



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6期(第34卷)



湖北天堂抽水蓄能电厂

ISSN 1671-3354



主办单位 中国三峡出版传媒有限公司
湖北省水力发电工程学会

6

2020
第34卷

第三届水利水电科技创新高端论坛在汉举行

第三届水利水电科技创新高端论坛于2019年11月29日在武汉国际博览中心隆重举行。该论坛由湖北省水力发电工程学会和武汉鸿威国博会展有限公司共同举办，同时举办“2019第三届武汉国际水利水电博览会”。

论坛由湖北省水力发电工程学会副秘书长、《水电与新能源》杂志常务副主编赵英林教授主持。三位特邀专家作了精彩的学术报告。长江勘测规划设计研究院工程治理中心主任卢建华教授作了《我国水库大坝安全诊断与除险加固技术实践》的报告；武汉大学动力与机械学院博士生导师陈启卷教授作了《水电与新能源发展：机遇与挑战》的报告；芜湖市银鸿液压件有限公司董事长陶庭鸿高级工程师作了《新型智能覆盖式液压坝产品研发与应用》的报告。会场学术氛围浓厚，气氛热烈。

出席论坛的有来自武汉大学、湖北水利水电职业技术学院、长江工程职业技术学院的师生；湖北省水力发电工程学会会员单位的代表及参加水电科技博览会的水电行业的职工，共计250余人，会场座无虚席。

下午，出席论坛大会的代表参观了由湖北省水力发电工程学会举办的“建国70年水电建设光辉成就展”，一百多幅水电工程图片吸引了众多代表观看。代表们还参观了“2019第三届武汉国际水利水电博览会”，对许多新设备、新技术赞许有加。



卢建华教授在论坛大会上作学术报告



陈启卷教授在论坛大会上作学术报告



部分与会代表与教授专家合影

水电与新能源

月刊

2020年第6期

第34卷(总第192期)

2020年6月30日出版

1987年9月创刊

2010年1月更名

顾问 (以姓氏笔画为序)

刘经南 许崇育(挪威)

陆佑楣 张超然 钮新强

编辑委员会

主任委员 常晓林 李磊

副主任委员 黄介生 张海星 张博庭

柳建乔

委员 (以姓氏笔画为序)

王小毛 王义峰 王绍良 方创新

卢文波 付明 任大春 刘运志

刘建平 关杰林 李文伟 李冰

李志祥 李翀 李智 李磊

杨广杰 杨柏华 何金平 汪在芹

张志猛 张海星 张维平 张博庭

陆忠民 陈启卷 陈晓明 余敦先

郑斌 周伟 周友斌 周宜红

周建中 赵英林 胡伟 柳建乔

袁建伟 郭光文 郭棉明 涂长庚

涂圣勤 宾洪祥 黄介生 黄国兵

常晓林 蔡义钧 颜绍富

编辑部

主编 夏军

常务副主编 赵英林

技术总监 王绍良

执行副主编 徐云修

副主编 陈启卷 李文伟 周伟

办公室主任 刘卫民

办公室副主任 江晖

联络部主任 程汉兰

责任编辑 于华东 江晖

编辑 刘雪琴 于华东 江晖

陆丹

英文翻译 程勇刚

视觉编辑 黎明

广告部 唐晏军

编务 钱小玉

主管单位 湖北省科学技术协会

主办单位 中国三峡出版传媒有限公司

湖北省水力发电工程学会

编辑出版 《水电与新能源》编辑部

地址 武汉大学工学部

邮编 430072

电话 027-68772726

E-mail sdxny5429@163.com

学会网站 http://www.hshe.org.cn

印刷单位 武汉市宏达盛印务有限公司

刊号 ISSN 1671-3354

CN42-1800/TV

广告经营许可证号 4200003300079

广告电话 027-87874931

国内定价 10.00元/册

公开发行 自办征订

目次

□高端论坛□

黄河海勃湾水利枢纽门机轨道设计方案比选研究 雒志旺(1)

腾龙桥二级水电站压力管道结构设计 张荣斌(5)

石家庄市开展绿色小水电创建工作探讨
..... 吴君乐,左燕霞,程群旺(8)

离相式封闭母线工频交流耐压试验补偿装置在大渡河流域梯级电站中的
应用 蒋 蒨(10)

□科学研究□

岷江龙溪口航电枢纽工程施工导流方案优化调整
..... 李志伟,张毅驰,陈海坤,俞灵光(13)

溪洛渡水电站上游近坝库段桥湾变形体滑落影响分析及应急处置措施
探讨 张 鹏,赵培朋(17)

江苏如东海域波浪数值模拟研究 刘功鹏,孙晓娟(24)

水布垭水电站庙王沟排洪沟综合治理 周 云(29)

探析采石场松散体坡面两种治理措施的水土保持效益
..... 洪 浩(32)

某海上风电场施工总进度设计研究 王子俊(36)

□建设与管理□

水布垭大坝面板修补前后总渗流量综合分析
..... 杨 鸿,李光勇,皮军华(40)

构皮滩拱坝混凝土线膨胀系数反演分析
..... 朱 喜,莫和建,王志宏(45)

RCS-901G高频方向保护拒动原因分析 余 平,姚国明(50)

大岗山水电站GIS母线接地故障分析及处理 ... 李晓飞,李秀杰(52)

五岳抽水蓄能电站利用已有水库的实践 潘军伟,许志卫(55)

OPC技术在芭蕉河梯级电站集控改造中的应用
..... 唐 栋,郑明友,董海龙(57)

某电站转轮裂纹原因分析及处理方案 苏艳意(61)

山地风电全过程管理理念的探索与实践 郑少平,李昌杰(65)

大型水轮发电机定子接地故障分析及处理 马志忠,刘凯兵(67)

枕头坝一级水电站技术供水系统压力异常分析与改进措施
..... 蒋巍巍,唐义超,朱昌鑫(71)

利用实测水文资料抉择2019年龙洞湾水库截流度汛方案
..... 袁勤坤,李 蓓,陈 雷(75)

HYDROPOWER AND NEW ENERGY

June 2020 Number 6

Contents

Design Scheme Comparison and Selection for the Gantry Crane Track in Haibowan Hydro-junction on Yellow River	<i>LUO Zhiwang</i> (1)
Structural Design of the Penstock in Tenglongqiao II Hydropower Station	<i>ZHANG Rongbin</i> (5)
On the Green Small Hydropower Station Construction in Shijiazhuang City	<i>WU Junle, ZUO Yanxia, CHENG Qunwang</i> (8)
Application of the Power Frequency AC Voltage Withstand Test Compensation Device for Isolated Phase Enclosed Bus in Hydropower Stations in Dadu River Basin	<i>JIANG Shuo</i> (10)
Optimization of the Construction Diversion Scheme for Mingjiang Longxikou Navigation Power Junction	<i>LI Zhiwei, ZHANG Yichi, CHENG Haikun, YU Lingguang</i> (13)
On the Potential Consequences and Emergency Treatment of Qiaowan Landslide near the Dam in Upstream of Xiluodu Reservoir	<i>ZHANG Peng, ZHAO Peipeng</i> (17)
Numerical Simulation of Wind Induced Wave in Jiangsu Rudong Sea Area	<i>LIU Gongpeng, SUN Xiaojuan</i> (24)
Comprehensive Treatment of Miaowanggou Flood Discharge Ditch in Shuibuya Hydropower Station	<i>ZHOU Yun</i> (29)
On the Soil and Water Conservation Effects of Two Treatment Schemes for Loose Slope in a Quarry	<i>HONG Hao</i> (32)
On the Design of the General Construction Schedule of an Offshore Wind Farm	<i>WANG Zijun</i> (36)
Analysis of the Total Seepage Flow through Shuibuya Dam before and after the Repair of the Face Slabs	<i>YANG Hong, LI Guangyong, PI Junhua</i> (40)
Back Analysis of the Linear Expansion Coefficient of Concrete in Goupitan Arch Dam	<i>ZHU Xi, MO Hejian, WANG Zhihong</i> (45)
Analysis of a Non-operation Fault of the RCS -901G High Frequency Directional Protection	<i>YU Ping, YAO Guoming</i> (50)
Analysis and Treatment of a GIS Busbar Grounding Fault in Dagangshan Hydropower Station	<i>LI Xiaofei, LI Xiujie</i> (52)
Practice of the Utilization of Existing Reservoir in Wuyue Pumped Storage Power Station	<i>PAN Junwei, XU Zhiwei</i> (55)
Application of OPC Technology in the Renovation of the Centralized Control System in Bajiaohe Cascade Hydropower Stations	<i>TANG Dong, ZHENG Mingyou, DONG Hailong</i> (57)
Analysis and Treatment of Cracking of Hydro-turbine Runner in a Hydropower Station	<i>SU Yanyi</i> (61)
Exploration and Practice of the Whole Process Management Idea in Mountainous Wind Power Projects	<i>ZHENG Shaoping, LI Changjie</i> (65)
Analysis and Treatment of Stator Grounding Fault of Large-scale Hydro-turbine Generator Unit	<i>MA Zhizhong, LIU Kaibing</i> (67)
Analysis and Treatment of Abnormal Pressure in Technical Water Supply System in Zhentouba I Hydropower Station	<i>JIANG Weiwei, TANG Yichao, ZHU Changxin</i> (71)
Selection of the River Closure and Flood Discharge Scheme for Longdongwan Reservoir in 2019 based on Actually Measured Hydrological Dada	<i>YUAN Qinkun, LI Bei, CHEN Lei</i> (75)

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.1671-3354.2020.06.001

黄河海勃湾水利枢纽门机轨道设计方案比选研究

雒志旺

(中国葛洲坝集团第一工程有限公司,湖北宜昌 443002)

摘要:黄河海勃湾水利枢纽在泄洪闸闸室上游布置了一台MQ900B型和一台MQ600B型门机,通过对门机基础可能采用的三种方案比选,最终采用铺盖作为门机的扩大基础方案,可充分利用铺盖受力优势,不需对其增加大量配筋就能满足受力要求,且可一次性完成施工,后期处理工程量也小。

关键词:水利枢纽;门机轨道;比选

中图分类号:TV651 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)06-0001-04

Design Scheme Comparison and Selection for the Gantry Crane Track in Haibowan Hydro-junction on Yellow River

LUO Zhiwang

(China Gezhouba Group No. 1 Engineering Co., Ltd., Yichang 443002, China)

Abstract: In Haibowan Hydro-junction on the Yellow River, a MQ900B gantry crane and a MQ600B gantry crane are equipped in the upstream side of the sluice chamber. Three schemes of the gantry crane track foundation are compared and the scheme with the bedding as the expansion foundation is selected. It can fully utilize the load-bearing advantage of the bedding and the stress requirement can be satisfied without too much additional reinforcement. Also, the construction can be completed at one time and the post-processing work is less.

Key words: hydro-junction; gantry crane track; comparison and selection

黄河海勃湾水利枢纽泄洪闸闸室上游分别布置了一台MQ900B型和一台MQ600B型门机。MQ900B/30/20/10 t高架圆筒门座式起重机,全机总重约323 t,工作状态最大垂直轮压420 kN。轨道型号为QU70。MQ600B/30高架圆筒门座式起重机,最大垂直轮压350 kN。轨道型号为QU70。

根据门机特性和建筑物平面布置,将MQ900B门机布置在泄洪闸上游左侧,MQ600B门机布置在泄洪闸上游右侧。两台门机设置三条轨道,其中下游侧为共用轨道。

MQ900B门机高度按1 650 cm低架状态安装,最大固定高度3 570 cm,两条轨道距离1 050 cm,轨道中心在坝上0~1 920 cm,上游侧轨道中心在坝上0~2 445 cm,按照26 000 cm安装。

MQ600B门机高度按2 038 cm(增加一节圆筒)状

态安装,最大固定高度3 855 cm,两条轨道距离700 cm,轨道中心在坝上0~1 745 cm,上游侧轨道中心在坝上0~2 095 cm,按照26 000 cm安装。

1 轨道布置方案简介

方案一:布置独立混凝土条形基础门机轨道梁,门机轨道梁顶面高程与上游铺盖顶面高程相同,后期结合铺盖进行接缝处理后浇入铺盖内,见图1。

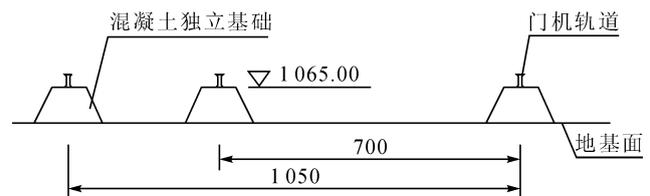


图1 独立素混凝土门机轨道梁布置图(单位:cm)

收稿日期:2019-12-04

作者简介:雒志旺,男,高级工程师,主要从事水利水电工程、水务工程经营管理方面的工作。

方案二:采用钢筋混凝土扩大基础,门机轨道梁顶面高程与上游铺盖顶面高程相同,后期将门机轨道梁进行缝面处理后浇筑到上游铺盖内,见图2。

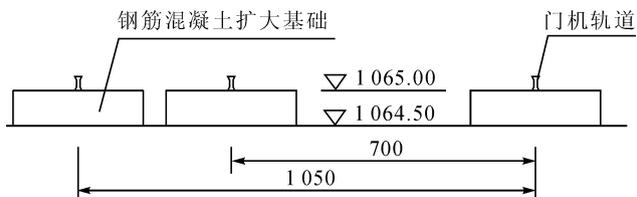


图2 钢筋混凝土扩大基础布置图(单位:cm)

方案三:利用上游铺盖作为轨道基础,将门机轨道直接布置在上游铺盖顶面高程,后期门机拆除后将铺盖内伸出的预埋件进行处理即可,见图3。

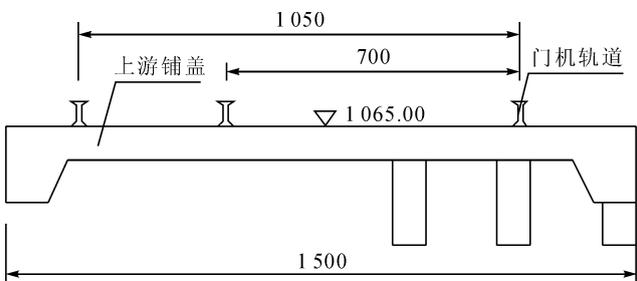


图3 利用上游铺盖作为轨道基础方案示意图(单位:cm)

2 计算受力情况

2.1 独立混凝土轨道梁基础设计

2.1.1 基底最大压力确定

设置单独的门机轨道梁,考虑工程工期和场地等实际情况,独立门机轨道梁结合上游铺盖结构进行设计,按照素混凝土进行计算,混凝土轨道梁为梯形截面,高80 cm,顶宽80 cm,底宽160 cm。

1)门机受力简图(见图4)。

2)混凝土基础考虑为刚性基础,考虑基础作用在地基上为均布荷载,压力在混凝土轨道梁内部按45°角向下分布,地基受力范围沿轨道方向长469 cm,考虑混凝土基础接缝处为最不利受力处,地基受力范围为389 cm×167.6 cm,则单轮在基础底面形成的基底平均压力为:

$$F_k = 470 \times 4 \text{ kN} / (389 \text{ cm} \times 167.6 \text{ cm}) = 288.4 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

其中, F_k 为门机作用于基础的竖向力。

条形基础混凝土自重约 $G_k = 24 \text{ kN/m}$ 。混凝土自重形成的应力为 $24 / 1.676 = 14.3 \text{ kPa}$,叠加后

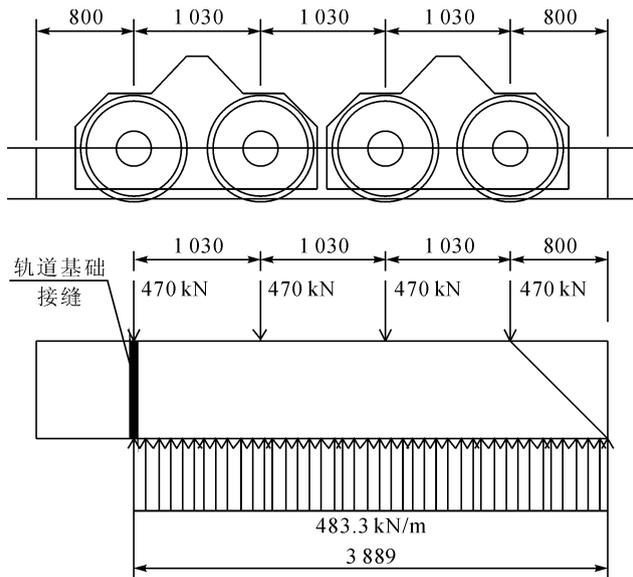


图4 门机受力简图(单位:cm)

基底最大应力为 302.7 kPa。

2.1.2 门机轨道地基承载力复核与设计

根据基础稳定要求:基底最大应力 $P_k \leq f_a$, 可以得出所需地基承载力需大于 302.7 kPa 即可。在不挖除粉细砂的情况下,经分析粉细砂承载力经处理可能达到约 200 kPa, 不能满足承载要求,必须对基础进行处理。

2.2 采用钢筋混凝土扩大基础方案

2.2.1 基础宽度确定

首先按素混凝土进行计算,门机沿轨道方向通过基础作用在地基压力的长度范围为 469 cm, 根据

$$P_k = (F_k + G_k) / A \leq f_a \quad (2)$$

式中: P_k 为基础地面压力; F_k 为门机作用于基础的竖向力; G_k 为基础自重; f_a 为修正后地基承载力特征值。

得到基础宽度 b 为 300 cm。现采用横断面为 300 cm×80 cm 的矩形断面扩大条形基础。

2.2.2 基础底板强度验算

1)轮下基础沿轨道方向抗弯及抗剪强度验算。

①当压力通过基础传给地基时,地基会给基础一个大小相等,方向相反的反力,地基反力会容易对轮下基础产生冲剪和拉裂破坏,必须对地基进行抗弯及抗剪强度验算。受力情况见图5。

②内力计算:

$$M_1 = M_5 = 128.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = M_3 = M_4 = 53.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\max} = 128.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

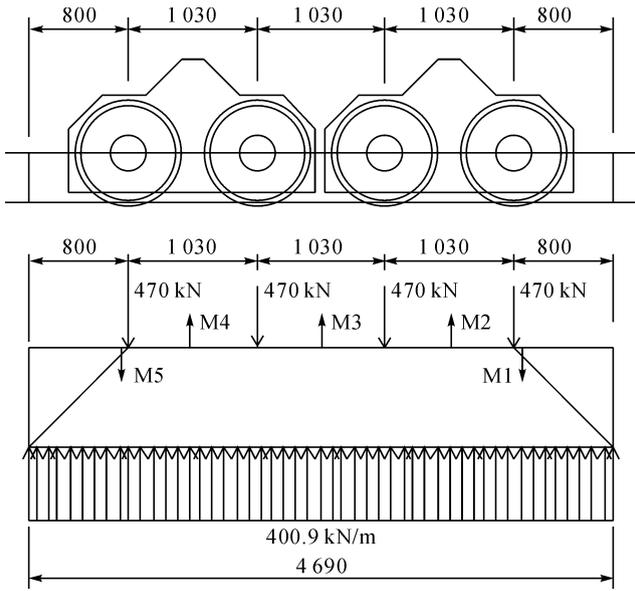


图5 轨道梁计算简图(单位:cm)

③抗弯强度校核。最大弯距为正,因此条形基础主要为下部受拉。首先进行素混凝土核算,将条形基础沿轨道方向分解成10个截面尺寸为30 cm×80 cm的梁,则每个梁承载的最大弯距为12.83 kN·m,取任意一个进行计算。计算公式如下:

$$M = f_t b (h_0 - x) h_0 / 2 \quad (3)$$

$$\gamma_d k M_{\max} \leq M \quad (4)$$

式中: γ_d 为钢筋混凝土结构系数; k 为安全系数; M_{\max} 为最大弯距。

其中 $\gamma_d = 1$, $h_0 = 80$ cm, $b = 30$ cm, $f_t = 1.27$ N/mm², $M_{\max} = 12.83$ kN·m, 安全系数 $k = 1.3$, $x = 35$ cm。

$$M = 68.583 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq \gamma_d k M_{\max} = 16.68 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

素混凝土能够满足要求,基础按最小配筋率进行配筋:

$$A_s = \rho_{\min} b h = 0.15\% \times 3000 \times 800 = 3600 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

选用8根 $\phi 25$ 作为受拉钢筋,三条轨道需配24.8 t钢筋。

④抗剪强度校核。根据图2计算可得,作用在基础内的最大剪力 $V_{\max} = 320.72$ kN,且:

$$V_0 = 0.07 f_c b h_0 = 0.07 \times 12.5 \times 3000 \times 800 = 2100 \text{ kN} > 320.7 \text{ kN} \quad (6)$$

其中, V_{\max} 为最大剪力。

由上可知,基础能够满足抗剪要求。对基础进行最小配筋率配箍筋,箍筋直径为1 cm,间距35 cm,梁

总长度为80600 cm。三条轨道需配10.9 t箍筋^[3]。

2)门机两腿间基础沿轨道方向抗弯及抗剪强度验算。

①当压力通过基础传给地基时,地基会给基础一个大小相等,方向相反的反力,地基反力会容易对门机腿下基础产生冲剪和拉裂破坏,必须对地基进行抗弯及抗剪强度验算。受力情况详见图6。

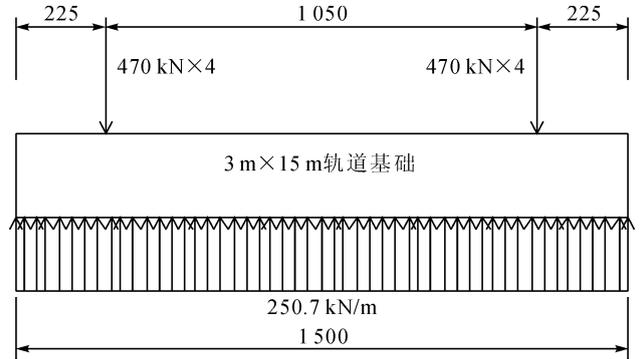


图6 轨道梁计算简图(单位:cm)

②内力计算。根据分析计算,最大弯距出现在门机两腿之间中点位置, $M_{\max} = 2820.4$ kN·m。

③抗弯强度校核。条形基础主要为上部受拉。首先进行素混凝土核算,将条形基础沿轨道方向分解成3个截面尺寸为100 cm×80 cm的梁,侧每个梁承载的最大弯距为940 kN·m,取任意一个进行计算。计算公式如下:

$$M = f_t b (h_0 - x) h_0 / 2$$

$$\gamma_d k M_{\max} \leq M$$

其中, $\gamma_d = 1$, $h_0 = 80$ m, $b = 100$ cm, $f_t = 1.27$ N/mm², $M_{\max} = 940$ kN·m, $x = 35$ cm。

$$M = 228.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq \gamma_d M_{\max} = 940 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

素混凝土不能满足抗弯要求,需进行配筋,计算公式如下:

$$\alpha_s = \xi (1 - 0.5 \xi) \quad (7)$$

$$M \leq M_u / \gamma_d = (\alpha_s f_c b h_0^2) / \gamma_d \quad (8)$$

$$f_c b \cdot \xi h_0 = f_s A_s \quad (9)$$

式中: α_s 为截面抵抗弯矩系数; ξ 为相对受压区高度; M_u 为截面承载力; M 为弯矩设计值; γ_d 为内力臂系数; f_c 为混凝土轴心抗压强度; b 为矩形截面的宽度; h_0 为截面有效高度; f_s 为混凝土抗拉强度; A_s 为纵向受力钢筋的截面面积。

其中 $\gamma_d = 1$, $h_0 = 70$ cm, $b = 300$ cm, $f_c =$

$11.9 \text{ N/mm}^2, f_s = 210 \text{ N/mm}^2, M = 2\ 820.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

计算得: $A_s = 17\ 850 \text{ mm}^2$ 。选用钢筋 36 根 $\phi 25$, $A_s = 17\ 892 \text{ mm}^2$ 。其中 8 根和轮下基础沿轨道方向抗弯配筋共用。配筋量为 99 t。

④抗剪强度校核。根据图 3 计算可得,作用在基础内的最大剪力 $V_{\max} = 1\ 115.6 \text{ kN}$,且:

$$V_0 = 0.07f_c b h_0 = 0.07 \times 12.5 \times 3\ 000 \times 800 = 2\ 100 \text{ kN} > 1\ 115.6 \text{ kN}$$

由上可知,基础能够满足抗剪要求。对基础进行最小配筋率配箍筋,轮下基础沿轨道方向抗剪校核时已进行配筋,此处不再另行配筋。

2.3 采用铺盖作为扩大基础方案

本方案利用铺盖做为扩大基础,门机轨道下基础沿轨道方向和垂直轨道方向抗弯强度验算方法同上。

在不挖除粉细砂的情况下,经分析粉细砂承载力经处理可达到约 200 kPa,保守按地基承载力 150 kPa 校核,最大地基反力为 36.7 kPa,其压力远远小于地基承载力^[4]。现有地基持力层为粉细砂,上游铺盖下游侧地基已进行振冲加固处理,为防止门机运行时地基出现不均匀沉降门机发生倾斜,通过计算,满足门机沉降要求。

由以上分析可知,本方案利用铺盖作为扩大基础,铺盖原有配筋满足最小配筋率要求,不进行地基换填,只对轨道下混凝土加配钢筋,基础按最小配筋率进行配筋。由于轨道下方容易发生应力集中现象,拟在轨道下方布置 4 根 $\phi 20$ 纵向钢筋,上下各两根,对基础进行最小配筋率配箍筋,箍筋直径为 1 cm,间距 35 cm,梁总长度为 80 600 cm,配筋总质量为 11.84 t,配筋详情见图 4。

3 结果分析

1)方案一:独立混凝土轨道梁基础。根据计算,采用独立混凝土轨道梁基础需对地基进行处理,提高地基土承载力指标。处理方案有两个,分别是基础换填和振冲加固处理。

第一:对粉细砂层进行换填处理,粉细砂层厚度约 5 m,下部的砂砾石层承载力达到 350 ~ 380 kPa,可以满足做为持力层的要求。根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007 - 2002)的要求,地基主要受力层指条形基础底面下深度为 3 b,且厚度均不小于 500 cm 的范围。则粉细砂层需全部换填。填筑材料采用砂砾料场坝壳填筑料,分层碾压密实,分层厚度通过试验确

定。换填范围按底宽 300 cm 计,一条轨道的换填工程量约 10 400 m³,工程造价约 31.2 万元。基础处理的施工工期约一周时间。

第二:对基础粉细砂采用振冲碎石桩加固处理,采用 75 kW 振冲器,根据泄洪闸基础处理的经验,按照 250 cm 的桩距,桩长约 500 cm 进入 II - 2 地质单元砂砾石层^[5]。桩径 80 cm,一条轨道布置两排,梅花形布置。一条轨道共 208 根桩约 104 000 cm,工程造价约 7.3 万元,加上桩头 50 cm 碎石换填,工程造价约 1 万元。基础处理的施工工期约 10 ~ 15 d。

2)方案二:利用钢筋混凝土扩大基础方案。根据计算,采用横断面为 300 cm × 80 cm 的矩形断面扩大条形基础,能够满足地基承载力要求。为满足基础沿轨道方向抗弯及抗剪要求,需对条形基础进行配筋,配筋总量为 109.9 t。工程后期需对门机轨道基础进行缝面处理后浇筑到上游铺盖内。

3)方案三:利用铺盖作为扩大基础方案。利用上游铺盖作为门机基础,将门机轨道直接布置在上游铺盖顶面高程,后期门机拆除后将铺盖内伸出的预埋件进行处理即可。根据计算,铺盖强度足够,受力面积大,能够满足抗弯、抗剪、抗压及地基承载力要求。本方案需对基础进行配筋,配筋量为 11.84 t。

4 结 语

根据以上分析,采用独立混凝土轨道梁基础方案地基处理成本过高,工期过长,后期处理工程量大,影响工程进度;采用扩大基础方案成本太高,且基础与铺盖施工不能同时进行,易对其他部位施工造成干扰;采用铺盖作为扩大基础方案可充分利用铺盖的受力优势,不需对基础进行大量配筋就可满足受力要求,且可一次性施工完成,后期处理工程量小。综上所述,方案三更为合理,本工程采用铺盖作为扩大基础方案。门机在服役期安全运行,直到完成全部的吊装任务后拆除。

参考文献:

- [1]沈珠江. 理论土力学[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2000
- [2]GB50007 - 2011, 建筑地基基础设计规范[S]
- [3]DL/T5169 - 2013, 水工混凝土钢筋施工规范[S]
- [4]饶孝国, 廖斌. 软基上大型门机轨道基础设计优化[J]. 水电与新能源, 2013(c2): 3 - 4, 12
- [5]胡方华. 海勃湾泄洪闸工程 H 型防冲墙施工[J]. 红水河, 2017, 36(1): 45 - 49

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.002

腾龙桥二级水电站压力管道结构设计

张荣斌

(云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明 650021)

摘要: 腾龙桥二级电站引水发电压力钢管采用坝后背管形式, 在钢管穿过厂坝建筑物永久分缝处, 为适应温度、水压力、沉陷等因素而产生轴向及径向变位差, 通过对钢管的合理布置、结构优化设计与钢管过厂坝分缝的适宜措施等, 采用了外包软垫层的垫层管代替伸缩节, 施工效率高、干扰小、施工进度快、降低了工程投资, 该电站投产9年来运行良好。

关键词: 坝后背管; 垫层管; 伸缩节

中图分类号: TV732⁺4 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)06-0005-03

Structural Design of the Penstock in Tenglongqiao II Hydropower Station

ZHANG Rongbin

(Yunnan Institute of Water & Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650021, China)

Abstract: In Tenglongqiao II Hydropower Station, steel lined reinforced concrete penstock laid on downstream dam surface is adopted. The layout and structural design of the penstock are introduced. Specifically, at the location where the penstock crosses the permanent joint of the powerhouse and the dam, penstock with external soft cushion layer is used to replace the traditional expansion joint to adapt to the axial and radial displacement differences induced by temperature, water pressure and subsidence. The design scheme of the penstock is of high construction efficiency, small interference, fast construction progress and low construction cost. The station has operated well for nine years since its operation.

Key words: penstock laid on downstream dam surface; penstock with soft cushion layer; expansion joint

腾龙桥二级水电站位于云南省保山市龙陵和腾冲两县界河龙江干流的中下游河段上, 地理坐标为东经 $97^{\circ}55' \sim 98^{\circ}46'$ 、北纬 $24^{\circ}10' \sim 25^{\circ}51'$, 电站坝址处于龙江干流, 河道平均比降 3.88% , 坝址距腾龙桥2 km, 坝址以上径流面积 $3\,481\text{ km}^2$ 。电站采用重力坝挡水, 最大坝高57.0 m, 厂房采用坝后式地面厂房布置, 装机三台, 总装机容量81 MW, 电站额定引用流量达 $289.5\text{ m}^3/\text{s}$, 钢管管径5.4 m。电站保证出力12.69 MW, 年利用小时数4 200 h, 年发电量为3.40亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$, 电站为单一发电工程, 无灌溉、防洪等要求。工程区地震基本烈度为8度, 设防烈度为8度, 工程场地地震动峰值加速度为 0.30 g 。

1 压力管道布置

1.1 地质条件

工程区地表主要为残坡积、崩塌堆积、洪冲积覆

盖, 厚度一般3~10 m。基岩以下以元古界高黎贡山群上段石英片岩为主, 夹有少量微晶片岩。工程区物理地质作用较复杂, 有岩体卸荷, 与此伴生的滑坡、崩塌、岩体卸荷及松动变形、岩体风化。岩体卸荷、滑坡及松动变形分布普遍, 左岸卸荷深10~20 m, 右岸卸荷深15~25 m; 在坝轴线下游左岸分布HP1、HP6滑坡, 坝轴线上游右岸分布HP4滑坡; 左岸1 140 m以下普遍存在厚度4~6 m的松动变形。左岸: 全风化带下界5~10 m, 强风化带下界深度10~40 m, 弱风化带下界深度30~90 m。河床: 强风化带下界深度3~5 m左右, 弱风化带下界深度21~30 m。右岸: 强风化带下界深度4~16 m, 弱风化带下界深度30~50 m, 龙江深大断裂影响带风化深。

1.2 压力管道布置

腾龙桥二级水电站引水发电压力管道布置在大坝

收稿日期: 2020-01-08

作者简介: 张荣斌, 男, 高级工程师, 主要从事水利水电工程设计工作。

7至8号坝段之间,桩号分别为坝纵0+110.50、坝纵0+127.50、坝纵0+144.50,为单管单机的布置方式,各条管道的平面、立面布置方式均一致,横向布置桩号为坝横0+009.275至坝横0+058.840。

压力钢管首部直径为5.4 m,压力管道与坝体取水口相接进口底板高程为1119.00 m,轴线高程1121.70 m,下平段管道中心线与机组安装高程同高,高程为1108.50 m。单机机压力管道长62 m,前部设

5.4 m长的方变圆渐变段,后部接弯管,弯管转弯角为45°,转弯半径为16.2 m,中部设直段与下弯段相接,下弯段转弯角为45°,转弯半径为16.2 m,下弯段与下平段相接经伸缩节与水轮机蜗壳进水口相接。钢管直径由5.4 m逐渐过渡到4.8 m,与蜗壳进口直径一致。坝横0+048.840至坝横0+055.790的钢管段穿过厂坝分缝,此处钢管全周设30 mm厚弹性垫层,采用垫层管过缝。2号机组压力管道安装布置见图1所示。

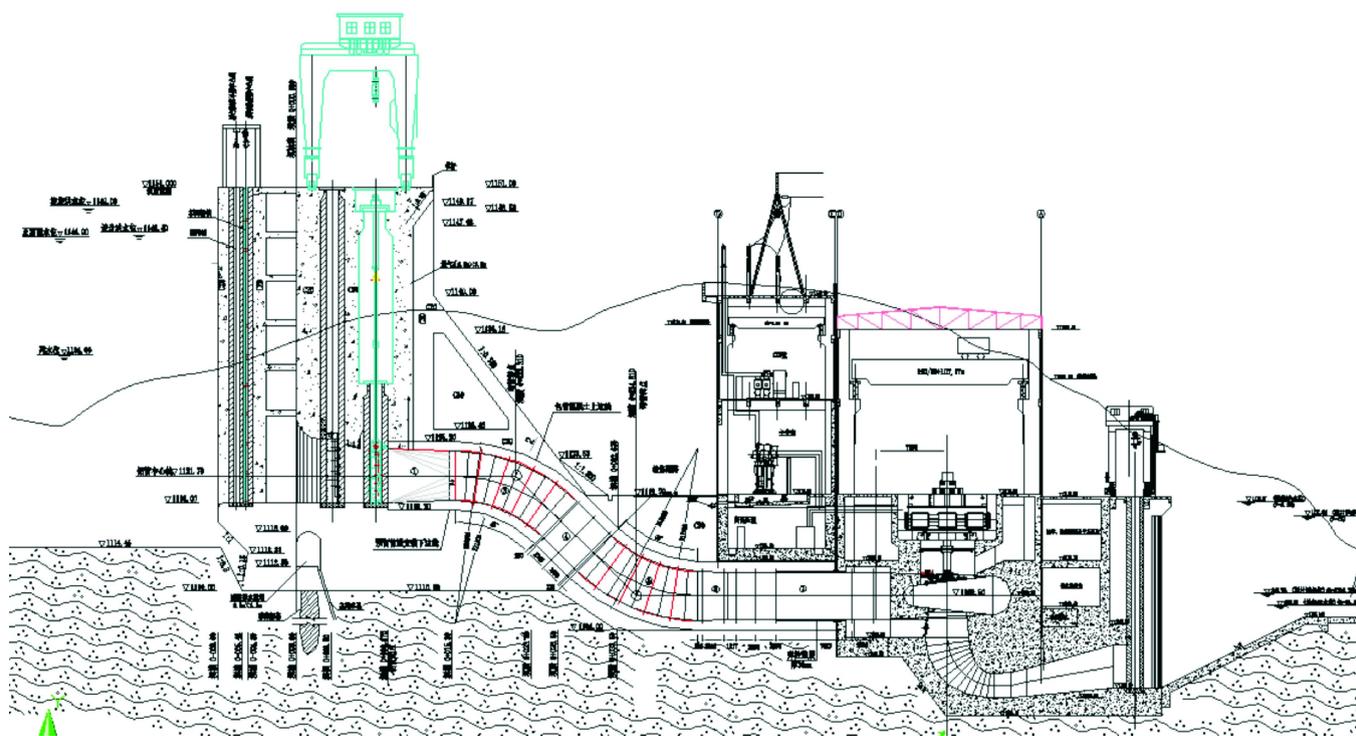


图1 2号机组压力管道纵剖安装图

2 压力管道结构设计

2.1 水锤计算

电站装机容量81.0 MW,保证出力12.69 MW,机组3台,单机容量27 MW,最大水头37.0 m,最小水头22.5 m,加权平均水头34.1 m,额定水头32.0 m,水轮机型号HLA551-LJ-365,额定转数125 r/min,机组安装高程1108.5 m,额定流量96.5 m³/s(一台),额定工况点效率(修正+1%)91.6%,发电机型号SF27-48/7500,额定转速125 r/min,发电机效率97%,转动惯量3500 t·m²,机组速率上升45%,导叶有效关闭时间TS为4~7 s,水击最大升高系数 σ_{\max} 为51.7%。

2.2 结构设计

压力管道主管内径5.4 m,采用Q345C钢材制作,

压力钢管的设计静水头为39.9 m,在该水头下,电站带满负荷时,水头损失1.6 m。

2.2.1 钢管应力

依据《水电站压力钢管设计规范》(DL/T 5141-2001)^[1]相关原则,本工程压力管道不考虑混凝土与钢管壁联合受力,内水、外水压力按钢管单独承载设计。

仅考虑内水压力,根据管壁的膜应力估算壁厚,壁厚计算公式见式(1)。对于选定的壁厚,可采用式(2)估算管道能承受的内水压力。

$$t = \frac{pr}{\sigma_R} \quad (1)$$

$$p = \frac{t\sigma_R}{r} \quad (2)$$

$$\sigma_R = \frac{f}{\gamma_0 \psi \gamma_d \times (0.95/\phi)} \quad (3)$$

式中: p 为内水压力计算值, N/mm^2 ; r 为钢管内半径, mm ; σ_R 为钢材的抗力限值, N/mm^2 ; γ_0 为结构重要性系数,取1.0(水工建筑级别是4级,钢管结构安全级别是II级); ψ 为设计状况系数(正常运行状态按持久状态, $\psi=1.0$;水压试验状态按短暂状态, $\psi=0.9$); γ_d 为结构系数,进口及厂房发电机层以上高程段按1.3

取值,厂房发电机层高程以下段按1.6取值计算,支管段按主厂房内明管设计, γ_d 按增加20%取为1.92; ϕ 为焊缝系数,本工程取0.9。

经计算,控制工况下下平段管节的计算最大壁厚如表1所示。根据管道承受的内水压力情况,钢管管壁厚度初步确定取为14 mm。

表1 管节壁厚计算成果表

壁厚 /mm	最大 内半径 /mm	强度设计值 f_s /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	结构重要 性系数 γ_0	持久状况 设计状况 系数 ψ	焊缝 系数 ϕ	短暂状况 设计状况 系数 ψ	整体膜 应力结构 系数 γ_d	设计工况承 受内水压力 /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	设计工况 承受水头 /m	σ_R
14	1 950	290	1	1	0.9	0.9	1.6	0.88	88.06	143.09
16	1 950	290	1	1	0.9	0.9	1.6	1.33	102.73	143.09

2.2.2 外压稳定

本工程为低水头、大流量电站,压力管道管径较大,控制因素为压力管道的抗外压稳定。压力管道分段设加劲环,采用Q345C钢板制作,钢管的临界压力按式(4)计算。各段钢管加劲环间距和钢管的临界压力详见表2。按此设计压力管道管壁厚取为14 mm,前部渐变段加劲环间距1.5 m,后部取为2 m,加劲环厚度取为与管壁同厚14 mm,高为250 mm,各管段的临界外压均大于两倍外水压力,可满足管道的抗外压稳定要求。由于加劲环与外包混凝土内钢筋焊接,所以不再计算其的抗外压稳定临界压力。

$$P_{cp} = \frac{Et}{(n^2 - 1) \left(1 + \frac{n^2 l^2}{\pi^2 r^2} \right)^2} \cdot r + \frac{E}{12(1 - \mu^2)} \left(n^2 - 1 + \frac{2n^2 - 1 - \mu}{1 + \frac{n^2 l^2}{\pi^2 r^2}} \right) \frac{t^3}{r^3} \quad (4)$$

$$n = 2.74 \left(\frac{r}{l} \right)^{1/2} \left(\frac{r}{t} \right)^{1/4} \quad (5)$$

式中: E 为钢材弹性模量; t 为管壁计算厚度; n 为相应于最小临界压力的波数; r 为管壁平均半径; l 为刚性环间距; μ 为钢材泊松比。

表2 抗外压临界压力计算成果表

部位	钢管内径 /mm	加劲环间距 /mm	钢管 P_{cr} /MPa
进口段	5.4	1.5	0.51
5 m 钢管段	5.0	2.0	0.41
4.8 m 钢管段	4.8	2.0	0.44

3 钢管过缝措施

3.1 方案拟定

坝后布置发电厂房在发电引水钢管穿过厂坝建筑物永久分缝处,为适应温度、水压力、沉陷等因素而产生的轴向及径向变位差,通常需设置相应的变位适应措施,但大量的工程实践表明,如设置伸缩节适应轴向及径向变位差后,不仅工程造价提高,还会给厂区布置带来困难,同时伸缩节的制造、安装、维修等方面也是厂房设计布置的难点,因此近年来工程上多采用垫层管代替伸缩节过缝,以适应施工期厂坝分缝处的不均匀变位和按设计比例外传内水压力^[2-5]。

3.2 垫层管设计

本水电站在厂前分缝处采用垫层管代替伸缩节,垫层管长度10 m,此段钢管360°全包软垫层,垫层材料采用软木垫层,厚20 mm,弹性模量为3.0 MPa。垫层管接近厂房分缝处管节间预留20 mm宽的环缝,在环缝外侧设套缝垫板,垫层管上、下游端设止浆、止水环,下游端设排水。在垫层管外壁包裹软垫层。

在充水前将垫层管预留的环缝补焊。此后,厂坝分缝处不均匀变位、内水压力及温度变化等荷载则由垫层管承受。垫层管在各种荷载下分缝两侧的相对位移及钢衬应力则通过三维有限元计算分析。

位移分别计算了5种组合工况下垫层管两端的位移,在所有工况中,垫层管两端竖向最大相对位移,出现在单独自重工况,为-1.7 mm。垫层管两端轴向最大相对位移出现在地震工况,为3.8 mm,可见用垫层

(下转第12页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.003

石家庄市开展绿色小水电创建工作探讨

吴君乐, 左燕霞, 程群旺

(河北省石津灌区管理局, 河北 石家庄 050051)

摘要: 河北省实施绿色小水电创建工作以来, 石家庄市采取有力措施积极推进该项工作的开展。明确树立绿色小水电创建目标, 按照“先易后难、自愿申报”原则, 对符合创建绿色小水电站条件的3座电站分批进行申报, 3座水电站按照《绿色小水电评价标准》的要求, 采取多项措施, 经努力达到了绿色小水电的创建标准, 发展成为“绿色、和谐、协调、开放、共享”的绿色小水电站。

关键词: 绿色小水电; 创建; 治理; 管理

中图分类号: X321

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)06-0008-02

On the Green Small Hydropower Station Construction in Shijiazhuang City

WU Junle, ZUO Yanxia, CHENG Qunwang

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

Abstract: Since the implementation of the Green Small Hydropower Station Construction work in Hebei Province, effective measures have been taken in Shijiazhuang City to promote the development of this work. Firstly, the goal of the green small hydropower station construction work was established clearly. Then, following the principles of “easy to difficult, voluntary application”, three stations that meet the requirements were selected to participate. According to the requirements of the “Evaluation Standard of Green Small Hydropower Stations”, those stations took various measures to fulfill the construction standard and now have successfully become green, harmonious, coordinated, open and shared stations.

Key words: green small hydropower stations; construction; governance; management

石家庄市水力资源总蕴藏量 35.32 万 kW, 技术可开发量 19.14 万 kW, 已建成投产水电站 49 座, 装机容量 33 488 kW, 多年平均发电量 7 000 万 kW·h 左右, 为补充贫困山区电网末端供电不足提供了有力的清洁能源保障。但是, 在长期的水电开发与经营管理中缺乏生态环境保护, 普遍存在“三注重、三忽视”的问题, 即: 注重水能资源充分利用, 忽视有限开发; 注重发电功能, 忽视河流生态; 注重企业效益, 忽视社会贡献, 因此枯水期致使局部河段减水或脱水现象突出。

2013 年, 水利部启动绿色小水电的典型培育和评价试点工作, 印发了《绿色小水电评价标准(试行)》, 确定了绿色小水电评价的主要内容。2016 年 12 月, 水利部印发了《关于推进绿色小水电发展的指导意见》, 石家庄市积极组织开展了新时期绿色小水电站的创建工作。2017 年 8 月, 水利部正式颁布实施《绿色小水电评价标准》, 石家庄市率先订购了该标准, 印发给各县主管部门及相关电站, 组织有关人员绿色小水电评价内容和创建程序进行了认真学习。

见》, 石家庄市积极组织开展了新时期绿色小水电站的创建工作。2017 年 8 月, 水利部正式颁布实施《绿色小水电评价标准》, 石家庄市率先订购了该标准, 印发给各县主管部门及相关电站, 组织有关人员绿色小水电评价内容和创建程序进行了认真学习。

1 创建目标

严格按照《绿色小水电评价标准》中的规定, 组织符合条件且积极性高的电站开展绿色小水电站创建工作。对已建水电站的创建要改进发电运行方式、改造闸下泄放和监测设施、改善厂坝间河道水资源条件以足额下泄生态需水量, 把综合利用、安全生产标准化、技术进步、现代化管理等作为创建的重要内容; 加强电

收稿日期: 2019-12-06

作者简介: 吴君乐, 男, 高级工程师, 主要从事水利水电工程建设与管理相关的工作。

站的管理和督导,按照河流生态环境保护要求下泄生态流量,尽可能减少对水文情势、河流生态和生物生境的不利影响,实现电站与周边环境和諧统一;各水电站要因地制宜种植花草树木,扩大厂区绿化面积,加强电站内外环境治理,使整体生态环境得到较大改观。

2 工作开展

2013年,石家庄市积极响应河北省水利厅开展的农村水电绿色试点评价工作,组织秘家会和乏驴岭两座电站进行了绿色小水电的试点创建。2014年6月,水利部专家组通过听取汇报、现场核查和资料检查,对两座电站的试点创建工作给予了高度评价,通过了现场审核。2017年8月,邀请专家到电站现场指导开展创建工作,按照“先易后难、自愿申报”原则,对符合条件的电站经过电站自评申报,县、市两级筛选分批进行,最终选定秘家会和乏驴岭两座水电站进行首批创建。2017年10月,河北省水利厅专家组对秘家会和乏驴岭2座电站的创建进行了省级初验;2018年6月,按照省水利厅要求,河北省石津灌区管理局土贤庄水电站也开展了创建工作,电站按照标准和程序进行了准备和申报;2018年7月省水利厅专家组对土贤庄水电站的创建进行了省级初验。

专家组在对3座电站进行现场评审的过程中,查看了电站的挡水、泄水、引水、厂房等不同的建筑物;查阅了河道水文情势、河流形态、景观、减排、综合利用、生产管理、财务等方面资料;对电站在生态环境、社会、管理和经济等方面的指标进行了综合评分,与相关人员进行座谈。专家组充分肯定了3座电站在生态环境保护、利益共享、生产管理、区域经济贡献等方面的工作,对现场检查中存在的问题和不足,提出具有可操作性的整改意见和建议。3座电站及时进行了整改,认真补充完善了申报资料,采取措施对厂区环境、运行管理、安全生产等方面的工作进行了改进。3座电站通过省水利厅的初验后向水利部进行了申报,截止到2019年2月份,乏驴岭和土贤庄2座电站均通过了水利部的绿色小水电创建评审。

3 创建措施

3.1 加强治理,打造绿色水电

3座电站按照创建标准的要求,积极改善站容站貌,提高厂区美观度,在站内外种植青松、绿柳、石榴等观赏树木,在厂区内修建了小花园、步行路等,使职工

在工作之余可以徜徉漫步,缓解工作疲劳;生活区污水经沉淀池处理后排放或是修建化粪池定期进行外运清理,妥善处理坝前拦污栅前的垃圾和漂浮物,防止出现二次污染;生产检修产生的废油通过滤油机处理后重复使用,不能使用的由废油收购站统一回收,减少污染水质。乏驴岭水电站更是在尾水后设置滚水坝,形成了300 m²的水面,进一步改善了电站周边及下游河道生态环境;土贤庄水电站所在的渠道是南水北调配套工程引江水的流经之路,电站更是注重环境的改善和治理,严格控制污染物、生活污水零排放,采取多种措施保护引江水水质。

3.2 规范管理,加快技术进步

3座电站加强安全生产规范化管理,完善安全生产责任体系,建立安全隐患排查治理和重大危险源监控制度,严格落实“两票、四制、三规”,加强设备的日常维护保养,做好预防性试验和设备定级管理,保证设备的完好率达100%。2015年,3座电站均被省水利厅评定为安全生产标准化二级管理单位。2座电站加快设备的更新改造,乏驴岭水电站于2015年利用省级补助资金完成发电机组、变压器、调速器和励磁设备等主要设备更新改造,新增了计算机监控系统;秘家会水电站2017年实施增效扩容改造,更新改造完成后,发电设备性能、效率、可靠性和安全稳定性得到显著提升。土贤庄水电站刚建成不久,更是注重规范化管理,及时排查安全隐患,定期对设备设施维护保养,没有发生过安全生产责任事故,更不存在重大事故隐患。

3.3 支农惠农,提高民生保障

土贤庄水电站坐落在石家庄市区的石津总干渠上,石津灌区担负着农业灌溉、南水北调输水、生态供水、工业供水、水力发电以及防洪排涝等主要任务,绿色小水电创建的开展,为石津灌区多种职能的实现创造了条件,尤其为实现受益区农民增收、居民饮水安全提供了保障。秘家会水电站自1991年至2003年期间为全镇农民代交了农业税,在国家免征农业税后,又继续担负起全镇农民的农村合作医疗保险费用,截至2017年共投入1400余万元。乏驴岭水电站更是帮扶乏驴岭村修建了农村医疗室、图书室、村庄道路、村民文化健身广场和农村公园,还给村民安装了自来水和路灯等,不仅解决了村民吃水困难的问题,更使村容村貌发生了巨大的变化。

(下转第23页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.004

离相式封闭母线工频交流耐压试验补偿装置 在大渡河流域梯级电站中的应用

蒋 蒨

(国电大渡河检修安装有限公司,四川 成都 610047)

摘要:以某电站封闭母线工频交流耐压为例,根据带防冲击保护电容器的离相式封闭母线(IPB)工频交流耐压试验的方法,通过分析该工频交流耐压补偿试验装置的相关参数计算、选型等重点环节,有效解决了试验过程中出现的问题。

关键词:防冲击保护电容;封闭母线;交流耐压试验;规程规定

中图分类号:TM312 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)06-0010-03

Application of the Power Frequency AC Voltage Withstand Test Compensation Device for Isolated Phase Enclosed Bus in Hydropower Stations in Dadu River Basin

JIANG Shuo

(China Guodian Dadu River Maintenance and Installation Co., Ltd., Chengdu 610047, China)

Abstract: Taking the hydropower stations in Dadu River Basin as examples, the power frequency AC voltage withstand test method for isolated phase enclosed bus (IPB) with anti-surge protection capacitor is introduced. Key issues such as the parameter calculation and type selection of the AC voltage withstand test compensation device are analyzed. With the compensation device, the power frequency AC voltage withstand test for IPB can be implemented.

Key words: anti-surge protection capacitor; enclosed bus; AC voltage withstand test; regulations

目前,大渡河流域多数新投产电站的发电机出口至主变压器间母线采用全连式离相封闭母线(IPB),见图1。离相封闭母线主要由母线导体、支持绝缘子和防护屏蔽外壳组成,导体和外壳均采用铝管结构。且封闭母线上都装设有防冲击保护电容器,由于该电容器与发电机出口断路器(GCB)在内部联为一体,每次进行母线交流耐压试验时需要将电容器单独拆除,这样做不仅会耗费大量的人力成本,同时检修工期也不允许。如果连同电容器一起进行工频交流耐压,又会因为电容量较大(一般为一百至几百纳法不等),使得现有的工频交流耐压设备无法满足母线工频交流耐压试验的需要。

为了满足《电力设备预防性试验规程》DL/T 596-1996之规定,15 kV及以上封闭母线大修时,必须进行工频交流耐压试验,由于当前国内工频交流试验变压器体积大、重量重,给试验时的运输及操作带来较大困难。



图1 IPB与主变压器连接参考图

针对各个电站的发电机组出口断路器(GCB)内冲击保护电容器的容量不同,如果通过搭配积木式的补偿电感,利用LC并联回路中,电感电流和电容电流相位相差 180° 的原理,达到减小交流耐压试验设备容量的目的。

收稿日期:2019-12-02

作者简介:蒋蒨,男,高级技师,主要从事水电站电气设备绝缘监督方面的工作。

积木式电抗器,就是多个小体积、轻重量电抗器的串、并联组合使用,能够有效补偿试验回路电流,将试验电源和试验装置容量大幅降低。

下面以某河流域各个发电厂封闭母线为例,介绍补偿电抗器相关的计算及选型等。

1 相关参数计算

1.1 某 A 电站

1)规定电压下的电容电流。机组出口断路器内的冲击保护电容器的电容量约为:0.135 μF 左右,机组出口母线电压等级为:20 kV,依据《电力设备预防性试验规程》DL/T 596 - 1996 的规定:工频交流耐压值为:51 kV,由于母线带有不可拆卸的电流互感器,交流耐压按照母线上设备最低耐压值进行,故按照电流互感器交流耐压值 47 kV 来考虑,当到达工频交流耐压峰值电压时的电容电流: $I_c = \omega C U_s = 314 \times 0.135 \times 47 = 1992 \text{ mA}$;即试验回路需要补偿约 2.0 A 的感性电流。

2)需要补偿的电感量。 $X_L = U_s / I_L = 47000 / 1.992 = 23594 \Omega$, $L = X_L / \omega = 23594 / 314 = 75 \text{ H}$;最大试验电压下需要补偿 75 H 的电感量。

根据上面的计算,需要定制电压等级为 25 kV、容量 25 kVA;电感量为:79.6 H 电抗器 4 个。在现有设备的基础上,A 电站的补偿情况。

3)可分别将两个 79.6 H 的电抗器串联成电感量为 159.2 H 的电感,再组成一个并联回路,再与工频交流耐压试验回路进行并联(如图 2),此时回路的总电流为: $I = I_c - I_L = 2 - 1.88 = 0.12 \text{ A} = 120 \text{ mA}$;现有的工频交流耐压试验变规格为:50 kV/200 V、10 kVA;试验变高压侧额定输出电流为 200 mA;试验变压器高压侧额定输出电压、电流均满足试验要求。

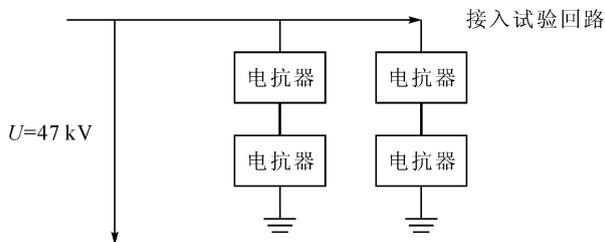


图2 4只电抗器的连接图

1.2 某 B 电站

1)规定电压下的电容电流。机组出口断路器内的冲击保护电容器的电容量约为:0.135 μF 左右,机组出口母线电压等级为:15.75 kV,依据《电力设备预

防性试验规程》DL/T 596 - 1996 的规定:工频交流耐压值为:43 kV,由于母线带有不可拆卸的电流互感器,交流耐压按照母线上设备最低耐压值进行,故按照电流互感器交流耐压值 38 kV 来考虑,当到达工频交流耐压峰值电压时的电容电流: $I_c = \omega C U_s = 314 \times 0.135 \times 38 = 1610 \text{ mA}$;即试验回路需要补偿约 1.6 A 的感性电流。

2)需要补偿的电感量。 $X_L = U_s / I_L = 38000 / 1.61 = 23602 \Omega$, $L = X_L / \omega = 23602 / 314 = 75.2 \text{ H}$;最大试验电压下需要补偿 75.2 H 的电感量。通过上面的计算,在现有设备的基础上,B 电站的补偿情况。

3)考虑采用一致型号的电抗器,将两个 79.6 H 的电抗器串联成电感量为 159.2 H 的电感,再将两个 79.6 H 的电抗器串联成电感量为 159.2 H 的电感,组成一个并联回路,再与工频交流耐压试验回路进行并联(如图 3),回路总电流为: $I = I_c - I_L = 1.61 - 1.52 = 0.009 \text{ A} = 4 \text{ mA}$;现有试验设备输出电压、电流满足试验要求。

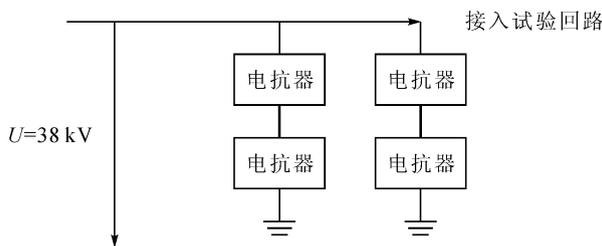


图3 4只电抗器的连接图

1.3 某 C 电站

1)规定电压下的电容电流。机组出口断路器内的冲击保护电容器的电容量约为:0.1 μF 左右,机组出口母线电压等级为:18 kV,依据《电力设备预防性试验规程》DL/T 596 - 1996 的规定:工频交流耐压值为:43 kV,由于母线带有不可拆卸的电流互感器,交流耐压按照母线上设备最低耐压值进行,故按照电流互感器交流耐压值 38 kV 来考虑,当到达工频交流耐压峰值电压时的电容电流: $I_c = \omega X_c U_s = 314 \times 0.1 \times 38 = 1193 \text{ mA}$;即需要补偿约 1.2 A 的电流。

2)需要补偿的电感量。 $X_L = U_s / I_L = 38000 / 1.2 = 31667 \Omega$, $L = X_L / \omega = 31667 / 314 = 101 \text{ H}$;规定试验电压下需要补偿 101 H 的电感量。在现有设备的基础上,C 电站的补偿情况。

3)考虑采用一致型号的电抗器,可将两个 79.6 H 的电抗器串联后,组成一个电感量为 159.2 H 的总电感,将三个 79.6 H 的电抗器串联后,组成一个电感量

为 238.8 H 的总电感,再与工频交流耐压试验回路进行并联(如图 4),此时回路的总电流应为: $I = I_c - I_L = 1.20 - 1.27 = -0.06 \text{ A} = 70 \text{ mA}$;现有的工频交流耐压设备均满足试验回路对电压、电流的要求。

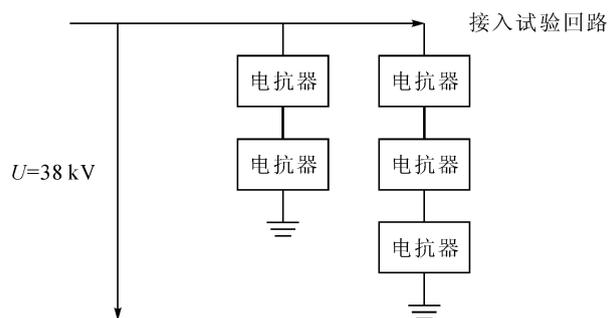


图 4 5 只电抗器的连接图

2 设备选型

2.1 电抗器电压等级的选取

根据《电力设备预防性试验规程》DL/T 596 - 1996 之规定:现有某 A 电站电压等级离相式封闭母线最大工频交流耐压试验的电压值为 47 kV。如补偿电抗器按两只来计算,每只的对地绝缘等级为 25kV,即可满足试验时的电压需要。

2.2 电抗器容量的选取

通过对 A 电站计算得知,试验变压器高压侧输出电流,在封闭母线工频交流耐压 47 kV 时达到最大值 2 A 左右,此时需要补偿试验回路电流 2 A,因采用 4 只电抗器两两串联后,并入试验回路,理想的情况下,

(上接第 7 页)

管代替伸缩节后,分缝两侧结构相对位移较小,取消伸缩节是可行的。

垫层管 Mises 应力在地震组合工况下达到最大,最大值为 134.46 MPa,出现在下游侧管顶,应力小于相应钢材的抗力限值 188 MPa。在各种荷载中,引起 Mises 应力的主要荷载是内水压力。因此,从钢管应力的角度来看,取消伸缩节采用垫层管是可行的。

4 结语

腾龙桥二级水电站工程于 2010 年 9 月底正式通水发电,目前已运行近 9 年,压力管道目前运行状况良好。压力管道在厂坝过缝处,采用外包软垫层的垫层

每条支路中的电流为 0.94 A。

由此,可以将单只电压等级为:25 kV;容量为:25 kVA 的 4 只电抗器按图 2 的方式连接,即可满足试验回路对电压和电流的要求。

对 C 电站计算得知,试验变压器高压侧输出电流,在封闭母线工频交流耐压 38 kV 时达到最大值 1.20 A 左右,此时需要补偿试验回路电流 1.2 A。可将单只电压等级为:25 kV;容量为:25 kVA 的 5 只电抗器按图 4 的方式进行连接,即可满足试验回路对电压和电流的要求。

3 结语

离相式封闭母线是重要的电气设备之一,应严格按照《电气设备预防性试验规程》要求,对离相式封闭母线进行全面的绝缘状况监督,杜绝了在其运行过程中可能出现各种缺陷,之前由于变压器本身容量不够的原因,造成了封闭母线不能进行工频交流耐压试验,通过设计采购规定型号参数的电抗器,采用积木组合的方式,保证了在现有的试验设备条件下,满足了现场的试验需求,有效检验了设备的绝缘健康水平,确保电网稳定可靠的运行。

参考文献:

- [1] GB 50150 - 2006, 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S]
- [2] DL/T 596 - 1996, 电力设备预防性试验规程[S]
- [3] 李建明, 朱康. 高压电气设备试验方法[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2001

管代替伸缩节后,施工效率高,干扰小,施工进度快,降低了工程投资,其设计经验和理念可供同类工程借鉴。

参考文献:

- [1] DL/T 5141 - 2001, 水电站压力钢管设计规范[S]
- [2] 杨丽娜, 伍鹤皋. 坝后式水电站压力钢管厂坝过缝措施研究[J]. 水电能源科学, 2008, 26(4): 101 - 104
- [3] 吴海林, 覃事河, 周宜红. 坝后式水电站厂坝连接形式优化研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(6): 156 - 160
- [4] 张多新, 谢巍, 刘东常. 水电站厂坝联结形式优选与取消伸缩节研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2008, 29(5): 18 - 22
- [5] 吴海林, 伍鹤皋, 张伟, 等. 水电站厂坝联结形式与取消伸缩节研究[J]. 水力发电学报, 2006, 25(2): 118 - 122

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.005

岷江龙溪口航电枢纽工程施工导流方案优化调整

李志伟, 张毅驰, 陈海坤, 俞灵光

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 在岷江龙溪口航电枢纽工程施工导流方案实施阶段, 结合施工期导流及通航模型试验成果, 对导流方案进行优化调整, 将临时航道右导墙左移4孔泄洪闸, 三期不利用围堰挡水发电, 导流工程节省投资大于减少发电效益, 且能有效改善施工期通航条件、降低三期施工压力、提高施工工期保证率, 有利于工程建设顺利地推进。

关键词: 分期导流; 方案优化; 临时通航; 龙溪口航电枢纽

中图分类号: TV551.1⁺6

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)06-0013-04

Optimization of the Construction Diversion Scheme for Mingjiang Longxikou Navigation Power Junction

LI Zhiwei, ZHANG Yichi, CHENG Haikun, YU Lingguang

(Powerchina Guiyang Engineering Corporation, Guiyang 550081, China)

Abstract: In the construction diversion implementation stage of Mingjiang Longxikou Navigation Power Junction project, the diversion scheme is optimized based on the diversion and navigation experimental results. The right guide wall of the temporary navigation channel is moved leftward for a distance of 4 spillway gates. The cofferdams are not responsible for power generation water retaining in the third stage. It shows that the reduced investment of the diversion work is higher than the loss of the power generation benefit. At the same time, the optimized diversion scheme can effectively improve the navigation conditions during the construction period, reduce the construction intensity of the third stage, and greatly improve the assurance rate of construction schedule, which ensure the smooth implementation of the whole project.

Key words: stage diversion; optimization; temporary navigation; Longxikou Navigation Power Junction

岷江龙溪口航电枢纽工程是岷江下游河段(乐山—宜宾)航电规划四个航电梯级中的最末一级, 其上游为犍为航电枢纽工程, 坝址位于乐山市犍为县新民镇, 开发目标以航运为主, 航电结合, 兼顾防洪、供水、环保等综合利用。工程等别为Ⅱ等, 工程规模为大型(2)型, 水库总库容约3.24亿m³, 正常蓄水位317.00 m, 船闸和航道等级为Ⅲ级, 设计通航船舶吨级为1000 t, 电站安装9台灯泡贯流式机组, 总装机容量480 MW。建筑物沿坝轴线自左向右依次为左岸挡水坝(24.8 m), 鱼道(24.08 m), 厂房(287.20 m), 泄洪闸(470.79 m), 船闸(70 m), 右岸挡水坝(72 m)。枢纽坝顶全长948.87 m, 坝顶高程324.50 m。

岷江流域地跨上游高原气候区及中下游盆地亚热带湿润季风气候区, 径流主要来源于降水, 枯期时段为

11月~次年4月。坝址分期设计洪水成果见表1。

表1 坝址分期设计洪水成果表

时段	频率		
	5%	10%	20%
枯期(11月~次年4月)	7 420	6 750	6 000
全年	38 300	32 100	25 900

1 初步设计阶段施工导流方案

龙溪口航电枢纽工程为Ⅱ等大(2)型, 主要建筑物为2级, 根据围堰的使用年限及工程规模确定, 混凝土导流建筑物为4级, 一期土石围堰为5级, 其余土石

收稿日期: 2020-04-04

作者简介: 李志伟, 男, 工程师, 主要从事水利水电施工组织设计工作。

围堰为4级。

根据坝址地形条件、水文特点和施工期通航要求,结合枢纽建筑物布置,初步设计阶段枢纽工程采用三期施工导流方案,其中发电厂房和船闸利用全年时段保证连续施工,泄洪闸利用枯期施工。为保证岷江航道正常通行,泄洪闸坝段预留施工期临时航道通航。初步设计阶段施工导流方案布置见图1,导流程序如下:

1)一期(第一年11月~第二年10月)主要进行左岸部分河床疏浚、临时航道内14.5孔泄洪闸底板和临时航道左导墙施工。

一枯:利用左岸纵向土石围堰挡水,左岸部分河床疏浚至298.00 m,临时航道内14.5孔泄洪闸底板施工至296.00 m,临时航道左导墙施工至308.00 m,右岸纵向土石围堰纵向段施工完成。右岸束窄河床过流、通航。导流标准采用5年重现期洪水,上游水位306.04 m,下游水位305.72 m;

一汛:左岸疏浚河床和原河床过流,右岸主河道通航。度汛标准采用5年重现期洪水,上游水位312.92 m,下游水位311.92 m。

2)二期(第二年11月~第五年9月)主要进行左岸厂房、右岸船闸和9.5孔泄洪闸施工。

一枯:利用右岸纵向土石围堰、临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,施工左岸厂房、右岸船闸,9.5孔泄洪闸底板施工至296.00 m,临时航道右导

墙施工至308.00 m。束窄的临时航道过流、通航。导流标准采用10年重现期洪水,上游水位306.36 m,下游水位306.09 m;

一汛:利用临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,厂房继续施工。临时航道过流、通航。度汛标准采用10年重现期洪水,上游水位314.57 m,下游水位313.08 m;

二枯:利用右岸上下游土石围堰、临时航道左右导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,施工厂房、船闸,右岸7孔泄洪闸、船闸全年土石围堰施工完成。临时航道过流、通航。导流标准采用10年重现期洪水,上游水位306.12 m,下游水位306.09 m;

二汛、三枯、三汛:利用船闸上下游全年土石围堰、临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,厂房、船闸继续施工。临时航道过流、通航。

3)三期(第五年10月~第七年3月)主要进行左岸厂房和临时航道内17孔泄洪闸施工。

第五年10月~第六年5月:利用临时航道左右导墙和三期上下游土石围堰挡水,临时航道内17孔泄洪闸施工完成,第六年2月底,首台机组具备发电条件。已完建7孔泄洪闸控制上游在发电死水位316.00 m运行,永久船闸通航;

第六年6月~第七年3月:6月初由泄洪闸挡水,水库开始蓄水,第七年3月,机组全部安装完成并具备发电条件。已完建24孔泄洪闸过流,永久船闸通航。

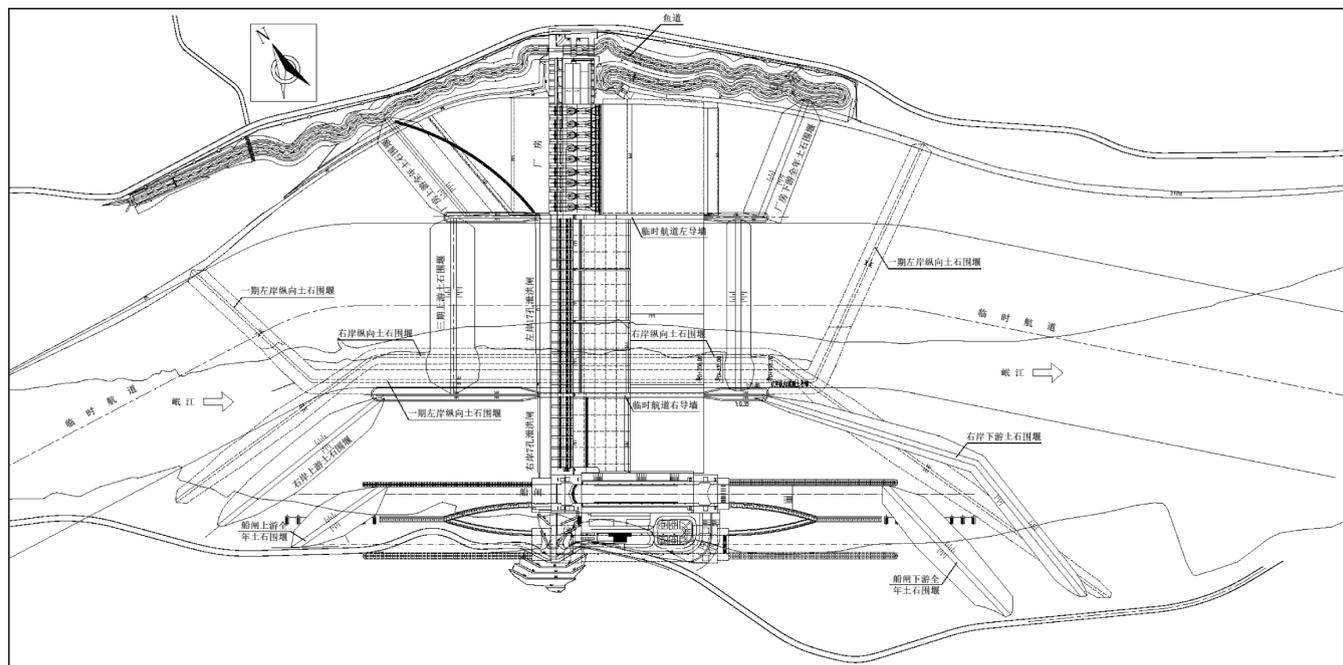


图1 初步设计阶段施工导流方案布置图

2 施工导流方案优化调整研究

2.1 方案优化调整缘由

初步设计阶段施工导流方案批复意见建议下阶段进一步优化调整施工导流围堰结构型式和导流程序,实施阶段结合本工程特点进一步分析,初步设计阶段施工导流方案的最大难点在于:为了保证三期汛期上游水位不低于船闸最低通航水位 307.00 m,必须在三期一个枯期时段内将临时航道内的 16 个高 28.5 m 的泄洪闸闸墩浇筑完成,17 孔闸门安装完成并具备启闭条件,三期施工内容多、强度大、工期紧、难度大。

2.2 方案优化调整研究

实施阶段主要对临时航道右导墙位置、三期是否利用围堰挡水发电等方面进行深化研究^[1-4]。

1) 临时航道右导墙位置调整研究。结合施工期导流及通航模型试验,通过将临时航道右导墙左移,尽量减少临时航道内闸孔数和三期一枯施工内容,从而提高三期施工保证率。由于临时航道是通过开挖左侧河滩地形成,与上游主河道衔接不顺直,临时航道右导墙越偏离主河床、与上游河道水流衔接越不顺畅,当临时航道右导墙左移 6 孔泄洪闸时已完全偏离了主河道、衔接流态极差,临时航道右导墙左移孔数不超过 6 孔。

通过模型试验验证,左移 5 孔和 6 孔方案导致临

时航道宽度缩小较大,水流流态变差,对二期枯期施工通航影响很大;左移 3 孔方案临时航道内流态满足二期通航要求,但是,一期左岸纵向土石围堰围护临时航道左右导墙时,围堰侵占主河道较多,对主河道过流及通航条件影响较大;左移 4 孔方案一期左岸纵向土石围堰轴线与初步设计阶段保持一致,河道过流及通航条件与天然情况基本一致,综合导流、通航要求,推荐左移 4 孔方案。

2) 三期是否利用围堰挡水发电研究。若三期不利用围堰挡水发电,首批机组发电时间由第六年 2 月调整为 6 月,发电时间推迟 4 个月,该时段减少发电量 1.56 亿 kW·h,减少发电收益 2 425 万元;导流工程相应调整为取消三期上下游贝雷桥、降低三期上游围堰和临时航道右导墙高度,相应减少导流工程投资约 5 738.72 万元,减少导流工程投资大于发电效益损失,推荐三期不利用围堰挡水发电。

3) 其它。为最大程度改善施工期通航水流条件研究各导墙长度,取消临时航道左导墙下游临时段,并结合水工建筑物变化情况进行其它相应调整。

3 施工导流优化调整方案

根据实施阶段施工导流优化调整研究的内容,枢纽工程仍采用三期导流方案,优化调整方案施工导流布置见图 2,导流程序如下:

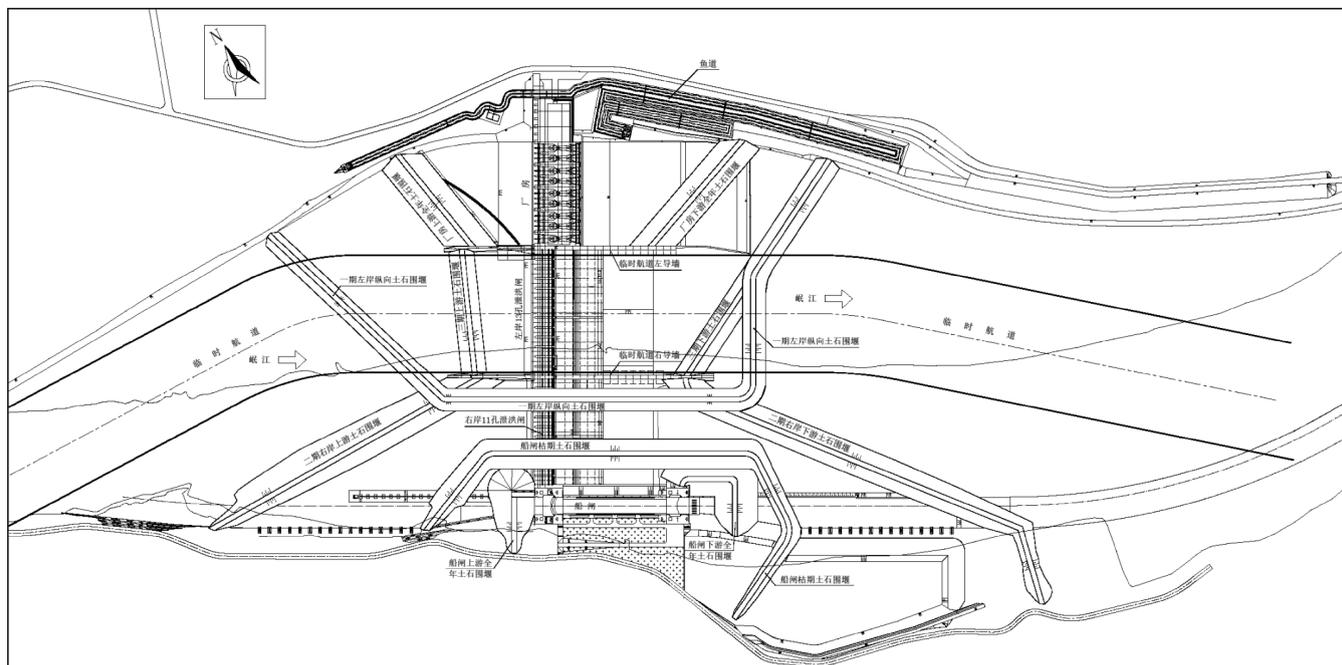


图 2 优化调整方案施工导流布置图

1)一期(第一年11月~第二年10月)主要进行左岸部分河床疏浚、临时航道内13孔泄洪闸底板和临时航道左右导墙施工。

一枯:利用左岸纵向土石围堰挡水,左岸部分河床疏浚至298.00 m,临时航道内13孔泄洪闸底板施工至296.00 m,临时航道左导墙施工至300.00 m,临时航道右导墙施工完成。右岸束窄河床过流、通航。导流标准采用5年重现期洪水,上游水位305.17 m,下游水位304.92 m;

一汛:左岸疏浚河床和原河床过流,右岸主河道通航。度汛标准采用5年重现期洪水,上游水位312.32 m,下游水位311.98 m。

2)二期(第二年11月~第五年10月)主要进行左岸厂房、右岸船闸和11孔泄洪闸施工。

一枯:左岸由左岸纵向土石围堰挡水,施工左岸厂房,临时航道左导墙、厂房上下游全年土石围堰和左岸河道疏浚施工完成;右岸由右岸船闸土石围堰挡水,施工船闸底板。左岸疏浚河床和右岸束窄河床过流,右岸主河道通航。导流标准采用10年重现期洪水,上游水位306.24 m,下游水位305.33 m;

一汛:利用临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,厂房继续施工。临时航道和右岸主河道过流,临时航道通航,度汛标准采用10年重现期洪水,上游水位313.54 m,下游水位313.38 m;

二枯:左岸由临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,厂房继续施工;右岸由临时航道右导墙和右岸上下游土石围堰挡水,施工船闸,右岸11孔泄洪闸底板施工至296.00 m,船闸上下游全年土石围堰施工完成。临时航道过流、通航。导流标准采用10年重现期洪水,上游水位306.04 m,下游水位305.24 m;

二汛:左岸由临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,右岸由船闸左侧墙和船闸上下游全年土石围堰挡水,厂房和船闸继续施工。临时航道和右岸11孔泄洪闸过流,临时航道通航。度汛标准采用10年重现期洪水,上游水位313.69 m,下游水位313.39 m;

三枯:左岸由临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,厂房继续施工;右岸由临时航道右导墙和右岸上下游土石围堰挡水,船闸继续施工,右岸11孔泄洪闸施工完成。临时航道过流、通航。导流标准采用10年重现期洪水,上游水位306.04 m,下游水位305.24 m;

三汛:左岸由临时航道左导墙和厂房上下游全年土石围堰挡水,厂房继续施工;右岸由船闸左侧墙和船闸上下游全年土石围堰挡水,船闸施工完成。临时航道和右岸11孔泄洪闸过流,临时航道通航。度汛标准采用20年重现期洪水,上游水位314.72 m,下游水位314.49 m。

3)三期(第五年11月~第七年3月)主要进行左岸厂房和临时航道内13孔泄洪闸施工。

第五年11月~第六年5月:利用临时航道左右导墙和三期上下游土石围堰挡水,临时航道内13孔泄洪闸施工完成。已完建11孔泄洪闸控制上游最低通航水位307.00 m,永久船闸通航。

第六年6月~第七年3月:6月初由泄洪闸挡水,水库开始蓄水,6月底,首批机组具备发电条件,第七年3月,机组全部安装完成并具备发电条件。已完建24孔泄洪闸过流,永久船闸通航。

4 导流方案比较

4.1 通航方面

两个方案施工期对通航都存在一定的影响,初步设计阶段和优化调整施工导流方案的施工期断航时间分别为165、164 d,优化调整方案仅对各期施工内容进行调整,方案调整对施工期通航影响不大。

4.2 工程投资方面

导流工程费用:临时航道左右导墙长度缩短,降低了顶高程;取消三期上下游贝雷桥,并对导流围堰布置及结构进行优化设计,优化调整方案节省投资约3 141.04万元。

发电效益:优化调整方案不利用三期围堰挡水发电,首批机组发电时间由第六年2月调整为第六年6月,发电时间推迟4个月,减少发电效益约2 425万元。

综合比较,导流工程减少费用比发电效益损失多716.04万元,相对于工程总投资有利。

4.3 施工强度方面

两个方案施工总工期均为65个月,初步设计方案三期一个枯期时段施工17孔泄洪闸,施工强度较大,工期紧、任务重,优化调整方案将临时航道右导墙向左移4孔泄洪闸,三期一枯时段施工13孔泄洪闸,施工强度降低。

(下转第35页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.006

溪洛渡水电站上游近坝库段桥湾变形体 滑落影响分析及应急处置措施探讨

张鹏, 赵培朋

(中国长江电力股份有限公司, 四川成都 610041)

摘要:以溪洛渡水库上游永善县雪柏村桥湾变形体为例,通过对变形体监测点合理布置、变形体监测点顺河向、垂直河向及测点竖向沉降位移等监测资料的系统分析,采用潘家铮法对桥湾变形体坠落进行涌浪估算与分析其影响,据此提出了相应的应急处置措施,以探索水电站在应对近坝段库岸滑坡类灾害程度预估与有效性的解决措施。

关键词:水电站;近坝库岸滑坡;涌浪估算;应急处置

中图分类号:TV139.2⁺3

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)06-0017-07

On the Potential Consequences and Emergency Treatment of Qiaowan Landslide near the Dam in Upstream of Xiluodu Reservoir

ZHANG Peng, ZHAO Peipeng

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

Abstract: The potential consequences of Qiaowan landslide near the dam in upstream of Xiluodu Reservoir are analyzed. Firstly, deformation monitoring data of the landslide body are investigated including the parallel and transverse displacements and vertical settlement. Then, the potential landslide surge and its impact are estimated using Panjiazheng Method. Corresponding emergency treatment measures are then proposed. It provides useful reference for the impact estimation and emergency treatment of landslide disasters near the dam in hydropower stations.

Key words: hydropower station; reservoir bank landslide near dam; estimation of landslide surge; emergency treatment

近年来国内一大批巨型、大型水电工程修建在地震烈度高、峡谷岸坡表变改造强烈、岩性及构造复杂的河段上,直接或间接地受到高速滑坡的威胁^[1],这些高速滑动的滑坡体,会在库区内引起巨大的涌浪,涌浪不但会对航行船只造成严重威胁,而且还会冲毁库区的水工建筑物,也会对沿岸居民的生命财产造成不可估量的伤害^[2]。目前对于库岸滑坡涌浪高度的测算有多种经典的估算方法^[3],如Edward Node计算方法、潘家铮方法、水科院经验公式法等,但对此类突发事件的应急处置措施相对较少,及时正确有效的处置,则可最大限度地减少人员伤亡和财产损失^[4]。本文采用潘家铮法估算桥湾变形体滑落后的涌浪高度并分析其影响范围,提出应对水电站近坝库段滑坡类灾害的应急处置措施。

1 桥湾变形体概况

溪洛渡水电站坝址位于四川省雷波县和云南省永善县交界的金沙江峡谷段,河谷狭窄,山高谷深,其地震基本烈度Ⅷ度。大坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程610 m,水库正常蓄水位600.00 m,死水位540.00 m,汛期防洪限制水位560 m,总库容126.7亿m³,调节库容64.6亿m³,具有不完全年调节能力。溪洛渡水电站总装机容量13 860 MW,左右岸电站各安装9台700 MW水轮发电机组,额定水头186 m,工程开发任务以发电为主,是兼顾防洪、拦沙、改善库区及下游航运条件等的综合水电工程。

2016年7月永善地区连续出现暴雨,同年8月2日在永善县溪洛渡镇雪柏村桥湾村民小组境内永—昭公路外侧,出现拉裂变形现象,呈长条形展布于永—昭

收稿日期:2019-12-22

作者简介:张鹏,男,工程师,主要从事水电站调度运行方面的工作。

公路外侧至基岩陡壁之间,高程大致在 1 100 ~ 1 180 m,变形体长约 200 m,宽约 30 ~ 50 m,厚 15 ~ 30 m,总方量约 8.2 万 m³。距下游马家河坝、黄桷堡码头河道里程约 3.8 km,距下游溪洛渡大坝河道里程约 7 km,高出水库正常蓄水位 500 ~ 600 m。变形体与溪洛渡工程枢纽区的关系如图 1。



图 1 变形体与溪洛渡水电站的关系图

2 监测情况

2.1 区域气象条件

变形体区域地势高差悬殊,气候垂直变化显著。河谷干热,高山阴冷潮湿,属典型的亚热带气候区。据永善气象站、雷波气象站资料,多年平均气温 12.0 ~ 19.7℃,极端最高气温 34 ~ 41℃,出现在 6 ~ 8 月;极端最低气温 0.3℃,出现在 12 ~ 1 月,全年无霜冻现象。区内多年平均降雨量 586.3 ~ 851.2 mm,主要集中在 4 ~ 10 月,占全年的 90.37 ~ 96.55%,暴雨多集中在 6、7、8 月,最大日降雨量可达 100 mm。多年平均蒸发量 2 139 mm,多年平均相对湿度 67%。

2.2 桥湾变形体监测点布置情况

2016 年 8 月开始,中国长江三峡集团公司向溪建设部对桥湾滑坡开展了表面变形监测和垂直位移监测工作。根据滑坡形状、地形地貌和变形程度差异等特征布置监测点,见图 2。

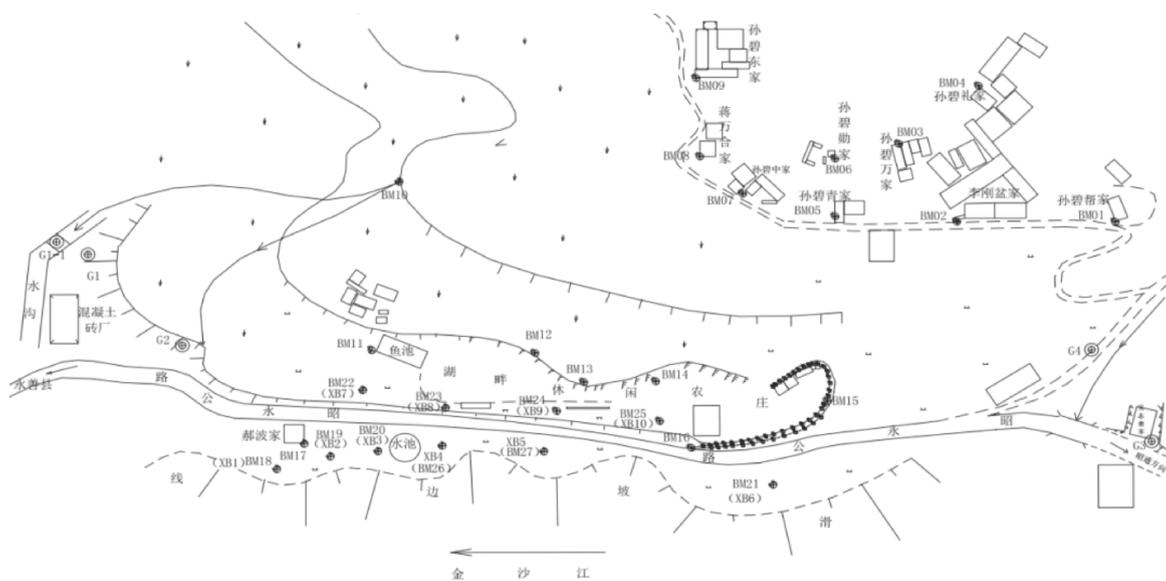


图 2 桥湾变形体监测点布置图

表面变形监测点分两层布设,永—昭公路以下滑坡体前缘 1 100 ~ 1 132 m 高程布设 6 个点 (XB1 ~ XB6),永—昭公路以上 1 135 ~ 1 150 m 高程布设 7 个点 (XB7 ~ XB13),共 13 个监测点。垂直位移监测布置 27 个精密水准测点 (BM01 ~ BM27),监测点分别布置在次级桥湾滑坡的前缘、顶部和后缘,其中 10 个监测点布设与表面变形监测点重合,见表 1 ~ 表 3。

表 1 永—昭公路以下滑坡体前缘位移监测点布置表

测点编号	测点位置
BM17	永—昭公路以下郝波家房屋地基
BM18(XB1)	永—昭公路以下的滑坡前缘
BM19(XB2)	永—昭公路以下的滑坡前缘
BM20(XB3)	永—昭公路以下的滑坡前缘
BM21(XB6)	永—昭公路以下的滑坡前缘
BM26(XB4)	永—昭公路以下的滑坡前缘
BM27(XB5)	永—昭公路以下的滑坡前缘

表2 永-昭公路以上滑坡体位移监测点布置表

测点编号	测点位置
BM25(XB10)	永-昭公路以上,湖畔休闲农庄耕地
BM24(XB9)	永-昭公路以上,湖畔休闲农庄耕地
BM23(XB8)	永-昭公路以上,湖畔休闲农庄耕地
BM22(XB7)	永-昭公路以上,湖畔休闲农庄耕地
BM16	湖畔休闲农庄浆砌石挡墙底部
BM15	湖畔休闲农庄浆砌石挡墙底部
BM14	湖畔休闲农庄后部排水沟
BM13	湖畔休闲农庄后坡稻田内
BM12	湖畔休闲农庄后坡稻田内
BM11	湖畔休闲农庄渔池旁

表3 滑坡体后缘位移监测点布置表

测点编号	测点位置
BM10	孙家湾稻田排水沟
BM09	孙碧东家房屋地基
BM08	蒋万合家房屋地基
BM07	孙碧忠家房屋地基
BM06	孙碧勋家房屋地基
BM05	孙碧清家房屋地基
BM04	孙碧礼家房屋地基
BM03	孙碧万家房屋地基
BM02	李刚盆家房屋地基
BM01	孙碧邦家房屋地基

2.3 桥湾变形体监测情况

对变形体自2016年8月18日至2017年5月12日共计268 d的主要监测点(XB1~XB6)数据分析,监测数据表明(图3~图6):横河X方向变形量32.7~73.3 mm,显示向河谷方向变形,日变形速率0.12~0.27 mm/d。顺河Y方向变形量-10.6~-29.3 mm,显示向上游方向的变形,变形速率0.05~0.11 mm/d。沉降变形(H方向)是15.7~56.5 mm,变形速率0.06~0.21 mm/d;精密水准测量垂直位移量为10.22~35.25 mm,速率为0.03~1.57 mm/d。合位移是43.91~78.57 mm,变形倾伏角37~45°,变形方向为斜向金沙江上游70~80°,合位移速率为0.16~0.29 mm/d。

结合地质调查表明,永善古滑坡解体后形成次级

桥湾滑坡,次级桥湾滑坡底滑面以5°倾角缓倾山内,堆积厚度前薄后厚,滑坡的堆积形态有利于滑坡的稳定,桥湾次级滑坡在天然状态下整体稳定性好,产生大规模整体性的滑动可能性较小。

永—昭公路以下的滑坡前缘稳定性相对较差,桥湾变形体即为永—昭公路外侧桥湾次级滑坡前缘的局部变形,表现为长约200m的拉裂缝和小规模的塌滑现象。目前,永善县政府已在永—昭公路靠江侧布置多根抗滑桩。

永—昭公路以上的变形主要表现为房屋和硬化的砼路面开裂,裂缝宽一般0.2~2.0 cm,说明滑坡的变形程度有限。高程1130 m以上为缓坡平台,平均坡度约10~20°,坡面上分布农田和居民点,示意图见图7。

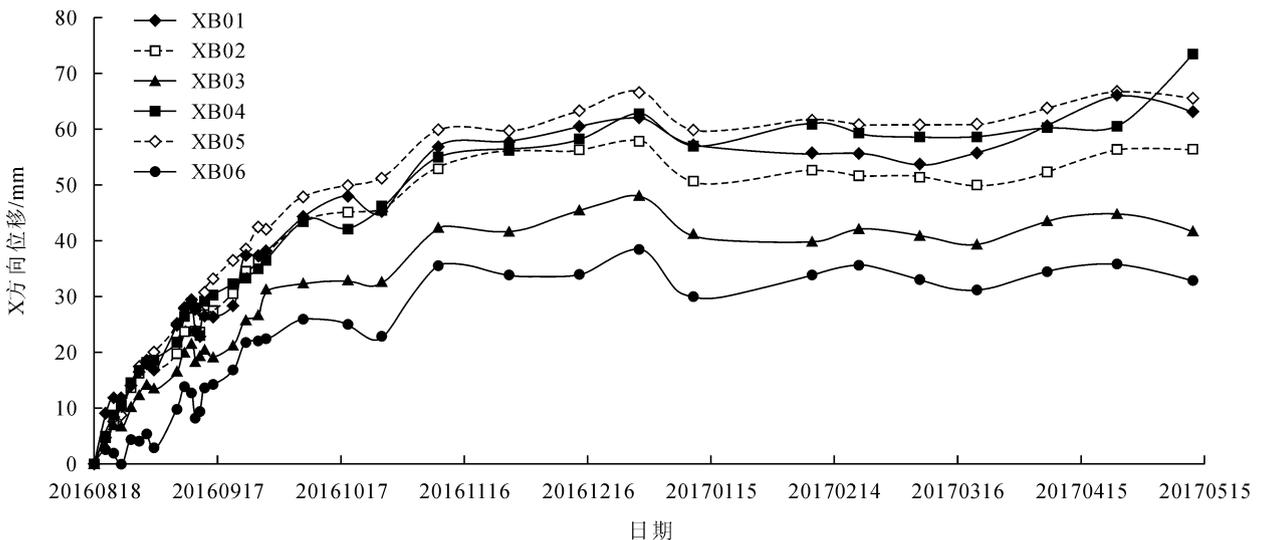


图3 桥湾变形体X方向(横河)位移曲线图

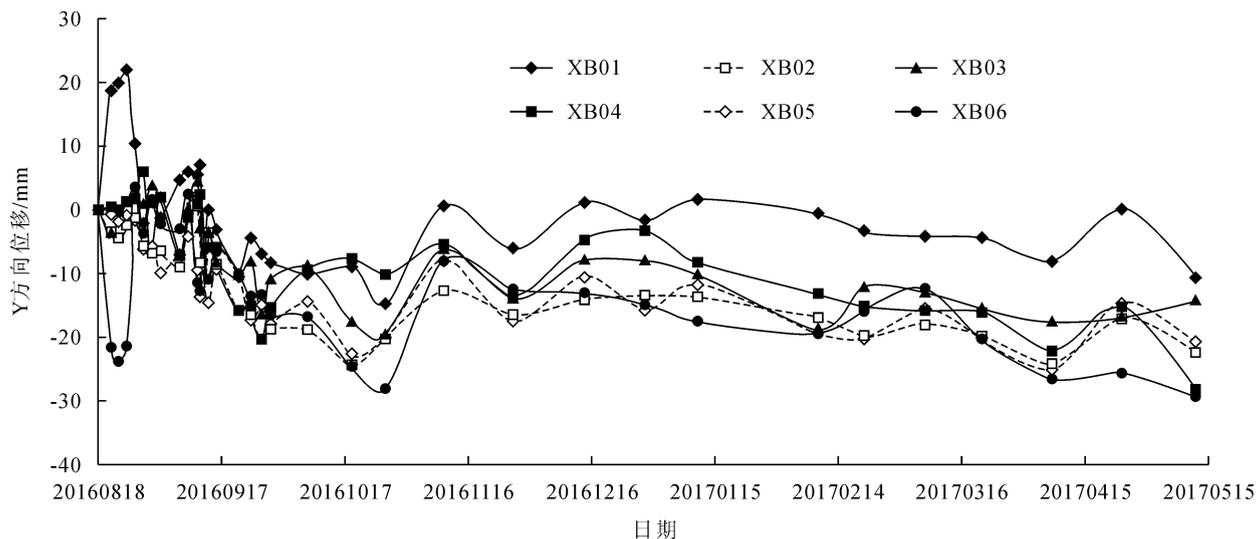


图4 桥湾变形体 Y 方向(顺河)位移曲线图

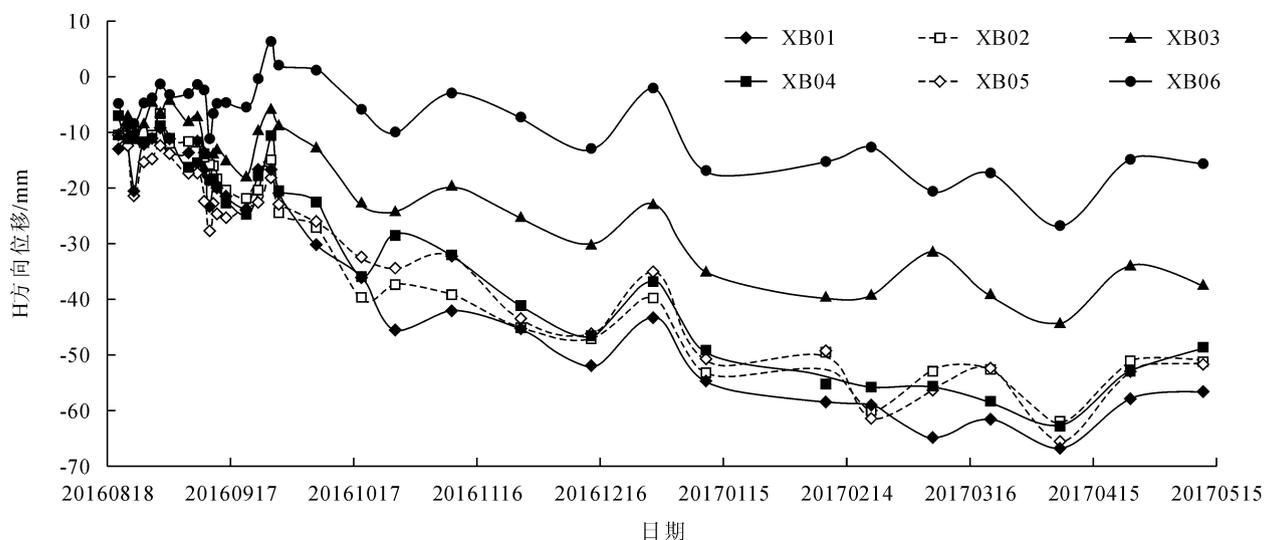


图5 桥湾变形体 H 方向(沉降)位移曲线图

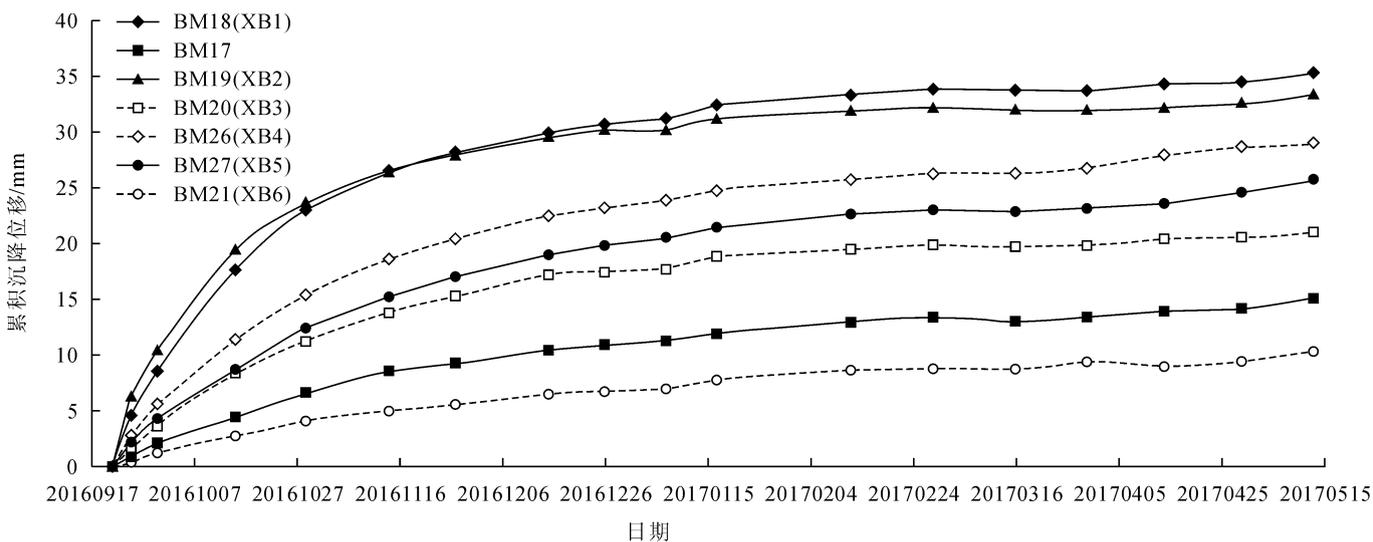


图6 桥湾变形体精密水准测点沉降位移曲线图

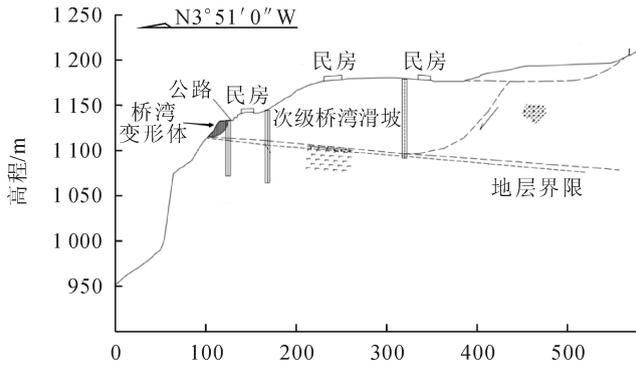


图7 桥湾变形体与次级桥湾滑坡体示意图

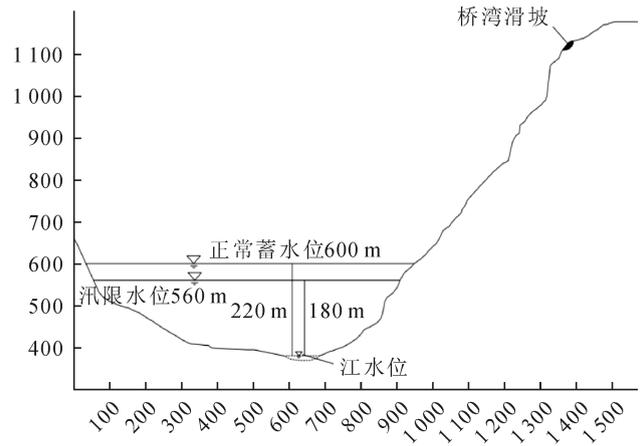


图8 滑速估算示意图

3 桥湾变形体失稳涌浪估算

变形体失稳入库产生的涌浪高度除受滑速、失稳体积、水深等因素影响外,涌浪的形成还受水库地形、库面宽度、失稳持续时间等因素的影响,尤其在山区峡谷型水库更为显著。此外,涌浪在传播过程中,还要受到河道形态、往返的折射波群的相互干扰或迭加等因素的影响,这使得涌浪估算问题变得十分复杂。为了简化计算,忽略边界条件的非线性影响,按照最不利条件下桥湾变形体整体失稳,采用潘家铮方法^[5]进行涌浪估算。

3.1 滑速估算

采用能量法进行滑速估算,滑体沿滑面下滑后的滑速(V_s)估算公式为:

$$V_s = \sqrt{1 - \frac{f}{\tan\alpha} - \frac{cL}{W \cdot \sin\alpha}} \cdot \sqrt{2gH} \quad (1)$$

式中: α 为滑面倾角(沿滑动方向); W 为滑体单宽重量,N; f 为滑面抗剪强度参数内摩擦角, $^\circ$; c 为滑面抗剪强度参数黏聚力,kPa; L 为滑体与滑面接触面长度(沿滑动方向),m; H 为滑体质心落差,m; g 为常量,一般取9.8 N/kg。

滑速计算考虑正常蓄水位600 m和防洪限制水位560 m两种工况,其计算参数见图8、表4。

经计算,在正常蓄水位600 m和防洪限制水位560 m条件下的滑速分别为79.8 m/s和82.8 m/s。

3.2 涌浪高度估算

滑体进入水库,涌浪至对岸最高涌浪估算公式为:

$$\frac{\xi_0}{h} = (1.17 - 0.00189\beta) \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (2)$$

$$\xi_{\max} = \frac{2\xi_0}{\pi} (1+k) \sum_{n=1,3,5,\dots}^n$$

$$\left\{ k^{2(n-1)} \ln \left[\frac{l}{(2n-1)B} + \sqrt{1 + \left(\frac{l}{(2n-1)B} \right)^2} \right] \right\} \quad (3)$$

表4 桥湾变形体滑速及涌浪计算参数表

库水位 /m	水深 /m	滑体重量 /kN	水面宽 /m	滑距 /m	坡面倾角/ $^\circ$	内摩擦角/ $^\circ$	黏聚力 /kpa
600	220	5 217	915	656	51	17~21	12~14
560	180	5 217	855	712	51	17~21	12~14

式中: β 为滑体入水角度, $^\circ$; ξ_0 为初始波高,m; h 为水深,m; k 为波的反射系数,在求对岸最高涌浪时, k 可近似取1; B 为滑坡处水面宽度,m; L 为滑体体长,m; l 为滑体半长,m; g 为常量,一般取9.8 N/kg; Σ 为级数求和,该级数的项数取决于滑坡历时 T 及涌浪从本案传播到对岸需时 $\Delta t = B/c$ 之比。如果 L/B 不是太大,级数中采用的项数如表5所示。

表5 级数采用项数表

$T/\Delta t$	1~3	3~5	5~7	7~9
项数	1	2	3	4

波速 c 按下式计算:

$$c = \sqrt{gh} \cdot \sqrt{1 + 1.5 \frac{\xi}{h} + 0.5 \frac{\xi^2}{h^2}} \quad (4)$$

计算结果为,正常蓄水位600 m和防洪限制水位560 m条件下到达对岸的涌浪高度为31.55 m和23.12 m。

涌浪至下游马家河坝、黄桷堡码头和大坝的涌浪高度估算公式为:

$$\xi = \frac{\xi_0}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^n (1 + k \cos\theta_n) k^{n-1}$$

$$\ln \left[\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{nB}{x_0 - L}\right)^2} - 1}{\frac{x_0}{x_0 - L} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{nB}{x_0}\right)^2} - 1 \right\}} \right] \quad (5)$$

式中： n 为计算项数； x_0 为滑体最远处至计算点（码头、大坝）距离， m ； θ_n 为传到大坝的第 n 次入射线与岸坡法线的交角， m 。

式中 n 为 1 项，取 $n=1$ ， x_0 为至马家河坝、黄桷堡码头和大坝的距离，分别为 3 800 m 和 7 000 m。

计算结果：600 m 正常蓄水位时，涌浪到达马家河坝、黄桷堡码头的高度为 4.68 m，到达大坝的涌浪高度为 2.34 m（高程 602.34 m）；560 m 汛限水位时，涌浪到达马家河坝、黄桷堡码头的高度为 3.18 m，到达大坝的涌浪高度为 1.60 m（高程 561.60 m）。

变形体下部基岩地形 45 ~ 50°，局部较陡，斜坡上分布有二级小的缓坡。从地质剖面图可以看出，变形体外边缘（高程 1 100 m）至金沙江边（高程 600 m）高差 500 m，水平距离达到 410 m。据现场地质条件和地形地貌分析判断，变形体外边缘距江边较远，且其主要由黏聚力不大的块碎石土组成，产生一次性整体下滑到江中的可能性不大。即使是整个变形体进入初期滑动状态，然而从自然坡面状态及岩土体自身物理力学强度的角度考虑，由于地形起伏的影响，加之落差较大，故在滑动的过程中必然会伴随与坡面碰击所产生岩土体解体，从而形成坡面溜滑状态，局部可能会形成具有一定程度整体性的小体积溜滑体，其最终入水速度必然大大降低。最大涌浪高度势必会降低，且涌浪向下游衰减较快，对溪洛渡工程影响不大。

4 涌浪影响分析

桥湾变形体与溪洛渡工程位置平面示意图如图 9，永善县溪洛镇雪柏村受桥湾变形体影响的居民住户近 30 户，涉及人口少于 300 人，变形体产生滑动主要影响对象是变形体周边民房、农田和昭永公路，以及金

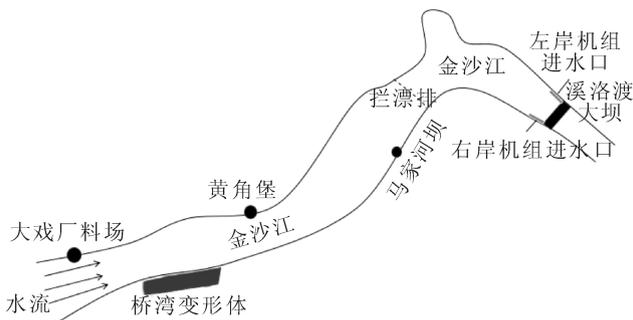


图 9 桥湾变形体与溪洛渡工程位置平面示意图

沙江上行驶的船只、养殖网箱以及落点两岸水面上高度 50 m 范围内的人类活动，同时由于变形体距溪洛渡大坝枢纽、右岸马家河坝码头和左岸黄桷堡码头等较近，对溪洛渡工程警戒线管理范围内临江作业、清漂作业、趸船运行和维护作业、沿江交通、机组负荷及大坝挡水建筑物和金属结构等产生一定的影响。具体表现为：

- 1) 警戒线范围外造成地方江面过往船只及船上人员、养殖网箱及作业人员、大戏厂码头建设设备及作业人员、临江耕作人员、临江捕鱼人员生命和财产损失。
- 2) 警戒线范围内造成坝前清漂设备及作业人员、趸船运行和维护作业人员、黄桷堡水文站和马家河水文站值守人员生命和财产损失。
- 3) 溪洛渡库水位 597 m 水位以上条件下，涌浪越过表孔闸门顶部（600.5 m 高程），造成表孔下方尾工作业人员、表面变形观测人员和坝后栈桥巡检人员生命和财产损失。
- 4) 经溪洛渡电厂测算，涌浪每增加 1m，单机出力增加约 4.3MW，坝前涌浪高度在 5 m 以内时，电站 AGC 系统会自动调节出力，注意避免引起电力系统相关断面越限和电力系统振荡，其它厂站设备影响不大。

5 处置措施

- 1) 在地方人民政府的统一领导下，成立应急组织机构，如图 10。



图 10 应急组织机构图

- 2) 当涌浪发生后，统计核实在公司警戒线管理范围内出现人员掉江失踪或伤亡的情况，并上报桥湾应急指挥部。开展自救、互救工作，并及时通报应急救援医院、武警等救援力量；对被困人员应根据实际情况，采取行之有效的施救方法，设法向被困人员输送饮用水、食品和药品。

- 3) 汇报国调、总调电站负荷波动情况，根据国调、总调命令决定是否减少全厂总负荷或主动申请减少左

岸、右岸电厂负荷,防止系统相关断面越限和系统振荡,确保电网安全。若有异常,按调度及运行规程等相关规定处置。

4)对电站进水口水工建筑物、大坝及表孔弧门、拦污栅、快速门进行详查安全检查,确认各挡水建筑物和金属结构在涌浪发生后的安全情况;如发生异常情况,立即根据现场情况制定抢修方案,开展相应抢修工作。

5)对拦漂排设施和清漂船进行检查,如拦漂排钢索因涌浪波速过大导致断裂,则须严密观察漂浮物和拦漂排浮箱的动态,预估其方量,研判是否会对机组进水口取水产生影响;如机组进水口前出现漂浮物聚集或造成拦污栅压差接近或超过0.3 m时,采用清漂船开展必要的清理工作,确保机组安全发电。

6)趸船发生倾覆或失控时,立即通知地方海事部门介入处理,并采取措​​施消除次生、衍生事故隐患;有漏油情况时,将漏油点堵住并将已漏的油料进行收集,防止发生污染环境事件,在应急处置过程中避免人员受伤或事故扩大。

7)对趸船船体结构、固定锚链钢锁、栈桥、连接桥等部件进行检查,确保设备处于稳定状态,防止事故事件继续扩大。

8)组织建立和完善通信、供电、交通运输、治安、物资、资金、工程抢险、专家现场技术指导等保障措施。

9)根据突发事件的发生、发展过程,信息发布组按照桥湾应急指挥部的授权和工作职责,组织有关部门迅速派员集中办公,进一步明确工作原则、对策和措施,全力做好新闻应急处置和舆论引导工作。

6 结语

1)桥湾变形体失稳破坏将产生水库涌浪,估算结

(上接第9页)

4 结语

3座电站通过创建绿色小水电站,基本实现了生态环境友好、节约资源、社会和谐、管理规范、经济合理的目标,不仅进一步提升了电站的规范化管理水平,电站周边更是出现了绿水青山的生态景象,为石家庄市今后开展绿色小水电创建工作奠定了坚实的基础。今后,将继续秉持“绿水青山就是金山银山”的理念,全

果为:溪洛渡正常蓄水库水位600 m时,涌浪到达对岸的高度为31.55 m,到达马家河坝、黄桷堡码头的高度为4.68 m,到达大坝的涌浪高度为2.34 m(高程602.34 m);库水位在汛限水位560 m时,涌浪到达对岸的高度为23.12 m,到达马家河坝、黄桷堡码头的高度为3.18 m,到达大坝的涌浪高度为1.60 m(高程561.60 m)。涌浪不会造成涌浪翻过坝顶的危险,对大坝区域水工建筑物的影响不大,对水轮机功率增幅较小。但对变形体周边民房、农田和昭永公路,以及金沙江上行驶的船只、养殖网箱以及落点两岸水面以上高度50 m范围内的人类活动,影响较大,可能造成永—昭公路及过往车辆、江面过往船只及船上人员、养殖网箱及作业人员、码头设备及作业人员、临江耕作人员、临江捕鱼人员的生命和财产损失。

2)针对目前水电站近坝库段发生滑坡的具体处置措施较少,本文具体给出了在应对水电站近坝库段发生此类突发事件方面的处置措施,尽可能地降低地质灾害后果,为水电站建设运行期发生类似突发事件的处置提供借鉴,提升水电站库区滑坡突发事件处置的正确性与及时性。

参考文献:

- [1]徐青. 水利水电工程滑坡稳定性研究及灾害评价[D]. 南京:河海大学,2005
- [2]汪洋. 水库库岸滑坡速度及其涌浪灾害研究[D]. 北京:中国地质大学,2005
- [3]岳书波,刁明军. 库岸滑坡涌浪首浪高度计算方法研究[J]. 人民长江,2017,48(18):56-60
- [4]彭雪辉,周克发,王晓航. 水库大坝突发事件应急预案编制关键技术[J]. 中国水利,2008(20):45-47
- [5]潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析[M]. 北京:中国水利出版社,1980

力打造一批“绿色、和谐、协调、开放、共享”的绿色小水电站,为建设美好家园、造福一方百姓作出贡献。

参考文献:

- [1]李娜. 河北省绿色小水电试点评价工作实践[J]. 小水电,2015(1):44-46
- [2]徐敬松,庞天强. 浅谈里石门水电站绿色小水电创建工作[J]. 小水电,2018(2):14-15
- [3]武喜军. 绿色小水电创建实践探讨[J]. 小水电,2016(2):34-36

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.007

江苏如东海域波浪数值模拟研究

刘功鹏^{1,2}, 孙晓娟²

(1. 水能资源利用关键技术湖南省重点实验室, 湖南长沙 410014;

2. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南长沙 410014)

摘要: 根据如东海域地形、波浪特点及验证点布置情况, 以如东海域的风速资料为基础, 依据风生浪的理论和计算方法推算风浪尺度, 采用 MIKE21 SW 数值模型对如东海域的设计波浪要素进行模拟和分析, 根据波浪验证点的要素对比来验证模型模拟的准确性和可靠性, 解决了因实测资料缺失导致传统方法无法计算的局限性, 并对计算方法和模型的适用性进行了探讨。计算成果作为基础性资料, 可广泛应用于海上风电领域的工程建(构)筑物的设计。

关键词: 如东; 波浪; MIKE21; 数值模型; 海上风电

中图分类号: P731.22

文献标志码: A

文章编号: 1671-3354(2020)06-0024-05

Numerical Simulation of Wind Induced Wave in Jiangsu Rudong Sea Area

LIU Gongpeng^{1,2}, SUN Xiaojuan²

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Key Technology on Hydropower Development, Changsha 10014, China;

2. Powerchina Zhongnan Engineering Corporation, Changsha 410014, China)

Abstract: Numerical simulation of wind induced wave is carried out for Jiangsu Rudong sea area. Based on the topography, wave characteristics and the wind speed data of Rudong sea area, the wind wave scale is calculated according to the wind induced wave theory. The design parameters of the wave are analyzed by using the MIKE21 SW model. The accuracy and reliability of the model are verified by comparing with the actual measured data. The applicability of the model and the calculation method is also discussed. It overcomes the limitation of the traditional method that cannot be used when measured data is lacking. The results could provide basic information for the design of offshore wind power structures.

Key words: Rudong sea area; wave; MIKE21; numerical model; offshore wind power

经过多年的发展,世界海上风电技术日趋成熟,已进入大规模开发阶段,但中国还处于起步阶段,有着巨大的发展空间。如东县为江苏省风电开发较早的地区,海上风电的开发利用走在全国前列,通过如东海域的波浪数值模拟研究,掌握如东海域在极端天气情况下的波浪分布情况,将对如东海域的海上风电的开发提供可靠的技术支撑,进一步推动海上风电的开发利用。

波浪模拟用来计算河口、海湾、海岸及海洋工程的设计波浪,特别是缺乏现场波浪资料的海域。当前海上风电多位于未开发的偏僻海域,缺少多年波浪观测

资料,难以直接推算设计波浪,须通过波浪模拟的方法,推求工程海域的波浪要素。MIKE21 模型作为国际上应用广泛的商业模型,可用于模拟海上风电的波浪、水流、泥沙等环境,为工程设计提供完整、精确的设计条件和参数,在波浪数值模拟方面具有强大的功能和丰富的经验,能满足设计要求。

本文基于 MIKE21 软件,采用波浪数值模拟研究手段,建立了如东海域波浪数值模型,根据现场实测资料对模型进行充分验证的基础上,对该海域的波浪场进行数值模拟,掌握该海域的极端情况下的波浪分布情况。

收稿日期: 2019-12-31

作者简介: 刘功鹏,男,工程师,主要从事海工结构设计和海洋水文分析工作。

1 计算方法和模型

1.1 计算方法

运用 MIKE21 SW 波浪数值模型计算本工程区域的设计波要素,SW 模型是基于非结构网格的新一代风浪谱模型,可以用于计算风浪、涌浪的成长、衰减和传播;而且可以考虑近岸海底地形和建筑物引起的波浪绕射和反射效应,基本上可以满足局部区域波浪计算精度的要求^[1-2]。

综合各验证点地理位置和资料情况,由于如东海域风浪为主,故研究区域采用风速资料进行风浪计算的方法。在整个如东海域建立大范围风浪成长传播数学模型,利用如东海域设计风速推求在极端天气情况下的如东外海深水波要素,通过与各验证点的统计值进行比较、率定,进而计算出整个如东海域的设计波要素^[3]。

1.2 模型简介

丹麦水利研究所(DHI)开发的 MIKE21 软件^[4]中的 SW 浅水波浪数值模拟模块,主要适用于近海、海岸以及港口结构物的设计过程中不同历史条件下的波浪情况的后报,也适合于对大范围或者局部区域的波浪进行预报和分析^[5]。

MIKE 21 SW 基于波作用^[6]守恒方程,MIKE21 - SW 在球坐标下的基本平衡方程为类似的形式如下:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \phi} c_{\phi} N + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_{\lambda} N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_{\sigma} N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_{\theta} N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

式中为各个特征传播速度项和净源项。

MIKE21 SW 的净源项表达式为:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (2)$$

其中, S_{surf} 表示水深引起的波浪破碎; S_{in} 表示风-波相互作用项; S_{nl} 表示非线性波-波相互作用项; S_{ds} 表示耗散项; S_{bot} 表示底摩擦项^[7,2]。

1.3 参数设置

模型从满足如东海域的波浪计算需要出发,模型计算的范围以东经 120°46.2' 北纬 32°30.3' 为原点,向东延伸 170 km,向北延伸 100 km,模型采用三角形网格,一般网格最大为 200 000 m²,网格数为 13 738,时间步长从 0.01 ~ 360 s 自动调节;加密网格(如东近海海域)最大为 50 000 m²,网格数为 7 038,时间步长从 0.01 ~ 360 s 自动调节,数学模型的开边界条件由中国近海潮汐潮流数学模型 Chinatide^[8]提供,其中潮位为 6.14 m(极端高水位)、3.93 m(设计高水位)。波浪破碎系数取值为 0.8,底摩擦类型为尼古拉兹砂粒糙率,

取值为 0.01 m,白浪取值为 4.5,初始条件中的公式类型为 JONSWAP fetch growth expression。

2 计算条件

2.1 计算风速

本模型目的是获得如东海域 50 年一遇高水位(即极端高水位)下的波浪要素,因此采用如东海上 10 m 高度重现期为 50 年的设计风速^[2],具体结果见表 1。

表 1 如东海上 10 m 高度重现期为 50 年的设计风速表

重现期 /a	计算风向/(m·s ⁻¹)		
	N ~ NNE	NE ~ ENE	E ~ ESE
50	31.6	32.2	33.3

2.2 深水设计波要素

深水波要素根据《海堤工程设计规范》^[9],采用莆田海堤试验站公式,计算确定重现期为 50 年的 N ~ NNE、NE ~ ENE、E ~ ESE 等方向的外海 30 m 等深线附近的深水波要素,结果见表 2。

表 2 计算风向的 30 m 等深线波浪要素表

重现期 /a	波要素	计算方向		
		N ~ NNE	NE ~ ENE	E ~ ESE
	\bar{H}/m	3.42	4.86	4.97
50	H_s/m	5.17	7.53	7.71
	\bar{T}/s	8.15	9.77	9.89

3 模型验证

为验证模型参数设置的准确性,模型共选了 8 个验证点,具体位置见图 1 和表 3。

在极端高水位和设计高水位下,采用模型分别计算重现期 50 年风速下的验证点的波浪要素,包括有效波高、平均周期,得到验证点的计算值。已收集到验证点波高、周期的原始数据,将验证点的原始数据通过数理统计,得到验证点的统计值,包括有效波高、平均周期。模型验证点的计算值和统计值的偏差情况见图 2 ~ 图 3。

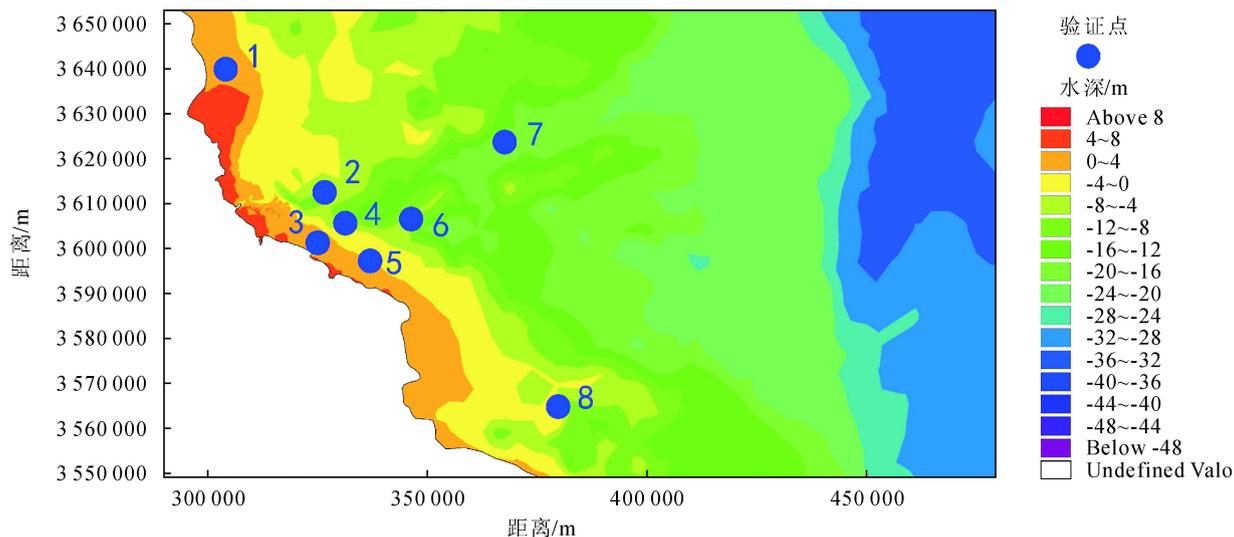
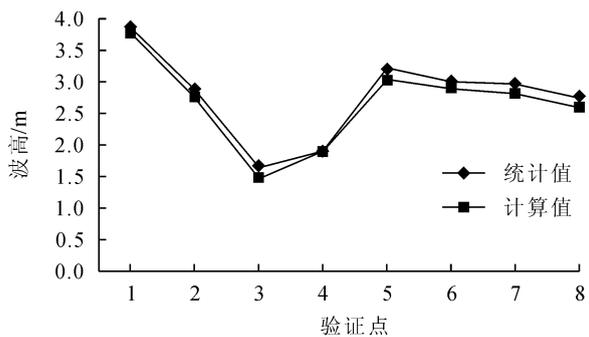


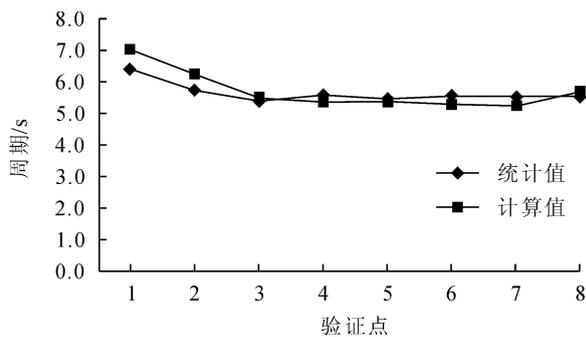
图1 波浪数值模型计算范围图

表3 验证点坐标表

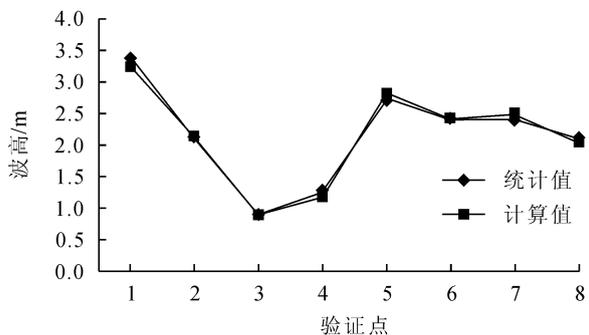
站号	北纬(°:' : ")	东经(°:' : ")	站号	北纬(°:' : ")	东经(°:' : ")
1	032:37:36.40	120:58:40.58	5	032:34:47.51	121:07:12.59
2	032:38:15.28	121:05:46.72	6	032:35:57.56	121:09:23.41
3	032:36:18.62	121:05:36.75	7	032:41:00.94	121:12:57.34
4	032:27:32.94	121:07:25.00	8	032:11:10.00	121:42:29.32



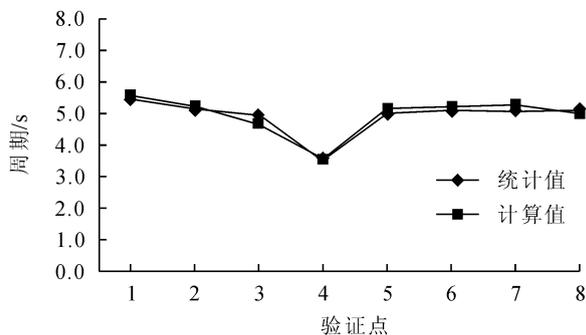
(a)极端高水位下有效波高统计值与计算值比较



(b)极端高水位下平均周期统计值与计算值比较

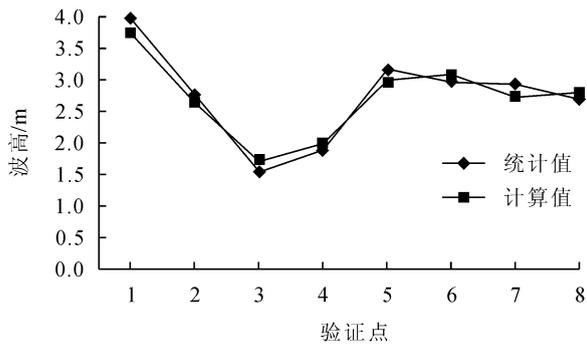


(c)设计高水位下有效波高统计值与计算值比较

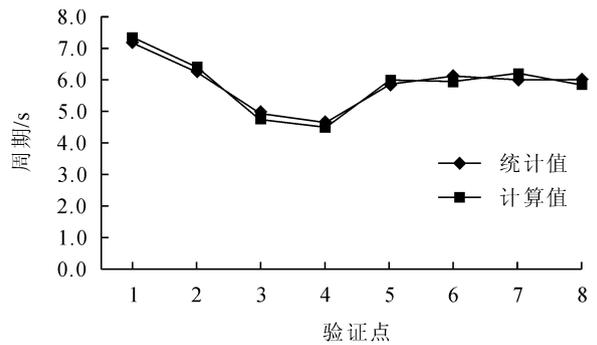


(d)设计高水位下平均周期统计值与计算值比较

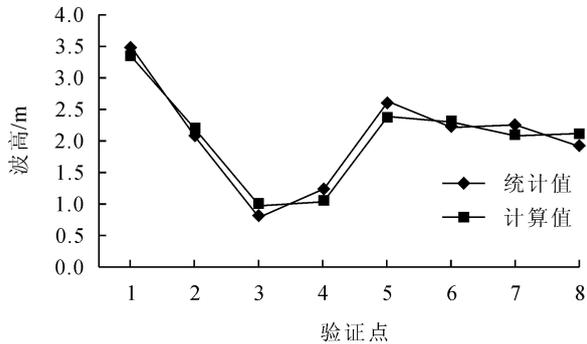
图2 模型内各验证点 N ~ NNE 向有效波高、平均周期统计值与计算值比较图



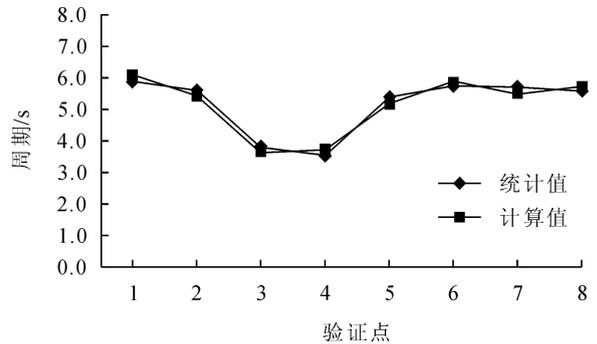
(a)极端高水位下有效波高统计值与计算值比较



(b)极端高水位下平均周期统计值与计算值比较



(c)设计高水位下有效波高统计值与计算值比较



(d)设计高水位下平均周期统计值与计算值比较

图3 模型内各验证点 NE ~ ENE 向有效波高、平均周期统计值与计算值比较图

通过对验证点的数据分析可知,有效波高的计算值与统计值基本一致,有效波高计算值与统计值的误差较小,范围在 10% 以内;平均周期计算值整体略大于统计值,但范围不超过 10%,由此认为模式计算得到的风电场海域波浪要素是合理的,出于安全考虑,保留较大的模拟周期。由结果可知,大部分时刻误差都控制得较好,在 5% 左右,个别时刻误差较大,达到 10%,总的来说计算值与统计值吻合较好^[7]。

有效波高、平均周期的计算值与统计值之间存在一定的偏差,但它们的大小及量级处在同一水平,整体变化趋势接近,偏差精度满足要求。故认为模型的适用性较好,本阶段模型的计算结果是合理、符合要求的^[7]。

4 计算结果

根据各验证点的资料对模型进行了验证,在模型

验证的基础上,对极端高水位情况下 N ~ NNE、NE ~ ENE 向的波浪场进行计算,这里选取 N ~ NNE 向有效波高和平均周期的计算结果进行分析,见图 4 ~ 图 5。

波浪数值模型结果表明:如东外海海域极端天气下的有效波高能达到 7.0 m 左右、平均周期达到 8.5 s 以上,近岸海域有效波高和平均周期受地形影响,有效波高只有 1.5 m、平均周期只有 3.0 s 甚至更小,反映出波浪从外海往近海传播,受海底地形、风速风向的影响,波浪发生一定的折减,海域波浪场的分布特征与风速风向、水深地形密切相关。波浪场在平面上的分布以及波浪在传播过程中波向随着水下地形的改变趋势是显著的,越靠近岸线水深变化显著的海域,等波高线越密集,岛屿链对波浪的掩蔽作用明显,在崎岖列岛波浪传播的后方形形成波浪的掩蔽区,波高比同一纬度的要小^[10]。

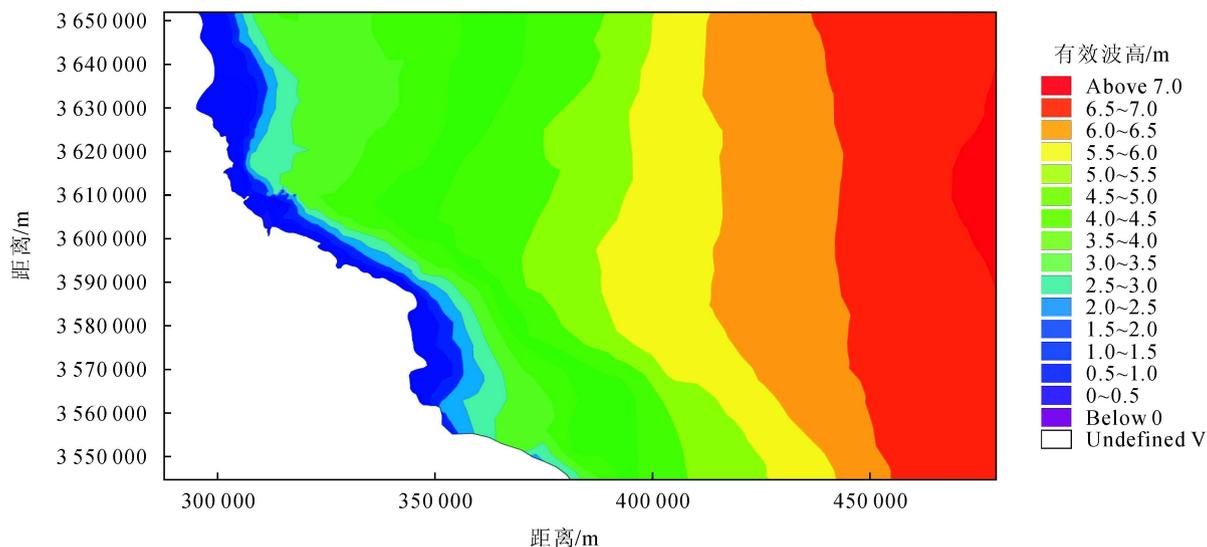


图4 如东海域极端高水位下N~NNE向有效波高分布图

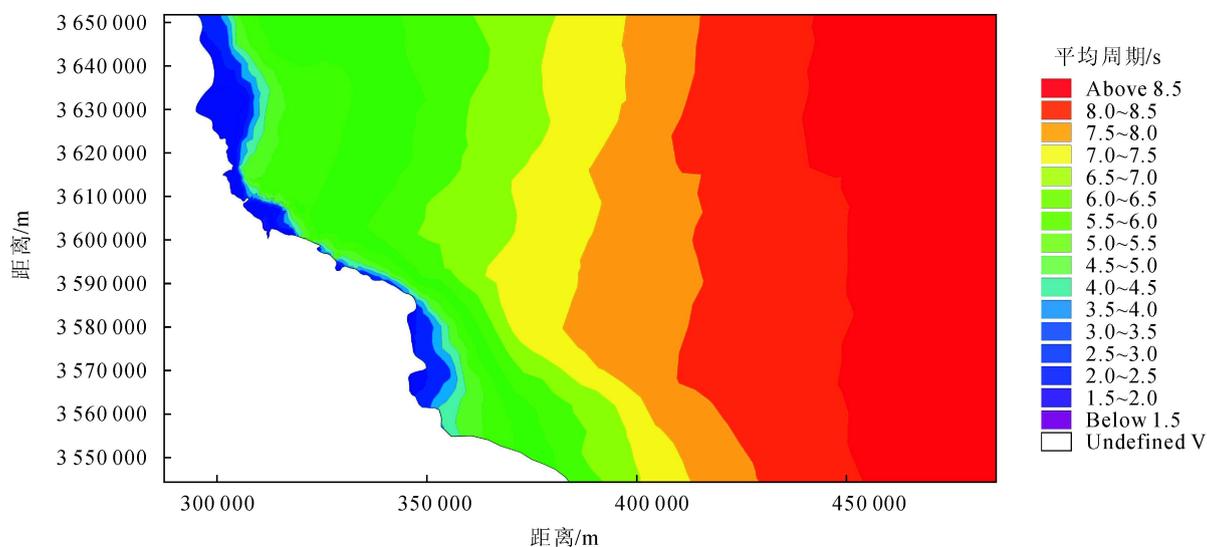


图5 如东海域极端高水位下N~NNE向平均周期分布图

5 结语

本文利用 MIKE21 软件的 SW 模块,对如东海域在极端天气情况下的波浪场进行模拟,本模型的波浪计算成果,可用于海上风电领域,对风机基础、海上升压站等结构设计提供可靠的参数,对由于海域没有海洋水文观测资料导致相关参数无法直接获取,提供了可靠、可行的计算方法,弥补资料的不足,具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 牛世奎, 殷丽, 盖明礼. 渤海南部海区风浪推算与分析[J]. 海岸工程, 1999, 18(3): 13-16
- [2] 孙晓帆. 海洋风浪模型在我国邻近海域的应用与对比[D]. 上海: 上海交通大学, 2011

- [3] 邱大洪. 工程水文学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011
- [4] 安永宁, 杨鲲, 王莹, 等. MIKE21 模型在海洋工程研究中的应用[J]. 海岸工程, 2013, 32(3): 1-10
- [5] 邱桔斐, 马越, 徐新华. 长江口外海域波浪场数值模拟[J]. 水运工程, 2011(10): 11-14
- [6] 孔令双, 戚定满, 万远扬, 等. 长江口海域波浪场模拟研究[J]. 水运工程, 2010(2): 46-49
- [7] 胡金春, 杨群, 黄世昌, 等. 杭州湾秦山水域设计波浪数值模拟[J]. 浙江水利科技, 2011(3): 15-16, 30
- [8] 李孟国, 郑敬云. 中国海域潮汐预报软件 Chinatide 的应用[J]. 水道港口, 2007, 28(1): 65-68
- [9] SL435-2008, 海堤工程设计规范[S]
- [10] 李瑞杰, 江森汇, 郑俊, 等. 日照港码头结构消浪的数值模拟[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2011, 39(2): 190-194

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.008

水布垭水电站庙王沟排洪沟综合治理

周云

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

摘要:分析水布垭水电站坝址区下游庙王沟排洪沟存在的主要问题,从设计、施工及管理维护三方面探讨了排水、防沙、消能防冲三方面的综合治理措施。经汛期检验,排洪沟的改造有效减弱了强降雨的不良影响,保证了电站工区道路的正常通行,提高了对坝址区下游护岸及弃渣场的稳定性。

关键词:水布垭水电站;排洪沟;综合治理

中图分类号:TV731 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)06-0029-03

Comprehensive Treatment of Miaowanggou Flood Discharge Ditch in Shuibuya Hydropower Station

ZHOU Yun

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

Abstract: The comprehensive treatment of Miaowanggou flood discharge ditch in Shuibuya Hydropower Station is introduced. Firstly, existing problems of the flood discharge ditch are analyzed. Then, treatment measures in the design, construction and management are proposed considering the water discharge, sediment control, and energy dissipation and erosion control issues. Practical operation of the flood discharge ditch during the flood season shows that the treatment is successful as it effectively reduces the adverse effects of heavy rainfalls, ensures the normal traffic of the roads in the work areas, and improves the stability of the revetment and the spoil area at the downstream of the dam site.

Key words: Shuibuya Hydropower Station; flood discharge ditch; comprehensive treatment

水布垭水电站位于清江中游河段巴东县境内,是清江梯级开发的龙头电站,正常蓄水位 400 m,总库容 45.8 亿 m³,电站装机 1 840 MW,系多年调节水库。水电站枢纽属于一等大(1)型工程,是世界上已经建成的最高混凝土面板堆石坝。主要水工建筑物由混凝土面板堆石坝、左岸溢洪道、右岸地下厂房、右岸放空洞以及两岸渗控工程等组成。

位于电站下游的庙王沟为坝区三大典型冲沟之一,距离坝址区约 3 km;庙王沟由中间凸出的山体及山体两侧的自然冲沟连接而成,上游侧冲沟顺接古树包滑坡体,下游侧冲沟毗邻瓦屋场滑坡体,地形呈“凸”槽状,流域总面积约 0.8 km²。庙王沟自然冲沟末端临近左岸 1 号公路与 3 号公路交叉口,交叉口临江侧为建设期的弃渣场,渣场稳定性弱;庙王沟排洪沟

的排水效果直接关系到渣场的稳定性与厂区工作人员及周边百姓的日常交通。

1 灾害发生情况

庙王沟覆盖层由风化的志留系砂岩、页岩等松散物堆积而成,水流渗透系数大,产流方式为超渗产流,表现为:“小雨无水、大雨有水、暴雨山洪”的特点。原排洪沟在短短数年内过流断面淤积堵塞严重,几乎完全丧失泄流能力。平水期、枯水期降雨量较小,其排水问题不易暴露;汛期遭遇强降雨时,水流无处可泄,1 号公路与 3 号公路交叉口积水严重,直接中断厂区工作人员与周边人民的日常交通。

2016 年 7 月 19 日 5 时~20 日 5 时,水布垭水电站坝址区在 24 h 之内遭遇百年一遇暴雨,水布垭雨量

收稿日期:2019-12-18

作者简介:周云,男,助理工程师,主要从事水电站大坝运行安全管理方面的工作。

站3、6、12、24 h降水量分别为64、84、132、160 mm^[1]。庙王沟最大1 h暴雨对应流量为6.46 m³/s,由于来水量超前,更兼庙王沟排水设施不到位,强降雨引发多种并发灾害,直接导致约2 000 m³冲积物堆积在1号公路,路面积水达1 m以上,引发交通中断;无处宣泄的水流往低处流,形成山洪将桥头干砌石护岸冲垮约3 200 m³。

2 问题分析

庙王沟排洪沟建于电站建设期,彼时建设重心主要放在水工枢纽建筑物上,排洪沟作为附属工程且距离坝址区较远,其规划建设未引起重视,排洪沟的平面布置和走向以迁就现状、节约资金为主,在设计方面考虑不长远,存在一定的局限性。设计简单、施工随意,管理不重视,外加环境因素,使得2016年庙王沟水毁事件成为必然。

2.1 设计问题

庙王沟排洪沟原设计方案为:在上、下游侧冲沟末端修建排洪沟,两条沟交汇于1号公路外侧,再通过箱涵横跨1号、3号公路至长淌河渣场将水排入清江。原设计方案主要存在4点问题:①设计流量不明确,设防标准不统一,主要表现在上游侧排洪沟与下游侧排洪沟尺寸相近,而2016年7月19日实测雨量显示上、下游侧冲沟最大1 h流量分别为4.44、2.02 m³/s;②未设置拦沙坎或集石坑,自然冲沟内的水流沿陡坡直泄而下并携带大量泥沙与石渣是导致排洪沟淤积堵塞的直接原因;③设计中不考虑后期淤积问题,排洪沟明渠与盖板涵错杂,致使后期清淤工作难以展开;④排水出口选择不合适,影响渣场边坡稳定性。

2.2 施工问题

施工问题主要是以下两点:①建设期开挖粗暴,对排洪沟内侧的边坡损坏大,极不稳定的覆盖层边坡受到了较大扰动;例如检查发现边坡垮塌,局部排洪沟全部被土壤覆盖;②施工弃渣随意堆放,检查发现盖板涵内的淤积物中有大量建设所用的石料,疑为建设期随意丢弃的石料。

2.3 管理问题

排洪沟是水电站重要的防洪设施,与地方政府未划清职责,运行期未纳入正常运行管理范围以内,无相关巡检制度。汛期多次出现的排水不畅,道路积水影响交通问题得不到重视,例如:每年汛期庙王沟1号、3号公路交叉口至少有3次以上会出现大面积积水,然

而这些现象都未及时引起重视又或是意识到问题但未及时采取治理措施。

管理弱化、责任不明确,主要体现在坝区公路及大部分土地已经移交地方政府,存在乱建行为,例如:1号公路的加油站建在庙王沟洪水影响范围以内,加油站的兴建以及后来的拆迁行为不可避免对庙王沟的排洪沟造成了严重影响。

2.4 环境因素

水布垭水电站位于鄂西暴雨区,多年平均降雨量为1 400 mm以上,一般6~9月份为雨季,其间时有暴雨发生。庙王沟自然冲沟地形陡峭,自然冲沟之间的山体地质情况恶劣,表层覆盖层约5~8 m,为风化的志留系砂、页岩崩、坡积堆积而成。汛期强降雨在庙王沟汇水范围内形成流量大、流速高的水流冲泄而下,携带大量泥沙与石渣,水流在盖板涵内流速骤减泥沙沉降,极易造成盖板涵堵塞。

3 综合治理

3.1 治理分析

结合庙王沟“小雨无水、大雨有水、暴雨山洪”,泥沙石渣含量高,过流断面易淤积等特点,以及边坡支护不到位的现状,确定庙王沟排洪沟的综合治理目标为“拦沙排水”。排洪沟在跨路段以外全部使用明渠并加以必要的消能工,自然冲沟末端设置拦沙坎并辅以人工清淤。治理原则如下:①切实可行,保证庙王沟的排水治理方案行之有效;②经济环保,揭开原盖板涵作为明渠利用,明渠平面布置最大限度减少对水电站绿化和交通的影响。

3.2 治理设计

庙王沟排水问题直接关系到电站交通,同时大量积水对左岸长淌河渣场的稳定性存在一定的影响,务必将水流引至长淌河渣场下游侧。为确保庙王沟的排水能力,在对水布垭水电站实时水文数据计算的基础上,采用全年100年一遇,洪峰流量为6.46 m³/s。

3.3 工程措施

在上、下游侧自然冲沟沟底依次设拦沙坎、消力池,再分别设明渠支沟1、支沟2连接消力池将水流汇至1号公路左侧,汇水处设置连接池,连接池同主沟相连,主沟以盖板涵形式横跨1号公路、3号公路及公路中间花坛,在顺3号公路右侧合适位置将水排入清江。庙王沟排洪沟平面布置图见图1。

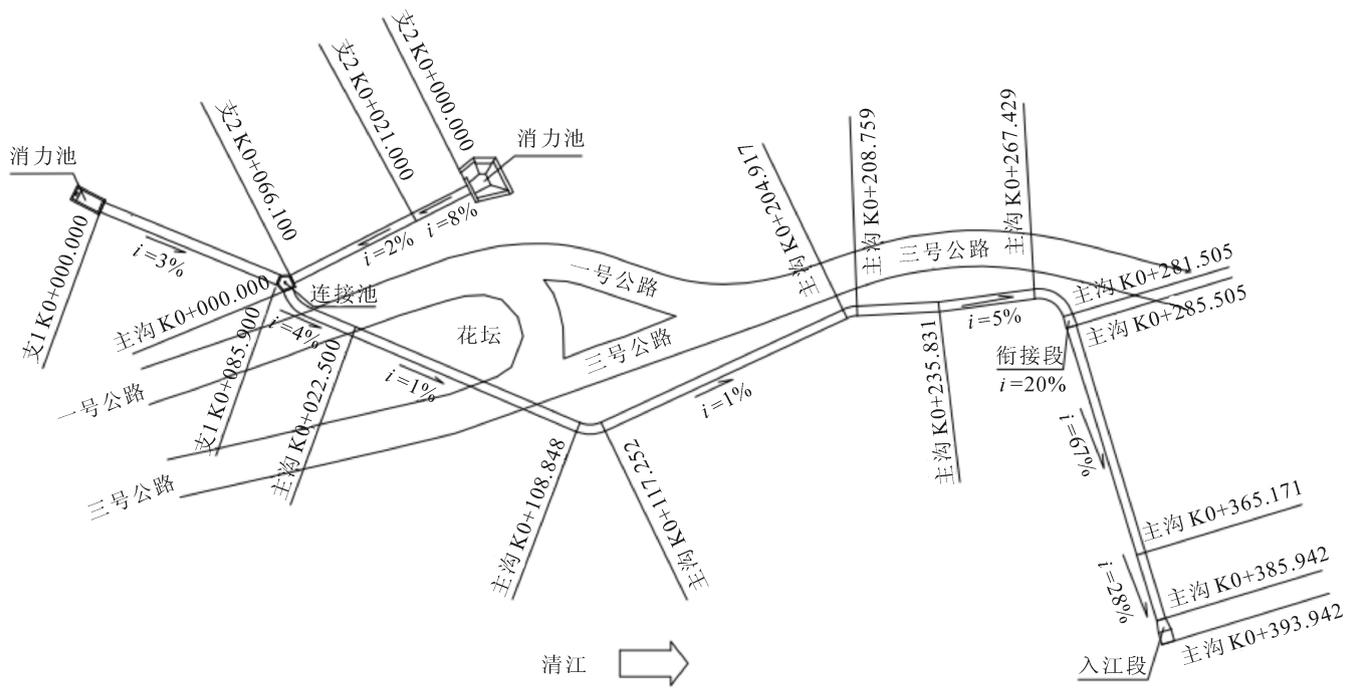


图1 庙王沟排洪沟平面布置示意图

3.3.1 排水设施

采用浆砌石砌筑支沟1、支沟2、主沟,过水断面使用 M10 砂浆抹面;支沟1、支沟2 起引水作用,负责将

上下游两条冲沟内的水流引入连接池,主沟起排水作用,负责将支沟1、支沟2 的水流排入清江河道。各排洪沟工程参数见表1。

表1 庙王沟各排洪沟工程参数表

名称	起始桩号	结束桩号	长度/m	断面尺寸
支沟1	K0+000.000	K0+066.100	66.1	矩形: $h \times b = 1.75 \text{ m} \times 1.9 \text{ m}$
支沟2	K0+000.000	K0+085.900	85.9	矩形: $h \times b = 2 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$
主沟(缓坡段)	K0+000.000	K0+281.505	281.505	矩形: $h \times b = 2 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$
主沟(过渡段)	K0+281.505	K0+285.505	4	矩形断面过渡至梯形断面
主沟(陡坡段)	K0+285.505	K0+385.942	100.437	梯形: $h \times b = 1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}, m = 1:0.3$

3.3.2 消能设施

自然冲沟末端与主沟陡坡段底部高差约 80 m,排水设施水位落差大、水流势能大,水流的动能若不能得到合理宣泄,势必会发生岸坡冲毁现象。为避免 2016 年护坡冲毁的情况再次发生,工程中采用了消力池与台阶式消能联合消能方式。

在支沟1、支沟2 与上、下游侧冲沟之间分别设1号、2号消力池,用以消除冲沟下泄的高速水流的动能。主沟的陡坡段落差 55 m,水位落差大,势能强,对沟底末端破坏性强。据相关资料显示:在泄水槽陡坡

结构相同,高度相同和下泄单宽流量一定的情况下,相比于斜坡式低流消能方式,台阶式消能能降低末端流速约 50%,水流减少能量约 70%^[2]。结合庙王沟排水工程规模小、水流单宽流量小的特点、消能设施采用了台阶式消能工。消能台阶尺寸 $h \times b = 0.3 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$, K0+285.505 ~ K0+365.171 区域, $i = 0.67$; K0+365.171 ~ K0+385.942 区域, $i = 0.28$ 。

3.3.3 治沙措施

在自然冲沟与消力池之间修建拦沙坎,以达到减小水流流速目的,主要拦截粒径较大的石渣。拦沙坎

(下转第 39 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.009

探析采石场松散体坡面两种治理措施的水土保持效益

洪浩

(安徽省金寨县水利局,安徽六安 237300)

摘要:通过某采石场松散体坡面治理措施的试验,对不同坡度标准径流小区在不同降雨条件下坡面不同水土处理方式的效果分析,初期采用坡面25°生态袋平铺比常规整地法让植被自然恢复的效果更好,随着治理时间延长,两种方法效果差别不大。植被覆盖度达到80%以上时,坡面具有较强的蓄洪保土能力,径流量和土壤流失较少,水土保持效果较好。

关键词:采石场;松散体坡面;治理措施;水土保持

中图分类号:S157.2

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)06-0032-04

On the Soil and Water Conservation Effects of Two Treatment Schemes for Loose Slope in a Quarry

HONG Hao

(Anhui Jinzhai Water Conservancy Bureau, Luán 237300, China)

Abstract: The soil and water conservation effects of different treatment schemes for the loose slope in a quarry are investigated. Based on the practical experience of loose slope treatment, standard runoff plot experiments are carried out to investigate the effects of two treatment schemes with different slopes and different rainfall conditions. The results show that the natural vegetation restoration effect of the scheme with ecological bags laid on the slope in 25° angle is better than that of the conventional land preparation scheme in the initial stage. While, with the extension of the treatment time, little difference is observed between the two schemes. When the vegetation coverage reaches more than 80%, the slope has a strong capacity of flood storage and soil conservation, and the runoff and soil loss are less, indicating a satisfactory soil and water conservation effect.

Key words: quarry; loose slope; treatment measures; soil and water conservation

随着我国建筑业不断发展,对石料的需求增长迅速,全国各地大量修建采石场进行石料开采,其中兴建的采石场多为中小规模,石料开采没有一定规划,开采技术落后,开采后不注重环境治理,导致石料开采量较低,石料厂周边水土自然环境遭到严重破坏,引起生物多样性锐减,对当地生态环境造成严重不良影响。近几年,我国对环境治理力度不断加大,不断取缔不符合规定的中小采石场,并加大对采石场松散体坡面的治理工作。本文将某山区建设工程损毁林地采石场作为试验区开展坡面径流量及径流泥沙含量监测,详细记录试验山区土壤、降雨量、植被生长信息,对比分析针对不同坡度、不同季节、不同降雨量的水土保持治理

措施。

1 试验山区概况和试验研究方法

1.1 试验山区概况

该试验选择某典型北方土石山区建设工程损毁林地采石场开展试验研究,该试验山区属于暖温带半湿润、半干旱的大陆性季风气候,年平均气温在10~12℃之间,年平均降雨量645.2 mm,降水季节分布不均匀,冬季(12~2月)平均降水量10.6 mm(1.6%),春季(3~5月)平均降水量65.7 mm(10.1%),夏季(6~8月)平均降水量485.0 mm(74.9%)。此试验

收稿日期:2019-12-25

作者简介:洪浩,男,工程师,从事水利工程勘测、规划、设计、施工、科研和管理方面的工作。

区四季较为分明,春秋季节干旱多风,夏季炎热多雨,冬季干燥寒冷。该地区采石场始建于上世纪60年代,对此试验山区进行地质勘测发现,总开采面积达到 10.73 km^2 ,近十几年开采严重,山体遭到很大程度破坏,废弃土石随意堆放。在夏季多雨季节,山体滑坡时有发生,该地区山势较高且比较陡峭,由于夏季降水集中,导致该地区水土流失比较严重。该地区地表植物破坏严重,树木被大量砍伐,表土剥离情况严重山体裸露处较多,给当地居民带来很大的安全隐患。

1.2 试验研究方法

本文依据阶梯整形覆土绿化方法研究采石场植被分布规律及土壤分异特性,分析不同坡度、不同季节、不同降雨量的水土保持治理措施的治理效果,设置不同坡度标准径流小区(长 \times 宽为 $5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$,长边为顺坡方向),坡度分别设置为 20° 、 25° 、 30° 、 35° 四种坡型,坡向分别为东北(EN)、正西(W)、东南(ES)、正北(N)四个方向,具体设计要求见表1。在小区之间设置隔板,隔板材料为厚 3 cm 、高 40 cm 的石材,小区隔板上方是一侧 60° 倾斜、埋深 20 cm 的坡尖,在径流小区左右两侧和上方位置安装排水系统,排水系统设置按照20年一遇暴雨规格设计(12 h 雨量 $\geq 70 \text{ mm}$,或 24 h 雨量 $\geq 100 \text{ mm}$),试验小区顶部、底部分别设置截水沟、集水池,试验阶段的径流泥沙直接流入集水池内。

表1 径流小区设计要求表

试验径流 小区编号	坡面水土 处理方式	坡面种植 植被
30°-EN-1	常规整地	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
30°-EN-2	生态袋平铺	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
35°-W-1	常规整地	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
35°-W-2	生态袋平铺	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
20°-ES-1	常规整地	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
20°-ES-2	生态袋平铺	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
25°-N-1	常规整地	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅
25°-N-2	生态袋平铺	小冠花、紫花苜蓿、高羊茅

本试验采用两种坡面处理方式,一是生态袋平铺,试验生态袋选择规格为 $80 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 优质无纺布,这种生态袋对环境无毒,具有高效的抗酸碱及微生物腐

蚀作用和良好的透水性能,不容易降解可以长期使用,在生态袋内放入植物种子,然后沿坡面方向整齐平铺并压实。二是常规整地法,让植被自然恢复,铺设方式为沿坡面方向平铺、压实、覆土、播种草籽,铺设时要注意覆土厚度保持在 30 cm 左右,两种坡面处理方式种植植物均为小冠花、紫花苜蓿、高羊茅等。

1.3 试验数据采集分析

采用型号为LBT-E01-N的自动气象站进行试验环境温度、湿度、气压、风向、风速、降雨量等数据的采集。试验泥沙采样分为无泥沙层和有泥沙层两种情况,这两种情况要分别记录,无泥沙层要在每个坡面取3个以上样本,取样时要注意径流桶中水样均匀。有泥沙层取样时要分别测量径流桶中水层厚度、泥沙层厚度,在下层泥沙不同位置测量三次以上并取样(200 mL/次 ,称重后 105° 烘干),根据所得样本计算出径流试验小区的次降雨径流量和水土流失量,计算公式如下:

$$\text{降雨径流量} = H_{\text{径流深}} \cdot S_{\text{底}} \quad (1)$$

式中: $H_{\text{径流深}}$ 为代表次降雨径流桶内水深; $S_{\text{底}}$ 为代表径流桶的底面积。

$$\text{泥沙量 } m = \frac{m_{\text{干}}}{v_{\text{样}}/v_{\text{总}}} \quad (2)$$

式中: $m_{\text{干}}$ 为代表取样泥沙烘干后干重; $v_{\text{样}}$ 为取样品体积; $v_{\text{总}}$ 为径流桶内泥沙总体积。

2 结果与分析

2.1 植被调查结果

运用样方法在试验径流小区上坡、中坡、下坡位置分别设置采样样方($1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$)调查分析径流小区的植被覆盖情况(表2)。从表2显示数据可以看出,该试验山区松散体坡面植被覆盖度比较低,主要原因是采石场建立对此地土质及植被扰动较大。径流小区覆盖度随着种植时间增加,植被覆盖度也不断增加,在2017年7月-2017年9月植被覆盖平均增长率为 392.86% ,这个时间段植被覆盖度增长最快,这时生长的植物主要是坡面水土处理人工种植植被,有小冠花、紫花苜蓿、高羊茅等。植物生长至2018年,在6-10月植被覆盖平均增长率为 111.75% ,相比较2017年7月-9月增长率有所下降,但试验径流小区坡面植被总覆盖面积不断增加,这时小区内生长植物出现自然演替植物,有葎草、圆叶牵牛、鬼针草等,其增长率相比较之前下降的原因是,植物刚开始生长阶段空间及营养充足,植物种群生长迅速,当植物生长繁殖到一定阶

段后,植物之间竞争增大,空间和营养物质相对减少,植物覆盖率增加缓慢,但总覆盖面积呈缓慢增加趋势。

表2 2017~2018年试验径流小区植被覆盖度表 %

试验径流 小区编号	2017年植被覆盖率			2018年植被覆盖率	
	5月	7月	9月	6月	10月
30°-EN-1	0	12.13	46.31	79.46	89.65
30°-EN-2	0	15.58	64.83	83.94	94.66
35°-W-1	0	11.57	36.74	78.34	88.65
35°-W-2	0	13.12	62.19	81.43	90.23
20°-ES-1	0	12.49	52.63	80.20	90.12
20°-ES-2	0	15.24	65.82	84.72	93.46
25°-N-1	0	17.73	57.54	84.89	92.53
25°-N-2	0	18.04	69.28	85.24	96.25

2.2 降雨量相同情况下不同坡面治理措施的水土保持效益

对降雨量相同情况下不同坡面治理措施的水土保持效果进行调查分析,降雨强度为2017年和2018年的中雨、大雨、暴雨的降雨强度,分别分析中雨、大雨、暴雨的径流量和土壤流失量(泥沙干重),分析结果见表3、表4。2017年开展坡面治理试验,这时土壤较松散,地表本身的扰动幅度较大,植被覆盖度较低,导致在中雨、大雨和暴雨降雨量下各种坡度的径流量和土壤流失量均比较大,在通过几场降雨后,表层土流失量先增加后减少。随着坡面治理时间增加(2018年),植被覆盖度达到80%以上时,坡面具有较强的蓄洪保土能力,径流量和土壤流失量较少,这时的水土保持效果较好。

表3 2017年不同试验径流小区径流量和土壤流失量对比表

试验径流 小区编号	中雨降雨量 15.13 mm		大雨降雨量 27.31 mm		暴雨降雨量 69.39 mm	
	径流量/m ³	泥沙干重/kg	径流量/m ³	泥沙干重/kg	径流量/m ³	泥沙干重/kg
30°-EN-1	0.197 0	27.58	0.209 3	22.44	0.160 2	32.80
30°-EN-2	0.179 3	20.67	0.211 8	13.64	0.088 5	13.11
35°-W-1	0.204 4	15.08	0.216 7	23.83	0.142 7	50.60
35°-W-2	0.179 8	11.31	0.088 5	11.47	0.086 1	24.55
20°-ES-1	0.183 9	20.54	0.216 5	23.62	0.086 1	34.55
20°-ES-2	0.161 8	17.12	0.206 7	13.85	0.157 5	22.15
25°-N-1	0.183 0	19.60	0.209 3	24.46	0.160 1	54.65
25°-N-2	0.169 0	16.35	0.211 8	13.93	0.086 3	23.05

表4 2018年不同试验径流小区径流量和土壤流失量对比表

试验径流 小区编号	中雨降雨量 16.51 mm		大雨降雨量 40.39 mm		暴雨降雨量 102.89 mm	
	径流量/m ³	泥沙干重/kg	径流量/m ³	泥沙干重/kg	径流量/m ³	泥沙干重/kg
30°-EN-1	0.125 6	2.50	0.093 6	2.10	0.214 1	3.86
30°-EN-2	0.019 6	1.49	0.034 5	3.60	0.214 0	8.26
35°-W-1	0.017 3	3.48	0.009 7	1.75	0.213 9	3.41
35°-W-2	0.019 8	2.59	0.030 9	2.75	0.213 9	19.31
20°-ES-1	0.017 1	1.81	0.002 3	1.03	0.214 1	2.61
20°-ES-2	0.096 0	1.08	0.044 2	0.86	0.214 1	1.95
25°-N-1	0.034 3	1.27	0.056 5	1.02	0.214 0	3.06
25°-N-2	0.005 0	0.30	0.007 3	0.54	0.214 1	1.93

2.3 不同年份试验径流小区土壤流失量

2017年2018年试验径流小区土壤流失量对比见图1,由图1可以看出2017年常规整地土壤平均流失量为627.19 kg,生态袋平铺土壤平均流失量为409.27 kg,两种坡面水土处理方式差别明显,随着时间增加,到2017年常规整地土壤平均流失量为26.25 kg,生态袋平铺土壤平均流失量为30.11 kg,两种坡面水土处理方式差别不明显,2018年试验径流小区的土壤总流失量较2017年明显减少。2017年、2018年径流小区坡度为25°时生态袋平铺土壤流失量均为最小,所以采石场松散体坡面采用25°生态袋平铺水土保持效果更好。2017年土壤平均流失量和2018年差别较大的原因主要是,采石场松散体坡面径流小区水土保持试验开展初期松散体坡面扰动面积大,土质松散,随着降雨量增加易导致表层土壤流失,随着采石场松散体坡面治理时间增加,植被覆盖率逐渐增加,土壤流失量减少。

3 结语

1)采石场松散体坡面破坏较严重时,开始治理初期采用生态袋平铺水土处理方式比常规整地治理效果较好,在治理时采石场松散体坡面采用25°生态袋平铺水土保持效果更好。随着治理时间延长,两种水土处理方式差别不大。

2)降雨量一致情况下,治理初期土壤较松散,地

(上接第16页)

5 结语

施工导流工程是主体结构工程施工的前提和有力保障,施工导流方案的选择对整个枢纽工程的施工工期和施工工序都起着决定性的作用,正确合理的施工导流方案可以有效加快施工进度、降低工程造价,并能确保施工工期及工程质量^[5]。本工程实施阶段将临时航道右导墙左移4孔泄洪闸,三期不利用围堰挡水发电,并对临时航道左右导墙进行优化,结合施工期导流及通航模型试验成果,优化调整后施工导流方案能有效改善施工期通航条件,降低三期施工压力,提高施

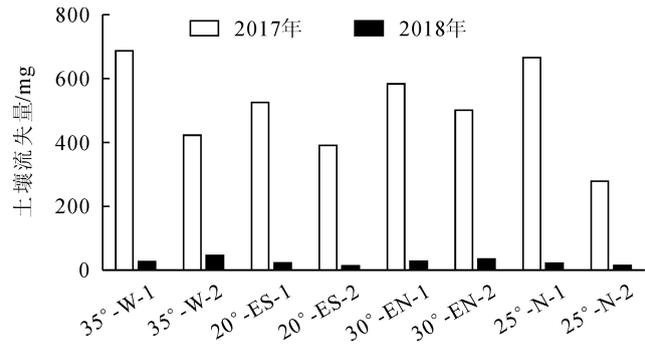


图1 2017、2018两年试验径流小区土壤流失量对比图

表本身扰动幅度大,植被覆盖度较低,导致在中雨、大雨和暴雨降雨量下各种坡度的径流量和土壤流失量均比较大,随着坡面治理时间增加,植被覆盖度达到80%以上时,坡面具有较强的蓄洪保土能力,径流量和土壤流失量较少,这时的水土保持效果较好。

参考文献:

- [1]白晓敏,田梅霞,薛俊杰,等.露天采石场综合整治中水土保持措施布设的探讨[J].河南建材,2019(3):147-148
- [2]黄琳琳,张学森.浅议露天采石场扩建项目水土保持设计[C]//云南省水利学会2018年度学术交流会议论文集,云南省科学技术协会,2018
- [3]陈虹,王普昶,王志伟,等.石漠化区和采石场共性生态问题研究进展[J].中国水土保持,2017(9):12-16
- [4]陈弈鑫,杨平,李虎星.某采石场水土保持措施配置[J].河南水利与南水北调,2018,47(9):3-4

工工期保证率,保证岷江龙溪口航电枢纽工程建设顺利地推进。

参考文献:

- [1]文强.岷江航电枢纽工程施工导流方案比较[J].红水河,2012,31(6):31-36
- [2]詹杰,杨健,陈欢.潼南航电枢纽工程施工导流方案优化[J].广东水利水电,2017(1):38-41
- [3]杨海春,吕俊,余正凯.东山水利枢纽工程施工导流方案优化[J].广东水利水电,2008(1):56-59
- [4]彭伟文.汉阳电航枢纽工程二期施工导流方案优化[J].四川水利,2018,39(1):30-32
- [5]王奇.西陈枢纽施工导流方案优化调整研究[J].中国水运,2018,18(8):143-144

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.010

某海上风电场施工总进度设计研究

王子俊

(上海勘测设计研究院有限公司,上海 200335)

摘要:施工总进度是保障海上风电项目按期完成全部施工内容,实现最大发电效益的重要前提。以广东某海上风电场项目为例,对影响该风电场施工总进度的各主要因素进行研究,表明,必须综合考虑工程施工方法、强度、外部环境和施工设备资源等多方面因素,设计最优的施工关键线路与总进度,使该工程得以按总进度顺利实施。

关键词:海上风电;施工总进度;海上施工;进度安排

中图分类号:TM614 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)06-0036-04

On the Design of the General Construction Schedule of an Offshore Wind Farm

WANG Zijun

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

Abstract: The general construction schedule is an important prerequisite to ensure that all construction contents of offshore wind power projects are completed on schedule and to achieve the maximum power generation benefit. Taking an offshore wind farm in Guangdong Province as the example, the major influential factors affecting the general construction schedule are studied. The results show that it is necessary to design the optimal key construction routes and general schedule with a comprehensive consideration of the construction method, construction intensity, external environment and construction equipment resources to ensure the smooth implementation of the project according to the general schedule.

Key words: offshore wind power; general construction schedule; offshore construction; schedule

本项目海上风电场工程场址位于广东省南海附近海域,占用海域面积约64 km²,水深在24~28 m之间,项目规划装机容量为400 MW,配套建设陆上集控中心,同时配套建设220 kV海上升压站一座,风电机组发出电能通过16回35 kV集电海底电缆接入海上升压站,升压后通过2回220 kV海底电缆接入集控中心,再升压至500 kV后送出,新建1回500 kV线路接至500 kV开关站。本项目共安装62台单机容量为6.45 MW的海上风力发电机组,其中单桩基础8台、单柱复合筒基础22台、高桩承台基础32台,海上升压站基础采用导管架型式。

1 施工进度安排依据和原则

1)本工程总施工进度根据风机基础及安装施工程序,选用先进的施工设备和工艺,保证施工质量的同时,

加快工程进度。

2)合理安排基础与风机安装的施工程序,使基础、风机安装工程施工进度做到连续、均匀有序的进行,以降低施工高峰强度,提高经济效益。

3)海上施工大型设备使用费用较高,优化资源配置,科学调度,合理安排主体工程施工,节约成本。

2 外部施工环境影响分析

根据相关规范要求,海上风电场建设过程中风力超过6级,海上波浪超过1.5 m,不得进行风电场基础沉桩施工;当海上风速超过10 m/s不得进行塔筒、机舱吊装,当风速超过8 m/s不得进行叶片的吊装作业^[1]。本工程属于离岸较远的无掩蔽海域,海上施工受海洋水文气象条件的影响较多。影响工程进度的因素主要有如下几个方面。

收稿日期:2020-01-15

作者简介:王子俊,男,助理工程师,主要从事海上风电施工组织设计方面的工作。

1) 台风。根据统计,影响我国南部沿海地区的台风主要来自西太平洋。西太平洋生成的台风平均每年有 23 ~ 27 个,其中影响广东省的台风平均每年有 3.75 个,最多年份可达 7 个(1990 年),最少年份只有 3 个。影响广东省的台风可出现在 5 ~ 11 月,台风最早出现在 5 月 18 日(2006 年 0601 号台风),最晚出现在 11 月 25 日(1952 年 5231 号台风);影响集中期是 6 ~ 9 月,其中 8 月份最多,7 ~ 8 月份出现台风的次数约占总数量的 60% 以上。从影响程度上来看,伴有大范围大风的台风约为台风总数的 46%。一次台风过程的影响持续时间一般约在 2 ~ 4 d。

2) 海流影响。洋流运动会加大潮水的流速。当海流的流速 ≥ 1.5 m/s 时,将会对钢管桩插打、复合筒下沉等基础施工产生很大影响,基础定位困难,垂直度不容易控制,易发生倾斜,故潮流流速较快时必须停止复合筒安装施工。海流流速 ≥ 2 m/s 的时间段可能出现在极端恶劣的风暴潮或极端潮位,正常施工期内本区域洋流影响施工因素不明显。

3) 风速影响。风电场所在区域属亚热带季风性气候,风力在 5 ~ 6 级以上的天数超过 120 d;尤其在 2、3 月份冷暖气团活跃的春季与 12、1 月份冷空气频发的冬季施工条件最为恶劣,此时段大部分的海上工程均处于停工避风状态。为了保证风机基础安装起吊作业和高空作业人员的安全,当风力达到 6 级以上时,

应停止吊装和高空作业。

4) 船舶性能。影响船舶作业的主要因素是风浪。根据现有气象资料统计分析,同时根据既定的结构形式和对施工沉桩、安装导管架船只的了解及国内外海上风电场建设经验,海上风电场建设过程中风力超过 6 级,海上波浪超过 1.5 m 时,船舶锚泊较为困难^[2]。冬季冷空气频繁,海上涌浪较大,船舶进行海上作业也会受到较大影响,施工窗口期应选择在在三级海况以下,海上风力 ≤ 6 级。

综上分析,停工标准如表 1 所示。

表 1 停工标准统计表

序号	环境因素	停工标准	停工工序	备注
1	台风	停工	所有工序	船舶避风港
2	海流	≥ 2 m/s	船舶定位	定位精度控制
3	风速	≥ 6 级	高空作业、 吊装	吊装安装限制
4	降雨	降雨量 \geq 10 mm/d	高空作业、 吊装	

根据上述停工标准,分析气象资料及实际统计资料,本工程各月海上可作业天数如表 2 所示。

表 2 各月有效工作日统计表

作业内容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计
钢管桩沉桩	0	0	0	10	15	15	10	20	15	10	5	0	100
嵌岩及承台施工	0	0	0	22	22	22	20	18	18	18	10	0	150
单柱复合筒吊装	0	0	0	10	15	15	10	20	15	10	5	0	100
风电机组吊装	0	0	0	10	14	10	10	13	15	15	10	0	97

3 主要施工设备

海上风电场的主要施工设备是制约施工工期的主要因素之一,根据本工程特性,主要施工设备为吊装设备和打桩设备。

3.1 吊装设备

本工程风电机组设备采用分体式安装工艺,吊装设备采用自升降式支腿平台船,配置有 1 000 t 左右起重能力的全回转起重机。通过对我国现有海上施工设备的调查,根据海上风电机组安装方式的要求和施工

设备的性能等,国内自升降式支腿平台船基本可以满足安装施工要求,如华电“1001”海上风电作业平台、“龙源振华 2 号”、“三航风华号”、“福船三峡号”和“KOE-01”平台等大型风电施工安装船^[3-4]。

3.2 打桩设备

根据本工程风机基础采用浮式起重船配合辅助工艺导向架的施工方案选择,钢管桩海上沉桩系统包括打桩船、运桩船、附属沉桩设施与辅助工作船等,其中以浮式起重船和液压打桩锤为主要施工设备^[5]。目前国内各航务局、打捞局和中国海洋石油总公司、中铁

大桥局等均拥有一定数量浮式起重船,如“华西5000”、“宇航起重3000”和“振浮7号”等大型浮式起重船。

本工程采用大直径单桩基础,需采用大打击能量的液压锤进行沉桩。经调查,目前国内中交一航局、龙源振华等施工企业均持有最大打击能量3 000 kJ以上的液压打桩锤,如MENCK-3500、IHC-S3000等。

4 施工总进度关键项目分析

4.1 风机基础工效分析

1)单桩基础施工工效分析。完成单个打入式单桩基础钢管桩需有效工作日6 d。本工程8台打入式单桩基础,按1个工作面考虑,配置1套沉桩船机设备,考虑工序搭接,共需自然日124 d,合4.5个自然月,考虑基础防冲刷,打入式单桩基础共需5个月。单桩沉桩耗时如表3所示。

表3 单桩沉桩耗时统计表

序号	工序名称	有效工作日/d
1	船机移位、定位	0.5
2	辅助平台安装	1.5
3	钢管桩沉桩	1
4	辅助平台拆除	1
5	附属设施安装	2
合计		6

2)单柱复合筒基础施工工效分析。单柱复合筒基础在陆上基地预制,单个基础预制时间按2个月考虑。基础海上施工各工序耗时如表4所示。单个复合筒型基础海上安装施工需有效工作日2 d。本工程共22个复合筒型基础,配置1艘安装船,共需有自然日161 d,合5.5个自然月,考虑防冲刷,复合筒型基础海上施工需6个自然月。单柱复合筒基础海上施工耗时如表4所示。

表4 单柱复合筒基础海上施工耗时统计表

序号	工序名称	有效工作日/d
1	船机移位、定位	0.5
2	基床整平	0.5
3	基础沉放	1
合计		2

3)高桩承台基础施工工效分析。单个高桩承台基础施工需自然日98 d,本工程共32个高桩承台基础,共开展4个作业面,考虑工序搭接,需自然日335 d,合自然月12个月。高桩承台基础施工耗时如表5所示。

表5 高桩承台基础施工主要工序及耗时表

序号	工序名称	有效工作日	自然天	备注
1	钢管桩沉桩			
1.1	船机移位、定位	0.5		
1.2	钢管桩沉桩	3		
2	嵌岩施工			
2.1	嵌岩平台安装	0.5		
2.2	钻孔	11		含钻机安装等
2.3	混凝土浇筑	1.5		含清孔、检测等
2.4	嵌岩平台拆除	0.5		
3	承台施工			
3.1	安装钢套筒	1		
3.2	封底混凝土浇筑、等强	6.5		
3.3	绑扎钢筋及安装预埋件	7.5		
3.4	承台混凝土浇筑	0.5		
3.5	拆模前养护		7~15	
3.6	附属结构施工	2		
合计		34.5		

4.2 风机安装工效分析

风机采用平台船分体安装,平台船船只在风机之间进出移位1个有效工作日,塔筒设备安装1个工作日,平台船上拼装叶轮1个有效工作日,机舱和叶轮安装1个有效工作日,转换工作面时间按1个有效工作日,故单台风机安装的施工时间为5个有效工作日。按设置3套安装设备进行施工进度安排,估算62台风机安装施工工期约为11个自然月。

5 施工进度安排

5.1 工程筹建期

为保证工程项目总进度的顺利实施,在筹建期业

主方需要完成施工用海、用地手续,土建工程与设备采购招投标等前期工作,为工程正式开工前承包人进场施工提供基础设施条件。

此时间根据工程整体推进的进度确定,不计入工程建设总工期。工程筹建期内,本工程设计单位向建设单位提交首批风机基础图纸、陆上集控中心图纸、电气布置等图纸等,建设单位展开招标等工作,各中标单位视工作量及开工时间等自行开展备料、设计施工方案等工作。

5.2 工程建设期

经分析,本工程主关键线路项目:承包人进点→施工前期准备→风机基础施工→风机部件基地码头预组装→风机安装→风机调试、投产发电→工程竣工。首批发电工程关键线路为:施工前期准备→海上升压站、陆上集控中心施工、海缆敷设→升压变电站调试、倒送电→首台机组发电→工程竣工。

本工程于第1年10月初开工。开工后,承包人进点进行供水、供电、临时生产生活设施修建、测量基站建设等施工准备工作。12月底施工准备工作基本完成,具备主体工程施工条件。第1年11月初开始风电机组基础钢结构的加工制作,第2年4月初主体工程开工,开始风机基础施工。

第1年10月中旬开始陆上集控中心施工,第2年4月底土建施工完成,6月中旬完成电气设备的安装、调试,具备送电条件。

第2年4月初开始220kV主海缆敷设,6月中旬220kV敷设完成。第2年5月初开始首批35kV海缆

(上接第31页)

下游消力池兼顾沉沙池作用,水流在消力池内动能减小、流速降低,水流挟沙能力减弱,大部分泥沙可拦截在消力池内。粒径较小的悬移质,随水流运移至支沟与主沟交汇的连接池,连接池内水流流速骤减,泥沙沉降,进一步达到拦沙目的。

3.4 管理维护

运行期合理的管理维护是保证庙王沟排洪沟能否正常运行的关键因素之一。在庙王沟维护管理上实施建管结合模式,并将其纳入日常检查范围。在排洪沟整体结构维护上遵循“定期巡检、随坏随修”的原则。

泥沙淤积程度是影响庙王沟排洪沟能否正常运行的最关键问题。庙王沟排洪沟治沙原则以“工程设施拦沙为先,人工清淤为主”。后期管理维护人员遵循

敷设,6月底完成,7月初开始剩余海底电缆敷设,第3年9月底敷设完成。

第2年6月初首批机组到岸后开始卸货、办理有关手续、运输至施工生产基地预组装,在海上逐台进行风机安装。7月底完成首批风机调试、并网发电,第3年10月底全部风机并网发电,第3年12月底工程完工。

6 结 语

本工程通过调研关键施工设备在国内市场上的持有情况,分析不同基础结构型式的施工强度和方方法,进行工作面数量和施工设备的合理配置。同时,分析各施工项目的逻辑关系,确定工程关键线路^[6],最终确定本工程首批风机发电工期为10个月,项目总工期27个月,在当年开展施工准备的情况下,可以保证第3年底全部并网发电。

参考文献:

- [1] GB/T 50571-2010, 海上风力发电工程施工规范[S]
- [2] 刘晋超. 海上风电施工窗口期对施工的重要性[J]. 南方能源建设, 2019, 6(2): 16-18
- [3] 邓达纭, 陆军. 浅析海上风电施工与运维装备[J]. 机电工程技术, 2019, 48(8): 45-47
- [4] 刘志杰, 刘晓宇, 孙德平, 等. 海上风电安装技术及装备发展现状分析[J]. 船舶工程, 2015, 37(7): 1-4
- [5] 杨骏, 舒雅, 许蓉. 海上风电机组安装装备与技术的发展[J]. 中外船舶科技, 2016(2): 6-14
- [6] 刘兴勇, 周双全, 马延功, 等. 桑河二级水电站施工总进度管控[J]. 云南水力发电, 2018, 34(1): 105-108

“随淤随清”管理要求,汛期加大巡检力度积极清淤,平水期、枯水期做到定期巡检、定期清淤,确保过水断面不产生淤积,排水顺畅。

4 结 语

目前庙王沟排洪沟已经完工,通过汛期历次强降雨的检验,其排水、拦沙、消能设施都发挥了积极的作用,减弱了强降雨的不良影响,保证了电站工区道路的正常通行,实现了对坝址区下游护岸及弃渣场的保护作用。

参考文献:

- [1] 贡建兵, 皮军华. 水布垭水电站大坝2016年“7·19”水毁事件反思与对策[J]. 大坝与安全, 2018(2): 20-26
- [2] 毕程敏, 付凯, 哈建强. 台阶式消能方式的应用论述[J]. 河北水利, 2013(10): 40-40, 47

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.011

水布垭大坝面板修补前后总渗流量综合分析

杨 鸿,李光勇,皮军华

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北 宜昌 443000)

摘要:水布垭水电站大坝为目前世界上已建成的最高混凝土面板堆石坝,其总渗流量为大坝安全稳定运行的重要评价指标。根据水布垭大坝面板历次修补情况,从实测数据出发对比分析面板修补前后渗流量变化,采用统计模型分析了库水位、降雨量、温度、面板破损及修补等因素对总渗流量的影响规律,与同类工程对比,说明大坝面板的缺陷修补效果较好。

关键词:水布垭大坝;面板;量水堰;渗流量;模型分析

中图分类号:TV641.4⁺3

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)06-0040-05

Analysis of the Total Seepage Flow through Shuibuya Dam before and after the Repair of the Face Slabs

YANG Hong, LI Guangyong, PI Junhua

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

Abstract: Shuibuya Dam is the highest concrete face rockfill dam in the world. The total seepage flow through the dam is an important evaluation index of its operation safety and stability. According to the previous repair work of the face slabs, the variation of the measured total seepage flow before and after the repair of the face slabs is analyzed. Statistical models are adopted to study the influences of the reservoir water level, rainfall, temperature, slab damage condition and repair work on the total seepage flow. Compared with similar projects, the results show that the face slab repair work is of satisfactory effects.

Key words: Shuibuya Dam; face slab; water measuring weir; seepage flow; model analysis

水布垭水电站大坝位于湖北省巴东县境内。电站装机容量1 840 MW,最大坝高233.2 m,是世界上已建成的最高混凝土面板堆石坝,水库总库容45.8亿m³,正常蓄水位400 m。大坝面板混凝土分三期施工,2005年1月开始浇筑一期面板混凝土,2007年3月完成面板三期混凝土浇筑施工。面板面积13.87万m²,面板厚0.3~1.1 m,共分58块,受压区面板宽16.0 m,受拉区宽8.0 m。

1 面板运行状况简述

水布垭水电站自2007年4月下闸蓄水以来,湖北清江水电开发有限责任公司作为建设、运行管理单位,为了解大坝面板的运行情况,共组织或委托专业检测单位进行了8次质量检查,其中两次检查范围为高程

332 m永久水平缝以上所有面板,其余6次检查范围为局部重点部位。根据大坝面板的质量检查情况,外委专业单位共完成5次大坝面板修补处理,具体情况详见表1。面板监测布置见图1。

2009年、2011年先后两次采用M40预缩砂浆修补,修补一段时间后继续出现挤压破损;2012年对R4-R5面板高程353~405 m两侧各4 m范围,采用SR柔性填料、土工膜覆盖修补后,经2013年8月水上土工膜局部割开检查发现,SR填料与混凝土结合密实,未出现断裂、塌陷等异常情况;2014年6月潜水员水下专项检查,修补区域土工膜完好,均未见异常情况。2014年和2015年检查表明,修补部位未出现重复性破坏,处理区域未见异常,运行状况良好。

收稿日期:2019-12-02

作者简介:杨 鸿,男,工程师,主要从事水电站运行管理方面的工作。

表1 水布垭大坝面板历次修补处理情况表^[1]

序号	时间	修补部位及范围	主要修补方法	修补效果
1	2009.07	1)R4 右边垂直缝高程 375.6~405 m,共 7 处 2)R5 左边垂直缝高程 376.4~405 m,共 5 处 3)R9 左侧垂直缝局部	M40 预缩砂浆	1 年内又出现挤压破损情况
2	2011.03	R4 - R5 面板垂直缝两侧高程 375~405 m	M40 预缩砂浆	1 年内又出现挤压破损情况
3	2012.05	1)R4 - R5 面板垂直缝两侧高程 353~405 m 2)L9 - L10 面板垂直缝高程 356、365 m 两处渗水点	1) 面板修补:SR 柔性填料、土工膜覆盖 2) 渗水点:SR 回填及 SR 防渗盖片	运行情况良好
4	2014.06	R4 - R5 垂直缝高程 395 m 处土工膜破损区域	新设土工膜覆盖加固	运行情况良好
5	2015.08	1) 面板破损:R12 面板左侧高程 334 m 及右侧高程 333 m; R9 面板左侧高程 351.3 m; R8 面板高程 333.8 m; R5 面板右侧高程 347.3 m 及 346.2 m; R3 面板右侧高程 339.2 m; L8 面板右侧高程 370.2 m 2) 垂直缝渗水: L7 - L8 垂直缝高程 329.8 m; L8 - L9 垂直缝高程 335.4 m; L8 - L9 垂直缝高程 359.2 m; L1 - R1 垂直缝高程 351.8 m; R23 - R24 垂直缝高程 349.9 m; R25 - R26 垂直缝高程 345.3 m	1) 面板修补:除 R8 面板修补采用植筋、水下分散混凝土修补外,其它 7 处部位采用水下环氧砂浆修补处理 2) 垂直缝渗水:SR 回填及 SR 防渗盖片	待检查

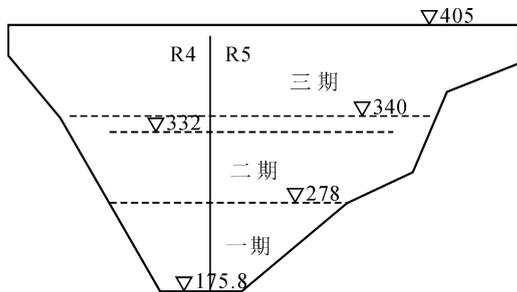


图1 面板结构示意图

2 大坝渗流综合分析

大坝渗流量变化能直观反映面板破损情况,通过分析大坝总渗流量变化情况,可直接掌握大坝面板运行状态。水布垭面板坝矩形量水堰布置在下游坝脚,利用 RCC 围堰汇集大坝坝体及坝基范围内的渗流水,量水堰监测流量的汇水范围主要包括坝基渗水、面板渗水及面板下游坝体区域雨水。

水布垭大坝下游为碾压混凝土过水围堰,位于大坝坝轴线下游 291 m 处,轴线长度 120.2 m,围堰顶高程 214 m,顶宽 6 m。高程 183.5~188.5 m 采用常态混凝土浇筑,高程 188.5~214.0 m 采用碾压混凝土浇筑。大坝渗水通过量水堰的堰口流向下流。堰口高程

为 203.3 m,为出水口的自由面。堆石体使用的填筑材料具有强透水性,围堰上游水位略高于堰口高程,基本处于稳定状态。下游水位随发电流量或泄洪流量的影响出现较大波动,在围堰上下游形成的水位差也随下游水位的变化而改变。因堰内水位与下游水位的高差较小,从围堰基础向下游渗流的水量很少。量水堰结构纵剖面见图 2。

2.1 实测渗流量分析

工程建设期间,水布垭坝后量水堰于 2007 年 8 月 2 日进行首次观测。2009 年 1 月移交给湖北清江水电开发有限责任公司库坝中心,移交时发现量水堰不锈钢堰板不平直,上部呈 S 型弯曲,且与右挡墙脱离约 15 cm 长,无法准确测量大坝总渗流量。2010 年 10 月,库坝中心完成量水堰改造和修复。因量水堰改造前的观测数据无法准确反映实际的大坝总渗流量,因此有效的实测渗流量采用 2010 年 11 月 10 日以后的观测数据。量水堰实测流量中已剔除了较大降雨时段的观测数据。

多年来实测渗流量特征值见表 2,水布垭面板坝与国内其他面板坝实测渗流量对照情况见表 3,渗流量过程线(标注了面板修补时间)见图 3,年度过程线见图 4。

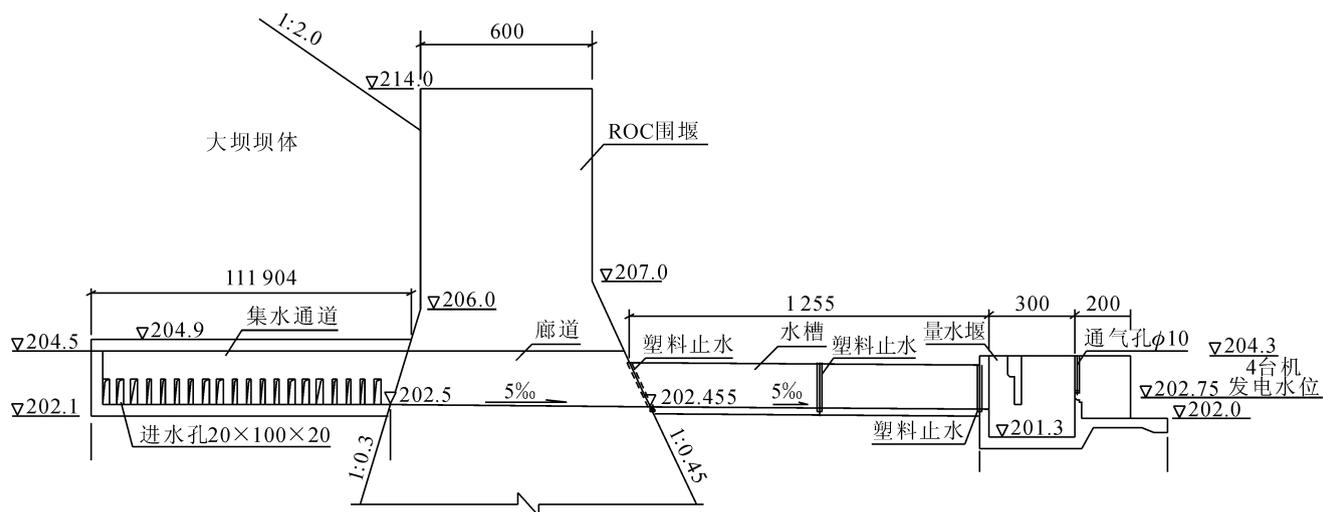


图2 量水堰结构纵剖面图

表2 实测渗流量分年统计的特征值表

年份	最小值			最大值			年平均值 /(L·s ⁻¹)
	流量 /(L·s ⁻¹)	时间	库水位 /m	流量 /(L·s ⁻¹)	时间	库水位 /m	
2010				66.6	20101111	393.85	
2011	20.57	20110529	363.62	81.17	20111114	396.7	46.41
2012	17.65	20120814	375.45	54.77	20120101	383.81	32.56
2013	13.03	20130503	369.07	31.60	20131220	386.22	21.11
2014	18.76	20140609	376.03	46.28	20140915	394.82	29.08
2015	16.48	20150930	382.41	41.91	20150101	397.22	23.75

表3 国内部分面板堆石坝渗流量统计情况表^[1]

坝名	坝高 /m	实测最大总渗流量 /(L·s ⁻¹)	扣除降雨影响后最大总渗流量 /(L·s ⁻¹)	工程修补处理后稳定最大渗流量 /(L·s ⁻¹)
水布垭	233.2	46.28		46.28
三板溪	185.50	303.1	266.99	271.68
洪家渡	179.50	191.07	133.98	37.86
天生桥一级	178	183.32	167	88
滩坑	162.0	130.38	70	80
马鹿塘二期	154.0	222.80		150.41
董管	150	77.4		40.9
龙首二级	146.50	118.33	117.32	45
龙马	135	184		129.22
公伯峡	132.20	22.915		15.5
引子渡	129.50	51.45	12.79	12.79
白云	120.0	1 250		749
那兰	109	113.5		113.5



图3 量水堰实测面板坝渗流量过程线图

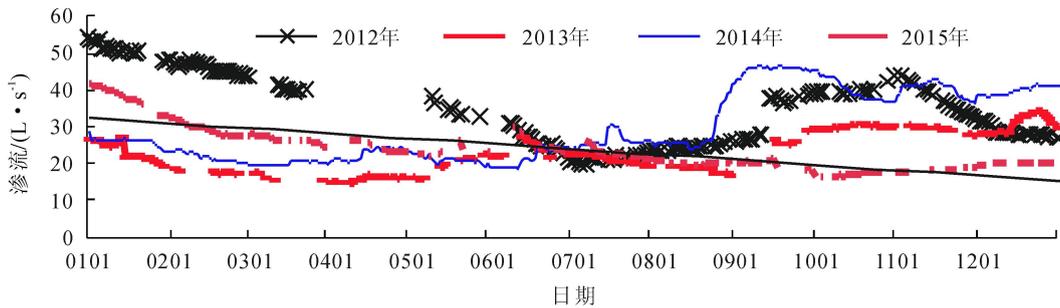


图4 量水堰年度渗流量过程线图

实测渗流量成果表明:

1) 渗流量主要与库水位相关,实测渗流量最大为 81.17 L/s, 对应上游水位 396.7 m, 下游水位 201.4 m, 发生在 2011 年 11 月 14 日。

2) 图3 表明,2010 年 11 月至 2012 年 6 月渗流量明显比其他时间同水位时的渗流量大,期间 2010 年至 2012 年的最大渗流量分别达 66.60、81.17 L/s 和 54.77 L/s,而其他年份的最大渗流量均在 46.28 L/s 以内,相对较小。

3) 2010 年 11 月至 2012 年 6 月渗流量较大与面

板挤压破损有关。2009 年至 2015 年陆续对面板破损部位进行了修补和防渗处理,渗流量明显减少,2012 年之后渗流量没有明显趋势性变化。

4) 对表 3 分析表明,对比国内其他面板堆石坝的实测渗流量,水布垭面板坝渗流量相对较小。

2.2 面板修补前后对比分析

针对水布垭面板历次修补处理时间进行列表分析,各种特征值见表 4。

表 4 历次修补时间段渗流量特征值表

时间	上游水位									
	≤380 m		380 ~ 385 m		390 ~ 395 m		385 ~ 390 m		395 m 以上	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
2012 年 6 月 9 日前	32.49	48.58	42.41	58.17	48.3	67.32	57	75.1	53.32	81.17
2012 年 6 月 11 日至 2014 年 6 月 11 日	20.35	28.86	25.31	31.38	30.18	35.93	29.95	30.83	-	-
2014 年 6 月 12 日至 2015 年 9 月 14 日	23.18	30.83	26.33	29.73	31.41	35.35	43.93	46.28	42.24	45.65
2015 年 9 月 15 日至 12 月 30 日	18.36	20.18	18.88	21.93	19.62	24.13	22.79	25.16	-	-

表4数据显示:

1)2012年6月11日修补后,水位在390 m及以下时,渗流量较前几年有大幅下降;年平均渗流量较之前有大幅下降,由原来的约48 L/s下降到约30 L/s,降幅为37%。

2)2014年6月修补(395 m高程)以后,最大渗流量与2012年6月9日修补前比较,也有大幅下降,至今渗流量最大值为46.28 L/s。

3)2015年9月修补后,渗流量再一次减小。大坝上游水位在390 m时,年平均渗流量较之前又有下降,由原来约30 L/s下降到约20 L/s,降幅约33%。

4)在相同工况下,2015年渗流量测值与以往相比都较小。

2.3 渗流量监测统计模型分析

大坝实测总渗流量包含了库水位、降雨量、温度、面板破损及修补、时效等因素的影响,为分析实测渗流量的变化规律以及各因素对渗流量的影响程度,需要建立实测渗流量的统计模型。根据水布垭面板坝的具体特点,确定的渗流量统计模型表达式为:

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3 + \sum_{i=0}^6 b_i T_i + b_7 \sin S + b_8 \cos S + b_9 \sin^2 S + b_{10} \sin S \cos S + e_1 t + e_2 \ln(1+t) + e_3 \frac{t}{t+300} +$$

$$e_4 \frac{t}{t+600} + e_5 \frac{t}{t+1000} + \sum_{i=0}^6 d_i R_i + KRR + \sum_{i=1}^6 P_i F_{(t)}^i + F_{(H)}^t$$

式中: H 为水位变化量,即大坝上游水位与水位260 m的差值; $T_0 \sim T_6$ 分别为观测日当日、前7天、前15天、前30天、前60天、前90天和前120天内的平均气温;

$S = 2\pi \frac{t}{365}$, t 为从蓄水前的2007年4月22日起算的天数; $R_0 \sim R_6$ 分别为观测日当日、前1~6天的日降雨量;

RR 为观测日前7~10 d之间的降雨量; $F_{(t)}^i$ 为面板破损或修补时间的条件值,

$$F_{(t)}^i = \begin{cases} 0 & t < t_i \\ 1 & t \geq t_i \end{cases}; t_1 \sim t_6 \text{ 为}$$

面板修补完工的时间,分别为2009年7月15日、2010年8月1日、2011年3月30日、2012年6月10日、2014年6月11日和2015年9月14日; $F_{(H)}^t$ 为2010年至2012年面板破损较多造成随库水位增加的渗流量的条件值, $F_{(H)}^t = P_7 H + P_8 H^2 + P_9 H^3$, t 在2010年8月1日至2012年7月9日之间时, $F_{(H)}^t = 0$, t 在2010年8月1日之前及在2012年7月9日之后时; a_0 为常数项; $a_1 \sim a_3$ 为水位分量的待定系数; $b_0 \sim b_{10}$ 为温度分量的待定系数; $e_1 \sim e_5$ 为时效分量的待定系数; $d_0 \sim d_6$ 、 K 为降雨分量的待定系数; $P_1 \sim P_9$ 为面板破损及修补分量的待定系数。

根据以上模型对渗流量进行回归分析的结果见表5,拟合值及各分量过程线见图5~图6。

表5 面板坝实测渗流量统计模型分析特征值表

统计样本时段	2010/11/11(改造后)~2016/12/31	
复相关系数	0.95	
标准差/(L·s ⁻¹)	3.2	
项目	值范围/(L·s ⁻¹)	变幅/(L·s ⁻¹)
实测值	13.03~81.17	68.14
拟合值	10.95~83.96	73.01
扣除降雨分量的实测值	13~81.17	68.17
水位分量	32.05~56.2	24.15
温度分量	-5.77~5.9	11.67
时效分量	-10.9~13.74	24.64
降雨分量	-7.82~1.97	9.79
破损及修补分量	-25.68~30.49	56.17
下游水位分量	-1.92~18.02	19.94

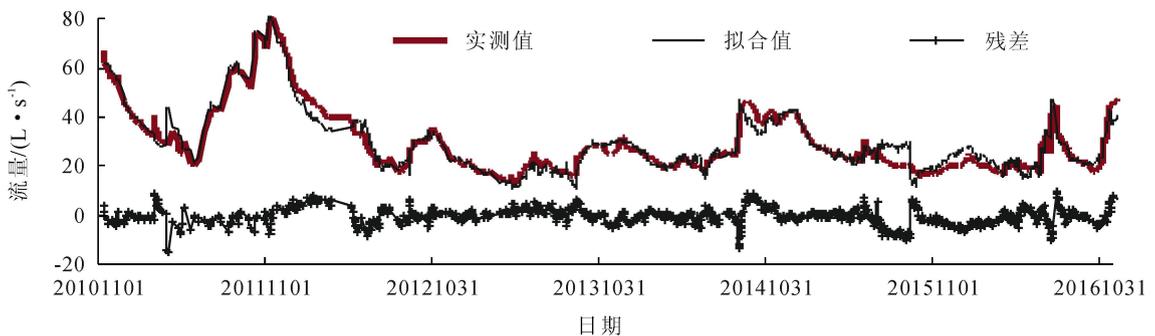


图5 实测渗流量拟合值过程线图

(下转第49页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.012

构皮滩拱坝混凝土线膨胀系数反演分析

朱喜¹, 莫和建¹, 王志宏²

(1. 贵州乌江水电开发有限责任公司构皮滩发电厂, 贵州 遵义 564408;
2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 掌握大坝运行期混凝土线膨胀系数是研究坝体在温度作用下应力变形特征和规律的必备条件。采用无应力计测值对构皮滩拱坝混凝土线膨胀系数进行反演, 首先根据各测点测值基本变化规律分析了数据可靠性, 再利用正常工作的各测点无应力计测值进行统计模型回归分析, 得到构皮滩大坝混凝土实际线膨胀系数为 $6.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

关键词: 拱坝; 线膨胀系数; 反演分析; 无应力计

中图分类号: TV642.4⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)06-0045-05

Back Analysis of the Linear Expansion Coefficient of Concrete in Goupitan Arch Dam

ZHU Xi¹, MO Hejian¹, WANG Zhihong²

(1. Goupitan Power Plant, Guizhou Wujiang Hydropower Development Co., Ltd., Zunyi 564408, China;
2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: Determination of the linear expansion coefficient of concrete during the operation period of dams is an essential condition for the study of the stress and deformation characteristics of dams under temperature action. Based on the measurement data of non-stress meters, a back analysis of the linear expansion coefficient of concrete in Goupitan Arch Dam is carried out. Firstly, the reliability of the measurement data is verified according to the variation pattern of the data of each measuring point. Then, statistical model regression analysis is carried out with the measurement data from normally operated measuring points. Finally, the calculated linear expansion coefficient of concrete in Goupitan Arch Dam is $6.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Key words: arch dam; linear expansion coefficient; back analysis; non-stress meter

对于大坝等大体积混凝土结构, 温度是影响其应力的重要因素之一。国内外的学者在大坝混凝土温度场和温度应力方面已开展了大量研究。温度作用的大小及其在坝体结构中的具体分布取决于结构内部属性和结构外部条件两方面。混凝土线膨胀系数是混凝土材料的主要热物理属性之一, 也是研究坝体在温度作用下应力变形特征和规律的基本参数。研究表明, 混凝土线膨胀系数受骨料种类、水泥类型、掺合料、环境湿度等多种因素的影响, 并且会随着龄期发生变化^[1-3]。所以在大坝设计阶段, 通常是根据经验或试验结果来确定线膨胀系数的取值, 这与大坝运行期实际的线膨胀系数必然存在一定的偏差, 无法准确地用

于分析温度作用引起的坝体应力变形情况。为了得到符合实际的混凝土线膨胀系数, 以便对大坝运行期应力变形及稳定性进行全面的反馈分析, 分析和掌握大坝的工作性态, 学者们提出利用大坝监测资料开展反演分析, 根据大坝变形和温度实测资料, 利用一定的数学方法来推求大坝混凝土的线膨胀系数。吴中如、刘观标提出了常规反演分析法和确定性模型反演法^[4-5]; 顾冲时提出利用无应力计监测资料进行反演的方法^[6]; 苏怀智提出区间矩阵摄动反演算法^[7]。本文针对构皮滩拱坝工程, 对其坝体内的无应力计可靠性进行了分析, 利用正常工作状态下的无应力计监测成果对大坝混凝土的线膨胀系数进行了反演分析。

收稿日期: 2019-12-17

作者简介: 朱喜, 男, 工程师, 主要从事水电站运维管理方面的工作。

基金项目: 国家重点研发计划资助(项目编号: 2017YFC0404906); 长江设计院自主创新项目(编号: CX2018Z06)。

1 混凝土线膨胀系数反演分析方法

与常规反演分析法、确定性模型反演法、混合模型反演法等相比,顾冲时在文献[6]中提出的无应力计测值反演法计算量较小、简单易行,是目前最常用的坝体混凝土线膨胀系数反演分析方法之一。文献[8]利用该方法对某混凝土重力坝的温度线膨胀系数进行了反演分析,结果在合理范围内^[8]。文献[9]以无应力计测值反演法为基础,提出了利用无应力计测值统计模型反演热膨胀系数的方法,并应用于某高拱坝,反演结果良好^[9]。文献[10]利用该方法分析了溪洛渡大坝的混凝土线膨胀系数和自生体积变化规律,与实验室结果基本吻合^[10]。文献[11]利用某高拱坝无应力计监测数据,分别采用最小二乘法、统计回归法和遗传算法对混凝土线膨胀进行反演分析,并对结果进行了对比^[11]。

大坝混凝土应力应变监测主要采用工作应变计(组)和无应力计。工作应变计(组)测得混凝土的应变包括应力引起的应变以及不受外力作用时发生的无应力应变(也称自由体积变形)。大坝混凝土的自由体积变形采用无应力计测定,其主要由三部分组成,即由于温度变化引起的热胀冷缩变形(温度变形)、湿度变化引起的湿胀干缩变形(湿度变形)以及水泥水化热作用引起的自生体积变形(时效变形)。其中,湿度变形很小,可以忽略不计,时效变形近似为混凝土自生体积变形,混凝土自生体积变形过程线具有单调性,据此,正常无应力计观测资料按下式进行整理。

无应力计实测总应变 ε_0 可表示为:

$$\varepsilon_0 = a_0 + a_1 T + a_2 t + a_3 \ln(1+t) + a_4 e^{kt} \quad (1)$$

式中: T 为从基准时间起算的温度变化量, $^{\circ}\text{C}$; t 为从基准时间起算的混凝土龄期, d ; k 为常数,取0.01; a_0 、 a_2 、 a_3 、 a_4 为回归计算确定的系数; a_1 为混凝土温度线膨胀系数, $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

通过回归计算即可确定各测点的线膨胀系数和自生体积变形方程。

2 工程及监测概况

构皮滩水电站位于贵州省余庆县境内,属一等大(1)型工程。正常蓄水位630 m,死水位为590 m,水库总库容64.51亿 m^3 ,电站装机容量3 000 MW。工程于2003年11月开工,2009年全部机组发电。2010年除通航建筑物外的主体工程完工,目前通航建筑物土建工程已完工,正处于设备调试阶段。构皮滩水电站的挡水建筑物为混凝土抛物线型双曲拱坝,坝顶高

程640.50 m,最大坝高230.50 m,坝顶弧线长552.55 m,厚高比0.216。构皮滩水电站自2009年5月蓄水以来,水库最高运行水位达到正常蓄水位,大坝已经受了多次加载卸载循环。

为全面掌握构皮滩大坝的运行安全,根据大坝结构特点和地质情况,布置了变形、渗流、应力应变等主要监测项目。其中,用于混凝土应力应变监测的无应力计主要布置在9号(1/4拱)、19号(3/4拱)、14号(拱冠梁)坝段和两岸拱端的应力较大部位的相应高程。建设时坝体内共埋设了60支无应力计,受多种因素影响,有10支无应力计仪器已经损坏,这些仪器不能反映混凝土自生体积变形规律及用于分析混凝土线膨胀系数。除去上述已损坏的无应力计,目前埋设于坝体内部的未损坏无应力计共有50支。大坝上游展示图及无应力计布置见图1。

3 无应力计监测数据可靠性分析

3.1 无应力计数据可靠性分析方法

无应力计的测值是否准确,直接关系到能否成功反演出坝体混凝土的实际线膨胀系数。构皮滩大坝为混凝土拱坝,大体积混凝土中的湿度几乎不变,无应力计所测的变形中基本只有混凝土的温度变形和自生体积变形这两个部分。自生体积变形主要是水泥在水化过程中由于化学作用而产生的变形,随着水化过程的结束而逐渐趋向结束,混凝土自生体积变形无论是收缩还是膨胀都应是单调变化的,尤其不应该在水化过程基本结束后还发生周期性变化。理论上实测自生体积变形的变化值一般很小,但构皮滩大坝监测项目的监测数据波动较大,观测精度较低,通过自生体积变形过程线来判断无应力计的工作状况比较困难。因此,根据无应力计的原理,选择通过分析各无应力计所测温度与应变之间的关系并结合库水位变化过程线来判断无应力计测值是否异常,具体判断方法如下:

1)正常工作的无应力计所测的温度与应变两者的相关性应比较好,应变与温度应呈现较明显的正相关关系。无应力计测值若出现温度保持不变,但应变持续变化的情况,应视为测值异常。

2)正常工作的无应力计所测得的应变变化规律与库水位应不相关,应变不应随水位的变化而发生改变。无应力计若出现测值随库水位呈现较明显的正相关关系或负相关关系,应视为测值异常。

3)正常工作的无应力计所测得的应变值与浇筑坝体所使用的混凝土材料特性有关,应变值的变化量应在合理的范围内。无应力计若出现测值不规律性突

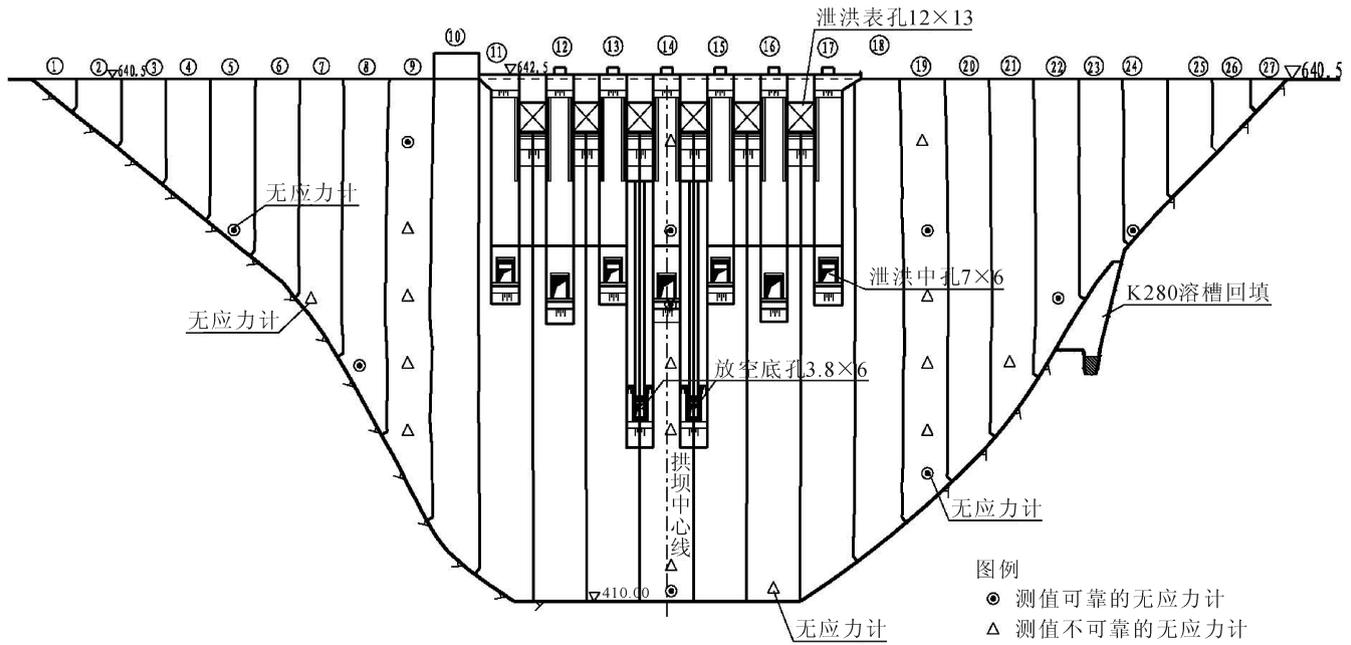


图1 大坝上游展视图

跳,变化幅度很大,应视为测值异常。

无应力计测值与温度、库水位的相关性采用 Pearson 相关系数来定量评价。Pearson 相关系数常用来衡量定距变量间的线性关系。其计算公式为:

$$r = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (2)$$

相关系数的绝对值越大,相关性越强,相关系数越接近于0,相关度越弱。通常情况下通过以下取值范围判断变量的相关强度:0.8~1.0,极强相关;0.6~0.8,强相关;0.4~0.6,中等程度相关;0.2~0.4,弱相关;0.0~0.2,极弱相关或不相关。

3.2 可靠性分析

首先根据无应力计监测资料计算得到的无应力计

应变与温度和水位之间的相关性程度,再根据上述无应力计可靠性的判断方法,对无应力计实测过程线进行定性分析,剔除测值存在不规律性突跳的异常测点。经判定,存在异常情况的无应力计共有26支,其中与温度相关性较差(相关性为中等程度相关或弱相关)的无应力总数为18支,占有异常无应力计总数的69%;测值不规律突跳,变幅大的无应力计总数为17支,占异常无应力计总数的65%;其中有9支无应力计既存在与温度相关性较差又存在测值不稳定的异常情况。因此,测值可靠的无应力计共有24支,这些测点监测值与温度存在很强的相关性,无异常变化情况。典型的可靠与不可靠的无应力计实测值与温度变化过程线见图2和图3。

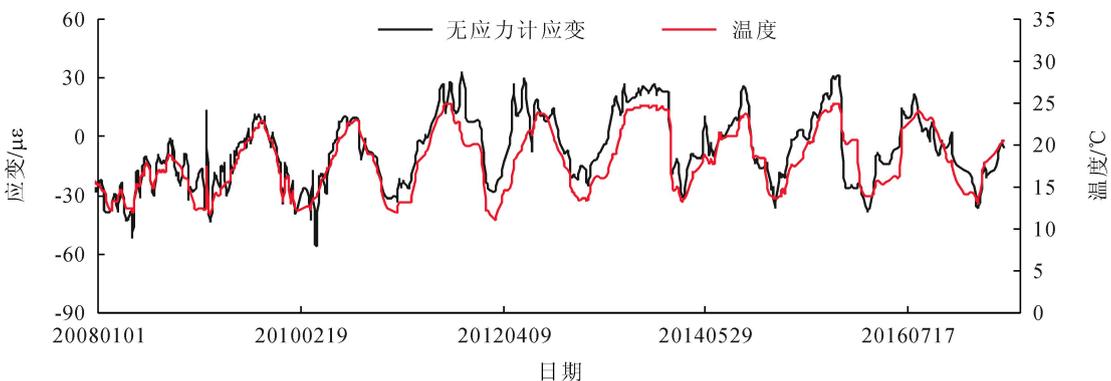


图2 典型的可靠无应力计实测值过程线图



图3 典型的不可靠无应力计实测值过程线图

测值可靠的无应力计在各坝段的分布情况为:5号坝段1支,占该坝段无应力计总数的1/2;7号坝段1支,占该坝段无应力计总数的1/2;8号坝段1支,占该坝段无应力计总数的1/3;9号坝段3支,占该坝段无应力计总数的3/8;14号坝段5支,占该坝段无应力计总数的5/12;17号坝段2支,占该坝段无应力计总数的2/2;19号坝段5支,占该坝段无应力计总数的5/10;21号坝段1支,占该坝段无应力计总数的1/1;22号坝段2支,占该坝段无应力计总数的2/2;24号坝段1支,占该坝段无应力计总数的1/2;正常工作状态下的无应力计共计24支,占坝体无应力计总数的24/50。正常工作的无应力计在河床坝段较多,岸坡坝段较少。其中,布置在上游面的测值可靠的无应力计位置见图1。根据无应力计测值的可靠性以及在坝体中的分布可以判断,采用这些无应力计测点进行坝体混凝土实际线膨胀系数分析是合理的。

4 线膨胀系数反演分析成果

根据无应力计监测资料可靠性分析结果,将正常工作状态下的无应力计实测应变值与温度代入公式(1)中进行统计模型回归分析,得到的回归系数 a_1 即为混凝土的线膨胀系数的估计值。对可靠性分析满足要求的24组无应力计测值进行回归分析得到的线膨胀系数的平均值为 $6.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,复相关系数平均值为0.90,复相关系数大于0.90的测点共有11个,全部测点的复相关系数均大于0.85,拟合精度较高。

坝体混凝土线膨胀系数计算值的分布规律如图4所示。由线膨胀系数计算值的分布情况可知,24个测点中共有18个的线膨胀系数计算值位于 $4 \sim 8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 之间,占参与回归分析测点总数的75%,分布

规律较好,说明计算所得的坝体混凝土线膨胀系数为 $6.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 是可靠的。在设计阶段,构皮滩大坝混凝土线膨胀系数取值为 $6.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,根据监测资料反演得到的混凝土线膨胀系数与该取值仅相差3%。

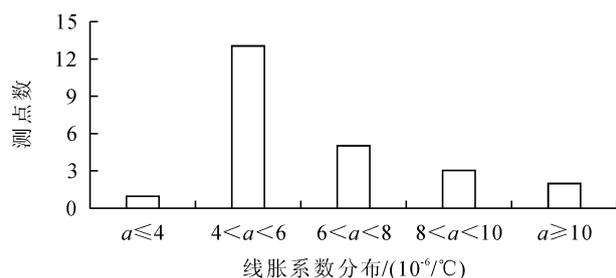


图4 坝体混凝土线膨胀系数计算值分布图

5 结 语

1) 构皮滩大坝内共埋设60支无应力计,采用无应力计测值对混凝土线膨胀系数进行反演。通过分析各无应力计所测温度与应变之间的关系并结合库水位变化过程线对无应力计监测数据开展了可靠性分析,经验证,测值可靠的无应力计共有24支。

2) 利用正常工作状态下的无应力计测值进行统计模型回归分析后,反演得到大坝混凝土实际线膨胀系数为 $6.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,与设计阶段取值基本一致。

参考文献:

- [1] 水利水电科学研究院结构材料研究所. 大体积混凝土[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990
- [2] Kraft L, Engqvist H, Hermansson L. Early-age deformation, drying shrinkage and thermal dilation in a new type of dental restorative material based on calcium aluminate cement[J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34(3): 439-446

- [3] Grasley Z C, Lange D A. Thermal dilation and internal relative humidity of hardened cement paste [J]. *Materials and Structures*, 2007, 40(3): 311-317
- [4] 吴中如. 水工建筑物安全监控理论及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [5] 刘观标, 吴中如. 反演连拱坝混凝土的物理参数[J]. *河海大学学报*, 1987(4): 29-36
- [6] 顾冲时, 吴中如. 大坝与坝基安全监控理论和方法及其应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 2006
- [7] 苏怀智, 雷鹏, 顾冲时, 等. 混凝土坝材料参数区间反演分析方法[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(5):

- 654-658
- [8] 徐波, 夏辉. 某混凝土重力坝温度线膨胀系数反演分析[J]. *水力发电*, 2010, 36(10): 34-37
- [9] 唐腾飞, 黄耀英, 周宜红, 等. 基于混凝土无应力计测值统计模型反演热膨胀系数[J]. *水力发电*, 2012, 38(10): 33-35
- [10] 伍文锋, 裴灼炎, 李金河. 高拱坝大体积混凝土自生体积变形回归分析——以溪洛渡水电站为例[J]. *人民长江*, 2015(12): 60-62
- [11] 武先伟, 鲍婷, 李金河. 基于无应力计的高拱坝混凝土线膨胀系数分析[J]. *人民长江*, 2015, 46(17): 74-78

(上接第44页)

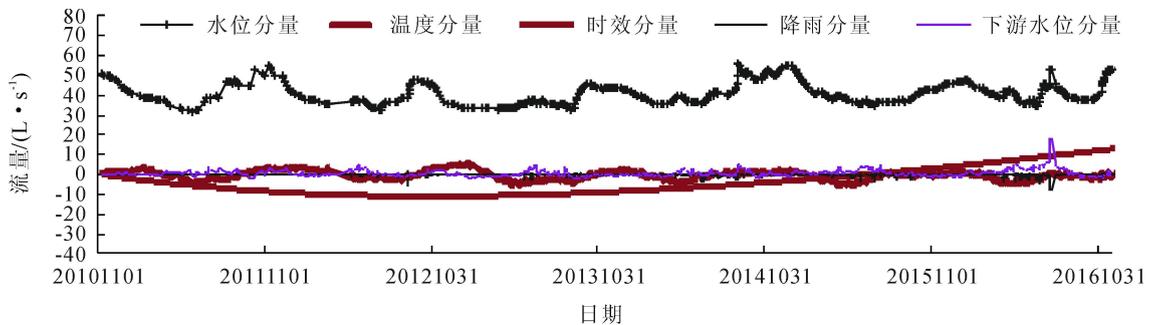


图6 渗漏量主要环境分量及时效分量过程线图

大坝总渗流量的统计模型分析结果表明:

1) 扣除降雨影响的实测渗流量在 13.03 ~ 81.17 L/s 之间, 2012 年 6 月之后扣除降雨影响的实测最大渗流量 48.2 L/s, 之后渗流量无增大趋势。

2) 2010 年至 2012 年较大的渗流量主要因面板破损造成, 因面板破损增加的最大渗流量约为 30 L/s; 面板修补之后渗流量明显减小, 因修补减少的最大渗流量约为 25 L/s。

3) 温度分量的变幅约为 11.6 L/s, 其变化规律是冬季增大, 夏季减少。

4) 降雨分量在 2 L/s 以内, 主要是下游堆石体皮面汇集的降雨。因实测渗流量中已剔除了大部分较大降雨时段的观测值, 因此, 模型分析的降雨分量较小。

3 结语

1) 水布垭大坝总渗流量历史最大值为 81.17 L/s,

2012 年 6 月水布垭面板 (353 ~ 373 m 高程) 修补后至 2016 年底, 水布垭大坝总渗最大值为 48.2 L/s。

2) 对比国内外面板堆石坝的实测渗流量, 水布垭面板坝渗流量较小。

3) 通过分析面板修补前后渗流量变化情况可知, 2012 年 6 月和 2015 年 9 月大坝面板的缺陷处理效果较好。说明面板修补所用 SR 柔性材料既能起到面板的防渗作用, 又能很好地适应面板的结构变形, 有利于面板整体防渗稳定, 从而有效保障大坝运行安全, 同时又有效地减少了面板的维修次数, 经济效益显著。该方法对国内外类似工程面板缺陷处理具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 张玉龙, 赵华, 董泽荣, 等. 面板堆石坝坝体渗流监测资料分析[J]. *长江科学院院报*, 2009, 26(A1): 140-143

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.013

RCS-901G 高频方向保护拒动原因分析

余平, 姚国明

(清江隔河岩水力发电厂, 湖北 长阳 443503)

摘要: 清江隔河岩水力发电厂 500 kV 清葛线配置了两套保护, CSC-103B 型光纤差动保护和 RCS-901G 型高频方向保护。但在 2018 年 7 月 22 日发生单相接地故障时, RCS-901G 并未启动。经试验分析已知, 故障发生时 RCS-901G 的本站侧因机组未发电为弱电源侧, 保护装置采集到的故障电流小, 保护启动元件不能动作, 而弱馈功能也没投, 保护元件不能通过弱馈功能启动。

关键词: 光纤纵联差动保护; 高频保护; 弱馈功能; 弱馈保护

中图分类号: TM773⁺4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)06-0050-02

Analysis of a Non-operation Fault of the RCS-901G High Frequency Directional Protection

YU Ping, YAO Guoming

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

Abstract: In Qingjiang Geheyan Hydropower Plant, two sets of protections, the CSC-103B optical fiber differential protection and the RCS-901G high frequency directional protection, are equipped in the Qing-Ge line. In July 22, 2018, the RCS-901G protection did not act when a single-phase grounding fault occurred. In-situ test and analysis show that when the grounding fault occurred, the station side of the RCS-901G protection was the low voltage side as the unit was not running. The protection activation element cannot act because the fault current collected by the protection equipment is too small. Also, the protection element cannot be activated as the weak-infeed function did not act.

Key words: optical fiber longitudinal differential protection; high frequency protection; weak-infeed function; weak-infeed protection

清江隔河岩水力发电厂 500 kV 线路(清葛线)按照双重化配置原则配置了两套保护,一套为北京四方公司生产的 CSC-103B 型光纤差动保护,另一套为南瑞继保公司生产的 RCS-901G 型高频方向保护。同时还配置了 RCS-921G 断路器失灵及重合闸保护。线路运行时,两套保护都投入运行,线路出现故障时,两套保护应均动作。

1 线路故障经过

2018 年 7 月 22 日,500 kV 清葛线发生单相瞬时接地故障,隔河岩电厂侧 CSC-103B 光纤差动保护动作,出口跳开故障相 C 相断路器,RCS-921G 断路器

失灵及重合闸保护装置重合闸动作重新合上断路器,线路恢复正常运行。RCS-901G 高频方向保护未启动。2018 年 7 月 22 日 9 时 17 分,隔河岩电厂中控室监控系统报警,报文显示:

09:17:58,500 kV 清葛线录波装置启动;

09:17:58,500 kV 清葛线四方 CSC-103B 光纤差动保护动作;

09:17:58,500 kV 清葛线 CZX-12G 操作箱跳 II 出口跳闸动作;

09:17:58,500 kV 清葛线 CZX-12G 操作箱断路器位置不一致或非全相运行动作;

09:17:59,500 kV 清葛线 RCS-921G 重合闸

收稿日期:2019-12-20

作者简介:余平,女,工程师,主要从事发电厂继电保护方面的工作。

动作;

09:17:59,500 kV 清葛线 CZX-12G 操作箱断路器位置不一致或非全相运行复归;

09:18:00,500 kV 清葛线录波装置启动复归。

故障发生时,隔河岩电厂4台机组处于全停状态。清葛线出口开关5051开关在合位。故障发生后,保护人员检查保护设备,发现信号与中控室信号一致,但两套线路保护只有CSC-103B光纤差动保护动作并出口跳开故障相C相断路器,RCS-921G断路器失灵及重合闸保护装置经835 ms延时后重新合上C相断路器,线路恢复正常运行,而RCS-901G高频方向保护并未启动。

2 原因分析

现场检查500 kV清葛线光纤差动保护CSC-103B(北京四方)差动远方召唤启动、分相差动动作、对侧差动动作,清5051开关C相经CZX-12G操作箱出口跳闸,RCS-921G失灵及重合闸保护装置延时835 ms后重合闸动作,清5051开关C相合闸成功。清葛隔线RCS-901G型高频方向保护未启动、未出口、未发信、收信2次,对侧RCS-901G保护装置只启动、未出口、发信2次、未收信。隔河岩电厂500 kV线路所配置两套保护中,一套为南瑞继保的RCS-901G高频方向保护,以硬接点的方式与对侧交换方向信息,利用本厂33号载波机与对侧构成允许式的高频方向保护。对侧为葛洲坝500 kV开关站,所配置的两套线路保护和母差保护的型号与隔河岩电厂侧完全一致。故障发生时,隔河岩电厂侧机组未发电,而对侧母线有电,隔河岩电厂侧为弱馈侧。经查看定值发现,隔河岩电厂侧定值单上“弱电源侧”控制字为0,现场保护装置上“弱电源侧”控制字也为0。故障时,隔河岩电厂侧保护装置采集到的故障电流小,保护启动元件不能动作,而弱馈功能也没投,所以隔河岩电厂侧保护元件不能通过弱馈功能启动,故不能向对侧发信,对侧保护未收到隔河岩电厂侧的发信,对侧保护也没有动作。

3 弱馈保护原理介绍

线路正常运行时,如果线路两端都是强电源,当发生区内故障时,两侧都会提供足够大的短路电流,两侧保护均能正确动作出口。但是如果线路一侧为弱电源侧或为线路末端无电源,这种情况下发生区内故障,弱电源侧故障电流小,保护启动元件可能不能动作,无法向对侧发信。强电源侧故障电流足够大,启动元件动

作,但收不到弱电源侧的允许信号,故不能动作出口。为了解决这种情况,继电保护厂家研发了弱馈保护。当发生区内故障时,强电源侧保护判为正方向故障则向弱电源侧发信,弱电源侧保护启动元件本身不能动作,但是由于线路故障时,会造成弱电源侧母线电压下降,满足了弱馈保护出口条件,强迫启动元件动作,并发信。这样两侧的保护都可以动作切除故障^[1]。

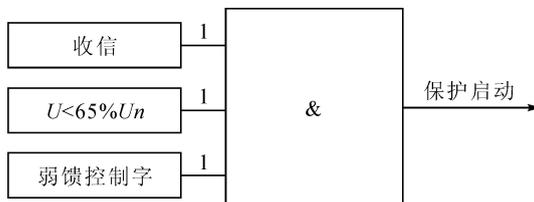


图1 弱馈保护图

4 解决方案

2018年12月,在清葛线检修期间,清葛线两侧(隔河岩电厂和葛洲坝开关站)均将RCS-901G高频方向保护更换为南瑞继保公司生产的PCS-931A-G-R型光纤差动保护。该保护的固有启动方式之一是“纵联差动或远跳(远方其他保护动作)启动”,即固定投入弱馈保护功能。发生区内故障时,弱电源侧电流启动元件可能不动作,此时若收到对侧的差动保护允许信号,则判别差动继电器动作相关相电压及相间电压,若小于65%额定电压,则辅助电压启动元件动作,去开放出口继电器正电源7 s,从而解决了RCS-901G弱馈时因为控制字未投而拒动的问题。

调试完保护装置后,两侧进行了通道联调,重点对弱馈功能进行了调试。其弱馈功能不需要控制字控制,自动投入,条件满足时弱馈保护动作^[2]。

5 结语

本文以一次RCS-901G高频方向保护拒动事件为背景,介绍了弱馈保护的原理。保护型号的RCS-901G的线路保护在运行时,要注意检查弱馈保护控制字的投退是否合理,防止拒动事件再次发生。

参考文献:

- [1]张华贵. 一侧大电源一侧小电源线路的继电保护[J]. 继电器, 1993(3): 15-18
- [2]林浩明. 浅谈弱馈保护及其调试方法[J]. 科技创新与应用, 2014(20): 140-140

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.014

大岗山水电站 GIS 母线接地故障分析及处理

李晓飞, 李秀杰

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900)

摘要: 经深入分析大岗山水电站 GIS 设备内部放电故障的原因, 主要是 GIS 内部元件布置的设计、盆式绝缘子及导体等元件选用的材质、元件的制造与设备现场安装工艺、安装环境的洁净度等方面存在缺陷。经更新改进装置和一系列合理的处理措施, 大大提高了 GIS 运行的可靠性。

关键词: 大岗山电站; GIS; 接地; 分析; 处理

中图分类号: TM645.1⁺1 文献标志码: B 文章编号: 1671-3354(2020)06-0052-03

Analysis and Treatment of a GIS Busbar Grounding Fault in Dagangshan Hydropower Station

LI Xiaofei, LI Xiujie

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

Abstract: A GIS busbar grounding fault is observed in Dagangshan Hydropower Station. Possible causes of the internal discharge fault of GIS equipment are discussed, including the unreasonable arrangement of internal components, unsatisfied insulator and conductor materials, component manufacturing and equipment installation process, and cleanliness of the installation environment. After a careful disassembly and inspection, the actual reason of the fault is determined and treatment and improvement measures are proposed correspondingly, which can greatly improve the operation reliability of GIS equipment.

Key words: Dagangshan Hydropower Station; GIS; grounding; analysis; treatment

SF₆ 气体绝缘全封闭组合电器(GIS)因其占地小、无污染及检修周期长等优点受到用户的青睐,在高压及超高压领域的使用越来越多。但 GIS 一旦发生故障,特别是内部放电故障,或者因缺陷需要检修,涉及的停电范围及工程量将十分巨大。因此 GIS 设备的生产工艺及安装工艺的优劣决定着设备的安全运行及可靠性。

1 故障概况

大岗山 GIS 采用现代重工电气有限公司产品,于 2014 年安装,2015 年 8 月投运。该水电站有 4 回进线,3 回出线,接线方式为 2 串 2/3 及 1 回 3/4。GIS 设备设计为同轴圆柱结构,构成稍不均匀电场,壳体与导体间充入 SF₆ 气体, SF₆ 气体在该电场中绝缘强度很

高。全站 GIS 设备共配置有 362 个吸附剂装置,安装在 GIS 设备径向方向、GIS 底部位置和 GIS 上部位置。

2016 年 9 月 5 日,大岗山电站 GIS 保护报警跳闸,现场检查发现 5013DL 开关、5033DL 开关三相分闸,II 号母线 GIS 外观无异常、靠 II 号母线侧开关 5013DL、5024DL、5033DL 外观无异常。测试 II 段母线 A、B、C 三相对地绝缘(15 s)分别为 12、19、13 GΩ,未发现接地点。

厂家人员通过对 II 母及相邻间隔气室气体嗅探和专用试纸测试(见图 1、图 2),确定故障点在 II 母 5217 地刀间隔气室。检修人员对故障气室气体检测成分: SO₂ 为 100 ppm、H₂S 为 123.2 ppm、CO 为 43.2 ppm。

通过 5217 地刀观察孔观察,5217 地刀动静触头和 5217 地刀观察孔有放电产生的白色粉尘覆盖。

收稿日期: 2019-12-01

作者简介: 李晓飞,男,工程师,主要从事水电机组检修及管理方面的工作。



图 1 测纸变色情况图



图 2 观察孔白色粉末图

2 GIS 放电故障的原因

根据以往的故障分析引起 GIS 设备内部放电故障的原因主要集中在 GIS 内部元件布置的设计、盆式绝缘子及导体等元件选用的材质、元件的制造工艺、设备现场安装工艺、安装环境的洁净度等方面有关。

1) GIS 内部元件布置设计的合理性,直接影响到运行中发生局部放电的概率。在尘埃,杂质及金属颗粒易沉积的部位(诸如水平布置的盆式绝缘子和水平母线倒三角形布置的母线筒等)。因此产品设计在保持与导体安全距离的同时,应保留有足够的裕度。

2) GIS 元件材质不良,绝缘子绝缘强度不够,导体等元件表面较粗糙,均易引发放电故障。在制造工艺粗糙、表面光洁度差的元件表面的不规则处,电场强度发生畸变,尖端形成高电场,易引起局部放电。

3) 设备现场工装质量粗糙也是引起放电的原因。由于装配尺寸不到位,触头接触不良会引起局部发热,而导体与盆式绝缘子的膨胀系数不同,因此在导体与盆式绝缘子之间会产生间隙,发生放电现象。

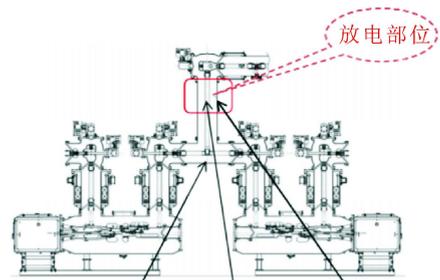
4) 设备安装现场的环境洁净度不符合安装工艺要求是引发事故的重要因素之一。在安装过程中若环境粉尘、杂质密度大,绝缘子表面污秽,会使绝缘子表面的电导率发生变化。尘埃、杂质及金属颗粒等在电

场作用下,吸附在绝缘子表面,导致大量表面电荷形成,反复之下,最终引发放电。

3 故障部位拆解情况

拆除 II 母 5217 地刀检查母线内部和 5217 地刀,发现母线垂直段导体放电中心点距端部 460 mm 处有直径约为 100 mm 左右的放电烧蚀痕迹, GIS 壳体内部放电中心点距端部 267 mm 处有约为 200 mm × 300 mm 的放电痕迹、局部有深约 5 mm 的放电烧蚀凹点(见图 3), GIS 导体与 GIS 壳体放电点基本在同一高度。

同时观察到 5217 地刀处吸附剂端盖挡板、吸附剂包散落到 GIS 垂直母线下端的 T 型段内,其中一包吸附剂的包装已烧坏,其吸附剂颗粒散落且部分颗粒变色,另一包吸附剂完整,吸附剂装置端盖挡板完好未被电弧烧蚀。



故障部位照片如下

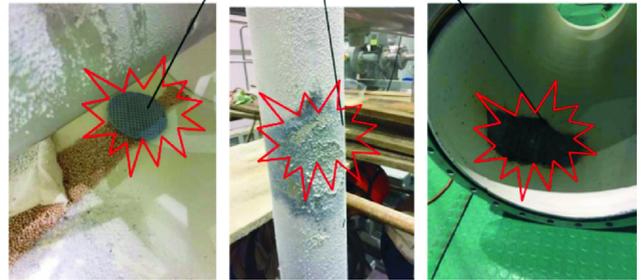


图 3 放电部位照片

4 本次故障原因分析

4.1 现场结构图

通过拆除 II 母 5217 地刀查看,发现 5217 地刀吸附剂端盖板脱落和吸附剂散落到 5217 地刀 GIS 母线下端 T 型段。吸附剂端盖板完好,有一包吸附剂包装袋破裂(仅剩余 100 × 35 mm 见方的包装袋)。

该故障处 GIS 吸附剂装置安装位置为 5217 地刀外壳斜下方约 45°角(见图 4)。



图4 吸附剂安装位置图

4.2 吸附剂盖板结构及材质

该吸附剂挡板采用四角卡扣固定结构,卡扣尺寸小于吸附剂外壳,通过卡扣和外壳进行固定(见图5)。

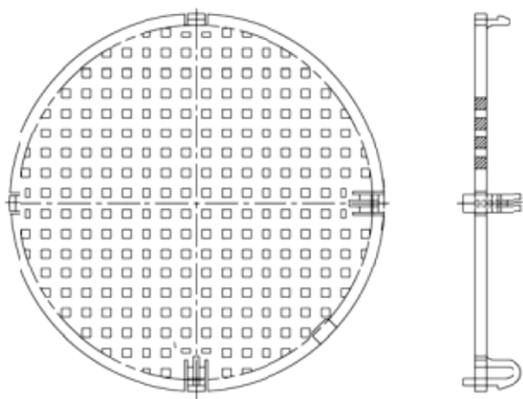


图5 吸附剂卡扣结构图

经咨询厂家,该吸附剂盖板采用 PA66 材质注射成型。PA66 材质主要用于抗冲击性及高强度要求的产品上,有较强的强度和刚度。同时具有良好的耐磨性、耐热性、耐油性。成型后进行高温热处理(96℃热处理,6 h 后常温冷却),确保材质不会因温度变化而变形。

4.3 原因分析

结合现场情况及设备结构,本次故障原因是 GIS 开关多次分合闸震动,造成吸附剂端盖板松动脱落,吸附剂在脱落过程中,减小了母线与壳体间的绝缘强度(吸附剂包吸潮后绝缘强度降低),改变了电场分布,导致导体通过吸附剂包对壳体电弧放电,继而跳开 500 kV 第一串靠 II 段母线侧开关 5013DL,500 kV 第三串靠 II 段母线侧开关 5033DL,切除故障点。

4.4 暴露的问题

吸附剂装置存在设计缺陷:吸附剂端盖板仅采用 4 个卡扣与吸附剂装置固定,固定不够牢固,在承受开

关、隔刀分合动作振动冲击下,卡扣可能松动。且盖板直径为 $\phi 132$ mm,小于吸附剂法兰孔直径 $\phi 148$ mm,存在脱落后引起放电的风险。

吸附剂布置位置存在隐患:部分吸附剂装置布置于外壳斜上方,与水平方向约 45° 角位置,正常状态下将承受 500 g 吸附剂的重力作用,在设备操作振动下极易导致吸附剂盖板脱落,鉴于吸附剂原始结构不够牢固,此种布置方式存在很大隐患。

5 处理措施

5.1 应急处理

对放电烧伤的 II 段母线 B 相 GIS 导体、GIS 壳体和接地刀闸进行全部更换,因该吸附剂挡板不具备在现场改型的条件,现场采取的紧急措施为将原吸附剂盖板及吸附剂取消,设备再重新抽真空、充气。按照“四不放过”原则和举一反三要求,对 5217 地刀 A 相、C 相气室间隔的吸附剂装置进行取消处理。

5.2 改进方案

和生产厂家进行联系,对该 GIS 吸附剂盖板进行改型。取消卡扣结构,通过增大盖板面积,用筒体直接将盖板固定,防止类似事件再次发生。并对所有 GIS 吸附剂盖板进行更换。

改进后的吸附剂盖板直径大于壳体法兰的直径新盖板外径为 $\phi 158$,大于改进前的盖板外径 $\phi 132$,新盖板外径是大于壳体法兰直径 $\phi 148$,塑料盖板由原来的卡扣结构改为由吸附剂装置与气室本体上的法兰共同压紧,保证了吸附剂挡板不会由于卡扣不紧发生脱落后掉入气室内部的情况,从而杜绝了再次发生了类似故障的可能性,提高了 GIS 运行的可靠性。

5.3 处理流程

排除故障相气室气体,压缩波纹管取出波纹管导体,拆除 ES-母线装置,清理内部放电污染物。对相邻气室进行降压处理(降压至 0.2 MPa),更换新的装置后,对气室进行抽真空处理,并抽真空后进行保压、检漏、微水测试。以上试验完成后,对断路器及断路器断口进行耐压试验。

6 后续建议

通过本次故障案例分析,GIS 虽然属于“免维护”设备,但因为设计、材质、安装工艺等多方面的影响,产

(下转第 64 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.015

五岳抽水蓄能电站利用已有水库的实践

潘军伟,许志卫

(河南新华五岳抽水蓄能发电有限公司,河南 光山 465450)

摘要:河南五岳抽水蓄能电站利用已建的五岳水库作为下水库,在抽水蓄能电站可行性研究阶段,根据水库的实际运行情况,全面评估除险加固的效果,经对水库饮用水源区进行有效保护、汛期防洪的优化调度及灌溉渠道防渗等工程措施,避免饮用水污染、占用灌溉水源,充分利用水库汛期弃水作为电站取水,为工程顺利获得核准批复和开工建设,奠定了坚实的基础。

关键词:抽水蓄能电站;租赁协议;防洪调度;已有水库利用

中图分类号:TV743

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)06-0055-02

Practice of the Utilization of Existing Reservoir in Wuyue Pumped Storage Power Station

PAN Junwei, XU Zhiwei

(Henan Xinhua Wuyue Pumped Storage Power Generation Co., Ltd., Guangshan 465450, China)

Abstract: In Wuyue Pumped Storage Power Station, the existing Wuyue Reservoir is used as the lower reservoir. Several important issues in the feasibility study of the project are discussed, including the reinforcement of the original reservoir, drinking water source protection, flood control dispatching and agricultural irrigation water occupying compensation. Detailed measures are then proposed such as effective protection of the drinking water source area, optimized flood control dispatching scheme, seepage control work of irrigation channels, and the utilization of the abandoned water of the reservoir in flood season for power generation. It provides solid basis for the approval and construction of the project.

Key words: pumped storage power station; lease agreement; flood control dispatching; utilization of existing reservoir

五岳水库位于淮河一级支流寨河主干青龙河上游,主坝在河南省光山县南向店乡长冲村境内,控制流域面积 102 km^2 ,总库容 1.22 亿 m^3 ,大(II)型多年调节水库,其开发任务以防洪、灌溉为主,兼顾水产养殖。其重点防洪对象为7个乡镇,5个厂矿,10余万人,35万亩耕地及沪陕高速公路、312国道、宁西铁路、京九铁路等重要交通设施。工程于1966年9月开工,1970年1月竣工,运行至今已49年,期间进行了多次除险加固及改造工程,最近一次除险加固工程于2012年10月完工,对水库大坝进行了部分翻修及加固处理,对溢洪道进行了拆除重建,对输水洞进行了加固改造;2016年12月通过了蓄水验收,工程加固后防洪标准达到“100年一遇设计,5000年一遇校核”。

五岳水库为大(II)型多年调节水库,主要建筑物为2级。水库正常蓄水位 89.184 m ,相应库容 0.928 亿 m^3 ,设计洪水位 89.974 m ,相应库容 1.03 亿 m^3 ,校核洪水位 91.374 m ,相应库容 1.22 亿 m^3 ,汛限水位

88.384 m ,相应库容 0.83 亿 m^3 ,死水位 77.884 m ,死库容 0.118 亿 m^3 ,兴利库容 0.81 亿 m^3 。

水库枢纽由主坝、5座副坝、溢洪道、副溢洪道堵坝、输水洞、渠首闸、输水洞泄洪闸、引水洞等组成。主坝为粘土心墙砂壳坝,坝顶长 561 m ,坝顶高程 93.584 m ,防浪墙顶高程 93.844 m ,最大坝高 28.8 m ,坝顶宽度 7 m 。5座副坝均为土坝,1~4号斜墙坝,5号均质坝,位于水库主坝的右侧,全长 472.4 m ,最大坝高 8.0 m ,坝顶高程为 $93.244\sim 94.084\text{ m}$,坝顶宽度 $6.6\sim 9.3\text{ m}$,无防浪墙,坝顶兼作五岳水库至南向店防汛公路。溢洪道为开敞式平底宽顶堰,底板高程为 85.184 m ,设2孔 $10\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ (宽×高)钢丝网薄壳水泥弧形闸门,出口采用挑流消能。

1 饮用水源保护区调整

河南省人民政府于2016年3月印发乡镇级集中

收稿日期:2019-12-02

作者简介:潘军伟,男,工程师,主要从事抽水蓄能电站建设管理方面的工作。

式饮用水水源保护区划文件,划定了五岳水库保护区的范围,明确了一、二级及准保护区范围。根据电站环境影响评价报告编制单位的初步调查,电站下库进出水渠下游段位于饮用水源保护区一级保护区范围内;输水系统下库进出水口位于饮用水源保护区二级保护区范围内;上水库、输水系统、发电系统厂区布置所在陆域范围位于饮用水源保护区准保护区范围内^[1]。

为了减缓对区域居民生活用水的影响,减小取水口工程变更对当地的影响,确保五岳抽水蓄能电站工程的顺利实施,在新建水厂的基础上,对五岳水库饮用水水源保护区重新划分,报省政府重新审批。经多方沟通协调,饮用水源保护区调整获得审批,保障环评和水保等专题报告顺利取得批复。

2 防洪调度方式调整

上水库设计、校核洪水标准分别为200年、1000年一遇,挡水建筑物级别为1级;输水系统及电站厂房设计、校核洪水标准分别为100年、500年一遇,建筑物级别为2级;下库利用已有五岳水库,设计、校核洪水标准分别为100年、5000年一遇。上水库坝体及进出水口施工期度汛标准采用全年50年一遇,下库进出水渠挡水主围堰采用非汛期10年一遇洪水标准。工程任务基本合适,防洪标准及建筑物级别基本符合有关规划和规范要求。

为确保电站运行不受破坏及下库工程的防洪安全,在现行汛限水位的基础上研究调整汛期防洪调度方式,保证水库现有防洪标准,确定科学合理的防洪调度方式。根据调洪演算和坝顶高程复核,主坝和部分副坝满足防洪要求,仅堵坝需增设防浪墙;上下水库统一管理调度,需要联合计算汛限水位,其在一定水位范围内动态变化,闸门调度频繁不易操作^[2]。

经过分析比较,五岳水库防洪调度方式调整为控泄运行是可行的。主坝防浪墙需加高至0.7 m,1、2号副坝新增防浪墙0.5 m,其他副坝防浪墙无需加高。主、副坝防浪墙高程满足水库现行防洪标准要求,结构安全稳定,对大坝渗流和结构安全无影响;调整后的水库汛期防洪调度方案,在电站投入运行后实施,保证发生20年一遇及以下洪水时,水库最大下泄流量不大于原设计下泄流量;当发生20年一遇以上洪水时,水库相应泄量将加大,增加了下游河道防洪风险,应加强与下游河道、枢纽等管理单位及地方沟通、协调,确保下游河道及流域防洪安全。

3 占用农业灌溉水源补偿方案

五岳抽水蓄能电站施工期、初期蓄水期及正常运

行期需从五岳水库取水,通过调节计算并经对比分析,增加施工期用水后,五岳水库多年平均灌溉供水量比现状略有减少,对灌区农业灌溉保证率有所影响。

根据有偿占用与等效替代相结合的原则,电站建设单位应负责建设与被占用的农业灌溉水源效益相当的替代工程。替代工程方案采用三种类型比选:一是灌区渠道防渗工程替代方案,通过渠道防渗工程技术减少由渠道渗漏损失的水量,节约出工程占用的农业灌溉用水量;二是井灌工程替代方案,在灌区渠系末端或地下水较为丰富的区域扩大井灌区,即实施机井工程,提取地下水进行农业灌溉,弥补因工程占用农业灌溉用水量而影响的灌溉面积;三是修建塘堰工程替代方案,通过修建塘堰蓄水,补偿工程占用的灌溉用水量^[3]。

经过测算和方案经济性比较,选定渠道衬砌防渗工程替代方案,提高渠道的渠系水利用系数,节约出一定的水量补偿电站占用农业灌溉水量。

4 结语

上述问题均出现在电站可行性研究阶段,租赁协议条款未做出明确界定,专题报告编制单位在初步调查和政策分析时,才逐步明晰上述问题,增加了报告编制的障碍,严重影响了专题报告报批周期。租赁协议签订时,双方往往重点关注安全职责界定,对后续手续办理边界条件概念模糊,多会引起双方扯皮的问题。

实践证明,电站建设单位和设计单位宜尽早介入,调查有租赁意向水库的运行及监测资料,根据水库的属性、功能和管理情况,了解是否存在水库移民返迁、水权纠纷等遗留问题;租赁协议宜不改变原有水库的水权、管理范围和管理职责,出租方继续承担原有水库及建筑物的检查、维修和加固等管理责任^[4];复核水库具有的功能性,做好统一调度风险管控,提前规避饮用水源保护区,避免占用农业灌溉水源等,电站规划时合理利用地形条件,确保电站取水利用水库汛期弃水,降低电站建设投资成本费用;抽蓄电站和水库管理单位建立健全科学合理的调度运行制度,合理调配各用水部门水量,避免出现水库弃水不良现象。

参考文献:

- [1] HJ338-2018, 饮用水水源保护区划分技术规范[S]
- [2] 欧阳铭葛, 穆振侠. 阜康抽水蓄能电站工程防洪影响评价分析[J]. 中国水能及电气化, 2018(6): 33-37
- [3] 李宝萍, 张增安, 韩建伟, 等. 泰安大河水库水资源补偿方案选择[J]. 人民黄河, 2007, 29(7): 29-30
- [4] 张妍, 杨喆, 刘世煌. 试谈抽水蓄能电站租赁下水库的安全风险与管控[J]. 中国水能及电气化, 2018(12): 4-7

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.016

OPC技术在芭蕉河梯级电站集控改造中的应用

唐 栋¹, 郑明友¹, 董海龙²

(1. 湖北芭蕉河水电开发有限责任公司, 湖北 鹤峰 445800;

2. 南京南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏 南京 211106)

摘要:在芭蕉河梯级电站集控改造项目中,分析原有芭蕉河梯级电站集控中心的上位机系统及上位机与下位机的通讯方式,采用 OPC 技术快速有效的实现了新监控系统与原有现地控制单元的数据通讯,减少对原有现地控制单元的二次开发,快速而有效的完成了芭蕉河梯级电站集控系统的改造。

关键词:芭蕉河水电站集控; OPC 技术; 通讯; 改造

中图分类号: TN919

文献标志码: B

文章编号: 1671-3354(2020)06-0057-04

Application of OPC Technology in the Renovation of the Centralized Control System in Bajiaohe Cascade Hydropower Stations

TANG Dong¹, ZHENG Mingyou¹, DONG Hailong²

(1. Hubei Bajiaohe Hydroelectric Development Co., Ltd., Enshi 445800, China;

2. NARI Group Corporation/State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211106, China)

Abstract: The application of OPC (OLE for process control) technology in the renovation work of the centralized control system in Bajiaohe cascade hydropower stations is introduced. Considering the original communication mode between the host computer, host system and the slave computers, OPC technology is adopted to realize the data communication between the new monitoring system and the original local control units (LCU). With the new technology, the need for secondary development of the LCUs is reduced. The renovation work of the centralized control system is completed quickly and effectively.

Key words: Bajiaohe cascade hydropower stations; centralized control; OPC technology; communication; renovation

芭蕉河水电公司位于湖北鹤峰县容美镇官坪村四组落山坝,其集控中心位于鹤峰县芭蕉河一级站集控室内,参与监控与调度的有3座电站,分别是芭蕉河一级电站,装机容量为 $2 \times 17 + 1 \times 1$ MW;芭蕉河二级电站,装机容量为 2×8 MW;燕子桥一级电站,装机容量为 2×5 MW,集控总装机61 MW。

为满足电站“无人值班、少人值守”的要求,采取的梯级集控主干网设置集控中心,集中控制室设置在蕉一级站,另在蕉一级站、蕉二级站、燕子桥电站设工作台,之间采用光通信组网。芭蕉河集控中心计算机监控系统升级改造采用的是由南瑞集团公司(以下简称“南瑞”)自主研发的NC 2000 V3.0监控系统软件。

该系统具有自主知识产权,按照“无人值班”(少人值守)模式设计,适用于中小型水电站及中小型水电站群的计算机监控系统。

1 OPC 技术介绍

OPC 是 OLE for Process Control 的缩写,即用于过程控制 OLE。这是自动化和其他行业数据安全交换的互操作性标准。主要用来解决过程控制系统与其数据源的数据交换问题。

1.1 水电站的通信现状

水电站需要通信的设备很多,如机组测速装置、

收稿日期:2019-12-10

作者简介:唐 栋,男,工程师,主要从事生产经营及安全管理方面的工作。

机组测温装置、交流采样装置、现地控制单元(LCU)、机组保护装置、机组调速器系统、机组励磁系统、机组蝶阀系统、辅机控制系统、主变压器保护装置、故障录波装置、电量采集装置、直流系统、线路保护以及水情水电系统等数据,均需要接入上位机计算机监控系统。这些设备生产厂家较多,不同厂家的系统或设备所用通信方式、通信协议也较多,经常出现通信不匹配,通信异常的情况。

当前水电站系统模式最常见的通讯方式有两种:

1)前置机通讯方式。这是在现地控制单元(LCU)柜上装备一种工控机作为前置机,对每个LCU站内前置机就需要负责与各设备进行实时通信,数据处理,显示,数据和后台监控系统之间的数据交换。

2)通信管理机通讯方式。这是将数据交由通信管理机完成各种现场总线模式及通信协议的转换,再采用统一的标准上送后台监控系统的一种方式。

这两种方式都需要有负责协议转换的机器完成通信协议的转换,以及上送后台监控的数据集成和编制通信协议的设备。不难看出存在以下弊端:

1)协议重复开发。根据每家软件系统开发商的不一样,必须为每个特定的硬件设备开发一个驱动程序,用于满足互联要求。

2)驱动程序的不一致性。软件开发商从各自需要及保密要求出发,往往采用不同的数据交换协议以开发驱动程序,往往使得驱动程序不一致。

3)硬件特性变化多端。硬件特性的变化导致以往的驱动程序互联失败,软件开发商必须根据硬件的变化来开发新的驱动程序。

4)访问经常冲突。两个软件包因使用了不同的驱动程序导致不能同时访问同一个设备的情况时有发生。

1.2 OPC 的特点

OPC 技术的运用使得用户根据实际需要很容易就能将它们集成为完整的自动化系统。OPC 技术的使用使 OPC 服务器代替了原来的通信协议,并将各种应用设计为 OPC 客户机,在 OPC 客户机与 OPC 服务器之间就可以进行通信和互操作,软硬件厂商可以在互联问题上花很少的时间,集中精力解决应用需求,从而消除大量的重复劳动。

2 原有系统通讯原理

芭蕉河集控中心于 2006 年投入使用,采用扩大厂站模式(一厂多站控制模式),参与监控与调度的有三座电站,后台监控系统采用 GE 公司的 iFix 组态软件,现地控制单元采用南瑞设计的 SJ-500 系列。通过对芭蕉河原有监控系统与系统结构分析,如图 1 所示,ifix 监控系统采用 OPC 技术与现地控制单元通过工业以太网进行数据交互。

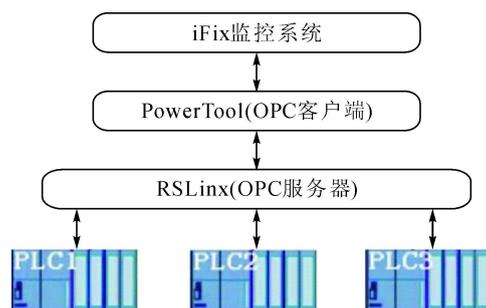


图 1 原一级站通讯原理图

3 集控改造后的通讯原理

根据原有监控的通讯方案,结合现场实际情况,要快速有效的实现 NC2000 监控系统软件与原有现地控制单元的数据通讯,决定使用软件 KEPServerEx 作为 OPC 服务器,通过相应的驱动程序获取现地控制单元中 PLC(可编程控制器)的数据,并结合南瑞自主开发组件 OPC_104Slave 与监控系统通过 IEC104 规约实现数据交互。如图 2 所示,实现此通讯方案,需要完成 KEPServerEx, OPC_104Slave 和监控系统 104 主站通讯驱动的配置。

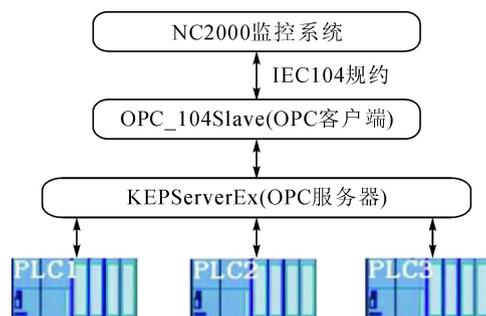


图 2 改造通讯原理图

3.1 KEPServerEx 介绍及配置

KEPServerEx 是 Kepware 的 OPC 服务器产品,具有广泛的设备驱动程序插件和组件,支持多种品牌 PLC 产品,可以很方便的与多种设备建立连接。

在运行 KEPServerEx 后,需着重配置以下几项。

建立一个通道,命名为 LCU1,根据向导程序,软件自带帮助(Driver Help),通过需要采集数据 CPU 模块型号来选择设备驱动名称,例如芭蕉河一级站现地单元 PLC 为 AB,选择 Allen - Bradley Ethernet,如图 3 所

示,根据一些网络优化的选项保持默认值,完成了对通道类型的设置。

在该通道内建立新设备,根据向导程序,输入设备名字为 Dev1,设备类型选择 CPU 模块型号。设备的 ID 号(device ID)要与在 PLC 配置中的 CPU 模块的 IP 地址相同,例如 10.124.*.* ,如图 4 所示,随后的选项保持默认值,这样就确定了要进行通信的具体通道。

最后在设备里添加需要通讯的变量来完成 KEPServerEx 的配置,如图 5 所示。

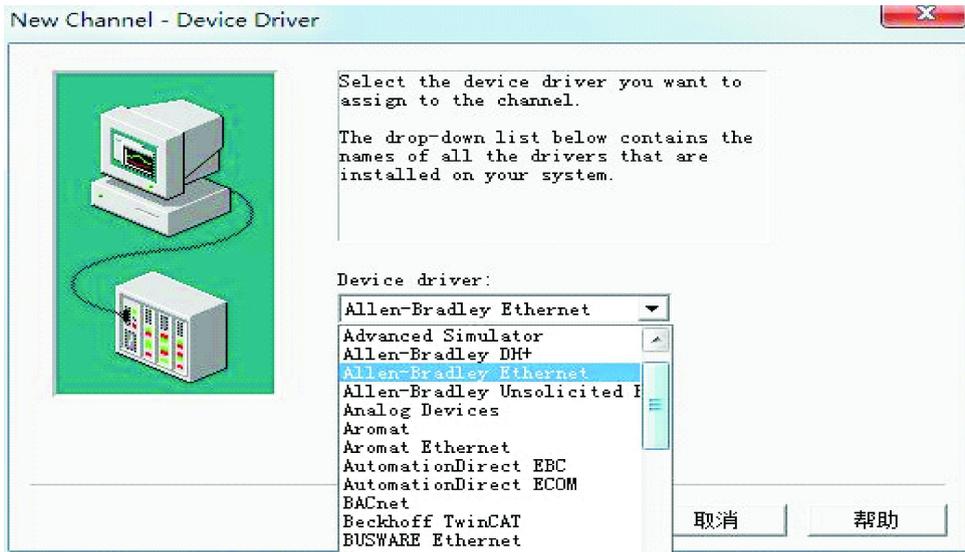


图 3 KEPServerEx 设备驱动选择图

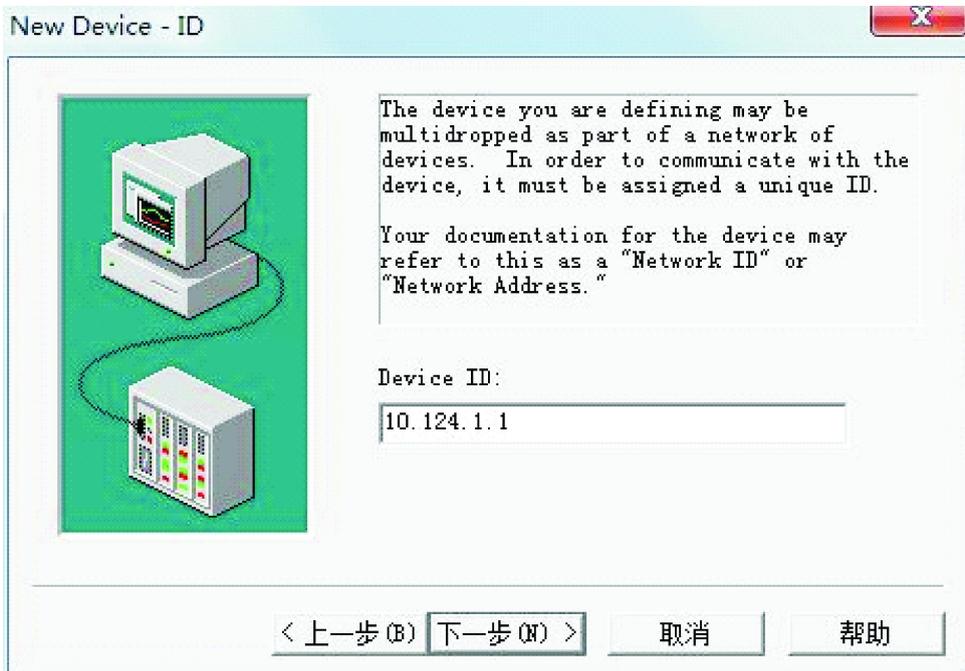


图 4 KEPServerEx 驱动 IP 设置图

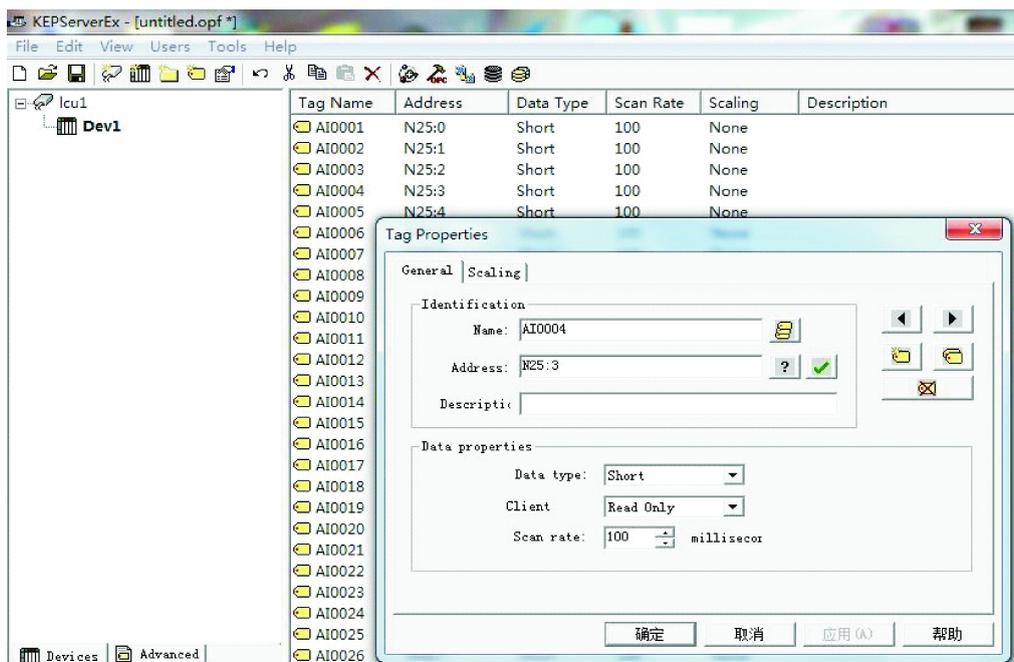


图5 KEPServerEx 增加变量图

3.2 OPC_104Slave 的介绍及配置

OPC_104Slave 是由南瑞集团公司开发的 OPC 客户端组件,需要从 OPC 服务器中读写的数据加载到软件中,通过 IEC104 规约与上位机监控系统进行数据交互,支持单个寄存器和连续多个寄存器值的写入 OPC 服务器。

在运行 OPC_104Slave 后,首先建立一个 OPC 服务器连接,在本地服务器里选择需要加载的 OPC 服务器,例如选 KEPServerEx. V4,完成后建立组 LCU1,在组里批量添加需要上送监控系统的数据,然后配置 OPC_104Slave. csv 和 OPC_104Slave. ini 这两个文件来实现与上位机监控系统进行通讯,如图 6 所示。

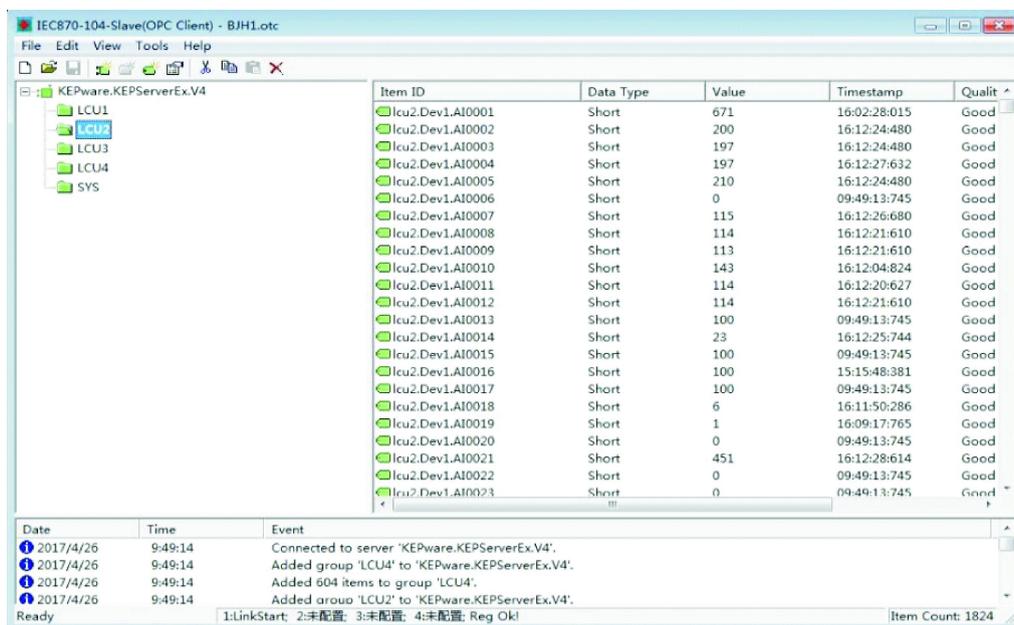


图6 OPC_104Slave 配置图

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.017

某电站转轮裂纹原因分析及处理方案

苏艳意

(哈尔滨电机厂有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:针对某电站近5年水轮机转轮出现裂纹的位置和数量,从转轮叶片强度、机组运行稳定性和叶片焊接工艺等方面进行了裂纹原因分析,根据相关实践经验,提出了在叶片出水边与上冠、下环相交处施加降应力三角块加强叶片强度,并改进焊接工艺,对转轮的综合性能、动态特性等基本没有影响。已按此方案处理的景洪、龙头石、岩滩等水电站的运行效果良好。

关键词:混流式水轮机;转轮;裂纹;原因分析;处理措施

中图分类号:TM312

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)06-0061-04

Analysis and Treatment of Cracking of Hydro-turbine Runner in a Hydropower Station

SU Yanyi

(Harbin Electric Machinery Co., Ltd., Harbin 150040, China)

Abstract: The cracking problem of the hydro-turbine runner in a hydropower station is analyzed. Based on the locations and numbers of the cracks observed in the recent five years, possible causes of the cracks are analyzed from the aspects of the runner blade strength, the unit operation stability and the blade welding procedure. Then, treatment measures are proposed according to practical experience. The blade strength is improved by applying stress reducing triangle block at the intersection of the blade outlet edge and the upper crown and lower ring. The welding procedure is also improved. While these treatments are of little influence on the comprehensive performance and dynamic characteristics of the runner. Practical operation of Jinghong, Longtoushi and Yantan Hydropower Stations shows that the treatment measures are effective.

Key words: Francis turbine; runner; crack; analysis; treatment measure

混流式水轮机在运行过程中转轮叶片易产生裂纹,在中高比速混流式机组中这种现象更为常见。已投运的国内外水轮发电机组,如岩滩、五强溪、美国大古力等大型水电站在机组投运后水轮机转轮均不同程度地出现了裂纹^[1-4]。转轮裂纹的出现严重影响电站的安全运行和经济效益,需高度重视。

某电站装有3台150 MW立轴混流式水轮发电机组,水轮机基本参数为:最大水头86.2 m,额定水头80 m,最小水头75.3 m,转轮直径4.8 m,额定转速142.9 r/min,额定出力153.06 MW,最大出力168.37 MW。该电站自投入运行以后,随着运行时间的加长,3台水轮机转轮均不同程度的出现裂纹,据统

计从2013年至2017年期间,3台机组累计出现裂纹共121条,其中贯穿性裂纹23条,裂纹长度最长达230 mm,且转轮同一部位出现裂纹的次数较多,该电站转轮叶片上冠贯穿性裂纹形貌图见图1。

由图1可以看出,转轮叶片裂纹连续几年均发生于同一部位,其裂纹形态及扩张趋势基本一致,2016年图中1叶片裂纹形貌由端角焊缝边缘向内呈树枝状扩展;此外在该图中裂纹修复部位附近伴有大大小小的气孔缺陷,可以明显看出,裂纹沿气孔分布方向发展,气孔逐步串联,加速裂纹扩张。

按一般经验来说,混流式机组转轮叶片出现裂纹以后,若及时处理,理论上来说其数量和发展趋势应呈

收稿日期:2020-01-13

作者简介:苏艳意,男,工程师,主要从事水轮机相关设计方面的工作。

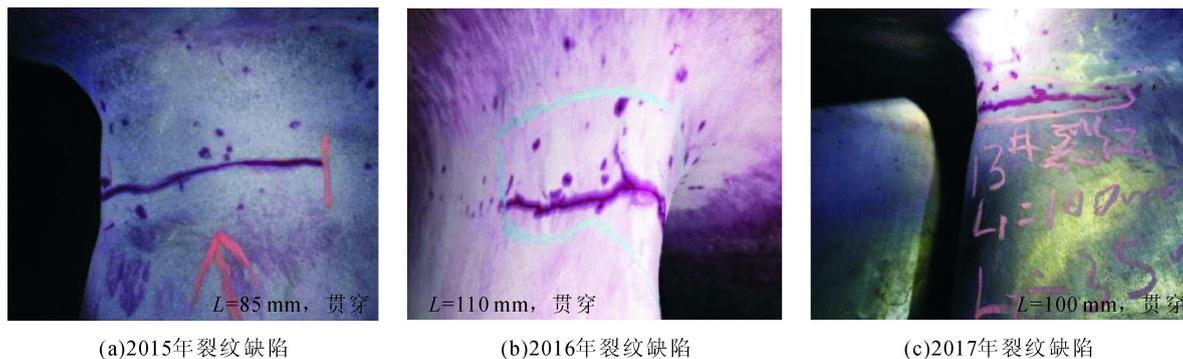


图1 转轮叶片上冠贯穿性裂纹形貌图

现收敛的状态,但随着年份的增长,该电站转轮发生裂纹的叶片数量呈上升趋势,而裂纹发展趋势和裂纹数量却无一定的规律。

1 裂纹原因

转轮叶片产生裂纹的原因是多种因素的叠加,其基本原因是叶片承受动载荷的能力不足。根据裂纹的情况和特点进行具体分析,找出导致裂纹发生和发展的直接原因,才能有效地采取相应措施。

1.1 转轮强度分析

用 Ansys 软件对叶片强度进行分析,先进行有限元网格划分,采用每个节点具有 3 个自由度的块体单元,共划分 715 单元,1 542 个节点。考虑两种工况进行分析计算:最大水头发最大出力工况和飞逸工况,其中最大水头发最大出力工况包括水压力、离心力和重力 3 种载荷;飞逸工况只有重力和离心力。最大水头发最大出力,转轮应力分布见图 2,飞逸工况下转轮应力分布见图 3。

转轮在各个工况下的应力和变形计算结果见表 1。

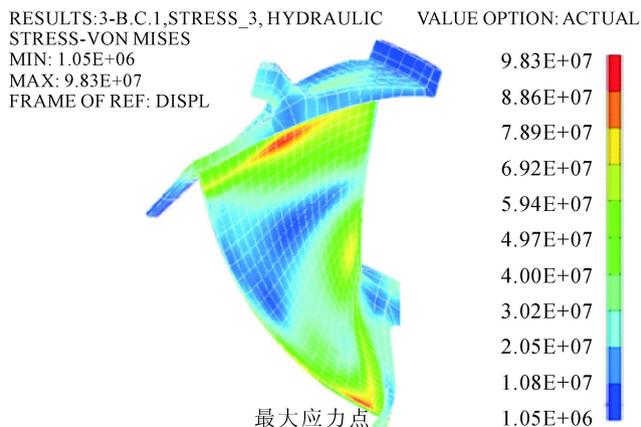


图2 转轮在最大水头下的应力分布图

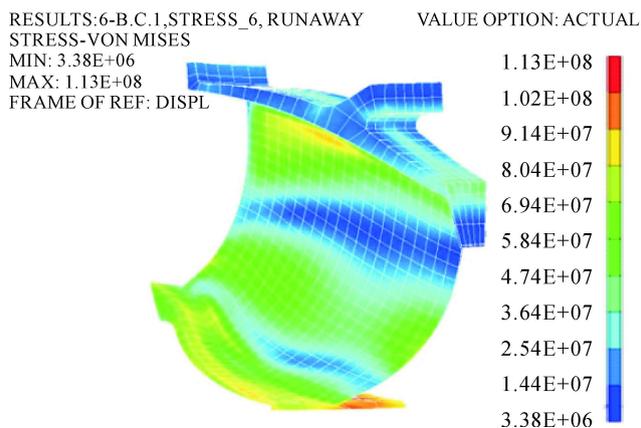


图3 转轮在飞逸工况下的应力分布图

表1 转轮强度分析计算结果表

工况	最大位移/mm	最大应力/MPa	合同要求	最大应力位置
最大水头发最大出力	4.52	98.3	100 MPa	叶片出水边与下环连接处
		96.4		叶片正面与上冠连接处
		74.7		叶片正面出水边与上冠连接处
飞逸	3.94	113	366 MPa	下环上/叶片背面靠进水边处

刚强度分析计算表明:转轮在最大水头发最大出力工况下,其最大应力仅为 98.3 MPa,在飞逸工况,其最大应力仅为 113 MPa,均满足合同要求。

由图 2 和图 3 应力分布图可知,转轮的主要应力区分布在转轮叶片周边,集中在叶片出水靠近上冠和下环处以及叶片出水边正面的中部,这些部位在机组运行中受力过大,易产生裂纹。

1.2 机组运行状态

转轮裂纹与机组运行稳定性有关,而稳定性与机组运行过程中压力脉动有关。根据该电站 2016 年和 2017 年水情信息实时记录表中记录的发电负荷、发电流量及水情系统测值等数据,可以得出机组全年每月每日每时的运行工况点分布图,见图 4。

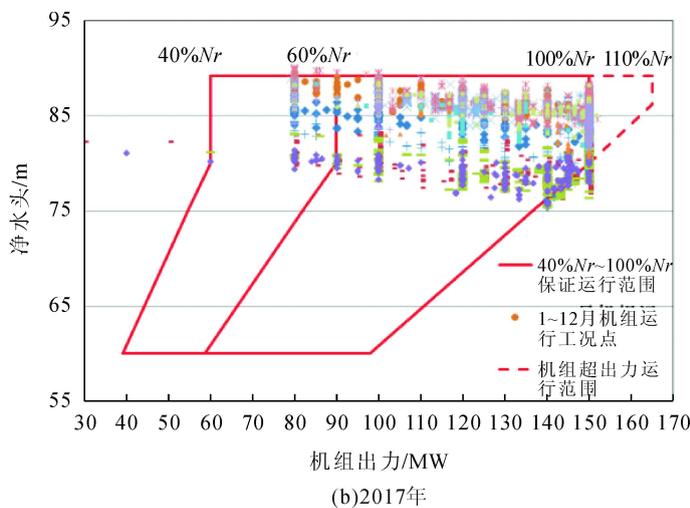
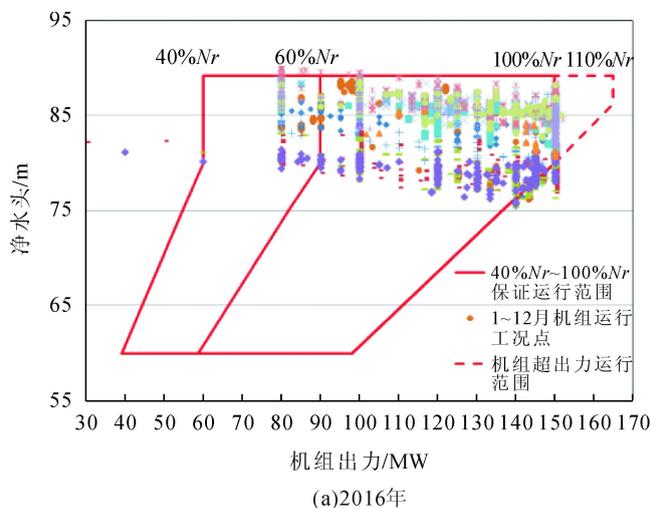


图 4 电站 2016、2017 年机组运行工况点分布图

从图 4 中可以看出:

1) 在额定水头 80 m 以下,机组运行所带负荷超过厂家保证的出力运行范围,存在不同程度的超出力运行,此时蜗壳进口压力脉动、顶盖压力脉动、锥管上游和下游的压力脉动等都会快速上升,压力脉动的增大使得机组振动较大。水轮机运行在振动较大区间时,转轮叶片承受的动载荷较大,导致叶片焊缝内部及热影响区在机组运行的离心力下产生裂纹甚至加快裂

纹的蔓延。

2) 机组在额定出力 60% 以下运行的情况存在,且有一定的运行时间。混流式机组振动区在额定出力的 20% ~ 60% 之间,机组在空载或小负荷运行时,顶盖水平和垂直振动、蜗壳和尾水管压力脉动也升至最大。机组在振动区运行时间较长,这可能是发生疲劳裂纹的重要因素之一。图 5 为该电站尾水管压力脉动随着单位流量变化曲线。

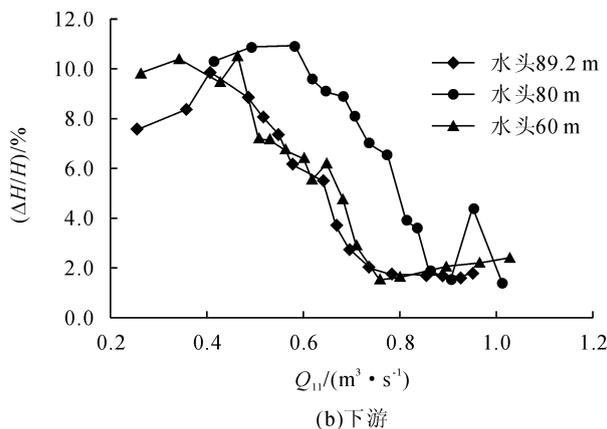
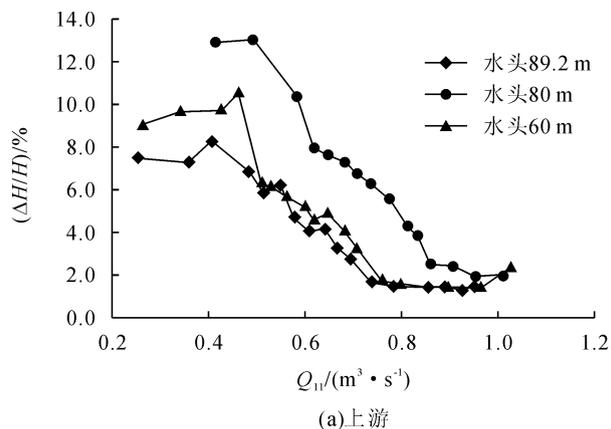


图 5 锥管上、下游压力脉动曲线图

从图5可知:在空载或小负荷时,水轮机尾水管锥管上下游处压力脉动呈现逐渐增大的趋势;在极端最大水头40%~54%负荷区域压力脉动幅值最大值达到9.9%;额定水头40%~45%负荷区域压力脉动幅值最大值达到9%;在极端最小水头40%~66%负荷区域压力脉动幅值最大值为10.99%。由此可得,在空载或低负荷区域运行时,该电站水轮机的稳定性状况最为恶劣,应尽量避免在小负荷运行。

1.3 焊接工艺分析

当叶片出现裂纹后,现场采取了相应的修补措施,虽然使机组相继恢复了运行,但一年以后有的叶片的不同或相近部位又出现了裂纹。

从叶片裂纹图1可以看出,在靠近上冠下环的地方,叶片经裂纹修复打磨以后的表面光顺度较差,有明显的棱存在,没有很好的光顺过渡,同时图片中显示叶片的表面粗糙度也不太理想,按照目前厂家设计要求,叶片进出口区域表面粗糙度应为 $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$ 。叶片出水边的光顺度和粗糙度也可能是引起转轮产生裂纹的原因之一,要避免因补焊或打磨不合格而再次产生裂纹。

2 裂纹处理

对以上水轮机转轮裂纹发生的状况及形成原因的分析,提出具体的解决方案。

1) 施加补强三角块。根据转轮具体尺寸和现有空间,在叶片出水边和上冠、下环相交处增加三角块。

根据相关实践经验,在叶片出水边与上冠、下环相交处施加降应力三角块,无论是对转轮的综合性能还是对转轮的动态特性,基本没有影响。目前已实施的

(上接第54页)

品的运行可靠性也并没有达到理想状态。更由于GIS占地面小的优点,在检修时,停电范围及难度也相应的增加。

因此,建议GIS使用单位应从全方位加强对GIS的监督与管理:

1) 做好GIS采购管理,尽量选择市场上设计成熟,运行可靠性高的产品。

2) 加强GIS基建监督,把控好安装质量,尽量把缺陷消除在安装过程中。

水电站包括景洪、龙头石、岩滩扩机等,效果良好。

2) 提高修复质量。叶片裂纹在修复补焊过程中,应加强修复工艺,保证焊接质量。例如:选取止裂性能好的焊条;在焊接的过程中严格控制温度和及时消除焊接残余应力;焊接完成后进一步消除残余应力,并且进行探伤检查,避免同一部位再次产生裂纹;对于过流部件,焊接缺陷修复后应进行过流表面检查,对于不顺的部位采用表面堆焊、打磨的方式进行处理,不允许存在应力集中点,叶片过流表面不允许出现深度0.5 mm以上的凹坑、凸台等,控制叶片表面的粗糙度和波浪度,提高叶片翼型的表面质量。

3 结语

中低水头混流式水轮机转轮叶片开裂是普遍存在的问题,应充分重视,一旦发现转轮裂纹应尽早对裂纹产生的原因进行正确的诊断并积极采取一些有针对性的预防措施,有利于防止裂纹的恶化和新裂纹的出现;在强化裂纹处理工艺与叶片设计改造的同时,通过机组稳定性试验数据及机组振动在线监测装置数据,进一步细化机组的振动区域,减少机组在振动区间运行时间。

参考文献:

- [1] 王远江. 岩滩与李家峡水电站水轮机转轮裂纹的原因和处理[J]. 水力发电, 1999(5): 43-44
- [2] 阳新峰. 大型混流式水轮机转轮裂纹原因分析及对策[J]. 四川水力发电, 2013, 32(z1): 169-171, 174
- [3] 樊世英. 混流式水轮机转轮裂纹原因分析及预防措施[J]. 水力发电, 2002, 28(5): 38-41
- [4] 杨宏. 浅析漫湾水电站水轮机转轮裂纹形成原因及预防措施[J]. 水力发电, 2009, 35(4): 62-63, 77

3) 做好运行中SF₆气体微水、压力及泄漏监测工作,并建立详细的记录。

4) 与GIS厂家联系,对常用备件进行储备。

参考文献:

- [1] DL/T596-1996, 电力预防性试验规程[S]
- [2] 单文培, 单欣安, 王兵, 等. 电气设备安装运行与检修[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008
- [3] 连鸿松. 根据SF₆气体分解产物诊断电气设备故障[J]. 福建电力与电工, 2005, 25(3): 21-23
- [4] 张诚, 陈国庆. 水电厂检修技术丛书: 水电厂电气一次设备检修[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.018

山地风电全过程管理理念的探索与实践

郑少平, 李昌杰

(湖北省电力勘测设计院有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要: 由于山地风电地域的特殊性, 使得 EPC 项目管理过程紧凑, 环环相扣。通过对利川安家坝风电场项目管理经验总结, 分别从全过程成本角度的设计优化、统筹风电采购接口与前瞻性的风险管控等方面, 对山地风电项目全局性管理理念进行了有益的探索。

关键词: 山地风电场; 项目管理; 全过程管理理念

中图分类号: TM614 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)06-0065-02

Exploration and Practice of the Whole Process Management Idea in Mountainous Wind Power Projects

ZHENG Shaoping, LI Changjie

(Powerchina Hubei Electric Engineering Co., Ltd., Wuhan 430040, China)

Abstract: Due to the special characteristics of mountainous wind power projects, the management processes of EPC projects are mutually and tightly interlinked. Based on the practical experience of Lichuan Anjiaba Wind Farm, the exploration and practice of the whole process management idea in mountainous wind power projects are discussed from the aspects of the whole process cost optimization, overall planning of the wind power procurement interface and forward-looking risk management and control.

Key words: mountainous wind farms; project management; whole process management idea

风力发电作为一种清洁的可再生能源, 具有利用率高、无污染、可持续等优势。随着国家大力发展新能源的政策引导和每年动辄几百亿的上网补贴, 我国风电市场的发展更是突飞猛进, 2018年12月全国风力发电量338.2亿kW·h, 同比增长20.6%, 2018年1-12月全国风力发电量为3253.2亿kW·h, 累计增长16.6%^[1]。

山地由于风力资源丰富, 投资回报率高, 山地风电得到快速发展。山地风电项目由于占地面积大、机位分散、地形复杂、交通不便、气候多变的特点给 EPC 总承包工程建设带来了许多新挑战和问题^[2]。

1 山地风电 EPC 总承包管理全流程

山地风电 EPC 总承包管理包括五大过程, 结合山地风电的施工管理 EPC 总承包管理特点, 总结出 13 个具体的管理环节, 包含 EPC 总承包山地风电管理的

全过程, 见图 1。

2 XXX 山地风电场简介

XXX 山地风电场位于湖北省利川市汪营镇齐岳山山脊。

工程装机容量为 48 MW, 建设安装 20 台单机容量为 2.2 MW 风力发电机组, 2 台单机容量为 2 MW 风力发电机组, 场内新建一座 110 kV 升压站, 通过一回 110 kV 线路接入利川天上坪电场 110 kV 升压站, 设计年上网电量为 8435.2 万 kW·h。

3 山地风电工程管理特点

1) 山地风电的施工区域气候往往比较恶劣, 平均海拔高, 常年阴雨大雾, 夏季暴雨洪涝, 冬季低温冰冻。

2) 山地风电的地形起伏、变化较大, 风电场场区地质情况较为复杂, 部分山势较陡, 岩溶和滑坡对大件

收稿日期: 2019-11-28

作者简介: 郑少平, 男, 工程师, 主要从事工程管理方面的工作。

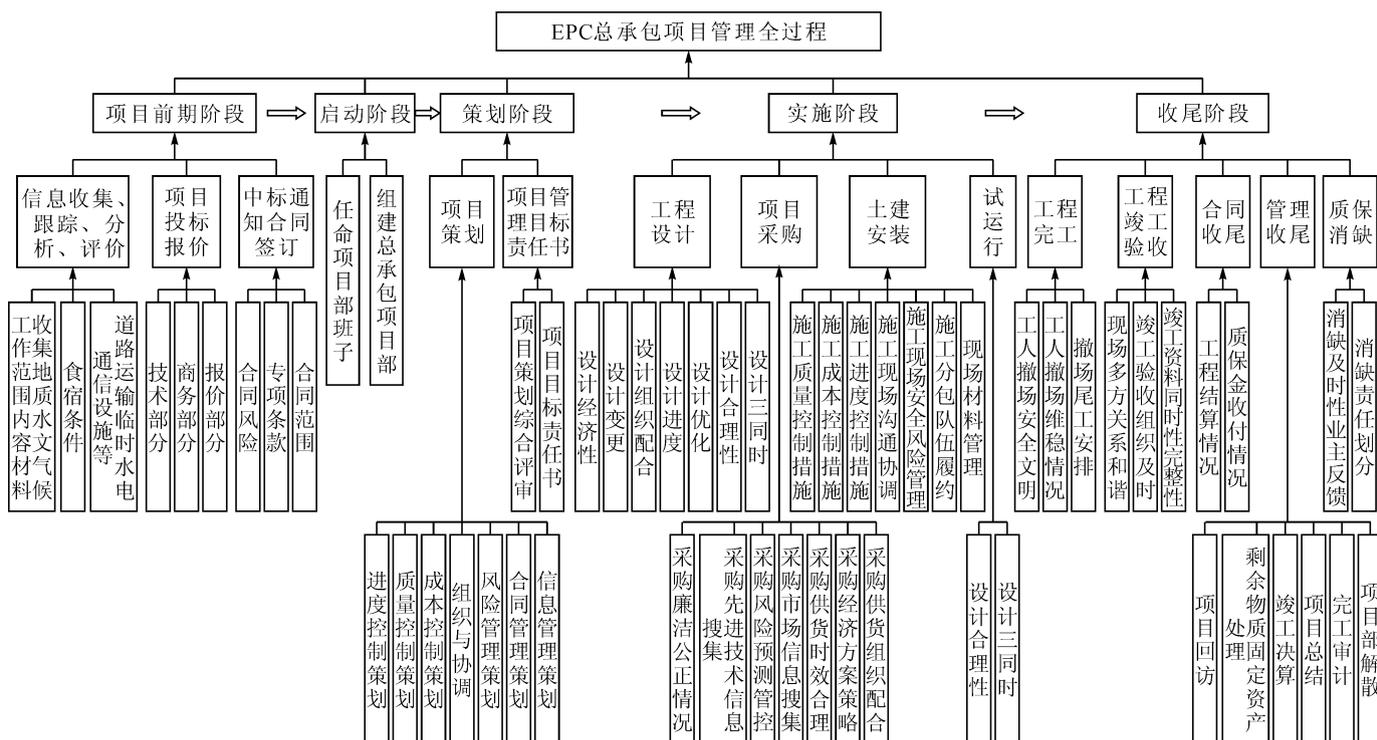


图1 山地风电的施工管理 EPC 总承包全过程图

运输和风机基础提出极大挑战。

3) 山地风电场常处于自然保护区边界, 水土保持和环境保护要求高, 导致材料调度不可就地取材, 需要合理安排运输。

4 山地风电 EPC 总承包全过程管理理念

由于山地风电的施工作业面限制, 施工环境的特殊性, 使得山地风电 EPC 总承包管理紧凑、环环相扣, 管理过程必须要有全过程管理理念^[3]。

4.1 全过程成本角度的设计优化

山地风电项目的建设, 在成本和进度, 都受项目地形、地质条件、气候条件等十分敏感的影响, 每个项目的方案都是个人定制, 项目之间没有可复制性。所以设计人员的设计优化要站在全过程成本角度, 不仅要做到不同专业之间的协同设计优化, 也要考虑设计、施工、运输、吊装、发电运行等全过程成本和效率因素。

1) 风电场检修道路多为泥结碎石路面, 为了满足风机设备运输、吊车转场等需要, 泥结碎石道路要满足一定的道路转弯半径、纵坡和纵曲率半径等要求, 受极限坡度的限制, 道路往往设计成了盘山而上的线形, 工程量大、高填高挖。如果能深入分析设备运输和重车转场对路面摩擦力和承载力的要求, 在某些重点道路

(20~30 m) 采取混凝土硬化措施, 一方面可突破极限坡度的限制, 避免盘山而上, 可直上直下, 大幅减少工程量; 另一方面也大幅提高设备运输和重车转场的效率和安全性。

2) 前期微观选址的时候, 往往由于只关注风资源, 没有考虑孤立点位所带来的独立道路、集电线路、挡墙以及吊装转场等方面的工程量增加, 导致投资成本和风险大幅增加; 设备选型时, 为了提高一点点发电量, 塔筒高度从 90 m 增加到 100 m, 但是没有意识到在实施过程中增加的设备运输和风机吊装带来的成本。尤其是吊装, 90 m 增加到 100 m, 从吊车选型的角度, 从标准产品变成了一个非标产品, 吊车资源非常稀缺, 直接可导致一个项目吊装成本的数百万增加。要站在 EPC 全过程管理角度出发, 平衡好提高发电量和施工成本的关系。

4.2 全局统筹山地风电采购接口

山地风电的采购特点在于设备体积大, 运输转运难度大, 施工场地仓储有限, 迫使全局统筹山地风电采购。

1) 由于山地风电施工是点对点的施工, 施工机械、原材料、设备等需要频繁转运, 然而山地道路有限, 直接导致交叉, 各运输环节频繁打架, 所以要根据总体施工进度计划, 全局统筹确定各批次采购节点。

(下转第 78 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.019

大型水轮发电机定子接地故障分析及处理

马志忠¹, 刘凯兵²

(1. 三峡机电工程技术有限公司, 四川 成都 610040; 2. 上海福伊特水电设备有限公司, 上海 200240)

摘要: 某大型水电站共 18 台机组, 其中 2 台机组因定子端部电晕现象比较严重, 且发生了接地故障。以其中一台机组为例, 经对其接地故障情况、故障原因以及故障处理方法进行了详细分析与探索, 为如何预防或减少类似故障的发生提出了几点有益的建议。

关键词: 水轮发电机; 接地故障; 定子铁心; 故障分析

中图分类号: TM312 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)06-0067-04

Analysis and Treatment of Stator Grounding Fault of Large-scale Hydro-turbine Generator Unit

MA Zhizhong¹, LIU Kaibing²

(1. China Three Gorges Mechanical and Electrical Engineering Co., Ltd., Chengdu 610040, China;

2. Voith Hydro Shanghai Ltd., Shanghai 201111, China)

Abstract: In a large-scale hydropower station, serious corona phenomenon is observed in the stator ends of two generator units and grounding faults are encountered. The fault situation, possible causes and treatment measures are analyzed in detail. Also, several suggestions are proposed for the prevention or reduction of similar faults.

Key words: hydro-turbine generator; grounding fault; stator core; fault analysis

在水力发电厂, 发电机定子绕组接地故障时有发生^[1]。某大型水电站左、右岸电站各装 9 台单机容量为 770 MW 的水轮发电机组, 是已建成的世界第 3 大水电站^[2-3]。其中左岸电站某台机组于 2017 年 12 月 A、B 套定子接地保护动作跳闸停机, 发生了定子接地故障。本文详细分析了此次故障原因及处理措施。

1 故障点查找

故障发生后, 某电厂进行了初步排查, 并立即向国调申请将该机组转检修, 并组织技术人员对接地故障点进行排查。

初步排查后决定, 断开该发电机 B 相出口、中性点软连接, 此时 B 相绕组的 8 个分支在出口端是相连的, 在中性点处是分开的。测量发电机 B 相定子绕组电压, 发现其不能升高, 确定接地故障点在发电机 B 相定子绕组内。

在发电机 B 相出口端与地之间施加小电流, 该电流通过故障接地点形成回路, 逐一测量各分支的电流, 结果发现 B 相第 7 分支有电流通过, 而其他分支无电流通过, 因此确定故障接地点在第 7 分支。然后逐一测量第 7 分支的各线棒电流, 发现第 499 槽上层线棒下端有电流而上端无电流, 因此确定故障点在第 499 槽上层线棒槽内。

将定子第 499 槽线棒周围的上机架盖板、转子上下挡风板、定子围屏拆除, 拔出 3 个磁极, 检查第 499 槽上层线棒。在退第 499 槽槽楔过程中发现定子铁心窜片, 并损伤第 499 槽上层线棒, 该部位的铁心断片长度为 20 ~ 30 mm, 如图 1 所示。第 499 槽上层线棒拔出后发现直线段下端存在一处明显划伤, 如图 2 所示。

查阅了相关岁修记录后, 发现该处线棒附近对应的定子铁心拉紧螺杆自安装以来从未进行过处理。

收稿日期: 2020-02-24

作者简介: 马志忠, 男, 工程师, 从事水电站机电设备安装与调试项目管理工作。



图1 故障点铁心窜片图



图2 线棒划伤部位图

检查还发现,定子铁心下端阶梯状铁心松动,主要表现为第2、3、4阶梯段超出1阶梯段部位。现场使用了0.10 mm塞尺检查松动深度,发现约75%的阶梯片没有松动的迹象,10%的阶梯片略微松动,15%的阶梯片松动情况较严重。而且发现松动部位的端部粘胶片均存在散开的现象。松动的阶梯片如图3所示。



图3 松动的阶梯片图

2 故障原因分析

根据以上分析发现,定子端部铁心发生松动,硅钢片在定转子之间磁拉力作用下进入定子线槽切割定子线棒是引起定子接地故障的直接原因。而引起定子端部铁心松动的原因有以下几个方面^[4-5]。

1) 设计的原因。一是定子端部第2段至第4段阶

梯片过长,压紧效果不好,容易造成铁心松动,定子端部阶梯片设计如图4所示。二是由于压指约只有一半长度位于机座上,另一半为悬臂梁结构。在拧紧压紧螺栓使铁心压紧时,必然是轭部受力较大,齿部受力较小。对于硅钢片的任一齿而言,在齿端散张力的作用下越靠近齿根压力越大,越靠近齿端压力越小。因此定子端部铁心在结构上看不易压紧、易松动,定子端部铁心结构如图5所示。

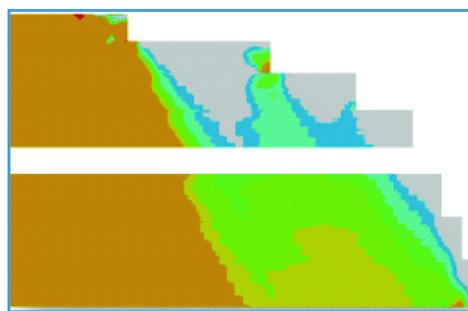


图4 定子端部阶梯片设计图

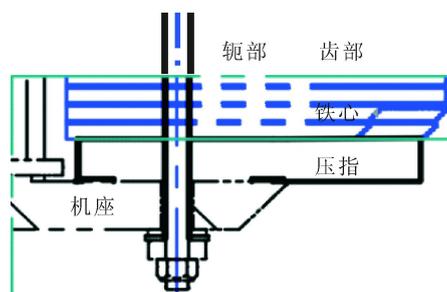


图5 定子端部铁心的结构图

2) 制造的原因。铁心端部阶梯冲片胶粘不合格,是本机组铁心松动的主要原因。铁心端部阶梯片在粘接过程中有以下不足:一是所使用的粘接剂不足,且操作人员培训不到位,缺乏粘胶的经验;二是没有严格按照规定程序操作,固化过程中压紧不足;三是没有按照程序检查,检验不严格,仅通过目视检查,未能及时发现问题;四是没有充分考虑粘接环境对粘度和固化时间的影响。

3) 安装的原因。安装过程中存在以下不足:一是鸽尾筋直线度、半径、扭斜及弦距的偏差存在不满足图纸要求的情况,不利于铁心压紧;二是在叠装阶梯片的时候,有的阶梯片被弯折,使得粘接层可能有松动;三是铁心叠片压紧时预紧力可能不足,导致铁心没有压实。

此外,整个机座高度不可能完全一致,再加上每一

个压指的高度也不可能完全一致,造成相邻压指之间高差、压指整圆高差、压指内外侧高差等存在不满足图纸要求的情况,最终导致较高的压指受力较大,较低的压指受力较小。这样容易造成压指上的硅钢片受力不均,不易完全压紧,造成铁心松动。

4)运行的原因。机组运行时在气隙中存在旋转磁场,该磁场对定子铁心产生强大的径向旋转交变磁拉力^[6]。在机组长期大容量运行时,铁心端部温度长期偏高,片间绝缘层会干缩,再加上阶梯片粘胶不足,会使铁心压紧度不够,齿部振动幅度加大,铁心齿根部机械疲劳,造成定子铁心松动,再加上硅钢片处在径向磁拉力的作用下,因此硅钢片将沿径向产生移动,进入定子线槽,慢慢向外伸长,划伤线棒绝缘,使线棒的绝缘性能越来越差,最终使499号定子上层线棒绝缘层击穿,造成定子接地故障。

3 故障处理

对于此次故障,电厂先后进行了临时处理和永久处理。

3.1 临时处理

根据以上分析,结合现场工作条件,临时处理方案如下。

1)设备拆除。拆除基坑盖板及与之对应的上机架盖板。拆除周向对称的两个位置的8个磁极。

2)清除。定子铁心和转子各部位在防护的情况下,切除长压指内径侧挡风板围屏固定块,清除压指上残留的焊缝,并保持表面平整;去除定子铁心上下端部阶梯片表面的绝缘漆;去除长短压指内径侧及底部绝缘漆,不得损伤定子冲片;将硅钢片的突出部分进行磨平和锉平。

3)清扫。使用特定的工具、清洁剂对端部阶梯片进行清扫。

4)定子端部阶梯片粘胶。现场使用的是粘度较低的胶水EG882环氧树脂,按照一定比例配胶后,进行涂刷、填充、装压、加温固化等工序,最后检查并进行铁损试验。

5)安装定子端部阶梯片及压指支撑,并将定子铁心的压紧螺栓进行重新紧固。

6)更换故障线棒。按定子线棒专用下线工艺嵌线。

7)回装并进行调试。

机组故障处理后,经过了24h的运行。经检查,

发电机各项指标良好。这种处理方法,不仅使得机组可以继续发电产生效益,同时为永久处理方案的细节研究提供了充足的准备时间。

3.2 永久处理

为了避免接地故障再次发生,永久消除隐患,决定对机组进行更换铁心和线棒。简单讲就是拆除原有线棒和铁心,并按照制造厂家的最新技术文件重新装焊下压指、叠装定子铁心、安装绕组。永久处理方案关键流程如图6所示。

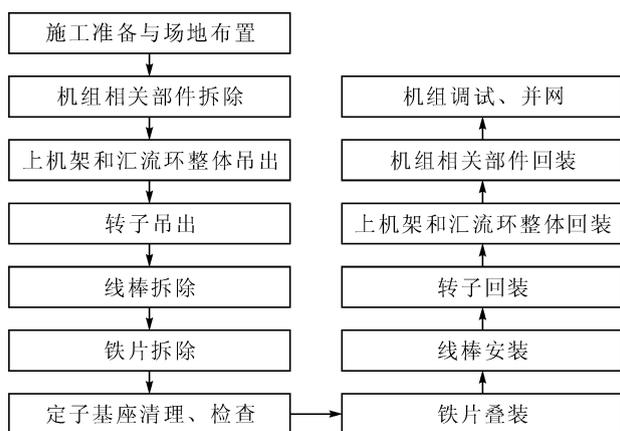


图6 更换定子铁心和线棒关键流程图

此次更换铁心和线棒,在机组的设计、制造和安装方面,做了以下改进。

1)对端部阶梯片设计进行了修改,台阶进行了优化。如图7所示,阶梯数由7段增加至8段,阶梯的轴向总高度由46mm减至45mm。所有的阶梯的轴向和径向的尺寸都是5mm。每个阶梯段所需要粘接的铁心冲片数量由原先的6片增加为10片(即所有冲片都需粘接)。

阶梯片粘接采用了厂家提供的改进的粘接工艺和检查试验程序,确保了粘接效果。

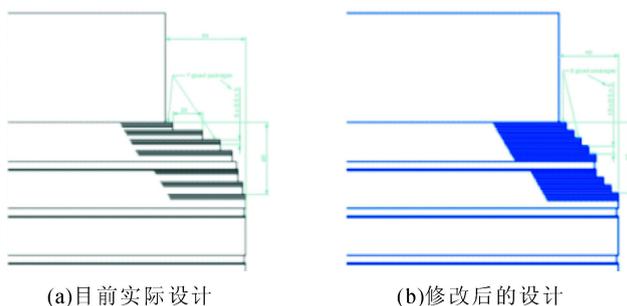


图7 端部阶梯片前后对比图

2) 压指尺寸进行了重新设计。定子铁心端部阶梯径向长度缩短,短压指长度相应增加 14 mm,长压指尺寸不变,以保证铁心压紧效果不变。下压指共 576 根,其中 384 根短压指由之前的 526 mm 改为 540 mm,压指到气隙的距离由 54 mm 减少至 40 mm。

3) 下压指采用预安装调平方法。把不合格的下压指进行再加工处理,尽量避免用垫片调平的方法。压指和阶梯片安装效果如图 8 所示。

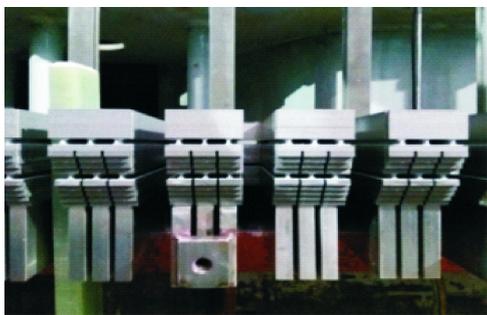


图 8 压指和阶梯片安装效果图

4) 为了以后检修时,方便铁心压紧系统的拆装,上下端所有螺母均采用非金属锁紧螺母。

5) 由于之前发现铁心拉紧螺杆绝缘套管内有积水现象,导致铁心拉紧螺杆绝缘螺杆的绝缘电阻下降,因此优化了下部绝缘垫圈的结构,增加了排水槽。

6) 定子铁心端部阶梯径向长度缩短,定子围屏从设计和材料上也做了相应的更改。

7) 定子线棒绝缘进行了改善,采用防晕结构与主绝缘一次成型技术。同时要求新线棒必须经过型式试验验证。

8) 在处理中,将原来材质为低合金钢 Q345 的上压板更换为不锈钢 06Cr19Ni10 材质,但其屈服强度相同,但更耐腐蚀、耐温升、抗磁拉力。

9) 在冲片制作的过程中严格控制原料、操作人员水平、制作工艺、测试要求以及过程监控等环节。

机组更换铁心和线棒后,经过了一个汛期的运行,发现无论是制造、安装和运行,各方面数据均达到了“优质机组”的要求,故障处理比较成功。

4 结语与建议

故障处理后机组的运行状况良好,充分验证了此次故障处理的方案是可行的、有效的,故决定在 2019~2020 岁修期对电厂另 1 台机组(与故障机组出

自同一生产厂家)进行定子线棒和铁心更换,彻底消除定子接地的安全隐患。

因定子铁心发生松动而引发的定子接地故障是发电机的一种常见的接地故障,也是后果极为严重的故障。因此如何预防或减少类似故障的发生显得尤为重要,为此提出以下几点建议。

1) 端部阶梯设计要充分考虑到机组安装和运行情况,做到设计合理且端部阶梯片所有冲片都应该进行粘接,以提高其整体性和刚度。端部阶梯片粘接要采用改进的定子铁心端部阶梯片粘接工艺和完善的质量检查流程。

2) 在下压指安装时,下压指整圆高程差、相邻两块高程差、内圆与外圆的高度差、下压指中心与冲片齿中心的相对位置和压指齿端与冲片齿端径向距离都要符合设计要求。

3) 为了避免阶梯片粘接层松动,在叠装阶梯片的时候,每 6 人一组,分上中下,保保证阶梯片处于水平状态从上到下安装,不得弯折和“暴力”安装。此外,定子铁心应分段压紧叠装,铁心叠至设计高度时各预压一次,预压紧力要符合设计要求。

4) 每次机组检修时应全面检查定子铁心是否有异常情况,特别应检查铁心压紧螺栓是否松动,是否有积水,各螺栓压紧力矩是否恒定。

5) 定子铁心试验是检查定子铁心故障的重要手段。建议将定子铁心试验作为大修的必做试验项目。此外,在机组小修时建议用工业内窥镜检查定子铁心特别是端部铁心,以便尽早发现异常情况。

参考文献:

- [1] 孙彬, 邱小耕, 李佳佳. 锦屏二级水电站 7 号机组发电机定子绕组一点接地故障分析及处理[J]. 四川水力发电, 2015, 34(22): 69-70, 90
- [2] 姬升阳, 欧阳宁东, 杨仕福, 等. 溪洛渡水轮发电机组推力负荷测试研究[J]. 水电与新能源, 2018, 32(6): 5-9
- [3] 喻文球, 吴穹, 靳坤. 溪洛渡水电站 550 kV GIL 关键技术研究与应用[J]. 水电与新能源, 2017(2): 20-21, 25
- [4] 周柯岩. 浅谈大型水轮发电机定子铁芯松动和断齿成因及预处理措施[J]. 中国新技术新产品, 2013(10): 163-163
- [5] 成德明. 水轮发电机定子铁心松动和断齿原因分析及预防[J]. 华电技术, 2009, 31(1): 7-10
- [6] 舒均盛. 水轮发电机铁心松动引发定子接地故障的分析及处理[J]. 大电机技术, 2006(5): 6-8

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.020

枕头坝一级水电站技术供水系统 压力异常分析与改进措施

蒋巍巍, 唐义超, 朱昌鑫

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900)

摘要: 枕头坝一级水电站汛期机组技术供水常出现压力异常现象, 滤水器普遍存在频繁堵塞问题, 对机组安全稳定运行造成了极大困扰。通过对故障成因分析, 从机组技术供水系统的工程设计、安装、运行、检修维护诸方面对其优化、改造、提高供水的可靠性进行了有益的探索。

关键词: 枕头坝; 技术供水系统; 蜗壳取水; 拦污栅

中图分类号: TV73 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)06-0071-04

Analysis and Treatment of Abnormal Pressure in Technical Water Supply System in Zhentouba I Hydropower Station

JIANG Weiwei, TANG Yichao, ZHU Changxin

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

Abstract: In Zhentouba I Hydropower Station, clogging of the water filters and abnormal pressure of the technical water supply system are frequently observed, which cause great trouble to the safe and stable operation of the units. Possible causes of the issue are analyzed. Then, renovation measures to improve the reliability of the water supply are proposed to the technical water supply system from the aspects of engineering design, installation, operation and maintenance.

Key words: Zhentouba Hydropower Station; technical water supply system; water intake from volute; trash rack

1 概述

1.1 电站概况

枕头坝一级水电站位于四川省乐山市金口河区, 为大渡河干流水电梯级规划的第十九个梯级, 上一级为深溪沟水电站, 下一级为枕头坝二级水电站。枕头坝一级水电站位于大沙坝到月儿坝河段, 采用两级堤坝式开发, 为径流式电站, 以发电为主, 兼顾下游生产生活用水。在电力系统中担任调峰和负荷备用, 所发电能送入四川省电网。电站装机4台立轴半伞式的轴流转浆式水轮发电机组, 单机容量180 MW, 总容量720 MW, 水轮机型号ZZ-LH-875, 额定转速83.3 r/min。

1.2 技术供水系统概况

枕头坝一级水电站水头范围为17.98~36.49 m,

机组及主变的技术供水采用单元自流供水方式或单元自流加压供水方式。每台机组设蜗壳取水和坝前取水两个水源, 互为备用(见图1)。一般以蜗壳取水作为主供水源, 坝前取水作为备用水源。考虑到汛期水库降低水位运行, 河水含沙量较大(特别是底层水), 此时可采用坝前取水为主供水源, 蜗壳取水为备用水源。当技术供水水头大于25 m时, 机组和主变采用自流供水方式。当技术供水水头小于25 m时, 机组和主变采用水泵加压供水方式。机组技术供水系统的供水对象主要有: 上导轴承油冷却器、推力轴承油冷却器、空气冷却器、下导轴承油冷却器、水导轴承油冷却器、主轴密封润滑水的备用水源、主变压器冷却器等。

蜗壳和坝前取水口都设置拦污栅, 蜗壳取水口拦污栅位于机组蜗壳进口段侧壁上, 坝前取水口位于大坝上。技术供水取水钢管的规格为 $\phi 426 \times 9$ mm, 机组技术供水理论流量为 $1\,021\text{ m}^3/\text{h}$ 。每台机组技术供

收稿日期: 2020-01-14

作者简介: 蒋巍巍, 男, 助理工程师, 主要从事水电站检修维护方面的工作。

水系统布置在主厂房的水轮机层和技术供水层,主要设备有2台DN400全自动滤水器、2台卧室离心增压泵、电动蝶阀、电动球阀、管网及检修阀门等。另外,还设有DN350及DN125电动双向供水转阀各一只,可定期切换机组或主变供水的运行方向,达到反向冲洗机组或主变供水管路和冷却器的目的。

1.3 技术供水系统存在的问题

枕头坝一级水电站为坝后式厂房,4台180 MW的轴流转桨式水轮发电机组,坝前进水口设置在枕头坝电站大坝上,处于两台机组中间位置,取水口高程为616 m。进入汛期后,从大渡河上游漂流下来大量漂浮

物,造成坝前和蜗壳取水口堵塞及取水钢管内沉淀物淤积,机组技术供水总管供水不足,压力逐步降低,尤其在汛期,常出现滤水器后端压力和流量的下降,导致机组冷却水供应不足,将无法满机组的正常供水量,从而引起机组温度升高。此现象若不及时消除,会造成机组事故跳闸与系统解列,或轴瓦烧损,同时,因满足不了机组主轴密封水水压要求,停机时易发生机组主轴密封水消失,无法及时投入机组主轴密封,造成机组顶盖来水过大,易发生水淹水导轴承等安全事故^[1],严重影响机组安全稳定运行。

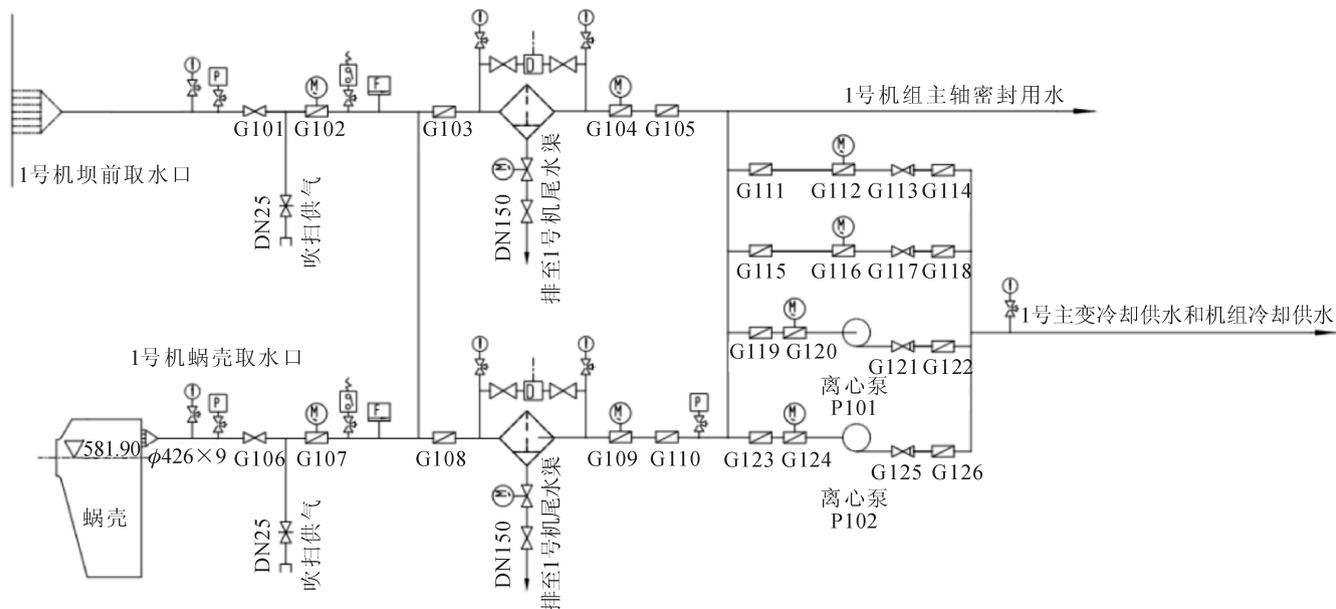


图1 技术供水系统简图

停机时,对滤水器进行分解检查,清理滤水器堵塞物后,机组恢复正常运行一段时间后,又出现同样问题。检修期对取水口拦污栅检查,发现坝前和蜗壳取水口严重堵塞,拦污栅栅条部分断裂,需花费大量人力、物力对取水口拦污栅进行重新焊接和清理。

2 技术供水系统压力源异常问题分析

2.1 取水口及滤水器堵塞

枕头坝一级水电站水库中木条、塑料袋等漂浮物较多,特别是进入汛期后,上游来水量增大,漂浮物激增,聚集在坝前,容易导致坝前取水口堵塞。同时机组在低水位运时,进水口取水会有漩涡,会吸入大量漂浮物进入蜗壳内,很容易造成蜗壳取水口堵塞,从而引起滤水器前后端压差较大,严重时会造成蜗壳取水口拦

污栅栅条变形或断裂而形成孔洞,一些大尺寸的木条、塑料瓶、塑料袋等就会进入管道引起机组技术供水滤水器的堵塞,导致滤水器后端压力和流量的下降和不稳定,严重影响机组安全稳定运行^[2]。

经过分析总结及检修期间检查,发现蜗壳和坝前取水口拦污栅设计存在缺陷:①拦污栅安装在 $\phi 426 \times 9$ mm的取水钢管内,过流面积较小,容易堵塞;②拦污栅结构为平面结构,容易被较大的垃圾袋给全部堵死;③拦污栅栅条强度不够,堵塞后容易造成变形或断裂,导致大量漂浮物进入技术供水管路内;④大量的漂浮物通过取水管道进入到滤水器中,造成滤水器堵塞,技术供水流量降低,容易造成机组轴瓦温度过高,影响机组安全稳定运行。

2.2 反吹扫效果不佳

从检修情况来看,堵塞蜗壳取水口、坝前取水口拦污栅的大多是木条、塑料瓶等硬质杂物,在开启反清扫阀门时,清扫压力较低,很难吹掉拦污栅上的这些杂物。由于受到这些杂物的影响,一些塑料垃圾缠绕在木条、栅条上,造成拦污栅阻塞^[3],使得反吹扫达不到效果,长期下来,堵塞情况就变得越发严重。

2.3 滤水器排污能力差

在打开滤水器检修人孔门进行检查时,发现滤水器内部有大量的塑料等杂质无法排出,滤水器排污、排漂效果不太理想,需要人工进行清理。

经过对滤水器结构进行分析,发现排污管直径为 DN100 mm,当滤水器在排淤过程中,杂质随水流汇集于出水口周围,当直径大于 100 mm 的杂质和缠绕物不能排出后,造成该排淤管堵塞,起不到排淤和放空效果^[4]。

3 处理方案

3.1 取水口拦污栅改造

针对枕头坝一级水电站机组技术供水系统蜗壳和坝前取水口存在的缺陷,对机组技术供水取水口拦污栅进行了重新设计改造,将原拦污栅设计为一个半球型,并利用机组检修时机对取水口拦污栅进行更换。

半球型拦污栅的作用:当木块、塑料瓶等坚硬漂浮物跟随水流撞击拦污罩时,根据物体受力分析,有些漂浮物会在合力F(见图2)的作用下,沿着拦污栅的倾

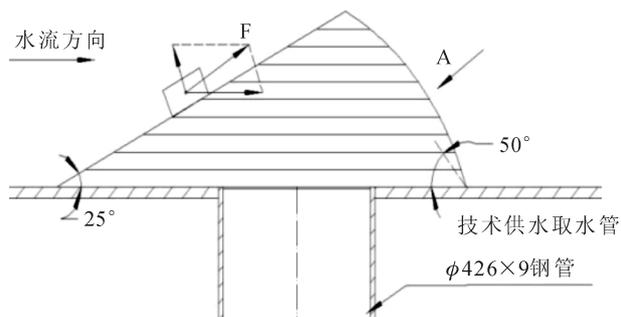


图2 拦污栅安装示意图

斜面而离开取水口,其它的会与拦污栅发生碰撞而远离取水口。

蜗壳和坝前取水口拦污栅的外型设计需要考虑附近的流场分布情况,拦污栅进水断面与发电水流之间夹角为 50° ^[5]。枕头坝一级水电站技术供水取水口拦污栅的几何参数是根据检修人员实际经验确定的,设计时要充分考虑到水力学因素(拦污栅具体尺寸详见图3)。改造后的拦污栅具有以下特点:

1)改善拦污栅的结构,在原来拦污栅外侧焊接一个半圆型拦污罩,这样拦污栅结构就从平面结构变为三维结构,提高了拦污栅的纳污能力和阻挡能力,有效延长了拦污栅堵塞时间。

2)增加了拦污栅栅条的强度,由原来的 $\phi 8$ mm圆钢改为现在的 $\phi 10$ mm圆钢,防止因堵塞而引起拦污栅的变形或断裂,使漂浮物不会轻易进入滤水器,防止滤水器堵塞。

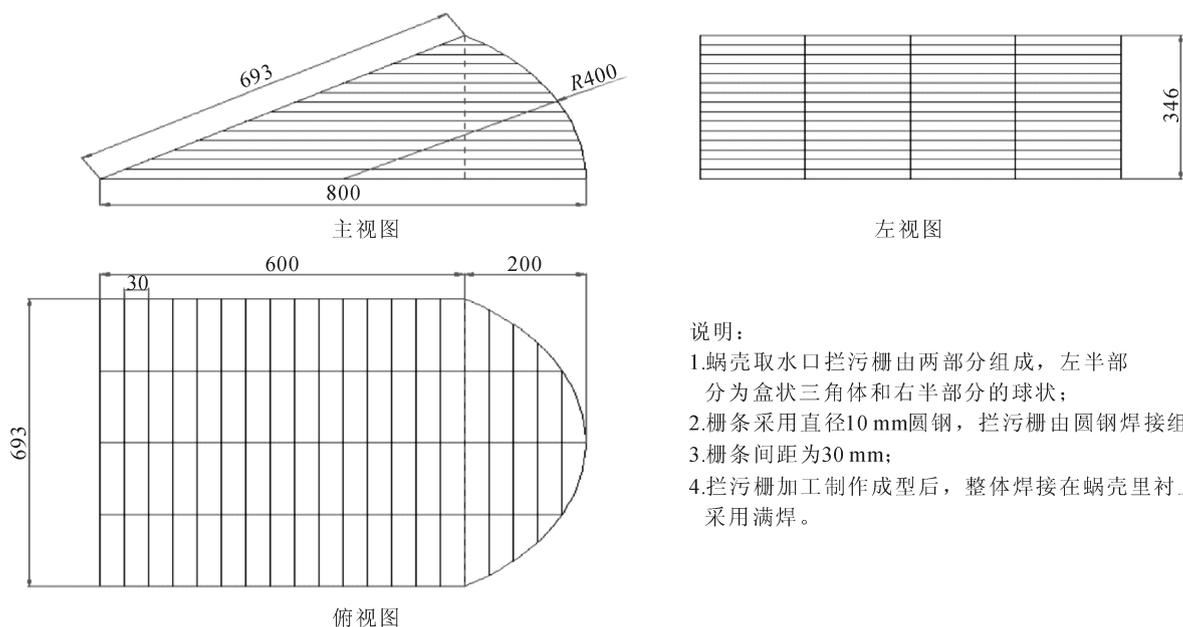


图3 拦污栅加工图(单位:mm)

说明:

- 1.蜗壳取水口拦污栅由两部分组成,左半部分为盒状三角体和右半部分的球状;
- 2.栅条采用直径10 mm圆钢,拦污栅由圆钢焊接组成;
- 3.栅条间距为30 mm;
- 4.拦污栅加工制作成型后,整体焊接在蜗壳里衬上,采用满焊。

3.2 滤水器改造

对排放淤管路进行改造,首先将原管径增大至 DN150 mm,将排淤口单独设置在滤水器底部,通过电动球阀控制排淤方式,增大排污效果。

3.3 清扫系统改造

可以尝试改造清扫系统气源,重新安装一套较大压力空压机,增大清扫气源压力,这样能更容易清理掉进水口拦污栅上的杂物,从而减轻拦污栅堵塞情况,保证机组技术供水系统流量和压力稳定,维持机组长期安全稳定运行。

4 结语

2017-2018年度检修期通过对枕头坝一级水电 1F-4F 机组站技术供水系统蜗壳取水口的改造,进入汛期后改造过的机组未发生过技术供水系统压力源异常情况,未发生过滤水器流量的下降和不稳定情况,有效地解决了技术供水系统压力源异常问题;新结构可以更加有效阻挡漂浮物,防止其进入技术供水系统管

(上接第 60 页)

3.3 监控系统介绍和 IEC104 规约介绍

NC2000 V3.0 系统软件是面向水利水电行业研制的大型计算机监控系统软件。该软件是一款真正具有跨平台能力、全面支持异构平台的多层分布式面向对象的计算机监控系统软件,它包含了分布式对象架构,全面支持异构平台的特性,提供了高效安全可靠的监控内核、功能强大的组态工具、精细美观的图形界面、实用方便的应用界面、多种符合国际标准的接口以及紧贴水利水电用户和梯级集控调度应用需求的各种常规及高级功能。目前已经在 200 余家大中型项目中获得广泛应用。

IEC104 规约由国际电工委员会制定。IEC104 协议通过网络协议 TCP/IP 定义了 IEC101 应用服务数据单元(ASDU)的传输标准,为远程信息的网络传输提供了通信协议基础。与该实施例 ASDU 104 101 规约组合规约,良好的可靠性可以被标准化。

3.4 监控系统 IEC104 驱动配置

在主服务器上运行 NC2000 监控系统,在进程管理自启动中添加驱动名称 iec104d,在数据库各节点的驱动配置中配置相关驱动,并命名资源文件名称,然后在工程文件夹 project.sdz/drv 中配置资源文件的相关参数,最后在监控软件的通讯接口里配置测点表来完

路和滤水器。通过实际检测,改造取得了良好效果,提高了一定经济效益。该技术改造方案具有转化效果好,转化成本低,转化简单的优点,同时具有很强的实用性和良好的推广价值,可以应用于其他类似电站^[6]。

参考文献:

- [1]林峰,王德厚.消除机组技术供水取水口堵塞的措施[J].水电自动化与大坝监测,2010,34(3):30-31,34
- [2]何胜明.水电站技术供水系统堵塞及工程处理实践[J].中国新技术新产品,2019(9):45-46
- [3]文习波.蜗壳取水供水系统在水电站的应用[J].水电自动化与大坝监测,2015,39(2):12-15
- [4]张宏亮,祁小丽.龙滩水电站技术供水滤水器结构分析和改造探讨[J].红水河,2009,28(3):77-79,82
- [5]张春,万平国,田斌.小关子水电站机组技术供水系统滤水器易堵塞问题的解决[J].西北水电,2012(2):65-67,74
- [6]钱文华.水电站机组技术供水改造的探讨[J].云南电力技术,2019,47(4):87-90

成 IEC104 通讯驱动的配置(注:通讯接口测点表里的数据顺序必须与配置文件 OPC_104Slave.csv 里的数据顺序保持一致)。

4 结语

本文介绍了 OPC 的基本技术,以及国内水电站的通讯现状,结合芭蕉河梯级电站监控系统改造项目实际情况,采用 OPC 技术快速有效的实现了新监控系统与原有现地控制单元的数据通讯,减少对原有现地控制单元的二次开发,大大缩短了改造工期,为其他工程的改造提供参考。

参考文献:

- [1]陶峥,陈曾汉.基于 OPC 及工业以太网的 iFIX 与 PLC 的通信[J].计算机工程与设计,2009,30(8):2064-2066,2070
- [2]顾纪铭,韦东,樊永波.OPC 技术在水电站监控系统通信中的应用[J].水电自动化与大坝监测,2008,32(4):15-17
- [3]王东云,牛正光.基于 CompactLogix PLC 控制的污水处理系统[J].电气自动化,2008,30(1):43-45
- [4]阳宪惠.开放工控系统的中间件——OPC 技术[J].自动化博览,2002,19(2):6-8
- [5]顾键,王京春,黄德先.OPC-COM 技术在工业自动化软件中的应用[J].计算机工程与应用,2002,38(12):207-209

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.06.021

利用实测水文资料抉择 2019年龙洞湾水库截流度汛方案

袁勤坤¹, 李蓓², 陈雷²

(1. 恩施州水文水资源勘测局, 湖北 恩施 445000; 2. 湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430064)

摘要: 利用实测水文资料, 抉择2019年龙洞湾水库截流度汛方案。枯水期, 围堰挡水, 导流洞行洪。汛期, 坝体挡水, 导流洞行洪。由于各种原因导致工期滞后, 汛期坝面与导流洞共同行洪。洪水过后, 坝面继续填筑, 汛末完成大坝填筑, 以此达到年底滑模总工期不变的目标。

关键词: 实测洪水; 坝体挡水; 坝面过洪

中图分类号: P337; TV551.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)06-0075-04

Selection of the River Closure and Flood Discharge Scheme for Longdongwan Reservoir in 2019 based on Actually Measured Hydrological Data

YUAN Qinkun¹, LI Bei², CHEN Lei²

(1. Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Enshi Prefecture, Enshi 445000, China;

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

Abstract: Based on the actually measured hydrological data, the river closure and flood discharge scheme is selected for Longdongwan Reservoir in 2019. In the original scheme, cofferdam is used for water retaining and diversion tunnel for flood discharge during dry season. During flood season, reservoir water is retained by the dam body and the flood is discharged by diversion tunnel. However, the actual construction schedule is delayed due to various reasons and the flood discharge scheme is adjusted correspondingly. During flood season, the flood water is discharged over the dam surface and through the diversion tunnel concurrently. After then, the dam construction continues and to be completed at the end of the flood season. Thus, the schedule of the dam body construction at the end of the year can be achieved as planned.

Key words: actually measured flood data; water retaining by dam; flood discharge over dam surface

龙洞湾水库位于曲江河右岸支流野猫河上, 属乌江唐岩河水系。野猫河发源于咸丰县丁寨乡高滩龙洞泉水, 在丁寨天星孔汇入曲江河。坝址地处湖北省咸丰县西南, 距咸丰县城 12 km。龙洞湾水库正常蓄水位 831.0 m, 死水位为 809.0 m, 死库容为 196 万 m³, 兴利库容 657 万 m³, 总库容 926 万 m³。

大坝为面板堆石坝, 坝顶高程 833.00 m, 防浪墙顶高程 834.00 m, 河床趾板建基面高程 793.00 m, 最大坝高 40.0 m, 坝顶长度 261.66 m, 最大坝底宽 123.75 m。

溢洪道布置于大坝右岸天然垭口处, 为尽量减少开挖, 溢洪道顺垭口下游冲沟布置, 尾部经过尾水渠与下游河道相接, 溢洪道由进口段、闸室段、泄槽段、消能段、迴水渠段组成。溢洪道为有闸控制宽顶堰型式, 单孔宽 6 m, 共 3 孔, 宽顶堰总长为 15 m, 宽 22.8 m, 堰顶高程为 824.50 m。

1 气象与水文

1.1 气象

野猫河流域属亚热带湿润季风气候区, 气候温和,

收稿日期: 2019-12-06

作者简介: 袁勤坤, 女, 助理工程师, 主要从事水文测验和资料整编工作。

雨量丰沛,且雨热同期。由于地形地貌的差异和海拔高度的变化,又呈复杂多变的山地气候。海拔越高,降水量越大,年平均气温越低。流域多年平均降水量 1 450 mm,4~10 月为汛期,降雨量占全年的 80%。雨洪大多发生在 6~7 月,次暴雨持续时间 1~3 d,实测最大一日暴雨发生在本流域附近的咸丰县白果坝, $H_{1d}=250$ mm(1982 年 7 月 27 日)。野猫河流域多年平均径流深 975 mm。

根据咸丰气象站观测资料统计,其多年平均气温 14℃,极端最高气温 37.6℃,极端最低气温 -13℃;多年平均风速 1.5 m/s,历年最大风速 35 m/s;多年平均相对湿度 83%,多年平均日照时数 1 198 h,多年平均无霜日 240 d。

1.2 洪水

1)设计洪水。龙洞湾水库坝址设计洪水采用暴雨途径推求。设计暴雨采用湖北省水文水资源局 2008 年编制的《湖北省暴雨统计参数图集》成果,汇流采用《湖北省暴雨径流查算图表》的方法和参数计算。

地表洪水通过瞬时单位线法和推理公式法计算,经成果分析比较,选择采用瞬时单位线法成果。坝址 50 年一遇设计洪峰流量 408 m³/s,1 000 年一遇校核洪峰流量 593 m³/s。

泉流设计洪水与暴雨量密切相关,通过对泉流洪水进行暴雨和洪水的同时对比观测,建立泉水洪峰流量和定时段暴雨量的关系,移用于设计条件,由设计暴雨计算设计洪峰流量;按地表设计洪水的峰量比计算泉流设计洪量。

龙洞湾水库控流域面积 65 km²,其中地表来水面积 21.1 km²,以泉洞形式汇入水库的来水面积 43.9 km²。不考虑地表来水和泉洞来水的错峰,利用地表洪水过程线成果按洪峰倍比法进行缩放,得全流域设计洪水。坝址 50 年一遇设计洪峰流量 590 m³/s,1 000 年一遇校核洪峰流量 877 m³/s。

2)分期洪水。龙洞湾坝址分期设计洪水采用宣恩水文站实测的 1959-1992 年实测资料分析计算,并按水文比拟法以面积比的 2/3 次方移置到龙洞湾坝址,得到坝址分期洪水成果。其 11 月至次年 3 月,10 年一遇洪峰流量为 39.8 m³/s,5 年一遇洪峰流量为 28.7 m³/s。

2 2019 年截流度汛抉择

2.1 施工导流

大坝工程采用围堰一次拦断河床,左岸开挖导流

洞的导流方式进行施工;汛期采用坝体挡水,导流洞泄洪的方式度汛。

导流洞布置在左岸,断面尺寸为 2 m × 3 m(宽 × 高),城门洞型,直墙高 2.42 m,拱高 0.58 m,顶拱 120°,进口底部高程 794 m,洞长 285 m,纵坡 0.37%,出口底部高程 793 m。导流洞设计过流能力见表 1。

表 1 导流洞过流能力表

水位/m	794	796	798	800	802	804	806
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0	8.5	19.2	16.3	19.6	22.5	25.0
水位/m	808	810	812	814	816	818	820
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	27.3	29.4	31.3	33.2	34.9	36.6	38.2
水位/m	822	824	826	828	830	832	834
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	39.7	41.2	42.6	44.0	45.4	46.6	47.9

初设阶段审定的施工导流程序与方案及各期导流的流量、频率及其相应的上下游水位详见表 2。

2.2 2019 年截流抉择

龙洞湾水源工程中标队伍进场两年,由于种种原因一直无法正常生产作业,施工机械搁置,人员工资发放也是建管办的沉重负担。2019 年 5 月初,施工道路、导流洞混凝土衬砌完成,正在进行固结接触灌浆施工。筛分系统完建;料场备料约有 10 余万 m³,为大坝填筑总量的 25%;左岸阶地已经填筑至 809 m 高程,具备截流的基本条件。

根据长期天气预报,2019 年咸丰县气候年景正常。年降雨量 1 395~1 800 mm,较常年略偏少。汛期(5~9 月)总雨量 970~1 230 mm,较常年略偏少。年内旱涝分布不均,有阶段性干旱和局部洪涝发生。

根据高滩站多年实测水文资料,龙洞湾坝址处最大洪峰流量为 35.7 m³/s,发生在 2016 年 6 月 25 日,当时连续三天降雨 166 mm,3 d 洪量 565.9 万 m³,7 d 洪量 1 041 万 m³。

根据《混凝土面板堆石坝施工规范》(SL49-2015)2.2.5:“选用截流后第一个汛期由隧洞及坝体临时断面联合过水的导流度汛方式时,宜采用过水围堰,汛期停工度汛,坝面过流。”

初步设计审定的度汛方式为枯水期围堰挡水,导流洞行洪;汛期坝体挡水,导流洞行洪。由于总库容小于 0.1 亿 m³,根据规范要求,施工期坝体直接挡水、导流洞泄流时,度汛洪水重现期为 20~50 年一遇,由于大坝位于河流的源头,承雨面积较小,临时度汛只一个

表 2 初设阶段大坝施工导流特性表

导流阶段	大坝施工导流特性参数				
	导流		封堵		
	枯水期	洪水期	下闸	封堵期	封堵后
挡水建筑物级别	V	IV			
设计标准	20%	5%	月平均	20%	5%
设计时段/月	11~3	5~9	2月	2~3	全年
设计流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	28.7	361		28.7	361
导流方式	导流洞	导流洞		溢洪道	溢洪道
上游水位/m	798.1	821.5			829.31
下泄流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		39.3			308.3
下游水位/m	793.1	793.3			795.9
挡水建筑物	型式	围堰	坝体	坝体	坝体
	坝(堰)高/m	3.7	40.5	42.5	42.5
	坝体高程/m	798.6	833.5	834.5	834.5
泄水建筑物	导流洞	断面尺寸为 2 m × 3 m 城门洞型,进口高程 794.0 m,出口高程 793.0 m,洞长 285 m;糙率系数:衬砌段 0.017,未衬段 0.03			
	溢洪道	溢洪道为开敞溢流式,堰顶高程 826.5 m,宽 18 m			

注:输水管直径 1 m,过流能力很小,不考虑其泄流,只作为一种富余。

汛期,因此坝体施工工期临时度汛洪水标准选择 20 年一遇,洪峰流量 $Q = 361 \text{ m}^3/\text{s}^{[1]}$ 。

施工工期度汛及坝体填筑分期方式,导流洞前后期参与行洪。截流后有下面几种典型度汛方式:

- 1) 坝体临时断面挡水;
- 2) 坝体先期过流,后期挡水度汛;
- 3) 河床留缺口过流,坝体分段分期度汛;
- 4) 围堰挡水,基坑及坝体全年干地施工。

以上几种方式可以根据施工进度,大坝填筑强度适时调整,充分体验了面板堆石坝施工便捷、灵活的优势。

近邻宣恩鱼泉电站面板堆石坝高 77.2 m,大坝填筑期间经过 3 次洪峰过流,最大流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$,洪水渗入坝体从坝脚流出。坝面没有采取保护措施,表层仅有局部冲刷。

西北口坝高 95.0 m,原定全年围堰挡水,但汛期来临之前围堰坝体没有达到预定高程,坝体出现漫顶,最高水位达 267.11 m,坝面水深 2.7 m,历时 17 h。洪水过后,检查坝顶,仅低洼处有淤积,垫层料和喷射混凝土无明显破坏。此情况表明上游临时保护措施有效,垫层料工作正常,渗流稳定可靠^[2]。

国外最早坝面体先期过流,后期挡水度汛的是澳

大利亚塞沙纳,坝高 110 m,坝顶长 213 m,坝体填筑料 140 万 m^3 。1970 年 8 月出现百年一遇洪水,上游水位高出河床 55 m,这时仅浇筑了部分面板,坝体挡水,采用坝面过流型式。过流后,坝体与面板完好无损^[2]。

虽然在施工期发生多次洪水,漫过施工中的大坝,基坑多次被淹,由坝体挡水,没有造成严重破坏。用一个详尽的施工规划,就能实现一个安全而又经济的方案。

世界上坝面过流最大的是天生桥一级,该工程进行多种导流方案比较,由于截流后第一个枯水期填筑到拦洪高程难以实现,而最终选择了坝体留缺口过流,后期坝体挡水方案。施工期多次坝面过洪,流量达到惊人的 $4400 \text{ m}^3/\text{s}$,坝面采取了保护措施。其优点为上游围堰按枯水时段设计,仅高 20 m,造价低。且节省导流洞一条,可降低工程总造价^[2]。

龙洞湾工程按照 $Q = 361 \text{ m}^3/\text{s}$ 过流,按二维有限元计算,坝面流速仅 1.28 m/s ,水深约 20 cm,起动粒径仅 3 cm,仅需对垫层料给予保护即可。

由于是岩溶出水,出水口都很小,虽说汇水面积有 29 km^2 ,但岩溶洞穴的滞洪作用,有效消杀洪峰流量,延时洪水历程,根据实测洪水资料,洪峰仅有 $35.7 \text{ m}^3/\text{s}$,3 天洪量 565.9 万 m^3 ,7 d 洪量 1041

万 m^3 。洪水均可通过导流洞安全下泄,洪水调查结果无大水漫出农田实例发生。经过风险评估后确定:洪水总量与径流查算图表法计算基本吻合,洪峰流量受溶洞口径限流作用差异较大,在确保安全情况下,将初设枯水期围堰挡水,汛期坝体挡水顺其自然改变为汛期坝面过水汛后坝体挡水,在确保总工期节点不变的情况下,要求施工单位9月底必须达到全断面填筑完工,考虑左右岸分期填筑的不均匀性,给大坝沉陷面板滑模留足充分沉降期。2020年春节为1月25日,正月15日为阳历2月9日,面板滑模时间定在2月9日以后,冬季滑模有利于面板减少裂缝产生。

3 结语

依据7月下旬天气预报,降雨仅65 mm,8月进入

(上接第66页)

2) 风机、塔筒、箱变的到货仓储和保管,采取分点设置,分区管理。结合风机布置点分布情况,合理安排仓储位置,避免二次运输产生的费用和 risk;结合当地整体气候,统筹雨季做好遮雨、排水工作,确保设备、材料的妥善保管。

4.3 前瞻性的风险管控

山地风电的施工工艺流程耦合度极高,常常主要矛盾和次要矛盾之间的相互转化频繁。所以必须要站在全过程的角度出发,提前识别,提前策划。

1) 山地风电几大单位工程:道路平台、基础浇筑、大件运输、风机吊装、集电线路,前后存在制约,工作面交叉接口繁多,一个单位工程出现偏差,对后续的施工会产生一系列连锁反应,整个项目的节奏被打乱,所带来的后果便是从进度问题变成了成本和 risk 的问题。所以要在施工工艺的逻辑关系上,适当安排弹性时间,将山地风电这种施工接口的强耦合弱化。

2) 分包主要分为建安分包商和设备分包商,大件运输的分包介于两者之间,既与厂家的供货交付紧密相关,又像建安分包商一样,有车辆人员资源投入要求和运输安全、成品保护等方面的管理要求,与供货厂家、吊装单位接口多,同时大件运输的执行情况直接对风机吊装和投产进度、项目整体成本产生直接影响。风机厂家管理规范、合同体量大、抗风险能力强,风机设备、叶片的场外、场内运输都可以交给风机厂家负责。塔筒厂家产业链较为低端,管理水平良莠不齐,可将资源投入要求低、risk 小的场外运输交由其执行,场内二次运输为特种改装车辆(后轮转向、底板抬升等),要么由总包方直接发包进行管理,做好重点环节

长江中游伏早期,大坝填筑按日填筑4 000~6 000 m^3 进度推进,有望按原定施工进度完成大坝填筑。所以在龙洞湾特定的地形岩溶地质条件下,经采用实测高滩水位站多年监测成果作为2019年大坝截流度汛抉择是正确的;即采取汛期坝面过流,汛后达到坝体挡水抉择是正确性。确保下游居民生命财产安全,又确保施工进度如期完成,节约一年工期。由此产生的社会效益远远大于工程实际效益,满足了工程进度,节省贷款利息,早日为咸丰县提供清洁水源,确保饮水健康,为民谋福利。

参考文献:

- [1] SL49-2015, 混凝土面板坝施工规范[S]
- [2] 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

的资源投入和管控;要么可以交由吊装单位进行组织,统筹好吊车转场、设备进场顺序等接口,转移一部分因设备无法到货所产生的吊装窝工 risk。

3) 山地风电因项目自身特点,存在着较多危险源:道路高填高挖的高边坡作业 risk、平台和基坑开挖的爆破作业 risk、大件运输交通事故 risk 和风机吊装起重伤害 risk 等,在此基础上,由于山地高海拔和局部山地小气候所带来的气候 risk (常年大雾、温度高、气湿低),与上述危险源耦合之后产生一系列更多的安全风险。一方面要建立安全生产“四个责任意识”和做好各项安全管理的基础性工作,从方案审查、过程监督和隐患整改强管控;另一方面针对山地风电项目特点,在安全人员投入的角度,除按规定配备安全总监外,还补充配置大件运输和吊装专责,专人管理运输和吊装过程的安全 risk 管控。

5 结语

山地风电由于地理环境的特殊性,使得 EPC 项目管理过程紧凑,环环相扣。本文通过对利川安家坝风电场项目管理的经验总结,分别从全过程成本角度的设计优化、统筹山地风电采购接口、前瞻性的 risk 管控来探讨山地风电项目管理的全局管理理念,供同业参考。

参考文献:

- [1] 丁爱军,李琳. 山地风电工程建设管理的问题分析与对策研究[J]. 水电与新能源,2019,33(2):69-74
- [2] 黄定寅. 湖北省电力勘测设计院有限公司总承包战略转型[J]. 水电与新能源,2019,33(4):1-2,8
- [3] 方笑菊. 远景智慧风场全生命周期管理价值何在[N]. 中国能源报,2014-09-29(2)

“水生态与水资源管理” 高端论坛在汉举办

2019年10月26日，湖北省水力发电工程学会在武汉大学主办了“水生态与水资源管理”高端论坛，邀请挪威科学与文学院院士、挪威工程院院士许崇育教授和澳大利亚联邦科学与工业组织水土研究所气候变化条件下水资源评估首席科学家张橹教授分别就《变化环境下的水资源管理》和《生态水文与水资源管理》做了精彩的学术报告。湖北省水力发电工程学会秘书长何金平教授主持报告会，学会会员单位代表和部分高校水电专业师生50余人参加了本次高端论坛。

两位教授精彩的报告，引来阵阵掌声，台上台下互动热烈。报告会后，与会代表和高校师生就水生态与水资源管理的发展趋势、不同时期水电事业的特点、我国及国际水电未来前景等问题与两位教授进行了广泛而深入的交流、讨论。

本次高端论坛，不仅拓宽了与会水电科技人员的知识视野和研究思路，在加强水电与其他学科之间的交叉融合方面也进行了有益的探索和尝试。本次高端论坛得到了湖北省科学技术协会2019年重点学术活动的大力资助。



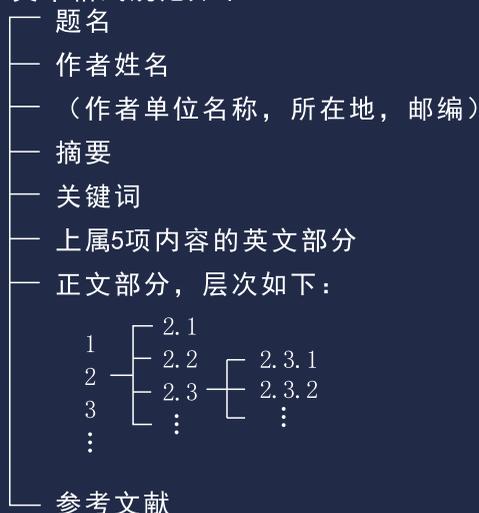
《水电与新能源》投稿须知

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

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

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

4、文章格式规范如下：



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

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

7、参考文献著录

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

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

本刊编辑部