.017

# 一起上导油槽油混水原因的分析与处理

曾竣波

(四川华电木里河水电开发有限公司,四川 西昌 615000)

**摘要:**针对上通坝电站1号机组发生的一起上导油槽油混水事故,通过查找事故前后数据,对相关设备进行检查,发现是油流冲击致使油冷却器铜管与固定钢板间碰撞破损导致漏水,进而引发油混水,油冷却器结构设计问题是导致油混水的根本原因,经采取相应的处理措施,保证了电站的正常运行。

**关键词:**油混水;油流;油冷却器

中图分类号:TV734.2

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)05-0065-03

## Analysis and Treatment of a Water Induction Fault of the Upper Guide Oil Groove

ZENG Junbo

(Sichuan China Huadian Muli River Hydropower Development Co., Ltd., Xichang 615000, China)

**Abstract:** A water induction fault of the upper guide oil groove is observed in the No. 1 unit in Shangtongba Hydropower Station. Through a detailed examination of the operation data before and after the fault, and the inspection of relevant equipment, it is found that the impact of the oil flow leads to the collision between the oil cooler copper tube and the fixed steel plate and causes water leakage, which finally results in the water induction into the oil. The inappropriate design of the oil cooler structure is the basic reason of the water induction problem. Then, corresponding treatment measures are implemented and the normal operation of the station is ensured.

**Key words:** water induction into oil; oil flow; oil cooler

上通坝电站位于四川省凉山彝族自治州木里县境内,是木里河干流(上通坝~阿布地)梯级开发的第一级电站,为闸坝引水式开发,装有3台80 MW立轴悬式机组。上下导轴承为分块瓦结构,水导轴承采用筒式瓦结构。推力轴承和导轴承采用润滑油在油槽内部自循环的冷却和润滑方式。

### 1 油混水对机组的影响

油混水后对机组的影响有:①会形成酸性氧化物、胶质和油泥;②水会析出油中的添加剂,造成油的相应功能下降;③引起油的乳化,油乳化后,粘度增加,产生泡沫,水分破坏油膜会降低油的润滑性,增大各部件的摩擦,引起轴承过热,严重时会引起机组轴瓦的磨损<sup>[1]</sup>。

### 2 油混水的表现及判断

当油中混入水分后,视水分含量不同油混水的表现形式有所差异。水分会以溶解水、悬浮水以及沉积水三种形式存在。当油中水分较少时(油中水分小于0.01%)主要以溶解水的形式存在于油中,该种形式下水是以极细微的颗粒溶于油中,在油中分布较均匀,油呈透明状态。油中的溶解水超过饱和点后,常以水滴形态游离于油中,成为悬浮态水分。悬浮水过多时,会聚集沉降于设备或容器底部<sup>[2-3]</sup>。水在油中的溶解度会随着油温的升高而增加,所以三种存在形式之间会因温度的变化而相互转化。

一般情况下,由于渗漏、甩油等原因,机组油槽内的油只会减少不会增加,所以油槽油位上涨一般都是发生了油混水的情况,但机组运行时由于机组转动形

收稿日期:2019-11-24

作者简介:曾竣波,男,助理工程师,主要从事设备运行维护方面的工作。

成的离心作用以及热膨胀等原因,油位会比停机时高。由于在机组实际运行中,可能会出现油混水传感器误报的情况,所以油混水传感器报警后还需进行检查以确定是否真的发生了油混水。要判断是否发生油混水有以下三种方法:①在机组运行状态下打开油槽盖观察油质是否浑浊乳化;②在停机时放出部分冷却油,若油中有水(水的比重比油大,静止状态时处于油槽底部),可以确定油冷却器漏水<sup>[4]</sup>;③将取出的油样送检。实际上油中的水分不可避免,按照标准只要油中含水量不高于100 mg/L即为合格,但即使油中含水量达到400 mg/L时,凭肉眼观察还是无法发现有悬浮水的存在,前两种方法虽然是实际生产中最为常用的判断方法,但误差较大只能发现严重油混水的情况,所以要准确判断是否发生油混水的情况需要取油样化验。

### 3 事故过程

从2018-12-20日开始1F机组就曾多次出现过上导油槽油混水报警、复归的情况,从1F机组上导油槽底部放出少量油观察并未发现有油混水的情况。在此之前2F机组也曾出现过上导油槽多次油混水报警、复归的情况,从2F机组上导槽底部放出少量油观察未发现有油混水的情况,排空2F机组上导油槽油后打开上导油槽检查,发现油混水传感器表面附有杂质,油混水传感器所在凹槽处有极少量的水。由于1F机组的事故情况与2F机组当时的事故情况相同,所以判断应该是同一类缺陷,再加上2019年2月即将进行小修,所以就没有进行处理,只是加强监视,等到小修时再处理。2019-01-03日下午两点左右(1F机组正在运行),运行人员巡屏发现1F机组上导油槽油位由之前的260 mm上升到283 mm,但此时1F机组上导油槽油混水报警并未动作,放出少量上导油槽油观察未发现有油混水的情况,针对这个情况一方面加强监视,另一方面继续查找原因。2019-01-04 T 00:35:46开始,上位机频繁报1F机组上导油槽油混水动作、复归。维护人员认为可能是油混水传感器发生故障,由于没有油混水传感器备件需从流域内其他电站拿,维护人员建议先加强监视,等油混水传感器备件到后更换油混水传感器以确定是否真的发生了油混水,暂时只有将1F机组停机。上午9点过1F机组停机,当天下午3点左右运行人员巡屏发现1F机组上导油槽油位已降低至23.243 mm。

### 4 检查情况

现地检查1F机组上导油槽液位计,液位计磁翻板指示为零。在没有排空上导油槽油的情况下,拆下液

位计以确定油位是否确已降为零,松开液位计与油槽连接管路处法兰后并没有油流出,检查发现液位计与油槽连接管路中仅剩油渍。检查1F机组风洞内各处均未发现有油迹。查询1F机组事故发生前后事故报警以及数据曲线发现1月3号00:00至14:00上导油槽油位由265 mm上涨到283 mm之后继续缓慢上涨。2019-01-04 T 00:35:46开始,上位机频繁报1F机组上导油槽油混水动作、复归,00:38:41报1F机组油混水动作后就再也没有复归。6点至7点时上导油槽油位迅速上涨,8:34机组上导油槽油位达到349.065 mm(在油位上涨过程中1F机组一直在运行),9:08机组停机、技术供水停泵后,上导油槽油位由349.043 mm开始下降,到14:58时上导油槽油位降至23.243 mm,之后维持不变。1F机组停机后油位迅速下降,在1F机组风洞内没有发现有油迹,所以推测是上导油槽油冷却器管路出现破损,油经过油冷却器管路流入循环水池(采用的技术供水方式为循环供水方式,上导油槽所处位置较循环水池位置要高)。当天20点左右打开循环水池盖板检查,发现水上漂浮着少量絮状物,但并未发现大量油迹,第二天中午检查循环水池时发现循环水池中漂浮着大量油。2019-01-10日设备厂家及施工方人员到达现场,拆开上导油槽后,打开技术供水进行油冷却器过水试验,试验发现油冷却器有1根过水铜管漏水,除此以外2个油冷却器顶上两层有多根铜管局部(支撑板处)有明显磨损情况。

### 5 事故原因分析

导致油冷却器漏水的常见原因大致有:①水质较差,致使冷却水管内壁磨损,最终导致穿孔漏水;②水压过高导致冷却水从管道连接法兰处漏水;③密封材料长期泡在油里运行导致老化变脆或者密封材料在长期运行过程中磨损老化、变形,最终被水流冲裂,导致漏水<sup>[5]</sup>。由于采用的是循环冷却方式,冷却水水质较好,所以油冷却器铜管破损与水质无关。通过水压试验发现冷却器漏水处位于冷却器铜管穿过固定钢板处,另外还有多根铜管在这个位置出现磨损。显然导致油冷却器漏水的原因与水压以及密封材料无关。

检查中发现铜管穿过固定钢板处没有任何填充物,存在空隙。部分冷却器铜管用手就可以轻易摇动,这部分冷却器铜管出现磨损的较多,磨损面积较大,磨损位置集中在铜管穿过固定钢板处(如图1所示);还有少量冷却器铜管发生变形(如图2所示),在这部分变形的铜管中,有些铜管与固定钢板的某一侧贴合紧密,难以晃动,这些铜管的磨损处集中在铜管与固定钢

板接触部分,磨损不明显且磨损面积较小。可以判断铜管与固定钢板间的碰撞摩擦是造成铜管磨损的原因。考虑到各台机组过振区时,均出现厂房建筑高频震感较为强烈且机组啸叫声明显,推测可能是,机组开停机过振区振动较大导致了油冷却器铜管与固定钢板碰撞造成磨损;另外机组运行时的油流冲击也会使油冷却器铜管与固定钢板碰撞造成磨损。



图1 油冷却器铜管穿过固定钢板处图

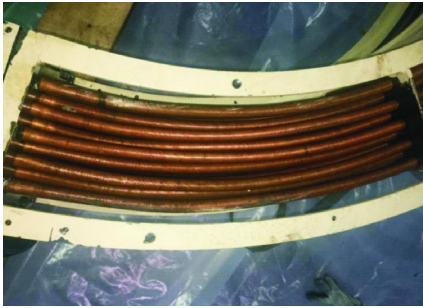


图2 1F机组上导油槽油冷却器图

在振动以及油流冲击的影响下,冷却器铜管或多或少发生了一定程度的磨损,但最终只有松动的冷却器铜管与固定钢板间发生长时间的碰撞摩擦,导致磨损程度逐渐变大,最终导致铜管破损漏水。结合事故发生前后机组运行数据分析确定,此次事故中油流冲击是导致油冷却器铜管破损的原因。1F机组运行时,冷却水水压高于油压,冷却水通过油冷却器铜管裂纹处进入上导油槽,导致上导油槽油位上涨;1F机组停机后,冷却水中断,上导油槽中的油通过油冷却器铜管裂纹处流入循环水池,导致上导油槽油位下降。

## 6 事故处理

针对油冷却器漏点的处理办法有两种:①更换损坏的油冷却器,从制造厂将新的油冷却器送至本站路途运输的时间过长,影响发电;②采用堵管法,这种办法常作为临时应急处理措施,较为简便。由于油冷却器只有1根铜管破损漏水,其他受到磨损的铜管在过水试验时并未出现漏水现象,所以选择采用堵管法处理。将漏水的油冷却器吊出上导油槽,采用焊接封堵破损铜管两端板管口的方式进行应急检修处理。为了

防止以后油冷却器其他铜管受到振动、油流冲击影响而再次损坏,采用白沙带绑扎收紧并刷羊肝漆的方式,进行应急处理,然后将油冷却器吊入上导油槽,连接油冷却器进出水管,通过技术供水系统对油冷却器进行过水试验,试验无渗漏现象。注入新油后开机运行,1F机组的振动、摆度、瓦温等数据正常。

由于冷却器铜管间距较小,不方便处理,所以应急处理时只对部分冷却器铜管进行了处理。要彻底解决油冷却器铜管在振动、油流冲击下与固定钢板发生碰撞磨损的问题,需在铜管与固定钢板间加装填充物,消除间隙。与厂家人员协商后决定,在即将进行的小修中,对2、3F机组的上导油槽油冷却器铜管按照1F机组的处理方式作临时处理,由厂家在原油冷却器基础上在铜管与固定钢板间的空隙处增加填充物,重新制造新的油冷却器,便于今后的检修予以更换。改进后的上导油槽油冷却器如图3所示。



图3 改进后的上导油槽油冷却器图

## 7 结语

透平油起着润滑和散热的作用,其品质的好坏直接影响着发电机组的运行可靠性,一旦发生油混水事故,处理起来耗时长,影响发电。此次油混水事故的发生是由于冷却设备结构问题导致的,针对此次上通坝电站1F机组上导油槽油混水原因的分析与处理,可为其他电厂解决相似问题起借鉴作用。

### 参考文献:

- [1]郭永健. 京南电站2号机组轴承油混水原因分析与处理[J]. 广西电力, 2008, 32(6): 49-51
- [2]邓显波, 刘学忠, 李志峰, 等. 润滑油含水量在线监测研究[J]. 燃气轮机技术, 2008, 21(4): 56-59
- [3]贾晓鸣, 冯喜京, 孔淑芳, 等. 汽轮机油中水分的危害及净化[J]. 润滑油, 2003, 18(4): 63-64
- [4]洪国标, 程汉桥. 水轮发电机推力轴承油冷却器泄露原因分析[J]. 水力发电, 2002(6): 16-17, 23
- [5]刘健, 黄天寿, 黄素满. 龙滩水电站2号机组上导轴承油冷却器漏水原因分析及改造[J]. 红水河, 2009, 28(2): 60-62



DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.018

# 500 kV GIS 电流互感器 SF<sub>6</sub> 微水含量超标分析与处理 ——以猴子岩水电站为例

陈伟林, 钟 斌, 秦知了

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900)

**摘要:**以猴子岩水电站 500 kV GIS 电流互感器为例,通过对 SF<sub>6</sub> 气体水分来源分析,采用处理工艺流程的要点为:一是初始设计考虑周全,避免设备中途改型;二是计划周全,给设备生产及安装足够的时间,以免出现安装条件变化造成时间不够;三是加强安装过程中工艺质量的把控;四是利用新技术,避免内部零部件暴露吸潮。

**关键词:**电流互感器;微水含量;超标

**中图分类号:**TM45      **文献标志码:**B      **文章编号:**1671-3354(2020)05-0068-03

## Analysis and Treatment of Excess SF<sub>6</sub> Micro-water Content in 500 kV GIS Current Transformer in Houziyan Hydropower Station

CHEN Weilin, ZHONG Bin, QIN Zhiliao

(China Guodian Dadu River Maintenance and Installation Co., Ltd., Leshan 614900, China)

**Abstract:** In Houziyan Hydropower Station, excess SF<sub>6</sub> micro-water content is observed in the 500 kV GIS current transformer. Causes of the problem are analyzed and corresponding treatment measures are implemented. To prevent the occurrence of this problem, several suggestions are also proposed. Firstly, the initial design should be well planned to avoid the change of equipment type in the middle of the operation. Secondly, sufficient time should be given to the production and installation of the equipment. Thirdly, the control of the installation quality should be emphasized. Finally, new technology should be adopted to avoid the exposure and moisture of the internal parts.

**Key words:** current transformer; micro-water content; exceeding the standard

猴子岩水电站位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内,为地下式厂房,主变压器安装在地下主变压器洞内,500 kV 开关站设在地面。电站以 500 kV 一级电压接入系统,500 kV 侧系统共 4 回进线和 5 回出线,采用 3 串 4/3 方式接线。

猴子岩水电站 GIS 设备为平高集团产品,分两部分布置:地下主变洞 500 kV 电缆层及地面开关站 GIS 楼 550 kV GIS 层。GIS 大部分布置在户内,仅出线部分装在户外。主要设备包括:断路器、电流互感器、隔离刀闸、快速接地刀闸、检修用接地刀闸、空气/SF<sub>6</sub> 套管、母线、电压互感器、避雷器、电缆连接装置、伸缩节等元件。

此次微水超标气室属于该站 1 号主变单元,该主变自 2017 年 11 月投运以来,各设备运行正常,于 2019

年 04 月首次检修,检修过程中发现该主变高压侧 500 kV GIS 设备气室 2GP7 C 相(包含 1 台电流互感器、1 段短母线)微水含量超过标准达到 501.16 ppm,随后进行多次复测,微水含量测得值在 499.60 ~ 501.20 ppm,数据见表 1。

## 1 问题分析

### 1.1 技术数据及参数

500 kV 电流互感器(连接主变压器和 500 kV 电缆的短段母线回路)

额定一次侧电流:3 000/1 500 A

额定二次侧电流:1 A

额定变比:3 000/1(1 500/1)

保护用绕组短路电流倍数  $K_{ssc} \geq 25$

收稿日期:2019-12-02

作者简介:陈伟林,男,助理工程师,主要从事水电机组检修管理方面的工作。

表 1 部分气室压力及微水含量记录表

序号	设备 编号	微水含量/ppm			气室压力/MPa	
		初始值	检修值	复测一 复测二	初始值	检修值
1	2GP7A	67.00	316.20		0.46	0.46
2	2GP7B	76.00	304.00		0.46	0.46
3	2GP7C	48.00	485.55	501.16 500.09	0.46	0.46
4	2GP8A	56.00	41.20		0.46	0.46
5	2GP8B	78.00	31.33		0.46	0.46
6	2GP8C	98.00	36.40		0.46	0.46
7	2GP9A	86.00	34.80		0.46	0.46
8	2GP9B	93.00	35.60		0.46	0.46
9	2GP9C	84.00	42.93		0.46	0.46

注:复测时只对 2GP7C 做了复测,因为该气室微水明显接近限值;2GP8、2GP9 为对应相相邻气室。

保护用绕组暂态磁通倍数  $K_f$ :12

二次绕组间耐受工频 1 min 短时耐受电压:3 kV

二次绕组对地耐受工频 1 min 短时耐受电压:  
3 kV

绕组的匝间绝缘能在整个二次绕组两端耐受  
1 min 过电压(峰值):3 kV

该气室 SF<sub>6</sub> 含气量:80 kg

## 1.2 原因分析及处理过程

1) SF<sub>6</sub> 气体微水含量超标常见的原因。① SF<sub>6</sub> 气体自身含有超量水分。SF<sub>6</sub> 在制作过程中工艺流程把控不严造成微水含量超标,运输过程中保护不当导致空气进入、储存环境恶劣导致气体受潮。② 设备内部零部件含有水分。电流互感器内部零部件较多,线圈及绝缘件等零部件等都含有水分,在制造或安装过程中会吸收空气中的水分,在真空处理的过程中很难全部析出这一部分,在设备运行过程中缓慢释放,造成 SF<sub>6</sub> 气体微水含量升高<sup>[1]</sup>。③ 设备充气时带入水分。在对设备气室进行充气操作时,作业人员未严格按照规范标准,对接头处理不干净、管路未用新气进行冲洗、管接头密封不严等让空气进入设备。④ 吸附剂(分子筛)带入的水分。吸附剂(分子筛)主要利用自身较强的吸附能力吸附设备内部潮气,但是不合格的吸附剂自身就可能带入水分,比如干燥不彻底、安装前暴露时间太长等都可以带入水分<sup>[2]</sup>。⑤ 外环境水分透过密封不严处渗入。外界水分从密封圈及微孔向设备内部渗入水分。目前国内大部分 GIS 设备气室工作

压力比外界压力高 4~6 倍,但外界水分压力是设备内部水分压力的近 100 倍,对密封的要求非常高。但是密封在满足 SF<sub>6</sub> 气体不泄露的情况下,这种水分渗入量较少,几乎可以忽略。

2) 针对该气室设备做具体深入分析。通过查阅猴子岩水电站 GIS 设备 SF<sub>6</sub> 气体入站检测报告,显示 SF<sub>6</sub> 新气在充入设备前满足要求,且数据良好,对猴子岩水电站 GIS 设备所有气室微水含量初始值和检修值进行了查阅,所有气室初始微水含量均在 100 ppm 以下,检修过的设备气室 SF<sub>6</sub> 气体微水含量变化不大。部分电流互感器气室水分含量增长明显,其中 2GP7 三相气室微水含量均超过初始值的 2 倍以上,C 相甚至超过《电力设备预防性试验规程》小于等于 500 ppm 的要求,微水含量变化异常的气室均含有电流互感器,而其他气室均正常,且数据良好,经过以上分析,认为 SF<sub>6</sub> 微水含量偏大为气室内电流互感器内部零件(CT)析出水分所致。对此进一步做了如下的具体分析。

猴子岩水电站 500 kV GIS CT 出厂前的装配工作是在洁净干燥的厂房内进行的,CT 装配过程水分控制流程如下:CT 线圈接收→CT 线圈、绝缘纸板、垫板接线盘烘干→CT 总装试验后放入烘干间(75±5℃)烘干 8 h 以上→CT 与断路器总装(不大于 2 h 形成封闭气室)→充入 SF<sub>6</sub> 气体 48 h 后进行检漏及水分试验→耐压对接(不大于 2 h 形成封闭气室)→耐压合格后存栈(不大于 2 h 形成封闭气室)。CT 线圈出厂时其各项试验(含水分试验)是合格的。

按照安装工艺文件规定,现场 CT 线圈暴露在空气中的时间应控制在 3 h 内。但现场实际安装时电流互感器气室可能敞开时间过长,同时受地域影响现场环境湿度偏大,该 CT 安装环境正处于地下厂房,相对湿度较大,时间把控不严,导致 CT 线圈受潮。加之安装工期限,在以上气室气体处理时水分控制时间偏短,CT 线圈内的水分未得到充分释放。虽然现场安装后验收时微水含量试验也合格,但随着投运时间的延长和环境温度的升高,CT 线圈内的水分逐渐充分释放,最终造成微水含量超标。

3) SF<sub>6</sub> 微水含量超标处理步骤,见表 2。

根据气体处理工艺以及微水含量超标处理方法,为快速达到微水含量处理目的,“更换分子筛+抽真空”是降低气室内微水含量最有效的手段(见图 1)。在更换分子筛后抽真空时间越长、真空压力值越低,零部件内的水分越易逸出;另外真空状态下的必要静置,也可使零部件内水分充分析出。

表2 微水含量超标处理步骤表

步骤	项目	说明	步骤	项目	说明
1	根据示意图标示要求拆解各气室的气路连通管	保护好气连	11	更换 CT 气室分子筛	
2	回收 CT 相邻气室 SF <sub>6</sub> 气体至半压	按示意图标示要求执行	12	第二次抽真空达到 30 Pa	
3	回收不合格气室 SF <sub>6</sub> 气体至负压	按示意图标示要求执行	13	第二次静置 4 h	
4	更换 CT 气室分子筛		14	第二次复抽真空 2 h, 复抽前	真空度反弹不大于 67 Pa
5	第一次抽真空达到 30 Pa		15	第二次充 0.1 MPa SF <sub>6</sub> 气体	
6	第一次静置 4 h		16	静置 6 h, 进行水份测试	
7	第一次复抽真空 2 h, 复抽确认真空度有无大的变化	真空度反弹不大于 67 Pa	17	充 SF <sub>6</sub> 气体到 0.45 MPa, 静置 24 h, 测量微水含量	不大于 100 ppm (20℃)
8	第一次充 0.1 MPa SF <sub>6</sub> 气体		18	在气室本体测试水分, 确认合格	
9	静置 6 h, 进行水份测试		19	恢复气路连接, 包扎检漏并由专业单位确认合格	恢复前, 用 SF <sub>6</sub> 气体吹拂 1 min
10	回收 SF <sub>6</sub> 气体至负压		20	在密度继电器处测试水分, 确认合格	

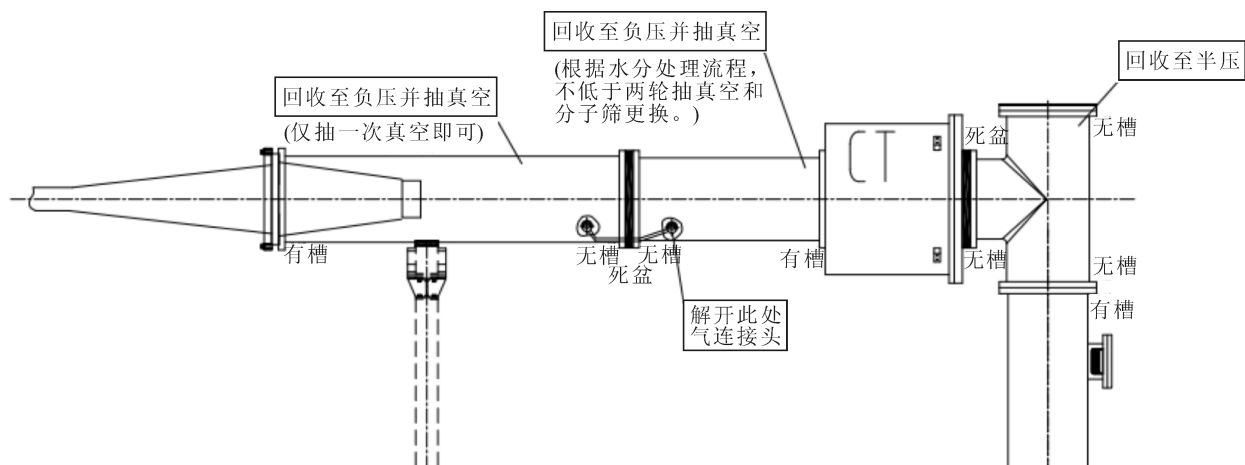


图1 “更换分子筛 + 抽真空”降低气室内微水含量示意图

微水含量处置流程共设 2 个循环,若某个循环结束后的水分测量结果符合标准要求时(折算到 20℃, ≤100 ppm),则不再进行后续处理循环,操作步骤直接跳转到步骤 17。

## 2 处理结果及预控措施

### 2.1 处理结果

此次设备检修时间较短,主要对 2GP7C 相气室做

了微水超标处理,在处理过程中严格按照步骤,每个步骤都记录了相关数据,共进行了 2 个循环的处理,静置 48 h 后测得 2GP7C 相气室微水含量为 28.6 ppm,微水含量降低明显,相邻 2GP8C 相、2GP9C 相气室微水含量分别为 32.7、33.2 ppm,投运后 1 周,对 2GP7C 相气室微水含量做了检测,测得值 27.7 ppm,微水含量超标问题得到了有效地处理,计划在后续设备运行过程中将加强巡回检查,定期做微水含量监测,及时掌握设

(下转第 73 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.019

# 大型水轮发电机定子线棒电晕处理和分析

毛业栋

(中国长江电力检修厂,湖北宜昌 443000)

**摘要:**三峡电站某大型水轮发电机在运行10余年以后,定子线棒端部出现电晕现象并逐年呈现增长趋势,影响发电机的安全稳定运行。通过跟踪电晕的发展过程,分析并证实了发电机端部脏污是电晕产生的主要原因。通过采取有效的处理措施,并增加发电机定子线棒端部的清洁频率,近3年内没有再次发生电晕现象。

**关键词:**三峡电站;发电机;电晕;处理方法

中图分类号:TM312 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)05-0071-03

## Analysis and Treatment of Stator Bar Corona in Large-scale Hydro-turbine Generator

MAO Yedong

(Overhaul and Maintenance Factory, China Yangtze Power Co., Ltd., Yichang 443000, China)

**Abstract:** After more than ten years of operation of a large-scale hydro-turbine generator in the Three Gorges Hydropower Station, corona phenomenon is observed at the end of the stator bars and is increasing yearly, which affects the safe and stable operation of the generator. By tracing the development process of the corona, it is found that the corona is due to the contamination of the generator ends. Then, effective treatment measures are implemented and the cleaning frequency of the stator bar ends is increased. After the treatment, no corona phenomenon is observed in the past three years.

**Key words:** Three Gorges Hydropower Station; generator; corona; treatment measure

三峡电站某700 MW发电机定子线棒端部防晕结构为多级防晕结构,线棒端部防晕层从线棒低阻直线段至线棒端部依次为低电阻防晕层、第一级高电阻防晕层、第二级高电阻防晕层和第三级高电阻防晕层,其中低电阻防晕层与第一级高电阻防晕层之间的搭接长度为20 mm,防晕层外侧覆盖防晕保护层和覆盖漆。这种线棒端部的多级防晕结构能够实现线棒端部的表面电位较为平稳的过渡,能够有效抑制线棒端部电晕的产生。在该台机组10余年实际运行中,机组状态良好。但在近几年的检修维护过程中,定子线棒端部逐渐出现电晕现象且呈现逐年增多的趋势。

### 1 电晕情况

2016年1月该台机组进行常规小修时,维护人员第一次在机组定子线棒端部发现明显白色粉末,经过

判断确认该粉末为电晕放电痕迹(如图1所示)。

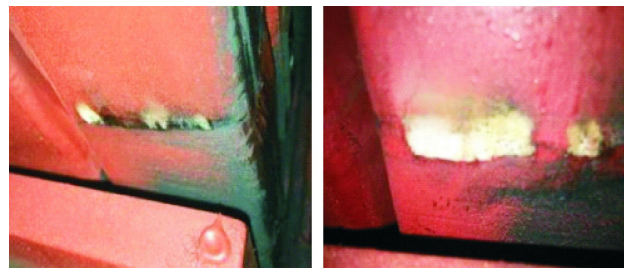


图1 定子线棒端部典型电晕痕迹图

电晕放电痕迹存在的位置有两种:第一种出现在线棒低电阻防晕层与第一级高电阻防晕层的搭接区附近;第二种出现在线棒的低电阻防晕层区域内。电晕痕迹的外观呈白色粉末状,外形主要为斑点状、线条状或块状。经过现场检查,确认该机组的电晕放电没有伤及线棒防晕层及主绝缘,短期内不会影响线棒的绝

收稿日期:2019-12-09

作者简介:毛业栋,男,工程师,主要从事水电站电气一次设备检修方面的工作。

缘性能和机组安全稳定运行。经适当处理后,检修维护人员决定一边观察该台机组的电晕处理效果,一边跟踪电晕的长期发展趋势,经过将近3年的跟踪观察,该台机组的电晕数量增长如表1所示。

表1 电晕数量增长统计表

时间	电晕数量/个
2016.1	37
2017.4	49
2017.12	69
2018.10	87

## 2 电晕分布统计与原因分析

维护人员对电晕出现的位置及发生电晕线棒的安装位置进行了详细的统计,对线棒的运行电位进行了计算并与电晕产生位置进行了对比分析。

1)按产生电晕的线棒在定子中所处的位置划分,电晕出现在上下层线棒及线棒的上下端的统计数据如表2所示。根据表2数据,该机组的电晕在上下层线棒的数量大致相当,但定子线棒上端的电晕数量大大超过下端。

表2 线棒位置与电晕数量统计表

线棒安装位置	数量/个	占比/%
下层线棒	44	50.6
定子上端	56	64.4
定子下端	31	35.6

2)按电晕在线棒端部位置划分,电晕出现在线棒低电阻防晕层与第一级高电阻防晕层的搭接区(以下简称高低阻搭接区)和低电阻防晕层的统计数据如表3所示。表3数据反映出该机组的电晕更多发生在线棒端部防晕层的高低阻搭接区。

表3 电晕产生部位与数量统计表

电晕产生部位	数量/个	占比/%
高低阻防晕层搭接区	76	87.4
低阻防晕区	11	12.6

3)对比电晕线棒与该线棒的运行电位关系(表4),其中线棒运行电位最低视为0V,最高为11.55kV(发电机出口线电压20kV)。根据表4的数据,本台机组的电晕更多地发生在运行电位较高的线棒端部,其中77%的电晕出现在运行电位大于9kV的线棒端部。

表4 线棒电位与电晕数量统计表

线棒电位/kV	数量/个
≤5	0
5~7	3
7~9	17
≥9	67

4)电晕产生原因分析。该发电机组运行过程中,油雾较大,粉尘与油雾混合后形成油污。由于该机组线棒端部防晕结构中,线棒第一级高电阻防晕层首端(即高低阻搭接区)的电位梯度最大,电场强度最集中。因此在高电位运行的线棒的高低阻搭接区更易吸附黑色的油污并逐渐堆积形成电阻值较低的污染层(含碳粉)。该污染层在运行时由于电导损耗发热,污染层中的油污在局部强电场和高温的双重作用下逐渐被分解,并碳化。碳化导致该部位的电场强度进一步增加,进而引起线棒表面局部区域形成稳定的电晕放电,经过长期的累积在线棒表面形成电晕放电痕迹即白色粉末。

由于本台发电机在长期运行中,上端油雾比下端更为严重,因此定子上端发生电晕的数量较下端更多。

## 3 电晕处理措施及效果

本台机组采用的电晕处理方法及步骤如下:①彻底清理发电机定子端部的脏污及电晕痕迹;②局部打磨线棒端部低阻防晕层表面的红瓷漆,要求低阻防晕层暴露不少于 $1\text{ cm}^2$ ;③局部打磨该线棒附近的铁心表面油漆,铁心表面裸露的金属表面不得少于 $1\text{ cm}^2$ ;④做好防护措施,在定子线棒端部低阻防晕区域(线棒高出铁心 $0\sim 80\text{ mm}$ )内 $1/2$ 半叠绕涂刷有室温固化低电阻防晕漆的玻璃丝带,然后在打磨的铁心与线棒低阻防晕区之间涂刷室温固化低电阻防晕漆,晾干 $24\text{ h}$ ;⑤再次做好防护措施,在线棒端部高低阻搭接区(线棒端部距槽口 $60\text{ mm}$ 以上)至斜边垫块的第一级高阻防晕区域内 $1/2$ 半叠绕涂刷有室温固化高阻防晕漆的玻璃丝带,室温固化高阻防晕漆在高低阻防晕搭接区(线棒高出铁心约 $60\sim 80\text{ mm}$ )应与低阻漆形成良好的搭接过渡,晾干 $24\text{ h}$ ;⑥在高阻防晕层外涂刷室温固化环氧胶DECJ0708,固化 $24\text{ h}$ ;⑦线棒表面涂刷红瓷漆;⑧在 $1.1\text{ Un}$ 试验电压下检验处理效果。

处理后的定子线棒端在 $1.1\text{ Un}$ 试验电压下无明显电晕放电点,同时使用紫外成像仪作为辅助观测手段观测电晕处理部位的光子数通常不大于500,通过试验证明本次电晕处理效果良好。



在开展大面积的电晕处理前,发电厂维护人员使用本电晕处理方法于2016年4月在该台机组上进行了第一次电晕处理试验,于2017年4月进行了第一次检查,2017年12月进行了第二次电晕处理试验并进行了第二次检查,2018年10月进行了第三次检查。试验结果见表5所示。

表5 电晕处理试验结果表

处理部位	运行电位/kV	电晕外形	处理时间	第一次检查结果	第二次检查结果	第三次检查结果
91槽	10.19	片状	2016.4	无电晕	无电晕	无电晕
201槽	10.87	线状	2016.4	无电晕	无电晕	无电晕
111槽	9.85	点状	2017.12	-	-	无电晕
283槽	11.21	片状	2017.12	-	-	无电晕
447槽	11.38	片状	2017.12	-	-	无电晕

(上接第70页)

备健康状况,确保设备安全稳定运行。

## 2.2 建议预控措施

1) 选择适宜的安裝条件。安裝应选择适度较低的时候进行,干燥处理后的设备需抽真空保存,尽可能地减少设备暴露时间。

2) 控制好气体质量。充气前检测 SF<sub>6</sub> 气体微水含量,充气管道应尽量短,管径尽量大,气室较大的可多点同时充气。

3) 控制好设备质量。设备质量问题多出在密封件上,选择合格的密封件,严格控制接触面的工艺流程,均匀紧固连接螺栓,降低水蒸气进入风险。

4) 及时更换吸附剂。设备运行中,吸附剂能够有效地的吸附设备零部件析出的水分,长期不更换可能饱和,达不到预期效果,运行一定时间后检修时应更换吸附剂,更换前做干燥处理。

5) 做好气室压力及微水含量记录;记录数据做好趋势分析有利于判断设备气密性及微水含量发展趋势,通过趋势可以有效判断设备运行情况,及时发现设备潜在风险。

6) 实时监控。利用在线监测装置对微水含量进行实时监控,建立 GIS 设备健康管理体系,一旦发现设备异常,及时采取有效措施,防止事故扩大,避免经济损失,杜绝人身伤害<sup>[3]</sup>。

7) 电流互感器由于绕组匝间绝缘等材料有较强

试验结果显示,第91槽和第201槽定子线棒端部电晕在处理后的近3年时间内没有再次发生;其余三个电晕处理点在近1年的运行后也没有再次出现。基本可以肯定采用本处理方法进行电晕处理取得的效果良好。鉴于此,发电厂决定在2018年10月对该机组的其余全部电晕点进行电晕专项处理。

## 4 结语

通过本次电晕处理,对该台发电机电晕的发展过程有了较为全面的了解,判定了当前的电晕发展情况暂不会影响发电机的安全稳定运行,对于后续进行该台发电机电晕发展过程的跟踪和电晕处理试验提供了前提和安全保障。通过对本台发电机电晕产生的原因进行分析,证实了发电机端部脏污对电晕的产生有较为明显的影响,提醒了维护人员应适当增加发电机定子线棒端部的清洁频率。同时,本次电晕的处理方法对发电机的电晕预防及处理提供了较好的借鉴。

的吸水性,安装电流互感器气室,抽真空过程中建议从外部进行均匀加热提高气室温度,促进水分更好排出。

## 3 结语

通过对该电流互感器气室 SF<sub>6</sub> 气体微水含量超标的分析与处理,设备在工厂制作过程中由于设施设备齐备,生产条件较为可靠,处理工艺控制严格,设备本身质量有保障,但是在设备安装过程中,现场安装条件很难掌控,受安装时限要求,部分工艺执行不到位是出现质量问题的主要原因。

基于此次设备故障及处理,以下4个方面值得思考:一是初始设计考虑周全,避免设备中途改型;二是计划周全,给设备生产及安装足够的时间,而且尽量留有裕度,以免出现安装条件变化造成时间不够;三是加强安装过程中工艺质量的把控,每个过程节点做好相关记录,确保有据可查;四是利用新技术,根据需要设计生产能够到现场免暴露组装的产品,避免内部零部件暴露吸潮。

### 参考文献:

- [1]余智斌. SF<sub>6</sub> 电气设备维护与监督[J]. 小水电, 2013(4): 98-99, 78
- [2]张海斌, 张磊. 对 SF<sub>6</sub> 气体中水分的危害与控制探讨[J]. 科技创新与应用, 2014(34): 147-148
- [3]徐方友. 电气设备状态维修策略研究[J]. 低碳世界, 2017(34): 64-64

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.020

# 隔河岩电厂3号发电机转子一点接地案例分析

胡昌雄, 李冬

(清江隔河岩水力发电厂, 湖北 长阳 443503)

**摘要:** 基于清江隔河岩电厂3号发电机某次励磁变低压侧接地导致转子一点接地保护动作的案例, 通过故障查找与过程分析, 了解其保护的原理及保护范围, 整个励磁回路从励磁变低压侧一直到转子绕组都可认为是转子回路。如果转子一点接地保护动作与发电机自并励建压存在关联, 就应当着重检查励磁变低压侧, 不能只常规检查转子及直流部分。

**关键词:** 转子一点接地; 励磁变低压侧; 隔河岩电厂

中图分类号: TM31      文献标志码: A      文章编号: 1671-3354(2020)05-0074-02

## Case Study of a One-point Grounding Fault of Generator Rotor in No. 3 Unit in Geheyan Hydropower Plant

HU Changxiong, LI Dong

(Hubei Qingjiang Geheyan Hydropower Plant, Changyang 443503, China)

**Abstract:** A one-point grounding protection action case occurred in the No. 3 generator unit in Geheyan Hydropower Plant is studied, which is caused by the grounding of the low voltage side of the excitation transformer. Firstly, the grounding protection principles and the protection range are introduced. It shows that the whole excitation circuit from the low voltage side of the excitation transformer to the rotor windings can be regarded as the rotor circuit. If the one-point grounding protection action of the rotor is related to the voltage generated by the self-shunt excitation, the low voltage side of the excitation transformer should be the focus of the inspection, rather than the rotor and DC parts.

**Key words:** one-point grounding of rotor; low voltage side of excitation transformer; Geheyan Hydropower Plant

发电机转子在运行过程中, 有时会发生转子绕组对地短路的现象, 俗称转子接地<sup>[1]</sup>。清江隔河岩水力发电厂3号发电机配置了安德里茨水电研发的转子一点接地保护, 该保护共设有两段, 经一定延时后报信号, 未设跳闸。该保护与转子直接相接, 用于监视转子回路的绝缘水平, 监视范围不仅包括转子回路, 还包括与转子回路相连的励磁系统。转子绕组一点接地故障本身不会对发电机造成严重危害, 如果不及时处理再发展为转子两点接地故障, 将会严重威胁发电机的安全。

### 1 保护原理

3号发电机配置的是安德里茨公司水电生产的DRS数字式保护系统, 该保护装置安装了一个UAKB

模块, 通过该模块, 一个约50V的低频电压加于转子回路来检测转子绝缘状况, 该模块的输出为一个近似直流电压量, 通过2个47K电阻耦合到励磁回路来测量对地绝缘电阻, 这个电压通过“特殊模拟量输入”进入处理单元VE进行处理, 如图1。为实现该功能, 与绝缘水平有关的该直流电压量每周波采样12次并与整定值进行比较, 如果在12个连续的采样中测量电阻均小于整定值, 保护发出跳闸起动信号并开始延时, 延时到达时起动信号不消失则动作于跳闸。

接地电阻可按式计算:

$$R_e = \frac{\Delta U_p}{\Delta I_{Rb}} - \left( \frac{R_v}{2} + R_b \right)$$

### 2 事件经过

2019-02-09日13:00许, 3号发电机在运行过

收稿日期: 2019-12-06

作者简介: 胡昌雄, 男, 助理工程师, 主要从事发电厂继电保护方面的工作。

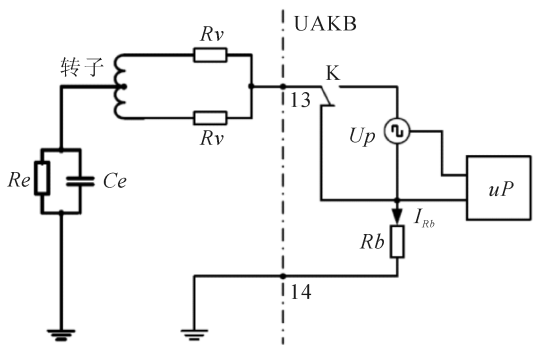


图1 转子一点接地保护原理图

程中监控主站频繁报3号发电机转子一点接地保护动作/复归,巡视发电机上下风洞和集电环室,无渗水等异常现象,现地检查保护装置并接入便携机查看,发现转子一点接地保护两段均多次动作,监视转子对地绝缘值发现其绝缘值多次降低到 $0\text{ k}\Omega$ ,决定等负荷低谷停机后再处理。

晚上10时许,3号发电机停机,转子一点接地保护不再动作。检查励磁柜内可控硅下端阴极阳极,与设备外壳间隙合格,无接地可能;在励磁柜阴极和阳极上测量转子回路对地绝缘,绝缘值合格;对转子UAKB测量模块、相关测量回路进行了检查,无异常。从保护原理上来看,无论发电机在任何状态,UAKB模块是一直监视转子对地绝缘的,停机状态下转子一点接地保护不再动作,可基本排除是UAKB模块及其测量回路的问题。

开机至第六步空转30 min,转子一点接地保护未动作,监视转子对地绝缘值一直大于 $100\text{ k}\Omega$ ;开机第七步起励建压,转子一点接地保护又出现频繁动作/复归的情况,监视转子对地绝缘值多次下降到 $0\text{ k}\Omega$ ;可以看出转子对地绝缘值降低与起励建压有关,可能给转子加压后破坏了转子薄弱部分的绝缘。之后对转子中心体及励磁引线及整个直流部分进行了检查,仔细检查了上下风洞无渗水情况发生,对集电环室进行了清扫,开机空转再起励建压,仍然是一起励建压就频繁报转子一点接地保护动作/复归,问题仍没有解决。

通过分析主站各报文的时间先后关系,注意到在投入电制动时从未报出转子一点接地保护动作。既然转子对地绝缘值降低与起励建压有关,那么投入电制动时也是给转子加了励磁电压的,可在投入电制动时从未报出转子一点接地保护动作;如果是转子因为输入了励磁电压破坏了薄弱部分的绝缘,那么应该在投入电制动时也报转子一点接地保护动作才合理;据此可推测转子回路没问题。

对整个励磁变低压侧对地测试绝缘为 $0\text{ k}\Omega$ ,经拆

解励磁变低压侧至励磁柜可控硅上端头之间的电缆再次检查,确定是C相某根电缆对地绝缘为 $0\text{ k}\Omega$ ,查看该电缆发现其表皮破损搭接在电缆桥架上,如图2。经包扎处理该根电缆,开机建压至第七步,转子一点接地保护不再动作,查找出转子一点接地保护动作是励磁变低压侧C相某电缆表皮破损搭接电缆桥架导致的。

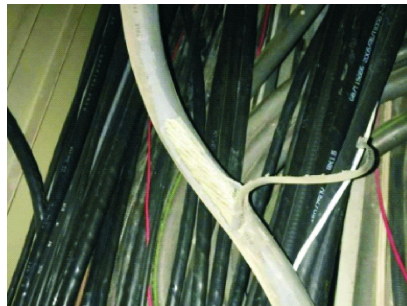


图2 表皮破损的C相某根电缆图

### 3 事件分析

本次转子一点接地保护动作的显著特点是:只在开机建压后才报转子绝缘降低,而且在停机投电制动时不报转子绝缘降低故障,机组停机状态下也不报转子绝缘降低故障。查找整个转子回路,从转子本体到可控硅下端头,整个直流部分都找不出问题,最终确定故障原因在励磁变低压侧,属交流部分。

3号发电机在投入电制动时属于他励方式,由外来厂用电作为励磁电源,经电制动变压器降压后,再通过电制动整流柜整流后给转子加励磁电压形成磁场,从而使定子和转子在磁场的相互作用下让发电机停止转动。3号发电机在停机投电制动时不报转子绝缘降低故障,可看出因转子被输入励磁电压导致转子本体绝缘降低的可能性不大,可说明转子本体部分存在接地的可能性不大。

3号发电机正常运行时励磁方式为自并励静止励磁方式,励磁功率取自励磁变低压侧,经可控硅整流后输入到发电机转子上用以形成磁场。励磁变高压侧为星形接法,与发电机机端相连,励磁变低压侧为三角形接法,与励磁柜可控硅上端相连,如图3。

从转子一点接地保护接线图上来看:

1)3号发电机在励自并励建压时,可控硅导通,转子阴阳极通过可控硅和励磁变低压侧形成直接电的联系,UAKB转子绝缘测量装置发出的近似直流电压可加到励磁变低压侧上,可测量励磁变低压侧绝缘情况,而其他情况下,可控硅关断,无法测量励磁变低压侧绝缘情况;

(下转第78页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.05.021

# 水电联调模式下的“调度运行岗位培训”探析

董峰

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

**摘要:**针对水电站实施梯级联调后的调度值班人员,尤其是新入职的青年员工在岗位培训中出现的问题进行了深入分析,对如何做好岗位培训进行一系列有益的探索,开展导师带徒工作,逐步形成了一套较为有效和可行的岗位培训方法,取得了良好的效果。

**关键词:**水电联调;岗位培训;调度运行

中图分类号:F270.7 文献标志码:C 文章编号:1671-3354(2020)05-0076-03

## On the Dispatching and Operation Post Training under the Joint Dispatching Mode of Hydropower Stations

DONG Feng

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

**Abstract:** The dispatching and operation post training work under the cascade joint dispatching mode of hydropower stations is discussed. Problems found in the post training of the dispatching and operation staff, especially the new young employees, are analyzed. Measures to improve the post training work such as tutor and apprentice are proposed. An effective and feasible post training method is formulated and satisfied results are obtained.

**Key words:** joint dispatching of hydropower stations; post training; dispatching and operation

清江干流拥有水布垭(装机184万kW)、隔河岩(121.2万kW)、高坝洲(27万kW)3座大型骨干电站,2005年开始实行清江流域梯级电站远方集中控制运行,2013年实现3座梯级电站集中控制运行和联合调度。目前,以清江梯调管理中心进行流域电厂机组的调控、监视及流域电厂的少人值守的形式进行。

随着电网对电力企业安全性的要求不断提高,电力企业把职工技能提高和技术创新视为发展的重大战略<sup>[1]</sup>。为了更有效、更切实地满足安全生产及发展需求,清江梯调管理中心逐步开展各类岗位培训活动,大大提高员工业务理论水平,为安全生产工作奠定基础。但由于作息时间、培训方式、个人知识层次差异等原因,培训未达到最理想的效果。为使岗位培训达到最佳效果,清江梯调中心进行了调查研究。

### 1 岗位培训的必要性

1)水电联调工作模式需求。清江梯调管理中心自开展水电联调以来,本着利益共享原则,从整体利益联合发电,取得了较为显著的经济效益。如何进一步挖潜增效,这个重担就落在值班调度员的身上。所以,值班调度员在工作的同时,应加强各类岗位培训,充分提高调度员的综合素质,在水电联调中发挥自身优势,进一步增加经济效益。

2)安全生产需求。安全生产是电力生产的基础和前提,电力企业历来十分重视安全生产。保证安全生产,就必须要有过硬的业务能力,这就需要做好岗位的技术培训,掌握安全生产要点<sup>[2]</sup>。

3)人才竞争和企业发展的需要。企业的竞争归根结底是人才的竞争,企业要充分重视人力资源管理,增强企业凝聚力。要崇尚科学,树立终身学习的理念,

收稿日期:2019-11-04

作者简介:董峰,男,助理工程师,主要从事水电站运行管理方面的工作。

拓宽知识视野,更新知识结构,勇于探索创新。

## 2 岗位培训现状分析

目前,主要采取导师带徒及集中培训方式,该方式给培训带来很大帮助,对职工的成长也起到了促进作用。但也存在一些不足之处。

1) 培训手段单一。由于师傅专业背景不同,擅长的理论或技能有所差异,很多师傅传授技能多以说教为主,培训手段单一,因此,可能出现有的师傅即使自身业务很强,但徒弟未必能学明白。

2) 缺少沟通、反馈。传统培训模式给员工指定师傅,传授其相关技能,具有投入少、见效快的特点。但对青年员工了解沟通不足。没有充分了解青年员工的需求、性格特点以及学历背景,只单一的根据工作需要去教授,容易造成青年员工学习兴趣骤减、效率低下<sup>[3]</sup>。师傅擅长什么、徒弟需要学习什么、想要学习什么,因没有良好的沟通,使培训存在一定的盲区<sup>[4]</sup>。

3) 忽视培训对象需求差异。由于培训对象不同的知识水平、能力、经历、性格,他们所需的培训内容也不同,如果只按照一个标准一个内容进行培训,会有到一定的效果,但不是最佳的培训效果。

4) 培训评估机制不健全。未建立完善的培训效果评估体系,对培训效果进行测评的方法单一,效果评估工作仅仅停留在培训后的一个简单的考试,事后不再做跟踪调查。这样一来,并不能起到考评培训效果的作用,在培训上的投入并没有收到预期的回报。

5) 缺乏有效的奖励机制。不少师徒培训没有和徒弟的职业规划有机结合或者缺乏相应的考核激励机制,不能使培训中的优秀师徒得到充分肯定,致使大家积极性不高。

## 3 培训流程探析

1) 自我分析、评价。自我分析与评价是培训对象对自己进行深层次的自我剖析,分析自身特点,为将来的职业生涯做好规划。首先,自我分析与评价应是客观的,是在正视自己、面对现实的基础上做出的,过高或过低的评价都会给自己的心态带来不利影响;其次,评价应是全面的,既包括自己的特殊素质,又包括综合素质;既包括自己的优点和长处,也包括缺点和不足。只有了解自己,知道自己擅长哪方面、缺少什么,才能在培训中得心应手,学以致用,将培训成果转化为实际应用。

2) 建立并完善关于培训的管理标准。结合企业及自身工作的实际情况,制定完善关于培训、导师带徒

等活动的管理标准,明确相关人员的职责、活动形式和内容、检查与考核办法等,必要时结合现场实际制定实施细则,以便于各类培训活动的展开<sup>[5]</sup>。

3) 开展交流、座谈。在交流、座谈中,需要所有员工畅所欲言,谈自己设定的培训计划,谈自己所需要培训的内容,谈想向哪位师傅学习,谈自己的优缺点,谈对培训的期望等。要把所有关于培训的话题说清楚,做到每位员工都能明确培训工作的意义。还可以用头脑风暴的方法,员工集思广益,探索培训的新模式。

4) 制定有针对性的培训计划。根据被培训人的专业背景和业务水平、性格特点,参考被培训人提出所需的培训内容及培训方式,制定有针对性的培训方案,制定培训计划表,制定学习大纲,内容涵盖学习主题、具体内容和学习要求、重点难点问题、建议学时、参考书目以及考核标准等。培训内容不仅仅是针对岗位的需求和岗位技能,还要涉及员工素质方面的要求,主要有心理素质、个人工作态度、工作习惯等的素质培训。

5) 建立培训库。拥有完善的培训材料,才能有好的培训效果,因此,建立并完善培训库,将培训库变成一项操作简便的工具。培训库包含讲义库、案例分析库、试题库、设备情况库、论文库、设备异动库等。培训库的内容不仅包含业务技能知识,还包含有各类提升综合素质的材料。如何建立并使用好培训库,也是培训过程中的重点。

6) 培训方式多样化。培训方式尽可能多样化、创新化,这样可以避免单一培训方式带来的枯燥。可以利用检修期间安排员工去进行实际操作,锻炼其动手能力。可以安排员工到不同班组实习,了解生产全过程。还可以使用案例研讨法,通过案例来培训,让员工寻找合适的解决方法,可以有效的训练员工分析解决问题的能力。

7) 培训与监督检查同步。为及时了解培训效果,应不定时的进行培训检查,以起到监督作用。检查培训效果的方式不能仅仅局限于考试这一种模式,可适当增加监督检查方式,如根据工作需要,安排培训人员参与编写分析报告、修编规程等,这样也能使员工的业务能力和工作热情得到很大提高。

8) 定期总结分析培训中出现的问题并加以改进。在工作当中,可以将培训工作作为一个QC课题,制定计划并实施后,应不断地进行总结、分析,发现的问题,并继续利用头脑风暴等方法找出解决问题的方法并实施。整个培训过程都应不断地进行PDCA这个循环过程,这样才能逐步完善培训流程。

9) 考核。传统的考核方式就是理论考试,但存在



很大的局限性。在工作中需要的是学以致用,活学活用,所以要使考核方式多样化。首先,理论考试是必不可少的,在掌握好理论知识的前提下才能更好地进行工作。其次,实际操作能力考核,日常工作中主要是实际操作,所以,只有动手能力强了才能在工作中得心应手。第三,就工作中某一问题撰写论文,这样既可以锻炼其分析问题、解决问题的能力,又可以检验其培训效果。第四,在调度工作中,可以进行事故预想,考验其应变能力。总之,考核的方式可以多样化、创新化,宗旨是服务于培训<sup>[6]</sup>。

10) 培训效果的评估和反馈。建立完善的培训效果评估机制,并形成标准,对每次、每周期的培训效果进行评估检查,及时发现问题,以便改进。并将评估过程中发现的问题或者建议,记录整理,反馈给师傅和徒弟,一方面为导师改进培训方法提供依据,另一方面也为徒弟优化学习方法提供参考。

11) 巩固措施。对整个培训流程分析、总结,找出培训的优势特点并加以利用,发现培训流程中的不足之处,利用各种方式进行改正,并固化到整个培训流程,使整个培训流程更加简便、易用。

12) 总结与奖励。制定培训总结与奖惩的标准,培训周期结束,根据培训实施过程及考核的结果等指标综合考察,评选出培训中表现突出的员工,认真总结

其中的科学做法,包括计划方案、实施过程、具体措施等全过程总结,提炼汇总,并适时推广;对其中的优秀师徒,进行适当的奖励。

## 4 结语

针对新时期电力企业高学历新员工不断加入带来的新挑战,就企业如何有效地进行培训工作和有效地开展导师带徒工作,进行了一系列积极有益的分析探索,逐步形成了一套较为有效和可行的方法,对现阶段电力企业如何进行新员工培训,有一定的积极意义。

### 参考文献:

- [1] 邱晶蕾. 浅谈电力企业的员工培训[J]. 中国科技博览, 2016(4): 88
- [2] 武文瑞. 浅谈电力企业生产安全管理新思路[J]. 中国新技术新产品, 2014(19): 162-163
- [3] 孙勇, 周建平. MBTI 在企业青年员工培训中的实践与分析[J]. 人力资源管理, 2016(10): 116-117
- [4] 孙勇, 聂志立. 电力生产企业“模范导师工作室”培训模式探索[J]. 中国电力教育: 企业版, 2014(27): 91-92
- [5] 马振庆. 探讨电力企业中人力资源教育培训的重要性[J]. 人才资源开发, 2018(8): 65-65
- [6] 庞鹏. 浅析国有企业员工培训的创新管理[J]. 北京石油管理干部学院学报, 2017, 24(5): 40-42

(上接第 75 页)

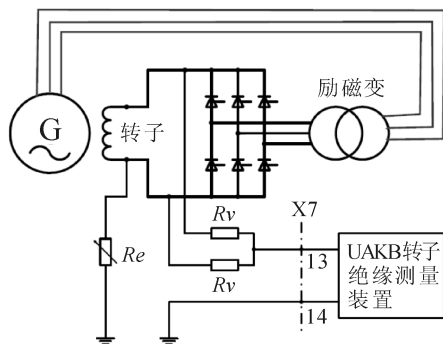


图3 3号发电机自并励方式下励磁系统及转子一点接地保护接线图

2) 励磁变低压侧和高压侧之间无直接电的联系, UAKB 转子绝缘测量装置发出的近似直流电压无法加到励磁变高压侧上, 无法测量励磁变高压侧的绝缘情况。

综上所述, 3号发电机转子一点接地保护的保护区是转子本体、可控硅、励磁变低压侧及其之间的连接导体, 本次转子一点接地保护的動作, 正是励磁变低压侧 C 相某电缆表皮破损搭接电缆桥架导致的。

## 4 结语

导致转子一点接地保护动作的原因很多, 通常情况下, 转子受潮、机械振动、励磁引线接地等直流部分接地均可造成转子一点接地故障。从事继电保护工作需要透彻理解转子一点接地保护的原理及其保护范围, 整个励磁回路从励磁变低压侧一直到转子绕组都可认为是转子回路<sup>[2]</sup>。如果转子一点接地保护动作与发电机自并励建压存在关联, 就应当着重检查励磁变低压侧, 不能只常规检查转子及直流部分。本文介绍了一例比较特殊的转子一点接地故障处理与分析过程, 其接地点在励磁变低压侧交流部分, 希望本文能给继电保护工作者查找转子一点保护接地故障时提供参考。

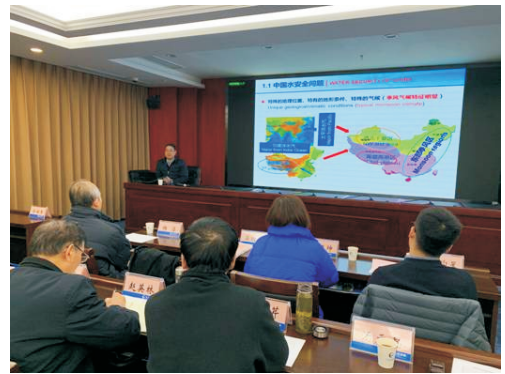
### 参考文献:

- [1] 赵勇军. 一例发电机转子动态接地故障的分析与处理[J]. 大电机技术, 2017(5): 55-57
- [2] 安宁, 丁爱飞, 吴晓林. 几种特殊转子接地故障分析及仿真[J]. 水电自动化与大坝监测, 2014, 38(4): 17-20

## 湖北省水力发电工程学会水工水力学专委会暨长江科学院水力学所2020新年学术交流会成功举办

2020年1月16日，湖北省水力发电工程学会水工水力学专委会暨长江科学院水力学所2020新年学术交流会在武汉成功举办。专委会主任、长江科学院水力学所所长黄国兵同志主持会议。长江科学院副院长、学会副理事长汪在芹和学会副秘书长赵英林分别代表上级单位致辞，特邀嘉宾原长江水利委员会副主任杨淳和来自武汉大学、大连理工大学、南京水利科学研究院、三峡集团中华鲟研究所、长江设计公司、南水北调中线水源公司、汉江集团、鄂北水资源配置工程建设与管理局、长江科学院专家、学者60余人参加了会议。学术交流会包括开幕式、特邀报告、论文交流与颁奖三个环节。

特邀报告，精彩纷呈，高潮迭起，互动热烈。8位报告人参加了优秀论文的评选交流，各位报告人准备充分，重点阐述了论文研究背景、主要创新成果及结论，并回答了评委提问，各位评委根据论文质量和演讲表现逐一进行评分。经严肃认真评比，侯冬梅获一等奖；王智欣和滕素芬获二等奖；黄卫、范敏、杨青远、刘火箭、薛阿强获三等奖；长江科学院枢纽与电站水力学室获优秀组织奖。



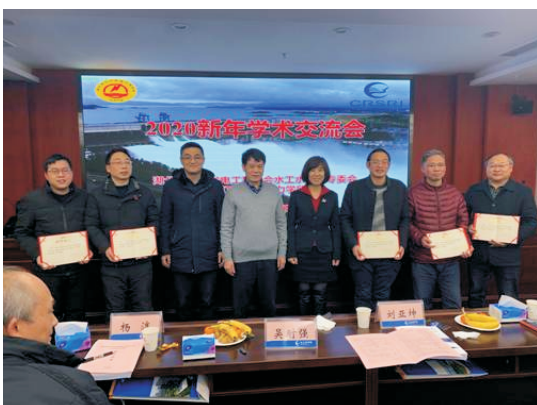
吴时强作特邀报告



2020年新年学术交流会会场



杨淳为一等奖获得者颁奖



刘亚坤、黄国兵、廖仁强、杨中华为三等奖获得者颁奖



汪在芹和赵英林为二等奖获得者颁奖



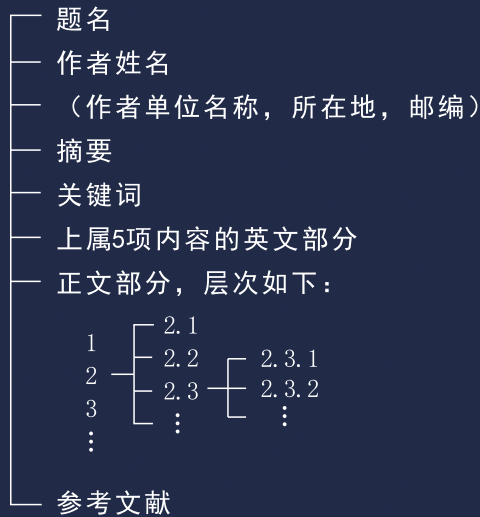
### 《水电与新能源》投稿须知

1、《湖北水力发电》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任主编，由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，本刊自2019年第11期以崭新面貌面世。

2、《水电与新能源》为向国内外公开发行的技术类期刊，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。刊物内容建设与管理并重，理论与实践齐收，主要有水电、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，手机号。

3、稿件须论点鲜明、论据可靠、数据准确、文字精练，符合国家保密规定，赋有创新性，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，控制在150字内为宜；关键词3~5个。

6、文章控制在6 000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，置于图的下沿；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。表采用三线表，应有表序和表题，置于表的顶线以上，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