



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4月(第34卷)



溪洛渡水电站

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

4

2020
第34卷

《水电与新能源》主编

夏军，中国科学院院士，武汉大学教授、水安全研究院院长。1976年毕业于武汉大学水利电力学院，1985年获水文学及水资源博士学位。2000年入选中科院“百人计划”，曾任国家973项目首席科学家、水资源水电工程科学国家重点实验室(武汉大学)主任。2015年当选中国科学院院士。



夏军 院士

长期从事水文水资源研究。在径流形成与转化的时变非线性理论与实践方面取得系统的研究成果。发现了受控于土壤湿度、降雨强度和下垫面多要素组合的时变增益产流规律，揭示了径流形成与转化的水文非线性机理；发展了时变增益水文模型及其与水环境、水生态过程耦合的水系统方法，在解决变化环境下径流模拟与调控的非线性、时空变异与不确定性研究方面，取得了重要突破。成果应用到我国长江、黄河、淮河以及西北地区 and 中小河流与城市防洪减灾、水质-水量-水生态联合调度、应对气候变化的重大水利工程的水管理、海绵城市水系统建设，产生了显著的社会经济效益。

已发表SCI收录论文140篇，EI收录论文157篇；出版专著12部。2009年当选为国际水资源协会(IWRA)主席。现任国际大地测量学和地球物理学联合会(IUGG)执行委员会委员、中国地理学会副理事长、中国自然资源学会副理事长、中国科学院水资源研究中心主任等职。2017年获国家自然科学二等奖。在国际上，2011年获“国际水资源管理杰出贡献奖”；2014年获国际水文科学领域的最高奖“国际水文科学奖(IHP-Volker Medal)”；2019年获“国际大地测量及地球物理学联合会(IUGG)”会士(Fellow)荣誉。

《水电与新能源》第八届编辑委员会及编辑部名单

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	联络部主任	程汉兰
常务副主编	赵英林	编 辑	刘雪琴 于华东 江 晖
技术总监	王绍良		陆 丹
执行副主编	徐云修	英文翻译	程勇刚
副 主 编	陈启卷 李文伟 周 伟	视角设计	黎 明
办公室主任	刘卫民	广 告 部	唐晏军
办公室副主任	江 晖	编 务	钱小玉

编辑部电话：027-68772726

编辑部信箱：sdxny5429@163.com

广告部电话：027-87874931

学会网站：www.hshe.org.com

水电与新能源

月刊
2020年第4期
第34卷(总第190期)
2020年4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
编辑 刘雪琴 于华东 江晖
陆丹

英文翻译 程勇刚
视角设计 黎明
广告部 唐晏军
编务 钱小玉

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

目次

□高端论坛□

基于博弈组合赋权法的南欧江七级电站初期导流方案决策
..... 贾鸿益, 聂鹏, 岑黛蓉, 陈丽(1)

□科学研究□

对水利工程项目建议书阶段设计取费问题的讨论与建议
..... 张玉柱, 常汉军, 尚钦(6)

某抽水蓄能电站水泵水轮机关键技术参数选择 苏艳意(10)

驮英水库导流泄洪隧洞出口边坡三维极限平衡分析
..... 张家旺, 冯晓波, 荣冠, 唐新宇, 蒙世仟(13)

浅谈压力式温度计示值误差测量结果的不确定度评定
..... 谢鹏赓(20)

浅谈贯流式机组集电环碳刷打火及温度偏高处理
..... 冉垠康, 张玉祥(23)

□建设与管理□

亭子口水利枢纽2019年度汛概述 王剑楨(27)

新冠肺炎疫情下海外工程项目的法律风险应对 蒋潍锶(30)

澳大利亚霍顿太阳能电站建设管理探索与实践 范华伟(32)

水布垭地下厂房帷幕灌浆廊道施工支洞封堵加固处理
..... 皮军华, 张雪琴(35)

提高风机基础环锚固性能的措施研究
..... 周敏, 谭争光, 陈加兴, 吴继亮(39)

无浮托引张线在葛洲坝大坝变形监测中的应用
..... 赵振军, 涂圆圆(43)

轴流转桨式水轮发电机组增容改造分析及应用 时志能(48)

龚嘴水电站水轮机过流部件抗磨蚀改造综述 李东(52)

辐射梁式风机基础设计与施工要点探讨 裴元义(57)

深化企业档案信息资源开发与利用工作的策略 郝春媛(62)

浅析滨海大风区域重型钢结构吊装技术 林翔, 杨肖年(64)

基于DGA数据的变压器过热故障诊断
..... 刘建, 黄费荣, 崔纪国(67)

隔河岩水电站水资源的高效利用与水害防范 梁文岳, 覃进一(70)

一起500 kV线路T区保护动作闭锁对侧重合闸失败的原因分析
..... 孙远刚, 杨涛, 黄泰山, 侯小虎(73)

HYDROPOWER AND NEW ENERGY

April 2020 Number 4

Contents

Decision Making of the Construction Diversion Scheme for Nam Ou 7 Hydropower Station with Game Theory based Combination Weighting Method	<i>JIA Hongyi, NIE Peng, CEN Dairong, CHEN Li</i> (1)
On the Charging of the Design Work of Proposal Stage for Water Conservancy Projects with Simplified Project Establishment Procedure	<i>ZHANG Yuzhu, CHANG Hanjun, Shang Qin</i> (6)
Selection of Key Technical Parameters for Pump-turbines in a Pumped Storage Power Station	<i>SU Yanyi</i> (10)
Three-dimensional Limit Equilibrium Analysis of the Outlet Slope of Diversion and Spillway Tunnel in Tuoying Reservoir	<i>ZHANG Jiawang, FENG Xiaobo, RONG Guan, TANG Xinyu, MENG Shiqian</i> (13)
Evaluation of the Uncertainties in Indication Error Measurement of Pressure Thermometer	<i>XIE Penggeng</i> (20)
Analysis and Treatment of Sparking and Abnormal High Temperature of the Collecting Ring in Tubular Turbine Generator Units	<i>RAN Yinkang, ZHANG Yuxiang</i> (23)
Summary of the Flood Control Work of Tingzikou Water Conservancy Project in 2019	<i>WANG Jianzhen</i> (27)
Analysis and Countermeasures of Legal Risks in Overseas Engineering Projects under the Pandemic Situation of COVID-19	<i>JIANG Weisi</i> (30)
Experience of the Construction Management in Houghton Solar Power Station in Australia	<i>FAN Huawei</i> (32)
Reinforcement Treatment of the Plug in Construction Adit of the Curtain Grouting Gallery for Underground Powerhouse of Shuibuya Hydropower Station	<i>PI Junhua, ZHANG Xueqin</i> (35)
Measures to Improve the Anchorage Performance of Foundation Rings of Wind Turbines	<i>ZHOU Min, TAN Zhengguang, CHEN Jiaying, WU Jiliang</i> (39)
Application of the Non-floating Tension Wire Alignment Method in Deformation Monitoring of Gezhouba Dam	<i>ZHAO Zhenjun, TU Yuanyuan</i> (43)
Capacity Expansion Renovation of an Axial Flow Kaplan Hydro-turbine Generator Unit	<i>SHI Zhineng</i> (48)
Abrasion Resistance Renovation of Flow Passage Parts in Hydro-turbine Units in Gongzui Hydropower Station	<i>LI Dong</i> (52)
Key Points for the Design and Construction of Radiation Beam Wind Turbine Foundation	<i>PEI Yuanyi</i> (57)
Strategies to Promote the Exploitation and Utilization of Enterprise Archive Information Resources	<i>HAO Chunyuan</i> (62)
Hoisting Technology of Heavy Steel Structures in Coastal Strong Wind Areas	<i>LIN Xiang, YANG Xiaonian</i> (64)
Diagnosis of Overheating Fault of Transformers based on Dissolved Gas-in-oil Analysis Data	<i>LIU Jian, HUANG Feirong, CUI Jiguo</i> (67)
Efficient Utilization of Water Resource and Prevention of Water Hazard in Geheyan Hydropower Station	<i>LIANG Wenyue, QIN Jinyi</i> (70)
Analysis and Countermeasures of an Offside Reclosing Locking Failure during T-zone Protection Action of 500 kV Line	<i>SUN Yuangang, YANG Tao, HUANG Taishan, HOU Xiaohu</i> (73)

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.1671-3354.2020.04.001

基于博弈组合赋权法的 南欧江七级电站初期导流方案决策

贾鸿益¹, 聂鹏², 岑黛蓉¹, 陈丽³

(1. 昆明勘测设计研究院有限公司, 云南昆明 650051;

2. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北武汉 430072; 3. 国家开放大学理工教学部, 北京 100039)

摘要: 施工导流方案的决策直接影响水利工程的工期和造价。选取南欧江七级水电站的两个施工导流方案决策作为案例, 引入博弈论, 以基于专家调查法的主观权重和基于熵权法的客观权重为局中人, 将两种权重达到离差最小时作为博弈结果, 对主、客观权重进行再次赋权后组合得到组合权重。并将综合权重代入 TOPSIS 决策模型, 计算得出优选导流方案, 并通过工程案例验证了该决策模型的准确性。

关键词: 施工导流; 方案决策; 博弈组合赋权; TOPSIS 法; 南欧江七级水电站

中图分类号: TV551.1⁺5 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)04-0001-05

Decision Making of the Construction Diversion Scheme for

Nam Ou 7 Hydropower Station with Game Theory based Combination Weighting Method

JIA Hongyi¹, NIE Peng², CEN Dairong¹, CHEN Li³

(1. Powerchina Kunming Engineering Co., Ltd., Kunming 650051, China;

2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. The Open University of China, Beijing 100039, China)

Abstract: The decision of construction diversion scheme will directly affect the construction time and cost of hydropower projects. Taking Nam Ou 7 Hydropower Station as an example, the decision making process of its construction diversion scheme is introduced. Two diversion schemes are compared with the game theory based combination weighting method. The subjective weight based on expert investigation method and the objective weight based on entropy right method are taken as the players in the game. The game result with the minimum deviation is chosen to re-weight the subjective and objective weights and get the combination weight. Then the combination weight is taken into the TOPSIS decision making model, and the optimal scheme is finally obtained. The accuracy of the decision making model is verified by the practical case.

Key words: construction diversion; decision making; game theory based combination weighting; TOPSIS method; Nam Ou 7 Hydropower Station

在水利水电工程建设过程中, 施工导流方案的选择关系到工程成本、导流规模、建设工期及系统风险等, 科学且合理的导流方案决策是保证施工导流系统正常运行的前提。为保证施工导流系统的稳定性, 国内外许多学者对施工导流方案的决策进行了深入的研究。胡志根^[1]等建立导流系统综合风险分配机制, 提出效用风险熵作为决策的综合评价指标。刘全^[2]考

虑梯级建设环境下导流风险受上下游电站影响, 建立梯级电站施工导流风险测度模型, 为施工导流标准决策提供了参考。

考虑到权重对决策结果影响较大, 为探求权重与决策结果的关系, 张衍^[3]构建决策指标的三维空间映射, 建立多目标决策的三维可视化模型, 直观反映不同权重条件下导流方案的优劣性。指标权重主要分为主

收稿日期: 2020-01-19

作者简介: 贾鸿益, 男, 高级工程师, 主要从事水利水电工程施工系统分析研究。

观权重和客观权重,分别反映各决策指标的主观倾向和客观属性。吴梦烟^[4]引入距离函数将 AHP 法和熵值法计算得到的权重结果进行组合赋权,得到综合权重。毛红保^[5]为进一步提高决策的精度,提出了一种基于区间估计的权重组合方法。任丽超^[6]协调主观、客观权重既冲突又一致的关系,立足博弈论原理对风险指标的主、客观权重进行组合赋权。

得到不同方案中的各指标权重后,为对各方案进行决策分析,需要建立决策模型。徐曼^[7]针对复杂决策系统的异构性问题,提出了基于 Vague 集的方案决策模型;张超^[8]基于区间数理论建立区间数多属性决策模型,进行施工初期导流标准决策。张春生^[9]针对工程特征引入趋同分组的方法,建立两层决策模型优选导流方案;孟卫军^[10]综合考虑各候选方案相对于理想方案的接近程度,构建了多种指标类型共存的灰色关联 TOPSIS 决策模型。

基于博弈论的组合赋权法借鉴博弈论理论,将单一赋权方法看作是博弈中的局中人,以不同赋权方法的离差最小为博弈结果,对单一赋权方法进行赋权,并将其组合得到基于博弈论的组合赋权法^[11]。本文基于专家调查法的主观赋权和基于熵权的客观赋权之间寻找一致,极小化主客观权重的偏差,得出各指标的组合权重,构建 TOPSIS 决策模型,选出最逼近理想解的方案。最后本文通过工程案例验证了该决策模型的准确性。

1 评价指标权重的确定

1.1 构建决策矩阵

在 n 个评价指标和 m 个方案的决策问题中,假设 x_{ij} 为第 i 个方案的第 j 个评价指标,构造评价指标特征矩阵 X 。为消除指标间由于量纲不同带来比较上的困难,根据评价指标的种类对指标特征矩阵 X 进行标准化,得到隶属度矩阵 R :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

其中:

1) 效益型指标(越大越好)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max x_{ij} - \min_i x_{ij}} \text{ 或 } r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

2) 成本型指标(越小越好)

$$r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min_i x_{ij}} \text{ 或 } r_{ij} = \frac{1}{m-1} \left(1 - \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \right) \quad (2)$$

1.2 基于专家调查法的主观赋权方法

专家调查法又称德尔斐法,是以专家的知识 and 经验作为信息的来源,通过调查研究对问题做出判断、评估和预测的一种方法。适合在缺乏数据、多目标情况下确定指标权重^[12]。

专家调查法的具体步骤为:确定需求指标,匿名征求专家意见,再进行归纳、统计,反馈结果是否发生偏差,若有偏差则重复上一轮,直至得到一致的意见。

1.3 基于熵权法的客观赋权方法

信息熵反映了信息的质量,是决策精度及可靠性的决定性因素之一。熵权法的核心是通过计算指标的变异程度来得出指标的信息熵,信息熵越大表示该指标的重要程度越低。信息熵能直观有效地反映各指标的差异程度^[13-14]。使用隶属度矩阵 R 计算第 i 个评价指标的熵 H_i 和熵权 w_i 。计算如下:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

$$w_i = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i} \quad (4)$$

式中: $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}}$; $k = \frac{1}{\ln m}$ 。

1.4 基于博弈论的组合赋权方法

主观赋权法能清晰的反应决策者意愿,但具有主观随意性,缺乏客观判断;客观赋权法建立在数值基础上,具有客观性,但受数据波动影响较大。而指标权重直接影响决策结果,故赋权方法不仅要反映主观意愿,还要反映客观事实。

1.4.1 主、客观权重博弈

进行方案决策时既要考虑决策者的主观决策,又要顾及客观事实,这是一个相互比较、相互协调的过程。博弈论是研究具有竞争性事物的理论和方法,是研究具有斗争或竞争性质现象的数学理论和方法,是分析多个决策主体行为相互影响时的理性行为及其决策均衡的工具。在博弈论中,当博弈多方出现多个决策方案时,可以假定每个方案都是理性决策的结果,即决策者为实现自身利益最大化或者自身损失最小化而

进行的决策。在决策过程中,博弈各方协调一致去寻找最大化共同利益,竞争的结果不是由某一方决策者掌控的,而是由所有决策者共同实现的^[15]。

在方案指标的确定过程中,主、客观权重作为博弈的局中人,在综合权重的确定过程中存在竞争,它们之间无法达成有约束力的协议,属于非合作博弈的范畴。因此,我们需使各个权重之间的偏差达到最小,即以纳什均衡为目标,在不同的权重之间寻找一致,进而得到综合权重。

1.4.2 基于博弈论的组合赋权法

借鉴博弈论理论,将基于专家调查法的主观权重和基于熵权法的客观权重看作是非合作博弈中的两个局中人,将两种权重达到的离差最小作为博弈结果,然后对专家调查法和熵权法所得的主、客观权重进行再次赋权,并将其组合得到基于博弈论的组合权重。基于博弈论的组合权重既不偏向于主观权重,也不偏向于客观权重,是权重之间进行非合作博弈,达到纳什均衡后的结果^[16-18]。其组合赋权步骤如下:

1) 计算主、客观权重后,构建权重向量的任意线性组合,即对主、客观权重进行再次赋权:

$$w^T = \alpha_1 w_1^T + \alpha_2 w_2^T \quad (5)$$

式中: $w_1^T = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n})^T$ 、 $w_2^T = (w_{21}, w_{22}, \dots, w_{2n})^T$ 分别为使用专家调查法和熵权法所得权重; α_1 、 α_2 为其对应的系数; w 为组合权重。

2) 借鉴博弈论的均衡思想,通过极小化主、客观权重的离差,寻求专家调查法所得的主观权重 w_1^T 和熵权法获得的客观权重 w_2^T 之间的妥协或一致,对不同权重的线性组合进行优化,其目标函数为:

$$\min \left\| \sum_{k=1}^2 \alpha_k w_k^T - w \right\|_2 \quad (6)$$

由矩阵微分性质得到最优化一阶导数条件为:

$\sum_j \alpha_j w_j^T = w$, $w_j^T (j=1, 2)$, 对应的线性方程组的形式为:

$$\begin{bmatrix} w_1 w_1^T & w_1 w_2^T \\ w_2 w_1^T & w_2 w_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 w_1^T \\ w_2 w_2^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

计算得到系数 α_1 、 α_2 后,对系数 α_1 、 α_2 进行归一化处理,得到最终的组合系数 α_1^* 、 α_2^* 。将 α_1^* 、 α_2^* 代入,得到组合权重 $w^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$:

$$w^* = \alpha_1^* w_1^T + \alpha_2^* w_2^T \quad (8)$$

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i} \quad (9)$$

使用博弈论方法对主、客观权重进行组合赋权,能充分挖掘与利用主、客观权重的信息,保证组合权重与

主、客观权重之间的偏差最小。弥补了现有组合赋权方法无法有效反映主、客观权重差异的不足,全面地考虑各指标之间的固有信息,减少主观随意性,提高了指标赋权的科学合理性。

2 基于组合赋权的 TOPSIS 决策模型

TOPSIS 法也叫“逼近理想值法”,是一种距离综合评价法,通过构造一个各指标均为最优的理想方案,并在空间上计算各方案的指标与理想方案指标的欧式距离,反映各方案与理想解的贴近程度^[9,14,19],继而进行方案决策。

2.1 构建加权标准化矩阵

将隶属度矩阵 R 与组合权重 w^* 相乘得到加权决策矩阵 Y

$$Y = \begin{bmatrix} w_1^* r_{11} & w_2^* r_{12} & \dots & w_n^* r_{1n} \\ w_1^* r_{21} & w_2^* r_{22} & \dots & w_n^* r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1^* r_{m1} & w_2^* r_{m2} & \dots & w_n^* r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: w_i^* 为第 i 项指标所对应的组合权重。

2.2 计算各方案的相对贴近度

相对贴近度 D_i 为方案 i 与最优方案之间差距的数值化后的结果,其值越小,表明第 i 个方案越接近理想方案。相对贴近度的计算需进行标准化, D_i 介于0~1之间,当 $D_i = 0$ 时,表明该方案就是理想方案,各指标均为最优;当 $D_i = 1$ 时,表明该方案为最劣方案,各指标均为最差,根据相对贴近度的相对大小进行方案决策。计算过程如式(10)~(12)

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^+)^2} \quad (10)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_j^-)^2} \quad (11)$$

$$D_i = \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-} \quad (12)$$

式中: $y_j^+ = \max\{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj}\} (j=1, 2, \dots, n)$; $y_j^- = \min\{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{mj}\} (j=1, 2, \dots, n)$ 。

在TOPSIS决策模型中权重占有十分重要的地位,本文借鉴博弈论的均衡思想,基于专家调查法得到各指标的主观权重和基于熵权法得到各指标客观权重,再运用基于博弈论的组合赋权法使主、客观权重作为

局中人进行博弈,达到纳什均衡,并得到各指标的综合权重。最后在 TOPSIS 决策模型中计算各方案与最优解的相对贴近度,根据相对贴近度越小越优原则进行决策,得到最优方案。

3 南欧江七级水电站初期导流方案决策

3.1 工程概况

南欧江水电站位于老挝丰沙里省境内,坝址位于南欧江左岸支流南康河口下游约 3.4 km,距其左岸支流 Nam Khang 汇口下游约 2.3 km,为南欧江梯级规划的第七个梯级。水电站工程枢纽建筑物主要由混凝土面板堆石坝、左岸溢洪道、左岸引水发电系统、右岸泄洪放空洞等组成,最大坝高约 143.5 m。

该工程枢纽等级为一等大(1)型工程,拦河坝为 I 级建筑物。参考《水电工程施工组织设计规范》(DL/T5397-2007)的规定,导流建筑物级别确定为 IV 级,挡水标准为 20~10 年重现期洪水。考虑到南欧江七级水电站坝址处枯期流量与汛期流量相差较大,枯期流量仅为汛期流量的十分之一,故初期导流标准汛期按规范中相应挡水标准的高限选取,即上、下游土石围堰挡水标准为 20 年重现期洪水,相应设计流量为 2 290 m³/s。

3.2 施工导流备选方案

结合南欧江水电站坝区地形地质条件、枢纽处自然条件、坝型及施工工期要求,且坝区枯水期水量小,洪枯比较大,且枯期时间较长,故在“全段围堰法拦断河床,隧洞泄流”的导流方式的基础上,根据围堰挡水时间提出了两个施工导流方案:全年围堰挡水的方案一及枯水期围堰挡水,汛期坝体挡水的方案二。各方案参数见表 1,施工导流备选方案的决策指标见表 2。

表 1 施工导流备选方案参数表

导流方案	方案一	方案二	
初期导流标准/%	5	5	
导流隧洞洞径/m	8×11	11×15	
堰前设计水位/m	560.08	527.49	
中期度汛水位/m	570.5	553.63	
围堰最大高度/m	56	23	
导流洞	石方洞挖/10 ⁴ m ³	8.75	16.39
主要	C25 混凝土/10 ⁴ m ³	2.21	4.13
工程量	钢筋/t	1 969	3 690
上游围堰填筑量/10 ⁴ m ³	67.49	6.5	

表 2 施工导流备选方案的决策指标表

方案	方案一	方案二
确定性费用/万元	6 310	7 167
不确定性费用/万元	5 144	6 436
施工强度(×10 ⁴ m ³ /月)	13.5	12.3

3.3 基于博弈论的组合权重计算

3.3.1 计算主客观权重

根据各导流方案的指标值构建指标特征矩阵 X ,由于确定性费用、不确定性费用、施工强度三个指标都属于成本型指标,故使用公式(2)进行标准化后得到隶属度矩阵 R 。

$$X = \begin{bmatrix} 6\ 310 & 5\ 144 & 13.5 \\ 7\ 167 & 6\ 436 & 12.3 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.532 & 0.556 & 0.477 \\ 0.468 & 0.444 & 0.523 \end{bmatrix}$$

首先,使用专家调查法得到主观权重 $w_1 = (0.29, 0.14, 0.57)$,然后使用熵权法确定各指标客观权重,使用公式(3)、(4)得到客观权重 $w_2 = (0.22, 0.67, 0.11)$ 。

3.3.2 计算组合权重

为充分利用基于专家调查法得到的主观权重 w_1 和基于熵权法得到的客观权重 w_2 ,保证组合权重同时估计主观决策和客观事实,使用公式(5)~(9)将主观权重 w_1 ,客观权重 w_2 基于博弈论组合计算得到组合权重 $w^* = (0.20, 0.27, 0.53)$ 。

3.4 导流方案决策

将隶属度矩阵 R 与组合权重 w^* 相乘构造加权决策矩阵 Y 。

$$Y = \begin{bmatrix} 0.106 & 0.150 & 0.253 \\ 0.094 & 0.120 & 0.277 \end{bmatrix}$$

使用公式(10)~(12)计算各方案的相对贴近度。方案的相对贴近度越小,与最优方案差异越小,即越小越优原则,进行方案决策。决策结果如表 3。

表 3 相对贴近度表

	方案一	方案二
d^+	0.024	0.032
d^-	0.032	0.024
D_i	0.429	0.571

在基于熵权法确定的客观权重中,不确定性费用权重(0.67)是确定性费用权重(0.22)的三倍,但一般认为在施工导流中确定性费用比不确定性费用更加重要,该客观权重不符合工程实际,说明根据仅各指标的

熵权确定指标权重存在缺陷,客观权重的确定依赖于各方案指标的具体数值,易得出不符合主观认知的结果。如表4所示两个方案使用客观权重计算的相对贴近度分别是0.072和0.928,表明两个方案无可比性,显然这个结果是不合理的。基于专家调查法的主观权重分布较为合理,能普遍用于不同的工程方案决策,但缺少对于工程方案本身属性的判断,没考虑到工程的独特性。如表4所示,使用主观权重后方案一与方案二的相对贴近度分别为0.52和0.48,结果显示方案二要优于方案一,但方案一的不确定性费用(6 310万元)与不确定性费用(5 144万元)均小于方案二的不确定性费用(7 167万元)与不确定性费用(6 436万元),仅方案一的施工强度($13.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{月}$)要稍大于方案二的施工强度($12.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{月}$),最后却得出方案二要优于方案一的结论,说明主观权重也有其局限性。根据表3可知,方案一的相对贴近度(0.429)要小于方案二的相对贴近度(0.571),那么可以认为方案一要优于方案二。因此推荐选用方案一,即围堰一次断流,隧洞导流方式,汛期围堰挡水,基坑全年施工方案。

表4 不同权重各方案的相对贴近度表

	方案一	方案二
仅考虑主观权重	0.520	0.480
仅考虑客观权重	0.072	0.928
考虑组合权重	0.429	0.571

本文采用的基于博弈论的组合赋权法得出的组合权重能够在充分考虑决策者主观倾向的前提下,同时兼顾方案指标的客观属性,且组合权重为主、客观权重离差最小化后的结果,对主观权重还是客观权重都没有偏向性,是主、客权重进行非合作博弈后,达到纳什均衡后的结果。故使用基于博弈论的组合赋权法相比单独使用主、客观权重具有优越性。

4 结语

施工导流是水利水电工程施工中的关键环节,其影响因素多,费用占比大,导流方案的选择存在困难。权重是方案决策的重要参数,故本文提出了一种基于博弈论的组合赋权法,将基于专家调查法的主观权重和基于熵权法的客观权重离差最小化后各自赋权,所得的组合权重能在清晰的反映决策者意愿的同时,兼顾指标数据的客观性,使主观倾向与客观属性较好地结合。并将组合权重代入TOPSIS决策模型中,建立决策矩阵,计算各方案与最优解的相对贴近度,继而对方案进行优选。南欧江七级水电站初级导流方案决策的实例,证明了该方法的可行性。

参考文献:

- [1]胡志根,范锡峨,刘全,等.施工导流系统综合风险分配机制的设计研究[J].水利学报,2006,37(10):1270-1277
- [2]刘全,胡志根,任金明,等.梯级建设环境下水电工程施工导流风险分析[J].水力发电学报,2014,33(1):147-153
- [3]张衍,刘全,胡志根.施工导流风险多目标决策的三维可视化模型[J].水电能源科学,2016,34(4):174-177
- [4]吴梦烟,杨侃,刘朗,等.基于灰色局势决策和组合赋权法的再生水评价[J].水资源与水工程学报,2018,29(3):111-117
- [5]毛红保,张凤鸣,冯卉,等.一种基于区间估计的多属性决策组合赋权方法[J].系统工程理论与实践,2007,27(6):86-92
- [6]任丽超,栗振锋.基于博弈论和模糊数学的桥梁风险评价模型[J].公路工程,2017,42(1):163-169
- [7]徐曼,沈江.基于Vague集的方案决策模型及其推理机制[J].系统工程,2010,28(2):17-23
- [8]张超.基于区间数理论的施工初期导流标准多属性决策[J].人民黄河,2015,37(3):135-138
- [9]张春生,杨道坡,宋子达,等.基于两层决策模型的东庄水库导流方案优选[J].人民黄河,2017,39(12):105-108
- [10]孟卫军,王传顺,邢青松.基于混合指标的灰色关联TOPSIS多属性决策模型[J].数学的实践与认识,2018,48(24):66-74
- [11]邹筱,赵锋.基于变权Shapley值的合作博弈赋权方法[J].统计与决策,2010(8):156-158
- [12]程启月.评测指标权重确定的结构熵权法[J].系统工程理论与实践,2010,30(7):1225-1228
- [13]苏律文,杨侃,邓丽丽,等.主观偏好和改进熵权的TOPSIS法在长江中游水库多目标调度中的应用[J].水电能源科学,2018,36(9):76-80
- [14]徐森泉,胡志根,刘全,等.基于熵权的导流标准多目标决策分析[J].中国农村水利水电,2004(8):45-47
- [15]山成菊,董增川,樊孔明,等.组合赋权法在河流健康评价权重计算中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2012,40(6):622-628
- [16]田水承,张德桃,杨兴波,等.基于博弈论组合赋权TOPSIS模型对煤矿安全现状的综合评价[J].煤矿安全,2018,49(6):242-245
- [17]鲁佳慧,唐德善.基于博弈论组合赋权的水环境综合治理效果评价[J].水利水运工程学报,2018(6):105-111
- [18]张德彬,刘国东,王亮,等.基于博弈论组合赋权的TOPSIS模型在地下水水质评价中的应用[J].长江科学院院报,2018,35(7):46-50
- [19]熊雪珍,何新玥,陈星,等.基于改进TOPSIS法的水资源配置方案评价[J].水资源保护,2016,32(2):14-20

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.002

对水利工程项目建议书阶段 设计取费问题的讨论与建议

张玉柱,常汉军,尚 钦

(长江勘测规划设计研究院,湖北 武汉 430010)

摘要:通过相关规范、法规进行分析,对于实行立项简化程序未编制项目建议书的水利工程,项目建议书阶段的设计工作应该取费,但不宜直接套用现行设计取费标准;建议根据项目特点在计算的设计费基础上按0.5~0.8的折扣系数取费。

关键词:水利工程;立项简化程序;项目建议书;设计取费

中图分类号:F407.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)04-0006-04

On the Charging of the Design Work of Proposal Stage for Water Conservancy Projects with Simplified Project Establishment Procedure

ZHANG Yuzhu, CHANG Hanjun, Shang Qin

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

Abstract: For water conservancy projects with simplified project establishment procedure, in which the project proposals are not prepared, analysis on relevant regulations and specifications shows that the design work of proposal stage should be charged. However, the current charging standards for proposal stage should not be applied directly. It is suggested that a discount factor of 0.5~0.8 should be applied on the basis of the current charging standards considering the characteristics of each project.

Key words: water conservancy project; simplified project establishment procedure; project proposal; charging of design work

根据国家现行固定资产投资管理有关规定,部分水利工程“立项实行简化程序,直接编制项目可行性研究报告进行报批”,此类项目无须编制项目建议书,可“直接开展可行性研究”(水利部 SL618-2013)。但是,按国家现行基建程序,水利工程设计阶段一般分为项目建议书、可行性研究、初步设计、招标设计、施工图设计五个阶段(水利部水建[1998]16号),设计取费亦是按照上述五个阶段进行划分(发改价格[2006]1352号,计价格[2002]10号),每个阶段设计取费标准与相应阶段的工作内容及深度相匹配。

对于实行立项简化程序的水利工程,可直接开展可行性研究而不必编制项目建议书。对此,一些部门和单位对其项目建议书阶段的设计取费问题尚未形成统一认识:一种观点认为,由于未编制项目建议书,故

不应计取项目建议书阶段的设计收费;另一种观点认为,虽然设计阶段属于人为划分,但设计过程依然遵循循序渐进、承前启后、由粗到细、由浅到深的客观规律,“直接开展可行性研究”时的可行性研究设计工作量与“先编制项目建议书、再开展可行性研究”时的可行性研究设计工作量是明显不同的,而取费标准中的可行性研究设计收费针对于后一种情况,故不考虑项目建议书阶段的设计收费是不合理的。

对于实行立项简化程序的水利工程,其项目建议书阶段的设计取费问题,尚未有相关法规、标准或政策进行明确。那么,对于此类项目,是否应该计取项目建议书阶段的设计收费、项目建议书阶段设计收费的取费标准如何取定才合理?本文将对该问题进行简单的探讨,以期抛砖引玉。

收稿日期:2019-11-01

作者简介:张玉柱,男,工程师,主要从事水利工程设计、建设管理方面的工作。

1 “直接开展可行性研究”的内涵

对于水利工程,其项目建议书和可行性研究报告编制的主要内容和深度要求如表1所示(水利部SL617-2013、SL618-2013)。由表可知,在可行性研究阶段,除了少数内容是新增或深度基本一致的外,绝大部分内容都是在项目建议书阶段深度基础上进行加深的,即在项目建议书阶段对各项工作内容的深度要求是“基本确定”、“初步查明/选定”等,到可行性研究阶段对相应工作内容的深度要求则是“确定”、“基本查明/选定”等。换言之,可行性研究阶段的工作,是

在项目建议书阶段工作的内容之上进行细化、深化的成果。

根据项目建议书和可行性研究报告主要内容及深度要求,对于按照一般程序先编制项目建议书、继而编制可行性研究报告的项目和按照立项简化程序直接编制可行性研究报告的项目,基于“有无对比法”的基本思路进行对比,显然,没有项目建议书、直接编制可行性研究报告(立项简化程序)的设计工作量要明显大于已经完成项目建议书、再编制可行性研究报告(一般程序)的设计工作量。

表1 项目建议书与可行性研究报告主要内容和深度要求对比表

序号	内容	深度要求	
		项目建议书	可行性研究报告
1	工程任务及综合利用工程各项任务的主次顺序	基本确定	确定
2	主要水文参数和成果	基本确定	确定
3	主要建筑物的工程地质条件	初步查明	基本查明
4	工程建设场址	基本选定	选定
5	工程总体布置方案及其他主要建筑物型式	初步选定	基本选定
6	机电及金属结构的主要设备型式与布置	初步选定	基本选定
7	消防设计方案和主要设施	-	初步确定
8	对外交通运输方案	基本选定	选定
9	主体工程主要施工方法和施工总布置	拟定	基本选定
10	工程建设征地范围	基本确定	确定
11	环境保护对策措施	提出	确定
12	水土保持措施	初步确定	确定
13	劳动安全与工业卫生	-	基本确定
14	节能措施	拟定	基本确定
15	工程管理方案拟定	拟定	确定
16	工程经济	投资估算及经济评价	投资估算及经济评价

设计工作是一项科学工作,其本身必然遵循事物发展的客观规律;上一步的工作是下一步工作的基础,不可能跳过上一步的工作直接进行下一步工作而建造“空中楼阁”。设计阶段的划分则是一种主观行为,既可以按照一般程序分为项目建议书、可行性研究,相关部门也可以从优化服务、提高效率等角度出发,提出无须编制项目建议书、直接开展可行性研究。

从设计阶段划分的主观性这个角度看,“直接开

展可行性研究”,在形式上略去了项目建议书阶段;从设计过程的客观性这个角度看,“直接开展可行性研究”,原属于项目建议书阶段的设计工作内容并不会凭空消失。因此,对于实行立项简化程序的水利工程,相关部门“不再审批”项目建议书、可“直接开展可行性研究”,不代表项目建议书阶段的设计工作就此不存在,而是以另外一种形式体现,即项目建议书与可行性研究两个阶段合并来开展设计。

然而,现行设计取费标准的制定是基于一般基建程序的,即按照项目建议书、可行性研究阶段进行划分。根据前文的论述可以得知,对于实行立项简化程序的工程,即直接开展可行性研究的工程,其“可行性研究”的内涵已跟一般基建程序中的“可行性研究”有本质区别,此时,再套用现行设计取费标准、仅对“可行性研究”阶段取费而不考虑“项目建议书”阶段的设计工作,明显是不合理的。

2 项目建议书阶段设计取费标准

基于第2节的讨论可知,对于实行立项简化程序的水利工程,应该对其项目建议书阶段的设计工作进行取费;同时,其“项目建议书”的内涵与一般基建程序中的项目建议书不同,直接套用现行设计取费标准对项目建议书阶段进行取费也是不合理的。本节将采用“类比法”对项目建议书阶段的设计取费标准进行

探讨。

2.1 水电工程设计阶段划分及设计取费标准

1993年以前,水电工程设计阶段也分为项目建议书、可行性研究、初步设计、招标设计、施工图设计五个阶段;1993年以后,水电工程设计阶段进行了调整,分为预可行性研究、可行性研究、招标设计、施工图设计四个阶段(电计[1993]567号)。调整前后各设计阶段的对应关系如图1所示。调整之后,增加预可行性研究阶段、取消项目建议书阶段,预可行性研究报告经主管部门审批后即可编报项目建议书。因此,预可行性研究阶段即调整之前的项目建议书阶段。此外,将原有的可行性和初步设计两阶段合并,统称为可行性研究阶段。新的可行性研究报告主要内容和深度与原初步设计相当,即新的可行性研究阶段可认为等同于原初步设计阶段。

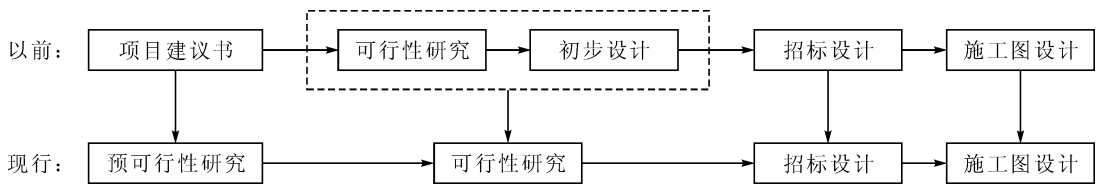


图1 调整前后各设计阶段的对应关系图

水电工程设计阶段划分调整后,各阶段的设计取费标准也进行了相应的变化(发改价格[2006]1352号,计价格[2002]10号)。调整前后各设计阶段设计取费标准的对比示意如图2所示。根据发改价格[2006]1352号文,水电工程设计阶段划分调整后,预可行性研究设计收费按照前期工作的28%计取。根据计价格[2002]10号文,水电工程可行性研究与初步设计阶段合并的,设计总工作量附加调整系数为1.1。

根据上述两个文件精神,在设计阶段划分调整前,如果把前期工作(项目建议书、可行性研究)设计费记为A、初步设计及以后阶段(初步设计、招标设计、施工图设计)设计费记为B;那么设计阶段调整后,预可行性研究阶段设计费则可记为0.28A、初步设计及以后阶段(调整后的可行性研究阶段等同于原初步设计阶段)设计费则可记为1.1B。

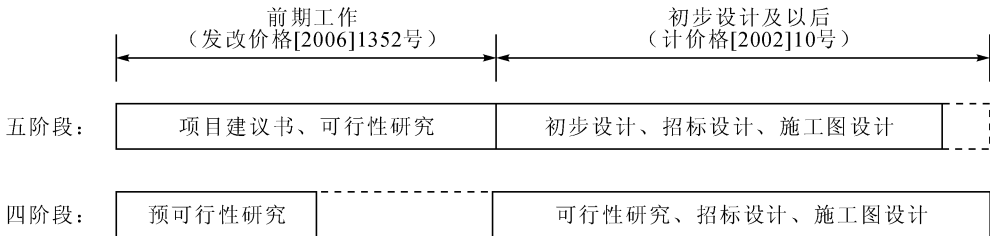


图2 调整前后各设计阶段设计取费标准的对比示意图

上述分析可以得知,水电工程可行性和初步设计两阶段合并后,相关法规考虑了阶段合并之后被合并阶段客观存在的设计工作量,并将该部分工作量以扩大指标的形式在后续的设计阶段中体现。阶段合

并之后对应于原可行性研究阶段设计工作量的取费可以记为 $1.1B - B$,即 $0.1B$ 。此外,对于阶段合并之前的可行性研究阶段,根据发改价格[2006]1352号文件精神,其设计费应为 $A - 0.28A$,即 $0.72A$ 。

2.2 实行立项简化程序的水利工程项目建议书阶段设计取费标准

对实行一般基建程序的水利工程,其项目建议书阶段设计取费记为 $P_{一般}$;对实行立项简化程序的水利工程,其“项目建议书”阶段设计工作取费记为 $P_{简化}$; $P_{简化}$ 与 $P_{一般}$ 的比值记为 n ,即 $P_{简化} = nP_{一般}$ 。根据 n 的内涵, $0 < n < 1$,即对于实行立项简化程序的水利工程,既不能完全不考虑其“项目建议书”阶段的设计工作,也不宜直接套用现行设计取费标准对项目建议书阶段进行取费。发改价格[2006]1352号文给出了 $P_{一般}$ 的取费标准,确定 n 的取值之后,即可以得到 $P_{简化}$ 的取费标准。

水利工程项目建议书和可行性研究阶段合并后,其设计取费标准尚未有相关法规、标准或政策进行明确。但相关法规对水电工程可行性研究和初步设计两阶段合并后设计取费的处理提出了一套方法,水利工程可将其作参考。套用水电工程可行性研究和初步设计两阶段合并的处理方法,则有

$$n = (0.1B)/(0.72A) = (0.1/0.72) * (B/A) \quad (1)$$

根据发改价格[2006]1352号文, $A =$ 设计费比例系数 \times 前期工作勘察收费基价 \times 工程类型调整系数 \times 复杂程度调整系数 \times 附加调整系数,其中设计费比例系数为30%~40%。根据计价格[2002]10号文, $B =$ 工程设计收费基价 \times 工程类型调整系数 \times 复杂程度调整系数 \times 附加调整系数。按照相应文件计算 A 和 B 的取值时,其工程类型调整系数分别为1.4和1.2,复杂程度调整系数均为0.85、1.0、1.15(分别对应I级、II级、III级);为简化讨论,附加调整系数均取1.0。记设计费比例系数为 η ,则有

$$B/A = \text{工程设计收费基价} * 1.2 /$$

$$(\eta * \text{前期工作勘察收费基价} * 1.4) \quad (2)$$

根据相应文件中的收费基价表,结合式(1)、(2),即可得到不同投资规模下相应的 n 值,如表2所示。从表中可以看到 n 值与勘察/设计收费计费额关系密切,随着计费额的增加, n 值先增大后减小,并在计费额约在200 000万元时达到峰值;对于计费额1 000万元到1 000 000万元的项目, n 的取值大多在0.5~0.8之间。此外, η 取值越小, n 值越大。

在实际工作中,对于实行立项简化程序的水利工程,其“项目建议书”阶段客观存在的设计工作量很难进行定量地分析,业主、设计单位应根据项目特点,对“项目建议书”阶段的设计取费标准进行协商。具体地,可根据发改价格[2006]1352号文计算项目建议书

阶段设计费,并在此基础上按0.5~0.8的折扣系数进行取费。

表2 n 值与勘察/设计收费计费额对应关系表

计费额/万元	n		
	$\eta=0.3$	$\eta=0.35$	$\eta=0.4$
1 000	0.685	0.587	0.513
5 000	0.702	0.601	0.526
10 000	0.720	0.617	0.540
20 000	0.732	0.627	0.549
40 000	0.746	0.639	0.559
60 000	0.760	0.651	0.570
80 000	0.771	0.661	0.579
100 000	0.782	0.670	0.586
200 000	0.800	0.686	0.600
600 000	0.839	0.719	0.629
1 000 000	0.868	0.744	0.651
2 000 000	0.894	0.767	0.671
4 000 000	0.860	0.737	0.645
6 000 000	0.848	0.727	0.636
10 000 000	0.839	0.719	0.629

3 结论与建议

对于实行立项简化程序的水利工程,相关部门“不再审批”项目建议书、可“直接开展可行性研究”,不代表项目建议书阶段的设计工作就此不存在,而是以另外一种形式体现,即项目建议书与可行性研究两个阶段合并来开展设计。因此,应该对其“项目建议书”阶段的设计工作进行取费;同时,其“项目建议书”的内涵与一般基建程序中的项目建议书不同,也不宜直接套用现行设计取费标准对项目建议书阶段进行取费。

笔者建议,对于实行立项简化程序的水利工程,应根据发改价格[2006]1352号文计算其“项目建议书”阶段设计费,并根据项目特点在计算的设计费基础上按0.5~0.8的折扣系数进行取费。

参考文献:

- [1]SL618-2013, 水利水电工程可行性研究报告编制规程[S]
- [2]SL617-2013, 水利水电工程项目建议书编制规程[S]

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.003

某抽水蓄能电站水泵水轮机关键技术参数选择

苏艳意

(哈尔滨电机厂有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:水泵水轮机关键技术参数的合理选择直接影响到抽水蓄能电站建设的经济性和运行的安全可靠。通过对国内外大量已建蓄能电站的水头、扬程、比转速、空化系数等关键技术参数进行统计,由经验公式与数据统计相结合,并考虑到现代水泵水轮机的水力设计和制造水平,以确定机组最优的关键参数即比转速和吸出高度。

关键词:水泵水轮机;比转速;吸出高度;抽水蓄能电站;装置空化系数

中图分类号:TK734 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)04-0010-03

Selection of Key Technical Parameters for Pump-turbines in a Pumped Storage Power Station

SU Yanyi

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

Abstract: The proper selection of key technical parameters of pump-turbines will directly affects the operation economy, safety and reliability of pumped storage power stations. The key technical parameters such as water head, water lift, specific speed and cavitation coefficient of a large number of existing pumped storage power stations are summarized statistically. Then, considering the hydraulic design and manufacturing level of modern pump-turbine, the optimal parameters including the specific speed and suction height are selected for pump-turbines in a pumped storage power station based on the statistics and empirical formula.

Key words: pump-turbine; specific speed; suction height; pumped storage power station; cavitation coefficient of device

某抽水蓄能电站装有6台单机容量为300 MW的可逆式水轮发电机组,年平均发电量34.24亿kW·h,年抽水用电量为45.65亿kW·h,以500 kV电压等级出线接入系统,在京津唐电网系统中承担调峰、调频、调相和事故备用任务。本工程属一等大(1)型工程,主要建筑物按1级建筑物设计。枢纽工程由上水库、下水库、水道系统、电站厂房、开关站等组成。

电站水库水位为:上库正常蓄水位1 505 m,上库死水位1 460 m,下库正常蓄水位1 061 m,下库死水位1 042 m;相对应的水头和扬程分别为:最大水头463 m,额定水头425 m,最小水头399 m,最高扬程469 m,最低扬程403 m。

1 比转速和比速系数的选取

比转速 n_s 及比速系数 k 是表征水泵水轮机性能参数和几何形状等方面的综合技术经济水平的重要特征参数之一,在相同水头下,比转速的高低可以反映机组的参数水平和经济性^[1]。水泵水轮机比转速可以用其水轮机工况的比转速 n_{st} 表示,也可以用水泵工况的比转速 n_{sp} 表示,国内外对水泵水轮机的比转速开展了很多研究^[2]。行业内一般以水轮机最大水头工况和水泵最低扬程工况下的参数,来衡量水泵水轮机比转速和比速系数水平的高低^[3]。该电站水轮机最大水头工况下比转速及比速系数见表1,水泵最低扬程工况下比转速及比速系数见表2。

收稿日期:2020-03-27

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。

表1 水轮机工况比转速与比速系数经验公式统计表

来源	公式	电站参数		
		H_r/m	$n_{st}/(m \cdot kW)$	$K_t = n_{st} H_r^{0.5}$
日本深栖俊(1970)	$n_{st} = \frac{20\,000}{H_r + 20} + 20$	463	91.4	1 967
意大利塞尔沃(1971 - 1977)	$n_{st} = 1\,825 H_r^{-0.481}$	463	95.3	2 051
北京院(1978 - 1985)	$n_{st} = 6\,860 H_r^{-0.6874}$	463	100.9	2 172
清华大学(1954 - 1984)	$n_{st} = 148 - 0.0972 H_r$	463	103.0	2 216

表2 水泵工况比转速与比速系数经验公式统计表

来源	公式	电站参数		
		H_p/m	$n_{sp}/(m \cdot m^3/s)$	$K_p = n_{sp} H_{pmin}^{0.75}$
日本深栖俊(1970)	$n_{sp} = \frac{4\,000}{H_p + 30} + 20$	403	29.2	2 631
意塞尔沃(1971 - 1977)	$n_{sp} = 564.5 H_p^{-0.48}$	403	31.7	2 852
美国斯提尔策	$n_{sp} = 750 H_p^{-0.5}$	403	37.3	3 361
东芝公司	$n_{sp} = 3\,000 H_p^{-0.75}$	403	33.3	3 000
北京院(1978 - 1985)	$n_{sp} = 600 H_p^{-0.5}$	403	29.9	2 689
清华大学(1954 - 1984)	$n_{sp} = (171 - 0.128 H_p)/3.65$	403	32.7	2 943

由表1和表2可知,根据经验公式计算可得,水轮机最大水头工况下比转速范围为91.4~103 m·kW,比转速系数范围为1 967~2 216;水泵最低扬程工况下比转速范围为29.2~37.3 m·m³/s,比转速系数范围为2 631~3 361。以上经验公式的计算结果代表不同年代水泵水轮机参数的平均水平,具有一定的代表性。

参照近年来国内外投入运行的水泵水轮机设计和制造水平,在此基础上做出统计回归曲线,该曲线可在一定程度上可以反映比转速的当前水平。图1给出了水泵水轮机比转速与水头变化关系的关系曲线,该曲线是对近年来国内外几十座抽蓄电站的统计结果,对新建抽蓄电站的水轮机比转速选取有较强的指导意义。

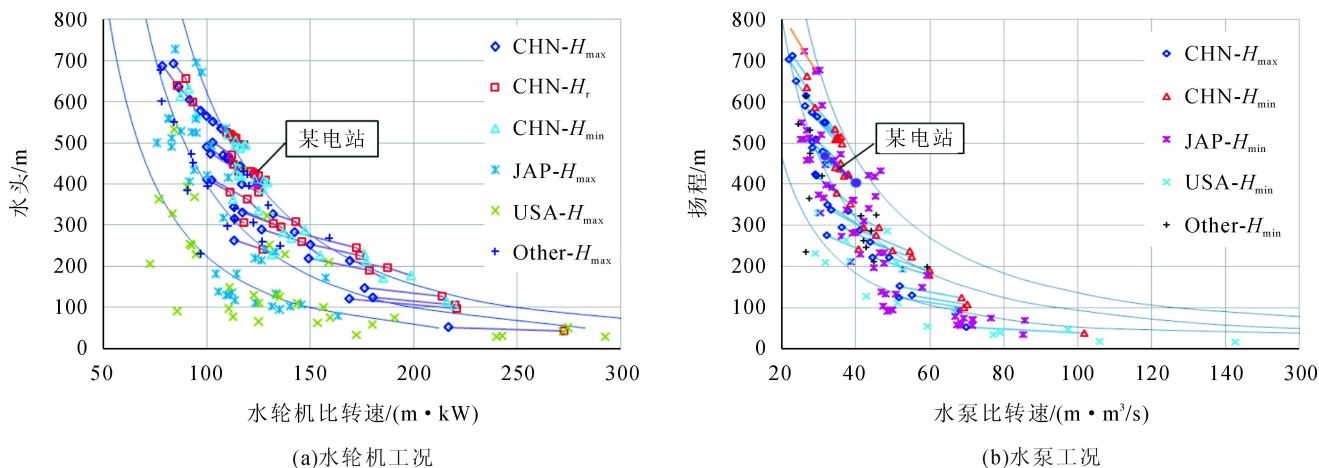


图1 水泵水轮机比转速与水头变化关系图

由图1可知,随着现代水泵水轮机水力设计和制造水平的提高,水泵水轮机的比转速总的来说是在提高,而提高机组比转速最有效的方法就是提高机组的转速,机组转速与比转速之间关系式如下。

水轮机工况比转速的计算公式为:

$$n_{st} = 3.13n_{11} \sqrt{Q_{11}\eta} \text{ 或 } n_{st} = n_r \sqrt{P_T}/1.25 \sqrt{H_T}$$

水泵工况的比转速的计算公式为:

$$n_{sp} = n_r \sqrt{Q_p}/0.75 \sqrt{H_p}$$

式中: n_{11} 为单位转速; Q_{11} 为单位流量; η 为水轮机效率; n_r 为额定转速; H_T 为水轮机水头; P_T 为水轮机出力; Q_p 为水泵流量; H_p 为水泵扬程。

将该电站的额定转速暂取为 428.6 r/min,在最大水头 463 m 下,计算得比转速为 110.4 m·kW,比速系数为 2 375;在最低扬程 403 m 下,计算得水泵比转速为 40.1 m·m³/s,比速系数为 3 606。

结合表1、表2和图1可以知,该电站的额定转速为 428.6 r/min 时,其比转速数值符合统计规律,参数

水平的选取既先进又安全可靠,为电站安全稳定运行奠定良好的基础。

2 吸出高度的选取

水泵水轮机的吸出高度会对电站引水系统和厂房布置造成直接影响,较浅的挖深要求可以降低相应的电站土建成本;但也会增加水泵运行时的空化风险,所以,电站前期安装高程估算时的准确性显得十分重要。

在早期水泵水轮机应用过程中就发现水泵工况运行时的转轮空化比水轮机工况下空化更加严重。在设计时一般认为如果水泵工况空化可以满足,则水轮机工况也是可以满足的。混流式水泵水轮机吸出高度的选取主要参考两个原则:一是应按照水泵工况无空化的条件进行;二是机组在相继甩负荷过渡过程中,整个输水系统内不能发生水柱分离。根据经验统计公式^[4]计算得到的相应空化系数和吸出高度值见表3。

表3 吸出高度经验公式计算表

来源	公式	电站参数		
		H_{pmax}/H_{pmin}	σ	H_{spmax}/H_{spmin}
清华大学	$\sigma_p = -0.0325 + 0.00131 \times 3.65n_{sp}$	469/403	0.107/0.145	-41.5/-49.5
东芝公司	$H_s = 10 - K_p^{4/3} / (10^3 - 0.7H_{pmax})$	469/403		-59.8/-55.3
斯捷潘诺夫	$\sigma_p = 0.00121n_{sp}^{4/3}$	469/403	0.121/0.166	-48.0/-58.2
北京院	$\sigma_p = 0.01467n_{sp}^{0.6153}$	469/403	0.12/0.142	-48.9/-48.6
华东院	$H_s = 10 - H_{pmax}n_{sp}^{0.78}/100$	469/403		-69.3/-71.7

由表3可知,用经验公式计算本电站在最高扬程下所需的吸出高度在 -41.5 ~ -69.3 m 之间;在最低扬程下所需的吸出高度在 -48.6 ~ -71.7 m 之间。

对近年来国内外已投入运行电站的设计和运行数据进行统计,得到水轮机工况下比转速与装置空化系数之间关系曲线,见图2。抽水蓄能电站吸出高度选择时都是按照可以满足机组最危险工况条件下确定的,因此按照水轮机比转速统计出的电站装置空化系数也是较为安全的,并且可以被新建电站吸出高度选择采用。

通常比转速与转轮的空化系数成正比,随着比转速的增大,转轮的空化系数也增大,空化性能下降。对于该电站来说,通过前面的分析,水轮机的比转速已经确定,从而空化系数也基本确定,从图2回归曲线可知,在最大水头 463 m,比转速为 110.4 m·kW 时,查

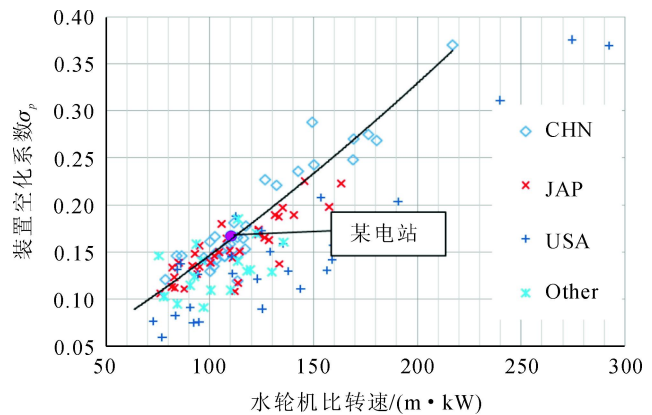


图2 水轮机比转速与装置空化系数关系曲线图
图可知相应的装置空化系数在 0.16 ~ 0.18 之间,吸出高度在 -65 ~ -75 m 范围内。将电站的吸出高度暂取为 -75 m,进行机组相继甩负荷过渡过程计算,得到
(下转第 19 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.004

驮英水库导流泄洪隧洞出口边坡三维极限平衡分析

张家旺¹,冯晓波¹,荣冠¹,唐新宇²,蒙世仟²

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北武汉 430072;
2. 广西壮族自治区水利电力勘测设计研究院,广西南宁 530023)

摘要:驮英水库导流泄洪隧洞出口边坡岩体结构面相对较发育,边坡上游侧存在层间软弱夹层,下游侧近顺向坡,具有潜在失稳威胁。以该边坡为研究对象,构建三维模型,考虑边坡控制性结构面及可能组合的滑动形式,切割潜在滑坡体,经三维极限平衡分析表明,部分潜在滑坡体的安全系数低于规范标准。通过适宜的支持措施,可保证边坡稳定性。

关键词:三维极限平衡;结构面;边坡稳定性;支持措施

中图分类号:TV551.1⁺2 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)04-0013-07

Three-dimensional Limit Equilibrium Analysis of the Outlet Slope of Diversion and Spillway Tunnel in Tuoying Reservoir

ZHANG Jiawang¹, FENG Xiaobo¹, RONG Guan¹, TANG Xinyu², MENG Shiqian²

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Guangxi Water and Power Design Institute, Nanning 530023, China)

Abstract: The slope rock at the outlet of the diversion and spillway tunnel in Tuoying Reservoir is of developed structural planes. Due to the weak interlayers existed in the upstream side and the dip slope structure of the downstream side, the slope is threatened by potential instability. In this study, a three-dimensional model of the slope is constructed and limit equilibrium analysis is carried out considering the controlling structural planes and possible sliding modes. The results show that the safety factors of some potential sliding masses are lower than the required numbers. Then, support measures are proposed to ensure the safety and stability of the slope.

Key words: three-dimensional limit equilibrium; structural plane; slope stability; support measure

水利水电工程导流泄洪隧洞边坡开挖不可避免地会对原有岩土结构形成扰动,易造成边坡失稳。本文以驮英水库导流泄洪隧洞出口边坡为研究对象。开挖完成后,该隧洞出口边坡坡高约26.3 m,为斜向坡,倾向坡外侧,稳定性较差。边坡上游侧部分存在软弱夹层,边坡下游侧部分岩层走向与边坡走向夹角小于30°,近顺向坡。软弱夹层以及该顺向坡的存在,严重影响该导流泄洪隧洞的安全运行,由此需要对该边坡进行稳定性评价。根据现场地质勘测资料,该边坡结构面主要以陡倾结构面产出,潜在滑动面主要集中在沿不同地层分界面、不同地层内夹层面及泥化夹层。对该边坡进行三维极限平衡分析,在稳定性评价基础

上,提出相应支持加固方案,以保证边坡的稳定性。

1 工程概况

驮英水库位于广西南明县那堪乡,是一座以灌溉、供水为主,兼顾发电等综合利用的大(2)型水库。水库正常蓄水位226.5 m,总库容2.28亿m³,电站装机20.6 MW,多年平均发电量5229万kW·h,多年平均供水量17320万m³。根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2000)^[1]及《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288-99)^[2]相关规定,驮英水库为II等大(2)型工程。

该工程导流泄洪洞出口边坡最大坡高约26.3 m,

收稿日期:2019-12-25

作者简介:张家旺,男,硕士研究生,主要从事岩土工程风险分析。

通讯作者:冯晓波,男,博士,主要从事渠系建筑物结构研究。

基金项目:广西重点研发计划项目(桂科AB18126046)。

为斜向坡,倾向坡外侧,稳定性较差。边坡覆盖层为残坡积含碎石粘土,厚 $0\sim 2.2\text{ m}$,下伏岩体为 J_1b^{1-3} 、 J_1b^{1-2} 、 J_1b^{1-1} 粉砂质泥岩、砂岩、泥质粉砂岩,强风化下限埋深 $2.4\sim 6.8\text{ m}$,弱风化下限埋深 $4.0\sim 11.8\text{ m}$ 。岩体陡倾角节理裂隙发育,节理面平直光滑,微张,充填泥质。 J_1b^{1-3} 砂岩岩体胶结差,同时受风化和地下水的影 响,局部较破碎,性状差。

2 出口边坡三维极限平衡分析

2.1 边坡岩体结构及滑动模式分析

在边坡自上游至下游方向布置6个地质点,分别为D401~D406,如图1所示。驮英水库导流泄洪隧洞出口边坡发育有向斜。如图2所示,隧洞出口上游岩层产状为 $N50^\circ\sim 55^\circ E$ 、 $SE\angle 10^\circ\sim 20^\circ$,岩层较缓;下游

侧岩层产状为 $N60^\circ\sim 65^\circ E$ 、 $SE\angle 30^\circ\sim 61^\circ$ 。导流泄洪隧洞出口下游侧边坡开挖走向为东西向,岩层走向与边坡走向夹角为 $25^\circ\sim 30^\circ$,近顺向坡,如图3所示。



图1 地质点位置分布示意图

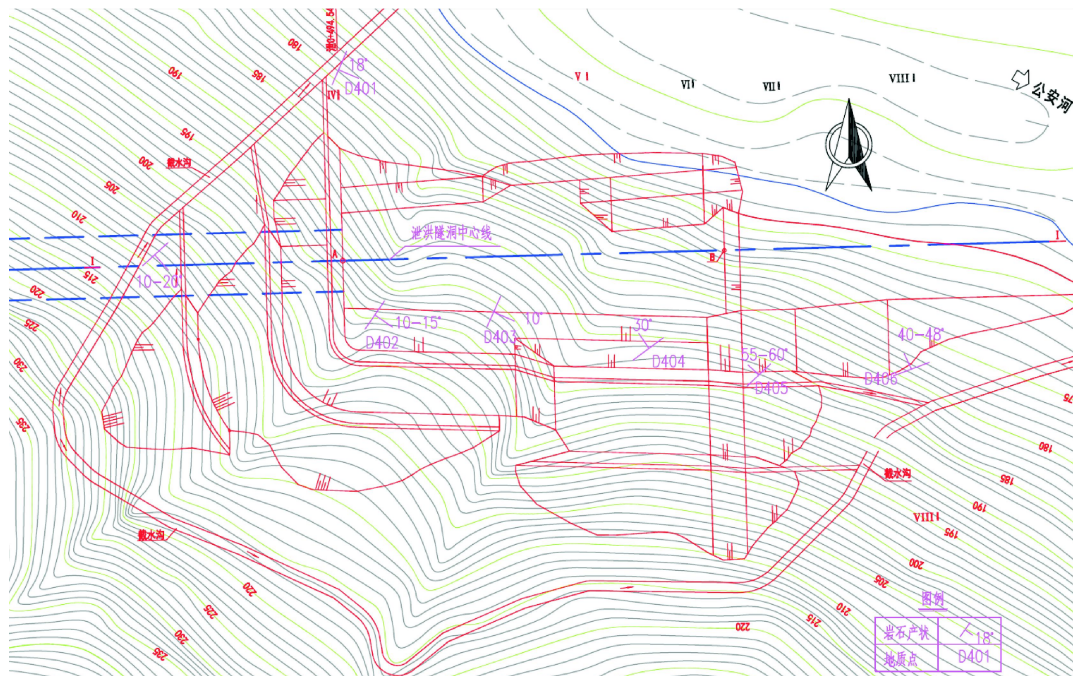


图2 岩层产状及分区位置图



图3 顺向坡位置图

对于该隧洞出口边坡下游侧,层面的产状与边坡走向的夹角较小,小于 30° ,为层状同向结构,边坡稳定性受坡角与岩层倾角组合、岩层厚度、顺坡向节理面

的发育程度及抗剪强度所控制。层面易产生滑动面,坡脚切断后易产生滑动。

本研究主要考虑边坡结构面组合形成的较大规模

的潜在滑坡体的稳定性,潜在滑动面主要集中在不同地层分界面、不同地层内夹层面及泥化夹层。边坡结构面主要以陡倾结构面产出,结合现场地形及地质条

件,统计导流洞出口边坡结构面特征。关键结构面产状及特征见表1,表中D表示地质点位置,J表示关键结构面。

表1 导流洞出口边坡关键结构面特征表

位置	构造类型及编号	产状			裂面特征、充填物等
		走向	倾向	倾角	
D401	J1	N25-40W	SW	82	面较平直粗糙,张开,泥充填,略有扭曲
	J2	N78E	NW	70-80	面较起伏粗糙,夹泥
	J3	N50W	SW	88	面较平直粗糙,闭合,新鲜,局部较发育
D402	J1	N45W	SW	85	面较平直粗糙,新鲜为主,闭合无充填,含钙粉砂质泥岩中较发育
	J2	N43E	NW	80	面较平直粗糙,闭合,新鲜,局部较发育
	J3	NS	W	75-85	面较平直粗糙,闭合,新鲜,见有白色方解石条带充填
D403	J3	NS	W	75-85	面较平直粗糙,闭合,新鲜,见有白色方解石条带充填
D404	J1	N48E	SE	74	面较起伏粗糙,新鲜,局部较发育
	J2	N64W	NE	82	面较平直粗糙,少许黑色和锈黄色渲染,无充填
	J3	NS	W	75-85	面较平直粗糙,闭合,新鲜,见有白色方解石条带充填
D405	J1	N55W	SW	81	面较平直粗糙,泥充填,局部卸荷后张开
	J2	N75W	SW	70	面较平直粗糙,闭合,局部夹少许泥
D406	J1	NS-N10E	SE	65	面较起伏粗糙,黑色渲染,无充填
	J2	N80E	SE	70	面较平直粗糙,面见少许泥,局部较发育
	J3	N45W	SW	85	面较平直粗糙,新鲜为主,闭合无充填,含钙粉砂质泥岩中较发育

2.2 模型建立

基于数字高程模型(DEM)的方法建立该边坡三维模型^[3-4],采用该方法得到的结果显示导流隧洞出口边坡模型接近边坡真实形态可减少安全系数计算误差。建立模型的步骤如下:

1)采用三维模型右手坐标系,z轴竖直向上,y轴为正北方向,模型范围为 $x \times y \times z = 200 \text{ m} \times 108 \text{ m} \times 100 \text{ m}$,提取等高线上各坐标点,离散并网格化处理后即可在ANSYS中导入坐标点并建立三维坡面模型。

2)参照现场边坡开挖信息,对应相应高程、坡比资料,建立边坡三维模型。

3)根据现场地质勘测结构面的位置及产状信息,确定结构面在边坡内部的展布,以不同地层分界面、不同地层内夹层面及不同泥化夹层作为滑动面,在边坡模型中切割出三维潜在滑坡体^[5-6]。作为示例,选取两个典型的潜在滑坡体1、2号的三维模型见图4。其中,1号潜在滑坡体受两组陡倾结构面D404J1与D402J3切割,以结构面构成侧滑面, J_1b^{1-3} 、 J_1b^{1-4} 分界层面作为底滑面发生破坏。2号潜在滑坡体处于顺向坡位移,为层状同向结构,受两组陡倾结构面D406J2与D404J3切割,沿 J_1b^{1-3} 、 J_1b^{1-4} 分界层面发生滑动。

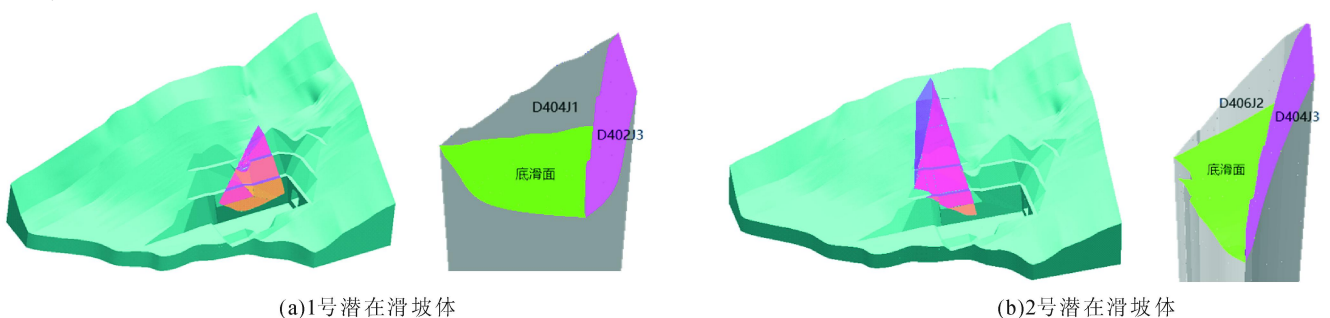


图4 1、2号潜在滑坡体模型图

2.3 边坡滑动模式及计算方法

考虑工程边坡控制性结构面及可能组合成的滑动模式,共切割出8块典型潜在滑坡体,如图5,图6所示。

由于边坡结构面与滑动面组合存在多种形式,故所切割不同潜在滑坡体之间可能存在重叠部分。

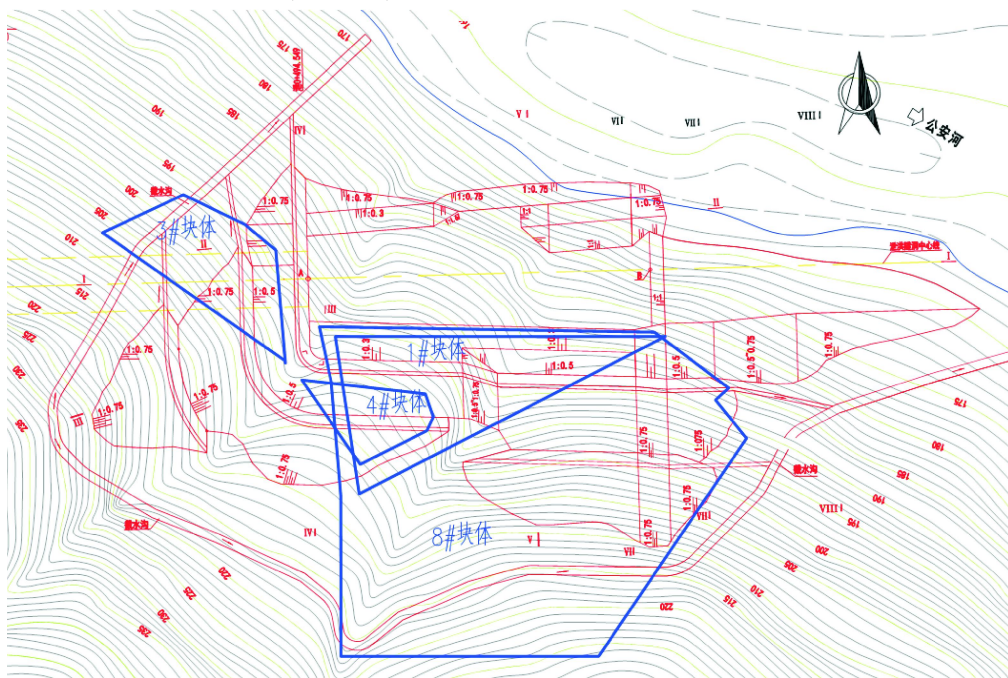


图5 1、3、4、8号潜在滑坡体位置示意图

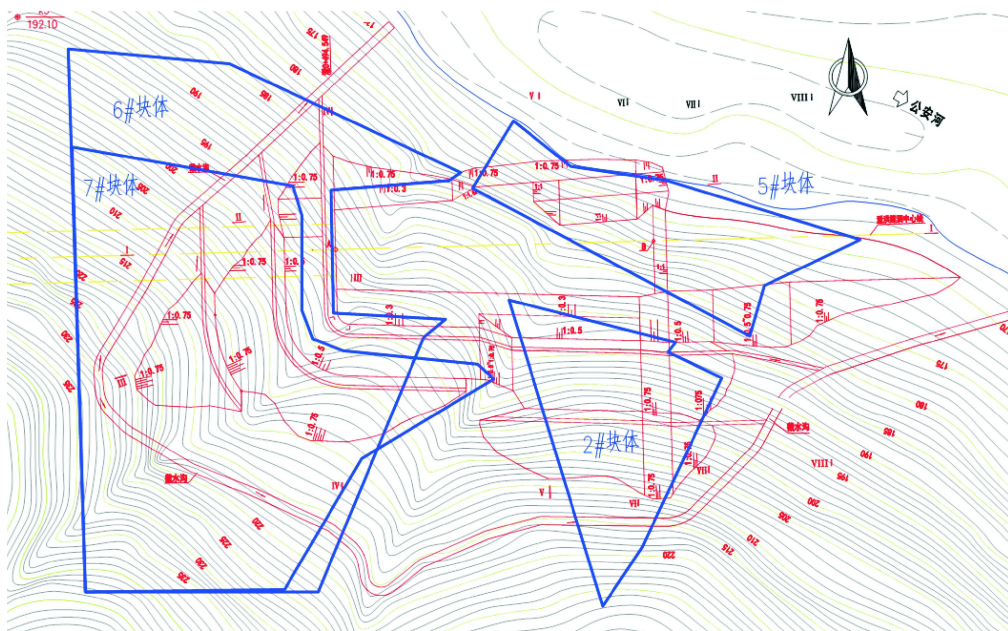


图6 2、5~7号潜在滑坡体位置示意图

其中,3、4号潜在滑坡体所处位置存在软弱夹层,受结构面D402J1拉裂作用,以泥化夹层为滑动面发生滑移。5号潜在滑坡体考虑消力池部位岩体的稳定性,受两组陡倾结构面D405J3与D402J2切割作用,以 J_1b^{1-2} 、 J_1b^{1-3} 分界面作为底滑面发生滑移。6、7、8号潜在滑坡体体积较大,考虑边坡大范围滑动情况。由

于受边坡模型范围限制,故假设模型西侧及南侧边界分别为纵向剪断面及横向剪断面作为大体积潜在滑坡体6、7号的切割面。其中,6、7号滑坡体以 J_1b^{1-3} 岩层内夹层为滑动面发生滑动破坏。8号滑坡体以横向剪断面为拉裂面,受陡倾结构面D406J2和D402J3切割作用,以泥化夹层作为滑动面发生滑动破坏。

本文计算采用文献[3]给出的一种较为实用的三维条分算法。将潜在滑坡体的坡面、滑动面、结构面的关键信息导入计算程序中,分别对导入滑坡体进行计算。同时该程序支持锚杆、锚索及抗滑桩等支护信息的导入及计算。

2.4 计算工况及评价标准

计算工况考虑正常运用条件与暴雨条件。按照《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》(DL/T 5180-2003)^[7],隧洞出口边坡为Ⅱ级永久边坡。根据《水利水电工程边坡设计规范》(SL/386—2007)^[8]和《水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程》(DL/

T 5337-2006)^[9]的相关规定可得边坡在正常运用条件下的抗滑稳定安全系数不应小于1.20~1.25,在非正常运用条件下的安全系数不应小于1.15。

3 计算结果及分析

3.1 边坡稳定性分析

通过三维极限平衡分别对边坡潜在滑坡体在正常运用、暴雨两种工况下进行稳定性计算。计算参数根据各结构面特征,依照广西省勘院提供的力学参数表选定。计算结果如表2所示。其中D表示地质点位置,J表示关键结构面。

表2 潜在滑坡体安全系数计算表

滑坡体 编号	边界组合	边界编号	计算参数		计算工况		体积 /m ³
			c/kPa	$\varphi/(\circ)$	正常运用	暴雨	
1	结构面	D404J1	50	29	1.138	1.014	11 006
		D402J3	100	29			
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 、J ₁ b ¹⁻⁴ 分界面		100			
2	结构面	D406J2	35	29	1.059	0.914	11 812
		D404J3	100	29			
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 、J ₁ b ¹⁻⁴ 分界面		100			
3	结构面	D402J1	50	29	1.612	1.526	1 132
		D401J2	35	29			
	底滑面	泥化夹层面		35			
4	结构面	D402J1	50	29	1.468	1.287	300
		D403J3	100	29			
	底滑面	泥化夹层面		35			
5	结构面	D405J3	50	29	2.115	1.937	6 924
		D402J2	50	29			
	底滑面	J ₁ b ¹⁻² 、J ₁ b ¹⁻³ 分界面		100			
6	结构面	D402J3	100	29	2.196	1.998	113 395
		纵向剪断面	50	29			
		横向剪断面	50	29			
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 岩层内夹层		100			
7	结构面	纵向剪断面	50	29	1.966	1.772	54 535
		横向剪断面	50	29			
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 岩层内夹层		100			
8	结构面	横向剪断面	50	29	1.119	1.017	48 526
		D406J2	35	29			
	底滑面	D402J3 泥化夹层面		100 35			

计算结果表明,安全系数在正常运用工况下为 1.059~2.196,暴雨工况下为 0.914~1.998,根据规范要求,在正常运用工况下工程边坡安全系数应高于 1.20,在暴雨工况下安全系数应高于 1.15,其中 1、2、8 号潜在滑坡体低于工程规范安全要求标准。3、4 号潜在滑坡体虽然滑动面为泥化夹层,但体积较小,滑移力不足以造成滑坡。6、7 号潜在滑坡体为大体积滑坡体,其结构面相对完整,力学性质较强,故较为稳定。8 号潜在滑坡体体积大,滑动面为泥化夹层,力学性能弱,需要重点关注。考虑到边坡可能存在失稳状态,应对边坡考虑一定量的预应力锚索支护措施。

3.2 边坡支护方案

由工程地质条件及三维极限平衡分析结果可知,1、2、8 号潜在滑坡体力学性能较弱,需重点关注。参考《水利水电工程边坡设计规范》(SL/386—2007)^[8]

以及工程经验,具体加固措施如下:

1)在二级、三级马道平面以上 1 m 处设置双排预应力锚索。锚索张拉力为 1 500 kN,长度 30 m,间距 6 m×6 m。

2)对边坡整体采用坡表网喷混凝土,锚杆支护。锚杆长度为 6 m,间距为 1.5 m×1.5 m。

3)根据工程边坡条件,工程边坡外围布置截水沟,在截水沟以内的天然地表及开挖坡面可以采用喷射混凝土防护方法,在防护区域,每隔 2~5 m 设置一个排水孔。排水体系采用坡面排水。

3.3 加固后边坡稳定性分析

根据支护方案,通过三维极限平衡分别对支护后边坡潜在滑坡体在正常运用、暴雨 2 种工况下进行稳定性计算。支护方案下的边坡稳定性计算结果如表 3 所示。其中 D 表示地质点位置,J 表示关键结构面。

表 3 潜在滑坡体安全系数计算表

滑坡体 编号	边界组合	边界编号	计算参数		计算工况		体积 /m ³	锚索预应力 /kN
			c/kPa	φ/(°)	正常运用	暴雨		
1	结构面	D404J1	50	29	1.325	1.185	11 006	14 × 1 500
		D402J3	100	29				
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 、J ₁ b ¹⁻⁴ 分界面	100	26				
2	结构面	D406J2	35	29	1.444	1.179	11 812	25 × 1 500
		D404J3	100	29				
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 、J ₁ b ¹⁻⁴ 分界面	100	26				
3	结构面	D402J1	50	29	2.621	1.702	1 132	7 × 1 500
		D401J2	35	29				
	底滑面	泥化夹层面	35	19				
4	结构面	D402J1	50	29	2.986	2.287	300	-
		D403J3	100	29				
	底滑面	泥化夹层面	35	19				
5	结构面	D405J3	50	29	2.115	1.937	6 924	-
		D402J2	50	29				
	底滑面	J ₁ b ¹⁻² 、J ₁ b ¹⁻³ 分界面	100	26				
6	结构面	D402J3	100	29	2.225	2.204	113 395	11 × 1 500
		纵向剪断面	50	29				
		横向剪断面	50	29				
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 岩层内夹层	100	26				
7	结构面	纵向剪断面	50	29	2.024	1.824	54 535	10 × 1 500
		横向剪断面	50	29				
	底滑面	J ₁ b ¹⁻³ 岩层内夹层	100	26				
8	结构面	横向剪断面	50	29	1.222	1.151	48 526	41 × 1 500
		D406J2	35	29				
	底滑面	D402J3	100	29				
		泥化夹层面	35	26				

计算结果表明,在支护方案下,所有潜在滑坡体在正常运用的工况下,安全系数在 1.222 ~ 2.986 范围内,大于 1.20;在暴雨工况下安全系数在 1.151 ~ 2.287 范围内,均大于 1.15,满足工程规范要求,表明该处边坡在支护之后处于稳定状态。

4 结 语

本文通过对驮英水库导流泄洪隧洞出口边坡的稳定性评价,提出了岩质边坡三维极限平衡的一般分析过程及思路:首先基于现场地质条件及隧洞边坡地形图构建三维边坡模型。考虑工程边坡可能的控制性结构面及可能组合的滑动模式,切割出潜在滑坡体,并进行三维极限平衡分析。结果表明边坡开挖后未支护状态下部分潜在滑坡体低于工程规范要求。在此基础上,提出支护措施以保证边坡稳定性满足安全稳定要求。通过以上分析,得到主要结论如下:

1) 该工程边坡变形破坏模式主要为:以岩层层面或层间软弱夹层为底滑面,关键结构面为两侧及后部切割面,形成不同形态及规模的潜在滑坡体。

2) 边坡开挖后在未支护情况下,部分潜在滑坡体在正常运用及暴雨工况下处于不稳定状态。1、2 号潜在滑坡体部位出现失稳,8#潜在滑坡体由于体积大,结构面破碎,力学性质较差,同样处于不稳定状态。对

(上接第 12 页)

尾水管真空度计算值为 $4.0 \text{ m}^{[5]}$ 。

结合吸出高度经验计算值和最危险过渡过程工况下尾水管真空度计算值,同时考虑到在尽量节约土建开挖量的前提下,使得机组有足够的淹没深度,以保证机组安全稳定运行,最后确定电站的吸出高度为 -75 m 。

3 结 语

选择合理的水泵水轮机参数可为抽水蓄能电站机组的长期安全稳定运行提供技术保障。本文从经验公式与数据统计相结合的角度,对蓄能电站的关键技术参数进行了选取,此研究方法可为类似电站在前期论

此,应着重关注以上几处部位,并对边坡进行一定量的预应力锚索支护措施。

3) 结合工程地质条件,参考规范以及工程经验,确定相应支护加固措施。所有潜在滑坡体经过支护后,在正常运用状态下,安全系数均大于 1.20,在暴雨工况下,安全系数均大于 1.15,均满足工程规范稳定性要求,支护效果良好。

参考文献:

- [1] SL252 - 2017, 水利水电工程等级划分及洪水标准[S]
- [2] GB50288 - 2018, 灌溉与排水工程设计规范[S]
- [3] 姜清辉,王笑海,丰定祥,等. 三维边坡稳定性极限平衡分析系统软件 SLOPE^{3D} 的设计及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(7): 1121 - 1121
- [4] 冯树仁,丰定祥,葛修润,等. 边坡稳定性的三维极限平衡分析方法及应用[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6): 657 - 661
- [5] 张伯涛,荣冠,黄凯,等. 某水电站边坡雾雨作用下三维稳定性分析[J]. 水电能源科学, 2011, 29(6): 116 - 119
- [6] 郑卫纲,张伯涛,丁敏. 坡面不规则楔体稳定性分析方法研究[J]. 人民珠江, 2012, 33(6): 8 - 13
- [7] DL/T 5180 - 2003, 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准[S]
- [8] SL386 - 2007, 水利水电工程边坡设计规范[S]
- [9] DL/T 5337 - 2006, 水电水利工程边坡工程地质勘察技术规程[S]

证阶段,快速而又较为准确地得到机组主要参数,起到一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 梅祖彦. 抽水蓄能发电技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2000
- [2] 邱彬如,刘连希. 抽水蓄能电站工程技术[M]. 北京:中国电力出版社, 2008
- [3] 孔凡瑞,张树邦,王威. 数据统计下的混流式水泵水轮机主要参数计算方法[J]. 水电站机电技术, 2016, 39(4): 1 - 5
- [4] 张春生,姜忠见. 抽水蓄能电站设计[M]. 北京:中国电力出版社, 2012
- [5] 周跃武. 抽水蓄能电站水泵水轮机吸出高度选择[J]. 水电站机电技术, 2006, 29(4): 12 - 15

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.005

浅谈压力式温度计示值误差测量结果的不确定度评定

谢鹏赓

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

摘要: 为了帮助试验人员深入了解压力式温度计的原理及作用,详细介绍了温度计示值误差测量结果的不确定度评定方法。影响压力式温度计示值误差结果的主要因素是,被检温度计的示值重复性、恒温槽温度不均匀性和恒温槽温场的波动。为了保证压力式温度计测量结果不确定度评定具有较高的可靠性,试验人员需要对影响评定可靠性的各种因素进行全面的分析,找出温度计示值的误差,从而确保温度计能够更好的被投入使用。

关键词: 压力式温度计;不确定度;误差测量;输入量

中图分类号: TH765²⁺³ **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)04-0020-03

Evaluation of the Uncertainties in Indication Error Measurement of Pressure Thermometer

XIE Penggeng

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

Abstract: The evaluation method of the uncertainties in indication error measurement of pressure thermometer is introduced in detail. It shows that the major factors affecting the indication error measurement of pressure thermometer are the indication repeatability of the thermometer, and the non-uniformity of the temperature distribution and the temperature fluctuation of the thermostat bath. To improve the reliability of the uncertainty evaluation of temperature measurement, we should carry out comprehensive analyses of various influencing factors and determine the indication error of the thermometer. So that the pressure thermometer can be used practically.

Key words: pressure thermometer; uncertainty; error measurement; input

目前我国对压力式的温度计进行测量时,其测量的依据为:《JJG310-2002 压力式温度计检定规程》及《JJF1059-1999 测量不确定度评定与表示》。首先,在测量过程中,测量人员要想保证结果的可靠性,其测量期间所处的温度环境应该在 15℃~35℃,测量空间的相对湿度不大于 85% RH。其次,温度计上示值误差的测量应该基于二等标准水银温度计的示值为评定标准。最后,为了能够尽可能提高测量结果的准确,更好地评估结果的不确定性,测量人员还应当要最大限度的选择适合的测量方法,即测量人员将二等标准水银温度计(0~100℃)与被检压力式温度计(0~100℃、准确度为 1.0 级、分度值为 1℃)一同置于 FLUKE 恒温油槽中,采用比对法进行检定。

1 数学模型

压力式温度计示值误差数学模型为:

$$y = x - (t + d)$$

式中: y 为被检温度计的示值误差; x 为被检温度计在测量时的示值; t 为二等标准水银温度计的示值; d 为二等标准水银温度计的修正值。

2 灵敏系数

$$C_1 = \frac{\partial y}{\partial x} = 1$$

$$C_2 = \frac{\partial y}{\partial t} = -1$$

收稿日期:2019-10-18

作者简介:谢鹏赓,男,工程师,从事仪表校验方面的工作。

$$C_3 = \frac{\partial y}{\partial d} = -1$$

$$v(x) = \frac{u^4(x)}{\frac{u^4(x_1)}{v(x_1)} + \frac{u^4(x_2)}{v(x_2)}}$$

自由度 $v(x) = 140$

3 标准不确定度的评定

标准不确定度来源

- 输入量 x 的标准不确定度 $u(x)$
- 输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$
- 输入量 d 的标准不确定度 $u(d)$

3.2 输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$

输入量 t 的标准不确定度来源

- 二等标准水银温度计读数分辨率引入的标准不确定度 $u(t_1)$
- 恒温油槽温场不均匀引入的标准不确定度 $u(t_2)$
- 恒温油槽温度波动引入的标准不确定度 $u(t_3)$

3.1 输入量 x 的标准不确定度 $u(x)$

输入量 x 的标准不确定度来源

- 被检压力式温度计的示值重复性引入的标准不确定度 $u(x_1)$
- 被检压力式温度计的示值估读引入的标准不确定度 $u(x_2)$

1) 二等标准水银温度计读数分辨率引入的标准不确定度 $u(t_1)$: (采用 B 类标准不确定度评定)。

误差区间半宽 a	包含因子 k	标准不确定度 $u(t_1)$	自由度 $v(t_1)$
0.005℃	$\sqrt{3}$	$a/k = 0.005/\sqrt{3} = 0.003\text{℃}$	$(20\%)^{-2}/2 = 12$

1) 被检压力式温度计的示值重复性引入的标准不确定度 $u(x_1)$: (采用 A 类标准不确定度进行评定)。

2) 恒温油槽温场不均匀引入的标准不确定度 $u(t_2)$: (采用 B 类标准不确定度评定)。

误差区间半宽 a	包含因子 k	标准不确定度 $u(t_2)$	自由度 $v(t_2)$
0.02℃	$\sqrt{3}$	$a/k = 0.02/\sqrt{3} = 0.012\text{℃}$	$(20\%)^{-2}/2 = 12$

取 0℃ ~ 100℃、精确度为 1.0、最小分度值为 1.0℃ 的两支压力式温度计,分别在 40℃、50℃、60℃、80℃和 100℃五个点进行 10 次重复性测量(均为正行程),得到 10 组数据,见表 1,利用“贝塞尔”公式计算 10 组实验标准差 $s(x_i)$ 。

3) 恒温油槽温度波动引入的标准不确定度 $u(t_3)$: (采用 B 类标准不确定度评定)。

误差区间半宽 a	包含因子 k	标准不确定度 $u(t_3)$	自由度 $v(t_3)$
0.02℃	$\sqrt{3}$	$a/k = 0.02/\sqrt{3} = 0.012\text{℃}$	$(20\%)^{-2}/2 = 12$

表 1 10 组测量数据表 ℃

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04	0.03	0.05

所以:

$$u(x_1) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n S_j^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} S_j^2}{10}}$$

$$u(x_1) = 0.043\text{℃}$$

$$\text{自由度 } v(x_1) = (n - 1)m = 90$$

2) 被检压力式温度计的示值估读引入的标准不确定度 $u(x_2)$: 见表 2 (采用 B 类标准不确定度评定)。

表 2 被检压力式温度计示值表

误差区间半宽 a	包含因子 k	标准不确定度 $u(x_2)$	自由度 $v(x_2)$
0.05℃	$\sqrt{3}$	$a/k = 0.05/\sqrt{3} = 0.029\text{℃}$	$(10\%)^{-2}/2 = 50$

由于 $u(x_1)$ 、 $u(x_2)$ 不相关,所以:

$$u(x) = \sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2)} = \sqrt{0.043^2 + 0.029^2} = 0.052\text{℃}$$

由于 $u(t_1)$ 、 $u(t_2)$ 、 $u(t_3)$ 不相关,所以:

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2) + u^2(t_3)}$$

$$= \sqrt{0.003^2 + 0.012^2 + 0.012^2} = 0.017\text{℃}$$

$$u(t) = \frac{u^4(t)}{\frac{u^4(t_1)}{v(t_1)} + \frac{u^4(t_2)}{v(t_2)} + \frac{u^4(t_3)}{v(t_3)}}$$

自由度 $v(t) = 24$

3.3 输入量 d 的标准不确定度 $u(d)$

输入量 d 的标准不确定度来源

- 二等标准水银温度计修正值引入的标准不确定度 $u(d_1)$
- 二等标准水银温度计在使用中不作零位修正引入的标准不确定度 $u(d_2)$

1)二等标准水银温度计修正值引入的标准不确定度 $u(d_1)$:(采用B类标准不确定度评定)。

误差区间 半宽 a	包含 因子 k	标准不确定度 $u(d_1)$	自由度 $v(d_1)$
0.06℃	$k_p = 2.58$	$a/k = 0.06/2.58 = 0.02℃$	∞

2)二等标准水银温度计在使用中不作零位修正引入的标准不确定度 $u(d_2)$:(采用B类标准不确定度评定)。

误差区间 半宽 a	包含 因子 k	标准不确定度 $u(d_2)$	自由度 $v(d_2)$
0.06℃	$\sqrt{3}$	$a/k = 0.06/\sqrt{3} = 0.035℃ (20\%)^{-2}/2 = 12$	

输入量 d 标准不确定度为:

$$u(d) = \sqrt{u^2(d_1) + u^2(d_2)}$$

$$= \sqrt{0.02^2 + 0.035^2} = 0.04℃$$

$$u(d) = \frac{u^4(d)}{u^4(d_1) + u^4(d_2)}$$

自由度 $v(d) = 20$

4 合成标准不确定度

表3中: i 为不确定度来源序号; x_i 为第*i*个变量; a_i 为 x_i 的区间半宽; k_i 为包含因子; $u(x_i) = a/k$ 为B类标准不确定度; c_i 为灵敏系数; $u_i(y) = |c_i| u(x_i)$ 为标准不确定度分量; v_i 为自由度。

以上所分析的各输入量的标准不确定度分量是互不相关,其合成标准不确定度为:

$$u_c(y) = \sqrt{u^2(x) + u^2(t) + u^2(d)} = 0.07℃$$

扩展标准不确定度为:

$$U = k u_c(y) = 2 \times 0.07 = 0.14℃ (k = 2)$$

表3 合成标准不确定度表

i	x_i	a_i	k_i	$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	v_i
1	输入量 x	-		0.052℃			140
1.1	被检压力式温度计的示值重复性 x_1	0.06℃	$\sqrt{3}$	0.043℃	1	0.052℃	90
1.2	被检压力式温度计的示值估读 x_2	0.05℃		0.029℃			50
2	输入量 t	-		0.017℃			24
2.1	二等标准水银温度计读数 t_1	0.005℃		0.003℃			12
2.2	恒温油槽温场不均匀 t_2	0.02℃	$\sqrt{3}$	0.012℃	-1	0.017℃	12
2.3	恒温油槽温度波动 t_3	0.02℃		0.012℃			12
3	输入量 d	-		0.04℃			20
3.1	二等标准水银温度计修正值 d_1	0.06℃	2.58	0.02℃	-1	0.04℃	∞
3.2	二等标准水银温度计在使用中不作零位修正 d_2	0.06℃	$\sqrt{3}$	0.035℃			12

5 测量结果的不确定度报告

检定环境温度:15℃ - 35℃;湿度:不大于85%RH;其示值误差测量结果的扩展不确定度: $U = 0.14℃, k = 2$ 。

6 结语

综上所述,被检压力式温度计示值误差测量结果的不确定度影响主要表现为被检温度计的示值重复性、恒温槽温度不均匀性和恒温槽温场波动。为了保

证不确定度评定的可靠性,由此得到的扩展不确定度应满足: $E_n = 0.14℃/10℃ \leq 1/3$ 。

因此,采用上述方法用于检定压力式温度计示值误差是完全能满足相关的技术要求,其检定方法是可行的。为了保证压力式温度计测量结果不确定度评定具有较高的可靠性,在评估测量本身的不确定性时,试验人员需要对影响评定可靠性的各种因素进行全面的分析,找出温度计示值的误差,从而确保温度计能够更好地投入使用。

(下转第29页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.006

浅谈贯流式机组集电环碳刷打火及温度偏高处理

冉垠康, 张玉祥

(国电大渡河检修安装有限公司, 四川 乐山 614900)

摘要: 针对某贯流式水电站1、2号发电机组集电环碳刷打火、集电环温度偏高甚至烧伤的现象, 结合其他电站类似情况及该水电站机组的实际特殊情况, 经现场检查分析碳刷打火的原因后, 发现贯流式机组发电机舱湿度大, 集电环冷却后形成冷凝水导致集电环锈蚀, 逐步打火, 高温烧蚀等恶性循环。经采取降低湿度以及进行相关科学打磨方法, 将碳刷更换为新型号碳刷, 目前机组运行安全、可靠。

关键词: 发电机集电环; 温度偏高; 碳刷打火处理

中图分类号: TM312

文献标志码: B

文章编号: 1671-3354(2020)04-0023-04

Analysis and Treatment of Sparking and Abnormal High Temperature of the Collecting Ring in Tubular Turbine Generator Units

RAN Yinkang, ZHANG Yuxiang

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

Abstract: In a hydropower station with tubular turbine generator units, abnormal high temperature and sparking of the collecting ring carbon brushes are observed in the No. 1 and No. 2 units. Considering the actual conditions of the units and similar issues occurred in other stations, it is found that when the unit is shut down and the collecting ring cools down, condensate water appears due to the excessive humidity of the generator cabin, resulting in corrosion of the collecting ring and then sparking, abnormal high temperature and even burning damage. Thus, several treatment measures are implemented, including the reduction of the humidity of the generator cabin, proper grinding of the collecting ring surface and replacement of the carbon brushes with new type ones. After the treatment, the units now operate safely and stably.

Key words: collecting ring in generator unit; abnormal high temperature; carbon brush sparking treatment

某贯流式水电站位于为大渡河干流, 该电站正常蓄水位 554 m, 坝顶长 319.4 m, 最大坝高 63 m, 坝顶高程 557 m, 总装机容量 34.8 MW, 共布置 6 台单机容量为 5.8 MW 的灯泡贯流式机组, 多年平均发电量 16.1 亿 kW·h, 为二等大(2)型工程。2017 年首台机组投产发电, 计划 2018 年机组全投。

该水轮发电机生产厂家为东方电机股份有限公司, 发电机型号为 SFWG58-68/8750, 发电机额定功率 58 MW, 定子绕组额定电压为 10.5 kV, 额定电流为 3 447.8 A, 额定励磁电压 410 V, 额定励磁电压 1 015 A。

1 碳刷现状

1.1 机组碳刷打火的情况

该水电站发电机组集电环正极有 16 个碳刷, 负极有 16 个碳刷。

2017 年 6 月 27 日, 1 号机组并网成功, 进入 72 h 运行完成后, 机组停机进行消缺。

2017 年 6 月 30 日, 运行人员发现 1 号机组发电机舱比较潮湿。

2017 年 7 月 26 日, 1 号机组转入商业运行后发现打火严重, 滑环温度偏高的现象。

收稿日期: 2019-10-18

作者简介: 冉垠康, 男, 工程师, 主要从事水电站机电设备安装与检修工作。

2017年8月,1号机组增加除湿机设备。

1号机组自7月26日转入商业运行后,在巡回过程中发现集电环负极碳刷与集电环之间出现较为明显的打火现象。1号机组1 MW左右负荷基本无打火现象,负荷继续升高至1.5万左右逐步出现少量打火现象,随着负荷继续升高至3万负荷,打火现象继续扩大,负极16个碳刷中多数出现打火现象,碳刷、集电环最高温度89℃。4.5 MW负荷时,集电环最高温度达到120℃。

2017年9月27日,1号机组停机对下环(负极)出现磨损严重的2个碳刷和一个卡死的碳刷进行了更换,在更换过程中发现集电环表面碳刷与集电环接触面出现多处凹凸点,集电环表面有一层碳粉凝积物。检查其他碳刷也有较大磨损,由于停机时间很短,本次只对碳刷进行了更换,更换完成后,打火现象仍然存在,图1、图2为磨损严重的2个碳刷和卡紧的碳刷。

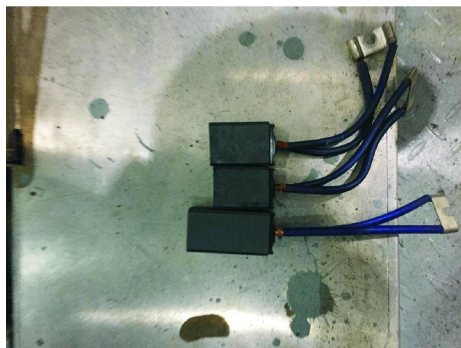


图1 1号机组碳刷磨损情况图

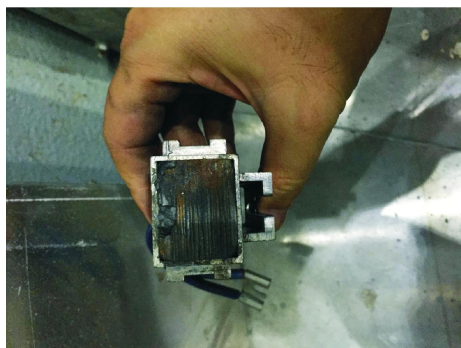


图2 1号机组碳刷卡紧情况图

2017年10月14日再次停机处理。

2018年2月23日,2号机组发现碳刷打火,情况与1号机组相似。

2018年3月7日,2号机组碳刷打火处理。

2 分析原因

2.1 新装机组碳刷打火及温度偏高的原因

新装机组碳刷打火及温度偏高可能出现的原因:

1)按照SL 573-2012《灯泡贯流式水轮发电机组运行检修规范》中“H.9.4.4 集电环检修”中规定:集电环表面不应有麻点或凹沟,当凹沟大于0.5 mm且运行中碳刷冒火或出现响声无法消除时,应车削或研磨集电环。

碳刷在集电环上运行,会在其接触面上形成均匀、适度、稳定的氧化膜,这层氧化膜改变碳刷与集电环的接触特性、减少了摩擦、降低损耗,延长使用寿命。但氧化膜的形成由发电机转速、集电环材质的硬度、集电环加工精度、摆渡、碳刷的材质、刷握弹簧的压力、励磁电流平均值等因素决定。

2)一般情况下,水轮发电机组碳刷打火及温度偏高由以下几种原因造成:①集电环表面脏污、集电环表面的平整度不够;②碳刷过短、碳刷质量缺陷、碳刷弹簧压紧度不符合要求;③碳刷载流量不满足要求;④集电环表面出现凹沟、凸点或者集电环表面烧伤等原因出现集电环表面不光滑;⑤碳刷运行时的“负极效应”;⑥刷握与集电环的安装距离、励磁电流的大小等都是影响碳刷与集电环之间电流传递的重要因素,也是是否产生打火现象的根本原因;⑦刷握与碳刷的灵活性不满足要求。

2.2 根据实际状况分析原因

1)2017年10月11日对2号机组从1万增加至3万负荷区间碳刷情况进行了观察,未出现任何打火现象,碳刷温度、集电环温度最高87℃,均处于正常状态,因总负荷的原因未继续增大负荷观察情况。随后对1号机组从1万增加至3万负荷区间碳刷情况进行了观察,1万左右负荷基本见不到打火现象,负荷继续升高至1.5万左右逐步出现少量打火现象,随着负荷继续升高至3万负荷,打火现象继续扩大,负极16个碳刷中多数出现打火现象,碳刷、集电环最高温度89℃。根据前期4.5万负荷时,集电环最高温度达到120℃。

2)上述对照1、2号机组情况,两台机组碳刷型号、刷握弹簧压力、安装情况一致,1号机组出现频繁打火,2号机组未任何打火现象,可以判断1号机组集电环的不平整度、出现毛刺是碳刷打火的主因。

3)集电环出现毛刺可能是吊装过程中保护不善引起的,也可能是碳刷“负极效应”的原因,负极电流从集电环流向碳刷,集电环为正极、碳刷为负极,集电环表面出现正离子散失发生阳极蒸发,集电环表面出现粗糙现象。

4)检修人员在2017年9月对1号机组集电环、刷握及碳刷卫生进行了清扫,更换了过短及卡塞碳刷,更

换后仍然出现打火现象。

5)在2017年10月,1号机组停机,对集电环不同面检查,发现集电环面出现锈迹与烧伤痕迹,该痕迹与碳刷和集电环的接触面一致。经通过运行了解,1号机组在进行商业投运后期间曾停机达1周以上,初步怀疑在此期间发电机舱冷凝水严重,集电环生锈。导致碳刷与滑环接触不良造成碳刷打火,进而高温烧蚀集电环,形成滑环表面凹凸不平,再加上碳刷偏软,滑环温度上升,在滑环表面形成一层碳粉凝积物,恶性循环,加大碳刷打火程度。

6)2号机组于2017年10月8日投入商业运行,碳刷运行初期为出现打火,于2018年2月发现碳刷打火。在检查后发现情况与1号机组情况一致,但锈蚀、熔蚀程度较低。

3 处理方案及方法

3.1 1号机组处理方案

方案一:集电环拆卸下来进行车削。

方案二:不拆卸集电环,现场使用人工研磨集电环表面,并更换新型号碳刷(新型号碳刷质地较老型号硬,且设有通风槽,增强散热功能),增加除湿设备,提高通风效果。

对于方案一,需要将贯流式机组发电机舱内受油器部分全部拆除,并且还需要将发电机舱竖井全部母线及油管拆除,作业面广,扩大了作业范围。在面临工期紧,人员少的情况下极不现实,因此方案一首先排除。

对于方案二,在不拆除集电环等其他设备的情况下,采用人工直接打磨集电环表面,并更换新型号碳刷,作业时间缩短为几个小时内,符合实际生产。

3.2 1号机组处理过程

1)发电机舱安装了除湿机,消除冷凝水,除湿机作业良好。

2)作业人员卸下碳刷及刷握弹簧,由于烧伤面凸点明显,使用普通砂纸无法打磨,检修人员对集电环表面烧伤及腐蚀痕迹用粗油石进行了打磨,然后用0000号砂纸进行打磨,最后用水磨砂纸进行了打磨。

3)使用酒精布清理集电环及刷握、绝缘子处灰尘及油污。

4)将碳刷由老型号(D172)更换为新型号(型号:SH3495;材质:M44A),新型号碳刷与巴西杰瑞电站贯流式机组所用型号一致,该碳刷的优点在于硬度较老型号高,并开有通风槽,便于降温。碳刷回装时应使用



图3 1号机组处理前有锈蚀图

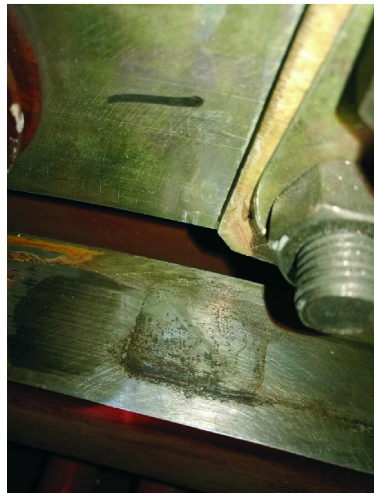


图4 处理后图

水磨砂纸打磨,确认碳刷与集电环接触面良好,调整刷握与滑环间隙至3~5 mm,减小碳刷振动,检查碳刷在刷握内灵活,确保碳刷在压力弹簧作用下碳刷与滑环接触良好。



图5 新型号碳刷图

5) 由于贯流式机组集电环与立式机组不同,集电环空间狭小,作业人员打磨不方便,正极集电环每次只能站一人打磨,负极集电环每次也只能站一人打磨。在连续不间断打磨情况下总共花费了7 h。处理后机组集电环未出现打火情况,效果良好。



图6 集电环负极处只能站一人图

3.3 2号机组处理方案

由于1号机组处理后效果良好,2号机组处理方案与1号机组一致。只是在处理工程中使用了专用的“集电环研磨工具”,优化了处理工艺及处理工具,缩短了处理时间。

3.4 2号机组处理过程

鉴于1号机组通过人工打磨滑环耗费时间长,人工劳动强度大的不利因素,考虑优化处理工艺及处理工具,缩短处理时间,提高工作效率,检修人员自制集电环研磨工具,如图7-图8。



图7 集电环研磨工具图

作业人员对集电环研磨工具上安装上研磨用的5 000目油石,集电环涂抹专用润滑油进行润滑,在机组进行空转时,进行打磨初,时间约1 h,检查效果,再次更换为10 000目细油石研磨2 h。

打磨后,作业人员使用手检查集电环表面,光滑度



图8 集电环研磨工具安装效果图

较之前有明显提高。同时也更换为新型号碳刷,投运后未发现打火。本次处理时间总共使用了4 h,较之1号机处理节约了时间,减轻了劳动强度,且效果更佳,提高了发电经济效益。

3.5 防范措施

1) 由于1号、2号机组集电环已经存在锈蚀等情况,凹点更是无法打磨,尽管进行人工打磨后,但是毕竟无法与出厂精度相比,虽然未出现打火情况,但是毕竟集电环已经存在隐患了。因此在运行过程中要加强巡回力度,尤其是在高负荷情况下观察碳刷打火情况和碳刷、集电环温度。

2) 在后续机组安装、吊装、检修、维护过程中做好集电环保护,做好集电环摆度控制。

3) 改善环境通风效果,特别是机组停机时间长的情况下,防止冷凝水侵蚀集电环。

4 结语

本文针对某贯流式水电站发电机组集电环碳刷打火处理情况,列举了发生这种现象可能的几种原因,根据逐一排除后,逐步分析碳刷打火的原因发电机舱湿度大通风效果差,停机时间长集电环锈蚀及碳刷材质偏软造成的,同时优化了集电环处理工艺方法及流程。通过本次对贯流式发电机组集电环碳刷打火的处理方法,证明寻找问题的方法及处理方法是合适的,可以作为下一步贯流式机组集电环打火处理的参考。以免发电机在运行中发生集电环、刷握架烧毁的情况,造成发电机损坏等不可挽回的损失。能够确保机组安全、可靠运行的。

参考文献:

- [1] SL 573-2012, 灯泡贯流式水轮发电机组运行检修规范[S]
- [2] 刘国选. 灯泡贯流式水轮发电机组运行与检修[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006
- [3] 郑福民. 浅谈贯流式机组碳刷的运行与维护[J]. 华中电力, 2010, 23(4): 87-90

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.007

亭子口水利枢纽 2019 年度汛概述

王剑桢

(嘉陵江亭子口水利水电开发有限公司,四川 苍溪 628400)

摘要:在大唐集团公司的领导下,2019年亭子口水利水电开发有限公司始终坚持“安全第一、常备不懈、以防为主、全力抢险”的防汛工作方针,立足于防大汛、防早汛、抗大灾、保发电,牢固树立“隐患就是事故”的理念,落实工作责任,强化工作措施,扎实有效开展各项防汛工作,切实保障了枢纽工程安全和上下游人民生命财产安全,实现了完美度汛目标。

关键词:亭子口;水利枢纽;度汛

中图分类号:TV61 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)04-0027-03

Summary of the Flood Control Work of Tingzikou Water Conservancy Project in 2019

WANG Jianzhen

(Jialing River Tingzikou Water Conservancy and Hydropower Development Co., Ltd., Cangxi 628400, China)

Abstract: The flood control work of Tingzikou Water Conservancy Project in 2019 is summarized. Under the leadership of Datang Group, Tingzikou Water Conservancy and Hydropower Development Company clarified the responsibility and strengthened the measures of the flood control work. Aiming at the goals of “control serious flood, control early flood, fight against disaster, and ensure power generation”, and upholding the principles of “safety first, constant preparation, prevention orientation, and emphasis on emergency response” and the concept of “a hidden danger is an accident”, the flood control work was effectively implemented. The goals of the flood control work were perfectly achieved as the safety of the project and the life and property of the people at the upstream and downstream is ensured.

Key words: Tingzikou; Water Conservancy Project; flood control work

1 不折不扣落实汛前部署、检查工作

1.1 压实公司防汛责任

年初谋划各项防汛工作。按照统一指挥、分级负责的原则,亭子口公司成立了防洪度汛领导小组,全面负责度汛工作任务的布置、协调、督促和检查。防汛领导小组下设办公室、防汛抢险应急分队,负责日常防汛工作及防汛抢险,成立了水库调度工作组,专门负责水库调度对内、对外协调及指挥。公司按照国家有关规定明确水库安全度汛行政责任人、技术责任人、巡查责任人“三个责任人”。汛期密切监视雨水情,做到准确预报、科学调度,严格遵守汛期调度运用计划,坚持

“电调服从水调,水调服从洪调”原则,严格执行防汛部门调度指令,在保证防洪安全的同时,合理确定水库运行水位,不擅自超防洪限制水位运行,确保度汛安全。

1.2 统筹部署防汛工作,落实集团公司文件精神

严格落实集团公司2019年安全生产1号文和2019年安全生产工作会有关防汛减灾的工作要求,做好防汛、防地灾各项工作。汛前编制印发了年度防汛总体方案、工作计划。公司组织学习了集团公司《关于做好2019年防汛减灾工作的通知》(大唐集团安[2019]220号),学习了各级政府、职能部门、有关文件,并积极贯彻落实。公司于4月9日召开了2019年

收稿日期:2020-01-12

作者简介:王剑桢,男,工程师,主要从事水库调度方面的工作。

防汛减灾工作启动会,对今年的防汛减灾工作进行了全面部署,并做出具体安排,把防汛责任分解落实到部门和个人,保障了防汛工作有效进行;亭子口水利枢纽2019年水库调度运用计划、防洪抢险应急预案按要求报批和备案,为正确开展防汛调度工作提供了科学、法制依据。

1.3 隐患排查治理成效显著

1.3.1 全面检查消缺

汛前,对所属电站大坝厂房、泄洪闸门及其启闭设施、排水系统、门机等进行了全面检查和消缺,对航运工程、大园包滑坡体、库岸边坡、营区等防汛重点部位进行安全专项大检查。对安全隐患逐一跟踪检查,即发现即整改。

在大坝上、下游进入河道的各路口均设置有醒目的防汛安全警示标志,6月对坝区防汛安全警示、标示牌进行了增设及完善;在亭子口枢纽区主要交通道路、管理区修建有封闭围墙,进行封闭管理。

8月中旬组织开展了汛中安全检查工作,对水工建筑物和泄洪闸门及启闭机、门机等设施、设备进行了全面检查和消缺,及时消除安全隐患,严控安全风险,夯实安全基础,确保防汛和安全生产局面稳定。

8月下旬,经长期协调,苍溪县人民政府发文确认了亭子口枢纽安全管理范围划定工作,确定大坝上游550 m、下游1 200 m为枢纽安全管理范围,按照集团公司统一规定公司设立了禁区管理范围警示标示牌。

1.3.2 举一反三汲取灾害事件教训,严防极端天气、地质灾害

公司认真落实集团公司6月24日视频会精神和《关于进一步做好防震及防汛减灾工作的紧急通知》(大唐川电生[2019]34号)要求,认真吸取系统内某水电站“6.21”泥石流地质灾害事件教训,落实集团公司和四川公司关于防汛减灾工作的安全管理要求,防止发生极端天气及地质灾害造成的不安全事件,确保人员人身安全。一是随时关注气象预报,加强水情汛情的研判,提前做好预警、预控;二是严格执行水库调度规程和上级泄洪指令,严格汛限水位控制;三是做好应急抢险途中交通安全;四是做好应急物资准备,防止水进厂房的应急措施;五是做好泄洪预警、警报和巡视检查,确保人员安全;六是严格防汛值班纪律和信息报送制度。

1.4 防汛应急演练提高抢险人员应变能力

汛前、汛中进行强化应急演练,提高应急处置水平。按照年初印发的应急预案演练计划,已组织开展了防地质灾害、水淹厂房、泄洪闸门卡阻、全厂停电、防汛减灾及超标准洪水等有关防汛专项应急预案演练21场次156人次。

经过一系列防汛应急演练,进一步提高了应对洪水灾害的快速反应能力,有效管控防汛风险。

1.5 充足准备防汛应急设备及物资

1)保安电源确保设备正常运行。防汛设备设施配置了双回路电源,外来10 kV保安电源作为紧急备用电源,大坝、厂房各配置一台800 kW的柴油发电机作为应急备用电源,也可互为备用,汛期每周启动试验一次,非汛期半月启动一次,保持设备正常运行。

2)补充防汛物资及应急通信畅通无阻。汛前,按定额补足防汛物资,完成了防汛物资年度补充采购、入库工作,补充了12项防汛物资,并专库存放、专人(兼职)管理,定期检查维护。防汛值班配置座机、手机,水调中心、中控室还配置海事卫星电话,确保调度指挥与现场操作通信畅通。

1.6 24 h值守以防突发事件

根据集团公司规定,从4月17日起开始防汛值班,严格执行24 h值班制度和交接班制度。值班期间公司领导带班、中层干部负责、各部门参加,各级人员认真负责,值班记录完善,值班情况良好。

公司成立了专职保安队伍,24 h巡逻枢纽区,禁止无关人员进入水库管理区域。在大坝上、下游进入河道的各个路口均设置有醒目的防汛安全警示标志,在枢纽区主要交通道路、管理区修建了封闭围墙,基本形成封闭管理,有效地保障了枢纽防汛安全。

2 完善汛情监测及预警系统

亭子口水利枢纽建设了完善的水调自动化系统,基本形成了“互联网+水调”大数据管理模式。水情遥测系统覆盖陕西略阳、白龙江宝珠寺至亭子口坝址1.2万km²流域面积,给防汛及水库调度提供了可靠的雨水情信息;水情及水库运行数据实时上传至长江防总办、四川电网调度,坝区重要断面及水库调度中心接入四川防办视频会商系统,防汛主管部门可远程监控指挥防汛工作。汛前对水调自动化系统进行了全面

巡检消缺,汛中进行及时维护,确保流域雨水情信息及时准确。

建立了完善的水情预警机制:一是与上游宝珠寺、虎头寺、上石盘电站建立水情共享关系;二是亭子口水库泄洪前 1 h 通报下流苍溪航电、苍溪县防办、南充市防办及上游广元市防汛办,防洪调度过程随时上报长江防总办、四川省防办等;三是坝区及下游河段安装了鸣笛预警装置和泄洪广播,闸门操作前 15 min 鸣笛预警和广播报警。

公司设有专业的库区、枢纽监测队伍,负责库区岸坡、水工建筑物的观测。库区岸坡、各水工建筑物、工区内重要边坡及滑坡体均安装有监测仪器,可以随时掌握重要部位微变情况,发现异常及时通报。

3 新闻宣传促地企联动

公司积极策划新闻宣传,讲好大唐亭子口故事。7 月 24 日在《中国水利报》发表《嘉陵江亭子口水利枢纽今年首次泄洪》,《苍溪印象》刊载《大唐亭子口水利枢纽今年首次泄洪》,8 月 6 日在大唐集团公司网站发表《亭子口公司积极应对汛期来洪保卫一江安澜》,有力提升了公益亭子口品牌形象。

公司重视地企联动、防汛宣传,保障汛期人员安全。针对 2018 年泄洪期间亭子口大坝下游河道出现的部分群众涉水捕鱼及水面船舶众多等行洪安全重大隐患的情况,为保障枢纽泄洪及人民群众生命财产安

(上接第 22 页)

参考文献:

- [1]叶德培. 二级注册计量师基础知识及专业实务[M]. 北京:中国质检出版社, 2017
- [2]JJG310-2002, 压力式温度计检定规程[S]
- [3]陆培根. 测量不确定度的实验统计法的应用[J]. 科技情报:上海, 1995(1): 20-23
- [4]高松. 测量不确定度应用分析[J]. 航空计测技术, 1998, 18(5): 24-25
- [5]刘景利, 杜书利. 关于测量不确定度评定中数学模型的选定[C]//中国计量测试学会. 压力计量服务和测试技术研讨会论文集. 北京: 2003
- [6]张建伟. 工作用玻璃液体温度计测量结果的不确定度评定[C]//山东计量测试学会. 山东省优秀计量学术论文选编(2011 年度). 北京: 中国科学技术出版社, 2012

全,今年我们与地方政府相关部门沟通建立了有效的联动机制,并多次深入枢纽坝区及近坝库区周边乡镇组织开展了防汛宣传活动,确保泄洪闸门操作指令执行到位和水库行洪安全。

亭子口水利枢纽自建成以来,始终把防洪度汛、维护一江安澜放在首位,发挥了巨大的社会效益;电站自投运以来,持续实现了人员零伤害、设备零事故,安全生产局面持续向好,度电必争,滴水成利,取得了较好的经济效益。下一步,公司将按照集团公司、四川公司防洪度汛和安全生产相关要求,围绕亭子口公司安全生产重点工作,按照“干就干一流的事,干就干成一流”的总要求,确保防洪度汛和安全生产稳定局面,为集团公司建设世界一流能源企业做出应有的贡献。

参考文献:

- [1]王春雷, 王聪. 施工导流、度汛及后期水流控制[J]. 科学技术创新, 2012(20): 254-254
- [2]何源枝. 水利工程施工管理[J]. 中小企业管理与科技:下旬刊, 2009(9): 12-12
- [3]马龙军, 原发, 曹天强. 关于加强水利工程施工管理的必要性[J]. 科学技术创新, 2011(2): 124-124
- [4]梁新强. 水库工程的管理养护及防汛工作研究[J]. 大科技, 2019(4): 76-77
- [5]徐海春. 小型水库安全防汛工作存在问题及建议[J]. 中国新技术新产品, 2019(10): 141-142
- [6]朱景刚. 探究水库工程的管理养护及防汛工作[J]. 建筑工程技术与设计, 2019(5): 3026
- [7]赵兵. 玻璃液体温度计检定装置不确定度评定与表示[C]//江苏计量测试学会. 江苏省计量测试学术论文集, 2007
- [8]周尚熳. 压力式温度计测量值的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2014, 41(5): 94-95
- [9]吴勤. 标准铂电阻温度计测量结果不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2013, 40(11): 57-58, 60
- [10]张力. 压力式电接点温度计示值误差测量结果的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2009, 36(5): 88-89
- [11]江玉霞. 压力式温度计测量结果不确定度评定[J]. 中国标准化, 2017(6): 75-75
- [12]刘飞. 测量不确定度评定中几点问题的理解[J]. 中国计量, 2015(9): 100-101
- [13]周尚熳. 压力式温度计测量值的不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2014, 41(5): 94-95

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.008

新冠肺炎疫情下海外工程项目的法律风险应对

蒋潍锶

(中国水利电力对外有限公司,北京 100120)

摘要:“一带一路”倡议提出以来,越来越多的中国企业走出去。2020年随着新型冠状病毒感染肺炎疫情(以下简称“疫情”)全球蔓延,走出去的中国企业面临更大的挑战。为此从法律角度切入,对疫情下的海外工程项目进行风险分析,并探索了应对之道。面对疫情的挑战,中国海外工程项目应时刻保持自身的法律风险意识,积极采取有效预防措施,提前规避法律风险,以避免造成不必要的法律纠纷。

关键词:新冠疫情;海外工程项目;法律风险

中图分类号:R18; D922.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-3354(2020)04-0030-02

Analysis and Countermeasures of Legal Risks in Overseas Engineering Projects under the Pandemic Situation of COVID - 19

JIANG Weisi

(China International Water and Electric Corporation, Beijing 100120, China)

Abstract: Since the “one belt, one road” initiative was proposed, more and more Chinese enterprises have gone overseas. While with the global spread of COVID - 19, those enterprises going abroad are facing greater challenges. From legal perspective, this paper analyzes the risks in overseas engineering projects under the pandemic situation of COVID - 19, and explores the countermeasures. Facing the challenge of the COVID - 19 pandemic, Chinese overseas engineering projects should always keep the awareness of legal risks and take effective preventive measures to avoid the risks in advance so as to prevent unnecessary legal disputes.

Key words: Pandemic Situation of COVID - 19; overseas engineering projects; legal risks

“一带一路”倡议提出以来,越来越多的中国企业走出去。据商务部统计,2019年我国对外承包工程业务完成营业额11927.5亿元人民币,新签合同额17953.3亿元人民币。2020年初随着新型冠状病毒感染肺炎疫情(以下简称“疫情”)全球蔓延,走出去的中国企业面临新的挑战。本文拟从法律角度切入,对疫情下的海外工程项目进行风险分析,并探索其应对之道。

1 海外工程项目的法律风险

1) 合同履行风险。当前疫情已构成全球性大流行。根据海外各国防疫政策,我国部分海外工程项目和代表处已采取驻地办公或封闭营地等措施;坚守工程的在建项目也结合当地情况,遣散大量当地雇员,适

时调整工作内容。同时由于疫情原因,施工项目设备配件从国内购置难度增加、运输发货延迟、通关难度加大,将对项目设备的正常运行和保养造成一定影响。在上述情况下,可能引起因疫情导致项目不能按照约定履行合同的法律风险,包括工程进度可能延期、合同双方对不可抗力的确认产生争议等,进而造成合同纠纷。

2) 劳动用工风险。疫情导致的海外工程项目劳动用工风险主要体现在以下几个方面:一是海外员工休假问题,包括海外员工的合法休假因疫情影响应休未休,以及休假结束因疫情滞留我国境内无法返工等,这类风险处置不当可能侵害劳动者权益,引起法律纠纷。二是驻在国当地雇员受疫情影响歇业在家问题,这类风险处理不当可能造成劳务纠纷甚至群体性事

收稿日期:2020-04-15

作者简介:蒋潍锶,女,中级经济师,从事法律事务和风险管理方面的工作。

件。三是项目或员工违反疫情相关法律法规的风险,包括隐瞒、缓报、谎报疫情信息,未按照我国或驻在国要求采取疫情防范措施等,这类风险一旦触发可能面临行政甚至刑事处罚。

3) 市场开发风险。受疫情影响,在市场开发过程中,部分驻外单位可能存在跟踪项目无法及时跟进或无法组织现场考察的情况,导致无法及时递交项目可研报告,引起业主不满,转而与其他公司签署相关文件,丧失合作机会的风险。如前期已与业主签订相关协议,可能造成违约,引起合同纠纷;如前期未签订相关协议,可能造成合作机会的丧失,影响企业海外市场布局。

4) 纠纷处理风险。疫情席卷全球,部分海外国家颁布政府临时措施,如“封城令”等,导致当地法院法官及工作人员无法上班,司法机关处于停摆状态,法院暂停开庭。我国海外施工项目的涉外纠纷司法进程可能受到较大影响,法院中止审理,暂时难以预测法院恢复正常上班的时间。同时一些与案件相关方正在进行的和解谈判,可能也将受疫情影响而处于停滞状态。

2 法律风险应对建议

1) 成立项目疫情防控小组,严格落实国家政策要求。海外工程项目可结合驻在国疫情态势,适时成立疫情防控工作小组,统筹指挥项目的疫情防控工作及其引发的问题,定期召开工作会议,解决疫情防控难题。及时跟踪驻在国疫情相关法律法规以及政府临时措施,严格落实有关要求。时刻关注海外员工健康情况,如实上报项目疫情信息,不隐瞒、不缓报、不谎报,按要求采取疫情防控措施。

2) 妥善安排海外员工工作,维护员工合法休假权益。疫情爆发后,部分国家出入境限制,可能导致项目中方员工无法如期回国休假或返工。项目可研究制定处置方案,对受疫情影响不能回国休假坚守工作岗位的一线人员给予一定奖励,安排假期延至下一个周期,有效维护员工合法权益。对因疫情无法正常工作的当地雇员,项目应按照当地劳动法发放基本工资或事先协议的工资,待疫情结束后安排继续返岗工作。如项目因疫情面临全面停工,应根据当地法律发放人员遣散费等,合法合规经营。

3) 积极利用不可抗力条款,降低合同履行法律风险。梳理项目合同中是否包含不可抗力条款,研究构成不可抗力的事件范围;积极履行通知义务,按照合同约定及国际惯例(如 FIDIC 银皮书第 19.2 条规定应在察觉或应已察觉构成不可抗力事件后 14 d 内)及时向合同相对方发出不可抗力通知,并妥善留存通知证据;

积极履行证明义务,发出通知后在合理期限内收集必要的证明材料,包括证明疫情发生的具体事实,政府采取临时措施的新闻报道和政府法令,疫情引发不可抗力与合同无法履行的直接因果关系等;积极与合作方进行沟通协商,争取理解和支持,共同努力,尽可能确保项目的顺利开展;必要时向中国大使馆、经参处等政府机构寻求帮助。

4) 积极履行自身减损义务,避免损失进一步扩大。虽然疫情可能导致不可抗力的产生,从而对履约造成影响,但项目仍应承担减损义务。如因自身原因未积极采取减损措施而导致损失的扩大,扩大损失的部分可能难以得到合同相关方的认可和赔偿,在法律上也难以获得有利支持。一般认为,没有采取有效措施而导致损失扩大的一方,应对扩大的损失承担责任。

5) 拓展设备相关采购渠道,寻求合理替代解决方案。如遇项目设备及相关配件无法及时从国内采购、运输,从而影响设备正常运转,以致工程工期无法按时完成的情况,可结合海外疫情和项目自身实际现状,针对供应链构成、安全库存管理、项目设备管理等方面开展风险评估,积极与海外当地供应商或者采购商展开沟通合作,拓展设备及相关配件的采购渠道,寻求过渡时期的替代解决方案。

6) 及时追踪纠纷进展情况,排查疫情引发法律纠纷。积极寻求当地外聘法律顾问的帮助,落实项目现有案件的开庭、举证等时间节点,及时关注案件管辖法院发布的工作安排调整通知,主动联系案件承办法官及律师,以便明确下一步工作。注意排查项目因疫情引发的纠纷,在纠纷产生初期及时采取有效措施,化解纠纷,必要时可寻求专业法律人员的帮助,以免纠纷演变为新的诉讼或仲裁案件。

7) 加强疫情法律风险教育,增强法律风险防范能力。认真学习我国和驻在国疫情相关法律法规以及临时性的政策措施,积极参加国内外线上法律风险讲座,例如疫情影响下合同履行的一些问题和不可抗力条款的使用、疫情对工程造价的影响与对策等。增强自身法律风险意识,关注法律法规和政策的变动,提高法律风险的防范能力。

3 结语

新型冠状病毒感染肺炎疫情的突然爆发,使世界各国都遭受到了或多或少的冲击,对中国走出去企业的影响也不容小觑。面对这一新的挑战,中国海外工程项目应时刻保持自身的法律风险意识,积极采取有效预防措施,提前规避法律风险,以避免造成不必要的法律纠纷。

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.009

澳大利亚霍顿太阳能电站建设管理探索与实践

范华伟

(国家电力投资集团海外投资有限公司,广东 珠海 519031)

摘要:在澳大利亚霍顿太阳能电站建设中,探索了评标方法优化、劳动卫生及环保设施配置、多种高效施工机械应用与流水化作业组织方式、信息与安全和项目干系人针对性协调管理、土地使用权获得方式、承包商经营状况跟踪等项目建设中各项管理方法,取得了成功的经验,对提高投资收益率起到了至关重要的作用。

关键词:太阳能;电站;建设;控制

中图分类号:TM615 文献标志码:A 文章编号:1671-3354(2020)04-0032-03

Experience of the Construction Management in Houghton Solar Power Station in Australia

FAN Huawei

(State Power Investment Overseas Co., Ltd., Zhuhai 519031, China)

Abstract: The construction management experience in Houghton Solar Power Station in Australia is summarized. A series of effective construction management measures are implemented, including the optimization of the bid evaluation methods, allocation of the labor health and environmental protection facilities, application of various efficient construction machinery and streamlined operation mode, targeted coordination and management of relevant units, safety and information management systems, acquisition of the land-use right, and tracking of contractor's operation status. With these measures, the return of investment of the project is greatly improved.

Key words: solar power; power station; construction; control

随着“一带一路”战略的实施,中国清洁能源产业发展实现了引进来和走出去相得益彰的良好局面,中国境外投资规模不断壮大,主要通过资产并购和绿地项目开发来实现,其中绿地项目开发扮演了重要角色。绿地项目建设管理水平对保持境外投资可持续发展和提高投资收益率至关重要。据《经济日报》研究表明2018年澳大利亚对太阳能和风能的投资非常积极,成为当年全球第五大可再生能源项目投资国,人均太阳能发电量位居世界第二。

通过对澳大利亚霍顿(Houghton)光伏电站建设管理创新的探索与实践探讨,拟为中国企业境外开发绿地项目提供一定的借鉴。该光伏项目装机容量100 MW,年平均利用小时数2 046 h,设计年均发电量2.68亿kW·h。共有27个光伏阵列和27套集中式

逆变-箱变单元。单块单面多晶电池组件功率330 W_p。位于昆士兰州汤斯维尔市东南约60 km,距离克莱尔镇约17 km。场址海拔约36~46 m,场内地形平坦,地表主要由浅草覆盖,有少量低矮树木。对外交通有大型国际贸易港口,具备大型道路、铁路、空运及船运条件,当地具有多年国际贸易运输历史,交通条件便利。项目占地面积约400 hm²,原土地用途为牧场。现场总布置分为进场道路、光伏场区、升压站、开关站四大部分。

1 招标策划

1.1 标段划分

该项目是中国企业全资收购的当地公司负责建设的第一个光伏电站,项目前期决策过程中对DBB(设

收稿日期:2019-09-23

作者简介:范华伟,男,工程师,从事水电和新能源工程建设管理工作。

计、招标、建造平行发包模式)模式、光伏组件甲供+BoP(电站辅助系统建设安装)模式和EPC(设计、采购、施工总承包)模式进行了对比分析。由于光伏项目投资强度大、建设周期短、技术难度低、施工单位少,因此首先排除了DBB模式。由于该项目签订的PPA(购电协议)对电站投产容量及发电量有时间节点要求,若不能按时达成对业主会有一定金额的罚款。采用甲供光伏组件,BoP承包商不肯承担电站系统效率或发电量的担保,对业主会形成一个风险敞口,因此排除了光伏组件甲供+BoP模式。在对比中外银行贷款利息之后,项目从当地银行进行项目融资。银行在对业主建设管理光伏电站管控能力不确定的情况下,为控制建设施工和合同履行风险倾向于要求业主采用EPC模式,并由资信好、业绩多的EPC承包商对项目投产时间、系统效率或者发电量提供担保,否则可能会降低项目贷款比例,推高业主自有资本金投入和融资成本。因此本项目选择了EPC模式进行建设^[1]。

1.2 评标方法优化

本项目采用公开招标的形式选择EPC承包商,并且对评标办法^[2]进行了优化和创新。国内常用的综合评标法虽然可以从商务、价格、技术等方面评价投标人的优劣,但是仅考虑了项目建设期的成本高低,未考虑项目运营期的运行维护费、系统发电效率及融资成本等因素对投资回报的影响。而作为在海外投资开发的绿地光伏电站,全生命周期的收益情况对于项目融资以及业主决策至关重要。因此,项目创新性地引入了全寿命周期综合评标法,即分析各投标方案的项目全寿命周期的FIRR(财务内部收益率)及NPV(净现值)两项指标,同时将项目整个运维期的预计年维护费用也计算在财务模型中,通过严格、统一的标准进行计算比较,使项目的经济性和盈利能力分析在评标阶段就得到有效评价。从而选择出全寿命期内的盈利能力最优的投标方案。

2 HSE 管理

2.1 职业健康管理

项目建设过程中严格遵守澳大利亚相关的职业健康、安全和环境法律法规。当地劳工保护政策要求作业工人每2~3h进行一次休息,补充水分、咖啡及食物。项目在施工总布置中设置了1个主营地和2个副营地,均配备了桌、椅、直饮水、食物加热系统、制冷系统和卫生设施等,从而节省了作业人员场内往返作业

地点和休息室的通勤时间,提高了劳动效率。

当地劳工政策不允许作业人员在施工现场营地住宿,项目所在地理位置偏僻,地广人稀,周边无合适居住地点,作业人员居住地多靠近城市,往返城市和工地的通行道路车辆较多,路况复杂。因为当地天气炎热,现场作业开始时间较早,易造成疲乏驾驶。为保证作业人员交通安全,承包商租赁公共交通工具运送作业人员上下班,并在城市设置集中乘车点,配备随车安全监督人员,确保驾驶人员安全行车。

2.2 安全管理

根据当地法律要求只有获得安全资格证书才被允许从事相关施工管理或现场作业,项目管理团队组织管理和作业人员参加在线综合性安全课程学习和测验,并由当地专业安全管理部门与参培人员进行在线视频或面对面访谈,并依规获得安全资格证书。

每天早上在现场入口由安全管理人员对全部进场人员逐一进行酒精测试,未通过测试的人员禁止入场工作,并不再被允许参与本项目。现场不定期组织开展毒品测试,未通过测试人员会立即被清除项目现场,并禁止参与本项目后续作业。安全管理人员现场不间断巡视作业人员劳动防护用品的正确使用和安全作业情况。

对参加项目现场管理和劳务作业的人员,由安全负责人分批次组织4小时以上的安全培训,确保掌握现场安全管理要求及安全技能知识,通过测试考核后方被允许正式开展工作。对临时到现场参观访问人员,由安全负责人进行针对性安全培训,知悉现场主要安全风险和应对措施并签字确认,方可被允许进入现场。

为便于安全信息的及时报送、共享和利用,项目配置了安全电子记录系统,安全管理人员可随时将发生的安全事件、安全隐患以及良好的安全实践登入系统,并进行全员分享利用。

2.3 环境保护

项目管理团队高度重视环境保护和文明施工,针对当地干旱的气候,每日安排4~5辆洒水车对进场道路和场内道路进行洒水养护。既降低了扬尘,又养护了泥结石路面。设置污水处理系统,实现了废水经处理后洒水降尘再利用。通过承包商租赁公共交通工具运送作业人员上下班,降低了燃油消耗。另外,工地现场还设置有废油回收系统、可移动环保公厕、垃圾分类

回收系统等环保设施。

3 质量控制

根据 PPA 协议,购电商要求本项目能够在早晚用电高峰时段确保最大出力,故本项目采用了平单轴跟踪支架,对桩基础的施工精度要求较高。为了保证桩基础施工质量,采用了自行走式打桩机,打孔直径可在 30~80 cm 之间自由调节,打桩深度 1~15 m,在完成程序设置后可按照统一标准作业,有效控制了桩基施工的高程和斜率。

本光伏场区内直埋电缆数量大,传统的人工开挖尺寸精度控制困难。本项目施工场地较为平整,非常适合使用机械方式开挖电缆沟。经对比本项目选用一次成型电缆沟开挖设备用于光伏场区内直埋电缆的电缆沟开挖,该设备的开挖尺寸可根据直埋电缆的数量及设计图纸进行调节。

传统的路缘石人工砌筑精度控制较难,导致路缘石不美观。本项目采用的一次成型路缘石浇筑设备可以一次性完成道路路缘石的混凝土浇筑施工,既保证了路缘石的外观质量,又提高了效率。

本项目采用了 33 kV 预装式开关室,避免了现场土建和机电安装交叉作业,减少了机电设备安装和调试工作量,有效保证了设备安装质量。

在本项目施工过程中,承包商切实承担起了质量自控职责:每道工序完成后均开展自检并留存记录;对于关键试验项目,承包商委托第三方试验室开展;发现质量缺陷,积极主动进行自我整改;详细设置关键验收工序,并严格执行;统一施工质量验收标准,保证质量管控稳定。业主项目管理团队根据工作权限和职责分层级开展质量监管工作,有力地保证了质量目标的实现。

4 进度控制

项目所在地每年 1 月开始进入持续约 3 个月的雨季,且有台风过境,施工窗口期短。而且澳大利亚有严格的劳工保护政策,工人不能被强迫加班,下雨天还可以带薪停工。项目签订的 PPA 对电站投产容量及发电量有时间节点要求,保证施工进度按计划进行对投资经济性有关键影响。为控制施工进度,将关键线路上的光伏组件及跟踪系统施工^[3]根据工艺过程分为 16 道工序:测量放线并确定桩顶钢帽位置-使用机械分发桩帽及螺栓至每个桩位-安装人员安装桩帽并紧

固螺栓-预组装跟踪系统水平管-分发跟踪系统水平管-紧固人员进行找平并紧固螺栓-分发完整包装的光伏组件至安装区域-拆包并分发单片光伏组件至安装位置-安装人员安装组件并紧固-分配直流电缆-安装电缆卡具-固定电缆-电缆连接-开展伏安特性测试-安装驱动电机-最终检查验收。通过专业的作业队进行流水作业,提高了作业人员的熟练程度和安装质量,减少了交叉作业,有效加快了施工速度。

5 投资控制

常规的光伏电站施工作业往往采用人海战术,这在国内劳动力成本偏低的情况下是可行的。澳大利亚劳动力成本在全世界都处于较高水平,因此研究如何提高机械化施工水平降低人工费,成为项目投资控制的关键^[4]。项目共需打基础桩 61 479 根,使用的自行走式打桩机只需 2 人即可操作,1 台设备每天可打桩约 400 根,共投入 3 台仅用约 50 d 即完成所有桩基施工,有效减少人工工时投入。项目 33 kV 直埋电缆沟的开挖深度为 1 m,宽度 0.3 m,总长度近 10 km,若采用普通的机械开挖配合人工平整,作业人工费仍然高昂,经比选采用了一次成型电缆沟开挖设备,完全取消了开挖后的人工修整作业。项目采用的一次成型路缘石浇筑设备,可以一次性完成道路路缘石的混凝土浇筑,取代了人工浇筑和抹面作业。使用的 33 kV 预装式开关室,减少了现场机电设备安装和调试人工投入。使用跟踪支架运输分配专用车辆,大型割草机在雨季定期清理场区杂草,专业电缆铺设机械铺设电缆,多种小型轻便多功能机械辅助作业来降低人员投入量,节约投资。

6 信息管理

项目采用 NEXO 系统实现了内部信息资源云共享,管理人员根据权限将相关文档实时归类、上传到对应云端文件夹中,其他人员可根据权限实时共享、跟踪、改进。通过该系统实现了项目的安全、质量、环保、进度、投资等信息的及时更新和归档。

7 项目干系人管理

本项目管理过程中,管理团队高度重视 PMBOK (项目管理知识体系)理论的应用,结合项目实际特点,充分认识到关联方对项目的重要性,并识别出了重

(下转第 47 页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.010

水布垭地下厂房帷幕灌浆廊道施工支洞封堵加固处理

皮军华,张雪琴

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

摘要:针对水布垭水电站地下厂房帷幕灌浆廊道江边施工支洞堵头出现的渗水情况,结合监测数据分析,对渗水原因进行查找,发现建设期未按设计要求进行封堵,且封堵段存在狭缝状岩溶裂隙延伸至山体表面,遇强降雨及泄洪工况出现大量渗水。采取地表封闭、堵头加固等综合处理措施后,经主汛期强降雨检验,堵头渗水问题得到有效解决。

关键词:水布垭地下厂房;施工支洞;封堵;加固处理

中图分类号:TV731+.6 文献标志码:B 文章编号:1671-3354(2020)04-0035-04

Reinforcement Treatment of the Plug in Construction Adit of the Curtain Grouting Gallery for Underground Powerhouse of Shuibuya Hydropower Station

PI Junhua, ZHANG Xueqin

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

Abstract: In the construction adit of the curtain grouting gallery for underground powerhouse of Shuibuya Hydropower Station, excessive seepage through the plug is observed. Based on the analysis of the monitoring data, it is found that the seepage issue is caused by several problems. Firstly, the plugging process in the construction period is not carried out strictly following the design requirements. In addition, slit-shaped karst fissures extending to the mountain surface exist in the plug section. Thus, excessive seepage occurs in case of heavy rainfall and flood discharge. Correspondingly, comprehensive treatment measures are implemented, including the surficial closure and plug reinforcement. Actual operation situation of the station during heavy rainfalls in the main flood season after the treatment shows that the seepage problem of the plug is effectively solved.

Key words: underground powerhouse of Shuibuya Hydropower Station; construction adit; plug; reinforcement treatment

水布垭水电站位于湖北省巴东县境内,是清江梯级开发的龙头枢纽,工程以发电、防洪为主,兼顾其它。电站装机1840 MW,设计年发电量39.84亿kW·h。枢纽属I等大(1)型工程,主要建筑物由混凝土面板堆石坝、溢洪道、地下电站、放空洞以及两岸渗控工程等组成。大坝坝顶高程409 m,坝顶长度674.66 m,最大坝高233.2 m。工程于2002年1月开工,2007年4月下闸蓄水,2008年8月四台机组全部投产发电。

地下厂房布置于坝后右岸马崖高边坡山体内部,位于溢洪道泄洪右侧面。主厂房建基面高程165 m,顶拱部位高程230.47 m,最大尺寸为168.50 m×23.00 m×65.47 m(长×宽×高)。电站厂房、尾水洞

和尾水平台按二百年一遇洪水设计,对应尾水位高程为220.18 m,千年一遇洪水校核,对应尾水位为229.40 m。

地下厂房开挖所涉及地层为二叠系下统茅口组(P1m)、栖霞组(P1q)、马鞍山组(P1ma)、石炭系黄龙组(C2h)等。其中茅口组出露于引水渠边坡,马鞍山组出露于主厂房底部、机窝、尾水洞和尾水出口边坡,黄龙组与写经寺组出露于尾水洞和尾水出口边坡。地下厂房及洞室群位于坝址区三友坪向斜东翼,单斜地层,岩层走向318°,倾SW,倾角11°~16°。主要地质构造包括断层、裂隙和层间剪切带等。

收稿日期:2019-12-02

作者简介:皮军华,男,工程师,从事水电站运行管理方面的工作。

1 厂房帷幕灌浆廊道及施工支洞布置

主厂房帷幕灌浆廊道位于主厂房靠江边的山体内部,在厂外第二层排水洞外侧,距厂外排水洞 25 m,距右岸地下厂房左边墙 43 m。防渗帷幕轴线延伸至上、下游边墙后均折向右岸山体内部延伸,延伸长度上游段为 79.14 m,下游段为 75.2 m,总长度为 249.78 m。建设期因施工需要,垂直帷幕灌浆廊道布置江边施工支洞,支洞全长 58.39 m;临江侧洞口高程 216 m,位于大坝下游右岸马崖边坡,距大坝下游 RCC 围堰为 15 m。2006 年汛期之前,厂房帷幕灌浆施工完毕,根据防洪度汛要求,原设计单位汛前下发设计通知对该洞室进行永久性封堵,设计封堵长度为 46.23 m。

厂外第二层排水洞与江边支洞厂房侧交叉口处布置 4 号机母线竖井进入门,直接通到主厂房发电机夹

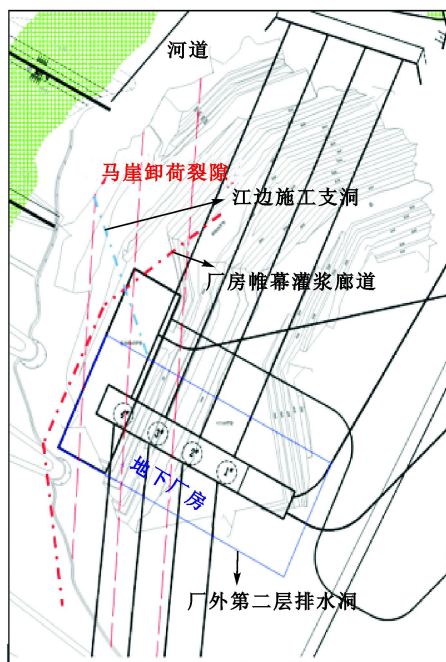


图 1 厂房帷幕灌浆廊道及其施工支洞布置图

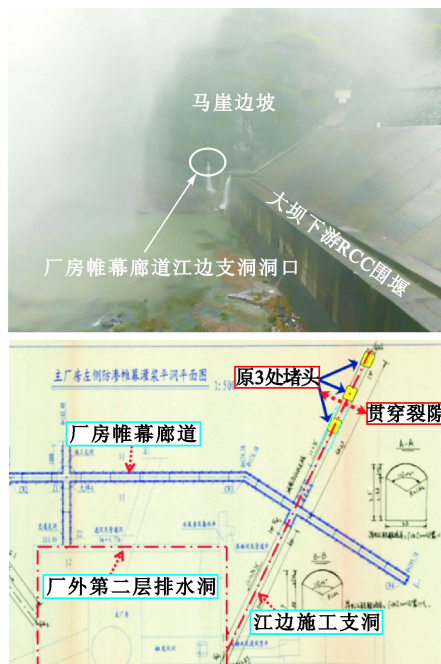
泄洪结束后,对比厂外第二层排水洞渗流量监测数据分析表明,2016 年“7.19”以前,渗流量在 2015 年以前随上游水位有一定波动,其后大部分时间变化平稳,偶尔有一定突变。突变主要原因是降雨导致与厂外第二层排水洞相连的钢衬外排水洞渗流增大引起。具体详见图 2、图 3。

2016 年 7 月 19 日 - 23 日,水布垭水电站两次开闸泄洪,泄洪时间段分别为:7 月 19 日 18:10 - 7 月 21 日 14:50,最大泄洪流量 $4\,520\text{ m}^3/\text{s}$;7 月 23 日 8:00 - 7 月 23 日,13:47 最大泄洪流量 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$;2017 年 10 月 2 日 - 10 月 13 日,受清江上游特大秋汛影响,水布垭水电站两次开闸泄洪,泄洪时间段分别为:10 月 2

层及以下其它部位。

2 渗水检查及原因分析

2016 年 7 月 19 日,水布垭电站以上流域 48 h 面平均降雨 160 mm,最大入库流量 $13\,100\text{ m}^3/\text{s}$,19 日 18 时至 23 日 14 时,溢洪道两次开闸泄洪,最大泄洪流量 $4\,520\text{ m}^3/\text{s}$,历时 65 h,总泄量 5.6 亿 m^3 。在“7·19”暴雨及泄洪期间,现场管理人员对厂外第二层排水洞巡检时发现江边支洞封堵部位 1.5 m 以下混凝土与山体结合部位多处出现喷射状渗水情况,直接导致厂外第二层排水洞渗流量剧增,排水洞最大渗流量比泄洪前增加 8 倍,厂外二排集水井抽水频次有原来 3 次/d 增加到近 15 次/d,单台水泵平均运行时长近 20 h/d,造成水泵运行负荷急剧增大,一旦水泵出现故障可能导致水淹厂房的重大事故发生。



日 22:38 - 10 月 6 日 20:03,最大泄洪流量 $2\,580\text{ m}^3/\text{s}$;10 月 12 日 16:22 - 10 月 13 日 9:14,最大泄洪流量 $150\text{ m}^3/\text{s}$ 。对比两次泄洪前后厂外第二层排水洞渗流量过程线图 4、图 5、图 6 分析,表明厂外二排渗流量数次突变主要由于帷幕灌浆廊道江边支洞封堵部位泄洪雾化雨反渗引起,非泄洪工况下,渗流量与降雨量有一定相关性,与上游水位无明显相关性。

3 堵头加固处理措施

综合 2016 年、2017 年两年泄洪期间堵头部位渗水现场检查及监测资料分析情况,并查询原施工期间封堵施工相关资料,认为封堵部位可能存在的问题如

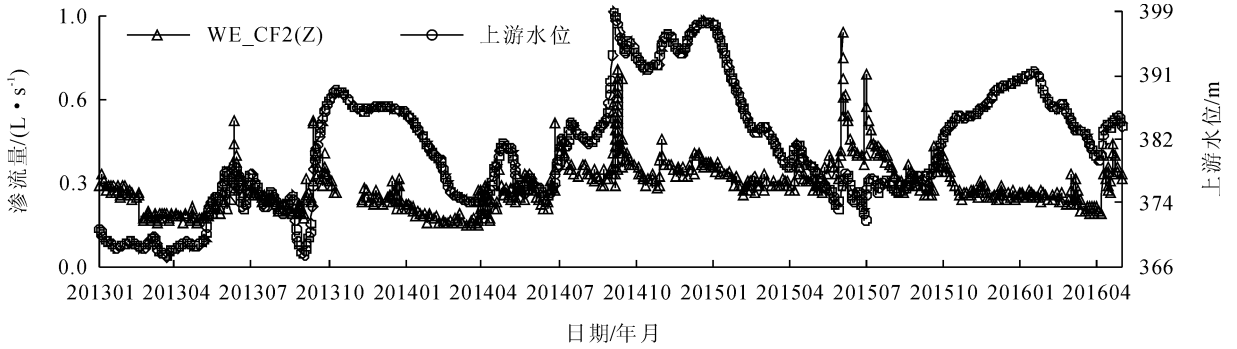


图2 厂外第二层排水洞渗流量与上游水位过程线图

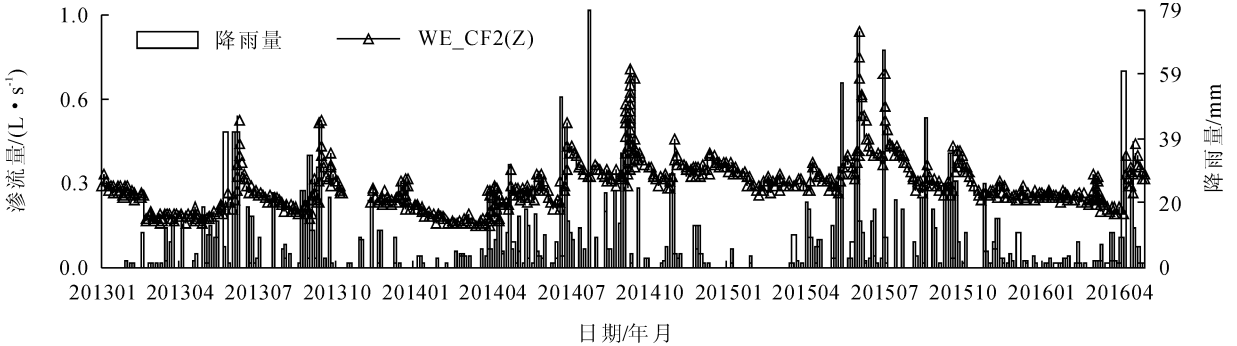


图3 厂外第二层排水洞渗流量与降雨量过程线图

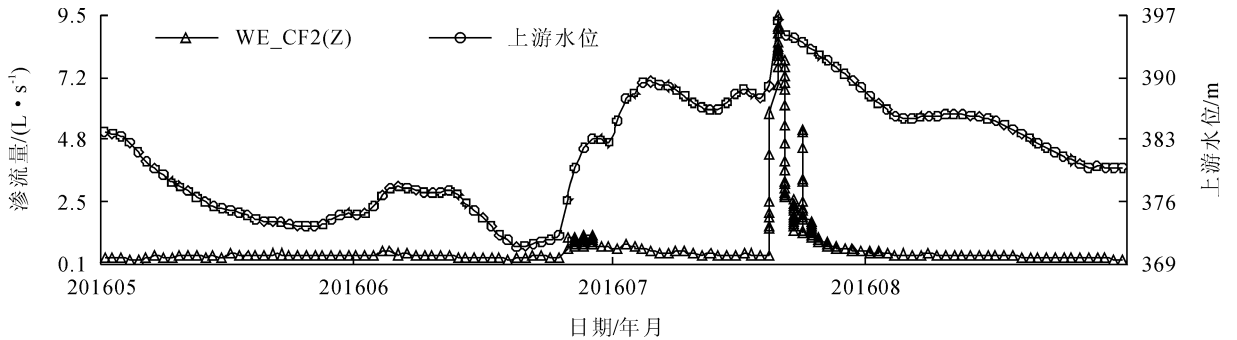


图4 2016年“7.19”泄洪前后厂外第二层排水洞渗流量与上游水位过程线图

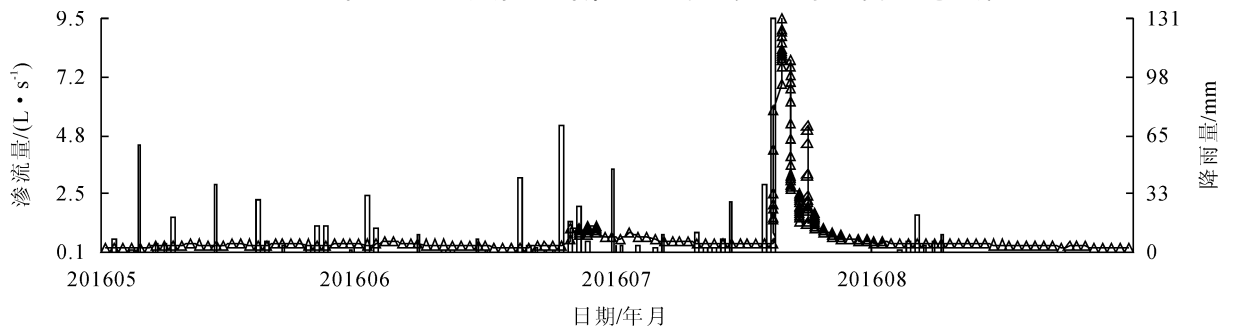


图5 2016年“7.19”泄洪前后厂外第二层排水洞渗流量与降雨量过程线图

下:①封堵混凝土质量较差或未进行回填灌浆处理,存在较大渗水通道,泄洪工况下,洞口强降雨直接倒灌进入厂外第二层排水洞;②封堵长度未达到设计要求;③临厂房侧堵头部位可能存在较大山体渗水通道。

为了彻底解决厂房外第二层排水洞帷幕灌浆廊道江边支洞封堵部位渗水情况,消除水淹厂房重大安全

隐患,2018年汛前实施加固处理,拆除临厂房侧堵头后发现,原施工期封堵处理未按照设计要求施工,设计封堵长度范围内共布置3处长约1m堵头,各堵头间间距约10m,封堵体均为浆砌石结构,仅在临厂房侧第一道封堵处浇筑厚约50cm混凝土,且第一道堵头和第二道堵头间存在宽约60cm贯穿山体透水裂隙,

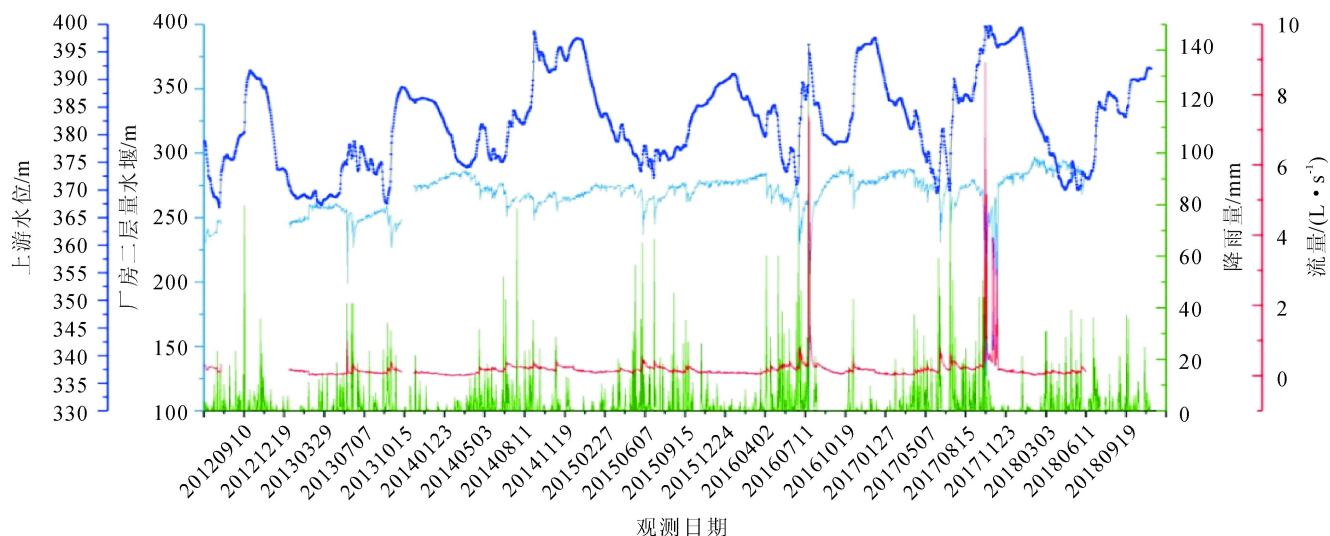


图6 2012年6月至2018年12月厂外第二层排水洞渗流量过程线图

裂隙向上延伸至山体覆盖层(315 变电所边坡外侧),验证了堵头渗水主要因泄洪雾化雨形成的地面流通过裂隙大量下渗引起,当封堵体之间空腔积水达到一定高度时,由于封堵体透水性较强,同时向临厂房侧和临江侧呈压力状喷射。

加固处理措施:

1) 拆除临厂房侧原第一道堵头,新设堵头至裂隙内侧1m处(围岩较为完整,稳定性较好),新设堵头考虑防渗要求和极限工况尾水千年一遇校核设计标准,对应尾水位为229.40m,根据渗透稳定公式法^[1], $L \geq H/i$, i 为水力梯度,按照水工隧洞封堵混凝土的水力梯度最大控制在8以内,结合已建水利工程混凝土渗透试验和各类工程施工经验, i 取值6,计算堵头长度为2.23m,最后定为3m;考虑新设封堵部位原洞室未采用衬砌支护,封堵体临江侧先浇筑2m后,沿环向设置橡胶止水后,再浇筑3m堵头,并埋设回填灌浆管进行回填灌浆;临江侧新设堵头与山体结合面有少量渗水,采用水溶性聚氨酯进行灌浆封闭处理;

2) 对原临江侧2处堵头左侧墙脚开挖形成1~1.5m圆形孔洞,并对底板混凝土向临江侧进行硬化找坡,将裂隙渗水快速引排至下游河道;

3) 对裂隙进行测量放样至地表,对地表及其附近相关区域采用混凝土硬化封闭处理,尽可能减少泄洪雾化雨地面流下渗水量。

4 结语

通过对水布垭厂房外第二层排水洞帷幕灌浆廊道江边支洞封堵部位渗水原因的综合排查,并结合监测数据分析,查找到渗水主要原因,建设尾期末按设计要求进行封堵,且封堵段存在狭缝状岩溶裂隙延伸至山

体表面,遇强降雨及泄洪工况导致大量雨水反渗至封堵体间空腔,空腔内积水沿封堵体与岩壁结合缝隙渗入施工支洞。根据上述结论,采用山体裂隙地表封闭、堵头拆除后补强加固等综合处理措施,实施完成后,经主汛期连续强降雨工况检验,山体贯穿裂隙渗水明显减少,新封堵部位临江侧洞身底板无明显积水,堵头渗水问题得到有效解决。

5 建议

1) 工程建设阶段,地下洞室封堵处理一般不属于主体工程,很多部位应临时防汛度汛要求,仅为临时封堵处理措施,同时作为尾工项目施工管理较为薄弱,未得到重视;工程运行初期,应对所有地下洞室封堵体进行全面排查,重点检查强降雨和泄洪工况下封堵体渗水情况,必要时依据原设计要求进行检测复核;

2) 要实施水电站“建管结合,无缝交接”模式^[2]。运行管理人员要全方位全过程参与工程建设,深入了解设计、施工等情况,尤其是尾工处理情况,要有针对性地提出有利于运行管理的设计要求和整改要求;

3) 汛期尤其是极端降雨或泄洪工况下要加大检查力度,结合工程出现情况,进一步复核和检验已采取的各项措施的有效性,避免出现重大电力生产安全事故;

4) 水电站地下厂房出现渗水的原因,要围绕厂房外部山体“主动防渗”和厂房排水系统“被动防渗”相结合的思路,有针对性提出渗水处理措施。

参考文献:

- [1] 能肖文,程秀菊,刘玉玲.水工隧洞封堵体长度的确定方法[J].江西电力,2006,30(4):21-23
- [2] 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

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.011

提高风机基础环锚固性能的措施研究

周敏, 谭争光, 陈加兴, 吴继亮

(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: 风机基础环锚固性能的好坏直接影响着风机的安全运行。结合实际工程的探讨表明, 增加基础环埋置深度和下法兰宽度以及加强基础环构造措施对基础环的锚固性能有显著提高, 增加基础环穿孔钢筋数量、提高混凝土施工质量和做好基础密封防水措施也有利于提高基础环的锚固性能。

关键词: 风机; 基础环; 风机基础; 锚固性能

中图分类号: TU37 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)04-0039-04

Measures to Improve the Anchorage Performance of Foundation Rings of Wind Turbines

ZHOU Min, TAN Zhengguang, CHEN Jiaying, WU Jiliang

(Powerchina Zhongnan Engineering Co., Ltd., Changsha 410014, China)

Abstract: The anchorage performance of the foundation ring will directly affect the safe operation of wind turbines. Analysis of practical engineering projects show that the anchorage performance of the foundation ring can be significantly improved by increasing its embedding depth and the width of the lower flange, and strengthening the foundation ring structure. Also, increasing the number of the perforated steel bars in the foundation ring, improving the concrete construction quality and adopting effective seal and waterproof measures in the foundation are also helpful to improve the anchorage performance of the foundation ring.

Key words: wind turbine; foundation ring; wind turbine foundation; anchorage performance

在我国清洁能源政策指引下, 风电行业发展迅速, 据有关数据统计, 目前我国的风电装机规模世界第一。在风电场的建设和运行过程中, 风机基础事故时有发生, 其中风机基础环锚固出现问题最多, 主要表现为风机基础冒灰冒浆、台柱裂缝以及穿孔钢筋被剪断等问题, 如图 1 及图 2 所示, 基础环锚固欠佳致使风机处于不安全运行状态, 严重时会导致风机停机。近年来基础环锚固出现问题的风力发电机组有逐年上升的趋势, 而风机停机和基础加固给建设单位造成了较大的经济损失, 带来了不良的社会影响。因此, 对提高风机基础环锚固性能的措施进行研究非常必要, 对风机基础设计具有指导意义。

1 基础环的锚固机理

风力发电机组为高耸结构, 轮毂高度一般为 80 ~

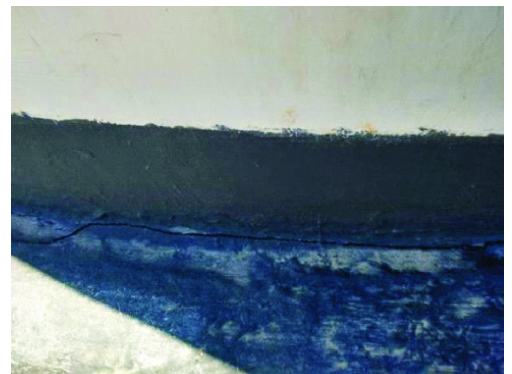


图 1 风机基础冒灰冒浆图

120 m, 塔筒本身承受巨大的弯矩作用和疲劳荷载, 且荷载具有多变性、反复性及复杂性。塔筒与基础的连接设计至关重要, 基础环作为连接上部结构和下部基础的重要组成部分, 是风机基础的核心构件, 由上、下

收稿日期: 2019-02-10

作者简介: 周敏, 男, 工程师, 主要从事风电及太阳能结构设计方面的研究。

课题项目: 陆上风机基础混凝土缺陷结构分析及加固方案研究(YFHT-1829)。



图2 台柱混凝土压碎、裂缝图

法兰和中部钢筒组成,筒壁有椭圆形的孔,用于穿孔钢筋的放置,如图3所示。

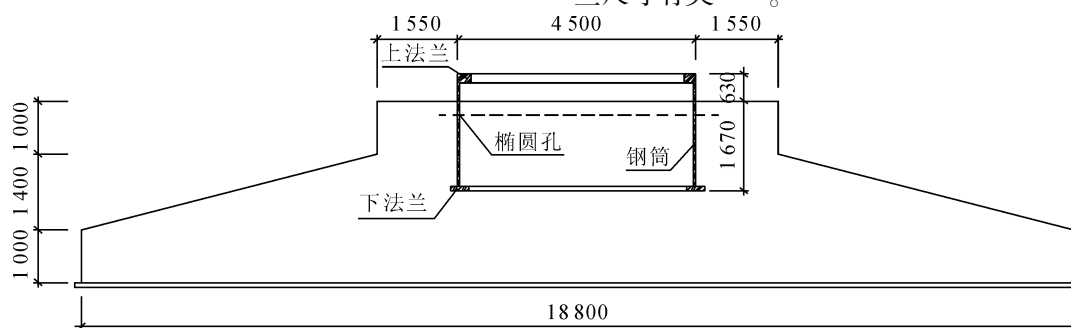


图3 风机基础剖面图(单位:mm)

2 提高基础环锚固性能的措施

影响基础环与混凝土之间锚固性能的因素较多,主要包括基础环埋置深度、基础环下法兰尺寸、基础混凝土强度、基础环穿孔钢筋的配置和基础密封防水等。针对影响基础环与混凝土锚固性能的主要因素,以下结合实际风电场对提高风机基础环锚固性能的主要措施进行探讨。

2.1 增加基础环埋置深度

国内已建成陆上风力发电单机容量 2.0 MW 的机组,轮毂高度一般为 80~100 m,基础环外径一般在 4.2~4.6 m 之间,本文统计了已经投产运行的 86 个陆上风电场风机的基础环埋置深度,如图 4 所示。

由图 4 可知,基础环埋置深度一般在 1.3~2.0 m 之间,平均埋置深度约 1.8 m。我国中南部某陆上风电场,单机容量为 2.0 MW,基础环原设计总高度为 1.8 m,基础环埋入混凝土深度仅为 1.35 m,如图 5 所示,基础环埋置深度仅为规范所要求锚固深度的 1/5,且远低于基础环的平均埋置深度 1.8 m。经过分析,基础环埋置深度偏小,存在锚固失效的风险。经过与厂家沟通,修改了基础环尺寸,将基础环高度增加到

在风机基础结构中,基础环是钢环,和混凝土的材料性质截然不同,基础环和混凝土通过锚固作用协同工作、共同受力。基础环主要通过锚固作用固定于钢筋混凝土基础中,基础环侧壁光滑,下法兰为锚固端,基础环周边混凝土配置有多种形式的钢筋,起到约束、抗拔、抗冲切及抗拉的效果,同时基础环还配有径向的穿孔钢筋。根据基础环的构造特点,基础环的锚固承载力主要由基础环与混凝土的粘结作用、基础环侧壁混凝土的抗力、基础环下法兰的抗剪力和穿孔钢筋的作用力四部分提供。基础环与混凝土的粘结作用、侧壁混凝土的抗力主要与混凝土强度等级、基础环埋置深度等有关,基础环下法兰的抗剪承载力主要与下法兰尺寸有关^[1-3]。

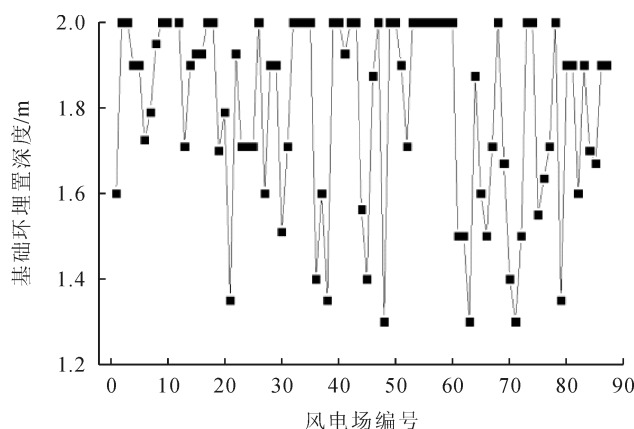


图4 国内已建成的陆上风电场基础环埋置深度图(单位:m) 2.0 m,基础环埋入混凝土深度增加到 1.55 m,如图 6 所示。

由图 5 及图 6 可知,基础环埋置深度由 1.35 m 增加到了 1.55 m,单个基础环的重量增加 1.1 t,直接费用增加不到 1 万元,通过增加基础环埋置深度,可增加了基础环与混凝土的粘结力、混凝土侧壁抗力,减小穿孔钢筋的应力,改善了基础下法兰处应力集中问题^[4],根据计算结果,基础环埋置深度增加 0.2 m,混凝土侧壁提供的抗力增加约 60%,可较大提高基础环的锚固性能,降低了基础环锚固出现问题的风险。根

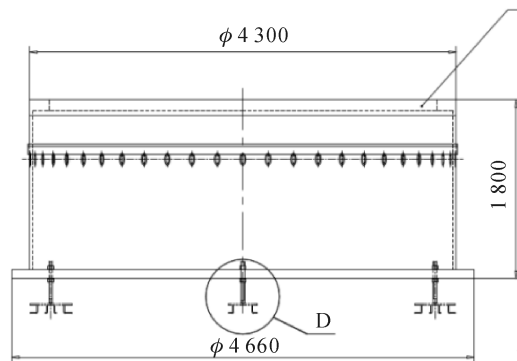


图5 原基础环高度图(单位:mm)

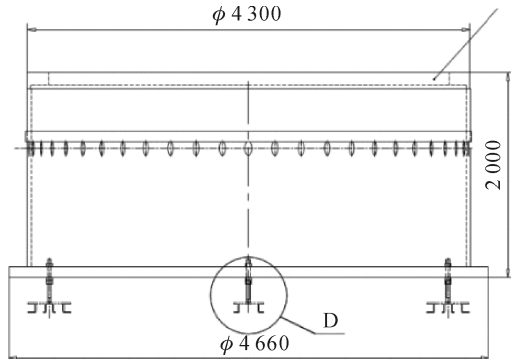


图6 基础环加高后尺寸图(单位:mm)

据相关数据,仅对基础冒灰、冒浆进行灌浆处理,灌浆处理费用每台约8万元,若基础出现更为严重的破坏,如混凝土低强,那应对基础进行加固设计,加固单台风机基础费用约25万元,在对基础进行灌浆和处理过程中,造成了风电机组的停机损失,单台2 MW的机组每天发电损失约0.7万元。综上所述,基础环高度适当增加,在费用增加较少的前提下,较大地提高基础环的锚固性能,同时避免了因基础环锚固出现问题造成的较大经济损失。

2.2 增加基础环下法兰尺寸

因加工制作、运输条件、重量、成本等因素的限制,基础环一般不宜过高,基础环高度在1.8~2.5 m之间,埋入混凝土的锚固深度为1.3~2.0 m,风机基础环锚入混凝土的深度仅为规范要求锚固深度的1/5~1/3,远低于规范值^[5],因此,仅依靠埋置深度来提供锚固力是不够的,大部分锚固承载力需要依靠基础环下法兰的锚固力来提供。陆上单机容量为2.0 MW的风力发电机组基础环的下法兰宽度一般位于220~400 mm之间,增加下法兰宽度,能够降低基础环穿孔钢筋的峰值应力,明显减小下法兰处混凝土的应力,有效缓解局部混凝土应力集中现象。基础环下法兰宽度对基础环的拉拔承载力有较大提高,增加基础环下法兰宽度能够显著提高基础环的锚固性能^[6]。

我国中部地区某风电场基础环下法兰原设计宽度仅为277 mm,如图7所示,经过复核,基础环下法兰处局部压应力过大,超出混凝土抗压强度设计值,与厂家进行沟通后,将基础环下法兰宽度修改为327 mm,如图8所示。

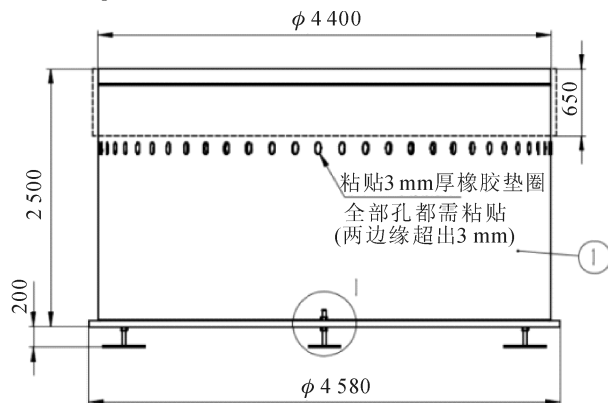


图7 原基础环下法兰尺寸图(单位:mm)

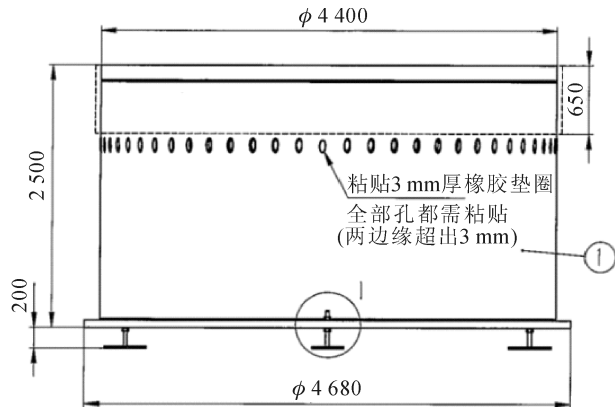


图8 基础环下法兰加宽后尺寸图(单位:mm)

由图7及图8可知,基础环下法兰宽度由277 mm增加到了327 mm,单个基础环的重量增加0.6 t,直接费用增加约0.54万元,通过增加基础环下法兰宽度,基础环下法兰处局部压应力明显减小,提高了基础环的拉拔承载力,基础环的锚固性能得到较大提高^[4]。根据计算结果,基础环下法兰宽度增加50 mm,基础环的极限抗弯承载能力提高约20%,由此可见,适当增加基础环下法兰宽度,可在直接费用增加较少的前提下,较明显地提高基础环的锚固性能。

2.3 加强基础环构造措施

基础环高度一般在1.8~2.5 m之间,基础环本身的高度由于多方面因素的限制而无法进一步加高,为了提高基础环的锚固性能,可考虑在基础环上焊接多排多列栓钉或横向、竖向加劲肋,在基础环下法兰上焊接锚筋等构造措施,如图9及图10所示,这样既可提高钢与混凝土的摩擦系数,加强基础环与混凝土的粘结

作用,又可提高基础环自身刚度,基础环刚度的提高能减小基础环与基础的脱开变形,增大接触面积,从而提高基础环与混凝土之间的锚固性能。

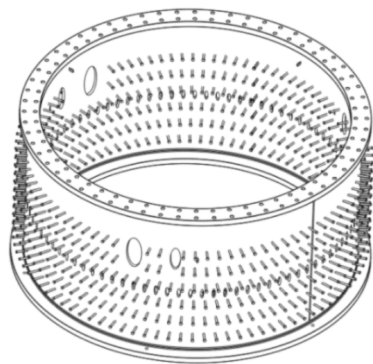


图9 基础环壁焊接栓钉图

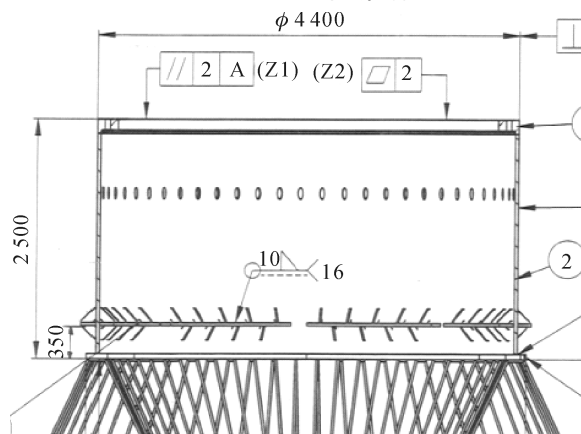


图10 基础环壁焊接加劲肋及下法兰焊接锚筋图

在基础环高度受限的情况下,通过在基础环侧壁焊接栓钉、加劲肋以及在基础环下法兰上焊接锚筋等构造措施,能够切实提高基础环与混凝土的锚固性能。

2.4 设置双层穿孔钢筋

基础环穿孔钢筋能够提供抗剪力,对基础环有一定的约束作用,基础环锚固承载力很重要的一部分是由基础环穿孔钢筋提供,研究表明,穿孔钢筋数量增加,穿孔钢筋的最大应力显著降低,对基础环孔洞附近的混凝土应力也有一定的改善^[7]。

目前国内风机基础环侧壁一般采用开单排孔,160 mm × 85 mm 椭圆形孔均匀布置,共60个孔,如图11所示。穿孔钢筋一般采用直径28 mm 或者32 mm 的三级钢,逐孔进行布置,单孔一般布置两根穿孔钢筋。由于加工制作、运输等条件的限制,基础环的外径一般不超过4.6 m,单排开孔的数量被限制,因此穿孔钢筋的数量也被限制。为了增加基础环穿孔钢筋的数量,可考虑在基础环侧壁开2排椭圆孔,如图12所示,从而大大增加基础环穿孔钢筋的数量。

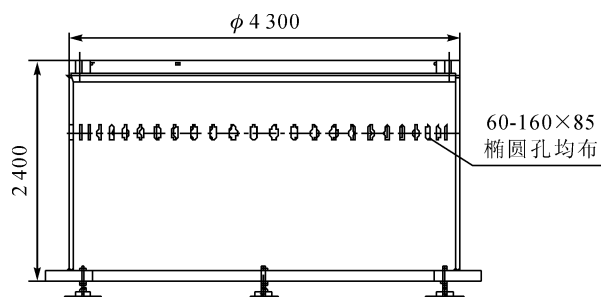


图11 基础环壁开单排孔图

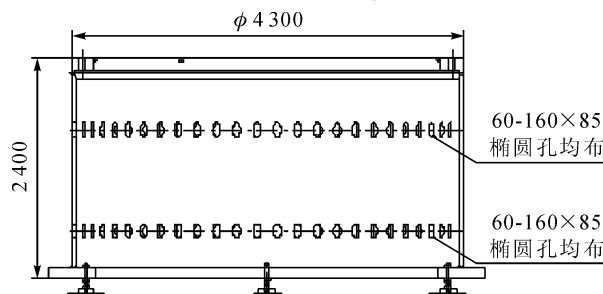


图12 基础环壁开双排孔图

在基础环外径尺寸受限的情况下,通过在基础环侧壁开2排均布的椭圆形孔洞,能够大大增加基础环穿孔钢筋的数量,从而提高穿孔钢筋对基础环的约束作用,改善基础环与混凝土的锚固性能。

2.5 其他措施

通过对国内多个风机基础环锚固出问题的风电场调查发现:各风电场普遍存在风机基础混凝土强度达不到设计值的情况,有的基础混凝土强度甚至低于C15;各风电场风机基础防水密封材料均有不同程度的损坏,部分已完全脱落。风机基础混凝土强度设计值一般为C35或C40,混凝土强度是基础结构承受荷载的基础,也是提供混凝土与钢筋粘结力的保证,若混凝土强度达不到设计要求,势必减小混凝土对基础环和穿孔钢筋的握裹力,减小混凝土与基础环之间的摩擦力,从而影响基础环的锚固性能。基础防水密封失效后,雨水就会沿着基础环与混凝土之间的缝隙进入基础混凝土内部,在风机荷载的反复作用下,基础环与混凝土之间的粘结摩擦力逐渐丧失,混凝土强度和耐久性降低,导致基础冒灰冒浆等问题,锚固性能大打折扣^[8]。因此,风机基础施工过程中,应严格控制混凝土浇筑质量,确保混凝土强度达到设计要求,同时应采取持久耐用、有弹性、耐紫外线辐射的密封防水材料进行密封,严格按照相关要求做好基础密封防水,提高混凝土施工质量和做好基础密封防水措施有利于提高基础环的锚固性能。

(下转第61页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.012

无浮托引张线在葛洲坝大坝变形监测中的应用

赵振军,涂圆圆

(中国长江电力股份有限公司,湖北宜昌 443002)

摘要:基于无浮托引张线的工作原理,分析葛洲坝无浮托引张线自动化监测系统运行监测资料,并与传统人工观测数据以及步进电机式、电容式引张线系统进行对比分析表明,无浮托引张线自动化监测系统自动化程度高、系统运行可靠性高、测值精度高,能更真实反映大坝变形。

关键词:变形监测;无浮托;引张线;葛洲坝

中图分类号:TV698.1

文献标志码:B

文章编号:1671-3354(2020)04-0043-05

Application of the Non-floating Tension Wire Alignment Method in Deformation Monitoring of Gezhouba Dam

ZHAO Zhenjun, TU Yuanyuan

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

Abstract: The application of the non-floating tension wire alignment method in deformation monitoring of Gezhouba Dam is introduced. After an introduction of the working principles of the non-floating tension wire alignment method, the performance of the automatic deformation monitoring system with the non-floating tension wires in Gezhouba Dam is analyzed and compared with the traditional manual observation method, and the stepping motor type and capacitor type tension wire systems. The results show that the automatic deformation monitoring system with non-floating tension wires is of advantages such as high degree of automation, high operation reliability and high accuracy of measurement, which can reflect the deformation of the dam exactly.

Key words: deformation monitoring; non-floating; tension wire alignment; Gezhouba Dam

变形是大坝结构性状和安全状态最直观、最有效的反映,是大坝安全监测的主要内容之一^[1]。引张线法是大坝变形监测的主要方法之一,传统引张线采用钢丝,受钢丝线体重量影响产生较大垂度,中间需布置浮托装置,称为浮托引张线法。这种方法需要人工补充浮液和调整线体高度,且线体易受浮液的黏性影响,线体灵敏度和测值精度不高。随着CFRP、DPRP等轻质高强新型复合材料的发展和應用,使无浮托引张线监测技术成为可能^[2]。无浮托引张线技术即是采用新型复合材料线体作为引线线体,因线体质量较轻,因而可取消中间的浮托装置。

葛洲坝大坝共布置了15条引张线、266个测点、总长4460多米。初期由于技术原因,引张线观测采

用人工目视直读钢板尺进行观测,上世纪90年代中期开始对葛洲坝引张线逐步实施自动化改造。1994年,应用步进电机式引张线仪对EX14引张线进行了自动化改造;2002年,应用电容式引张线仪对EX13引张线进行了自动化改造;2003年至2009年,应用无浮托引张线及CCD光电式坐标仪对EX31、EX28、EXC、EX30、EX01、EX09、EX10、EX17共8条引张线进行了自动化改造^[3]。

1 无浮托引张线原理

1.1 无浮托引张线悬链方程

图1为无浮托引张线示意图,设左右两端挂锤重量分别为 M_1 和 M_2 ,线体单位长度重量为 q , L 为引张

收稿日期:2019-09-20

作者简介:赵振军,男,工程师,主要从事大坝安全监测方面的工作。

线长度,即两端点间水平距离(跨度), f_1 、 f_2 分别为左右端点线体的垂度,则理论推导表明,引张线长度 L 与挂锤重量 M_1 和 M_2 、线体单位长度重量 q 以及线体最

大垂度 f_1 和 f_2 具有如下关系表达式,这也是无浮托引张线设计时使用的主要公式^[4-5]。

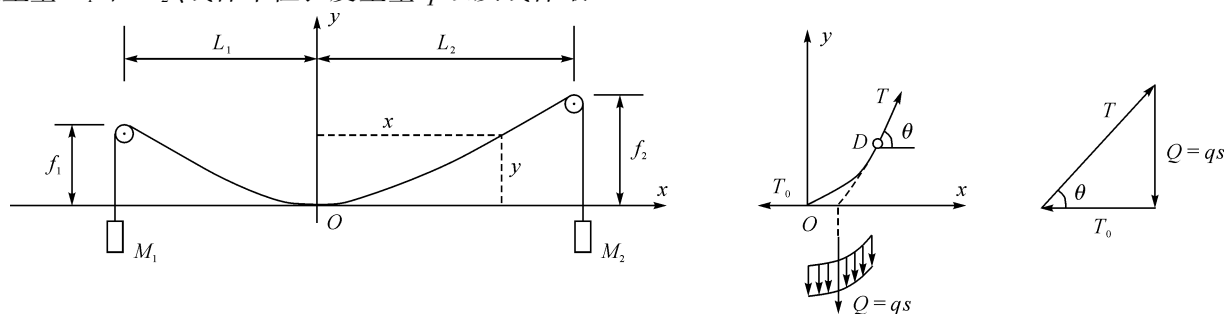


图1 无浮托引张线受力示意图

$$L = \frac{M_1 - qf_1}{q} \left\{ \operatorname{arcosh} \left(\frac{qf_1}{M_1 - qf_1} + 1 \right) + \operatorname{arcosh} \left(\frac{q(f_1 + \Delta h)}{M_1 - qf_1} + 1 \right) \right\}$$

$$L = \frac{M_2 - qf_2}{q} \left\{ \operatorname{arcosh} \left(\frac{q(f_2 - \Delta h)}{M_2 - qf_2} + 1 \right) + \operatorname{arcosh} \left(\frac{qf_2}{M_2 - qf_2} + 1 \right) \right\}$$

若两端点位置高程相同,且挂锤重量 $M_1 = M_2 = M$,则有 $f_1 = f_2 = f$, $L_1 = L_2 = L/2$,于是上式可表示为

$$L = \frac{2(M - qf)}{q} \operatorname{arcosh} \left(\frac{qf}{M - qf} + 1 \right)$$

1.2 线体最大垂度与挂锤重量的关系及计算方法

引张线常用来监测坝体同一水平截面上的水平位移,如果引张线的垂度过大,监测不到同一高程上的位移,也无法在有限空间的廊道内安装。线体最大垂度是设计无浮托引张线的一个重要指标。

无浮托引张线采用 DPRP 复合材料线做线体,根据相关计算公式,引张线的长度 L 可超过 500 m。因此,只要大坝廊道侧壁高度大于 1 m(考虑到引张线遥测仪、保护箱等设备所需空间),是可以实现 500 m 超长无浮托引张线系统的。

1.3 线体受拉变形的影响

DPRP 复合材料线体 DPRP 具有质量轻(比重 1.5 g/cm^3)、抗拉强度高、线膨胀系数小(小于 $1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)等特点。根据相关公式,可计算得拉变形后线体的最大垂度值 $f = 0.610 \text{ m}$,不考虑变形时, $f = 0.614 \text{ m}$,只有 4 mm 的差别,因此对 $L \leq 500 \text{ m}$ 的引张线,采用 DPRP 复合材料作线体时,可以不考虑受拉变形对最大垂度值的影响^[4-5]。

2 葛洲坝大坝无浮托引张线自动化监测系统

2.1 运行监测资料分析

从 2001 年开始,在葛洲坝大坝研究采用无浮托引

张线对原有引张线进行自动化改造,葛洲坝大坝无浮托引张线的研究与应用,经历了由短到长、分期实施的过程。2003 年,建成长度为 168.13 m 的第 1 条无浮托引张线 EX31;在 EX31 引张线成功运行后,2005 年,建成长度为 287.52 m 的 EX28 无浮托引张线;2006 年,为研究长度超过 500 m 的无浮托引张线性能,在葛洲坝二江泄水闸护坦新建了 1 条长度为 509.34 m、5 个测点、悬链线垂径 332 mm 的 EX5 无浮托引张线试验线;2009 年,在葛洲坝大江电厂建立了长度为 507.22 m、14 个测点、悬链线垂径 391 mm 的 EX17N 无浮托引张线。至此,葛洲坝大坝已先后建立了长度 168.13 ~ 509.34 m、悬链线垂径为 50 ~ 391 mm 的 9 条无浮托引张线。引张线仪为 CCX02 - 2500 光电式(CCD)单向坐标仪,共 167 台,探测达到精度 0.02 mm。

选取二江电厂灌浆廊道 EX09 引张线,对更新改造后运行 5 年的监测数据进行分析。EX09 引张线于 2008 年 12 月实施无浮托引张线改造,EX09 引张线全长 258.1 m,共 20 个测点,每个机组段 3 个测点。取 1、4、7 号机组段的 EX0901、EX0909、EX0918 三个代表性测点进行分析,图 2 为测点 EX0901、EX0909、EX0918 测值过程线,由图 2 可以看出:

1)过程线平滑,规律性较强,无明显的突变和尖点测值;

2)水平位移主要受温度的影响,水平位移呈较明显的年周期性变化,温度升高向上游位移,温度降低向下游位移,坝体呈弹性变化,约有 1.5 月左右的滞后。

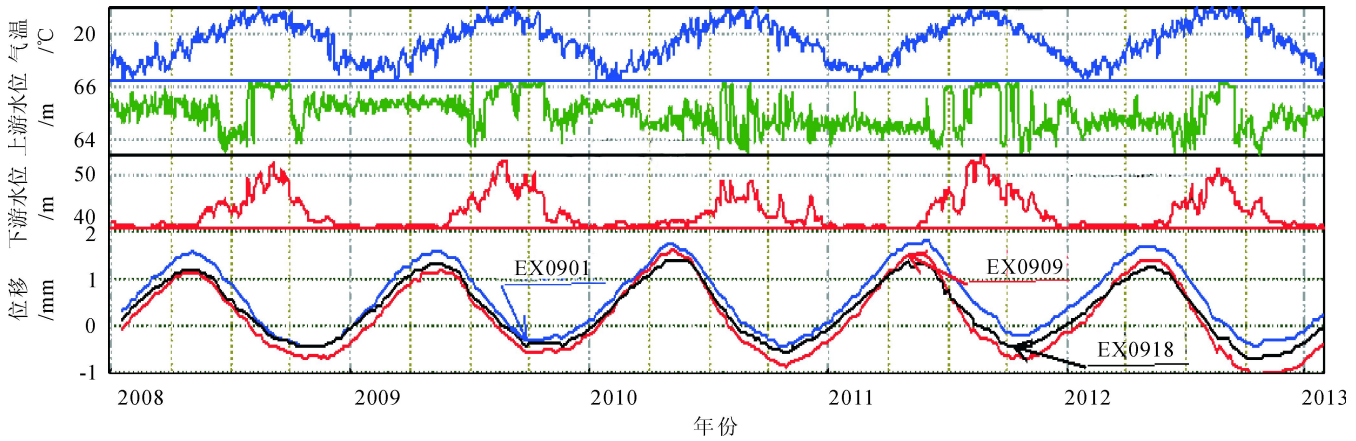


图2 无浮托引张线测点 EX0901、EX0909、EX0918 水平位移过程线

2.2 无浮托式引张线自动化监测系统与人工观测资料成果对比分析

将2000年以前的人工观测值和2009年实现无浮托式引张线改造之后的测值过程线和回归模型进行对比分析。图3为测点EX0901、EX0909、EX0918测值过程线,图4为EX0918人工观测值数据模型分析残差、拟合值和实测值过程线,图5为EX0918自动化观测值数据模型分析残差、拟合值和实测值过程线。

1)从过程线可知:在2009年实现无浮托式引张线改造后的监测成果相比,过程线更光滑,周期性规律更强,周期性的峰值和谷值明晰,表明无浮托式引张线自动化观测精度更高。

2)从模型结果可知:人工测值模型的标准差均比自动化测值大,复相关系数比自动化测值小。自动化测值模型的拟合值与实测值的拟合度比人工测值模型好,模型的残差也小。

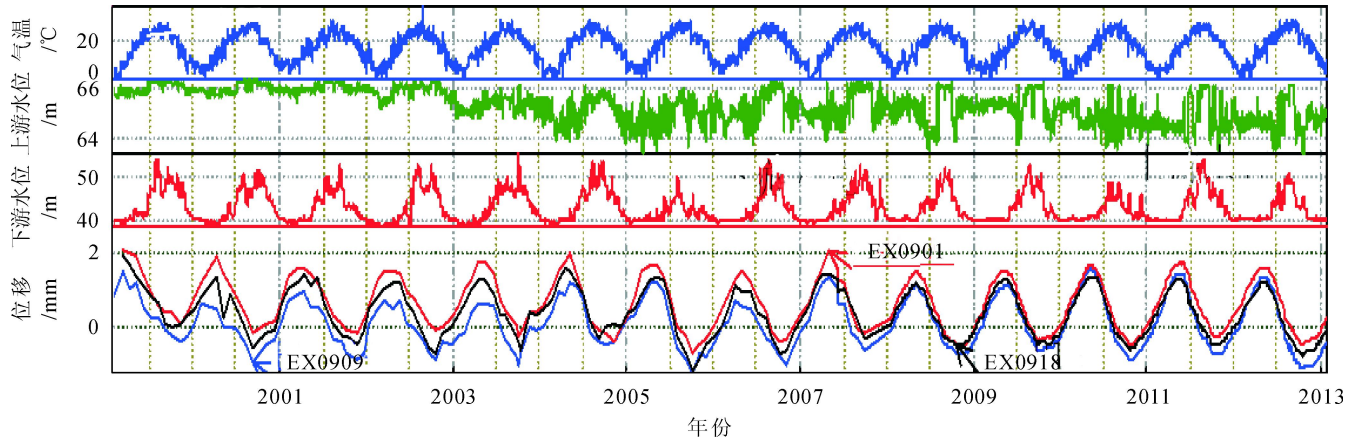


图3 测点 EX0901、EX0909、EX0918 水平位移过程线

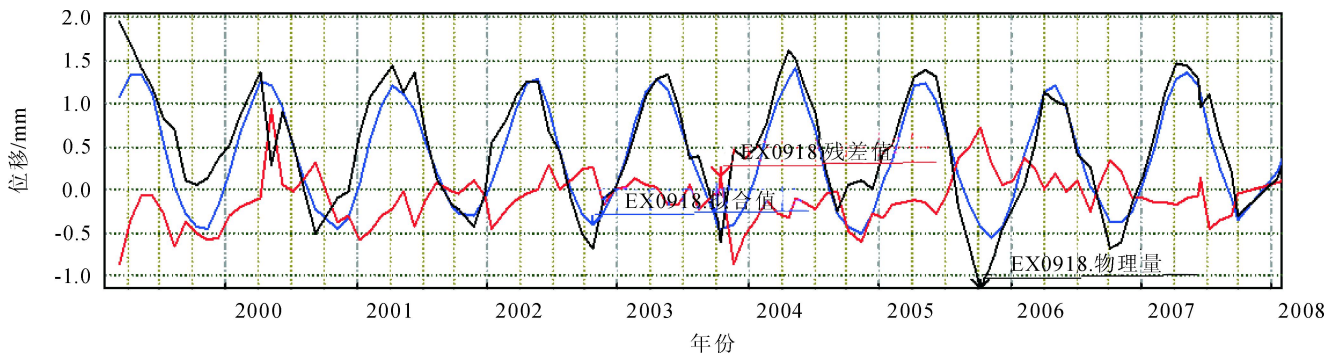


图4 EX0918 人工观测值数据模型分析残差、拟合值和实测值过程线

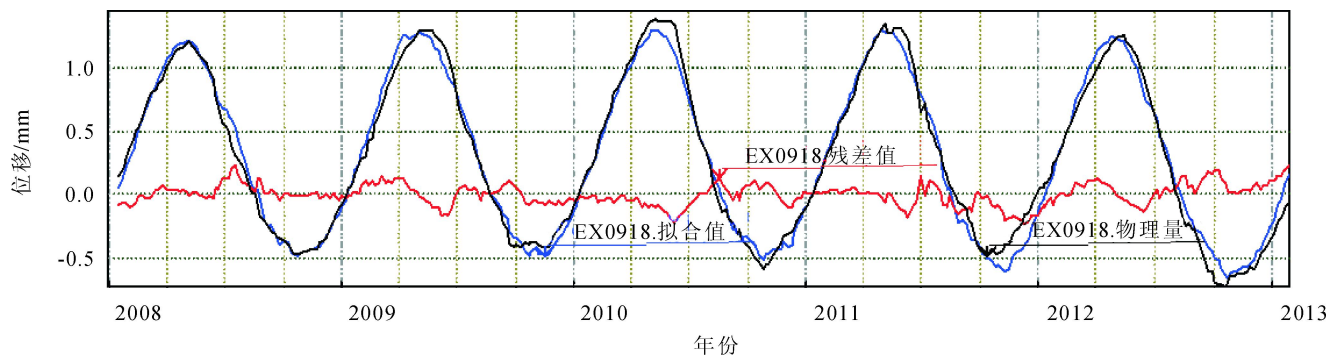


图5 EX0918 自动化观测值数据模型分析残差、拟合值和实测值过程线

2.3 无浮托式引张线系统与步进电机式、电容式引张线系统对比分析

EX14 引张线系统布置在二江泄水闸闸尾廊道内,自动化系统建于1994年,为步进电机式引张线仪。由于自动化仪器原生产厂家产品的更新换代,原有引张线仪、坐标仪及测控模块已停止生产,多数仪器设备无法运行,目前EX14引张线自动观测系统已停止运行,在2012年度改为人工观测。

年10月进行自动化改造,该系统采用电容式坐标仪和引张线仪进行测量,2003年开始取自动化测值,到2008年底发现多数仪器存在零位漂移和灵敏度漂移,采集的数据有问题,该系统于2009年停止运行,恢复人工观测。

图6为EX14引张线部分测点测值过程线,图7为EX13引张线部分测点测值过程线,将图2与图6、图7对比可知:无浮托引张线过程线平滑,周期性规律强,观测精度高,系统运行可靠。

EX13引张线位于二江泄水闸闸首廊道,于2001

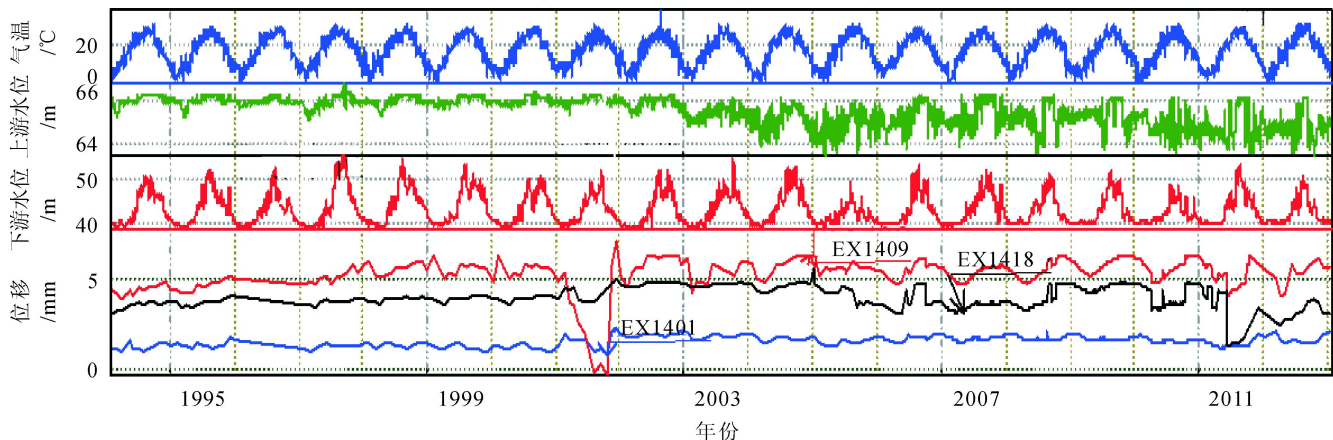


图6 EX14 引张线部分测点测值过程线

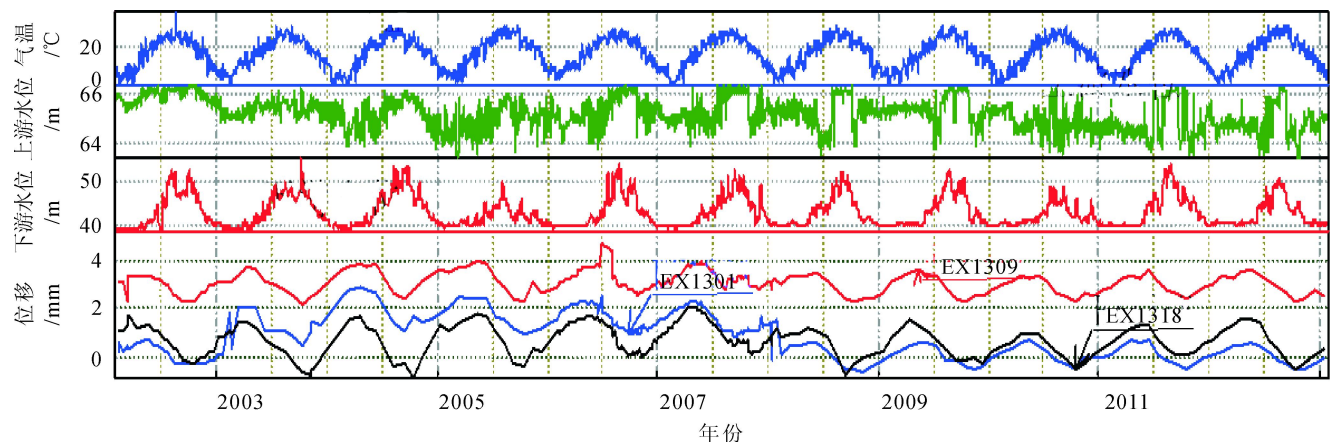


图7 EX13 引张线部分测点测值过程线

3 结语

1) 葛洲坝大坝无浮托引张线自动化监测系统从2003年建成的第一条无浮托引张线 EX31 运行至今,最长已运行近10年,最短也运行5年时间,运行期间系统稳定,数据采集及时,测值可靠,数据精度高,改变了传统引张线系统依靠人工观测、效率低、测值精度差、维护任务重等问题。

2) 与人工观测数据对比,无浮托引张线系统真实反映了葛洲坝大坝基础变形,大大提高了葛洲坝大坝引张线观测系统自动化程度,为及时了解大坝的运行性态和发展趋势,及时发现隐患,及时评估工程的安全状况和及时作出安全状况评价提供了可靠依据。

3) 葛洲坝大坝无浮托引张线自动化监测系统的实施和应用,为无浮托引张线系统的广泛应用积累了

(上接第34页)

点干系人,根据不同关系特点,采用有针对性的管理策略。

项目建设过程中,当地电力运营机构对于新能源项目接入电网趋于谨慎,接入政策调整频繁,电网接入试验和协调工作量陡增。管理团队将电网运营机构和线路运营商作为重点干系人,安排专人负责紧跟政策变化及时调整工作方向,并与电力运营机构办公室及时沟通接入重大问题。如期艰难实现了发电注册和并网发电目标。

澳大利亚劳工保护政策严格,且工会力量强大,处理不好工会关系会严重影响项目进展。项目管理团队按照当地法律法规要求进行职业健康设施配置、作息时间管理、劳动保护用品发放外,还与澳大利亚昆士兰工作安全委员会(WorkSafe)、澳大利亚电气工会(ETU)、澳大利亚电气安全委员会(ESO)保持定期沟通机制,邀请并接受工会的检查和监督,确保项目建设符合地方工会及行业组织的各项要求。

保持良好的社区关系并赢得地方议会的支持,对项目顺利建设有极大推进作用。项目成立专门管理团队维护负责公共关系,定期对工地附近社区的居民进行慰问及问卷调查,发放清洁能源宣传手册,沟通了解居民诉求及对项目态度变化情况。同时与地方议会议员保持定期沟通机制,确保建设过程中不受当地居民反对情绪的负面影响。

宝贵的实际运行经验,在大坝安全监测领域中具有良好的借鉴意义。

参考文献:

- [1]何金平. 大坝安全监测理论与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010
- [2]李秋炎,宫玉强,余斌. 葛洲坝水利枢纽安全监测中新技术的应用[J]. 水电自动化与大坝监测,2012,36(3): 50-53
- [3]周诗涛,赵建华,郑荣洲,等. 无浮托引张线自动化观测系统在葛洲坝水电站的应用[J]. 大坝与安全,2005(4): 35-38
- [4]鲁结根,赵建华. 500 m 无浮托引张线研究与应用[J]. 华东电力,2010,38(8): 1181-1184
- [5]朱伟宾,周严伟. 超长无浮托式引张线技术研究[J]. 水电能源科学,2007,25(1): 75-78

8 结语

本项目采用购买土地的方式来建设电站,由于澳大利亚对土地所有制的管理模式不同,类似能源项目获得土地使用权采用购买或者租赁模式需要经过经济对比分析来选择。本项目 EPC 承包商是澳大利亚排名靠前且具有多年丰富工程承包经验的上市公司,但当地建筑市场是充分竞争的,项目建设过程中 EPC 承包商因为经营亏损宣布破产,业主第一时间兑现了履约保函并启动应急预案,选择合适承包商继续推进工程建设,减少了损失,保证了建设工期可控和投资收益。类似境外项目工程建设过程中,要及时跟踪和掌握承包商的现金流和经营状况,并制订承包商破产应对应急预案。本项目自2017年12月开工建设,经过15个月的紧张有序施工,于2019年3月投产发电,目前电站安全生产运行平稳。

参考文献:

- [1]盖斐,李长菁,唐波. 国际风电工程管理模式探析[J]. 水电与新能源,2018,32(2): 1-4
- [2]李琳. 国际 EPC 水电站改造项目设备采购实施研究[J]. 水电与新能源,2018,32(7): 44-46
- [3]张斌,李玺桂. 光伏电站太阳能电池板及其组件安装施工[J]. 青海水力发电,2016(2): 47-49
- [4]陈志. EPC 总承包模式下的项目费用控制探讨[J]. 有色冶金设计与研究,2013,34(1): 46-48

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.013

轴流转桨式水轮发电机组增容改造分析及应用

时志能

(大唐水电科学技术研究院有限公司, 广西南宁 530007)

摘要: 针对某电厂轴流转桨式机组增容改造, 通过对其必要性、方案和范围、改造前后状态等分析表明, 经优化水轮机选型、改善汛期低水头段机组出力和效率等措施, 既提升了机组机械性能的稳定性, 又增加了电厂预期发电量, 经济效益显著。

关键词: 增容改造; 运行评价; 低水头段; 机械性能

中图分类号: TM312

文献标志码: B

文章编号: 1671-3354(2020)04-0048-04

Capacity Expansion Renovation of an Axial Flow Kaplan Hydro-turbine Generator Unit

SHI Zhineng

(Datang Hydropower Research Institute, Nanning 530007, China)

Abstract: The capacity expansion renovation of an axial flow Kaplan hydro-turbine generator unit is introduced, including the necessity, detailed scheme and scope of the renovation. Comparison of the states of the unit before and after the renovation shows that the measures of the optimized type selection of the hydro-turbine and improvement of the output and efficiency of the unit in the low head section in flood season not only improve the stability of the mechanical performance of the unit, but also increase the expected power generation of the power plant with remarkable economic benefits.

Key words: capacity expansion renovation; operation evaluation; low head section; mechanical property

某电厂是20世纪60年代兴建的大型低水头河床式电站, 主要由左岸开关站、左岸厂房、溢流坝、船闸等建筑物组成; 厂房内安装4台轴流转桨式水轮发电机组, 电站总装机为244.7 MW。3号机组于1975年投运, 至改造前已运行42年, 根据国能资质[2016]351号通知要求, 发电机组运行达到设计使用年限的, 应向地方能源机构申请延续运行或退役或延续运行。为了彻底解决机组性能恶化、申请延续发电许可运行问题, 迫切需要急于通过增容改造恢复3号机组的机械性能, 保证设备运行的安全性和可靠性。

水轮发电机组能否实现增容主要取决于水轮机, 而水轮机出力则受限于水轮机效率、工作水头、过机流量三个因素^[1-4]。一般情况下, 机组增容改造中项目的引水系统、蜗壳、尾水管、转轮直径等参数均难以改

变, 在保证机组稳定运行的前提下, 为了挖掘机组潜能, 轴流转桨式水轮机选型初期应特别重视低水头段机组的发电能力, 充分利用汛期流量, 从而提高水能的综合利用率。

1 增容改造的必要性

随着机组运行时间和上、下游其它水电站兴建等因素的变化, 3号机组主要存在以下问题:

1) 水轮机空蚀和裂纹问题突出。由于受设计水平和机械工艺的限制, 活动导叶、转轮、转轮室等过流部件空蚀严重, 年度检修需投入大量的人力、物力对空蚀部位进行补焊、打磨, 不仅降低了机组整体的运行效率, 也加剧了桨叶翼型等过流部件的破坏; 因桨叶未设置裙边, 桨叶和转轮室的间隙空蚀愈发较为严重。此

收稿日期: 2019-11-08

作者简介: 时志能, 男, 工程师, 主要从事水力机械设计及试验方面的工作。

外,由于水力条件及水轮机金属部件性能的变化,桨叶根部裂纹深度逐年增加,每年均需对桨叶根部裂纹进行刨除和补焊处理。

2) 发电机绝缘老化、电晕腐蚀严重。经运行四十余年,发电机绝缘老化和电晕腐蚀严重,定子铁芯出现大范围的锈蚀破坏,部分铁芯甚至出现断裂现象;日常消缺和维护工作量大,同时也存在较大的安全隐患。

3) 水轮机实际运行水头偏高,机组出力受阻。根据水文统计数据显示,电厂最大毛水头 18.88 m,年平均毛水头范围为 15.61 ~ 16.78 m,多年平均毛水头为 16.43 m,其中汛期毛水头范围为 13.67 ~ 15.87 m,多年平均汛期毛水头为 15.09 m;水轮机改造前其额定水头和效率较低,无法充分利用汛期的中、高水头段实现电量增发目标。

2 机组改造方案和范围

1) 1号机组于2004年进行增容改造,其额定水头由 14.3 m 提高至 15.5 m、额定转速从 62.5 r/min 提

至 71.4 r/min、额定容量从 57.2 MW 提高至 65 MW;虽然机组额定容量、稳定性及空化特性均优于改造前,但结合 2005 ~ 2017 年机组实际运行状况,因水轮机运行区域向高水头段偏移,机组在其汛期的发电能力却劣于改造前。

鉴于 1 号机组汛期出力受限的实际,通过优化 3 号机组水头、转速等参数,其改造方案参数对比见表 1。与技改前相比,方案 A 和方案 B 的模型转轮效率均有所提高,额定流量均有所减少。从电站整体运营来看,由于方案 A 转轮效率和年利用小时数的提高,其全厂多年平均发电量较技改前增加 0.256 9 亿 kW·h;虽然方案 B 的年利用小时数有所减少,但综合水轮机额定水头、额定流量、额定出力、效率等因素,其全厂多年平均发电量较技改前增加 0.270 8 亿 kW·h。由于方案 B 水轮机比转速较方案 A 高,且两个方案的机组总造价基本持平,因此,本次推荐采用方案 B 对机组进行增容改造。

表 1 机组增容改造方案参数对比表

项目	技改前	方案 A	方案 B
水轮机型号	ZZ560-LH-800	ZZ(A)-LH-800	ZZ(B)-LH-800
转轮直径/m	8.0	8.0	8.0
额定转速/(r·min ⁻¹)	62.5	62.5	68.2
额定水头/m	14.3	14.3	14.9
额定流量/(m ³ ·s ⁻¹)	495	478.7	487.2
水头运行范围/m	6.0~20.25	6.0~20.25	6.0~18.5
额定点效率/%	88.9	92.1	92.41
最高效率/%	92.0	94.7	94.87
发电机型号	SF60-96/13500	SF60-96/13500	SF62.5-88/13500
功率因素	0.85	0.85	0.85
额定出力/MVA	60.0	60.0	62.5
绝缘等级	B 级	F 级	F 级
多年平均发电量/(亿 kW·h)	10.418 8	10.675 7	10.689 6
年利用小时数/h	4 253	4 357	4 233
说明	2、3、4 号机组按 60 MW 改造	2、3、4 号机组按 60 MW 改造	2、3、4 号机组按 62.5 MW 改造

2) 3号机组段进水口至尾水管出口的流道参数予以保留,转轮直径维持8.0 m不变。

3) 在水轮机性能及机组结构强度满足设计要求的条件下,机组大轴、转子中心体、上机架等部件经无损检测和返厂加工后继续使用,水轮机更换范围包括:转轮(含桨叶和轮毂体)、导水机构(含底环、活动导叶、控制环、导叶操作机构、接力器)、水导轴承、主轴密封、受油器、顶盖、支持盖等;发电机更换范围包括:定子(含定子机座、铁芯、线棒)、转子(含转子支臂、磁轭、磁极、制动环)、下导轴承、空气冷却器、上短轴等。

3 机组改造后运行评价

3.1 出力分析

结合3号机组技改前、后的运行资料,其毛水头—

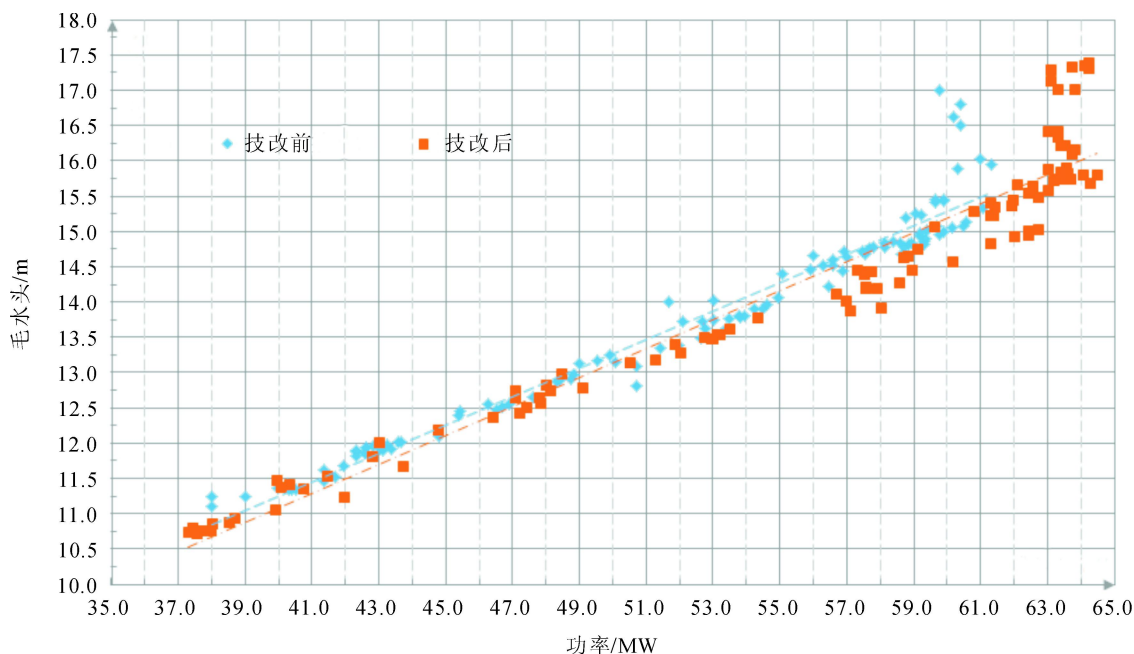


图1 增容改造前、后毛水头—最大出力对比图

3.2 机组稳定性分析

为了测试3号机组在常见水头下的稳定性状况,对机组进行了毛水头13.0、14.9、16.0、17.0、18.0 m的稳定性测试,毛水头16.0 m稳定性测试数据见表2,机组运行区域划分见图2。试验结果表明,机组对中状况良好,转动部分受质量不平衡力和电磁力影响较小;机组在各试验水头下的变负荷工况下相对稳定,除低负荷区部分工况的水导摆度略微超标外,其余工况上机架、下机架、顶盖部位的振动和大轴摆度峰峰值

最大出力工况点分布区域见图1。当电站毛水头大于15.5 m时,技改后机组达到额定出力62.5 MW;当汛期毛水头位于15.5~15.9 m时,机组仍具有较强的超发能力,有功负荷能够稳定在64.0 MW附近。从现阶段3号机组的实际出力来看,毛水头为10.7~15.5 m时,新机组的发电能力明显优于技改前,表明新机组能够更好地利用汛期流量,实现全厂汛期电量的增发目标。当水头大于17.0 m时,由于上游来水无法满足全厂四台机组满发的流量要求,部分机组处于停机或带部分负荷状态,机组容量大小对全厂发电量没有明显效果。

均满足规范要求^[5];推力轴承和各导轴承的瓦温、油温均在规范允许范围内。机组经增容改造后,低水头下的发电出力能力和稳定性均达到改造的预期目标。

4 结语

1) 由于轴流转桨式水电站库容较小,多数为日调节水库,在保证机组安全、稳定运行的前提下,水轮机进行技术改造应重点关注汛期低水头段的工作效率和发电出力能力,尽可能地的扩大低水头段的工作范围。

表2 毛水头 16.0 m 机组稳定性测试数据表

μm

工况	下导 - X 摆度	下导 - Y 摆度	水导 - X 摆度	水导 - Y 摆度	上机架 - X 水平	上机架 - Y 水平	上机架 - X 垂直	下机架 - X 水平	下机架 - X 垂直	下机架 - Y 垂直	定子机座 - X 水平	顶盖 - X 水平	顶盖 - Y 水平	顶盖 - X 垂直
标准值	420	420	255	255	110	110	80	110	80	80	120	90	90	110
42.0 r/min	75	78	136	139	12	15	13	11	19	19	6	7	11	10
48.0 r/min	79	83	139	139	11	15	13	11	24	24	7	7	12	10
55.6 r/min	80	85	144	140	12	15	14	11	26	26	7	7	13	12
60.5 r/min	80	89	155	157	12	15	13	12	26	27	6	9	14	17
68.2 r/min	91	92	151	153	11	14	21	12	24	25	7	10	16	15
50% Ue	110	114	152	147	10	13	25	13	44	42	11	10	14	11
60% Ue	112	111	159	156	10	14	18	14	35	40	13	9	14	11
70% Ue	107	109	162	147	11	16	23	14	31	32	18	10	14	12
80% Ue	111	120	158	148	10	13	16	13	30	29	21	8	14	11
90% Ue	118	131	147	158	12	14	17	14	29	31	23	9	14	10
100% Ue	116	118	156	157	12	15	22	13	31	32	24	10	13	13
5.0 MW	145	137	284	265	12	12	32	23	92	90	28	25	12	32
10.0 MW	189	164	252	231	11	14	24	25	73	74	31	36	12	31
15.0 MW	108	98	152	141	12	14	26	22	82	81	29	7	10	13
20.0 MW	108	97	147	135	10	10	22	17	54	54	26	5	11	11
25.0 MW	108	98	146	135	11	10	21	16	43	34	25	6	10	10
30.0 MW	108	97	146	136	10	11	21	16	41	37	25	7	10	11
35.0 MW	109	97	145	135	11	12	22	15	50	51	24	6	9	10
40.0 MW	108	98	144	133	11	11	27	15	48	49	24	8	11	10
45.0 MW	108	98	147	136	11	12	22	14	38	37	23	7	10	13
50.0 MW	109	99	148	138	10	11	20	15	30	29	23	8	10	17
55.0 MW	109	99	145	134	9	9	20	13	12	12	24	8	11	15
60.0 MW	109	100	145	134	10	9	17	13	13	13	22	10	10	14
62.5 MW	112	101	151	141	9	9	27	13	12	12	24	14	10	18

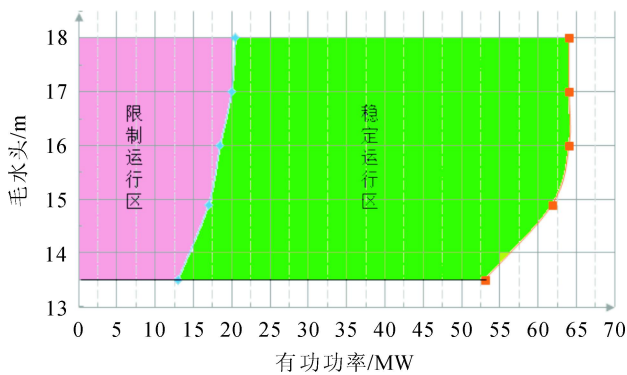


图2 增容改造后3号机组运行区域划分范围图

统、技术供水系统等参数是否满足要求,统筹资金管理,建议对不能满足新机组使用的辅助系统进行同步改造。

参考文献:

[1]李崇智,翟光耀.对港二期电站水轮机增效扩容改造研究与实践[J].中国农村水利水电,2018(6):182-184

[2]薛鹏,王鑫,田娅娟,等.中小水电站增效扩容改造的主要问题及解决方案[J].中国农村水利水电,2014(2):133-136,141

[3]王俊清.南门河水电站技改增容[J].中国农村水利水电,2012(8):150-151

[4]吴钢,朱子龙,赵金河,等.观音寺电站水轮机转轮改型设计的经验[J].中国农村水利水电,2000(10):50-52

[5]DL/T 507-2014,水轮发电机组启动试验规程[S]

2)根据现代水轮机设计和电厂中压油系统的实际情况,可考虑适当提高调速系统操作油压来缩小水轮机的轮毂比,从而提高机组的单位过机流量。

3)机组增容改造前应重点复核电气设备、调速系

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.014

龚嘴水电站水轮机过流部件抗磨蚀改造综述

李东

(国电大渡河检修安装有限公司,四川乐山 614900)

摘要:位于多泥沙河流大渡河上的龚嘴水电站始建于上世纪60年代,受当时国内材料与科技水平制约,水轮机过流部件抗磨蚀、锈蚀性能差,磨损严重且无法修复,严重影响安全运行和效益。在对水轮机改造扩容中,大部过流部件采用各种不锈钢新材料。以2号机为例,2008年4月份完成其水轮机相关过流部件改造更换后,经过10年的运行,转轮、顶盖、导叶等均未见明显磨蚀,表明改造后的水轮机过流部件整体抗磨蚀性能良好,满足设计要求。

关键词:龚嘴水电站;过流部件;磨蚀;改造

中图分类号:TK73

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)04-0052-05

Abrasion Resistance Renovation of Flow Passage Parts in Hydro-turbine Units in Gongzui Hydropower Station

LI Dong

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

Abstract: Gongzui Hydropower Station, located on Dadu River with excessive sediment, was built in the 1960s. Restricted by the material science and technology level at that time, the abrasion and corrosion resistance of the flow passage parts in hydro-turbine units are rather weak, resulting in serious and irreparable damage that seriously affect the safe operation and benefit of the station. Thus, abrasion resistance renovation is carried out on the flow passage parts during the capacity expansion work of the units. New stainless-steel material is adopted for most parts. Practice of more than 10 years of operation of the units after the renovation shows that no obvious abrasion is observed on the runner, cover and guide vanes, indicating that the overall abrasion resistance of the flow passage parts of the units after renovation is satisfactory and meets the design requirements.

Key words: Gongzui Hydropower Station; flow passage part; abrasion; renovation

龚嘴水电站位于四川省境内的大渡河下游,为坝后式径流电站,首台机组于1971年底并网发电,1978年12月全部投产运行,电站原装机为 7×100 MW,多年平均发电量34.18亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,年利用小时数4900 h,在系统中承担调峰调频和事故备用等任务。2002年11月至2012年4月,龚嘴水电站完成了7台机组的增容改造工程,总装机容量为 7×110 MW。大渡河为多泥沙河流,特别是汛期泥沙较多,根据1956~1964年实测泥沙资料(铜街子水文站),多年平均含沙量为 0.71 kg/m^3 ,最大日平均含沙量为

9.45 kg/m^3 ,因此,该电站从建设以来,水轮机过流部件的抗磨蚀问题就在安装、检修、改造及科研等各个阶段中存在,并不断地进行治理和改善中。

1 安装存在隐患多

龚嘴水电站机组为上世纪60年代产品,转轮、尾水管主要采用15锰钼钒铜(15MnMoVCu),顶盖用16锰钢(16Mn),活动导叶采用合金铸钢(ZG20MnSi),底环用铸钢(ZG35#),地面厂房1~4号机组蜗壳均采用15锰钼钒铜,1973年东方电机厂在制作地下厂房5~

收稿日期:2019-10-18

作者简介:李东,男,工程师,从事水电站检修与维护管理工作。

7 号机组蜗壳时,由于 15 锰钼钒铜高强度钢板性能不稳定,国内钢厂已停止生产不再接受订货,而采用了 15 锰钒等钢板,加厚一级使用。15 锰钼钒铜系当时新钢种,强度较高,但冲击韧性低(且不稳定),基本上处于脆性状态,止裂性和可焊性很差,在蜗壳、尾水管焊接过程中曾多次出现裂缝;15 锰钒等钢板在工地焊接过程中也曾多次出现裂缝,性能不稳定,发生严重延迟裂纹现象。因此,受当时国内的材料科技水平制约(不能进口),尽管做了很多研究,采用了不少当时的新技术和新材料,但龚嘴水电站水轮机过流部件所用材质仍然存在抗磨蚀、锈蚀性能较差,且性能不稳定,给接机后的运行管理、检修维护造成较大困难。

2 检修治理的难度大

龚嘴水电站水轮机过流部件受当时工艺水平的限制,流道型线差,表面光洁度低。大渡河流域汛期水质差,含沙量大,沙粒粗且硬度高,对水轮机过流部件表面造成明显的磨蚀破坏,特别是对水轮机叶片的磨蚀破坏速度较快。上世纪 90 年代,龚嘴水电站水轮机转轮叶片已明显变薄,强度降低,叶片边缘变成刀刃,局部磨蚀损坏(见图 1、图 2),甚至发生转轮泄水锥、止漏环脱落等严重威胁机组安全稳定运行的事故;蜗壳、座环、尾水管等也磨蚀特别严重,也多次出现空心固定导叶破裂穿水、尾水管锥管段裂纹漏水等险情(见图 3),每年检修必须对各机组进行大面积和局部用不锈钢焊条补焊和打磨处理(见图 4)。现场修复手段有限且工作量巨大,也不具备返厂修复条件,受损部件始终无法得到彻底修复。而且配件尺寸已远离设计状况,水轮机上下迷宫环间隙已由设计时的 2~2.45 mm 扩大到 10~15 mm,导叶端面间隙由设计的 0.32~0.85 mm 扩大到 5~8 mm,水轮机性能偏离设计值,效率由 88% 降至 86%。

3 改造治理效果好

为消除设备隐患,提高机组效率,龚站机组增容改造及过流部件抗磨蚀治理技术经济效益分析报告于上世纪 90 年代初就提上了议事日程。21 世纪初,龚嘴水电站机组增容改造工作稳步推进,先后于 2003 年和 2004 年完成了 1、5 号机增容改造,2006~2012 年度依



图 1 转轮叶片出水边严重磨蚀图



图 2 转轮叶片出水边局部裂纹并脱落图



图 3 尾水锥管裂纹处理图

次完成了 2、7、4、6、3 号机组增容改造,龚嘴水电站总装机容量由 70 MW 增加到 77 MW。采用新的水轮机及过流部件,一是降低了额定水头(老机组的额定水头为 48 m,新机组的额定水头为 44 m);二是利用最新科技成果进行水力学设计,新水轮机平均效率达 93%,较老机组大约提高了 7% 左右;三是新的转轮、顶盖、底环、活动导叶等过流部件均采用抗锈蚀耐磨蚀的不锈钢制造,极大的提高了运行可靠性和抗磨蚀性



图4 座环固定导叶补焊图

能,节约了检修成本,降低了检修强度和难度。

3.1 水轮机主要部件改造及优化过程

1)前期改造的1、5号机存在的问题及处理过程。龚嘴水电站最先改造的1、5号机主要采用加拿大GE公司设计产品。1、5号机运行两年后,水轮机顶盖上环板穿孔、止漏环和转轮上冠上平面磨蚀破坏严重(2005年汛期5号机顶盖多次出现沙眼穿水现象)(见图5、图6),组织国内水轮机方面的专家对机组顶盖穿孔现象进行分析研究讨论后,按专家组方案于2005~2006年度检修期对1、5号机顶盖进行改造处理,经后期运行检验,未能解决顶盖磨蚀严重的问题。2008年9月,5号机顶盖组合缝部位出现穿水现象,国电大渡河公司、检修公司结合龚嘴水电站1、5号机增容改造后的水轮机顶盖实际结构,提出了升高顶盖固定止漏环以减小射流速度、增大其沿程损失的处理方案,并在2008~2009年度检修中对1、5号机顶盖止漏环进行了加高改造(见图7)。经过多年的运行检验,1、5号机顶盖改造部位几乎未出现磨蚀现象,表明水轮机顶盖结构改造十分成功。

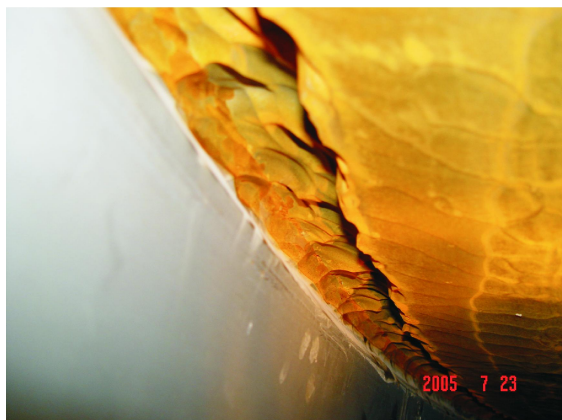


图5 顶盖磨蚀情况图(外观)



图6 转轮上冠上平面磨蚀情况图(外观)



图7 顶盖加高改造修配图

2)后续改造机组的结构优化设计。为克服水轮机磨蚀破坏,在后续机组改造中,国电大渡河检修安装有限公司认真总结龚嘴水电站1、5号机改造增容的经验,针对前期两台机组增容改造投运后出现顶盖与转轮磨蚀严重等问题,积极协调沟通,协助东方电气集团公司开展转轮换型(国产化)的相关试验和选型工作,从结构上重新设计,进行模型转轮试验,通过试验结果进行优化并最终确定水轮机型号(HLD443a-LJ-592.1);多次组织召开专题技术讨论会研究改进方案,与东方电气集团公司一起提出了一系列创新方案,在后续增容改造的2、3、4、6、7号机组上实施(文中以2号机为例),将转轮上冠加高到320mm,转轮止漏环与固定止漏环之间的间隙调为1.6~2.0m,以降低转轮止漏环出口流速,减小通过转轮止漏环进入转轮上冠的漏水量。转轮上冠上断面与顶盖之间距离由原GE公司设计的29mm加宽到45mm,转轮止漏环上方的顶盖上环板采用S135不锈钢板并改善顶盖上环板及固定止漏环的焊缝结构。同时转轮上冠加设引水挡板并浇筑混凝土,减小转轮上冠的空腔,以改善转轮上冠水流的流态,降低含泥沙水流对顶盖上环板的冲蚀破坏。转轮泄水孔排水面积与止漏环缝隙面积之比设计与老转轮相当。为减小埋入部分土建改造的工

作量,经过反复计算比较,将转轮下环外圆尺寸最终确定为 $\phi 6150$,并重新设计了基础环增改段。2 号机与老机组及转轮止漏系统性能参数对比详见表 1。

表 1 2 号机与老机组转轮止漏系统性能参数对比表

对比项目	2 号机	1、5 号机	老机组
止漏环高度 H/mm	320	185	460
止漏环单边间隙 δ/mm	1.6~2.0	1.2~1.57	2~2.45
与 HL702 速度比	1.018	1.112	1.0
射流速度 $V_m/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	10.65	11.71	10.46

3.2 其他主要先进技术与工艺的应用

1) 基础环改造与安装。龚嘴水电站水轮机增容改造采用的新转轮下环较原转轮下环下延 197 mm,故老机组的基础环将不能满足要求。为尽量减小埋入部分土建改造的工作量,重新设计了基础环增补段,老基础环需割去多余的法兰段,与组圆后的基础环增补段组焊。同时,由于龚嘴水电站原尾水锥管里衬材质为 15MnMoVCu 钢板,自上世纪 90 年代中期 7 台机组都陆续出现了尾水管里衬空蚀磨损穿孔、裂纹、掉块等重大缺陷,故基础环的改造结合尾水锥管直锥段更换一起进行。

2) 水轮机尾水锥管改造。尾水管原材质为 15MnMoVCu,现更换为力学性能较好的 321 不锈钢(1Cr18Ni9Ti),尾水管增加 210 mm 补偿节(现长度为 1 784 mm),钢板厚度也增加了 5 mm(现厚度为 30 mm),尾水管由原来的 4 瓣组焊改为三瓣焊接,减少了一条立焊缝,大大提高了尾水管的使用寿命和可靠性。新尾水管的安装、固定方式更加科学,研究应用尾水管环向和纵向布筋工艺进一步增加了尾水管强度,且受力更均匀,抗冲击和振动能力更强。

3.3 改造治理效果检验

龚嘴水电站水轮机过流部件改造主要包括更换转轮、顶盖、活动导叶、底环、尾水锥管等。转轮为整体结构,采用 ZG06Cr16Ni5Mo 不锈钢,取消嵌套止漏环结构,其下环较原转轮下延 197 mm;导叶为整铸 ZG06Cr16Ni5Mo 不锈钢导叶,顶盖及底环过流面上均设有 0cr189Ni 不锈钢板,顶盖固定止漏环为 1Cr18Ni9Ti。改造前后水轮机主要部件材质对比详见表 2。以 2 号机为例,2008 年 4 月份完成其水轮机相关过流部件改造更换后,设备经过 10 年的运行,转轮、顶盖、导叶等均未见明显磨蚀(见图 8,图 9),并经国电电科院进行水轮机转轮空蚀评定,结果良好,表明龚

嘴水电站改造后的水轮机过流部件整体抗磨蚀性能治理效果显著。

表 2 改造前后水轮机主要部件材质对比表

对比项目	改造前	改造后
转轮	20MnSi	ASTM A743(类似 ZG06Cr16Ni5Mo)
活动导叶	ZG20MnSi	马氏体不锈钢电渣熔铸导叶 (材质同转轮)
顶盖	16Mn	ASTM A516(类似国产 Q235,顶盖上装有不锈钢固定止漏环,过流面设有不锈钢抗磨层,圆弧过流面采用不锈钢堆焊)
底环 下固定 止漏环	ZG35# 15MnMoVCu	底环与下止漏环合二为一,材质为 Q235A/B,底环上止漏环为不锈钢,过流面设有不锈钢抗磨层,圆弧过流面采用不锈钢堆焊

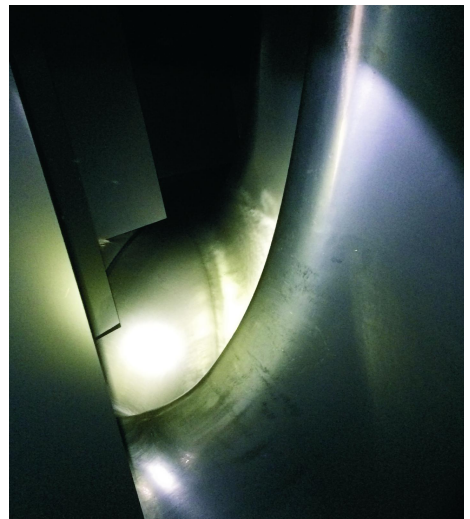


图 8 2 号机活动导叶及转轮叶片进水边图

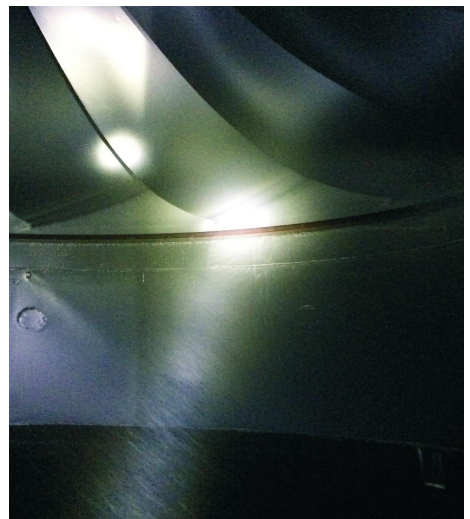


图 9 2 号机转轮叶片出水边及尾水锥管图

4 通过科研探索新思路

龚嘴水电站1~7号机组虽然完成了转轮、顶盖、活动导叶、底环、尾水锥管等水轮机相关过流部件的改造更换工程,但机组蜗壳、座环及固定导叶、尾水管等埋设部件因施工条件原因未进行改造更换,而蜗壳和固定导叶受当初材质和制造科技条件所限,一直存在抗磨蚀、锈蚀性能较差,且性能不稳定的重大隐患,经过40多年的运行,材质老化,强度降低,焊缝缺陷增加,每年都要进行大量的探伤检查、缺陷修复等工作才能保证设备的安全运行。另外,蜗壳和固定导叶因磨蚀变薄的问题也越来越引人重视,对此,国电大渡河检修安装有限公司积极探索新思路,不断应用新材料、新工艺来延长设备的安全使用寿命。2011年3月和4月,龚嘴水电站先后完成了4、6号机组的相关改造工程,并首次对蜗壳及空心固定导叶采用了表面涂抹环氧金刚砂抗磨层5~8 mm(见图10),这是一种主要应用在闸门流道上的抗磨材料,经过多年的运行检验,是有一定的防护效果的,运行到第8年才开始出现抗磨材料磨穿、脱落的现象(见图11)。国电大渡河检修安装有限公司在应用环氧金刚砂抗磨材料的同时,通过广泛调研,积极联系有关科研机构和院校,寻找新型的专门用于水轮机过流部件的金属抗磨材料和新工艺。2019年3月,利用龚嘴水电站1号机组A修时机,引进某科院复合树脂砂浆技术(复合树脂砂浆涂层由复合树脂、固化剂、硬金属粉、棕刚玉、耐水剂等组成,该涂层综合性能优,黏结力强,抗磨、抗空蚀性能优良,涂层厚度为4~10 mm),对1号机蜗壳和座环固定导叶进行抗磨修复试验(见图12、图13),效果待进一步验证。



图10 4号机空心固定导叶表面涂抹抗磨层后图



图11 4号机抗磨层运行8年后图

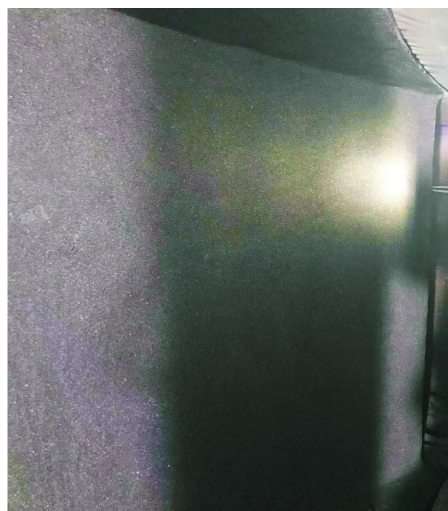


图12 1号机蜗壳包角处表面涂抹抗磨层后图



图13 1号机座环固定导叶表面涂抹抗磨层后图

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.015

辐射梁式风机基础设计与施工要点探讨

裴元义

(上海勘测设计研究院有限公司,上海 200335)

摘要: 风力发电正在全球范围内普及,辐射梁式基础是一种改良的重力式风力发电机基础,具备广阔的应用前景。由于辐射梁式基础尺寸的拟定、基础稳定计算、地基承载力计算、沉降计算、基础环抗拔验算、地基动态刚度验算以及基础疲劳验算等方面的计算方法与传统重力式基础并无差异,文章总结了结构强度及配筋计算方面和施工方面的重点事项。

关键词: 辐射梁式风机基础;设计与施工要点

中图分类号:TK81

文献标志码:A

文章编号:1671-3354(2020)04-0057-05

Key Points for the Design and Construction of Radiation Beam Wind Turbine Foundation

PEI Yuanyi

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

Abstract: Wind power is becoming popular all over the world. As an improved gravity-type wind turbine generator foundation, the radiation beam foundation is of a wide application prospect. As the calculation methods of the dimensions, stability, bearing capacity, settlement, uplift resistance, dynamic stiffness and fatigue of the radiation beam foundation are of no difference from those of traditional gravity-type foundation, key points of the structural strength and reinforcement calculation and the construction are summarized specifically.

Key words: radiation beam wind turbine foundation; key points of design and construction

风力发电作为清洁能源中应用较为成熟的一种发电技术,已经在世界范围内得到了大量的应用^[1-2]。风机基础作为风电机组的支撑结构,其安全稳定关系到风场的正常运行^[3],在风电场规划设计中显得越来越重要^[4]。圆形辐射梁式陆上风机基础作为一种经过优化的重力式基础,以其工程量少、造价低的优势而得到越来越广泛的应用。而目前针对此类基础的系统性研究还比较少。本文将对辐射梁式基础设计方面的重点和难点进行系统地分析,并对施工方面的要点进行探讨。

1 辐射梁式基础设计要点

基础是上部风机机组的支撑,由于风机机组高度一般在80 m左右,而直径只有约4 m,属于典型的高耸结构,所以合理的基础结构对风机机组的安全起着

决定性的作用,并且很大程度上影响工程的造价。辐射梁式基础结构外观类似于民用建筑中的筏板式基础,但受力情况与之又有很大的不同。基础不仅受到竖向荷载和水平荷载,还将长期受到上部结构传来的持续循环性倾覆力矩。辐射梁式基础结构图如图1。

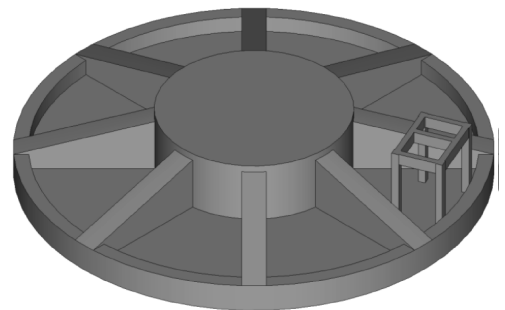


图1 辐射梁基础结构图

收稿日期:2019-09-27

作者简介:裴元义,男,工程师,从事陆上、海上风电结构设计、施工设计工作。

辐射梁式基础设计内容主要包括:基础尺寸的拟定、基础稳定计算、地基承载力计算、沉降计算、基础结构强度及配筋计算、裂缝验算、基础环抗拔验算、地基动态刚度验算以及基础疲劳验算等^[5]。辐射梁式基础是传统重力式基础的改良,所以在基础尺寸的拟定、基础稳定计算、地基承载力计算、沉降计算、基础环抗拔验算、地基动态刚度验算以及基础疲劳验算等方面的计算方法与传统重力式基础并无差异,而国内外学者已经对传统重力式基础的计算做过大量的研究和实践,所以本章将不再对上述方面具体分析,将重点介绍辐射梁式基础结构强度及配筋计算方面的设计要点。

辐射梁式基础结构可以分解为:基础中心圆台、八根主梁、外圈环形次梁、底板。其中圆台结构设计内容主要体现在基础环抗拔验算,计算内容同传统重力式基础相同,将不再赘述,故本节主要介绍主梁、次梁、底板的结构计算步骤及要点。

1.1 基底反力计算

结构计算的第一步是求解基底反力。本结构圆形基础的基底反力 p_{\max} 、 p_{\min} 应按照《高耸结构设计规范》GB50135 相关规定求解,若基底在控制工况下出现脱空,还应计算受压面积宽度 a_c ^[6]。由于辐射梁式基础上部有约2~3 m厚的覆土,故应用基底反力 p_{\max} 、 p_{\min} 减去上覆土和基础自重产生的压应力而得到基底净反力 $p_{j\max}$ 、 $p_{j\min}$,基底出现脱空时,受压面积宽度 a_c 偏安全考虑不因上覆土和基础自重产生的压应力而增长。

在控制工况作用下,基础一侧向上的基底反力达到最大,这一侧称为反力侧;基础另一侧基底反力达到最小甚至出现部分基础脱空,此时这一侧上覆土和基础自重压力将大于基底反力从而使基础这一侧受到向下的压力,这一侧称为压力侧。

1.2 主梁结构计算

主梁结构计算应在控制工况下,在最危险截面处计算主梁的顶部纵筋、底部纵筋、箍筋和腰筋,并验算主梁顶部和底部裂缝是否满足规范要求。

1.2.1 反力侧主梁配筋计算

控制工况下,反力侧主梁在正弯矩的作用下,底部纵筋将达到最大受力状态,应计算此时主梁底部纵筋配筋面积、箍筋面积、腰筋面积。

反力侧主梁受力主要为底板和次梁传递来的基底净反力,每根主梁所分配到的基底净反力受力区域应按图2所示的扇形阴影面积考虑(示意图中按基底在

控制工况下出现脱空作为示例说明)。

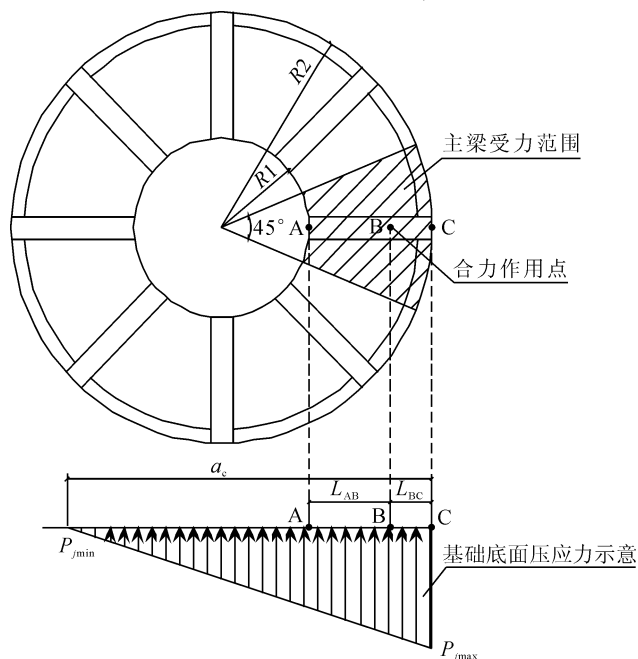


图2 反力侧主梁受力示意图

主梁属于线型变截面梁,A点处的梁高往往是C点处梁高的2~2.5倍,最危险截面应在主梁根部A点处。应用微积分对阴影部分求解可得出控制工况下A点处的弯矩和剪力。然后根据《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定,对A截面进行受剪截面验算、正截面受弯承载力计算、斜截面受剪承载力计算,从而得到主梁底部纵筋面积、主梁箍筋面积和腰筋面积。

1.2.2 压力侧主梁顶部配筋计算

控制工况下,压力侧主梁在负弯矩的作用下,顶部纵筋将达到最大受力状态,应计算此时主梁顶部纵筋配筋面积、箍筋面积、腰筋面积。

压力侧主梁受力主要为上覆土和自重压力和底板和次梁传递来的基底反力,偏安全考虑,不考虑基底反力的有利影响。每根主梁所分配到的压力区域应按图3所示的扇形阴影面积考虑。

此时主梁的最危险截面仍然应在主梁根部A点处。应用微积分对阴影部分求解可得出控制工况下A点处的弯矩和剪力。然后根据《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定,对A截面进行受剪截面验算、正截面受弯承载力计算、斜截面受剪承载力计算,从而得到顶部纵筋面积、箍筋面积和腰筋面积。

1.2.3 主梁配筋结果与尺寸调整

纵筋配筋结果:底部纵筋应按1.2.1中反力侧荷载模式下得到的底部纵筋面积取值,并验算主梁底部

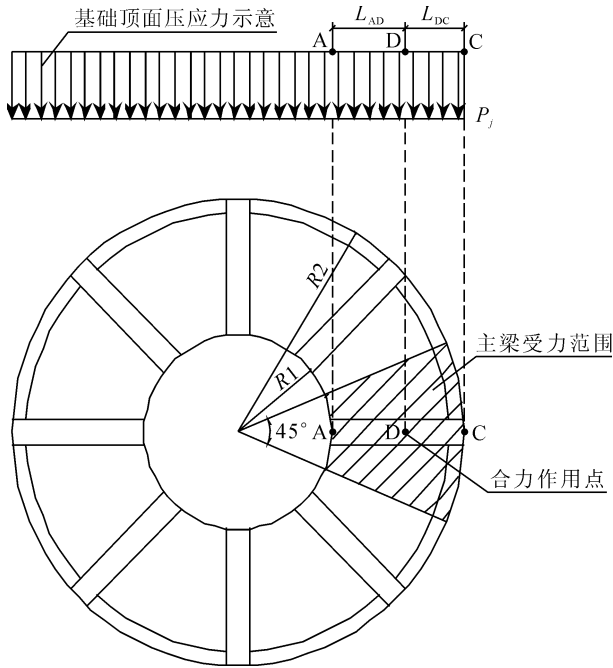


图3 压力侧主梁受力示意图

裂缝;顶部纵筋应按1.2.2中压力侧荷载模式下得到的顶部纵筋面积取值,并验算主梁顶部裂缝。

箍筋配筋结果:应比较1.2.1中反力侧荷载模式下得到的箍筋面积与1.2.2中压力侧荷载模式下得到的箍筋面积,取两者中的大值作为主梁的箍筋面积。

腰筋配筋结果:应比较1.2.1中反力侧荷载模式下得到的腰筋面积与1.2.2中压力侧荷载模式下得到的腰筋面积,取两者中的大值作为主梁的腰筋面积。

其他构造钢筋应按《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定设置。

尺寸调整:若配筋出现超筋或钢筋应力过小的情况时,应调整主梁的尺寸;若裂缝不满足要求,应调整钢筋量或主梁尺寸,再按本节中的步骤重新进行配筋验算。

1.3 次梁结构计算

次梁结构计算应在控制工况下,在最危险截面处计算次梁的纵筋、箍筋和腰筋,并验算次梁裂缝。本文中次梁采用配置对称纵筋来说明计算要点,也可根据项目具体情况采用不对称配筋。

1.3.1 次梁荷载计算

次梁呈环形,被八根主梁分隔为八小段,每段的两端与主梁连接,钢筋伸入主梁内部,故连接方式为固接;每段底部与底板连接,底板钢筋伸入次梁内部,故与底板的连接方式也为固接。此时次梁主要承受底板传来的地基反力与土压力,底板可参照四边固支板的

受力模式,荷载线按45°线分配至四边,所以次梁的受力区域如图4所示。

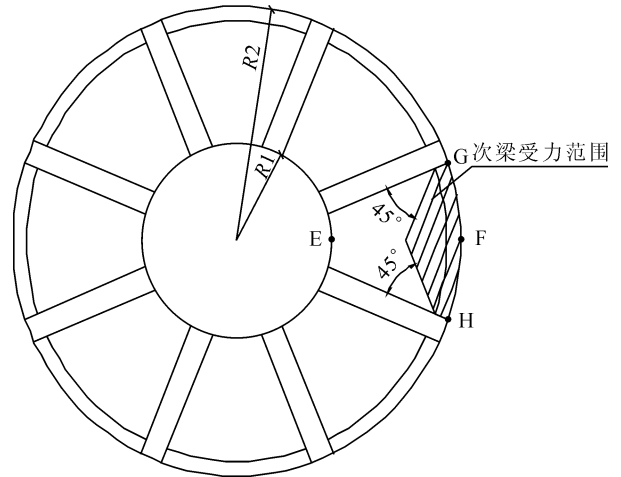


图4 次梁受力区域示意图

在控制工况下,反力侧次梁主要承受的是阴影部分底板传递来的基底净反力,用微积分可以求得次梁上的线型荷载分布情况,然后按照两端固支梁计算可得跨中弯矩、支座负弯矩、支座处剪力以及扭矩。

在控制工况下,压力侧次梁主要承受的是阴影部分底板传递来的上覆土压力和自重,按上述同样方法可求得跨中弯矩、支座负弯矩、支座处剪力。

次梁采用对称配筋,故不再区分正弯矩和负弯矩(若采用不对称配筋则应分正弯矩和负弯矩分别计算次梁底部和顶部配筋)。对比反力侧的跨中弯矩、支座负弯矩和压力侧的跨中弯矩、支座负弯矩,可得到次梁上的最大弯矩;对比反力侧的支座剪力和压力侧的支座剪力可得次梁上的最大剪力。

1.3.2 次梁配筋计算和尺寸调整

在1.3.1中得到截面最大弯矩和最大剪力后,应根据《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定,按照对称配筋对次梁进行受剪截面验算、正截面受弯承载力计算、斜截面受剪承载力计算,从而得到次梁纵筋面积、箍筋面积和腰筋面积,并验算次梁裂缝是否满足要求。其他构造钢筋应按《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定设置。

若配筋出现超筋或钢筋应力过小的情况时,应调整次梁的尺寸;若裂缝不满足要求,应调整钢筋量或次梁尺寸,再按本节中的步骤重新进行配筋验算。

1.4 底板结构计算

底板结构计算应在控制工况下,分径向和环向分别计算所需的纵筋数量。

1.4.1 底板荷载计算

由于底板与主梁、次梁、圆台的连接均为固支,且底板两个方向尺寸一般差别不大,所以可参照四边固支双向板的受力模式来分析计算。底板的形状为扇形,可以偏安全得简化为矩形截面来计算,径向板带计算长度取扇形径向长度,环向板带计算长度偏安全取扇形外侧最大弧长。

在控制工况下,反力侧底板主要承受的是基底净反力,按四边固支双向板计算可得反力侧径向和环向的跨中正弯矩和支座处弯矩;压力侧底板主要承受的是上覆土压力和自重,计算可得压力侧径向和环向的跨中正弯矩和支座处弯矩。

底板采用对称配筋,对比反力侧和压力侧径向的跨中正弯矩和支座处弯矩可得径向最大弯矩,同理可得环向最大弯矩。

1.4.2 底板配筋计算和厚度调整

在1.4.1中分别得了环向和径向最大弯矩,根据《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定,按照对称配筋对底板进行正截面受弯承载力计算,从而得到底板上部和下部的纵筋面积。其他构造钢筋应按《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定设置。

若配筋出现超筋或钢筋应力过小的情况,应调整底板的厚度,再按本节中的步骤重新进行配筋验算,注意底板厚度应满足构造要求。

2 辐射梁式基础施工要点

辐射梁式风机基础的施工顺序应为:测量放样→基础开挖→基础环支撑件预埋钢板放样→垫层浇筑→基础环支撑件安装→基础环安放调平→底板、主梁、次梁钢筋绑扎→预埋件安装→混凝土浇筑→混凝土养护→回填夯实。其中大部分工序的施工方法可参照传统重力式基础的施工方法,目前已经比较成熟。但由于辐射梁基础自身的特点,次梁钢筋绑扎和回填压实这两个施工过程应作为施工过程的重点,以保证基础的质量。

2.1 次梁钢筋绑扎

由图1可看出,辐射梁式基础的次梁为环梁,次梁的纵筋呈环状。在钢筋绑扎的施工过程中,一般需要先绑扎主梁的钢筋,而后再将次梁的纵向钢筋伸入主梁中而形成整体;次梁的箍筋需要在穿纵筋之前立在主梁边,纵筋从主梁中穿过时同时也从次梁箍筋之中穿过,而后再将次梁箍筋移动到设计的位置;最后将次梁纵

筋接头相连接。由此可见主梁钢筋和次梁箍筋对次梁纵筋起到了很强的限位作用,致使一旦次梁纵筋的弯曲度和安装长度出现较大的制造误差或安装误差,就只能在现场用撬棍调整纵筋位置,浪费人力和工期,若误差较大则会引起返工。基于以上施工过程,本文建议如下:

1)对次梁纵筋的安装长度、曲率以及和箍筋的尺寸要在钢筋加工场严格把关,尽量减小制作误差。

2)每层钢筋的现场放样都要准确,减小安装误差从而减小安装难度。特别要控制次梁上层钢筋的放样精度,由于模板一般采用圆形的钢模板,外形曲率是固定的,若上部钢筋放样位置出现偏差,则会造成混凝土保护层厚度不足。

3)由于单根钢筋的长度有限,次梁钢筋需要将多根钢筋连接。钢筋连接接头的设置需严格按照《混凝土结构设计规范》GB50010的相关规定。由于在风机运行过程中,次梁不断受到循环荷载的影响,要求钢筋能承受反复拉压的影响,残余变形要小,对钢筋的延性要求也较高,所以本文推荐次梁纵筋使用机械套筒连接,应按照《钢筋机械连接技术规程》JGJ107的相关规定^[7]。

4)为减小次梁纵筋安装难度,当出现误差时方便纠正,本文推荐使用较小直径的钢筋作为次梁纵筋,纵筋直径一般不宜超过25 mm。

2.2 回填压实

风机荷载是由辐射梁式基础与其上覆土共同承担的,所以上覆土的回填压实质量对工程的安全至关重要。

1)回填材料。回填材料可选用经过监理确认的基础开挖土石料,也可以从经过监理确认的取土区取土,石料最大粒径不得大于10 cm,以防止大块料堆集,造成架空而难以压实。回填材料中不得含有植被、草皮、腐殖土和杂物等,回填前应清楚基坑中的积水、淤泥。为保证上覆土对基础的压重,应根据设计图纸严格控制压实后土石料的干密度。

2)压实机械。常用的碾压机具有静压碾压、振动碾压和夯击。基础上方进行回填压实施工时,为避免压实机械对基础造成损坏,所以应使用轻型的静压碾压或振动碾压,不可使用夯击。当基础混凝土之上土层厚度不足300 mm时,应采用人工夯实。压实分层的厚度、每层压实的遍数和填土质量检验标准应参照《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202的

相关内容^[8]。

3) 回填土表面处理。回填范围内的填土高度不可低于周围地面,以防止雨后积水影响检修,并且回填时应按不同的土质预留一定的沉降量。为将雨水及时从回填范围内排走,回填土应设置一定的坡度,并且应在回填土之上铺设一定厚度的级配碎石以防止冲刷。

3 结 语

辐射梁式基础的造价低,应用范围广,在清洁能源越来越受到重视的背景下,该类型风机基础有广阔的应用前景。本文对辐射梁式基础设计中的重点内容分步骤进行了详细分析,并切合实际地对施工要点进行了总结,对今后辐射梁式基础在风电领域的应用具有参考价值。

(上接第42页)

3 结 语

风机基础环受力复杂,影响基础环锚固性能的因素较多,本文就提高风机基础环锚固性能的措施进行了探讨,结果表明:增加基础环埋置深度和下法兰宽度以及加强基础环构造措施对基础环的锚固性能有显著提高;增加基础环穿孔钢筋数量、提高混凝土施工质量和做好基础密封防水措施等也有利于提高基础环的锚固性能,对风机基础设计具有指导意义。

随着风机单机容量、轮毂高度及叶轮直径增加,风机基础设计载荷也越来越大,基础环与混凝土之间的局部压应力、抗拔力、冲切力逐渐增大,常规 C35 或 C40 混凝土已难以抵抗,基础环连接方式可采用高强度预应力锚栓代替,预应力锚栓的抗疲劳和锚固性能更优^[9]。

参考文献:

- [1]李贤明,张霄,刘红雷,等. 浅谈我国风力发电产业的现状和市场前景[J]. 上海大中型电机, 2006(2): 1-4
- [2]周超,朱焜秋,魏杰,等. 我国风力发电发展现状和问题分析[J]. 能源研究与信息, 2012, 28(2): 69-75
- [3]戴靠山,王英,黄益超,等. 风力发电塔结构抗风抗震、健康监测和振动控制研究综述[J]. 特种结构, 2015, 32(3): 91-100
- [4]王玉赞,王笑南. 陆上风电机组基础水平震动多自由度分析[J]. 云南水力发电, 2018, 34(2): 3-6
- [5]GB 50010-2010, 混凝土结构设计规范[S]
- [6]GB 50135-2006, 高耸结构设计规范[S]
- [7]JGJ 107-2010, 钢筋机械连接技术规程[S]
- [8]GB 50202-2002, 建筑地基基础施工质量验收规范[S]

参考文献:

- [1]杨柳. 风机基础环节点抗弯承载性状研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017
- [2]温丙彦. 风机基础环锚固力学特性与结构优化研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2018
- [3]康明虎,徐慧,黄鑫. 基础环形式风机基础局部损伤分析[J]. 太阳能学报, 2014, 35(4): 583-588
- [4]李大钧,黄竹也,高海飞,等. 基础环埋深和法兰宽度对风机基础承载性状的影响[J]. 可再生能源, 2016, 34(5): 719-724
- [5]GB50017-2017, 钢结构设计标准[S]
- [6]黄竹也,高海飞,杨柳,等. 风机基础环的端板宽度及剪力键对拉拔承载力的影响[J]. 科技通报, 2018, 34(4): 205-208
- [7]李大钧. 基础环穿孔钢筋对风机基础承载性状的影响[J]. 施工技术, 2016, 45(s1): 178-180
- [8]高建强,代云峰. 风力发电机组基础环防水处理技术研究[J]. 绿色科技, 2018(24): 74-75
- [9]黄冬平,何桂荣. 风力发电塔基础预应力锚栓的抗疲劳性能研究[J]. 特种结构, 2011, 28(5): 13-15

欢 迎 投 稿 欢 迎 订 阅

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.016

深化企业档案信息资源开发与利用工作的策略

郝春媛

(湖北清江水电开发有限责任公司,湖北宜昌 443000)

摘要: 基于信息时代背景,分析企业档案信息资源开发与利用情况表明,档案信息利用工作在源头上受限于档案著录,在利用过程受限于档案检索方式,同时存在信息资源整合不够等原因。为此提出了从档案著录、档案检索、档案编研等方面,深化档案信息资源开发与利用的策略。

关键词: 档案;信息利用;档案著录;档案检索;档案编研

中图分类号: F270.7 **文献标志码:** C **文章编号:** 1671-3354(2020)04-0062-02

Strategies to Promote the Exploitation and Utilization of Enterprise Archive Information Resources

HAO Chunyuan

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

Abstract: The exploitation and utilization conditions of enterprise archive information resources in current information era are analyzed. It shows that the utilization of archive information is restricted by archive recording at the very beginning and by archive retrieval in the utilization process, and also affected by insufficient integration of information resources. Thus, some strategies to promote the exploitation and utilization of enterprise archive information resources are proposed from the aspects of archive recording, archive retrieval and archive compilation.

Key words: archive; information utilization; archive recording; archive retrieval; archive compilation

1 深化企业档案信息资源开发与利用工作的意义

企业档案记录着企业日常管理及生产活动的各方面内容,并为企业决策和各项业务工作提供了参考、支撑、依据等丰富的档案信息资源,其重要性不言而喻。由于档案所承载的信息价值需要经过利用才能实现,所以全面、有效地提供档案利用服务是档案管理工作最终目的。在档案数字化与大数据信息时代,数字化的档案载体以及“互联网+”的信息高速,对档案信息有着更加日趋广泛的利用需求,对当前的档案检索和利用工作提出了更高的要求,结合时代发展需要,深化企业档案信息资源开发与利用工作,提高档案利用的全面性、系统性、完整性、便捷性,加强档案数字化信息

资源优势,以促进企业档案信息化建设更好的发展。

2 档案信息开发利用现存问题与原因

2.1 难以全面反映档案价值的档案著录标引

档案著录是档案利用的基础工作,是在编制档案目录时,对档案的内容和形式特征进行分析、选择和记录的过程。目前常见的档案检索方式,主要是对档案著录内容进行的检索。所以档案著录内容是否全面完整,直接影响着档案查找利用和档案价值的反映。目前档案著录主要存在的问题是:①档案工作人员依据现行的《档案著录规则》做出的著录标引时常存在着错标、漏标、粗标、过度标等问题^[1]。②现行的档案著录规则层级结构不能全方位的标识档案内容。

其中,造成错标、漏标、粗标等问题的产生的原因,

收稿日期:2019-10-23

作者简介:郝春媛,女,档案馆员,从事水电站档案管理方面的工作。

主要是档案人员对《档案著录规则》理解认识的差异以及录入错误。档案层级结构不能全方位标识,产生原因是缺少对档案各方面元素的理解,特别是缺少档案案卷之间存在的相关性,档案文件之间的联系性。因为著录相关性、联系性元素缺少标识,归档后的文件仅依靠基本的著录标引,所以不能直接表达出记录信息的系统性,不能全面反映档案价值。

2.2 信息孤岛中的档案检索

档案检索是指对档案信息进行系统存储和根据需要进行查找的工作,它是开展提供利用工作的基本手段,是开发档案信息资源的必要条件。目前档案检索方式上有手工检索和计算机检索两种方式,由于计算机技术的深入,在档案管理系统运行环境下的计算机检索方式已普遍使用。

但在大数据时代,这类依靠档案系统的检索,容易因为系统运行环境、系统接口不同、数据存储格式等原因产生隔离,信息上缺少联合,档案难以流通,形成“档案信息壁垒”,甚至形成“档案信息孤岛”,即档案信息分散,存储形式不同,多以局部范围的应用模式存在,进而形成跨部门、跨地区、跨行业信息壁垒^[2]。

2.3 编多研少的档案编研工作

针对企业而言,档案编研工作是立足企业需要,以服务企业决策和业务为目的,以馆藏档案文献为主要物质对象,在深入研究基础上明确编研专题,对档案文件进行收集、筛选、加工、编纂或撰写成完整体系材料的过程,是档案信息资源开发利用的一种重要形式,是档案工作的重要组成部分,通过利用结果可以反映出档案信息利用的深度。笔者对所在企业编研成果做出调查,得出企业编研特点:企业编研内容丰富,但编研成果主要以材料汇编为主,企业档案编研成果深度不足,多数编研成果属于一次文献编研,即主要是对档案文件的直接汇编利用,而二次文献、三次文献编研的成果数量较少。造成编研成果深度不足的主要原因,是企业档案编研过程中各部门联合不足,对档案内容和特征进行筛选、提炼、综合、归纳的能力不够,易造成编研成果系统性不强。

综上所述,目前企业档案信息资源开发与利用情况从源头上受限于档案著录,从利用过程受限于档案检索方式,同时还存在各部门联合不足,资源整合不够等原因的影响。针对以上不利因素,提出以下改进策略。

3 新形势下深化企业档案信息开发与利用的策略

1)完善档案整理工作,全面档案著录标引。目前,我国档案著录规则在著录层级上过于简单,缺少更为细致的划分^[3]。在著录标准完善的同时,应加强档案人员素质,做到全面档案著录和标引。通过完善档案整理工作,整合资源,让档案工作者在档案整理过程中,能够充分了解到档案所记载信息的各方面元素,理解与各项档案资料的关联性,继而采用多样化的标引手段,通过主题、次要主题、备注、参见等内容,全面完整的表达出整理档案的价值,并注明档案之间的联系关系。全面档案著录及多样标引工作,主要是通过完善企业档案整理工作来提升信息资源的利用效率。但由于著录工作主要依靠档案人员完成,这对人员的专业素质提出较高的要求,存在一定的局限性。

2)档案存量数字化与全文检索方式。档案数字化是对库存档案目录信息、载体档案通过计算机、扫描、数字成像等技术,把各种载体转化成数字化的档案,把原本储存在各种载体上的信息变成了机读信息。数字化档案具有保存空间小,查阅便捷等优势,特别是在是大数据信息时代,数字化档案所提供的可机读信息,更是档案发展的必然趋势。同时,档案数字化也将产生新的档案检索方式——全文检索,即通过计算机直接检索到数字化档案的全文信息。全文检索不同于对档案著录和标引的检索,是直接针对档案记录信息的查找利用,通过全文检索运算及逻辑运算系统,档案检索更加精准,信息利用更加直观方便。

3)整合档案信息,打破信息孤岛,实现信息共享。在数字化与信息化的时代,随着计算机网络技术的不断发展,在复杂多样的系统里生成着越来越多的业务活动信息记录,企业档案通过传统的档案收集、整理、移交工作,只能收集到企业档案信息源中的一部分资源,“信息孤岛”现象容易发生。“信息孤岛”,指的是一个个相对独立的不同类型的数字资源系统(即信息系统)。档案中的信息孤岛产生的原因在于不同系统之间缺少联通,而打破信息孤岛就需要全面整合档案信息资源。通常来说,档案信息源主要涵盖内部资源、外部交换数据、互联网采集数据等^[4]。整合档案信息,需要开发不同系统的信息联系通道,实现内部、外部数据的收集、整理、储存。这样才能打破档案信息系

(下转第78页)

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.017

浅析滨海大风区域重型钢结构吊装技术

林翔, 杨肖年

(福建三峡海上风电产业园运营有限公司, 福建福州 350309)

摘要: 福建三峡海上风电产业园是在建的国际一流海上风电装备制造产业基地。项目最大厂房重型钢桁架结构为5连跨、宽度达140 m、单坡屋面宽度70 m、最大单跨42 m、最大高度25 m。厂房内设300 t、跨度达42 m的起重行车。在台风等恶劣气候变化影响下, 厂房钢梁、钢柱的吊装、高空焊接、安装质量、精度与安全难度极大。通过BIM技术建模, 实现了杆件碰撞检查、节点细部处理、施工过程可视化动态模拟等管理方式, 确保了工程高质量的完成。

关键词: 大风; 钢结构; 吊装

中图分类号: TU745

文献标志码: B

文章编号: 1671-3354(2020)04-0064-03

Hoisting Technology of Heavy Steel Structures in Coastal Strong Wind Areas

LIN Xiang, YANG Xiaonian

(Fujian Three Gorges Offshore Wind Power Industrial Park Management Co., Ltd., Fuzhou 350309, China)

Abstract: Fujian Three Gorges Offshore Wind Power Industrial Park is an under-construction international first-class offshore wind power equipment manufacturing industrial base. In the project, the heavy steel truss structure of the largest workshop is 5 span, with width up to 140 m, width of single slope roof of 70 m, maximum single span of 42 m and maximum height of 25 m. The workshop is equipped with 300 t hoisting crane with the span of 42 m. Under the influence of extreme climate conditions such as strong wind, the hoisting, overhead welding and installation of the steel beams and columns are of high quality, accuracy and safety requirements and great difficulties. With BIM technology modeling, management methods such as member collision inspection, node details processing, visual and dynamic simulation of construction process are realized, which ensure the completion of the project with high quality.

Key words: strong wind; steel structure; hoisting

与陆上风电相比,我国海上风电具有资源丰富、不占用土地、靠近电力负荷中心、发电利用小时数高、适宜大规模开发的特点。根据党中央、国务院的重大决策部署,三峡集团与福建省政府联手打造世界上规模最大的海上风电基地和国际一流的海上风电装备制造产业基地——福建三峡海上风电国际产业园。

产业园不仅为海上风电全产业链提供孵化平台,还建设有分布式光伏(使用新型的一体化光伏屋面板),试验风机,储能系统,是一个集“风光储”为一体的新能源智慧园区。园区内设计厂房均为重型钢结构建筑,面积大,并在屋顶布设一体化光伏,这在福建滨海大风频繁区域尚无先例,因此本研究对类似区域和

类似重型钢结构厂房的安装具有一定的指导意义。

1 工程概况

1.1 工程简介

福建三峡海上风电国际产业园位于福建省福清市江阴港,是国内首个海上风电全产业链装备制造园区。项目生产区已开工建设厂房包括风机结构件厂房、风机一厂及配套厂房、东方风电工厂厂房、LM(艾尔姆)工厂厂房,总建筑面积超10万m²。

1.2 厂房结构特点

项目最大厂房为5连跨,宽度达140 m,单坡屋面

收稿日期: 2019-11-04

作者简介: 林翔,男,助理工程师,主要从事工程管理方面的工作。

宽度 70 m;最大单跨 42 m、最大高度 25 m;墙面为装配式墙面板,屋面为一体化 BIPV 绿色环保光伏屋面板;厂房设有大型起重行车,其中最大起重吨位达 300 t,最大跨度达 42 m。

项目厂房均为单层格构式重型钢结构,为上下固接单层刚接框架。柱子为单阶柱,上柱为 H 型钢截面,下柱采用格构式截面,根据上柱和吊车梁传来的荷载值,柱子肩梁采用单腹板。柱脚采用插入式柱脚,钢架材质为 Q345B,钢柱最大重 20.98 t,柱身長 27 m,宽 3.5 m;钢梁为焊接 H 型钢梁,最大重量 8 t,梁身長 33 m,梁高 1.45 m;最大板厚 50 mm。

1.3 地质条件

项目所在区域为吹填砂地块,在吹填砂之前表层为约 3~5 m 厚的软土(或淤泥),且土层中分布有“硬土球”或混凝土桩(养殖海产时遗留的混凝土桩),常年地下水位较高,大风天气频繁,且经常正面遭遇台风袭击。

2 施工重难点分析

本项目为国际化产业基地,自建设初期开始就要求争创素有钢结构鲁班奖之称的“钢结构金奖”,因此对工程质量要求高,每道工序要求优良。

充分分析项目建筑结构特点和区域因素影响,判定本项目存在若干施工重难点,情况分别如下:最大行车梁行程 282 m,行车梁顶面平整度要求极高;单坡屋面宽度 70 m,单坡屋面跨度大,屋面板吊装困难;厂房内最大行车吨位达 300 t,大型吊装机械施工时,屋面结构高度受限,安装难度大;项目所在区域临海,气候变化较大,海风突发情况较多,大风频繁,高空作业危险性较大,高空焊接质量控制难度大。

因此,本项目的安装质量和安全主要受钢柱、钢梁的吊装,高空焊接,海风等气候变化影响较大,为保证施工质量、精度和安全,针对吊装及焊接的方案和组织实施,气候影响等进行专门研究,制定对策。

3 主体钢结构吊装

3.1 BIM 技术应用

通过 BIM 技术,将现场各个施工阶段的作业内容及周期等进行前期的平面规划。并通过所建立起的精准场地模型,对钢结构施工的现场平面布置及设计等进行综合性的管理。通过 BIM 技术规划,可促使场地平面布置更为紧凑有序,并能合理应用施工用地,以此

在节约用地的基础上显著降低场内运输的投入成本。

在钢结构深化设计方面,BIM 技术的应用可进行大跨度钢结构模型的深化放样,制定出实际的构件尺寸。在进行施工技术的过程中,利用 BIM 技术的深化设计功能可对构件实际尺寸进行细化分析,进而将其表述出来。通常情况下,在对大跨度钢结构桁架进行制作的前期可用 Tekla 软件对桁架进行分段、杆件切割及板材下料等作出精确设计。而通过地面放线也能快速、精准地完成桁架的拼装^[1-2]。

通过 BIM 技术建模,可实现杆件碰撞检查,节点细部处理、施工过程可视化动态模拟等问题,模型处理完毕后,直接用模型对管理人员及施工队伍进行可视化交底,大大加深了管理人员和施工队伍对工程的认知程度。依照此种 BIM 技术施工管理方式,便于大跨度钢结构施工技术的开展及目标的达成。

3.2 钢构吊装

3.2.1 使用专用吊耳

H 型钢的翼板尺寸厚度较小,采用传统的钢丝绳进行捆扎吊装,构件表面油漆容易磨损,并且捆扎部位在钢丝绳作用下容易产生变形,从而致使 H 型钢报废,甚至造成安全风险。因此,在生产加工阶段,就根据每根 H 型钢构的尺寸确定出吊点的位置,并在吊点位置焊接专用吊耳^[3-4](见图 1)。

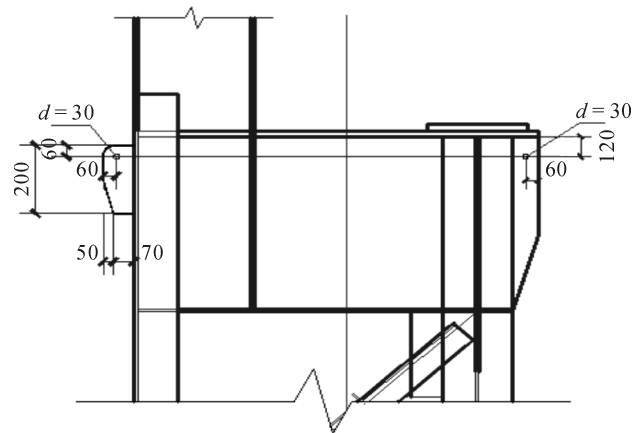


图 1 吊耳位置示意图

3.2.2 使用一种新型的自动脱钩 H 型钢专用吊钩

施工过程中,H 型钢吊装时,传统做法是将工件吊装至指定地点后,采用人工手动解锁脱钩,这样难免存在一定的安全隐患,为保证吊装过程中的施工安全,预防意外发生,现场使用一种新型的自动脱钩 H 型钢专用吊钩。

本自动脱钩 H 型钢专用吊钩包括连接板,连接板的顶部设置有挂钩,连接板的两侧均设置有关节轴

承 I, 关节轴承 I 连接钢臂的一端, 钢臂的另一端铰接卡刀, 卡刀的内侧设置有关节轴承 II, 关节轴承 II 连接套筒, 套筒内设置有内螺杆, 内螺杆连接制动装置, 所述卡刀的中部铰接有夹具, 结构图如图 2 所示^[5]。

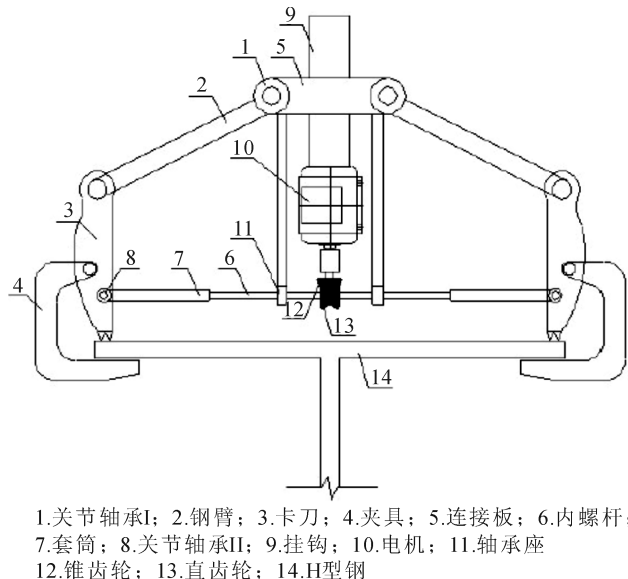


图 2 吊钩示意图

3.2.3 使用专用扁担吊梁

由于钢柱柱头节点类型为双牛腿柱, 因此, 在吊装时根据钢柱实际尺寸量身制作扁担吊梁, 该吊梁长度跨过牛腿柱头, 使柱头不影响下端吊装钢丝绳垂直受力, 保证吊装过程的稳定性。

3.3 行车梁安装

行车梁顶面平整度要求高, 轨道采用高强度低合金材质 U71Mn, 自身对接及与吊车梁之间采用压板焊接方式连接, 不同种材料焊接难度大; 相邻轨端偏差要求不大于 1 mm, 精度要求高。针对该情况采取下列措施进行质量控制。

1) 柱脚浇筑前严格控制钢柱牛腿标高, 确保牛腿标高误差在规范允许范围内, 钢柱牛腿标高主要通过柱脚的垫板来控制; 浇筑完毕后, 再次观测牛腿标高, 复核无误后, 再进行吊车梁安装。安装前对吊车梁进行预先起拱, 避免因自重造成下挠。

2) 轨道焊接时, 在节头两侧 20 ~ 30 mm 范围内进行预先 250℃ 进行预热, 时间大概 10 min。每个焊接节头需要 1 个电焊工与 1 个清渣工相互配合, 施焊前先进行试件焊接, 合格后方可进行实体焊接作业。焊接前预先把接头垫起 40 ~ 60 mm, 钢轨由下而上进行焊接, 先轨底后轨腰、轨头。

4 降低海风影响

根据福建省气象局对项目所在地气象监测数据进

行统计发现, 非季风时节该区域风速六级以下(含六级)天气为 125 d, 占比 63.12%; 风速六级以上天气为 73 d, 占比为 36.88%, 大风天气对钢结构安装质量和安全影响较大。

4.1 保证焊接质量

施工人员密切注意施工现场的天气状况, 焊接前做好防风、雨棚或防风箱, 做到有备无患。防风雨棚应保证施焊空间内满足焊接有关条件, 否则不允许施焊。遇下雨、大雾、刮风等不利气候必须采用全面防护后方可施焊; 严禁在雨天及母材表面潮湿或大风天气进行露天焊接。施焊区域不清洁即有水、铁锈、油漆、油污等不允许施焊; 钢板表面潮湿或雨后施工, 应用烘枪将焊缝两侧 100 mm 区域内的水分烧烤干净。

4.2 安全防护缆风绳

在边柱外侧 10 m 处利用挖掘机开挖 3 m 长, 2.5 m 深的锚坑, 将 2.5 m 长的锚块(利用现场截桩出来的管桩节)放入锚坑, 把锚块上预置露地锚钩朝向钢柱放置, 然后回填沙土并碾压密实。

钢柱吊装后将缆风绳固定在同向相邻基础承台预埋锚钩上, 用倒链配合花篮螺栓进行调节; 边柱位置向外的缆绳固定在预先设置的地理锚块锚钩上。

5 结语

本文分析了滨海大风区域重型钢结构吊装施工技术, 希望能够为滨海大风区域重型钢结构施工提供一些经验, 保证施工质量和安全, 打造精品工程。

1) 滨海大风区域重型钢结构吊装的重难点在于吊装精度控制和施工安全;

2) 根据项目特点设计专门性工具有助于施工, 如专用吊耳、扁担梁等;

3) 尤其关注大风天气的影响, 如大风天数所占比例、突发性等, 并针对性做好防护措施。

参考文献:

- [1] 张陆杰. BIM 技术在大跨度钢结构施工管理中的应用分析[J]. 绿色环保建材, 2018(1): 133 - 133, 135
- [2] 郑华海, 刘匀, 李元齐. BIM 技术研究与应用现状[J]. 结构工程师, 2015(4): 233 - 241
- [3] 闫磊. 浅谈单层钢结构厂房的优化设计方案[J]. 四川水泥, 2018(11): 93 - 93
- [4] 李长博. 单层钢结构厂房施工特点及技术探讨[J]. 北京农业, 2012(21): 187 - 188
- [5] 杨林场, 张祥伟, 李彦超, 等. 一种自动脱钩 H 型钢专用吊钩: 201820735489.0[P]. 2018 - 12 - 07

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.018

基于 DGA 数据的变压器过热故障诊断

刘建, 黄费荣, 崔纪国

(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北宜昌 443501)

摘要: 过热故障在变压器故障中占了很大的比重, 结合 DGA 数据与三比值法, 探究变压器过热故障的分类规律, 运用最小二乘法分别对电路过热和磁路过热的数据进行分析总结, 发现在 CH_4/H_2 的比值为 2 时, 可简易区分电路过热和磁路过热。

关键词: DGA; 三比值法; 磁路过热; 电路过热

中图分类号: TM42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-3354(2020)04-0067-03

Diagnosis of Overheating Fault of Transformers based on Dissolved Gas-in-oil Analysis Data

LIU Jian, HUANG Feirong, CUI Jiguo

(Hubei Qingjiang Hydroelectric Development Co., Ltd., Yichang 443501, China)

Abstract: Overheating fault takes a large proportion in transformer faults. Combining the dissolved gas-in-oil analysis (DGA) data and the three-ratio method, this paper explores the classification of overheating faults of transformers. The least square method is used to analyze the magnetic circuit overheating data and the electric circuit overheating data. It is found that when the ratio of CH_4/H_2 is 2, the magnetic circuit overheating and the electric circuit overheating can be easily distinguished.

Key words: dissolved gas-in-oil analysis; three-ratio method; magnetic circuit overheating; electric circuit overheating

1 变压器过热故障

在电力系统中, 变压器是十分重要的设备之一, 由于变压器的长期运行, 难免会引发故障, 引起故障的原因也是多样化的, 因此, 利用科学方法对变压器的常见故障进行分析总结, 有利于及时、准确地判断变压器故障的类别及发生原因, 从而采取有效的措施来应对变压器故障, 保障变压器的长期安全运行。

在变压器常见的故障^[1]中, 过热故障占了很大的比重, 按其产生原因可分为磁路过热、电路过热和其他过热故障^[2]。

磁路过热主要是铁芯、夹件故障。主要表现为:

1) 铁芯、夹件多点接地, 如定位钉未翻转、末级硅钢片翘起接触夹件、铁芯与垫脚绝缘损坏等导致多点接地;

2) 铁芯、夹件局部短路而产生环流, 油道两侧的硅钢片翘起、油道中遗留有金属异物、末级硅钢片翘起接触夹件等导致的铁芯内部环流。

电路过热主要是分接开关接触不良、引线螺栓松动、绕组铜线或接头焊接不良、匝间短路、股间短路等造成的过热故障。

其他过热故障主要是指油道堵塞导致的过热和冷却油泵过热。油道堵塞导致的过热一般为低温过热, 但如果长期存在, 最终会加速绝缘纸老化, 进而导致匝间短路故障; 冷却油泵过热分为轴承磨损过热(声音异常)和电性过热, 一般为高温过热, 但不涉及固体绝缘材料。由于其他过热故障只占过热故障总数的极少部分, 故在本文中不做深入探讨。

2 变压器故障诊断

油中溶解气体分析(Dissolved Gas-in-oil Analy-

收稿日期: 2019-10-23

作者简介: 刘建, 男, 助理工程师, 主要从事电力用油化验与处理工作。

sis, DGA^[3])是油浸式电力变压器故障诊断与状态评估较为有效的方法之一。在电力系统中,最常用的手段是气相色谱分析,即通过对油中溶解的 H₂、CH₄、C₂H₄、C₂H₆、C₂H₂、CO、CO₂ 这几种特征气体的含量分析来判断变压器是否存在故障,然后进一步利用三比值法判断是何故障。

2.1 有无故障的判定标准

DL/T 722 规定了变压器设备油中溶解气体浓度的注意值和产气速率注意值,是判断变压器有无故障的主要标准。表 1 为变压器油中溶解气体组分含量的注意值标准^[4]。

表 1 变压器油中溶解气体组分含量的注意值表

设备	气体组分	含量/($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)	
		330 kV 及以上	220 kV 及以下
变压器	ΣCH	150	150
	C ₂ H ₂	1	5
	H ₂	150	150

仅仅根据各种特征气体组分含量的绝对值是很难对故障做出正确判断的,还需考虑故障点的产气速率,当绝对产气速率达到或超过注意值时,应当缩短设备的检测周期。另外,当 ΣCH 的相对产气速率达到或大于 10% 时也应引起注意。

2.2 三比值法

目前,判断变压器内部故障类型较适用的方法是三比值法^[5]。三比值法是将 C₂H₂/C₂H₄、CH₄/H₂、C₂H₄/C₂H₆ 这三组特征气体含量的比值范围以不同的编码表示,通过不同的编码组合来确定变压器故障类型的一种方法。编码规则和常见故障类型的判断方法分别见表 2 和表 3^[4]。

表 2 三比值法编码规则表

特征气体 比值范围	对应编码		
	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
<0.1	0	1	0
[0.1,1)	1	0	0
[1,3)	1	2	1
≥ 3	2	2	2

运用三比值法来判断变压器的内部故障类型时应遵循以下原则:

1) 只有判断设备可能存在故障时,特征气体的比值和三比值法才有意义;

表 3 变压器常见故障类型的判断方法表

编码组合			故障类型判断
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	
0	0	1	低温过热(<150℃)
	2	0	低温过热(150-300℃)
	2	1	中温过热(300-700℃)
	0,1,2	2	高温过热(>700℃)
2	1	0	局部放电
	0,1	0,1,2	低能放电(火花放电)
	2	0,1,2	低能放电兼过热
1	0,1	0,1,2	电弧放电
	2	0,1,2	电弧放电兼过热

2) 必要时,应从分析值减去上次的分析值计算结果。因为故障是非稳态的,严重程度可能随时间推移而增加。

2.3 研究内容

2.3.1 研究对象

对各地历年的变压器 DGA 数据进行总结与分析,从中筛选出可能判断变压器存在故障的数据,利用三比值法分别计算三组特征气体的比值,再次筛选出过热故障的 DGA 数据(三比值编码为 0,0/1/2,2)进行统计,得到电路过热与磁路过热的 DGA 数据,以这些数据为对象,进行分类研究,发现利用 CH₄/H₂ 这组特征气体的比值可简易区分电路过热故障与磁路过热故障。

2.3.2 数据处理

建立平面直角坐标系 xOy , 假设电路过热的 CH₄/H₂ 比值在坐标系中表示为 (x, D_x) , 磁路过热的 CH₄/H₂ 比值在坐标系中表示为 (x, C_x) , x 为任意实数, D_x 和 C_x 分别代表电路过热和磁路过热的 CH₄/H₂ 比值,可做出图 1。

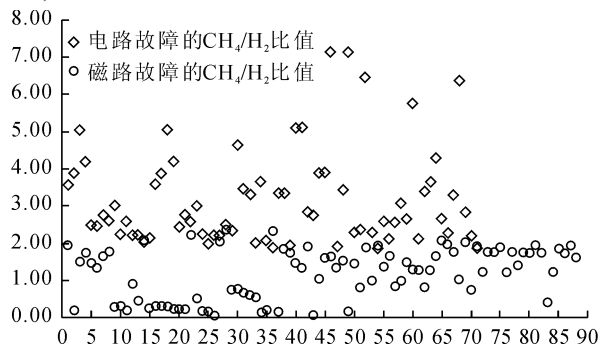


图 1 电路过热与磁路过热 CH₄/H₂ 比值散点图

利用最小二乘法分别对电路过热与磁路过热的 CH_4/H_2 比值 D_x 和 C_x 进行分析,假设存在一条直线 $y=A$ (定义 $A \in Z$) 可将两组的 CH_4/H_2 比值范围区分开,则可建立式(1)。

$$E = \sum_{x=1}^n [(D_x - A)^2 + (C_x - A)^2] \quad (1)$$

随机代入同等组数的电路过热与磁路过热的 CH_4/H_2 比值 D_x 和 C_x 进入式(1)来计算,解得当 $A=2$ 时, E 趋于最小值,即存在一条直线 $y=2$ 可简单将电路过热与磁路过热的 CH_4/H_2 比值范围区分开。

那么,由数据处理结果可得,存在一个比值

表 4 变压器油色谱数据表

序号	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	CO	CO ₂	ΣCH	时间
1	17	42.3	40.9	11.9	0.1	295	902	95.2	2010.06.12
2	25	61.2	54.2	15.2	0.1	322	1 025	130.7	2010.07.23
3	21	58.2	57.3	17.6	0	288	1 056	133.1	2010.07.25
4	23	59.9	56.9	18.6	0.1	331	1 096	135.5	2010.07.31

对表 4 中数据进行分析,虽然 H₂ 与 ΣCH 含量均在注意值以内,但对比前两组数据,间隔 41 d (按 1.5 个月计算),算出其 ΣCH 的相对产气速率已达到 24.9%,明显增长较快,初步判断该变压器可能存在内部故障。再利用三比值法计算,得:

$$C_2H_2/C_2H_4 = 0.1/54.2 = 0.0018;$$

$$CH_4/H_2 = 61.2/25 = 2.448;$$

$$C_2H_4/C_2H_6 = 54.2/15.2 = 3.566;$$

$CH_4/H_2 = 2$ 时,可简单将过热故障中的电路过热和磁路过热区分开,即可提出以下猜想:

对于三比值编码为 0、0/1/2、2 的变压器过热故障。

1) 当 $CH_4/H_2 > 2$ 时,所发生过热故障为电路过热故障,即故障位置发生在电路;

2) 当 $CH_4/H_2 < 2$ 时,所发生过热故障为磁路过热故障,即故障位置发生在磁路。

2.3.3 实例分析

1) 某电厂变压器油色谱数据见表 4。

查表可知三比值编码为 0、2、2,对应故障类型为高温过热 ($> 700^\circ\text{C}$);

又因 $CH_4/H_2 = 61.2/25 = 2.448 > 2$,故判断该过热故障位于电路,属于电路过热故障。

经检查发现,该变压器内部绕组导线有虚焊缺陷点,该部位绝缘纸已爆开、且有较明显的过热炭化痕迹,证明该故障确属于电路过热故障。

2) 另有某电厂的变压器油色谱数据见表 5。

表 5 变压器油色谱数据表

序号	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	CO	CO ₂	ΣCH	备注(时间)
1	18	3.5	0.9	0.6	0	394.4	467.7	5	2006.12.20
2	84	126	132.2	28.9	0.37	414.6	423.3	287.47	2007.04.22

对表 5 中的数据进行分析,从第二组数据可明显看出,历时 4 个月,该变压器油 ΣCH 含量为 287.47 μL/L,已超过 150 μL/L 的注意值,初步判定该变压器存在内部故障。再利用三比值法计算,得:

$$C_2H_2/C_2H_4 = 0.37/132.2 = 0.0028;$$

$$CH_4/H_2 = 126/84 = 1.5;$$

$$C_2H_4/C_2H_6 = 132.2/28.9 = 4.574;$$

查表可知三比值编码为 0、2、2,对应故障类型为高温过热 ($> 700^\circ\text{C}$);

又因 $CH_4/H_2 = 126/84 = 1.5 < 2$,故判断该过热故障位于磁路,属于磁路过热故障。

该变压器经电气试验后发现铁芯接地电流、夹件接地电流均异常;现场采用电容冲击法进行处理后铁芯与夹件之间的绝缘电阻反而降低;对其内部检查后发现铁轭硅钢片有两处鼓出与夹件接触,其中一片有轻微烧焦痕迹,证明该故障确属于磁路过热故障。

3 结 语

以 DGA 数据来诊断变压器过热故障的类型仍需大量的数据来分析、研究,不同故障类型所对应 DGA 数据必然存在差异,通过研究这种差异,可以找到规律来有效区分变压器故障类型。结合电气试验,在实际变压器检修工作中,可简化变压器过热故障的排查流程。

参考文献:

- [1] 操敦奎. 变压器油中气体分析诊断与故障检查[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005
- [2] 马宏忠, 李峥. 电力变压器过热故障及其综合诊断[J]. 高电压技术, 2005, 31(4): 9-11
- [3] 周妹末. 基于 DGA 分析的电力变压器多层次分级故障诊断技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2018
- [4] DL/T 722-2014, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S]
- [5] 张育华. 浅谈三比值法在变压器故障诊断中的应用[J]. 电气应用, 2017, 36(13): 40-43, 60

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.019

隔河岩水电站水资源的高效利用与水害防范

梁文岳, 覃进一

(湖北清江水电开发有限责任公司, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 总结隔河岩水电站调度运行中的实践经验, 通过梯级发电重复利用水能、依据精准水情预报减少弃水抢发、缩短高水耗运行时间及利用综合特性曲线降低过机流量等, 提高水资源的高效转换, 既取得了巨大的防洪效益和良好的经济效益, 也丰富了优化调度的经验。

关键词: 水电站; 运行; 水资源; 效率; 水害

中图分类号: TV213.4 文献标志码: A 文章编号: 1671-3354(2020)04-0070-03

Efficient Utilization of Water Resource and Prevention of Water Hazard in Geheyan Hydropower Station

LIANG Wenyue, QIN Jinyi

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

Abstract: The dispatching and operation experience on efficient utilization of water resources and prevention of water hazards in Geheyan Hydropower Station is summarized. Effective measures are adopted such as water energy reusing through cascade power generation, reduction of abandoned water through accurate water regime prediction, reduction of high water consumption operation time, and reduction of the turbine discharge flow with the comprehensive characteristic curve. It has not only achieved great flood control benefits and satisfactory economic benefits, but also enriched the optimal operation experience.

Key words: hydropower station; operation; water resources; efficiency; water hazard

1 水资源的充分利用

1.1 梯级发电重复利用水能

为更充分的利用水能, 优化水能资源的配置, 清江流域以清江梯调为远方集中控制中心, 三级电站为水能利用点形成梯级水能开发模式。通过利用串联水库形成的巨大优势, 提高库容的重复利用, 根据水量平衡的原则, 整合水库调度、发电调度等方面的因素^[1], 缩短开机时间, 极大提高水能、设备、人力等资源的最大化和可利用率, 将水能可持续利用的目标变为现实。

1.2 精准水情保障发电效益

水情的准确预测可以有效提高水能利用效率。清江流域的水情自动测报系统以及流域各地区水文部门

的防汛报讯为水资源科学调度、电能最大化提供坚实的保证。清江水电开发有限责任公司于2008年对原有的系统进行整体优化, 更新后的系统有效降低了传输延时, 加强了站点的互换功能, 能及时准确地为3座水电站的发电计划提供可靠保证。隔河岩水库总库容30.18亿 m^3 (正常水位200 m时), 防洪库容8.7亿 m^3 , 汛限制水位193.6 m, 在此水位下防洪库容可达5亿 m^3 。隔河岩电站运行部门联合梯级调度利用气象与水情信息, 通过加密巡检巡视, 观测现场环境状况, 再结合设备状态与梯级调度及时沟通联系, 综合电网等各方面的需要, 计算每年动态最优水位, 优化水库调度方案, 规划发电计划, 汛期加快腾出库容, 汛后期提前回蓄水位等一些列措施, 防弃水、保发电, 避免造成水资源的浪费。

收稿日期: 2019-11-05

作者简介: 梁文岳, 男, 助理工程师, 主要从事水电厂运行管理方面的工作。

1.3 弃水抢发减少水能损失

因清江流域梯级发电规模的形成以及科学精准调度,隔河岩水电站受厄尔尼诺气候影响的弃水在近10年来占比不到20%。但弃水的形成,无疑是对低碳、绿色能源的浪费,也会影响经营效益。隔河岩水电站从运行管理、人员调配等方面使防汛工作规范化、制度化,完成防汛设备检修标准项目200余项,完成4台机组以及80余台套辅助设备计划检修,保证设备健康水平。在2016-07-19日超百年一遇洪水到来时,保持机组安全运转而不停机,在泄洪的同时,减少停机时间,加大发电力度,增加发电量,将水能资源得到安全充分利用。

2 水资源的高效转换

水轮机的出力和发电水头、发电流量成正比($N = 9.81\eta QH$),也就是说水头越高,流量越大,其能量也就越大^[2]。水头的变化会直接影响机组的有功调节性能,进而影响水能利用率,影响发电效率。

2.1 减少高水耗运行时间

隔河岩水电站最大发电水头121.5 m,最小发电水头80.7 m,水量利用率达92.3%。隔河岩水电站与清江梯调配合优化运行,根据梯级电站阶段性发电计划加大对机组实时出力的控制力度,控制机组小出力运行时间,通过反馈调节过机流量,优化机组运行工况,减少水头损失,达到节能增效目的。

2.2 利用综合特性曲线降低过机流量

根据隔河岩机组综合特性图(见图1)水头、流量及出力的关系,优化调速器反应时间,调节调速系统的开限,既不能因开限过高而造成过负荷运行,也不能因为开限的压制,使机组不能满负荷运行。图中1列举了三种不同水头下,机组出力与过机流量的对应关系,通过不断的调节与修正,在满足负荷的要求下降低过机流量,减少水能损失。

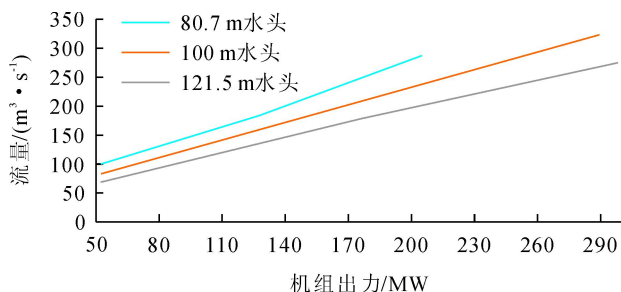


图1 隔河岩机组综合特性图

2.3 减少因外界环境影响造成的水头损耗

隔河岩水利枢纽进水口上游有一处客运码头,一处旅游码头,树枝及生活垃圾等经常堆积于坝前拦污栅处,尤其在暴雨过后,树枝及垃圾的存在使机组水头损失特别大,电站运行管理过程中通过加强人工清污外,还与地方协调配合,将污物尽量提前在上游河道清除,避免过多堵塞到拦污栅前,通过这些措施减少水耗,提高发电效益。

3 水害的防范

水资源合理利用可以造福人民,但因自然灾害、坝体渗水处理不及时、挡水建筑物损坏以及发电设备设施故障等防范措施未做到位,同样可导致水淹厂房事故发生,引起重大人身伤亡和财产损失。

2009-08-17日,俄罗斯萨扬-舒申斯克水电站发生特别重大的事故,因其2号机组顶盖43颗螺栓断裂,顶盖与转子在高压水的作用下飞出机坑,水不受控制后全部冲入厂房,造成水淹厂房事故。其中2、7号和9号水轮发电机组彻底被毁,其余水轮发电机组全部受损,事故造成75人死亡。事故后分析发现,萨扬电站6号机组检修,检修闸门落下,进水管路无水,因此损坏最轻;5号机组正常运行,事故发生后导叶自行关闭,将水能控制,损坏也比较轻^[3]。

水害无处不在,突然袭击的暴雨,检修泵、渗漏排水泵等设备问题,供水水管破裂,压力钢管漏水,顶盖排水不畅等问题都可能造成水淹厂房,甚至造成机毁人亡的水害事故。因此隔河岩电站运行管理中通过对挡水建筑物渗漏水监测、设备缺陷的排查、水压水位的监视等将水能限制在可控范围内,力求安全稳定运行。

3.1 通过水泵启停间隔发现大坝廊道漏水情况

2016-09-15日,隔河岩运行值班员发现大坝右护泵站水泵启停频率减少这一现象。通过查阅历史数据和记录,当天与前几日情况差不多,均在20~30 h启动一次,这与机组正常备用状态下的3h左右启动一次差异巨大(图2)。在现场人员排除通讯故障、传感器故障等问题后,结合右护泵站所处4号机组引水隧洞旁的实际情况,通过调用监控系统历史站4号机组检修时间段(9月12~21日)引水隧洞排水前后右护泵站水位变化曲线,对比分析后,合理推断出隔河岩

4号机组引水隧洞存在渗漏情况,并在现场发现引水洞内混凝土多处破损的重大缺陷。

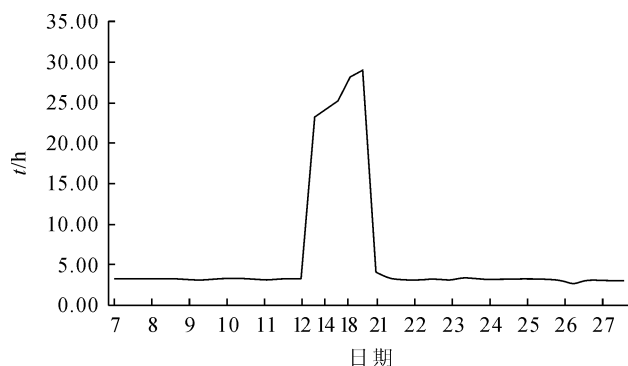


图2 2019-09-07日至27日右护水泵启动时间间隔图

3.2 通过渗漏泵启停频率发现三号机蜗壳放空阀处破裂情况

2016年12月,运行人员在数据统计中发现渗漏泵启动频率变快,启动时间间隔变短的不正常现象(见图3)。

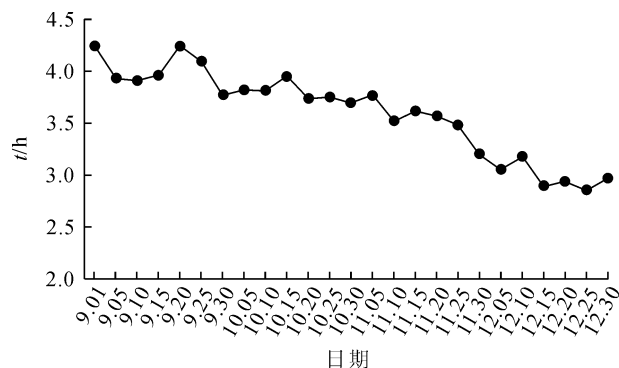


图3 2016年9月至12月厂房渗漏泵启停间隔时间图

在排除渗漏泵设备本身问题后,加强全厂巡视巡查,随后发现3号机蜗壳放空阀处有沙眼,漏水量较大。经过对该沙眼的简单处理后,发现渗漏泵启停间隔时间有所变长,因此确定了水量的来源。之后在3号机检修中,将该位置重新进行了混凝土的灌注,避免了沙眼的扩大,有效地制止了水灾的发生。

隔河岩水电站在运行管理过程中通过不断地将关键数据进行对比分析,及时发现安全隐患,并择机处理水灾的危险,做到防微杜渐,避免重大事故的发生。

3.3 确保防汛设备可靠运行,大坝防汛功能万无一失

防洪是水利工程的重要功能,具有重要的民生意义。1998-08-07日,隔河岩4台机组全停,关闭所有泄洪闸门,长江第4次洪峰 $61\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 通过宜昌河段,隔河岩截住了清江洪峰 $2\,700\text{ m}^3/\text{s}$,致使水库蓄水位达到 203.94 m ,逼近 204 m 的校核水位,使下游沙市水位降低 $18\sim 20\text{ cm}$,避免了灾害性的荆江分洪,为长江错峰承担了巨大的风险。隔河岩在“九八”抗洪中作出了关键性的贡献,发挥了重要作用,将洪水灾害降至最低。2016-07-19日,隔河岩水库断面还原天然河道洪峰流量达到 $18\,700\text{ m}^3/\text{s}$,超过百年一遇。隔河岩水库调蓄洪水 3.44 亿 m^3 。19日16时最大入库洪水 $9\,742\text{ m}^3/\text{s}$,20日20时最大出库流量 $6\,610\text{ m}^3/\text{s}$,削减洪峰 $3\,130\text{ m}^3/\text{s}$,削峰率 34% ,电站的防洪效益凸显。

防汛设备可靠运行的背后,是日常运行管理中加强对防汛电源倒闸的演练及运行监视,坚持根据“防大汛、防早汛”的指导方针,策划、落实防汛设备设施检修计划,保证防汛设备在危急关头“召之即来,来之能战”,确保大坝防汛万无一失。

4 结语

水电站提高水资源的利用率,不仅涉及经济效益,也有对资源可持续发展利用的责任。通过分析清江流域及隔河岩水电站节水增效及水害的防范的做法,不仅有利于该电站自身提高,而且对于我国其他流域及其电站优化水资源利用,提高水能效率,做好水灾预防,都具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1]赵中华,吕新宇,田艳.清江梯级水电厂集中控制优化调度[J].水电与新能源,2009(4):66-69
- [2]陈集梅.冲乎尔水电站发电水头的利用问题[J].中国水利,2013(2):47-48
- [3]贾金生,徐洪泉,李铁友,等.通过萨扬-舒申斯克水电站事故原因分析看机电设备安全运行问题[C]//中国动力工程学会,中国电机工程学会,中国水力发电工程学会.第十八届中国水电设备学术讨论会论文集.武夷山,2011:329-336

DOI: 10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2020.04.020

一起 500 kV 线路 T 区保护动作闭锁 对侧重合闸失败的原因分析

孙远刚, 杨 涛, 黄泰山, 侯小虎

(乌东德水力发电厂, 云南 昆明 651512)

摘要: 针对一起 500 kV 线路 T 区保护动作闭锁对侧重合闸失败的故障案例, 结合其继电保护故障波形、动作报告和时序图分析故障经过与原因, 提出了相关对策, 能确保 GIL 发生单相接地时能可靠闭锁对侧重合闸, 保障继电保护设备和电网的安全稳定运行。

关键词: T 区保护; 闭锁重合闸; GIL; 继电保护

中图分类号: TM77 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-3354(2020)04-0073-06

Analysis and Countermeasures of an Offside Reclosing Locking Failure during T-zone Protection Action of 500 kV Line

SUN Yuangang, YANG Tao, HUANG Taishan, HOU Xiaohu

(Wudongde Hydropower Plant, Kunming 651512, China)

Abstract: An offside reclosing locking failure during the T-zone protection action of 500 kV line is analyzed. Based on the relay protection fault recoding waves, action reports and sequence diagrams, possible reasons of the failure are determined. Then, corresponding countermeasures are proposed, which can ensure the reliable locking of the offside reclosing device when single phase grounding occurs in GIL and guarantee the safe and stable operation of the relay protection device and the power grid.

Key words: T-zone protection; locking reclosing switch; GIL; relay protection

GIL 全称为 SF6 气体绝缘金属封闭输电线路, 是一种先进的电力传输设备, 具有电能损耗小、可靠性高、送电容量大、运行维护工作量小等优点。现有的继电保护配置中, 一般把 GIL 视为线路的一部分将其纳入到线路保护的 protection 范围内。为避免其单相故障时线路重合闸对 GIL 故障点造成二次冲击伤害, 一般大型水电站在线路保护范围内, 会增设专用于保护 GIL 的 T 区保护。当 GIL 发生单相接地时, 除线路保护动作之外, T 区保护也将瞬时动作, 启动本侧开关三跳、闭锁本侧线路开关重合闸, 同时通过线路保护远传功能启动对侧开关三跳、闭锁对侧线路开关重合闸。在此过程中, 远传收信与就地判据的时序配合对于能否可靠闭锁对侧重合闸至关重要。

1 事故简介

某电站 GIL 发生 A 相接地故障, 线路保护启动单相跳闸、T 区保护启动三相跳闸, 保护正确动作, 并成功跳开本侧开关、闭锁本侧重合闸; 但对侧换流站仅有线路保护动作信号, 远跳装置收信未跳闸, 闭锁重合闸失败, 导致线路开关单相跳闸 1.1 s 后, 重合于故障加速三跳, 对电站 GIL 故障点造成了二次冲击。

故障发生时, 该电站及对侧换流站录波波形如图 1、图 2 所示。

2 事故原因分析

2.1 T 区保护闭锁重合闸的实现路径

该电站 T 区保护采用 PCS-924A 型装置, 采集串

收稿日期: 2019-11-25

作者简介: 孙远刚, 男, 助理工程师, 主要从事继电保护方面的工作。

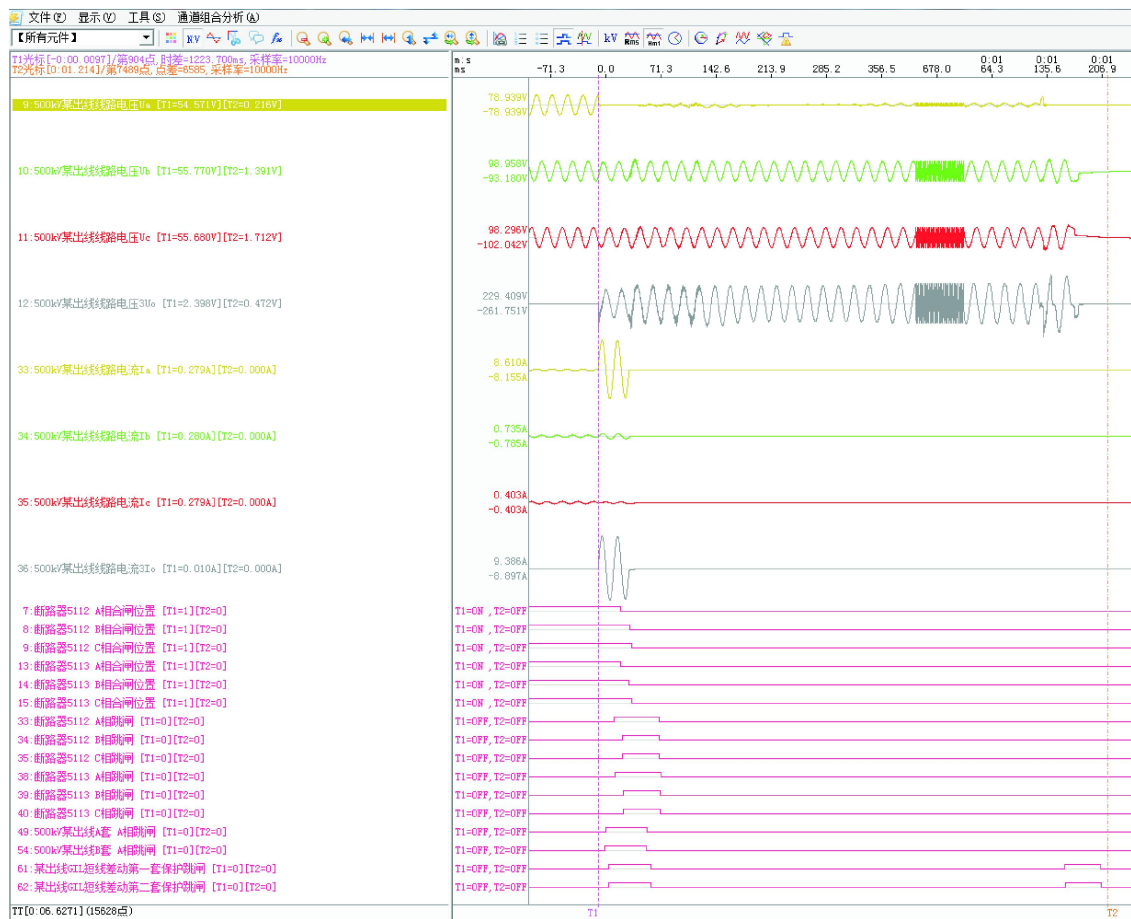


图1 出线 GIL 接地故障录波波形图(某电站录波波形)

录波报告
 时间: 20190402T07:54:19.278
 模拟量: 01-1a 02-1b 03-1c 04-310 05-U1IX 06-U1IXA 07-U1IXB 08U1IXC
 开关量: 01-重合闸动作 02-分相跳闸位置TW1a 03-分相跳闸位置TW1b
 04-分相跳闸位置TW1c 05-分相跳闸位置TW1d 06-保护跳闸输入Tb 07-保护跳闸输入Tc
 08-保护跳闸输入Ta 09-保护三跳动作 10-三跳不一致动作 11-失电保护动作
 12-A相跳闸动作 13-B相跳闸动作 14-C相跳闸动作 15-三相跳闸动作 16-失灵保护动作
 满量程: 94.9V/2.07A

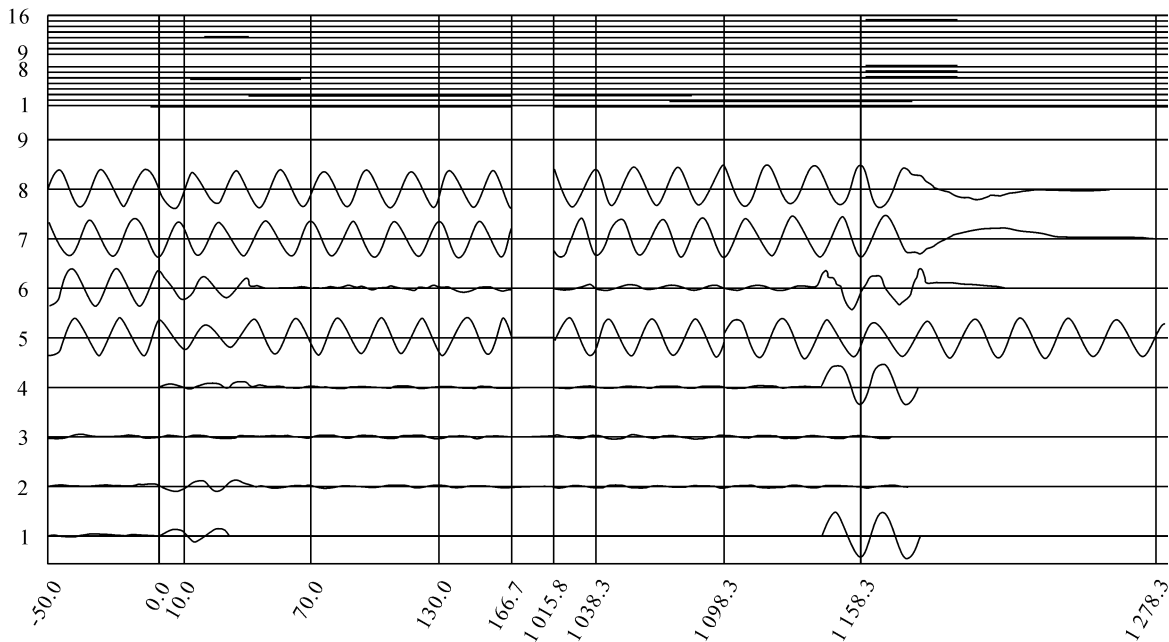


图2 出线 GIL 接地故障录波波形图(对侧某换流站录波波形)

内开关5112、5113 电流及 GIL 外侧电流互感器 LH2B、LH2C 电流组成三侧差动的 T 区保护,其保护配置图如图 3 所示。T 区保护动作后,开入三跳接点至 5112、

5113 操作箱 TJR 接点,跳开线路开关,并由操作箱返回闭锁重合闸指令,由此 T 区保护动作后,本侧重合闸不动作。

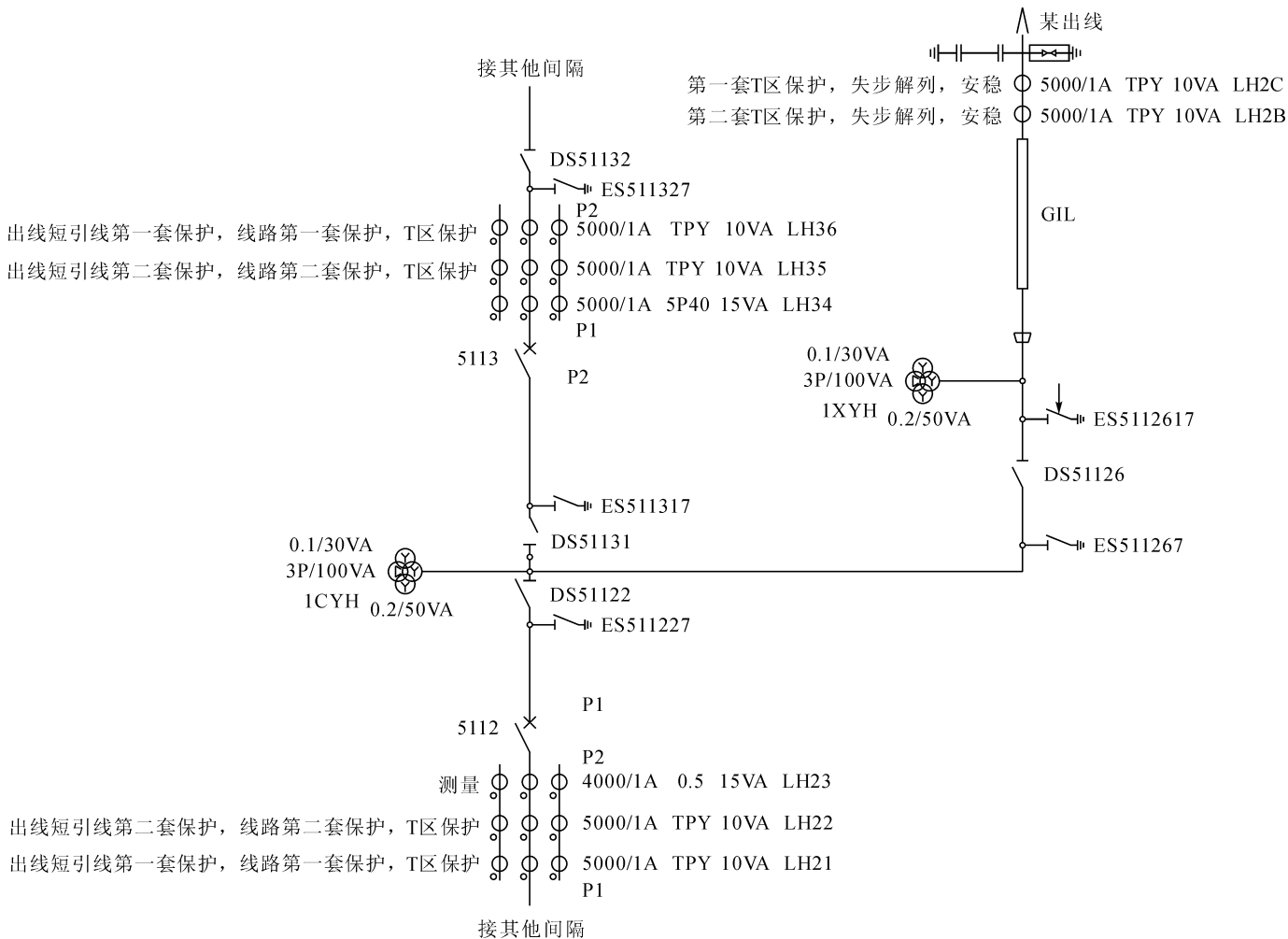


图 3 某电站 RCS-924 T 区保护保护配置图

T 区保护动作闭锁对侧重合闸实现路径较为复杂,主要通过向线路保护装置 RCS-931AMV 发送“远传 1”开入命令,该命令由光纤传输至对侧线路保护装置,继而转发至对侧 RCS-925G 过压远跳装置,经(或不经过)“就地判据”满足后,出口三跳,并闭锁对侧线路开关重合闸,见图 4。

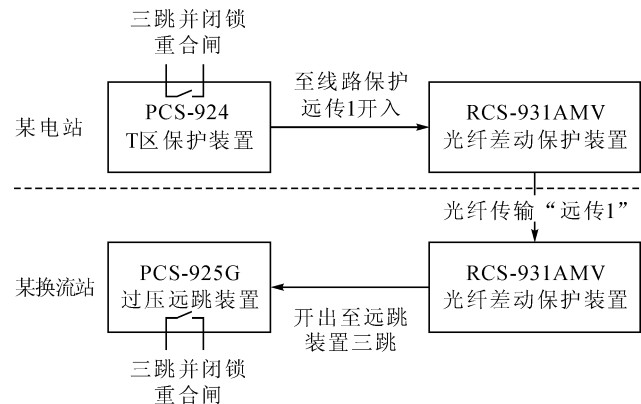


图 4 T 区保护动作闭锁重合闸的实现路径图

2.2 T 区保护动作启动远方跳闸时序分析

查阅某电站及对侧换流站两侧保护装置动作报文,重点检查“远传 1”传输路径,将以上四台装置收到的远传命令以绝对时刻为标准,绘制在同一图中,如图 5 所示。从图 5 可以看出,由于装置开出继电器的动作延时问题,最初 T 区保护开出的跳闸脉宽为 49 ms,最终传输至对侧过压远跳装置时,脉宽仅剩余 35 ms。

2.3 对侧换流站 RCS-925G 过压远跳装置收信后未跳闸原因分析

RCS-925G 的远跳功能主要分为远跳有判据和远跳无判据两种情况,其中远跳无判据主要用于解决 PT 断线的异常情况,其整定延时较长,为 200 ms。

远跳就地判据主要检测线路低电流、低有功判据,就地判据满足,延时 40 ms 开放就地判据满足条件框图。当“就地判据”及“远方收信”两个条件同时满足,在经“远跳有判据延时定值”(30 ms)出口三相跳闸,详细逻辑框图见图 6、图 7。

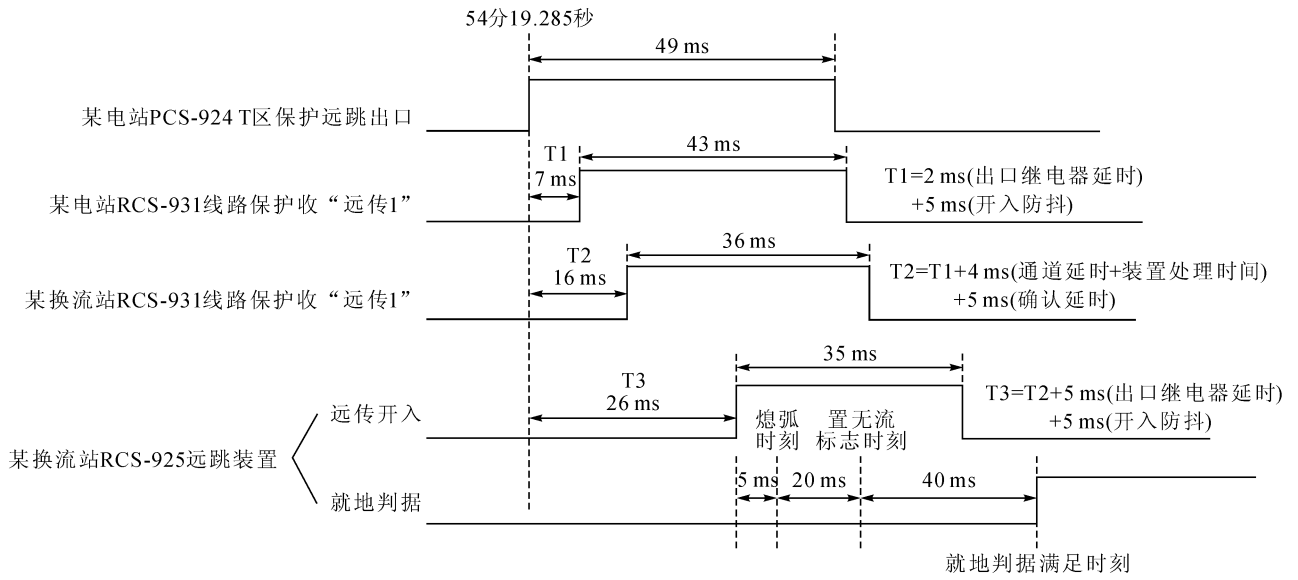


图5 “远传1”脉宽的传输时序图

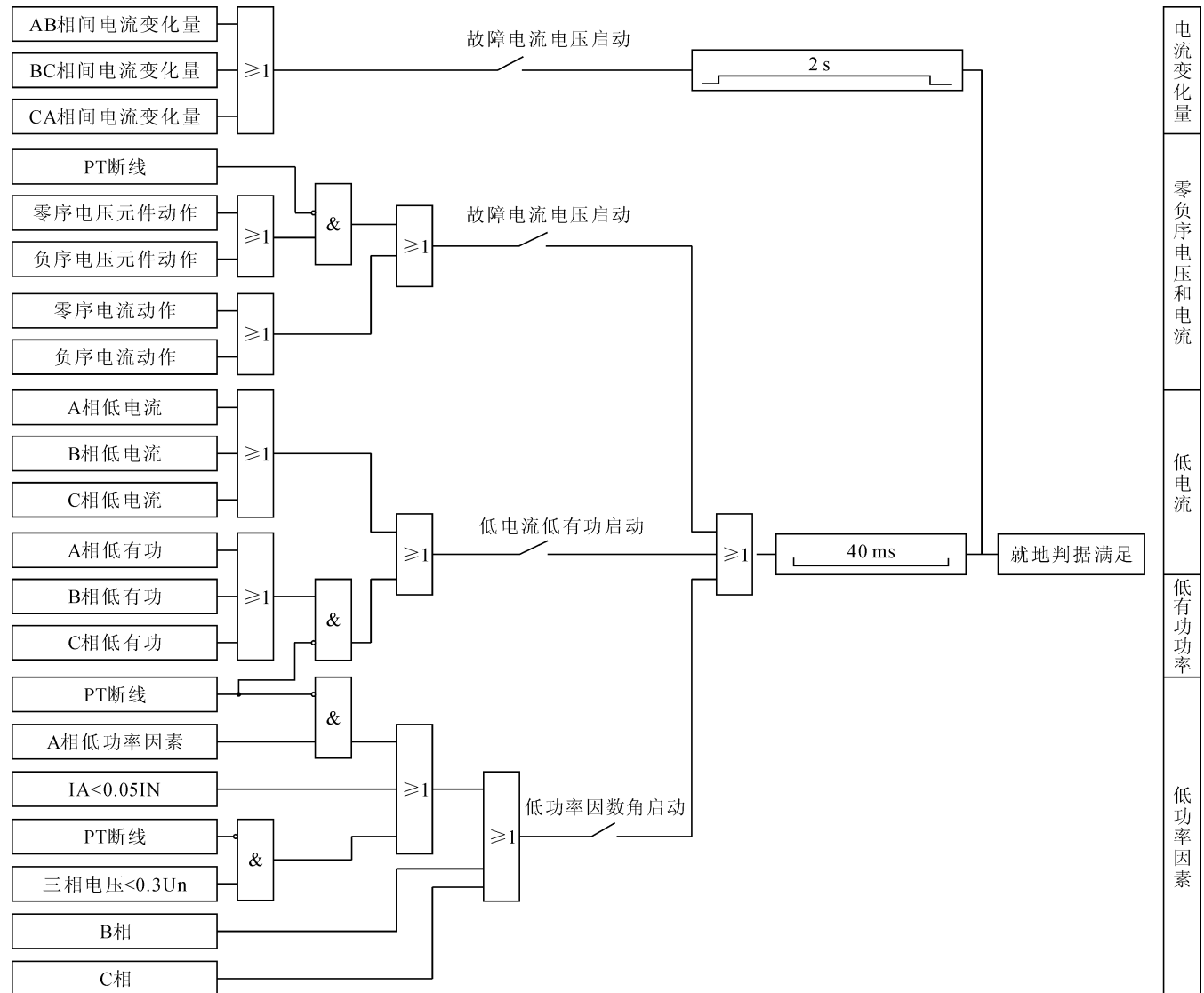


图6 RCS-925G 过压远跳装置就地判据逻辑图

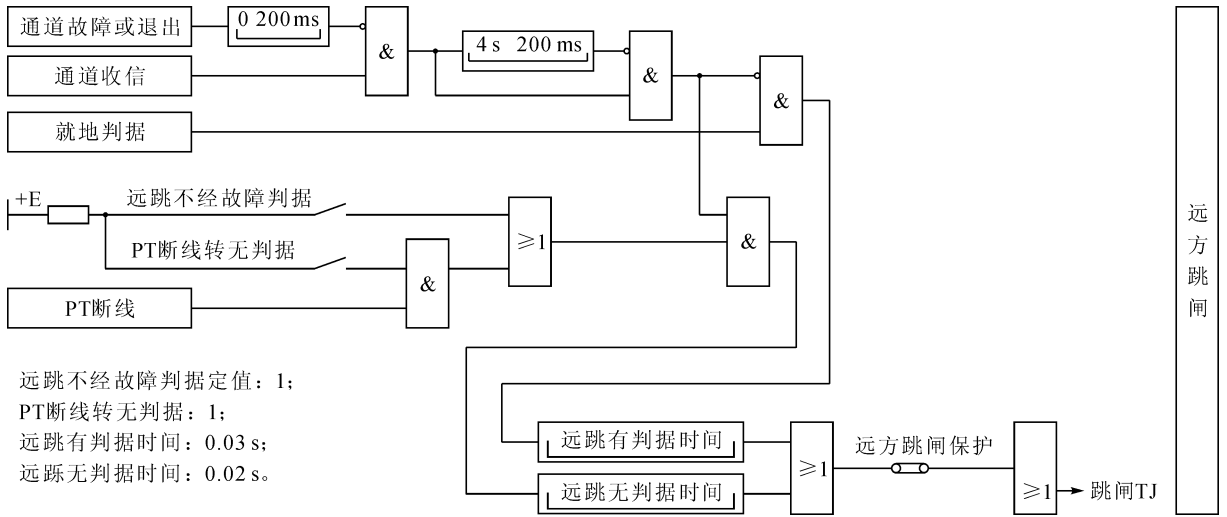


图 7 RCS-925G 过压远跳装置远方跳闸逻辑图

RCS-925G 过压远跳装置“远跳有判据”逻辑简略概括如图 8 所示。

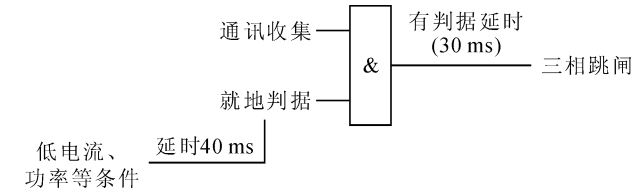


图 8 RCS-925G 远跳有判据逻辑简图

对侧换流站 RCS-925G 过压及远跳保护装置动作波形图可以看出,保护装置收信脉宽大约持续了 35 ms;收信时刻,A 相故障电流较大,不满足低电流就地判据(任一相电流二次值小于 0.05 A)条件,大约 5 ms 后,A 相电流降低为零,低电流条件计时开始,根据图 8、图 9,低电流条件需维持 40 ms,就地判据方满足,但此时通道收信早已返回,因此 RCS-925G 过压及远跳保护装置未动作出口。

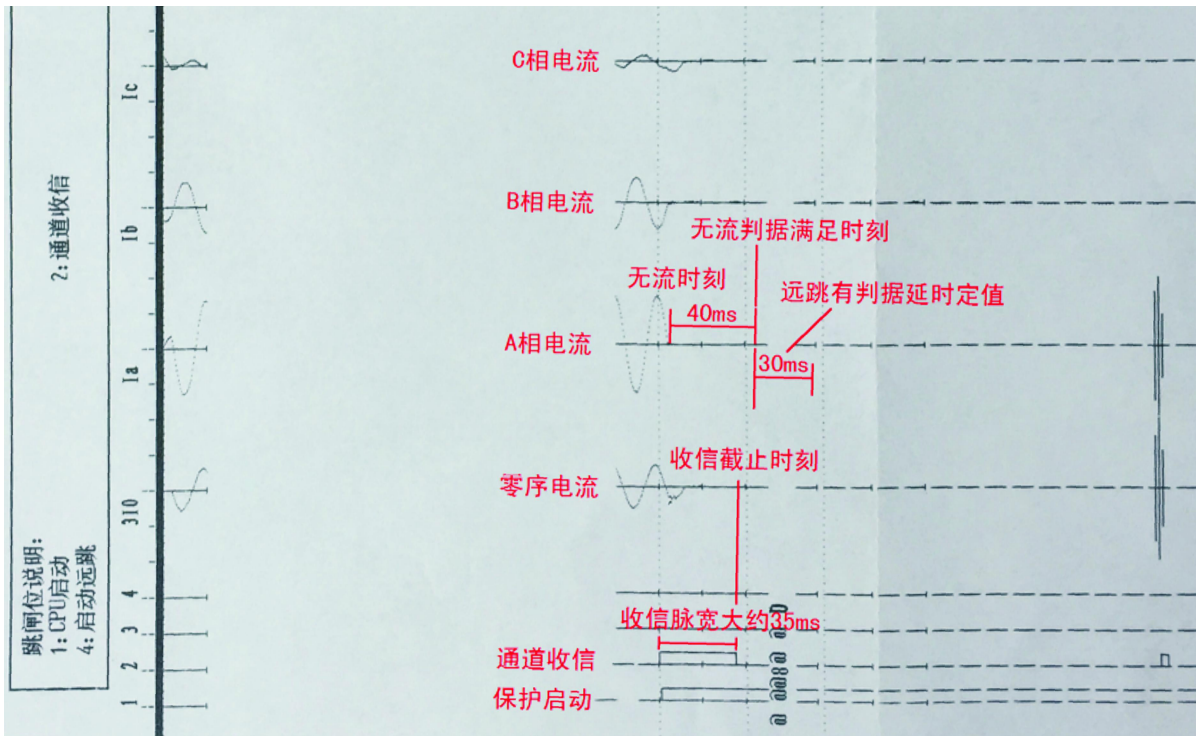


图 9 对侧某换流站 RCS-925G 远方收信动作时序图

由此,可以判断,远传收信与就地判据时间未能匹配,是造成对侧换流站过压远跳装置收信未跳闸的主要原因。

3 整改建议

针对目前某出线 T 区保护无法闭锁对侧重合闸

的问题,建议有以下几种方案可供选择:

方案一:投入对侧换流站 RCS-925G 过压远跳装置“故障电流电压”判据。

此方案需增加对侧换流站 RCS-925G 过压远跳装置“零序电流判据”、“负序电流判据”、“零序电压”、“负序电压判据”等就地判据,可以使就地判据计时时刻提前至故障初始时刻,使收信与就地判据相配合;但由于“远传1”命令多级传输已造成收信脉宽降低至 35 ms 左右,配合的裕度比较小,在某些极端时刻仍可能造成闭锁重合闸失败。

方案二:对 T 区保护装置进行程序升级,拓展远传出口脉冲宽度。

由“远传1”脉宽的传输时序图 5 可知,如果仅对 T 区保护装置程序升级而没有增加对侧换流站 RCS-925G 过压远跳装置“零序电流判据”、“负序电流判据”、“零序电压”、“负序电压判据”等就地判据,T 区保护远跳开出拓展的时间大致为 109 ms,造成保护可靠性下降,如果对 T 区保护装置进行程序升级且增加对侧换流站 RCS-925G 过压远跳装置“零序电流判据”、“负序电流判据”、“零序电压”、“负序电压判据”等就地判据,T 区保护远跳开出拓展的时间大致为 84 ms,可提高保护动作可靠性,此方案应配合方案一共同开展。

方案三:T 区保护不采用“远传1+就地判据”的方式启动对侧跳闸,而是采用启动“远跳”的方式由对侧差动保护装置直接三跳。

此方案只需要将“远传”跳闸方式,改为启动线路“远跳”的方式,由对侧线路保护出口跳闸,不经过过电压保护装置跳闸,有效缩短了中间延时,大大提高了保护动作可靠性。

综上所述,采用“远跳”功能,可减少收信的传输

(上接第 63 页)

统的独立性,并实现更广泛的档案信息共享。

4)联合编研提高编研成果的深度和质量。企业档案人员应树立超前服务和主动参与的意识,档案编研工作应以企业的服务利用需求为目的,以企业的安全生产、科研技术为重点,在充分调查研究的基础上确定选题,要具有前瞻性和实用性。档案编研工作独立编研是发挥一己之长,联合编研是发挥众家所长,提高编研成果的深度和质量,其内驱力归根到底还是在人的思想,档案编研人员应以企业的长远发展需要为大局;联合企业内部各方面需求和力量,在档案深度开发

次数,有效缩短了中间延时,且无就地判据的匹配问题,为防止误传输,可投入“远跳经本侧启动”控制字。因此,考虑到保护动作的可靠性及电网运行安全稳定性,可优先选择方案三。

4 结 语

本文通过对一起 500 kV 线路 T 区保护远传信号无法闭锁对侧重合闸事故分析,结合继电保护故障波形、动作报告和时序图分析了事故原因,提出了相应对策,是一起典型的故障案例,具有广泛的参考价值。目前,一般大型水电站会增设专用于保护 GIL 的 T 区保护,T 区保护动作后可以通过发“远传”或“远跳”信号两种方式给对侧线路闭锁对侧线路开关重合闸,但采用发“远传”信号闭锁对侧重合闸这种方式时,对远传收信与就地判据的时序配合要求较高,极易发生因远传收信与就地判据时间未能匹配而导致不能可靠闭锁对侧线路开关重合闸的事故,然而选择发“远跳”方式可减少收信的传输次数,有效缩短了中间延时,且无就地判据的匹配问题,可以有效解决 GIL 发生接地故障时 T 区保护动作无法闭锁对侧线路开关重合闸的情况,对于大型水电站同类保护配置及防范类似故障的发生及处理具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1]李尹光,丁中民,徐文刚. 两例气体绝缘输电线路 GIL 故障原因分析及处理[J]. 电气时代, 2016(11): 66-67
- [2]李志强. 一起断路器重合不成功事故分析[J]. 电气开关, 2005, 43(6): 29-30
- [3]GB/T 14285-2006, 继电保护和安全自动装置技术规程[S]
- [4]DL/T 559-2007, 220 kV~750 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S]

与利用上下功夫,把编研成果的质量放在首位,让编研成果结合实际,综合应用档案信息资源,在企业生产经营等业务工作中产生效益。

参考文献:

- [1]陈正娇. 对《中国档案主题词表》未能广泛使用的几点思考[J]. 文山学院学报, 2010, 23(3): 148-150
- [2]李哲. “档案信息孤岛”现象的产生与消除[J]. 兰台世界: 下半月, 2010(8): 9-10
- [3]马仁杰,谭亚楠,王沐辉. 论我国档案检索工作中存在的问题与改进对策[J]. 档案学通讯, 2016(3): 42-45
- [4]罗敏芝. 大数据时代下档案利用服务体系的构建思路[J]. 城建档案, 2019(3): 45-46

《水电与新能源》顾问

(以姓氏笔画为序)



刘经南 院士

刘经南院士，大地测量与卫星导航专家，北斗/GNSS (Global Navigation Satellite System) 技术应用和工程领域专家。2003~2008年任武汉大学校长，2012~2018年任昆山杜克大学校长。现任武汉大学教授，博士生导师，国家全球卫星定位系统工程技术研究中心主任，中国测绘学会常务理事，国际“GPS WORLD”杂志编委，国际GPS地球动力学服务组织协调成员，中国兵器工业集团公司双跨院士，中国北斗卫星导航系统专家委员会委员。

刘经南院士在大地测量坐标系理论、卫星定位应用、软件开发和重大工程应用方面做出了一系列开创性工作。先后获得五次国家科技进步奖，多次省部级科技进步奖和一次国家教委教学成果一等奖。还曾获得中国科协“全国先进科技工作者”等多项荣誉称号。



许崇育 院士

许崇育，教授，挪威科学与文学院院士，挪威工程院院士。挪威奥斯陆大学地球科学系终身教授，河海大学荣誉教授，中组部武汉大学特聘教授。瑞典乌普萨拉大学及国内数个知名大学和中科院研究院所的兼职教授。长期从事全球环境变化与水资源响应，不同气候区域不同时间和空间尺度水文模拟研究。1993年获得世界气象组织杰出青年科学家奖，为首位获此项荣誉的中国科学家。2000年应邀担任中国科学院海外评审专家。于2002年获中国科学院海外杰出学者。在WEB OF SCIENCE 上h-index = 59。获得2017和2018年Web of Science颁发的世界(1%)高被引科学家证书。现担任国际SCI期刊《水文研究》Hydrology Research的荣誉主编，并担任包括国际《水文学》Journal of Hydrology等数个专业期刊副主编。同时担任IPCC评估报告评审专家。



陆佑楣 院士

陆佑楣，中国工程院院士，水利水电工程专家，祖籍江苏太仓。1956年毕业于华东水利学院（现河海大学），获本科学位。曾任水利电力部副部长、能源部副部长、国务院三峡工程建设委员会副主任委员、中国长江三峡工程开发总公司总经理、中国大坝委员会主席。

长期从事水利水电工程建设的技术和管理工作。先后参与和主持了刘家峡、盐锅峡、石泉、安康、龙羊峡等水电站建设。1984至1988年在水利电力部、1988至1992年在能源部工作期间，推进了水利电力工程技术进步和建设管理体制的改革，参加了三峡工程论证并担任论证领导小组副组长。1993年至2003年主持长江三峡工程建设，研究和决策了工程施工总体布局、交通运输方案、导流围堰工程、大坝快速施工以及大型水轮发电机组选型采购等一系列重大工程技术和管理工作；实行分项目招标、分项目管理，建立了完整的质量控制、投资控制体系及多元化筹资方案；提出“双零”建设管理目标，实现工程与环境同步建设，确保了三峡工程预期目标顺利实现。主要论著有《长江三峡工程（技术篇）》《三峡大坝混凝土施工》《长江三峡工程建设管理的实践》《长江三峡工程的哲学分析》《The Environmental Impact of the Three Gorges Project and Countermeasures》《将核电站反应堆置于地下的设想》等。其中《三峡工程大坝混凝土快速施工新技术的研究及实践》获湖北省科学技术进步一等奖。2002年，荣获由国际大坝委员会颁发的国际大坝委员会荣誉奖。2007年，荣获由全美华人工程师协会颁发的杰出华人工程师奖。2015年，荣获由世界工程组织联合会（WFEO）颁发的工程成就奖。



张超然 院士

张超然，中国工程院院士。1966年2月毕业于清华大学水利工程系，曾任电力工业部成都勘测设计研究院副院长、总工程师，中国长江三峡集团公司总工程师、科学技术委员会主任。现任中国长江三峡集团公司科学技术委员会顾问。

长期从事水利水电工程设计和建设的技术工作。主持设计我国二十世纪建成的第一座坝高超过200米、装机容量超过300万千瓦二滩水电站。

参与或主持长江三峡工程建设中重大技术问题的研究和决策，负责解决和处理建设过程中出现的技术难题和质量问题；负责金沙江溪洛渡、向家坝水电站建设全过程和白鹤滩、乌东德水电站前期筹建阶段的技术工作。

获国家科技进步二等奖2项、国家设计金奖1项、省部级科技进步特等奖2项、一等奖6项。先后获全国五一劳动奖章和全国劳动模范称号。



钮新强 院士

钮新强院士，浙江湖州人。中共党员。中国工程院院士，教授级高级工程师，水工结构专家。现任长江勘测规划设计研究院院长、国家大坝安全工程技术研究中心主任，中国大坝工程学会副理事长。

主持和参与主持了国家重大水利水电工程设计10余项，是三峡、南水北调中线工程主要设计负责人之一。主持国家科技攻关及三峡等工程专项科研30余项。主持设计成功世界首座全衬砌船闸三峡双线五级船闸。研发多项水工新技术，在三峡、南水北调等重大工程中推广应用。

曾获国家科技进步二等奖5项，省部级特等奖4项。主（参）编规范规程5部，出版专著8部，发表论文70余篇。获全国工程设计大师、FIDIC百年优秀咨询工程师、全国杰出专业技术人才、湖北省科技突出贡献奖、全国创新争先奖状等荣誉。

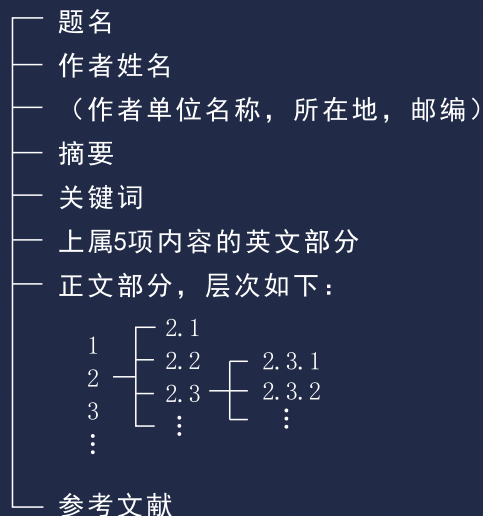
《水电与新能源》投稿须知

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

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

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

4、文章格式规范如下：



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

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

7、参考文献著录

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

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

本刊编辑部