



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08月(第9卷)



丹江口泄洪原型观测

ISSN 1671-3354



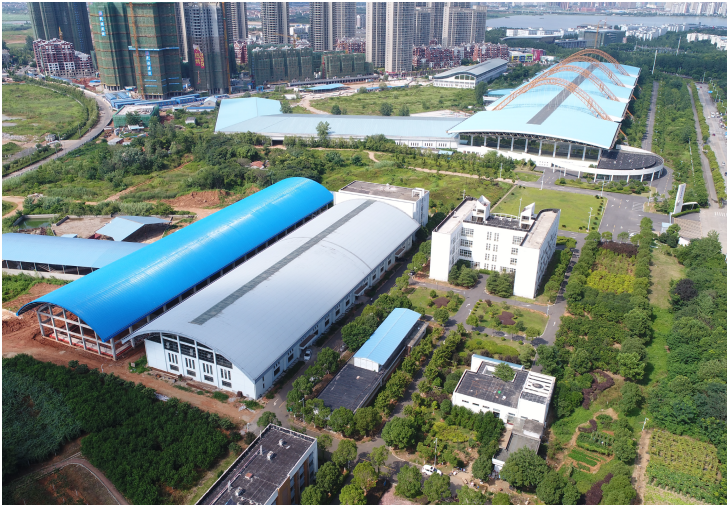
9 771671 335203

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

9

2020
第34卷

长江科学院水力学研究所



图/汉阳沌口科研基地

水力学研究所创始于1951年10月，是长科院最早建立的专业研究单位之一。下设枢纽与电站水力学研究室、灾害水力学研究室、高速水流与通航水力学研究室、环境与生态水力学研究室和综合室。现有职工52人，其中教授级高工10人，高级工程师31人，博士及硕士28人。水利部“5151”部级人才1人，“湖北省新世纪高层次人才”5人，“全国水利技术能手”2人，“湖北省青年岗位能手”1人。曾荣获湖北省五一劳动奖状。

研究条件：拥有汉口九万方、汉阳沌口和宜昌前坪三处科研基地。全所共有常规试验大厅10座、水工程环境试验大厅1座(国内最大鱼道水力学研究设施，具备水温调节、鱼类养护等试验条件)、大型减压箱3座、多功能波浪水槽1座，拥有非恒定流控制水槽、粒子图像测速仪(PIV)、大范围表面流场测控仪、无人机等先进的室内试验和野外观测设施设备数百台套。此外，还拥有包括激光切割机床、数控雕刻机等高精度设备在内的试验模型制作车间，是国内水力学研究领域专业最全、规模最大的研究机构之一。

研究方向：枢纽布置与消能防冲、泄洪雾化预测及防治、滑坡涌浪模拟及测量、水利工程生态响应机理和影响评价、水库生态调度方法与补偿机制、鱼类洄游通道研究与设计、水库分层取水理论及调控技术、河流底栖动物研究、生态护坡研究与设计、钉螺扩散防治技术、高速水流与空化空蚀及减蚀措施、闸门水力学及流激振动、电站水力学、施工导截流、通航水力学与船模、计算水力学及水力学安全监测、近海岸水动力学、调水工程水力学、节水规划及技术、核电及火电工程冷却水研究，滑坡涌浪、山洪泥石流、堤坝溃决等灾害水力学问题、城市洪涝灾害风险分析、环境生态水力学、景观水力学、冰水力学问题、饮用水保护区划分、水环境污染与治理、地下水示踪探测、市政管网水力学、水库淤积及库区漂浮物治理与控制等。



图/宜昌前坪科研基地

月刊
2020年第9期
第34卷(总第195期)
2020年9月30日出版
1987年9月创刊
2010年1月更名

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

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

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

编辑部
主编 夏军
常务副主编 赵英林
执行副主编 徐云修
副主编 陈启卷 李文伟 周伟
办公室主任 刘卫民
办公室副主任 江晖
联络部主任 程汉兰
本期责任编辑 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 自办征订

□高端论坛□

- 长江流域水资源保护与管理 穆宏强(1)
某水电站技术供水系统优化 赵业文,豆乐飞,袁章程(6)
非洲电力旗舰项目可助力区域工业中心的打造 杨继东(9)

□科学研究□

- 渠堤工程填方渠段表面变形监测统计模型研究
..... 李慧媛,蒋雨婷,廖阳权(12)
南方电网电池储能技术应用及发展机会探讨
..... 罗佑坤,乔志园,辛晟(16)
降低220 kV输电线路铁塔接地电阻值的应用研究 刘江(21)
某电厂线路保护光纤通道故障应急处理的探讨
..... 杨涛,王龙辉,胡嵩嵩(25)
基于最小二乘支持向量机的变压器故障诊断研究
..... 高洁,席先鹏(28)
深水导管架在海上风电项目的施工方法探讨 范荣山,张健(32)

□建设与管理□

- 大型水电站运行管理单位前期参与工程建设全深度探讨
..... 赵爽,董钟明,王凯(36)
水布垭电厂2F机组进水口工作门下滑分析
..... 唐伟,王维,魏兴波,赵江洪,张应强(39)
溪洛渡水电站进水口拦污栅栅叶制造工艺优化研究
..... 杨浩坤,程惠(42)
基于ANSYS软件的海上升压站上部组块吊耳的有限元分析
..... 吴子昂,张晓蕊(46)
某水电站机组调速器油压装置补气频繁原因分析
..... 李佳栋,王文超,罗浩,刘敏琦,王学成(50)
构皮滩升船机超重型设备吊装方案设计
..... 耿克普,宋金育,全志杰,刘川(53)
南瑞NES6100励磁调节器在某巨型水电站的应用
..... 张元栋,刘光权,柳呈祥,黄柯维(58)
水电站集控运行模式下“两地办公”值班方式的创新与实践
..... 张鹏(62)
高坝洲电厂调速器系统优化改造 李尹罡,黄安国(65)
葛洲坝电站自补偿轴向端面密封安装调整工艺优化探讨
..... 何强锋,陈媛,何佳(68)
水布垭电厂控制系统智能化建设 瞿森森,张念,邢丹(72)
浅析小断面隧洞开挖单价的编制要点 万佳俊(74)

HYDROPOWER AND NEW ENERGY

September 2020 Number 9

Contents

Protection and Management of Water Resources in the Yangtze River Basin	MU Hongqiang(1)
Optimization of the Technical Water Supply System for a Hydropower Station	ZHAO Yewen, DOU Lefei, YUAN Zhangcheng(6)
Development of the Regional Industrial Center in Africa with the Help of the Flagship Electric Power Project	YANG Jidong(9)
Statistical Model for Surface Deformation Monitoring of Embankment Section in Canal Projects	LI Huiyuan, JIANG Yuting, LIAO Yangquan(12)
Application and Development Opportunities of the Battery Energy Storage Technology in China Southern Power Grid	LUO Youkun, QIAO Zhiyuan, XIN Sheng(16)
Reduction of the Grounding Resistance of 220 kV Transmission Line Tower	LIU Jiang(21)
Emergency Treatment of Fiber Channel Fault for Transmission Line Protection	YANG Tao, WANG Longhui, HU Songsong(25)
Transformer Fault Diagnosis based on Least Squares Support Vector Machine	GAO Jie, XI Xianpeng(28)
The Construction of Deepwater Jacket Foundation in Far-reaching Offshore Wind Power Projects	FAN Rongshan, ZHANG Jian(32)
Early Participation of the Operation and Management Units in the Construction of Large-scale Hydropower Projects	ZHAO Shuang, DONG Zhongming, WANG Kai(36)
Analysis of Abnormal Sliding of the 2F Unit Water Intake Gate in Shuibuya Hydropower Plant	TANG Wei, WANG Wei, WEI Xingbo, ZHAO Jianghong, ZHANG Yingqiang(39)
On the Optimization of Manufacturing Process of Water Inlet Trash Rack Blades in Xiluodu Hydropower Station	YANG Haokun, CHEN Hui(42)
Finite Element Analysis of the Lifting Lug in Upper Part of an Offshore Booster Station with ANSYS Software	WU Zi'ang, ZHANG Xiaorui(46)
Analysis and Treatment of Abnormally Frequent Air Replenishment in Governor Oil Pressure Device in a Hydropower Station	LI Jiadong, WANG Wenchao, LUO Hao, LIU Minqi, WANG Xuecheng(50)
Design of the Hoisting Scheme for Super-heavy Equipment in Goupitan Shiplift	GENG Kepu, SONG Jinyu, QUAN Zhijie, LIU Chuan(53)
Application of NARI NES6100 Excitation Regulator in a Giant Hydropower Station	ZHANG Yuandong, LIU Guangquan, LIU Chengxiang, HUANG Kewei(58)
Innovation and Practice of the "Work in Two Places" Scheme in Hydropower Stations under Centralized Control Operation Mode	ZHANG Peng(62)
Optimization Renovation of the Governor System in Gaobazhou Hydropower Plant	LI Yingang, HUANG An'guo(65)
Installation and Adjustment Process Optimization of the Self-compensating Axial End Seal in Gezhouba Hydropower Station	HE Qiangfeng, CHEN Yuan, HE Jia(68)
Intelligence Construction of Control System in Shuibuya Hydropower Plant	QU Sensen, ZHANG Nian, XING Dan(72)
Key Points of the Unit Price Preparation for Small Section Tunnel Excavation	WAN Jiajun(74)

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.1671-3354.2020.09.001

长江流域水资源保护与管理

穆宏强

(长江流域水资源保护局,湖北 武汉 430010)

摘要: 水资源保护为长江生态环境保护的重要方面。在“长江大保护”的背景下,如何保护好长江水资源和水生态是应该深入研究的大课题。为此,介绍了长江水资源保护与管理状况,以及长江的水资源质量状况,根据新形势下的长江水资源保护要求与工作基础,就长江水资源保护与管理的核心内容做了分析,结合存在的问题,提出了一些观点,期望能对长江水资源保护与管理提供参考。

关键词: 长江流域;长江大保护;水资源;水量;水质;水生态

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)09-0001-05

Protection and Management of Water Resources in the Yangtze River Basin

MU Hongqiang

(Bureau of Water Resources Protection of the Yangtze River Basin, Wuhan 430010, China)

Abstract: Water resources protection is an important aspect of the Yangtze River ecological environment conservation. With the emphasis of the Yangtze River Conservation, the protection of the water resources and water ecology of the Yangtze River is an important topic that should be studied deeply. This paper introduces the current situation of the water resources protection and management of the Yangtze River, as well as the current status of the water quality. Considering the requirements and basis of the protection work under the new situation, the essential content of the water resources protection and management is analyzed. Some suggestions are then proposed for existing problems, which could be useful reference to the water resources protection and management of the Yangtze River.

Key words: Yangtze River basin; Yangtze River conservation; water resources; water quantity; water quality; water ecology

长江是我国第一大河,自古以来承载着中华民族的福祉和期盼。长江以其丰富的水资源生产着占我国1/3的粮食,养育着超过我国1/3的人口,创造着超过我国1/3的GDP,具有占我国60%的内河航运里程。长江流域水资源与水生态保护历来是人们关注的重点。几十年来,流域管理机构及流域内各地政府开展了卓有成效的工作,取得了丰硕成果,流域水环境质量总体上保持着良好在状态,但部分支流和局部江段污染比较严重,湖泊富营养化问题突出,水生态环境堪忧。为了保护长江,国家先后实施了重点流域水污染防治规划、长江流域综合规划、长江防护林建设、天然林保护工程、长江上游水土保持重点防治工程等,极大地改善了流域生态环境。为了更好地保护长江生态环

境和水资源,2014年国务院印发了《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》,把长江经济带发展与京津冀协同发展、“一带一路”上升为国家发展战略;2016年1月习近平总书记在重庆主持召开推动长江经济带发展座谈会,提出“共抓大保护,不搞大开发”的要求;同年3月,中央政治局审议通过《长江经济带发展规划纲要》,对长江经济带发展给予了明确定位;2018年4月,为了推动长江经济带高质量发展,习近平总书记又在武汉召开座谈会,进一步阐述了共抓长江大保护与经济社会发展的关系。

水资源保护作为长江生态环境保护的重要方面。在“长江大保护”的背景下,如何保护好长江水资源和水生态是应该深入研究的大课题。为此,本文就长江

收稿日期:2020-07-01

作者简介:穆宏强,男,教授级高级工程师,博士,从事长江流域水资源保护研究和管理工作的。

水资源保护与管理的核心内容做了分析,结合存在的问题,提出了一些观点,期望能对长江水资源保护与管理提供参考。

1 长江水资源保护

长江水资源保护经过几十年的发展,基本形成了包括水资源保护规划体系、监督管理体系、监测监控体系、科研支撑体系和水资源保护工程措施体系^[1]。为维护健康长江,促进人水和谐起了重要作用。

1.1 规划体系

长江流域水资源与生态环境保护规划的最早体现是上世纪50年代长江水利委员会(简称长江委)组织编制的《长江流域综合利用规划要点报告》中,有专门的水土资源保护要求。此后,在1990年国务院批准实施的《长江流域综合利用规划简要报告(1990年修订)》中,列有水资源保护和水土保持规划专章。2012年,国务院批准的第三轮《长江流域综合规划(2012-2030年)》,把水资源与水生态环境保护放在突出位置。在规划的总体布局上,按照“在保护中促进开发,在开发中落实保护”的原则,开发与保护并重,以水资源承载能力、水环境承载能力和水生态系统承载能力为基础,把握开发利用的红线和水生态环境保护的底线。水资源保护的任务是:以水功能区划为基础,严格控制入河污染物排放总量,加快速点和面源污染治理,加强干流主要河段和主要支流综合治理,强化湖泊和水库富营养化治理;以河道生态需水为控制目标,合理控制水资源开发利用程度,加强水利水电工程调度运行管理,使干支流控制断面下泄水量和流量满足生态环境需水要求。

上世纪80年代以后,长江委先后组织开展重点河段和主要支流或区域的水资源保护规划编制,特别是长江流域水资源保护规划先后编制了几轮,都有成果,但遗憾的是都没有被批准实施。2011年底,水利部组织开展全国水资源保护规划。2017年5月,经国务院批准,水利部印发实施,长江流域包括其中。

1.2 监督管理体系

长江流域的水资源保护监督管理体系是随着我国法治化进程的加快和流域水资源保护的需求逐渐加强的。上世纪80年代初,城乡建设环境保护部和水利电力部共同明确了长江流域水资源保护机构的主要任务与职能。1984年11月,《水污染防治法》明确了重要江河水源保护机构是协同环境保护部门对水污染防治实施监督管理的机关。1988年1月,《水法》和同年6

月国务院出台《河道管理条例》,规定了水利部门有关入河排污口设置和水质监测的职责。1996年修订的《水污染防治法》规定,流域水资源保护机构负责监测省界水体水质。1998年,国家政府机构改革进一步明确了流域管理机构和流域水资源保护机构的水资源保护职责。2002年新修订的《水法》强化了流域管理机构的水资源保护管理职能。2008年,修订的《水污染防治法》又进一步强化了流域水资源保护机构的职能。

依据现行法律法规,长江委除在长江流域内行使法律法规规定的和水利部授予的水资源保护管理和监督职责,主要包括水资源保护规划编制、水功能区管理、入河排污口监督管理、省界水体水质监测、饮用水水源地保护、水生态环境保护与修复、河湖健康评估、水污染事件应急响应、取水许可水质管理、信息统计与发布、水资源保护科学研究等,并对长江流域各地水行政主管部门的水资源保护工作进行协调、指导和服务,形成了较为完善的流域水资源保护监督管理体系。

1.3 监测监控体系

在水环境监测方面,形成了较强的综合监测能力。监测项目包括水、固体、环境空气、噪声和水生生物等五大类。截至2018年底,长江流域的水质监测站点已超过4600个,覆盖了全流域地表水和部分地下水。形成了包括1个流域中心、8个流域分中心、20个省级中心及近百个地市级分中心比较完善的监测网络。监测内容包括水质、水量、水生生物、底质等在内的水生态环境各相关要素,监测对象覆盖了省国界水体、水功能区、入河排污口、饮用水水源地、地下水、水生态以及长江干流及主要支流监督性监测、突发水污染事件应急监测等,固定监测、移动监测和自动监测相结合,为流域水资源保护提供了重要的基础支撑。

1.4 科研支撑体系

科学研究是水资源保护与管理的重要支撑。几十年来,长江委组织先后开展了国家“七五”“八五”“九五”科技攻关、国家自然科学基金、国家863科技攻关项目、国家基础科学研究计划(973项目)、国家重点研发计划、水利部科技创新项目、水利行业公益科研专项等一系列科研项目,长江流域的水资源保护科学研究从最初的水环境研究发展到水功能区管理研究,以及水生态环境保护与修复的多学科、多领域的系统保护研究。并在水化学特征、污染物迁移转化规律、水质监测方法、水质数学模型、水域纳污能力及污染物总量控制技术、区域生态补偿、水工程环境影响评价、河湖健

康管理与评估、水安全保障、饮用水水源地保护、生态环境保护与修复、长江水资源保护生态带建设与技术等方面,取得了一系列成果,为长江流域水资源与生态环境保护以及管理职能的落实提供了重要的技术支持。

2 长江流域水资源质量状况

2.1 河湖水质状况

长江流域水资源质量状况总体良好,部分支流和长江干流城市江段水质较差,部分湖泊水体富营养化比较严重。根据长江委发布的2018年《长江流域及西南诸河水资源公报》^[2],按照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)进行评价,长江流域评价的5.85万km河长中,优于Ⅲ类水的河长占88.5%,基本可以满足经济社会发展的用水需求。在评价的61个主要湖泊中,优于Ⅲ类水的湖泊只占9.8%,73.3%的湖泊水体为Ⅳ类水,近87%的湖泊水体呈富营养化状态;国家重点治理的滇池、太湖、巢湖都处于富营养化状态。在评价的365座水库中,81.6%的水库能全年保持在Ⅲ类水以上,12.5%的水库水体呈现富营养化。在评价的544个饮用水水源地中,水质合格的占85.3%,部分水源地水质较差,主要是总磷、重金属污染。

2.2 废污水排放情况

随着经济社会的发展,长江流域的废污水排放量平均每年以1%左右的速度增加,2018年全流域的废污水排放量超过344亿m³。近年来,长江流域工业废污水排放量增速在放缓,但生活废污水排放量增加较快,工业废污水排放量与生活污水排放量的比例由7:3调整至5:5,亟需提高公众的节水意识。长江干流中下游总磷含量普遍升高。长江两岸分布着过万家化工企业,存在重大水安全隐患。强化水资源保护与管理迫在眉睫。

根据上世纪90年代初的调查,长江干流沿岸20多个城市江段岸边污染近600公里长;到2002年增加到700多公里,其长度随着城市的扩张也在增长;到2016年的调查结果非常令人担忧,城市岸边污染带不显著了,原因是沿江的废污水排放方式改为深排或离岸排放。沿江各地的排污都在向长江转移,排放量有增无减,由过去岸边污染已经向全江全断面发展,长江真的病了。必须要加大水污染治理力度,严格控制水污染物排放,逐步实现污染物排放的总量控制、浓度控制和种类控制,强化水环境综合治理,维护健康长江,实现长江的永续利用。

3 新形势下的长江水资源保护

3.1 国家战略要求

长江流域是我国水资源战略配置的中心,关乎我国社会经济的可持续发展。已经实施的南水北调中线、东线工程累计向北方调水数百亿,惠及数亿人口,未来规模还将扩大,惠及更大的区域。同时,长江流域也是我国经济社会发展最活跃的地区之一,其地位极其重要,保护好水资源对于长江乃至我国的经济社会发展具有深远的战略意义。2014年9月,国务院印发了《关于依托黄金水道推进长江经济带发展的指导意见》(国发[2014]39号,以下简称《意见》),这个经济带就包括上海、浙江、江苏、江西、安徽、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南11个省市,总面积达205万平方公里,其中有70.7%的面积属于长江流域。《意见》明确要把长江经济带建设成为具有全球影响力的内河经济带、东中西互动合作的协调发展带、沿海沿江沿边全面推进的对内对外开放带和生态文明建设的先行示范带。《意见》提出了七项重点任务。一是提升长江黄金水道功能;二是建设综合立体交通走廊;三是创新驱动促进产业转型升级;四是全面推进新型城镇化;五是培育全方位对外开放新优势;六是建设绿色生态廊道;七是创新区域协调发展体制机制。这既是对长江经济带的战略定位,同时也是对长江流域发展的战略定位。

3.2 可持续发展的要求

为了推动长江经济带发展,2016年1月习近平总书记在重庆主持召开座谈会,强调“推动长江经济带发展必须从中华民族长远利益考虑,走生态优先、绿色发展之路,使绿水青山产生巨大生态效益、经济效益、社会效益,使母亲河永葆生机活力”。“要把修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发”。并提出了保护生态环境要用“快思维”、做加法;而在科学利用水资源、优化产业布局、统筹港口岸线资源和安排一些重大投资项目上,如果一时看不透,或认识不统一,要用“慢思维”,做减法的思路。

同年3月,中央政治局审议通过《长江经济带发展规划纲要》;9月,中共中央国务院印发实施。《规划纲要》从规划背景、总体要求、大力保护长江生态环境、加快构建综合立体交通走廊、创新驱动产业转型升级、积极推进新型城镇化、努力构建全方位开放新格局、创新区域协调发展体制机制、保障措施等方面描绘了长江经济带发展的宏伟蓝图。

2018年4月,习近平总书记在武汉主持召开进一步推动长江经济带发展座谈会,对长江经济带发展作了总结部署。同时,指出长江经济带发展中还存在

着对长江经济带发展战略仍存在一些片面认识、生态环境形势依然严峻、生态环境协同保护体制亟待建立健全、流域发展不平衡不协调、有关方面主观能动性有待提高等突出问题。针对这些问题,总书记提出了应该把握好的五个关系,即正确把握整体推进和重点突破的关系,全面做好长江生态环境保护修复工作;正确把握生态环境保护和经济发展的关系,探索协同推进生态优先和绿色发展新路子;正确把握总体谋划和久久为功的关系,坚定不移将一张蓝图干到底;正确把握破除旧动能和培育新动能的关系,推动长江经济带建设现代化经济体系;正确把握自身发展和协同发展的关系,努力将长江经济带打造成为有机融合的高效经济体。这些重要节点无疑对长江经济带的高质量可持续发展提供了基本遵循。

3.3 已开展的重点工作

为了推动长江经济带发展,贯彻落实《长江经济带发展规划纲要》确定的任务,在推动长江经济带发展领导小组和水利部的统一部署下,长江委先后组织编制了《长江经济带水利支撑方案》、《长江经济带沿江取水口、排污口和应急水源布局规划》、《长江经济带岸线保护与开发利用总体规划》,并获得水利部批复实施;环境保护部还组织编制并批复了《长江经济带生态环境保护规划》,这些规划的实施为长江经济带生态环境保护作了有效的顶层设计。此外,长江委根据水利部的工作要点,组织编制完成了《长江经济带水环境承载能力现状评价》、《长江经济带重要江河湖泊水功能区限制排污总量方案》、《长江经济带水环境承载能力现状评价》、《长江经济带河段分区保护管理要求》、《长江经济带水资源保护带、生态隔离带建设方案》、《长江经济带水权交易试点方案》、《跨省界考核断面监测网络建设与考核实施方案》、《长江水环境救援基地建设方案》等7项工作方案。这些成果为加强长江流域水资源保护、生态保护与修复、入河污染物总量控制和入河排污口监督管理提供了重要的技术支持。

4 长江水资源保护的核心内容

长江流域水资源保护与管理的核心是流域管理机构及流域内各级地方人民政府按照现行法律法规规定和授权,实行流域与区域管理相结合的管理体制,各自按照职责开展水资源保护与管理工作。具体内容涵盖水量、水质和水生态三个方面。这是实施最严格水资源管理和生态环境保护制度的基本要求。

4.1 水量保护

水量保护应包括总量保护和生态需水保护两个方

面。在总量保护方面,就是要通过法律、技术、经济和工程的手段,有效保护与管控河流的水量,使之满足生态环境与经济社会发展的需要。目前,最严格水资源管理制度只规定了水资源的用量控制,即以县级行政区为单元,控制其年用水总量不超过一定限值,并力图把这个总量分配至河流(或河段)。但对跨区域或跨区域调水,却没有总量控制的要求,这是应该研究的重大问题。应该深入研究河流域本身的生态环境需求与经济社会发展的需要,给河流一个明确的限制指标,即在满足河流本身维护生态环境和经济社会发展需求的前提下,还能有多少水量共利用或者调出。有专家指出,一个国家或地区水资源开发至少应扣除60%的水资源量用于维持生态环境^[3]。如按照这个标准,我们许多河流的开发利用已经超过了极限,严重损害了水生态环境。应该引起高度重视。

对南方河流,其水生态系统状况较好,是我国的水生生物宝库。河流(河段)水资源开发利用率应控制在不超过30%为宜。在总量保护上,也应以此为标准,跨区域或跨流域的调水量不宜超过这个限值,给河流水生态系统留出较大的生存空间。

河流生态需水的保护与管理至关重要,必须是强制性的。对于早期建设的没有泄放生态流量设施的大坝,应按要求进行改建或通过调度,保证下游河道保持一定的流水环境;对于有泄放设施的工程,必须按照规程下泄生态流量,如果下游有鱼类产卵要求的,应通过生态调度,人造洪峰,给鱼类产卵创造水动力条件。水利工程下泄生态流量必须严格管控,通过视频和计量设施监测监控下泄流量,实现真正意义上的水资源管控制度。对于中小河流上的引水式小水电站或对下游造成影响的小水电站,应及早研究其合理的退出机制和小水电站退出的评估技术,逐渐恢复中小河流的自然状态。

4.2 水质保护

长江流域的水环境状况总体良好,但农村等区域的小微水体、黑臭水体、水网地区的港湖沟汊水质污染严重,影响到全局的水环境。其核心是没有抓住根本性的问题,即点污染源的治理和面污染源的控制。对于点污染源,经过几十年的治理已经取得了明显成效,特别是工业和城市废水的排放管控严格,从法律上讲基本上都具有合法性,排放标准也很明确,但问题是日常监管仍然有不到位的现象,偷排现象时有发生,污染物的控制只注重是否总量达标,没有实现污染物浓度、种类和总量三控制。很多城镇污水处理厂由于管网不配套,污水收集长期达不到规模,大马拉小车,造成极大浪费。还有的地方不能因地制宜,本可以分散

处理的,片面追求污水处理厂上规模,集中建设污水处理厂,导致设备长期闲置,运行资金不到位,大量的污水处理厂长期不能正常运行。应该重新审视我国污水处理厂的建设,特别是乡镇污水处理厂和农村污水处理方式。研究解决这些问题的办法,首先是运行维护资金,必须纳入地方各级财政预算,不能依靠市场来解决;其次,要因地制宜,采用灵活多样的污水处理设施,推广使用低成本、生态化的处理技术,不追求高大上,特别是农村生活污水应经过处理实现资源化,做有机肥施用,既可以解决排的问题,又可以减少化肥施用量,实现农业的绿色发展;第三是强化污水处理厂运行监控监管,对漏排偷排行为加大处罚力度,大幅度提高违法成本;四是出台相关政策,鼓励中水回用,既减少了废污水排放,又可以使污水资源化,既节约了成本,又节约了水资源,一举多得。

关于污染物总量控制,目前我们国家主要有两种统计口径,一是环境部门的污染物总量控制,通常是纳入国家节能减排方案中,每五年一个阶段,在2030年以前都是按年减少的,减排的指标为COD和氨氮。二是水利部门的统计数据,一般是在年度水资源公报中公开发布,该数据包括废污水产生量和入河量。前者的统计口径是工业、建筑业、第三产业和城镇居民生活等用水户排放的水量,经过供水、用水、耗水和排水平衡后的结果,是产生量;后者是排入河湖沟渠等水体的废污水量,称为入河量。环境和水利部门各自为政,公开的数据不能协调,似乎都没有权威性。这种现象不能再维持下去了。

此外,从长江流域的水环境现状来看,由于没有从根本上截断污染源,导致水环境的改善效果不明显,最典型的就是滇池、巢湖和太湖的治理。20多年前国家就将“三湖”治理列为国家重点流域水污染防治规划,投巨资治理水环境,至今仍然没有从根本上改善其富营养化状况。引江济太、引江济巢等工程客观讲都是权宜之计,不是治本之策。核心是截污治污,逐渐恢复湖泊水环境和良好的水生态系统。

4.3 水生态保护

水生态保护的实质是保护水生态系统适宜的环境,即包括水量、水质和水生态系统赖以存在的河流湖泊底床、岸带和自然形成的河弯、湖湾、急流、深潭、汉道以及与之相适应的水量(流)、水质和营养物质条件。但由于经济社会发展的需要,河流开发如火如荼,除了赤水河干流基本保留没有大坝阻隔的形态外,几乎所有的河流都实现梯级开发,修建了大量的水利水电工程,阻断了河流上下游物质交流;还有的河流为了航运被渠化。应该重新审视和评估这种措施对于河流

天然形态及水生态系统的损坏效应。在河流开发利用中一定要注意保留河流河岸带和河床的自然化形态。在水生态保护与修复中,更应该注意河流、沟渠的趋自然化,为水生态系统营造适宜的环境。

虽然河流开发对水生态系统造成了很大影响,但在长江葛洲坝水利枢纽建设过程中,即开展了对保护中华鲟的研究,取得了显著成效,至少是延缓了珍稀鱼类灭绝的时间。随后在河流的水利水电开发中,一律要求建设鱼类增殖放流站或者鱼道,这是保护鱼类、改善鱼类资源的一些措施。但效果如何,是否科学,鲜有权威评估。鱼类增殖放流是一个科学问题,怎样放、何时放、在哪放、放什么鱼、放多大的鱼、鱼苗的组成怎样,都需要研究,增殖放流绝不是一种保护鱼类的姿态,更不是贴金的行为,要通过科学研究才能确定。应该深入研究由于河流开发造成的水生态系统价值评估理论,并把这种价值损失纳入工程预算中,集中使用,主要用于鱼类保护、损失补偿及管理,建设集中式的、集研究和保护于一体的增殖放流站等。不讲科学的放流,是典型的形式主义,既浪费了资源,又得不到期望的效果。事实上,由于我们的监管不到位,滥捕滥捞、电渔酷渔等造成的鱼类资源损害,以及毫无节制地水污染物排放对河流生态系统造成的损害,远比建坝对其造成的损害严重得多。必须及早给河流休养生息的时间,给长江和一些重要河流5~10年的禁渔期,使其逐渐恢复水生态系统,还河流以生机,还长江以美丽。

5 结语

本文针对长江大保护的核心问题,水资源与水生态保护,从传统的视角,就水量、水质、水生态系统的保护与管理提出了一些观点,可能这些观点不合时宜,但至少可以有一些借鉴。长江大保护是一个超级巨系统,涉及经济社会的方方面面,“生态优先、绿色发展”是对我们传统发展观念的洗礼,必须充分认识科学发展和大保护的深刻内涵。期望理论界能够对长江大保护做一些理论探讨,用以指导长江流域经济建设、基础设施建设、资源开发、城市建设、内河航运、立体交通走廊构建、科技教育、产业结构、财政金融、农村农业发展、环境保护等的可持续发展。同时也为其他流域或区域的高质量发展提供理论支撑和经验借鉴。

参考文献:

- [1]长江流域水资源保护局. 长江水资源保护40年[M]. 武汉:长江出版社,2017
- [2]长江水利委员会. 长江流域及西南诸河水资源公报(2018年)[M]. 武汉:长江出版社,2019
- [3]范晓秋. 水资源生态足迹研究与应用[D]. 南京:河海大学,2005

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.002

某水电站技术供水系统优化

赵业文, 豆乐飞, 袁章程

(中国长江电力股份有限公司, 湖北 宜昌 443000)

摘要:通过分析某水电站机组技术供水系统的特点,其主要优点是有主设备冗余设计、二级减压设计、正反向供水设计以及安全设计等,但也暴露出一级减压阀无冗余的不足。经对系统以及其运行方式的研究探索,提出在不增加设备、合理利用现有设备的基础上,充分利用环境因素,采用两路减压供水一备一用的仅增加一级减压阀冗余的优化方案,提高了系统的安全可靠性。

关键词:技术供水;减压阀;优化

中图分类号:TV737

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)09-0006-03

Optimization of the Technical Water Supply System for a Hydropower Station

ZHAO Yewen, DOU Lefei, YUAN Zhangcheng

(China Yangtze Power Co., Ltd, Yichang 443000, China)

Abstract: The characteristics of the technical water supply system in a hydropower station are analyzed. It has certain advantages such as the redundancy of main equipment, two-stage pressure reduction, forward and reverse water supply and safety design. While no redundancy of the first-stage pressure reduction valve is provided. On the basis of no additional equipment and reasonable utilization of existing equipment, an optimization scheme is proposed, in which a one-stage pressure reduction routine and a two-stage pressure reduction routine are provided separately as the major and standby water supply. The reliability of the system is improved with this redundancy design.

Key words: technical water supply; pressure reduction valve; optimization

水电站技术供水又称生产供水,与消防供水、生活供水共同组成水电站的供水系统,其主要作用是对设备进行冷却,有时也用于润滑及水压操作。

某水电站技术供水系统,经多年运行,主要有主设备冗余设计、二级减压设计、正反向供水设计以及安全设计等优点,也暴露出一级减压阀无冗余的不足之处。在不增加设备、合理利用现有设备的基础上(空间限制),充分利用环境因素,优化技术供水系统、优化系统运行方式,提出了二路供水的优化解决方案,提高了系统的安全可靠性。

1 电站及技术供水系统简介

1.1 电站简介

该水电站为地下式厂房,安装单机额定容量为

700 MW 的巨型水轮发电机组。为发挥该水电站上游水库的最大防洪效益,电站上游水库以防洪调度为主:汛期,上游库水位一般维持在防洪限制水位,预留防洪库容调节可能的洪水;枯水期,在保证水库下游有较大航深的前提下,上游库水位逐渐蓄升至正常蓄水位,以提高水能的利用率及电站的经济效益。因此,该水电站可称之为季调节电站,电站水头波动较大。

1.2 技术供水系统简介

该水电站技术供水系统采用单机单元自流减压供水方式,水源取自上游水库,取水口设置在蜗壳内,备用水源取自相邻机组;2 台全自动滤水器,1 台工作,1 台备用;3 台供水减压阀按二级减压设计,2 台二级减压阀,1 台工作,1 台备用;1 台泄压持压阀;正反向倒换阀门组;管路、阀门、自动化控制元件及用户等组成(如图 1)。

收稿日期:2019-11-13

作者简介:赵业文,男,高级工程师,主要从事水轮发电机组及其辅助设备的检修工作。

2 技术供水系统的优点与不足

2.1 技术供水系统的优点

2.1.1 冗余设计

该技术供水系统设计有备用取水口,当某台机组技术供水系统蜗壳取水口堵塞,取水压力或流量不能满足用户需要时,可迅速切换至备用水源;该技术供水

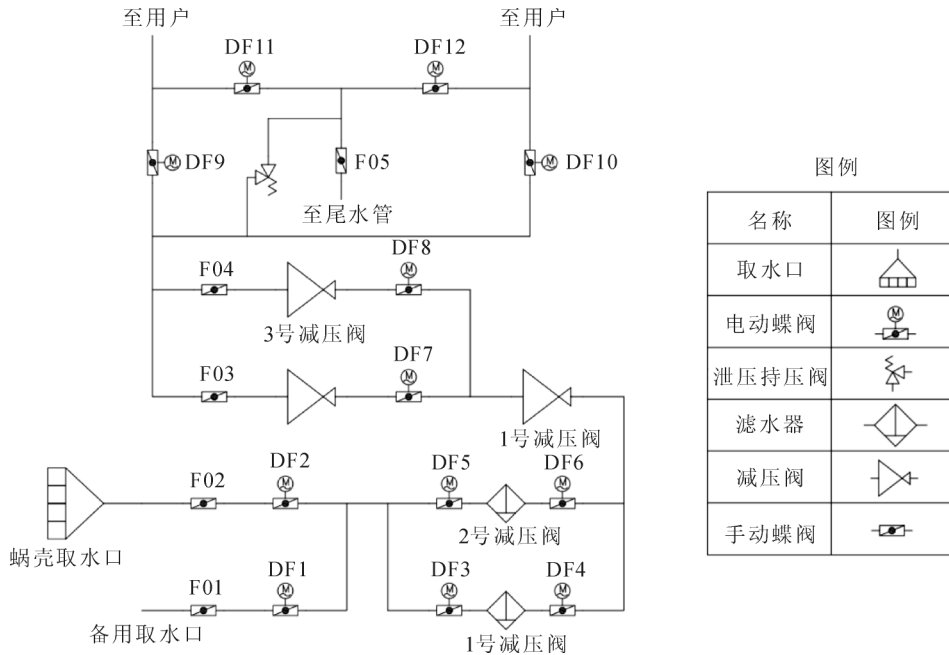


图1 技术供水系统简图

2.1.2 二级减压设计

该技术供水系统设计为二级减压供水方式,在总压降不变的情况下,能够显著降低各级减压阀承受的减压比,并可以在一级减压阀及二级减压阀之间合理分配减压比,有效降低减压阀运行时产生的振动和噪音,进而降低振动及噪音对设备、对系统的不良影响和对现场工作人员的身心伤害。

2.1.3 正反向供水设计

该技术供水系统设计有4个电动阀(DF9、DF10、DF11、DF12),组成正反向倒换阀门组。通过运行人员定期的倒换操作,能够有效防止各用户单方向长时间运行的泥沙淤积,乃至堵塞情况的发生,保障各用户的安全稳定运行。

2.1.4 安全设计

该技术供水系统在二级减压阀出水管路上设有泄压持压阀。当二级减压阀突发故障,减压阀出口水压力超过泄压持压阀整定值(核定计算的最高安全供水

系统滤水器以及二级减压阀均采用一用一备设计,拥有足够的冗余量,当滤水器或二级减压阀突发缺陷影响正常供水时,同样可以迅速切备,保障系统的安全稳定运行。

在正常运行时,通过运行人员对滤水器以及二级减压阀定期的倒换操作,也能够使主用与备用设备均处于良好的状态。

压力),泄压持压阀一方面能够自动开启泄压(水力控制),防止供水管路的水压力进一步升高,保护各用户的安全;另一方面能够稳定持压,使供水管路的水压力保持在整定值,保证系统继续为各用户提供水源,为运行人员发现故障及倒换至备用减压阀提供充裕的时间。

2.2 技术供水系统的不足

该技术供水系统的一级减压阀无冗余设计。若发生一级减压阀不减压缺陷,则一级减压阀丢失的减压比由二级减压阀承担,二级减压阀产生的振动及噪音增大,但不至于危及系统运行。若发生一级减压阀减压过低或是发生一级减压阀全关缺陷,则技术供水系统不能正常供水、乃至断水,只能紧急停机进行检修,对该水电站造成一定的经济损失,同时该电站为700 MW巨型水轮发电机组,若发生紧急停机事件,很可能导致电网的振荡^[1-3]。

3 优化改进设想

3.1 系统优化

该电站为地下式厂房,设备布局受限,加装1台一级减压阀形成两路二级减压供水很难实现。因此,只

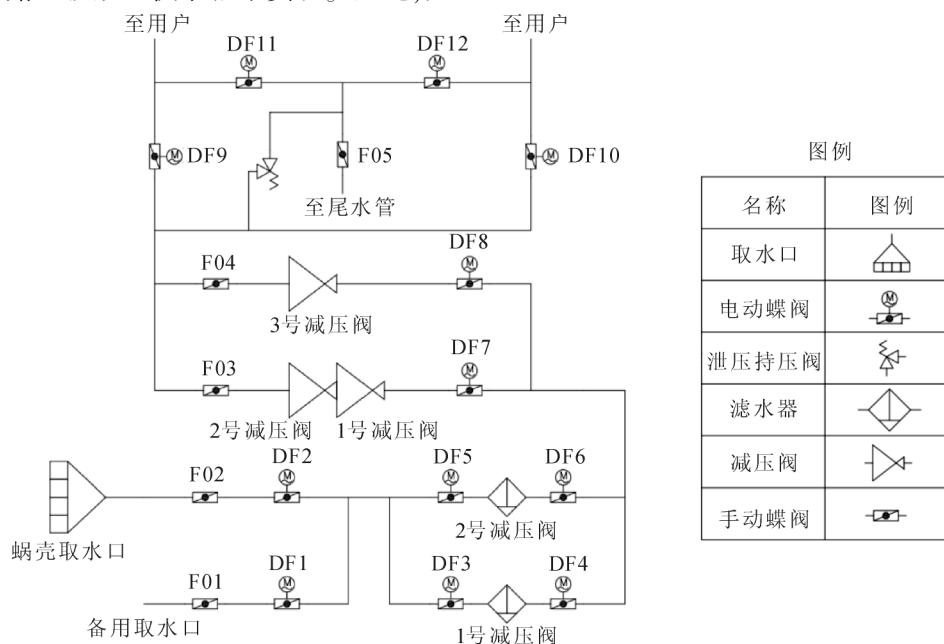


图2 优化改进设想图

若该技术供水系统按照上述优化改进设想改造,则减压阀能够实现一用一备设计,但改造完成后,一路为一级减压供水,一路为二级减压供水^[4-5]。

3.2 运行方式优化

上述优化改进设想改变了该技术供水系统二级减压供水的原设计,若两路减压阀仍按原运行方式运行,在枯水期,一级减压供水方式运行时,必将产生较大的振动和噪音。因此,在该电站技术供水系统设计优化时,也应该按照该电站季调节的特点,对技术供水系统的运行方式进行优化。

该水电站汛期和枯水期上游库水位波动较大,刚好提供了一个运行方式优化的突破口:在汛期,上游水位低,一级减压供水作为主供水,二级减压供水作为备用供水;在枯水期,上游水位高,二级减压供水作为主供水,一级减压供水作为备用供水。

3.3 系统优化后的优点

该技术供水系统按照优化设想优化后,系统保留了两路减压供水一备一用冗余设计。

运行方式优化后,上游水位高时,二级减压供水方式运行,能够控制现场的振动和噪音在合格的范围内,保障现场工作人员的身心健康。即使二级减压供水某一个减压阀故障,也可以倒换至一级减压供水短暂运

能考虑在不新增一级减压阀的情况下,进行优化改进设计:重新布置1号减压阀、2号减压阀以及2号减压阀进口阀DF7。即将1号减压阀与2号减压阀直接相连,2号减压阀进口阀DF7前移作为1号减压阀与2号减压阀的进口阀(如图2)。

行,待故障排除后再倒换回二级减压供水运行,保障技术供水系统的不间断运行,保障机组的运行安全。

4 结语

通过对该水电站技术供水系统多年运行情况的分析,总结了该电站技术供水系统的优点与不足。并针对技术供水系统存在的不足,依据该电站为地下式厂房以及上游库水位波动大等特征,设想了一种系统优化方案及相应的运行方式优化方案,若付诸实施,必将提高该电站技术供水系统运行的安全稳定性。对类似水电站机组技术供水系统的设计安装、优化改进,也具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 孙亚涛, 吕卫国. 三峡电站技术供水系统优化[J]. 华东电力, 2010, 38(8): 1188-1191
- [2] 盛国林. 三峡地下电站机组技术供水系统安装方案[J]. 华北水利水电学院学报, 2011, 32(5): 86-88
- [3] 黄迎凤. 浅析水电站技术供水系统存在的问题及改进方法[J]. 科技致富向导, 2015(2): 98-98
- [4] 于德荣, 郭瑞. 高水头水电站技术供水系统减压方案的研究[J]. 中国农村水利水电, 2007(10): 119-121, 123
- [5] 敬燕飞. 基于水头变幅巨大的减压供水技术的研究应用[J]. 黑龙江电力, 2019, 41(6): 517-521

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.003

非洲电力旗舰项目可助力区域工业中心的打造

杨继东

(三峡国际能源投资集团有限公司,北京 101100)

摘要:非洲由于电力缺乏及基础设施落后,给工业化进程带来严重阻滞。非洲人自己制定的《2063 年议程》中的电力旗舰项目——大英加水电站,凭借其优质、低价的巨量电能的优势,给当地工业发展带来转机。相信凭借其一期工程的建设,示范引领效应将带动补齐其他投资短板,可将清洁能源中心逐步打造成区域工业中心。

关键词:非洲;旗舰项目;大英加;工业中心

中图分类号:TM614 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-3354(2020)09-0009-03

Development of the Regional Industrial Center in Africa with the Help of the Flagship Electric Power Project

YANG Jidong

(China Three Gorges International Corporation, Beijing 101100, China)

Abstract: Due to the lack of electricity and the primitive infrastructure in Africa, its industrialization process has been seriously hindered. The Great Inga Hydropower Station project, a flagship power project described in the “Agenda 2063”, can provide a turning point for the local industrial development with its high-quality, low-cost and huge-amount electric power. It is believed that with the construction of the first phase of the project, its demonstration and leading effects will bring investment in other areas, and gradually build the clean energy center into a regional industrial center.

Key words: Africa; flagship project; Great Inga project; industrial center

能源是社会生产力的基础。电能,这种二次能源,已是当今世界人类生存与发展不可或缺的一种产品,可以说是社会生产力基础中的“基础”。相应的电力工业是国民经济的一项基础产业,也是国民经济发展的先行产业。在现代社会中,电力工业的发展水平已成为反映国家经济发达程度的重要标志,人均消费电能的数量也成为衡量人们现代生活水平的重要指标。一直以来,充足、稳定、可靠、优质及价格合理的电能是社会发展的需要,更是电力行业所追求的目标。在全球倡导的低碳、减排以有效降低温室效应的大环境下,清洁、环保及廉价的电力更是成为当今世界各国政府所大力发展的新能源。大家所共知的非洲一直以来深受缺电,尤其缺少廉价的电力所困扰,也造成了非洲的工业化一直以来只能是一个梦想。现在,在中部非洲刚果(金)这个水力资源富足、其他资源禀赋优异的国度,正在计划建造的电力旗舰项目将依托其自身生产

的廉价电能,可助推项目周边地区的工业发展,进而形成以清洁廉价电力生产中心来带动区域工业中心的打造,甚至会推动整个非洲来逐步实现这个梦想。

1 电力旗舰项目

2015 年 1 月,在埃塞俄比亚首都亚的斯亚贝巴召开的第 23 届非盟峰会通过了作为“非洲愿景和行动计划”的《2063 年议程》,号召非洲人“在共同价值观和共同命运基础上合力建设繁荣团结的非洲”。与以往非洲规划不同的是,议程的制定采取了由下而上的方法,充分听取非洲大陆人民的呼声而不仅限于政府官员,《2063 年议程》以人为本,为非洲大陆人民所主导,真正体现了非洲的事情由非洲人民自己来决定。

2015 年 6 月非盟又通过了该议程下 5 个 10 年实施计划中的第一个。实施计划明确了非洲发展的重点领域及希望实现的成果目标,并特别列出了一些能有

收稿日期:2020-04-22

作者简介:杨继东,男,高级工程师,主要从事国际清洁能源项目绿地开发工作。

效惠及非洲人民的“旗舰项目”。在这些旗舰项目中,刚果(金)大英加水电站项目是唯一一个基础设施项目,由此可看出其对非洲今后发展的重要性。

刚果(金),非洲国土面积第二大,自然资源十分丰富,素有“世界原料仓库”、“中非宝石”和“地质奇迹”之称。其中,矿产、水资源、森林的储量均位居世界前列。

刚果(金)河流湖泊众多,降雨量充沛,水力资源极为丰富,其蕴藏量约占世界已知水力资源的1/6。刚果河干流全长2 900 km,多年平均流量超过40 000 m³/s,仅次于巴西亚马逊河,位列世界第二,是世界上流量最稳定的河流。经评估计算,刚果河水能资源理论蕴藏量约为2.5万亿kW·h/年,其中干流和左岸支流水能资源占比达81%。在刚果河干流金沙萨至马塔迪河段水能资源集中,理论蕴藏量超过8 500亿kW·h/年。

旗舰项目——大英加水电站位于刚果河下游段的下刚果省,距离上游首都金沙萨约225 km,距刚果河入海口约150 km,距港口城市马塔迪约60 km。项目已做过近半个世纪的研究工作,水电开发潜能依据最新规划可达60 000 MW,比两个三峡工程还要大,年发电量可达约3 700亿kW·h/年。大英加项目建成后,将成为世界第一大水电站,可满足非洲超过1/2的用电需求,将是真正意义上的“点亮非洲工程”(见图1)。英加1和英加2水电站分别于1972年和1982年建成,总装机容量仅为1 775 MW,不到总规划的3%。现在的大英加项目指从英加3开始的分期开发的项目群,最新的规划为是分4期开发,即英加3、4、5、6。不同于其他河流上电站的梯级开发模式,因英加水力资源优势,英加3将在刚果河上修筑拦河大坝,引水入当地的邦迪河谷,之后在河谷不同的坝口处可分期修建引水及发电建筑物即可,最终形成大英加水电站项目群。

英加3电站是大英加项目一期工程,最新设计装机容量约11 050 MW,设计年发电量超800亿kW·h,静态投资超100亿美元。目前英加3坝址施工区域基本没有需搬迁人口,大英加电站全部移民也仅有6至7千人,对环境的影响也处于可控状态。项目所处地区地势也相对平坦,与其他大型电站的高山峡谷相比,施工条件极其优越。

2 旗舰项目的优势可助推工业中心的打造

一个地区想打造成区域乃至更大范围的工业中



图1 大英加水电站规划示意图

心,笔者理解除了需要有得天独厚的地理优势,如方便的对内及对外交通外,还需要原材料及劳动力的易得性、基础设施的配套性、终端产品的容纳性及产业资本的支持性,当然更离不开当地政府相关政策的保障。

大英加项目对内交通方面,距离第一大内陆港口城市马塔迪公路距离约60 km,距离非洲第三大城市、人口超过1 200万的首都金沙萨公路距离约225 km,交通还是十分便利的。项目距离出海口150 km左右,刚果(金)海岸线较短,还没有大型深水港,现正在规划建设新的出海港口。即使现在利用邻国刚果(布)的黑角港作为对外出海口,到项目水路距离也不到300 km,对外的交通优势还是明显的。以此项目为中心打造区域工业中心具备地理优势。

非洲一直是全球原材料的供应地。项目所在国刚果(金),周边国家如刚果(布)、安哥拉、赞比亚及加蓬等石油天然气、金属及非金属矿藏都极其丰富,绝大部分工业原材料可就近获得。人口规模攀升、快速城市化和中产阶级壮大使得非洲大陆消费市场潜力巨大,人口红利将极大释放。2019年全非人口超过12亿,预计到2050年将达到25亿,城市化推进速度为世界各地区之首。这些优势都给工业产品的销售提供了广阔的市场,给非洲工业发展带来直接动力。

因国际上对刚报道得最多的可能都是负面新闻,如恐袭、战乱、埃博拉等,投资人一定会对刚果(金)国家的政治、安全、投资环境等心生恐惧。但从去年底的大选进程来看,避免了逢选必乱的局面,政权和平交

接。刚果(金)不安全的区域都是在本国东部,靠近卢旺达边境地区。而项目所在区域为相隔近1700 km靠近出海口和首都的西部地区,历来都是该国最稳定及安全的区域,也是基础设施相对最好的地区。为改善投资环境,刚政府相继发布了《投资法》、《矿业法》和《森林法》等法律,设立了国家投资促进署(ANAPI),并自2012-11-01日起新设立国家一站式服务窗口,由司法部管辖,统一受理企业注册事宜,以简化手续,提高效率。

基础设施的缺乏落后一直是阻碍非洲工业化进程的瓶颈之一。众所周知,基础设施是工业化的重要基础之一,是提高生产率和经济增速的关键环节。非洲国家的基础设施落后,特别是电力供应和交通运输的成本高昂,导致企业运营成本偏高,阻碍了效率驱动型外资流入的快速增长。大约30个国家存在长期电力短缺状况,基础设施滞后至少降低非洲年均经济增长率2个百分点^[1]。

现在,全球仅存的最优质的水电资源将带来丰厚的电能,这些电能具有无可比拟的天然优势,一旦项目正式投产,相信会带动其他基础设施的快速开发,补齐相应短板,带动这一地区工业快速增长。

1) 清洁、稳定的优势。全球各国现在均提出低碳减排的目标及规划,非洲也不例外,各国对能源的清洁性要求也很高。虽然项目所在地区也可发展光伏等其他清洁能源,但由于电能的生产与消费是同时完成的特殊属性,虽然现在储能技术也发展迅速,但目前大规模储能因为成本及技术等原因还无法实现,而大家所共知的光伏、风电由于受自然条件影响稳定性存在一定缺陷,大规模开发对电网冲击较大,所以现在还无法成为电网的主力军。而水力发电相较其他清洁能源,除开发时一次性投入相对较大外,平衡下来在技术成熟性、发电稳定性、电量可靠性、运行灵活性、质量优异性及价格合理性等方面还是具备较强的竞争力。刚果河多年平均流量达到40000 m³/s,流量与其他季节性河流相比十分稳定,得天独厚的水力资源优势保证了电力生产的稳定性及连续性,进而有效保障那些对电力供应有此要求的大型用电企业的需求,例如大型冶炼企业。

2) 价格及体量的优势。大英加水电项目一期的英加3电站装机就可达11050 MW,年发电量超800亿kW·h,相当于2019年我国天津市全年用电,超过上海市半年用电量。初步测算上网电价将不超过3美分/kW·h,到首都金沙萨或项目周边200 km内,计入

过网费及线损等电价也将不超过3.5美分/kW·h。如果需求得以带动,工业中心逐步建立,那么后期的电站开发可随时启动。由于英加3项目在刚果河上已修建拦河大坝,后期的开发只需修建引水及发电建筑物即可,除大大缩短建设时间外,投资也将大大节省,相应的上网电价也将继续走低,经初步估算,整个大英加最终上网电价平均将不超过2美分/kW·h。仅从电力一项指标来看,如此清洁及廉价的巨大体量的电力供应,在非洲普遍电力缺乏且电价较高的地区将具备极强的竞争优势,特别是对电价及电量的要求均较高的高耗能企业。例如电解铝这一高耗能行业,对电力价格及连续性和稳定性均有很高要求,2018年全球电解铝产能为6433.4万t,经估算,英加3全年生产电力可满足全球1/10电解铝产能需求,并且指标完全有保证。

在非洲缺乏的工业化要素之一是产业资本,相信此旗舰项目开始建设,廉价电力要素短板补齐在望,全球产业资本绝不会对如此优越的工业化条件无动于衷,诸如钢铁及有色金属冶炼加工、石油化工、水泥建材、玻璃乃至比特币挖矿等高耗电量重工业化资本和纺织、服装、制鞋、电子装配等劳动密集型产业都会蜂拥而来直接投资,而与这些相关的其他基础设施如道路、港口等投资也会逐步到位,工业园区将大量形成,从而将该地区变成区域工业中心。

3 结语

现在,大英加项目的第一期工程——英加3水电站正在招标进程中,中方联营体牵头的开发商正在进行项目的推进工作。刚果(金)政府为使项目能够吸引全球范围内更多有益元素的参与,正在研究制定有针对性的、给予开发者更多支持的《英加法》。如果刚政府在既定政策的正确道路上继续坚持下去,配套相关优惠及鼓励政策,立足于本地电能消纳,与国际用电大企业及相关产业紧密联系并良好沟通,吸引国际产业资本早日介入,做好产业园区的规划与引导,相信以大英加这个非洲电力旗舰项目为中心,在打造全非清洁能源基地的基础上,会将此地区打造成世界级的工业中心,并在此中心的示范效应的带动下,在非洲区域一体化进程正在加速推进的大格局的助力下,甚至会将非洲工业化进程大大提速,给全非人民造福。

参考文献:

[1] 朴英姬. 深化中国对非投资合作的新动力与新思路. 西亚非洲, 2019(5): 139-160

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.004

渠堤工程填方渠段表面变形监测统计模型研究

李慧媛¹, 蒋雨婷², 廖阳权²

(1. 南水北调中线干线工程建设管理局河北分局, 河北 石家庄 050035; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 针对渠堤工程填方渠段, 从表面变形的影响因素和作用机理出发, 研究了表面变形监测统计模型水压因子、温度因子和时效因子的构成形式, 提出了表面变形监测统计模型的基本结构形式, 并给出了典型填方渠段表面变形建模实例, 验证了所提出的统计模型因子形式和结构形式的合理性, 可供河渠填方堤段变形监测参考。

关键词: 渠堤工程; 填方渠段; 表面变形; 统计模型; 因子

中图分类号: TV91 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)09-0012-04

Statistical Model for Surface Deformation Monitoring of Embankment Section in Canal Projects

LI Huiyuan¹, JIANG Yuting², LIAO Yangquan²

(1. Hebei Branch of Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Shijiazhuang 050035, China;

2. School of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Considering the influential factors and the mechanism of the surface deformation of the embankment section in canal projects, the basic structure of the deformation monitoring statistical model is proposed, and the forms of the water pressure factor, temperature factor and time-effect factor in the model are analyzed. The rationality of the factor forms and the structure of the proposed surface deformation monitoring statistical model is verified with a practical example of a typical embankment section. It could be useful reference for the deformation monitoring of embankment canal projects.

Key words: canal project; embankment section; surface deformation; statistical model; factor

南水北调中线工程是实现我国水资源优化配置、改善和优化北方地区民生条件与生态环境、促进社会经济可持续发展的重大战略性基础设施^[1]。南水北调中线干线工程全长约 1 432 km, 工程包括渠堤工程和各类主要建筑物。其中, 渠堤工程从断面型式来看, 包括挖方渠段、填方渠段和半填半挖渠段; 从土料特性来看, 包括膨胀土渠段、高地下水渠段、采空区渠段、湿陷性黄土渠段等。为监测渠堤工程的运行安全, 布置了渠道水位等环境量监测项目, 表面水平位移、表面垂直位移、内部水平位移、内部垂直位移等变形监测项目, 渠底改性土内渗透压力、渠底衬砌板下渗透压力、渠堤内渗透压力等渗流监测项目。

南水北调中线干线渠堤工程中的填方渠段主要由散粒状的土体填筑形成, 在各种荷载作用以及土体固结、蠕变等因素影响下, 渠堤表面将产生变形。目前,

对于渠堤变形的本构关系等理论研究还不太充分^[2], 因此, 利用渠堤变形监测资料建立监测数学模型来对渠堤变形特性进行分析就具有特别的重要意义。

当前, 专门研究渠堤变形监测数学模型的成果还较少^[3-5], 主要借助于土石坝变形监测数学模型的研究成果, 将渠堤填方渠段表面变形的影响因子概化为水压因子、温度因子和时效因子三大类, 但这些因子的构成形式主要依据工程经验来确定。本文从渠堤工程填方渠段的实际特点出发, 结合理论分析, 对填方渠段表面变形监测统计模型的因子构成形式进行了研究, 从而为监测模型的建立提供明确的理论基础。

1 渠堤变形统计模型的构成

由散粒体填筑而成的填方渠段, 其表面变形(包括表面水平位移、表面垂直位移)主要包括渠道水压

收稿日期: 2020-08-03

作者简介: 李慧媛, 女, 工程师, 主要从事调水工程管理方面的工作。

基金项目: 国家重点研发计划“南水北调工程运行安全检测技术研究”与示范”(2018YFC0406906)。

作用引起的变形、渠堤温度变化引起的变形、填筑土体固结作用引起的变形等。因此,渠堤填方渠段表面变形监测统计模型的一般表达式为

$$y(t) = y_H(t) + y_T(t) + y_0(t) \quad (1)$$

式中: $y(t)$ 为渠堤表面变形 y 在时刻 t 的统计估计值; $y_H(t)$ 为 $y(t)$ 的水压分量; $y_T(t)$ 为 $y(t)$ 的温度分量; $y_0(t)$ 为 $y(t)$ 的时效分量。

1.1 水压分量的构成形式

渠道水压对渠堤表面变形的影响主要包括两方面:

一是渠道水位对渠堤产生的水平水压力所引起的渠堤变形,其中水平水压力荷载 F_1 为

$$F_1 = \frac{1}{2} \gamma H^2 \quad (2)$$

式中: F_1 为水深 H 对渠堤产生的总水平水压力; γ 为水的容重。

二是作用在渠堤堤坡及渠底的水重所引起的渠堤变形,其中任一点的水重荷载 F_2 为

$$F_2 = \gamma H \quad (3)$$

由于无法直接推导渠道水压引起的渠堤变形的解析表达式,因此,可以从应力应变关系的角度间接地推求渠堤表面变形与渠道水压之间的关系。

渠道水压引起的渠堤土体内任一点的应力可表示为

$$\sigma = f(F_1, F_2) = f(H, H^2) \quad (4)$$

对弹性体,应力应变关系可表示为 $\sigma = E\varepsilon$ 。但渠堤土体不是弹性体,弹性模量 E 也不是定值,因此可将应力应变关系表示为

$$\varepsilon = f(\sigma) = f(H, H^2) \quad (5)$$

渠堤表面变形 y 为渠堤应变 ε 的累积,因此可表示为

$$y = \int \varepsilon ds = f(H, H^2) \quad (6)$$

则根据以上分析可知,渠堤工程表面变形的水压分量 $y_H(t)$ 可表示为

$$y_H(t) = f(H, H^2) \quad (7)$$

考虑到土体应力应变的非线性因素,以及其他不确定性因素的影响,可将水压因子扩展至 H^3 ,则渠堤工程表面变形的水压分量 $y_H(t)$ 可表示为

$$y_H(t) = f(H, H^2, H^3) = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i H^i(t) \quad (8)$$

1.2 温度分量的构成形式

与温度变化导致混凝土热胀冷缩而引起混凝土

变形的特点不同,温度变化对土体变形的影响,主要体现在土体温度场的变化导致土体结构和工程特性(包括土的固结特性、渗透特性以及强度特性等)发生变化,从而引起渠堤变形场的变化。

目前虽对土体温度效应的研究还不够充分,但填方渠段渠堤表面变形的温度分量主要取决于土体温度场的变化,而土体温度场的变化主要取决于气温的变化。因此,在没有渠堤温度监测资料的情况下,可以采用气温变化来间接地描述土体温度场的变化。由于土体温度变化对气温变化存在滞后效应,因而气温变化对渠堤表面变形的影响也存在滞后效应。为此,可采用渠堤表面变形观测日前期若干天气温的平均值作为温度因子。此时温度分量 $y_T(t)$ 的构成形式可表示为

$$y_T(t) = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i T_i(t) \quad (9)$$

1.3 时效分量的构成形式

时效分量是一种随时间推移而朝某一方向发展的不可逆分量。填方渠段渠堤表面变形的时效分量,主要来源于土体的固结和蠕变。

1.3.1 土体的蠕变

土体的蠕变是指在常值应力持续作用下,土体的变形随时间而持续增长的过程^[2,6]。土体的蠕变包括瞬时变形 ε_0 、衰减蠕变 ε_1 、等速蠕变 ε_2 、加速蠕变 ε_3 ,即

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (10)$$

由此,土体蠕变曲线也包括衰减蠕变曲线 $\varepsilon_1(t)$ 、等速蠕变曲线 $\varepsilon_2(t)$ 、加速蠕变曲线 $\varepsilon_3(t)$ 等形式。研究表明,土体蠕变变形与时间的函数关系大致可采用以下形式表示。

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{C_1}{C_2 + t}\right)^n; \varepsilon_0 = 1 + K \ln \frac{t+C}{C};$$

$$\varepsilon_0 = \sum_{i=0}^n C_i \theta; \varepsilon_0 = G(1 - e^{-t/C}) \quad (11)$$

式中: ε_0 为土体蠕变引起的时效变形(时效分量); C_1 、 C_2 、 K 、 G 为系数; t 为与固结时间有关的变量。

1.3.2 土体的固结作用

土体的固结过程本质上是土体的排水过程,也即孔隙水压力的消散过程。土体在荷载作用下,将产生超静孔隙水压力,在允许排水的条件下,随着时间发展,土体孔隙中水被排出,超静孔隙水压力逐步消散,土体中有效应力逐渐增大,直至超静孔隙水压力完全消散,变形趋于稳定。研究表明,土体固结变形与时间的函数关系大致可采用以下形式表示^[7]。

$$\varepsilon_0 = C_1 t + C_1 \ln t; \varepsilon_0 = \frac{t}{C_1 t + C_2};$$

$$\varepsilon_0 = \sum_{i=0}^n C_i t; \varepsilon_0 = C_1 e^{-t} \quad (12)$$

式中： ε_0 为土体固结引起的时效变形； C_1 、 C_2 为系数； t 为与固结时间有关的变量。

1.3.3 时效变形因子形式

综合以上分析，参照现有的土石坝表面变形时效因子研究成果，结合工程实践经验，将土体蠕变、固结等因素引起的渠堤表面变形时效分量因子表达式归纳为如下 6 种基本形式：

$$I_1 = \ln(t_1 + 1); I_2 = 1 - e^{-t}; I_3 = t_1 / (t_1 + 1);$$

$$I_4 = t_1; I_5 = t_1^{-0.15}; I_6 = 1 / (1 + e^{-t_1}) \quad (13)$$

在建立监测统计模型时，可根据具体情况从式(13)中预置一个或多个时效因子参与回归分析。因此，时效分量 $y_0(t)$ 的构成形式可表示为

$$y_0(t) = c_0 + \sum_{i=1}^p c_i I_i(t) \quad (14)$$

1.4 统计模型表达式

综上所述，填方渠段渠堤表面变形统计模型的表达式为

$$y(t) = y_H(t) + y_T(t) + y_0(t) =$$

$$a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i H^i(t) + \sum_{i=1}^m b_i T_{i(s-e)}(t) + \sum_{i=1}^p c_i I_i(t) \quad (15)$$

式中： $H(t)$ 为水压因子，系渠道水深（或水位）； $T_i(t)$ 为温度因子，系观测日前期若干天气温的平均值； $I_i(t)$ 为时效因子； t_1 为相对于基准日期的时间计算参数； a_0 为回归常数； a_i 、 b_i 、 c_i 为回归系数，均由回归分析确定。

根据式(15)，利用监测资料，采用逐步回归分析法即可建立渠堤表面变形测点监测统计模型。

2 工程实例

2.1 统计模型的建立

以南水北调工程中线河南分局叶县管理处辖区内的渠堤工程表面垂直位移为例，建立统计模型。

南水北调中线工程叶县管理处辖区位于河南省平顶山市叶县境内，全长 30.266 km。辖区内全填方渠段累计长 4.931 km，其中 K195+910~K198+205、K210+130~K212+350 是叶县管理处辖区内典型的高填方渠段，填方高度在 6~17.1 m；同时，K195+910~K198+205 是典型膨胀土渠段，K210+130~K212+350 是典型的高地下水位渠段。本文以两填方渠段中的 K197+400 和 K210+940 监测断面为例，分别建立各测点表面垂直位移统计模型。K197+400 监测断面共 4 个测点，其中编号“01”、“02”的测点分别位于左右侧渠堤的堤顶，编号“03”、“04”的测点分别位于左右侧渠堤的外侧堤坡中部马道上。

1) 建模前，先对各表面垂直位移实测资料进行可靠性分析，剔除了明显的粗差。

2) 对时效因子，通过理论分析和采用不同时效因子的组合试算优化，确定采用 t_1 、 $\ln(t_1 + 1)$ 、 $1 - e^{-t}$ 三个因子作为时效预置因子。

3) 建模时段的确定时，一方面考虑环境量测值序列的时段范围，另一方面也顾及不同观测时段的观测精度，排除观测误差较大的观测时段。考虑到南水北调中线干线工程于 2014 年 10 月正式通水，因此本次建模时，建模时段主要取为 2015 年 1 月~2018 年 12 月。

高填方渠段 K197+400 和 K210+940 监测断面上各测点表面垂直位移统计模型的分量比重情况见表 1，K197+400 监测断面代表性测点表面垂直位移过程线及分量过程线见图 1。

表 1 K197+400、K210+940 监测断面各表面垂直位移测点统计模型分量比值表

断面	测点编号	建模时段	R	S	水位分量比重	温度分量比重	时效分量比重
				/mm	/%	/%	/%
K197+400	BM01QD-05	2015.1~2018.12	0.88	2.48	0	0	100
	BM02QD-05	2015.1~2018.12	0.85	1.61	0	50	50
	BM03QD-05	2016.3~2018.12	0.75	2.57	0	48	52
	BM04QD-05	2016.3~2018.12	0.71	2.24	0	0	100
K210+940	BM01QD-07	2015.1~2018.12	0.99	1.53	0	3	97
	BM02QD-07	2015.1~2018.12	0.99	1.55	0	0	100
	BM03QD-07	2015.1~2018.10	0.88	2.85	0	0	100
	BM04QD-07	2015.1~2018.12	0.99	1.55	0	0	100

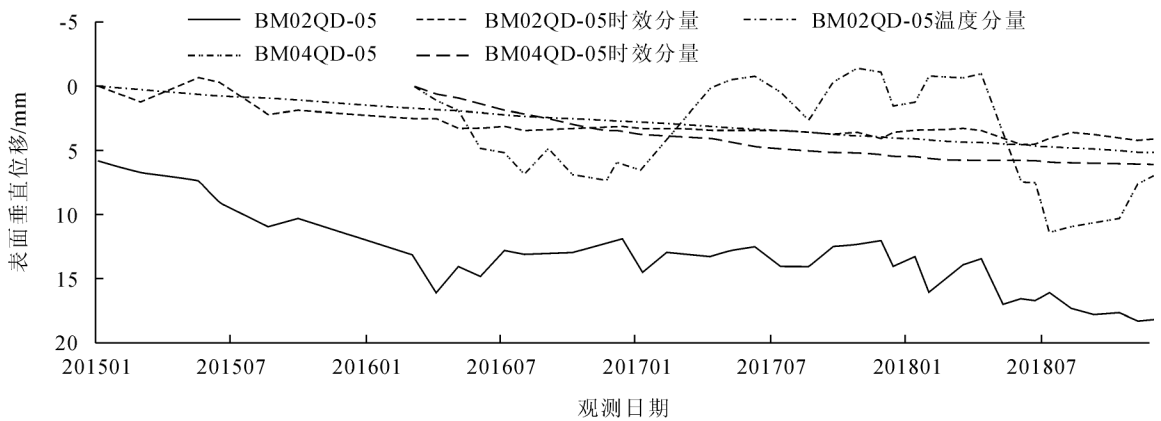


图1 K197+400 监测断面代表性测点表面垂直位移及统计模型分量过程线图

2.2 模型的分析

8个统计模型中,复相关系数 R 均大于0.7,其中 R 大于0.85的统计模型有6个。总体来看,所建立的统计模型质量良好。

由表1及图1可知:

1)各测点统计模型均未入选水压因子,表明渠道水压对填方渠段渠堤表面垂直位移的影响不显著。这主要是由于建模时段内渠道运行水位总体比较稳定,经常性变幅不大,因而渠道运行水位对渠堤表面变形的影响不大。

2)K197+400 监测断面上的4个测点,有2个测点入选了温度因子,其分量比重在50%左右;K210+940 监测断面上的4个测点,虽有1个测点入选了温度因子,但比重很小(3%)。总体来看,温度变化对填方渠段渠堤表面变形影响不大,基本符合温度对土体变形影响的一般规律,其中温度变化对膨胀土渠段部分测点表面变形有一定影响,但对高地下水渠段表面变形影响较小。

3)各测点统计模型均入选了时效因子,且时效变形比重均很大,大部分测点时效分量比重为100%。时效变形主要表现为下沉,符合高填方渠段土体固结沉降引起的表面垂直位移的基本变化规律。

从上述代表性监测断面上各测点表面垂直位移统计模型的复相关系数 R 来看,大部分统计模型建模质量良好;从各测点统计模型的建模结果来看,模型各分量比重基本合理。因此,综合来看,本文提出的填方渠段渠堤表面垂直位移统计模型因子构成和建模方法是合理可行的。

3 结语

目前关于渠堤监测数学模型的研究主要集中在渗

流监测数学模型的研究上,对变形监测数学模型的研究成果还很少,而且缺乏从作用机理上开展的研究工作。本文以南水北调工程填方渠段为研究对象,从渠道水平水压力和渠道水重作用两个方面确认了水压因子的构成形式,从渠堤温度场变化对变形场的影响的角度探讨了温度因子的构成形式,从土体蠕变、固结作用等方面研究了时效因子的构成形式,得出了渠堤表面变形监测统计模型的基本结构形式,并以南水北调中线工程叶县管理处辖区内的典型高填方渠段上布置的表面垂直位移测点为例,建立了表面垂直位移统计模型。建模结果表明,本文提出的填方渠段渠堤表面变形监测统计模型的结构形式是合理的,能有效反映渠堤表面变形的实际变化规律。

参考文献:

- [1]程德虎,苏霞.南水北调中线干线工程技术进展与需求[J].中国水利,2018(10):24-27,34
- [2]杨光华.土的现代本构理论的发展回顾与展望[J].岩土工程学报,2018,40(8):1363-1372
- [3]程德虎,孙一清,杜智浩.南水北调中线工程渠堤变形安全监控指标研究[J].水利信息化,2019(2):19-23
- [4]程德虎,何金平,廖文来,等.水闸变形监控指标的基本研究思路[J].水电与新能源,2018,32(11):45-48
- [5]杨令强,马静,高蕊.土石坝加固前后的监测分析及监控模型[J].水利学报,2015,43(s1):70-73
- [6]朱鸿鹄,陈晓平.软土蠕变—固结的耦合效应研究评述[J].暨南大学学报:自然科学与医学版,2004,25(3):315-321
- [7]张志红,赵成刚,邓敏.非饱和土固结理论新进展[J].岩土力学,2005,26(4):667-672

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.005

南方电网电池储能技术应用及发展机会探讨

罗佑坤, 乔志园, 辛 晟

(南方电网调峰调频发电有限公司, 广东 广州 510630)

摘要: 基于电池储能响应速率快、调节精度高等特点,并能对电网的安全性、稳定性、经济性起到更好的支撑作用,经对南方电网区域相关政策的梳理解读,对比现有主要电池储能技术概况,分析了开发电池储能项目的积极影响。重点探讨了电池储能在电网侧调峰调频、发电侧调频等方面的应用、发展机遇与前景。

关键词: 电池储能技术;电力系统;应用;调峰调频

中图分类号: TM912.9

文献标志码: B

文章编号: 1671-3354(2020)09-0016-05

Application and Development Opportunities of the Battery Energy Storage Technology in China Southern Power Grid

LUO Youkun, QIAO Zhiyuan, XIN Sheng

(CSG Power Generation Company, Guangzhou 510630, China)

Abstract: The battery energy storage technology is of certain advantages such as fast response speed and high regulation accuracy. Thus, it can provide a better support for the safety, stability and economy of the power grid. After a review of the relevant regional policies of China Southern Power Grid, the existing battery energy storage technologies are compared and the positive impacts of the development of battery energy storage projects are analyzed. The application and development opportunities of the battery energy storage technology in the peak shaving and frequency modulation in power grid side and the frequency modulation in power generation side are discussed.

Key words: battery energy storage technology; power system; application; peak shaving and frequency modulation

近年来,可再生能源发电、燃气分布式电源、充电式电动汽车等新能源技术已成为我国能源领域的发展重点,这些新能源设备的运行都具有不稳定和不连续性,并网运行会给电网运行的安全和调度带来很大的负面影响。采用储能技术可以弥补新能源发电的随机性、波动性,并实现新能源发电的平滑输出,使大规模风电及太阳能发电更安全更可靠地并入常规电网;同样储能技术也可以有效调节电动汽车充电引起的电网电压、频率及相位的变化,为新能源汽车的大规模推广提供了基础^[1]。同时储能技术还可以将电网在负荷低谷时的电力储存起来在电网负荷高峰时放电,缓解电网目前面临的电力供应巨大的峰谷差压力。

电池储能技术利用电能和化学能之间的转换实现电能的存储和输出,不仅具有快速响应和双向调节的

技术特点,还具有环境适应性强、小型分散配置且建设周期短的技术优点,颠覆了源网荷的传统概念,打破了电力发输配用各环节同时完成的固有属性,可在电力系统电源侧、电网侧承担不同的角色,发挥不同的作用^[2]。

截止至目前,中国已投运储能项目装机规模31.3 GW,占全球市场的17.3%。其中,电化学储能是除抽水蓄能外装机规模最大的储能形式,累计1 072.7 MW。同时,电化学储能也是目前各类储能应用中,除抽水蓄能之外应用最广泛、技术发展最快、产业基础最好的储能技术。近年来,以锂离子电池、铅碳电池、液流电池为主导的电化学储能不仅在电池本体技术和系统集成技术层面取得了重大突破,并且在发电领域的场景应用范围也实现了重要扩展。由此,本

收稿日期: 2020-07-17

作者简介: 罗佑坤,男,工程师,从事调峰调频电源规划建设及经营管理方向的研究。

文在基于上述背景的基础上对南方电网电池储能技术应用及发展机遇进行了探讨。

1 南方电网储能相关政策

“十三五”以来,随着能源“四个革命”的工作深化,以及“创新”、“绿色”发展理念的不断推进,国家以及南方区域层面分别从“技术与产业发展”、“并网运行管理”、“电力辅助服务机制优化”、“完善辅助服务补偿”等多方面出台了促进储能发展的相关政策。与此同时,广东作为电力市场化体制改革的先行地区,随着8月《南方(以广东起步)电力现货市场规则(征求意见稿)》、《广东调频辅助服务市场交易(试行)》发布,为充分发挥电池储能响应速度快、调节精度高的技术优势,提升项目建设收益创造了条件。

从近期的政策发展,按时间推进的情况来看,“十三五”以来电池储能政策呈现出以下几个特点。

1) 第一阶段: 储能在电力系统中作用得以明确,技术与产业的发展进一步推进。

2017-09-22日,为促进储能技术与产业发展,国家能源局出台了《关于促进储能技术与产业发展的指导意见》为“十三五”及中长期电池储能在本体技术发展路线、电力系统应用场景、可再生能源消纳、以及商业模式方面指明了发展方向,对促进储能项目的推进具有重要意义。

与此同时,2017-11-25日,为进一步完善和深化电力辅助服务补偿机制,推进电力辅助服务市场化,国家能源局发布了《完善电力辅助服务补偿(市场)机制工作方案》,对提供电力辅助服务的主体进行了扩展,并明确了电力用户参与辅助服务的方式。独立储能电站、分布式储能均具备提供调频、调压、黑启动等辅助服务的条件,随着市场的放开,电池储能将可充分发挥其优势,实现运营期盈利。

2) 第二阶段: 南方区域辅助服务补偿进一步得以量化。

2017年12月,在原有的《南方区域发电厂并网运行管理实施细则》、《南方区域并网发电厂辅助服务管理实施细则》(以下简称《两个细则》)的基础之上,结合上述电力辅助服务工作方案,《两个细则》对辅助服务等方面进行修编与优化,在电池储能方面,通过发布配套政策——《南方区域电化学储能电站并网运行管理及辅助服务实施细则(试行)》,对电储能系统参与辅助服务的准入条件、辅助服务类型、削峰填谷补偿、AGC(自动发电控制)及充电补偿方案均进行了详细

说明。

3) 第三阶段: 电力市场化进程得以推进,调频市场助推电池储能发展。

广东省已于2015年开始了电力市场批发竞争的试点工作。通过市场化交易工作的开展,对全面推进国家电力市场化改革具有较为积极的推动性作用。为进一步推进市场改革进程,国家能源局南方监管局于2018年8月,发布了《南方(以广东起步)电力现货市场规则(征求意见稿)》明确了中长期交易及现货两种电力交易品种。

2018-08-02日,国家能源局南方监管局正式发布了(南方监能市场[2018]272号)《广东调频辅助服务市场交易规则(试行)》,其中对准入规则、市场运行机制等做出了相关规定,该市场交易规则已于同年9月1日正式执行,在该市场环境下,电池储能可充分发挥其响应速度快、调节精度高的技术优势,获取相关收益。

上述指导意见对推动电池储能技术在电力领域的应用具有重要意义。在这些政策的推动下,截止目前,电化学储能调峰、调频项目已有数十个投运或在建。

2 主要的电池储能技术

目前电池储能技术路线呈现多样化特点,主要包括铅酸电池、铅碳电池、锂离子电池、钠硫电池、钒液流电池、燃料电池等多种技术路线。从现有的工程应用来看,在化学储能装置单元中,铅碳、磷酸铁锂等电池技术相对成熟,同时伴随国内大型钒液流电池的示范应用,也将带来较好的发展空间^[3]。根据电池储能技术特点,结合电网侧、发电侧大规模储能的技术需求,适合我国大规模储能的电池主要有锂电池,铅碳电池和钒液流电池。下述将对铅碳、锂离子、全钒液流三种电池储能技术进行相关的总结梳理。

2.1 铅碳电池技术概况

铅碳电池是一种新型的超级电池,既发挥了超级电容瞬间大容量充电的优点,也发挥了铅酸电池的比能量优势。铅碳电池是通过“内混”的方式把碳材料加入铅酸电池负极板而形成的一种新型储能电池,其结构原理图如图1所示。

铅碳电池是铅酸电池的创新技术,相比铅酸电池有着诸多优势:一是充电快,提高8倍充电速度;二是放电功率提高了3倍;三是循环寿命提高到6倍,循环充电次数达2000次;四是性价比高,比铅酸电池的售

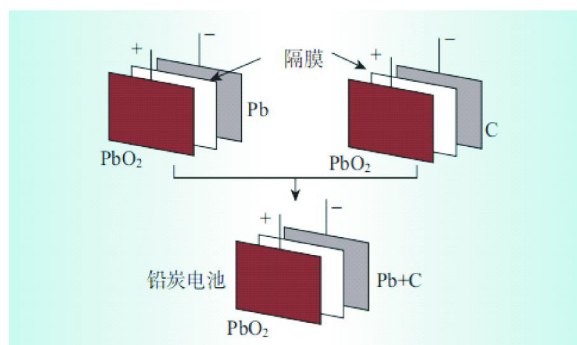


图1 铅碳电池结构原理图

价有所提高,但循环使用的寿命大大增加了;五是使用安全稳定,可广泛地应用在各种新能源及节能领域^[4]。

从整体经济性来看,根据典型铅碳电池储能项目造价测算可得,当前铅碳电池单位造价水平约在1 500元/kW·h左右,由于铅金属价格处于上升趋势,铅碳电池单位成本下降空间有限,约有20%的单位造价下降潜力。但考虑到铅碳电池中铅金属的回收价值较高,预计其将存在35%的残值回收率,在经济性上占有一定的优势。

从铅碳电池技术应用来看,作为能量型电池储能技术,铅碳电池较为广泛地应用于工业园区削峰填谷,以及微电网可再生能源消纳等方面。

2.2 锂离子电池技术概况

锂离子电池的正极材料通常由锂的活性化合物组成,负极则是特殊分子结构的碳。锂离子电池具备较好的安全性和可使用的寿命,被列为电动汽车蓄电池的长期开发目标^[5]。锂电池的种类繁多,近年来随着工业和材料的发展,电池循环寿命也大大增加,成本不断降低。其结构原理图如图2所示。

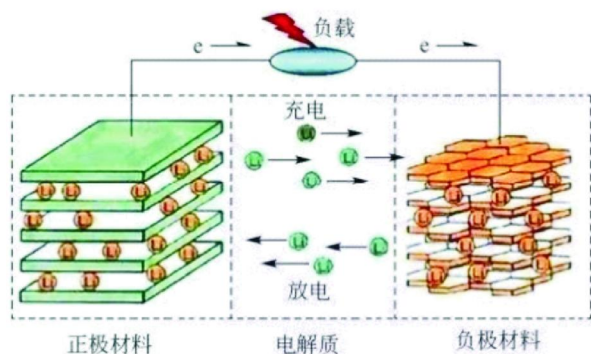


图2 锂离子电池结构原理图

在当今锂电池市场,受到关注较多的是磷酸铁锂电池、三元锂电池和钛酸锂电池。钛酸锂电池循环寿命最长,倍率性能好,但价格高出前两者一倍以上,且只有个别厂商具备生产能力;磷酸铁锂电池,在国内的产业链完整,在电动汽车上应用较多。上述两者主要的特性是能量密度与安全性的差异,能量密度关系到动力电池的续航能力,安全性也是动力锂电池最重要的指标之一。

2.3 全钒液流电池技术概况

全钒氧化还原液流电池(VRB)通过不同价态的钒离子相互转化实现电能的储存与释放,是唯一使用同种元素组成的电池系统。与传统二次电池相比,其电极反应过程无相变发生,可以进行深度充放电,能耐受大电流充放。由于正、负极活性物质分开存储,杜绝存放过程自放电可能性,且电池容量取决于外部活性溶液的多少,调整容易,各个单体电池的均匀性好,维护相对容易^[6]。全钒氧化还原液流电池可通过更换溶液实现电池的“即时充电”,具备快速响应和超负荷工作能力;活性溶液可重复循环使用,不污染环境等众多优势。经过优化的电池系统能量效率可达75%~80%,具有效率高、寿命长等特点。

其结构原理图如图3所示。

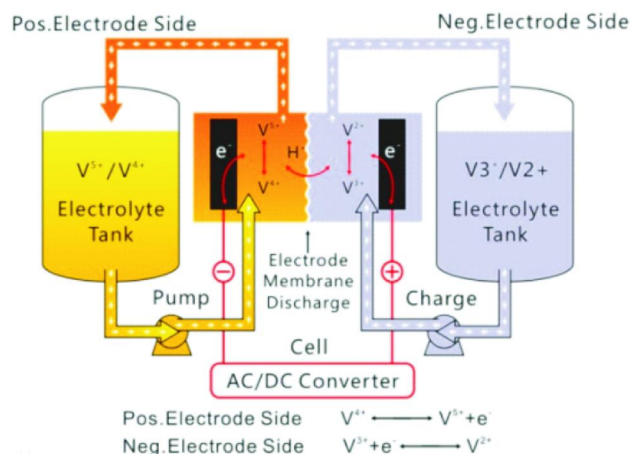


图3 全钒液流电池结构原理图

从发展限制性条件来看,全钒液流电池初始投资水平较高,根据大连融科公司提供数据,全钒液流电池单位投资约为4 000元/kW·h,在各类电池储能中处于较高水平;与此同时,钒电池其较低的能量密度,只有15~40 Wh/L,低于铅碳电池,设备体积和重量大,且利用电解液含有较浓的硫酸(2~3 mol/L)来提高五

价钒的溶解度和水的析氧电位,具有一定毒性。

2.4 电池储能技术小结

从上述三种主要的电池储能类型来看,锂电池优势在于对建设环境无特殊要求,建设周期短,能量效率高、功率和时间配置灵活;铅碳电池同样对环境无特殊要求,充放电性能好,价格相对较低,但循环寿命相比锂电池较短。全钒液流电池能量密度在各类电池储能技术中为最低,且响应速度相应较慢,但是全钒液流电池最突出的特点就在于循环寿命特别长。一般认为锂电池可以使用8~10年左右,而液流电池寿命可达25年。从整个生命周期来看,液流电池的全生命周期度电成本低于其它的储能技术。对于目前主要的电池储能类型技术特点对比如表1所示。

表1 主要电池储能类型技术特点对比

电池种类	铅碳电池	锂电池 (磷酸铁锂)	全钒 液流电池
能量密度 $/(Wh \cdot kg^{-1})$	30~50	90~190	15~40
充放电效率/%	88	95	80
综合利用效率/%	77	90	75
常温循环寿命/次	2 000	4 000	15 000
单位投资成本 $/(元 \cdot (MW \cdot h)^{-1})$	1 500	3 000	4 000
度电成本 $/(元 \cdot (kW \cdot h)^{-1})$	0.45	0.8	0.6
安全性	技术相 对成熟、 安全	过充、内部短 路引起温升导 致起火爆炸	安全

结合当前各项电池储能应用场景,能量密度、响应速度等指标,以及建设成本变化趋势,在工程项目的建设过程中,对于电网侧、发电侧的电池储能调峰及调频项目,宜考虑采用磷酸铁锂电池储能技术,在低温或者极高温的环境下,全钒液流电池比锂电池及铅碳电池更加安全与可靠,也有其专属的特定市场需求。

3 电池储能调峰电站发展机会分析

3.1 广东省内调峰缺口分析

从广东电力系统调峰情况来看,在区域煤电调峰

深度按50%考虑,云南水电按10%计入的边界情况下,“十三五”期间,随着深圳抽水蓄能等项目的投产落地,至2020年全省基本可以实现调峰平衡。“十四五”期间,随着省内电力需求及峰谷差的进一步拉大,以及海上风电项目的大规模投产,广东电力系统将出现大量的调峰缺口。据测算,至2030年全省调峰缺口将达到约900万kW以上,以风电为主的可再生能源将存在较大的消纳压力。

3.2 珠三角核心区域电力缺口分析

其次,从珠三角核心地区电力供应情况来看,作为广东电力系统的核心受端地区,广州、深圳、东莞、佛山等地区存在较大的电力缺口。在计入已核准电源的情况下,2020年上述各地区220kV及以下电网将各出现14494、15273、11853、11494MW的电力缺口,随着国民经济的持续发展,电力缺口将在“十四五”期间呈现进一步的上升趋势,在当前核心地区输变电工程推进逐渐加大的背景下,珠三角核心地区将存在较大的省网下供压力,可通过储能系统的需求,优化负荷特性,缓解尖峰负荷增长压力(见图4)。

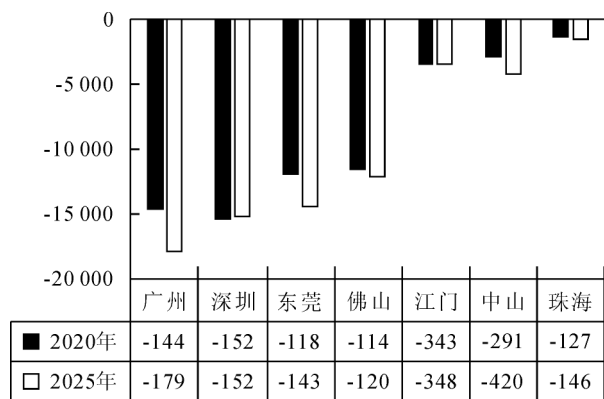


图4 珠三角七市220kV及以下电力系统电力缺口分析 (单位:MW)

3.3 典型电网侧调峰项目发展机会分析

从具体项目发展来看,作为珠三角产业集聚发展的代表地区,东莞市工业园区布局密集,随着大工业、数据中心等重要用户峰值负荷的持续增长,将对相关变电站带来较大的安全稳定运行压力,急需进行尖峰负荷的削减以及负荷特性的优化。在上述背景下,东莞供电局对港区等110kV变电站提出了电池储能调峰电站的建设需求,项目的建成投产将在提升区域供电可靠性、满足尖峰负荷供应的同时,为区域提供优质

的调节资源,并缓解电气化交通对当地配电网造成的冲击,这为电池储能提供了较好的发展机会。

4 电池储能调频项目发展机会分析

4.1 广东电网调频需求分析

从广东电力系统调频存在的主要问题来看,随着电网规模的不断扩大,负荷变化量的日趋加快,机组在调频时爬升或骤降速率较快,导致火电机组调频难度增大;其次,在快速调频方面,目前主要依靠广州抽水蓄能电厂、新丰江水电厂、枫树坝水电厂,以及燃油机组参与快速调频,快速且清洁的调频资源较为紧缺,在此环境下,为电池储能发展创造了一定的空间。

4.2 调频项目发展方向分析

南方区域电网以大型煤电机组作为主要调频资源,燃气电厂和抽水蓄能机组为辅,而储能的AGC调频效果远好于煤电、燃气和抽蓄机组。引入相对少量的储能系统,将能够迅速并有效地解决区域电网优质调频资源不足的问题。

在现货电力市场条件下,对比传统火电发电机组,储能的响应速度快,可以达到秒级甚至毫秒级的响应速度。储能精确控制出力,调节精度高,不会直接产生污染物,一方面可作为独立系统进行调频,另一方面可与传统火电进行联合调频,其中与火电联合调频可减少火电机组的运行成本。

根据上述分析,在后续储能项目开发中,可考虑以下发展方向。

4.2.1 利用现有资源开发

南方电网深圳宝清储能站现已建成18 MW·h 电池储能电站可充分利用既有设备资源及运行经验,具备进一步升级改造成为调频电站的可能性。

南方电网广州、惠州、深圳抽水蓄能电站具备充足的土地资源,可提供电池储能项目建设空间。

4.2.2 待开发资源

广州、深圳供电局部分非中心区110 kV 变电站存在闲置土地资源,可开发相应的储能调频项目。

1) 发电侧调频项目。充分挖掘火电机组联合调频项目发展潜力,进行“火电+储能”联合调频项目开发。典型项目如珠海洪湾电厂与电池储能联合调频。

2) 电网侧调频项目。从电网侧独立调频电站来

看,深圳抽水蓄能电站独立调频项目已具备进一步推进的条件,从项目效益来看由于在调频响应速度、精度等方面的技术优势,电池储能在调频市场中,相比传统火电、燃气电厂将具备较为明显的竞争力。当按单位调频里程报价12元/MW,在充放电倍率达2C及以上时,电池储能参与调频项目具有良好的收益。

5 结语

南方电网电池储能技术未来的发展与应用呈现出多元化趋势。一是电池作用多元化,根据电池储能技术在可再生能源并网,电网辅助服务,电网输配,分布式及微网,用户侧以及电动汽车充放电模式等多元化场景的应用,其作用可分为三类,分别为平滑间歇性电源功率波动;减少峰谷差,提高电力系统效率和设备利用率;增加备用容量,提高电网安全稳定性和供电质量。二是电池类型多元化,从场景应用要求反推储能电池的类型,可以分为四大类:容量型储能电池,功率型储能电池,能量型储能电池以及备用型储能电池。根据电池使用的功率容量比值进行区分,有利于发展不同类型的电池储能技术。三是发展目标多元化,对于电池储能技术的发展,距离“低成本、长寿命、高安全、易回收”的总体目标还有一定的距离,有待技术创新和突破。

电池储能技术正在经历技术的逐步成熟和市场逐步建立的关键时期,随着其制造工艺的成熟、技术性能的提升以及由此带来的经济性能愈加显著,其在南方电网会出现规模化的应用,发展前景将会越来越广阔。

参考文献:

- [1] 张建兴, 张宇, 曹智慧, 等. 电网大规模电池储能技术的发展机遇与挑战[J]. 电力与能源, 2013, 34(2): 182 - 186
- [2] 梅简, 张杰, 刘双宇, 等. 电池储能技术发展现状[J]. 浙江电力, 2020, 39(3): 75 - 81
- [3] 贺钟灵. 微电网电池储能技术经济分析[J]. 现代工业经济和信化, 2018, 8(17): 9 - 11
- [4] 廉嘉丽, 王大磊, 颜杰, 等. 电力储能领域铅炭电池储能技术进展[J]. 电力需求侧管理, 2017, 19(3): 21 - 25
- [5] 张利中, 赵书奇, 廖强强, 等. 国内外电池储能技术的应用及发展现状[J]. 上海节能, 2015(10): 519 - 523
- [6] 王晓丽, 张宇, 张华民. 全钒液流电池储能技术开发与应用进展[J]. 电化学, 2015, 21(5): 433 - 440

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.006

降低 220 kV 输电线路铁塔接地电阻值的应用研究

刘 江

(长江勘测规划设计研究院,湖北 武汉 430010)

摘要:降低输电线路杆塔接地电阻,是保证电网安全、稳定运行的重要措施之一。以降低苏丹 BABANUSA - ADILA 220 kV 输电线路铁塔接地电阻为例,对影响接地装置电阻 9 类要因进行分析、研究,探索了有效降低接地射线电阻值的方法,应用效果良好。

关键词:接地射线;电阻;降低;要因

中图分类号: TM54 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)09-0021-04

Reduction of the Grounding Resistance of 220 kV Transmission Line Tower

LIU Jiang

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: Reduction of the grounding resistance of transmission line tower is an important measure to ensure the safe and stable operation of power grid. Taking the BABANUSA - ADILA 220 kV transmission line tower as an example, key factors that affect the resistance of the grounding devices are analyzed. Effective measures are then proposed to reduce the resistance of the grounding wires. Satisfactory application performance is achieved.

Key words: grounding wire; resistance; reduction; key factors

高压输电线路杆塔接地装置多置于远离人群的地方,在地理环境恶劣的地区,构建输电线路杆塔接地装置,是较为复杂的问题。由于杆塔基础土壤的不均匀性,导致电阻率变化大,尤其是前期勘察深度不够,易造成设计的杆塔接地装置电阻值偏大等问题。研究表明,在多雷区杆塔接地电阻最好能处理到 10Ω 以下,可提高输电线路的耐雷水平,从而有效地降低输电线路雷击跳闸率^[1]。

土壤电阻率比较高的地区高压输电线路杆塔接地体研究,一直是热点问题,目前主要研究成果集中在:①接地体新材料的研究与应用;②通过增大接地体尺寸或增加接地体埋深来降低电阻;③改善自然接地体等。但是,对于复杂的自然条件,如何设计出技术可行、且经济合理的低电阻接地装置,仍然是非常困难的事。长江勘测规划设计研究院承接了非洲国家苏丹的 BABANUSA - ADILA 220 kV 输变电勘察设计项目,其主要工作是一条 220 kV 输电线路工程的勘察设计。根据获取的相关基础资料,设计了常规的输电线路铁

塔接地装置,项目施工完成后,现场实测发现部分铁塔的接地电阻值偏高。该输电线路业主要求所有铁塔的接地电阻值不应超过 10Ω ,现场实测后发现,满足要求的铁塔占比 72%,超出要求的铁塔占比 28%,其中严重超出要求的占比达 2/3。为了满足业主要求,针对接地电阻值偏高的铁塔进行专项研究,并尝试找出降低铁塔接地电阻的有效方法^[2]。

1 高接地电阻值来源的确定方法

针对接地电阻值高的实际情况,制定了分析查找问题的三步骤,第一检测全部铁塔接地装置的基础数据;第二归纳整理资料,寻找共性问题,理出产生问题的原因;第三制定产生问题原因的确认方案,找出问题的主要因素。

1.1 基础数据实测

首先制订基础数据检测方案,对项目所有铁塔的接地电阻值进行现场实测,并增加了接地射线埋深、长度和接地射线周围土壤成分等特征数据,实测数据如

收稿日期:2020-05-16

作者简介:刘江,男,工程师,主要从事水利水电输变电工程设计方面的工作。

表1所示。

表1 部分接地射线实测数据

序号	铁塔编号	接地射线埋深/m	接地射线长度/m	接地射线周围的土壤成分	接地电阻实测值/ Ω
1	BP1	0.8	120	全风化砂岩	0.36
2	BP3-1	0.8	120	粘土	10
3	BP3-2	0.8	120	白色砂质粉土(出水)	8.6
4	BP4	0.8	48	白色砂质粉土	53
5	BP4-1	2.5	80	白色砂质粉土	38
6	BP4-2	0.8	48	白色砂质粉土	42
7	BP5	0.8	160	白色砂质粉土	48.6
8	BP5-1	0.8	48	白色干砂土	53
9	BP5-4	0.8	48	粘土	1.6
10	BP5-5	0.8	48	白色砂质粉土	35
11	BP5-6	3	160	白色砂质粉土	20
12	BP6	0.8	80	黄色砂质粉土	26
13	BP6-1	0.8	80	黄色砂质粉土	73
14	BP6-2	0.8	80	黄色砂质粉土	68
15	BP6-3	3	120	白色砂质粉土	8.6
16	BP6-4	3	160	白色砂质粉土	18
17	BP6-5	3	80	红色砂质粉土	12.33
18	BP7-2	3	80	红色砂质粉土	1.57
19	BP8	0.8	80	全风化砂岩	20
20	BP8-1	0.8	80	全风化砂岩	31.5
21	BP8-7	0.8	48	粘土(出水)	0.25

1.2 实测数据分析

归纳整理实测数据,首先列出接地射线埋深与电阻值分析表,发现相比接地电阻值低的铁塔,接地电阻值高的铁塔,其射线埋深较浅,基本为0.8 m。再列出接地射线长度与电阻值对比表,也发现相比接地电阻值低的铁塔,接地电阻值高的铁塔,其射线长度较短,多为100 m以下。

通过现场勘查获得了详实资料,把接地射线基础的地质条件进行归纳整理,共有10类土壤成分,分别是:全风化砂岩、粘土、白色砂质粉土(出水)、白色砂质粉土白色干砂土、黄色砂质粉土、红色砂质粉土、粘土带沙、粘土(出水)、砂质粉土。进一步研究发现,接地电阻值高的铁塔,其接地射线周围的土壤成分多为白色砂质粉土和黄色砂质粉土。该土壤相比粘土更加

干燥,水分含量低。

通过对比分析认为,接地材料不足和土壤电阻率低可能为问题的主要症结。在分析研究现场测量和查勘成果后,初步认为可以通过增加接地材料、调整接地埋深和改善原状地质等方法来解决该问题。

1.3 高接地电阻值来源确认

除上述三类方法外,对引起铁塔接地电阻值高的其他原因进行了充分论证和分析,通过原因分析图(图1)找出了9个末端原因。针对9个末端原因,制定了来源确定方法与标准,见表2,然后按计划逐一实施确认。

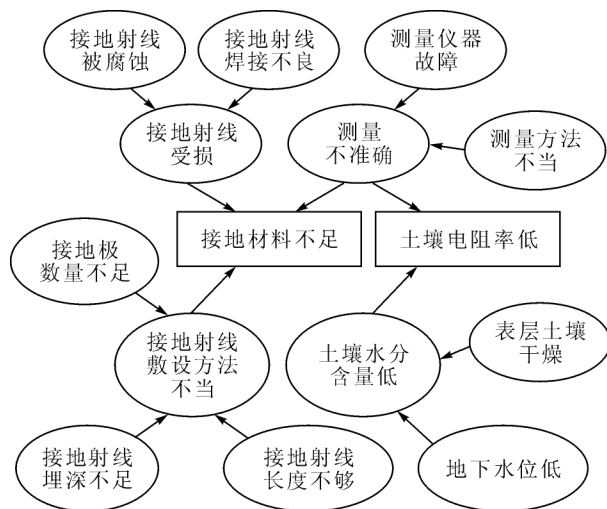


图1 原因分析图

表2 来源确定方法与标准表

序号	末端因素	确认方法	确认标准
1	接地射线焊接不良	现场调查	测量接地射线焊接处搭接长度小于5 cm
2	接地射线长度不足	现场测量	增加长度后接地电阻降低到10 Ω 以下
3	接地射线埋深不足	现场测量	增加埋深后接地电阻降低到10 Ω 以下
4	接地极数量不足	现场测量	增加接地极数量后接地电阻降低到10 Ω 以下
5	接地材料被腐蚀	现场调查	接地材料存在被腐蚀的现象
6	测量设备故障	现场测量	对比验证测量设备的工作情况
7	测量方法不当	现场测量	对比验证测量方式的工作情况
8	表层土壤干燥	现场测量	改善表层土壤的湿度后接地电阻降低到10 Ω 以下
9	地下水位低	现场调查	调查地下水位情况

本文列出二个代表性的确认表如表 3、表 4。

通过要因确认计划实施,最终确认了输电线路铁塔的接地电阻较高的两个要因,要因一为接地射线埋深不足,要因二为表层土壤干燥,其余均为非要因。

2 方案比选与实施

2.1 制定方案

要因确认后,针对两个主要原因,提出降低铁塔接地电阻方案,见表 5。

表 3 接地射线埋深不足的确认情况与结果表

末端因素 3		接地射线埋深不足			
确认标准	增加埋深后接地电阻降低到 10 Ω 以下				
确认方法	现场测量	确认人	***	确认时间	2016-06-10
对已敷设的接地射线开挖后,将射线埋深增加至 3 m,再次敷设后重新测量					
确认情况	铁塔	改造前		改造后	
	编号	接地射线埋深/m	接地电阻值/ Ω	接地射线埋深/m	接地电阻值/ Ω
	BP5	0.8	48.6	3	8
	BP6-2	0.8	68	3	9.5
确认结果	增加接地射线埋深后接地电阻降低非常明显,能够满足合同要求,要因				

表 4 表层土壤干燥的确认情况与结果表

末端因素 8		表层土壤干燥			
确认标准	改善表层土壤的湿度后接地电阻降低到 10 Ω 以下				
确认方法	现场测量	确认人	***	确认时间	2016-06-05
对已敷设的接地射线开挖后,换填成粘土或在射线周围的土壤中灌水,再次敷设后重新测量					
确认情况	铁塔	改造前		改造后	
	编号	土壤成分	接地电阻值/ Ω	土壤成分/灌水	接地电阻值/ Ω
	BP4	白色砂质粉土	53	换填湿润的粘土	8.4
	BP6-2	黄色砂质粉土	68	换填湿润的粘土	8.6
	BP8	全风化砂岩	20	灌水	2.6
确认结果	增加土壤湿度后,可以明显降低接地电阻值,能够满足合同要求,要因				

表 5 降低铁塔接地电阻值方案表

序号	要因	对策	目标	措施	实施地点
1	接地射线埋深不足	将铁塔基础周围的接地射线埋深至基础底部	将铁塔基础周围的接地射线埋深加大	1. 开挖基础周围的接地射线; 2. 增加少量接地射线,围绕在基础周围,形成接地环线; 3. 将接地环线敷设在基础底部周围; 4. 如果基础底部土壤比较干燥,则适当加大埋深至基础下方	施工现场
2	表层土壤干燥	将接地射线周围的土壤换填为粘土	提高接线射线周围的土壤湿度	1. 在施工工地周围寻找湿润的粘土; 2. 开挖粘土并运至施工工地; 3. 开挖接地射线周围的土壤; 4. 换填为湿润的粘土,并覆盖住接地射线	施工现场

在形成基本方案的基础上,对方案进行优化、组合,深入分析综合评估,形成方案评价成果,见表 6。

2.2 方案实施

2.2.1 将铁塔基础周围的接地射线埋深加大

1) 将铁塔基础周围土壤开挖,找到已敷设好的接地射线;

2) 增加少量接地射线,在铁塔基础周围敷设一圈,形成接地环线,并与已敷设好的接地射线牢固焊接;

3) 将接地环线敷设在基础底部周围,使其埋深增加由 0.6 m 增加至 3.5 m;

4) 如果遇到铁塔基础底部的土壤仍然比较干燥,

则可适当加大埋深至基础底部的下方约 0.5 m 处,埋深增加至 4 m。

2.2.2 将接地射线周围的土壤换填为粘土

- 1) 在施工工地周围寻找湿润的粘土,开挖粘土并运至施工工地现场;
- 2) 开挖接地射线周围的土壤,找出已敷设好的接

地射线;

3) 换填为湿润的粘土,并覆盖住所有的接地射线,使得接地射线有效接触到湿润的粘土。

2.3 实施效果

对策实施后,达到了预期效果,实施效果比较见表 7。

表 6 方案评价表

要因	对策方案	评估					最终评价
		有效性	可靠性	可实施性	经济性	时间性	
1. 接地射线埋深不足	①将所有射线埋深由 0.8 m 全部改为 3 m	接地电阻有效降低	可靠性好	开挖工作难度较高,容易损坏已埋设的接地射线	土建成本高	耗时较长	土建开挖工作量大,难度较高,易损坏接地射线,不宜选用
	②将铁塔基础周围的接地射线埋深至基础底部,埋深约 3.5 m	接地电阻有效降低	可靠性好	开挖工作量小,难度低	土建成本较低	耗时相对较短	土建开挖工作量小,难度较低,同样能够有效降低接地电阻
2. 表层土壤干燥	①对接地射线周围的土壤灌水,增加土壤湿度	接地电阻有效降低	水分流失非常快,可靠性低	水分流失非常快,无法长期保持土壤湿度	需要大量的自来水,需要专用水罐车运输,成本较高	耗时较长	灌水成本高,并且无法长期保持土壤水分,不宜选用
	②将接地射线周围的土壤换填为湿润的粘	接地电阻有效降低	可靠性好	工地附近可找到湿润的粘土	粘土无需任何费用,可用一般的卡车运输,成本较低	耗时相对较短	换填成本较低,可长期有效的提高土壤湿度

表 7 实施效果数据对比表

序号	铁塔编号	接地射线埋深 /m	接地射线周围土壤成分	实测接地电阻值 /Ω	实施一埋深 /m	实施二	实测接地电阻值 /Ω
1	BP4	0.8	白色砂质粉土	53	3	换填粘土	7.9
2	BP4-1	2.5	白色砂质粉土	38	3	换填粘土	7.5
3	BP4-2	0.8	白色砂质粉土	42	3	换填粘土	8
4	BP5	0.8	白色砂质粉土	48.6	3	换填粘土	8.4
5	BP5-1	0.8	白色干砂土	53	3	换填粘土	8.5
6	BP5-5	0.8	白色砂质粉土	35	3	换填粘土	3.2
7	BP5-6	3	白色砂质粉土	20	3	换填粘土	2.4
8	BP6	0.8	黄色砂质粉土	26	3	换填粘土	1.8
9	BP6-1	0.8	黄色砂质粉土	73	3	换填粘土	9.8
10	BP6-2	0.8	黄色砂质粉土	68	3	换填粘土	9.9
11	BP6-4	3	白色砂质粉土	18	3	换填粘土	1.52
12	BP6-5	3	红色砂质粉土	12.33	3	换填粘土	0.67
13	BP8	0.8	全风化砂岩	20	3	换填粘土	1.2
14	BP8-1	0.8	全风化砂岩	31.5	3	换填粘土	2.4

(下转第 27 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.007

某电厂线路保护光纤通道故障应急处理的探讨

杨涛,王龙辉,胡嵩嵩

(乌东德电厂,云南昆明 651500)

摘要:基于某电厂500 kV线路保护通道的重要性和光纤通信的特点,分析了光纤通道的优缺点,结合500 kV线路保护光纤通道配置情况和现场运行经验,分析常见的500 kV线路保护光纤通道故障,探讨了故障的排查及处理方法。

关键词:500 kV线路保护;光纤通道;通道故障;故障应急处理

中图分类号:TN25 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)09-0025-03

Emergency Treatment of Fiber Channel Fault for Transmission Line Protection

YANG Tao, WANG Longhui, HU Songsong

(Wudongde Hydropower Plant, Kunming 651500, China)

Abstract: Considering the importance of the protection channel in 500 kV transmission line, fiber channel is widely adopted for the line protection. The characteristics, advantages and disadvantages of the fiber channel are analyzed. Based on the analysis of the fiber channel configuration and the in-situ operation experience, the common faults of the fiber channel for the 500 kV line protection are analyzed and corresponding fault diagnosis and treatment measures are discussed.

Key words: 500 kV line protection; fiber channel; channel fault; emergency fault treatment

500 kV线路输送功率大、输送距离远,保护如果不能快速、准确动作,有可能导致电网稳定性破坏,甚至导致较大面积停电事故的发生。而随着通信技术的发展,用光纤通道传输输电线路保护两端信息的方式,在线路保护中得到了广泛应用,但是若光纤通道发生故障,线路保护将退出运行,会严重影响线路安全稳定运行,在这种情况下,500 kV线路保护光纤通道故障的应急处理,既能保证保护的正确动作,又有利于电网的稳定运行。因此,本文探讨500 kV线路保护光纤通道日常维护和常见故障的应急处理,以便于缩短故障处理时间。

1 光纤通道的特点

光纤保护是利用激光经光导纤维传输被保护线路各端的保护信息,并以其综合比较为动作判据的一种

线路纵联保护。光纤通道与继电保护相结合,相对于传统的电缆、载波、微波等通道,具有较明显的优势:①频率高,频带宽,传输的信息量非常大,可以显著提高继电保护动作的可靠性和正确性;②传输损耗小,质量高,误码率低;③不受外界电磁场的干扰,抗干扰能力强^[1]。线路上方的光缆采用OPGW型,既可以用作光纤通信,还起着线路避雷线的作用。

光纤保护通道分为专用光纤通道和复用光纤通道:专用光纤通道是指两侧保护以光纤芯直接连接,单独占用一对光纤芯。复用光纤通道是指通过光电转换接口装置和通信PCM在一对光纤芯上复接多路信号,每一路信号占用2 M或64 K带宽。

另外为提高光纤保护通道的可靠性,防止数字信号串扰,引入了纵联标识码功能。只有接收报文中的地址码与“对侧识别码”定值相等,装置才能正常工

收稿日期:2020-04-11

作者简介:杨涛,男,工程师,主要从事水电站继电保护检修维护方面的工作。

作。当通道接收到的识别码与定值整定的对侧识别码不一致时,退出该通道的差动保护,并发“通道告警”。

2 电厂线路保护光纤通道配置情况

该电站出的主一、主二保护所有通道及应急通道

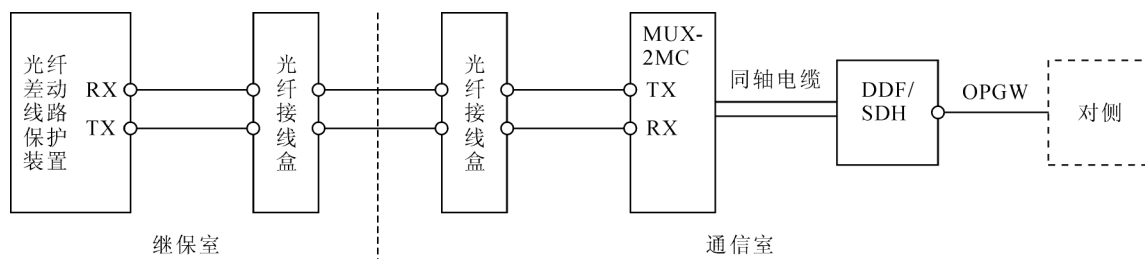


图1 某电厂线路保护光纤通道配置图

主一保护屏由南瑞的线路保护 PCS-931N5 和通信接口装置 FOX-41B 组成,PCS-931N5 包含有通道一、通道二双复用通道,FOX-41B 中含有应急通道,三个通道均采用 2 M 的光通道,当通道一、通道二均故障时,应急通道投入使用。

主二保护屏内仅含有 CSC-103AF, CSC-103AF 保护包含有通道一、通道二双复用通道。通道一、通道二间实现双通道无延时切换,适用于直连和迂回通道并存的方式,其中一个通道中断后不影响另一个通道的正常运行,差动保护还可以正常运行。

3 光纤通道常见故障及处理方法

一旦发生通道故障,线路保护自动退出,有可能导致电网稳定性破坏,甚至导致较大面积停电事故的发生。为缩短故障判断、处理时间,因此分析本站可能出现的几种典型的 500 kV 线路保护通道故障,包括故障的查找判别及处理方法。

3.1 光纤通道故障现象及类型

以南瑞的 PCS-931N 为例。光纤通道故障时,现象一般为监控系统报“线路保护通道故障”,保护装置面板“通道异常”灯亮且无法复归,装置报“通道异常告警”,TDGJ 接点动作。

处理时首先通过监控系统和现场保护装置确认光纤通道故障现象,进一步判别故障类型。常见通道故障类型主要有两种:一是通道中断,即收不到对侧数

均采用复用光纤通道。保护装置的光信号经光纤配线架由光纤传输至通信机房,在通信机房内经过 MUX-2MC 进行光电转换成 2 M 信号,通过 DDF 数字配线架复接到 SDH 转换成光信号,最后经复用经光纤(OPGW)传输至对侧 SDH 单元(见图 1)。

据;二是通道异常,即通道没有中断,可以收到对侧数据,但数据错误。PCS-931N5 装置说明书内对两种故障描述如下。

1) 光纤通道无有效帧;当光纤通道在 400ms 内不能收到对侧信息时,就会报故障信号,该信号能自动复归,若长时间不能复归,则说明接受对侧信息的通道中断。

2) 光纤通道严重误码;此报文由通道误码率超出定值引起,装置判为接收不到正确的信号,需检查接受对侧信息的通道。

3.2 光纤通道故障故障点查找

首先通过分析保护装置告警信息、通道状态、指示灯等信息,判断故障的类型,便于定位故障范围或故障点。

若为单套线路保护通道故障,则通知运行人员申请退出该套保护,确认通道故障的线路保护盘出口压板全部退出后,修改保护装置的整定值和控制字,将本侧识别码和对侧识别码改为相同,将“通道环回试验”控制字投入。首先在本站与电网接口处自环,若保护装置面板“通道异常”灯熄,装置报“通道异常告警复归”,TDGJ 接点复归,监控系统报“线路保护通道故障复归”则说明为站外故障;若报警仍存在,说明为站内故障。若为站外故障,则由运行人员联系线路对侧站进行故障排查;若为站内通道故障,则采用同轴电缆自环或光线在本站各个环节逐级自环排查,最终确定故

障位置^[2]。

若两套线路保护均报通道故障,需告知运行人员申请停运一次设备,并接单套线路保护通道故障的查找处理方法,对两套线路保护的光纤通道故障进行逐一处理。

线路保护通道异常处理完成后,将保护定值、控制字恢复至运行时状态,并核对打印。通知运行人员申请恢复保护装置运行。

3.3 光纤通道故障处理

对于光纤通道故障的处理,应分别检查外部回路或是装置异常引起的装置通道故障。

首先对可能造成光纤通道故障的外部因素进行分析,可能造成通道故障的原因主要有尾纤芯或珐琅接口有灰尘或油污,尾纤受损,尾纤与珐琅是否正确连接、光纤接口或珐琅损坏、光缆损坏等^[3-5]。针对以上可能造成故障的原因,用无水酒精的纱布将尾纤芯的瓷芯端和珐琅接口面清洗干净重新连接,或更换通信良好的备用光纤、珐琅等方法处理,若通道恢复正常,则证明是由以上外部原因引起的通道故障,若故障报文依然存在,则可以排除尾纤芯有灰尘或油污、光纤与珐琅是否正确连接、光纤或珐琅损坏等外部因素。

其次用光功率计分别测量装置的发送和接收功率,并将测量结果与故障前最后一次测量结果相比较,

(上接第24页)

3 结语

本文通过降低220 kV输电线路铁塔接地电阻值的应用研究,得出如下结论。

1)受自然条件影响,套用典型设计易造成设计偏差,发生杆塔接地电阻偏高问题,准确精细的现场基础资料是确保设计成果正确的重要前提。

2)对存在接地电阻偏高的杆塔接地装置,提出三步骤,找出影响杆塔电阻值的要因和制定要因确认

若二者误差较小(尾纤的损耗一般很小,应在2 dBm以内),则可以排除装置故障。

4 结语

光纤通道的频率高,频带宽,传输的信息量非常大,传输损耗小,质量高,误码率低,抗干扰能力强等优点,使光纤通道在线路保护中得以广泛应用。但光纤传输的缺点也较明显,光缆抗外力破坏能力较差。光纤通道通常包括有多条保护的信号,一旦此光缆或通信设备被破坏,采用此通道的所有保护将全部通信中断告警。相应的保护就丧失功能,影响电网的稳定运行,因此光纤通道故障能否及时处理显得尤为重要。

参考文献:

- [1]胡晶晶. 500kV线路保护光纤通道运行和故障处理的探讨[J]. 华东科技:学术版, 2012(8): 281-282
- [2]吴志宇. 超高压线路光纤保护通道故障分析及定位方法[J]. 电气技术, 2013(9): 66-68
- [3]徐松涛. 对超高压线路光纤保护通道故障及定位技术的研究[J]. 科学导报, 2014(23): 174-174, 175
- [4]沈可, 蔺高峰. 光纤保护通道故障处理及方法[J]. 大科技, 2014(36): 104-104, 105
- [5]李响, 李彦, 刘革新. 光纤纵联保护通道故障在线诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 147-150

方案。

3)通过增加接地射线埋深、增加接地射线长度、敷设接地环型线、改善原状地质条件等综合措施,可将铁塔的接地电阻值降低至10 Ω以下,为其他输电线路工程提供了借鉴与参考。

参考文献:

- [1]孔晓峰, 陈新, 张一军. 输变电接地材料及其连接技术[J]. 电力建设, 2012, 33(9): 35-38
- [2]屈鹏理, 操阳, 等. 在输变电工程中如何确保接地工程的质量[J]. 电源技术应用, 2013(10): 32-32

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.008

基于最小二乘支持向量机的变压器故障诊断研究

高洁¹, 席先鹏²

(1. 湖北宣恩洞坪水电有限责任公司, 湖北 宣恩 445000; 2. 国网利川市供电公司, 湖北 利川 445400)

摘要: 用LS-SVM(最小二乘支持向量机)建立分类模型对变压器进行故障诊断时,分类的准确度和可靠性不好。研究发现主要原因在于惩罚因子和核函数参数的选取。为了解决这个问题,提出了用和声搜索算法优化惩罚因子和核函数参数,并得到最优参数组。将最优参数组代入LS-SVM中对变压器进行模拟故障诊断,结果表明,优化后LS-SVM比优化前诊断结果更精确、可靠性更好。

关键词: LS-SVM; 和声搜索算法; 变压器; 优化参数; 故障诊断

中图分类号: TM42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)09-0028-04

Transformer Fault Diagnosis based on Least Squares Support Vector Machine

GAO Jie, XI Xianpeng

(1. Hubei Xuan'en Dongping Hydropower Co., Ltd., Xuan'en 445000;

2. State Grid Lichuan Electric Power Supply Company, Lichuan 445400, China)

Abstract: In the fault diagnosis of transformer with a classification model developed based on the least squares support vector machine (LS-SVM), the reliability and accuracy of the classification are not good. Study shows that the problem is due to the choice of the penalty factor and the kernel function parameter. The harmony search algorithm is thus adopted to optimize the penalty factor and the kernel function parameter. The fault diagnosis simulation results show that the reliability and accuracy of the LS-SVM are improved with the optimized parameter values.

Key words: LS-SVM; harmony search algorithm; transformer; parameter optimization; fault diagnosis

油浸式变压器是电力系统中的枢纽设备,是电力系统能否安全、有效运行的关键因数之一。长期运行之后变压器会出现一系列的故障,有显形的也有隐形的,显形故障容易发现而隐形故障不容易发现。因此能否快速、准确地检测出隐形故障对变压器的使用寿命以及安全运行有重大的意义。变压器非正常运行时,油中会产生许多故障气体,所以DGA技术应运而生。Dissolve Gasses Analysis(油中溶解气体分析)技术^[1]是早期的故障诊断技术,也是十分重要的方法,对变压器故障诊断的发展具有重大意义。但由于DGA技术的故障编码不完全和编码界限模糊等原因,DGA法对变压器的诊断结果不是很准确,而且对于多重故障也无能为力。

经过专家学者多年研究,在DGA基础上提出了一系列人工智能算法。如:BP神经网络算法^[2]、遗传算法等^[1]。BP神经网络容易陷入局部最优而且收敛速度慢。遗传算法准确率相对BP神经网络有所提高但速度太慢。

Support Vector Machine(支持向量机)是一种新的学习模型,它主要用于问题的分类和回归分析。本文用于非线性分类,主要思想就是把低维不可分样本转换到高维空间中使其线性可分。Least Squares-Support Vector Machine采用松弛变量的平方作为修正量,将二次规划求解转化为求解线性方程组,不但增加了求解速度而且计算难易度也减小了。

本文以DGA气体数据为基础,采用LS-SVM对油浸式变压器进行故障诊断。

收稿日期:2020-04-13

作者简介:高洁,男,助理工程师,主要从事水电站发电运行方面的工作。

1 LS-SVM 算法^[3-5]

假设样本集 $P = \{x_i, y_i\} (i = 1, 2, \dots, n)$, x_i 是输入矢量; y_i 是输出矢量; n 是样本总数。选择一个非线性映射 $\Phi(x)$ 将 x_i 转换到高维的空间 Γ (其中 $x_i \in R^d, y_i \in R$), 在高维空间 Γ 下构造最优线性决策函数:

$$f(x) = \text{sgn}(\omega \phi(x) + b) \quad (1)$$

式中: ω 是权值向量; b 是误差常数。

在建立决策函数时, 根据结构风险最小化原则找到 ω 和 b 就是最小化^[6-7]:

$$J = \|\omega\|^2/2 + C \cdot R_{emp} \quad (2)$$

式中: $\|\omega\|$ 为控制模型的复杂度; C 为惩罚因子; R_{emp} 为误差控制函数, 也就是 ξ 不敏感损失函数。

选择不同的不敏感损失函数 (Huber 损失函数、线性 ξ 损失函数、二次 ξ 损失函数) 可以建立不同类型的 SVM。

而 LS-SVM 用 ξ 的二次方作为损失函数, 所以优化目标为:

$$\begin{cases} \min \frac{\|\omega\|^2}{2} + C \sum_{i=1}^n \xi_i^2 \\ \text{s. t. } y_i [\omega^T \cdot \phi(x_i) + b] = 1 - \xi_i \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

通过求解 Lagrange 函数的鞍点^[6-7] 得到:

$$L(\omega, b, \xi, a) = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + \frac{1}{2} C \sum_{i=1}^n \xi_i^2 - \sum_{i=1}^n a_i (y_i (\omega^T \cdot \phi(x_i) + b) - 1 + \xi_i) \quad (4)$$

式中: a 为拉格朗日乘子, 根据库恩-塔克条件^[8] ($\partial L/\partial \omega = 0, \partial L/\partial b = 0, \partial L/\partial \xi = 0, \partial L/\partial a = 0$) 求得:

$$\begin{cases} \omega - \sum_{i=1}^n a_i y_i \phi(x_i) = 0 \\ \sum_{i=1}^n a_i y_i = 0 \\ a_i = C \xi_i \\ y_i (\omega^T \cdot \phi(x_i) + b) - 1 + \xi_i = 0 \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)可得:

$$\begin{bmatrix} I & 0 & 0 & -Z^T \\ 0 & 0 & 0 & -Y^T \\ 0 & 0 & CI & -I \\ Z & Y & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ b \\ \xi \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ L \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: $Z = [\varphi(x_1)^T y_1, \dots, \varphi(x_n)^T y_n]$, $Y = [y_1, \dots, y_n]$, $L = [1, \dots, n]$, $\xi = [\xi_1, \dots, \xi_n]$ 。

式(6)消去 ω 和 ξ 可得:

$$\begin{bmatrix} 0 & M^T \\ M & \Omega + C^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ Y \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: $\Omega = [\varphi(x_k)^T]^T \varphi(x_i)$, $Y = [y_1, \dots, y_n]^T$, $M = [1, \dots, n]^T$, $\xi = [\xi_1, \dots, \xi_n]$, $a = [a_1, \dots, a_n]$ 。

对式(7)用最小二乘法求出 a 和 b , 得到分类决策函数^[9] 为:

$$y(x) = \text{sgn} \left[\sum_{i=1}^n a_i K(x, x_i) + b \right] \quad (8)$$

式中, $K(x, x_i)$ 为核函数。

2 和声搜索优化算法

和声搜索算法 (Harmony search, HS) 是一种新颖的智能算法, 可以对不同测试方式进行优化处理, 其原理为反复调整、选择及验证记忆库中的解变量, 不断进行迭代运行, 最终使函数值逐渐收敛, 从而完成目标方法的优化。

2.1 和声搜索算法流程图

和声搜索算法流程见图 1。

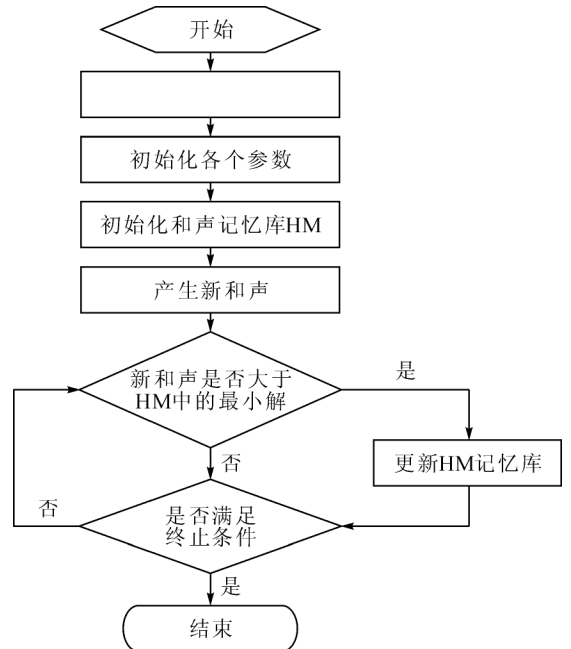


图 1 和声搜索算法流程图

2.2 参数优化步骤

1) 初始化各个参数: 音高调整率 PAR、记忆库大小 HMS、和声记忆库保留率 HMCR、算法终止条件 (最大迭代次数)、变量数目、各个变量取值范围。

2) 从各个变量的取值范围内随机选取步骤(1)中

规定数目的解向量,并按照目标函数(式(8))值的正确率排序。

3)根据 HMS、HMCR、PAR 生成一个新的和声,具体如下:①在 HMCR 概率下各个变量取值来源于 HM;②在 $1 - HMCR$ 概率下各个变量取值来源于非 HM 的值域其他值;③在 a 条件下有 PAR 概率对选取的变量进行微调,微调公式如下:

$$x_i^{new} = x_i^{new} + bw * rand(-1, 1) \quad (9)$$

式中:bw 为固定带宽;rand(-1, 1)是 -1 到 1 之间的随机值。

重复上面的工作,直到达到最大的迭代次数,最后,从 HMS 中选取最小的那个解向量相应的 $f(x)$, $f(x)$ 就是相应的最小值。

3 变压器故障诊断

3.1 样本气体选取

样本气体选取 H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 、 C_2H_2 五种故障气体作为输入。选取高温过热、高能放电、中温过热、正常、低温过热、低能放电、局部放电七种故障状态作为输出(见表 1)。

表 1 故障的对应编码表

故障类别	故障编号
正常	1
高温过热	2
低能放电	3
高能放电	4
中温过热	5
低温过热	6
局部放电	7

3.2 数据的归一化处理

油中的故障气体含量不可能都相差不大,有的数据可能相差比较大,如果不做处理代入程序中诊断误差可能非常大,如图 2。因此,将样本数据根据以下公式进行转变,尽可能减小仿真误差。

$$f = \frac{a_i}{\max a_i} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5) \quad (10)$$

式中, a_i 为一种气体的体积。

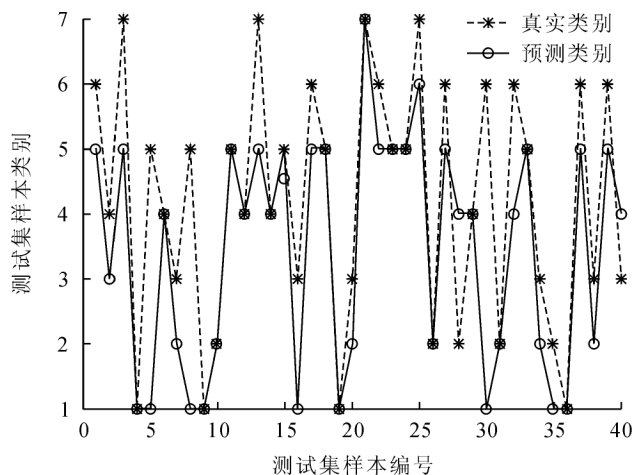


图 2 未归一化诊断结果图

3.3 核函数选取

目前,应用较多的核函数有:

1) d 阶多项式核函数^[9-10]

$$K(x, x_i) = (xx_i + 1)^d \quad (11)$$

2) Sigmoid 核函数^[10]

$$K(x, x_i) = \tanh(k(xx_i) + \theta) \quad (12)$$

3) 径向基核函数(RBF)^[11]

$$K(x, x_i) = \exp\left(-\frac{\|x - x_i\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (13)$$

本文选用径向基核函数,因为 RBF 只有一个参数需要优化而且将数值限制在 0 和 1 之间。

3.4 诊断结果

本文选用 160 组样本数据进行故障仿真。其中训练样本 120 组,测试样本 40 组。由仿真测试结果表明优化后的 LS-SVM 诊断结果更准确(见图 3、图 4 及表 2)。

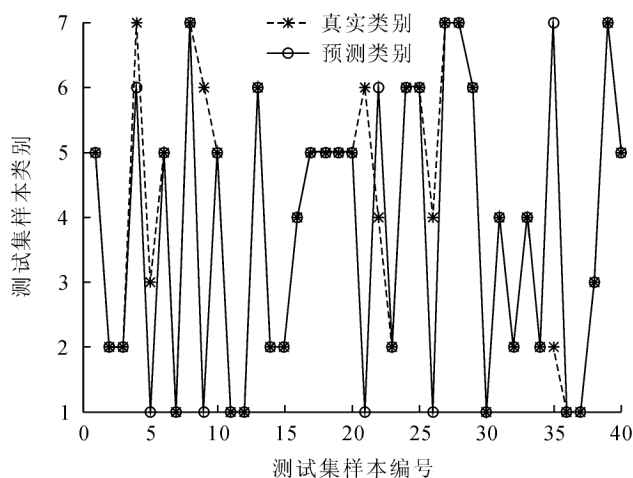


图 3 未优化的 LS-SVM 预测结果图

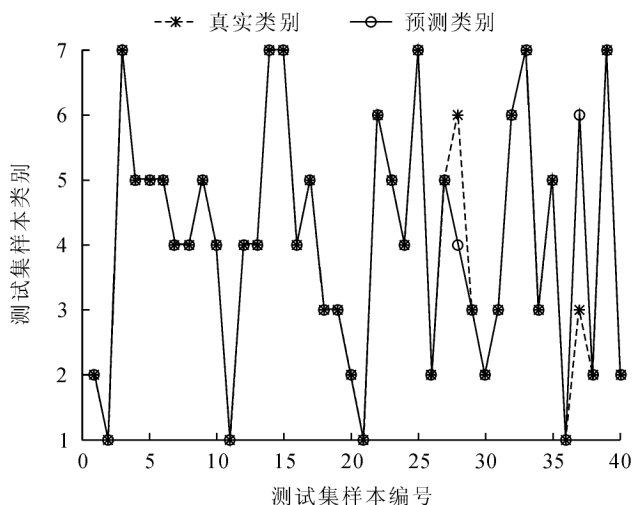


图4 优化后的LS-SVM预测结果表

表2 无归一化、未优化、优化测试准确率对比表

故障编号	准确率/%		
	无归一化 诊断结果	未优化的 LS-SVM 预测结果	优化后的 LS-SVM 预测结果
1	44.4	60	100
2	42.8	100	100
3	0	100	100
4	57.1	100	87.5
5	42.8	100	100
6	0	66.6	66
7	100	80	100
均值	41.01	86.66	93.36
总样本	45	82.5	95

由杨春玲等^[11]的方法对比得知,本文利用和声搜索算法对LS-SVM算法进行优化,如表3所示相较于三比值法、ELMAN神经网络法及多层动态自适应优化参数法,具有较高准确性。

4 结语

在LS-SVM算法基础上提出了用和声搜索算法对LS-SVM中的核函数参数和惩罚因子进行优化处理。和声搜索算法通过不断迭代运行,以寻找与目标值贴合的测试数据,能够较为准确的将所需解值定位。本文结果与其他方法进行对比分析,表现出结果数据的优化效果较为明显,在有限组样本条件下,一定程度上提高了LS-SVM算法的诊断准确度。

表3 三比值法、Elman神经网络法、多层动态自适应优化参数法准确率对比表

故障编号	准确率/%		
	三比值法	Elman神经网络法	多层动态自适应优化参数法
2	83.42	86.64	91.84
3	81.84	86.43	96.88
4	82.07	87.55	94.36
5	79.65	84.56	94.05
6	80.95	85.23	93.9
7	80.63	84.56	94.5
均值	81.43	85.83	94.26

参考文献:

- [1]袁鑫锋,李周晨昕,宋人杰,等.基于变压器振动的分布式绕组状态检测装置的开发与应用[J].电测与仪表,2020(6):1-7
- [2]陆敏安,任堂正,肖远兵,等.基于SVM算法的变压器DGA和故障诊断[J].机电信息,2020(21):22-23
- [3]夏洪刚,郭红兵,肖金超.基于CNN的电力变压器故障诊断方法[J].电子设计工程,2020,28(13):189-193
- [4]胡裕峰,方旒,徐越,等.基于混合神经网络与有限状态机的区域电网智能告警处理方法研究[J].供用电,2020,37(7):57-66
- [5]李朕玥.基于SVM的电力变压器故障诊断方法与分析[J].电工材料,2020(3):58-60
- [6]余长厅,黎大健,汲胜昌,等.基于振动噪声及BP神经网络的变压器故障诊断方法研究[J].高压电器,2020,56(6):256-261
- [7]董明,孟源源,徐长响,等.基于支持向量机及油中溶解气体分析的大型电力变压器故障诊断模型研究[J].中国电机工程学报,2003,23(7):88-92
- [8]周光宇,马松龄.基于机器学习与DGA的变压器故障诊断及定位研究[J].高压电器,2020,56(6):262-268
- [9]焦尚彬,刘丁.基于最小二乘支持向量机的高压绝缘子污秽程度评定[J].电力系统自动化,2006,30(6):61-65
- [10]肖燕彩,陈秀海,朱衡君.基于最小二乘支持向量机的变压器油中气体浓度预测[J].电网技术,2006,30(11):91-94
- [11]杨春玲,王晓波,郑安豫,等.优化LS-SVM在油浸式变压器故障诊断中的应用[J].长春师范大学学报:自然科学版,2020,39(2):71-74

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.009

深水导管架在海上风电项目的施工方法探讨

范荣山, 张健

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200050)

摘要:近年来我国海上风电发展迅猛,近岸海域海上风电开发已近饱和,未来深远海域开发将成为海上风电发展的重点。以福建某海上风电项目为例,对大型深水导管架基础安装关键技术进行了研究。通过比选采用先桩法沉桩工艺进行基础钢管桩施工,设计几种沉桩定位导向平台辅助定位,并对导管架施工工艺和灌浆方式进行了探讨。研究表明,深水导管架基础将是深远海域海上风电的不错选择。

关键词:导管架;施工;海上风电;深远海

中图分类号:TM614 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-3354(2020)09-0032-04

The Construction of Deepwater Jacket Foundation in Far-reaching Offshore Wind Power Projects

FAN Rongshan, ZHANG Jian

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200050, China)

Abstract: The offshore wind power industry in China has developed rapidly in recent years. While the offshore wind power development in coastal areas is nearly saturated, the far-reaching sea areas will become the development focus in the future. Taking an offshore wind power project in Fujian Province as an example, the key installation technology for large-scale deepwater jacket foundation is analyzed. Considering the specific conditions of the project, the first piling method is adopted and several kinds of pile positioning platforms are designed. Also, the construction methods of the jacket and the grouting methods are discussed. It shows that the deepwater jacket foundation is a good choice for the far-reaching offshore wind power development.

Key words: jacket; construction; offshore wind power; far-reaching sea

随着我国海上风电项目在近海浅水区域和潮间地区的大规模开发,近海区域可开发利用的风电资源逐渐减少,海上风电必将向深远海发展。在海南、广东、福建、浙江及山东等附近海域离岸10海里外水深可达20~60 m^[1],重力式、大直径单桩及高桩承台基础等在基础重量、施工成本及施工难度等方面均不适用大容量风电机组安装,而强度高、重量轻、受海流作用变形小的导管架基础是海上风电、海上石油开发以及海上其他资源开发领域应用最为成熟的结构方式,在未来的深远海海洋资源开发中必将发挥重要的作用。因此,本文以福建海域某海上风电项目为例,对导管架在深远海域海上风电项目的施工方式进行研究。

1 项目概况

本海上风电场项目位于福建东南沿海南端大澳湾海域,水深在35~50 m,风电场中心离岸约30 km。本项目规划装机容量为400 MW,总共布置单机容量为6 MW的风电机组67台,风轮直径约155 m。

本海上风电场由于水深较深,离岸距离较远,风电机组基础推荐采用导管架基础。本工程67台6 MW风电机组基础均采用导管架基础(四桩直桩),基础由4根倾斜的主导管和3层斜撑杆组成,斜撑杆采用“X”型连接形式,均由圆形钢管焊接而成。导管架下端弦杆伸入钢管桩与其通过灌浆连接。每个主导管架腿外侧设置有灌浆管,底部设置灌浆封隔器件。上部

收稿日期:2020-04-09

作者简介:范荣山,男,助理工程师,主要从事新能源海上风电施工组织设计方面的工作。

结构水平度初步调整到位后,通过灌浆管对立管和桩之间的环型空间进行灌浆填充。导管架基础需布置4根钢管桩,平均桩长98~105 m,入泥深度约96 m,需要配备大型的起重船舶及驳船用于风电机组基础的运输及安装。

2 导管架安装关键技术研究

本项目施工海域为福建外海海域,离岸距离较远,场区水深较深,施工环境条件复杂,基础沉桩及导管架安装工程量较大,可作业窗口天数短,导管架基础的施工安装具有一定的困难。

2.1 导管架施工工艺比选

导管架施工工艺根据沉桩和放置导管架前后顺序关系可分为先桩法和后桩法。先桩法是先打桩后放置导管架的方式,对沉桩定位精度和导管架的施工精度要求较高,为了保证沉桩的垂直度可控可调,一般需放置沉桩定位导向平台辅助定位。后桩法施工在放置导管架之前,需对还床面进行多波束扫海,通过海底的抛石整平保证地基稳定,将成品导管架放置在施工坐标点上,通过导管架的导向筒控制沉桩精度。后桩法需要设计群桩结构,施工周期短,在沉桩过程中需要不断对导管架进行调平,沉桩结束后,需要在桩顶安装夹桩器将钢管桩与导管架进行固定。

本工程海域水深较深,若考虑先桩法施工,须考虑打桩设备资源、水下定位测量资源、水下切割资源、安装工艺及沉桩定位导向平台安装,待沉桩完成后,再安装导管架。先桩法对桩平面相对位置控制要求高,各桩顶标高高差控制严格,有利于控制导管架安装精度,但该方法施工周期长。

后桩法钢管桩的平面位置一般依靠导管架自身作为稳桩定位结构,无需稳桩定位辅助平台,工序简单,但本风场属于深水水域,平均水深40多m,最深达50 m,钢管桩定位难度大,且需要多次调平,调平系统复杂,水下灌浆质量要求高,可靠性较差。同时,深远海海床的清淤及整平对船机设备要求高,成本控制困难,导管架回淤防护及回淤后的处理难度大,工程不可定因素较多。综上所述,本工程推荐采用先桩法施工工艺。

2.2 钢结构沉桩施工

2.2.1 沉桩施工方案

海上风电场风电机组基础钢结构在专业的海洋钢结构厂家加工制作,本工程主要大型钢结构为导管架和钢管桩,厂家制作完成需联系相应船机设备运输至现场。导管架为高耸结构运输,对稳性要求较高,建议

选择大吨位的驳船以保证运输稳性,单台导管架基础采用4根钢管桩,选取相应吨位的自航式甲板驳运输至现场。

为保证管桩的加工与施工质量,本阶段拟采用整根长管桩的沉桩施工方式,桩长98~105 m,不考虑现场分段接桩焊接的处理,钢管桩加工制作好后选择大型自航甲板驳运输至现场。

本工程场址区域水深35~50 m,基础钢管桩设计顶高程约为-35 m,钢管桩沉桩施工为深水作业,水下定位难度大。沉桩施工推荐采用浮式起重船起吊安装,该沉桩方式已在多个海上风电场项目上得到成功实施,船机设备、技术经验相对成熟,可选船舶较多。

对于深远海沉桩施工,钢管桩沉桩精度须严格控制,需要辅助放置可调式沉桩定位导向平台保证桩的垂直度可调可控,沉桩定位导向平台可根据工程风电机组基础尺寸定制,工程适用性较好。

2.2.2 锤击设备选择

目前大型的海上打桩机械主要有筒式柴油打桩锤、液压打桩锤、液压振动锤三种型式,其中以柴油打桩锤应用最为广泛,但考虑到本工程钢管桩属于超长大直径钢管桩,对锤击能力要求较高,且需水下作业,推荐采用液压打桩锤。

2.2.3 沉桩定位导向平台

先桩法对导管架定位安装施工精度要求较高,核心在于保证基础钢管桩的水下沉桩精度、水下平面位置精度以及桩顶误差,对基础钢管桩的平面定位及沉桩精度控制,本工程拟采用沉桩定位导向平台解决,可采用的定位导向平台方案如下。

1) 分层定位钢平台。由于工程水深较深,桩基悬臂段较长,为实现沉桩全程精度控制,定位导向平台设计为水面以上和海床处两部分,两层平台尺寸相同,通过辅助桩固定平台(见图1)。

2) 专用支腿船稳桩定位平台。利用专用支腿船的桩腿作为稳桩定位平台的导向定位支腿,通过支腿船控制定位平台的水平度,采用支腿船吊机进行沉桩施工(见图2)。

3) 负压筒式定位导向架设计。该平台采用带送桩器的负压筒式导向架,通过可调式抱箍装置进行稳桩定位,可减少水下沉桩作业(见图3)。

4) 方案选择。上述方案均为针对深远海导管架结构型式的设计,能够实现桩基的平面相对位置精度控制以及钢管桩沉桩垂直度精度控制。

对于方案1,两层定位平台分层安装的方式,可以降低对起重船的要求,对于本项目水深较深的情况,基础桩顶入水后,悬臂段仍然较长,在海床处设置平台,

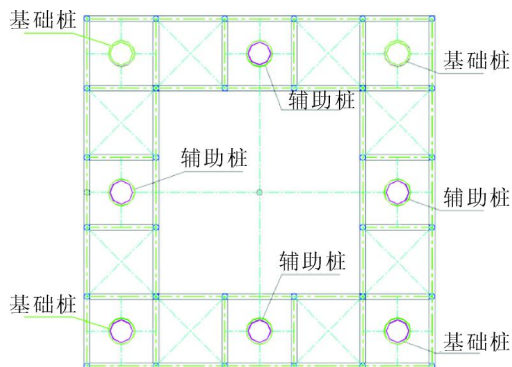


图1 定位钢平台示意图



图2 专用支腿船图



图3 负压筒式定位导向架图

有利于控制水下沉桩垂直精度,可作为本项目基础施工推荐方案。

对于方案2,专用支腿船稳桩定位平台可以通过拖轮实现便捷移位,有利于有效利用项目海域的施工窗口,平台通过支腿入泥形成稳定施工环境,有利于控制钢管桩沉桩精度,但符合相关尺寸的支腿平台船数量极少,施工窗口期紧,可作为本项目基础施工工作面之一或备选方案。

对于方案3,该平台结构尺寸大、自重较重,定位

平台的安装移位需要配置大型起重船,且国内风电领域多筒负压基础施工经验较少,可将其作为基础施工备选方案。

综上,采用方案1作为沉桩定位导向平台施工推荐方案。

5)沉桩定位导向平台安装。拟采用全回旋起重船配振动锤进行导向平台辅助桩的沉桩、拔桩。定位平台采用GPS定位系统定位,起重船将下部沉桩定位导向平台沉放至海床面,通过振动锤将导向平台辅助桩沉桩至工程区域,之后安装上部沉桩定位导向平台,上部钢平台利用锚固系统锚固于辅助钢管桩顶,利用液压螺栓拉伸器调整平台的顶标高;采用布设的两层千斤顶调整平台的平面位置。

辅助定位平台的安装位置决定了钢管桩沉桩的桩位精准性,必须严格控制其位置精度,特别要控制进桩龙口的定位精度^[2]。平台上设置导向、扶正装置,可进行钢管桩定位和垂直度调整,以确保沉桩时钢桩的平面位置和桩身垂直度要求。工程桩沉桩完成后对定位导向平台拆除,船机设备移位至下一机位。

2.2.4 基础钢管桩沉桩

钢管桩锤击沉桩采用液压锤吊打,两层沉桩定位导向平台安装后进行工程桩沉桩,沉桩时采用对角沉桩工序,将工程桩依次锤击至上部定位钢平台顶部,安装液压锤水下施工模块进行二次沉桩,依次将工程桩锤击至设计高程,基础钢管桩沉桩流程如下。

1)第一阶段插入工程桩:起重船使用专用的吊桩设备起吊钢管桩,吊入至上层沉桩定位导向平台的桩位固定位置,测量桩的垂直度,下桩并准确定位,完成植桩。

2)第二阶段采用起重船吊液压冲击锤,将钢管桩锤击至指定高程,过程中持续观测和调整桩的垂直度。

3)本工程场区水深较深,随着沉桩不断深入,单根桩桩顶锤击至沉桩定位导向平台顶高程以上1 m左右时,停锤,进行下一个根桩沉桩(对角位)。4根桩依次全部施工至该位置后,安装液压锤水下施工控制模块,再进行第二轮沉桩,至设计高程,然后将下部定位钢架提出水面移至下一机位。

4)自沉阶段钢管桩在自重作用下下沉至泥面以下一定深度后停滞,这是控制垂直度的关键阶段。钢管桩下沉过程中,利用沉桩定位导向平台的导向、扶正装置调整,保持垂直下桩。钢管桩自沉结束后,启动液压锤打桩,启动打击能量宜由小到大,待桩入土一定深度且桩身稳定后再适当加大打桩能量。

5)沉桩过程中,通过上下两层定位导向平台的作用控制桩的相对位置和垂直度,并随时监控桩的垂直

度,直至沉桩完成。

6)遇上软弱土层时,打击能量适当降低;遇上较硬的土层时,按额定功率进行打桩^[3]。锤击沉桩时,密切注意桩与液压锤的工作情况,避免偏心锤击。

7)由于钢管桩为水下桩,且机位水深普遍较深,为避免工程水下割桩,建议在钢管桩沉桩过程中,关注贯入度与沉桩能量输出,并采用高精度GPS等定位系统监控沉桩精度,尽量控制各桩顶高程偏差。

8)本阶段基础桩停锤标准按桩顶标高控制,所有钢管桩应沉桩至设计高程,以避免水下割桩。如不得不进行水下割桩,需由潜水员重潜至机位进行作业。

9)基础钢管桩施工完成后,由潜水员利用高压水枪将桩头清理干净后,即刻进行导管架沉放施工。

2.2.5 导管架安放及调平

导管架安放包括就位、调平等工作。导管架吊放采用全回转起重船作为主作业船。主要施工工序为:主作业船、导管架运输船在指定工程区域分别抛锚就位,浮式起重船竖直起吊导管架,运输船起锚撤离,工作船驶入,锚泊就位并安装监控仪后,主作业船开始下放导管架,通过监控工作船上揽风控制导管架位置,将导管架钢立管插入钢管桩,验收合格后,对导管架进行初步固定,完成导管架吊装。

导管架安放沉桩要缓慢下降,直到各个立管底部全部插入钢管桩。导管架安放后,对导管架进行测量,如安装精度不满足要求,由潜水员下潜至海底对导管架底部进行探摸检查确定原因后,利用浮吊对导管架进行精确调平,直至满足精度要求。

2.2.6 灌浆施工

导管架立管与钢管桩间的环形空间内通过高强灌浆材料连接。在导管架安放完成后,灌浆工作船应立即就位开始灌浆作业。压力灌浆工艺采用工作船上的灌浆泵进行施工。灌浆用水采用淡水(一般为饮用自来水),出海前将饮用自来水存储在灌浆施工用船的水舱内备用^[4]。

灌浆施工工艺:船舶准备-管路注水压力试验,检查封隔器密封情况-灌浆管线清洗-灌浆-灌浆质量检查。

工程场区机位水深相对较深,基础涉及的导管架架体总高度在50 m以上,基础灌浆属深水水下灌浆作业,水下灌浆施工难度较大。为保证水下灌浆施工质量,需要采取以下措施。

1)在项目实施前对安装在导管架上的灌浆管路进行有针对性的布置,使灌浆管具有的一定倾斜度,避免灌浆过程中高差过大引起质量问题。并另外布置备用灌浆管路,以防施工期间灌浆管路损坏导致停工。

2)施工前对整个灌浆系统的设备、管线、压力表

等进行检查,确保设备运转正常、管线连接完好,确保管线畅通。对备用灌浆管路也需检查管线是否有损坏。

3)由于深水作业,灌浆管线相对较长,在灌浆作业前,应进行原材料和配合比设计,并进行相关的试验工作,延长初凝时间,避免灌浆量在管线中凝结。

4)环形空间高强灌浆应一次性连续灌浆。

导管架立管插入钢管桩后,灌浆封隔器(止水橡胶)受到挤压进而阻止外部海水进入立管和桩基形成的封闭空间内,形成灌浆环境。在导管架上设置灌浆预埋管,出浆管口预留设置在弦杆上。灌浆设备均放置在多功能驳上,施工时将多功能驳上的灌浆泵通过胶管与已安装在导管架上的管道连接。

注浆前通过注浆管压注清水冲洗管腔。套筒与钢管桩相连接部位之间的灌浆,由高压泵泵送。为保证灌浆的均匀性和可靠性,灌浆作业采取由下至上的方向进行灌浆。连接注浆管后,高强灌浆材料向腔体底部注浆,浆液液面自下而上上升。灌浆施工应连续进行,中间不停顿,并尽可能缩短时间。灌浆施工过程中严禁振捣,必要时可采用灌浆助推器沿浆液流动方向的底部推动灌浆材料,严禁从灌浆层的中、下部推动^[5]。当灌浆材料充满,钢管桩顶部溢出原浆,由水下监控设备或潜水员确认后,灌浆工作即可结束。

灌浆结束后凝固过程中不可扰动灌浆料。灌浆材料强度达标后,方可拆除临时调平装置。

3 结语

本文结合福建海域某海上风电项目对深远海域风电机组基础施工方式进行探讨,对大型深水导管架的施工工艺进行研究,简要论述了导管架先桩法和后桩法施工工艺的比选,并对先桩法安装方式进行了阐述,并结合导管架结构形式设计沉桩定位导向平台辅助沉桩。随着海上风电产业的蓬勃发展,深远海域将是海上风电场发展的必然趋势,深水导管架基础将是深远海域海上风电的不错选择。

参考文献:

- [1]李林山. 海上风电水下四桩导管架的施工方法[J]. 工程建设与设计, 2018(18): 199-200, 273
- [2]张跃辉. 超大直径钢管桩近海施工关键技术[J]. 中国港湾建设, 2017, 37(3): 57-60
- [3]李书兆, 王忠畅, 贾旭, 等. 南海北部区域沉积黏土基本工程特性及打桩分析[J]. 中国海上油气, 2018, 30(5): 151-158
- [4]崔秀芳, 崔耀正. 海上平台导管架环形空间灌浆工艺研究[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(1): 381-382
- [5]李小龙, 张志国, 孙贤文, 等. 水泥基灌浆材料的选择及应用[J]. 中国建材科技, 2014(6): 56-60

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.010

大型水电站运行管理单位 前期参与工程建设全深度探讨

赵爽,董钟明,王凯
(白鹤滩电厂,四川 宁南 615421)

摘要:对比水电站发电前运行管理单位的三种参建模式,对建管结合这种模式在参建深度、切入时机等方面进行了深入尝试,总结出一套成熟有效的参建管理方案,为水电企业进一步优化建设方案、提高运行稳定性提供参考和借鉴。

关键词:水电站;建管结合;无缝交接

中图分类号:TV737 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)09-0036-03

Early Participation of the Operation and Management Units in the Construction of Large-scale Hydropower Projects

ZHAO Shuang, DONG Zhongming, WANG Kai

(Baihetan Hydropower Plant Preparatory Department, Ningnan 615421, China)

Abstract: Three different modes for the operation and management units to participate in the construction of hydropower projects before the power generation are compared. Specifically, the construction and management combination mode is discussed in depth, including the participation depth and the entry timing. An effective participation scheme is then summarized, which could be useful reference for hydropower projects to further optimize construction schemes and improve operational stability.

Key words: hydropower station; construction and management combination; seamless transfer

目前,国内水电站建设、运行管理单位在机组投产发电前的管理模式可分为“建管一体”、“建管结合”、“建管分离”三种。

“建管一体”的模式更有利于电站由建设期到运行期的平稳过渡和运行稳定性,但存在因建设、运行两个板块专业跨度过大所带来的人才臃肿、浪费,且不适用于流域梯级开发等弊端。

“建管分离”有利于电站建设的成本控制,但弊端是会不利于电站的稳定运行,尤其是投产初期,主要适用于小型电站。

“建管结合”的模式是目前的主流模式,这种模式在保证合理的生产准备费列支的情况下,最大程度提高电站的运行稳定性^[1]。

本文主要以运行管理单位派人至工程建设管理单

位开展参建工作为背景,探讨如何更好地深度参与到工程建设中来。

1 运行管理单位前期参与工程建设的主要工作和作用

“建管结合”模式,主要强调在电站的工程建设期,甚至是工程建设的前期筹建期,运行管理单位要深度参与到工程建设中来,主要体现在^[2-3]:

1) 运行管理单位作为运行方,参与设备的招标设计、招标文件审查、设计联络会、阶段性见证、出厂验收工作;

2) 运行管理单位派人至工程建设管理单位,以建设方的身份开展工程项目的建设管理;

收稿日期:2020-04-20

作者简介:赵爽,男,高级工程师,主要从事水电站机械和水工设备运行维护方面的工作。

3)运行管理单位派人至现场安装监理单位和设备监造单位,以监理或监造人员身份开展现场机电设备的安装监理和制造厂内的设备的监造管理;

4)运行管理单位派人参加关键系统的联合开发,例如计算机监控系统、调速系统和在线监测系统;

5)运行管理单位参加机电设备的安装、调试等工作,组成机组联合调试工作组,保证机组顺利投产发电。

以金沙江下游4个巨型电站(乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝)为例,这4个电站的电力生产筹建工作全部采用“建管结合”模式。工程建设管理单位一般的部门设置分为职能部门和项目管理部门,其中项目管理部门一般按区域分为大坝项目部、地下厂房项目部、机电安装项目部、泄洪项目部、公共项目部等部门,职能部门一般分为综合管理部、坝区管理部、质量安全部、技术管理部、物资设备部、合同部、财务部等部门,其中的项目管理部门基本全部与电站今后运行密切相关,职能部门中的坝区管理部、质量安全部、技术管理部、物资设备部也与电站运行密切相关。因此运行管理单位在派人员至工程建设管理单位时,以上10个左右的部门均需覆盖到,考虑到每个部门会分不同的专业组,为实现参建工作的全覆盖,保证参建工作的系统性、全面性和深入程度,派到工程建设管理单位的人员一般要达到20~30人左右的规模。在“建管结合”模式下,这20~30名成员将主要从今后电站运行角度出发,以项目管理者身份,全面深入的参与到工程建设中来。

国内大型水电站的建设周期一般约10年,考虑到每个流域公司的人才储备不同,运行管理单位的电力生产筹建工作一般会在首批机组投产发电前的2~4年左右开始启动,流域的运行管理人才储备较为深厚的可启动较早,反之可启动较晚。运行管理人员介入到工程建设的管理可采用逐步递进的模式,水工专业人员可以在主体工程开工伊始,也就是围堰截流完成前后开始介入;金结专业人员可以在引水发电系统首批金属结构开始主材采购前后开始介入;机械专业人员可以在厂房转入到混凝土浇筑工序前后开始介入;坝区管理、技术管理等拟调至职能部门的人员,可以根据实际工作需求择机介入。

运行管理单位人员调入到工程建设单位后,往往会面临双重身份,既是电站今后的运行管理者,又是电

站现在的建设管理者,这两个身份既有重合又有分离。

重合主要是指专业重合、责任重合,专业重合指的是建设阶段所从事专业工作与运行阶段所从事专业工作重合,通过建设期、运行期的共同管理,能实现设备的全生命周期;责任重合指的是建设阶段的项目管理者的安全管理责任、质量管理责任、进度管理责任、成本控制责任等责任与运行阶段的管理责任重合。

分离主要是指能力需求分离、决策立场分离,能力需求分离是指建设管理阶段对人才的首要能力需求是沟通协调能力和项目管理能力,是决定作为建设方能否起到工程建设枢纽作用的关键能力,而运行管理阶段对人才的首要能力需求是解决具体设备故障并保障其运行可靠的专业管理能力,是决定运行方能否保证电站稳定运行的关键能力;决策立场分离指的是电站运行期稳定运行需求或者维护检修需求与电站建设期的成本控制和进度控制,在有些时候是有冲突的,立场不同会造成所作出的取舍或者决策不同。因此怎样做到双重身份的平衡和转换,是摆在参建人员面前的首要难题。

国内有些水电站的电力生产筹建单位启动较晚,而派人员介入到工程建设阶段的工作启动较早,存在一定的管理空档期;也有些水电站受电站内营地办公资源限制,即使成立电力生产筹建单位,也面临参建人员在工程建设前方,生产筹建单位在流域公司所在地的后方的情况,容易造成管理的地域分离。鉴于此情况,为保证运行管理单位参建工作的系统性、全面性和深度介入,需要前方参建人员组成阶段性的参建工作小组,虽小组成员的具体参建工作分散在各个职能部门以及项目部门,但小组的管理模式可以仿照部门或班组的管理模式,进行统一管理,这种管理模式在金沙江下游的乌东德和白鹤滩水电站得到了成功的应用。

2 参建管理模式的具体应用

金沙江下游的乌东德和白鹤滩水电站计划分别于2020年7月和2021年7月发电,电力生产筹建单位成立于2015年年底,首批进驻工地的参建人员入驻时间为2016年5月,这也是2个电站参与工程建设工作组成立的时间。工作组成员在一如既往的做好建设管理工作的同时,创新性的开展一系列工作组内部工作,保证建设管理和电力生产筹建双身份工作有机结合并系统开展。

1)从运行角度出发,落实参建建议。参建工作组的专业技术人员,采用国内水电站实地调研或收集各流域资料的方式,系统性梳理国内各流域电站在运行阶段发生的设备问题,整理形成《重点技术问题分析》,将运行期的问题与电站的设计期、建设期结合在一起,能在设计期和建设期避免的,就通过设计审查、设计联络会、建设协调会、现场交底等各种形式,在取得建设管理方和设计方同意的情况下,将解决问题的关口前移,将运行期有可能出现的问题在设计期和建设期予以消化、吸收和解决。并参与建立“技术建议跟踪平台管理系统”,对提出的建议,通过管理系统实时跟踪,确保优化建议能从建议到图纸、从图纸到实物、从实物到现场的充分落实。

2)从全生命周期出发,记录建设期缺陷。国内有些水电站的运行管理单位介入工程建设较晚,这就容易造成对建设期情况不熟悉,不能很好的掌握设备运行规律,缺少初始数据,不能实现设备的趋势分析和状态检修,也会造成设备在运行期出现问题后,无从下手。针对此情况,需要根据设备区域和特性不同,建立完善的设备履历,从设计阶段开始,详细记录设备发生的设计变更、建设期缺陷、缺陷处理过程、原始数据等,知晓设备的前生今世,实现设备的全生命周期管理。

3)收集建设资料,为运行管理保驾护航。国内水电站,尤其大型水电站,基本都采取设计与施工同步走的模式,边设计边施工,受到地质条件变化、施工困难、业主方要求、引用标准变化、周边配套变化等因素影响,往往很产生诸多的设计变更。如果资料收集不系统、不全面,不能将设计变更与设计蓝图有机结合,不能将隐蔽工程资料系统梳理,不能将设备出厂、安装过程和报验资料收集齐全,将会给电站后期运行带来较大困难。因此,需要运行管理方在建设伊始,深度介入到建设资料的管理工作中来,通过建立完善图纸管理信息系统,系统性的收集设计变更、隐蔽工程图像、蓝图、设备安装和验收资料等,保证电站投产后电站资料的延续性。

4)多角色锻炼,培养一专多能复合型人才。现代化的管理企业,人才是立身之本。运行管理单位选派人员到工程建设管理单位参与工程建设时,需要结合

电厂成立后的骨干队伍建设,让参建人员能够通过参建机会,掌握项目管理知识、培养沟通协调能力、提高专业技术水平,培养行业领军人物。参建工作组成员可以利用组内成员分散在各部门的优势,有计划性的组织各部门各专业面的技术交流,可采用室内授课和现场讲解相结合的培训模式,将各部门各专业的工作分享到各工作组成员当中,培养一专多能的复合型人才。参建人员也可以将建设阶段的专业知识和运行阶段的专业知识相融合,开展自主科研、论文编写、专利申请、质量管理活动的一系列科技创新型工作,培养科技创新型人才。

5)借鉴班组管理模式,使参建人员形成有机整体。参建人员的日常工作为建设管理单位的各部门工作,较为分散,但他们有个最大的共同点是均具有建设和运行的双重身份,均是电站今后的运行管理者。鉴于此共同点,可以指定参建工作组业务能力强、工作经验丰富并有一定管理经验的人员作为组长,借鉴班组管理的模式,牵头开展工作例会、制度建设、标准化建设、安全管理、绩效考核、信息报送、党群工团等一系列班组中的管理工作,将参建人员形成有机整体,权责分明,确保参建工作的执行。

3 结 语

本文在调查国内水电站建设管理单位和运行管理单位的关系的基础上,以金沙江下游4座电站为研究对象,梳理出一整套较为适用的参建管理模式,并已经在金沙江下游的乌东德和白鹤滩电站得到成功的应用,取得预期和较好的效果,为国内其他采用“建管结合”模式的大型水电站的电力生产筹备及参建工作提供重要参考。

参考文献:

- [1]杨兴斌,陈辉,魏东升,等. “建管结合,无缝交接”参建模式在溪洛渡水电站的应用[J]. 水力发电, 2013, 39(8): 9-11, 26
- [2]杨英,李旭,季树凯. 水利工程建管结合模式的实践与思考[J]. 海河水利, 2010(4): 26-27
- [3]张冬生,侯华东,文华宇,等. 浅谈建管结合在大型水电工程建设中的重要作用[J]. 电子世界, 2015(24): 64-65

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.011

水布垭电厂 2F 机组进水口工作门下滑分析

唐伟, 王维, 魏兴波, 赵江洪, 张应强
(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北宜昌 443000)

摘要: 针对水布垭电厂 2F 机组进水口工作门频繁下滑问题, 经专题分析研究认为, 主要原因为闸门启闭机油缸密封件老化失效, 致使油缸内油压不稳定, 油缸上下腔可能存在窜油现象。经对工作门油缸部分进行解体, 将所有密封件进行检查和更换, 2F 机组进水口工作门频繁下滑的问题得到了解决。

关键词: 水布垭电厂; 进水口闸门; 下滑; 液压油缸

中图分类号: TM312 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)09-0039-03

Analysis of Abnormal Sliding of the 2F Unit Water Intake Gate in Shuibuya Hydropower Plant

TANG Wei, WANG Wei, WEI Xingbo, ZHAO Jianghong, ZHANG Yingqiang
(Hubei Qingjiang Hydroelectric Development Co., Ltd., Yichang 443000, China)

Abstract: Abnormal sliding of the 2F unit water intake gate is frequently observed in Shuibuya Hydropower Plant. Analysis shows that the fault is mainly induced by the aging and failure of the sealing parts of the gate hoist oil cylinder, resulting in instability of the oil pressure in the cylinder and possible oil leakage in the upper and lower chambers. Then, the oil cylinder of the gate hoist is disassembled and all sealing parts are checked and replaced. After the treatment, the sliding problem is successfully solved.

Key words: Shuibuya Hydropower Plant; water inlet gate; sliding; hydraulic cylinder

水布垭电厂地处湖北巴东县水布垭镇, 是清江流域综合利用开发的龙头电站, 拥有 4 台混流式机组, 总装机容量为 1 840 MW (4 × 460 MW), 属于华中电网骨干调峰、调频电站^[1]。

1 进水口工作门系统简介

进水口设置快速工作闸门是防止水电机组飞逸的重要保护措施, 可保护机组主设备不被损坏, 避免事故扩大^[2]。水布垭电厂共布置 4 台进水口快速工作门, 每台机组对应 1 台工作闸门。进水塔共设 4 台快速门液压启闭机, 各操作 1 扇工作门。每台工作门前有 1 个检修门槽, 在机组检修或工作门检修时, 利用桥式起重机将检修门吊入对应检修门槽。进水口工作门结构为平板门结构, 尺寸为 7.8 m × 9.5 m; 底板坎顶高程

330 m。工作门液压泵站安装在 404 m 高程操作室内, 采用“两机一站”控制传动方式, 2 套启闭机共用 1 套液压泵站, 1F、2F 机组共 1 套, 3F、4F 机组共 1 套。每 1 套油泵房内设置 2 套油泵 - 电动机组、1 台控制柜、1 台动力柜; 2 套油泵 - 电动机组可同时工作或单独工作, 相互备用。液压系统分为泵站、缸旁阀块两部分。进水口闸门液压启闭机电气控制系统设备的控制功能由控制柜来完成, 其核心设备为可编程控制器, 以实现进水口闸门液压启闭机手动/自动/远方控制。闸门下滑 200 mm PLC 自动启动 2 台油泵提门, 油泵运行 2 min 后如闸门下滑仍超过 200 mm 则自动停泵。当闸门下滑 100 mm 时, 监控系统主站工作门全开信号消失, 机组开机条件不满足; 故当闸门下滑近 90 mm 时, 由运行人员手动提门至全开, 使开机条件满足。进

收稿日期: 2020-01-15

作者简介: 唐伟, 男, 工程师, 主要从事水电厂设备管理方面的工作。

水口闸门的可靠性直接影响水轮发电机组的安全稳定运行^[3]。

水布垭进水口工作门液压启闭机液压系统技术参数如表1。

表1 工作门液压启闭机液压系统技术参数表

项目	型号及规格
最大持住压力/MPa	25.8
启门压力/MPa	11.3
启门供油流量/(L·min ⁻¹)	164
启门时间/min	17~20
快速闭门补油流量/(L·min ⁻¹)	301
快速闭门时间/min	3(不包含缓冲时间)
泵站电机功率/kW	2×30
工作介质	抗磨液压油 N46号
工作温度/℃	20~50
加热器功率/kW	2×2
启门速度/(m·min ⁻¹)	0.5275
快速闭门速度/(m·min ⁻¹)	3.52
油缸内径/mm	710
活塞杆直径/mm	330
油缸工作行程/mm	10550
油缸最大行程/mm	11000
系统最高工作压力/MPa	31.5
系统额定工作压力/MPa	14
启门失压报警值/MPa	1.5
液压油低极限温度/℃	5
液压油高极限温度/℃	50

2 2F 机组工作门检修前闸门下滑分析

自2016年开始,水布垭电厂2F机组进水口工作门出现频繁下滑现象。2016年1月至2017年10月工作门手动提门周期见图1。在此期间,为保证机组正常运行,采取的是闸门下滑近90mm时运行人员手动提门至全开的对策。

从图1可以看出2016年全年及2017年下半年,

2F机组工作门提门较频繁;共计手动提门24次。尤其是2017年7月~9月闸门下滑速度加快,提门节奏也加快,一般提门周期为10d左右,最短的一次提门间隔仅为7d。

2017年上半年2F机组检修期间,电厂人员检查发现油缸下端前端盖螺栓上挂有油滴,前端盖下方有明显油迹。经分析造成闸门频繁下滑可能有以下原因:①前端盖上方O型密封失效;②油缸下方组合密封损坏;③油缸内存在内漏现象^[4]。

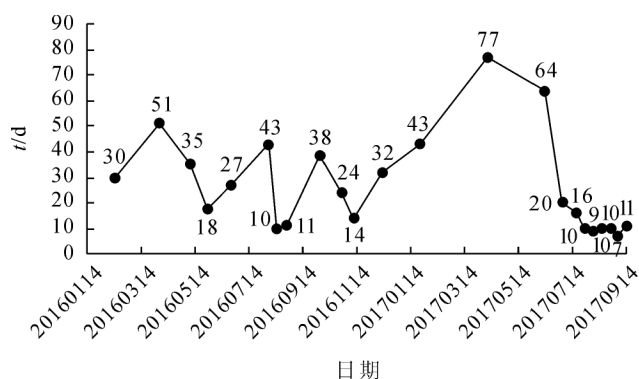


图1 2F工作门检修前提门周期曲线图

(2016年1月至2017年10月)

针对水布垭电厂2F机组进水口工作门存在的下滑频繁问题。电厂组织召开专题分析会,经相关专业人员分析判断,闸门下滑主要原因为闸门启闭机油缸密封件老化失效,致使油缸内油压不稳定,油缸上下腔可能存在窜油现象。需对工作门油缸部分进行解体,对所有密封件进行检查和更换。为消除闸门频繁下滑这一隐患,保证机组安稳运行。电厂决定在2017年下半年2F机组B修期间对进水口工作门液压启闭机油缸部分进行检修及相关调整、试验。

3 2F 机组进水口工作门油缸解体检修

2017年10月至12月2F机组B修期间,电厂委托检修公司及正昊能源设备防护安装工程有限公司对工作门液压启闭机油缸部分进行检修及相关调整、试验。其中,对油缸整体现场安拆,转运至武汉461厂内进行分解、检查、处理及更换油缸密封件。整个工期持续约2个月。

此次检修主要完成了以下工作:

1) 液压油缸附属管路密封更换。更换液压油缸有杆腔,无杆腔及溢流阀法兰处密封。更换有杆腔法兰

破损的固定螺栓,并对其余螺丝孔进行重新攻丝处理。试运行各法兰面未出现漏油情况。

2) 液压油缸组合密封更换。更换液压缸内活塞组合密封,将原有 merkel 型号 710 mm × 660 mm × 69.5 mm 橡胶夹布的组合密封更换为 SKF(斯凯孚)型号 710 mm × 660 mm × 61 mm 的高密度聚氨酯组合密封圈。

3) 吊头探伤。对吊头进行磁粉探伤发现吊头处有多处裂纹,对吊头裂纹进行打磨处理。

4) 液压油缸防腐刷漆。对油缸进行整体防腐刷漆,并对底漆掉落的地方进行底漆修补处理。

5) 液压油缸静态保压试验。试验在 32.5 MPa 保压 14 min 未见漏油;24.5 MPa 保压 30 min 未见漏油;22 MPa 保压 40 min 未见漏油,试验合格。

4 2F 工作门检修后下陷分析

2017 年下半年 2F 机组 B 修期间,在对工作门油缸完成相关保压试验和提落门试验后,运行人员每日对工作门开度进行重点跟踪。2017-12-27 日至 2018-01-22 日,2F 机组工作门开度统计如图 2。

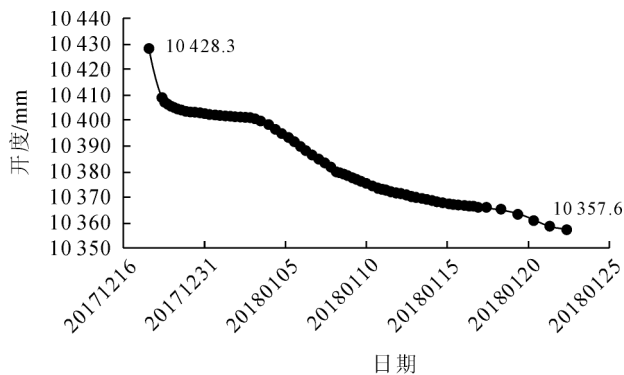


图 2 2F 工作门检修后开度曲线图
(2017 年 12 月至 2018 年 1 月)

2017-12-27 日至 2018-01-22 日期间,2F 进水口工作门共计下滑 70 mm。其中 12 月 27 日至 28 日 1 d 内,因油缸中空气未完全排尽,导致工作门下陷速率较快,1 d 下滑 20 mm。而后工作门下陷速率明显放缓,且工作门下陷速率呈现逐渐下降趋势,截止 2018-01-22 日,工作门开度趋于平稳,开度为 10 357.6 mm。

2017-12-29 日至 2018-01-22 日,每 24 h 工作门下陷开度曲线见图 3。统计期间,24 h 内工作门

下陷最大开度为 6.3 mm,下陷最小开度为 0 mm。24 d 共计下陷 50.5 mm;满足能源行业标准《水电工程启闭机制造安装及验收规范(NB/T 35051-2015)》中 48 h 内,闸门下陷量 ≤ 200 mm 规定要求^[5]。

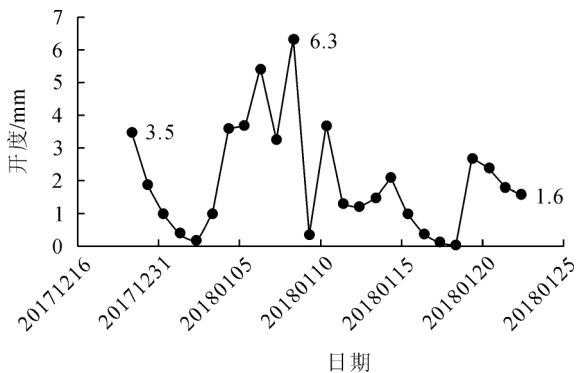


图 3 2F 工作门检修后每 24 h 下陷开度曲线
(2017 年 12 月至 2018 年 1 月)

2019 年 1 月至 2019 年 12 月,2F 机组手动提门共计 3 次(不含机组检修期间提门操作),提门周期较检修前大幅延长,工作门液压机构保压效果较好,满足设备安稳运行需要。

5 结语

本文对水布垭电厂 2F 机组进水口工作门油缸检修前后下陷数据进行了统计分析,结果表明经过对油缸整体拆装检修,2F 机组进水口工作门下陷频繁的问题得到了解决。

参考文献:

- [1]唐伟,韩莹,陈焕忠,等.水布垭电厂 10 kV 厂用电系统自备投原理及近年异常事件分析[J].水电与新能源,2017(1):60-62
- [2]陈红平,方幸裕,黄建平.水电厂进水口工作闸门液压启闭系统改造[J].湖南电力,2010,30(4):59-62
- [3]唐孝荣,肖友平.水电站液压启闭式进水口闸门事故处理探讨[C]//中国水力发电工程学会电力系统自动化专委会.2013 年电力系统自动化专委会年会论文集,北京:中国水力发电工程学会电力系统自动化专委会,2013:311-313
- [4]齐正龙.液压启闭机闸门下滑量大的原因分析及处理措施[J].液压与气动,2002(5):42-44
- [5]NB/T 35051-2015,水电工程启闭机制造安装及验收规范[S]

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.012

溪洛渡水电站进水口拦污栅栅叶制造工艺优化研究

杨浩坤¹, 程 惠²

(1. 长江三峡技术经济发展有限公司, 北京 100038; 2. 中国三峡建设管理有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 溪洛渡水电站进水口拦污栅门叶数量大, 为了便于安装和检修维护提出了各节互换要求。针对拦污栅传统制造工艺中栅叶形位公差控制难, 节间连接轴孔同轴度达不到 ≤ 0.5 mm 要求, 互换性差的问题, 对栅叶制造工艺进行了优化探索。采用整体工装控制形位尺寸, 拼装与焊接轴孔补强板, 使形位公差受控、互换性好, 既保证了栅叶制造质量, 又提高了效率。

关键词: 拦污栅栅叶; 制造; 优化研究

中图分类号: TV732+.2 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)09-0042-04

On the Optimization of Manufacturing Process of Water Inlet Trash Rack Blades in Xiluodu Hydropower Station

YANG Haokun¹, CHEN Hui²

(1. Three Gorges Economic and Technical Development Co., Ltd., Beijing 100038, China;

2. China Three Gorges Construction Management Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: A large number of trash rack blades are needed in the water inlets in Xiluodu Hydropower Station. To facilitate the installation and maintenance work, interchangeability of the blades is required. In the traditional manufacturing process of the trash rack, it is difficult to control the shape and position tolerances of the rack blade, and the coaxiality of the internode connecting shaft holes cannot meet the requirement of no more than 0.5 mm, resulting in a poor interchangeability. Thus, the manufacturing process is optimized to control the tolerances and improve the interchangeability as the position and shape are controlled with integrated fixture, and the shaft hole reinforcement plate is assembled and welded. With the optimization, both the manufacturing quality and efficiency are improved.

Key words: trash rack blades; manufacture; optimization study

溪洛渡电站左、右两岸地下厂房各安装 9 台 77 万 kW 机组, 每台机组进水口前缘由栅墩分成 5 个栅孔, 每个栅孔孔口尺寸为 3.8 m × 73 m - 4 m (宽 × 高 - 水头), 每扇栅叶由 23 节组成, 每节高度 3.12 m, 采用滑道支承, 栅叶结构为框架式, 每小节布置 2 根主梁, 主梁与边梁均采用 H 型材。本文主要介绍右岸进水口拦污栅叶(以下简称栅叶)共 46 套(含备用栅叶 1 套), 1 058 节, 总重 3 376 t。拦污栅叶主要技术要求: 各节栅叶具有互换性, 边梁跨距 $4\ 100 \pm 2.0$ mm, 节间连接轴孔同轴度 ≤ 0.5 mm(高于规范 DL/T5018 同轴

度 ≤ 2.0 mm 的要求)。由于栅叶单节数量多, 工期紧, 以往工程中在边梁制作阶段采用单件工装完成轴孔补强板的拼装与焊接, 工作效率低, 形位公差控制难, 未能较好解决各节互换性。本文采用整体工装控制形位尺寸和装、焊轴孔补强板, 使形位公差受控、互换性好, 既保证了栅叶制造质量, 同时也提高了工作效率^[1]。

1 拦污栅叶制造技术要求

溪洛渡进水口拦污栅叶各节栅叶应具有互换性,

收稿日期: 2020-04-20

作者简介: 杨浩坤, 男, 工程师, 从事水利水电工程金属结构设备监造工作。

栅叶制造的形位公差按合同规定,技术要求见表1。

表1 溪洛渡进水口拦污栅叶形位公差要求表 mm

序号	检测项目	质量标准	备注
1	栅体高度 H	$74\ 060 \pm 8.0$	
2	栅体宽度 B	$4\ 400 \pm 8.0$	
3	栅体厚度 b	488 ± 4.0	
4	栅体对角线相对差 $ D_1 - D_2 $	≤ 6.0	
5	扭曲	≤ 4.0	单节栅叶 ≤ 3.0
6	栅条间距偏差	180 ± 5.0	
7	栅体边梁跨距中心偏差	$4\ 100 \pm 2.0$	
8	吊耳轴孔倾斜度	$\leq 1/1\ 000$	
9	吊耳轴孔同轴度	≤ 0.5	
10	吊耳轴孔至栅叶顶缘的距离	180 ± 2.0	
11	吊耳轴孔至边梁翼缘的距离	190 ± 2.0	
12	滑块工作面平面度	≤ 4.0	单节栅叶 ≤ 3.0
13	滑块跨度偏差	$4\ 100 \pm 6.0$	
14	同侧滑块中心线偏差	± 3.0	
15	主滑块至反向滑块工作面的距离偏差	648 ± 3.0	
16	左右锁定相对高差	≤ 3.0	
17	侧导向工作面至栅叶宽度中心偏差	$1\ 885 \pm 3.0$	
18	两边梁承压板共面度	≤ 3.0	
19	滑块底面与栅叶座板的间隙	局部 $0.5, \leq 50\%$	

2 拦污栅叶传统制造工艺

水电站进水口拦污栅栅叶通常无各节互换要求,以往的传统常用工艺在边梁制作阶段采用单件工装完成轴孔补强板的拼装与焊接,传统工艺流程如下:

制作前准备→原材料进厂→检验→矫正→下料→边梁端部加工→边梁工装制安加工好的轴孔补强板→平台单节拼装→检验→焊接平台焊接→矫正→厂内预组装→检验→防腐、涂装^[2]。

溪洛渡拦污栅叶要求各节互换,在制作中必需控制保证边梁跨距偏差 $4\ 100 \pm 2.0$ mm、轴孔同轴度 ≤ 0.5 mm。虽然通过分析焊前、焊后数据,修正工艺分解件下料余量,加强过程质量控制能实现拦污栅叶边

梁跨距的允许偏差 $4\ 100 \pm 2.0$ mm,但轴孔同轴度由于精度要求高,给传统工艺的制造带来很大难度,存在以下不足。

1)整体镗孔难以实现。轴孔补强板与栅架焊接、校形后整体镗孔,能满足各节互换和轴孔同轴度 ≤ 0.5 mm 要求,但一般金结厂没有整体镗孔的条件,且机加工成本高,工序繁琐,生产加工周期长。

2)形位公差控制难。在边梁组拼、焊接、校形后,用单件工装组装、焊接已加工好的轴孔补强板,然后进入平台单节组拼、焊接、校形即完成一节栅架制作。此工艺形位公差控制难、互换性差、工作效率低。

栅架传统常用工艺轴孔形位公差散布,见图1。

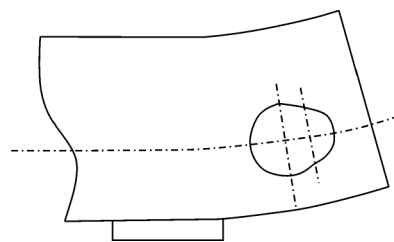


图1 栅架常用工艺轴孔形位公差散布图

图1中,轴孔形位尺寸在单节组拼、焊接等工序与栅体一起变形。主要表现在:①轴孔形位尺寸偏差控制难。钢平台平面度要求高,规范要求 ≤ 2.0 mm,栅架组拼偏差和焊接变形造成轴孔形位尺寸偏差无法满足 < 0.5 mm 的要求。②吊点中心形位尺寸偏差难以保证。制作后的吊点中心为主滑块平面度与轴孔形位尺寸偏差之和,由于栅架常用工艺各道工序偏差累积叠加,后期火焰校形并不能有效控制,公差带呈发散不可控,也无法保证轴孔同轴度满足 < 0.5 mm 的要求。

3)测量工作量大。常用工艺的公差带发散,制作过程质量控制、测量工作量大。

金属结构制作常用仪器为 DS3 级水准仪,对同轴度测控需划线返出轴孔 X, Y 值,费时、费事且影响测量精度因素过多。并不适宜设备大批量制作的质量控制。

4)生产效率低。拦污栅叶传统常用制造工艺因较早的在边梁制作阶段就完成已加工好的轴孔补强板装、焊,造成此后工序“拦污栅单节拼装→检测→焊接→焊后矫正”等工序的质控增加难度同时,也提高了要求,更加繁琐。

5)栅叶常用工艺对制造工器具设备要求低,但各

工序偏差累积公差代发散,尤其轴孔同轴度的测控难度大,不易实现以工艺保证质量达到各节栅叶互换要求,且生产效率低。

3 工艺优化

鉴于上述问题,制造厂在传统工艺的基础对制造工艺进行了优化,根据栅架单节组焊、校形后采用整体工装完成栅架轴孔补强板装、焊,以工装保证同轴度和互换性,减少量测工作量^[3-6]。优化工艺流程为:

制作前准备→原材料进厂→检验→矫正→下料→边梁端部加工→平台单节栅架拼装→检验→焊接平台焊接→矫正→栅架整体工装制安加工好的轴孔补强板→厂内预组装→检验→防腐、涂装。

3.1 基准选择与偏差修正

偏差不仅是图纸尺寸的差,还是建立在基准上的偏差。通过合理选择基准,保证工作面,将偏差置于次要非工作面,从而修正偏差。

1) 主滑块为工作基准面,将厚度偏差置于反向滑块端,保证主滑块平面度。

2) 栅架边梁两端,以抓梁起吊穿轴梨形孔端为边梁基准,保证吊点中心。

3.2 整体工装

栅架整体工装结构形式见图2。

1) 应用机械中虚约束,将假轴置于栅架两侧。

2) 工装在栅架梨形孔端设边梁基准挡板,与工装架体分开制作时挡板设机加工底座,保证边梁基准垂直度;工装在栅架4个主滑块处设相应机加工底座,保证平面度。

3) 工作中各节主滑块通常为两点或三点与轨道接触。4个底座加工面到假轴距离为栅架主滑块座板至轴孔距离,修正同轴度和吊点中心。

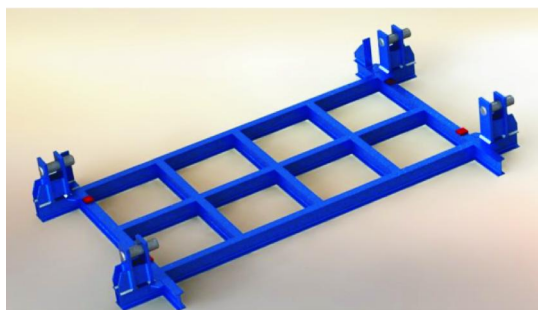


图2 栅架整体工装图

3.3 基准与尺寸

图纸中边梁两端节间连接轴孔到顶缘和底缘是标尺,单节高度偏差在栅架边梁两轴孔间。因工装选择抓梁梨形孔端为基准,边梁高度偏差被改到圆轴孔至底缘段。

1) 为保证栅叶边梁轴孔补强板安装,要求数控下料时以边梁圆孔为基准偏差留在梨形孔端,边梁构件组拼、焊接、校形后加工梨形孔端面修正下料偏差。

2) 保证任意单节互组时节间尺寸,要求:栅叶采用合适承压块修正边梁高度一致且按DLT/5018负偏差控制,即单节栅架高 $\leq 3\ 220\ \text{mm}$;节间连接板轴孔间距离按正偏差控制 $\geq 360\ \text{mm}$ 。

3.4 公差控制

栅架整体工装用假轴装、焊轴孔补强板工艺轴孔形位公差散布,见图3。

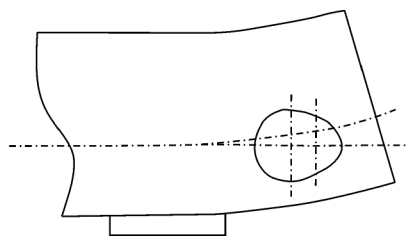


图3 整体工装制作栅架轴孔形位公差散布图

图3中,栅架在制作过程中产生变形,而轴孔形位尺寸始终是以主滑块为基准的定尺。

1) 轴孔形位尺寸偏差主要因素,为工装精度,实测工装各形位偏差精度 $< 0.5\ \text{mm}$ 。

2) 吊点中心形位尺寸偏差,因修正主滑块平面度,为工装精度,实测工装各形位偏差精度 $< 0.5\ \text{mm}$ 。

优化工艺,有效修正前道各工序偏差,各形位尺寸公差带可控。

3.5 量测控制

定期和根据气温变化不定期复测工装,保证工装精度。

极难测控的轴孔形位尺寸交由工装控制,简化了量测工作量、提高了工效。

3.6 优化工艺小结

相对拦污栅叶传统通常所用工艺,优化工艺具有以下优、特点,见表2。

表2 拦污栅叶优化工艺特点表

取消	取消测不准轴孔形位尺寸测控,栅叶单节制作的焊前、焊后测控由原2人20~30 min减少为5~10 min
合并	轴孔形位尺寸量测,并入整体工装定期和气温变化不定期测控
改变	改变轴孔补强板安装顺序,采取整体工装基准修偏差,保证同轴度和吊点中心,达到公差可控
简化	实现工艺保质量,简化过程质控,量测工作大量减少,避免质量问题引起二次处理,提高工作效率,实现大批量流水作业保证进度。有效降低了生产成本

4 工程应用

溪洛渡右岸进水口拦污栅栅叶初期栅叶以传统工艺试制10节,出现了太多问题,测控工作繁琐,质量与生产效率均不能保证,后批量生产中全部采用优化工艺,并推广到溪洛渡进水口叠梁门叶制作。

常用工艺2人一组,组拼1节栅叶需1个工作日,组拼1节门叶需1.5个工作日;采用优化工艺2人一组,栅叶组拼1个工作日完成2节,为原效率200%,门叶组拼1个工作日完成1.5节为原效率225%,效率成倍提高,见图4。

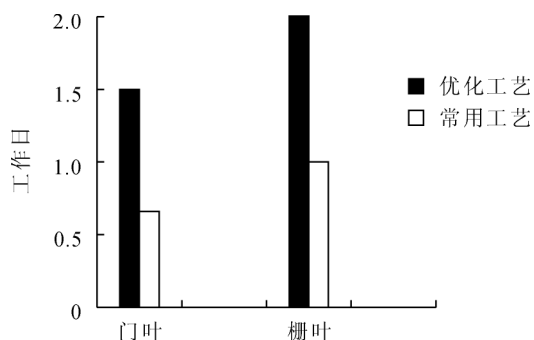


图4 常用工艺与优化工艺工效对比图

优化工艺与常用工艺焊前、焊后检测门叶、栅架单节所用时间见图5。

经实际制作和互换性试验,证明该方法简单易行,溪洛渡右岸1058节栅叶、左右岸1440节进水口叠梁门叶计划工期为36个月,在实际执行中受其他合同项目干扰减少资源投入的情况下,24个月就全部制造完成。电站现场各节栅叶、门叶按互换任意组合安装,节

间销轴均100%一次插轴成功,自动抓梁试槽抓取均100%一次成功,实现全部栅叶和叠梁门叶各自互换要求。目前溪洛渡电站已经运行几年了,据了解,电站运行单位可以根据需要随时将拦污栅叶以及进水口叠梁门叶下闸到任意孔口。

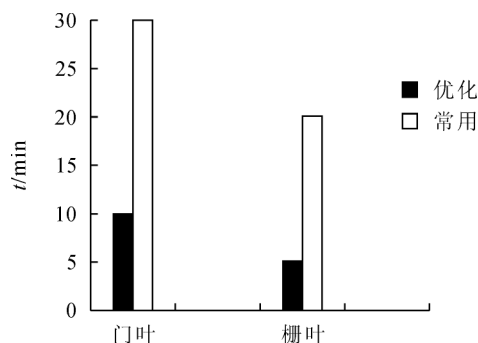


图5 常用工艺与优化工艺检测用时对比图

5 结语

整体工装工艺,适用于栅叶、小跨距门叶(平门)大批量生产,确保设备制造过程中尺寸形位公差受控并减少了量测工作量,实现了流水作业、提高了生产效率。经核算,按人工成本每人200元/日计算,仅人工费一项进水口栅叶产生效益209600元,进水口叠梁门叶产生效益478680元,合计节约人工费688280元。优化工艺仅组拼环节提高工效,避免设备二次处理,保证预组一次成功,节约了生产资源投入和管理成本,保证了进度,质量得到控制。为设备现场安装和维护检修,带来便利。

复杂金属结构的制作工艺设计,可遵循:转移避免工作面应力,合理利用偏差释放应力,借用基准修正偏差,确保设备制造过程形位尺寸偏差的公差带受控,从而保证质量,提高工效,可推广应用到其他电站。

参考文献:

- [1]张万秋. 溪洛渡水电站拦污栅设计[J]. 低碳世界, 2016(13): 30-31
- [2]徐家琼. 三峡左岸电站进水口拦污栅的制作工艺设计[J]. 云南水力发电, 2008, 24(4): 87-89
- [3]DL/T5018-1994, 水利水电工程钢闸门制造安装及验收规范[S]
- [4]郭剑, 王法东. 平面钢闸门制造工艺浅析[J]. 科技信息, 2011(21): 532-533
- [5]周焰春, 施绍队. 水电站钢闸门制造工艺[J]. 云南水力发电, 2016, 32(1): 54-57
- [6]张奉林. 水工金属结构闸门制造技术[J]. 河南水利与南水北调, 2018, 47(10): 90-91

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.013

基于 ANSYS 软件的海上升压站上部组块吊耳的有限元分析

吴子昂, 张晓蕊

(上海勘测设计研究院, 上海 200335)

摘要:以某海上风电项目海上升压站上部吊耳为例,对比了理论计算与有限元计算的吊耳强度,理论计算结果偏保守。吊耳模型计算最好是建立与吊耳相连的结构进行稍大范围的局部分析。吊耳的布置角度对升压站主柱应力影响较大,差值在15%左右,对吊耳板的影响微乎其微,建议优先采取 $\alpha=45^\circ$ 的方向进行吊耳布置。

关键词:吊耳;吊装;强度计算;海上升压站

中图分类号:P754 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)09-0046-04

Finite Element Analysis of the Lifting Lug in Upper Part of an Offshore Booster Station with ANSYS Software

WU Zi'ang, ZHANG Xiaorui

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200335, China)

Abstract: Finite element analyses are carried out to determine the strength of the lifting lug in upper part of an offshore booster station. Comparison of the theoretical and numerical solutions show that the theoretical calculation result is conservative. It is suggested to build a slightly larger model of the lug and the connecting structure for the simulation. It is also found that the arrangement angle of the lug has a significant influence on the stress of the main column of the booster station with the difference of around 15%, while an insignificant influence on the lug plate. A 45° arrangement angle is preferred for the lug.

Key words: lifting lug; lifting; strength calculation; offshore booster station

伴随着海上风电的快速发展,海上风电单机容量越来越大型化,为了应对海上风机的“大兆瓦”时代,风电场内配套的海上升压站规模也越做越大。上部平台总重由3 000 t逐步向4 000 t乃至5 000 t发展,海上升压站的尺寸和质量的不断增长对海上吊装提出了更高的要求。而吊耳的设计强度如果不符合要求,将会为整个吊装施工过程带来巨大的隐患,因此吊耳的强度校核是一项极为重要的任务。

随着计算机数值模拟技术的快速发展,有限元分析在工程设计过程中的应用愈加广泛。张系斌^[1]运用 ANSYS 软件对吊耳的应力进行了分析,并提出了相应的校核方法;肖文勇^[2]提出了吊耳有限元计算中插销与吊耳板接触计算的简易算法,进行了误差分析,可行性分析。贡亚杰^[3]等通过有限元计算在不改变吊

耳与其他构件之间装配尺寸的前提下针对吊耳板进行了结构优化。徐月忠^[4]通过使用理论计算与有限元模拟,对比研究了吊耳结构强度,为实际应用提出了参考。于万明^[5]等通过实验数据来验证数值模拟的准确性,对吊耳的设计优化提出了建议。

本文以某海上升压站上部平台吊耳为例,从传统角度出发介绍了吊耳强度的计算过程,对比分析了理论计算结果与有限元模拟结果,探究了升压站吊耳放置角度对连接处结构强度的影响,为吊耳在海上升压站结构的实际应用提供了参考。

1 吊耳的理论计算方法

海上升压站上部组块通常采用框架-支撑体系(主要有梁、柱、斜撑、甲板、舱壁等),一般通过4根主

收稿日期:2020-06-19

作者简介:吴子昂,男,助理工程师,主要从事风电海上升压站结构设计及相关工作。

立柱与钢管桩连接传递上部荷载,因此上部组块通常布置 4 个吊耳,吊耳一般焊接在主立柱上。吊耳的理论计算主要在于两个方面:吊耳危险截面的强度校核,吊耳板与吊耳加强板之间的焊缝强度校核。

1) 计算吊耳孔强度时通常使用式(1)来校核轴向应力:

$$f_p = P_V / (2R_x \times T) < F_p$$

$$P_V = \frac{\eta W}{q} \tag{1}$$

$$F_p = 0.9F_y$$

式中: P_V 为吊耳平面内竖向荷载; η 为动力放大系数; W 为上部组块总重; q 为吊耳数量; T 为吊耳总板厚(包括吊耳板厚,吊耳加强板厚); R_x 为卸扣半径; F_p 为许用轴向应力; F_y 为材料的屈服强度。

2) 计算吊耳孔强度时通常使用式(2)来校核剪切应力:

$$f_V = P_V / (2 \sum_{i=1}^n (R_i - R_k) t_i) < F_V$$

$$F_V = 0.4F_y \tag{2}$$

式中: P_V 为吊耳平面内竖向荷载; n 为吊耳板及吊耳加强板总数量; R_i 为吊耳板或吊耳加强板对应半径; R_k 为吊耳孔半径; t_i 为吊耳板或吊耳加强板对应板厚; F_V 为许用剪切应力。

2 吊耳的有限元计算

2.1 有限元模型

以某海上升压站上部组块吊耳为例,通过 ANSYS 建立吊耳、上部组块主柱及相连工字钢模型。有限元模型采用面单元(SHELL63),吊耳每侧有 2 块吊耳加强板,吊耳板及吊耳加强板板厚为 60~90 mm,加劲环板板厚为 50 mm,立柱直径为 1 500 mm,长度 15 m。结构材料选用 DH36 - Z35 和 DH36,屈服强度为 355 MPa,材料密度为 $\rho = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,弹性模量为 $E = 2.06 \times 10^3 \text{ Pa}$,泊松比 $\nu = 0.3$ 。计算分析采用的长度单位为 m,力的单位为 N,应力单位为 Pa。有限元模型如图 1、图 2 所示。

本文与其余研究差异之处在于:这里并非只建立了吊耳模型,同时也建立了与吊耳相连的立柱和梁的有限元模型。一方面是考虑到单纯的固支与吊耳板相连的底板进行受力分析并不能精确模拟施工过程中吊耳的受力情况,在进行吊耳强度分析时,不宜只考虑吊

耳板及吊耳加强板的受力,还要进行与吊耳相连接结构的受力分析;另一方面由于升压站上部组块框架 - 支撑体系设计形式较为成熟,吊耳及相连接结构的布置形式相似,建立更大范围的局部模型,通过对吊耳及相连接结构的整体受力分析,后续还能够对此类吊耳布置形式提出优化,为升压站上部组块设计提供更多参考。

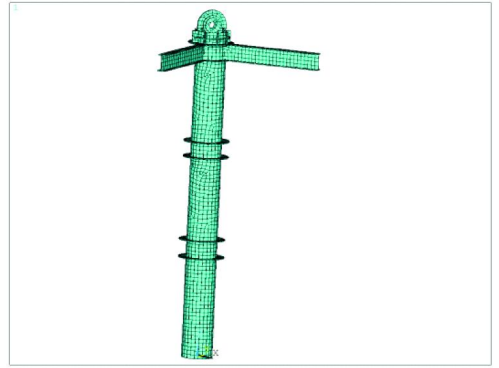


图 1 整体有限元模型图

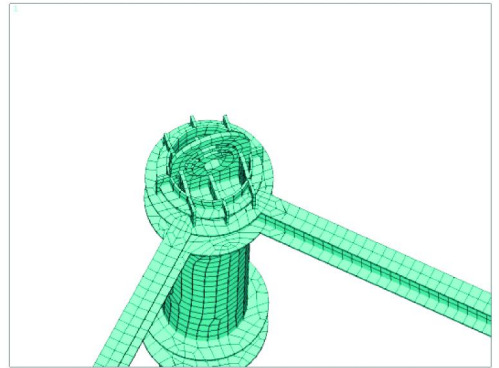


图 2 吊耳局部有限元模型图

2.2 边界条件及荷载

边界条件:考虑到在 ANSYS 中仅建立了局部模型,吊耳两侧工字钢未完整建出,因此对两侧工字钢梁末端进行对称约束;由于支撑 - 框架结构足够稳定,此处认为立柱下端刚度足够,因此对主柱底部末端进行全固支约束。

荷载工况:上部组块自重为 3 000 t,将外部荷载施加在吊耳孔上半区内。在考虑了适当的重力放大系数及吊装过程中的偏心系数后,外部荷载如下:吊耳平面内竖向荷载 $P_V = 18\ 000 \text{ kN}$,方向为 Z 轴正向;吊耳平面内水平向荷载 $P_H = 2\ 530 \text{ kN}$,方向为 X 轴正向;吊耳平面外水平向荷载 $P_Z = 909 \text{ kN}$,方向为 Y 轴

正向。

模型约束并加载后如图 3 所示。



图 3 边界条件及荷载图

2.3 结果分析

加载求解后的 von Mises 应力云图如图 4 所示, 静力计算结果表明模型最大应力为 277 MPa, 最大应力位置发生在吊耳座板与主柱相连位置。

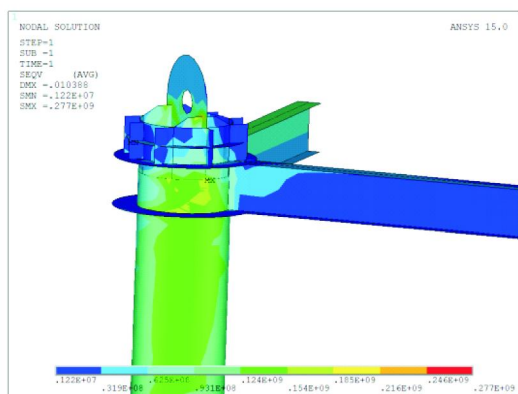


图 4 整体结构 von Mises 应力云图

由应力云图分布趋势进一步分析, 若单看吊耳板上的应力分布(见图 5), 吊耳板处最大应力为仅为 201 MPa, 发生在主吊耳板与吊耳加强板交界位置, 此处应力大小要比整体最大应力小 30% 左右。能够看出此类吊耳形式吊耳板并非是最危险结构, 相对危险位置共有两处: 吊耳座板与主柱焊接处、吊耳加强板与吊耳板焊接处。因此在使用有限元软件进行吊耳强度校核时, 若单纯的仅建立吊耳板及吊耳座板模型, 边界条件采用固支吊耳座板, 最终得到的校核结果并不准确, 会错过吊耳危险应力位置。

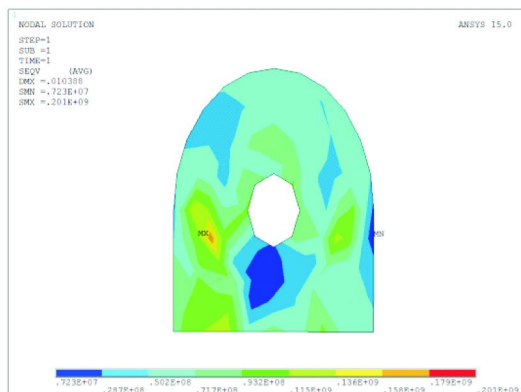


图 5 吊耳板 von Mises 应力云图

通过第二节的数学公式对比分析理论计算结果与有限元计算结果, 计算结果详见表 1。

表 1 理论计算结果与有限元计算结果对比表 MPa

	理论计算结果	有限元计算结果
吊耳孔处轴向应力 f_p	130	56
吊耳孔处剪切应力 f_v	77	35

从对比结果中不难看出, 理论计算方式由于并未考虑附加的补强结构(如吊耳环板、吊耳竖向加劲板), 只考虑了吊耳主板及两侧的吊耳加强板, 计算结果过于保守, 与有限元计算结果有明显差异, 差值在 1 倍左右。因此在设计周期紧张时, 虽然可以通过理论计算方法对吊耳进行快速校核, 为结构设计提供参考, 但是也会造成钢材浪费, 上部组块总重增加。

2.4 吊耳布置角度优化分析

海上升压站上部组块由于其框架-支撑体系的结构特性, 通常在主柱上布置 4 个吊耳来进行海上吊装。吊装过程中, 采取吊装吊架-吊绳-吊耳的施工方式来控制吊绳与吊耳的平面外误差, 基本做到了吊绳与吊耳板窄侧面垂直。由于其顶层框架结构布置的相对固定性, 吊耳板的布置方向决定了施工时外部荷载的施加方向, 同时也会影响到吊耳四周局部结构的受力情况。

海上升压站上部组块吊耳的通用布置形式如图 6 所示, 其中一般情况下 X、Y 正向布置有工字钢与主立

柱相连,主吊耳板窄侧面与 X 正向角度 α 决定了吊耳的布置方向。

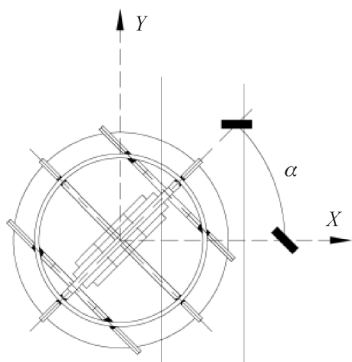


图 6 吊耳平面布置示意图

为了研究角度 α 对局部结构受力的影响,在保证处吊耳外其他结构形式不变的情况下,分别建立 $\alpha = 0^\circ$ 、 45° 、 90° 、 135° 的吊耳有限元模型,维持边界条件、外部荷载大小不变,仅改变外部荷载的作用方向分别进行计算分析。

图 7 和图 8 分别展示了不同角度下两处危险区域的最大应力变化。当角度 α 从 0° 逐渐增加时,应力变化先减小再增大,在 45° 时应力最小为 235 MPa , 135° 时应力最大为 277 MPa ,应力变化较为明显,最大值较最小值增大了 15% 左右。主吊耳板的应力变化趋势虽然和底座板处相同,但是应力大小变化并不明显,角度的变化对主吊耳板应力的影响微乎其微。因此在进行海上升压站上部组块吊耳结构设计时,可以优先采取 $\alpha = 45^\circ$ 的方向来进行布置。

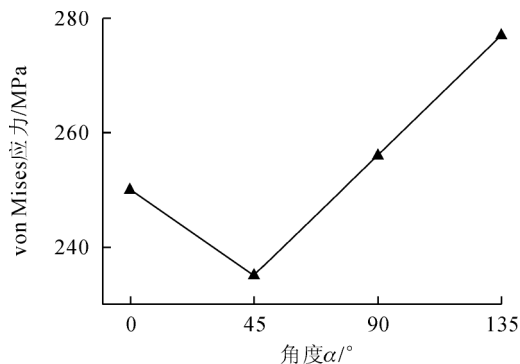


图 7 不同角度下底座板处最大应力图

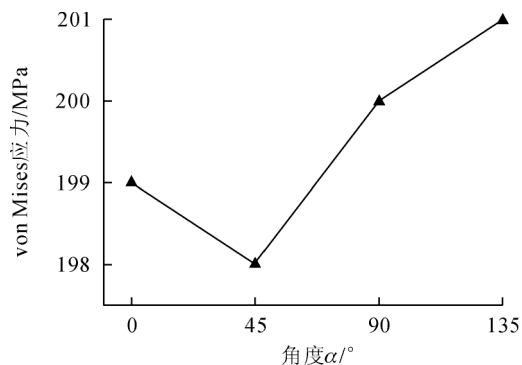


图 8 不同角度下吊耳板处最大应力图

3 结 语

通过对某海上升压站上部组块吊耳的结构强度研究,对比分析了理论计算结果与有限元计算结果,研究了吊耳板不同布置角度对结构强度的影响。本文可以初步得到以下结论:

1) 在进行吊耳强度校核时,理论计算结果偏保守,时间充足的情况下还是建议采用有限元进行校核以达到减重的目的。

2) 单纯的吊耳板吊耳模型计算结果并不准确,最好是建立与吊耳相连的结构进行稍大范围的局部分析。

3) 吊耳的布置角度对升压站主柱应力影响较大,差值在 15% 左右;对吊耳板的影响微乎其微。建议优先采取 $\alpha = 45^\circ$ 的方向来进行吊耳布置。

通过上述研究的结论可以对同类的吊耳结构的设计及结构校核提供参考,实现吊耳结构优化。

参考文献:

- [1] 张系斌,童伟伟. 龙门起重机主梁揽风吊耳的应力分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(2): 50-51
- [2] 肖文勇,余凯. 吊耳局部有限元建模技术分析[J]. 船舶工程, 2009, 31(z1): 94-97
- [3] 贡亚杰,郑振豪,姜宏伟. 船用吊耳结构优化[J]. 船海工程, 2019, 48(3): 57-60, 64
- [4] 徐月忠. 吊装船舶上层建筑的吊耳强度分析[J]. 南通航运职业技术学院学报, 2015(2): 32-34
- [5] 于万明,王喜闻,张晓音,等. 船舶吊装眼板安全可靠分析[C]//中国力学学会. 第十一届全国实验力学学术会议论文汇编. 大连, 2005: 1 081-1 084

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.014

某水电站机组调速器油压装置补气频繁原因分析

李佳栋, 王文超, 罗浩, 刘敏琦, 王学成

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

摘要: 根据某大型水电站调速器油压装置自动补气系统的构成及补气原理, 结合该电站多年的设备维护经验, 对调速器油压装置补气频繁的原因进行了分析, 在现场排查中找到了漏气点。经对焊缝泄漏点的修复, 消除了导致调速器油压装置失压的隐患, 确保了机组稳定运行和电力系统安全生产。

关键词: 调速器油压装置; 补气频繁; 焊缝; 油气比例

中图分类号: TV734 文献标志码: B 文章编号: 1671-3354(2020)09-0050-03

Analysis and Treatment of Abnormally Frequent Air Replenishment in Governor Oil Pressure Device in a Hydropower Station

LI Jiadong, WANG Wenchao, LUO Hao, LIU Minqi, WANG Xuecheng

(Yalong River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610051, China)

Abstract: Abnormally frequent air replenishment phenomenon is observed in the governor oil pressure device in a hydropower station. Based on the composition and working principles of the air replenishment device, possible causes of the problem are analyzed. The air leakage point is then located in the field investigation. After the leakage point in the welding seam is repaired, the hidden risks of pressure loss of the governor oil pressure device is successfully eliminated, which ensures the stable operation of the unit and the safe production of the power generation system.

Key words: governor oil pressure device; frequent air replenishment; welding seam; oil-gas ratio

某水电站共安装有6台由东方电机有限公司制造的立轴混流式水轮机, 单机额定出力611 MW, 每台机组均配置有相同型号的调速器油压装置和自动补气装置, 为水轮机组调速系统提供操作动力^[1]。在某年度机组C修后, 该水电站4号机组调速器油压装置发生补气频繁的问题。本文以此问题作为切入点, 经过现象分析和现场实际验证, 最终找到了调速器油压装置补气频繁的原因。

1 调速器油压装置

1.1 系统构成

该水电站调速器油压装置由1个容积为12 000 L回油箱、2个容积为6 250 L的压力罐、2台主用油泵、1台辅助油泵、PLC及其自动化元件等组成(见图1)。2

个压力罐共装有2/3体积的压缩空气和1/3体积的透平油, 顶部设有空气安全阀, 压力罐装有自动补气装置、磁翻柱液位计、压力表、压力开关、压力变送器。

1.2 自动补气工作原理

自动补气装置控制方式在“自动”状态时, PLC能够根据压力罐内的压力和油位自动进行补气, 使得压力罐内保持适当的油气比例^[2]。当压力罐油位到达补气启动油位且压力达到补气启动压力时, PLC自动关闭排气电磁阀、打开补气电磁阀进行补气; 当压力罐油位到达补气停止油位或压力到达补气停止压力或泵运行信号达到时, PLC自动关闭补气电磁阀、打开排气电磁阀进行排气(补气定值详见表1)。表1中除油气比例不协调会触发报警信号外, 同时满足补气压力6.0 MPa和补气油位1 050 mm两个条件开始补气, 当

收稿日期: 2020-03-27

作者简介: 李佳栋, 男, 助理工程师, 主要从事运行管理方面的研究。

补气时间达到 60 s 或者压力罐压力达到 6.3 MPa 时停止补气,并不会触发报警。

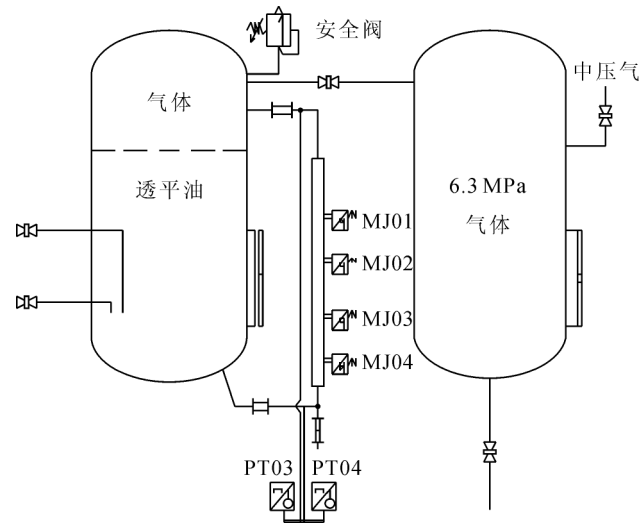


图1 调速器油压装置系统图(局部)

表1 自动补气装置整定值表

名称	整定值	备注
开始补气压力/MPa	6.0	开始补气
停止补气压力/MPa	6.3	停止补气
补气启/停油位/mm	1 050	启/停补气
连续补气时长/s	60	
油气比例不协调判据 1	6.1 MPa	同时满足报警
	1 250 mm	
油气比例不协调判据 2	6.2 MPa	同时满足报警
	1 050 mm	

2 现象及原因分析

根据电站以往设备维护经验及调速器油压装置系统常见缺陷,导致调速器油压装置补气频繁的原因基本有以下三点:①调速器油压装置油气比例不协调,自动控制系统自动调节油气比例;②压力测量元器件定值漂移;③调速器油压装置管路活接头、法兰连接点或焊缝漏气。

根据上述原因,通过对比4号机组C修前后调速器油压装置油罐油位,机组C修前调速器压油罐油位变化区间为890~1 190 mm,C修后油位变化区间为

880~1 190 mm,油位C修前后几乎无明显差异,因此原因①基本排除;查询机组C修工作票,检修人员在检修期间对自动控制元件进行过检验和更换,因此测量元件存在问题可能性极小,原因②基本排除;因此极有可能为调速器油压装置活接头、法兰连接点或焊缝存在漏气。

2.1 监控系统曲线分析

在调速器油压装置不漏气的理想状态下,系统压力下降由正常使用消耗、管路和液压机构的轻微内漏导致^[3]。当系统压力下降至6.1 MPa后油泵会自动启动补油,将压力提升至6.3 MPa,油罐内液位和压力会始终维持在某一固定常数值。但在实际情况中,导致调速器油压装置压力下降的原因为正常使用消耗、调速器液压系统内漏和压力罐漏气三者^[4]。假设机组正常使用消耗、调速器液压系统内漏速率不变,如果在某段时间内气体泄漏成为压力下降的主要因素,那么总是油罐压力先到达启泵压力6.1 MPa,而油位却高于启泵油位1 050 mm,此时控制系统不会启泵补油。直至压力罐内油位下降至1 050 mm满足启泵条件时控制系统才会发令启动油泵。因此压力罐内最低油位始终会维持在1 050 mm附近,而压力则会因等待启泵油位条件满足而持续下降,最终小于启泵压力6.1 MPa。

在压力罐持续漏气的情况下,油罐压力从6.3 MPa下降至6.1 MPa,压力罐最高油位会随着油泵的启停逐渐升高以补偿气体泄漏损失的油位,而最低压力则会因为压力罐内最高油位不断上升而逐渐降低。当压力罐最低压力下降至补气启动压力6.0 MPa且油位下降至1 050 mm时满足自动补气条件,自动补气装置为压力罐补充气体,当补气至停止压力6.3 MPa或补气1 min时停止补气,此时压油罐油位基本维持在1 050 mm,之后随着最低压力下降至满足启动油泵补油条件,开始启动油泵进行补油。

综上所述,当调速器油压装置压力下降的主导因素为气体泄漏时,其油罐压力曲线和油罐油位曲线必有以下特征:①油罐压力曲线上端维持平稳,下端呈现锯齿状;②油罐油位曲线下端维持平稳,上端呈现锯齿状。

由图2可以看出4号机组调速器油压装置油罐油位与压力曲线完全符合上述两点特征,可初步判断调速器补气频繁原因为压力罐存在气体泄漏。

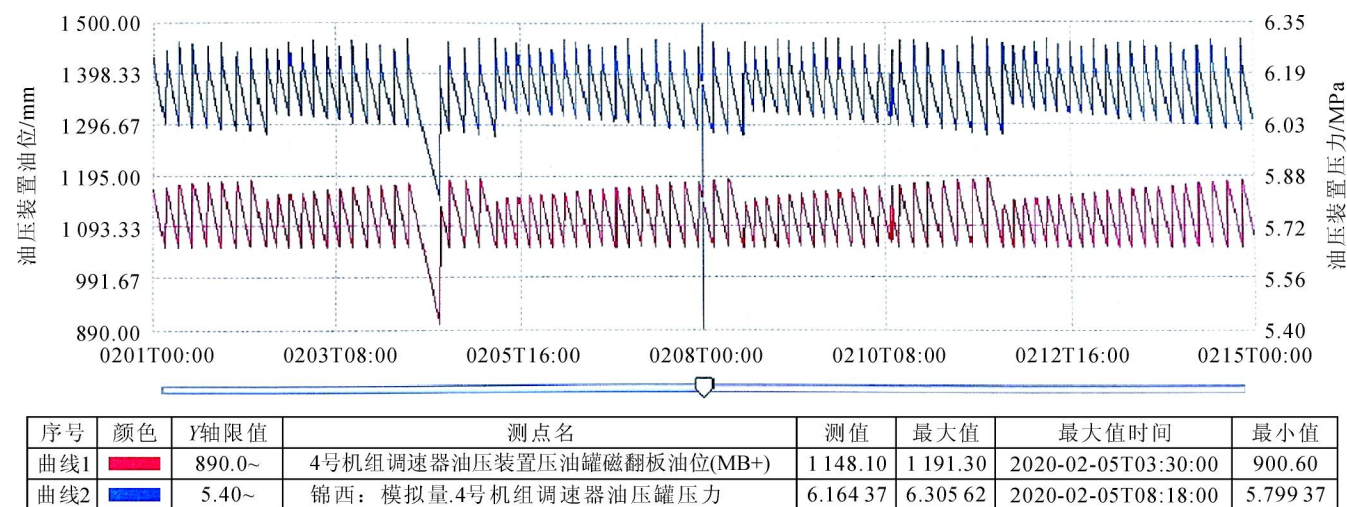


图2 压力、油位随时间变化曲线图

2.2 设备统计数据对比分析

查询检修记录得知4号机组于某年01月04日至18日C修,通过对比机组C修前后1个月的调速器油压装置自动补气次数及自动补气时长(数据详见表2),可以看出4号机组在C修前后,在机组同等运行工况下,C修后机组在运行时长较短的情况下,补气次数和补气时长反而均有明显增加,进一步证明调速器油压装置压力罐存在漏气。

表2 机组C修前后补气时长及次数表

对比项目	C修前30 d	C修后30 d
机组运行时长/h	464	71
补气次数/次	5	11
补气时长/s	168	559

为验证分析结论的正确性,运行人员使用检漏剂对调速器油压装置所有的活接头、法兰连接点及相关焊缝进行漏点检测,最终发现4号机调速器压力罐底部一处焊缝存在明显漏气,漏气点如图3所示(红色圈内)。

3 结语

调速器油压装置作为水电机组调速器的重要动力来源,对于机组转速控制、机组一次调频和二次调频动作有着至关重要的作用^[5]。如果在运维过程中未发现此类焊缝泄漏等隐蔽缺陷,可能会导致调速器油压



图3 调速器油压装置漏气点图

装置失压,进而对机组稳定运行和电力系统安全产生严重不利影响,甚至威胁人员的生命财产安全。因此对此类重要特种设备,首先应当进一步提升设备运行分析水平,及时发现此类隐蔽缺陷;其次还应根据设备使用年限,对焊缝等薄弱部件进行专项维护和检查,及时消除隐蔽缺陷,确保人身和设备安全。

参考文献:

- [1]郭守峰. 某水电站油压装置自动补气超时问题的分析及处理[J]. 水电与新能源, 2015(2): 61-63
- [2]陈刚. 调速器油压装置自动补气阀异常动作分析及控制逻辑优化[J]. 红水河, 2017, 36(5): 82-85
- [3]蔺峰. 水电站调速器事故减压阀低油压误动原因分析与处理[J]. 建材与装饰, 2018(25): 237-238
- [4]李凌. 水轮机调速器油压装置及供油管路的技改[J]. 广西电力, 2018, 41(4): 81-84
- [5]马英帅,姚旭,陆鹏,等. 鲁地拉公司调速器自动补气装置的改进[J]. 云南水力发电, 2018, 34(3): 10-12, 16

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.015

构皮滩升船机超重型设备吊装方案设计

耿克普¹, 宋金育², 全志杰¹, 刘川³

(1. 杭州国电机械设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310030; 2. 构皮滩水电站, 贵州 遵义 550000;
3. 中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要:超重型设备的起吊安装是升船机工程施工中的一项难点。根据构皮滩升船机的梯级过坝形式,采用钢丝绳悬吊式承重平台方案,从方案设计、实施步骤、效益分析等方面论述了其技术特点、安全性和可操作性。工程实践表明,该方案有效地解决了因场地条件限制而引起非正常吊装时的歪拉斜吊问题,在确保安全、工期和经济效益的情况下完成了超重型设备的起吊安装任务。

关键词:升船机;超重型设备;吊装

中图分类号:U642 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)09-0053-05

Design of the Hoisting Scheme for Super-heavy Equipment in Goupitan Shiplift

GENG Kepu¹, SONG Jinyu², QUAN Zhijie¹, LIU Chuan³

(1. Hangzhou State Power Machinery Research & Design Institute Co., Ltd., Hangzhou 310030, China;
2. Goupitan Hydropower Station, Zunyi 550000, China; 3. Sinohydro Bureau 8 Co., Ltd., Changsha 410004, China)

Abstract: The hoisting and installation of super-heavy equipment is a difficult process in the construction of shiplift. Considering the stepped dam crossing mode of Goupitan shiplift, a steel wire suspended bearing platform scheme is adopted. The technical characteristics, safety and operability of the scheme are discussed from different aspects such as the design of the scheme, implementation steps and benefit analysis. Practice shows that the scheme can effectively solve the abnormal hoisting problem due to the limitation of site conditions. The hoisting task of super-heavy equipment is successfully accomplished with ensuring the safety, construction time and economic benefits.

Key words: shiplift; super-heavy equipment; hoisting

构皮滩通航建筑物工程采用梯级过坝形式,由上下游引航道、三级钢丝绳卷扬提升式垂直升船机和两级中间渠道(含通航隧洞、渡槽及明渠)等建筑物组成^[1-2]。其中,第三级升船机位于构皮滩大坝下游左侧尾水处,采用承船厢入水式垂直升船机形式,入水式承船厢能够适应下游水位约5 m的自游变幅差,能够在下游水位变化时完成过船任务。

第三级升船机混凝土塔柱整体高度为120 m,其设备暂存的物料中转平台高程为450 m,通航渠道高程为512 m,主提升设备安装平台高程为520.5 m(如图1),在主提升设备安装平台上游设有尺寸为6.0 m×8.0 m吊物孔(如图2),专供超重型设备由物料暂存中转平台借助主机房160 t桥机吊装至主提升

设备安装平台^[3-6],由此推算出设备的垂直起吊高度接近71 m。同时结合图1可知,450 m物料暂存中转平台牛腿的承重重心未在吊物孔正下方(水平偏离约为1.5 m),因此,垂直起吊高度大和起吊时有偏差的问题将会给超重型设备吊装带来极大的困难。

第三级升船机主提升机设备由8套卷扬提升机构、2套制动安全系统、1套机械同步系统、4套干油润滑系统等组成,每套卷扬提升机构由交流变频电机、减速器、卷筒组、安全制动器、工作制动器等设备组成^[7],其中本文超重型设备主要指8台减速器(135 t/台)、16件卷筒装置(92 t/件)。通过理论力学计算可知,减速器在目前条件下起吊时,由于偏差角度引起的水平力接近于30 kN,如此非正常的吊装引起

收稿日期:2020-04-02

作者简介:耿克普,男,工程师,主要从事升船机设计、施工现场管理方面的工作。

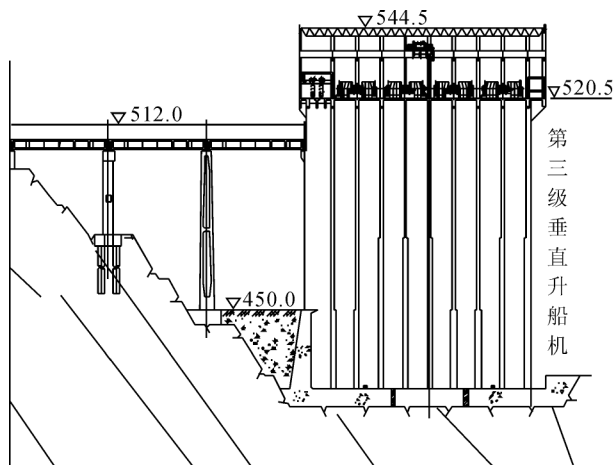


图1 第三级垂直升船机正视图

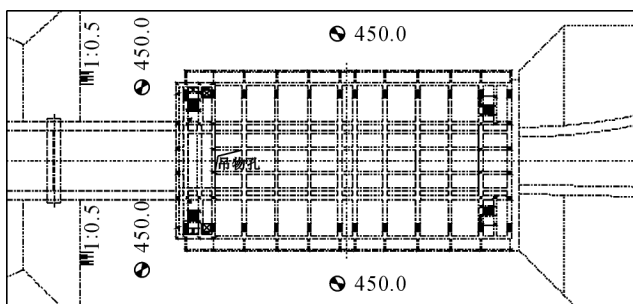


图2 第三级升船机主提升安装平台吊物孔图

的安全问题具有较大的安全隐患,所存在的安全危险性是十分可怕的。并且在设备吊装过程中还存在上下交叉作业、工作面复杂、施工场地局限性、工期紧张等特点。因此,本文基于上述施工特点,在超重型设备吊装时提出了钢丝绳悬吊式承重平台,满足了安全、技术、工期等各方面的要求。

1 钢丝绳悬吊式承重平台方案设计

在吊装方案讨论初期,根据图1、图2中第三级升船机建筑物的实际情况,主要提出的方案有:①在通航渠道(512.0 m)设置200 t长臂履带吊车,先将超重型设备转运至通航渠道后,在闸首位置处设水平滑动装置,将设备移至图2吊物孔下方,由主机房桥机完成吊装;②浇筑延伸物料暂存平台中转平台(450.0 m)处混凝土牛腿,延伸至图2吊物孔下方,以满足垂直起吊的要求,由主机房桥机完成吊装;③在物料暂存平台中转平台(450.0 m)处搭设临时吊装平台,通过图2吊物孔设置钢丝绳悬吊该平台,由主机房桥机完成吊装。

在比选初期,经充分讨论,总结得出:方案①实施较为困难,吊车进入施工现场工作量大且吊装时因吊车伸臂过长具有较大安全风险;方案②浇筑混凝土平

台,施工周期长,且所浇筑的平台后期会影响承船厢的正常运行,不符合实际情况;因此最终讨论决定采用方案③钢丝绳悬吊式承重平台吊装方案。钢丝绳悬吊式承重平台吊装方案主要由钢丝绳悬挂段、钢平台段、轨道延伸段三部分组成,主要有以下方面的优势:①轨道延伸段的作用是将超重型设备,由卸车地点水平运送至吊物孔垂直的正下方,避免了偏差角度而引起的非正常条件下的歪拉斜吊问题。同时,由于轨道由钢结构材料组合而成,制作简单、施工速度快、工作效率高,后期便于拆卸;②钢平台段的作用是用于承载超重型设备,同时兼做施工时人员挂装钢丝绳及锁具的操作平台;③钢丝绳悬挂段的作用是控制钢平台的高程,通过调节螺杆使其能够精确地与轨道延伸段对接,确保超重型设备能够安全稳定地进入吊装位置,减少因局部不平整而引起的受力不均匀问题;④钢丝绳悬吊式承重平台吊装方案所用材料及设备均为现场常规材料设备,无需重新采购制作,节省资源、经济性高,在钢丝绳卷扬提升式升船机项目的施工现场均有该平台方案中所用结构件,施工难度不大,易于操作,可借鉴性强。

1.1 轨道延伸段设计

1.1.1 轨道延伸段

由于450 m混凝土平台牛腿承重重心未在吊物孔正下方(如图2所示),若要减少安全风险、避免造成歪拉斜吊的情况发生,必须在混凝土平台的基础上,通过设置轨道将平台延伸1 m至吊物孔正下方。

轨道延伸段设计思路是采用方形钢管作为底座,作用是连接混凝土和钢平台(即一端在混凝土平台,另一端在钢平台上),底座上设置小轨道供水平小车移动。

方钢管选型时主要考虑:①尺寸要求,即能够满足长度要求;②强度要求,即能够满足超重型设备施压后不变形。基于以上两点本文选择了截面尺寸300 mm×200 mm×20 mm(高×宽×壁厚),长度6 m的方形钢管,共计2根作为底座。因轨道延伸段设计简单,此处不做强度计算。

1.1.2 水平运输小车

为解决超重型设备的水平移动问题,专门设计制作了水平运输小车,在轨道方形钢管上设置小轨道,供运输小车行驶(见图3)。小车通过卷扬机牵引驱动,由于超重型设备移动时初始力需要很大,因此,在初始状态时可以辅助千斤顶驱使小车前进,运输小车选型简单,采用车轮滚动形式,摩擦力小,运行平稳。同时由于运输小车结构形式牢固、刚度大,此处不做强度计算。

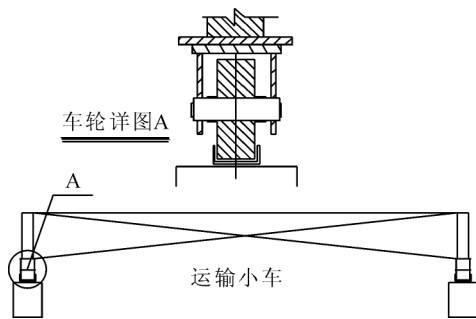


图3 水平运输小车构造示意图

1.2 钢平台段设计

钢平台作为整个方案的核心组成部分,在设计过程中要考虑安全性、工艺性,既要求操作简单,又要满足安全实用,因此其设计主要思路是尽量选用惯性矩大的组合结构件,使其在重载作用下的应力适当减弱;同时考虑到设备自身重心不居中的问题,将设备重心位置处局部加强;平台尺寸根据超重型设备大小而定,并考虑工人操作空间等因素。

钢平台主要由三层构成:①底层为4根方形钢管均匀分布组成底座,每根方钢管的截面尺寸为 $300\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ (高 \times 宽 \times 壁厚),长度 4 m ;②中间层由6根工字钢组成中间平台,每根工字钢的截面尺寸为 $240\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ (高 \times 宽 \times 壁厚),长度为 10 m ;③顶层由6根小工字钢(其截面尺寸为 $120\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ (高 \times 宽 \times 壁厚))和1块钢板(其截面尺寸为 $2\,000\text{ mm} \times 2\,000\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ (长 \times 宽 \times 厚))组成,主要设置在左右区域中间位置处,主要是由于超重型设备(减速器)的重心位置位于整体几何尺寸的偏 $1/4$ 处,两处都设置钢板是为了考虑放置减速器时不限制其方向。

钢平台由上述三部分组合焊接而成,重载作用下受力状态复杂,且作为整个方案最重要的组成部分,各部件的受力性能和安全性应受到关切。因此,本文采用大型通用有限元数值模拟计算软件ABAQUS作为分析工具,将钢平台按照1:1建模,计算分析其在真实工况下的受力状态,有限元模型见图4。

钢平台材质选用Q235钢,查相关规范可知其允许应力值为 310 MPa ,受力工况假设在左右钢板上同时加载,其应力计算结果如图5所示。由图5可知,钢平台的最大Mises应力值为 215 MPa ,小于材料许用应力 235 MPa 整个结构处于安全状态,最大应力位于底层方钢管上,其位置是处于与中间层工字钢与其相交处,因此在焊接施工时要着重注意此处的焊接质量,且在吊装过程中要加强监管,必要时可在此处设置加劲

肋,本实例实施过程中对此处专门派人加强监管,未出现裂纹等其他现象。

钢丝绳与平台连接的吊耳在制作时已经做了加强处理,此处不做计算。

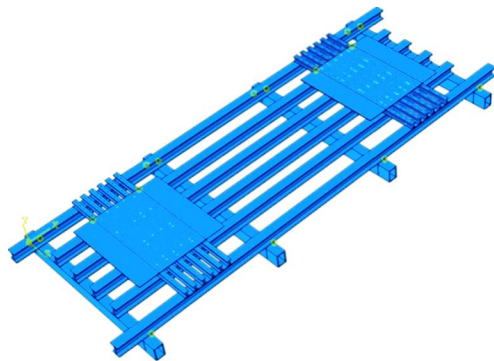


图4 钢平台有限元模型图

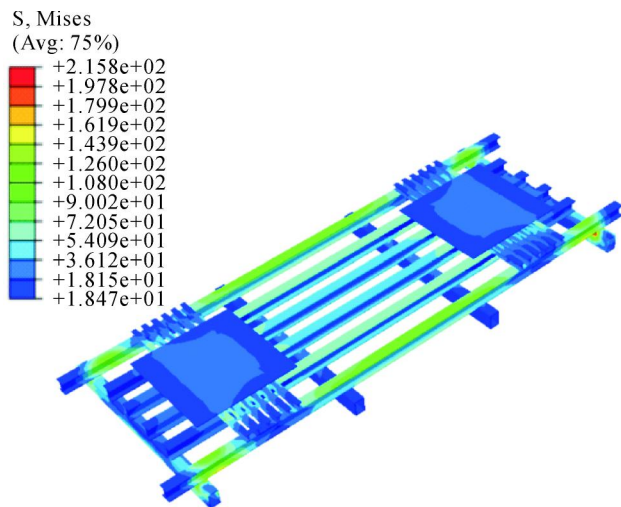


图5 钢平台应力计算结果图

钢平台下挠位移计算结果如图6所示,从图6中可以看出位移最大值位于钢平台中部,挠度最大值为 25 mm ,整个平台跨度为 10 m 时中部下挠值为 $1/400$,查阅(GB 50017-2017)《钢结构设计规范》^[8]附表B 1.1.1第4项7)平台板的挠度容许值为 $1/150$,并判别可知整个平台的挠度值小于规范规定的要求,即钢平台满足实用性要求。

1.3 钢丝绳悬挂段设计

1.3.1 钢丝绳选型

在图2中吊物孔四角布置四组型钢组合成的水平钢梁,将钢丝绳穿过钢梁悬挂而下形成悬吊钢丝绳。钢丝绳采用一般用途的钢丝绳,其断面尺寸选择根据超重型设备及平台重量之和并采用正常使用极限状态来计算。

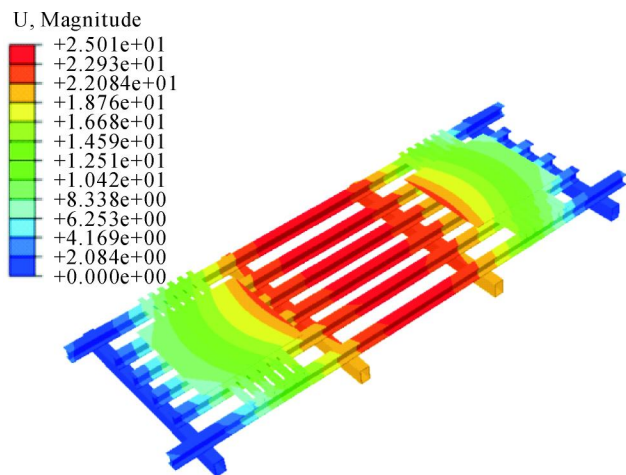


图6 钢平台位移计算结果图

查阅文献[9]可知吊物孔混凝土处梁截面尺寸为 $2.5\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 属于大型混凝土结构件,故此处对于混凝土的受力不做考虑,因此计算时假设吊物孔混凝土刚度无限大,型钢组合成的水平钢梁假定刚度亦无限大(强度不做验算)。

钢丝绳所受荷载为第1节超重型减速器重量 135 t 加钢平台重量 9.46 t ,钢丝绳双股绕过水平钢梁垂直而下可知共有8根钢丝绳承受重载,则根据文献[9]中提到的钢丝绳允许拉力计算公式:

$$F_s = \frac{F_p}{S}$$

式中: F_p 为钢丝绳的破断拉力; S 为钢丝绳的安全系数(安全系数根据经验值取7)。因此,通过公式可知,钢丝绳的实际拉力乘以安全系数就是破断拉力,代入数值可得 $F_p = 1\ 264\text{ kN}$ 。

根据《一般用途钢丝绳》(GB/T 20118-2006)^[10]规范要求,查的截面形式为 $6 \times 19 + \text{IWR}$ 的钢芯钢丝绳破断拉力值为 $1\ 310\text{ kN}$,满足上述计算要求。

1.3.2 调节螺杆选型

为保证钢平台与轨道延伸段在高程位置上的精确对接,在钢丝绳悬挂段的尾部设置了调节螺杆装置,其工作原理是通过自身螺母与螺柱在外力的旋转的作用下调节长度,精确度可以达到 mm 级从而可以实现精确调平,确保了两者在高程上的对接,避免了不同高差而引起钢丝绳受力不均匀现象。

调节螺杆由长螺母、两头螺杆、锁紧螺母组成,长螺母材质为45号钢、其截面尺寸为外径 $\phi 230\text{ mm}$ - 内径 $\phi 130\text{ mm}$,两头螺杆材质为40Cr、其截面尺寸为 $\phi 120\text{ mm}$,锁紧螺母为35号钢、其截面尺寸为 $\phi 208\text{ mm}$ 与螺杆配作(调节螺杆装配图见图7)。此处调节螺杆为升船机平衡重侧及船厢侧永久构件,

其强度均满足承船厢满载 $33\ 000\text{ kN}$ 时的要求,故此处强度不做计算,待该平台发挥施工完成后,拆除该装置后调节螺杆不会有损坏,仍可正常使用。

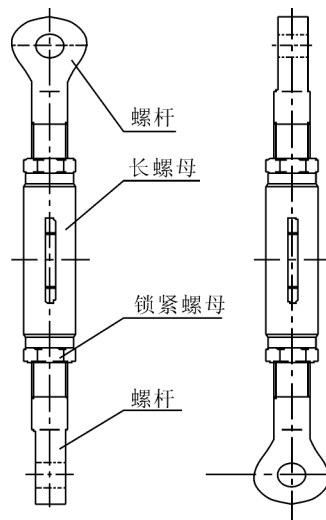


图7 调节螺杆装配图

2 钢丝绳悬吊式承重平台方案实施

超重型设备在垂直起吊高度大的情况下,最主要的问题就是因非正常条件下的垂直起吊而出现歪了卸掉的现象,否则重力作用下的水平分力会导致主机房桥机水平制动失效,造成严重的安全事故。本文所提出的钢丝绳悬吊式承重平台方案就是解决因既有混凝土建筑条件不满足,导致超重型设备无法正常起吊的问题。第1节中所述钢丝绳悬吊式承重平台方案由三部分组成,在具体实施过程中又可理解为水平运输、垂直起吊两个系统。

2.1 水平运输系统布置

钢丝绳悬吊式承重平台水平运输系统主要由轨道延伸段(含运输小车)、钢平台段及卷扬机构成。将轨道延伸段(含运输小车)、钢平台段布置在 450 m 平台上,并在适当位置1台卷扬机,卷扬机的作用是通过定滑轮组实现运输小车在载重状态下的水平牵引行走,其空载状态时可通过人工推拉方式恢复至原位(如图8)。

轨道延伸段的2根方形钢管下放设置地脚螺栓使其能够保证自身稳定性,其尽头处与钢平台连接采用焊接形式保证整体性。

2.2 垂直起吊系统布置

本方案最终仍是借助主机房桥机来实现超重型设备的垂直起吊,因此,垂直起吊系统主要设备为主机房桥机,钢平台及钢丝绳悬挂段作辅助系统为超重型设

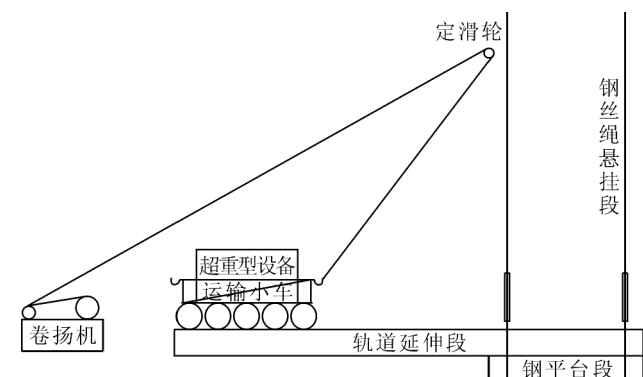


图8 水平运输系统示意图

备提供绑扎钢丝绳、吊钩的操作平台(见图9)。在71 m距离的垂直起吊过程中,在设备上设置辅助缆绳调整其在空中的姿态,以确保正确的姿态进入吊物孔。

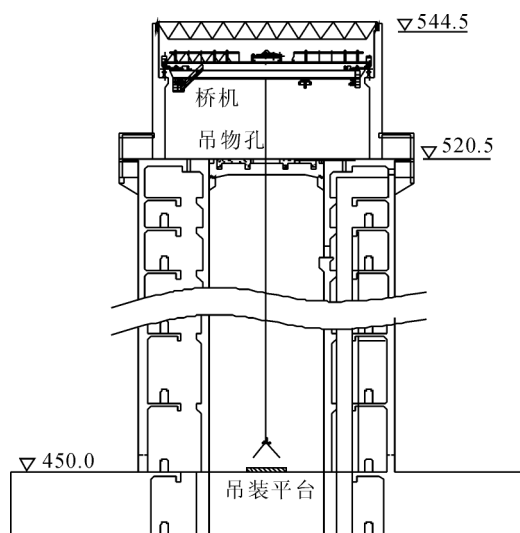


图9 垂直起吊系统示意图

3 效益分析

下面从本方案的技术特点、工期及经济性、安全性等方面进行效益分析。

3.1 技术特点

本方案是充分考虑现场实际情况而制定的,主要是克服场地条件局限性、垂直起吊距离大、设备重量大、安全风险高等诸多困难问题。通过轨道延伸段、钢平台段、钢丝绳悬挂段的三个部分组合而成的水平运输、垂直起吊两个系统,该方案设计理念简单、实用性操作性强,施工速度快。

本方案钢丝绳悬挂段中设置的调节螺杆,能够准确地调节4段钢丝绳悬挂段的伸长量长度,确保钢平台与轨道延伸段连接时高程一致,避免在超重型设备起吊时因钢丝绳局部受力不均匀现象。

3.2 安全性分析

本方案在实施过程中涉及的水平运输、垂直起吊两个过程安全性均处于受控状态。

水平运输过程中运输小车承载力能够满足要求,小车的行驶由人工操作的卷扬机牵引,行驶速度、设备姿态均有人监控。在到达钢平台时,通过降低小车速度外加千斤顶驱动小车行驶,确保平稳过渡至钢平台段起吊位置,整个过程控制简单,安全性可以保证。

垂直起吊由主机房160 t桥机实施,起吊过程中无偏角,设备姿态由缆绳控制,确保到达主机房底板时能够直接进入吊物孔。垂直起吊过程中无其他因素干扰,可控性好,安全性高。

3.3 工期分析

本方案的工期优势在于钢丝绳悬吊平台形成后,能够快速方便地转运设备,最大程度上发挥其作用,减少施工成本投入,节约工期。

4 结语

本文介绍了一种可用于超重型设备吊装的钢丝绳悬吊式承重平台,从方案设计、具体实施步骤、效益分析方面论述了其技术特点、安全性、工期性和可操作性特点。工程实践表明,该方案有效地解决了超重型设备因场地条件不满足而引起非正常吊装时的歪拉斜吊问题,确保安全和工期的情况下完成超重型设备的起吊任务。该平台所涉及的主要材料及设备均为施工现场常规材料,施工方案简单,易于操作,可借鉴性强,易于推广。

参考文献:

- [1]郑科. 论乌江构皮滩500T第三级升船机的组装调试[J]. 信息记录材料, 2017, 18(11): 53-55
- [2]廖乐康, 于庆奎, 吴小宁. 钢丝绳卷扬垂直升船机设备布置设计与研究[J]. 人民长江, 2009, 40(23): 61-64
- [3]江健炜. 构皮滩升船机超大超重卷筒加工关键技术[J]. 水电站机电技术, 2016, 39(6): 40-43
- [4]王小华. 构皮滩水电站第三级升船机塔柱混凝土施工技术[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(3): 10-14
- [5]宋金育, 耿克普, 李航宇. 构皮滩水电站升船机重力式闸门锁定装置受力分析及加固处理[J]. 华电技术, 2019, 41(10): 68-71
- [6]马要坡. 构皮滩发电厂升船机明渠柔性止水装置受力分析与研究[J]. 华电技术, 2018, 40(12): 45-47, 79
- [7]余友安, 廖乐康, 金辽. 构皮滩垂直升船机金属结构和机械设备设计研究[J]. 人民长江, 2019, 50(5): 119-126
- [8]GB50017-2017, 钢结构设计规范[S]
- [9]唐兴华. 吊装钢丝绳受力计算与设计选型[J]. 矿山机械, 2014, 42(11): 111-114
- [10]GB/T 20118-2006, 一般用途钢丝绳[S]

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.016

南瑞 NES6100 励磁调节器在某巨型水电站的应用

张元栋,刘光权,柳呈祥,黄柯维

(中国长江电力股份有限公司,湖北宜昌 443133)

摘要:针对某巨型水电站部分机组励磁系统已不满足现行标准要求、关键备件不足等问题,对励磁调节器进行国产化改造。介绍了国产化改造实现方法和新技术的应用,经严格按照现行国家和行业标准、规范、规程要求进行的相应试验和3年多的实际运行,其稳定性、可靠性等均符合或优于国家及行业标准,达到了改造目标。

关键词:南瑞 NES6100 励磁调节器;巨型水电站;进口励磁系统;国产化改造

中图分类号:TV734 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)09-0058-04

Application of NARI NES6100 Excitation Regulator in a Giant Hydropower Station

ZHANG Yuandong, LIU Guangquan, LIU Chengxiang, HUANG Kewei

(China Yangtze Power Co., Ltd., Yichang 443133, China)

Abstract: The imported excitation system of several units in a giant hydropower station is now of certain problems such as the dissatisfaction of the requirements of current standards and the shortage of key spare parts. Thus, localization renovation of the excitation system is carried out. The original excitation regulators are replaced by domestically made NARI NES6100 excitation regulators. Rigorous testing and practical operation of the renovated system show that the renovation is successful as the stability and reliability are in accordance with or better than the national and industrial standards.

Key words: NARI NES6100 excitation regulator; giant hydropower station; imported excitation system; localization renovation

某巨型水电站励磁系统采用静止式可控硅自并励的励磁方式,部分机组自2003年开始陆续投产,全部选用进口励磁设备。因运行时间长,励磁调节器电子元器件老化,设备故障率逐年升高,备件已停产,库存备件数量严重不足,威胁设备持续稳定运行;国家和电网对机组涉网功能提出了新要求、新标准,原励磁系统PSS功能不能满足要求。为此,该电站于2016年开始着手研究设备技术改造路线及改造中涉及的具体技术问题。由于原进口励磁系统起励装置、功率整流设备及灭磁装置运行稳定,故障率低,备件充裕,均流效果理想,经综合评估,最终决定仅进行励磁调节器国产化改造,更换为国电南瑞电控公司生产的NES6100励磁调节器。

1 励磁调节器简介

NES6100励磁调节器是国电南瑞总结以往励磁研

发运行经验,研制出的第四代产品。

采用三层硬件架构,最底层由FPGA完成AD采样控制、脉冲生成、频率测量、主从套切换等高实时的功能;中间层RP1283 DSP完成AD采样值计算、励磁实时控制及保护限制、DA输出、双套控制器通讯等核心功能;上层POWERPC负责对外通讯、录波、变位记录等功能;RP1001 DSP负责接收远方遥控、遥设等命令,根据工程实际需求,灵活组态顺序控制逻辑^[1-3]。

采用PID+PSS2B控制方式,与第三代产品NES5100励磁调节器相比新增了定子电流限制器、PSS4B、PSVR等功能,优化了各反时限环节,实现主辅环协调控制,进一步提升了励磁控制系统的可靠性。

2 改造的实现和新技术的应用

此次为部分改造,相对设备整体更换造成了大量的系统兼容性、接口配合、控制功能需单独开发等一系

收稿日期:2020-07-10

作者简介:张元栋,男,工程师,主要从事水力发电厂电气设备维护方面的工作。

列技术难题,为解决上述技术难题并满足实际现场运行的需要,该电站联合国电南瑞在设备选型、设计、安装调试阶段对励磁调节器硬件和软件进行了大量改进。

2.1 首次实现国产调节器与进口西门子功率柜完美配合

原进口励磁调节器采用双窄脉冲群的触发方式,此次仅改造励磁调节器,需要重新设计开发 NES6100 励磁调节器的脉冲接口电路、脉冲分配板及脉冲触发程序,以实现与功率整流柜内脉冲变回路的匹配。

硬件结构上,为提高脉冲驱动功率和稳定性,将 NES6100 励磁调节器脉冲板接口电路的开关器件由 MOS 管更换为连续 IC 为 5A 的 NPN 三极管;为匹配功率整流柜的脉冲传输方式,设计脉冲分配板,将调节器的脉冲输出信号扩展成 7 个原进口励磁脉冲电缆专用接口,简单可靠的实现了脉冲接口的统一。

控制策略上,设计开发了励磁调节器脉冲触发程序,脉冲频率、个数和脉宽等参数与原进口调节器保持一致,同时设计了脉冲检测电路,可实时诊断并报出故障,完成双套无扰动切换至备用通道,不会因脉冲故障而导致机组失磁保护动作而跳机。

2.2 优化完善了 PSS 功能

部分机组原进口励磁调节器安装外置硬件 PSS2B 装置,外置 PSS 装置硬件老化,附加的外部 PSS 信号回路给励磁系统安全运行带来隐患;部分机组原进口励磁调节器内置 PSS2B 软件,内置 PSS 引入的 ω 信号取自机端电压频率,在动态过程中转速和机端电压频率的差值足以影响 PSS 的补偿效果,对系统阻尼有恶化作用,不符合现行行业技术要求。改造后的励磁调节器全部内置 PSS2B/4B 两种模型,PSS2B 模型 ω 信号取自发电机 q 轴虚拟电气分量 E_q 的频率,试验证明其对 0.1 ~ 2 Hz 的低频振荡具有良好的阻尼作用,满足电网要求。预装的 PSS4B 模型能更好地对各种频段低频振荡起到抑制作用,同时 PSS4B 对电力系统联系阻抗的强弱具有较好的适应性,为今后电网运行的更高要求做好了准备。

2.3 实现了母线电压跟踪功能

原进口励磁调节器无跟踪母线电压功能,多年来的运行发现,随着季节的不同,母线电压有一定范围的变化,机组并网时,机端电压和母线电压之间有一定的差值,会造成并网时较大的无功功率冲击,最大值达

220 Mvar,冲击电流的电动力对发电机定子绕组、变压器绕组均产生冲击,定子绕组端部机械强度最弱,这种冲击日积月累会威胁发电机的安全运行。改造后的励磁调节器具有跟踪母线电压的功能,将母线电压引入励磁调节器,并网前,励磁调节器给定值跟踪母线电压,彻底解决了机组同期并网过程中因机端电压和系统电压测量误差引起的无功冲击问题。

2.4 开发了试验方式功能

在水轮机组试验中经常进行零起升压、升流试验和励磁大电流、小电流等试验,目前行业中,多需要修改励磁调节器参数和相关程序,过程繁琐、效率低,存在着一定安全隐患。

改造后的励磁调节器首次增加了“试验方式”功能,将试验压板投入后,即可进行各种励磁开环试验,完全不受外部开关状态的限制。

2.5 开发了模拟量录波功能

改造后的励磁调节器新增模拟量录波功能,当 1.66 ms 运算周期前后,模拟量百分值变化量大于参数设定值,变量录波为 1,保持 0.5 s,变量录波上升沿触发录波。基于专用波形文件查看工具,可快速分析波形的阶跃上升时间、调节时间、阻尼比、振荡次数等关键参数,为故障处理提供依据。

2.6 优化了 PT 断线检测方法

原进口励磁系统 PT 断线判断策略单一,无法反映 PT 断线的多种情况。改造后的励磁调节器加快了主备调节器的切换时间,增加了定子电压负序分量、电压电流相关性等判据,通过全面检测发电机定子电压、电流和转子电流,并根据在各种 PT 断线和短路情况下各个量的不同变化组合,正确判断各种 PT 断线故障,并能正确区别 PT 断线和发电机出口短路,为发电机励磁控制装置提供正确的控制基准,保障机组安全运行(见图 1)。

2.7 增加智能电站多场景支撑功能

原进口励磁调节器只提供 PROFIBUS 通讯协议和接口。改造后的励磁调节器支持多种通讯协议,为后续建设智能化电站奠定了基础。

3 投产试验情况

励磁调节器改造后,严格按照现行国家和行业标准、规范和规程要求完成了相应的试验项目,试验结果均符合或优于国家及行业标准,试验结果见表 1。

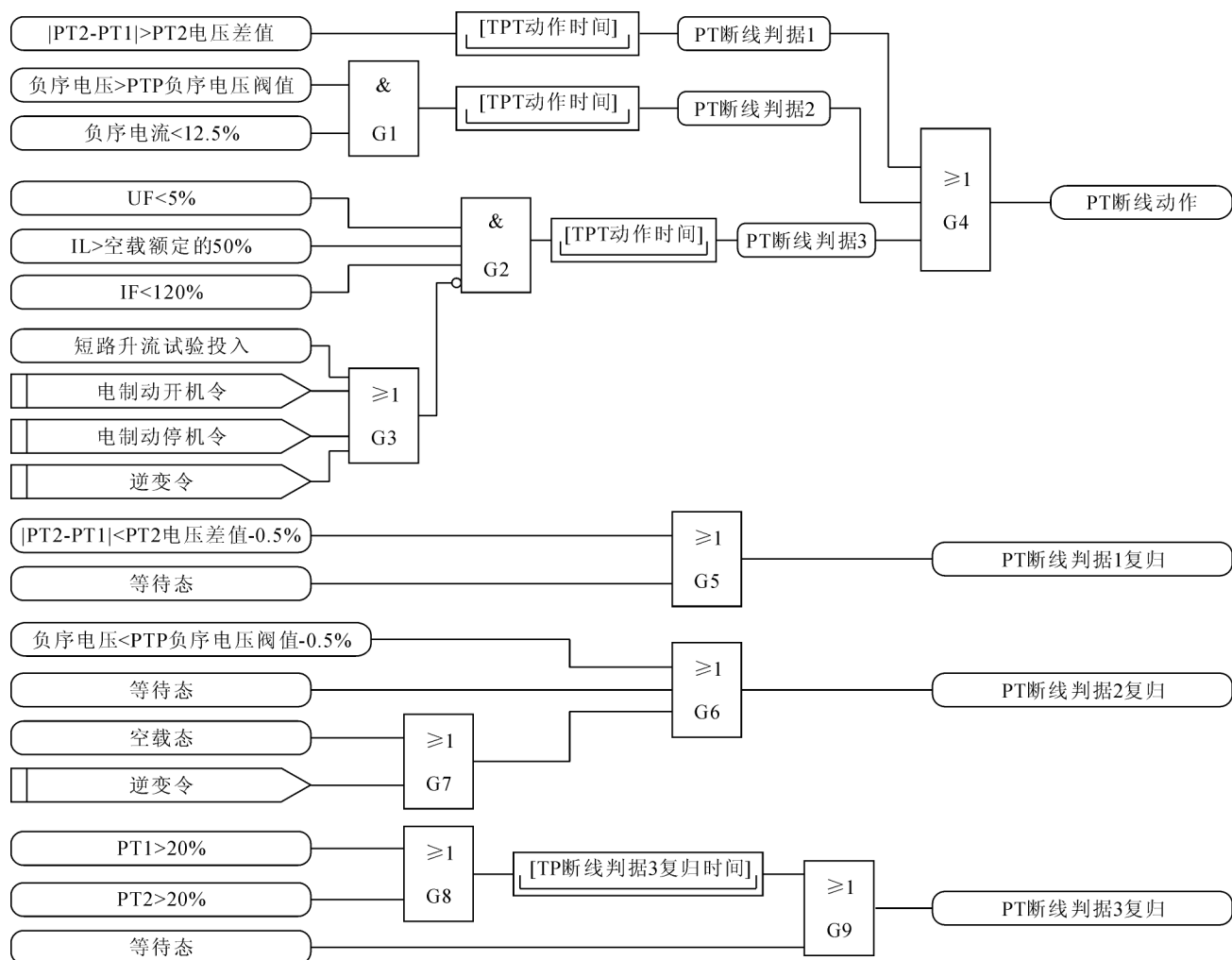


图 1 改造后 PT 断线判据图

表 1 励磁调节器国产化改造试验结果对比分析表

试验项目	试验结果	规范要求
自动升压试验	电压超调量 $\leq 1\%$ U_{gn} , 振荡次数为 0, 调节时间 ≤ 3 s	电压超调量 $\leq 5\%$ U_{gn} , 振荡次数 ≤ 3 , 调节时间 ≤ 5 s
电压调节范围试验	电压为 $8\% \sim 110\%$ U_{gn}	$10\% \sim 110\%$ U_{gn} 范围内稳定平滑调节
10% 阶跃试验	电压超调 $\leq 2\%$ 阶跃量, 无振荡, 调节时间 ≤ 2 s	电压超调 $\leq 20\%$ U_{gn} , 振荡次数 ≤ 3 , 调节时间 ≤ 3 s
频率特性试验	频率值每变化 1% , 机端电压变化值为 $\pm 0.05\% \sim 2\%$ U_{gn}	频率值每变化 1% , 机端电压变化值为 $\pm 0.25\%$ U_{gn}
甩额定负荷试验	振荡次数 ≤ 2 , 调节时间 ≤ 2 s	振荡次数 ≤ 3 , 调节时间 ≤ 5 s
有功功率振荡的阻尼比	阻尼比 ≥ 0.294	阻尼比 ≥ 0.1
机端电压与系统电压的电偏差 (空载时, 投入系统电压跟踪功能)	偏差为 $0.05 \sim 0.1\%$	偏差 $\leq 0.5\%$

同时,为适应电网要求,委托中国电力科学研究院进行了 PSS、进相等涉网试验,试验结果表明机组励磁系统 PSS 功能和发电机进相能力完全满足系统要求。依据《电力系统稳定器整定试验导则》要求,进行了励

磁系统 PSS 试验及参数整定,试验结果表明,改造后的 PSS 对系统 0.1 ~ 2 Hz 的功率低频振荡有良好的正阻尼作用,并且抑制反调效果明显(见图 2)。

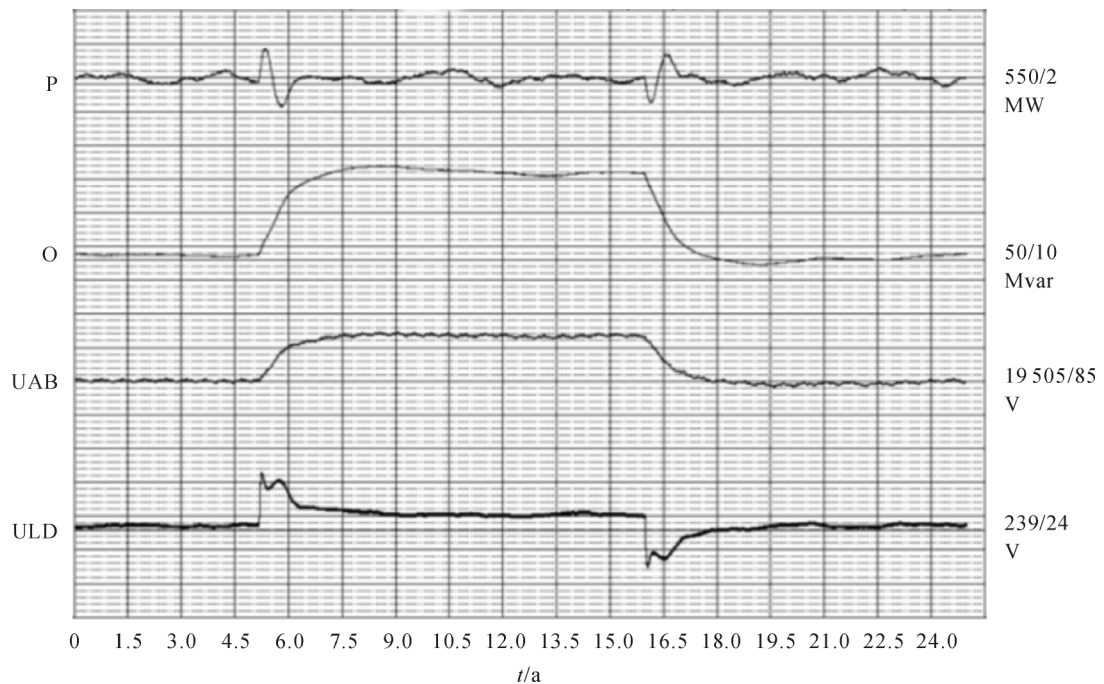


图 2 改造后 PSS 试验曲线图

在实测的进相能力范围内,整定发电机低励限制曲线如图 3 所示,整个进相试验过程中失磁保护未动作。最大进相深度达 -300 Mvar,试验结果完全满足国网要求。

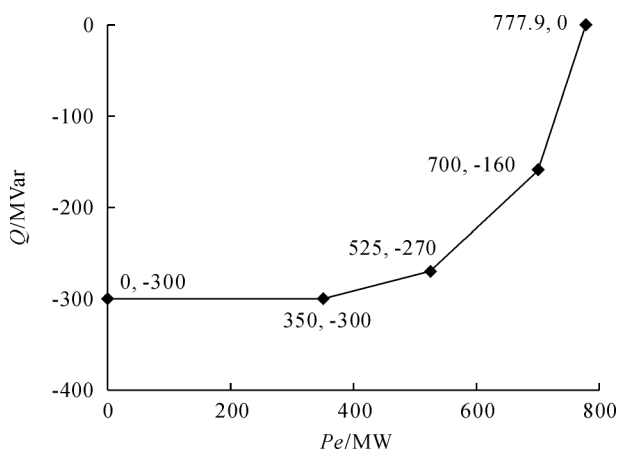


图 3 改造后低励限制曲线图

励磁调节器国产化改造,此次国产化改造为国内首次实现国产调节器与进口西门子功率柜完美配合,解决了励磁系统 PSS 功能不满足现行国家要求和同期并网时无功冲击较大的问题,优化了 PT 断线判据策略,提升了用户体验感,延长了原功率整流柜的使用年限,减少了改造成本,实现了励磁系统整体性能和可靠性的最优化。从 2017 年 4 月首台 8 号机组完成改造投运至今,设备运行稳定,完全满足国家和电网对机组涉网性能的要求,其控制精度、稳定性、控制灵活性都得到了大幅提高,达到改造设计要求和目标。

参考文献:

- [1]陆继明,毛承雄,范涛,等. 同步发电机微机励磁控制[M]. 北京:中国电力出版社,2006
- [2]刘取. 电力系统稳定性及发电机励磁控制[M]. 北京:中国电力出版社,2007
- [3]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
- [4]倪以信,陈寿孙,攻宝霖. 动态电力系统的理论和分析[M]. 北京:清华大学出版社,2002
- [5]许其品,朱晓东,刘国华. 大型发电机励磁系统的设计[J]. 水电厂自动化,2009,30(4):20-24

4 结语

为提高机组运行稳定性,该巨型电站已完成机组

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.017

水电站集控运行模式下 “两地办公”值班方式的创新与实践

张鹏

(中国长江电力股份有限公司,四川成都 610041)

摘要:三峡成都集控中心的溪洛渡-向家坝梯级电站集控运行管理创新模式,即现场+城市“两地办公”值班方式,部分厂站运行人员作为监控员至三峡成都集控值班工作,负责梯级电站的运行监视、控制等业务。该模式优化了人力资源配置,扩大了设备监控范围,提升了设备管理水平与员工的幸福感。

关键词:水电站;集控模式;运行管理;值班方式

中图分类号:TV737

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)09-0062-03

Innovation and Practice of the “Work in Two Places” Scheme in Hydropower Stations under Centralized Control Operation Mode

ZHANG Peng

(China Yangtze Power Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: An innovated “work in two places (station and city)” duty scheme is adopted in Chengdu Centralized Control Center of the Three Gorges Corporation for Xiluodu-Xiangjiaba cascade hydropower stations. With this scheme, some of the station operators now can work in the Chengdu Centralized Control Center as supervisors and carry out the operation monitoring and control work of the cascade hydropower stations. This mode optimizes the allocation of human resources, expands the monitoring scope of the equipment, and improves the management level and the well-being of employees.

Key words: hydropower station; centralized control mode; operation management; duty scheme

流域梯级水电站集控运行可充分发挥梯级水电站的综合效益,合理利用人力资源,提高生产效率,实现梯级水电站的安全、稳定和经济运行。2012年9月,溪洛渡-向家坝梯级电站相继投产,集控运行管理模式(水库调度+重点监控)正式实施,并顺利完成对溪洛渡-向家坝梯级电站高强度接机发电及水库蓄水工作。

2017年1月,三峡成都集控中心结合长电电力未来发展战略以及配合公司的“三定”改革,在原“调控一体化”^[1]集控运行模式基础上,创新推行现场+城市“两地办公”值班方式,以期满足公司“三定”后的人力资源要求,同时探索未来乌东德、白鹤滩电站和昆明集控中心生产管理模式。

1 三峡成都集控中心和梯级电站概况

三峡水利枢纽梯级调度通信中心成都集控中心(以下简称三峡成都集控),位于成都市高新区,是溪洛渡-向家坝梯级电站的远方集中控制中心,对内负责溪洛渡-向家坝梯级水库的实时水库调度及电站设备的远程监视与控制,对外负责与国调、南网总调、国网西南分中心进行电力调度业务联系,与长江防洪抗旱办公室、相关海事单位进行防洪、航运等水库调度业务联系。

溪洛渡水电站是中国长江三峡集团公司投资建设的大型水利水电枢纽工程,是金沙江下游梯级-乌东德、白鹤滩、溪洛渡和向家坝中的第三梯级电站,坝址

收稿日期:2020-04-22

作者简介:张鹏,男,工程师,主要从事水电站调度运行方面的工作。

位于四川省雷波县和云南省永善县交界的金沙江干流上。大坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程 610 m,水库正常蓄水位 600.00 m,死水位 540.00 m,汛期防洪限制水位 560 m,总库容 126.7 亿 m^3 ,调节库容 64.6 亿 m^3 ,具有不完全年调节能力。溪洛渡水电站总装机容量 13 860 MW,左右岸电站各安装 9 台 700 MW 水轮发电机组,额定水头 186 m,工程开发任务以发电为主,是兼顾防洪、拦沙、改善库区及下游航运条件等的综合水电工程。溪洛渡工程于 2005 年 12 月正式开工,2013 年 7 月首台机组发电,2015 年 10 月全部工程竣工。

向家坝水电站是金沙江下游河段最末一个梯级电站,坝址位于四川省宜宾县和云南省水富县交界的金沙江干流上。大坝为混凝土重力坝,坝顶高程 384 m,水库正常蓄水位 380.00 m,死水位和汛期防洪限制水位 370 m,总库容 49.77 亿 m^3 ,调节库容 9.03 亿 m^3 ,具有季调节性能。向家坝水电站总装机容量 6 400 MW,左右岸电站各安装 4 台水轮发电机组,单机额定容量 750 MW,额定水头 95 m,单机最大容量 800 MW,对应的最小水头为 100 m。工程开发任务以发电为主,同时改善航运条件,兼顾防洪、灌溉,并具有对溪洛渡水电站进行反调节等作用。向家坝电站主体工程于 2006 年 11 月正式开工,2012 年 11 月首台机组发电,2014 年 7 月全部机组投产发电。

2 集控运行模式下的“两地办公”值班方式

2.1 “两地办公”值班方式的理念

现场+城市“两地办公”值班方式是在原集控运行模式的基础上,打破企业内部单位的限制,使得厂站部分运行人员作为监控员到三峡成都集控参与值班工作,主要承担设备的监视和控制任务。同时厂站专业维护人员、党群、综合管理等人员,也可以结合各自电站生产情况灵活安排人员至成都办公楼内上班,这样既满足了生产工作需要,又能使员工获得城市生活的便利。

2.2 调度关系与职责

2.2.1 水库调度关系

国家防汛抗旱指挥部(以下简称国家防总)、长江

水利委员会防汛办公室(以下简称长防办)是三峡水利枢纽梯级调度通信中心的上级水库调度机构。三峡成都集控负责金沙江下游溪洛渡-向家坝梯级水库的实时调度运行,主要包括防洪、发电、航运、生态、水文气象等工作。

2.2.2 电力调度关系与职责

依据《国家电网调度管理规定》集控中心是水电站的异地值班单位,而非一级调度机构,所以电网调度是三峡成都集控中心、溪洛渡电站、向家坝电站的上级调度机构,而在企业内部生产调度系统上三峡成都集控与溪洛渡电站、向家坝电站为上、下级关系。其调度关系如图 1 所示。

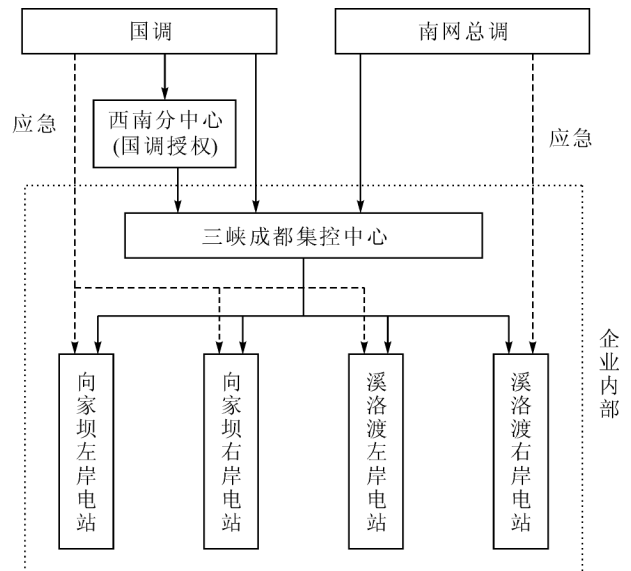


图 1 电力调度关系图

新的集控运行模式下,原三峡成都集控运行人员称为调控值班员,主要负责与电网调度联系开展相关业务和水库调度业务,以及应急情况下的指挥协调;轮换到三峡成都集控的电站运行人员称为电站监控员,主要负责梯级电站设备的远方监视和控制,接受并执行调控值班员的调度指令;值守在现场的运行人员称为电站值班员,主要负责现场运行管理工作。只有在调度通信自动化系统出现异常无法有效监控时,电网调度可以直接调度到电站。三峡成都集控调控值班员全面负责当班期间的各项业务和值班秩序管理,调控值班员、电站监控员和电站值班员的运行管理主要职责划分如表 1。

表1 运行管理主要职责划分表

项目	调控值班员	电站监控员	电站值班员
调度管理	1)负责与电网调度沟通联系,接受并下达电网调度指令; 2)负责梯级电站实时水库调度及电力生产调度; 3)制作生产报表并向电网调度和水库调度机构报送相关数据	1)接受并执行调控值班员的调度指令; 2)负责各自电站电力生产的工作的开展与协调	1)执行电站监控负责人下达的调度指令; 2)负责组织各自电站现场运行管理工作
运行监视	1)负责梯级电站水库运行情况的监视	1)负责电站设备、通信、调度自动化等系统远程监视,当发现影响设备安全运行的情况时,及时汇报调控值班员	1)负责电站现场设备的定期巡检; 2)当集控中心计算机监控系统发生异常时,承担厂站应急监视职责
远方控制		1)负责电站具有远方控制功能的所有设备、设施的远方操作	1)负责检查远方操作执行情况和设备设施的实际工况、状态等。当远方操作受阻时,现地操作; 2)负责电站不具有远方控制功能的所有设备、设施的操作
应急处置	1)负责与上级调度联系及汇报,按照上级调度指令,开展事故处置工作; 2)负责编制事故处理报告	1)接受并执行调控值班负责人的指令,解除人身、设备威胁,将故障设备隔离; 2)负责对厂站内事故处理的指挥、联系和协调,及时汇报调控值班负责人并提供事故报告、现场图片等资料	1)接受电站监控负责人的指令,负责组织、协调现场事故处理,收集事故信息、现场图片资料等; 2)当发生危及人员和设备安全的紧急情况时,可按现场规程先处置再汇报

2.3 集控室席位介绍及倒班方式

三峡成都集控实行 24 h 值班方式, 白班 08:00 ~ 14:30, 中班 14:30 ~ 22:30, 夜班 22:30 ~ 次日 08:00。三峡成都集控调控部下设 6 个运行值, 其中 1 个待令值, 每值 3 人, 采用五班三倒模式, 待令值每月进行轮换。

溪洛渡电站、向家坝电站运行部分别设置 6 个运行值, 采用四班三倒模式, 可以同时安排 2 个运行值休假。在三峡成都集控溪洛渡电站监控员有 4 人, 包括负责人 1 人, 向家坝电站监控员有 3 人, 包括负责人 1 人。按照冗余配置原则, 各席位主要设有计算机操作员站 2 台、MIS 电脑及生产辅助系统等。集控室内席位布置如图 2 所示。

3 “两地办公”值班方式实践与体会

1) 扩大了对梯级电站的监控范围, 提升了设备管理水平。电力自动化程度的提高, 为集控中心实现设备全监视、全控制提供了必要条件。定期轮换资质合格且对现场设备熟悉的场站运行人员至成都集控室参与设备监视与控制工作, 使得集控生产业务由原来的

“水库调度 + 重点监控”升级为“水库调度 + 全监控”, 对设备的监控范围进一步扩大, 提升了设备管理水平。

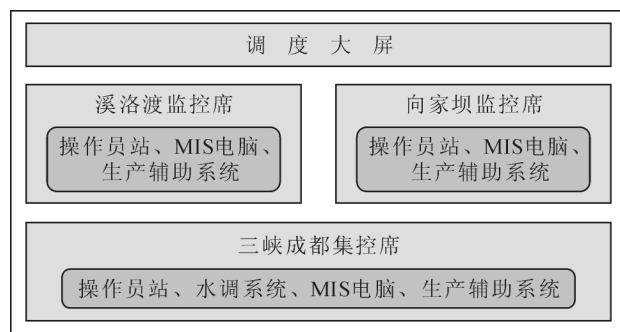


图2 集控室内席位布置图

2) 专业化调度工作, 提高了调度运行水平。电力市场改革进程加快, 电力生产运行与营销面临新的挑战, 电网调度考核越发严格, 精细化调度运行工作变得尤为重要, 实时调度运行工作面临更高标准、更严要求。公司培养一批专门从事调度工作的值班员, 在工作中能够从全局出发, 统筹考虑梯级电站遇到的问题,

(下转第 67 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.018

高坝洲电厂调速器系统优化改造

李尹罡, 黄安国

(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北宜昌 443000)

摘要: 针对高坝洲电厂调速器控制脉冲易丢失、改善一次调频特性困难和测频板件易损等缺点, 对调速器系统进行改造, 优化调速器系统的配置和控制方式, 从而提高了控制精度, 解决脉冲易丢失、一次调频特性较差和测频板件易损等一系列问题。

关键词: 伺服系统; 差分放大模块; 调速器系统

中图分类号: TV734.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)09-0065-03

Optimization Renovation of the Governor System in Gaobazhou Hydropower Plant

LI Yingang, HUANG An'guo

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

Abstract: Considering the problems found in the governor system in Gaobazhou Hydropower Plant such as the frequent loss of controlling pulses, difficulties in the improvement of the primary frequency modulation characteristics and the vulnerability of the frequency measurement board, an optimization renovation of the system is carried out. The configuration and control mode of the governor system are optimized to improve the control accuracy. After the renovation, the problems are effectively solved.

Key words: servo system; differential amplifying module; governor system

湖北清江高坝洲水电站位于湖北省宜都市境内, 为清江梯级电站的最后一级, 上距隔河岩水电站 50 km, 下距清江与长江汇合处 12 km。是隔河岩水电站的反调节电站。河床式厂房内安装有 3 台单机容量 90 MW 的水轮发电机组。机组额定水头均为 32.5 m, 额定转速 125 r/m, 导叶接力器行程 890 mm, 桨叶接力器行程 240 mm, 是典型的高水头轴流转桨式双调机组^[1]。水轮机为东方电机股份有限公司生产的 ZZD231-LH-580 型机组, 调速器系统机调柜与电调柜分离布置, 电调柜安装于副厂房单控室, 位于发电机房, 机调柜安装于厂房水轮机层, 两柜间电缆敷设距离约 40 m^[2]。电调柜内控制器为 Modicon Premium 系列 PLC, 采用 A/B 两套热备冗余控制。调速器导叶、桨叶电液转换装置均为自复中伺服电机, 伺服系统为 Pana-

sonic MINAS A4 系列伺服驱动器及电机。

1 高坝洲电厂机组调速器系统现状

1) 伺服驱动器至伺服电机控制电缆过长, 机组长时间并网运行时经常发生控制脉冲丢失、控制指令不准确的问题。控制脉冲丢失会进一步导致调速器控制精度变差, 机组导叶、桨叶和有功功率都无法达到目标值, 难以满足华中电网两个细则中关于调节精度方面的考核要求, 在每年汛期机组连续并网运行期间, 该问题尤为突出, 严重影响到了机组的安全、稳定和高效运行。

2) 一次调频 PID 调节参数无法单独设置, 改善一次调频的响应特性和动作特性困难, 难以满足《水轮机调节系统并网运行技术导则》中 5.3.9 水轮机调节系统一次调频阶跃响应的要求。

收稿日期: 2019-11-23

作者简介: 李尹罡, 男, 工程师, 主要从事水电厂自动化控制方面的工作。

3) 电源设计存在缺陷,采用两路交流加一路直流的供电方式,但实际运行中发现交流电源易混入直流电源中,对整个厂用直流系统产生危害,并导致直流绝缘监测装置报警。

4) 作为调速器关键元器件的频率采样板故障率高,且厂家对残压测频板件及齿盘测频板件已升级,备品备件只能定制,采购周期长,成本高,品质无法保障。使用的 Modicon Premium 型 PLC 已停产,后续的备件采购困难,该款 PLC 通讯功能较差,曾多次出现通讯卡故障。调速器电调柜触摸屏备件无法购置,旧型号触摸屏已停产。长时间运行导致触摸屏老化、响应慢、死机情况严重。

2 高坝洲电厂调速系统优化改造

1) 更换机组调速器电调柜,含柜内全部电气元器件,新系统采用施耐德 Modicon M340 系列 PLC。新增调速器与监控系统 LCU 的 Modbus TCP/IP 通信功能,对调速器的信号进行双重化上送,使监控系统能够得到更加全面的调速器的信息。

2) 优化了电源设计,交、直流电源冗余供电,交流电源经过隔离变压器和整流元件后可实现与厂用直流系统物理隔离,彻底避免了交流窜入直流系统的可能。

3) 增加了试验功能,在现地触摸屏上就可以完成检修试验。导叶、桨叶的零位和满度调校。调速器导叶、桨叶控制指令跟踪试验,调速器可根据在触摸屏上输入的指令自动调整导叶和桨叶的开度至指定开度。调速器空载扰动试验也可以通过触摸屏操作来完成。

4) 优化一次调频 PID 调节参数设计结构。将空载、负载和孤网模式下的一次调频参数分别设置,以满足各种工况下的运行要求。优化测频板的配置,将残压测频和齿盘测频功能集成在一块电路板上,提高其稳定性并降低了造价。调速器 A、B 套之间实现数据共享。可进行 A、B 套齿盘测频、残压测频的数据实时比较,若其中一组采样频率与其他三组有明显差异时,程序将屏蔽本组采样频率的使用,能够使调速器频率采样更加准确和稳定。

5) 更换机组调速器机调柜柜体及伺服系统,将正在使用的松下伺服驱动器、伺服电机整体更换。因高坝洲电厂机组调速器电调柜与机调柜距离超过 40 m,为防止脉冲衰减和受到干扰,伺服系统安装了专用的金属线槽并敷设了高屏蔽电缆。伺服系统选用施耐德伺服系统,在调速器 PLC 至伺服驱动器间增加一个差分放大模块。该系列伺服系统支持超过 100 m 的长距

离运行。差分放大模块接线图 1 所示。

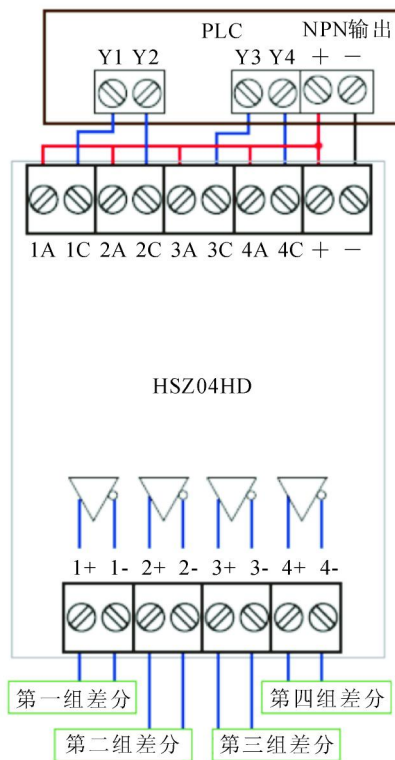


图 1 差分放大模块接线图

差分放大模块可以将 PLC 输出的 24 V 集电极开路信号转换成 RS422 标准的差分信号,提供给伺服驱动器所需的差分脉冲信号,差分信号抗干扰能力比集电极信号抗干扰能力强。可以全隔离,也可以不全隔离。该模块安装在靠近 PLC 的地方,这样可以发挥差分信号传输距离远且抗干扰能力强的优势。

3 高坝洲电厂调速器系统优化改造后的效果

高坝洲水电站调速器系统优化后采用施耐德 Modicon M340 型 PLC,该系列 PLC 与同系列大型 PLC 平台 Modicon Quantum 一样从属于 Unity 软件平台。而电站计算机监控系统采用的是 Modicon Quantum 系列 PLC。这样的配置大大方便了后期的维护和检修工作。并且电站维护人员自主完成了施耐德 Modicon M340 型 PLC 与监控系统 LCU 施耐德 Quantum 之间的 Modbus TCP/IP 通信调试,优化了机组调速器与监控系统间的信号上送的形式,在不增加电缆的情况下,丰富了上送信号的类型和数量,且可维护性更好,使监控系统能够得到更加全面的调速器信息,便于运行维护

人员的监视和控制。

优化了程序编写方式,采用参数化结构编写调速器控制流程,现场维护人员可以实时在人机界面上对空载、负载、孤网三种工况的一次调频和PID参数分别进行设置,方便现场试验和调试。在投产试验时邀请湖北电科院对调速器系统开展了建模试验和一次调频试验^[3]。试验结果显示电站调速系统各参数设置正确,一次调频功能性能良好。空载、负载、孤网各种模式下的性能均满足国家能源局《水轮机电液调节系统及装置调整试验导则》中的相关要求^[4]。

采用的差分放大模块运行稳定,性能良好,提高了脉冲信号的定位控制准确性和可靠性。3台机组调速器系统运行正常,机组频率及有功控制稳定,未出现伺服系统脉冲丢失、控制指令错误等异常状况,导叶、桨叶协联关系正确。彻底解决了调速器导叶、桨叶伺服电机控制电缆过长控制脉冲丢失的问题。

电源结构优化后调速器采用一路交流一路直流的供电方式,电源经过交直隔离,运行良好。在投产试验中对增加的试验功能进行了充分的验证,其功能满足日常维护中的试验要求。尤其是空载扰动试验,在旧

(上接第64页)

以安全、合理、经济运行为原则,水库调度、航运调度与电力调度相协调,提高梯级电站运行效益。2018年三峡成都集控中心被国调中心评为“国调直调系统先进厂站”,成为67个直调厂站唯一获此殊荣的单位。

3)优化了人员配置,提高人力资源效率。原集控模式下,为保证集控运行工作安全有效的开展,调度人员需定期到受控场站学习^[2],但因岗位人员有限,无法安排多余人员进行应急代班,导致培训受阻。在实施了新模式后,调控值班员主要从事调度运行工作,场站监控员承担梯级电站设备远方监视和控制,实现了人员专业化。且场站中控室不再冗余配置运行人员,提高了人力资源效率,起到了减员增效的效果。

4)调控值班员与电站运行人员同台值班,提高沟通效率。突破原来只依赖电话交流的限制,实现面对面的沟通协调,提高了工作效率。

5)体现了以人为本的管理理念^[3],提高了员工的幸福感。水电站大多地处偏远山区,远离城市,教育、医疗等资源相对落后,电站员工的家又多在城市。现场+城市的“两地办公”值班方式,在保证生产顺利开

的系统中做空载扰动试验需要修改控制程序,存在误改程序、机组飞逸的风险。改造后在调速器触摸屏上即可完成试验,数值一目了然,并且在程序中对目标频率进行了限制,设置超出限制的值时,系统将会报警并拒绝执行指令。提高了调速器系统的防误能力。对频率比较程序也进行了多次验证,模拟各种频率采样故障,控制程序均能够发现问题,屏蔽故障,并选择正确的频率采样通道稳定调速器控制。大大提高了调速器频率采样的准确性和稳定性。

高坝洲水电站调速系统在完成了优化后,解决了之前存在的所有问题。是一次成功的系统优化。其中伺服系统中差分放大模块的应用可以为其他同类伺服系统提供改造经验。

参考文献:

- [1]魏守平.水轮机控制工程[M].武汉:华中科技大学出版社,2005
- [2]DLT1245-2013,水轮机调节系统并网运行技术导则[S]
- [3]GB/T9652.2-2007,水轮机控制系统试验[S]
- [4]DLT496-2016,水轮机电液调节系统及装置调整试验导则[S]

展的同时,较好的解决了员工的生活后顾之忧,让更多的员工也能享受到城市资源与便利,提高了员工的幸福感,也增强了的员工对企业的忠诚度。

4 结 语

三峡成都集控于2017年1月开始推行“两地办公”值班方式,截至2019年12月,共成功处置水库应急事件6起、电力突发事件26起。集控运行模式下“两地办公”值班方式,是长江电力对原集控管理模式的进一步深化,该模式扩大了对溪洛渡-向家坝梯级电站监控范围,提高了设备管理水平,优化了人力资源配置,满足厂站部分人员“两地办公”的需求,提升了员工的幸福感。

参考文献:

- [1]何尧玺.“调控一体化”在溪洛渡-向家坝梯级电站的应用[J].水电与新能源,2015(10):35-39
- [2]乔延坤.流域集控中心运行值班模式探讨[J].红河水,2019,38(4):65-67
- [3]鲁俊兵.流域集控模式下大型水电站生产管理模式的创新与实践[J].水力发电,2011,37(4):88-89

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.019

葛洲坝电站自补偿轴向端面密封安装调整工艺优化探讨

何强锋, 陈媛, 何佳

(中国长江电力股份有限公司, 湖北宜昌 443002)

摘要: 针对葛洲坝电站自补偿轴向端面密封结构形式、质量标准、安装方法, 分析其主轴螺栓保护罩、抗磨环、浮动环、密封圈安装和盘车法测端跳计算方法的合理性, 探索主轴密封安装调整工艺优化的具体措施, 经在葛洲坝 18F 机组主轴密封的安装调整中实际运用, 取得了满意效果。

关键词: 葛洲坝电站; 自补偿轴向端面密封; 主轴密封; 盘车法测端跳; 安装调整

中图分类号: TV734 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)09-0068-04

Installation and Adjustment Process Optimization of the Self-compensating Axial End Seal in Gezhouba Hydropower Station

HE Qiangfeng, CHEN Yuan, HE Jia

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

Abstract: Considering the structural form, quality standard and installation method of the self-compensating axial end seal in Gezhouba Hydropower Station, the installation and adjustment process of the main shaft seal is optimized. The installation processes of the main shaft bolt protection cover, anti-wear ring, floating ring and sealing ring are analyzed. The calculation method for the end jump measurement by turning gear method is discussed. Practical application of the proposed optimization scheme in the main shaft seal of the unit 18F in Gezhouba Hydropower Station demonstrates its satisfactory effect.

Key words: Gezhouba Hydropower Station; self-compensating axial end seal; main shaft seal; end jump measurement by turning gear method; installation and adjustment

葛洲坝电站利用改造增容的机会, 实现了对 19 台机组主轴密封的改造更新, 将原来的双层平板密封改造为新型的自补偿轴向端面密封^[1], 取得了满意的运行效果^[2]。但是在安装过程中, 由于个别工艺未控制好, 额外增加护罩打磨的工序, 增大计算误差, 增大抗磨环、密封环安装的难度, 造成浮动环翘曲变形, 导致主轴密封安装工期延长。本工艺经过葛洲坝 18F 主轴密封安装调整的实践, 极大地提高了主轴密封安装的效率。下面介绍主轴密封安装工艺优化的具体步骤。

1 安装工艺优化

1.1 原因分析

葛洲坝主轴密封结构图如图 1 所示, 主要由主轴

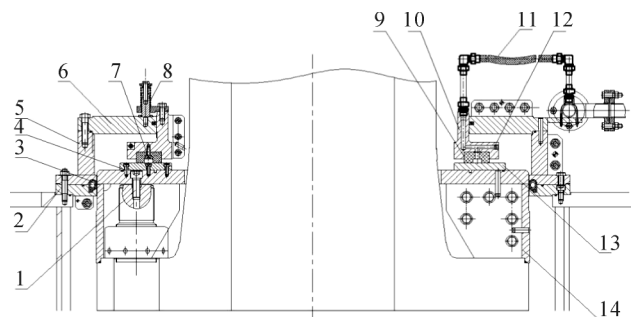
螺栓保护罩(以下简称护罩)、检修密封座、水箱、支撑环、浮动环、密封圈、抗磨环组成。护罩安装于轴上, 通过螺栓固定在联轴螺栓上, 抗磨环安装于护罩上。密封圈安装于浮动环上, 工作时泵入清洁水, 在密封圈与抗磨环之间形成 0.05 ~ 0.08 mm 的水膜, 阻隔江水^[3]。

葛洲坝主轴密封实际安装过程中, 要求抗磨环无错牙, 绝对挑动 ≥ 0.05 mm, 密封圈与抗磨环间无间隙, 但常常因护罩安装质量差, 造成抗磨环错牙严重, 波浪度差, 抗磨环高低点相差达 0.50 mm, 往往增加打磨护罩这个不必要的工艺环节; 浮动环翘曲变形, 导致密封圈错牙严重, 和抗磨环间隙达到 0.50 mm 以上。

因此, 护罩、浮动环、抗磨环、密封圈的安装工艺优化是主轴密封安装工艺优化的重点。

收稿日期: 2020-04-23

作者简介: 何强锋, 男, 工程师, 主要从事水轮发电机组检修方面的工作。



1. 保护罩把和螺栓 2. 检修密封座 3. 空气围带 4. 抗磨环把和螺栓 5. 水箱 6. 支撑环 7. 密封圈把和螺栓 8. 调节弹簧 9. 密封圈 10. 浮动环 11. 进水软管 12. 通水孔 13. 抗磨环 14. 主轴螺栓保护罩

图1 葛洲坝主轴密封结构图

1.2 护罩安装工艺优化

1) 在实际安装过程中发现,护罩组合面错牙、翘曲变形,止口高点、焊渣,以及连轴螺栓止动挡块都能影响护罩的水平。护罩组合面错牙、翘曲变形无法通过调整护罩和连轴螺栓把合螺栓的紧度纠正,并且在调整抗磨板波浪度时,加垫厚度大于 0.50 mm ,易造成浑水从抗磨环和护罩的缝隙中进入水箱,使工作密封漏水量加大。若打磨安装面,空间狭小,工作量大,耗时耗力。另外护罩安装止口高点、焊渣,连轴螺栓止动挡块焊接位置影响护罩是否安装到位,从而影响护罩水平。所以护罩安装时,要保证组合缝无错牙,止口无高点焊渣,挡块位置焊接正确。

2) 连轴螺栓保护罩安装就位后,通过合像水平仪检查抗磨板安装面的水平,通过调整保护罩与连轴螺栓的固定螺栓的紧度将水平调整到 0.30 mm/m 以内。在多台机的安装过程中发现,保护罩的水平度不超过 0.30 mm/m ,抗磨板实际加垫厚度也不会超过 0.30 mm/m ,并且 0.30 mm 以内的加垫量易于调整,对工作密封的漏水量无影响。

1.3 抗磨板加垫工艺优化

1) 加垫铜皮剪成 $50\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 尺寸,组合缝处缩小成 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$,四个角剪成圆角,防止铜皮尖角卷起,减小误差。该尺寸的铜皮,在垫高测点时还不会影响周围三个点。

2) 在加垫过程中,需要多次拆装抗磨板,要注意保护抗磨板工作面,每次安装前清扫抗磨板安装面及护罩上的渣滓。

3) 每瓣抗磨板固定螺栓紧固时应从中间向两边紧固,并保证每颗固定螺栓的紧度一致,避免抗磨板引起翘曲变形。

1.4 浮动环、密封圈安装工艺优化

1) 浮动环为两瓣组合,每个组合缝通过3颗螺栓把紧,2颗销钉定位,如图2所示。在实际安装过程中,错误的组合螺栓的紧固顺序使浮动环的翘曲变形,增加密封圈和抗磨环的间隙,增大密封圈波浪度的调整难度。通过现场安装实践,将浮动环落在调整好后的抗磨环上组圆,能有效消除组合缝错牙问题。螺栓紧固时应按照先中间,再上、下的顺序进行紧固,能有效解决浮动环翘曲变形的问题。

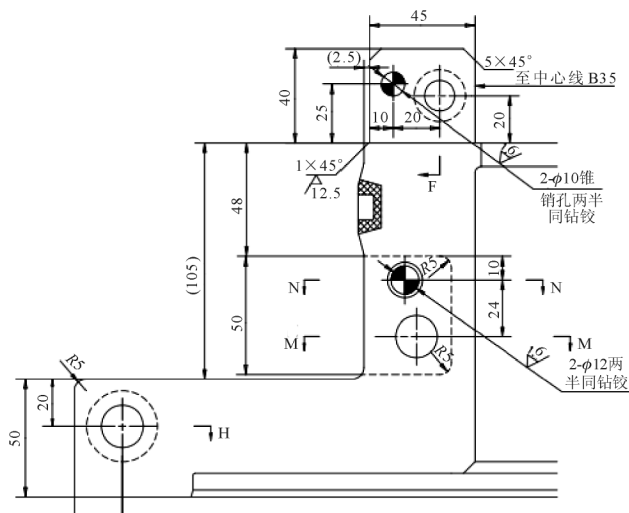


图2 浮动环组合缝图

2) 密封圈加垫之前,测量每块密封块的厚度,保证每块密封块的厚度相差 $\leq 0.1\text{ mm}$,并处理密封块的高点、毛刺。

3) 将安装好密封圈的浮动环单独落在抗磨环上,使用塞尺测量密封圈和浮动环的间隙,标记好间隙的大小和长度。为避免间隙延伸,一般加垫的长度小于实际长度 $1 \sim 2\text{ cm}$,厚度小于实际厚度 $0.02 \sim 0.03\text{ mm}$ 。

4) 密封圈加垫合格后还需转动多个角度测量间隙,同时检测抗磨板、密封块的波浪度是否符合要求。

2 盘车法测端跳计算方法优化

通过葛洲坝19台机组主轴密封改造工艺的不断实践和总结,传统的卡耶里方法^[4]已不再使用,使用盘车法测量^[5]抗磨环端跳并调整抗磨环波浪度已成为葛洲坝机组检修过程中的一项重要工序和工艺。

2.1 前期准备

在抗磨环工作面内外侧各划分 n 个测点,盘车时用百分表测量抗磨环内、外各测点处读数。在抗磨环

工作面内外侧划分测点时,分别在抗磨板固定螺栓内外侧,2颗螺栓之间内外侧,抗磨板组合缝内外侧划线,如图3所示,这样划线快速准确,同时测点分布合理,也为后续加垫调整打下基础。抗磨环盘车测端跳法图解见图4。

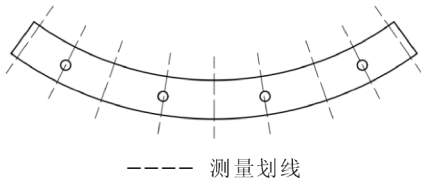


图3 测量端跳划线示意图

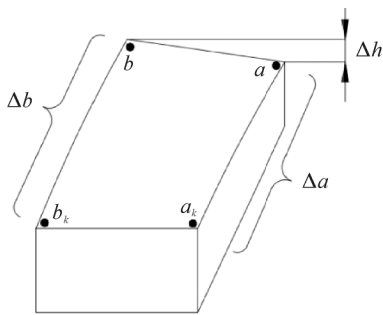


图4 抗磨环盘车测端跳法图解

2.2 计算方法

设内侧百分表读数为 $a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_n$, 外侧百分表读数为 $b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_n$, 其中 $k = 1, 2, 3, \dots, n^{[2]}$ 。

选取基准点,为减小计算误差,一般将测量基准点选在 $+X, +Y, -X, -Y$ 四个方向中一个方向上,并且规定抗磨环的外侧高为正。

设内侧读数为 a , 外侧读数为 b , 基准点处推力头的水平度为 w , 抗磨环的水平度为 v , 抗磨环宽度为 L , 可得:

$$\text{抗磨环的净水平度: } \Delta v = v - w;$$

$$\text{基准点的内外高差: } \Delta h = \Delta v * L;$$

$$\text{抗磨环内圈测点 } a_k \text{ 相对于基准点 } a \text{ 的高差: } \Delta a = a_k - a;$$

$$\text{抗磨环外圈测点 } b_k \text{ 相对于基准点 } b \text{ 的高差: } \Delta b = b_k - b;$$

$$\text{抗磨环外圈测点 } b_k \text{ 相对于基准点 } a \text{ 的高差: } \Delta b' = \Delta b + \Delta h。$$

通过计算,得出所有内外圈测点相对于基准点 a 的高差,为后续抗磨板的加垫调整提供了依据。从计算方法中可以看出,若 $\Delta h, \Delta a, \Delta b$ 这三个值越趋近于零,则抗磨环的波浪度就越好。

同时为提高计算的效率,提前利用 Excel 将计算方法表格化,将端跳结果图表化。

3 实际安装举例

通过以上安装工艺的控制,葛洲坝 18F 自补偿轴向端面密封抗磨环在 2016 ~ 2017 年度安装调整过程中实现了一次调平成功。

通过护罩工艺控制,将最高点和最低点的高差控制在 0.25 mm 以内(见图 5)。

通过抗磨环加垫工艺控制,将低点垫高,最厚加垫仅为 0.20 mm,改善抗磨环的波浪度,无需打磨护罩,省时省力(见表 1)。

抗磨环仅通过一次加垫,将波浪度控制在 0.06 mm 以内(见图 6)。

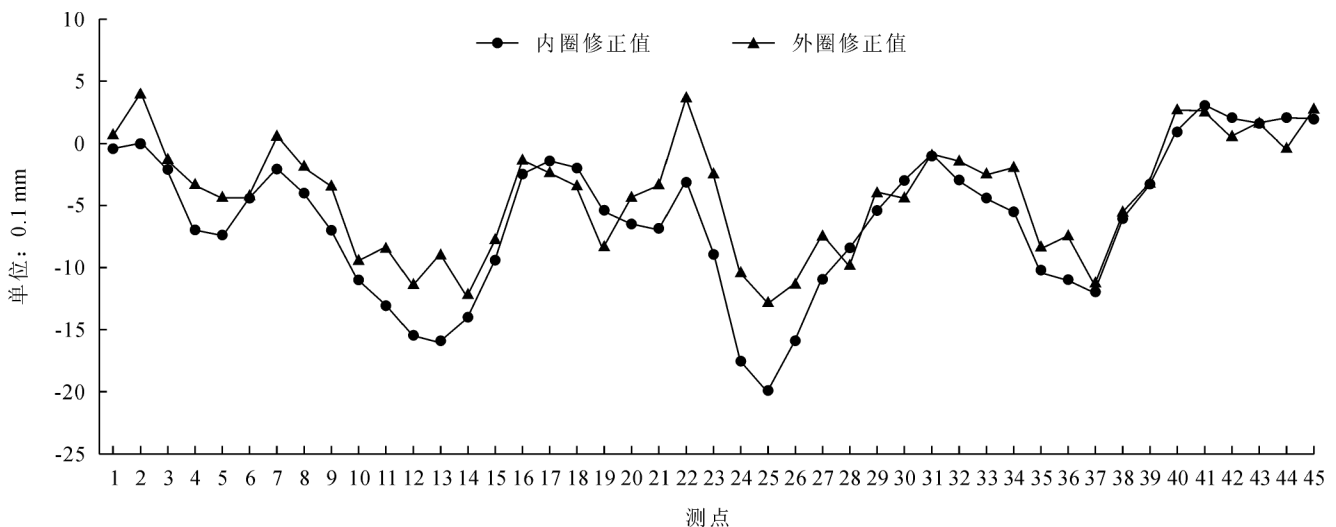


图5 葛洲坝 18F 内外测点高差值图

表1 葛洲坝18F内外测点实际加垫记录表

0.1 mm

测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
内圈实际加垫	0	0	3	8	10	5	5	5	8	12	15	15	15	15	10
外圈实际加垫	0	0	3	5	5	5	0	5	5	10	10	10	10	12	10
测点	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
内圈实际加垫	5	3	3	6	8	8	5	10	20	20	17	12	10	8	5
外圈实际加垫	2	3	5	10	5	5	0	3	10	15	12	9	10	5	5
测点	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
内圈实际加垫	2	0	5	8	15	15	15	7	5	0	0	0	0	0	0
外圈实际加垫	2	0	5	3	10	10	12	5	5	0	0	0	0	0	0

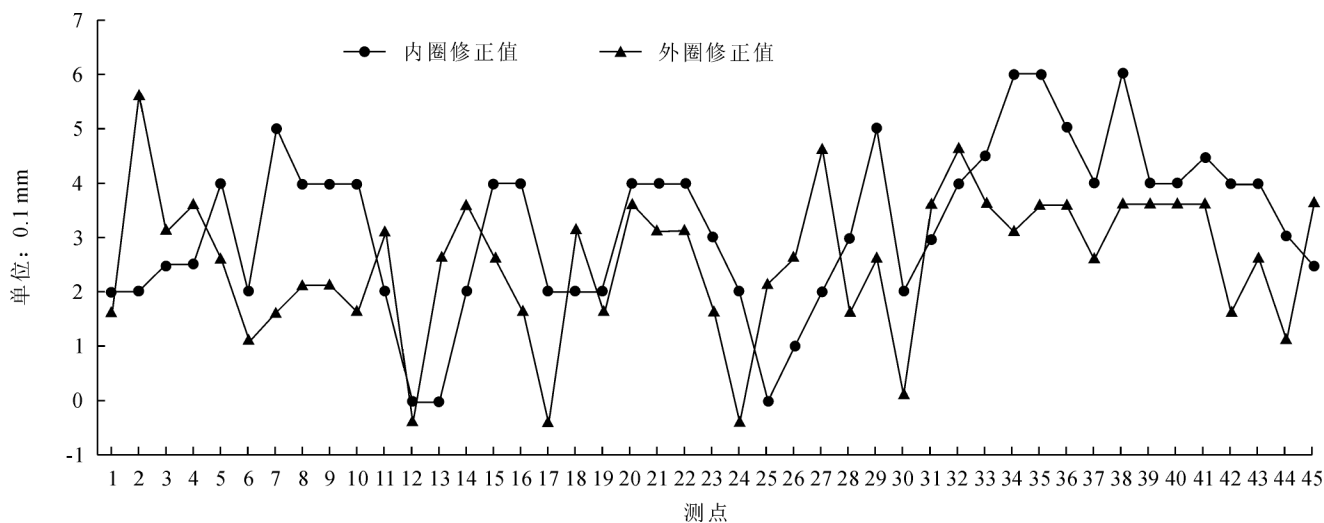


图6 葛洲坝18F主轴密封抗磨环调整后波浪度图

4 结语

本文详细介绍了葛洲坝自补偿性轴向端面密封安装调整的优化工艺,希望对同类型的主轴密封的安装调整起到一定的指导性作用,少走弯路,提高效益。

参考文献:

- [1]曹成高,陶吉全,谭鳌. 葛洲坝电站机组新型主轴密封结构优化[J]. 水电与新能源, 2016(5): 37-38
- [2]秦岩平,陶吉全,马明. 葛洲坝电站水轮机主轴密封改造

- 及运行情况分析[J]. 水电与新能源, 2015(1): 66-68
- [3]叶文波,万乾钰,黄奎,等. 葛洲坝电站主轴密封水平和间隙调整[J]. 水电自动化与大坝监测, 2018, 4(3): 47-50, 110
- [4]牟官华. 应用卡耶里(CAYERE)方法测量联接法兰面水平[J]. 水电站机电技术, 2006, 29(3): 5-7
- [5]罗前林,刘腾彬,陶吉全,等. 水轮机主轴密封抗磨环水平调整方法浅析[J]. 水电站机电技术, 2018, 41(1): 28-30

欢 迎 投 稿 欢 迎 订 阅

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.020

水布垭电厂控制系统智能化建设

瞿森森,张念,邢丹

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

摘要:根据水布垭电厂在华中电网中的重要作用,分析目前电厂内部二次控制系统的弊端,提出了智能化建设的目标,从数据库及系统功能分区、人机界面语音、智能报警、智能报表、系统资源管控、趋势分析以及数据转发等八个方面探索了二次系统智能化建设的主要实现方式及办法。

关键词:趋势分析;自动对点;数据转发;智能报表

中图分类号:TV736

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)09-0072-02

Intelligence Construction of Control System in Shuibuya Hydropower Plant

QU Sensen, ZHANG Nian, XING Dan

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

Abstract: Considering the important role of Shuibuya Hydropower Plant in Central China Power Grid, the disadvantages of the current secondary control system adopted in the power plant are analyzed. Then, an intelligence construction scheme of the control system is suggested, including the database, function partition, user interface voice, intelligent alarm, intelligent report, system resources control, trend analysis and data forwarding.

Key words: trend analysis; automatic point linking; data forwarding; intelligent report

水布垭电厂地处湖北省巴东县境内,主体工程由大坝、发电厂房、左岸溢洪道和右岸放空洞等组成。大坝为混凝土面板堆石坝,最大坝高 233 m,为目前世界同类坝型之最。电站为引水式地下厂房,安装 4 台 46 万 kW 水轮发电机组,总装机 184 万 kW,设计年发电 39.84 亿 kW·h,是清江干流上最大的梯级电站,电站调节性能好,在系统中承担调峰任务,是湖北省乃至华中电网不可多得的多年调节电站,是华中电网骨干调峰调频电站。

水布垭水库正常蓄水位 400 m,总库容 45.8 亿 m³,预留防洪库容 5 亿 m³,和下游隔河岩水库预留防洪库容联合调度,可大大提高荆江河段的防洪标准。水布垭电厂与下游清江梯级电厂联合运行,可增加隔河岩、高坝洲发电量 2.4 亿 kW·h;与三峡、葛洲坝电站联合调度,相互补偿运行,经济效益显著。

1 目前控制系统存在的弊端

水布垭电厂主要设备为 2007 年投入运行,投运初期受制国内水电系统智能化程度还不够,厂内设备的

自动化运行控制还比较粗放。控制系统只能完成基本控制功能,对设备的运行状况无法预判,对设备运行次数无法自动统计,很多基础数据的统计依赖于人工的抄表、记录、计算。设备正常动作、设备异常动作情况高度依赖于值班人员的工作经验、技术水平以及工作责任心。由于水布垭水电站在电网中的重要作用及水能利用特点所决定,机组每天开停机频繁,经常处于热备用状态,每天增减负荷多次,机组频繁穿越振动区。这就要求机组能在多种工况、宽广的负荷变化范围内稳定运行,最大限度地满足电网调度要求。设备的安全可靠是这一切的前提。目前的控制系统已经不能够满足日益严格的控制要求了。具体体现在这几个方面:

1) 报文繁多,尤其是多台机组同时启停时,简报窗口各种报警信息刷屏,不利于工作人员及时发现异常告警并作出响应;

2) 系统各节点功能定义不明确,且人机界面执行响应迟钝,系统资源占用率较高,当大量简报刷屏时,系统易发生卡顿导致漏报事件,严重影响着电厂安

收稿日期:2020-05-11

作者简介:瞿森森,男,工程师,主要从事水电厂自动化方面的工作。

全可靠运行;

3)系统无自身资源可视化监视画面,无法监视自身业务进程执行情况,当系统负载太高时无主动告警,无法提请运维人员及时干越;

4)系统统计报表功能不完善,设备运行情况,统计分析报告依赖工作人员手动查询抄录后人工计算分析;

5)系统缺少趋势分析功能,不能把握设备运行状况,设备检修计划较为粗放。

2 智能化建设的目的

本项目旨在大数据的理念下完成电厂控制系统的智能化建设。依托先进的算法、先进的系统架构、借助可靠的传感器及自动化执行元器件实现水电厂设备的智能化监视、控制,为生产决策提供数据支撑,进一步完善水电厂“无人值班,少人值守”的理念。推动设备检修方式由“计划检修”走向“状态检修”。

3 控制系统智能化的主要实现方式

针对目前系统存在的主要问题,提出了一些智能化的实现方向,具体如下。

1)分布式数据库、系统层面的功能分区。目前电厂监控系统采用分布式数据库,数据库软件运行在系统各节点上,一套数据库全部节点通用,通过系统层面的功能分区实现实时数据采集、历史数据存储、设备趋势分析功能分布在不同节点上,避免了单一设备故障导致整个系统不可用。同时因功能的分散,各工作节点的负载率较低,系统流畅度很高。实现了全图形显示响应时间不大于1s;在已显示的画面上实时数据刷新时间从数据库刷新后算起响应时间不大于1s;操作员发出执行命令到控制单元回答显示的响应时间不超过1s;报警或事件产生到画面字符显示和发出音响的响应时间不超过1s。在任何工况下,服务器CPU负载率不超过50%^[1]。

2)采用Java设计通用友好的人机界面、实现人机界面跨系统平台通用。按照通用、个性化的要求,设计人机界面框架,各功能应用通过组件方式集成,从而保证不同用户的个性化定制。界面风格和功能菜单都可以自由定制,不同的用户使用各自的自定义界面。

画面提供数据显示、字符串变化、动态颜色、动态闪烁、动态大小、动态位移、动态物体、动画、动态旋转等丰富的展示手段及功能。

3)智能报警,能智能统计分析设备运行规律,将规律用于前端告警,实现“异常动作时告警,正常动作时静默”。结合简报自定义过滤功能,可避免前台大

量信息刷屏。前期由人工录入相关设备的启动时间、运行间隔,当设备动作情况在设定的区间范围以内时,前端告警窗口对运行信号不告警,后台正常记录动作情况便于统计分析。当设备动作间隔变短或者变长、单次运行时间过短或者过长,则前台发相应的告警信号,提醒运维人员做出响应。当后期积累到一定量的数据后通过自身统计设备运行规律,提醒运维人员修改设备运行情况^[2]。

4)高度自定义报表功能,用户只需做好报表模板便可一键生成相关设备统计报表,节省人力。

以往运维人员需要查询抄录大量的数据,并将这些数据手工录入成电子表格后再按需要做成各类报表。实施过程中存在分辨率设置不合理导致数据精度不够、数据密度大导致人眼查看时错行或错列、数据量大导致数据录入耗时。本项目中,用户可以先借助excel或者wps等表格工具完成报告、报表模板的设计工作,在监控系统中通过动态链接将数据源链接至报表后即可实现一键查询生成报表。操作便捷无错误,人员可将更多精力投入数据分析中去,创造更多价值。

5)系统资源管控的智能化、图形化。以直观的图形界面显示当前设备的负载率、业务进程的执行情况。可一键生成资源的自诊断报告,便于运维人员分析。

因工控系统多采用Linux及UNIX操作系统,系统管理及进程监视多采用命令行方式,而运行值守人员对Linux及UNIX操作系统不熟悉,这就造成了人员对系统资源占用及业务进程的运行情况不能准确的把控。本项目通过界面监视和管理后台进程及系统资源。主要功能包括:①节点资源信息监视和预警;②节点系统进程信息的监视;③应用进程信息的监视;④数据库重载和进程启停;⑤节点异常报警和生自诊断报告;⑥平台一键生成诊断功能;⑦应用进程列表配置。

6)基于104规约的二次开发,实现与上级调度的自动对点功能。厂站层与集控层通讯点有近万个,以往均为人工对点。因设备不能完全停运,对点过程中不时有设备动作信号,两边对点人员要多次确认信号名称。而且因为信号数量多,中间如果出现一个错漏就会导致整个对点工作失败需要重新开始,极为不便。在本次智能化工作中,通过对104通讯程序的二次开发,实现了一键将本地通讯点表传送至集控侧。

7)趋势分析功能,能智能分析设备运行状态,给出设备检修建议,为生产决策提供数据支撑。以往由于监控系统主要负责电厂设备的安全实时监控,并不具备完善的生产数据分析和预测功能,无法及时发现设备异常状况或潜在危险,不能真正做到对重大危险

(下转第78页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.09.021

浅析小断面隧洞开挖单价的编制要点

万佳俊

(中国三峡建设管理有限公司,四川成都 610000)

摘要:在乌东德水电站工程建设中,有着诸多小断面的灌浆、交通、通风散烟隧洞,但其洞挖单价常常成为争议的焦点。以大坝标段新增的一条断面4.5 m×5.2 m的施工支洞为例,分析研究了该类隧洞石方开挖预算单价编制时应予以充分考虑的主要影响因素,并探讨了这些影响因素对应的计价参数选取和计算,同时给出了在不同项目阶段进行洞挖单价组价时的一些合理建议。

关键词:乌东德水电站;小断面隧洞;洞挖单价编制要点

中图分类号:TV554

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)09-0074-05

Key Points of the Unit Price Preparation for Small Section Tunnel Excavation

WAN Jiajun

(China Three Gorges Construction Management Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

Abstract: In the construction of Wudongde Hydropower Station, a number of small section tunnels are needed for grouting, transportation, ventilation or smoke dispersion. While the unit price of the tunnel excavation work is often a focus of dispute. Taking a construction branch tunnel with the section of 4.5 m×5.2 m as an example, the major factors affecting the unit price preparation are analyzed and the corresponding pricing parameters are determined. Then, some rational suggestions are made for the unit price preparation of tunnel excavation.

Key words: Wudongde Hydropower Station; small section tunnel; key points of unit price preparation for tunnel excavation

乌东德水电站是金沙江下游4个水电梯级中的最上游梯级,电站以发电为主,兼顾防洪,总装机容量10 200 MW。工程为I等大(1)型工程,枢纽工程主体建筑物由挡水建筑物、泄水建筑物、引水发电建筑物等组成,其中大坝为混凝土双曲拱坝。大坝工程在招标阶段共布置4条洞径为9 m×7 m和1条洞径为4.5 m×5.2 m的施工支洞。施工过程中,随着勘察手段不断完善及设计认识的深入,在充分考虑现场施工条件的情况下,参建各方对施工通道进行了重新规划,共增加了10条洞径为4.5 m×5.2 m和1条洞径为7 m×6 m的施工支洞。10条洞径为4.5 m×5.2 m的施工支洞长度在160~320 m,点多面小量也小,单位开挖成本增大,承发包双方均认为同型隧洞洞挖投标价不适用于新增的同型施工支洞,而洞挖新单价编制过程中各项参数的选取和计算成为了双方争议的焦点。

查阅文献发现,国内针对隧洞石方开挖施工技术

的研究较多,但对隧洞石方开挖单价编制的研究较少。王例珊^[1]对概(估)算编制阶段水利工程隧洞石方开挖单价中存在的漏摊超挖量、施工附加量及“第三方爆破服务费”不规范等问题进行了分析研究,并提出了解决建议;孟江红、陈端^[2]等以某水利工程发电引水隧洞为例分析了平洞石方开挖概算单价的编制要点;易德军^[3]对中小断面长隧洞造价预算编制提出了应注意出渣工序及一次支护二次衬砌作业中通风排烟费用的摊销、隧洞回车道开挖费用的摊销等问题;《水电工程造价指南(第三版)-专业卷》(简称《指南》)中对影响隧洞石方开挖单价的各项因素的定义、单价编制步骤及应注意的问题有比较详细的叙述,并给出了概算单价编制算例^[4]。此类研究多偏向于理论和概(估)算,对预算单价的编制有一定的指导,但工程造价最终要落地到预(结)算单价上,在投标和工程施工阶段,如何考虑这些影响因素并将其数值化后计入单价,才是基层造价人员应考虑的首要问题。

收稿日期:2020-04-22

作者简介:万佳俊,男,工程师,经济师,主要从事水电工程合同及造价管理方面的工作。

洞挖费用在隧洞工程总费用中占比可达30%~70%,在很大程度上影响着隧洞工程项目的经济效益,这在以洞挖为主的小断面隧洞工程项目上尤为之甚。因此,洞挖项目的准确定价至关重要,造价人员在编制隧洞洞挖单价时除应仔细研究施工方案外,还应充分考虑影响单价的各项主要因素。这里以乌东德大坝工程新增右岸L2号施工支洞(简称L2号支洞)为例,分析不同阶段影响隧洞洞挖单价的主要因素及其对应的计价参数的选取和计算。

1 工程案例

L2号支洞设置于白沟上游侧边坡,为右岸进水口侧边坡顶部及高位边坡施工通道,断面为城门洞型,设计净断面尺寸为4.5 m×5.2 m(宽×高),轴线长319.29 m,底板纵坡为15.18%,支护方式为挂网喷混凝土、锚杆、钢拱架,不进行二衬。为满足后续运行中错车需求,全洞共设置2个错车道耳洞。

设计开挖工程量为7 434.44 m³,洞段开挖及支护类型有Ⅲ类及Ⅳ类两种,全洞全断面独头爆破开挖,周边轮廓采用光面爆破,不另设开挖支洞。主要采用YT-28气腿钻造孔,配ZL30装载机装和15 t柴油型自卸汽车出渣。在隧道口布置2台FBD-No6./2×18.5轴流风机,接Φ0.6 m风筒进行压入式正压通风。

2 单价编制要点

岩石级别、开挖断面面积、通风机定额调整系数及弃渣综合运距^[2]对洞室石方开挖单价的影响在其他文章中已有结论,在此不再赘述。除此之外,开挖类别、超挖量及施工附加量也是洞挖单价编制时应予以充分考虑的重要因素。本文在应用已有成果的同时,讨论这些影响因素对应的计价参数的选取和计算过程。

2.1 岩石级别

岩石级别在施工资源投入量上反映了岩石破碎的难易程度,其每提高一档,单价提高14%~18%^[2],是影响石方开挖单价的主要因素之一。水电工程项目中,岩石级别一般依据《指南》中岩石分级表所列相关标准予以判定,主要取决于岩石类别、天然湿度时的平均容重、凿岩机或人工单人打眼净钻时间及岩石强度系数四方面因素。在投标报价阶段,岩石类别、岩石天然湿度时的平均容重可根据招标文件中的主要岩体(石)物理力学参数建议值表直接取得,而岩石强度系数亦可根据该表中所列岩石强度值换算得出,此三值即可满足该阶段确定洞挖岩石级别的需要。

乌东德水电站坝区洞室开挖岩石主要为石灰岩、白云岩及大理岩,天然湿度时的平均容重为26.8~27.4 kN/m³,YT-28气腿钻配30 mm合金钻头打眼净钻时间为10.37 m/min,岩石强度系数约为10~14.28,在岩石分级表中属Ⅹ类。

2.2 开挖类别

开挖类别即石方开挖项目划分,用于定额章节的选取。L2号支洞底板纵坡为15.18%,洞轴线与水平夹角约为9°,根据《水电建筑工程预算定额》(2004年版)(以下简称《04水电预算定额》)的石方工程项目划分标准,属斜洞石方开挖。

2.3 开挖断面

小断面隧洞主要用作辅助交通、灌排廊道、通风散烟通道等,设计上一般不要求进行二衬,隧洞开挖断面面积考虑设计净断面加上不同围岩类别边顶拱喷混凝土所占面积即可。在投标报价阶段,开挖断面尺寸可根据招标图册所示典型断面确定,而围岩类别及相应洞段长度可查阅招标文件中的“围岩分类表”,若无该表,则需通过招标文件中的工程地质资料进行推定。在施工阶段,上述断面尺寸、围岩类别及相应洞段长度等数据资料更为准确,也更易获得,单价编制时按实测资料进行开挖断面的计算为宜。

应用《04水电预算定额》编制洞挖单价时,Ⅳ~Ⅴ类围岩洞段的人、材、机定额需按“围岩类别开挖定额调整系数表”的系数进行调整,组价按“先分后合”的方式进行,即先按不同围岩类别计算出各自单价,再以不同类别围岩所占隧洞长度(或设计开挖量)比例为权重计算出综合单价^[5]。

L2号支洞洞型为城门洞型,设计成洞断面尺寸为4.5 m×5.2 m(宽×高),成洞断面面积为22.79 m²。根据施工图示,L2号支洞0+15~0+54桩号部分按Ⅳ类围岩开挖,喷10 cm厚混凝土,开挖断面尺寸为4.7 m×5.55 m,开挖断面面积为24.19 m²,其余按Ⅲ类围岩开挖,喷混凝土厚度为5 cm,开挖断面尺寸为4.6 m×5.5 m,开挖断面面积为23.49 m²。考虑到Ⅳ类洞段占比较小,经承发包双方造价人员协商后,为简便计算,本例不考虑“围岩类别开挖定额调整系数”对单价和总价的影响,组价采用了“先合后总”的方式,即先以不同类别围岩所占隧洞长度比例为权重,计算出综合开挖断面面积,再在相应定额中用插入法计算出该综合断面面积所对应人、材、机耗量,进而计算出项目综合单价。L2号支洞的综合开挖断面为23.58 m²。

经核算,本例按前述“先分后合”和“先合后总”两种方式计算出的综合单价相差约0.5%,对洞挖总价

影响甚微。

2.4 超挖量

石方开挖因施工工艺的局限、火攻产品特性及岩石性状差异使其具有一定的不规则性,隧洞开挖施工中即使采用光面爆破或预裂爆破等先进技术,实际成型断面也不可能与设计断面完全一致,而国内诸多现行施工规范为保证设计开挖断面,均按不同开挖类别规定了一定范围的允许超挖量,同时又均不允许欠挖,比如《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(DL/T5099-2011)之6.1.4条规定:地下建筑物开挖不宜欠挖,平均径向超挖值,平洞应不大于20 cm,缓斜井、斜井、竖井应不大于25 cm。在招标阶段,若招标文件没有明确径向允许超挖值,造价人员可根据类似工程数据分析确定,而在施工阶段进行工程变更需要组价时,可根据实测数据确定。

大坝标招标文件及后续的详细设计文件均未对洞挖的允许超挖值有所限定,L2号支洞施工过程中亦未对超挖量进行测定,考虑到此类小断面隧洞开挖难度较大,成本较高,在单价编制时其允许超挖值取规范允许的最大值20 cm。0+15~0+54桩号部分按Ⅳ类围岩开挖,每延米允许超挖量为 2.87 m^3 ,其余按Ⅲ类围岩开挖,每延米允许超挖量为 2.84 m^3 ,综合计算得L2号支洞的允许超挖量为 907.95 m^3 ,超挖百分率(允许超挖量与设计开挖工程量的比值)为12.21%。

超挖不可避免,且产生超挖的原因是多方面的,但无论什么原因,其都是在施工过程中按设计开挖断面进行开挖时产生的多余工程量,计入渣料清运工程量是肯定的,但超挖量是否应计入开挖工程量中需视单价编制所处阶段或采取的投标报价策略而定,如若在投标报价阶段,投标人可根据采取的投标报价策略及对总价的影响均衡考虑是否将超挖量计入开挖工程量;若是在施工过程中进行的工程项目变更,承包人为争取最大利益,报价时会将超挖量计入开挖工程量,但发包人在审核过程中,会认为超挖与承包人的技术及管理相关,有全部或部分否定承包人将超挖量计入开挖工程量的可能。L2号支洞属于工程变更项目,发包人在考虑超挖量时就采取了“计运不计挖”的处理方式。

2.5 施工附加量

L2号洞洞挖工程的施工附加量主要是为满足后期运行需要而设置的2个错车道耳洞的开挖量,每个错车道均采用单边部分扩大断面尺寸的方式设置,有效长度为20 m,两端过渡段长3.5 m,扩挖后有效长度段设计断面尺寸为 $8.0 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$,顶拱及边墙喷混凝土

厚度均为16 cm。施工方案中,错车道段开挖断面尺寸为 $8.32 \text{ m} \times 6.68 \text{ m}$,开挖断面面积为 49.45 m^2 。错车道两端过渡段顶拱为不规则扭面,施工附加量以扩挖后断面计算的开挖工程量减去错车道长度范围内 $4.5 \text{ m} \times 5.2 \text{ m}$ 断面的开挖工程量,再扣除过渡段范围内底部三菱柱及上部扭面体体积,计算结果为 1241.44 m^3 ,施工附加量调整系数(施工附加量与设计开挖工程量的比值)为1.17。

超挖量和施工附加量因隧洞类别及形式而异,小断面隧洞超挖量和施工附加量占比大,在编制单价时应给予足够重视,而大断面隧洞的超挖量和施工附加量相对较小,是否需要考虑施工附加量尤其是超挖量对单价的影响应视投标报价策略或实际施工情况而定。

2.6 通风散烟

L2号支洞全洞独头开挖,因其断面小,钻爆等作业产生的大量有害气体和粉尘因隧洞内空气流通不畅难以通过自然通风散逸,需机械通风散烟。同时,为达到施工现场环境保护及职业健康安全要求,通风机械需保证一定的开启频率和运行时长,以保持空气流通。因此,通风运行费用是洞挖单价中不可或缺的组成部分。

由于L2号支洞施工组织设计中对通风散烟方案描述过于简单,无法根据施工组织设计计算通风散烟费用,且整个隧洞施工过程中没有进行相关定额测定,承包人报价也没有使用或提供相应的施工定额,该费用亦无法通过定额法计算。因此,L2号支洞通风散烟费用主要通过定额系数调整法和类似工程估算法两种方法计算出近似结果并进行相互印证后商定。

2.6.1 定额系数调整法^[6-8]

使用《04水电预算定额》无法测算通风散烟运行费用,这里“定额”指的是水利部水总[2002]116号文发布的《水利建筑工程预算定额》(以下简称《02水利预算定额》)。在该定额中,洞挖石方定额中的通风机械台时量系按一个工作面长度400 m拟定,超过400 m,则根据《02水利预算定额》中的《通风系数表》用插入法进行计算。L2号支洞通风机械台时定额首先通过《02水利预算定额》中相应定额子目中的设备选型及耗量内插计算得出,再乘以相应斜井石方开挖调整系数0.9和通风系数1.00,计算得通风运行费用为 $1014.37 \text{ 元}/100 \text{ m}^3$,占直接工程费的6.43%,见表1。

2.6.2 类似工程估算法

该法是类似工程预算法的延伸应用,旨在利用技

表1 L2号支洞洞挖直接费

序号	名称及规格	合价 /(元·(100 m ³) ⁻¹)	占比/%
	直接费	15 777.19	100.00
(一)	基本直接费	15 047.39	95.37
1	人工费	4 729.75	29.98
	高级熟练工 Δ	373.46	2.37
	熟练工 Δ	1 098.54	6.96
	半熟练工 Δ	1 608.13	10.19
	* 普工 Δ	1 649.62	10.46
2	材料费	2 981.61	18.90
	合金钻头 Δ	327.00	2.07
	风钻钻杆 Δ	36.27	0.23
	炸药 Δ	1 528.17	9.69
	非电毫秒雷管 Δ	709.03	4.49
	导爆管 Δ	207.64	1.32
	其他材料费 Δ	153.34	0.97
	* 零星材料费	20.16	0.13
3	机械使用费	7 336.03	46.50
	风钻气腿式 Δ	2 403.26	15.23
	风钻手持式 Δ	188.09	1.19
	修钎设备 Δ	169.42	1.07
	载重汽车 5 t Δ	121.60	0.77
	* ZL30 装载机 1.5 m ³ Δ	661.43	4.19
	* 柴油型自卸汽车 15 t Δ	2 702.82	17.13
	轴流通风机 37 kW	1 014.37	6.43
	* 其他机械使用费 Δ	75.04	0.48
(二)	其他直接费	729.80	4.63

注:*超挖量采用“计运不计挖”原则,计算时定额量乘以超挖调整系数1.12;Δ施工附加量计入单价时定额量乘以施工附加量调整系数1.17。

术条件与对象工程相类似的已完工程或在建工程的工程造价资料确定通风机械台时定额量或通风散烟费用占比。调整系数可根据洞径大小、通风机械功率、工作面长度等条件因素之间的差异综合计算。

经统计,乌东德水电站各工程标段中与L2号支洞开挖断面、通风机械功率相同且长度相当的隧洞共有5条,洞挖单价中的通风费用占直接工程费的占比为6%~10%。其中,与L2号支洞长度最为接近的地厂右灌浆洞1号支洞(洞长336 m)开挖单价中的通风费用占直接费的比率为6.44%。

两种方法得出的结果相差无几,在没有更好的计算方法的情况下,这是让承发包双方都能接受的结果。从结果看,也许两种方法实为一种,因为不排除地厂右灌浆洞1号支洞开挖单价中的通风费用也是使用定额系数调整法计算的。

2.7 弃渣综合运距

一个隧洞工程项目可能有多个开挖断面或多个弃

渣场,或兼而有之,但无论有多少开挖断面和弃渣场,弃渣综合运距的确定最终都要归集到弃渣洞内、外运距上。计算洞挖弃渣综合运距方法已很成熟,一般流程为先计算各开挖段洞内、外运距,然后计算各开挖段工程量比例,最后分别将洞内、外运距乘以对应的各开挖段工程量比例后再加总,即可得出所需的洞内、洞外弃渣综合运距,相关算例可参考《水电工程造价指南(第二版)-专业卷》石方开挖相应内容。

在投标报价阶段,投标人应注意将招标文件中有关洞外运输路线、路况、运距等相关内容与现场踏勘情况进行对照分析,以便造价编制人员准确计算洞内、洞外弃渣综合运距及路况调整系数。

L2号支洞长度较短,开挖断面积较小,均为全洞独头开挖,不另设开挖支洞,弃渣也均运至鲑鱼河渣场,洞内、外弃渣综合运距计算较为简单:

洞内综合运距:319.29/2=159.64 m,取160 m;
洞外综合运距:11 km。

《04水电预算定额》中的汽车运输定额,不适用于大于10 km的运输,但考虑到总开挖量较小,且洞内、外弃渣综合运距超出定额运距造成的差价对单价及总价影响不大,L2号支洞洞挖单价编制时仍采用该定额。路况调整系数参照《04水电预算定额》中的算例计算得1.00。

3 L2号支洞洞挖单价的编制

L2号支洞为大坝标变更新增项目,单价编制除通风机械台时定额选用《02水利预算定额》相应子目计算得出外,其余均选用《04水电预算定额》中“斜洞石方开挖(风钻钻孔)”章节,并根据开挖断面面积23.58 m²在对应的定额子目20 835和20 846中内插计算所需人、材、机定额,采用投标基础价格,在确定前述要点的结果或数值条件下进行L2号支洞洞挖单价的编制,这里仅以单价中的直接费示意计算过程及结果,见表1。

4 结语

1)在投标报价阶段,造价人员应首先估算小断面隧洞在整个招标项目中的费用占比,若对整体报价不具有实质性影响,则应考虑到小断面隧洞以洞挖为主要施工项目,洞挖费用在其整洞的施工费用中占比较大,洞挖单价应以报合理高价为投标报价策略。前述各项价格影响因素对洞挖单价及总价都有较为明显的影响,洞挖单价计算时各参数的选取和计算须考虑得更全面一些,尤其不能遗漏超挖量、施工附加量和通风散烟费用等。而大断面隧洞工程以洞挖、支护及衬砌为主要施工项目,洞挖费用占比相对较小,在计算洞

挖单价时可根据投标策略或经验对部分影响洞挖单价的主要因素及其对应的计价参数的选取和计算进行简化、取舍。

2) 洞挖单价计算若处在施工过程中或施工完成后的变更处理阶段,发承包双方造价人员则应尽量以揭露的地层地质条件和工程施工中得到的数据为计算基础,并充分进行沟通和协商。

3) 因 L2 号支洞施工组织设计中通风散烟方案描述过于简单,只能在洞挖单价中以估算的轴流通风机 37 kW 的运行费用囊括 L2 号施工支洞整个施工期的全部通风费用。虽明显不合理,但别无他法,这就要求施工方案编制时应进行通风散烟的专项设计,至少应说明通风机运行方式和运行时长。再者,通风贯穿于整个隧洞施工期,不宜将通风费用全部推到洞挖单价中,建议将通风费用单独计列为一项措施费用计算。

5 应注意的问题

1) 经审批的施工方案中的开挖断面(4.7 m × 5.55 m)比理论开挖断面(4.7 m × 5.3 m)更大,而洞挖单价的计算断面以实际开挖断面(4.7 m × 5.55 m)为准,因此,实际单价较理论值是有所降低的。设计开挖工程量并没有调整,仅计算的允许超挖量有所增大,在一定程度上推高了超挖百分率,也提高了其挖运成本,但经复核发现超挖百分率的增大对单价的影响有限,对冲抵增加的挖运成本意义不大,这从另一侧面反映出承包人需更严格的控制超挖。

2) 案例中未考虑错车道段扩挖部分的超挖量差额,是因为错车道段开挖断面面积更大,单价应更低,

(上接第 73 页)

源的可控与在控。本项目出于生产中对水电站运行监视与事故分析的实际需要,采取对这些生产数据进行整合、挖掘和综合的分析。从而方便、快捷、有效的把握设备运行状况,提高设备维修水平,促进安全生产,提高设备管理工作,为优化检修方式、降低维修费用提供了准确可靠的数据^[3]。

8) 数据转发功能。因电厂内部小控制系统较多,采用的控制器及 PLC 种类及厂家也很多。各厂家设备之间因通讯协议及规约不同,设备之间直接互取数据难度较大。本项目利用各设备均与监控系统上位机有通讯,数据在上位机转码后再转发至其余系统,大大的简化了现场控制系统的通讯程序,程序运行变得更加紧凑高效。同时因数据通过上位机转发,现场也省去了很多通讯转换模件,降低了系统成本也提高了小系统间彼此通讯的可靠性。

但实际并未单独考虑该段单价,因此以错车道段扩挖部分超挖量差额冲抵该段价差。

3) 通风机械台时定额直接参考《02 水利预算定额》,与《04 水电预算定额》是否匹配,是否需要换算有待商榷。

4) 案例变更所处阶段为施工完成后,发承包双方在前述计价参数的选取和计算上有着各自的主动权,部分参数的选取和计算是双方造价人员协商和博弈的结果,如前述“先分后总”计算方式的确定。

参考文献:

- [1] 王例珊. 编制水利工程隧洞石方开挖单价存在的问题和建议[J]. 水利科技, 2016(1): 60-61
- [2] 孟江红, 陈端, 王敏. 某水利工程平洞石方开挖单价编制要点及实例分析[J]. 水利水电工程设计, 2018, 37(2): 23-24
- [3] 易德军, 中小断面长隧洞造价预算应注意的几个问题[J]. 农业科技与信息, 2018(12): 111-112
- [4] 水电水利规划设计总院可再生能源定额站. 水电工程造价指南: 专业卷[M]. 3 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2016
- [5] 水电水利规划设计总院, 中国电力企业联合会水电建设定额站. 水电建筑工程预算定额[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005
- [6] 水利部水利建设经济定额站. 水利建筑工程预算定额[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002
- [7] 刘万江, 齐界夷. 乌东德左岸地下电站引水隧洞施工通风散烟关键技术分析[J]. 水电与新能源, 2016(7): 65-68
- [8] 魏杰, 侯月. 水电工程长隧洞开挖造价问题的探讨[J]. 辽宁地质, 1998(4): 294-296

4 结语

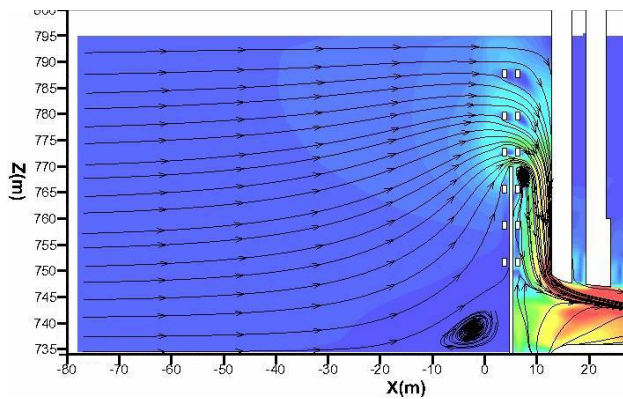
目前完成智能建设的监控系统运行较为高效,改善了电厂上网电能质量,2 年来在华中电网并网运行考核和辅助服务补偿结算均为正收益。但是受制于基础数据的不足,以及现场智能化监测探头配置不足,趋势分析功能对设备运行状况判断还不够准确。往后厂内将分步实施逐步完善控制现场智能化元器件的加装及改造替换。

参考文献:

- [1] 张毅, 王德宽, 文正国. 巨型机组水电厂计算机监控系统及关键技术[J]. 水电与抽水蓄能, 2018, 4(4): 7-12
- [2] 陶珏辉, 王胜凯, 胡鸣东. 报警平台在智能水电厂中的应用[J]. 东北水利水电, 2017, 35(5): 67-68
- [3] 王德宽, 王桂平, 文正国, 等. 水电厂计算机监控技术回顾与展望[J]. 水电站机电技术, 2019, 42(3): 1-4

长江科学院水力学研究所研究业绩

水力学研究所研究成果丰硕，业绩显著。先后承担了三峡、葛洲坝、南水北调、马来西亚沐若、伊江上游水电项目等近百个国内外大中型水利工程试验研究，承担完成了“七五”~“十三五”国家科技攻关及支撑项目、部委行业公益性项目等二十余项，其中国家自然科学基金项目20余项。曾荣获国家、省部级科技进步奖20余项，其中国家科技进步特等奖1项、一等奖1项、二等奖4项，省部级科技进步特等奖1项、一等奖9项、二等奖7项。主编和参编出版了专著近20部，主持和修编了行业规程规范近20部，获国家发明专利8项、实用新型专利14项，发表SCI、EI及ISTP三大检索文章近百篇。与美国、日本、澳大利亚、埃及、以色列等多个国家的高等院校签订了科技合作协议并进行了合作与学术交流。



图/白鹤滩水电站电站进口叠梁门分层取水数值模拟流场分布



图/大藤峡水利枢纽船闸模型



图/大型堰塞坝溃决试验



图/兴隆船闸



图/三峡水利枢纽整体模型



图/大渡河长河坝水电站1#、3#泄洪洞单体模型

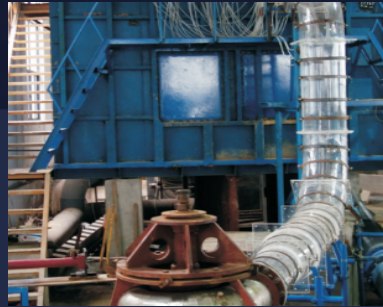


图/向家坝水电站冲沙孔闸门水力学模型

长江科学院水力学研究所研究业绩



005工程水工模型试验



乌东德电站进水口分层取水模型试验



梨园溢洪道水工模型试验



旭龙水电站水工模型试验



三峡深孔泄洪原型观测



向家坝泄洪原型观测



溪洛渡泄洪原型观测



丹江口泄洪原型观测