



湖北省优秀期刊

《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊

《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊

万方数据——数字化期刊群入网期刊

《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊

维普网全文收录期刊

ISSN 1671-3354

水电与新能源

HYDROPOWER AND NEW ENERGY

水电与新能源

2020年第2期(第34卷)



溪洛渡水电站

ISSN 1671-3354



9 771671 335203

02

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

2

2020
第34卷

水电与新能源

月刊

2020年第2期

第34卷(总第188期)

2020年2月28日出版

1987年9月创刊

2010年1月更名

顾问 (以姓氏笔画为序)

刘经南 许崇育(挪威)

陆佑楣 张超然 钮新强

编辑委员会

主任委员 常晓林 李磊

副主任委员 黄介生 张海星 张博庭

柳建乔

委员 (以姓氏笔画为序)

王小毛 王义峰 王绍良 方创新

卢文波 付明 任大春 刘运志

刘建平 关杰林 李文伟 李冰

李志祥 李翀 李智 李磊

杨广杰 杨柏华 何金平 汪在芹

张志猛 张海星 张维平 张博庭

陆忠民 陈启卷 陈晓明 余敦先

郑斌 周伟 周友斌 周宜红

周建中 赵英林 胡伟 柳建乔

袁建伟 郭光文 郭棉明 涂长庚

涂圣勤 宾洪祥 黄介生 黄国兵

常晓林 蔡义钧 颜绍富

编辑部

主编 夏军

常务副主编 赵英林

技术总监 王绍良

执行副主编 徐云修

副主编 陈启卷 李文伟 周伟

办公室主任 刘卫民

办公室副主任 江晖

联络部主任 程汉兰

责任编辑 于华东

编辑 刘雪琴 于华东 江晖

英文翻译 程勇刚

视角设计 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

目次

□高端论坛□

双江口水电站特高心墙堆石坝建设关键技术研究 李鹏(1)

马鹿塘水电站二期工程蓄水初期混凝土面板堆石坝监测

..... 刘伟,覃珊珊(10)

浅谈海上风电浅覆盖层地质孤石解决方案

..... 王爱国,黄俊,邓柏松(15)

水库消落区生态保护与治理方案研究

..... 江进辉,杨荣华,王凯(20)

□科学研究□

福建兴化湾海上风电场勘察难点和问题探讨 ... 周兴政,朱泓(23)

浅谈湖北省洪水风险图管理应用系统及集成

..... 廖明,林江武,程雪(28)

小型水电站生命周期碳足迹研究

..... 邹一雄,刘羽(31)

水电工程中环境友好型泄洪消能建筑物研究

..... 潘洪月,李华,宛良朋,王坤,王英奎(36)

深远海海上风电导管架基础安装技术与实践探索

..... 兰世平,周通,贾小刚(39)

基于多场耦合模型的堆石坝面板温度应力分析

..... 肖曲飞,程勇刚,周伟,田文祥,王桥(43)

一种安全校正策略的优化模型

..... 洪雯,沈青,鲁爱斌,郑雪(49)

□建设与管理□

水电项目监理服务费计价模式的研究与实践

..... 蒋理,陈亮,王雷,翁锐(55)

浅谈大型水电站继电保护信息管理系统设计及运用

..... 胡嵩嵩,杨涛,黄泰山(59)

浅谈枕头坝水电站运行值班风险分析及其对策

..... 安义民(62)

两种不同基础的漂浮式风机载荷对比分析

..... 陈明亮,吴俊辉,徐洋洋,赖晶晶(65)

大型水电工程施工监理规划补充“三定”方案探讨

..... 徐志晶(72)

简述智能液体配重在胶带机中的应用

..... 杨志明,邓兵,谢选承(76)

HYDROPOWER AND NEW ENERGY

February 2020 Number 2

Contents

Research on Key Techniques for the Construction of Ultra-high Core Wall Rockfill Dam in Shuangjiangkou Hydropower Station	<i>LI Peng</i> (1)
Monitoring of the Concrete Face Rockfill Dam during the Early Impoundment Period in Malutang Hydropower Station Phase II Project	<i>LIU Wei, QIN Shanshan</i> (10)
Treatment of Isolated Boulders in Shallow Overburden Foundation of Offshore Wind Power Projects	<i>WANG Aiguo, HUANG Jun, DENG Baisong</i> (15)
Ecological Protection and Management Scheme for Reservoir Water Level Fluctuation Zone	<i>JIANG Jinhui, YANG Ronghua, WANG Kai</i> (20)
On the Geological Investigation of Fujian Xinghuawan Offshore Wind Farm	<i>ZHOU Xingzheng, ZHU Hong</i> (23)
Flood Risk Map Management and Application System and its Integration	<i>LIAO Ming, LIN Jiangwu, CHENG Xue</i> (28)
Life Cycle Carbon Footprint of Small Hydropower Stations	<i>ZOU Yixiong, LIU Yu</i> (31)
Environment Friendly Flood Discharge and Energy Dissipation Structures in Hydropower Projects	<i>PAN Hongyue, LI Hua, WAN Liangpeng, WANG Kun, WANG Yingkui</i> (36)
Exploration and Practice of the Jacket Foundation Installation Technology for Far-reaching Offshore Wind Power Projects	<i>LAN Shiping, ZHOU Tong, JIA Xiaogang</i> (39)
Thermal Stress Analysis of the Face Slab of a Concrete Face Rockfill Dam based on Multi-field Coupling Model	<i>XIAO Qufei, CEHNG Yonggang, ZHOU Wei, TIAN Wenxiang, WANG Qiao</i> (43)
An Optimization Model of Power Grid Security Correction Strategy	<i>HONG Wen, SHEN Qing, LU Aibin, ZHENG Xue</i> (49)
Study and Practice of the Pricing Mode of Supervision Service Fee in Hydropower Projects	<i>JIANG Li, CHEN Liang, WANG Lei, WENG Rui</i> (55)
Design and Application of the Relay Protection Information Management System in a Large-scale Hydropower Station	<i>HU Songsong, YANG Tao, HUANG Taishan</i> (59)
Analysis and Countermeasures of the Operation Duty Risks in Zhentouba Hydropower Station	<i>AN Yimin</i> (62)
Comparative Analysis of Loads of Two Types of Floating Wind Turbines with Different Foundations	<i>CHEN Mingliang, WU Junhui, XU Yangyang, LAI Jingjing</i> (65)
Supplemental Personnel, Post and Responsibility Fixing Scheme for Supervision Planning in Large-scale Hydropower Projects	<i>XU Zhijing</i> (72)
Application of Intelligent Liquid Counterweight in Belt Conveyor	<i>YANG Zhiming, DENG Bing, XIE Xuancheng</i> (76)

Editor: Editorial Office of Hydropower and New Energy

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

Post Code: 430072

Chief Editor: XIA Jun

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.001

双江口水电站特高心墙堆石坝建设关键技术研究

李鹏

(国电大渡河流域水电开发有限公司,四川成都 610041)

摘要:双江口水电站300 m级心墙堆石坝是世界在建的第一高坝,在可研阶段开展了坝基覆盖层及筑坝材料特性、防渗土料改性、坝体结构型式及分区方案、抗震安全评价及抗震措施、智能大坝管控系统等一系列关键技术研究,取得了丰富的研究成果。而随着工程建设的推进和技术的不断发展,还需在河床覆盖层建基条件、坝体结构分区及坝料特性、特高土石坝长期变形特性、高海拔冬季土料冻融规律及大坝防渗土料施工措施、特高坝安全监测等方面的关键技术进行深入研究,以保证工程的科学建设。

关键词:双江口水电站;大坝建设;关键技术;综述

中图分类号:TV554

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)02-0001-09

Research on Key Techniques for the Construction of Ultra-high Core Wall Rockfill Dam in Shuangjiangkou Hydropower Station

LI Peng

(China Guodian Dadu River Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: The 300 m level core wall rockfill dam in Shuangjiangkou Hydropower Station is the highest dam under construction in the world. In the feasibility study stage of the project, a series of researches have been carried out on the key construction techniques of such ultra-high dam, including the characteristics of the dam foundation overburden layer and dam construction materials, the modification of impervious soil materials, the dam structure type and zoning scheme, the seismic safety evaluation and resistance measures, and the intelligent dam management and control system. With the advancement of the project construction process and the continuous development of the engineering technology, further study on other key techniques is necessary to ensure a scientific construction of the project, including the foundation conditions of the riverbed overburden layer, the structural zoning and material characteristics of the dam, the long-term deformation characteristics of ultra-high embankment dam, the freezing-thawing characteristics of soil materials in winter and high altitude areas, the construction technique of impervious soil materials, and the safety monitoring of ultra-high dam.

Key words: Shuangjiangkou Hydropower Station; dam construction; key techniques; overview

心墙堆石坝具有地基适用性良好、能就地取材和充分利用建筑物开挖料、造价较低及抗震性能好等优点,在水利水电工程建设历程中占有重要地位,已成为世界各国广泛采用的坝型。双江口水电站采用砾石土心墙堆石坝,最大坝高312 m,已超过世界已建最高的大坝——塔吉克斯坦的努列克心墙堆石坝(坝高300 m),以及我国已建的最高心墙堆石坝——糯扎渡

大坝(坝高261.5 m),不仅是我国西南高山峡谷地区、深厚覆盖层河道上修建的特高坝工程,也是世界已建在建的第一高坝。

双江口水电站地处高海拔、高寒地区,工程区地形地质条件复杂,坝体高度大,在施工期面临坝体及坝基变形稳定、防渗排水、防震抗震等技术问题,国内外也较为缺乏300 m级心墙堆石坝的工程经验,双江口水

收稿日期:2019-12-18

作者简介:李鹏,男,高级工程师,主要从事水电工程建设技术和管理方面的工作。

电站特高心墙堆石坝工程建设面临的技术问题复杂,技术难度较大。

在水电站建设可研阶段,开展了长期科技攻关工作,这些工作为双江口水电站特高心墙堆石坝建设奠定了坚实的技术基础。本文重点介绍300 m级高土石坝关键技术研究成果,并对施工期需要深化研究的关键技术进行了分析。

1 工程概况及地质条件

双江口水电站是大渡河干流上游控制性水库,位于四川省阿坝州马尔康县、金川县境内大渡河上游足木足河、绰斯甲河汇口以下约2 km河段。电站设计装机容量200万kW,多年平均发电量77亿kW·h,具有年调节能力。电站枢纽工程由拦河大坝、引水发电系统、泄洪建筑物等组成。拦河大坝采用碎石土心墙堆石坝,最大坝高312 m,坝顶长度699 m,坝体填筑总量约4400万 m^3 。

双江口库坝工程区位于青藏高原中部地震亚区巴颜喀拉山地震带的东南方向,地震基本烈度为Ⅶ度。坝址区出露地层岩性主要为燕山期钾长花岗岩和二云二长花岗岩,无区域性断裂切割,构造变形微弱,水库封闭条件好。坝址区两岸山体雄厚,河谷深切,谷坡陡峻,除右岸F1断层规模相对较大外,主要由一系列低序次、低级别的小断层、挤压破碎带和节理裂隙结构面组成。河床覆盖层一般厚48~57 m,最大厚度达76 m,具多层结构,上、下部为漂卵砾石或含漂卵砾石层,中部为砂卵砾石层。

2 大坝结构布置及分区方案

双江口水电站砾石土心墙堆石坝采用直心墙型式,坝顶高程2510.00 m,河床部位心墙底高程

2198.00 m。坝基设2 m厚混凝土基座,横河向宽46.10 m,顺河向宽128.00 m,基座内设置基岩帷幕灌浆廊道(3.0 m×3.5 m)。坝顶宽度为16 m,上游坝坡为1:2.0,2430.00 m高程处设5 m宽的马道;下游坝坡1:1.90,坝坡上设置上坝公路。

左岸坝肩心墙均置于弱卸荷岩体内,右岸坝肩心墙基础局部强卸荷未挖除,大坝与两岸坝肩接触部位的岸坡表面设垂直厚度0.5 m的混凝土盖板,心墙与盖板连接处铺设水平厚度3.00 m的粘性土,以协调心墙变形。为提高心墙与岸坡接触部位的渗透稳定性,在心墙标准断面的基础上,左右岸坝肩部位向上下游方向局部加宽,左右坝肩底部上下游各增加12 m宽,顶部上下游各增加2 m宽,加宽宽度沿高度方向从底部至心墙顶2508.00 m高程按三角形递减。

为保护心墙土料,心墙两侧设置了I、II两层反滤层,上游两层反滤层水平厚度各4 m,下游两层反滤层水平厚度各6 m,上、下游坡均为1:0.2。上、下游反滤层II与坝体堆石之间粒径相差较大,在其间设置过渡层,以加强变形协调,保护反滤层。过渡层顶高程2494.00 m,顶宽10 m,上、下游坡度均为1:0.3。为防止帷幕局部失效引起下游坝基漂卵砾石和含泥砂卵砾石层发生渗透破坏,在心墙后的覆盖层坝基与过渡层和堆石料之间设置一层2 m厚的水平反滤排水层。

在坝顶2440.00 m高程以上(约占坝高的1/5),上下游坝坡采用坝面混凝土框格梁+坝内钢筋进行加固,加筋层距3 m,间距1 m,钢筋深入坝面水平深度为30 m。为提高大坝的抗震稳定性,在上、下游堆石体坝脚之上增加压重。下游压重区顶高程2330.00 m,顶宽90 m。上游压重区与上游围堰连为一体,顶高程为2330.00 m,顶宽190 m,坡度为1:2.2。坝体典型断面见图1。

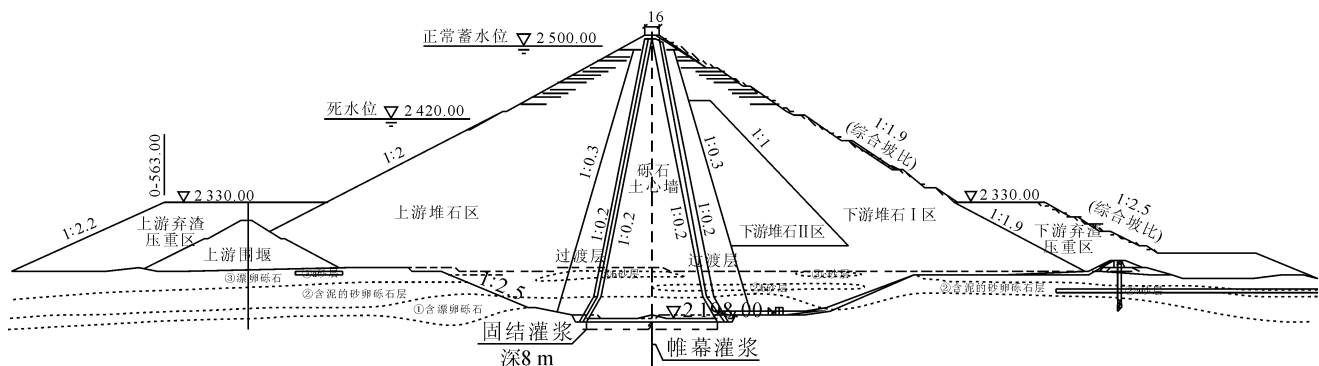


图1 双江口大坝坝体典型断面图

3 已开展的 300 m 级高土石坝关键技术研究

双江口水电站是世界上在建的第一高坝,施工技术难度大,为安全、有效、经济地建设双江口特高心墙堆石坝,在水电站建设可研阶段,围绕 300 m 级高土石坝关键技术开展了一系列专题研究和科技攻关。

3.1 坝基覆盖层及筑坝材料特性研究

对于深厚河床覆盖层特性的试验研究,主要难点有:①覆盖层成因复杂、层次多、软硬相间,同时具有架空层、相变大、透水性强等特征,直接测定深厚覆盖层的天然状态指标非常困难。②对深厚覆盖层进行钻探,覆盖层的原状样很难取得,采用重型动力触探试验和旁压试验等方法间接反映土层的物理状态是一个相对可行的方法,但如何建立触探和旁压试验指标与土层密度、级配之间的相关关系,是需要研究的问题。③由于深厚覆盖层的密度和级配难确定,使得其强度、变形等力学参数也难以确定。如果能够通过动探和旁压等试验间接确定密度和级配,则可以通过室内备样试验测试其力学特性。

针对上述问题,可研阶段首先通过现场试验和室内试验确定深厚覆盖层的密度、级配,然后在此基础上确定覆盖层的各项设计参数,具体研究方法为:①根据

河床覆盖层的分层,在现场对表部和中浅部覆盖层进行大型载荷、渗透变形、动探击数和旁压模量等力学试验,并根据覆盖层的物理性指标,取样在室内进行相应的土力学系列试验。②对于较深部和深部的覆盖层,根据室内模型试验研究覆盖层料的动探击数、旁压模量与上覆压力、密度和级配的关系,比较现场与室内模型动探和旁压试验成果,推断河床覆盖层深层的物理指标。③根据较深部和深部覆盖层的物理性质指标,进行室内力学性试验,提出了河床覆盖层的设计参数。

根据本工程覆盖层的基本地质条件,各层物理力学参数选取的总原则是以现场和室内试验成果为依据,结合已建工程经验进行工程地质类比分析综合确定。按照有关规程、规范的规定,本工程各层覆盖层的物理性质参数以试验的算术平均值作为标准值;渗透系数以现场抽、注水试验的大值~大值平均值作为标准值;允许坡降采用现场管涌试验的临界坡降除以安全系数(1.5~2)作为标准值;抗剪强度 ϕ 值采用现场大剪试验并参照室内直剪试验的指标,以试验平均值或乘以 0.8~0.85 作为标准值;允许承载力和变形模量以现场载荷试验指标为基本值参照钻孔动力触探和标贯试验成果给出标准值;稳定坡比根据工程地质类比给定。部分坝址覆盖层物理力学指标建议值如表 1 所示。

表 1 坝址覆盖层物理力学指标建议值表

名称	天然密度 ρ /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	干密度 ρ_d /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	允许承载力 $[R]$ /MPa	变形模量 E_0 /MPa	抗剪强度		渗透系数 K /($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	允许渗透坡降 J
					$\phi/^\circ$	c/MPa		
漂卵砾石 (alQ ₄)	2.18~2.29	2.14~2.22	0.5~0.6	50~55	30~32	0	$4.5 \times 10^{-2} \sim$ 8.6×10^{-2} (局部 4.5×10^{-1})	0.10~0.15 (局部 0.07)
砂卵砾石 (alQ ₄)	2.1~2.2	2.0~2.1	0.4~0.45	30~35	26~28	0	$5.0 \times 10^{-3} \sim$ 3.0×10^{-2}	0.17~0.22
中细砂层 透镜体	1.7~1.9	1.6~1.8	0.15~0.25	15~25	18~23	0	$2.0 \times 10^{-3} \sim$ 5.0×10^{-3}	0.25~0.3
漂(块)卵砾石 (alQ ₄ +plQ ₄)	2.14~2.22	2.10~2.18	0.45~0.55	45~50	29~31	0	$5.0 \times 10^{-2} \sim$ 2.0×10^{-1}	0.10~0.12 (局部 0.07)
块碎石 (colQ ₄)	1.85~2.0	1.80~1.95	0.40~0.45	35~40	28~30	0	$1.2 \times 10^{-1} \sim$ 7.0×10^{-1}	0.10~0.12 (局部 0.07)

3.2 防渗土料改性研究

双江口特高心墙堆石坝对防渗土料的要求很高,除满足防渗性能外,还需有较好的力学性能。本工程土料场土料级配偏细,难适应高坝变形,且难满足高坝强度稳定要求。类似高坝工程的经验表明,对于粗粒含量偏低的土料需要掺合砾(碎石)料进行级配调整改性,在保证掺合土料的防渗、抗渗性能满足设计要求的前提下,能改善防渗土料的力学指标及抗变形能力。因此,先在室内进行大量系列掺比研究,选出既满足防渗又满足强度和变形要求的掺比;继而按此进行力学试验研究,并开展了大型现场碾压试验,对掺合工艺及掺合参数进行了研究;再采用碾压体原状样在现场进行了大型渗透、强度和变形试验研究,为防渗料的设计和数值分析提供重要的依据。

经过对心墙防渗料的掺合方案(75%:25%、65%:35%、55%:45%)及掺合料特性试验研究,并结合现场碾压试验对掺合工艺、掺合参数以及掺合料特性的分析,可研阶段当卡料场土料推荐掺合比例(干重量比)为粘土:花岗岩破碎料=50%:50%。室内及现场碾压试验研究成果表明,当卡料场上部粘土与花岗岩破碎料掺合后具有较好的力学性质,掺砾对强度的提高非常明显,掺砾料工程特性能满足防渗土料的设计要求。同时,为提高掺砾料质量保证率,技施阶段采用的掺合比例(干重量比)为粘土:花岗岩破碎料=55%:45%。当卡掺砾料级配曲线见图2。

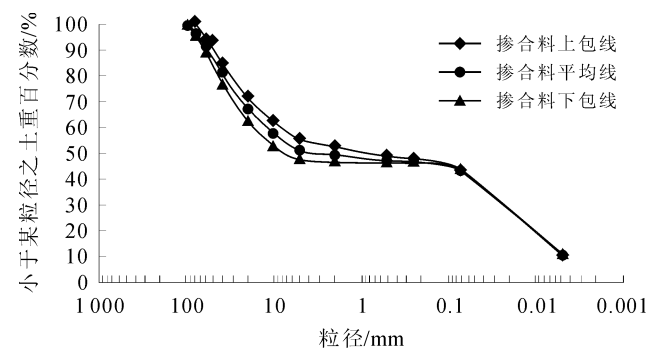


图2 当卡掺砾料级配曲线图

(当卡土料:花岗岩破碎料=50%:50%)

3.3 坝体结构型式及分区方案比选

1)对直心墙坝方案心墙底部设置防渗墙和心墙底部全部挖出覆盖层两种情况。从工程经验、关键技术、坝坡稳定性、渗流特性、应力变形特性及施工组织等方面综合比较,为稳妥起见,不设置防渗墙,将心墙底部覆盖层全部挖出的方案。

2)直心墙方案、斜心墙方案和弧形心墙方案三个心墙结构布置方案在地形地质条件的适宜性、枢纽建筑物布置条件、施工特性和施工条件等方面基本没有大的差异,均有在同规模的大坝中采用的设计和建设经验。渗流、坝坡稳定、坝体坝基的静力与动力计算等分析表明,三个方案均符合心墙堆石坝的一般规律,各量值相差不大,防渗心墙仍有较大的安全裕度。由于三个方案的基础处理范围、坝体填筑工程量等方面的差异,导致三个方案的投资略有差异,直心墙方案投资最省。综合比较,各方案总体差异不大,直心墙方案略优,推荐采用直心墙堆石坝方案。

3)采用5套计算参数,对不同的坝体填筑技术指标对坝体应力和变形特性的影响开展了研究,其计算结果见表2。坝体二维及三维静力有限元应力变形分析表明,从坝体位移、堆石体应力以及心墙应力角度来分析,双江口心墙坝直心墙方案的坝体材料和分区设计是合理的。

4)现场试验表明,上游河口石料场的砂岩料相对飞水岩石料场的花岗岩料强度较低,且砂岩料湿化以及流变特性相对花岗岩料稍差,湿化变形以及流变变形稍大。为进一步研究坝体上游堆石区材料分区对坝体应力及变形的影响,进一步研究优化堆石分区的可能性,对上游堆石区进行了三种方案比选,并进行了数值分析研究。坝体二维及三维静力有限元应力变形分析成果(见表3)表明,坝体材料和分区设计从应力和位移的角度看是合理的,大坝上游堆石区在上部是否采用花岗岩料对于大坝的应力及变形影响极小。

3.4 坝体及坝基变形与稳定研究

1)粘性土抗裂机理研究。在双江口高心墙堆石坝常规静力三维有限元计算的基础上,在可能的开裂区域布置无单元结点并适当加密,应用粘性土张拉裂缝模拟计算的无单元法,针对筑坝材料不同的流变和湿化参数组合开展了坝体发生横向张拉裂缝可能性的三维数值分析。考虑粘性土抗裂机理的大坝数值分析表明,在坝体岸坡顶部发生的坝体横向张拉裂缝主要由坝体后期变形所致的坝顶不均匀沉降所致。因此,尽量减小坝体的后期变形是预防坝顶发生横向张拉裂缝的主要措施。

2)考虑湿化和流变效应的大坝稳定分析。根据坝体填料湿化变形特性试验研究成果,结合工程经验,对大坝进行三维湿化变形分析,研究大坝初次蓄水时

表2 直心墙坝三维应力及变形分析主要计算成果表(邓肯-张EB模型)

项目		计算方案						
		坝体位移最大值/m			堆石体应力最大值/kPa		心墙应力最大值/kPa	
		水平位移 向上游	水平位移 向下游	垂直 沉降	大主应力	小主应力	大主应力	小主应力
基准参数(清华大学)	比奥固结理论		1.16	2.26	4 401	1 874	3 725	1 957
基准参数(长科院)		-0.30	1.11	3.07	5 610	2 510		
基准参数(水科院)	比奥固结理论	-0.13	1.10	2.45	3 700	1 600		
基准参数(河海大学)	考虑湿化及浮托力	-0.29	0.67	2.55			2 248	1 255
基准参数(河海大学)	考虑湿化 不考虑浮托力	-0.26	0.63	2.41				
基准参数(武汉大学)			0.71	2.84	4 240	1 320	3 360	1 330
基准参数(武汉大学)	考虑堆石体流变	-0.31	0.90	3.25	4 320	1 900		
基准参数(长科院)	考虑堆石体流变	-0.66	1.35	3.22	5 380	2 660		
基准参数(大连理工)		-0.47	1.41	2.19	4 000	2 400		
高强度参数(河海大学)		-0.28	0.66	2.23				
低强度参数(河海大学)		-0.60	1.03	4.04				
心墙拱效应参数 (清华大学)	比奥固结理论		0.99	2.19	4 537	1 847	3 521	1 882
心墙拱效应参数(长科院)		-0.23	1.03	3.13	5 920	2 450		
心墙拱效应参数 (河海大学)	考虑湿化 及浮托力	-0.35	0.79	2.62			2 291	1 288
心墙拱效应参数(水科院)	比奥固结理论	-0.13	1.09	2.49	4 200	1 600		
上下游不均匀沉降参数 (水科院学)	比奥固结理论	-0.21	1.12	2.49	3 800	1 700		
上下游不均匀沉降参数 (清华大学)	比奥固结理论		1.16	2.48	4 438	1 894	3 764	1 964
上下游不均匀沉降参数 (长科院)		-0.52	1.35	3.08	5 630	2 540		
上下游不均匀沉降参数 (河海大学)	考虑湿化 及浮托力	-0.67	0.88	2.76			2 389	1 344

上游坝体湿化对大坝应力变形特征的影响;根据坝体填料流变特性试验研究提出的流变模型及其参数,模拟坝体填筑分区、填筑过程、蓄放水过程,对大坝进行三维流变分析,研究考虑坝体填料流变后坝体与心墙的长期应力变形特征;对坝体湿化以及流变效应进行综合分析,充分论证考虑两种效应共同作用下坝体的应力变形对心墙的影响。坝体湿化和流变综合分析表

明,坝轴向位移增量总体表现为由两岸向河谷中央变形;上下游坝坡附近顺河向位移增量总体表现为向上游侧变形;上游坝壳料沉降大于下游坝壳料变形,最大沉降值也略微偏向上游。考虑上游坝体湿化后心墙各主应力极值均有所增加,可减小心墙的拱效应;而流变对坝体的应力状态影响很小。

表3 调整上游堆石区分区的有限元计算主要成果表

m

计算方案		指向右岸的 水平位移	指向左岸的 坝轴向位移	坝体向下游 最大水平位移	坝体向上游 最大水平位移	坝体 最大沉降	$\frac{\sigma_x}{\gamma h}$
上游全部	高强度参数,考虑湿化变形	0.31	-0.20	0.66	-0.28	-2.23	0.688
采用河口 砂岩	基本参数,考虑湿化变形	0.36	-0.23	0.85	-0.39	-2.61	0.681
	低强度参数,考虑湿化变形	0.51	-0.33	1.03	-0.60	-4.04	0.626
2 410 m 高程以 上的坡面 20 m 厚	高强度参数,考虑湿化变形	0.31	-0.20	0.66	-0.28	-2.23	0.689
度范围内采用花岗 岩,其余部分	基本参数,考虑湿化变形	0.36	-0.23	0.85	-0.39	-2.60	0.682
仍采用河口料	低强度参数,考虑湿化变形	0.49	-0.33	1.02	-0.60	-4.04	0.626
2 410 m 高程以上	高强度参数,考虑湿化变形	0.32	-0.20	0.69	-0.29	-2.24	0.699
采用花岗岩,其余	基本参数,考虑湿化变形	0.37	-0.23	0.89	-0.41	-2.61	0.697
部分仍采用河口料	低强度参数,考虑湿化变形	0.51	-0.32	1.07	-0.61	-4.06	0.639

3) 考虑流固耦合的大坝稳定分析。采用流固耦合理论,通过有限元计算,系统分析了不同参数组合下双江口心墙堆石坝的应力变形特性,在研究大坝应力变形特性的同时考虑了孔隙压力分布、孔隙流体与骨架的相互作用,以及大坝内各时刻的瞬态渗流分布。有限元计算成果表明,由于坝体填期历时较长,心墙料排水固结性能较好,坝体填筑期间已基本完成固结,仅心墙中部有少量超静孔隙压力。满蓄期,库水位上升至正常蓄水位后,心墙上下游之间的稳定渗流很快建立,心墙内的渗透力没有导致心墙发生大的变形,渗透稳定性可满足要求。考虑裂缝愈合效应,坝体粘性土料坝轴线上的垂直向应力及孔隙水压力基本上都呈线性分布,且孔隙水压力的量值绝大部分小于垂直向应力。心墙的渗透稳定性可以得到保障,心墙、帷幕等渗控体系起到了很好的防渗作用。

4) 考虑心墙水力劈裂的大坝稳定分析。水力劈裂被普遍认为是土石坝蓄水初期产生集中渗漏的主要原因之一,也是导致坝体破坏(产生内部侵蚀或管涌现象)的重要因素之一。本工程基于土石坝水力劈裂发生机理的分析,采用所建立和发展的可模拟水力劈裂发生和扩展过程的分析方法和程序系统,开展了双江口高心墙堆石坝水力劈裂问题的二维和三维有限元-无单元耦合计算分析,研究了工程蓄水期的抗水力劈裂安全性,探讨了渗透弱面水压楔劈效应作用的大小,分析了蓄水速度对发生水力劈裂可能性的影响。心墙水力劈裂数值分析表明,双江口心墙堆石坝设计拟定方案以及水库蓄水方案(包括蓄水速度)是合理的,大坝具有较大的抗水力劈裂安全度,心墙不会发生水力劈裂破坏。

3.5 大坝抗震安全评价及抗震措施研究

本工程采用不同的计算参数、不同的地震反应谱进行模拟计算,大坝永久变形规律在定性上基本一致。坝体永久变形的变化规律与坝体加速度动响应的规律基本相同,坝体响应越大,其产生的永久变形越大。坝体在地震中的沉陷比水平位移大,地震变形形式主要是震陷,表明堆石体在高固结应力和循环荷载作用下出现棱角破碎。

1) 在设计地震输入下,三维永久变形分析采用整体变形计算方法,参数采用南科院的试验成果,大连理工大学计算的坝体竖向最大永久位移为 264.4 cm,发生在河床中部坝顶附近,占坝高的 0.84%; 河海大学计算的坝体的竖直方向永久变形最大值为 110.0 cm,位于坝顶上游坡附近。两家单位的计算成果表明,坝体永久变形均小于坝顶超高计算采用的地震附加沉陷,即坝高的 1% (3.12 m),说明坝顶高程可以满足设计要求。

2) 由于地震持续时间较短,不考虑地震过程中的孔压消散,坝体心墙料、反滤料和坝基砂层的动孔压比都不高。在设计地震各种计算情况下,算得反滤层内的动孔压比小于 0.8,坝基砂层动孔压比最大值为 0.45。因此,坝体、坝基不存在地震液化问题。

3) 以震后永久位移突变作为坝坡失稳的评判标准,特征点位移突变时对应的强度折减系数作为边坡的动力稳定安全系数,以基于广义塑性力学理论的 PZ 模型分析应力应变为基础,进行了二维和三维的强度折减法坝坡动力稳定分析。二维分析得出上游坝坡的动力安全系数为 1.136,下游坝坡的动力安全系数为 1.205。三维分析得出上游坝坡的动力安全系数为

1.190,下游坝坡的动力安全系数为1.299。因此,坝坡是稳定的。

4)基于已建土石坝实际震害的ANN模型预测分析表明,双江口大坝在8度烈度地震条件下,震害等级为4级,不会发生严重的震害现象。

5)在计算分析、模型试验、大坝震害及常用抗震措施调研的基础上,结合工程特点,提出双江口大坝抗震措施。主要包括:在大坝顶部1/5范围内采用加筋处理;坝顶预留较大超高裕度;对可能液化砂层大部分挖除或压重处理;提高坝料填筑标准;上、下游坝面设置干砌石及大块石护坡;分层分散设置枢纽泄水建筑物等。对土工格栅和钢筋抗震措施进行了试验和计算分析,对其抗震有效性进行研究。无论是土工格栅或是钢筋,在设计地震情况下加筋后坝坡动力安全系数至少提高15%,在核核地震情况下动力安全系数提高得更多。

3.6 防渗土料开采、运输和掺和系统研究

双江口大坝防渗土料采用天然土料掺和砂砾石后形成的砾石土,填筑总量约476万 m^3 。原可研设计方案,大坝防渗心墙土料采用下游的当卡土料场(坝下游右岸约9 km)和上游的木尔宗料场(坝上游左岸约40 km)联合供料。两料场均采用挖掘机开采,公路汽车运输方案,在下游的根扎村、上游的大石当分别设置采用平铺立采工艺的土料掺合场。该方案土料运输距离长,占用场地多,环保水保问题突出,安全风险大,投资高。

招标设计阶段开展了当卡土料场开采运输掺合科研攻关,研制了自动化、智能化土料制备系统,采用了“料场铲运机开采+大倾角下运皮带机运输+智能化机械掺合和含水率调整+数字化质量监控”的全封闭土料制备方案。该方案提升土料利用率,降低了土料综合损耗系数,优化取消了上游木尔宗料场,心墙土料供应以当卡土料为主,热马都料场为备用料场。该方案主要技术优点:①料场精细化薄层开采。采用主动式铲运机,以30 cm为一层进行平层开采,较好的适应料场自然坡度大、有用层薄的特点,尽可能开采料场的有用料。②大倾角皮带机下运土料。采用了3 km长的“深槽U型夹带式皮带机,专用刹车技术、限载移动上料控制技术”等多项专利技术,实现当卡土料场的土料下运,避免了大量修建公路(15 km以上)占用有用料和交通运输带来的安全、环境影响问题。③土料全封闭运输及精细化掺合,可实现系统计量误差控制在0.5%以内。通过智能化控制技术,提高掺合料(砾石土)的计量精度和成品料质量,全封闭系统可以减

少土料运输和加工过程中的损失,掺合精度的提高为优化利用土料,减少土料用量创造条件。④自动化机械掺合技术。利用对螺旋输送机改造,配合皮带机连续供料系统,可实现土料和砾石料的连续机械强制拌合,并通过智能化补水系统调节混合料含水率。⑤采用数字化质量监控系统,可控制土料、砾石料、混合料质量和系统运行情况,实现机械化和规模化生产。

3.7 智能大坝管控系统研究

信息技术对现代人类社会的发展起到巨大的推动作用,快速发展的信息技术为智慧工程实施奠定了技术基础。目前国内水电工程领域信息化、系统化建设与应用已取得一定成果,但是相关研究成果仍主要侧重于解决工程建设中的某个局部问题,尚未形成完整的解决方案,缺乏对工程建设全阶段、各部位、多专业的协同管理和全生命周期管理的应用,也尚未形成“智慧化”管理的高度和水平。

为实现上述目标,基于国电大渡河公司的智慧企业总体构架下,双江口水电站工程按照“业务量化、统一平台、集成集中、智能协同”建设的思路,全面打造“智慧工程”,实现工程管理自动监测、自动预判、自主决策、自我演进和闭环管理,实现实时分析、预警、决策,全面提升大渡河流域工程建设风险管控能力。

智能大坝是双江口智慧工程的重要组成部分,通过综合运用4S技术(地理信息系统GIS、全球定位系统GPS、遥感RS技术、移动平台MS)、大数据存储与挖掘、网络技术、虚拟现实等技术,对双江口水电站心墙堆石坝设计、建设和运行过程中涉及的施工资源、施工质量、工程进度等信息进行动态采集、自动分析、智能管控,与工程管理等系统实现信息整合与共享,并在工程整个生命周期里,实现综合信息的动态更新与维护,实现工程信息统一管理 and 三维展示,对施工质量、工程进度等“五控制”目标实现自动预警,并为工程管控提供智能决策支持。双江口智能大坝系统架构见图3。

相比于传统已建立的数字大坝系统,双江口智能大坝系统实现了心墙堆石坝施工全过程在线实时监控,并对料源开采运输、心墙料掺和、料源上坝、坝面施工、质量验评、灌浆过程等全过程进行跟踪。该系统主要特点如下:

1)基于三维激光扫描技术及无线通讯技术,通过对料场开采量的实景复制,实现了料场开采体型的实时获取及坝料上坝运输量的实时监控。

2)基于含水率快速检测装置及自组网数据传输网络,实现大坝填筑土料含水率快速检测及实时预警

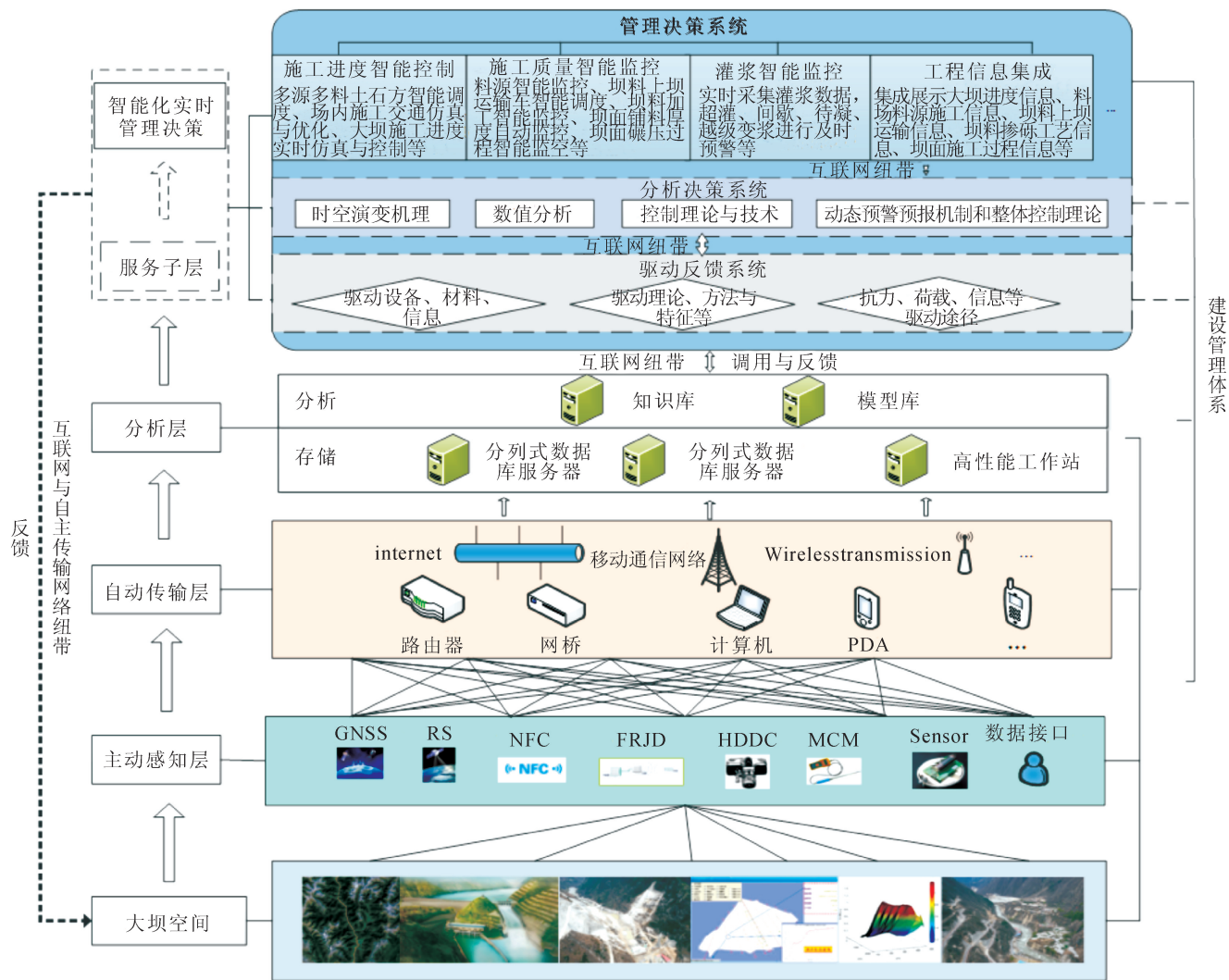


图3 双江口智能大坝系统架构图

分析。

3) 基于图像识别及识别分析技术,实现对掺砾土料均匀度实时分析监控与坝面填筑施工现场料界污染实时监控。

4) 集合环境感知、信息融合、智能控制、无线通讯等众多高新技术,构建感知-决策-执行三层结构的碾压机自动驾驶系统,实现坝面碾压过程的自主控制。

4 施工期需要深化研究的关键技术

虽然已开展的300 m级高土石坝关键技术研究为双江口特高坝建设提供了一定的技术支撑,但随着现场施工进一步实施,将获取到更加丰富的地质条件、材料特性资料,这些实际资料在下一步施工工作中有重要的参考意义。为有针对性提出设计施工方案和技术管理要求,实现动态设计、科学管理和质量控制,拟从以下几方面开展深化研究工作。

4.1 河床覆盖层建基条件深化研究与评价

现有勘探揭示坝区河床覆盖层深厚,夹有多个砂层透镜体,覆盖层一般厚度48~57 m,最大厚度达76 m,具有多层结构,各层厚度变化较大,大坝地基在施工期存在变形不均匀、砂层液化等问题。可研方案推荐将心墙及反滤层下的覆盖层全部挖除,但上、下游堆石区的基础覆盖层大部予以保留。如何根据现场条件对材料进行评价,是一个必须解决的问题。

在基坑施工作业中,坝基覆盖层能够得到充分揭露,使得有条件进一步研究坝基深厚覆盖层的组成结构及物理力学特性,复核河床坝基开挖范围和深度,复核论证覆盖层作为堆石体坝基的适应性,并对坝基覆盖层的优化利用与处理提出建议。

4.2 坝体结构分区及坝料特性深化与优化

本工程填筑强度大,上、下游堆石料料源物理力学特性不同,且料场剥离比高,施工场地狭窄,施工期土

石方平衡及管理难度大。考虑到经济性以及料源开采和填筑施工的匹配性,为了更加科学合理的利用各种可能的料源,有必要依据现场实际,在坝料爆破、碾压试验成果及坝体数值分析成果的基础上,对坝壳堆石料分区方案进行进一步的深入研究和优化设计,在保证大坝安全的前提下,提高开采料的利用率。同时,现阶段心墙掺砾土料采用当卡土料与花岗岩破碎料按55%:45%(质量比)进行掺合。依据现有勘察成果,当卡土料可开采储量较为紧张,为了尽量合理利用当卡土料,减少征地移民等成本,有必要在技施阶段继续研究心墙掺砾土料的掺合比例及优化心墙结构分区的可行性。

4.3 特高土石坝长期变形特性深化研究

变形控制是高土石坝设计与施工中的核心问题。大量的工程实践已经证明,长期变形对于堆石坝的工后沉降及安全运行具有重要影响。双江口300 m级高土石坝的坝体最大竖向应力达6 MPa左右,最大横向应力也达3 MPa。虽然可研阶段对堆石料进行了流变及湿化研究,但从目前现场实际情况看,实施阶段堆石料的利用和选择可能与可研阶段有些不同,极可能会加大对洞挖料、料场剥离料、渣场回采料的研究和利用。因此,有必要对长期复杂高应力条件下颗粒破碎可能较突出的堆石体开展相应的级配跟踪和研究,并对上游河口石料场及下游飞水岩石料场的开采料进行性能复核。

4.4 高海拔冬季土料冻融规律及大坝防渗土料施工措施研究

双江口水电站坝址以上的大渡河流域属川西高原气候区,具有明显的大陆性高原季风气候特征。根据气象资料统计,坝址区多年平均气温8.6℃,极端最高气温34.8℃,极端最低气温-17.5℃,且夜间气温低,昼夜温差大,属于浅季节冻土~短时冻土区。冬季施工会出现土料冻结问题,其冻融规律、判断指标、施工防控措施等可供借鉴的工程经验不多。根据坝址区气候条件,如何准确掌握土料冻融规律,制定详细、系统的冬季土料施工防控措施,以确保大坝施工质量及施工进度是施工中应研究的重要课题。

4.5 特高土石坝安全监测关键技术研究

大坝监测是指导设计和施工、保证大坝运行安全的重要手段。目前常用的土石坝变形监测手段主要有监测表面垂直位移的水准点、监测坝体内部分层垂直

位移的水管式沉降仪和电磁式沉降仪、监测表面水平位移的观测墩、监测坝体内部分层水平位移的引张线式位移计和测斜管。受限于高坝大变形、仪器使用条件和现场施工条件限制,测斜管和电磁式沉降仪在超过150 m以上时其应用效果难以保证,且心墙坝上游堆石区变形监测是目前大坝监测的“盲区”,尚无有效手段进行监测。因此,有必要开展特高土石坝安全监测关键技术的研究,应用安全监测新技术解决上游堆石区的变形监测问题,并提高特高土石坝心墙变形监测仪器的存活率。

5 结 语

双江口水电站心墙堆石坝是世界在建的第一高坝,其地处高海拔、高寒地区,工程区地形地质条件复杂,在施工期面临坝体及坝基变形稳定、防渗排水、防震抗震等技术问题,工程建设面临的技术问题复杂,建设难度较大。

在水建站建设可研阶段,围绕300 m级心墙堆石坝设计关键技术,开展了坝基覆盖层及筑坝材料特性、防渗土料改性、坝体结构型式及分区方案、抗震安全评价及抗震措施、防渗土料开采、运输和掺和系统、智能大坝管控系统等一系列关键技术研究,取得了丰富的研究成果,为双江口水电站特高心墙堆石坝建设奠定了坚实的技术基础。

随着双江口工程建设的深入推进和工程技术的不断发展,还需在河床覆盖层建基条件、坝体结构分区及坝料特性、特高土石坝坝长期变形特性、高海拔冬季土料冻融规律及大坝防渗土料施工措施、特高坝安全监测等方面的关键技术进行深入研究,保证双江口特高心墙堆石坝科学建设。同时,大量的创新性研究成果实现了300 m级心墙堆石坝筑坝技术突破,推动了世界特高土石坝筑坝技术的发展,为土石坝工程建设提供了丰富、宝贵的经验。

参考文献:

- [1]李菊根,贾金生,艾永平,等.堆石坝建设和水电开发的技术进展[M].郑州:黄河水利出版社,2013
- [2]吴世勇,申满斌.雅砻江流域水电开发中的关键技术问题及研究进展[J].水利学报,2007(s1):15-19
- [3]张建华,严军,吴基昌,等.瀑布沟水电站枢纽工程关键技术综述[J].四川水力发电,2006,25(3):8-11
- [4]段斌,陈刚,严锦江,等.大岗山水电站前期勘测设计中的大坝抗震研究[J].水利水电技术,2012,43(1):61-64,68

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.002

马鹿塘水电站 二期工程蓄水初期混凝土面板堆石坝监测

刘伟, 覃珊珊

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南 昆明 650051)

摘要:通过对施工期至蓄水初期的马鹿塘水电站二期工程面板堆石坝开展系统的安全监测,整理、分析主要监测断面的资料,得出了大坝的实际工作性态。鉴于自蓄水以来库水一直处于较低(远低于正常蓄水位)的条件下坝体变形已较大,而且坝体变形的时效作用仍将延续,因此,在下阶段水位上升过程中,必须加强大坝的变形和渗流等监测,并及时对监测资料进行分析反馈,以便采取相应对策。

关键词:混凝土面板堆石坝;蓄水初期;监测资料;成果分析

中图分类号:TV641.4+3 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)02-0010-05

Monitoring of the Concrete Face Rockfill Dam during the Early Impoundment Period in Malutang Hydropower Station Phase II Project

LIU Wei, QIN Shanshan

(Powerchina Kunming Engineering Corporation, Kunming 650051, China)

Abstract: In Malutang Hydropower Station Phase II Project, systematic monitoring of the concrete face rockfill dam during the construction period and the early impoundment period is carried out. Then, the monitoring data of main dam sections are analyzed and the actual working conditions of the dam are obtained. The results show that the deformation of the dam body since the impoundment is rather large when the water is at a low level that is far below the normal storage level. Considering that the time effect of the dam deformation will continue, the monitoring on the deformation and seepage of the dam should be further emphasized during the following water level rising process, and the monitoring data should be analyzed timely so that corresponding measures could be taken.

Key words: concrete face rockfill dam; early impoundment period; monitoring data; result analysis

由于外荷载不确定性以及施工因素影响,大坝在施工期常发生不可预知的变形、开裂以及渗流量过大等安全问题,影响大坝的健康工作状态,若不能及时发现并解决这些问题,最终可能造成难以估计的损失,大坝施工期监测诊断对大坝安全施工有重大意义^[1-4]。大坝安全监测资料是大坝安全分析、评价和监控的主要依据^[5-7],本文在大坝安全监测与应用方面做了一些工作,通过大坝安全监测,从工程角度分析马鹿塘水电站在施工期的工作状态,依此给出具体的解决建议并及时反馈到下一步施工。

1 工程概况

马鹿塘水电站位于云南省文山州境内最大的河流盘龙河上,麻栗坡县境内,为盘龙河梯级规划中的第八个梯级,属Ⅱ等大(2)型工程,共分两期开发建设。水电站枢纽建筑物主要由混凝土面板堆石坝、左岸岸边溢洪道、左岸放空隧洞、右岸引水隧洞、调压井、压力钢管道、地下发电厂房、地面出线场及尾水洞等组成,水库正常蓄水位627 m,总库容5.36亿m³,电站装机容量240 MW。

马鹿塘水电站二期工程混凝土面板堆石坝坝顶高

收稿日期:2019-11-20

作者简介:刘伟,男,高级工程师,主要从事安全监测设计、资料分析及技术管理工作。

程 634.00 m,最大坝高 154 m,坝顶长度约 493.40 m。大坝填筑于 2007 年 1 月开始,2009 年 2 月底填筑高程 630 m 接近坝顶,累计填筑时段约 26 个月,填筑方量约 603 万 m^3 ,面板浇筑分两期完成。大坝于 2009 年 11 月 10 日开始蓄水,开始蓄水时水位为 519.0 m,于 2009 年 12 月水库蓄至水位 570.0 m 左右。2009 年 12

月~2010 年 3 月库水位基本稳定在 570~572 m 之间,无明显上升。2010 年 3 月~2010 年 5 月库水位又逐渐抬升,于 2010 年 5 月 8 日达到最高水位 583.4 m。2010 年 5 月后库水位逐渐降低,截止 2010 年 7 月 7 日库水位降低到 558.7 m。蓄水过程见图 1。

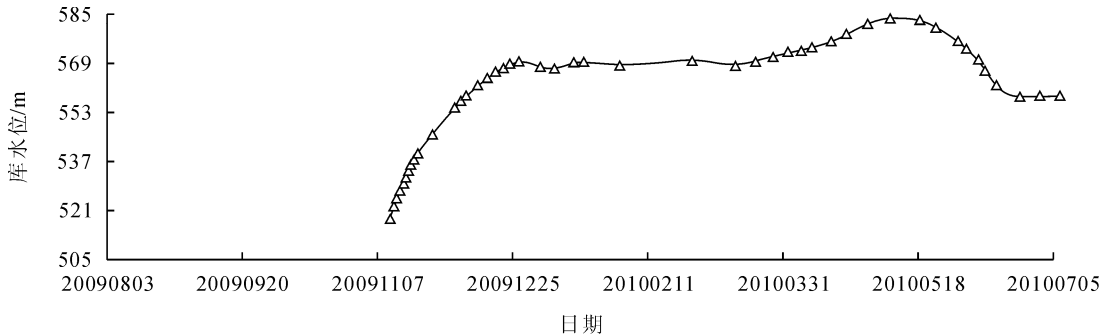


图 1 大坝蓄水位~时间曲线图

2 监测系统布置

在最大坝高、左右岸地形突变处各布置 1 个监测横断面,共 3 个监测横断面,桩号分别为坝纵 0 +

141.000、坝纵 0 + 233.159、坝纵 0 + 330.000,在这些断面上开展大坝变形监测、渗流监测、应力应变及温度监测工作,典型监测仪器布置见图 2。

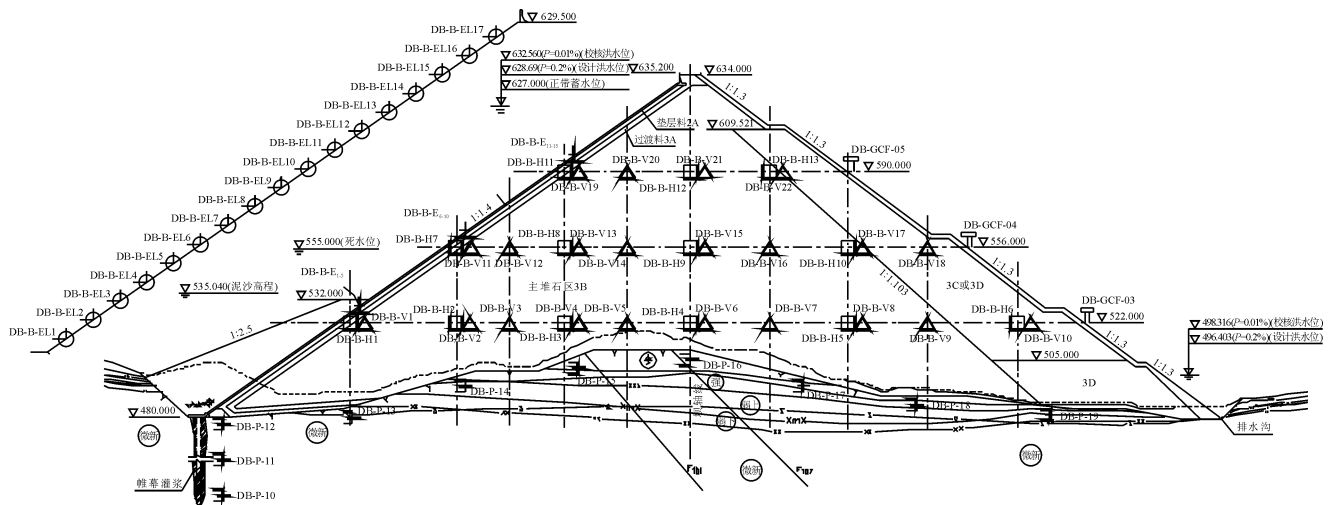


图 2 最大坝高监测断面监测仪器布置图

2.1 变形监测

坝体变形监测分为坝体表面变形监测和坝体内部变形监测,坝体内部变形监测又分为堆石体水平位移和竖直位移(沉降)监测,根据监测部位不同采用不同的监测手段。表面变形监测采用视准线的方法,水平位移采用引张线式水平位移计监测方法,沉降采用水管式沉降仪监测方法。

2.2 渗流监测

根据大坝安全监测规范以及大坝实际情况,对通过坝体和坝基的渗水流量、两岸坝肩绕坝渗流水位用

量水堰监测通过坝体和坝基的渗水流量。在下游坝趾建渗流汇集量测系统,用以监测水库蓄水期渗水流量的演变过程和正常高水位时的渗水流量。

为监测水库蓄水后两岸坝肩绕坝渗流水位,检验大坝坝肩防渗帷幕的防渗效果,在左右岸边坡布置水位孔。在最大坝高监测断面的灌浆帷幕下游钻孔埋设渗压计,监测各灌浆孔间帷幕是否连续,是否有“天窗”存在;检验在长期高水头作用下的帷幕耐久性,并测量幕后不同高程的渗水压力。在最大坝高监测断面的灌浆帷幕下游坝基顺河向布置渗压计,监测坝基的渗水压力。

在周边缝布置三向测缝计的缝下游垫层料中,对应地布置坑埋式渗压计,以监测周边缝止水防渗效果及缝后渗水压力状况。

2.3 应力应变及温度监测

为了解坝体应力状况,在最大坝高监测断面的三个高程的过渡料中及面板与垫层料接触面布置土压力计。为了解混凝土面板的应力应变及温度,在面板内的不同部位布置混凝土应变计组、无应力计、钢筋计和温度计。

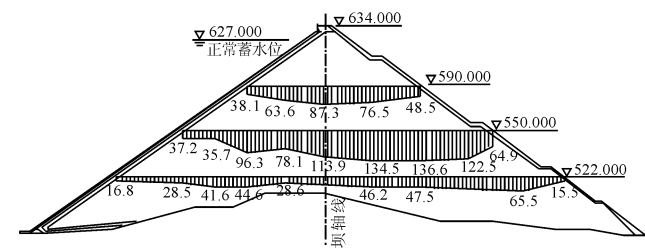
3 监测成果分析

监测成果分析主要采用常规定性分析方法。监测资料分析的常规方法可分为比较法、作图法、特征值统计法、测值影响因素分析法等,并在以上分析基础上进行综合分析评价。

3.1 变形监测

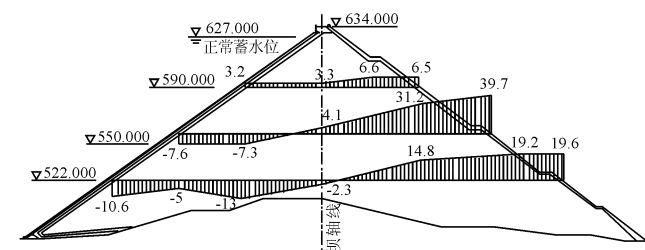
面板堆石坝坝体的变形总体而言由坝体自重及水压力产生。坝体填筑期,坝体在自重的作用下以徐变的形式产生沉降及向上下游方向的位移;大坝蓄水后,坝体在自重和库水压力的垂直分力作用下产生沉降,在库水压力的水平分力作用下,产生向下游的水平变形。

大坝沉降分布图以及水平位移分布图如图3和图4所示,图中给出了2010年7月7日最大坝高监测断面522、556、590 m高程分层沉降及水平位移分布,所有监测测点所测得的坝体沉降特征值如表1所示。



注:正值表示向下游位移,负值表示向上游位移。

图3 最大坝高监测断面坝体沉降分布图(单位:cm)



注:正值表示向下游位移,负值表示向上游位移。

图4 最大坝高监测断面坝体水平位移分布图(单位:cm)

表1 最大坝高断面坝体沉降特征值对比表

测点编号	蓄水前测值/cm	蓄水后总沉降/cm	蓄水后沉降/cm	占总沉降量比例/%	
V1	15.6	16.8	1.2	7.1	
V2	27.8	28.5	0.7	2.5	
V3	B-B 断面	29.1	41.6	12.5	30
V4		35.1	44.6	9.5	21.3
V5	522 m 高程	21.3	28.6	7.3	25.5
V7		34.1	46.2	12.1	26.2
V8		40.8	47.5	6.7	14.1
V10		27.8	65.5	37.7	57.6
V11		24.9	37.2	12.3	33.0
V12		25.8	35.7	9.9	27.7
V13	B-B 断面	88.1	96.3	8.2	8.5
V14		68.8	78.1	9.3	11.9
V15	556 m 高程	104.3	111.9	7.6	6.8
V16		126.4	134.5	8.1	6.0
V17		129.6	136.6	7.0	5.1
V18		106.9	122.5	15.6	13.0
V19	B-B 断面	36.4	38.1	1.7	4.5
V20		54.1	63.6	9.5	15.0
V21	590 m 高程	73.5	87.3	13.8	15.8
V22		65.4	76.5	11.1	14.4

大坝沉降总体分布规律为:①河床最大坝高断面及左右岸监测断面沿同一高程上的沉降分布规律相似,但河床部位沉降量大于岸坡部位,左岸沉降量大于右岸,坝轴线下游侧沉降大于上游侧。分析认为是由于坝体分期填筑,先填的堆石体先密实,压缩性较低,变形模量较高,所以坝轴线上游侧沉降前期大,后期幅度减小。另外按照坝体材料分区,坝轴线上游为主堆石区,下游为次堆石区,下游坝料及压实要求较上游低,所以总沉降坝轴线下游大于上游。②最大沉降出现在河床断面坝轴线下游约1/3~1/2坝高处,测值为136.6 cm,与一般面板堆石坝沉降最大点的规律相符。③根据表1特征值统计,蓄水后发生的沉降平均占总沉降量的17%,一方面说明水压对堆石体变形有一定的影响,不容忽视,另一方面也表明蓄水以来,由于库水位不高,时效影响因素即堆石自重作用还在延续。

大坝水平位移总体分布规律及特点为:①河床最大坝高断面及左右岸监测断面沿同一高程上的水平位

移分布规律相似,但在量值上河床断面大于岸坡断面,左岸大于右岸。说明水平位移分布规律与沉降分布总体相似。②坝轴线上游侧堆石体基本为向上游位移,从上游向下游位移量呈递减趋势。③坝轴线下游侧堆石体均为向下游位移,越靠近坝体边缘处位移越大。④向上游最大水平位移出现在河床最大坝高断面高程522 m上游坝体,为10.6 cm。⑤向下游最大水平位移出现在河床最大坝高断面高程556 m下游坝坡处,为39.7 cm。⑥根据表4特征值统计,蓄水后不同高程堆石体发生的位移变化不尽相同,556 m(1/2坝高)坝轴线上下游侧堆石体均表现为向下游位移,位移平均占总位移量的33%,变化最为明显,说明水压对堆石体变形有一定的影响;蓄水后522 m(1/3坝高)及590 m(2/3坝高)坝轴线下游侧堆石体向下游位移,但坝轴线附近及上游侧堆石体仍向上游位移,也表明蓄水以来,由于水位不高,时效影响因素即堆石自重作用还在

延续。

3.2 渗流监测

渗流量和渗水压力是大坝工作性态的综合指标,特别是在水库蓄水期,是评价大坝施工质量和判别大坝工作状态是否正常的重要依据。

1) 渗流量监测。大坝坝体及坝基渗流量通过设于下游坝脚的量水堰测量,大坝渗流量、库水位~时间曲线见图5。大坝量水堰于2009年8月3日开始观测,蓄水前最大渗流量约12 L/s。自2009年11月10日蓄水后,渗流量与库水位存在密切的相关性,于2010年5月8日在库水位达到最高蓄水位583.4 m时,测得最大渗流量为66.93 L/s。截止2010年7月7日实测渗流量40.52 L/s,目前渗流量变化平稳,处于正常范围内。

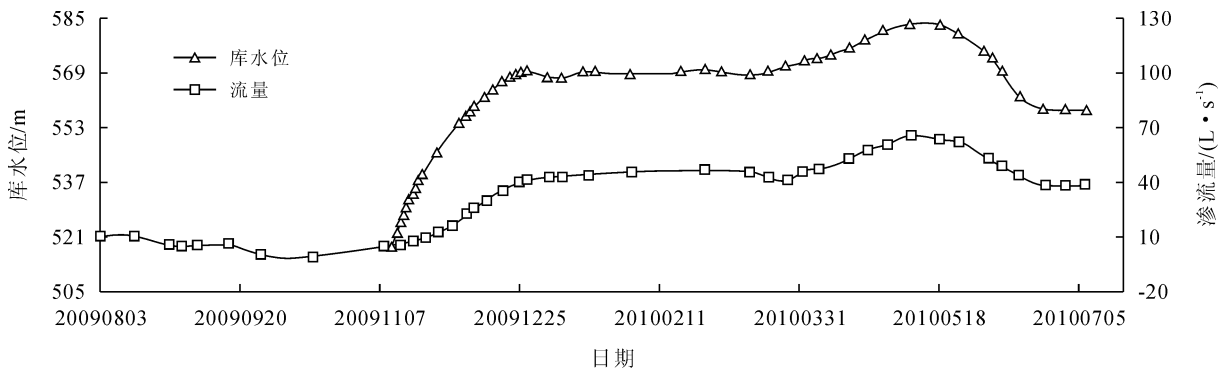


图5 大坝渗流量、库水位~时间曲线图

2) 帷幕灌浆防渗效果。在大坝河床最大坝高监测断面的灌浆帷幕下游钻孔,孔深40 m,孔内埋设3支渗压计以监测灌浆帷幕防渗效果。大坝灌浆帷幕后渗水压力~时间曲线见图6。

递增分布。蓄水后,渗水压力增幅与孔深成正比,最深测点增幅近40 m水头,约占幕前总水头的34%。由于幕后水头偏高,一定程度上反映出测点与库水间有某种连通或幕底绕渗,但随着坝前填筑料的固结及坝前淤积,渗漏会逐渐变小,且根据目前渗水量,参考类似工程经验,渗漏不会危及大坝安全。

根据图6,蓄水前孔内有4.5~45 m的渗水压力,主要受天然地下水及环境的影响,渗水压力随孔深呈

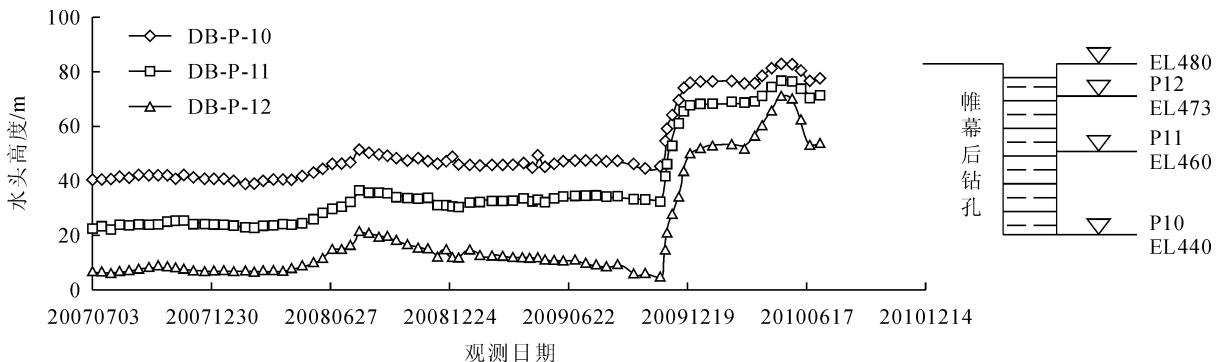


图6 大坝帷幕后渗水压力~时间曲线图

3) 周边缝止水防渗效果。大坝周边缝后垫层料内渗水压力~时间曲线见图7。根据图7, 蓄水前周边缝后大部分测点处于无水状态, 仅是河床部位个别测点反映承受较小的水压。蓄水后, 河床部位 P-06、P-07 测点测值变化与帷幕后钻孔内渗压计相符, 也

表现为随库水位上升显著增长, 与库水位同步变化。但由于同处河床部位的 P-04、P-05 测点测值蓄水后未有明显变化, 表明止水失效可能性不大, 主要还是由于帷幕防渗局部较弱的原因导致。

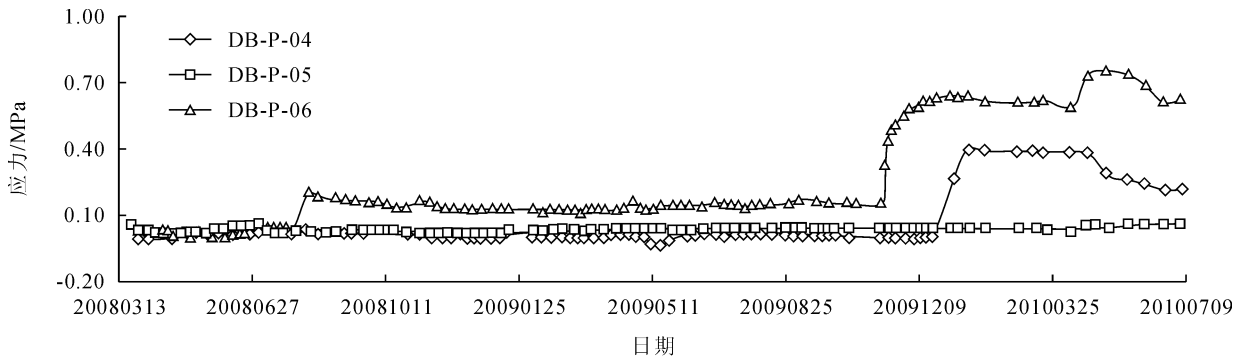


图7 大坝周边缝后渗水压力~时间曲线图

3.3 应力应变及温度监测

1) 坝体应力。过渡料中及混凝土面板与垫层料坡面之间典型土压力计应力~时间曲线如图8所示。监测成果显示, 蓄水前, 由于坝体填筑过程中堆石体变形对面板的挤压作用, 使得面板下游垫层料及过渡料承受压应力, 该压应力随着填筑高程升高呈现增长趋

势, 最大测值出现在最大坝高断面 522 m 高程处, 大小为 0.21 MPa; 蓄水后, 随着库水位提高, 面板下游垫层料及过渡料承受压应力也相应提高, 与库水位表现出较好的相关性, 最大测值也出现在断面 522 m 高程处, 大小为 0.79 MPa, 蓄水前后, 所监测到最大压应力值相差 0.50 MPa。

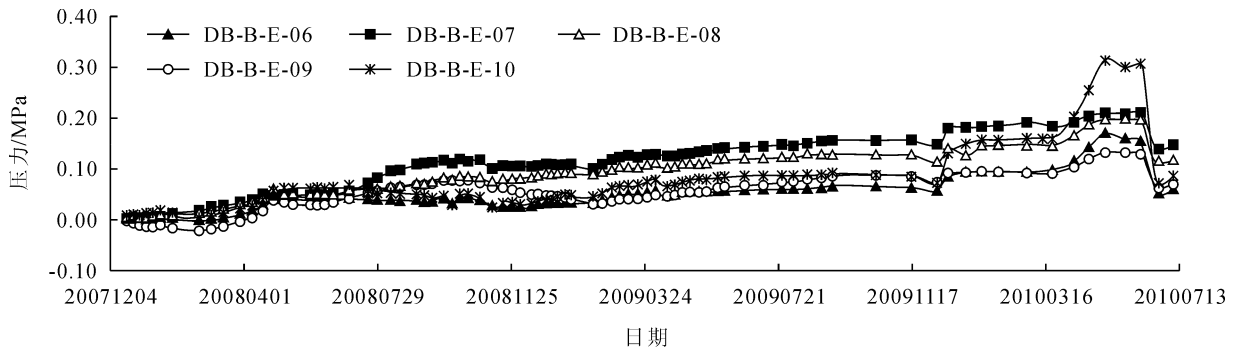


图8 大坝坝体土压力计应力~时间曲线图

2) 面板钢筋应力。面板施工期, 面板内钢筋计应力主要受温度变化影响, 与温度呈负相关的变化规律, 温度降低, 钢筋应力增大; 温度升高, 钢筋应力减小。岸坡以受拉为主, 河床以受压为主, 面板钢筋应力分布与面板拉压区基本吻合。蓄水后, 钢筋应力均表现为压应力增大, 说明蓄水水压使面板产生压缩变形。最大拉应力出现在 R-09 测点, 测值为 91.2 MPa; 最大压应力出现在 R-18 测点, 测值为 -103.5 MPa。

化。蓄水后, 受水压作用, 面板混凝土应变以压应变为主, 在河床局部存在拉应变。以目前监测数据来看, 最大压应变出现在河床底部的 S4-02 应变计组, 测值为 $-383.6 \mu\epsilon$; 最大拉应变出现在河床中部的 S2-03 应变计组, 测值为 $166.8 \mu\epsilon$ 。

3) 面板混凝土应变。面板施工期, 面板内混凝土应变主要受温度变化影响, 与温度呈负相关的变化规律, 温度降低, 向拉应变变化; 温度升高, 向压应变变

4) 面板混凝土温度。由于水泥水化热作用, 温度测点在初期监测到一个快速升温过程, 最高温度达到 44.8°C 。随着水泥水化热的散发, 测点温度呈现一个比较明显的降温阶段, 直到达到稳定温度。面板混凝土温度变化主要受季节气温影响, 目前面板各部位稳定温度介于 $20 \sim 35^\circ\text{C}$ 间。

(下转第 22 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.003

浅谈海上风电浅覆盖层地质孤石解决方案

王爱国¹, 黄俊², 邓柏松¹

(1. 长江三峡集团福建能源投资有限公司, 福建 福州 350001; 2. 上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335)

摘要: 福建和广东的近海风电场常存在浅覆盖层地质, 在其风化岩层中普遍存在的孤石给桩基础的设计和施工带来极大的困难。根据工程实践, 一是适当增加前期地勘费用, 提高地质参数和地质分布的准确性, 降低孤石带来的风险; 二是根据地勘资料比选最优基础结构型式; 三是加强设计与施工单位的密切联系和配合, 后期采取合理的解决方案, 有效保证桩基结构安全。

关键词: 海上风电; 浅覆盖层; 孤石

中图分类号: TM614

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)02-0015-05

Treatment of Isolated Boulders in Shallow Overburden Foundation of Offshore Wind Power Projects

WANG Aiguo¹, HUANG Jun², DENG Baisong¹

(1. Fujian Energy Investment Co., Ltd., China Three Gorges Corporation, Fuzhou 350001, China;

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

Abstract: Shallow overburden geological condition is widely existed in offshore wind farms in Fujian and Guangdong Provinces. While the design and construction of pile foundation in such geological condition are of great difficulties because of the commonly existed isolated boulders in the weathered rock layers. Based on practical experience, several treatment measures are proposed. Firstly, we should properly increase the geological exploration cost to get more accurate geological parameters and distributions and reduce the risks caused by isolated boulders. Secondly, the optimal foundation structure should be selected based on the actual geological exploration data. Lastly, we should keep a close contact and cooperation between the design and construction units so that reasonable treatment measures could be taken timely to ensure the safety of the pile foundation structures.

Key words: offshore wind power; shallow overburden foundation; isolated boulder

随着海上风电的大力发展, 风电机组的单机容量越来越大, 加上中国南方海域台风频发, 对桩式基础的尺寸要求也越来越高。伴随着近年福建和广东海上风电的大规模开发, 遇到的又一个难题就是场区浅覆盖层普遍较浅, 如福建兴化湾海上风电场、广东南澳海上风电场以及广东阳江海上风电场等。综合考虑大容量机组、台风和浅覆盖层地质带来的问题, 主要有以下三点: 一是增大了基础的设计和施工难度, 二是降低了桩式基础的地质适应性, 三是大幅增加工程施工成本。本文从风机基础施工前和施工时遇到孤石^[1]的两个角度提出解决方案, 为后续类似工程施工提供借鉴。

1 浅覆盖层场址

浅覆盖区一般指第四系厚度小于 100 m, 为植被、草皮、黄土、残坡积连续覆盖的丘陵山区和冲积、洪积平原区, 覆盖层面积占图幅面积大于或等于 50% 的地区。对于海上风电, 浅覆盖层地质可以理解为风化岩埋深较浅, 钢桩能直接沉入风化岩一定深度, 但无法达到指定标高的地质。由于钢桩长度与风机荷载量级、建设场址的环境荷载、浅层土承载能力等有关, 浅覆盖层地质通常需要钻孔跟进或进行钻孔灌注嵌岩桩。

风化岩划分为未风化岩、微风化岩、中等风化岩、

收稿日期: 2019-11-15

作者简介: 王爱国, 男, 高级工程师, 从事海上风电项目管理方面的工作。

强风化岩、全风化岩与残积土,沉桩难度依次减弱。通常一定厚度的全风化层钢桩能直接穿透,强风化岩因岩性和标贯击数值的差异性较大,通常只能进入部分深度,其他风化岩基本不能沉入,所以风化岩限制了钢管桩长度方向的设计。

孤石是残留于风化岩体中,多为中-微风化状,周围岩体多为全风化状,主要是不均匀风化的产物(如花岗岩的球状风化),一般独立存在、埋深较浅。

福建和广东近海海域的浅覆盖层下伏岩体以花岗岩为主(见图1),因风化程度不同,在强风化和全风化岩中极易存在孤石,且强度较高,若桩基础设计标高低于孤石存在标高,基本不能直接沉桩到位,且容易发生不确定风险。



图1 海底岩石取样图

2 孤石影响

受制于现有海上勘测方法的局限性,较难准确发现场址内孤石分布的位置和大小,如果在沉桩过程中遇到未知的孤石,可能会出现以下问题:

1) 沉桩达不到指定标高,桩基轴向承载力不满足设计要求且承受较大水平抗力,需要割除高于桩基设计顶标高多余部分;

2) 由于岩石的强度较高,极易发生钢管桩卷边的风险,结构安全性降低,若发生卷边,需要潜水员下潜处理,一是影响工程进度,二是下潜风险大,小直径刚装难度更高。

3 解决方案

针对浅覆盖层可能存在的孤石影响,可根据孤石发现的时间点,提出不同的解决方案。

3.1 沉桩前解决方案

3.1.1 地质勘测

高质量的地质勘测是海上风电基础设计的关键点,一是决定了可采用的基础结构形式,二是可有效降低后续设计和施工的风险。

1) 地球物理勘探。地球物理勘探是指通过研究

和观测各种地球物理场的变化来探测地层岩性、地质构造等地质条件。该方法兼有勘探与试验两种功能,和钻探相比,具有设备轻便、成本低、效率高、工作空间广等优点。但由于不能取样、直接观察,故多与钻探配合使用^[2]。

虽然地球物理勘探对发现体积较小孤石比较困难,且只能解决剖面上的问题,但通过该方法有利于工程设计人员对整个场址地质分布的判断(见图2)。

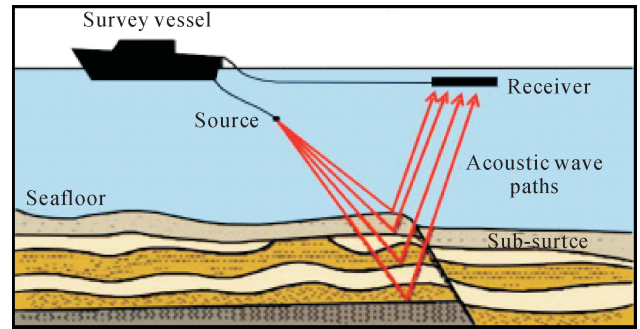


图2 海上地球物理勘探图

2) 钻探取芯。地质钻探坐标通常布置在风机机位的中心,各类型风机基础的桩径一般在1.7~8.0 m,群桩桩径较小,单桩桩径较大。由于钻探钻杆直径通常较小(约110 mm),浅覆盖层岩基面变化幅度大,钻孔的地质分层并不能完全代表机位地质分布特点,建议对于群桩基础,可按照一桩一钻孔处理,对于大直径单桩基础的钻探可以布置在桩周上,建议不少于3个,若桩径再增加,钻探孔数量可相应增加。

3) 微观选址。结合物探和钻孔数据成果,对风机机位进行微观选址时,尽可能避开孤石,对机位微小挪位,可直接节约投资、加快进度(见图3)。

3.1.2 基础选型

对于发现有孤石的机位,如孤石埋深较浅,桩基承载力不能满足设计要求时,可以考虑采用嵌岩桩^[3](如灌注嵌岩桩和III型嵌岩桩等)或浅基础(如重力式基础和负压筒基础^[4]见图4)。

3.2 沉桩后解决方案

孤石的强度一般较高,有的地区可以达到100 MPa以上,如桩基遇孤石,锤击能量过大时,可能导致钢桩无法继续沉入或发生变形。

3.2.1 割桩处理

如果钢桩发生卷边,导致钢桩不能继续跟进和钻孔灌注,必须割除水下卷边部分,以便进行下一步操作。割桩在大桥施工中较为常见,技术较为成熟,但是耗时时间较长,增加了工程造价(见图5)。

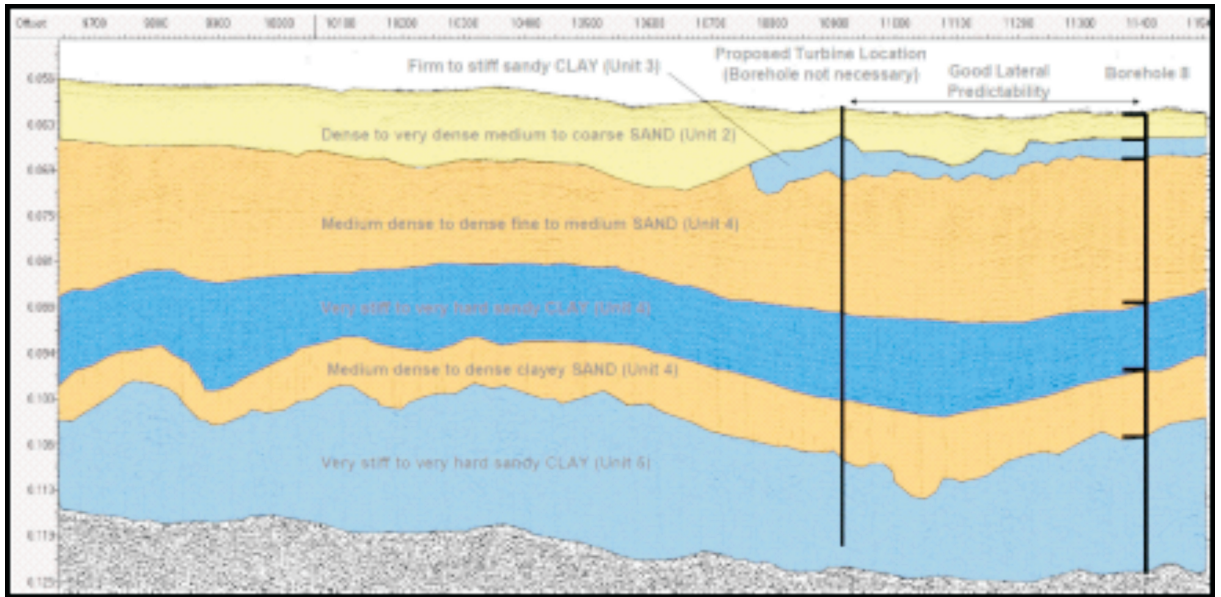


图3 地球物理勘探结合钻孔图

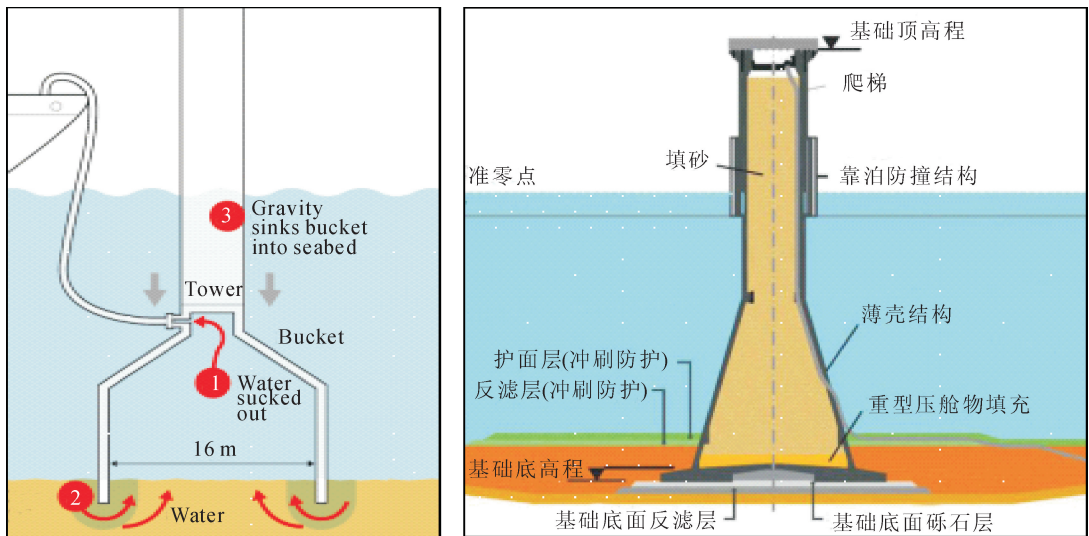


图4 浅基础结构图



图5 水下割桩图

3.2.2 植桩和桩身补强

常规的钻机(如旋转钻、旋挖钻^[5]和冲击钻,见图6)钻孔直径小于钢桩内径,即使钻孔可以达到钢桩底

部以下一定深度,但由于钢桩底部孤石的强度过高,继续跟进的可能性较小。对此可以采取以下两种处理方法。

1) 植桩。考虑在桩内钻孔,植入一根直径较小的桩,小桩长度大于原桩桩长,并在两桩之间灌注混凝土,形成一个组合桩。

2) 桩身加强。将钢桩卷边部分割除后,下部采用加强型灌注桩(将钢筋型号和混凝土等级提高),由于刚桩进入土层的深度减短,桩基承载力降低,可以在海床采取防冲刷措施,变相提高土层承载力。但是应注意尽量避免灌注桩段承受桩身最大弯矩。



图6 常规嵌岩钻机图

3.2.3 扩孔跟进

在钢桩底部采用扩孔钻机,将孤石进行处理,扩孔孔径略大于钢桩直径即可继续跟进钢桩。该方案桩基结构受力较桩身加强方案好。但应注意扩孔钻孔可能需要根据桩径定制,时间较长;另外扩孔钻会产生较大扭矩,嵌岩平台也需做加强处理(见图7)。

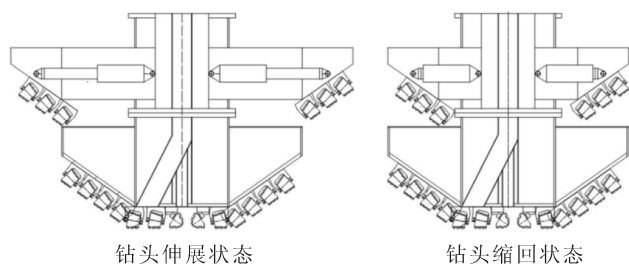


图7 扩孔钻机图

4 案例

福建区域某海上风电场桩基础施工过程中,遭遇孤石地质,导致钢管桩底卷边。因处理工法经过充分咨询与论证,取得较好的效果。

4.1 沉桩及钻孔情况

钢管桩直径3.2 m,设计桩长52 m,设计桩顶标高为10 m,采用YC60型打桩锤沉桩,累计锤击数为1126次,最大锤击能量为960KJ,最终贯入度为6.3 mm/击。停锤后,实际桩顶标高为16.2 m,桩底标高为-35.84 m,开始进行钢管桩钻孔。在钻孔过程中,发现利用直径2.8 m冲击钻头钻孔至孔底标高为-32.2 m处时,冲击过程中钻头不稳,出现“偏锤”、“卡锤”现象,分析怀疑钢桩内有孤石。将卡锤提出,

即回填片石至-28.8 m处,继续利用2.8 m直径冲击钻头继续进行冲击后,仍持续出现卡锤现象,推断可能钢管桩有变形。

4.2 主体钢管桩底口变形检查情况

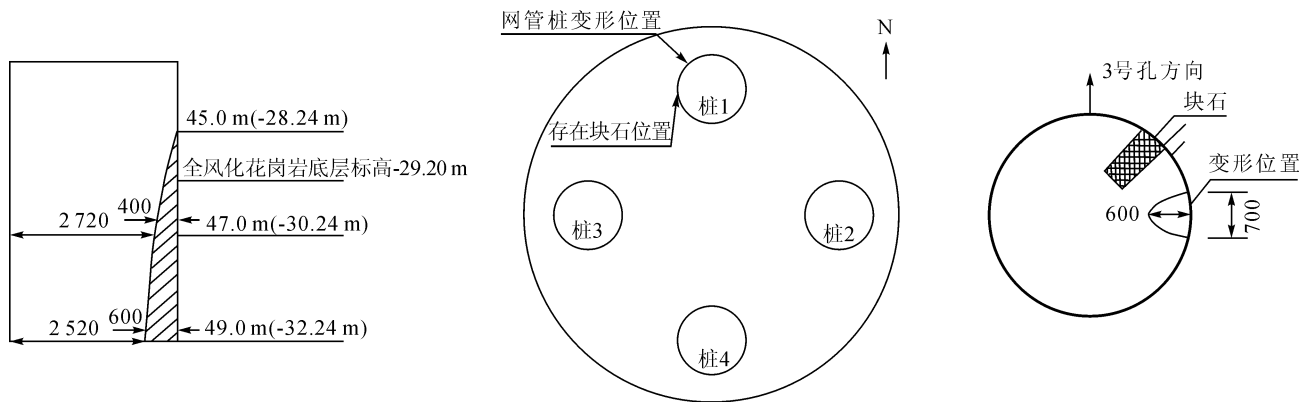
发现钢桩疑似变形情况后,安排潜水员进行了下探摸检查,发现钢管桩在-28.26 m(标高)处有明显变形,变形处宽度约1 m,高度约0.6 m。调整钻机位置,采用直径2.2 m冲击锤继续进行钻孔作业,在钻进至-32.24 m时,仍发现卡锤现象。再次安排潜水员水下探摸检查,结果见图8。

经多次调整钻机位置后,利用2.2 m直径冲击钻头正常钻进,从标高-33.64 m钻进至-35.1 m,出现持续卡钻现象;利用移动钻机位置进行多点钻进,后冲击至标高-37.04 m,至钢桩底以下1.3 m,停止钻进,并进行清孔。第三次安排潜水员水下探摸检查,发现钢管桩在-28.26 m(标高)处有明显变形,变形由-28.26 m(标高)延伸至钢管桩桩底(-35.84 m),变形高度约7.64 m(当前孔底标高-37.04 m);钢管桩桩底变形处宽度约1.5 m(向钢桩内凹陷),凹陷点前部距钢管桩壁最小距离1.6 m。钢桩内孔壁光滑,无破损开裂,钢桩底口周边均已露出,测钎探摸钢桩底口壁外为散体状强风化花岗岩。

利用超声波成孔检测仪在钢管桩孔内进行多断面量测,根据测量数据汇总后见图9,与潜水员探摸情况基本一致。

4.3 成因分析

根据事件经过分析和检查情况,对于主体钢管钢桩变形,疑为在-28.2 m位置,钢桩壁外侧有大漂石



注: 块石长度大约为80 cm, 靠近管桩中心的一端石头光滑且存在部分斜面, 应该是冲击锤冲击过程靠成; 钢管桩变形位置顶部有冲击锤冲击痕迹, 下部位置钢管桩表面光滑, 无冲击痕迹, 且钢管桩无焊缝开裂现象; 钢管桩变形应该导致钢管桩内径变小。

图8 潜水员水下探摸情况图

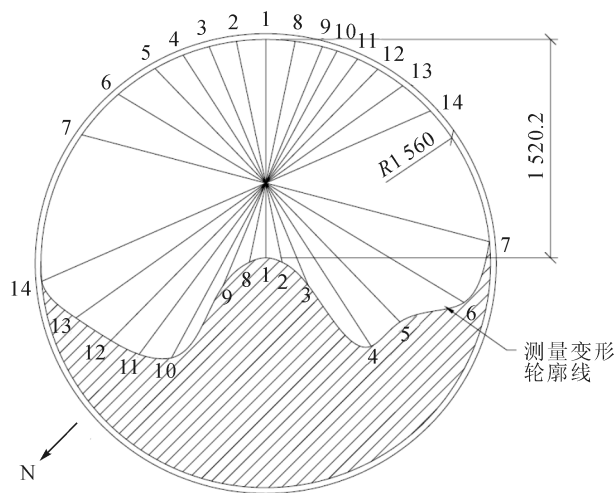


图9 超声波成孔检测仪测量数据汇总图

(孤石), 漂石外岩恰贴近(或有小部分探头石)主体钢管桩, 在主体钢管桩锤击下沉过程中逐渐挤压钢桩, 导致钢桩变形(见图10)。

4.4 处理方案

钢管桩不再跟进, 切割并取出钢管桩变形部分, 按原设计要求对钢管桩进行嵌岩施工, 嵌岩深度保持不变。经载荷计算后, 适当加大钢筋笼主筋直径, 按原设计方案进行钢筋笼施工和回填混凝土。

为防止孔内出现翻沙和漏水, 确保水下切割作业安全, 防止对覆盖层土体产生破坏, 确保后续嵌岩桩施工可行性, 先采用高压旋喷桩注浆加固工法对桩周土体进行加固处理。完成后, 采用1 m直径钻头进行冲孔, 保证钢管变形部分具备水下切割条件。将变形部分钢板进行水下切割后取出, 完成后, 采用混凝土灌

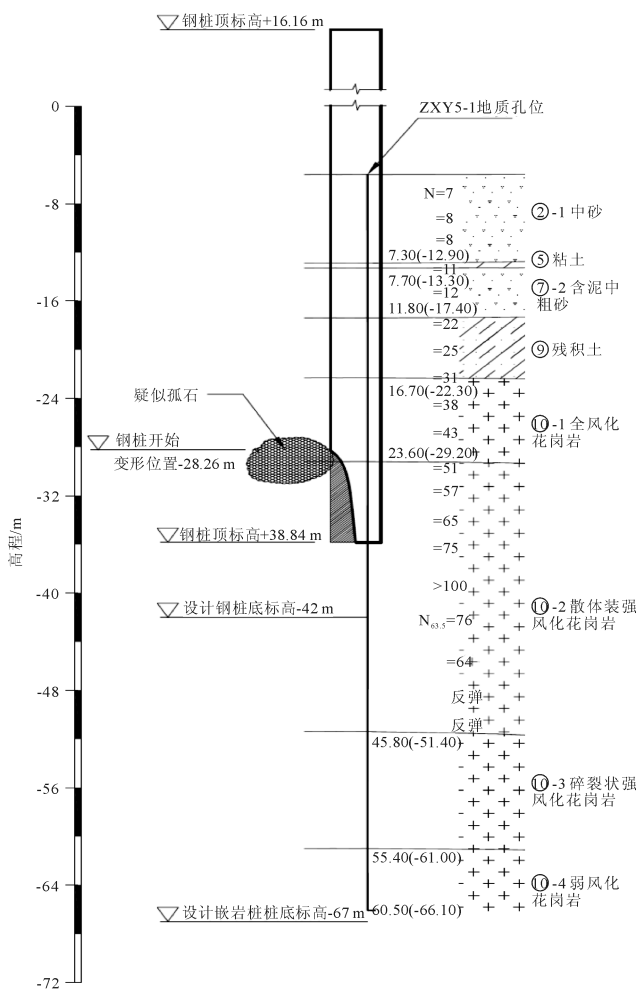


图10 主体钢管桩变形情况汇总图

注, 回填至钢管桩变形部分以上2 m, 达到强度后, 再进行嵌岩桩钻孔施工。

(下转第27页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.004

水库消落区生态保护与治理方案研究

江进辉, 杨荣华, 王凯

(长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北武汉 430010)

摘要: 因水库调度运行而周期性出露的消落区处于水陆交替的生态环境下, 植被类型单一, 生态系统往往也很脆弱, 但其事关河湖生态健康、水库供水和防洪安全等, 应加强保护与治理。结合现场实际与各种自然环境条件, 参照区位、地形地质条件现状, 依据库区经济社会发展规划和相关专项规划, 科学划定消落区类型分区, 研究制定切实可行的保护、修复和治理方案。

关键词: 水库; 消落区; 类型分区; 综合治理

中图分类号: TV697.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)02-0020-03

Ecological Protection and Management Scheme for Reservoir Water Level Fluctuation Zone

JIANG Jinhui, YANG Ronghua, WANG Kai

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

Abstract: The periodically exposed reservoir water level fluctuation zone is of a special above-water and under-water alternate ecological environment due to the operation of the reservoir, which is usually of simple vegetation types and vulnerable ecosystem. The protection and management of the reservoir water level fluctuation zone is important to the ecological health of the rivers and lakes, the water supply of the reservoir and the safety of the flood control work. In the preparation of the ecological protection and management scheme for the reservoir water level fluctuation zone, we should consider the actual situations and various natural environmental conditions, local topographic and geological conditions, economic and social development plan and other specific plans of the reservoir area. With a scientific classification of the fluctuation zone type, feasible and effective protection, restoration and management schemes could be formulated.

Key words: reservoir; water level fluctuation zone; type classification; comprehensive treatment

水库消落区事关河湖健康、供水安全、防洪安全、库周居民身心健康等方面, 然而受水库水位周期性变化影响, 消落区植被系统主要以狗牙根、苍耳等草本植物为主^[1-2], 植被类型单一, 植物生长周期有限, 植被系统脆弱。因此, 按照党的“十九大”关于生态文明建设的要求, 做好消落区生态保护、修复与治理工作是十分必要的。

1 消落区定义及范围

水库消落区是指因水库运行调度而周期性露出的条带状区域。通常而言, 因水库调度运行而规律性出现的高低水位分别为汛后的正常蓄水位、汛期的汛限

水位, 因此, 消落区的上、下边界线可分别按照水库正常蓄水位、汛限水位与陆域交接线确定。

2 类型分区

综合考虑所处行政区域、人类活动情况、地形地貌等因素, 结合生态保护红线、城乡总体规划、旅游规划、交通规划、水利规划、地质灾害防治等规划, 在深入了解消落区现状与存在问题的基础上, 科学划分消落区类型, 作为确定保护和治理措施的基础性工作。消落区的类型一般包括保留保护区、生态修复区和工程治理区三类。

收稿日期: 2019-11-01

作者简介: 江进辉, 男, 高级工程师, 从事大中型移民安置规划设计、消落区生态环境整治、移民单项工程设计和工程总承包等工作。

2.1 保留保护区

保留保护区指通过植被系统自然恢复、自然发育,以达到保护生态系统结构和功能的区域,通常包括以下区域:

- 1) 事关防洪安全、河势稳定,或列入相关岸线保护和开发利用总体规划的岸线保护区的区域;
- 2) 自然保护区的核心区、缓冲区,如长江三峡等风景名胜区,以及水产种质资源保护区和水源地一级保护区等环境敏感区;
- 3) 地形陡峭、岩石裸露区或高山峡谷地带,无利用需求的区域;
- 4) 出露后,植被能够自然恢复且覆盖度较高、物种丰富的缓坡及中缓坡区域,以及库岸稳定、无岸线利用需求的区域。

2.2 生态修复区

生态修复区指对生态保护、植物群落结构恢复、湿地生态系统构建等至关重要,需采取措施适度生态修复的区域,通常包括以下区域:

- 1) 国家及地方政府、科研机构等生态修复科学试验和试点示范项目,需持续观测和科学研究的区域;
- 2) 国家级和省级自然保护区的实验区,需进行科学试验、教学实习、旅游的区域;
- 3) 城市生态公园、滨水生态带、重要旅游景区、已实施或列入规划的重要湿地和湿地公园,需人工干预以提升旅游品质或保护湿地生态系统的区域;
- 4) 自然灾害等造成生态系统严重破坏,且难以自然恢复,需人工干预和实施生态修复以重构生态系统的区域。

2.3 工程治理区

工程治理区指为保障库区城镇和居民区、公路等重要基础设施安全、库岸稳定等,需以工程措施为主,生态措施为辅进行治理的区域,以及为满足经济社会发展需求的开发利用区域,如地灾体治理区域、城集镇基础设施建设占用区域等。

3 生态保护与治理措施

消落区生态保护与治理措施的提出,应通过调查,全面掌握消落区现状,分析库区社会经济发展需求,贯彻统筹山水林田湖草系统治理理念,具体措施以生态保护为主、生态修复与工程治理为辅。

3.1 生态保护措施

一般而言,在消落区的生态保护方面普遍存在措施不足、过于单一、范围不够、管理手段落后及生态保护意识不足等问题,宜按照人类活动影响的强弱程度,提出针对性的保护方案。

1) 城集镇、农村居民点等人类活动频繁区域作为重点管控区域,通过加密勘界立碑、标识牌和宣传牌设置等方式,强化生态保护红线和提高保护意识;必要时,还应在水源一级保护地等环境敏感区域设置防护网,建立在线监测系统。

2) 在其他人类活动影响较小的区域,如高山峡谷区、地广人稀的农村区域等,通过勘界立碑和设置标识牌,标定生态保护范围和保护内容即可。

3.2 生态修复措施

消落区因水库建成后蓄水而形成,消落区也由蓄水前的陆生环境转变为蓄水后的水陆交替环境,形成了独特的湿地系统,为满足对植被系统演化的长期监测和科学研究,加强湿地重要生态价值的科普以及适应人民群众对美好滨水休闲空间的需求和部分生态破坏区域的治理等原因,应开展适度的生态修复工程建设:

1) 开展科学研究及试点示范项目建设。针对消落区植被群落单一、生态功能脆弱等问题,因地制宜地开展适生植物筛选及种质资源保存试验示范、成果集成与标准制定和生态监测等工作;开展入库水质较差支流区域开展不同立地类型及生态治理模式构建方面的研究。

2) 加强湿地保护建设。完善集生态保护、生态观光与休闲、科普教育、湿地研究等于一体的湿地公园保护与建设,开展市县湿地自然保护区及湿地保护试点区建设。

3) 实施适度地生态滨水休闲空间建设。城集镇及重要旅游景区的水库消落区应按照生态优先,满足人民群众对美好生活向往需求的原则,在生态修复的基础上,适度建设滨水景观工程、亲水平台或台阶、步道等,构建自然生态与人工措施相结合的多彩景观层次^[2],提高库周城集镇的生态环境质量和景观品质。

4) 实施生态破坏区域的修复工程。因采砂、堆场、非法码头等造成消落区植被系统破坏,难以自然恢复的,采取人工筛选、配置与种植适宜于消落区生长的植物,通过选育适生植物和实施裸地植被恢复,增加植

被覆盖度。

3.3 工程治理措施

随着水库水位的周期性涨落,消落区边坡往往存在滑坡坍塌等库岸再造安全隐患,城集镇等人口密集区的天然库岸因污染物易滞留而带来环境卫生问题,以及人居环境和滨水景观质量差、亲水活动空间不足等问题^[3],工程治理方案应结合城集镇发展规划确定。

1) 实施地灾体治理,保障城集镇地质安全。以地形地质条件为基础,按照技术可靠、经济合理的原则,通过挡土墙、抗滑桩等支挡措施,或坡体减载、坡脚堆载反压等方式进行治理。在城集镇区域实施地灾治理工程时,应考虑预留滨水休闲、基础设施、截污和治污等生态空间。

2) 实施城集镇岸线综合治理,改善滨水生态环境。工程方案应结合城市和集镇的功能定位、消落区地形地质条件,确保城镇安全,合理布局滨水休闲活动用地、生态设施建设用地,注重营造层次分明和构建错落有致的滨水立体绿化、休闲空间,构建和谐陆域、消落区生态环境和人文景观。在进行方案论证时,应注重对河道行洪、水生和陆生生态系统等的影响分析,强化涉河建设方案的科学评价,避免因大挖大填改变

(上接第14页)

4 结 语

综上所述,通过对马鹿塘水电站二期工程面板堆石坝各监测数据的分析,初步得到以下结论:①该面板堆石坝坝体的实测变形较大,但测值总体变化及分布基本合理,符合一般规律;②帷幕后坝基渗水压力偏大,而且与库水位有很强的相关性,虽然基本可排除周边缝止水失效,但推测幕后与库水间有某种连通或幕底绕渗,但随着坝前填筑料的固结及坝前淤积,渗漏会逐渐变小;③应力应变及温度监测数据受蓄水条件影响不大,测值在允许范围内,变化过程符合一般规律,目前处于平稳状态;④通过上述分析,表明马鹿塘水电站二期工程面板堆石坝的各监测量均符合土石坝的一般规律,目前大坝工作正常。

鉴于自蓄水以来库水一直处于较低水位(2010年5月8日达最高水位,为583.4 m,2010年7月7日水位为558.7 m),远低于正常蓄水位627 m。在目前库

局部河势而影响行洪安全,或造成其他区域泥沙严重淤积、库岸冲刷等问题。在确定治理措施时,应与城镇专项规划相协调,加大消落区生态修复试点示范和科研试验成果的应用,同步开展库周截污、治污和排污设施的建设。

4 结 语

做好消落区的保护与治理事关河湖生态健康、饮水安全和防洪安全等方方面面,因此在统筹做好生态保护、生态修复与工程治理的同时,更重要的是要从源头上做好入库排污的治理,做好耕种和弃土(渣)等影响消落区生态健康行为的管控,同步创新管理手段、强化管理制度和管理能力建设。

参考文献:

- [1] 卢志军, 李连发, 黄汉东, 等. 三峡水库蓄水对消涨带植被的初步影响[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(3): 303 - 314
- [2] 卢志军, 江明喜. 三峡库区消涨带植被恢复策略[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2012, 29(3): 27 - 30
- [3] 柯学莎, 谈昌莉, 徐成剑, 等. 三峡水库消落区生态环境综合治理技术措施研究[J]. 水利水电快报, 2013, 34(10): 12 - 14

水位条件下坝体变形已较大,而且坝体变形的时效作用仍将延续,因此,在下阶段水位上升过程中,必须加强大坝的变形和渗流等监测工作,并及时对监测资料进行分析反馈,以便采取相应对策。

参考文献:

- [1] 苟晓丽. 施工期大坝安全监测自动化系统的实施技术探讨[J]. 水电自动化与大坝监测, 2014, 38(1): 39 - 42
- [2] 赵志仁, 徐锐. 国内外大坝安全监测技术发展现状与展望[J]. 水电与抽水蓄能, 2010, 34(5): 52 - 57
- [3] 何金平. 大坝安全监测理论与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010
- [4] 杜汝新, 蒋剑. 天生桥一级面板堆石坝大坝安全监测[J]. 人民珠江, 2000(1): 30 - 34
- [5] 林长富, 肖小玲, 何金平. 大坝监测系统综合评价等级划分方法[J]. 中国水运: 下半月, 2011, 11(10): 90 - 92
- [6] 蒋国澄, 傅志安, 凤家骥. 混凝土面板坝工程[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997
- [7] 国际大坝委员会. 混凝土面板堆石坝设计与施工概念[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.005

福建兴化湾海上风电场勘察难点和问题探讨

周兴政¹, 朱泓²

(1. 福清海峡发电有限公司, 福建 福州 350309; 2. 浙江华东建设工程有限公司, 浙江 杭州 310014)

摘要:通过对福建兴化湾一带花岗岩地层海上风电勘察成果资料分析,结合设计、施工单位在沉桩施工过程中遇到的工程地质问题,深入总结该地区勘察工作采用的几种方法,探索提高勘测成果的精度措施,为类似岩土地区海上风电工程勘察提供工作思路。

关键词:海上风电;花岗岩;球状风化;工程勘察

中图分类号: TM614 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)02-0023-05

On the Geological Investigation of Fujian Xinghuawan Offshore Wind Farm

ZHOU Xingzheng¹, ZHU Hong²

(1. Fuqing Haixia Power Generation Co., Ltd., Fuzhou 350309, China;

2. Powerchina Zhejiang Huadong Construction Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310014, China)

Abstract: The geological investigation work of Fujian Xinghuawan Offshore Wind Farm, which is founded on granite strata, is introduced. Based on the engineering geological problems encountered by the design and construction units in the pile driving construction process, several measures adopted in the project area to improve the accuracy of the geological investigation are summarized. It provides useful reference for the geological investigation work of offshore wind power projects in similar geotechnical conditions.

Key words: offshore wind power; granite; spherical weathering; engineering investigation

福建沿海海域广泛分布有花岗岩,花岗岩球状风化具有不均匀性、离散性、差异性、突变性等特点。风化深槽、暗礁、球状风化对于工程设计和施工来说十分不利,需要查明。本文就福建兴化湾海上风电场地质勘察中遇到的主要工程地质问题和勘察难点进行探讨。

1 工程概况

福建兴化湾海上风电场项目位于福清兴化湾内,邻近福清核电厂址,由两块区域组成,总面积约48.6 km²,总装机容量450 MW。工程分为二期,其中二期面积约18.5 km²,场址泥面高程-28~-3 m,中心离岸距离约4.7 km。

1.1 场址区基本地形地貌

拟建机位多位于水下岸坡及海底阶地地貌单元

上。场区内有大小不一的岛礁、暗礁分布,局部分布海沟,地形复杂,东侧场区机位远岸处地形较平缓,西侧近岸处地形稍陡。

1.2 场址区基本地层概况

根据区域地质资料以及已有的勘察成果,区域内基岩地层以燕山早期第三次侵入($\gamma^{52(3)c}$)含黑云母花岗岩、燕山早期第二次侵入($\gamma^{852(3)c}$)灰白色花岗闪长岩及侏罗系南园组第二段(J_3n^b)浅灰色流纹质晶屑斑熔岩夹凝灰岩、砂岩为主,局部为燕山期混合岩化作用形成的花岗片麻岩,第四系沉积地层主要为海积(Q_4^{mc})淤泥、粘土、砂、残积(Q^{el})砂质粘性土等。

2 主要工程地质问题

工程区岩性主要为花岗岩,岩性复杂多变,基岩面起伏大,花岗岩的球状风化较为普遍,在全风化、强风

收稿日期:2019-12-02

作者简介:周兴政,男,工程师,主要从事工程施工管理方面的工作。

化带内常残留有风化孤石。兴化湾一期项目前期勘探过程中未发现明显的球状风化孤石,但在施工沉桩过程中个别桩遇到了孤石,据实测孤石直径一般1~3 m,最大可达5 m,造成钢管桩瘪桩,无法正常沉桩,后续处理难度很大,增加了工程处理费用,且对工期影响很大。

基岩面起伏大,散体状花岗岩密实度不均一,个别钢管桩沉桩难以达到设计标高,停锤标准难以确定,造成钢管桩截桩较长,长度达3~10 m,浪费严重。

3 工程地质勘察难点

1) 地形地貌基本被海水淹没,无法直观地观测到场区地形地貌、表层地层岩性、构造等地质特征。

2) 场区岩性为花岗岩,具有不均匀性,离散性、差异性、突变性,并分布有孤石,对钢管桩施工方案的选择影响大。

3) 场地地层不均一,地层结构、厚度变化大,地层起伏大,对基础型式选择影响较大。

4) 现有规范的编制不完善,陆地风电场和海相沉积区的风电场勘察、设计、施工技术相对成熟,规范内容方面编制完整,但对于浅海一带花岗岩特殊岩土勘察,因收集资料较少,规范中很少阐述,很多条款都是指明参考《海上平台场址工程地质勘察规范》(GB/T17503),参照性差。

5) 物探成果的多解性。仅仅依靠物探成果解译,场地风化岩深度和界面物探解译与实际钻探划分地层偏差很大,个别界面深度甚至误差十余米。可见物探成果在花岗岩地层中解译的难度和困难,需要钻孔资料的支撑。

4 工程中对策

根据工程规模和场区范围,通过海上地质钻探工作,结合现场原位测试技术、现场取样、室内试验等综合手段进行工程地质勘察。

4.1 球状风化现象的判定

4.1.1 钻探取芯分辨

在花岗岩节理裂隙发育地区,岩石沿节理面风化速度较中心部位快,有时几组方向的节理将岩石切割成多面体的小块,小岩石块的边缘和隅角从多个方向受到温度及水溶液等因素的作用而最先破坏,而且破坏深度较大,久而久之,其棱角逐渐消失,变成球形或椭圆形,这种现象叫球状风化。这种现象常见于风化速度较快的粗粒花岗岩地区,细粒花岗岩中球状风化现象比较少见。因此勘察中若发现基岩面有异常起伏

或钻取到一段岩芯后又揭露风化土层,应加深勘探深度,以利于判定是否为球状风化现象,防止把球状风化的孤石当成基岩层面。球状风化的残存孤石在残积土中往往突然出现,界面接触突然,缺乏正常的残积层-强风化层-中风化层的自然过渡,据此可初步判断是否为球状风化现象。

4.1.2 物探探测

物探方法多种多样,尤其对于花岗岩地区风化孤石的判断,许多单位也在摸索总结中。地震反射波法利用的是岩土层的阻抗差异(密度和速度差异),如孤石与周边土层的密度和速度存在明显的差异,且海水(液体)更能消除地震波动信号中的面波等干扰,接收信号更好,且采用水上高频、高密度多次覆盖地震反射波法,分辨率会更高。

通过野外实际试验工作,并结合测区经验,工程区水域主要地层具有如下地球物理特征:

- 1) 海水纵波速度 $V_p = 1\ 480 \sim 1\ 500$ m/s;
- 2) 覆盖层的平均纵波速度 $V_p = 1\ 600 \sim 1\ 700$ m/s;
- 3) 基岩的纵波速度 $V_p > 2\ 000$ m/s。

由以上波速资料可看出,不同岩土层波速差异较大,波阻抗差异明显,为开展水域地震反射波提供了良好的地球物理条件。

4.2 花岗岩风化程度的划分

花岗岩残积土和风化土中通常含有较多的石英砂砾,且粉性较高,颗粒间结合力较弱,野外肉眼分层难度较大,室内土工试验由于石英颗粒含量较多,试验成果也无法正确划分定名。根据福建省岩土工程勘察规范,花岗岩风化程度的划分主要依据原位测试成果,对于厚层状的强风化岩和全风化岩时,根据当地经验又进一步划分为碎块状、碎屑状和土状,见表1。标贯锤击数的准确性和岩土分层合理性与后期沉桩施工有很大的关系,有必要在勘察阶段划分清楚,为沉桩施工做指导。

表1 福建花岗岩标贯锤击数风化程度划分标准表

岩石风化程度	标准贯入试验击数 N
残积土	< 30
全风化	$30 \leq N < 50$
强风化	≥ 50

5 工程实例

福清兴化湾海域二期风机共布置了45台风机,在该海域风机基础设计主要采用高桩承台基础。

5.1 桩型与勘探点的布置

勘探孔布置的数量与桩型有关,而桩型又和场地地形、地层、海水深度、施工船舶吃水深度等条件息息相关,有时设计专业会根据风机位第一个勘探孔基岩层面的埋深、海水深度等地质条件,桩型设计随之变更,原有的布孔方案就要重新调整,这些因素给勘探布孔带来了一定的困难。

根据本案机位地层勘察情况分析和探讨,原则上6~8根的高桩承台基础,平面上宜呈等腰三角形布置3个勘探孔。当桩位遇到孤石等不良地质体时,应分析不良地质体埋深位置,如果孤石位于钢管桩沉桩深度范围内,则需要增加勘探工作量,以探明不良地质体的分布范围。如场区53号机位,因距离岛屿较近,经多次移位多个勘探孔中均见有孤石,这样机位的工程地质条件只能提醒设计和施工单位提前采取相应的施工处理措施,避免在施工中出现被动局面。如果孤石埋深超过了沉桩深度在嵌岩段范围内时,嵌岩施工处理属于可控范围,风机机位可以不再增加勘探工作量或移位。如:20号机位钻探岩芯中就发现有明显的孤石,经过设计验算,孤石位置处于嵌岩段,不会造成瘪桩现象,就不再增加勘探工作量。

5.2 孤石的判断

为查明工程场地及风机位置基岩面埋深及球状风化孤石发育情况及分布情况,采用了水上高频、高密度多次覆盖地震反射波勘探法的物探方法(CDP)。

5.2.1 物探成果的解译原则

水域地震反射资料成果解释工作以反射波时间剖面图为基础,图中各反射波的时序分布关系与形态特征是地层地质现象的客观反映。解释原则:

1) 对于岩土层层位的划分,主要是追踪时间剖面图中的连续同相轴;

2) 对于异常的划分(可能发育孤石的位置),主要是寻找绕射弧或者局部能量较强且附近同相轴不连续的位置。

图1中绿色、黄色、红色和蓝色实线均为地震反射解释的岩土层分界线,其中绿色实线为水底地形线,红色或者黄色实线为土层的分界面,蓝色实线为中风化基岩面。红色圈圈标示的为异常区域是孤石发育的潜在区域,通常表现为绕射弧现象或者局部能量较强且附近同相轴不连续。

A剖面中红色圈圈标示的异常区域表现为存在明显的绕射弧;B和C剖面中红色圈圈标示的异常区域表现为存在绕射弧,局部能量较强,同相轴不连续,均为发育孤石可能较大的位置。

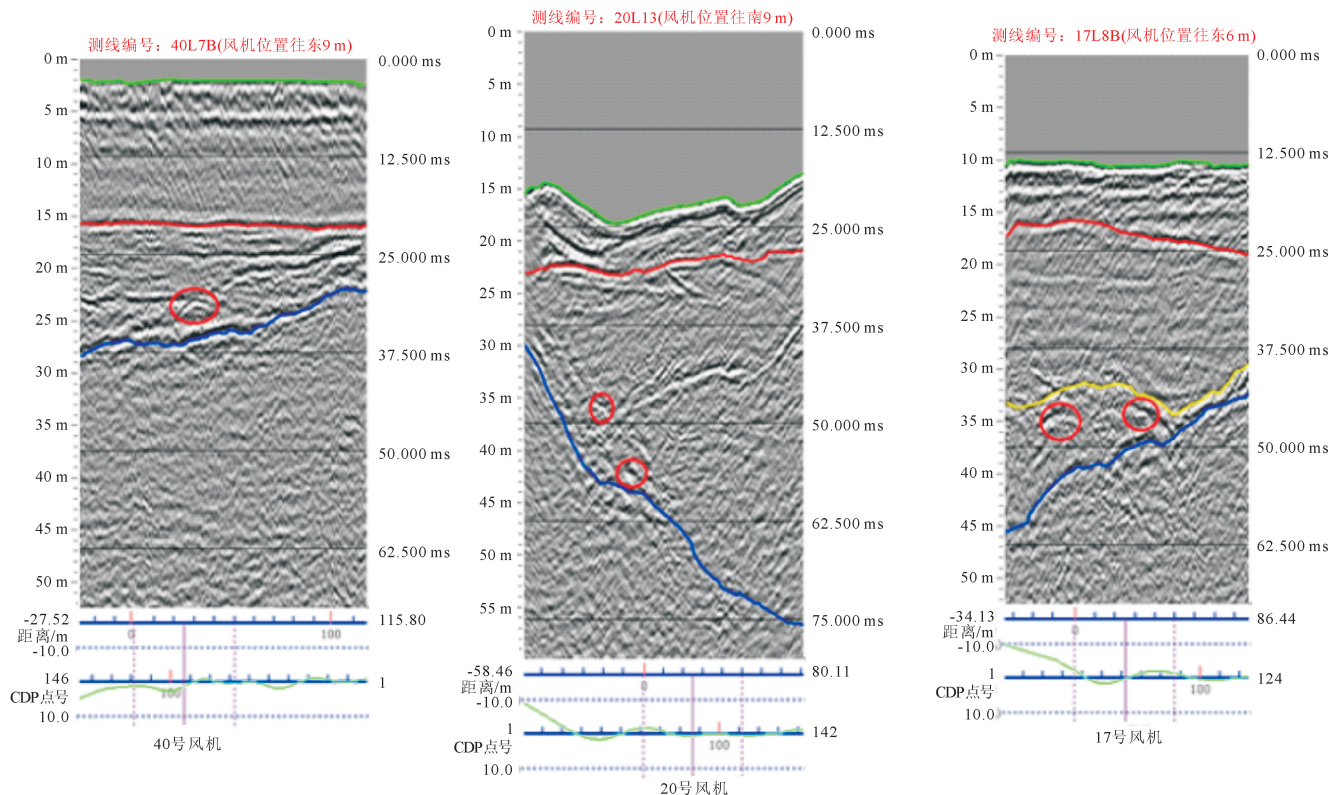


图1 A、B和C地震反射时间剖面图(从左往右)

5.2.2 钻孔验证

根据现场物探测试分析几个机位出现的异常点,

选取了34号、54号、56号三个机位靠近施工布桩位置进行取芯验证。对比情况见表2。

表2 钻孔岩芯与物探解译异常点对比表

风机编号	对应异常海底面以下埋深/m	CDP物探解译异常点	邻近钻孔岩芯资料	钻孔验证结果
54	约23	存在明显的绕射弧现象,可能发育孤石	根据F54-1钻孔资料,异常位于散体状层位中	钻孔在孔深21.5m处见有粒径5~8cm的碎石颗粒,厚度50cm,为岩脉
34	35	散体状层位中存在明显的连续同相轴,是否存在风化槽	F34-1钻孔揭露风化层较厚,散体状厚度达32.9m	钻孔在孔深34.2m处见有粒径5~8cm的碎石颗粒,厚度20cm
56	39	散体状层位中存在明显的连续同相轴,是否存在风化槽	钻孔揭露风化层较厚,散体状厚度达20m	钻孔揭露风化层较厚,散体状厚度达20m

本次只验证了3个孔的实际情况,根据三个钻孔中对物探CDP成果解译异常点的检验,其中54号机位CDP反映情况与实际钻孔岩芯揭露情况比较相近,该段岩脉性状与周边风化岩性状差异较大,物探反映明显;34号、56号机位解译效果不是很明显,因此在判断孤石上尚未找到一个效果明显的勘察手段。由于影响物探解译的因素很多,如仪器的适用性、地层岩性复杂性、风化程度的不均一性、海水深度,都会给成果的解译带来一定的干扰和误判,这些问题都有待于进一步的研究和探讨。

5.2.3 施工阶段沉桩情况验证

勘探期间有些钻孔岩芯中并未发现有孤石存在的迹象,而在实际沉桩过程中机位范围内部分桩却有出

现瘪桩情况,瘪桩变形情况经水下探测,其变形形态见示意图2。表3为工程区6桩嵌岩桩施工过程中记录的瘪桩桩位和最终停锤贯入度情况,其中55-6桩瘪桩结果桩底内凹变形约0.6cm左右,对照钻孔岩芯、地质剖面图以及停锤贯入度综合分析,造成瘪桩的原因是桩底存在块体较大的风化孤石,强度较高,沉桩难以穿透;另一个方面分析原因是部分桩的桩底已打入碎裂状强风化花岗岩岩层中,如29号机位的4个桩瘪桩情况,主要是桩底已接近或打入碎块状强风化花岗岩中,对照钻孔岩芯,桩底相应高程位置上的岩芯呈5~8cm块状,对于大直径打入式桩沉桩十分困难,强行锤击就容易引起瘪桩和卷边。因此在花岗岩地区沉桩过程中如何消化和理解地质成果十分必要。

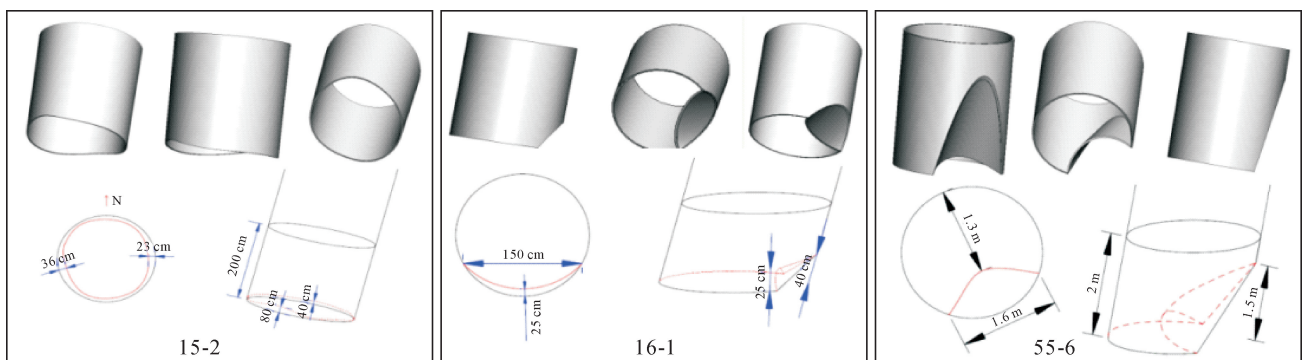


图2 部分桩桩底瘪桩形状示意图

5.3 标贯锤击数与沉桩的关系

孔内标贯测试数据在花岗岩地区工程中非常重要,在沉桩施工过程中,标贯的锤击数与沉桩的贯入度有直接的关系。如:福清兴化湾风电场17号机位高桩承台钢管桩设计桩长为60余米,桩外径1900mm,壁厚28mm,桩基采用斜桩,斜率为6:1。根据现场标贯

锤击数对地层的划分,50~70击/30cm主要为散体状花岗岩,70击/30cm以上基本划分为碎裂状花岗岩。结合现场桩基沉桩施工,当未经修正的标贯锤击数达到50~70击/30cm以上时,沉桩速率明显变慢,当标贯锤击数达到70击/30cm以上,即使加大锤击能量,沉桩也十分困难,基本达到停锤要求,见表4。

表3 施工沉桩瘪桩桩号表

机位	桩号	停锤贯入度 /mm	最大锤击 能量/kJ	桩底高程 /m	岩芯 特征
55	55-6	1	550	-36.43	碎裂状 花岗岩
15	15-2	1	450	-44.76	
16	16-1	0.33	300	-40.78	
	24-3	3	500	-40.65	
24	24-4	4	500	-47.50	
	24-5	2	550	-46.01	
	29-1	5	450	-27.55	
29	29-2	5	450	-29.07	
	29-4	3	400	-26.31	
	29-5	4	400	-25.90	
57	57-5	4	500	-31.85	
25	25-6	5	500	-49.34	

表4 17号风机嵌岩沉桩段和
18号风机摩擦桩沉桩贯入度与标贯对比表

机位 编号	设计桩 尖标高 /m	实际桩 尖标高 /m	最后3阵 平均贯入度 /mm	最大锤 击能量 /kJ	标贯 锤击数 /N
17-1	-48.8	-47.07	3	500	80~90
17-2	-54.4	-47.10	4	500	80
17-3	-50.30	-47.07	4	500	80
17-4	-54.40	-48.77	4	450	60~70
17-5	-54.40	-51.17	4	450	60~70
17-6	-54.40	-49.12	4	450	60~70
18-1	-55.63	-55.63	7	550	55~65
18-2	-59.30	-59.30	5	640	80~90
18-3	-59.30	-59.18	3	640	80

为今后类似工程借鉴之用。

参考文献:

- [1]NB/T 31030-2012, 陆地和海上风电场工程地质勘察规范[S]
- [2]DBJ13-84-2006, 福建省岩土工程勘察规范[S]
- [3]GB/T 17503-2009, 海上平台场址工程地质勘察规范[S]
- [4]王伟, 杨敏. 海上风电机组地基基础设计理论与工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014
- [5]林鹤云, 郭玉敬, 孙蓓蓓, 等. 海上风电的若干关键技术综述[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2011, 41(4): 882-888
- [6]赵竹占. 综合物探在工程地质勘察中的应用[J]. 地质与勘探, 1989(2): 40-44

6 结语

随着福建、广东浅海海域花岗岩特殊岩土地区海上风电的陆续开发,遇到的工程地质问题将会越来越多,花岗岩地区特殊岩土风机基础的勘察准确程度直接影响到设计质量、钢管桩基础施工的难度和工程成本。以上仅仅总结了兴化湾一带花岗岩地区的几个勘察方法和工作要点,是对工程的一次写真,由于花岗岩地层具有地区性、不均匀性、离散性、差异性、突变性等性状,对花岗岩中不良地质尤其是对孤石判断准确率和测试精度各个单位仍在探索之中。本文做抛砖引玉

(上接第19页)

5 结语

国内海上风电起步较晚,但是建设条件远比欧洲困难,台风、地震、浅覆盖层等都是国内建设者面临的难度。特别是覆盖层地质较为复杂,给设计和施工带来极大的不便,一是通过前期充分准备,可以降低孤石带来的风险,建议适当增加前期地勘费用,提高地质参数和地质分布的准确性,二是给设计更充分的时间密切联系施工单位,比选最优基础形式和优化基础结构;三是后期采取合理的解决方案,可以有效保证结构的安全。

虽然浅覆盖层场址先期建设成本较高,教训深刻。相信随着多个类似场址的经验积累,定能很好的优化

基础设计和施工方案,达到降低工程建设成本的目的,让国内风电建设具有竞争性。

参考文献:

- [1]刘治军, 王贤能, 莫莉. 花岗岩孤石研究现状及展望[J]. 广东土木与建筑, 2018, 25(1): 19-22
- [2]白亚东. 浅谈地球物理勘探中的地震勘探[J]. 中国科技信息, 2011(24): 33-33
- [3]谢书萌. 嵌岩桩承载特性静载荷试验研究[J]. 中国水运: 下半月, 2018, 18(5): 251-252
- [4]杨俊, 罗超, 商辉, 等. MW级吸力筒式海上风电基础结构设计研究[C]//中国造船工程学会. 2010年度海洋工程学术会议论文集. 广州: 2010
- [5]周进. 浅覆盖层大直径嵌岩桩基旋挖钻机施工技术[J]. 交通世界, 2018(22): 104-105

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.006

浅谈湖北省洪水风险图管理应用系统及集成

廖明, 林江武, 程雪

(湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430064)

摘要: 根据全国洪水风险图编制背景及湖北省洪水风险图编制概况, 全面总结湖北省洪水风险图编制工作及取得的进展, 梳理集成过程中出现的问题和针对性的解决办法, 以及洪水风险图工作中的经验体会, 为进一步完善洪水风险图编制、加强管理应用系统的开发、集成与运行等提供更好的基础。

关键词: 洪水风险图; 管理; 应用系统; 汇总集成

中图分类号: TV122

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)02-0028-03

Flood Risk Map Management and Application System and its Integration

LIAO Ming, LIN Jiangwu, CHENG Xue

(Hubei Provincial Water Resources and Hydropower Planning Survey and Design Institute, Wuhan 430064, China)

Abstract: Firstly, the background of the national flood risk map compilation work is introduced. Then, the general situation and progress of the compilation work in Hubei Province are summarized. Problems and corresponding solutions in the integration of the flood risk maps are discussed and useful experience is summarized. It provides a solid foundation for the further improvement of the flood risk map compilation work, and the development, integration and operation of the management and application system.

Key words: flood risk map; management; application system; summary and integration

洪水风险图是直观表示洪水风险(或风险要素)信息空间分布和洪水管理信息的地图。随着我国治水理念逐步由控制洪水向洪水风险管理转变,为加快构建更加完善的防洪减灾体系,提升防御洪涝灾害能力,促进人水和谐,国家开始实行洪水风险管理,而洪水风险图是实行洪水风险管理的重要技术支撑,因此,推进洪水风险图编制和应用很有必要。

湖北省2013年以前有黄广大堤防洪保护区、洪湖分蓄洪区、漳河水库、杜家台分蓄洪区等列入了国家洪水风险图的前期试点,前期试点积累了不少经验。2013-2015年在《全国山洪灾害防治项目实施方案(2013-2015年)》指导下湖北省编制了三年度实施方案以及分年度实施方案,然后根据实施方案编制了15个防洪保护区(其中有荆江大堤防洪保护区、荆南长江干堤防洪保护区、南线大堤防洪保护区、松滋江堤防洪保护区、下百里洲江堤防洪保护区、咸宁长江干堤防洪保护区、武汉市堤防洪保护区、汉南至白庙长江干堤

防洪保护区、黄冈长江干堤(含长孙堤)防洪保护区、黄广大堤防洪保护区、耙铺大堤防洪保护区、昌大堤防洪保护区、黄石市堤防洪保护区、阳新长江干堤防洪保护区、汉江遥堤防洪保护区)、8个蓄滞洪区(其中有荆江分洪区、洪湖分蓄洪区、杜家台分蓄洪区、西凉湖分蓄洪区、武湖分蓄洪区、涨渡湖分蓄洪区、白潭湖分蓄洪区、华阳河分蓄洪区)、4个洪泛区(其中有上百里洲洪泛区、南五洲洪泛区、三洲联垸洪泛区、合正垸洪泛区)、3座城市(其中有荆州市中心城区、武汉市中心城区、黄石市中心城区)和2条中小河流(其中有泗河、忠孝河)共32个重点区域的洪水风险图,并建设了湖北省洪水风险图管理与应用系统。

1 湖北省洪水风险图工作概况及进展

在水利部、财政部和国家防办统一部署和指导下,湖北省水利厅组织编写了《湖北省洪水风险图编制实施方案(2013-2015年)》,在全省范围内编制32个重

收稿日期:2019-12-17

作者简介:廖明,男,工程师,从事规划防洪、水利工程及数据集成工作。

点区域的洪水风险图,编制面积共计 51 341 km²,占湖北省总面积约 28%。其中,防洪保护区面积 43 334 km²、蓄滞洪区面积 6 402 km²、洪泛区面积 590 km²、城市面积 864 km²、中小河流面积 151 km²。三个年度通过公开招标、竞争性谈判和单一来源采购方式共有 18 家单位中标参与制作湖北省洪水风险图。

依据《湖北省 2015 年度洪水风险图编制项目实施方案》的要求,湖北省开展了洪水风险图管理与应用系统建设以及三个年度成果的汇总集成工作。2015 年 12 月,完成了《2015 年度洪水风险图管理与应用系统建设以及 3 个年度成果汇总集成技术大纲》编制并通过技术审查。2016 年 12 月,完成了 32 个编制单元洪水风险图成果汇总集成工作,完成了《2015 年度洪水风险图管理与应用系统建设以及 3 个年度成果汇总集成成果报告》编制并通过技术审查。2018 年 1 月,“洪水风险图管理与应用系统建设以及 3 个年度成果汇总集成与项目总结验收项目成果”通过了验收。

湖北省的洪水风险图成果汇总与集成工作是在现场实地查勘、洪水风险计算分析、洪水风险图绘制完成后,通过了成果报告审查验收,并对 32 个编制单元的成果数据采用人工或工具软件方式进行收集、汇总、审核,最终统一集成到湖北省洪水风险图管理与应用系统中,从而实现省级洪水风险图的统一管理及应用,并将成果提交长江水利委员会和国家防办。在实施过程中,根据国家防办有关要求,对系统功能设计进行了优化、扩展,增加了包括杜家台分蓄洪区、洪湖分蓄洪区在内部分区域的洪水风险实时分析系统及两个分蓄洪区的三维展示系统功能,并在移动端上部署集成了洪水风险图移动应用展示系统,然后又在楚天云上部署集成了洪水风险图管理与应用系统。

2 湖北省洪水风险图管理与应用系统建设的工作内容及过程

湖北省洪水风险图管理应用系统建设的工作内容首先是基础软硬件配置与部署,洪水风险图管理应用内网系统硬件由虚拟化主机联想 X3950 X6 和控制台主机联想 ThinkServer TS250 组成,其中联想 X3950 X6 虚拟出 7 台服务器,其中 2 台做应用服务器,2 台做数据库服务器,1 台做实时分析系统服务器,1 台做应用备份服务器,1 台做数据库备份服务器,并请管理与应用系统专业技术支持人员进行系统基础软件数据库软件 Oracle 11g R2 64 位,应用中间件 Apache - Tomcat - 6.0.26 及 GIS 软件 ArcGIS Server10.2 安装,然后再在此基础上部署湖北省洪水风险图管理与应用系统,洪

水风险实时分析系统及三维展示系统,外网系统部署在楚天云及移动端上,云服务器配置为 4CPU、16G 内存、1.5T 左右的堡垒机,移动端为三星(SAMSUNG) GALAXY Tab S2 T815C 9.7 英寸平板电脑 9 台。

然后是资料汇总集成,这是管理与应用系统建设的核心内容,18 家编制单位按照《省防办关于做好湖北省洪水风险图编制项目汇总集成工作的通知》里的时间计划分时分批来湖北省水利水电规划勘测设计院提交 32 个编制单元的 7 大类数据(包括:①基础资料,②洪水分析模型工程,③影响分析与损失评估工程,④制图工程,⑤地图数据库与图件成果,⑥风险图应用业务相关数据,⑦报告文档),分别将每个编制单元的 7 类数据按照要求目录结构拷贝到工作站并且将五、六类数据上传到本地洪水风险图管理与应用系统,期间每个编制单元都会经历上传、审核、修改、再上传、再审核的反复过程,历时 6 个月完成 18 家编制单位的 32 个编制单元的汇总集成,然后再将集成数据成果移植到省水利厅机房虚拟化主机上,后来经过五、六类数据脱密及移动端数据转换后再分别部署湖北省管理与应用系统到移动端平板和楚天云上,最终实现水利专网访问湖北省洪水风险图管理与应用系统。

3 汇总集成常见问题及解决方法

在洪水风险图管理与应用系统汇总集成中常会出现一些问题,主要是与《洪水风险图成果资料管理系统编制单元汇总集成手册》(以下简称《汇总集成手册》)要求不一致,在中国水科院技术支持工作人员咨询和沟通后往往可寻找到解决办法,现总结如下,以供其他汇总集成人员借鉴参考:

1) 当编制单位提供的地图 shp 坐标系不是规定的(GCS_China_Geodetic_Coordinate_System_2000)坐标系,这种情况比较多,可与编制单位联系通过 arcmap 程序转换为该坐标系。

2) 系统更新避洪转移的数据入库要求有变化时,需按照新的避洪转移展示支撑数据要求格式来整理相关数据。

3) 当缺少完整的水利工程配图时,需按照电子地图配图方式进行分级配图。

4) Shp 里面字段名称不是《汇总集成手册》规定的字段名称导致部分显示 null,需在 arcmap 中将相应字段名称修改为《汇总集成手册》规定的字段名称。

5) 影响分析中,支撑数据 excel 中编码不是文本格式时,点击影响分析的方案显示 no data to display,原因在于名为 xzjLayer 的 shp 数据中 T_CODE 与 6.3

影响分析支撑数据 excel 中乡镇编码不一致。

6) 脱密数据只针对第 5、6 类数据进行脱密, 数据源未按标准格式放在第 5 类数据文件中, 保存在其他类数据中, 还要对这类数据进行重新脱密。

7) 影响分析支撑数据 6.3 excel 中, 有些数据长度超过有效值 10 时, 有两种解决方法, 一种是 excel 数据长度控制在 10 以内, 另一种是修改数据库里数据长度参数使其大于数据长度。

8) 转移单元 - 转移路线 - 安置区 6.4.1 对应关系表中后面几行存在空行, 入库提示出错, 是因为数据清空后未删除相应行, 需要在 excel 中删除相应整行。

9) 批处理中出现错误: ORA - 00001: 违反唯一约束条件(FXT_QUANGUO_RM_SHJJ_INFO_PK), 即 excel 中存在重复编号或整行重复值的情况。

10) 动态淹没过程显示不正常或无法显示, 可能存在 shp 和 txt 文件不对应的情况, 需要将对应淹没过程的 shp 文件与淹没过程 txt 文件一一对应, 并且名称与规定一致, 打包在一起集成入库。

11) 避洪转移路线显示不完整或者不正确, 原因在转移道路 shp 中的相应转移路线是中断的, 路线没有连接成一条完整的路径或路线有误, 应在 arcmap 里编辑修改正确后再上传入库。

12) 避洪转移编制单元或路线显示不出时, 可能存在转移单元及安置区没有集成在居民地 shp 内, 或者避洪转移道路 shp 编码与 6.4 避洪转移展示支撑数据 excel 中编码不一致的情况。

13) 浏览器上打开湖北省洪水风险图应用与展示系统后, 编制单元列表显示有重复, 并且部分编制单元被重复的替代, 原因与 RiskPointBaseLogic.class 文件有关, 修改后成果查询界面编制单元列表显示正常。

14) 浏览器打开网址显示全国底图是英文的, 原因是 360 安全浏览器访问的是 arcgis 外部网站, 换成兼容模式可显示中文底图。

15) 湖北省洪水风险图应用与展示系统成果查询界面点击编制单元的方案后对应地图加载很慢, 可通过系统更新的办法解决, 更新的系统支持水利工程和方案完整地图服务地址分开设置。水利工程单独发布缓存切片服务, 另外方案完整地图文件发布服务, 将水利工程和方案的两个服务地址填入后台地图服务地址, 然后重新打开湖北省洪水风险图应用与展示系统, 则地图加载速度会明显加快。

16) 成果查询及避洪转移地图上字体有背景框及字体大小不合适时, 可通过修改完整地图 mxd 文件后, 替换后再重新发布服务。

17) 在进行部分编制单元方案的影响分析时, tomcat 自动退出或者提示分析出错, 这种情况需要重启 tomcat, 是目前存在的一个 bug, 重启后影响分析内容可以显示出来并有缓存, 之后点击即可立刻显示。

18) 完整地图发布服务无法启动或者数据源连接错误及设置数据源出错而无法创建对象类扩展 COM 组件时, 往往涉及到 gdb 解密问题, 可据此查错并修正。

4 结 语

总之, 湖北省洪水风险图成果具有数据量大、编制单位多、数据格式复杂等特点, 因此在洪水风险图成果整编汇总集成过程中, 应对相应成果进行反复检查校核, 才能保证数据的完整性、可靠性及可用性。7 类数据均经检查合格后才能汇总集成入库, 不合格则需重新修改完善, 直到满足要求后再汇总集成入库。湖北省 2013 年度还有补充完善方案这部分内容, 补充完善方案的数据与成果需要与原编制单元方案数据成果进行合并, 合并完成后再进行汇总集成入库。

湖北省洪水风险图编制、洪水风险图管理与应用系统建设以及三个年度成果汇总集成工作, 以及水利工程数据信息的使用获取工作, 是在湖北省防办的全面领导和悉心指引下完成的, 并得到了湖北省水利普查办、湖北省测绘局等单位的积极配合和大力支持。在整个项目编制过程中, 做到了上下联动, 齐心协力, 密切配合, 及时准确地提供测量地形、水利工程及社会经济等基础资料, 同时在资料的保密方面也做了大量工作, 各单位合力推进洪水风险图编制工作, 取得了可喜的成绩。

参考文献:

- [1] 向立云. 洪水风险图编制与应用概述[J]. 中国水利, 2017(5): 9-13
- [2] 李昌志, 黄金池, 何晓燕, 等. 浅谈洪水风险图制作与管理系统的开发[J]. 中国防汛抗旱, 2007(6): 27-32
- [3] 王军, 梁忠民, 施晔. 基于 GIS 的水库洪水风险图编制[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(1): 20-25
- [4] 李红亮, 万庆. 洪水风险图管理与应用系统的设计与实现[J]. 测绘科学, 2012, 37(6): 163-165
- [5] 徐美, 刘舒. 洪水风险图制图方法与系统[J]. 中国防汛抗旱, 2015, 25(4): 8-13
- [6] 邱沛炯, 陈月华, 李开峰. 洪水风险图编制若干问题探讨[J]. 中国水利, 2017(5): 14-16
- [7] 黄琨, 陆平, 邓岩, 等. 洪水风险图成果集成关键技术研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(10): 52-55

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.007

小型水电站生命周期碳足迹研究

邹一雄¹, 刘羽²

(1. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430000; 2. 湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430000)

摘要:以某小型水电站为研究对象,采用生命周期碳足迹评价方法,综合选用各类碳足迹计算指标,对其全生命周期碳足迹进行了计算,结果显示其碳足迹总量为 18 826.0 t CO₂e,其中建设阶段占 84.8%,运行阶段仅占 4.7%;报废拆除阶段占 10.5%。该电站全生命周期的温室气体排放系数为 251.35 g CO₂e/kW·h,虽然比其他大中型水电站要高,但仍远低于燃煤电厂,表明水电工程能起到了有效节能减排的效果。

关键词:水电站;温室气体;生命周期;碳足迹

中图分类号:TV742 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)02-0031-05

Life Cycle Carbon Footprint of Small Hydropower Stations

ZOU Yixiong¹, LIU Yu²

(1. CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430000, China;

2. Hubei Provincial Water Resources and Hydropower Planning Survey and Design Institute, Wuhan 430000, China)

Abstract: Taking a small hydropower station as the example, its life cycle carbon footprint is calculated with various calculation indexes. The results show that its total carbon footprint is 18 826.0 t CO₂e, of which 84.8% is in the construction phase, 4.7% in the operation phase, and 10.5% in the demolition phase. The life cycle greenhouse gas emission coefficient of the power station is 251.35 g CO₂e/kW·h. Although it is higher than other large and medium scale hydropower stations, it is still much lower than coal-fired power plants, which indicates that hydropower projects can play an effective role in energy conservation and emission reduction.

Key words: hydropower station; greenhouse gas; life cycle; carbon footprint

可再生清洁能源的使用已成为全球能源转型及实现应对气候变化目标的重大战略举措。全球能源转型的基本趋势是实现化石能源体系向低碳能源体系的转变,最终进入以可再生清洁能源为主的时代。中国水能资源极为丰富,可开发装机容量约 6.6 亿 kW,在常规能源资源剩余可开采总量中仅次于煤炭,水电开发还将继续作为中国在可再生能源领域不断转型升级的主要动力和履行应对全球气候变化责任的重要措施。《水电发展“十三五”规划》提出,2020 年水电总装机容量将达到 3.8 亿 kW,年发电量达到 1.25 万亿 kW·h,在非化石能源消费中比重保持在 50% 以上。

本文通过对小水电站生命周期碳足迹的分析,核

算得到单个水电站全生命周期的碳排放量,不仅可为温室气体减排统计提供基础资料,而且对小水电站参与清洁发展机制(CDM)和国内碳交易市场的决策具有一定意义。

1 研究方法

1.1 生命周期评价

生命周期评价方法(Life Cycle Assessment, LCA),是指对产品或项目在从原材料获取到设计、制造、使用、直至废弃的完整生命周期中,对其所有流程实际或潜在消耗的资源、能源以及产生的环境负荷进行整体定量计算评价^[1]。

根据 LCA 的合理简化原则,在对水电站工程生命

收稿日期:2019-10-10

作者简介:邹一雄,男,工程师,从事水利规划方面的研究。

周期进行充分分析研究的基础上,确定系统研究范围及时空边界如下:碳足迹产生的范围包括筹建阶段的移民搬迁、库底清理所消耗能源、工程建设所使用的原材料,建设期及运行期的能源消耗,运行期水库区的碳释放及报废拆除阶段的碳释放和能耗;时间边界包括

筹建期、建设期、运行期和报废期共4个阶段;空间边界包括水电站建筑物、机电设备、金属结构及附属设施和正常蓄水位时的水库水面范围;水电站生命周期碳足迹研究系统范围及边界见图1。

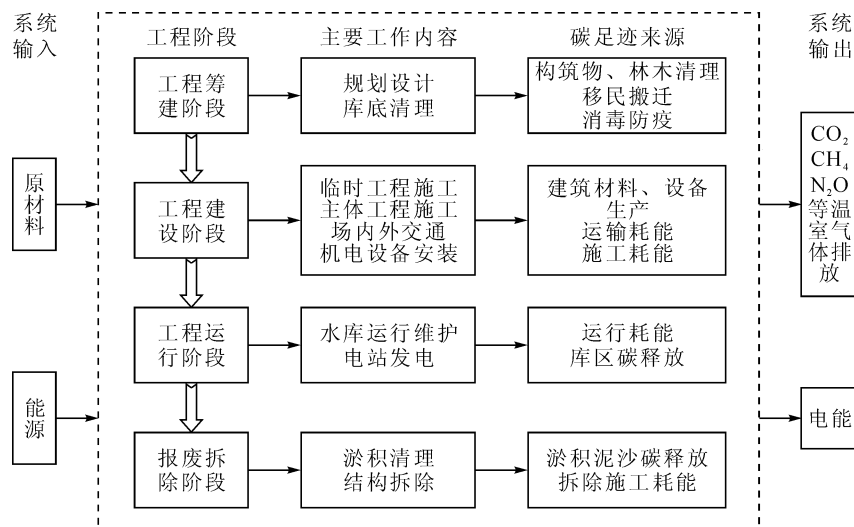


图1 水电站生命周期碳足迹研究范围图

本文仅分析和研究水电站生命周期的温室气体排放,对水电站生命周期中的潜在环境影响仅考虑温室效应方面,不计其他方面的环境影响。因此本文的LCA范围确定在水电站生命周期与温室气体排放有关的阶段,清单分析项目为温室气体排放,并简化或忽略其他与碳排放关系不密切的环境影响,见表1。

表1 水电站生命周期碳足迹分析清单表

输入		输出
原料消耗	能源消耗	能源、温室气体
混凝土、钢筋、砂石料、金属结构、机电设备等	柴油、电力等	电能、CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O等

1.2 碳足迹

碳足迹是由生态足迹衍生出来的概念。根据国际标准化组织定义,产品碳足迹是指产品由原料取得、制造、运输、销售、使用以及废弃阶段过程中所直接与间接产生的温室气体排放总量^[2]。

1.3 温室气体排放系数

排放到大气中的最主要的温室气体包括CO₂、CH₄和N₂O。在考虑温室气体对全球增温的影响程度时,通常用全球增温潜势值(Global warming Potential, GWP)来衡量。GWP表示不同温室气体在不同时间内在大气中保持综合影响及其吸收外逸热红外辐射的相对作用,即相对于CO₂的增温能力。根据国家发改委

的统计口径,目前中国在气候变化国家信息通报等报告制定中仍采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第二次评估报告中的值,故本文采用的CO₂、CH₄和N₂O的GWP值分别为1、21和310。下文均以此系数将各类温室气体排放量折算为CO₂当量(以CO₂e表示)。

发电站生命周期的温室气体排放系数(Life cycle GHG emission factor, LCE)通常用作从全球增温角度来进行各类发电方式碳排放量比较的依据。各种类型的发电站在其生命周期内单位发电量(1 kW·h)排放的温室气体计算公式为:

$$LCE = \frac{\sum_i \sum_j (GWP_j \times E_{ij})}{M}$$

式中: i 代表发电站生命周期的第 i 个阶段; j 代表第 j 种温室气体; E_{ij} 为发电站生命周期第 i 阶段中第 j 种温室气体的排放量; GWP_j 代表第 j 种温室气体的GWP值; M 为发电站在全生命周期中的电力输出。

1.4 主要计算参数及来源

碳足迹计算基于工程设计成果,其他参数主要来源包括CLCD基础数据库、EIO-LCA模型、IPCC国家温室气体清单指南报告、中国区域电网基准线排放因子和其他有关研究,综合现有的研究成果和本项目的基本情况,本文中选择的电站工程碳足迹分析项目及其主要数据见表2。

表2 各阶段碳足迹参数及来源表

阶段	工程内容	单位	数值	来源
筹建阶段	库底清理	tCO ₂ e/million dollar	632	EIO; Agriculture, livestock, Forestry and fisheries; logging
	消毒防疫	tCO ₂ e/million dollar	325	EIO; Community food, housing, and other services
	构筑物清理	kgCO ₂ e/m ²	105	蔡向荣等 ^[3]
建设阶段	预制混凝土	tCO ₂ e/m ³	0.197 5	王帅 ^[4]
	钢材	tCO ₂ e/t	2.2	张玥等 ^[5]
	金属结构	tCO ₂ e/million dollar	640	EIO; Hardware manufacturing
	机电设备	tCO ₂ e/million dollar	644	EIO; Other engine equipment manufacturing
	柴油使用	kgCO ₂ e/kg	3.24	IPCC 2006
	电使用	kgCO ₂ e/(kW·h)	0.901 4	华中区域电网基准线排放因子
运行阶段	柴油使用	kgCO ₂ e/kg	3.24	IPCC 2006
	电使用	kgCO ₂ e/(kW·h)	0.901 4	华中区域电网基准线排放因子
报废阶段	泥沙释放			Pacca ^[6]

2 水电站生命周期碳足迹及温室气体排放系数计算

2.1 研究对象

本文选取通城县外环大桥拦河闸枢纽水电站作为研究对象。该电站位于湖北省咸宁市通城县城区的隽水河上,闸址以上流域面积 703 km²,是一座结合新建隽水河外环大桥拦河闸枢纽而建设的河床式水电站,电站的开发方式为:在拦河闸枢纽蓄水后,优先保证闸上维持正常蓄水位不变,将闸上来水引入电站厂房发电,发电尾水回归下游河道内。电站安装 3 台单机 300 kW 的发电机组,总装机容量 900 kW,设计多年平均发电量 374.5 万 kW·h。

2.2 工程筹建阶段

水电站项目筹建阶段的碳足迹主要指库底清理工作的碳足迹。由于本研究项目拦河闸的挡水高度仅为 4.5 m,闸址以上水电站库区全部位于现状河道范围

内,库区内无居民点拆迁、工矿企业迁建、消毒防疫和库底清理工作,因此本次研究项目可不计工程筹建阶段的碳足迹。

2.3 工程建设阶段

外环大桥拦河闸枢纽水电站建设过程使用的建设材料主要包括水泥、预拌混凝土、砂石、钢筋、燃料等;设备包括机电设备与金属结构。其碳足迹主要根据工程设计成果中各类材料的用量及每种材料各自的碳足迹数据计算得到。其中,砂土主要来自项目区开挖料,因此以建设期的燃料消耗量进行计算。运输过程包括材料及设备的进场和场内运输过程,其碳足迹主要来自于运输过程中柴油等燃料的消耗。施工过程的主要工作包括土石方开挖及回填、混凝土浇筑、钢筋制作、金属结构和机电设备安装等,在施工过程的碳足迹计算中,仅考虑机械设备施工过程中消耗的柴油、电力等能源数据。

根据工程设计成果,水电站建设阶段的碳足迹共计 15 959.3 t,见表 3。

表3 建设阶段碳足迹表

项目	水泥 /t	混凝土 /m ³	钢筋 /t	金属结构 /万元	机电设备 /万元	柴油 /t	电力 /万 kW·h	合计
数量	825.5	28 773	2 316	1 910	1 600	379	8.5	
碳足迹/t CO ₂ e	591.1	5 682.7	5 095.2	1 824.5	1 537.9	1 228.0	76.6	15 959.3

2.4 工程运行阶段

水电站项目运行阶段的碳足迹主要来自于运行阶段所消耗的能源、燃料以及由于拦河闸蓄水建设淹没造成的库区新增温室气体释放。

在水电站运行阶段,由于电站设备的调度运行和正常维护的需要,进行闸门启闭、机组调控及机械设备的养护等工作均需消耗能源,这些能源消耗构成了运行阶段水电站工程的碳足迹。经综合分析,水电站的主要用能设备有水轮机发电机组、电气设备、变压器、闸门启闭设备、水泵等电站生产系统以及厂房照明用电、暖通用电和控制室用电等,运行期以消耗电能为主。采用2017年生态环境部公布的华中电网基准线排放因子和水电站运行期电耗来计算电站运行维护阶段的碳足迹。

水电站运行期电耗为3.5万kW·h/年,折合碳足迹为31.55 t CO₂e,运行期按20年计,相应的电耗碳足迹共计631.0 t CO₂e。

由于拦河闸蓄水改变了河道区域的原生环境,使水面扩大,原本的陆地环境被水面和湿地所替代,库底原有的有机沉积物的分解和消落带腐烂的生物分解将会新增温室气体的排放,释放的主要气体包括CO₂和CH₄。根据有关研究,部分国家的典型水库蓄水期的温室气体排放量很大,甚至使水电站的运行期碳排放达到与火电相当的程度^[7]。

对于水库蓄水后的温室气体排放,本文主要采用由联合国教科文组织(UNESCO)和国际水电协会(IHA)淡水水库温室气体排放研究项目共同开发的The GHG Reservoir Tool(G-Res)模型进行计算。该模型主要的输入数据包括水库流域参数(流域面积、流域地类、径流深、月平均气温等),水库参数(水深、库容、库区地类),输出结果为水库蓄水前、蓄水后及净碳足迹,该模型拟合了多参数作用下水库蓄水过程温室气体通量的变化情况,一定程度地避免了采用单次单地的实测数据来估计水库蓄水前后碳通量的误差性。

水电站库区年平均气温约为17.5℃,年平均径流

深870 mm,正常水位下水面面积70万m²,库区主要为河滩地和极少量裸地。模型计算结果表明,电站运行期20年内,温室气体总通量为4700 t CO₂e,其中由于库区淹没而新增的温室气体净通量为255.0 t CO₂e。

水电站运行阶段的碳足迹共计886 t CO₂e。

2.5 报废拆除阶段

水电站在设计运行期结束后,一般采取报废拆除的方式进行处理,拆除后项目区将逐渐恢复到天然河流生态,达到新的平衡状态。该阶段的碳足迹主要包括建筑物拆除以及水库内淤积物的分解过程。根据已有研究,一般拆除阶段的碳足迹可采用建设阶段碳足迹10%的方式简化处理^[8],因此该水电站退役阶段坝体处理碳足迹为1595.9 t CO₂e。本工程主要拦水建筑物为钢坝闸,其主体建筑物型式和工程运行方式决定了在汛期来水较大时,钢坝闸可全部放平宣泄洪水,因此库区泥沙淤积情况与天然状况下改变不大,泥沙淤积总量很小,同时还可在枯水期通过合理实施采砂予以清理。按泥沙淤积量为总库容的5%计,为8.50万m³。有关水库淤积泥沙碳含量的研究成果表明,淤积泥沙中有机碳含量约为1.10%^[9],因此电站库区淤积泥沙中有机碳含量为935.0 t,淤积物的矿化过程碳足迹情况见表4,碳足迹为384.8 t CO₂e。

表4 库区淤积物矿化过程碳足迹表

有机碳含量/t	矿化比例/%	释放比例CO ₂ :CH ₄	温室气体产生量/t		CO ₂ e/t
			CO ₂	CH ₄	
935.0	7	10	218.2	7.93	384.8

2.6 生命周期碳足迹及温室气体排放系数计算

根据对外环大桥拦河闸枢纽水电站的生命周期全阶段分析,利用有关碳足迹清单计算出水电站生命周期的碳足迹总量为18826.0 t CO₂e,各阶段排放量详见表5。小型水电站运行期按20年,年平均发电量374.5万kW·h计,全生命周期的LCE为251.35 g CO₂e/kW·h。

表5 水电站生命周期碳足迹汇总表

阶段	筹建阶段	建设阶段	运行阶段		报废拆除阶段	合计
			工程运行	库区排放		
			碳足迹/(CO ₂ e·t ⁻¹)	0		

从上述计算结果分析,在水电站的生命周期各阶段的碳足迹总量中,建设阶段约占 84.8%,工程运行阶段约占 4.7%;报废拆除阶段约占 10.5%。可见,本水电站工程的碳足迹主要发生在建设阶段。

3 与其他发电类型的 LCE 比较

3.1 与其他水电站的 LCE 比较

根据其他研究,部分大中型水电站的 LCE 为:阿都水电站 $13.05 \text{ g CO}_2\text{eq/kW} \cdot \text{h}^{[10]}$,小浪底水库 $19.24 \text{ g CO}_2\text{eq/kW} \cdot \text{h}^{[11]}$,峡江水电站 $47.3 \text{ g CO}_2\text{eq/kW} \cdot \text{h}^{[12]}$ 。其中阿都水电站为高山峡谷型纯发电型水库电站,另两座为有发电功能的综合利用水库。与以上工程对比,本电站的 LCE 相对较高,经分析原因主要包括以下几点:

1)外环大桥拦河闸枢纽水电站库容小、调节能力差、发电水头低、装机容量小,功率密度(发电装机容量/水库淹没表面积)仅为 1.3 W/m^2 ,而阿都、小浪底和峡江水电站该参数分别为 89.8、6.5 和 3.0 W/m^2 。由于该工程对河流的水能资源利用不够充分,因此相对温室气体排放系数较高。

2)外环大桥拦河闸枢纽水电站是一座小型水电站,根据《水利建设项目经济评价规范》(SL 72 - 2013),工程运行期为 20 年,运行期长度仅为其他大中型水电站工程 50 年运行期的 40%。由于运行期短,相应每年需分摊的建设期碳足迹也较大。

3.2 与燃煤发电厂的 LCE 比较

《湖北省 2017 年碳排放权配额分配方案》(鄂发改气候 2018[28]号文)给出了湖北省燃煤电厂机组标杆值,其中超超临界以及 60 万 kW 超临界机组参考《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014 - 2020)》(发改能源[2014]2093 号)中的先进值,30 万 kW 超临界及亚临界机组采用本省纳入企业同类型机组现役最先进值,相应的单位综合发电量碳排放值范围在 $752.4 \sim 812.54 \text{ g CO}_2\text{eq/kW} \cdot \text{h}$ 之间。本次对湖北省燃煤发电机组的平均综合碳排放按 30 万 kW 超临界机组的标杆值计,即 $804.95 \text{ g CO}_2\text{eq/kW} \cdot \text{h}$,相当于外环大桥拦河闸枢纽水电站的 3.2 倍,可见本电站在全生命周期内减排温室气体的环境效益仍然相当明显,对应相同发电量的火电厂相当于可减少温室气体排放 $41\,464.8 \text{ t CO}_2\text{eq}$ 。

4 结 语

1)以通城县外环大桥拦河闸枢纽水电站作为研

究案例,通过对水电站生命周期的边界进行清单识别和合理简化,进行了水电站生命周期的碳足迹计算,结果表明该水电站生命周期碳足迹总量为 $18\,826.0 \text{ t CO}_2\text{e}$,其中建设阶段的碳足迹占比达 84.8%。电站全生命周期的温室气体排放系数为 $251.35 \text{ g CO}_2\text{e/kW} \cdot \text{h}$,显著低于火电运行期的碳排放。

2)与其他水电站及燃煤发电的碳足迹研究成果进行对比,可见外环大桥拦河闸枢纽水电站的碳足迹虽较其他水电站略高,但依然远低于燃煤发电厂,所产生的电能属于清洁能源。

3)研究结果表明,新建外环大桥拦河闸枢纽水电站将可有效削减碳排放,预计工程从筹建至运行期结束后的全生命周期,相比火电可削减碳排放 $53\,294.2 \text{ t CO}_2\text{eq}$ 。该工程建设不仅能提供电能,也能发挥碳减排的环保作用。

参考文献:

- [1] BS EN ISO 14040: 2006, Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework[S]
- [2] ISO 14067: 2018, Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification [S]
- [3] 蔡向荣,王敏权,傅柏权. 住宅建筑的碳排放量分析与节能减排措施[J]. 防灾减灾工程学报, 2010, 30(s1): 428 - 431
- [4] 王帅. 商品混凝土生命周期环境影响评价研究[D]. 北京: 清华大学, 2009
- [5] 张玥,王让会,刘飞. 钢铁生产过程碳足迹研究——以南京钢铁联合有限公司为例[J]. 环境科学学报, 2013, 33(4): 1195 - 1201
- [6] Pacca S. Impacts from decommissioning of hydroelectric dams: a life cycle perspective[J]. Climate Change, 2007, 84(3 - 4): 281 - 294
- [7] Giles J. Methane quashes green credentials of hydropower[J]. Nature, 2006, 444: 524 - 525
- [8] Hertwich E G, Gibon T, Bouman E A, et al. Integrated life - cycle assessment of electricity - supply scenarios confirms global environmental benefit of low - carbon technologies [J]. PNAS, 2015, 112(20): 6277 - 6282
- [9] 雒钊. 水库底泥碳沉积特性研究[D]. 北京: 清华大学, 2014
- [10] 杜海龙,魏俊,李哲. 基于 ISO14067 评估可渡河水电开发碳减排潜力[J]. 人民珠江, 2017, 38(12): 45 - 49
- [11] 杨梦斐,李兰. 水力发电的生命周期温室气体排放[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2013, 46(1): 41 - 45
- [12] 龚新,李海英,廖文根. 基于生命周期的水库温室气体排放计算[J]. 水力发电, 2012, 38(10): 8 - 12

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.008

水电工程中环境友好型泄洪消能建筑物研究

潘洪月¹, 李 华¹, 宛良朋¹, 王 坤¹, 王英奎²

(1. 中国三峡建设管理有限公司, 四川 成都 610041; 2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430074)

摘要:针对水电工程现有“环境友好型”泄洪消能建筑物对环境不同影响的探讨,研究了坝面台阶式消能、水垫塘消能、坝身孔口无碰撞消能及旋流式消能等特点及适用条件,指出根据各工程的具体条件,选择最合适的消能型式,尽量减小泄洪雾化影响、避免总溶解气体过饱和、减轻流激振动及场地振动等。并且尽量做到结构简单、施工方便、投资节约,以减轻资源浪费。

关键词:环境友好型;台阶式消能;水垫塘消能;坝身孔口无碰撞消能;旋流式消能

中图分类号:TV73 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)02-0036-03

Environment Friendly Flood Discharge and Energy Dissipation Structures in Hydropower Projects

PAN Hongyue¹, LI Hua¹, WAN Liangpeng¹, WANG Kun¹, WANG Yingkui²

(1. China Three Gorges Construction Management Co., Ltd., Chengdu 610041, China;
2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430074, China)

Abstract: The effects of several environment friendly flood discharge and energy dissipation structures, including the surficial stepped energy dissipation, plunge pool energy dissipation, non-collision dam orifice energy dissipation and swirling flow energy dissipation, on the environment are discussed. The specific characteristics and applicable conditions of these structures are summarized. For different projects, the most suitable energy dissipation structure should be selected according to their specific conditions to minimize the impact of the discharge atomization, to avoid the oversaturation of the total dissolved gas, and to mitigate the discharge induced vibration. Also, the structure should be of simple form, construction convenience, cost saving and less resources and energy waste.

Key words: environment friendly; stepped energy dissipation; plunge pool energy dissipation; non-collision dam orifice energy dissipation; swirling flow energy dissipation

我国水资源绝大部分集中在西南地区,一大批高拱坝已经或正在建设中,这些工程一般都具有“高水头、大流量、窄河谷”等特点。随着建设美丽中国的理念逐渐深入人心,水利水电工程对环境保护的要求越来越高,而水利工程设计、建设、运行可能造成的各类环境影响也越来越受到社会各界的广泛关注,对水利水电工程建设提出了更高的要求^[1]。

对于西南地区的大部分工程而言,由于泄流量和泄洪功率较大、河谷狭窄、山高坡陡,枢纽布置及泄洪消能建筑物设计受到很大限制,在方案选择、整体布置

和结构设计方面都存在很大困难。泄洪消能建筑物的设计不仅影响工程运行安全、工程投资及效益,而且对坝址区及周边环境也有较大影响:①泄洪消能引起的泄洪雾化和河道严重冲刷不利于岸坡稳定,如龙羊峡、李家峡、二滩等工程都因泄洪雾化引起了不同规模的山体滑坡^[2];②下游河道水流产生溶解气体过饱和引起鱼类的死亡,三峡和溪洛渡水电站泄洪导致水体溶解气体过饱和导致下游河道死鱼现象;③泄洪消能水体紊动引起消能区结构的流激振动及周边场地振动,向家坝水电站在泄洪消能设计中曾经遇到泄洪诱发场

收稿日期:2019-10-08

作者简介:潘洪月,男,工程师,主要从事水电工程建设技术管理方面工作。

基金项目:中国长江三峡集团有限公司、中国三峡建设管理有限公司科研项目资助(合同编号:WDD/0473);国家重点研发计划(课题编号2016YFC0401706)。

地振动的问题。这些泄洪消能引发的次生危害问题在一定程度上制约了水利水电工程的开发建设。

本文针对水电工程泄洪消能建筑物设计中的环境影响进行了探讨,指出了“环境友好型”的特点,结合水电工程实际提出了其具体要求,并对几种比较常用的环境友好型泄洪消能建筑物进行了对比分析。

1 环境友好型建筑特点及要求

所谓“环境友好型”,广义上讲可以理解为在建筑寿命周期内,通过降低资源和能源的消耗减少各种废物的产生,实现与自然共生的工程;狭义上讲是指规划、设计时充分考虑并利用了环境因素,施工、运行过程中对环境影响最低的工程。水力发电作为一种传统清洁能源,是我国实施可持续发展战略、建设美丽中国的重要组成部分,但在建设和运行过程中不可避免会对环境造成一定的影响,因此有必要在设计阶段就充分考虑其环境影响,尽量达到环境友好的目的。而泄洪消能设计作为水电工程设计重点之一,“环境友好型”主要体现在以下几个方面。

1)泄洪雾化影响较小。泄洪消能建筑物设计应尽量控制泄洪雾化范围和雾雨强度,采取必要的工程措施,减轻泄洪雾化对工程边坡和自然边坡的影响^[2]。

2)尽量避免总溶解气体(TDG)过饱和。泄洪消能方案设计中,应尽量避免泄洪消能引起的总溶解气体(TDG)过饱和,减轻对水生生态的影响。

3)减轻流激振动及场地振动。泄洪消能方案应避免对消能区工程边坡和自然边坡的直接冲刷,减轻消能区结构的流激振动,尽量避免引起周边场地振动。

另外,在保证泄洪消能建筑物结构安全的前提下,泄洪建筑物设计尽量做到结构简单、施工方便、投资节约,以减轻资源和能源浪费。

2 环境友好型泄洪消能建筑物研究

随着对环境影响的逐渐重视及泄洪消能技术的发展,越来越多的泄洪消能设计开始重视其环境影响,具备一定的环境友好型特点,下面简单对几种环境友好型泄洪消能建筑物的特点进行对比分析,以供工程设计中参考。

2.1 坝面台阶式消能

将泄水建筑物过流面设计成台阶状溢流面而形成的消能型式(图1),利用水流流经台阶状溢流面时形成的水平轴漩滚、碰撞和掺气等作用达到消能目的。

坝面台阶式消能可单独采用,也可以与消力池、宽尾墩等联合应用。

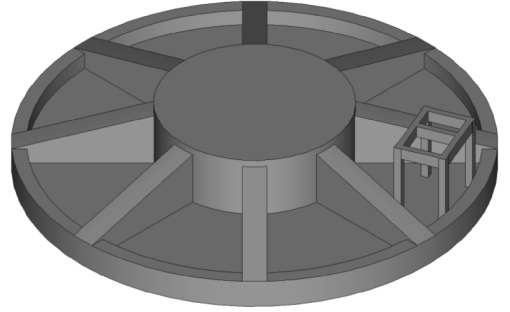


图1 台阶式消能工图

台阶式消能的显著特点是过流面上的摩阻力大,掺气多,从而消能率高,可极大的缩短下游所需消能工的尺寸,一般可使消力池长度缩短10%~30%。台阶式消能工单独采用时,多适用于设计单宽流量小于 $20 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 的中坝、低坝;而与宽尾墩联合应用时,也逐渐应用于单宽流量较大或高坝工程中。

坝面台阶式消能的消能区在坝面台阶部位,单独应用时不会产生泄洪雾化,对下游河道及附近山体影响很小,一般也不会引起周边山体的流激振动或场地振动,但通常应用于单宽流量较小、高度较低的碾压混凝土坝中,应用范围有一定局限性。



图2 沫若水电站台阶式消能泄洪照片

2.2 水垫塘消能

现有大型水电工程中,挑跌流+水垫塘消能方案应用较多,这种消能型式适应性强、消能效果好、泄洪安全保障性较高,但也存在泄洪雾化及岸坡冲刷等问题,工程中一般也采取了一定的防护措施。

水垫塘主要是利用淹没水跃消能。水垫塘中的斜向淹没冲击射流,为射流主流区+旋涡区的混合结构。其中主流区与各宏观旋涡区的交界区域是一层强紊动剪切作用区,主流在该区通过强烈紊动剪切和扩散作用使其有效机械能(动能)不断地被消刹^[3],因此该区域是射流有效机械能消刹的主区域,消能率可达70%以上。水垫塘内流态如图3所示。

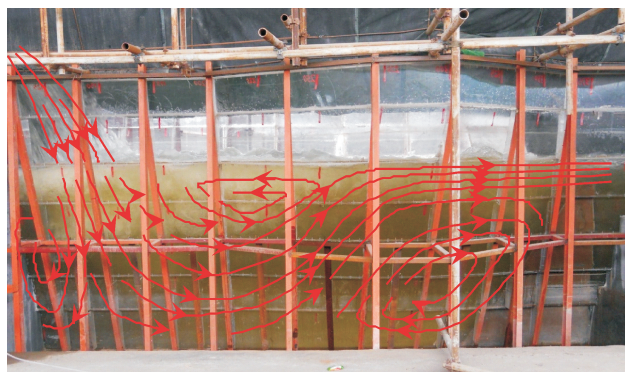


图3 水垫塘内典型流态示意图

在工程实践中,为了减轻水垫塘内消能水流紊动以及泄洪雾化对边坡的影响,坝后水垫塘一般需要采取坡面防护措施,一般分全衬砌水垫塘、局部衬砌水垫塘两种形式^[4-6],如图4和图5所示。

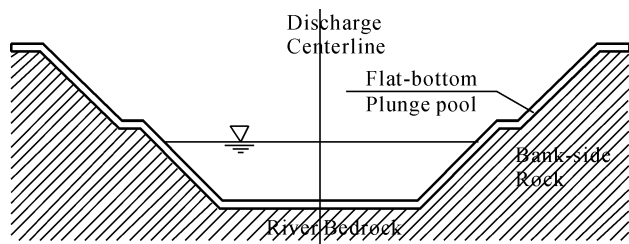


图4 全衬砌水垫塘结构示意图

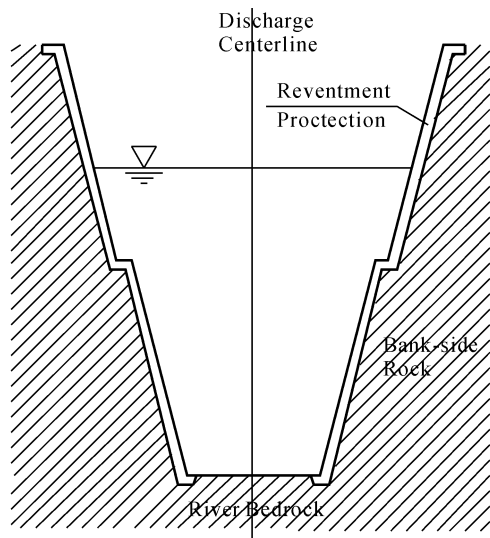


图5 局部衬砌水垫塘(护岸不护底水垫塘)结构示意图

水垫塘消能的应用较为广泛,消能机理和防护技术均比较成熟,但其存在泄洪雾化、流激振动、下游水体总溶解气体过饱和等不足,需要采取边坡防护等工程措施来提高其环境友好性。

2.3 坝身孔口无碰撞消能

高拱坝表中孔水流空中碰撞消能产生比较严重的泄洪雾化,因此部分工程泄洪消能设计中采用表深孔

水流无碰撞消能型式,一般采用两种方式:一种是表中孔仍采用常规出口体型,在平面布置上各孔横向相互尽量拉开,但受工程所处河谷狭窄限制而很难实现;另一种是高拱坝表深孔采用收缩式消能工,如宽尾墩、窄缝挑坎等,利用收缩式消能工收缩水流的特性获得窄长的下泄水舌流态,各股水舌从相互间隙穿插下落,从而实现表深孔水舌的空中无碰撞消能。

锦屏一级水电站表孔采用宽尾墩,深孔采用窄缝挑坎,下泄水舌呈窄长的水流流态,在空中相互穿插下落,不发生碰撞,实现了表深水舌空中无碰撞消能,如图6所示^[7]。



图6 水垫塘内典型流态示意图

无碰撞窄缝消能降低了泄洪雾化的强度和范围,对环境的影响较小,适用于狭窄河谷中的高拱坝工程,但受窄缝影响,孔口泄流能力会有一定减小,并且设计中应研究避免下泄水舌对水垫塘底板的冲击破坏。

2.4 旋流式消能

旋流式消能工是指通过设置气旋器等措施,使水流在泄洪洞内产生旋转运动,从而达到消能的目的。旋流式消能工一般由引水道、旋转水流发生装置、消能段和出水道四部分组成,主要通过旋转水流的高速旋转,利用水流层间的紊动、剪切作用和漩涡消耗水流能量,同时利用旋流的掺气作用使水流变为二相流,增加了气-水紊动强度,进而有效地消能。

旋流式消能的有效消能区集中在旋流洞内,不会产生泄洪雾化,对工程区边坡影响很小,但旋流式消能的泄流能力受到一定影响,并且旋流洞内的掺气也容易导致下游水体总溶解气体过饱和等问题。

(下转第48页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.009

深远海海上风电导管架基础安装技术与实践探索

兰世平, 周通, 贾小刚

(福州海峡发电有限公司, 福建 福州 350001)

摘要:为获得深远海风电基础的施工经验,借鉴海洋石油行业的深远海导管架安装技术,对福建省长乐A区测风塔第一个采用该技术。针对海上风电基础特点,对深远海风电场导管架采用后桩法安装技术进行深入分析,全面研究了安装技术及重难点,成功解决了一系列难题,并对后期深远海风电场建设中提出了相应的完善与改进措施。

关键词:深远海;导管架;后桩法

中图分类号:TV614 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-3354(2020)02-0039-04

Exploration and Practice of the Jacket Foundation Installation Technology for Far-reaching Offshore Wind Power Projects

LAN Shiping, ZHOU Tong, JIA Xiaogang

(Fuzhou Haixia Power Generation Co., Ltd., Fuzhou 350001, China)

Abstract: In the wind measurement tower project in Fujian Changle A area, the jacket foundation installation technology of offshore oil industry is firstly adopted in far-reaching offshore wind power projects. Considering the specific characteristics of the foundation of offshore wind power projects, the jacket foundation installation technology with the late piling method is analyzed. Key issues and difficulties of the installation technology are discussed. Corresponding solutions and improvement measures are then proposed for the construction of far-reaching offshore wind farms.

Key words: far-reaching sea; jacket; late piling method

随着陆地风电开发趋于饱和,海上风电开发愈来愈迫切,目前我国海上风电场的建设主要集中在浅海海域,且呈现由近海到远海、由浅水到深水、由小规模示范到大规模集中开发的特点^[1]。为获取更多的海上风能资源,海上风电项目将逐渐向深远海方向发展。浅海海域风电基础施工技术将难以应用在深远海海域,迫切需要更多的深远海施工经验。而传统海洋石油工程行业平台制作技术虽成熟,但其开发成本高,不适用于追求低成本建设的海上风电项目。

长乐A区测风塔项目导管架安装采用后桩法施工,其主要工序有导管架沉放、钢管桩沉桩、水下灌浆等。本文通过总结项目实施经验,并结合深远海环境工况以及实施过程中出现的问题,对深远海导管架安装提出建议,为大规模开发深远海海上风电基础设计提供参考。

1 工程概况

长乐A区测风塔位于外海海域,离岸距离29.5 km,最高水深42 m,在白犬岛灯塔和牛山岛灯塔连线以西。海域海洋水文条件异常复杂,涌浪、潮汐等无规律可循,潮差大于5 m,随水深不同呈多层旋转流,流速较大。测风塔海域东北风风速较大,最大达20 m/s,外海作业施工窗口期短。

该测风塔基础结构采用四桩导管架基础型式,由四根钢管桩垂直定位于海底,桩与导管架通过水下灌浆材料连接。钢管桩桩基直径1.6 m,长度73.9 m,重量80 t/根;导管架底部尺寸22.7 m×22.7 m,上部平台10.2 m×10.2 m,高度50.9 m,重量380 t。设计如图1、2所示。设计中心点绝对位置偏差≤500 mm,桩顶水平位置的相对偏差≤200 mm,高程允许偏差<50 mm,纵轴线倾斜度偏差<1%。

收稿日期:2019-11-15

作者简介:兰世平,男,工程师,主要从事海上风电建设管理工作。

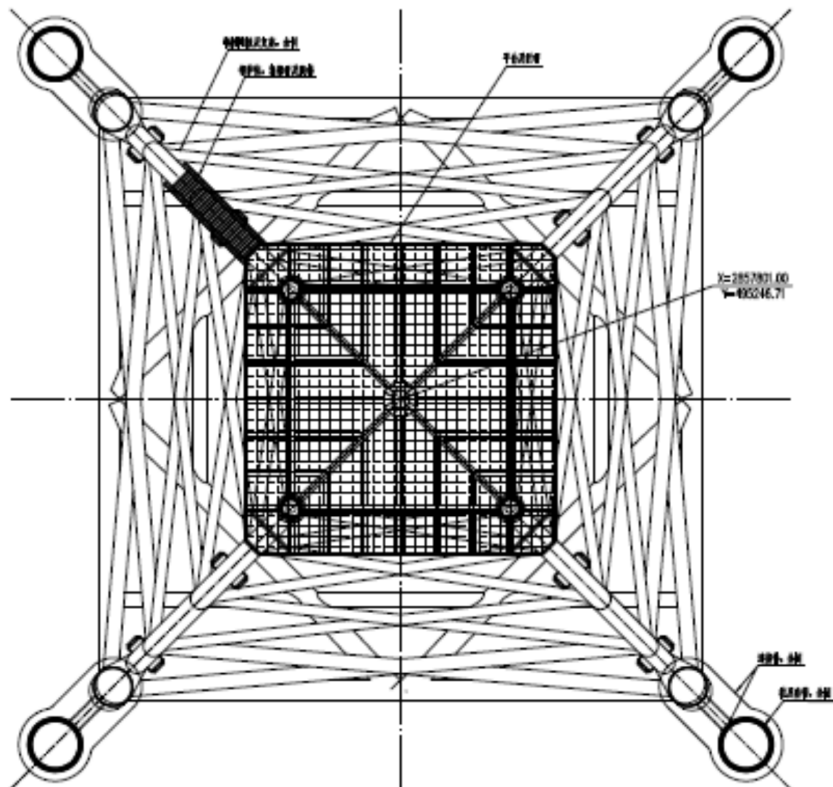


图1 测风塔导管架基础俯视图

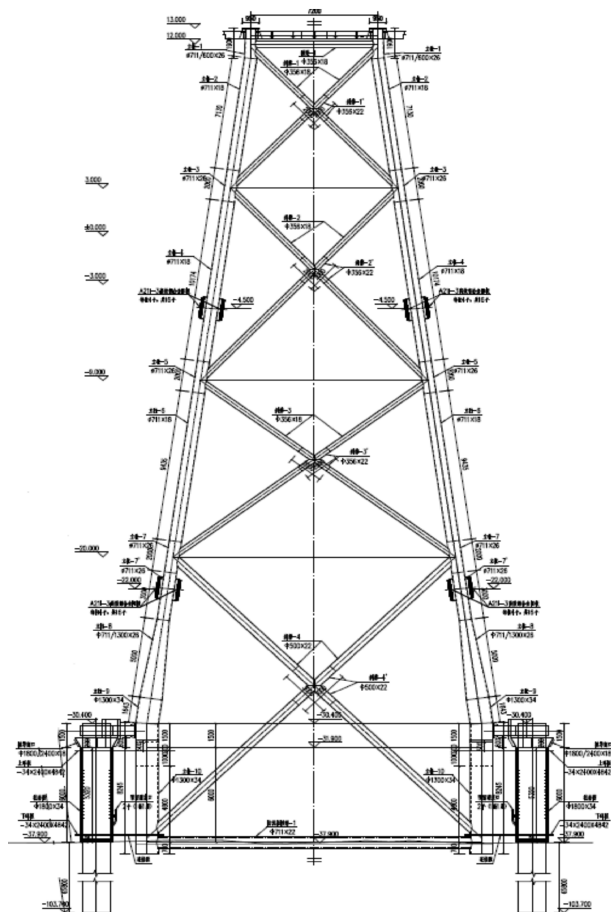


图2 测风塔导管架基础立面图

2 导管架安装过程分析

2.1 导管架定位沉放

运输驳船靠泊—主钩挂钩—拆除运输固定工装—导管架起吊悬空—驳船退出—导管架下沉—过程实时监控定位—导管架坐底—充分自沉后解钩^[2]。

风电机组导管架水平精度要求高,后桩法导管架沉放往往无辅助定位设施,定位调平困难。且本项目地质条件差,淤泥覆盖层厚,导管架沉放可能因沉降不均匀倾侧^[3]。因此定位沉放需采取相关措施重点保证精准定位及水平控制。

1) 导管架底部设计防沉板,扩大导管架底部与淤泥接触面,增加下沉阻力并使导管架受力均匀,以保证缓慢沉放并且有效控制沉放水平度。

2) 在导管架上安装 GPS 罗经、倾斜仪以及无线网桥等设备。吊装作业中,将位置和方位数据实时传输到吊装控制中心,实现动态实时显示导管架位置以及设计位置。根据倾斜仪的数值,监测导管架的水平度情况。导管架安装作业结束后,拆除 GPS 罗经和网桥等设备,保留倾斜仪,进行打桩过程中的水平度监测。

2.2 钢管桩沉桩

钢管桩翻身起吊—钢管桩下沉—潜水员辅助插桩—充分自沉—桩锤起吊—沉桩。

后桩法钢管桩定位主要通过导管架桩靴来确定,难点在于需进行深水海域潜水辅助插桩作业,本项目海洋水文条件恶劣,随水深不同呈多层旋转流,最大涌流达3 m/s,潜水员下水后需借助外力才能固定位置,对潜水员经验要求高^[4]。

本项目沉桩以桩端设计标高为主,以控制贯入度为校核。施工过程中应经常检查桩的贯入度情况、桩顶完整性状况、桩体倾斜度等项目,并根据检查情况及时采取适当的措施。

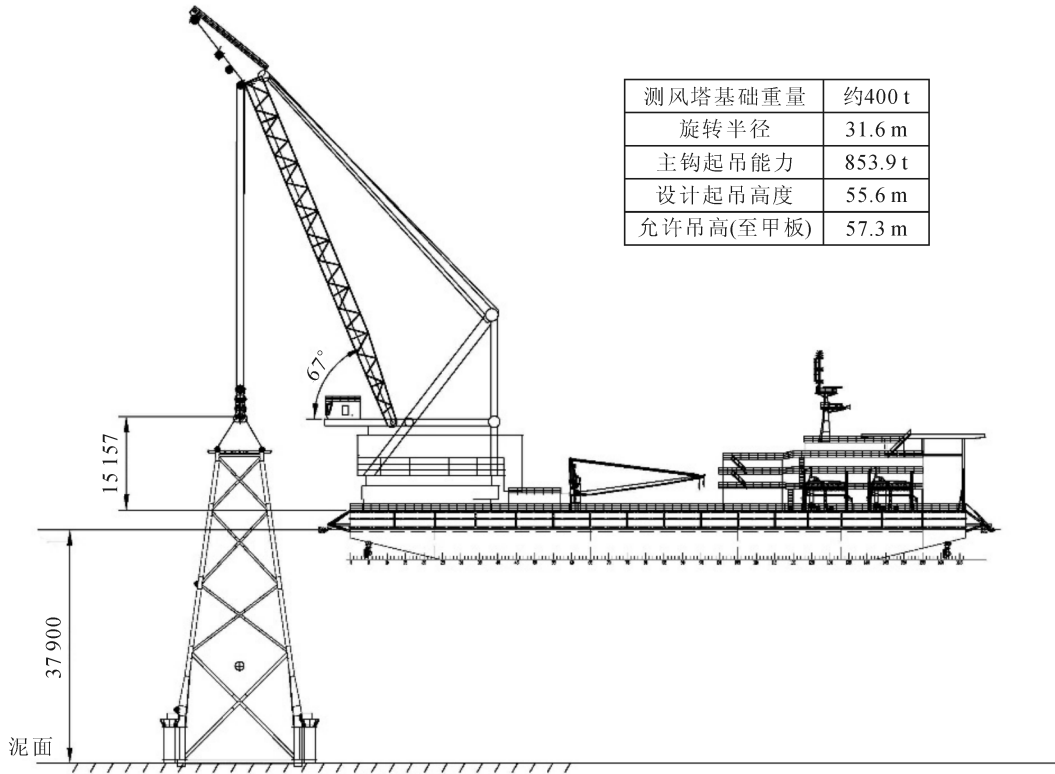


图3 导管架定位沉放示意图

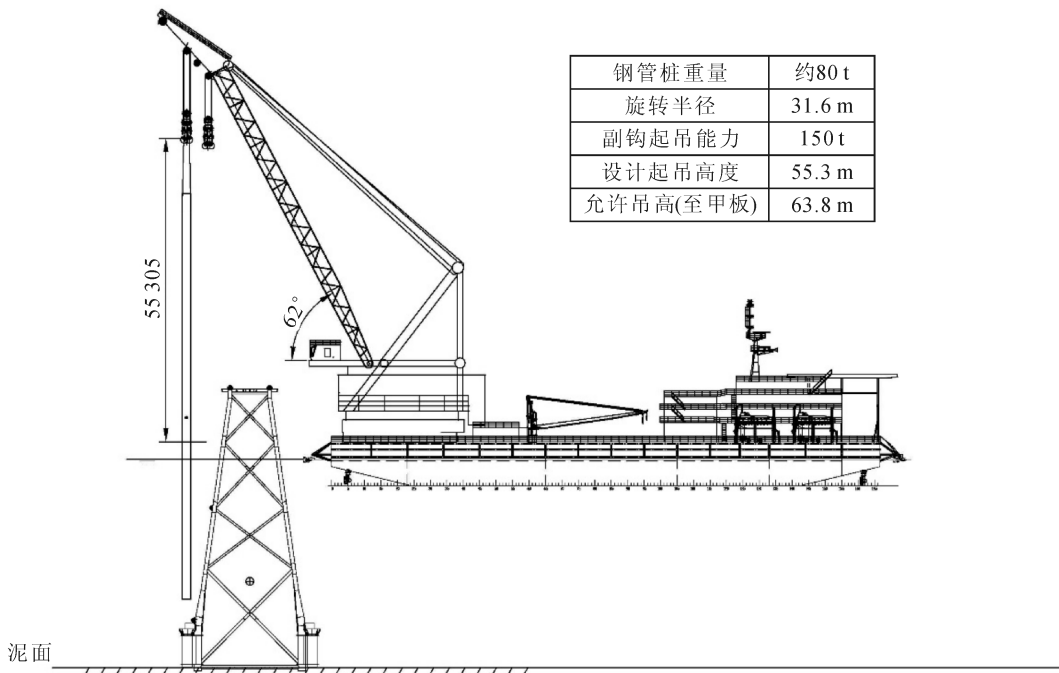


图4 钢管桩沉桩示意图

2.3 导管架调平措施

完成四根钢管桩沉桩后灌浆前,需对导管架水平度进行复核,导管架调平控制应贯穿于全过程。

1)控制海床平整度:在导管架沉放前,需要对海底进行水下探摸,并对发现的障碍物进行清理和海床整平;

2)导管架安装沉放后,测量导管架平整度,如若误差超过设计要求,则应该采取措施调整导管架平整度;

3)打桩过程中要时刻监测导管架水平度,过程中如出现贯入度反常、桩身突然下降、过大倾斜、移位等现象,立即停止锤击,及时查明原因,采取有效措施。

2.4 水下灌浆

水下灌浆管、灌浆封隔器气管连接—灌浆封隔器充气密封—泵送灌浆料—水下检查灌浆料溢出—水下灌浆管、封浆器气管拆除。

本项目灌浆封堵采用主动式灌浆封隔器,需要在打桩完成后、灌浆前,通过潜水员连接充气管线,因此增加水下作业。

灌浆过程初期利用灌浆料与海水密度差产生的虹吸作用,采用小流量浆料缓慢沉淀,使大粒径骨料将封隔器与桩管之间可能存在的间隙填实密封,灌浆形成稳定流速后逐渐调节灌浆泵的压力进行灌浆^[5]。

3 深远海导管架设计及安装工程建议

根据本项目实施过程中所遇到的问题,针对深远海导管架基础设计提出如下建议。

1)为避免因沉桩及导管架不均匀沉降造成水平度超允许偏差而无法调整,建议在导管架后桩法施工中增加抱桩装置设计,实现灌浆前再次对导管架调平功能。

2)采用替打桩存在受力不均匀,导致桩锤能力损失大的风险。建议采用可水下作业的打桩锤,钢管桩

可一次性沉桩到位;如必须采用替打桩,则应采用与桩锤能量配套的替打桩,以减少能量损失。

3)灌浆管需在水下连接,且管径较大,需采用卡扣连接,每次连接需两名潜水员下水配合。因此建议导管架制作时,将灌浆管沿导管架上引,引至最低水位面,利用低潮期进行水上接管,减少水下作业。

4)为避免灌浆封隔器充气管在沉桩过程中被震断,导致封隔器无法充气密封,且减少水下连接作业。建议将充气管同灌浆管一同引上至水面,减少水下作业。同时,建议采用被动式灌浆封隔器,提高密封可靠性。

5)水下灌浆质量要求高,各施工工艺及设计参数控制难度极大。水下作业,均只能依靠潜水员下水检查,潜水员个人主观判断可能存在较大误差。因此建议后续施工过程增加水下可视化装置,提高对水下施工质量监控。

4 结 语

随着海上风电场向深远海发展,为了对风电场的风能资源进行观测、收集和评估,给风电场设计和建设提供基础性支持,海上固定式测风塔往往作为前期工程先行建设。因此海上固定式测风塔建设将为风电场主体工程积累宝贵的经验。

参考文献:

[1]孙向楠. 3.6MW 风力发电机组三桩导管架基础施工技术[J]. 葛洲坝集团科技, 2012(3): 64-67

[2]解宝卿. 浅谈海上导管架拆除工程[J]. 建筑工程技术与设计, 2014(16): 1 097-1 097

[3]张慧池, 孙雪梅, 张付喜, 等. 近海导管架式测风塔主体结构建造方法[C]//中国钢结构学会. 2008 全国钢结构学术年会论文集. 合肥: 2008

[4]郝静辉, 杨树耕. 海上石油平台拆除技术的发展现状[J]. 中国港湾建设, 2004(4): 51-54

[5]李新仲, 徐本和. 海上油气田的废弃处置[J]. 中国海上油气: 工程, 2003, 15(1): 46-49

欢 迎 投 稿 欢 迎 订 阅

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.010

基于多场耦合模型的堆石坝面板温度应力分析

肖曲飞,程勇刚,周伟,田文祥,王桥

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北武汉 430072)

摘要:针对传统绝热温升模型无法考虑温度对水化速率以及混凝土物理性能的影响,在对河南天池上水库混凝土面板堆石坝的研究中,分别利用传统绝热温升模型和考虑水化度的化学-热-力多场耦合模型,采用子模型法对堆石坝面板进行了三维有限元分析。结果与常规模型相比表明,耦合模型考虑了混凝土实时温度水平对水化进程的影响,能更好地反映混凝土温度应力与力学特性的发展情况,为面板堆石坝温控防裂分析提供了依据。

关键词:面板堆石坝;混凝土面板;绝热温升模型;多场耦合模型;温度应力

中图分类号:TV641.4⁺3

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)02-0043-06

Thermal Stress Analysis of the Face Slab of a Concrete Face Rockfill Dam based on Multi-field Coupling Model

XIAO Qufei, CEHNG Yonggang, ZHOU Wei, TIAN Wenxiang, WANG Qiao

(State Key Laboratory of Water Resource and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In traditional adiabatic temperature rise model of thermal stress analysis, the influence of the temperature on the hydration rate and physical properties of the concrete is not considered. In this paper, three-dimensional finite element analyses are carried out to study the thermal stresses of the face slab of Tianchi Upper Reservoir concrete face rockfill dam in Henan Province with the sub model method combined with the traditional adiabatic temperature rise model and the chemical-thermal-mechanical coupling model considering the degree of hydration. The results show that the coupling model can reflect the development process of the thermal stresses and the mechanical properties of the concrete more accurately as it considers the influence of the real-time concrete temperature on the hydration process. It provides useful reference for the temperature control and crack prevention of concrete face rockfill dams.

Key words: concrete face rockfill dam; concrete face slab; adiabatic temperature rise model; multi-field coupling model; thermal stress

现有研究表明,温度应力是堆石坝面板开裂的主要原因之一^[1-2],因此关注混凝土面板的温控防裂问题,必须对混凝土面板进行仿真分析,在实际情况的基础上动态模拟大坝混凝土面板的温度场和应力场。但是目前国内研究混凝土水化放热过程时大多采用传统绝热温升模型,假定混凝土龄期在混凝土水化放热反应过程中为唯一影响因素^[3],忽略了温度、化学、强度的耦合效应,因此在研究混凝土水化反应时应当综合考虑温度以及龄期对反应过程的影响。

利用水化度来反映水化反应程度,以此来衡量混

凝土性能发展程度,国内外学者已经有了一些进展。Cervera和Oliver等人^[4]提出了一种基于有限元的混凝土化学-热-力耦合模型,可以预测不同时期的水化度和水化热。Di Luzio和Cusatis^[5-6]补充了一种新型水化度模型。马跃峰^[7]研究了混凝土水化过程中的温度应力。周伟、冯楚桥等人^[8-9]提出了一种新型混凝土水化模型,结果表明水化模型的特性更加贴合实际情况。

本文对河南天池上水库混凝土堆石坝混凝土面板进行了三维有限元数值模拟,对比研究了采用不同温

收稿日期:2019-12-10

作者简介:肖曲飞,男,在读研究生,研究方向:高坝结构设计理论与数值仿真。

基金项目:国家重点研发计划项目《高坝枢纽运行初期风险调控与安全保障技术》(2016YFC0401909)。

升模型大坝整体施工期温度应力演变过程,探讨了目前温控防裂计算可能存在的误区。

1 计算基本理论

1.1 常规绝热温升模型

1.1.1 水化热

目前绝热温升模型在工程中常采用以下典型模型^[3]:

$$Q(t) = \frac{Q_{\infty} t}{n + t} \quad (1)$$

式中: $Q(t)$ 是龄期 t 时的水化热; Q_{∞} 是最终水化热; n 是水化热达到一半的龄期。

1.1.2 弹性模量

混凝土的弹性模量的发展如下表示^[3]:

$$E(t) = \frac{E_{\infty} t}{q + t} \quad (2)$$

式中: $E(t)$ 是龄期 t 时的弹性模量; E_{∞} 是最终弹性模量; q 是弹性模量达到一半的龄期。

1.2 修正的水化度化学-热-力耦合模型

1.2.1 水化热

混凝土的水化放热过程是自由水与未水化产物相结合产生水化产物的过程,假定自由水最终能够完全反应,故引入水化度来描述该反应的发展程度:

$$\xi(t) = \frac{m(t)}{m_{\infty}} \quad (3)$$

式中: $\xi(t)$ 是龄期 t 时水化度; m_{∞} 是完全反应后结合水质量; $m(t)$ 是龄期 t 时结合水质量。

根据阿伦尼乌斯定律,采用修正的水化度模型^[8],水化模型如下:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \tilde{A}_{\xi}(\xi) \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

$$\tilde{A}_{\xi}(\xi) = \beta_1(\beta_2 + \beta_3 \xi + \xi^2)(\xi_{\infty} - \xi) \exp\left(-\eta \frac{-\xi}{\xi_{\infty}}\right) \quad (5)$$

式中: $\tilde{A}_{\xi}(\xi)$ 为标准化的化学亲和力; E_a 为水化反应活化能; R 为理想气体常数; T 为反应温度; β_1 、 β_2 、 β_3 均为试验可得的材料参数; ξ_{∞} 为最终水化度; η 为自由水扩散粘度,由试验结果可得。

混凝土的水化热公式如下:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = Q_{\infty} \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (6)$$

式中: t 是龄期; ξ 是水化度; Q_{∞} 是最终水化热。

1.2.2 力学特性计算

1) 弹性模量。混凝土弹性模量的发展过程可以描述为:

$$E_{(\xi)} = \left(\frac{\xi - \xi_0}{1 - \xi_0}\right)^{r_e} E_{\infty} \quad (7)$$

式中: $E_{(\xi)}$ 是水化度为 ξ 时的弹性模量; ξ_0 是混凝土强度开始发展时的水化度; E_{∞} 是最终水化度的弹性模量; r_e 是材料参数。

2) 混凝土强度。混凝土抗拉、压强度的发展可以描述为^[9]:

$$f_{(\xi)}^c = \left(\frac{\xi - \xi_0}{1 - \xi_0}\right)^{r_c} f_{\infty}^c \quad (8)$$

$$f_{(\xi)}^t = \left(\frac{\xi - \xi_0}{1 - \xi_0}\right)^{r_t} f_{\infty}^t \quad (9)$$

式中: $f_{(\xi)}^c$ 、 $f_{(\xi)}^t$ 分别是水化度为 ξ 时的抗压、抗拉强度; ξ_0 是混凝土强度开始发展时的水化度; f_{∞}^c 、 f_{∞}^t 分别是最终水化度时的抗压、抗拉强度; r_c 、 r_t 是材料参数。

2 工程分析

2.1 有限元模型

本文着重分析面板温度应力,因此采用子模型法先对面板堆石坝整体进行变形分析,得到面板与垫层之间的脱空情况,再将混凝土面板与趾板提取出来单独计算,将面板底面的脱空节点设置成第三类边界条件,用等效的表面放热系数来考虑脱空边界条件。模型计算采用商用有限元软件 ABAQUS,模型采用三维八节点实体 C3D8 单元,天池混凝土面板共离散为 78 948 个单元,110 290 个节点。面板沿厚度方向剖分为六层,三维有限元计算模型如图 1 所示,蓝色单元为面板单元,紫色单元为趾板单元。

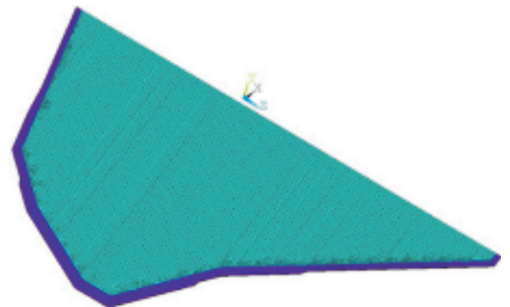


图1 混凝土面板三维有限元模型图

2.2 材料参数

面板混凝土采用 C30₉₀W12F150 混凝土,粉煤灰掺量为 25%,水灰比为 0.42,砂率为 38%,纤维素纤维掺量为 0.9 kg/m³。常规模型混凝土热力学参数见表 1。通常混凝土水化反应的热力学参数可以根据绝热温升试验的温度或水化放热量数据由以下公式推导出:

$$\frac{1}{Q(t)} = \frac{1}{Q_{\infty}} + \frac{t_{(\xi=0.5)}}{Q_{\infty}(t-t_0)} \quad (10)$$

$$\xi(t) = \frac{Q(t)}{Q_{\infty}} \quad (11)$$

式中: $Q(t)$ 为龄期 t 时水化放热量; Q_{∞} 为混凝土最终放热量; $t_{(\xi=0.5)}$ 为水化反应进行到一半的龄期; t_0 为诱导期结束的龄期; $\xi(t)$ 为 t 时刻时的水化度。

表1 常规模型热力学参数表

强度等级	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	导温系数/ ($\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	导热系数/ ($\text{kJ} \cdot (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{C}^{\circ})^{-1}$)	比热/ ($\text{kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{C}^{\circ})^{-1}$)	线膨胀系数/ ($10^{-6} \cdot \text{C}^{\circ}^{-1}$)	最终弹模 /GPa	绝热温升	
							T_0/C°	n
C30 ₉₀ W12F150	2 440	0.003 4	8.19	0.890	9.07	26.60	31.50	1.50

表2 耦合模型参数表

强度等级	$\beta_1/(10^7 \cdot \text{h}^{-1})$	$\beta_2/10^{-4}$	β_3	ξ_{∞}	η	Q_{∞}	$Ea/R/\text{C}^{\circ}$
C30 ₉₀ W12F150	6	10	-0.02	1	9.7	21 300	5 000

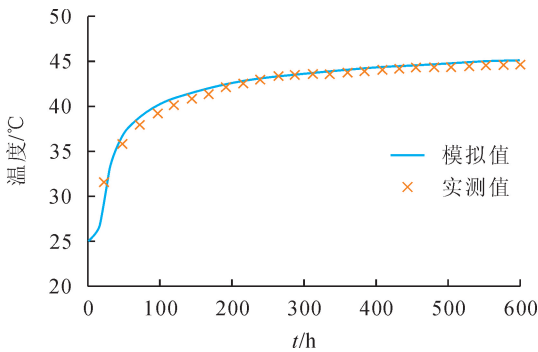


图2 绝热条件下混凝土温度历程曲线图

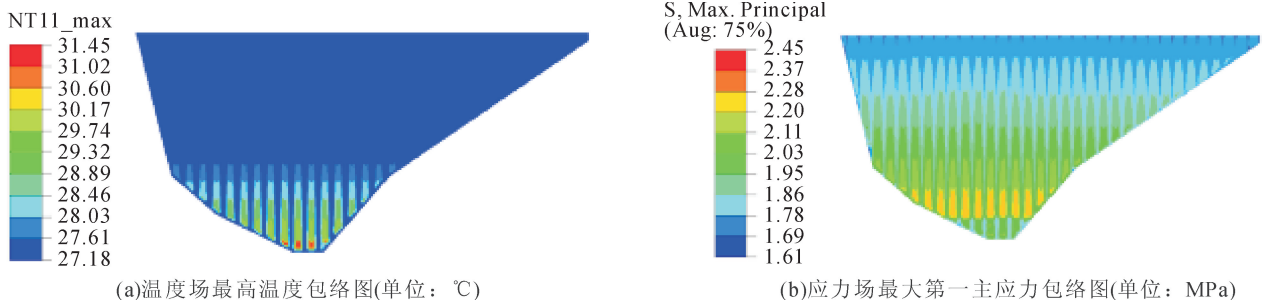
3 计算结果分析

分别采用常规模型计算方法和耦合模型计算方法对混凝土面板施工期温度场与应力场进行模拟,图3为面板常规计算结果,图4为面板耦合计算结果。对比图3与图4,两种模型仿真结果温度场与应力场规律相似,性质相同。面板底面温度沿高程向下逐渐变高,单条面板之间温度与应力分布基本一致。两种模

得到混凝土水化放热量后,根据式(10)(11),结合试验数据,利用参数反演获得耦合模型所需材料参数,耦合模型材料参数见表2。混凝土参数反演结果与温度实测值的对比见图2,参数反演结果与实测值拟合较好,参数合理。

型不同之处在于常规模型面板底面最高温度为 31.45°C ,最大主应力为 2.45 MPa ;耦合模型面板底面最高温度为 30.40°C ,最大主应力为 2.17 MPa ,均比常规模型低。造成这种差异的原因与两种模型特性有关,常规模型按差分法计算水化热,水化热在前期释放集中,28 d龄期之后水化热往往较小。耦合模型考虑了温度对水化速率的影响,水化热的完全释放需要相当长的时间。

为了更好地分析两种模型的区别,本文在面板中部同一位置沿厚度方向选取了3个代表点。应力分析中,以拉应力为正,压应力为负。图5反映了面板中部各特征点温度与应力随时间的变化情况。图6对比了两种模型混凝土弹性模量随时间的发展过程。图7反映了各特征点水化度随时间的发展过程。图8反映各特征点耦合模型混凝土强度随时间的发展过程。表3统计了各特征点重点时期的温度应力。表4对比了常规模型与耦合模型混凝土在7 d、28 d的强度值。

(a)温度场最高温度包络图(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(b)应力场最大第一主应力包络图(单位: MPa)

图3 常规模型仿真结果图

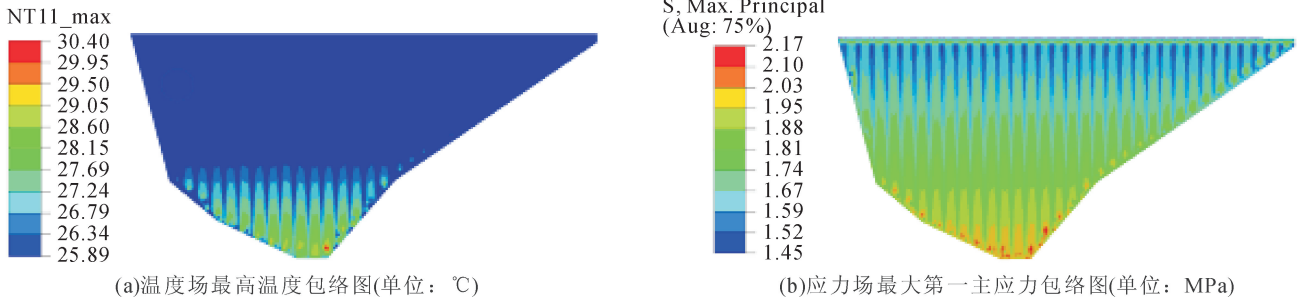


图4 多场耦合模型仿真结果图

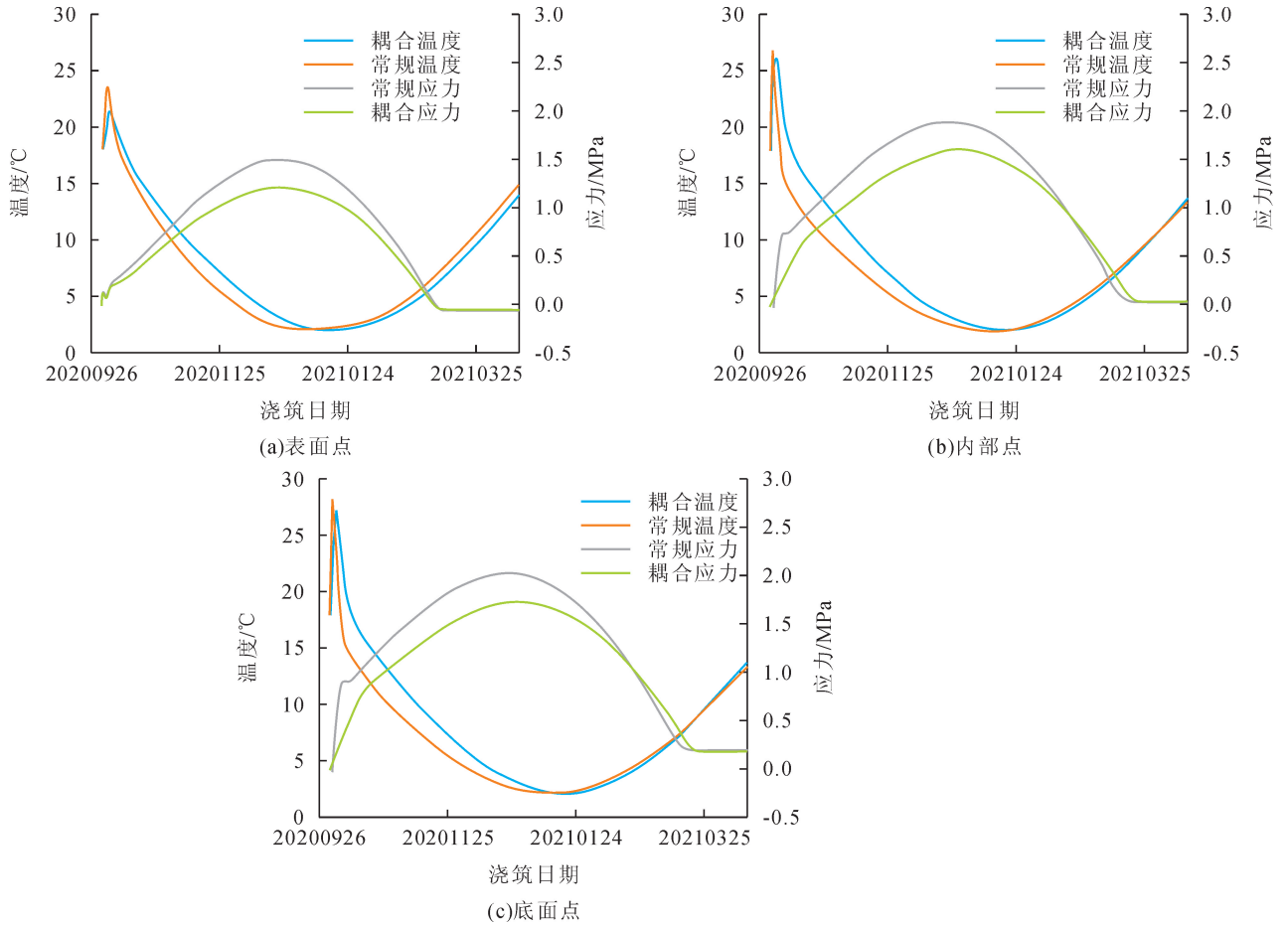


图5 特征点温度应力历程曲线图

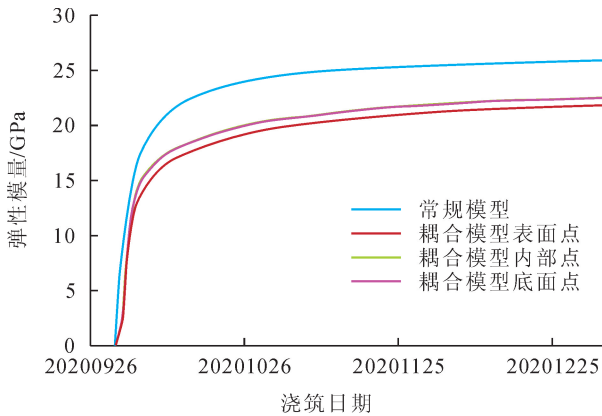


图6 特征点弹性模量历程曲线图

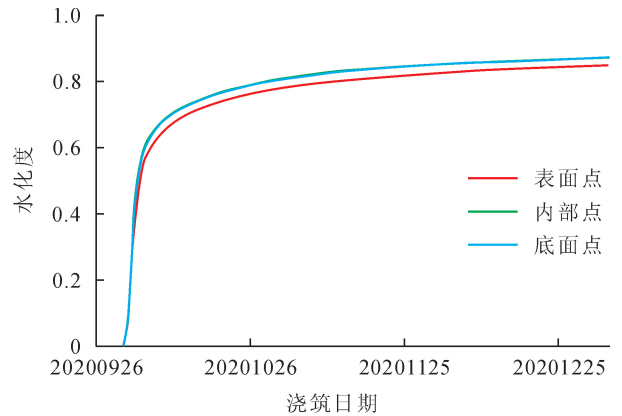


图7 特征点水化度历程曲线图

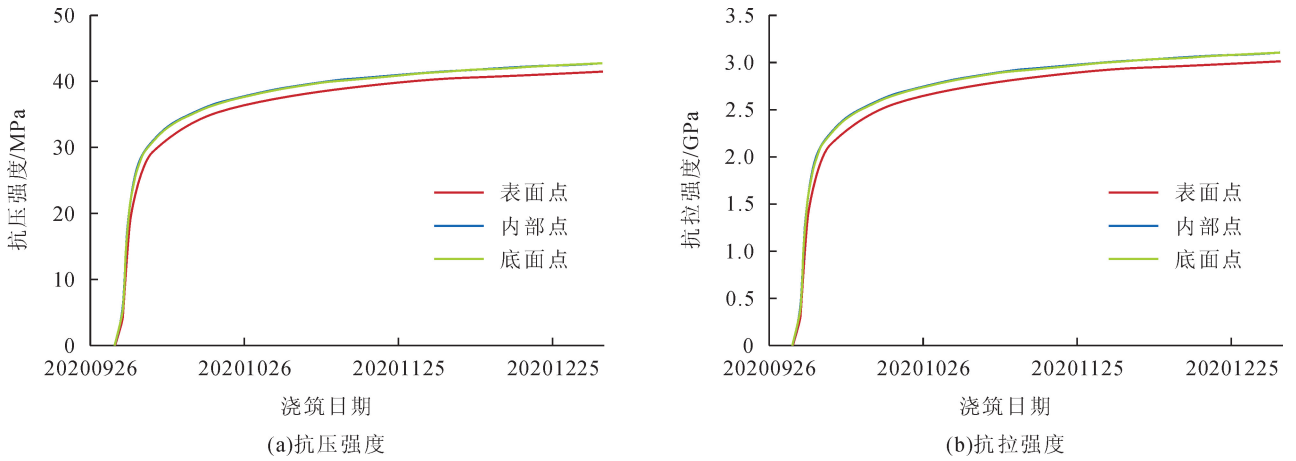


图8 特征点耦合模型强度历程曲线图

根据图5,面板混凝土在浇筑初期温度迅速上升,但由于面板较薄且在低温季节浇筑,温度上升至温升峰值后开始下降,降温幅度与气温有关。对比图5与表3,与常规模型相比,耦合模型混凝土水化反应开始后温升速率更小,同一点温升幅度更小,温升峰值出现时间也更晚,与温度场的计算结果相吻合。对比图5(a)、(b)、(c)以及表3可知,相比于面板内部与底部,面板表面直接与空气接触,散热较快,温升幅度较小,

温升峰值出现较晚,因此气温下降时,混凝土的降温幅度小。根据图7,面板各部位混凝土的水化进程的发展有差异,因为温度影响了混凝土水化速率,面板各部位温度不同,水化进程的发展自然也不同。面板内部以及底部混凝土散热条件比表面散热条件差,温度较高,水化度发展快,面板表面混凝土的水化度发展滞后于面板内部的水化度。

表3 特征点温度应力统计表

计算模型	位置	温升时期			温降时期		
		温升幅度/°C	温升峰值龄期/d	最大主应力/MPa	温升幅度/°C	温升峰值龄期/d	最大主应力/MPa
常规模型	表面点	5.5	2.50	0.13	21.4	93.00	1.49
	内部点	8.9	1.25	-0.01	24.8	101.00	1.88
	底面点	10.2	1.25	-0.02	26.1	101.00	2.02
耦合模型	表面点	3.2	4.00	0.11	19.1	107.50	1.20
	内部点	8.1	4.25	0.09	24.0	108.50	1.60
	底面点	9.2	4.00	0.08	25.1	108.50	1.72

表4 特征点混凝土强度统计表

计算模型	抗压强度/MPa		抗拉强度/MPa		
	7 d	28 d	7 d	28 d	
常规模型	29.00	37.80	2.31	2.90	
耦合模型	表面点	28.70	36.91	2.09	2.25
	内部点	30.79	38.32	2.25	2.80
	底面点	30.49	38.21	2.23	2.79

面板混凝土施工期的温度变化以及弹性模量的增长直接影响了混凝土施工期应力的发展。面板混凝土施工期应力主要由两部分组成:一是温升时混凝土内外温差产生早期应力;二是降温时混凝土受垫层与趾

板约束产生应力。因此重点分析最大温升与最大温降这两个时刻。分析表3、图6,温度上升时期,当混凝土达到温升峰值时,面板内外温差产生了早期拉应力,此时混凝土弹性模量比较小,应力水平都较低。温度下降时期,拉应力最大值出现于温降峰值龄期附近,由于耦合模型混凝土弹性模量比常规模型弹性模量发展慢,弹性模量较小,且温降幅度也较小,因此耦合模型混凝土拉应力水平更低。对比图5以及表3,与面板内部相比,面板表面混凝土降温幅度小,拉应力也更小。

温度对混凝土水化过程的影响不仅体现在混凝土水化速率方面,也体现在混凝土力学特性发展方面。

由图6可知,混凝土水化过程初期,耦合模型混凝土弹性模量比常规模型弹性模量发展慢,耦合模型面板表面混凝土弹性模量比内部混凝土弹性模量发展慢。结合图8与表4可知,7 d、28 d龄期时耦合模型面板表面抗压强度略小于常规模型抗压强度,内部抗压强度略大于常规模型抗压强度;7 d、28 d龄期时耦合模型面板表面抗拉强度远小于常规模型抗拉强度,内部抗拉强度略小于常规模型抗拉强度。这表明考虑温度的情况下,面板内外各部位温度分布不均匀导致面板内外混凝土水化程度不一致,进而导致面板内外混凝土弹性模量、强度等力学特性发展不一致。相比于面板内部,面板外部温度较低,水化程度发展较慢,弹性模量与强度等力学特性发展也略微滞后。另外,由表4可知,常规模型不考虑温度对混凝土水化程度的影响,面板各部分混凝土强度保持一致,而参考耦合模型的计算结果可知面板表面混凝土抗压以及抗拉强度发展滞后,故实际工程需重点关注面板内外强度发展情况,防止出现裂缝。

4 结语

针对常规模型的不足,本文采用热学-化学-力学耦合模型,对天池堆石坝混凝土面板进行了三维有限元数值模拟。耦合模型与常规模型计算结果体现出两种模型的差异性。常规模型没有考虑温度对水化进程的影响,水化热释放集中在早龄期。耦合模型考虑了温度的影响,水化热完全释放需要较长时间,更加贴合工程实际。根据耦合模型结果,面板各部位温度分

=====
(上接第38页)

3 结语

1)随着水利水电工程对环境保护的要求越来越高,环境友好型水电工程将逐渐成为未来研究的重点,需要在水电工程设计、建设、运行等各阶段引起足够重视。

2)环境友好型泄洪消能建筑设计过程中需要充分考虑其环境影响,尽量达到泄洪雾化影响小、避免总溶解气体过饱和、减轻流激振动及场地振动等要求,并且尽量做到结构简单、施工方便、投资节约,以减轻资源和能源浪费。

3)坝面台阶式消能、水垫塘消能、坝身孔口无碰撞消能和旋流式消能等均具备一定的环境友好特点,但也存在一定的不足,需要根据工程实际进行充分的研究论证,以选择合适的设计方案。

布不同,各部位水化程度也不同,各部位混凝土弹性模量、强度等力学特性发展并不一致。实际工程中可以利用耦合模型来计算面板应力水平,综合判断面板内外各部位强度发展情况,防止面板开裂。

参考文献:

- [1]张国新,张丙印,王光纶. 混凝土面板堆石坝温度应力研究[J]. 水利水电技术, 2001, 32(7): 1-5
- [2]麦家焯,孙立勋. 西北口堆石坝面板裂缝成因的研究[J]. 水利水电技术, 1999, 30(5): 32-34
- [3]朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 2版. 北京:中国电力出版社, 1999
- [4]Cervera M, Oliver J, Prato T. A thermo-chemo-mechanical model for concrete. I: Hydration and aging[J]. Engineering Mechanics, 1999, 125(9): 1018-1027
- [5]Luzio G D, Cusatis G. Hygro-thermo-chemical modeling of high performance concrete. I: Theory[J]. Cement and Concrete Composites, 2009, 31(5): 301-308
- [6]Luzio G D, Cusatis G. Solidification-microprestress-microplane (SMM) theory for concrete at early age: Theory, validation and application[J]. Solids and Structures, 2013, 50(6): 957-975
- [7]马跃峰. 基于水化度的混凝土温度与应力研究[D]. 南京:河海大学, 2006
- [8]Zhou W, Fegn C, Liu X, et al. Contrastive numerical investigations on thermo-structural behaviors in mass concrete with various cements [J]. Materials, 2016, 9(5): 378-396
- [9]Zhou W, Fegn C, Liu X, et al. A macro-meso chemo-physical analysis of early-age concrete based on a fixed hydration model [J]. Concrete Research, 2016, 68(19): 1-14

参考文献:

- [1]周建平,杨泽艳,陈观福. 我国高坝建设的现状和面临的挑战[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1433-1438
- [2]韩喜俊,渠立光,程子兵. 高坝泄洪雾化工程防护措施研究进展[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(8): 63-69
- [3]刘沛青. 自由紊动射流理论[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008
- [4]Wang Y, Liao R. Research progress of protected plunge pool of high arch dam[J]. Advanced Materials Research, 2014(919-921): 1244-1247
- [5]Wang Y, Cao Q, Kong F. Study on reventment-protected and non-bottom-protected plunge pool of high arch dam[J]. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, 153(5): 052031
- [6]姜治兵,曹去修,陆虹,等. 护岸不护底水垫塘底板冲刷特性试验研究[J]. 人民长江, 2016, 47(1): 88-90, 94
- [7]刘沛清,许唯临. 高拱坝挑跌流非碰撞水垫塘消能形式研究[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 841-848

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.011

一种安全校正策略的优化模型

洪雯, 沈青, 鲁爱斌, 郑雪

(武汉电力职业技术学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根据电网安全校正策略的某优化模型对电力系统进行了合理的简化, 将发电机和负荷的参数调整问题转化为建立、求解非线性的连续和二元混合规划问题。模型根据设置的复杂约束条件和合理的目标函数, 通过求解数学模型得出合理有效的安全校正方案, 并进行在线安全校正, 在短时间内恢复系统正常运行, 避免连锁故障的发生, 有较好的安全性和合理性。

关键词: 潮流越限; 安全校正; 优化模型

中图分类号: TM74

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)02-0049-06

An Optimization Model of Power Grid Security Correction Strategy

HONG Wen, SHEN Qing, LU Aibin, ZHENG Xue

(Wuhan Electric Power Vocational and Technical College, Wuhan 430072, China)

Abstract: An optimization model of power grid security correction strategy is proposed, in which the electric power system is simplified and the adjustment of the generator and load parameters is transformed as solving nonlinear consecutive and binary mixed programming problems. By setting complex constraints and a reasonable objective function, the mathematical model is solved to get a reasonable and effective security correction strategy. Then, online security correction is carried out to restore the normal operation of the power system quickly and to avoid the occurrence of cascading faults. It shows that the proposed model is of good safety and rationality.

Key words: power flow violation; security correction strategy; optimization model

第二次工业革命后, 电能使用愈发广泛, 电力极大促进生产力的快速发展, 推动了社会的进步。电力系统在确保安全稳定运行的前提下, 最主要任务就是尽可能经济、有效地满足用户的需求, 保证持续不间断的供电。而电力系统重要环节之一的输电线路经常跨越山火易发地段, 若山火发生在输电线路附近, 山火产生的污秽容易引起空气放电, 会导致多条输电线路跳闸, 此外跳闸线路的潮流将转移到其它线路, 可能造成其它线路潮流接连越限, 进而发生连锁故障, 导致整个系统崩溃, 造成长时间的大面积停电事故。

安全校正控制的功能是采取一系列合理措施, 在故障初期在短时间内进尽可能解决电网中的各种潮流越限情况, 迅速将全网潮流控制在安全范围内, 以防止连锁性的事故出现和恶化, 将潮流越限的波及范围和

经济损失控制在最低程度。因此, 山火导致多条线路跳闸后, 电网能否安全稳定运行, 主要取决于安全校正策略是否正确、合理。

目前, 已有的安全校正策略主要是灵敏度法^[1-3]和优化规划法^[4-5]。灵敏度法通过计算出控制变量对支路潮流变化的关系, 然后根据支路潮流的越限量反推出控制变量的调整量来达到消除支路潮流越限的目的, 便于操作实施, 但是无法处理系统运行中的一些安全约束问题, 容易造成原本处于平衡状态的机组出现潮流越限的状况, 也可能在调整一些支路的潮流满足约束条件后有其他的支路出现了潮流越限的情况。优化规划法通过求解数学模型得出控制方案, 因为可以设置复杂的约束条件和合理的目标函数, 故而有较好的安全性和经济性。

收稿日期: 2019-12-06

作者简介: 洪雯, 女, 初级教师, 研究方向为电力系统运行与控制。

针对山火故障导致的多条输电线路跳闸进而出现的潮流越限问题,本文采用优化规划类算法,根据当前系统状态进行在线安全校正,以期在短时间内恢复系统正常运行,避免连锁故障的发生。

1 安全校正策略的优化变量

本文选择优化规划类方法制定安全校正策略。安全校正策略的优化模型对电力系统进行了合理的简化,将发电机和负荷的参数调整问题转化为建立、求解非线性的连续和二元混合规划问题。首先基于启发式搜索原理确定优化变量,然后以负荷总有功切除量最小为目标函数,将系统运行中的常规和频率约束作为约束条件,建立优化模型,并基于改进二元粒子群算法对该模型进行优化计算,求解得出满足约束条件且目标函数最小的安全校正方案。

当某电网出现支路潮流越限时,则需要进行发电机有功和无功功率调整和切负荷等操作来消除越限。对于实际电网,节点数众多,若想逐一调整所有的发电机和负荷显然是一件既费时又费力的事情。针对这种情况,本文采用启发式搜索来确定优化变量。

所谓启发式搜索指的是在状态空间中对系统中所有可能的优化变量进行评估,得到优化变量中最好的一部分,这部分最好的变量即为下一轮的搜索范围,直到找到目标,通过这样的方法,能避开大多数没有意义的搜索过程,节约搜索时间,提高搜索速度。

本文基于负荷转移因子,筛选出对潮流越限的支路、效果最好的发电机和负荷节点,将这些节点作为优化变量,大大缩减了优化变量的数量,缩短了优化时间。

1.1 负荷转移因子

负荷转移系数是指发电机和负荷节点的网络注入功率的变化引起支路潮流变化的比例系数。该系数越大,在该节点进行单位出力的调节,过载支路上潮流变化趋势越大,这样就能保证在调节量尽可能小的情况下达到所需的效果。

定义负荷转移因子为母线注入电流变化时,电网中每一条线路上电流的变化,即:

$$A_{ij,k} = \frac{\Delta I_{ij}}{\Delta I_k} \quad (1)$$

式中: ΔI_k 表示母线注入电流的变化量; ΔI_{ij} 表示母线 k 电流的变化在线路 ij 上所引起的电流变化量。

根据基尔霍夫定理1的推导,可得网络方程可表示为 $U = ZI$,其中, Z 为阻抗矩阵,进一步得到母线电

压变化量与母线注入电流的关系:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta I_1 \\ \vdots \\ \Delta I_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

进一步得到负荷转移因子:

$$A_{ij,k} = \frac{\Delta I_{ij,k}}{\Delta I_k} = \frac{Z_{ik} - Z_{jk}}{z_{ij}} \quad (3)$$

负荷转移因子表示的是节点 k 负荷出现功率变化时,在支路 ij 上所导致的功率变化。其中, Z_{ik} 、 Z_{jk} 为阻抗矩阵的元素; z_{ij} 为线路 ij 的阻抗。

计算出每一个节点分别对每一条越限支路的负荷转移因子后,从中筛选出对每一条越限支路影响较大的节点的集合,这些发电机节点即为对该条越限支路调节效果最好的一类发电机。

1.2 连续型变量

采用启发式搜索的方法,基于负荷转移系数得到对潮流越限支路潮流调节效果最大的部分发电机。由于发电机的有功功率是通过调整原动机出力、无功功率是通过调整励磁参数实现的,故可以实现连续调节。

由于切除负荷只能有功和无功同时切除,如果切负荷后,不相应调整发电机的有功和无功功率,系统有功和无功就无法同时满足平衡,可能出现频率或者电压失去稳定的问题,因此将发电机的有功和无功均作为连续型优化变量。

确定连续型变量的步骤如下:

1) 首先基于1.1节的方法计算出所有发电机对待调节支路A的负荷转移因子(Load Shift Factor, LSF)并从大到小排序;

2) 然后筛选出对该待调节支路潮流调节效果最好的发电机节点 x_A ;

3) 重复步骤1)和步骤2),依次得到对第 i 个待调节支路潮流调节效果最好的发电机节点 x_i ;

4) 对这些发电机节点取并集即得到对所有待调节支路调节效果最优的发电机节点的集合,将这些发电机节点的有功、无功功率作为连续型变量 x 。

1.3 0-1二元变量

由于负荷无法实现连续调节,只能切或者不切,所以在切负荷控制中,对于负荷的控制是一个0-1优化的问题。并且不一定每个负荷节点都只有一个负荷,对于有多个负荷的负荷节点,每一个负荷都是独立的,应当分别考虑,而不是全部切除或保留。

确定0-1二元型变量的步骤如下:

1) 首先基于 1.1 节的方法计算出所有负荷对待调节支路 A 的负荷转移因子(Load Shift Factor, LSF) 并从大到小排序;

2) 然后筛选出对该待调节支路潮流调节效果最好的负荷节点 y_A ;

3) 重复步骤 1) 和步骤 2), 依次得到对第 i 个待调节支路潮流调节效果最好的负荷节点 y_i ;

4) 对这些负荷节点取并集即得到对所有待调节支路调节效果最优的负荷节点的集合 y_k ;

5) 由于文中负荷节点在实际中指变电站, 而负荷指变电站的每条出线, 因为变电站出线上的功率无法实现连续调节, 故将变电站集合 y_k 中每条出线的切除与否作为独立的 0-1 二元型优化变量 y , 1 表示保留该条出线, 0 表示断开该条出线。

1.4 优化变量的初值

优化变量初值的选取对整个优化结果有较大的影响, 一个好的初始值能让优化过程更为快捷, 取得更好的优化效果。

在优化中, 通常是随机生成的一组数据, 将该数据赋给变量作为初始值。但是在电力系统中, 采用这种方法随机性太强, 如果某一次优化的初始值不好, 甚至无法得出可行解。故而在本文中, 以系统故障前优化变量的值作为初始值。经过多次试验证明, 这样不仅更快捷, 并且得到的最终结果优化变量的改变量也更小。

2 安全校正策略的目标函数

为了尽可能满足对用户的供电, 保持供电的连续性, 故而希望安全校正得出的方案中负荷有功总切除量最小。设置目标函数为:

$$F = \min \sum_{i=1}^n P_{Li} (1 - y_i) \quad (4)$$

式中: n 为二元型变量个数; P_{Li} 为二元型变量 i 的有功功率; y_i 为二元型变量 i 的值, 0 表示该负荷被切除。

3 安全校正策略的约束条件

为了保证安全校正的安全性, 故设置以下约束条件:

1) 节点电压约束: $V_{\min} \leq V_{1,2,\dots,n} \leq V_{\max}$

2) 发电机有功上下限约束: $P_{g\min} \leq P_{g1,2,\dots,m} \leq P_{g\max}$

3) 发电机无功上下限约束: $Q_{g\min} \leq Q_{g1,2,\dots,m} \leq Q_{g\max}$

4) 负荷有功上下限约束: $P_{LD\min} \leq P_{LD1,2,\dots,n} \leq P_{LD\max}$

5) 支路潮流约束: $P_{Line} \leq P_{Line\max}$

6) 发电机视在功率约束: $S_{g\min} \leq S_{g1,2,\dots,m} \leq S_{g\max}$

7) 功率因数约束即发电机的功率因数应该保持使发电机正常工作的一定范围之内, 不得低于设定值: $\eta_{1,2,\dots,m} \geq \eta_{\min}$ 。

在本文中, 以上约束的实现方法是通过在目标函数中加入惩罚函数部分。其原理是, 通过在惩罚函数前加一个非常大的系数, 该系数通常为目标函数的数量级倍数, 可使惩罚函数的数量级远远大于目标函数本身的值。一旦发生越限, 目标函数就会变的相当大, 而安全校正方案的目标函数是负荷有功总切除量最小, 这一组解自然就会被排除。

4 优化模型的求解方法

在实际电力系统中, 负荷是不可能实现连续调节的, 所以模型采用改进二元粒子群优化算法(Improved Binary Particle Swarm Optimizer, IBPSO) 求解二元变量最优规划问题。

IBPSO 基于两个假设:

1) 对于 0-1 二元变量 y , 由于优化过程中 y 的极值点 y_{opt} 未知, 假定 y_{opt} 取 0 或 1 的先验概率均为 0.5;

2) 在寻找的过程中, 个体极值 P_{best} 和全局极值 G_{best} 对最佳值的判定是独立的。

记 P_{best} 作出正确判断的概率为 p_p , G_{best} 作出正确判断的概率为 p_g , 由于 P_{best} 和 G_{best} 是粒子群迭代过程的历史最优值, 它们分别发现全局最优解 y_{opt} 的概率超过平均值, 因此 $p_p > 0.5$, $p_g > 0.5$ 。并且, 为促使粒子群分散搜索, 避免陷入局部最优, 要求 $p_p > p_g$ 。取 $p_g = 0.8$, $p_p = 0.7$ 。应用概率论中的条件概率 Bayes 公式, 引入参数 α 和 β , 记:

$$\begin{aligned} \alpha &= P(y^i = 1 | P_{best}^i = 1, G_{best}^i = 1) = \\ &= \frac{p_p \cdot p_g}{p_p \cdot p_g + (1 - p_p)(1 - p_g)} \\ 1 - \alpha &= P(y^i = 1 | P_{best}^i = 0, G_{best}^i = 0) = \\ &= \frac{(1 - p_p)(1 - p_g)}{p_p \cdot p_g + (1 - p_p)(1 - p_g)} \\ \beta &= P(y^i = 1 | P_{best}^i = 0, G_{best}^i = 0) = \\ &= \frac{(1 - p_p)(1 - p_g)}{p_p \cdot p_g + (1 - p_p)(1 - p_g)} \\ 1 - \beta &= P(y^i = 1 | P_{best}^i = 1, G_{best}^i = 1) = \\ &= \frac{(1 - p_p)(1 - p_g)}{p_p \cdot p_g + (1 - p_p)(1 - p_g)} \end{aligned} \quad (5)$$

通过式(5)计算得 $\alpha = 0.9$, $\beta = 0.7$, 迭代次数为 q

+1时,二元粒子位置向量 y^{q+1} 的 0-1 决策的依据如下。取 $r = rand$, 有:

- 1) 若 $P_{best}^q = 1, G_{best}^q = 1$, 如果 $r < \alpha$, 则 $y^{q+1} = 1$, 否则 $y^{q+1} = 0$;
- 2) 若 $P_{best}^q = 0, G_{best}^q = 0$, 如果 $r < 1 - \alpha$, 则 $y^{q+1} = 1$, 否则 $y^{q+1} = 0$;
- 3) 若 $P_{best}^q = 1, G_{best}^q = 0$, 如果 $r < \beta$, 则 $y^{q+1} = 1$, 否则 $y^{q+1} = 0$;
- 4) 若 $P_{best}^q = 0, G_{best}^q = 1$, 如果 $r < 1 - \beta$, 则 $y^{q+1} = 1$, 否则 $y^{q+1} = 0$ 。

模型基于二元粒子群优化算法,通过调用电力系统分析综合程序(Power System Analysis Software Package,简称 PSASP)进行潮流计算来进行安全校正优化模型的求解。安全校正优化模型的整体求解流程图如图 1 所示。

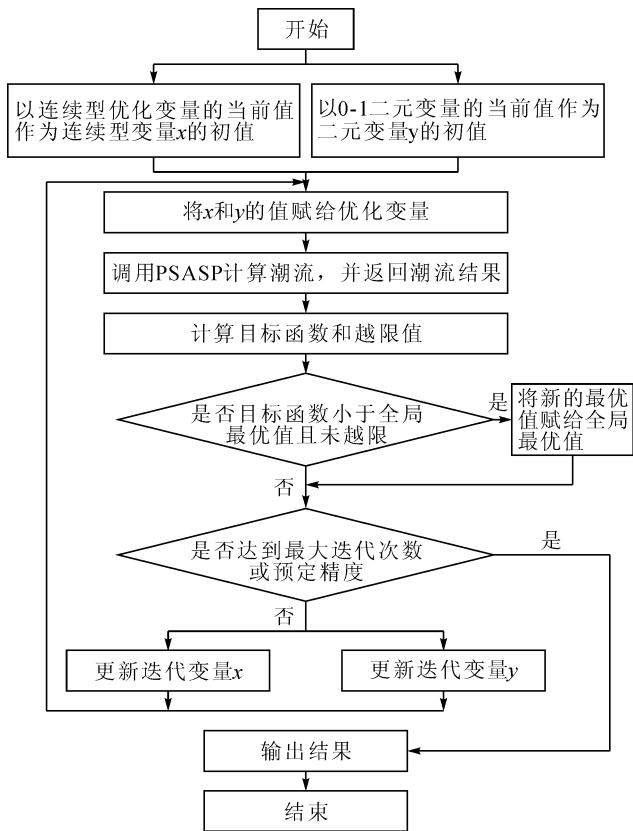


图 1 安全校正优化模型的整体求解流程图

5 算理验证

5.1 故障设置

采用华中某省电网的潮流数据进行算例验证,对该电网应用上节的结构脆弱性计算方法,综合 2018 年的该电网交流线路、母线、两绕组变压器和三绕组变压

器参数,和该电网网架数据,得到该电网网线路脆弱性排序结果。在得到的排序结果中筛选出 500 kV 等级的交流线路,根据数值大小进行排序,并节选了排序靠前的部分结果列入表 1 中。数值越接近 1,表明该条线路退出对该电网网的结构稳定影响越大;数值越接近 0,则该条线路退出运行对该电网网结构稳定性影响越小。

表 1 某电网 500 kV 交流线路脆弱性排序表(节选)

序号	结构脆弱性	线路序号	I 侧母线名	J 侧母线名
1	0.677 276 931	196	湘托口 500	湘牌楼 500
2	0.619 538 869	92	湘黔艳黔侧抗	湘艳山红 500
3	0.566 075 829	111	湘艳山红 500	湘艳宗艳侧抗
4	0.478 592 424	109	湘艳山红 500	湘牌楼 500
5	0.464 996 480	108	湘艳山红 500	湘牌楼 500
6	0.462 762 625	95	湘沙坪 500	湘星城 500
7	0.417 482 650	91	湘黔东 500	湘黔艳黔侧抗
8	0.413 941 304	90	湘黔东 500	湘黔艳艳侧抗
9	0.409 914 996	112	湘艳山红 500	湘黔艳艳侧抗
10	0.359 033 092	120	湘宗元 500	湘长阳铺 500

山火虽有突发性,但均发生在植被茂密地区和干燥、高温天气。在上表中从上往下观察,由于艳山红 500 母线所处的地理位置在山区附近,所以本研究假设序号为 2 和 3 的两条线路因山火跳闸。本研究假想的山火导致输电线路跳闸的故障形式如表 2 所示。

表 2 某电网山火故障线路表

序号	结构脆弱性	线路序号	I 侧母线名	J 侧母线名	功率 /MW	状态
1	0.619 538 869	92	湘黔艳黔侧抗	湘艳山红 500	544	跳闸
2	0.566 075 829	111	湘艳山红 500	湘艳宗艳侧抗	455.5	跳闸
总计					999.5	

5.2 优化变量

由于不同的故障类型,需要优化的优化变量不同。所以针对本研究的假想故障,本节基于上节所述方法,选取该故障形式下对应的优化变量。

5.2.1 待调节支路的选取

断开上述两条线路后,重新计算全网潮流。对于

所有的约束条件,此时只有支路潮流越限,节点电压未发生越限。其中发现,故障线路跳闸后,有4条线路的功率显著增加,故选取这4条线路为待调节支路,即应

该选取对这4条线路潮流影响较大的发电机和负荷作为优化变量。这4条线路如表3所示。

表3 待调节支路表达式表

p. u.

I 侧母线名	J 侧母线名	初始有功	初始无功	断线后有功	断线后无功	有功增量
湘牌楼 500	湘牌长 2 线牌侧抗	2.932 74	0.265 12	5.374 87	-0.116 14	2.442 13
湘牌长 1 线长侧抗	湘牌楼 500	-2.918 80	1.273 34	-5.368 38	1.622 23	2.449 58
湘牌长 2 线牌侧抗	湘长阳铺 500	2.932 74	0.523 77	5.339 32	-0.192 86	2.406 58
湘黔东 500	湘黔艳艳侧抗	5.865 66	1.128 57	11.618 30	0.981 74	5.752 64

5.2.2 优化变量的选取

根据第1节所述方法得到优化变量如表4所示,其中负荷转移因子越接近1,表示影响程度越大。

表4 优化变量表(节选)

湘牌楼 500 - 湘牌长 2 线牌侧抗			湘牌长 1 线长侧抗 - 湘牌楼 500		
序号	负荷转移因子	节点序号	序号	负荷转移因子	节点序号
1	0.646 46	736	1	0.636 54	736
2	0.646 45	737	2	0.636 53	737
3	0.615 29	776	3	0.605 84	776

湘牌长 2 线牌侧抗 - 湘长阳铺 500			湘黔东 500 - 湘黔艳艳侧抗		
序号	负荷转移因子	节点序号	序号	负荷转移因子	节点序号
1	0.636 82	736	1	0.260 66	736
2	0.636 81	737	2	0.257 12	737
3	0.606 11	776	3	0.221 38	779

5.2.3 优化变量的初值

连续型优化变量的初值(以及上下限)如表5所示。0-1二元型优化变量的初值如表6所示。值得注意的是,文中负荷节点在实际中指变电站,而负荷指变电站的每条出线。假设每个变电站有4条出线,则相当于负荷节点的功率只能以1/4为最小切除单位进行切除。

将以上发电机和负荷节点的有功和无功功率作为优化对象进行优化。

表5 连续型优化变量的初值表

p. u.

序号	节点编号	母线名	有功初值	无功初值	有功上限	无功上限
1	736	湘黔东 01	6	3	6	3.72
2	737	湘黔东 02	6	0	6	3.72
3	776	湘三板溪 01	2.5	1.25	2.5	1.488
4	777	湘三板溪 02	2.5	1.25	2.5	1.488
5	778	湘三板溪 03	2.5	1	2.5	1.488
6	779	湘三板溪 04	2.5	1	2.5	1.488

表6 0-1二元型优化变量的初值表

p. u.

序号	节点编号	负荷	初始有功	初始无功
1	736	湘黔东 01	0.3	0.099
2	737	湘黔东 02	0.3	0.099
3	732	湘黔城 110	2.4	0.8

5.3 安全校正方案

基于优化模型和求解方法,得出安全校正方案。表7列出了发电机的安全校正方案,表8列出了负荷的安全校正方案。

5.4 安全校正方案校核

根据优化出的安全校正方案修改相应的发电机和负荷功率,重新计算全网潮流,得到安全校正方案对故障后越限值较大的4条线路的调整效果,也就是待调节支路优化前后的有功值变化情况,如表9所示。

从表9中可以看出,按照优化得到的安全校正方案调整后,该电网的潮流均降至安全稳定范围内,不再有发生连锁故障的隐患,安全校正方案的有效性得到验证。

表7 发电机安全校正方案表

p. u.

序号	母线名	有功初值	无功初值	优化后有功	优化后无功	切有功量	切无功量
1	湘黔东 01	6	3	4.24	2.12	1.76	0.88
2	湘黔东 02	6	0	4.16	0	1.84	0
3	湘三板溪 01	2.5	1.25	1.96	0.98	0.54	0.27
4	湘三板溪 02	2.5	1.25	1.89	0.95	0.61	0.3
5	湘三板溪 03	2.5	1	1.95	0.78	0.55	0.22
6	湘三板溪 04	2.5	1	2.12	0.85	0.38	0.15
共计						568 MW	182 Mvar

表8 负荷安全校正方案表

p. u.

序号	节点编号	负荷	初始有功	初始无功	优化后有功	优化后无功	切有功量	切无功量
1	736	湘黔东 01	0.3	0.099	0.3	0.099	0	0
2	737	湘黔东 02	0.3	0.099	0	0	0.3	0.099
3	732	湘黔城 110	2.4	0.8	1.8	0.6	0.6	0.2
共计							90 MW	29.99 Mvar

表9 待调节支路的优化效果表

I 侧母线名	J 侧母线名	初始有功	断线后有功	优化后有功	越限值
湘牌楼 500	湘牌长 2 线牌侧抗	2.932 74	5.374 87	3.267 69	0
湘牌长 1 线长侧抗	湘牌楼 500	-2.918 80	-5.368 38	-3.250 39	0
湘牌长 2 线牌侧抗	湘长阳铺 500	2.932 74	5.339 32	3.267 69	0
湘黔东 500	湘黔艳艳侧抗	5.865 66	11.618 30	8.115	0

5.5 结果分析

通过对比表 5 和表 7 中优化变量的优化结果和原始数据,发现优化后发电机的功率都有所减少,三个负荷节点中,湘黔东 01 的负荷全部切除,湘黔东 02 的负荷全部保留了。之所以优化出的结果是切机和切负荷,是因为这些节点对待调节支路的调节效果均为正相关,即减小这些节点的功率,可以使得待调节支路的潮流相应减少。反之,若某些节点对待调节支路的调节效果为负相关,则可能需要通过增发功率才可以相应减小待调节支路的潮流。

通过对比安全校正方案调整前后的潮流结果,发现优化后,系统的潮流相比故障后都显著减少。对比优化后该电网潮流和原始潮流,发现优化后的潮流较为贴合原始潮流数据,只是略有小幅增加,但也没有超过潮流极限值,由此验证了优化模型求得的安全校正方案的合理性和正确性。

6 结语

本文详细介绍了一种安全校正策略的优化模型,

该模型将复杂的发电机和负荷的参数调整问题转化为建立、求解非线性的连续和二元混合规划问题,通过限定粒子群算法中粒子的搜索域来实现对优化变量的参数调节范围的约束,并通过求解数学模型得出控制方案。从根本上避免了越限和一些不符合实际的结果,也去除了大量无效的搜索范围,使得在更短的时间可以得到合理有效的安全校正方案。

参考文献:

- [1] 牟颖, 张保会, 薄志谦. 防止输电断面连锁过载的快速控制算法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(3): 39-45
- [2] 任建文, 何培成, 何宸. 基于虚拟控制单元与启发式搜索的线路过载紧急控制策略[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(3): 33-38, 69
- [3] 刘静文. 输电断面快速搜索及防连锁过载有功校正控制策略研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2016
- [4] 毕如玉, 林涛, 陈汝斯, 等. 交直流混合电力系统的安全校正策略[J]. 电工技术学报, 2016, 31(9): 50-57
- [5] Bi R, Lin T, Chen R, et al. Alleviation of post-contingency overloads by SOCP based corrective control considering TCSC and MTDC[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2018, 12(9): 2155-2164

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.012

水电项目监理服务费计价模式的研究与实践

蒋理¹, 陈亮¹, 王雷¹, 翁锐²

(1. 华电西藏能源有限公司大古水电分公司, 西藏 山南 856000;

2. 中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611130)

摘要: DG公司创造性地提出了按投入费用法进行监理服务费计价,并于2013年11月率先用于DG水电站工程的监理招标和施工管理中。投入费用法有利于督促监理单位保证现场投入、提高监理人员的责任心和监理费用的控制等。DG电站实施的良好效果,使投入费用计价法进行监理招标与管理模式得到了众多水电行业建设单位与知名监理企业的认同。

关键词: 水电监理; 计价方式; 投入费用法; 初步成效

中图分类号: TU712.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)02-0055-04

Study and Practice of the Pricing Mode of Supervision Service Fee in Hydropower Projects

JIANG Li¹, CHEN Liang¹, WANG Lei¹, WENG Rui²

(1. DG Hydropower Branch, Huadian Xizang Energy Co., Ltd., Shannan 856000, China

2. Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu 611130, China)

Abstract: An innovative pricing mode of the supervision service fee based on investment cost is proposed and implemented in the supervision work bidding and construction management of DG Hydropower Station Project. This new investment cost method can effectively guarantee the input of the supervision unit, improve their sense of responsibility and control the supervision fee. Satisfactory performance of the investment cost method is demonstrated by its practice in DG Hydropower Station Project. Thus, the supervision bidding and management with investment cost method is now well recognized by numerous hydropower construction units and famous supervision enterprises.

Key words: supervision of hydropower projects; pricing mode; investment cost method; preliminary performance

水电项目建设工程监理制度的实施,对帮助项目业主加强工程质量、安全、进度和投资控制起到了非常重要的作用。随着对监理制度重要性认识的不断加深,如何进一步发挥监理制度作用的研究也备受重视,本文拟从监理服务费计价模式的角度,研究如何加强和改进水电项目的工程监理工作。

1 国家对建设工程监理服务费计价的政策规定

自1988年在工程建设领域逐步推行监理制度以来,国家相关部委先后出台过两个关于监理服务费计

价的文件。其中,《关于发布工程建设监理费有关规定的通知》([1992]价费字479号)中,规定了三种计价方式:一是按所监理工程概算的百分比计收;二是按照参与监理工作的年度平均人数计算;三是由建设单位和监理单位通过协商确定其它方法。在《建设工程监理与相关服务收费管理规定》(发改价格[2007]670号)中,监理费的计价方式缩减为一种,即以工程概算投资总额测算得出的施工监理取费额为基准价,再乘以相应调整系数的方式计算监理服务费(以下简称基准价调整系数法)。

2011年,《国家发展改革委关于降低部分建设项目收费标准规范收费行为等有关问题的通知》(发改

收稿日期:2019-09-28

作者简介:蒋理,男,高级工程师,长期从事工程管理方面的工作。

价格〔2011〕534号)对工程监理取费进行了补充规定,即“工程监理收费,对依法必须实行监理的计费额在1000万元及以上的建设工程施工阶段的收费实行政府指导价,收费标准按国家发展改革委、建设部《关于印发〈建设工程监理与相关服务收费管理规定〉的通知》(发改价格〔2007〕670号)规定执行;其他工程施工阶段的监理收费和其他阶段的监理与相关服务收费实行市场调节价”。

2015年4月29日,国家发展改革委以《国家发展改革委关于废止部分服务收费政策文件的通知》(发改价格〔2015〕888号),废止了《国家发展改革委关于降低部分建设项目收费标准规范收费行为等有关问题的通知》(发改价格〔2011〕534号),对监理服务收费全面放开。

2 基准价调整系数法监理服务费计价模式存在的突出问题

由于水电项目基本上都属于《建设工程质量管理条例》中,必须实行工程监理的范围。因此,自《建设工程监理与相关服务收费管理规定》实行以来,基准价调整系数法在水电工程的监理服务费计价中得到广泛运用,成为当前水电行业通行的监理服务费计价模式,对规范水电项目监理服务计价工作起到了积极的推动作用。然而,受规定对水电行业监理工作实际情况的针对性不强等因素影响,基准价调整系数法在执行过程中的弊端也逐渐显现,并进而制约到工程监理体制效用的发挥。

1) 监理单位资源投入不到位。近年来,水电作为清洁的可再生能源备受各投资主体的重视,水电项目的在建规模持续增加,对工程监理服务的需求也越来越大,与此不协调的是经验丰富、业务过硬,适应水电项目艰苦环境的监理工程师则相对紧缺。一个优秀的监理工程师通常会出现在多个监理工程的人员配置计划中,由此就导致监理单位在投标文件中承诺的监理人员往往不能真正到位。此外,在项目招标环节,各监理单位为中标往往压低投标报价;而在项目实施过程中,为控制成本又时常以缩减人员数量、降低人员素质,减少器材投入等方式应付项目业主。上述问题的存在,使监理单位在合同文件中对监理现场资源投入的承诺往往流于形式,由监理单位投入不足而影响工程建设管控的情况成为新常态。

由于基准价调整系数法类似于总价合同,项目业主对监理单位实际的资源投入一般不进行量化考核,

资源的实际投入情况也不与监理费结算支付挂钩。因此,当出现监理单位资源投入不足问题时,项目业主除了不断督促之外,切实有效的办法却不多。

2) 监理人员责任心不足。在“小业主,大监理”的水电项目建设管理体制下,监理单位和监理人员是工程建设管理的主要参与者,激发他们的工作热情对项目业主实现工程建设目标至关重要。然而,在水电项目一线监理人员工作条件艰苦、收入偏低、劳动关系不稳定的现状下,要求监理人员尽职尽责,切实担负起监理体制赋予的责任和义务,无疑非常困难。

为提高监理人员的责任心,水电项目业主大多制定了各种考核办法,以此激励和约束监理单位和监理人员履职尽责。但在基准价调整系数法计价的监理服务合同框架下,对监理单位的考核仅是一个总体评价,无法细化到具体的监理人员,以至该方式在激发一线监理人员责任心的方面效果不甚显著。

3) 监理服务费的支付进度不受控。项目业主支付的监理费是监理单位成本开支和利润的源泉,也是项目业主对监理进行管控最直接的手段。通过对监理费支付节奏的合理把控,对调动监理单位工作积极性,保证监理工作质量意义重大。

然而,以基准价调整系数法计价的监理服务合同中,多是按照预定的时间节点支付监理费用,未与监理服务质量和监理单位实际的资源投入挂钩,项目业主难以通过调整监理费的支付进度有效约束监理单位。

3 投入费用法监理服务费计价模式简介与优势分析

针对基准价调整系数法监理服务费计价模式存在的问题,在国家适度放开监理服务收费政策后,部分水电项目业主对监理服务费的计价模式进行了研究和探索,并取得了一些积极的成果。这些研究与实践中,以“人月法”监理服务费计价模式相对成熟,并在应用中取得了一定的成效。所谓“人月法”监理服务费计价是指:招标时监理单位根据拟承揽项目的监理工作量,在投标文件中预估计划投入本项目的人员和设备数量,再与报价中的相应项目单价相乘计算监理服务费的方法。与基准价调整系数法相比,“人月法”监理服务费计价模式费用构成相对清晰,对各级各类监理人员投入也作了一些明确要求。但由于“人月法”缺乏对监理单位实际投入人员、设备的确认与考核措施,因此在监理合同执行中,监理单位投入不足、责任心不

强等问题并没有得到根本性解决。

为有效应对监理服务中存在的问题与挑战,在对基准价调整系数法、“人月法”等监理服务费计价模式进行深入研究的基础上, DG公司创造性地提出了根据监理单位实际投入现场各类人员、设备的数量和工作时段,与相应组费单价相乘计算监理服务费的模式,并将该方法命名为“投入费用法”。具体来讲,投入费用法就是项目业主在监理招标时,提供一个预估的各级各类监理人员和各类监理设备、器材的需求情况明细表,要求监理单位在投标时逐项填报;之后,项目业主综合监理单位的监理大纲、分项投标报价等因素,选择确定监理单位;在监理合同的执行过程中,项目业主对监理单位实际的资源投入情况进行确认和考核,并根据考核结果按月结算和支付监理费。

相对基准价调整系数法和“人月法”存在的问题与不足,投入费用法监理服务法计价模式具有如下优点。

1)有利于督促监理单位保证现场投入。投入费用法计价模式按监理单位实际投入到本项目的各类人员、设备的数量乘以合同文件中约定的单价结算月度监理服务费用。监理合同中,对高层级监理人员的能力要求高,结算单价也高,低层级人员的能力要求略低,结算单价也相应低一些。由此,监理单位资源投入的质和量,与它能取得的当期收入直接挂钩,一分投入才能有一分回报,这就使监理单位失去了在人员、设备投入上拖延和偷工减料的动机,现场监理资源投入不足的弊端能从根本上得到扭转。

2)有利于提高监理人员的责任心。在投入费用法计价模式下,项目业主将对监理人员进行定期考核,通过分类评价实现对监理人员费用结算层级的动态调整,从而全面激发监理单位和监理人员的责任心与积极性。例如,某监理人员工作尽职尽责、业务能力突出,即便他的资质履历不符合上一结算层级的要求,项目业主也可破格提升他的结算层级,从而较大幅度提高他的收入水平;与此对应,当通过考核发现某监理人员不符合拟定层级要求时,项目业主可根据合同约定将其降级至下一结算层级,乃至要求监理单位将其清退出场。

3)有利于监理费用的控制。投入费用法计价模式按月结算监理费用,项目业主在资金支付上对监理单位的控制力更强,更有利于督促监理单位保证资源投入,并将监理费用更有效更及时的使用到监理工作一线,避免监理费用的挪用。同时,投入费用法计价模

式下监理费的构成更加透明,更有利于项目业主对监理服务费总量的控制。

4 投入费用法监理服务费计价模式应用中需要注意的问题

投入费用法监理服务费计价模式作为一种新型的结算计价管理模式,它给工程监理体制带来的不仅仅是费用计取方式的改变,更是对传统监理服务模式的革命性改良,要充分发挥投入费用法监理服务费计价模式的优势,项目业主在监理管理工作中需要注意以下问题。

1)选择认同业主管理理念的监理单位。受惯性思维和利益关系调整等因素的影响,目前不少监理单位对投入费用法计价模式还存在相当的疑虑和抵触。因此,通过招标择优选择一家实力强、信誉好,还认同项目业主监理管理理念的合作单位至关重要。唯有如此,项目业主和监理才能建立起相互信任,良性互动的合作关系,共同实现项目管理的目标。

2)招标文件中需提供较准确的资源投入预估量。投入费用法监理服务费计价模式类似于一个单价合同,因此在招标文件中,项目业主需要根据监理工程量提供一个估算的各类监理人员和设备需求清单。如果没有预估的资源需求清单或清单误差大,则不但会给清标工作造成困难,而且还给监理单位在投标时采取不平衡报价留出了空间,不利于项目业主对监理服务费的投资控制。

3)对监理合同进行动态管理。投入费用法监理服务费计价模式的核心在于对监理单位的现场管理,尤其是对投入资源的计量与确认,不但要求监理单位从量上保证投入,更要考核监理人员的素质能力和责任心。项目业主必须在合同文件中对考核办法进行科学细致的约定,务必保证考核措施的公平性、合理性和可操作性,其中的难点在于计量确认中“度”的把握。在监理单位中标单价普遍偏低,监理合同履行存在一定难度的背景下,对认真负责、积极配合、服务质量能满足工程建设需要的监理单位,项目业主以适当放宽计量尺度的方式调动监理单位和人员的积极性是值得考虑的选项。反之,对服务质量差、配合意识弱、资源投入还不到位监理单位则应严格按照合同进行考核和结算,以督促其切实履行合同承诺。

4)加强对监理人员的正向激励。采用投入费用法计价模式后,监理服务费的构成更加透明,监理单位能够采取的内部激励措施也更为受限。尤其在当前监

理行业“名义收入低、灰色收入补”现象突出的情况下,项目业主要督促监理单位采取有效措施加强对监理从业人员的正向激励,以“保障基本收入、提高考核收入、消除灰色收入”为抓手规范监理人员的收入分配体制。实施过程中,项目业主一方面应增强对监理单位内部分配的引导,保证除正常管理费用和利润外,合同单价中的人员经常费都能足额支付给一线监理人员;另一方面在招标时项目业主须在监理合同中单列一定金额作为对监理人员的考核基金,通过适度加大考核收入在监理人员总收入中占比的方式,真正激发监理人员的责任心和积极性。

5) 科学合理安排资源投入。在投入费用法计价模式下,监理单位具有强烈的增加资源投入的冲动,希望以此既增加监理费用,又能通过降低单个监理人员的工作量以达到降低人工成本的目的。对此,项目业主须加强对资源投入规模的控制,与监理单位协商制订以年、月为周期的资源投入计划,科学确定每个周期的监理资源投入量,以此一方面避免现场管控中监理资源投入的无序扩张,另一方面也为监理单位优化组织资源投入预留合理的准备时间。

5 投入费用法监理服务费计价模式取得的成效

DG公司在创造性的提出按投入费用法进行监理服务费计价后,于2013年11月率先将该思路运用于DG水电站前期准备工程的监理招标中。通过多方沟通与精心组织,投入费用法计价模式得到了水电行业众多知名监理企业的认同,贵阳院监理、二滩国际、西北院监理、中南院监理等7家单位参与投标,形成了良好的竞争氛围。在监理服务管理中,DG公司采取了以下管理措施,进一步发挥了投入费用法计价模式的作用。

1) 科学编制招标文件与考核制度。招标文件是合同管理与过程管控的基础,为保证投入费用法取得实效,DG公司邀请业内专家多次评审招标文件。在招标文件中明确了监理服务的范围、对监理人员的要求,并根据测算的监理人员需求计划提出了明确的工程量清单。同时,还将《DG水电站工程监理考核管理办法》作为招标文件附件,明确将监理服务质量与监理费支付比例挂钩(月度考核95分以上,全额支付进度款;低于95分,将按比例分档扣减进度款)。同时,按照合理偏高的原则,科学设置招标最高限价,让投标单位能够根据项目单位的要求合理报价,避免恶性竞争。

2) 严把监理人员素质关。确定中标单位后,DG公司根据监理合同约定严把监理人员素质关,通过资格审查、入场考试等措施对拟任的各层级监理人员进行全面考核,对资格素质不达标的监理人员不准上岗,从源头保证了监理队伍的质量。

3) 严格执行监理考核制度。监理合同执行期间,DG公司根据《DG水电站工程监理考核管理办法》,每月对监理人员进行月度考核,一是定期调整监理部的资源投入计划,保证资源投入与工程需求相匹配;二是在监理单位报送资源投入月报的基础上,通过考勤机每日复核监理部的考勤记录,防范监理单位“吃空响”;三是每月由DG公司各部门对监理单位进行测评打分,并将测评结果及时反映到监理费支付中,增强监理单位的服务意识和紧迫感;四是每年组织对监理人员的后续考核,对考核不合格的人员予以清退,对考核优良的人员上调岗级,以此调动各级监理人员的主动性;五是在DG公司组织的工程建设年度评优中,增加监理单位的评优指标,并明确该指标用于一线监理员,通过评先评优的方式进一步调动一线监理人员的积极性。

通过上述措施,中电建贵阳院在中标后,严格履行了投标承诺,到位各类监理人员的数量和素质满足工程建设的需要,有力保障了DG水电站各项前期准备工程的顺利开展,投入费用法的优势在工程管理实践中得到检验。此后,华电金沙江上游水电开发公司苏洼龙、叶巴滩等水电项目也在监理单位招标中采用了投入费用法,并取得了较好成效。

参考文献:

- [1]张继承. 建设工程合同理论与实践研究[M]. 广州:华南理工大学出版社,2017
- [2]刘延彦. 工程建设质量与安全管理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004
- [3]谢光华. 建设监理人行为治理研究[M]. 北京:经济科学出版社,2017
- [4]阳波,强茂山. 工程项目业主监理合作模式的机理分析[J]. 工程经济,2010(5):7-11
- [5]刘吉来. 水利水电工程监理工作浅析[J]. 建设监理,2011(2):13-15
- [6]毕瑶. 水利水电工程监理质量控制的工作要点分析[J]. 中国水运,2016,37(8):68-69
- [7]芦海胜. 水利施工企业施工质量管理浅析[J]. 陕西水利,2019(2):73-74
- [8]徐燕丽. 浅析建筑工程施工安全监理[J]. 湖北水利水电职业技术学院学报,2008,4(1):18-21

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.013

浅谈大型水电站继电保护信息管理系统设计及运用

胡嵩嵩, 杨涛, 黄泰山

(乌东德水力发电厂, 云南昆明 651500)

摘要:某大型水电站继电保护信息管理系统结构与网络配置设计,成功解决了保护及安全自动装置与故障录波设施种类繁多、装置的通讯方式和通讯规约不尽相同、上送的数据量大等难题,不但可以将子站所有继电保护及安全自动装置、故障录波装置采集的信息上送主站,还可以通过 Web 服务在办公网络发布,并形成数据库和报表,实现数据统一管理,电厂信息化和智能化管理,非常适用于人员配置少、设备布置分散、自动化设备众多的大型水电站。

关键词:保护信息管理系统;信息化;网络

中图分类号:TM77

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)02-0059-03

Design and Application of the Relay Protection Information Management System in a Large-scale Hydropower Station

HU Songsong, YANG Tao, HUANG Taishan

(Wudongde Hydropower Plant, Kunming 651500, China)

Abstract: The design scheme of the relay protection information management system in a large-scale hydropower station is introduced. With specifically designed structure and network configuration, the system can handle various types of protection and safety automation devices and fault recording facilities, different communication modes and protocols of devices, and large amount of data transmitted. It can not only send the information collected by all relay protection and safety automation devices and fault recording facilities of substations to the main station, but also publish the information in the office network through web services, and generate databases and report forms, so as to realize a unified data management, and informatized and intelligent management of the power plant. It is specifically suitable for large-scale hydropower stations with few personnel, scattered equipment distribution and numerous automation equipment.

Key words: protection information management system; informatization; network

随着微机继电保护、自动装置在电网中的普遍使用,以及近年来电网智能化、信息化的高速发展,继电保护信息管理系统正扮演着越来越重要的角色,在电力系统发生故障时可以将用户关心的保护及故障录波装置的各种信息以数据通信的方式传出。

目前,继电保护信息管理系统通常的实现方案是在厂站内单独设置一套继电保护信息管理子站集中采集厂站内的装置信息,然后以统一的规约传送至调度中心主站系统。继电保护信息管理系统子站主要负责收集、显示厂站内保护及安全自动装置、故障录波装置的正常运行信息和故障信息,并可接受主站系统的命令实现对保护装置的操作,根据运行的需要,子站系统

也可以向厂站监控系统转发相关保护运行信息。

1 大型水电站继电保护配置情况

该水电站分设左、右岸两个电站,发电机—变压器组采用单元接线,设发电机断路器,500 kV 侧采用 3/2 断路器接线,500 kV 配电装置均采用 GIS,500 kV 出线均采用气体绝缘金属封闭输电线路(GIL),出线引至地面出线场与电网架空线路连接。

发电机、变压器配置相应的发变组保护装置,10 kV 厂用电系统配置相应的过流、母线弧光等装置,500 kV 系统及出线场设备配置相关的断路器保护装置、短引线保护装置、线路保护装置等。全电站共有保

收稿日期:2019-10-18

作者简介:胡嵩嵩,男,工程师,主要从事继电保护方面的工作。

护装置近 400 套,为便于对保护装置的管理,所有保护装置均应接入继电保护信息管理系统。保护信息管理中心站布置在全厂控制管理楼中控室,左、右岸保护信息管理子站及网络设备柜布置在左、右岸地下厂房。

2 继电保护信息管理系统的实现

2.1 系统结构

由于该水电站保护设备分布广且比较分散,为了能够将全部保护装置接入到继电保护信息管理系统中

去,继电保护信息管理系统由左、右岸保护信息管理子站和保护信息管理中心站组成,采用主干环网和区域星型网络相结合的网络结构。继电保护信息管理系统网络采用 100 Mbps 交换式工业单以太环网,网络按 IEEE 802.3 设计,采用全开放的分布式结构,通信规约采用 TCP/IP,应用层协议采用 IEC61850 和 IEC - 60870 - 103,采用光纤传输,网络的传输速率不小于 100 Mbps。该电站继电保护信息管理系统拓扑图如图 1、图 2 所示。

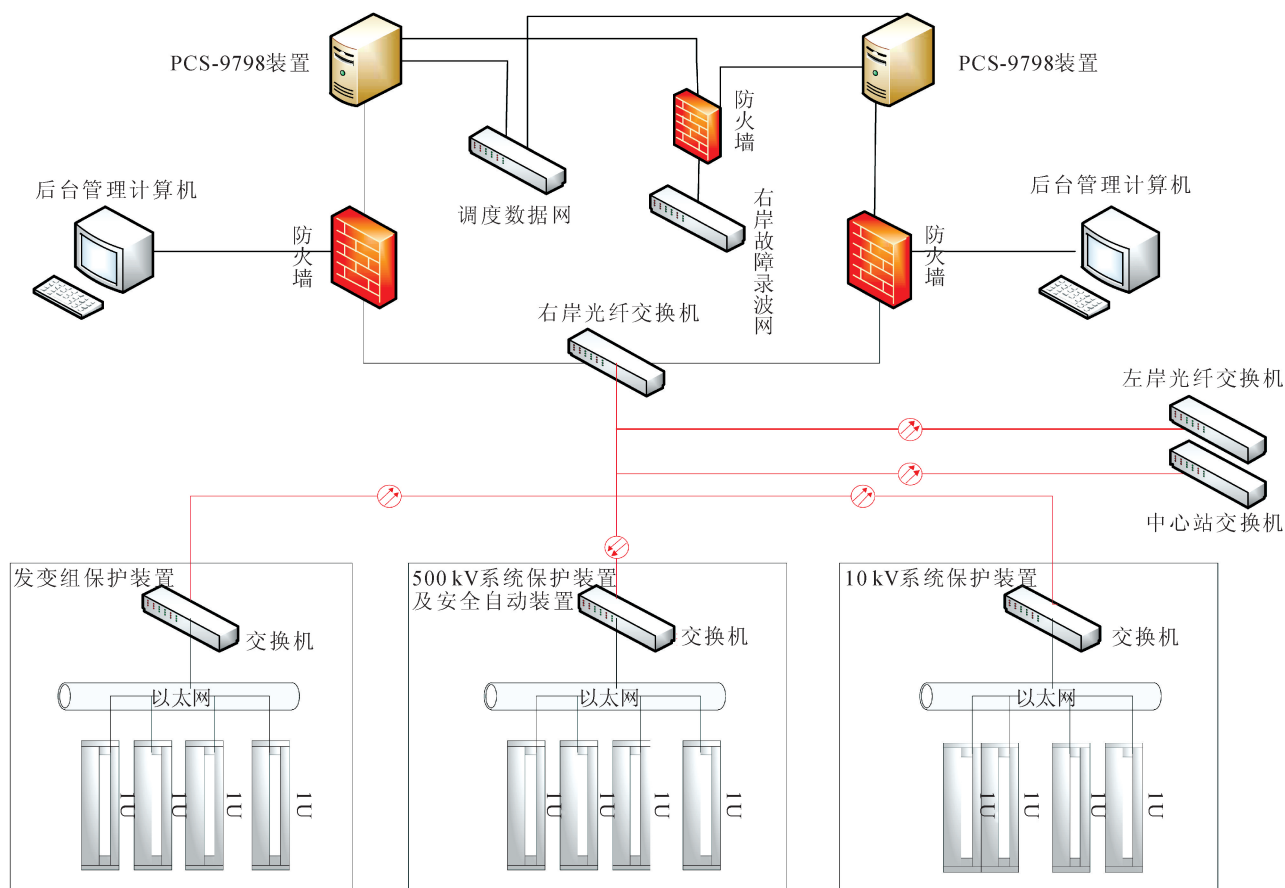


图 1 保护信息管理子站系统拓扑图

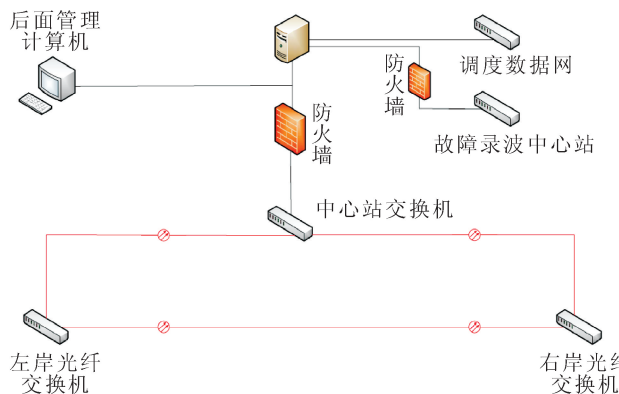


图 2 保护信息管理中心站系统拓扑图

保护信息管理中心站接入左岸和右岸保护信息管

理子站的数据,展示全厂的继电保护数据,保护信息管理中心站与计算机监控系统、故障录波中心站通信,并通过调度数据网将数据上传网调保护信息管理主站。

保护信息管理子站通过光纤网络以单环结构接入保护信息管理中心站,并分别通过一台 10 M/100 M 以太网主干交换机与分布在厂内各区域的子交换机采用单星型方式相连,发电机保护、变压器保护、500 kV GIS/GIL 保护、10 kV 保护装置通过 61850 通信规约接入继电保护信息管理系统,与调度相关的保护及安全自动装置(含线路保护、安控装置等)、故障录波分析系统子站通过以太网通信接口接入保护信息管理系统,完成信息、定值及波形文件上传。

左、右岸电站保护信息子站管理机各采用两台 PCS-9798A 嵌入式保护信息管理装置,PCS-9798A 装置处于站控层,对上与保护信息管理主站通信,对下与继电保护及安全自动装置、故障录波分析系统子站通信,支持多种通信接口和协议。保护信息管理子站与保护信息管理系统交换机间加装防火墙,通过防火墙对生产 I 区和 II 区设备进行隔离。在左、右岸电站继保室内各设置两台保信后台管理计算机,方便运维人员查看保护装置信息。

2.2 系统特点

该电站继电保护信息理系统具有以下特点:

1) 所有继电保护及安全自动装置都可以经串口、网口等方式接入保护信息管理子站,保护信息管理子站可完成通信转接和规约转换,统一到标准的 IEC61850 和 IEC60870-5-103;

2) 继电保护信息管理系统所辖设备较多,信息量较大,为便于保护装置信息的采集和上送,左、右岸电站保护信息管理子站各使用两台 PCS-9798A 装置;

3) 继电保护信息管理系统网络采用主干环网和区域星型网络相结合的结构,主干网通过高性能主交换机,采用高速率以太环网结构互联,具有自愈功能,可靠性很高;而各个区域网络节点采用星型网络结构就近接入区域主交换机,具有配置简单、使用灵活的优点;

4) 左、右岸电站继保室都配置保信后台管理计算机,左、右岸电站保护及安全自动装置信息通过保护信息管理系统主交换机互联,所以在左、右岸电站保信后台管理计算机都可以查看站内所有保护装置信息,为运维人员的日常巡检和设备维护提供便利;

5) 保护信息管理工作站主机安装国产凝思操作系统,可以有效避免病毒的攻击,提高系统的安全性;

6) 处于对系统安全考虑,保护信息管理子站不配置修改、整定保护定值和传动试验等控制功能。

2.3 系统功能

保护信息管理子站能监视子站与保护装置、故障录波分析系统子站的通信状态,并对通讯异常记录进行存储,通信状态改变时,应向主站发送相应事件。能自动检查软硬件工作情况、与电站内装置的通信情况和电站内各保护装置的工作情况,当发现自检故障时,发出告警信号至电站计算机监控系统,当发现设备有故障或有事件记录报告时,自动整理并保存。

保护信息管理子站具备定值自动召唤及定值核对功能,可以正确读取保护装置、故障录波分析系统子站的装置参数、各区定值、模拟量及开入量状态、告警动

作、录波文件等信息,当子站发现保护定值与基准定值(第一次召唤的定值作为基准或以在子站中输入各装置的定值作为基准)不对应时,应向主站发送定值不对应事件。当保护信息管理主站向保护信息管理子站发出录波文件召唤命令时,子站应对需传送的录波文件进行判断,如果子站存有该录波文件,则从子站向主站发送该文件;若该文件未储存在子站中,则从故障录波分析系统子站中读取、上送并储存。

保护信息管理子站可以按照电网规范对站内一、二次设备关联关系及图形进行建模,并将生成的文件传送至主站系统,主站系统与电调自动化系统间采用数据文件加 FTP 的方式进行信息交换,主站负责导出数据文件并通过 FTP 上传到指定的服务器上,电调自动化系统负责保信数据文件的解析和展示。

保护信息管理系统具备 Web 发布服务,通过 Web 发布和浏览,用户可以在 Intranet 上浏览调度保护信息管理主站系统的图表和数据,了解电网的运行状态,作出相应的决策。Web 发布平台布置在安全网 III 区,通过防火墙与布置在安全网 I/II 区的继电保护信息管理系统、故障录波系统隔离,可以实现以下功能:

1) 故障信息、故障波形的下载和在线打印;

2) 对保护状态进行实时监控,状态发生异动时发出告警信号;

3) 实时接收保护装置采样、故障录波系统采样形成数据库和报表,用于对保护设备自动定期巡检、趋势分析、GIS 站内采样功率(电流)平衡分析;

4) 可根据同期数据比对、变化趋势、突变监测进行预警、双套保护采样进行对比误差预警,预警值可现场设定。

3 结 语

大型水电站的安全运行对于电网的稳定运行具有决定性作用,该水电站继电保护信息管理系统结合最新技术设计,不但可以将子站采集的所有继电保护及安全自动装置、故障录波装置信息上送至主站,还可以通过 Web 服务在办公网络发布,并形成数据库和报表,实现数据的统一管理,为保护设备的稳定运行打下了坚实的基础,对于人员配置少、设备布置分散、自动化设备众多的大型水电站,具有很高的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李忠明, 宋康, 郭效军, 等. 适用于特大型水电站的继电保护信息管理系统及其发展[C]//中国水力发电工程学会. 中国水力发电工程学会继电保护专业委员会 2009 年年会暨学术研讨会论文集, 南京: 2009
- [2] 徐鹏, 赵晶, 尹熬. 大型水电站继电保护信息管理系统子站的实现[J]. 红水河, 2012, 31(3): 74-76, 99

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.014

浅谈枕头坝水电站运行值班风险分析及其对策

安义民

(国电大渡河枕头坝发电有限公司,四川乐山 614700)

摘要:基于枕头坝水电站在目前500 kV开关站接线方式和10 kV厂用电运行方式下,对电站运行人员在值班过程中存在的风险展开了逐一分析,使运行值班人员在日常工作过程中对有可能出现的风险在心理和工作安排上做好提前部署,有针对性的策略与解决方法,从而在遇到风险时能避免或者使其影响最小化,保证电站设备安全稳定运行。

关键词:水电站;运行值班;风险分析;对策

中图分类号:TV737

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)02-0062-03

Analysis and Countermeasures of the Operation Duty Risks in Zhentouba Hydropower Station

AN Yimin

(China Guodian Dudu River Zhentouba Hydropower Development Co., Ltd., Leshan 614700, China)

Abstract: The operation duty risks of the operators in Zhentouba Hydropower Station under the current 500 kV substation wiring mode and 10 kV auxiliary power operation mode are analyzed. Thus, the operators on duty can prepare for the possible risks in the daily work in psychology and the work arrangement in advance. With targeted strategies and solutions, the impact of the risks can be avoided or minimized to ensure the safe and stable operation of the station.

Key words: hydropower station; operation duty; risk analysis; countermeasure

枕头坝水电站为大渡河干流水电29级规划的第22梯级电站,水库正常蓄水位624.00 m,库容4350万 m^3 ,其中调节库容为1450万 m^3 。电站额定水头29.50 m,装机容量720 MW,共有4台轴流转桨式机组,单机容量180 MW,设计保证出力206 MW,年发电量为32.90亿 $kW \cdot h$,枯期电量13.08亿 $kW \cdot h$,年利用小时数4569 h。在上游瀑布沟水库的调节下,枕头坝水电站具有良好的发电、调峰作用。

机组采用联合单元接线,500 kV开关站采用角型接线(如图1所示),通过500 kV线路接入上游深溪沟电站开关站,预留一回线路至枕头坝二级电站。目前,电站正按照大渡河公司“业务量化,统一平台,集成集中,智能协同”的工作思路,加快推进“智慧电厂”建设步伐。2017年1月,成都生产指挥中心已经实现了对枕头坝电站远方控制,包括机组开停机、负荷调整、开

关站设备倒闸操作,电站现场已经采用“无人值班,少人值守”的工作方式。下一步,我们将加快综合信息化数据平台系统、智能安全帽、钥匙智能管控系统、预警机器人等项目的建设进度,在确保设备安全稳定的基础上,降低职工在传统运维工作上时间的投入,实现“风险识别自动化、管理决策智能化”为核心的智慧管理。

1 运行值班风险分析

1.1 送出线路存在的风险

1)枕头坝电站一回出线送到深溪沟水电站,线路途经大峡谷地质公园地带及八月林自然保护区,线路总长约27 km,最高处海拔约2450 m,并穿越五个覆冰区,山高风急,有泥石流、冰雪覆盖、塌方等自然灾

收稿日期:2019-10-20

作者简介:安义民,男,工程师,从事水电站运行管理工作。

害,会造成倒塔、断线等严重故障,有可能导致全站停电的风险。

2)当发生全站停电事故时,将直接造成电站对外供电中断,厂用电消失或设备损坏。如不及时恢复,将威胁到大坝和厂房的安全,造成洪水漫坝和水淹厂房的严重后果。

1.2 人员运行技能不足存在的风险

1)日常工作。枕头坝电站的运行值班人员组成普遍比较年轻,存在运行经验和技能不足,对设备巡回检查不够仔细、认真,从而并没有及时的发现设备存在的不安全状态,操作时,对运行规程和设备相关参数参数不够清楚,对于操作顺序和操作前人身风险分析不到位,从而在倒闸操作中对工作的随意性较大,存在误

入带电间隔、送电措施不到位,导致人身伤害和设备事故的发生。

2)事故处理。水电站的运行管理中运行值班人员会遇到不少的突发性事件,这就要求水电站的运行值班人员能够及时准确的做出判断与应急处置,将事故造成的后果最小化。因此在突发事故引起的安全风险由于事故的突发性,运行值班人员并没有相关的准备,从而不知所措,不能正确的进行对设备的操作,从而不能将故障设备跟运行设备进行隔离,从而造成事故进一步的扩大;突发事故引起的安全风险还包括水电站的运行值班人员不了解设备情况,不能准确做出判断与处置;再一方面就是值班人员思考时间过长,错过了事故处理的最佳时机,从而造成了设备的损坏。

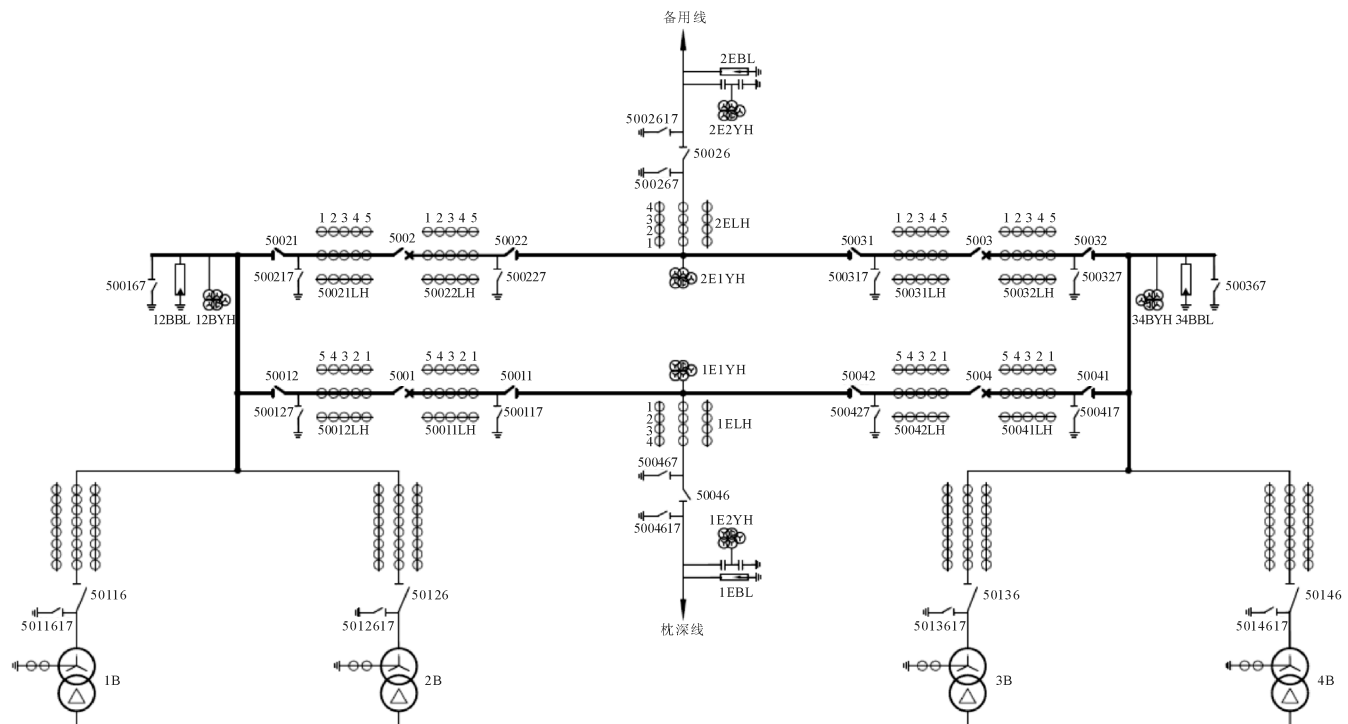


图1 枕头坝水电站电气主接线图

1.3 管理缺失存在的风险

1)安全管理方面 在电站设备正常运行过程中,安全管理人员及相关职能部门对现场运行值班人员安全检查力度不够,导致在安全方面存在麻痹大意和侥幸心理,造成发生事故几率大大增加。

2)制度建设方面 现场工作的执行和过程的把握只依靠人,没有明确的标准与规范,容易造成现场值班人员在在工作中养成不好的习惯,在工作中容易依靠

经验和自己主观判断,存在事故发生的风险。

2 运行值班风险对策

2.1 送出线路存在风险对策

1)增加泄洪闸控制应急系统,其作用是实时监测大坝上游水位,并采集当前全站总有功、线路三相电流和各泄洪闸门开度。当应急系统监测的三路水库水位中任意一路水位到达预警水位值时发出告警信号,三路水位信号中任意二路水位到达动作水位值时,根据

汛期和非汛期方式的选择,自动提升泄洪闸门至相应开度进行泄洪;当应急系统监测到线路功率(直采)在二秒内由 60 MW 以上突变到 20 MW 以下、线路三相电流小于 20 A 且另一路线路功率(监控通讯)也在二秒内由 60 MW 以上突变到 20 MW 以下时,根据汛期和非汛期方式的选择,自动提升泄洪闸门至相应开度进行泄洪。

2)采用外来电源及柴油发电机供电。枕头坝电站 10 kV 厂用电分七段,正常情况下,10 kV I - IV 段母线分段运行,分别由对应的厂用变压器 1CB - 4CB 供电,其中 10 kV V 段由外来电源 DL581 供电,10 kV VI、VII 段母线分段运行,分别由 10 kV II、V 段母线供电(如图 2 所示)。同时设置柴油发电机,成为保证大坝安全的最后屏障,运行值班人员定期巡检、定期启动,使其在需要时联络大坝 400 V 运行,操作泄洪闸门。

2.2 人员技能不足存在的风险对策

1)枕头坝电站针对新员工制定了详细的跟班学

习计划,指定师傅进行专人培训,并签订师徒协议,督促员工快速成长。同时对不同岗位运行值班人员制定不同培训计划,定期进行考试,考试结果与绩效挂钩,大大提高现场运行值班人员的技能水平。为了防止值班人员在设备倒闸操作过程中出错,要求运行人员在倒闸操作前必须按照三考虑五对照要求填写操作票,由操作人、监护人、发令人逐级审核。操作时严格执行操作票制度同时全程录音录像,起到了监护作用。

2)面对水电站运行中可能会产生的突发事故,要利用好监控系统,把可能出现的异常情况以及设备故障结合起来编制成设备故障处理手册,使报警信息与设备故障处理手册内容相对应,为了今后的运行值班人员处置突发性事故处理提供了很好的参考。另一方面就是水电厂需要定期对运行值班人员进行反事故应急演练,提高运行值班人员处置突发性事故的能力,还有很重要的一方面是,水电站要重视缺陷管理,制定缺陷管理办法,从而能保证设备的安全稳定运行。

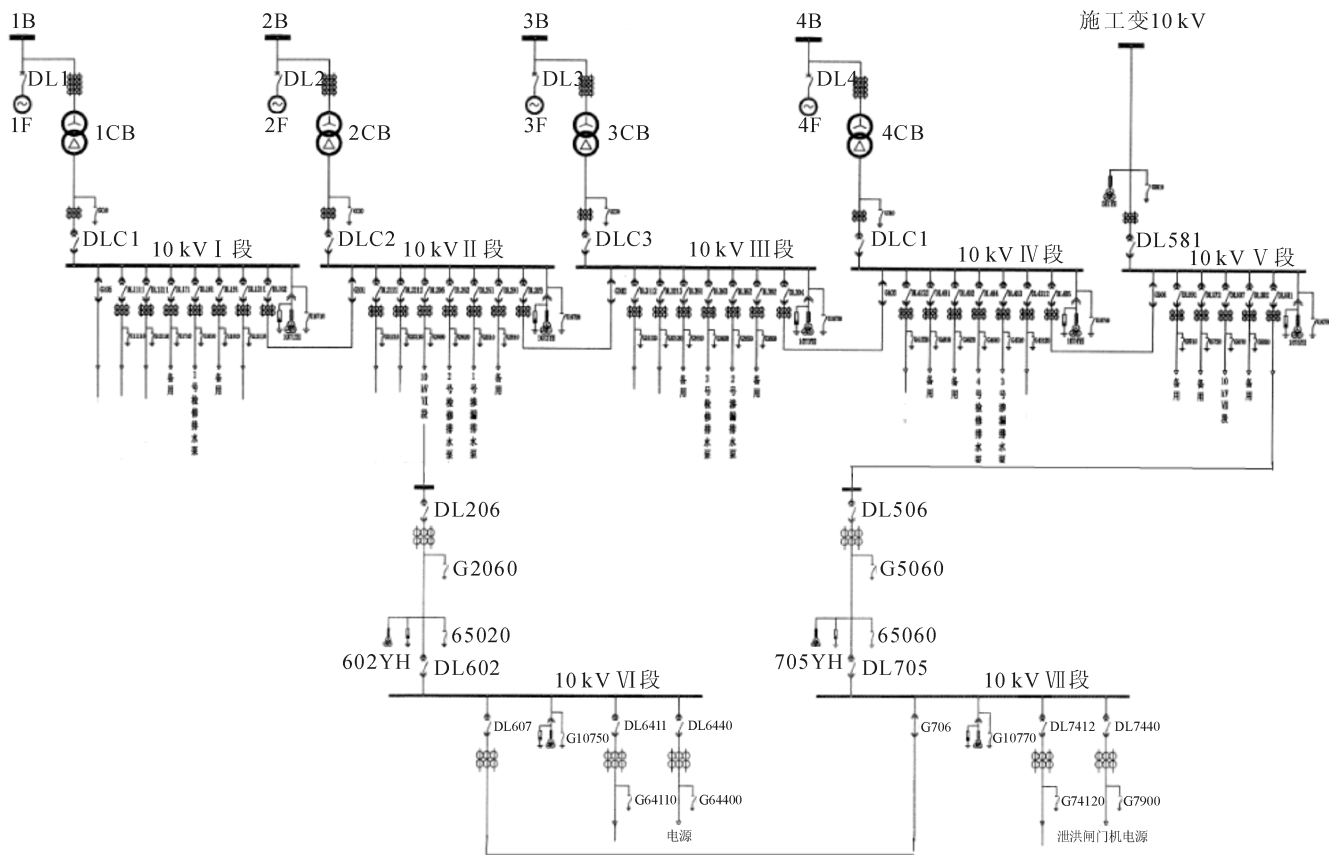


图 2 枕头坝水电站厂用电接线图

(下转第 75 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.015

两种不同基础的漂浮式风机载荷对比分析

陈明亮, 吴俊辉, 徐洋洋, 赖晶晶

(华锐风电科技(集团)股份有限公司, 北京 100872)

摘要: 根据海上风机建模和载荷计算, 对比了半潜式、张力腿式和固定式基础机组在额定风速、切出风速及极限空转情况下瞬态时序及载荷统计值; 三种不同基础的风机在机头部件的载荷差异不大; 但整体上, 半潜式要大于另外两种, 当波浪达到一定程度之后, 这种载荷差异表现更明显, 尤其是塔底载荷。对于半潜式风机, 主要是通过优化设计半潜平台、选择合理总体参数及特殊的控制策略等方法来降低其载荷。

关键词: 深远海; 风力发电机组; 海上风电; 漂浮式风机

中图分类号: TV614

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)02-0065-07

Comparative Analysis of Loads of Two Types of Floating Wind Turbines with Different Foundations

CHEN Mingliang, WU Junhui, XU Yangyang, LAI Jingjing

(Sinovel Wind Group Co., Ltd., Beijing 100872, China)

Abstract: The loads of two kinds of floating wind turbines with different foundations, the semi submersed type and the tension leg type, and the fixed foundation type wind turbine are analyzed comparatively. Transient time sequences and load statistics under the rated wind speed, cut-out wind speed and ultimate idling conditions are calculated. The results show that the loads of these three types on the turbine head are of little difference. However, the load of the semi submersed type unit is overall larger than that of the other two types. When the wave reaches a certain magnitude, the differences of the loads are more obvious, especially for the bottom load. For semi submersed type wind turbine unit, we can reduce the loads with optimization design, selection of proper overall parameters and special control strategies.

Key words: far-reaching sea; wind turbine unit; offshore wind power; floating wind turbine

与陆上风电场开发相比, 深远海具有范围更广、风能资源更丰富、风速更稳定、风速更高的优点, 且不会与海上渔场、航线等发生冲突, 对人类生产、生活的环境影响较小, 发展海上风电具有得天独厚的优势, 必将成为未来全球风电开发的重要方向。全球 80% 的海上风资源位于水深超过 60 m 的海域, 这对固定式基础风机是巨大的挑战。目前, 世界上建成的海上风电场绝大多数为近海风电场, 相对于传统的海床固定式海上风电机组, 漂浮式海上风电机组可以安装到具有强风的远洋深处, 因此风能利用大幅提升^[1]。

2009 年挪威石油公司在挪威海岸附近的北海 220 m 水深环境中试运行第一台漂浮式机组 Hywind;

2017 年第一个海上风电场 Hywindii 在英国诞生, 实现了浮式风机商业化的突破, 漂浮式风机早已走出概念设计和实验室研究的阶段, 出现了各式各样的型式, 漂浮式风电场示范项目近几年也不断涌现。随着海漂浮式技术的快速成熟, 漂浮式海上风电将很快实现大规模商业化, 表 1 为已经建设和即将要建设部分漂浮式风电场项目。

海上风电机组设计开发是一项比较复杂的工程, 尤其是漂浮式风电机组, 涉及到风浪流复杂恶劣的环境, 对技术的要求较高^[2-3]。载荷计算是海上风电机组开发首先要解决问题, 准确的载荷计算对评估结构的安全性非常重要。

收稿日期: 2019-12-22

作者简介: 陈明亮, 男, 工程师, 主要从事风电科技研究工作。

基金项目: 上海市科学技术委员会项目“深远海半潜式基础的漂浮式风机一体化仿真研究”(项目(课题)编号: 18DZ1202305)。

表1 部分已经和即将投产风电场项目表

MW

项目名称	装机容量/单机容量	基础形式	国家地区	(预计)投产时间
Hywind scotland	30/6	Spar(单柱式)	英国	2017
Windfloat Atlantic	25/8	Semi(半潜)	葡萄牙	2019
Flocan 5 Canary	25/5 ~ 8	Semi - spar(半潜单柱式)	西班牙	2020
Nautilus	5/5	Semi(半潜)	西班牙	2020
SeaTwirls2(垂直轴)	1/1	未知	瑞典	2020
Kincardine	48/8	Semi/Semi - spar	英国	2020
Forthwind Project(两叶片)	12	双体船	英国	2020
EFGL	24/6	Semi(半潜)	法国	2021
Groix - Belle - lle	24/6	Semi(半潜)	法国	2021
FLG Wind Farm	24/8	TLP	法国	2021
EolMed	25/6.2	Semi(半潜)(Ideol 阻尼池)	法国	2021
Katanes Floating Energy Part - Array	32/5 ~ 8(风能波浪能)	未知	英国	2022
Hywind Tampen	88/8	Spar(单柱式)	挪威	2022
Rennesoy - Marine Energy Test Centre	3.6/3.6	Semi - spar - tlp	挪威	2019 样机
Dounreay Tr	10/5	Semi(单基础两风机)	英国	核准

1 计算原理与方法

漂浮式风力机是复杂的气动—弹性—波浪—海流—系泊相互作用的多柔体系统,图1为漂浮式风机在复杂环境条件下的系统响应示意图。在流体自由表面上,该系统在自身浮力、重力及系泊力作用下处于平

衡状态,系统的各种扰动(风—波—流)都具有非定常、强非线性的特点^[4-5]。其力学机理相当复杂,物理上属于具有自由表面流体与柔性体的耦合问题^[6]。现在常用的漂浮式风机载荷计算软件通常用时域非线性计算方法。

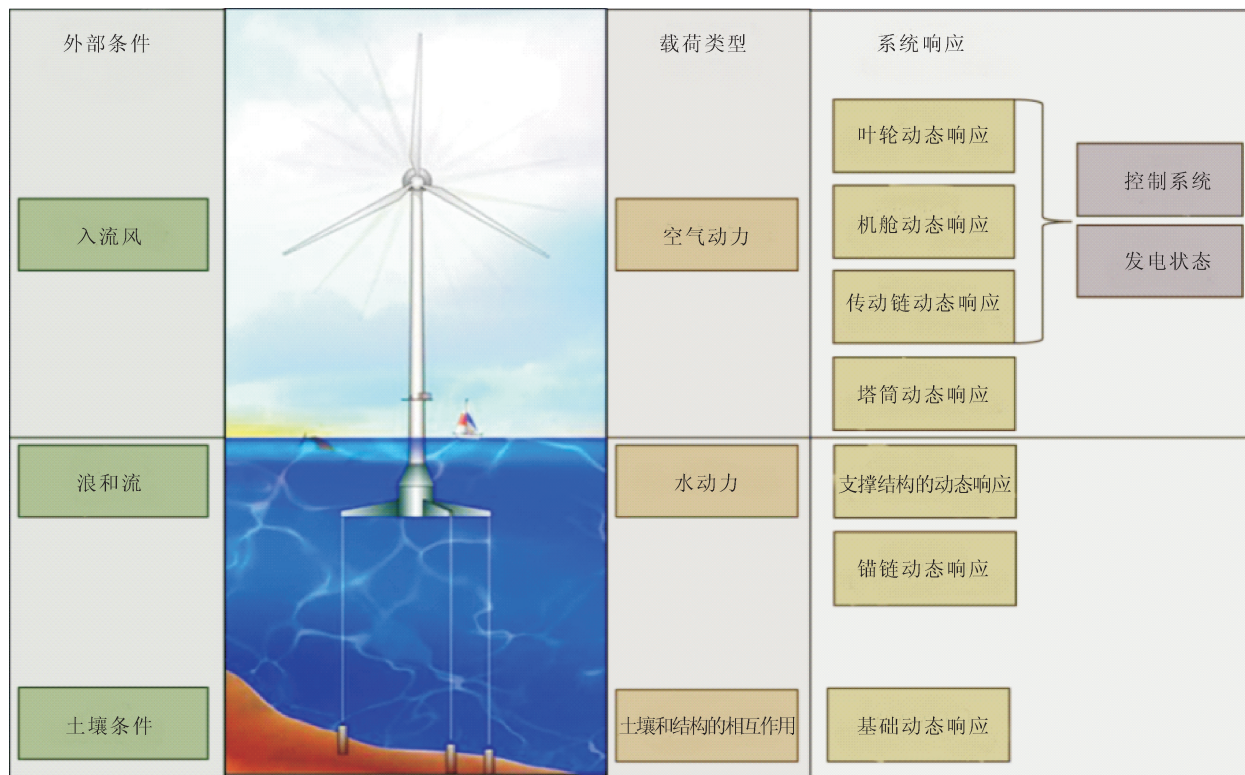


图1 风机外部环境下系统响应图

1.1 气动计算原理

常用风力发电机载荷计算软件空气动力学模型的核心是叶素和动量理论的组合。

叶素动量理论是将风轮叶片分成许多的叶素,每一个叶素扫略形成一系列圆环,如图2,并且假定每一个圆环都是独立起作用,在每一个径向位置上轴向和角动量的变化率与每一个叶片元素所产生的推力和转矩相等。

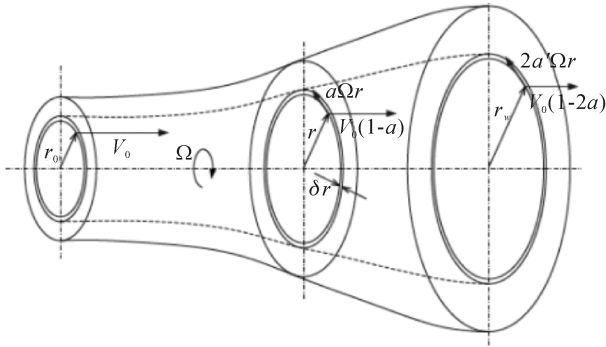


图2 叶素理论示意图

半径为 r 处长度为 dr 的叶素所产生的推力 dT 为:

$$dT = \frac{1}{2} \rho W^2 (C_L \cos \phi + C_D \sin \phi) c dr \quad (1)$$

其中 W 是叶素的视在风速(考虑诱导风速的实际作用风速)向量的模,如图3; ϕ 是入射角,是指相对于叶片旋转平面的视在风速矢量的方向; c 是叶素的弦长; C_L 和 C_D 分别是升力系数和阻力系数。

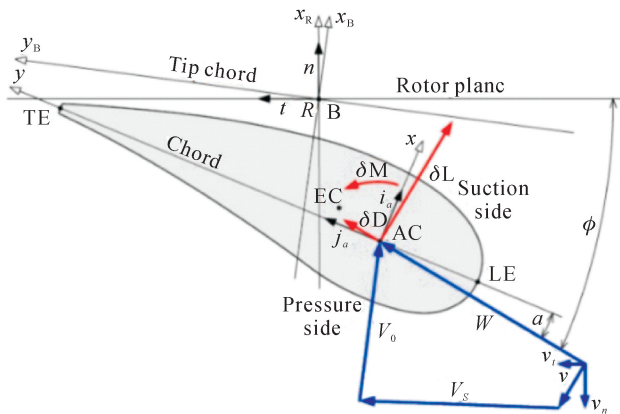


图3 风速合成示意图

半径为 r 处长度为 dr 的叶素所产生的转矩 dQ 为:

$$dQ = \frac{1}{2} \rho W^2 r (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) c dr \quad (2)$$

为了求解叶素位置处的轴向与切线气流诱导因子,叶素所产生的推力和转矩与通过叶素扫略的圆环的轴向和角度动量的变化率相等。应用起动圆盘动量

理论的轴向和角度动量表达式,得到诱导因子表述如下:

$$a = \frac{g_1}{1 + g_1} \quad (3)$$

$$a' = \frac{g_2}{1 - g_2} \quad (4)$$

其中

$$g_1 = \frac{Bc C_L \cos \phi + C_D \sin \phi}{2\pi r} H$$

$$g_2 = \frac{Bc C_L \sin \phi - C_D \cos \phi}{2\pi r} H$$

式中: B 是叶片的数量; F 是考虑到叶尖和轮毂损耗的因数。

参数 H 定义如下:

当 $a \leq 0.3539$ 时, $H = 1.0$

当 $a > 0.3539$ 时, $H = \frac{4a(1-a)}{0.6 + 0.61a + 0.79a^2}$

当轴向感应系数 a 大于 0.5 时,风轮过载并运行在“湍流尾流状态”。在此条件下起动圆盘理论不再有效,推力系数的表达式:

$$C_T = 4a(1-a)$$

必须由经验表达式取代:

$$C_T = 0.6 + 0.61a + 0.79a^2$$

叶素理论实现的是基于经验模型的 a 值大于 0.3539 而不是 0.5 的变换。这一策略导致了两种气流状态模型之间的平滑转换。

a 与 a' 所展现的等式只能通过迭代数学方式求解,当 tol 达到用户所允许的空气动力误差值时,迭代计算停止。

$$a_k - a_{k-1} \leq tol$$

$$a'_k - a'_{k-1} \leq tol$$

得到诱导因子后,就可计算叶片不同径向位置升力和阻力,然后就可以求得整个叶片气动受力情况。

实际风机叶片的受力情况要复杂的多,动态尾流、气动失速、偏航不对风,针对这些影响因素解决方法,可以参考 GH BLADED 理论手册。

1.2 波浪力计算原理

目前,流体载荷计算常用计算流体力学方法,但 these 方法对计算人员素质和计算机性能要求比较高,同时也不能满足计算效率的问题,所以,目前漂浮式风机计算软件一般应用经验公式。

浮动结构上的载荷包括来自入射波的作用,来自平台运动产生的辐射作用(包括附加质量和阻尼效应)以及粘性力。通常用两种方法来模拟这些载荷,

潜流理论和莫里森方程。这两种理论的适用性取决于结构的大小和水流状况。一般计算软件采用这两种方法之一,或两者的组合。

对于发生分离流的较小结构,通常采用莫里森方程。莫里森方程是经验导出的流体动力学模型,其包括来自波的附加质量效应和粘性力。莫里森公式通常用来计算框架结构上的粘滞摩擦力和惯性载荷。

当结构影响到波形时会产生衍射,特别是当 $D > 0.2\lambda$ 。这种情况下莫里森公式将不再适用。潜流理论模型将捕获来自波的衍射和辐射(包括附加质量和阻尼效应)的影响,但不捕获由流动分离导致的结构上的粘性阻力。对于一些像圆柱形状的简单结构,可以用 MacCamy and Fuchs 方法来解决衍射问题。

当结构尺寸大于五分之一波长时,也可使用组合理论方法,潜流理论解决方案用于对辐射和衍射负载进行建模,而 Morison 方程用于对粘滞阻力载荷建模。

1.3 结构动力计算原理

对于像风力发电机组这种大型结构系统计算方法绝大多数采用的是模态法,模态法最大优势就是它提供了一个相对少自由度风机的动力学计算方法,这对提高计算速度非常有效。对于模态法,关键工作是计算固有频率和振型。

求解机组模态,也是采用类似有限元的方法。先将结构系统离散化,然后进行结构单元特性分析,建立局部单元矩阵方程,如式(5)。

$$\begin{bmatrix} M_{rr}^c & M_{re}^c & D_r^{cT} \\ M_{re}^{cT} & M_{ee}^c & D_e^{cT} \\ D_r^c & D_e^c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v^c \\ \varepsilon^c \\ \lambda^c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{ee}^c \\ 0 \end{bmatrix} \varepsilon^c + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{ee}^c \\ 0 \end{bmatrix} \varepsilon^c = \begin{bmatrix} f_a^c + f_0^c \\ f_i^c \\ \sigma_a^c + \sigma_0^c - \sigma_i^c \\ \partial_2^c \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: v^c 是节点速度矢量; ε^c 是变形位移矢量; λ^c 是拉格朗日因子矢量; f_i^c 和 σ_i^c 分别是非线性力惯性矢量和节点应变引起的非线性应力矢量; f_a^c 是节点力矢量; σ_a^c 由应变速率引起的应力矢量; f_0^c 由节点速度引起的节点反力矢量; σ_0^c 由预应力引起的力矢量; ∂_2^c 因加速度而产生的力矢量; M_{rr}^c 、 M_{re}^c 、 M_{ee}^c 因节点速度和应变引起的结构质量矩阵; C_{ee}^c 因应变速率产生的结构阻尼矩阵; K_{ee}^c 因应变速率产生的结构刚度矩阵; D_r^c 和 D_e^c 节点速度和速率相关的约束矩阵。

式(5)是单元的局部方程,把所有单元的局部方程组合成结构系统方程如式(6)

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{re} & D_r^T \\ M_{re}^T & M_{ee} & D_e^T \\ D_r & D_e & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \varepsilon \\ \lambda \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{ee} \\ 0 \end{bmatrix} \varepsilon + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{ee} \\ 0 \end{bmatrix} \varepsilon = \begin{bmatrix} f_a + f_0 \\ f_i \\ \sigma_a + \sigma_0 - \sigma_i \\ \partial_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

在漂浮式风机计算软件中,常把漂浮式机组锚链等效为系泊刚度作为求解矩阵方程的边界条件,然后用里茨法、矩阵迭代法、子空间迭代法等求解结构的固有频率和振型^[7]。在计算得到结构的模态后,就可以用模态方法计算得到结构位移和变形,然后得到结构的载荷^[8]。

2 漂浮式风机建模及动力特性对比

为更好比较漂浮风电机组载荷特性,除了漂浮式机组外,还计算了海上固定式机组。图4为行架式海上固定式基础风机,图5为 TLP 张力腿式漂浮式基础风机,图6为悬线链半潜式基础风机。三种机组相关配置参数如表2。

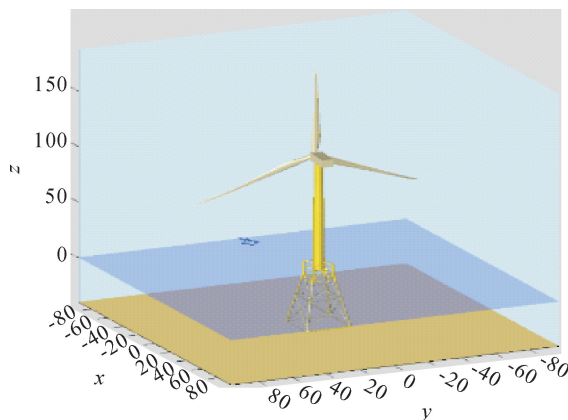


图4 固定式海上机组图

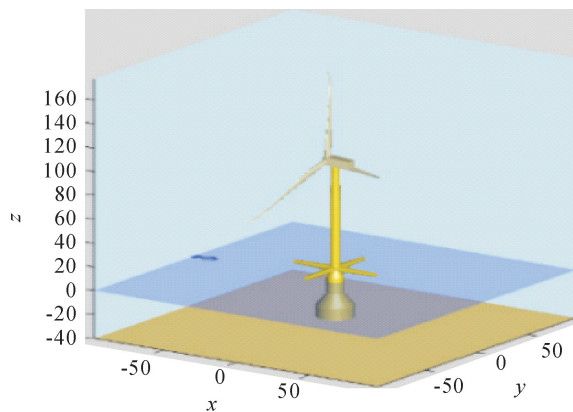


图5 张力腿机组示意图

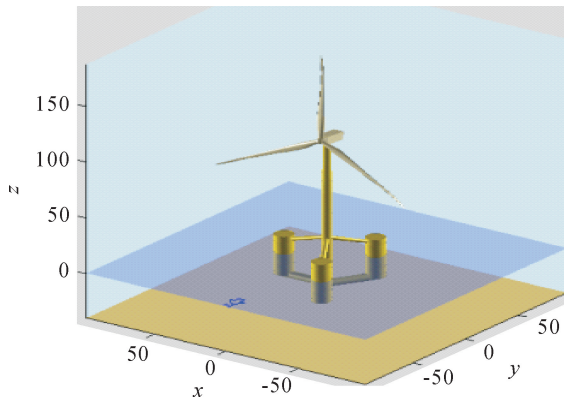


图6 半潜式机组示意图

表2 不同基础形式的平台的风机的参数表

基础型式	导管架	张力腿 TLP 型	半潜 Semi 型
轮毂高度/m	110	110	110
叶轮直径/m	155	155	155
叶片	LZ75	LZ75	LZ75
机头质量/t	420	420	420
额定转速/rpm	1 200	1 200	1200
额定功率/MW	6	6	6
风机总重量 /排水量/t	1 430	6 500	8 800
系泊系 统参数	导管架 桩基础	吃水 30 m, 4 × 1 系泊, 预张力 3 300 t, 刚度 3.2e8 N/m	吃水 20 m, 3 × 2 系泊, 系泊 缆总长 350 m, 导缆孔距海底 20 m, 单位长 度重量 320 kg

计算应用的风资源参考东海的环境和海洋参数。因风机在额定风速、切出风速和极限风速条件下机组的载荷特点最具代表性,所以选取额定风速(13 m/s)、切出风速(25 m/s)、极限风速(25 m/s)条件下的计算载荷作对比分析。具体计算风资源及海洋参数详见表3。

本文应用 Bladed4.8 软件计算以上三种基础型式风机的载荷,并进行比较。三种基础形式的风机频率特性差异较大,固定式一阶频率大于 1P,而张力腿和半潜风机的 1 阶频率要小于 1P。

表3 风机计算环境参数表

风机状态	风速	湍流	有义波高	谱峰周期	谱峰因子
状态 1	13	0.165	2	5.1	1
	25	0.136	4.7	8.5	1
	42.5	0.11	8.07	11.5	3.3
状态 2	13	0.165	-	-	-
	25	0.136	-	-	-
	42.5	0.11	-	-	-
状态 3	-	-	2	5.1	1
	-	-	4.7	8.5	1
	-	-	8.07	11.5	3.3
水深	平均水深 41 m				

通过对表4三种基础型式的风机分析可得,固定式、张力腿式、半潜式风机的叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷、塔底载荷和振动特性受波浪的影响比较小,主要是受风载荷影响。

固定式、张力腿式、半潜式风机之间对比发现,叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷相差不大,但载荷呈现出依次增大现象;固定式和张力腿式风机塔底载荷相差不大,但固定式、张力腿风机的塔底载荷与半潜式风机载荷相差较大。三种基础型式机组的振动特性差异比较大。

通过对表5三种基础型式的风机分析可得,固定式、张力腿式、半潜式风机的叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷、受波浪的影响比较小,主要是受风载荷影响;固定式风机塔底载荷和振动特性主要受风载荷影响,但张力腿式、半潜式风机的塔底载荷和振动特性同时受风载荷和浪载荷影响。

固定式、张力腿式、半潜式风机之间对比发现,叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷相差不大,但载荷呈现出依次增大现象;固定式、张力腿式和半潜式风机塔底载荷和振动特性相差较大。

通过对表6三种基础型式的风机分析可得,固定式风机的叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷、塔底载荷受波浪的影响比较小,主要是受风载荷影响;张力腿式、半潜式风机的叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷、塔底载荷同时受风浪影响。

表4 额定风速下载荷统计比较表

分项		offshore				TLP			SEMI	
风速/($m \cdot s^{-1}$)	13	-	13	13	-	13	13	-	13	
参数	波高/m	-	2	2	-	2	2	-	2	2
	变量	无浪	无风	风 & 浪	无浪	无风	风 & 浪	无浪	无风	风 & 浪
叶根 M_{xy} /kN·m	平均值	12 293.5	319.3	12 293.5	12 045.8	510.9	12 038.0	12 550.4	627.9	12 562.9
	最大值	19 696.1	354.1	19 695.8	20 404.9	1 057.0	20 450.7	21 731.3	2 260.1	21 855.5
轮毂 M_{yz} /kN·m	平均值	2 885.1	819.6	2 885.1	2 984.0	819.7	2 984.5	2 916.0	869.0	2 945.0
	最大值	8 612.3	884.2	8 609.7	8 812.1	1 268.2	8 760.4	9 178.4	2 505.9	9 212.2
塔顶 M_{yz} /kN	平均值	7 313.2	6 493.5	7 313.2	7 217.3	6 489.6	7 219.3	7 030.7	6 590.1	7 038.9
	最大值	11 512.0	6 574.1	11 510.0	11 656.0	7 714.3	11 858.4	11 790.2	9 558.6	11 890.2
塔底 M_{yz} /kN·m	平均值	53 725.3	6 863.8	53 725.3	52 284.9	9 435.1	52 273.5	92 170.9	13 152.8	92 190.4
	最大值	85 739.4	7 005.1	85 823.8	85 095.5	38 716.1	90 991.1	164 509.0	48 846.8	175 671.0
机舱前后 加速度 ($m \cdot s^{-2}$)	平均值	-7.29E-05	1.30E-06	-7.30E-05	-3.95E-04	2.09E-04	-4.05E-04	4.53E-03	-3.67E-05	4.10E-03
	最大值	0.467 3	0.013 2	0.464 7	0.817 8	0.647 2	0.847 9	0.949 0	0.787 2	1.107 6
	标准偏差	0.124 7	0.003 2	0.124 8	0.191 4	0.187 8	0.232 2	0.277 8	0.228 1	0.351 1

表5 切出风速下载荷统计比较表

分项		offshore				TLP			SEMI	
风速/($m \cdot s^{-1}$)	25	-	25	25	-	25	25	-	25	
参数	波高/m	-	4.7	4.7	-	4.7	4.7	-	4.7	4.7
	变量	无浪	无风	风 & 浪	无浪	无风	风 & 浪	无浪	无风	风 & 浪
叶根 M_{xy} /kN·m	平均值	7 183.6	318.6	7 183.5	7 166.7	681.2	7 202.4	7 418.9	607.2	7 325.0
	最大值	16 745.2	343.2	16 745.9	16 334.0	1 644.6	16 378.1	16 661.9	2 305.5	17 304.9
轮毂 M_{yz} /kN·m	平均值	3 932.6	819.5	3 932.6	4 063.8	819.5	4 065.1	4 190.2	926.0	4 251.5
	最大值	12 664.2	861.9	12 671.2	12 717.7	1 370.4	12 952.6	12 742.3	2 705.8	12 862.3
塔顶 M_{yz} /kN	平均值	7 309.0	6 493.4	7 309.0	7 182.0	6 489.1	7 224.0	7 196.7	6 587.6	7 167.1
	最大值	13 407.6	6 545.0	13 405.2	13 309.4	8 745.4	13 504.4	15 314.3	10 328.4	16 072.2
塔底 M_{yz} /kN·m	平均值	34 588.1	6 863.8	34 587.5	35 092.0	16 482.4	38 304.4	67 824.9	17 503.0	65 777.1
	最大值	66 333.5	7 170.4	66 353.9	83 031.9	80 721.9	124 608.0	102 306.0	63 524.4	146 756.0
机舱前后 加速度 ($m \cdot s^{-2}$)	平均值	7.19E-06	1.02E-06	6.40E-06	6.28E-05	1.14E-04	-2.81E-04	-2.20E-03	1.47E-04	1.11E-03
	最大值	0.865 3	0.007 7	0.864 5	1.019 6	1.459 6	1.700 3	1.319 9	1.032 3	1.632 7
	标准偏差	0.225 6	0.001 8	0.225 5	0.301 4	0.388 4	0.488 7	0.387 0	0.338 2	0.463 1

表6 极限空转下载荷统计比较表

分项		offshore			TLP			SEMI		
风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$		42.5	-	42.5	42.5	-	42.5	42.5	-	42.5
参数	波高/m	-8.07	8.07	-	8.07	8.07	-	8.07	8.07	
	变量	无浪	无风	风 & 浪	无浪	无风	风 & 浪	无浪	无风	风 & 浪
叶根 M_{xy} /kN·m	平均值	2 343.8	319.3	2 343.8	2 422.0	1 217.0	2 595.9	2 547.9	2 825.9	2 550.0
	最大值	8 545.2	346.5	8 561.2	8 892.9	3 302.0	10 630.1	8 577.4	6 772.4	10 012.9
轮毂 M_{yz} /kN·m	平均值	908.5	819.6	908.7	1 143.8	837.5	1 171.8	1 106.5	948.5	1 250.3
	最大值	3 243.1	851.1	3 242.0	3 735.4	1 838.3	3 763.1	3 737.2	2 903.9	4 263.2
塔顶 M_{yz} /kN	平均值	5 017.5	6 493.4	5 017.5	4 943.8	6 514.8	4 991.6	4 976.9	6 601.6	4 908.3
	最大值	8 330.9	6 570.9	8 323.7	8 315.5	11 254.1	10 439.6	8 836.5	13 507.5	12 696.7
塔底 M_{yz} /kN·m	平均值	24 131.6	6 864.5	24 129.0	22 623.8	39 416.7	45 883.8	44 663.9	41 635.8	58 948.9
	最大值	64 919.6	8 157.3	64 946.7	60 556.2	158 488.0	166 830.0	96 413.3	173 488.0	224 170.0
机舱前后 加速度 / $(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	平均值	-1.22E-04	2.18E-06	-1.19E-04	-4.28E-04	-3.21E-03	2.59E-03	-6.73E-04	2.62E-03	1.13E-03
	最大值	0.487 9	0.027 0	0.499 5	0.473 3	2.772 6	2.754 1	0.602 7	3.037 8	3.269 9
	标准偏差	0.170 8	0.004 6	0.170 9	0.137 8	0.814 5	0.817 5	0.194 1	0.848 5	0.835 1

固定式、张力腿式、半潜式风机之间对比发现,张力腿式、半潜式风机的叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷、塔底载荷表现出差异,但塔底的载荷差异要比其它部件的载荷的差异明显。

3 分析与总结

根据以上对张力腿、半潜式基础风机和固定式基础风机之间的对比分析,可知:

1)在发电情况下,风机塔顶以上部件的载荷主要受风载荷的影响,波浪载荷对上部件载荷影响较小;当波浪较小时,塔底和基础平台部分的载荷主要受风载荷影响,当波浪较大时,塔底和基础平台部分的载荷同时受风和波浪影响。

2)发电情况下,固定式、张力腿式、半潜式风机之间对比发现,叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷相差不大,但载荷呈现出依次增大现象。

3)发电情况下,波浪较小时,固定式和张力腿式风机塔底载荷相差不大,但与半潜式风机载荷相差较大;波浪较大时,固定式、张力腿式、半潜式风机塔底载

荷差异明显。所以,张力腿和半潜基础风机对波浪的敏感性有一个从小到大的过程;张力腿和半潜基础风机对波浪敏感性差别较大。

4)风机在极限状态下,固定式、张力腿式、半潜式风机之间对比发现,张力腿式、半潜式风机的叶根载荷、轮毂载荷、塔顶载荷、塔底载荷表现出差异,但塔底的载荷差异要比其它部件的载荷差异明显许多。

从整体分析,张力腿基础风机载荷要大于固定式基础风机载荷,半潜基础风机载荷要大于张力腿载荷。其原因在于:半潜平台随风浪位移和摆动比较大,加之机头较重,其动力学响应要比张力腿和固定式基础平台风机剧烈,所以半潜风机载荷整体上要大于张力腿和固定基础平台风机的载荷;当波浪达到一定程度之后,这种载荷差异表现更明显,尤其是塔底载荷。

因此对于半潜式风机,主要是通过控制风机的摆动降低风机的载荷,也可通过风机整体参数、基础平台结构、锚链系统和控制系统等达到理想的效果^[9]。

(下转第78页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.016

大型水电工程施工监理规划补充“三定”方案探讨

徐志晶

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 如果大型水电工程监理服务时段、内容变化,或重大施工组织设计调整与优化时,均需修订、补充监理规划。根据工程具体情况,达不到监理规划全面修编时,可以通过补充监理定员、定岗、定责的“三定”方案对监理规划进行补充。“三定”方案应侧重于对工程项目管理目标,控制风险源与风险防范对策,监理机构组织、服务等工作体系等专门明确,保证针对性、可操作性、简捷,使工程的进度、质量、费用、安全和环保水保等五项总目标顺利完成。

关键词: 水电工程;施工监理;监理规划;“三定”方案;探讨

中图分类号: TU712.2 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)02-0072-04

Supplemental Personnel, Post and Responsibility Fixing Scheme for Supervision Planning in Large-scale Hydropower Projects

XU Zhijing

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

Abstract: In case of change of the supervision service period and content, or major adjustment and optimization of the construction organization of large-scale hydropower projects, the supervision plan should be revised or supplemented. If a comprehensive revision of the supervision plan is not required according to the specific situation of the project, it can be supplemented with a supplemental personnel, post and responsibility fixing scheme. Specifically, the scheme should clarify the project management targets, risk source control and risk prevention measures, supervision organization and service work system. It should be also target-focused, operable and simple. Thus, the five major targets, including the project schedule, quality, cost, safety and environment and water resources protection, can be achieved successfully.

Key words: hydropower project; construction supervision; supervision plan; personnel, post and responsibility fixing scheme; discussion

1 监理规划修订与补充“三定”方案编制异同点

监理服务时段延长、服务内容变化,或重大施工组织设计调整与优化、或一些标准变化,这时原规划的目标、标准、要求会有不同或不适应,可能出现机构、工作体系也不同,对策就会相应不同,需要修订、补充监理规划。

监理规划修订时,仍然应基于工程监理企业自身的经历、资质、技能、质量方针、服务水平、专业和人才

资源等优势,对工程项目管理目标控制风险源、风险防范对策、监理机构组织、服务等工作体系等进行设计、规划。修编的监理规划,可以是监理规划的补充内容,与原规划一并指导工程施工的后续监理工作,也可以替代原监理规划成为履行其剩余监理合同义务的总体规划和指导性文件、工作总蓝图。

根据工程具体情况,达不到监理规划全部修编,但必须增加监理工作依据、专门方案时,可以通过补充监理定员、定岗、定责方案、简称“三定”方案的方式对监理规划进行补充,此“三定”方案应侧重于对工程项目

收稿日期: 2019-09-28

作者简介: 徐志晶,女,工程师,主要从事水电水利工程施工及监理工作。

管理目标,控制风险源、风险防范对策,监理机构组织、服务工作体系等专门明确,保证针对性、可操作性、简洁。是监理“三定”方案是原监理规划的补充内容。

“三定”方案的编制应涵盖合同约定的目标,应完成监理工作任务,监理机构组织,监理机构部门职责及人员的岗位职责,监理投入的设备设施等。

2 监理“三定”方案工作目标

工程承建合同目标是工程费用最低,进度最快,质量最好,也是工程监理的总目标,监理的总目标分为五个目标,即:工程的进度目标、工程的质量目标、工程的费用目标和工程的安全目标、工程的环保及水保控制目标。监理“三定”方案的工作目标一般应监理规划一致,也可以根据阶段任务不同,增加应达成的目标要求。

1)进度控制目标。合理排定总体施工进度计划,在不发生重大设计变更、未遇不可预见的地质条件或不可抗拒的自然力的前提下,协调与业主单位、设计单位、承建单位等共同努力,确保监理项目合同工期目标。

2)质量目标。依据工程建设合同文件、设计文件、技术标准,对施工的全过程进行监督管理。工程施工质量符合设计和规范要求,合格率达100%,并监督承建单位努力实现其在投标时提出的质量目标,促进业主提出的工程质量目标的实现,并顺利通过创优验收。

3)费用管理目标。通过过程监督管理,在合同边界条件不发生改变的情况下,力争把工程造价控制在合同价范围内。做好合同节点目标的措施费用审核,确保措施得当,费用合理。与参建各方一道,做好工程建设过程中的优化工作,最大限度节约工程投资。

4)安全文明施工目标。根据工程承建合同的规定和业主单位的授权,做好工程施工安全生产、文明施工的监督检查工作,努力实现以下目标:①防止和避免发生监理人员及施工人员发生人身伤亡事故。②防止和避免重要工程发生直接经济损失达10万元以上的机械设备、交通和火灾事故;特殊工程按照行业规定,中华人民共和国安全生产条件的规定制定。③防止和避免监理工程发生重大环境污染事故、人员中毒事故和重大垮塌事故。④防止和避免监理工程发生施工安全责任事故。⑤督促承建单位按照安全生产标准化规

范施工,做好安全标准化监督管理。

5)环保及水保控制目标。满足施工合同规定及国家标准规定。

3 监理组织机构分级及部门职责管理

3.1 组织机构分级

按照监理单位总部的授权,监理机构可实行分级管理,常规设置三级隶属关系层:监理机构总监办(监理工作管理层)→监理工作生产与职能部门→监理工作分设的项目组/专业组,根据不同的岗位配置相关人员履行职能。

组织机构设置可按照直线制与职能制,或专业配合项目的矩阵式组织机构,根据需要设置保证现场工作开展或专业控制,职能控制的需要。

3.2 监理机构部门职责范围

以某大型水电工程施工监理为例,组织机构部门职责范围明确于表1。

4 “三定”方案的执行

1)人员工作管理。根据工程建设目标,也根据监理合同与工程承建合同约定的施工强度要求,确定人员投入数量。确保每个工作面正常开展巡视、旁站监理工作,同时按照工作程序规范化、信息处理标准化、现场管理精细化的要求,严格实行24小时值班制度,确保现场各施工环节总体处理受控状态。

2)培训、交底、考核。完善监理业务手册,监理工程师工作手册,组织全体监理人员开展多次理解、交流活动。针对监理工程特殊项目、特殊部位施工等,编制专门的监理工作规程,组织监理人员进行必要的技术交底;同期开展过程指导活动,进一步提升监理人员业务素质 and 现场管控能力,切实发挥为工程施工安全、质量、进度提供有力保障的监理作用。

3)以三化管理促进“三定”方案的可执行性。在监理机构内部开展监理行为规范化、监理工作方式标准化,监理过程精细化管理活动(简称三化管理),可以明确“三定”方案,能够有针对性督促人员履行职责。

配套合格的监理设施、检测仪器、仪表,确保监理“三定”方案的可执行性。

表1 组织机构部门职责范围表

部门	职务名称	主要职责范围
总监办公室	总监理工程师	负责建设监理服务合同规定的全部工作的组织、指导、督促、检查和决策
总监办公室	副总监理工程师	协助总监负责建设监理服务合同规定的各自分工或专业范围内工作的组织、指导、督促、检查和决策
总监办公室	总工程师	协助总监理工程师负责进行建设监理服务合同规定的与技术工作相关的工作的管理、组织、指导、督促、检查和决策。副总工程师同责完成他工份内事务
总监办公室	咨询专家	协助监理机构领导工作,承担技术咨询工作。为建设监理服务提供技术支持,进行重大技术方案的审查咨询
综合办公室		负责监理组织机构内部行政、人事、劳资、食宿、财务、车辆调度等管理,包括采购、财务、交通、外联、接待等后勤保障
工程技术管理部		负责设计文件、设计图纸审核工作;施工组织设计、施工方案的审批工作;组织或参加设计技术交底工作;工程进度管理策划、计划制定、审核、实施监督、调整等相关工作;监理机构内部技术交底、培训等工作
质量信息管理部	根据质量管理、测量、试验、监测专业设置专业组,针对信息、档案管理设组	负责工程质量管理体系总体策划及运行管理工作;承建单位的质量管理体系的监督管理工作;监理机构质量管理体系建立、健全工作;工程试验监理相关工作;工程测量、监测监理工作;组织工程质量月检、季度、半年及年度等各类质量巡检,并组织检查巡检整改完成情况;工程信息资料收集、整理、档案管理工作;监理机构内部质量交底、培训等工作。QC小组等与技术活动管理。负责与业主工程建设部、质量办公室及设代等单位部位的工作接洽
安全环保管理部		负责施工环境保护及水土保持管理;负责安全、文明施工的监督管理与归口管理工作。负责与业主安全环保部保持良好合作 负责承建单位部分安全投入工程量审核,合理性初步审查 负责监理机构内部安全事务日常管理
合同管理部	根据工程阶段、监理项目分组,对甲供材料核销设组	负责建设监理服务合同规定的合同管理、费用管理,并负责组织相关人员协助业主进行采购方面的管理;工程进度计划管理和材料计划及物资核销管理,负责与业主合同部的工作接洽
拦河坝工程管理部	根据监理项目情况设项目组	负责依据工程承建合同文件、设计文件、技术规范对工程施工质量、进度进行管理,并负责工程计量,对承建单位现场施工活动进行监督管理,按照“一岗双责”的要求进行现场安全、文明施工的监督与管理,负责现场施工协调,负责与业主工程建设部的工作往来联系
引水发电工程管理部	根据监理项目情况设项目组	负责依据工程承建合同文件、设计文件、技术规范对工程施工质量、进度进行管理,并负责工程计量,对承建单位现场施工活动进行监督管理,按照“一岗双责”的要求进行现场安全、文明施工的监督与管理,负责现场施工协调,负责与业主工程建设部的工作往来联系
辅助工程管理部	根据监理项目情况设项目组	负责依据工程承建合同文件、设计文件、技术规范对辅助工程施工质量、进度进行管理,并负责工程计量,对承建单位现场施工活动进行监督管理,按照“一岗双责”的要求进行现场安全、文明施工的监督与管理,负责现场施工协调,负责与业主工程建设部保持良好合作
机电安装工程管理部	根据工程阶段设置综合管理组	负责分管项目施工安全、质量检查与验收、生产进度与协调、现场计量、环保、水保工程实施的监督管理与控制工作,并督促承建单位对存在的问题按期整改到位。按照“一岗双责”的要求进行现场安全、文明施工的监督与管理,负责现场施工协调,负责与业主机电物资部保持良好合作

4) 监理绩效考核。根据监理机构工作目标管理制度,定期对监理机构各部门进行工作目标考核,通过检查考核,体现监理机构整体监理业务建设促进作用、监理机构精神文明建设水平提升。

根据内部责任追究和奖罚等方面的规定,对现场监理人员素质、能力与其职位、岗位的匹配情况进行考察。通过对员工的工作行为过程考评,促进监理机构全体员工的行为规范、统一、标准的方面较大进步。

5 “三定”方案推进建设方式探讨

1) “三定”方案可以于监理规划中体现。根据合同约定、业主的管理制度要求,监理机构于进场初期完善监理规划、细则的同时即完善“三定”方案,此时“三定”的内容应是全方位的、站位较高的,表现的是监理单位通过为业主服务、向业主负责,实现为工程建设服务和向国家负责的目的。

2) 监理业务手册可以涵盖监理“三定”方案内容,监理单位对监理机构考核时列入相关内容。

3) 随着工程施工进展及增加的监理工作内容,需

=====

(上接第 64 页)

2.3 管理缺失存在的风险对策

1) 枕头坝公司设置公司安全生产三级网,对现场出现的安全隐患及时发布,快速处理,同时在设备重大操作时,分管领导现场监督检查。

2) 实行人身风险预控分析制度,在运行值班人员工作前,针对此项工作存在的风险进行逐一分析,很好地避免了在工作过程中因为安全措施、技术措施不到位而引发的人生伤亡事故。

3 结 语

水电站生产工作中,安全始终是放在第一位的,尤其是人身安全,我们的发展不能以牺牲人民生命为代价,同时我们要最大限度的确保电力生产的安全运行,要对安全生产的各项制度与规程还应根据设备的改造和设备的更换不断地进行修订与完善,使之与生产现

要修改、增加必要的监理工作内容,对于职责不明确的部门、人员等要及时补充完善时,都可以按照补充“三定”方案方式予以落实。

4) 随着工程建设进展,业主单位要求开展某一专项工作内容,或根据需提高监理工作质量等行动时,可以采取监理“三定”方案的方式,明确目标,简明扼要内容,方便查阅、使用。

5) 建议监理规范,工程建设监理合同文本考虑列出监理“三定”方案的内容条文。

6 结 语

“三定”方案需要经过业主单位审批,审批的“三定”方案是监理单位申报计算费用、业主单位审查监理费用的依据之一。

参考文献:

[1] 陈玉奇. 锦屏水电工程超复杂地下洞室群施工监理[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2016

[2] 杨浦生, 许春云. 水利水电建设监理工程师手册[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1998

场实际情况保持高度一致,确保各项生产安全工作顺利进行,运行值班工作讲究系统观、讲究思维方式,尤其在各类事故处理切记捡了芝麻丢了西瓜,在安全责任重于泰山的指导方针下,对运行人员的技能水平提出了更高的要求,只有平时做好风险分析和风险预控,那么在事故真正发生的时候才会从容应对。

参考文献:

[1] 孙玉萍. 浅谈变电站倒闸操作存在的风险及其控制措施[J]. 建筑知识:学术刊, 2013(12): 469-470

[2] 阮登琴. 水电厂运行值班工作的风险与预控探讨[J]. 通讯世界, 2014(14): 105-106

[3] 刘刚, 杨迪. 水电厂运行值班风险分析及其预防措施[J]. 黑龙江科技信息, 2015(31): 21-21

[4] 刘进丹. 浅谈水电站运行值班[J]. 水电站机电技术, 2017, 40(2): 60-62

[5] 袁宏. 浅析水电站值班的运行管理[J]. 水电厂自动化, 2015, 36(1): 14-16

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.02.017

简述智能液体配重在胶带机中的应用

杨志明, 邓兵, 谢选承

(水电九局西藏建设工程有限公司, 西藏拉萨 850000)

摘要: 负荷较大的输送胶带机主要通过配重块控制胶带张紧力。传统配重难以根据负荷变化动态调整胶带张紧力, 容易造成打滑、输送带断裂等现象, 从而增加了胶带机运行、维护成本。通过研究智能液体配重控制胶带机张紧力, 使胶带机在启动、运行及停车时输送带具有足够的张紧力和正常运行, 是胶带机配重改革的发展趋势和方向。

关键词: 智能液体配重; 带式输送机; 拉紧装置; 足够的张紧力

中图分类号: TH222 文献标志码: B 文章编号: 1671-3354(2020)02-0076-03

Application of Intelligent Liquid Counterweight in Belt Conveyor

YANG Zhiming, DENG Bing, XIE Xuancheng

(Xizang Construction Engineering Co., Ltd., Sinohydro Bureau 9 Co., Ltd., Lhasa 850000, China)

Abstract: The belt conveyor with heavy load mainly controls the belt tension through counterweight. While it is difficult for the traditional counterweight to dynamically adjust the belt tension according to the load variation, which may cause belt slip or fracture, thus increasing the operation and maintenance costs. An intelligent liquid counterweight is developed to control and maintain enough tension whenever the conveyor starts, stops or operates. It can reduce the safety risk, save the operation and maintenance cost, and has great application potential.

Key words: intelligent liquid counterweight; belt conveyor; tension device; enough tension

胶带机由改向滚筒, 驱动装置, 张紧装置、托辊、钢结构及输送带等设备组成, 其中张紧装置使输送带有足够的张力, 保证输送带有足够的摩擦力, 在运行过程中使输送带不打滑, 而配重是张紧装置中的重要部件, 张紧装置的张紧力主要有由配重提供。

拉紧装置是胶带机安全运行的关键环节, 张紧力过小胶带机运行容易打滑, 出现输送带回转现象; 张紧力过大输送带容易产生断裂出现安全事故。而配重量是控制张紧力大小的重要参数。传统的胶带机张紧装置的配重主要有金属块配重、混凝土块配重、石块配重或者泥沙配重等, 而这些传统的配重在胶带机运行维护过程中具有诸多不便。在安装、拆除时将会加大人力、物力及设备的投入, 而且在安装、拆除过程中现场人员的安全无法得到保障; 传统配重张紧力始终不变, 而输送带长时间处在大的张紧力作用下, 皮带接头

处很容易断裂使皮带寿命减小等。

目前输送机常用的张紧装置主要分为固定张紧装置、重锤张紧装置、液压张紧装置3种。存在的优缺点如下:

固定张紧装置分为螺旋张紧装置和固定绞车张紧装置, 固定张紧装置结构简单紧凑, 操作维护方便, 一般用于小型带式输送机^[1]。

重锤张紧装置又分为重载车式张紧装置和重锤式张紧装置, 重锤式张紧装置具有动态响应快, 结构简单, 安全可靠, 应用较为广泛^[1]。

液压张紧装置分为普通液压张紧装置和阶段式张紧装置, 液压张紧装置对工作环境要求高, 液压系统内部不能进入粉尘等, 很难运用于矿业工程^[1]。

随着科技的进步及社会的发展, 为了提高生产效率, 胶带机朝着大跨距、高速化发展, 胶带机需要的张

收稿日期: 2019-09-28

作者简介: 杨志明, 男, 助理工程师, 长期从事水利水电技术管理方面的工作。

紧力也越来越大^[1]。

本文拟研发一种智能可调节液体配重,液体采用一般用水,该设备安装简单、适用于各种复杂作业环境。

1 智能液体配重工艺

1.1 智能液体配重的组成

智能可调节型液体配重由控制柜、显示器、称重传感器、PLC控制系统、电磁液体两用截止阀、配重液体容器和管道等组成。其中称重传感器是控制系统的关键部分,它的性能很大程度上决定了控制系统的精度和稳定性^[2]。

1.2 智能液体配重工作原理

智能可调节型液体配重属于重锤式张紧装置,利用称重传感器和PLC系统控制电磁液体两用截止阀来控制液体的流量,从而达到控制配重的重量,实现远距离控制配重重量。

智能可调节型液体配重的可调节性体现在液体具有流动性,将液体装入钢结构容器中,形成配重块,然后通过水用电磁截止阀控制液体的进液量及出液量,

从而控制配重箱的重量,进而控制输送带的张紧力。

智能性体现在水用电磁截止阀可以通过电阻式应变称重传感器和PLC控制系统来控制,通过设定张紧力值的范围,利用电阻式应变称重传感器进行反馈,自动对进水及出水量进行控制,从而达到控制胶带机张紧力的作用。

1.3 智能液体配重制作

为保证智能液体配重箱体具备一定的稳定性及可靠性,配重制作采用钢结构形式,钢结构容器的制作材料均为工程常用普通钢材,利用角钢或方管作为箱体内部骨架,钢板或不锈钢板作为箱体外表面材料,箱体顶部及底部安装水用电磁阀,为防止配重箱体在运行过程中锈蚀,制作完成后在配重箱体内侧及表面涂刷防锈底漆与面漆,充分考虑冬季水容易结冰,配重箱体和阀门使用保温材料进行保温处理。为防止胶带机在粉尘较大环境中运行中,如果无盖板会有一定量的杂质进入箱体,从而在底部沉积,堵塞阀门,所以智能液体配重箱体顶部需加装密封式盖板,箱体两侧使用钢管作为套管,在进行配重重量控制时方便配重体在有效行程内的上升与下降,智能液体配重简图如图1。

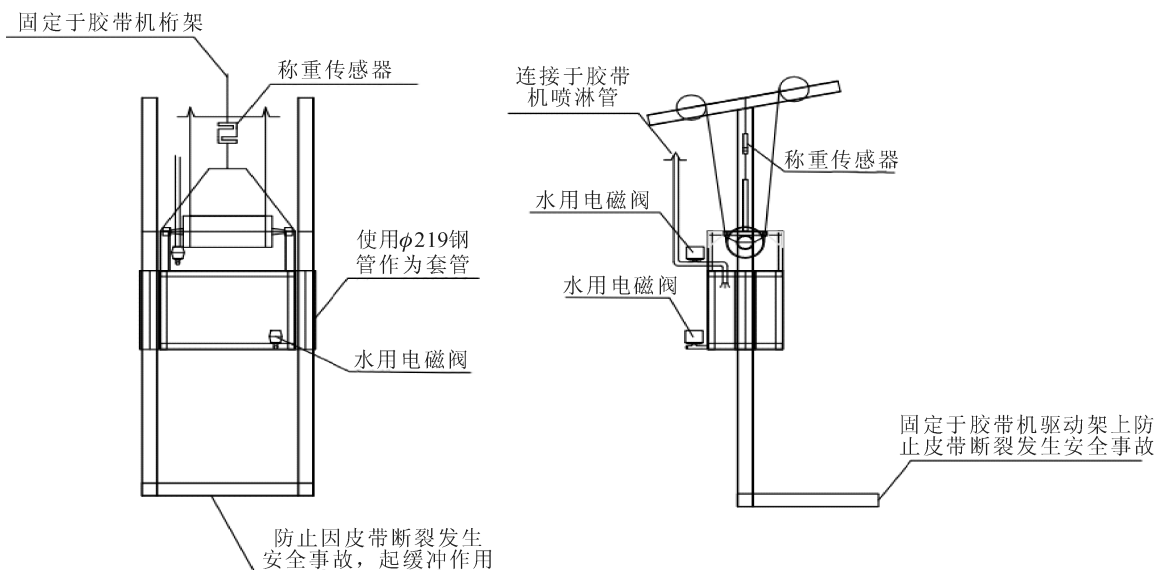


图1 智能液体配重简图

1.4 拉紧力计算

一般系统建安完成后,都需要经过单机调试、联动调试、满负荷调试及试运行等过程,而在单机调试及联动调试时均为空负荷运转,胶带机空负荷运转时需要保证皮带与托辊之间不打滑,又要降低调试过程中对

电机产生的负荷,在满负荷及试运行过程中均为带负荷运转,此时就需要胶带机有足够的张力,使得承载托辊间的垂直度最小。

胶带机的张紧力在整个长度上是变化的,影响的因素较多,为保证胶带机的正常运行,胶带机的张力必

须满足两个条件:

1) 输送带的张力在任何负载情况下,作用到全部滚筒上的圆周力是通过摩擦传递到输送带上,而输送带与滚筒间应保证不打滑;

2) 作用到输送带上的张力足够大,使输送带在两组承载托辊间保持垂度小于一定值;

在工程实际建安过程中,通过计算出胶带机负荷运转时所需的张紧力,参考 DT II 型固定式输送机设计选用手册及液体的密度,计算出液体配重的体积,然后绘制出设计图纸,进行现场制作,具体如下:

圆周驱动力 F_U 通过摩擦传递到输送带上,为保证输送带工作时不打滑,需在回程带上保持最小张力

$$F_{2min} \geq F_{umax} \frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1}$$

其中: F_{umax} 为满载输送机启动或制动时出现的最大圆周驱动力; μ 为传动滚筒与输送带间的摩擦系数; φ 为传动滚筒的围包角,一般取 2.8 ~ 4.2 弧度; $e^{\mu\varphi}$ 为尤拉系数^[3]。

由于,重锤式拉紧装置是利用重锤的重力产生拉紧力,因此算出所需的张紧力后就得到达到配重的质量,然后根据液体的密度算出容器的体积,再根据 DT II 型固定式输送机设计选用手册,算出配重箱的尺寸大小,进行绘图及现场制作。

1.5 智能液体配重控制流程

将称重传感器与模拟量模块输出的是毫伏级电压信号,需要将微信号通过滤波放大器放大,再通过 A/D 转换器进行数字信号的处理,最终通过 PLC 系统处理,重新反馈到称重传感器,以此来实现控制电磁阀的开合,从而控制进水量与出水量,从而控制胶带机配重

(上接第 71 页)

参考文献:

[1] 李子林, 施岐璘. 浅谈深远海域风电发展前景[J]. 太阳能, 2018(6): 31 - 34

[2] 牛小东, 谢晓斌. 基于多场耦合的深海型风电机组动力学建模[J]. 电气传动自动化, 2016, 38(4): 18 - 21

[3] 胡威. 海上漂浮式风电机组结构载荷与运动特性建模与分析[D]. 长沙: 湖南科技大学, 2017

[4] Lee K H. Response of floating wind turbines to wind and wave excitation [D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2005

的整体重量,使得胶带机张紧力一直处于设定的合理范围内,其中控制核心为 PLC 系统,具体的张紧力的合理范围则需要通过对 PLC 编程来设定,具体控制过程流程如图 2。

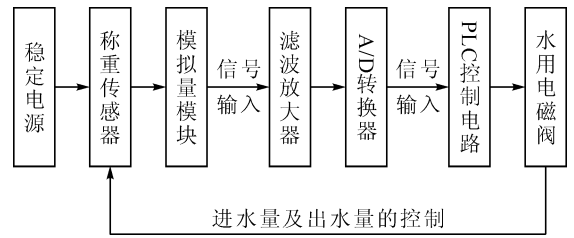


图 2 流程框图

2 结 语

智能液体配重可对胶带机张紧力进行动态控制和自动调节,使得胶带机启、停具有足够的张紧力,使得设备运行具有一定的保障,而且使用的液体为一般用水,不会对周围环境造成污染,使用条件没有太大局限性。在使用过程中可以很好地解放出劳动力,减少安全事故的发生,节约运行成本及维护成本,在以后的工程中具有很大的应用潜力。

而随着社会的发展与科技的进步,我们应该利用现有的科技,将传统的工艺进行改进和升华,使得工艺更加趋于科学化、合理化。

参考文献:

[1] 闫利非, 闫利拉. 胶带机拉紧装置的发展现状及趋势[J]. 建材技术与应用, 2006(1): 15 - 17

[2] 李转芳, 康存锋. 一种工业生产用自动称重控制系统[J]. 航空精密制造技术, 2011, 47(3): 60 - 62

[3] 机械工业部北京起重运输机械研究所. DTII 型固定式带式输送机设计选用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994

[5] Tran T T, Kim D H. Fully coupled aero - hydrodynamic analysis of a semi - submersible FOWT using a dynamic fluid body interaction approach[J]. Renewable Energy, 2016, 92: 244 - 261

[6] 张友文. 浮式风机极限载荷与疲劳载荷对比分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2015

[7] 唐友刚, 沈国光, 刘利琴. 海洋工程结构动力学[M]. 天津: 天津大学出版社, 2008

[8] Burton T, Jenkins N, Sharpe D. 风能技术[M]. 武鑫译. 2 版. 北京: 科学出版社, 2012

[9] 谢洪放. 漂浮式海上风力发电机组载荷控制研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017

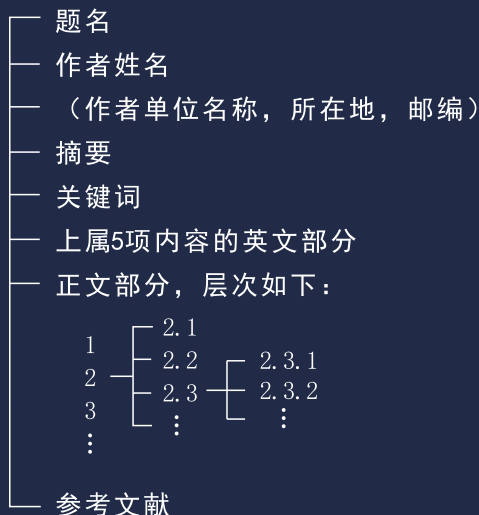
《水电与新能源》投稿须知

1、《湖北水力发电》由湖北省水力发电工程学会与中国长江三峡传媒有限公司主办，中国科学院院士夏军任主编，由五位国内外院士担任本刊顾问。编辑部由多位教授组成，编辑部设在武汉大学，本刊自2019年第11期以崭新面貌面世。

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

3、稿件须论点鲜明、论据可靠、数据准确、文字精练，符合国家保密规定，赋有创新性，内容务必实事求是。

4、文章格式规范如下：



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

6、文章控制在6 000字（含图表）以内。前言中不宜有图、表及数学公式的推导证明。图、表在文中要有明确的交代。应有图序、图题，置于图的下沿；坐标图的标目、标值应清楚。图应清晰简练，不宜照搬设计图纸。表采用三线表，应有表序和表题，置于表的顶线以上，表注一般置于表的底线以下，多条内容宜编序。

7、参考文献著录

(1)参考文献按“顺序编码制”标注。应在文中引用处标注文献序号，其标序应与文后参考文献一一对应。

(2)只著录公开发表的文献；最新的文献；一般要求至少5篇。

(3)文献著录格式应符合规范要求。

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

本刊编辑部