

《中国水能及电气化》征稿启事

《中国水能及电气化》是由中国水利工程协会等单位主办、面向国内外公开发行的科技类学术期刊(月刊),国际标准连续出版物号:ISSN 1673-8241,国内统一连续出版物号:CN 11-5543/TK。主要栏目包括:农村水电、绿色小水电、施工技术、建设管理、运行管理、水电站技术、科学研究及工程设计等。

为了更好地服务于水能资源管理和水电农村电气化领域,宣传党和国家的相关方针政策,传播科学管理理念,围绕行业改革与发展,报道行业内的新科研成果,交流行业内的建设与管理经验,传递行业信息,推广行业典型,倡导节能减排,促进我国水能资源管理及水电农村电气化事业蓬勃发展,现面向广大行业工作者、科研管理人员、高等院校师生、科研院所工作人员和关心水电行业发展的社会各界人士征集优秀稿件,稿件要求如下:

1. 来稿要求论点明确,问题集中,逻辑严密,文字精练,数据可靠,并须注明来稿系撰稿人原作且未曾在其他公开出版物上发表过。**文章字数要求在3500字以上。**标题简明扼要,字数限于20字以内。文章应有150~200字的摘要和3~5个关键词,置于标题和作者之后、正文之前。**摘要不能仅是背景介绍、重要性、意义等,而必须是对文章研究目的、研究方法、研究结论以及内容的概括。摘要及关键词编写的具体要求请见杂志网站“投稿须知”栏目(<http://zgsn.cweun.org/tgxz.php?id=2>)。**

2. 来稿请将作者姓名、工作单位全称、所在市县和邮政编码写在文章标题之下,文章作者人数不超过3人。在文末注明主要作者的姓名、性别、职务,并留下联系电话、传真、E-mail和联系地址。

3. 来稿一律采用法定计量单位和规范的书写符号,并遵循国家的相关规定。例如:单位符号一律用正体;物理量的符号一律用斜体;物理量如有下角标,下角标用斜体,等等。来稿如有附图,图中线条、文字、数据必须清晰无误,图片及照片最好为彩色,以便于排印,凡有数据的附图一定注明计量单位。图表中项目名称与单位之间用斜杠(/)分隔。

4. 根据《著作权法》,文稿引用他人作品,请在“参考文献”中注明原作者姓名、原作名称及来源,并在文中引用处用上角标注明,否则有关责任由来稿人自负。**参考文献采用顺序编码制,按正文中引用文献出现的先后顺序用阿拉伯数字连续编号,将序号置于方括号中,并视具体情况将序号作为上角标,或作为语句的组成部分,并与文末参考文献序号对应一致。参考文献必须经细致查核方可引入,尚未公开发表的资料不要列入参考文献中,只可在出现页加脚注。参考文献著录格式如下:**

普通图书 作者(多作者时作者名用逗号分开).书名[M].版次(第一版不标注).出版地:出版单位,出版年份:章节或起止页码。

期刊中析出的文献 作者(多作者时作者名用逗号分开).题名[J].刊名,出版年份,卷号(期号):起止页码。

论文集中析出的文献 析出作者(多作者时作者名用逗号分开).析出题目[C]//原论文集作者.原论文集名.出版地:出版单位,出版年份:起止页码。

5. 文稿正文编排格式一律采用阿拉伯数字,即第一层次用1, 2, 3, ... (顶格排,数字后无点);第二层次用1.1,1.2,1.3,... (顶格排);第三层次用1.1.1,1.1.2,1.1.3,... (顶格排)。分项一律用英语字母,即a., b., c.,... (空两格排,字母后用下角点)。文内有分项,则用①②③...表示。

6. 来稿尽量通过E-mail发送,切勿一稿两投。本刊不负责退稿,请作者自留底稿。如果作者在投稿后两个月内未收到回复,可将稿件自行处理。

与作者的约定

◎为适应我国信息化建设,扩展知识信息交流渠道,本刊已被《中国学术期刊网络出版总库》《中文科技期刊数据库》《中国学术期刊综合评价数据库》和中邮阅读网全文收录。

◎本刊刊出的内容,未经本刊许可,不得转载。所有在本刊刊发的文字、图片,本刊拥有网络电子版权。如果作者有异议,请在来稿时向本刊声明。

单 位:《中国水能及电气化》杂志社有限公司

联系地址:北京市西城区南滨河路27号 贵都国际中心B座1119室

联系人:牟佳 鲍娜 电 话:010-63305281

邮政编码:100055

电子邮箱:wateree6346@163.com



中国水能及电气化

CHINA WATER POWER & ELECTRIFICATION

2022年第4期(总第205期)

中华人民共和国水利部 主管

中国水能 及电气化

CHINA WATER POWER & ELECTRIFICATION



ISSN 1673-8241



9 771673 824224

042

2022.4
月刊 总第205期

广告

欢迎订阅! 欢迎投稿! 欢迎刊登广告!

《水利建设与管理》征订启事

(月刊 CN 11-4446/TV)

主管单位: 水利部

主办单位: 中国水利工程协会

编辑出版单位: 《水利建设与管理》杂志社有限公司

主要栏目设置: 本期特稿、172项节水供水重大水利工程专题、建设管理、运行管理、科研设计、工程施工、水力学、水文泥沙、水环境与生态、水利信息化等。

本刊大16开全彩印刷, 全年12期, 每期定价20元, 全年订价240元, 每月23日出刊。

国内邮发代号: 2-781

国外发行代号: M03713

当地邮局或联系本社订阅, 电话: 010-63305220

投稿网址: <http://www.sljsygl.com/home/login>

投稿咨询电话: 010-63305239

刊登广告电话: 010-63305258

汇款账户户名: 《水利建设与管理》杂志社有限公司

开户行: 工行北京广安门支行营业部

账号: 0200001919200186803

广告

欢迎订阅! 欢迎投稿! 欢迎刊登广告!

《水资源开发与管理》征订启事

(月刊, ISSN 2096-0131
CN 10-1326/TV)

主管单位: 水利部

主办单位: 中国水利工程协会

编辑出版单位: 《水利建设与管理》杂志社有限公司

主要栏目设置: 本期特稿、水资源管理、水生态保护、水文、河湖长制专栏、水利信息化、水利风景区建设与发展、防洪减灾、水文化、水市场、经验交流等。

本刊大16开全彩印刷, 全年12期, 每期定价20元, 全年订价240元, 每月25日出刊。

国内邮发代号: 82-389

国外发行代号: M09525

当地邮局或联系本社订阅, 电话: 010-63305220

投稿网址: <http://szy.sljsygl.com/home/login>

投稿咨询电话: 010-63305233

刊登广告电话: 010-63305258

汇款账户户名: 《水利建设与管理》杂志社有限公司

开户行: 工行北京广安门支行营业部

账号: 0200001919200186803

2022 4 月刊
总第 205 期

中国水能及电气化

- ◆ 《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊
- ◆ 《中文科技期刊数据库》收录期刊
- ◆ 《中国期刊全文数据库》收录期刊
- ◆ 万方数据 - 数字化期刊群收录期刊

主 管 中华人民共和国水利部
主 办 水利部水电局
中国水利工程协会
中国大坝工程学会
四川省地方电力局

主 编 安中仁
编辑部主任 牟 佳
责任编辑 侯博丹

编辑出版 《中国水能及电气化》杂志社有限公司
通信地址 北京市西城区南滨河路 27 号
贵都国际中心 B 座 1119 室

邮政编码 100055

联系电话 010-63305281 (发行)
010-63305250 (投稿)
010-63305209 (广告)

网 址 <http://zgsn.cweun.org>

电子信箱 wateree6346@163.com

中国标准连续出版物号 ISSN 1673-8241
CN 11-5543/TK

广告经营许可证 京西市监广登字 20170040 号

出版日期 每月 15 日

印刷装订 北京博海升彩色印刷有限公司

邮发代号 80-495

定 价 16.00 元



中国水利工程协会官方微信公众号
二维码, 欢迎扫描加关注, 随时检索
协会会刊论文发表情况。

目 录

本期特稿

- 1 水利部运行管理司负责同志解读《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》

运行管理

- 5 水库(水闸)工程运行危险源辨识与风险评价的应用方法与技术 龙 艺 张元军 胡兴富
10 提升水闸自动化监控系统本质安全水平的途径 李 胜
14 基于漳泽水库渗流观测资料的大坝运行状况评价 宋 倩

施工技术

- 20 超深基坑圆形结构钢模板施工技术 朱 威
24 崩解岩保护层精准开挖施工技术 洪后兵 朱海亚
27 北辰特大桥 72 号墩巨型双臂钢围堰深水施工技术研究 朱传奇

水电站技术

- 34 基于水电机组盘车的摆度测量及调整系统研究 钟象新 乔志远 谭小平

科学研究

- 38 柔性喷层在锚喷支护输水隧洞工程中的应用研究 李淑贤
42 水电站河道冲刷破坏水下多波束测深检测分析 华朝锋
48 不同工况下库区大型岩质滑坡稳定性分析 倪 明 保守林 郝 超
54 南水北调工程安全监测自动化系统人工比测方法研究 边 超 王璐璐
58 小水电站生态流量泄放对发电影响分析及补偿机制探讨 何先进 郜晓辉

经验交流

- 62 对国家标准 GB/T 50082—2009 抗硫酸盐侵蚀试验方法的探讨 潘义为 李守通 张振洲
66 BIM 技术在建筑电气设计中的应用分析 徐寒电

水利大讲堂

- 69 堤防工程作业要求大全

Contents

Special Report

- 1 The responsible comrade of the Operation Management Department of the Ministry of Water Resources interprets *Guidance on promoting the standardized management of water conservancy projects*

Operation Management

- 5 Application Method and Technology of Reservoir (Sluice) Project Operation Hazard Identification and Risk Assessment
LONG Yi, ZHANG Yuanjun, HU Xingfu
- 10 Way to Improve the Essential Safety Level of Sluice Automatic Monitoring System
LI Sheng
- 14 Evaluation of Dam Operation Status based on Seepage Observation Data of Zhangze Reservoir
SONG Qian

Construction Technology

- 20 Construction Technology of Circular Structure Steel Formwork for Super-deep Foundation Pit
ZHU Wei
- 24 Precise Excavation Construction Technology of Protective Layer of Disintegrating Rock
HONG Houbing, ZHU Haiya
- 27 Research on Deep Water Construction Technology of Large Double-arm Steel Cofferdam for No. 72 Pier in Beichen Super Major Bridge
ZHU Chuanqi

Hydropower Station Technology

- 34 Research on Swing Measuring and Adjusting System based on Hydroelectric Generating Unit Turning Gear
ZHONG Xiangxin, QIAO Zhiyuan, TAN Xiaoping

Scientific Research

- 38 Study on Application of Flexible Spray Layer in Anchoring Shotcrete Supporting Water Conveyance Tunnel Project
LI Shuxian
- 42 Underwater Multi-beam Sounding Detection and Analysis of River Scouring Damage in Hydropower Station
HUA Chaofeng
- 48 Stability Analysis of Large Rock Landslide in Reservoir Area under Different Working Conditions
NI Ming, BAO Shoulin, HAO Chao
- 54 Study on Manual Comparison Method of Safety Monitoring Automation System of South-to-North Water Diversion Project
BIAN Chao, WANG Lulu
- 58 Analysis on Influence of Ecological Discharge of Small Hydropower Station on Power Generation and Discussion of Compensation Mechanism
HE Xianjin, GAO Xiaohui

Experience Exchange

- 62 Discussion on Test Method of Sulfate Corrosion Resistance of National Standard GB/T 50082—2009
PAN Yiwei, LI Shoutong, ZHANG Zhenzhou
- 66 Application Analysis of BIM Technology in Building Electrical Design
XU Handian

Water Conservancy Lecture Hall

- 69 Complete Book of Dike Operation Requirements

编委会

名誉主任

胡四一

副主任

邢援越 陈大勇 贾金生
陈生水 刘恒 陈荣仲
裘江海

秘书长

夏海霞 廖文根

编委会成员(按姓氏笔画排列)

王凤翔 王东胜 王丽平
王福岭 卢平 邝明勇
冯顺新 吉生元 毕振令
回士光 刘启华 刘改元
刘肃 刘德有 许德志
孙道成 李铭芳 吴克昭
吴新黔 邱小庄 张从银
张忠孝 张桂龙 张翾
陈洪(女) 陈德亮 禹雪中
夏海霞 徐祥利 唐山松
黄文宝 阎有勇 隋欣
葛捍东 程夏蕾 傅云光
鲁锡海 廖文根 樊新中
潘晓光

本期特稿

水利部运行管理司负责同志解读 《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》

近日,水利部制定出台《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》(以下简称《指导意见》)《水利工程标准化管理评价办法》(以下简称《评价办法》)及评价标准等文件。水利部运行管理司负责同志就《指导意见》等文件进行了解读。

一、《指导意见》等文件出台的背景是什么?

党的十九届五中全会明确提出,“十四五”时期经济社会发展要以推动高质量发展为主题。在水利部“三对标、一规划”专项行动总结大会上,李国英部长指出,新阶段水利工作的主题为推动高质量发展,明确了新阶段水利高质量发展的目标任务和实施路径,要求健全水利工程安全保护制度,确保水利工程安全。新时代提出新要求,加快推进水利工程标准化管理,有效改变水利工程粗放的管理模式,是推动新阶段水利高质量发展,保障水利工程安全的必然要求。

我国已建成由水库、堤防、水闸、灌区、泵站和调水工程组成的水利工程体系,这些水利工程在发挥巨大防洪减灾、供水灌溉、生态保护效益的同时,运行管理方面存在亟待解决的问题。部分存量病险工程尚未实施除险加固,工程安全隐患依然严重;基层水管单位技术力量薄弱、管护经费不足,运行管理水平相对落后;工程信息化、智慧化管理水平较低,运行管理手段落后。这些问题与新阶段水利高质量发展不相适应,必须加强水利工程运行管理,及时消除安全隐患,守住安全底线,同时,着力提升运行管理能力

和水平,努力提高管理规范化、智慧化、标准化。

近年来,浙江、江苏、江西、山东、安徽等地,黄委、淮委等流域管理机构,结合管理实际,积极探索水利工程标准化管理,在保障工程安全、增强管理能力、提高管理水平方面,取得了明显工作成效。同时,在加强顶层设计、分类指导实施、完善标准体系、强化绩效考评等方面形成一批可借鉴的有效做法。总的来看,先期实践成效显著,在全行业推行水利工程标准化管理的条件已经具备,需要水利部加强顶层设计、制定制度标准,引导标准化管理的有序推进。

二、《指导意见》等文件的主要内容是什么?

这次印发的文件包括《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》《水利工程标准化管理评价办法》和水库、水闸、堤防等3类工程的标准化管理评价标准。

《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》提出了推进标准化管理的指导思想和总体目标;从工程状况、安全管理、运行管护、管理保障和信息化建设等5方面,明确了标准化管理要求;确定了推进标准化管理的具体工作内容:从加强组织领导、落实资金保障、推进智慧水利、强化激励措施和严格监督检查等方面提出了保障措施。

《水利工程标准化管理评价办法》共十六条,对标准化评价的适用范围、评价主体、工作程序、评价标准、申报水利部评价工作要求及退出机制作出规定。

水库、水闸、堤防等3类工程标准化评价标准，对应工程状况、安全管理、运行管护、管理保障和信息化建设等5个方面标准化要求，分别制定了标准化基本要求和水利部评价标准，细化了评价内容、评价指标和赋分原则。

三、标准化管理的指导思想 and 主要目标是什么？

《指导意见》提出的指导思想是，以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻落实“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路，坚持人民至上、生命至上，统筹发展和安全，立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局，推动高质量发展，强化水利体制机制法治管理，推进工程管理信息化智慧化，构建推动水利高质量发展的工程运行标准化管理体系，因地制宜，循序渐进，推进水利工程标准化，保障水利工程运行安全，保证工程效益充分发挥。

《指导意见》确定的主要目标是，“十四五”期间，强化工程安全管理，消除重大安全隐患，落实管理责任，完善管理制度，提升管理能力，建立健全运行管理长效机制，全面推进水利工程标准化。2022年底，省级水行政主管部门和流域管理机构建立起水利工程标准化制度标准体系，全面启动标准化管理工作；2025年底，除尚未实施除险加固的病险工程外，大中型水库全面实现标准化，大中型水闸、泵站、灌区、调水工程和3级以上堤防等基本实现标准化；2030年底，大中小型水利工程全面实现标准化。

四、标准化管理的具体要求是什么？

《指导意见》要求，从工程状况、安全管理、运行管护、管理保障和信息化建设等5个方面，实现水利工程全过程标准化。

一是工程状况方面，要求工程现状达到设计标准，无安全隐患；主要建筑物和配套设施运行性态正

常，运行参数满足现行规范要求；金属结构与机电设备运行正常、安全可靠；监测监控设施设置合理、完好有效，满足掌握工程安全状况需要；工程外观完好，管理范围环境整洁，标识标牌规范醒目。

二是安全管理方面，要求工程按规定注册登记，信息完善准确、更新及时；按规定开展安全鉴定，及时落实处理措施；工程管理与保护范围划定并公告，重要边界界桩齐全明显，无违章建筑和危害工程安全活动；安全管理责任制落实，岗位职责分工明确；防汛组织体系健全，应急预案完善可行，防汛物料管理规范，工程安全度汛措施落实。

三是运行管护方面，要求工程巡视检查、监测监控、操作运用、维修保养和生物防治等管护工作制度齐全、行为规范、记录完整，关键制度、操作规程上墙明示；及时排查、治理工程隐患，实行台账闭环管理；调度运用规程和方案（计划）按程序报批并严格遵照实施。

四是管理保障方面，要求管理体制顺畅，工程产权明晰，管理主体责任落实；人员经费、维修保养经费落实到位，使用管理规范；岗位设置合理，人员职责明确且具备履职能力；规章制度满足管理需要并不断完善，内容完整、要求明确、执行严格；办公场所设施设备完善，档案资料管理有序；精神文明和水文化建设同步推进。

五是信息化建设方面，要求建立工程管理信息化平台，工程基础信息、监测监控信息、管理信息等数据完整、更新及时，与各级平台实现信息融合共享、互联互通；整合接入雨水情、安全监测监控等工程信息，实现在线监管和自动化控制，应用智能巡查设备，提升险情自动识别、评估、预警能力；网络安全与数据保护制度健全，防护措施完善。

五、各地推进标准化管理的主要工作内容是什么？

一是制定标准化管理工作实施方案。省级水行政主管部门和流域管理机构要加强顶层设计，按照因地

制宜、循序渐进的工作思路，制定本地区（单位）水利工程标准化管理工作实施方案，明确目标任务、实施计划和工作要求，落实保障措施，有计划、分步骤组织实施，统筹推进水利工程标准化管理工作。

二是建立工程运行管理标准体系。省级水行政主管部门和流域管理机构要依据国家和水利部颁布的相关管理制度和技术标准规范，结合工程运行管理实际，梳理工程状况、安全管理、运行管护、管理保障和信息化建设等方面的管理事项，制定标准化管理制度，按照工程类别编制标准化工作手册示范文本，构建本地区（单位）工程运行管理标准体系，指导水管单位开展标准化管理。以县域为单元，深化管理体制变革，健全长效运行管护机制，全面推进小型水库标准化管理，积极探索农村人饮工程标准化管理。

三是推进标准化管理的实施。水管单位要根据省级水行政主管部门或流域管理机构制定的标准化工作手册示范文本，编制所辖工程的标准化工作手册，针对工程特点，理清管理事项、确定管理标准、规范管理程序、科学定岗定员、建立激励机制、严格考核评价，按照标准化管理要求，全面开展标准化管理创建工作。

四是做好标准化管理评价。省级水行政主管部门和流域管理机构要结合实际，制定本地区（单位）的标准化评价细则及其评价标准，建立标准化管理常态化评价机制，深入组织开展标准化评价工作。

六、标准化管理评价与水利工程管理考核的关系，主要有哪些变化？

《评价办法》是在《水利工程管理考核办法》的基础上，根据标准化管理的新要求修订形成，文件印发后，将以水利工程标准化管理评价替代水利工程管理考核工作。主要有以下变化：

一是评价对象由水管单位改为水利工程。主要考虑到随着水管体制改革和机构改革的推进，各地集中管理逐步成为改革的趋势和方向，由一个水管单位管理多个水利工程的现象普遍存在，而诸多工程因类

别、规模、功能、效益等各类因素影响，管理水平不尽相同，管理单位整体达标难度加大，示范带动作用受到影响。因此，本次标准化评价，将评价对象调整为水利工程。水利工程申请标准化评价的主体为该工程的管理单位，即各水管单位可根据管理实际对管辖工程中的某个或某几个工程申报标准化管理评价。

二是评价内容突出了工程安全和信息化管理。标准化管理把保障工程安全作为首要任务，突出强化了工程实体和安全管理；并对运行管理全过程标准化提出明确要求，将管理标准细化到每项管理事项、每个管理程序，落实到每个工作岗位。同时，适应水利高质量发展的新形势新要求，按照水利部加强智慧水利建设的总体部署，明确了信息化建设的具体要求，增加了赋分权重。

三是评价标准充分考虑了地区间条件差异。水利部制定了一低一高两个标准，即标准化基本要求和水利部评价标准。省级水行政主管部门、流域管理机构可结合实际，制定本地区（单位）的评价标准，这个标准应满足水利部确定的基本要求。评价结果达到省级或流域管理机构评价标准的，认定为省级或流域管理机构标准化管理工程。通过省级或流域管理机构标准化评价且满足水利部评价条件的，可申请水利部评价。通过水利部评价的，认定为水利部标准化管理工程。

四是强化了流域管理机构的作用。为贯彻落实《水利部关于强化流域治理管理的指导意见》精神，发挥流域管理机构组织推进流域内标准化管理工作的作用，《评价办法》明确流域管理机构负责指导流域内水利工程标准化管理和评价，受水利部委托承担水利部评价的具体工作。申报水利部评价的工程，由水利部按照工程所在流域委托相应流域管理机构组织评价。

五是考虑了标准化管理评价和工程管理考核的衔接。目前，全国有 165 家水管单位通过水利部水利工程管理考核验收。标准化文件印发后，已通过水利部验收的水管单位保留原称号，待到新一轮复核年限时，按照《评价办法》重新申报水利部标准化管理工程评价认定。另外，近年来，浙江、江苏、江西、

山东、安徽等地积极开展标准化试点，形成了符合地区特点的标准化工程分级名录。标准化文件印发后，各地在满足水利部标准化基本要求的基础上，可自主决定是否继续沿用已定级的标准化成果。

七、贯彻落实《指导意见》等文件有哪些具体要求和安排？

一是切实加强组织领导。推进水利工程标准化管理，是实现水利高质量发展的重要举措。水利部决定在全国范围内全面推进水利工程标准化管理，这是“十四五”运行管理工作的一件大事，部党组高度重视。省级水行政主管部门和流域管理机构是标准化管理工作的组织实施主体，要切实落实主体责任，强化组织领导。要将标准化工作纳入河湖长制考核范围，建立政府主导、部门协作、自上而下的推进机制。要结合本地区（单位）实际，抓紧制定“十四五”水利工程标准化管理实施方案和年度工作计划，明确目标任务和工作要求，构建运行管理标准体系，建立标准化管理常态化评价机制，全面推进标准化管理。

二是强化政策保障措施。各地要多渠道筹措运行

管护资金，选择管理水平较高、基础条件较好的工程或地区先行先试，积累经验、逐步推广，推进水利工程标准化管理建设。鼓励将标准化建设成果作为单位及个人的业绩考核、职称评定等重要依据，对标准化管理取得显著成效的，在相关资金安排上予以优先考虑。中国水利工程优质（大禹）奖评选把水利工程标准化建设成果作为运行可靠方面评审的重要参考。

三是着力抓好监督管理。各地要加强监督检查，按年度发布标准化管理建设进展情况，对工作推进缓慢、问题整改不力、成果弄虚作假的，严肃追责问责，确保标准化评价工作操作规范，程序公开、公正、透明，杜绝各种违法违规行为。流域管理机构要加强流域内水利工程标准化管理的监督指导和评价。水利部将建立信息上报和定期通报制度，准确把握工作进展，协调解决标准化管理建设过程中存在的重大问题，组织编制年度发展报告，及时总结推广工作中的好做法好经验，充分发挥示范带动作用。

（来源：中国水利工程协会网，网址：<https://www.cweun.org/show.php?cid=11&id=1172>，日期：2022年4月1日）

（上接第9页）提出了需要制定或修订的应急预案清单；四是提出了水库（水闸）运行管理中需要加强的一些薄弱环节，为这些水管单位运行管理的提升、安全目标的实现起到了指导性、引领性效果，最终通过一系列中间成果形成的《危险源辨识与风险评价报告》成果，由审查专家一致通过。

危险源辨识与风险评价报告主体内容由以下几部分组成：工程简介、危险源辨识与风险评价主要依据、危险源辨识和风险评价方法、危险源辨识与风险评价内容、安全管控措施、应急预案等。

5 结 语

水闸工程运行危险源辨识与风险评价的应用方法与技术设计的各类应用表格，解决了四川省水闸运行

管理单位在开展危险源辨识与风险评价过程中关于取值方法、比较图、报告成果编写等操作中的实际困难。实践证明能有效指导水库、水闸运行管理单位快速、准确、全面地开展危险源辨识与风险评价工作，其成果为隐患排查以及应急预案的制定修订提供了客观依据，明确了危险源的管控层级及管控责任人，全面提升了管理单位自身安全管理水平，形成了安全风险自辨自控、主管部门有效监管的工作格局。▲

参考文献

- [1] GB 18218—2018 危险化学品重大危险源辨识[S]. 北京：中国标准出版社，2018.
- [2] SL 316—2015 泵站安全鉴定规程[S]. 北京：中国水利水电出版社，2015.

运行管理

水库（水闸）工程运行危险源辨识与 风险评价的应用方法与技术

龙 艺¹ 张元军¹ 胡兴富²

- (1. 四川水利职业技术学院, 四川 成都 611230;
2. 中水叁谊安全技术咨询服务重庆有限公司, 重庆 400023)

【摘要】 文章依据水利水电工程（水库、水闸）运行危险源辨识与风险评价导则（试行），提出解决水库（水闸）工程运行危险源辨识与风险评价的应用方法与技术，通过水闸实际运行，能使水闸运行管理单位及上级单位、主管部门快速、准确、全面开展危险源辨识与风险评价，并及时将成果转化应用于管理实际。

【关键词】 水库（水闸）；危险源辨识；风险评价

中图分类号：TV698

文献标识码：B

文章编号：1673-8241（2022）04-005-05

Application Method and Technology of Reservoir (Sluice) Project Operation Hazard Identification and Risk Assessment

LONG Yi¹, ZHANG Yuanjun¹, HU Xingfu²

- (1. *Sichuan Water Conservancy College, Chengdu 611230, China*;
2. *Sinowater Canyi Safety Technology Consulting Service Chongqing Co., Ltd., Chongqing 400023, China*)

Abstract: The application methods and technologies for hazard identification and risk assessment in operation of reservoir (sluice) projects are proposed in the paper based on Guidelines for Hazard Identification and Risk Assessment in Operation of Water Conservancy and Hydropower Projects (Reservoirs and Sluices) (Trial). The sluice operation management units, superior units and competent departments carry out hazard identification and risk assessment quickly, accurately and comprehensively through actual operation of the sluice. The results are transformed into management practice in time.

Key words: reservoir (sluice); hazard identification; risk assessment

本文结合水库、水闸运行危险源辨识的具体情况 危险源辨识与风险评价的应用表单，将《水利水电工程进行了初步探索，在实践中创新设计了一整套关于危（水库、水闸）运行危险源辨识与风险评价导则（试

收稿日期：2022-01-06

作者简介：龙艺（1975—），女，硕士，高级工程师，从事水利工程教学工作。

行)》中的技术要求落实为一系列可操作的方法,具体操作流程介绍如下。

1 危险源辨识与风险评价方法与技术运用

1.1 成立危险源辨识与风险评价小组

每次开展危险源辨识与风险评价前,均成立危险源辨识与风险评价小组,组长由主要负责人或分管负责人担任,小组成员包括分管负责人、部门负责人、运行管理人员、安全人员、相关部门人员。

1.2 收集工程情况资料

开展危险源辨识与风险评价前,收集当前工程情况资料。主要包括:初步设计报告或竣工验收鉴定书或工程概况介绍;工程布置图;工程建设年份及运行时间、安全鉴定情况、除险加固情况,危险物质仓储区、生活及办公区的危险特性描述等工程运行管理概况;管理单位安全生产管理基本情况;危险化学品使用或者储存情况及清单;现有安全管理制度、操作规程、技术细则、应急预案等资料;目前维修保养项目情况;设施设备清单。

1.3 危险源辨识和风险评价步骤

1.3.1 水库、水闸运行危险源辨识

水库、水闸运行危险源是指可能造成人员伤害、

职业病、财产损失、作业环境破坏、生产中断的根源或状态。可以是一种环境、一种状态的载体,也可以是可能产生不期望后果的人或物。危险源是自身属性,不可消除,不会因为外界因素而改变,是客观存在的。危险源通常分为六个类别:构(建)筑物类、金属结构类、设备设施类、作业活动类、管理类和环境类;两个级别:重大危险源和一般危险源。

危险源辨识优先采用直接判定法,当工程出现符合《导则》中《水库工程运行重大危险源清单》《水闸工程运行重大危险源清单》中的任何一条要素的危险源时,直接判定为重大危险源。

不能用直接判定法辨识的,本文推荐采用安全检查表法辨识,涉及泵站运行的危险源辨识参考《泵站安全鉴定规程》(SL 316—2015)及《水利工程管理考核办法》(水建管[2016]361号),涉及渠系运行的危险源辨识参考国内其他大型引调水工程安全检查表等。

为进一步快速全面辨识危险源,本文设计了《水库(水闸)运行危险源清单》表样(见表1)。

该表格可帮助水库、水闸运行管理单位对本单位的危险源进行全面的排查梳理,为下一步辨识和风险评价工作做好准备。

表1 水库(水闸)运行危险源清单

序号	类别	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	级别	所在部位

1.3.2 一般危险源 L (E、C) 取值

对水库(水闸)运行一般危险源风险评价方法推荐采用作业条件危险性评价法(LEC法)、风险矩阵法(LS法)。为确保水库、水闸运行管理单位三个

管理层级人员(即:J1 分管负责人层级、J2 部门负责人层级以及 J3 管理人员层级)在取值时不会偏离导则要求,本文设计了《水库(水闸)运行一般危险源 L、E、C 值取值表》表样(见表2)。

表2 水库(水闸)运行一般危险源 L、E、C 值取值

管理层级: _____ 部门: _____ 姓名: _____ 年 月 日

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价 L 值取值 (LS 法或 LEC 法)			L 值取值范围
						L	S (E)	R (C)	

该表格用于水库、水闸运行危险源辨识评价过程中各层级人员 L 、 E 、 C 值取值，可快速对各类危险源的 L 、 E 、 C 值取值进行确定，并最大程度地保证了取值的准确性。

1.3.3 三个管理层级的 L 平均值计算

分别计算每一层级内所有人员所取 L_c 值的算术平均值 L_{j1} 、 L_{j2} 、 L_{j3} 。

1.3.4 L 最终值计算

$$L = 0.3L_{j1} + 0.5L_{j2} + 0.2L_{j3}$$

1.3.5 V 值计算（适用于水库）

按照导则《 V 值计算表》及水库运行当时的实际水位，确定 V 值。

1.3.6 S 值取值

水库工程根据 2.3.5 确定的 V 值，按照《导则》中《水库工程 S 值取值标准表》确定 S 值。

水闸工程按照《导则》中《水闸工程 S 值取值标准表》确定 S 值。

1.3.7 R 或 D 值计算

风险矩阵法（LS 法）： $R = LS$ ；

作业条件危险性评价法（LEC 法）： $D = LEC$ 。

1.3.8 风险等级确定

重大危险源，其风险等级应直接评定为重大风险。

由风险矩阵法（LS 法）计算的 R 值，按照《导则》的《一般危险源风险等级划分标准表——风险矩阵法》确定风险等级，颜色标示。设计了用于水库、水闸运行构（建）筑物类、金属结构类、设备设施类、管理类的危险源 LS 法风险评价表样（见表 3、表 4、表 5、表 7）。

由作业条件危险性评价法（LEC 法）计算的 D 值，按照《导则》的《作业条件危险性评价法危险性等级划分标准》确定风险等级，颜色标示。设计了用于水库、水闸运行作业活动类、环境类的危险源 LEC 法风险评价表样（见表 6、表 8）。

表 3 水库（水闸）运行一般危险源风险评价表——构（建）筑物类

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价（LS 法）			风险等级	颜色标示
						L	S	R		

表 4 水库（水闸）运行一般危险源风险评价表——金属结构类

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价（LS 法）			风险等级	颜色标示
						L	S	R		

表 5 水库（水闸）运行一般危险源风险评价表——设施设备类

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价（LS 法）			风险等级	颜色标示
						L	S	R		

表6 水库（水闸）运行一般危险源风险评价表——作业活动类

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价（LEC法）				风险等级	颜色标示
						L	E	C	D		

表7 水库（水闸）运行一般危险源风险评价表——管理类

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价（LS法）			风险等级	颜色标示
						L	S	R		

表8 水库（水闸）运行一般危险源风险评价表——环境类

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险评价（LEC法）				风险等级	颜色标示
						L	E	C	D		

这一系列的表格使《导则》中关于取值过程与标准有了可操作性，大大提高了工作效率。

1.3.9 形成风险分级管控清单

在1.3.8基础上，结合1.2收集的工程资料，本文设计了《水库（水闸）运行风险分级管控清单》

表样（见表9），用于水库、水闸运行构（建）筑物类、金属结构类、设备设施类、作业活动类、管理类、环境类风险管控措施、管控层级、责任人、联系方式的制定及落实。

表9 水库（水闸）运行风险分级管控清单

序号	项目	危险源名称	事故诱因	可能导致的后果	潜在事故类型	风险等级	颜色标示	管控措施	管控层级	责任人	联系方式

1.3.10 涉及危险化学品的重大危险源辨识

为了进一步快速统计和计算危险化学品重大危险源辨识指标，评价是否构成重大危险源，本文按照《危险化学品重大危险源辨识》（GB 18218—2018）

要求，对涉及的危险化学品开展是否构成危险化学品重大危险源评价，设计了《危险化学品重大危险源辨识评价表》表样（见表10），便于水库、水闸管理单位在具体工作中对涉及一个单元多种危险化学品时操

表10 危险化学品重大危险源辨识评价

序号	危险物质名称	最大存储量 q/t	临界量 Q/t	q/Q 值	备注
1					
2					
辨识指标计算： $S = q_1/Q_1 + q_2/Q_2 + \dots$					

作使用，如一个单元只有单一类别危险化学品，则最大存储量直接与临界量对比判断即可。

1.3.11 涉及维修养护作业的危险源辨识

涉及维修养护作业的危险源按《水利水电工程施工危险源辨识与风险评价导则（试行）》（办监督函〔2018〕1693号）进行辨识与风险评价，形成危险源

清单、分级管控清单等。本文不做阐述。

1.3.12 形成重大风险管控统计表

为了便于主要负责人及上级单位、部门加强管控，本文在水库（水闸）运行风险分级管控清单的基础上，提取重大风险，设计了《水库（水闸）运行重大风险管控统计表》表样（见表11）进行填报。

表11 水库（水闸）运行重大风险管控统计

序号	类别	项目	危险源名称	潜在事故类型	现有管控措施	管控层级	责任人	联系方式	备注（直判/评价）

1.3.13 绘制水库（水闸）运行“红橙黄蓝”四色安全风险柱状比较图

在水库（水闸）运行风险分级管控清单的基础上，分项目统计不同风险等级危险有害因素数量，设计了《水库（水闸）运行危险源辨识与风险评价统

计表》表样（见表12），依据统计数据快速绘制水库（水闸）运行“红橙黄蓝”四色安全风险柱状比较图，可使水库、水闸管理单位直观了解本单位安全风险的分布状况。

表12 水库（水闸）运行危险源辨识与风险评价统计

序号	危险源名称	危险有害因素数量	风险等级	不同风险等级危险有害因素数量分布				备注（直判判定/风险评价）
				重大	较大	一般	低	

1.3.14 编制危险源辨识与风险评价报告

按照《导则》中关于《危险源辨识与风险评价报告主要内容及要求》，结合以上表格内容及数据，编制危险源辨识与风险评价报告。

全风险公告警示，落实安全风险管控措施，编制或更新水库运行隐患排查清单，制定或修订完善管理制度、操作规程、应急预案等，能科学有效地指导本单位的安全生产管理工作。

2 制定危险源辨识与风险评价管理制度

水库、水闸运行管理单位应根据国家、行业有关危险源辨识与风险评价的规定，结合本单位实际，组织制定《危险源辨识与风险评价管理制度》，经单位主要负责人批准后以正式文件下发实施。

4 应用分析

重庆市玉滩水库、龙池坝水库、万胜坝水库，四川省都江堰水利发展中心人民渠第一管理处、东风渠管理处、黑龙滩管理处等采用本应用方法与技术，取得了良好效果，具体体现在：一是能全面、快速、准确地对水库（水闸）危险源进行辨识和风险评价；二是提出了实用有效的风险分级管控清单，包括管控措施、管理责任人、联系方式等，明确了水库（水闸）需要重点管控的重大风险；三是（下转第4页）

3 预期效果

水闸工程运行危险源辨识与风险评价是安全风险管控的基础，其报告成果可运用于安全教育培训、安

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.04.03

提升水闸自动化监控系统本质安全水平的途径

李 胜

(安徽省淠史杭灌区管理总局横排头管理处, 安徽 六安 237000)

【摘 要】 水闸自动化监控系统是水闸安全运用的重要控制手段。文章分析了水闸自动化监控系统常见的安全问题及产生原因, 从硬件设计、系统软件设计、安全监测等方面进行了探讨, 较为系统地提出了提升闸控系统本质安全水平的具体方案, 可供设计和管理人员参考。

【关键词】 水闸; 自动化; 监控; 本质安全

中图分类号: TV66

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-010-04

Way to Improve the Essential Safety Level of Sluice Automatic Monitoring System

LI Sheng

(Anhui Pishihang Irrigation District General Bureau Hengpaitou Management Branch, Lu'an 237000, China)

Abstract: Automatic monitoring system of sluice is an important control means for sluice safety. This paper analyzes the common safety problems and their causes in the automatic control system of sluice, discusses the hardware design, system software design, safety monitoring and other aspects, and systematically puts forward specific schemes to improve the essential safety level of sluice control system, which can be used as reference for designers and managers.

Key words: sluice; automation; monitoring; essential safety

随着自动控制技术和通信技术的发展, 水闸自动化监控系统(简称闸控系统)的应用越来越广泛。近年来, 新建和除险加固的水闸大都使用了自动化监控设备, 对提升水闸管理信息化、智能化、现代化水平, 起到了积极作用。但是, 由于设计方案缺陷、硬件设备故障、软件系统不稳定及运行管理不善等原因, 闸控系统还存在着一些不安全因素。分析闸控系统常

见问题, 通过设计等手段使该系统本身具有安全性, 即使在误操作或发生故障的情况下也不会造成事故, 即提高该系统的本质安全, 是值得深入研究的课题。

闸控系统虽具技术先进、运行高效、减轻劳动强度、可实现远程集控、自动监控、自动记录等优点, 但如果可靠性不高, 安全风险大, 管理人员不能用、不敢用、不会用, 必然会被弃用。如果我们从软硬件

收稿日期: 2022-02-27

作者简介: 李胜(1973—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水利工程管理和信息化工作。

设计等方面进行分析研究，提高其本质安全水平，使其可靠性、安全性达到或超过传统的人工现场操作，则一定能发挥其作用，为信息化建设和数字水利发展打好基础。

1 闸控系统的常见安全问题及原因分析

1.1 数据采集不准确

闸控系统需要采集的数据主要有水位、闸位、流量、荷重、电流、电压、功率、电源状态、开关位置等，有开关量也有模拟量，有电气量也有非电气量。参与闸门控制的数据采集不准确，将严重影响操控的准确性和安全性。

造成采集不准确的主要原因有：传感器本身精度不够，选型不当；线路干扰，未做滤波设计；安装调试问题，如闸位、水位传感器变比、偏移量设置不准确，安装不规范造成重复性差，闸门动作后不能归零。

1.2 闸门失控

进行自动控制时，闸门不能按设定方式动作，如达到设定开度值不能自动停止，达到上、下限位时拒停，在闸门卡阻时不能自动停车，停车时闸门滑落，没有操作指令时自行开启或关闭等，都属于闸门失控。

造成闸门失控的主要原因有：闸门开度编码器失效，闸门启动后失去开度反馈；荷重仪损坏；上下限位移动失效；PLC 程序紊乱；通信信号中断；二次系统有寄生回路造成误动；软件缺乏必要的保护设计。

1.3 通信中断

每个闸控系统都有若干个现地控制单元（LCU），LCU 一般以 PLC 为核心元件，PLC 与传感器通信中断会使其得不到闸位、水位等重要信号的反馈，造成操作失败甚至闸门失控。远程工作站、上位机与 PLC 通信中断，则会使控制电脑无法获取现场的各种状况、状态、数据，也无法得到各种故障信息及现场视频，使远程控制的安全性得不到保障。

造成通信中断的主要原因有：通信方式设计不合理；没有用工业以太网的标准，使用普通商业以太网的设备组网，不能适应现场强电磁干扰和温湿度环

境；线缆和连接器安装不规范，强弱电没有分开敷设；没有必要的防震防静电措施；监控网络与单位的办公网络没有隔离，或使用公网没有做好防火墙，广播风暴、地址冲突、病毒入侵等造成网络瘫痪。

1.4 监控软件运行不稳定

部分水闸自动化监控系统在初期安装调试时运行流畅，使用一段时间后就出现一些不稳定现象，如操作不响应或反应严重滞后，历史数据服务、实时数据服务异常，数据库不能备份或丢失，系统卡顿、崩溃、闪退等。

造成监控软件运行不稳定的主要原因有：软件设计缺陷，如控制动作没有分优先级，冲突处理机制不佳；数据记录周期过短，数据量增长过快，数据库的记录、读取、更新占用过多系统资源；使用盗版操作系统软件或组态软件，系统本身不稳定或部分功能不正常；操作人员对系统不了解，误删系统文件或修改了底层运行的参数。

2 从硬件设计方面提升闸控系统本质安全的途径

2.1 系统结构

目前，基于 PLC 和通信技术的闸控系统是主流。系统一般采用分布式结构（DCS），可分为三层，即位于水闸机房内的现地控制单元、位于中控室内的上位机（操作员工作站/工程师工作站）、位于主管单位调度中心的远程工作站，满足无人值班、少人值守的需要。其中远程调度中心也可监而不控，只对现场运行状态进行检测，不发出控制指令。三层结构中，LCU 是现场控制的最终执行者，硬件上要考虑降级操作，即保留手动操作回路，要合理设计手自动切换和电气闭锁功能。

视频监视系统是闸控系统的一部分，用于全方位监视和记录现场状况，如启闭机、闸门、船只、漂浮物等情况，实现远程的可视化操作监视。可以单独组网在远端显示，也可以嵌入上位机的监控程序，在水闸操作时自动调用相关画面。

2.2 电源部分

稳定可靠的供电是闸控系统安全运行的基础。主要从两个方面考虑：一是提高电源质量。有些水闸地处偏远，低压供电线路较长，压降大，供电不稳定，电机启停容易造成电压波动。设计时，控制单元供电应与动力供电分开，要求比较高的水闸可以加配直流电源，给 PLC 供电的开关电源使用交直流双路供电模块，可以有效提高电源质量和供电可靠性。二是做好防雷。水闸往往地处旷野和水面环境，易受雷击，室外供电线路、传感器、通信线缆常常成为雷电波入侵的通道。设计中除了设避雷针、避雷带防直击雷外，还要注意防感应雷。要做好进线保护，建好接地系统，在入侵途径安装避雷器和浪涌保护器，必要时采取多级保护。水闸动力电源的总开关可选用带分励脱扣器的断路器，在中控室设“紧急停机”按钮，在紧急情况下可以从中控室远程跳闸断电。

2.3 数据采集与控制

数据采集主要包括水情、工情和安全监测数据的采集，用以感知设备和环境状态。传感器选择要根据水闸工程现场情况，考虑防尘、防水、防晒、耐腐蚀、抗干扰等环境适应性，还要考虑精度、量程和输出方式，对直接参与水闸控制、保护的数据，尤其要注重其可靠性，必要时采取冗余设计。

水情数据主要包括上下游水位，传感器单元可用浮子水位计、超声波水位计，数据以 4~20mA 模拟量信号传至 PLC。对某些关系安全的特征水位，比如警戒水位、保证水位、集水井上限水位等，可做冗余设计，如单独设简单可靠的浮球开关，采集开关量信号，不依赖模拟量信号通道，当水位超限时，用有线或无线方式向中控室报警。

工情数据主要包括电源状态、闸位、启闭机控制方式、电压、电流、功率、荷重、上下限位、液压启闭机油压等。闸位是重要的反馈控制信号，对重要涵闸，可做冗余设计。一般将闸位仪安装在启闭机上，通过传动变比装置把起升机构位置传给 PLC，以此反映闸门位置。对于卷扬式启闭机，闸门下降过程中如

遇卡阻，则不能正确反映闸位。作为冗余方案，可以再安装一套恒力拉绳闸位仪，拉绳端固定在闸门上，直接反映闸位。闸门上下限位是重要的保护措施，必要时可设置双限位，内侧限位开关用于使 PLC 发出停机令，外侧限位开关可直接作用于交流接触器的励磁线圈回路，达到不依赖 PLC 使交流断电的目的。启闭机控制回路采用两级交流接触器串联的方式，以防止触点粘连或机构卡阻造成不能停机的情况。启闭机电机是短时断续工作模式，温度监测不能灵敏反映其工作状态，可不设测温点，用智能电工仪表监视其电压、电流和功率，更利于发现电机运行异常。

安全监测数据主要包括位移、扬压力、裂缝等，可分别使用 GNSS 位移传感器、振弦式渗压计和测缝计进行监测。这些数据主要用于越限报警和趋势分析，不参与水闸控制。

2.4 通信方式

在水闸自动化监控系统典型的三层架构中，通信对系统稳定性和运行可靠性有重要影响。主要包括现场设备至 PLC 通信、PLC 与上位机通信、中控室与远程监控中心通信。现场的各种传感器、智能仪表、开关信号与 PLC 通信，根据信号类型采用不同方式。开关量宜采用无源接点接入 PLC 的数字量输入模块 DI；模拟量如不需现场显示，可直接接入 PLC 的模拟量输入模块 AI，如需现场显示，则先接入显示仪表，仪表输出后再接入 PLC。电压型的模拟信号易受干扰，现场宜采用电流型模拟量的输出方式。采集信号点较多时，全部采用模拟量传输会使布线过于繁杂，现在越来越多的仪表和传感器支持总线传输，总线协议有多种，可结合 PLC 选型来选择，要注意响应时间、阻抗匹配和站点容量。随着 WiFi、Lora、ZigBee、NB-IoT 等无线技术的发展，布线不方便的地方也可采用无线连接。PLC 与上位机的通信采用工业以太网，为提高可靠性，采用环形网。网线采用屏蔽双绞线，如传输距离较远，为防止电气干扰，减少信号衰减，可采用光纤传输。中控室与远程监控中心的通信，可采用自建网络或 VPN，或两者结合，重要节点可组成环网。

广域网级的通信不稳定因素较多,设计时要从软件角度控制误传、漏传、中断、延迟等现象,并设置防火墙。

视频监控系統由于数据量大,一般应与控制系统分开组网。如不具备条件,可以设置 VLAN 隔离。

3 从系统软件设计方面提升闸控系统本质安全的途径

闸控系统的软件包括 PLC 程序和上位机程序,其中现地 PLC 程序是监控系统的核心,它采集现场各种设备和环境数据,响应上位机指令,执行水闸操控动作。要注意数据处理、反馈检测、逻辑控制和通信连接等环节的设计。上位机程序设计要注意权限管理、数据库管理和用户界面。

3.1 数据处理方面

闸门到达上下限位点、启闭机电机接触器吸合等信号是以开关量方式输入 PLC 的。这些开关在开闭时会出现抖动,随着控制器算法周期达到毫秒级,开关抖动将对控制逻辑造成巨大影响。防抖处理可以增加软件延时,躲过抖动。水位、闸位等信号是以模拟量方式输入 PLC 的,由于水闸工程现场有电源谐波、雷电波、电机启停等干扰因素,需要对模拟量作数字滤波处理。硬件滤波较为复杂,软件滤波则比较方便。如对水位一类变化缓慢的数据,采用多次采样中位值滤波法,可有效过滤干扰数据,提高采样准确性,大大减少越限误报率。对闸位数据,配合上述硬件冗余设计,采用二次采样限幅滤波法,确保闸位数据准确可靠。

3.2 控制逻辑方面

可通过程序设计避免不安全和违反规程的操作。如正反转互锁,禁止不经过停止流程而改变闸门运动方向;在程序上限制每次启门的最大高度,设置先中间再两边的启闭顺序;检测过闸流量与下游水位是否相适;操作前对机电设备、金属结构、上下游水位自动检测并作为开机条件;操作中实时反馈闸位、荷重、振动、限位、电流、压力等参数,判断异常状态作用于保护停机、报警等。通过合理的逻辑控制和保护,达到比现场人工眼观、耳听、鼻嗅、手触更安

全、灵敏的效果。

3.3 系统通信方面

包括现地各设备与 PLC 之间的总线通信和 PLC 与上位机之间的通信。为提高现场总线通信数据传输可靠性,在编程时,可对总线状态切换作适当延时,再进行数据收发。在出现控制动作时,要区分优先级。PLC 与上位机的通信以及与远程工作站的通信,往往发生数据延时或丢包,因此,一些运算尽量放在底层处理,设定值发给 PLC 再执行,不依赖上位机程序进行反馈检测,简化上位机操作步骤,尽量减少其通信次数与数据量。

3.4 上位机程序设计方面

使用正版组态软件。对多用户分级管理,赋予不同操作权限和优先级。界面设计力求简洁易用,对影响底层运行的参数设置界面宜单独放置,并要求更高的操作权限。由于水闸控制中一般没有高速变化的对象,可适当降低数据存储的频率,并设计好数据库备份、更新策略,以提升系统响应速度和数据安全性能。

4 反馈检测问题的处理途径

当 PLC 输出控制信号时,要对控制对象的状态进行检测,以跟踪反馈输出控制信号的实际效果。远程控制与传统的现场手动操作,最大的变化是操作者不能现场观察设备运行状态,也就不能人工处理各种异常和故障。PLC 控制可靠性的关键是对现场真实情况的反馈,并据此自动作出判断和进行保护。

4.1 闸门卡阻的判断处理

当输出一个闸门启闭信号后,首先要检测接触器是否吸合,以反馈闸门处于升/降状态。判断闸门卡阻可有两种方式,一是读取荷重仪数据,如超过定值则判为卡阻;二是读取开度编码器数据,如在一定时间间隔内,开度变化未达到设定值,判为卡阻。凡闸门卡阻,均应输出停机信号。

4.2 闸门拒停的判断处理

操作闸门时,一般在上位机输入(下转第 19 页)

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.04.04

基于漳泽水库渗流观测资料的大坝运行状况评价

宋倩

(山西漳泽水库管理有限公司, 山西 长治 046021)

【摘要】 大坝渗流观测成果分析是判定水库安全运行的重要依据。文章利用漳泽水库四年来渗流观测数据, 绘制渗流过程线、位势过程线和相关线, 并采用最小二乘法, 计算了渗流压力与库水位的相关系数以及位势趋势线的关系。结果表明: 多数渗流测点与库水位相关性明显; 渗流压力从上游到下游逐渐减小; 测点位势随时间进展呈下降趋势。通过数据分析和巡视检查, 漳泽水库大坝渗流性态基本稳定。该项分析过程和结果对监控大坝安全运行有重要作用。

【关键词】 大坝; 渗流分析; 评价

中图分类号: TV697.2

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-014-06

Evaluation of Dam Operation Status based on Seepage Observation Data of Zhangze Reservoir

SONG Qian

(Shanxi Zhangze Reservoir Management Co., Ltd., Changzhi 046021, China)

Abstract: Analysis on dam seepage observation results is an important basis to judge the safe operation of reservoirs. The seepage process line, potential process line and correlation line are drawn based on the seepage observation data of Zhangze Reservoir in the past four years in the paper. The correlation coefficient between seepage pressure and reservoir water level as well potential trend line is calculated by using the least square method. The results show that the correlation between most seepage measurement points and the reservoir water level is obvious. The seepage pressure is decreased gradually from upstream area to downstream area. The potential of the measuring points shows a decreasing trend with time. The seepage behavior of Zhangze Reservoir Dam is basically stable through data analysis and inspection. The analysis process and results play an important role in monitoring the safe operation of the dam.

Key words: dam; seepage analysis; evaluation

收稿日期: 2022-03-01

作者简介: 宋倩 (1987—), 女, 硕士, 工程师, 主要从工程观测及资料整编工作。

1 工程概况

漳泽水库位于山西省长治市,属海河流域上游漳卫南运河水系,工程于1959年11月动工兴建,1960年4月竣工投入运用。1989—1995年,水库进行了最全面、最彻底,规模和投资最大的一次改建。改建后大坝加高5.0m,坝顶高程达910.00m,正常蓄水位902.40m,设计洪水位903.61m,校核洪水位908.45m,洪水设计100年一遇、洪水校核2000年一遇,防洪标准达到部颁及国家标准。建库60多年以来,大坝渗流观测系统多次更新,积累了大量监测数据。2017年漳泽水库渗流监测系统采用“测压管+渗压计及传输终端”模式,提升了数据的准确性和稳定性,2019年作为全国67座试点水库(山西省第一座)接入

“全国大型水库安全监测监督平台”。

2 大坝渗流观测测点布置及工作方法

考虑到历次渗流系统更新改造测点位置不同,本文以2017年改造完成后的渗流监测数据作为基础来分析漳泽水库大坝渗流性态。

2017年水库大坝渗流监测断面增加至9个(测点分布见表1和图1~图3)。由于坝面较长、测点较多,在0+800和1+900断面设置两台网关,网关收集渗流监测数据传输至平台。2018年1月1日以来,通过工作人员的管理及维修,大坝渗流监测设备基本工作正常,每日0时、8时、16时采集数据,观测时剔除错误值后,取剩余数据平均值作为整编分析数据。

表1 水库大坝渗流监测测点统计

工程部位	断面编号	坝体测点	坝基测点
主坝	0+300	300-1、300-2、300-3	300-4、300-5、300-6、300-7
	0+500	500-1、500-2、500-3	500-4、500-5、500-6、500-7
	0+700	700-1、700-2、700-3	700-4、700-5、700-6、700-7
	0+760	760-1、760-2、760-3	760-4、760-5、760-6、760-7
副坝	0+900	900-1、900-2、900-3	900-4、900-5、
	1+300	1300-1、1300-2、1300-3	1300-4、1300-5、
	1+600	1600-1、1600-2、1600-3	1600-4、1600-5、
	2+000	2000-1、2000-2、2000-3	2000-4、2000-5、
	2+188	2188-1、2188-2	2188-4、2188-5、

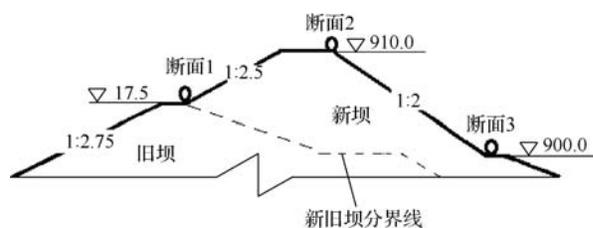


图1 坝体测点布置

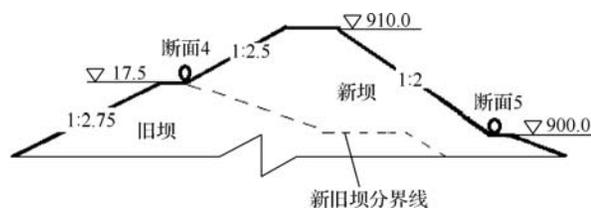


图3 副坝坝基测点布置

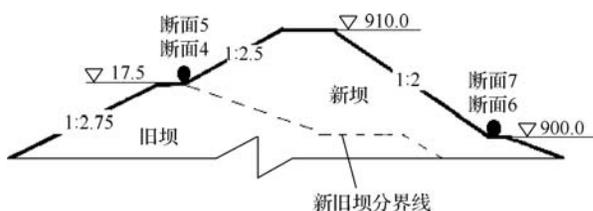


图2 主坝坝基测点布置

3 水雨情资料整编

3.1 降雨量和上游水位过程分析

水库每年年初编制汛期调度运用计划经批复后实施,按照上级要求上汛,汛限水位901.50m;7月15日进入主汛期,汛限水位901.00m。2018年1月1日—

2021 年 12 月 31 日降雨量和上游水位过程线见图 4。

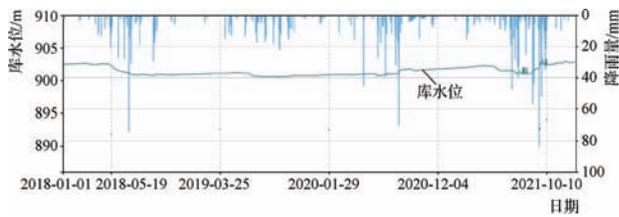


图 4 降雨量和上游水位过程线

由图 4 可以看出：当地降雨主要集中在 5—8 月，漳泽水库每年约 5 月开始开闸放水至汛限水位，汛期过后蓄水至次年 5 月，中间时段会根据上下游要求进行兴利调度。特别是 2021 年 10 月，由于秋汛连续降雨导致库水位超过历史最大值（903.30m）至 903.33m，后经过上下游错峰调度，平安度过。

3.2 渗流监测资料分析

通过绘制漳泽水库渗流测点与库水位和降雨量过

程线，得知漳泽水库渗流测点中有 11 个测点孔口封闭不严，降雨量较大时，会出现雨水灌入情况（见图 5）。排除降雨影响后，各断面坝体（坝基）测压管水位从上游到下游逐渐减小，符合土坝渗流规律。用最小二乘法计算分析各测点测值与库水位相关关系（见表 2），除去降雨影响较大的测点外，只有 500-4 和 1600-1 测点（数据缺失严重）与库水位相关系数小于 0.3，相关性不强，其他测点均与库水位相关性良好。

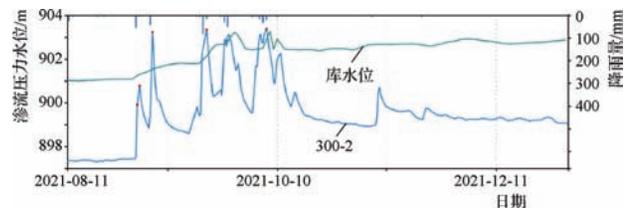


图 5 受降雨影响测点（300-2）数据过程线

表 2 各测点测值与库水位相关关系

测点编号	相关系数	备注	测点编号	相关系数	备注	测点编号	相关系数	备注
300-1	0.81		700-5	0.98		1300-4	0.94	
300-2	0.69	降雨影响	700-6	0.74		1300-5	0.74	
300-3	0.67		700-7	0.95		1600-1	0.02	
300-4	0.96		760-1	0.82		1600-2	0.97	
300-5	0.30		760-2	0.89		1600-3	0.74	
300-6	0.67		760-3	0.74		1600-4	0.96	
300-7	0.83		760-4	0.90		1600-5	0.97	
500-1	0.73		760-5	0.99		2000-1	0.97	
500-2	0.65	降雨影响	760-6	0.38	降雨影响	2000-2	0.64	
500-3	0.07	降雨影响	760-7	0.42	降雨影响	2000-3	0.97	
500-4	0.16		900-1	0.81		2000-4	0.83	
500-5	0.26	降雨影响	900-2	0.70		2000-5	0.90	
500-6	0.05	降雨影响	900-3	0.07	降雨影响	2188-1	0.83	
500-7	0.46		900-4	0.93		2188-2	0.04	降雨影响
700-1	0.94		900-5	0.70		2188-4	0.93	
700-2	0.51	降雨影响	1300-1	0.36		2188-5	0.93	
700-3	0.69		1300-2	0.67				
700-4	0.84		1300-3	0.51	降雨影响			

通过计算各个断面测点的渗流位势百分数，绘制位势过程线，由于排除了降雨影响的时段，测点位势变化不大，此处采取排除降雨影响的时段数据的位势平均值表征各点位势，计算位势平均值（见表3）。

表3 各测点位势平均值

测点编号	位势平均值/%	备注	测点编号	位势平均值/%	备注	测点编号	位势平均值/%	备注
300-1	93		700-5	77		1300-4	62	
300-2	72	降雨影响	700-6	34		1300-5	36	
300-3	37		700-7	36		1600-1	97	
300-4	90		760-1	80		1600-2	81	
300-5	81		760-2	62		1600-3	35	
300-6	25		760-3	42		1600-4	64	
300-7	24		760-4	76		1600-5	37	
500-1	92		760-5	71		2000-1	99	
500-2	82	降雨影响	760-6	24	降雨影响	2000-2	92	
500-3	45	降雨影响	760-7	35	降雨影响	2000-3	43	
500-4	20		900-1	90		2000-4	81	
500-5	27	降雨影响	900-2	75		2000-5	62	
500-6	12	降雨影响	900-3	40	降雨影响	2188-1	95	
500-7	14		900-4	69		2188-2	83	降雨影响
700-1	82		900-5	32		2188-4	94	
700-2	61	降雨影响	1300-1	97		2188-5	81	
700-3	34		1300-2	79				
700-4	81		1300-3	29	降雨影响			

从表3可以看出：坝体测点位势断面1 > 断面2 > 断面3，从上游至下游逐渐减小，符合一般渗流规律；副坝坝基测点位势断面4大于断面5，越往下游位势越小，符合土石坝渗流规律；主坝坝基测点位势断面4约等于断面5，断面6约等于断面7，前者大于后者，越往下游位势越小，符合土石坝渗流规律；副坝由于坝基较浅，坝脚与主坝坝脚在同一水平线上，相当于下游均分布有渗水出口，其位势规律与0+500断面相同。

主坝由于坝基较深，除0+500断面下游坝脚处有渗水出口导致上游坝基位势（断面4和断面5）小于坝顶坝体位势（断面2）外，其余断面上游坝基位势均大于下游坝体位势；0+500断面下游坝脚处有渗水出口，导致0+500断面上游坝基相比不同断面相同位置的位势最低，不超过30%，下游坝基相比

不同断面相同位置的位势最低，不超过15%，500-4与库水位相关性不强也是由此导致的。

通过绘制坝体渗流测点位势过程线的趋势线，计算趋势线的斜率（见表4）。多项研究资料表明：位势如果随时间进展呈上升趋势，一般表示该处渗流向不利安全方向发展。从表4可以看出除去受降雨影响的测点不考虑外，只有300-3和760-3测点位势斜率大于0，漳泽水库渗流整体上是安全的。

经过汛期实地查看发现，由于在0+500断面坝脚处布置了渗流汇水出口，出口直接连接下游河道，主坝下游坝脚坝体渗流测点（300-3、500-3、700-3和760-3）受下游水位波动影响严重。具体表现为汛期泄水量较大时，河道水位抬高，会直接导致主坝坝脚处排水不畅，位势增大。

表4 坝体渗流测点位势过程线的趋势线斜率

测点编号	位势斜率	备注	测点编号	位势斜率	备注	测点编号	位势斜率	备注
300-1	-0.74		760-1	-0.70		1600-1	-0.13	
300-2	-0.32	降雨影响	760-2	-0.51		1600-2	-0.17	
300-3	0.25		760-3	0.05		1600-3	-0.32	
500-1	-0.56		900-1	-0.31		2000-1	-0.25	
500-2	-0.27	降雨影响	900-2	-0.55		2000-2	-0.40	
500-3	0.17	降雨影响	900-3	0.05	降雨影响	2000-3	-0.35	
700-1	-0.39		1300-1	-0.26		2188-1	-0.01	
700-2	-0.15	降雨影响	1300-2	-0.14		2188-2	0.12	降雨影响
700-3	-0.56		1300-3	-0.11	降雨影响			

4 大坝运行状况评价

根据渗流数据分析,各断面坝体(坝基)测压管水位从上游到下游逐渐减小,多数测点测压管水位值均与库水位相关性良好,多数测点位势随时间进展呈下降趋势。漳泽水库大坝总体渗流性态是稳定的。

具体分析特殊情况发现:2021年秋季库水位上升下降速度较快时,断面1测点数据均超过4年以来最大值,但是从过程线(见图6)来看,只有长时间持续的库水位会对测点渗压值产生实质性影响,库水位903.33m持续不到3天,便随着合理调度迅速降低,测压管测值并未突变,由此进一步证明漳泽水库大坝渗流是稳定的。

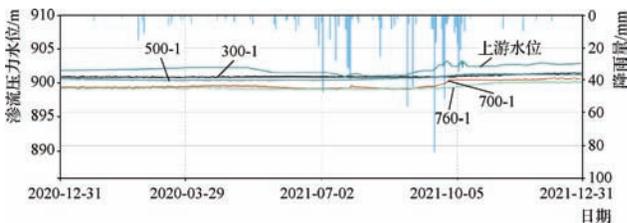


图6 断面1测点数据过程线

汛期调度过程中发现主坝坝脚处汇口水位上涨,水流几乎停止(见图7),无向下游流动的趋势。经巡查河道对比河道水位发现,下游河道水位较高,导致汛期泄水超过 $200\text{m}^3/\text{s}$ 时,坝脚处积水严重,渗透压力较大。具体表现为300-3测点在2021年10月由于下游水位增大导致测值增加1m有余(见图8),调度完成后,测压管水位下降缓慢,与其他断面相同

位置测点规律不同。故需进一步评估坝脚处排水能力和河道泄流能力,提高大坝调度的安全系数。漳泽水库多个渗流测点受降雨影响严重(见图5),主要原因为测点所在处为低洼状态,且未设置相应排水或防水措施,需进一步维修,提高数据准确性。



图7 秋汛调度时主坝坝脚处汇口水口情况

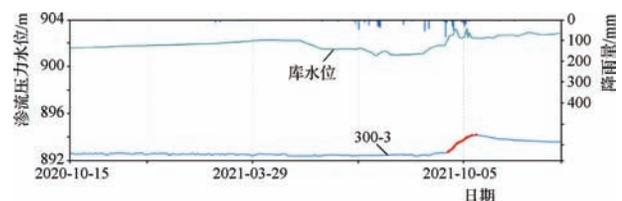


图8 300-3测点数据过程线

5 结语

本文利用漳泽水库四年来渗流观测数据,绘制渗流过程线、位势过程线和相关线,并采用最小二乘法,计算了渗流压力与库水位的相关系数以及位势趋

势线的关系。结果表明：多数渗流测点与库水位相关性明显；渗流压力从上游到下游逐渐减小；测点位势随时间进展呈下降趋势。通过数据分析和巡视检查，漳泽水库大坝渗流性态基本稳定。该项分析过程和结果对监控大坝安全运行有重要作用。

特别需要指出的是，在 2021 年秋汛调度过程中，虽存在测压管受降雨影响较大、坝脚排水不畅的问题，但上游第一个断面的坝体测压管水位并未随着库水位急剧变化，进一步表明漳泽水库渗流性态是稳定的。通过渗流数据分析和实地巡视检查可及时发现问題，为工程调度、维修养护提供数据支持，保障了大坝的安全运行。▲

参考文献

- [1] 杨静宗,杨在华.红古田水库大坝安全自动监测系统的建设与运用[J].水利建设与管理,2021(5):60-66.
- [2] 詹伟球.铁岗水库大坝渗流监测资料分析[J].水利建设与管理,2018(3):41-43.

- [3] 位海洪.户主水库 2020 年大坝渗流监测分析[J].山东水利,2021(9):76-77.
- [4] 胡子俊.基于响洪甸水库安全监测资料的大坝运行状况分析[J].江淮水利科技,2021(6):25-27.
- [5] 周荣.丹江口水库蓄水试验期右岸土石坝安全监测成果分析[J].水利水电快报,2018(12):25-28.
- [6] 纪源.观音阁水库位移监测资料分析与评价[J].东北水利水电,2020(6):59-61.
- [7] 丁艳辉,魏陆宏,钱晓翔.白河堡水库大坝安全监测数据分析研究[J].水利水电技术(中英文),2021,52(S1):289-293.
- [8] 陈金干.响洪甸水库大坝安全监测设施现状分析及改进[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2021,21(4):13-17.
- [9] 蔡铁力.双里水库大坝渗流及变形发展规律分析[J].水利建设与管理,2018(7):72-75.
- [10] 仵峰.西安市李家河水库大坝安全监测方法及精度分析[J].地下水,2021,39(4):106-109.
- [11] 刘丹.汤河水库坝坡测压管水位滞后时间分析[C]//辽宁省水利学会 2020 学术年会论文集,2020:240-243.

(上接第 13 页)开度预设值，闸门动作达到此值时停止。如实际到达该位置闸门未停，则为拒停。可有以下方案避免：①检测不到开度值判为故障，输出停机信号；②发出启闭信号后，同时计时，在合理时间内（根据闸门速度和启闭高度计算）未达到预定值，判为操作超时，输出停机信号；③设上下限位开关，达到限位时停机。

4.3 机电设备运行状况检测

分为三种情况：一是闸门滑落的判断。以一定周期检测闸位，如无启闭操作而闸位变动超过定值，判为闸门滑落。自动控制系统判断比人工观察更灵敏、准确，有利于判断故障，提高安全性和调度精准性。二是闸门振动检测。闸门应避免停在产生振动的位置，此位置受闸门本身和水工建筑物、上下游水位、流量等因素影响，并不固定，人工观察不太方便。使用振动传感器可持续监测，并通过改变开闭组合来避免。三是通过智能仪表检测回路电压、电流、功率、功率因数等，可判断电源状态、电机过载、短路等故障。

5 结 语

水闸自动化监控是发展趋势，其安全性、可靠性是推广使用中的痛点。可从软、硬件设计方面及安全监测方面提升闸控系统本质安全水平，在此基础上，进一步加强系统运行管理中的建章立制，常态化开展系统维护，努力提高员工的技术水平，落实“从根本上消除事故隐患”的要求，助力数字水利、智慧水利建设取得重大成果。▲

参考文献

- [1] 左毅军.水利闸门自动化控制中 PLC 技术的应用探析[J].中国水能及电气化,2020(8):55-58.
- [2] 唐颖,左佳佳.水闸自动化系统安全问题研究[J].珠江水运,2019(5):59-60.
- [3] 刘灿.水闸自动化监控系统设计与应用探讨[J].江淮水利科技,2021(6):47-48.
- [4] 马乐平,刘磊,陈兴国.疏勒河灌区闸门精准远程自动化控制技术研究[J].中国水利,2017(14):42,58-59.

施工技术

超深基坑圆形结构钢模板施工技术

朱 威

(中铁十八局集团第五工程有限公司, 天津 300450)

【摘要】 超深工作井内衬墙结构为圆形且内径存在变径情况, 每层内衬墙均属于大体积混凝土且需要一次性浇筑成型, 工作井因空间狭小导致交叉作业多, 工作井属于超深基坑工程, 开挖功效低, 施工过程安全风险高, 工期任务紧, 组织要求高。文章通过对工作井圆形钢模板进行调整优化, 结合具体的超深基坑圆形内衬墙施工实例, 探讨了大直径钢模板在变径的情况下的拼装、吊装方法以及升降等具体施工控制措施。实践表明: 该技术施工效果良好, 大大提高了内衬墙施工质量, 节约了成本, 缩短了工期, 增加了施工安全系数, 能够对类似工程起到借鉴作用。

【关键词】 超深基坑; 钢模板; 施工

中图分类号: TU755.2

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-020-04

Construction Technology of Circular Structure Steel Formwork for Super-deep Foundation Pit

ZHU Wei

(The Fifth Engineering Co., Ltd., of China Railway 18th Bureau Group, Tianjin 300450, China)

Abstract: The super-deep working well inner wall structure is circular, and the inner diameter varies. Inner walls of all layers belong to mass concrete. One-time casting molding is required. The working well has excessive cross operations because of the narrow space. The working well belongs to a super-deep foundation pit engineering with low excavation efficiency, high safety risk in construction process, tight construction period and high organization requirements. The circular steel formwork in the working well is adjusted and optimized in the paper. A concrete example of the circular inner wall construction of the ultra-deep foundation pit is combined. Concrete construction control measures of larger diameter steel formwork under the condition of changing diameters are discussed, such as assembling method, hoisting method, lifting, etc. The practice shows that the construction effect is good, the construction quality of the inner wall is greatly improved, the cost is saved, the construction period is shortened, and the construction safety factor is increased. The paper can be used as reference in similar projects.

Key words: ultra-deep foundation pit; steel formwork; construction

收稿日期: 2021-08-12

作者简介: 朱威 (1994—), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事水利水电施工工作。

1 工程概况

珠江三角洲水资源配置工程土建施工 A5 标位于佛山市顺德区伦教街道，主要施工任务为 LG09 号、LG09-1 号两个工作井和两个盾构区间，区间为总长约 5.64km 的双线输水隧洞^[1]。

工作井平面布置为圆形，工作井内衬墙均采用逆作法施工，墙厚 1.2~1.5m。井身上部多为冲积层，包括淤质粉细砂、淤质黏土层、粉质黏土层、泥质中粗砂、砂卵石层等，井身下部为强风化—弱风化泥质粉砂岩。LG09 号工作井内衬墙①~⑤层内径是 31.1m，⑥~⑭层内径是 30.5m，井深 67.25m。LG09-1 号工作井内衬墙①~⑤层内径是 31.1m，⑥~⑬层内径是 30.5m，井深 61.55m。LG09 号工作井剖面见图 1。

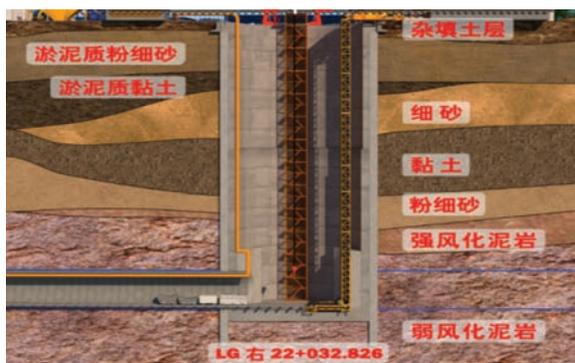


图 1 LG09 号工作井剖面

2 工作井内衬墙模板施工难点

施工作业面小，圆形工作井作业直径为 30.5~31.1m，交叉作业时段多，危险性大；内衬墙为变径圆形结构，内衬墙①~⑤层直径 31.1m，⑥~⑭层直径 30.5m；属于超深基坑，LG09-1 号工作井井深 61.55m，有 13 层内衬墙；LG09 号工作井井深 67.25m，有 14 层内衬墙；基坑土质不稳定，多为冲积层，井身上部主要有淤质粉细砂层、淤质黏土层、粉质黏土层、泥质中粗砂、砂卵石层等，井身下部为强风化—弱风化泥质粉砂岩，采用逆作法施工情况下不能使用常规支架模板施工；工期任务紧，内衬墙平均每层施工时间为 12 天，模板安装时间不能超过 1 天。

3 工作井内衬墙模板施工对策

针对每项施工主要难点制定了详细对策，并从对策的有效性、可实施性、经济性、可靠性等方面进行了评估^[2]，最终确定了模板施工方案和结构尺寸要求。

a. 选用占用空间小的模板，模板高度 5m，底部宽度 0.8m。

b. 选用可调整直径大小的模板，可从直径 31.1m 快速调整到 30.5m。

c. 选用不吊出工作井模板，通过井口 8 个卷扬机对模板进行升降控制，保证其他工序施工过程中模板稳定悬挂在井壁上^[3]。

d. 选用自身刚度足够抵抗混凝土浇筑过程侧压力，保证墙体不发生变形组合钢模板^[4]。

e. 安装时间快且安装质量满足要求，可控制在半天安装完成模板。

4 模板施工介绍

4.1 模板结构组成

4.1.1 直径 31.1m 工作井模板组成

直径 31.1m 竖井模板包括 2.31m 标准块、2.31m 带浇口标准块各 12 件；4.62m 斜口邻接块左右各 4 件、4.62m 斜口块各 4 件；4.62m 调整竖梁 8 件。

4.1.2 直径 30.5m 工作井模板组成

直径 30.5m 竖井模板包括 2.31m 标准块、2.31m 带浇口标准块各 12 件；4.62m 斜口邻接块左右各 4 件、4.62m 斜口块各 4 件。现场钢模板试拼装见图 2。



图 2 现场钢模板试拼装

4.1.3 悬挂系统

井口悬挂装置采用8台35kW卷扬机悬吊,卷扬机间采用40号工字钢连接成一个整体,8条加强扁担梁,扁担梁与钢模板假连接。为确保扁担梁刚度,对扁担梁进行加设钢板焊接加强^[5],扁担梁长3m,上方设置一个定滑轮,下方布置两个吊环与吊装钢丝绳连接。

4.2 标准块组成

标准块尺寸为:4620mm×5950mm,由8mm厚面板、12mm厚背肋焊接组成,背肋间距为385mm方形布置,连接法兰采用16mm钢板;每个标准块上设置了三层共计7个浇筑口,下两层浇筑孔间距2.5m,顶部浇筑孔间距1.5m;下两层浇筑孔尺寸400mm×400mm,顶部浇筑孔尺寸360mm×500mm。标准块模型见图3。

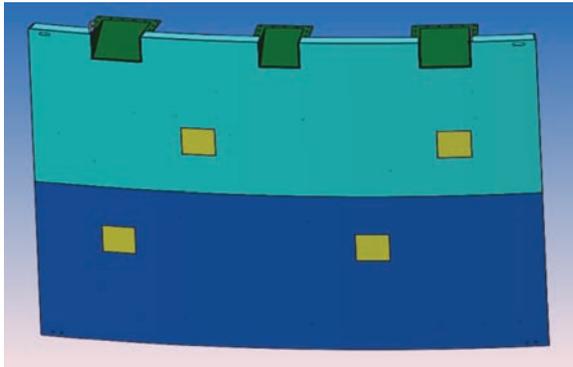


图3 标准块模型

4.3 斜口块及调整块组成

斜口块尺寸为:4620mm×5950mm,由8mm厚面板、12mm厚背肋焊接组成,背肋间距为385mm方形布置,连接法兰采用16mm钢板;斜口块与两侧块间采用O形圈密封,确保拼接缝不会漏浆^[6]。斜口块模型见图4。

8个调整块尺寸为4620mm×239mm,主要用于前五层直径31.1m变为五层以后的直径30.5m,调节块按45°呈米字形均匀布置在模板四周。

4.4 模板构件连接与模架

模板与背肋采用T48高强螺栓连接,并且可以通过旋转螺栓实现对径向移动面板进行平整度和垂直度

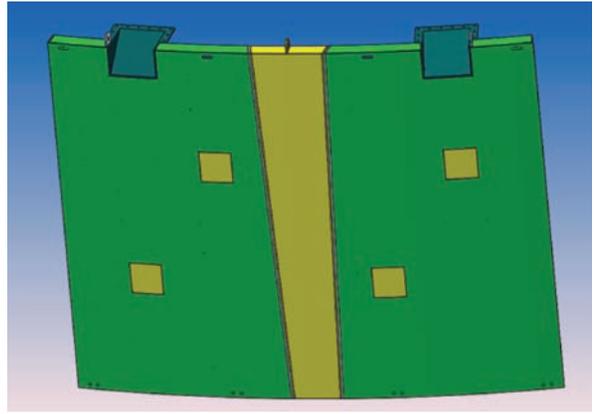


图4 斜口块模型

微调。模板、背肋间采用高强螺栓连接,可根据工况需求,采用分体升降和整体升降两种方式安拆模板,进行上下移动^[7]。

模架由16a槽钢和H型钢组成,模架分为16块,每块尺寸为5765mm×5165mm,其中立柱为双拼16a槽钢双拼,环向肋板由4圈H型钢组成,从下往上依次为400mm×200mm×8mm×13mm(两道),300mm×150mm×6.5mm×9mm,200mm×100mm×5.5mm×8mm。模架构件见图5。

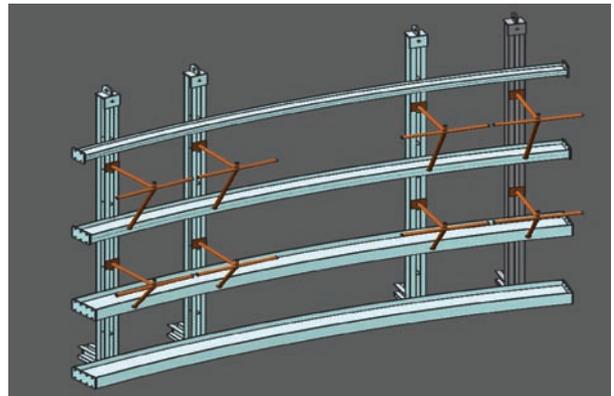


图5 模架构件

4.5 模板提升装置

井口悬挂装置采用8台35kW卷扬机悬吊,卷扬机间采用40号工字钢连接成一个整体,确保提升过程整体受力,模板拼装后共分8大块,单块重量约15t,卷扬机理论荷载35t。为确保卷扬机吊装时受力均匀,加工8条加固处理的扁担梁,长度3m,分两个吊点将单块模板平衡吊装。

为实现各种工况时对模板提升的需求,8台卷扬机分别设置了点动、联动装置,可通过点动调节单个卷扬机实现模板升降过程中的姿态微调,在姿态正常的情况下可采用联动形式整体升降^[8],缩短了整个过程的持续时间。

为避免模板体系运行过程中出现姿态倾斜造成卷扬机受力不均,对8台设备分别加设了独立的数显拉力计,确保出现偏心受力时第一时间发现并通过点动及时进行姿态调整,提高了模板体系的运行安全性(见图6)。



图6 模板体系悬挂

5 施工效果

工作井内衬墙施工中,对模板施工方案进行调整优化和局部改造后,能够在作业面受限情况下,不影响其他工序模板施工(见图7)。模板可从直径31.1m快速调整到直径30.5m,可通过卷扬机控制高度,模板依靠自身刚度不变形,不产生位移,模板安装时间短,可控制在半天,全面完成了投资、安全、



图7 模板体系不影响其他工序施工

质量和进度管理目标。现场从直径31.1m变径到30.5m位置(见图8)。

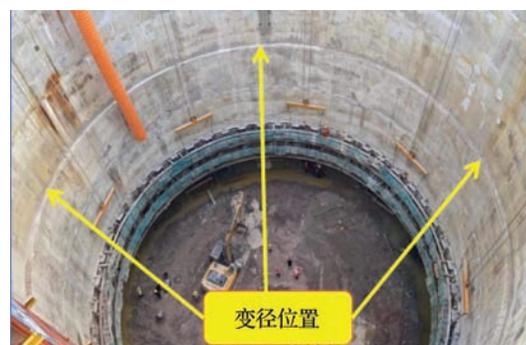


图8 从直径31.1m变径到30.5m位置

6 结语

城市发展需要不断开发地下资源,此类工程将会越来越多,施工难度也将越来越大。对模板进行调整优化和局部改造后,成功解决了超深大直径工作井内衬墙模板安装的问题,满足了现场安全、质量、进度等施工条件要求,提高了设备的使用率,降低了施工成本,缩短了工期,安全得到了保证,大大提高了工程质量,为后续相似条件下施工提供了工艺借鉴,也为同类施工提供了宝贵经验。▲

参考文献

- [1] 叶茂森.超深地下连续墙钢筋笼吊装技术研究[J].中国水能及电气化,2020(8):47-50,58,63.
- [2] 卢意,何富泽,郭佳,等.地下综合管廊移动式墙体钢模板施工技术[J].建筑技术,2019(11):1363-1366.
- [3] 王振鲁.深基坑高大支撑模板体系施工技术研究[J].施工技术,2020(S1):893-896.
- [4] 张星波.异形曲面钢模板在清水混凝土结构施工中的应用[J].建筑施工,2021(6):1036-1038.
- [5] 章培培.深基坑开挖施工方法[J].中国水能及电气化,2019(6):16-20.
- [6] 杨志青,王文玮,李文祥,等.深基坑地下连续墙叠合地下室外墙单侧模板支撑体系设计与施工[J].价值工程,2016(23):192-196.
- [7] 王立国,蒋友福,向玉章.组合钢模板全圆断面隧洞衬砌施工技术[J].水利建设与管理,2020(7):35-39.
- [8] 袁刚.定型大钢模板在渡槽施工中的应用[J].陕西水利,2019(11):121-123.

崩解岩保护层精准开挖施工技术

洪后兵 朱海亚

(安徽省引江济淮集团有限公司, 安徽合肥 230000)

【摘要】 引江济淮工程江淮沟通段穿越江淮分水岭, 沿线地质条件复杂, 渠道底部为崩解岩。为解决渠道崩解岩基础保护层开挖不平整度、超欠挖不易控制问题, 文章提出了“采用基于 CNSS 和地理信息技术的无人机倾斜摄影测量技术+铣刨机”用于崩解岩保护层精准开挖施工的方法。对开挖面不同的角度进行数据采集、分析后, 将导出数据实时传输给铣刨机操作手, 为精准、高效控制崩解岩保护层开挖提供参考。

【关键词】 崩解岩; 保护层开挖; 铣刨机

中图分类号: TV68

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-024-03

Precise Excavation Construction Technology of Protective Layer of Disintegrating Rock

HONG Houbing, ZHU Haiya

(Anhui Provincial Group Limited for Yangtze-to-Huaihe Water Diversion Co., Ltd., Hefei 230000, China)

Abstract: Jianghuai communication section of Yangtze-to-Huaihe Water Diversion Project penetrates through Jianghuai watershed. The geological conditions along the section are complicated. The bottom of the channel belongs to disintegrating rock. It is proposed in the paper that the method of “using UAV tilt photogrammetry technology based on CNSS and geographic information technology + milling machine” for the precise excavation and construction of the protective layer of disintegrating rock in order to solve the unevenness problems of protective layer excavation of channel disintegrating rock foundation and the difficulty in controlling the over-excavation or under-excavation. The derived data are transmitted to the milling machine operator in real time after data collection and analysis of different angles of the excavation face, thereby providing reference for precise and efficient control of excavating the protective layer of disintegrating rock.

Key words: disintegrating rock; excavation of protective layer; milling machine

1 工程概况

引江济淮工程从长江下游上段引水, 向淮河中游地区补水, 是一项以城乡供水和发展江淮航运为主, 结合灌溉补水和改善巢湖及淮河水生态环境等综合利用的大型跨流域调水工程, 自南向北可划分为引江济

巢、江淮沟通、江水北送三大工程段落, 共设八大节制枢纽。蜀山泵站工程为 I 等大(1)型工程, 设计流量 $340\text{m}^3/\text{s}$, 其中设计引水流量 $290\text{m}^3/\text{s}$, 设计净扬程 12.7m , 单机功率 7500kW , 单机流量 $43.0\text{m}^3/\text{s}$, 共装机组 8 台套, 总装机容量 60000kW 。是亚洲装机容量最大的混流泵站。

收稿日期: 2022-03-21

作者简介: 洪后兵(1990—), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利水电工程建设管理工作。

渠道总长 2.57km，渠道底部多为崩解岩，局部崩解岩具有弱膨胀性，岩体卸荷膨胀、蒸发失水，贫水岩基遇水后崩解。本工程进水渠及泵站基础均为混凝土结构。

2 工艺原理

从减弱开挖机械设备对岩体造成微裂、疏松面等目的出发，引进用于道路养护翻修作业的铣刨机进行崩解岩基础保护层开挖，利用无人机倾斜摄影测量技术，对开挖面不同的角度进行数据采集，经分析后，将导出数据实时传输给铣刨机操作手，为精准、高效控制崩解岩保护层开挖提供参考，解决了崩解岩区域基础预留保护层开挖施工效率低下，不平整度、超欠挖不易控制等问题。

3 施工流程及操作要点

3.1 施工准备

对涉及保护层开挖区域施工通道进行规划，即：在开挖区域边缘留设一进一出环向施工通道，便于铣刨机及土石方装运设备通行；用白灰撒设 5.0m × 5.0m 方格网，为铣刨机运行提供指引，防止出现漏铣情况。

无人机相机选型是精准获取影像的基础。本文中选用的大疆精灵 4PRO + 2.0 型无人机，其前、后、左、右及下方垂直角度搭载的 5 镜头相机倾角统一设置为 45°，并且保证侧视相机焦距为下视相机焦距的 1.4 倍。正式运行前，对相机安装倾角、视场角等进行模拟测试，以降低飞行期间故障率。

3.2 无人机航线布置

影像的重叠度是衡量无人机航线布置精准度的关键所在，倾斜摄影的模型精度一般是照片分辨率的 3 倍，它以多角度同步提取影像，可以弥补一般照片生成的正射影像的不足。本文中选用的无人机为旋翼机型，飞行速度越快，机身倾斜角也就越大，而倾斜角增大会影响成像的重叠度。在保护层精准开挖施工中飞行速度越慢，模型精度越高、细节效果越好。倾斜摄影的航线采用 DJI GS Pro 地面站专业版（iPad）进

行设计，地面分辨率及物理像元尺寸与相对飞行高度满足一定比例关系。航线设计采取旁向重叠度 60%，航向重叠度 90%。实际飞行中，各个相机根据提前提供的坐标点自动进行曝光拍摄。本文经过实践确定的飞行高度为 40m，飞行速度为 5m/s（见图 1、图 2）。

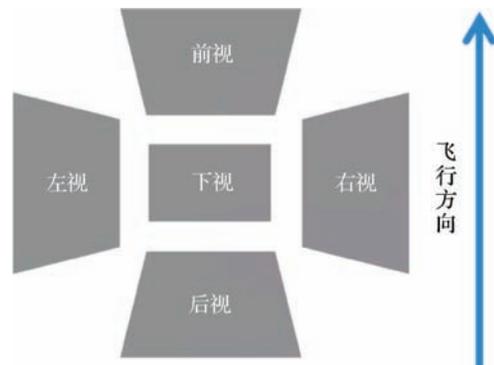


图 1 无人机相机倾角设置示意图



图 2 无人机航带设计

3.3 地形影像采集

利用实景三维获取系统，采用“低空航空摄影”的方式获取开挖河渠的原地形像片，输入地面像控测量数据，通过处理软件进行空三加密，得到每张影像数据（见图 3）。

为了满足模型精度要求，在测区四周及内部布设并采集多个控制点的坐标，形成控制网。将全部航测数据都纳入到了同一个坐标系当中。这样做既能提高测量精度，又能方便数据对比。摄影测量分别生成数字正射影像（DOM）、数字高程模型（DEM）、数字表面模型（DSM）等成果。

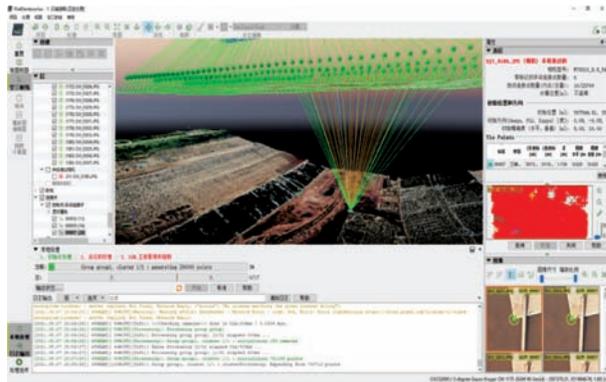


图3 人机现场控制点检查

3.4 影像数据分析处理

外业摄影作业完成后，需要及时将数据导出转入内业处理，使用 Pix4Dmapper 处理软件生成三维模型及派生数据，包括 DOM、DSM（含 DEM）、数字点云等数据。

3.4.1 数据检查

主要检查航线弯曲度，像片倾角、旋角，实际影像重叠度，摄取河渠范围、影像的清晰度、像点位移等。如果检查内容不满足数据处理要求，需要重飞或补飞。

3.4.2 空三加密

采用光束法区域网联合平差的方法，其基本原理是对运用两种不同观测手段得到的数据进行平差，对像片的 POS 姿态数据与控制点坐标初始数据进行联合平差。基于原始影像及空三成果，建立三维模型，进行高程数据标识。

3.5 实时数据传输

利用手机与平板电脑建立局域网络，保证数据传输专线专用。建立涵盖技术、质量、测量、施工、操作手在内的微信群，采集、分析出的数据通过三维图形的方式实时更新、上传。

3.6 铤刨作业

铤刨机和自卸车准备好，调整好位置。启动铤刨机，由技术人员指导操作手根据分析整理的测量成果调整好铤刨深度。铤刨过程中，前方由施工员指挥，保证全程出料与自卸车配合良好。对于没有输送到自

卸汽车上的铤刨料，统一堆存至路面，及时进行人工清理（见图4）。



图4 铤刨机铤刨

3.7 效果检查

在开挖完成后，采用全站仪对开挖面进行全面检测，监测点采用横断面控制，断面间距不大于 5m，各断面点数间距不大于 2m。对于崩解岩区域预留保护层开挖共计检测 4650 点（见图5）。经检测：坡面无欠挖，平均超挖 2.3cm，远远小于规范允许的 15cm。根据《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——土石方工程》（SL 631—2012），崩解岩区域保护层开挖各主控项目检验点全部合格，且全部单元达到优良标准（见图6）。



图5 铤刨效果



图6 效果检查 （下转第 57 页）

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.04.07

北辰特大桥 72 号墩巨型双臂钢围堰深水 施工技术研究

朱传奇

(中铁十八局集团第五工程有限公司, 天津 300459)

【摘要】 文章以北辰特大桥项目为背景, 主要针对其跨越青龙湾减河段 72 号墩围堰施工展开论述。72 号墩位于青龙湾减河主河道中, 河道水深、流大、速急, 综合考虑现场施工情况, 围堰采取无底双臂钢围堰自浮式结构, 整节整体加工, 进行钢围堰分块、分节拼装及下放, 最终取得了预期的效果。此次研究可为类似桥梁项目施工积累经验。

【关键词】 北辰特大桥; 72 号墩; 巨型钢围堰; 深水; 拼装

中图分类号: U44

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-027-07

Research on Deep Water Construction Technology of Large Double-arm Steel Cofferdam for No. 72 Pier in Beichen Super Major Bridge

ZHU Chuanqi

(The Fifth Engineering Co., Ltd., of China Railway 18th Bureau Group, Tianjin 300459, China)

Abstract: Beichen Super Major Bridge Project is adopted as the background in the paper. The construction of No. 72 pier cofferdam across Qinglong Bay Jianhe River Reach is discussed mainly. No. 72 Pier is located in the main river of Jianhe River in Qinglong Bay. The river is characterized by deep water, large flow and rapid speed. The construction situation on site is considered comprehensively. The self-floating structure of bottomless double-arm steel cofferdam is adopted. The whole section is processed as a whole. The steel cofferdam is assembled and installed in blocks and sections. Finally, the expected results are achieved. The study can accumulate experience for similar bridge construction projects.

Key words: Beichen Super Major Bridge; No. 72 pier; large steel cofferdam; deep water; assembly

为促使京津冀快速实现协同发展, 相配套的交通基础设施建设全面展开, 其中京滨城际铁路项目就是重要代表之一, 京滨城际铁路是链接环渤海及京津冀的关键通道, 有利于加快京津冀交通一体化发展。京滨城际铁路全长 171.7km, 设计最高时速 350km/h。其中

北辰特大桥是京滨城际铁路全线最长的桥, 达 31.74km, 共计跨越 10 条河流, 水中桥墩能否高效安全建设完成是北辰特大桥项目建设的关键。基于此, 下文主要针对跨越青龙湾减河的 72 号墩钢围堰深水施工展开分析及研究。

收稿日期: 2021-12-07

作者简介: 朱传奇 (1988—), 女, 本科, 中级工程师, 从事桥梁基础施工工作。

1 工程概况

北辰特大桥与青龙湾减河相交于 DK118 + 467，相交的角度为 104°04′。青龙湾减河的河堤标高分别为左堤为 8.335m、右堤为 8.505m，河道水深 7.24m、流量 900m³/s、流速 1.89m/s。跨越主河道桥梁选用的是 60 + 100 + 100 + 60m 连续梁型式，连续梁墩依次为 70 号墩（陆上）、71 号墩（水中）、72 号墩（水中）、73 号墩（水中）、74 号墩（陆上）。

其中 72 号墩承台尺寸 30.1m × 19.5m × 5m，加台

20m × 12.1m × 3.5m，施工使用双壁钢套箱作为围堰（双壁自浮式结构），围堰顶面标高为 6.45m，围堰封底混凝土等级为 C30，封底厚度为 3.2m，围堰底面标高为 -13.672m。该围堰的内壁尺寸为 30.7m × 19.8m，外壁尺寸为 33.7m × 22.8m，双壁间距为 1.5m，高 20.122m，竖向设置两道钢支撑（见图 1）。该钢围堰的壁板和环板选用的是 Q235B 钢板，壁板的竖向加劲肋和水平桁架选用的是 Q235B 角钢，用于内支撑的 φ609 × 16mm 钢管选用的是 Q235B 钢材。

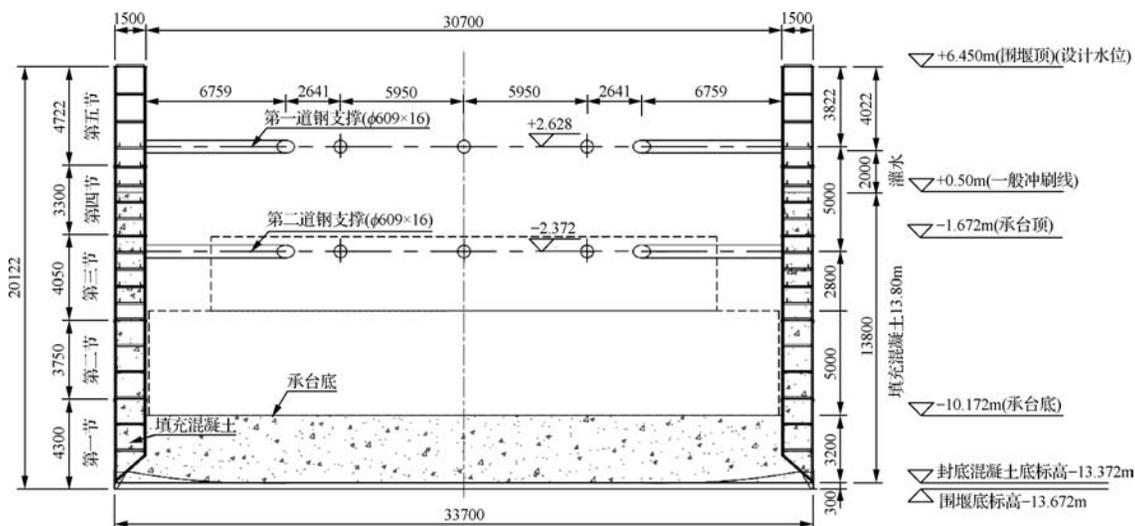


图 1 72 号墩双臂钢围堰立面示意图（单位：mm）

2 工程重点及难点

该双臂钢围堰自重达 594.2t、高度 20.122m（第一节高 4.3m，重 122.46t；第二节高 3.75m，重 96.25t；第三节高 4.05m，重 139.26t；第四节高 3.3m，重 113.66t；第五节高 4.722m，重 122.56t），且施工处水深达 7.24m，流速 1.89m/s，水深且急，如何在深水中安全高效的完成这一巨型双臂钢围堰的拼装及下放施工是跨越青龙湾减河工程的重点及难点。

3 双臂钢围堰加工

该巨型钢围堰由有资质的专业厂家分块、分节加工制作而成。先根据钢围堰各构件的实际形状及尺寸，确定好其相互之间的关系，并在专业胎架上放

样，然后使用半自动切割机下料制作内外壁板、竖向角钢、水平桁架及钢箱等配件，最后再在专用胎架上将上述所有的配件按照外壁板、外壁竖向角钢、水平桁架、钢箱、内壁竖向角钢、内壁板、吊耳的顺序立体分段组成整体（见图 2、图 3），并将各节点焊接牢固^[1]。

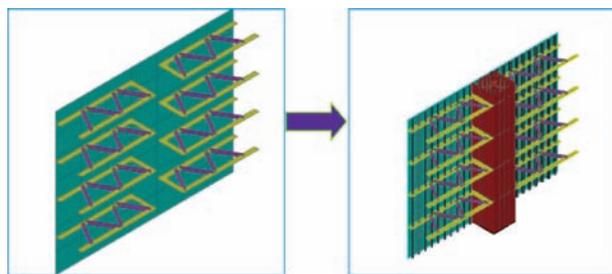


图 2 立体分段组装示意图（1）

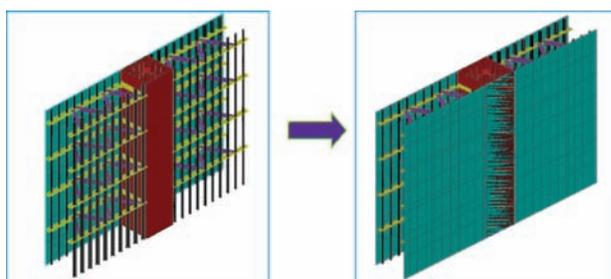


图3 立体分段组拼示意图 (2)

4 双臂钢围堰施工

钢围堰竖向均分为5层，每层分12块段，每块最大重量15t，在厂内分块预制完成后运到施工现场，然后用两台50t履带吊+8台150t同步连续千斤顶逐块逐层拼装下放到位。

4.1 搭设首节围堰拼装平台

搭设拼装平台时，先是按3m间距，将40b双拼工字钢安到钢管柱上，形成承重梁支承；接着在承重梁的垂直方向上安装3根I16b工字钢，接着再铺上一排花钢板或者木跳板，作为施工通道和操作平台。为保障施工安全，也安装了防护栏。为防止围堰拼装时出现错缝对接困难，搭设平台时要严格控制平台标高，误差应不大于5mm^[2]。

4.2 首节围堰拼装

用专业运输车辆把工厂预制好的钢围堰构件，分块、分批运到施工地点，然后根据对称拼装的原则，

按照“先拼长边、再拼短边”的顺序进行首节围堰拼装^[3]。围堰拼装节段示意图见图4。实际拼装时，先装1号块，定好位之后，顺着顺时针及逆时针两个方向同时实施拼装，具体顺序为1号块→2号块、12号块→3号块、11号块→4号块、10号块→5号块、9号块→6号块→7号块→8号块，因为合龙不宜在拐角处，所以将8号块定为合龙块。钢围堰拼装时，为确保拼装的垂直度，并为拼装提供临时支撑，在钢护筒外侧焊接了临时导向装置。每拼好一节钢围堰，便要做一次检查及验收（具体验收标准参考表1），保障每节钢围堰质量。

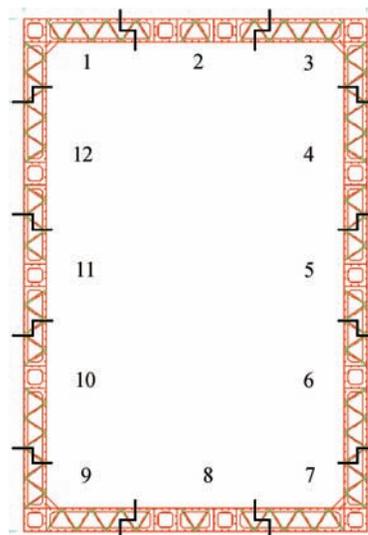


图4 围堰拼装节段示意图

表1 钢围堰拼装验收标准

序号	检查项目	规定值或允许值	检查方法和频率
1	顶面中心偏位/mm	顺桥向	全站仪：测围堰两轴线交点，纵横各检查2点
		横桥向	
2	承台平面尺寸/mm	±40	尺量：每节检查4处
3	高度/mm	±30	尺量：每节检查2处
4	顶平面相对高差/mm	相邻点高差	尺量：各分块点
		全节最大高差	尺量：全部
5	节间错台/mm	2	尺量：每节检查4处
6	焊缝质量	符合设计要求	抽检水平、垂直焊缝各50%
7	水密试验	不允许渗水	采用“煤油渗透法”

4.2.1 首节围堰下放

下放之前需先组装好下放系统。围堰下放共有4个吊点，吊点均为由钢板组焊而成的牛腿结构，牛腿底部设置锚具（由锚板、工具夹片、P锚及压板组成）。同时，布置了8台150t同步连续液压千斤顶，且每个吊点均设置有8台油泵，该下放系统的提升能力可达1200kN。只在提升底节围堰时使用，最大荷载是106.5kN，满足提升要求。另外，为确保提升安全，对每台千斤顶配备1根PSB830级直径40mm、长12m的精轧螺纹钢。围堰下放系统见图5。

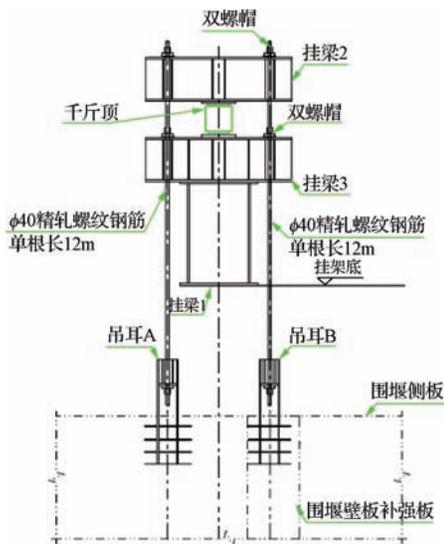


图5 钢围堰下放系统

4.2.2 拼装初定位

为避免钢围堰在进入到水后发生漂移，在围堰上焊接了型钢，作为限位架（长度根据钢护筒的实际位置及限位架方向的清晰度而定），共2层。然后与钢护筒一起实现对钢围堰的定位。同时，为保障围堰定位的准确性，严控限位架和钢护筒的间隙在5cm以内^[4]。

4.2.3 首节围堰起吊下放

待首节钢围堰拼装好且检查合格后，同时打开8台千斤顶先将围堰均匀提升5cm进行试吊，试吊悬停10min之后，经检查无异常，继续提升围堰，使其脱离拼装平台20cm后，将拼装平台及影响围堰下沉的

构件及时清理干净。再操作千斤顶把钢围堰平稳下放到精轧螺纹钢自锁，然后再升起千斤顶（因为钢绞线为自锁状态，所以钢围堰不会随之上升），升到位之后，打开精轧螺纹钢的锁，重复前面的操作，直到钢围堰下放入水1.0m后，由钢围堰四角及纵横轴处的四个测量点测量顶面高程，确保各点高差不大于1cm。具体下放示意图见图6。整个下放过程中要注意控制钢围堰下沉的均匀性及同步性，确保每个吊点都受力均匀。同时，以50cm为一级，每下放一级钢围堰，检查一遍围堰的平面位置、轴线、垂直度及高程，直至钢围堰入水保持自浮状态，保证钢围堰质量^[5]。

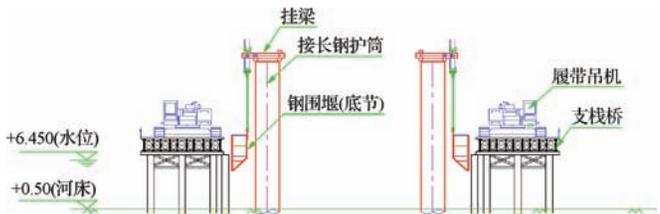


图6 围堰下放示意图

4.2.4 刃脚混凝土浇筑及下放

先浇筑刃脚混凝土0.8m高，且要一边浇筑一边下沉，待底节钢围堰的顶部露出水面的高度达到设计要求后（见图7），拆除提升下放系统。

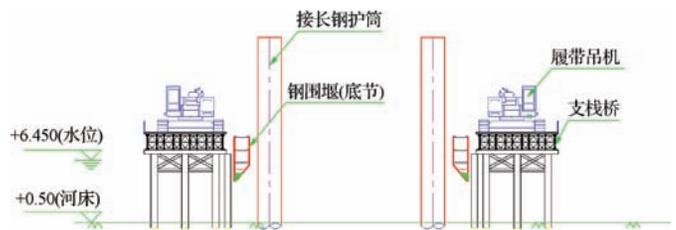


图7 钢围堰刃脚混凝土浇筑示意图

4.2.5 第二节至第五节围堰拼装及下放

第二节至第五节钢围堰拼装及下放与首节钢围堰的工作流程大致相同，即：拼好每个单元及节段，并验收→注水，将围堰下放至指定位置→拼装下一个节段。具体来说，按照与首节相同的顺序进行第二节钢围堰拼装，每安装完一节围堰便要进行一次渗透试验及水密试验，保障钢围堰质量（见图8）。

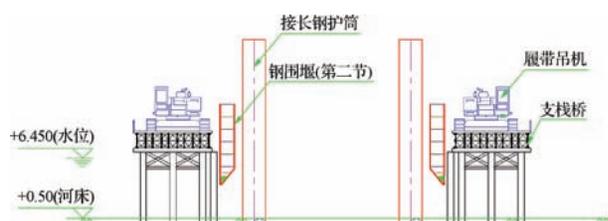


图8 第二节钢围堰拼装示意图

待逐块拼好第二节钢围堰之后，下放到指定位置（见图9），再把首节钢围堰的底节与第二节钢围堰牢固焊到一起，并根据要求对面板焊缝做煤油渗透试验，合格后，往舱内灌入高3.535m的水，不在舱内直接浇筑混凝土，下沉围堰到指定位置后，调整围堰的倾斜度及平面位置，并抽水到围堰内外水头差达到1.605m为止，使得围堰保持自浮。

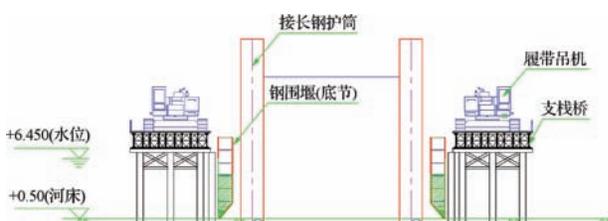


图9 第二节钢围堰下放示意图

安装好第二节钢围堰且验收合格后，安装第三节。在舱内浇筑水下混凝土，高度5.54m，并采用射水吸泥法使围堰下沉（见图10）。

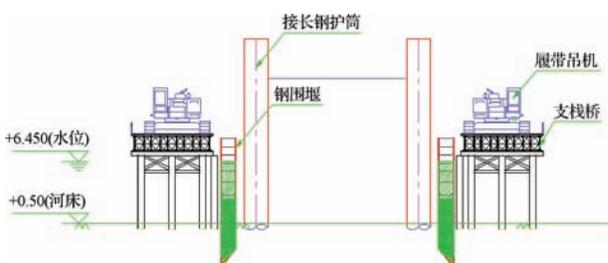


图10 第三节钢围堰下放示意图

第四节钢围堰接高，在围堰舱内浇筑水下混凝土，高度7.5m（具体高度根据围堰高度现场调整，确保围堰自平衡），并采用射水吸泥法使围堰下沉（见图11）。

第五节接高，结合设计要求，进行灌水、吸泥，

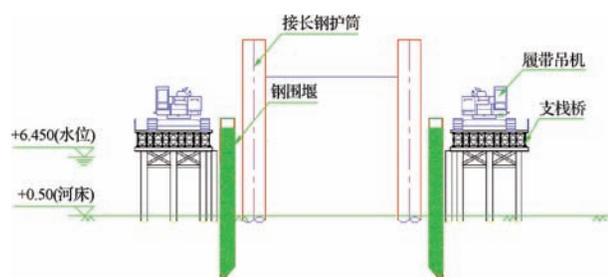


图11 第四节钢围堰下放示意图

下沉到指定位置（见图12）。

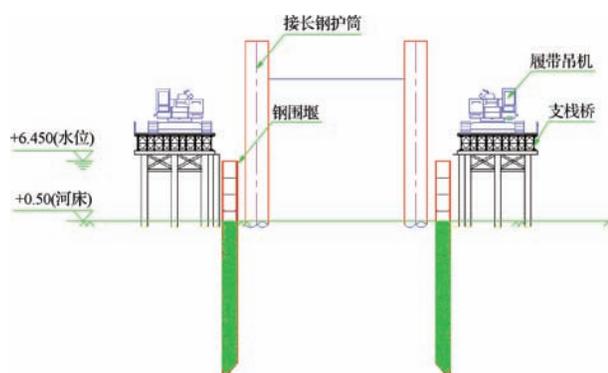


图12 第五节钢围堰下放示意图

待整体钢围堰射水吸泥下沉到位之后，在舱内注满水，使其达到满水状态（见图13）。

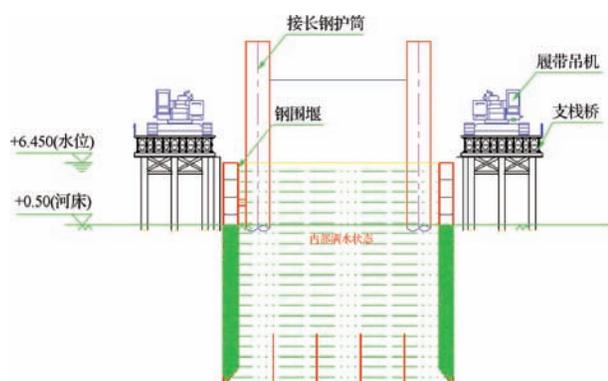


图13 钢围堰满水状态示意图

4.2.6 下放封底隔舱及灌注混凝土

a. 为确保封底混凝土能均匀布置，设置了12个封底隔舱（见图14）。隔舱均是用9015钢模板（两道）+L10槽钢（间距10cm）肋板制作而成的。隔舱的下放滑道由双L10角钢（间距10cm）焊接在钢围堰内壁上而成。

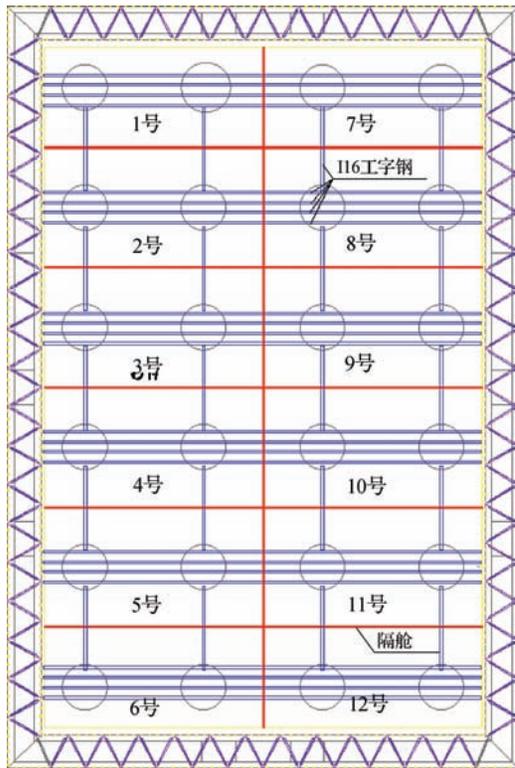


图 14 封底隔舱拼装平台平面

b. 在拼装平台上先将钢护筒割齐，再顺桥向在平台上搭设 4 根 I16 工字钢作为行走通道和混凝土封底平台。中间两排钢护筒上搭设的 4 排 I16 工字钢，在隔舱下沉的时候，要及时撤出。顺横桥向搭设一道 I16 工字钢，作为隔舱的支撑架。拼装隔舱时，先在地面将 3 块 4.5m 的隔舱板拼成一大块，再用汽车吊吊升到拼装平台上进行拼装。并在各隔舱之间安装一道 I16 槽钢剪刀撑进行加固。

c. 拼装完所有的隔舱后，将拼装平台拆掉，再用汽车吊将隔舱整体吊装下放到位。

d. 待下放隔舱至指定位置后，采取水下灌注法（与水下灌注桩工艺原理相同）进行隔舱混凝土灌注施工，且要求灌注时，导管底部应悬空 0.2m，首批料应不小于 3m³，以保障混凝土的灌注质量。同时，为防止灌注中因重量不平衡而使围堰发生偏移或产生计算工况外的局部应力，使用两台泵车进行对称浇筑。另外，待水位与围堰内外标高一致后，开始抽水，控制抽水速度与混凝土灌注速度保持一致^[6]。

4.2.7 围堰封底混凝土施工

a. 用钻孔平台拆下来的材料搭设封底平台，首先把钢护筒统一切割到距离水面 50cm；接着在顺桥向每排护筒上布置 4 根 I16 工字钢，并铺上木跳板形成施工平台。平台共有 12 个隔舱，每个隔舱有 4 个布料点，共计 48 个布料点，中间的是主布料点，两边的是辅布料点（见图 15）。另外，为保障施工安全，在栈桥平台与封底平台之间适当位置设置上下斜梯通道供人员上下，且保障栈桥平台、围堰顶、斜梯、封底平台之间通道畅通，脚手板满铺，做好全面防护^[7]。

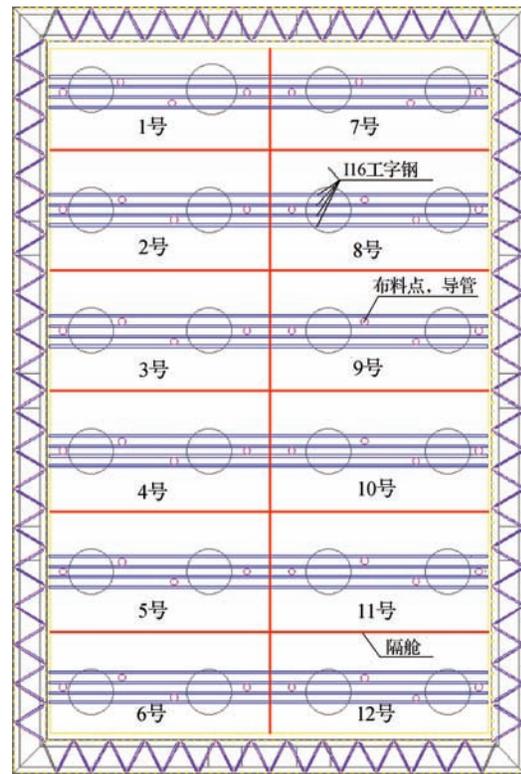


图 15 封底操作平台平面

b. 为保障封底质量，配备了 2 台 240 搅拌站生产混凝土，10 台运输车运输混凝土，3 台 37m 汽车泵（1 台备用）泵送混凝土。同时，根据布料点数量，配有 8 套导管，每套导管 19m，5m³ 以上大料斗 2 个，小料斗 8 个。

c. 完成上述双臂钢围堰安装工作且质量检测均合格后，进行围堰封底混凝土浇筑，总浇筑高度为

3.2m, 在水下分两次进行浇筑。首先浇筑 3m 高的 C30 混凝土, 待混凝土到 90% 设计强度后, 将围堰中的水抽掉, 待抽干后再浇筑 20cm 厚的封底调平层。具体来说, 按照 4 号舱、10 号舱、3 号舱、9 号舱、5 号舱、11 号舱、2 号舱、8 号舱、6 号舱、12 号舱、1 号舱、7 号舱的顺序, 每个隔舱采用两台泵车从两个主布料点一次性灌注至设计高度, 再对称找补辅布料点混凝土。浇筑完首批封底混凝土之后, 导管的埋深应控制在 0.7~0.8m 左右。再将大料斗换成小料斗, 放置在封底平台承重梁上, 汽车泵继续泵送混凝土, 直至封底混凝土面达到设计要求^[8]。

d. 为确保封底混凝土浇筑能稳定连续施工, 应控制同一导管两次灌入混凝土的时间间隔在 90min, 且要严控各浇筑点及其周围 4m 范围内的标高, 及时检测, 并记录灌注、测量时间^[9]。混凝土快浇筑完的时候, 要检测混凝土面的标高, 尤其是要对导管作用半径相交位置、护筒周边及围堰内侧周边等位置的标高进行检测。根据结果, 对标高偏低的位置适当的增加浇筑量, 以保封底混凝土的顶面足够平整, 且检测各位置均符合要求后, 停止浇筑, 拔升导管, 移到下个浇筑点。另外, 抽完围堰内的水之后, 检查堰内壁与封底混凝土接缝处有无冒水或渗水, 若有可使用干海带对冒水或渗水位置进行封堵, 若出水量稍大, 则需开 V 形槽, 并使用堵漏王进行封堵, 保证封底施工质量。

5 结 语

综上所述, 双臂钢围堰技术在现代桥梁深水基础

施工中已有较为广泛的应用, 但是像北辰特大桥跨越青龙湾减河 72 号墩这样自重达 594.2t、高度达 20.122m 的巨型双臂钢围堰施工应用还比较少, 为了确保如此重、大的钢围堰安全高效地安装成功, 将整个钢围堰分成了五节, 并且每节分成了 12 块段 (每块最大重量 15t), 在专业加工厂预制加工而成, 再运至现场利用 2 台 50t 履带吊 + 8 台同步连续千斤顶配合完成拼装及下放, 经现场边施工边监测, 达到了预期的工程效果。此次巨型双臂钢围堰施工为华北地区首例, 且达到了国内先进水平。▲

参考文献

- [1] 况月超, 海大鹏, 王小强, 等. 超厚卵石层双臂钢围堰设计及施工方法[J]. 智能城市, 2020, 6(17): 155-156.
- [2] 汪跃飞. 明月峡长江大桥超大型双壁钢围堰施工安全风险控制研究[J]. 科技与创新, 2021(1): 73-75, 78.
- [3] 汪成龙. 五峰山长江特大桥超大型钢围堰封底施工技术[J]. 施工技术, 2019, 48(5): 29-32, 46.
- [4] 钟祺, 郑春雨, 卫康, 等. 复杂地质深水环境中钢围堰类型比选及设计研究[J]. 公路, 2021(10): 210-215.
- [5] 王昊天. 双壁钢围堰在海域桥梁施工中的应用研究[J]. 中国高新科技, 2021(10): 128-129.
- [6] 梁之海. V 形大落差裸岩河床深水基础双壁钢围堰施工关键技术[J]. 施工技术, 2021, 50(7): 44-48.
- [7] 向正. 深水施工双壁钢吊箱围堰关键技术研究[J]. 资源信息与工程, 2021, 36(1): 68-70.
- [8] 张永成. 桥梁深水基础双壁钢套箱围堰施工技术[J]. 交通世界, 2020(36): 52-53.
- [9] 罗青松. 连续刚构大桥主墩钢围堰施工技术研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020(10): 118-121, 18.

水电站技术

基于水电机组盘车的摆度测量及调整系统研究

钟象新 乔志远 谭小平

(广东省源天工程有限公司, 广东 广州 511340)

【摘要】 为保持水电机组安装检修过程中机组轴线摆度在允许的范围内, 针对传统盘车方法费时费力、精度低, 效率低等缺点, 文章基于 LabVIEW 编程语言配合高精度的传感器设计了一套水电机组轴线摆度测量及调整系统, 用于自动计算水电机组轴线的全摆度和净摆度, 并给出轴线调整的建议。在机组实际盘车过程中, 该系统表现出精度高、准确性强、省时省力等特点, 能较好地实现水电机组的自动测量、轴线调整计算。

【关键词】 水电机组轴线; 摆度测量; 摆度测量及调整系统

中图分类号: TV734

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-034-04

Research on Swing Measuring and Adjusting System based on Hydroelectric Generating Unit Turning Gear

ZHONG Xiangxin, QIAO Zhiyuan, TAN Xiaoping

(Guangdong Yuantian Engineering Co., Ltd., Guangzhou 511340, China)

Abstract: A set of hydroelectric generating unit axis swing measuring and adjusting system is designed in the paper based on LabVIEW programming language combined with high precision sensor in the paper in order to keep the unit axis swing within the allowable range during the installation overhaul process of the hydroelectric generating unit aiming at the defects of traditional turning gear method, namely time-consuming, power-consuming, low accuracy, low efficiency, etc. It is used for automatically calculating the full swing and net swing of the hydroelectric generating unit axis, and the axis adjustment suggestions are given. The system has the characteristics of high precision, strong accuracy, time saving and labor saving during the unit actual turning gear process. Automatic measurement of the hydropower unit and axis adjustment calculation can be better realized.

Key words: hydropower unit axis; swing measurement; swing measuring and adjustment system

水电机组盘车是水电站安装检修中重要的一环, 盘车的质量直接影响水电站机组安全、高效运行^[1],

收稿日期: 2022-03-16

作者简介: 钟象新 (1977—), 男, 中专, 工程师, 主要研究方向: 电站机电设备安装。

因此，盘车的目的是尽可能地测量和调整水轮发电机主轴的轴线摆度，进而使其合理分配轴瓦间隙，从而保证机组长期安全、稳定运行。然而运用传统方法进行水电机组盘车时，人工操作程序烦琐、费时费力，数据记录及处理会出现偏差，准确度低。为了提高水电机组盘车的准确性和缩短盘车的时间，本文综合运用 LabVIEW 编程语言配合高精度的传感器，设计并开发了一套完整的水电机组轴线摆度测量及调整系统^[2]，该系统具有自动测量、轴线调整计算的功能，能够有效提高水电机组盘车的准确性和自动化水平。

1 水电机组盘车摆度测量及调整系统结构

水电机组轴线的摆度测量及调整系统由软硬件两部分组成，硬件部分由 PL-IS09-H7 激光位移传感器、光纤传感器、单片机、无线收发模块、传感器的供电电源组成。软件部分为 LabVIEW 编程语言搭建的软件系统。

其中 PL-IS09-H7 激光位移传感器是基于三角原理工作的位移传感器，其能读取上导、下导、法兰及水导各位置的位移数据，同时测量精度和智能化水平都较传统的百分表有很大的提高。光纤传感器作为角度位移传感器进行角度位置测量工作，当光纤传感器感知到金属检测体时能触发工作状态。无线收发模块能适应水电站厂房的复杂结构，满足电站对数据无线收发需要。单片机是系统硬件部分和系统软件部分的中间桥梁，在光纤传感器感知到金属检测体时，单片机能通过 TTL 转 RS232 电平模块、中间继电器、RS232 转 RS485/422 转换器这条路线向盘车摆度测量及调整系统报告机组轴线的角度位置。传感器的供电电源是将 220V 的交流电转换为 24V 的直流电再给传感器供电。

LabVIEW 是一种图形化的编程语言，是目前在测试测量领域应用最广泛的软件之一，它是采用图形化的代码形式进行系统程序开发，可方便地创建用户界面，负责分析处理盘车测量数据，并通过各种工作界面给出减小机组轴线摆度到允许范围内的修正措施。

2 水电站机组摆度测量及分析实验

水电机组盘车的方式有 3 种，本文采用自动盘车方式测量水电机组轴线的摆度值^[3]。自动盘车是一种采用电机带动齿轮传递力矩的盘车方式^[4]，其装置是根据水轮发电机组的上导轴承相关尺寸和机组转动部分的重量进行设计的。它由弹性力偶、减速增距、联轴离合等机构组成，具有控制简便，主动与被动之间互不干涉；转速均匀、停点准，转子处于充分自由状态等优点。水电机组自动盘车现场见图 1。



图 1 水电机组自动盘车现场

2.1 水电机组轴线盘车实验

按逆时针方向用金属检测体分别将主轴的上导等处分成八等份，并按顺序编号，在上导、下导、主轴法兰、水导处按照 X、Y 方向设置两个激光位移传感器测量各位置的摆度值，两者成 90° 夹角，起着相互校核的作用，并要求各位置的对应等分点同号且在同一铅锤线上。

开始盘车时先试着转动三圈，待盘车摆度测量及调整系统与硬件设备同步后，单片机与盘车摆度测量及调整系统确定某一等分线的金属检测体作为 0° 位置。当光纤传感器再次感应到金属检测体时，单片机通知盘车摆度测量及调整系统指示上导、下导、法兰及水导等各位置的激光位移传感器读取机组轴线的径向位移值，8 个位置的相对测量数据作为一圈，并以

圈为单位将数据存入系统中。水电机组盘车系统结构组成见图2。

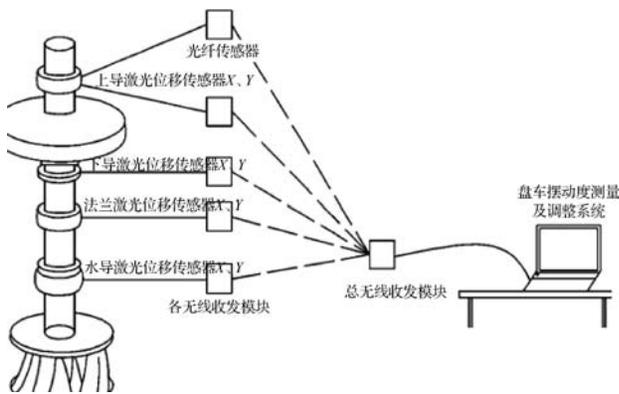


图2 水电机组盘车系统结构组成

将机组盘车数据导入系统计算界面中，再设置盘车摆度测量及调整系统的水电机组参数^[5]，盘车测量及调整系统能自动计算出各位置的全摆度和净摆度，并给出机组的曲折状态、刮削的处理位置和处理量^[6-7]。

2.2 盘车测量数据分析处理

随机选取其中一圈盘车测量数据，具体盘车中传感器 (X^* , Y^*) 和百分表 (X , Y) 摆度测量数据见表1，将数据导入到系统的轴线调整计算界面中，输入该水电机组的参数，进行计算。系统将计算出盘车测量数据的摆度值 (见表2)。

表1 盘车中传感器 (X^* , Y^*) 和百分表 (X , Y) 摆度测量数据

单位: mm

测点	1	2	3	4	5	6	7	8
上导 X^*	-0.95	-0.85	-0.9	-0.84	-1.08	-0.99	-0.96	-0.83
上导 X	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
上导 Y^*	-1.87	-1.89	-1.31	-1.23	-1.23	-1.86	-1.19	-1.19
上导 Y	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-1
下导 X^*	0.17	0.13	0.92	0.95	0.27	0.17	0.82	0.82
下导 X	0	0	1	1	0	0	1	1
下导 Y^*	-0.33	-0.19	-0.16	-0.09	-0.36	-0.29	-0.29	-0.29
下导 Y	0	0	0	0	0	0	0	0
法兰 X^*	-0.19	-1.11	-0.85	-0.17	-1.95	-1.86	-1.35	-1.35
法兰 X	0	-1	-1	0	-2	-2	-1	-1
法兰 Y^*	-0.23	-1.01	-0.69	-0.25	-1.36	-1.3	-0.81	-0.81
法兰 Y	0	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1
水导 X^*	-1.99	-1.12	-1.35	-1.19	-2.08	-1.18	-1.39	-1.39
水导 X	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1
水导 Y^*	-2.11	-1.3	-1.31	-1.19	-2.14	-1.35	-1.24	-1.24
水导 Y	-2	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1

表2 盘车中传感器 (X^* , Y^*) 和百分表 (X , Y) 全摆度和净摆度值

单位: mm

测点	全摆度				净摆度			
	5—1	6—2	7—3	8—4	5—1	6—2	7—3	8—4
上导 X^*	-0.13	-0.14	-0.06	0.01				
上导 X	0	0	0	0				
上导 Y^*	0.64	0.03	0.12	0.04				
上导 Y	0	0	0	0				
下导 X^*	0.1	0.04	-0.1	-0.13	0.23	0.18	-0.04	-0.14
下导 X	0	0	0	0	0	0	0	0
下导 Y^*	-0.03	-0.1	-0.13	-0.2	-0.67	-0.13	-0.25	-0.24
下导 Y	0	0	0	0	0	0	0	0

续表

测点	全摆度				净摆度			
	5—1	6—2	7—3	8—4	5—1	6—2	7—3	8—4
法兰 X*	-1.76	-0.75	-0.5	-1.18	-1.63	-0.61	-0.44	-1.19
法兰 X	-2	-1	0	-1	-2	-1	0	-1
法兰 Y*	-1.13	-0.29	-0.12	-0.56	-1.77	-0.32	-0.24	-0.6
法兰 Y	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1
水导 X*	-0.09	-0.06	-0.04	-0.2	0.04	0.08	0.02	-0.21
水导 X	0	0	0	0	0	0	0	0
水导 Y*	-0.03	-0.05	0.07	-0.05	-0.67	-0.08	-0.05	-0.09
水导 Y	0	0	0	0	0	0	0	0

水电机组摆度测量及调整系统可依据表 1 和表 2 中所测得的数据进行自动计算, 从刮削量计算界面图 (见图 3) 中可看到, 系统显示镜板最大刮削量是 0.025mm, 而用人工方法得到的是 0.026mm, 两者数据仅相差 0.001mm; 系统显示法兰最大刮削量是 0.062mm, 人工方法得到的是 0.064mm, 两者数据相差 0.002mm; 刮削的方位角度方面, 系统得到的镜板处偏移角度是 315.79°, 人工方法计算得到的偏移角度是 7 偏 8 约 1.1°, 系统得到的法兰处偏移角是 302.37°, 人工方法计算得到法兰处的是 7 偏 6 约 11.19°。根据系统计算结果, 可以判断水电机组轴线曲折状态为第五个曲折状态 (见图 4), 在系统中通过三维立体显示图 (见图 5) 不难看出, 该系统的盘车测量数据稳定可靠, 能快速获取和处理海量数据,

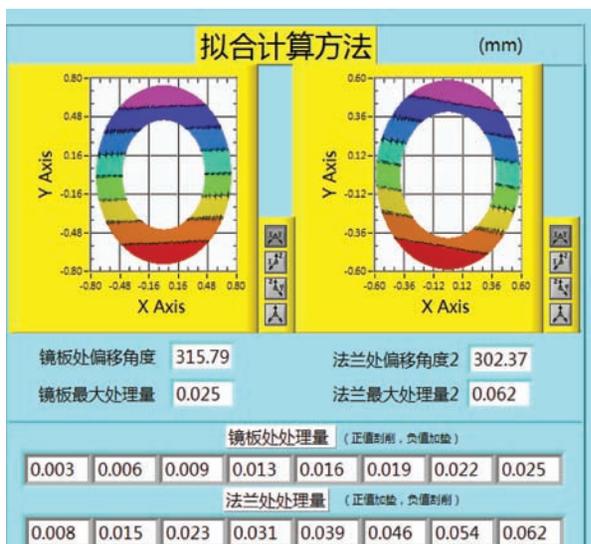


图 3 系统计算的刮削量及方位角度

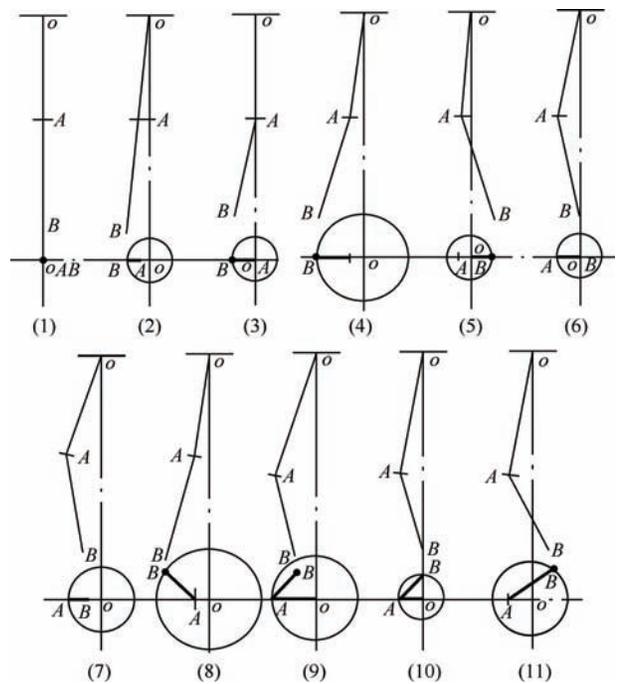


图 4 水电机组轴线曲折典型状态

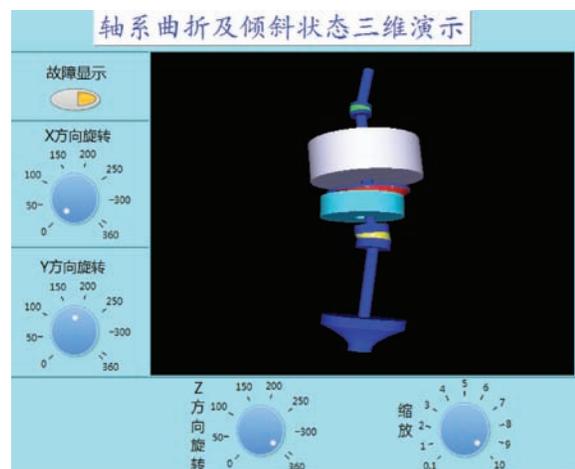


图 5 水电机组轴系曲折状态三维演示

(下转第 41 页)

科学研究

柔性喷层在锚喷支护输水隧洞工程中的应用研究

李淑贤

(沈阳宝峰建筑工程有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

【摘要】 柔性喷层材料具有回弹率低、硬化速度快、抗裂性能好等优点, 能够满足输水隧洞大变形支护要求。文章以李金水库具体工程为背景, 探讨了柔性喷层在锚喷支护输水隧洞工程中的应用问题。根据试验结果给出了柔性喷层的最佳配合比方案, 建议在施工开挖后 8h 进行支护, 采用 10cm 的喷层厚度。

【关键词】 柔性喷层; 输水隧洞; 支护时机; 喷层厚度

中图分类号: TV554

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-038-04

Study on Application of Flexible Spray Layer in Anchoring Shotcrete Supporting Water Conveyance Tunnel Project

LI Shuxian

(Shenyang Baofeng Construction Engineering Co., Ltd., Shenyang 110000, China)

Abstract: The flexible spray layer material has the advantages of low rebound rate, fast hardening rate, excellent crack resistance, etc. which can meet the requirements of large deformation support of water conveyance tunnels. Lijin Reservoir Project is adopted as the background in the paper to discuss the application of flexible spray layer in the anchoring shotcrete supporting water conveyance tunnel project. The optimal mix proportion scheme of the flexible spray layer is given according to the test results. It is suggested that support should be implemented 8h after excavation, and the spray layer thickness of 10 cm should be adopted.

Key words: flexible spray layer; water conveyance tunnel; supporting time; spray layer thickness

1 研究背景

李金水库位于辽宁省绥中县大王庙境内的王宝河支流上, 是一座以防洪和灌溉为主、兼有供水和养殖

等诸多功能的小(1)型水库。水库坝址以上流域面积 29.30km², 设计水位 122.45m, 设计库容 397.5 万 m³。水库由黏土心墙砂壳坝、溢洪道和输水洞构成。按照除险加固工程的初步设计, 需要对大坝进行加高培

收稿日期: 2022-02-09

作者简介: 李淑贤 (1972—), 女, 本科, 工程师, 主要从事水利水电工程工作。

厚,在将水库的防洪标准由原来的50年一遇提高到200年一遇的同时,设计库容也进一步提高到736万 m^3 ,可以有效提升水库的供水能力。作为配套设计,计划在大坝左岸新建一条输水洞。根据工程设计,输水洞截面为城门洞形设计,开挖截面的宽度为3.5m,高度为3.8m,采用钻爆法开挖。

根据前期工程地质调查结果,输水洞的西段存在多种不同岩性的岩石,主要包括云母绿泥石片岩、变质中细砂岩夹薄层状大理岩等,围岩的岩性较差,需要采取有效的支护措施。对于岩性较差的输水隧洞,一般采用锚喷支护模式^[1]。其中,钢筋网和混凝土喷层具有承载和预防危石和风化的作用^[2]。但是,钢筋网在施工过程中需要较大的劳动强度,而且自身易受腐蚀^[3]。同时,混凝土喷层在高地应力环境下容易开裂破坏,存在比较严重的安全隐患^[4]。聚合物柔性混凝土具有抗拉强度高、黏结性能好、延伸率较大等诸多优势,已经有取代钢筋网和喷射混凝土的支护工程应用^[5]。基于此,此次研究以具体工程为背景,探索聚合物柔性薄喷衬砌在输水隧洞衬砌施工中的应用。

2 聚合物柔性喷层混凝土材料试验

2.1 试验材料和仪器

聚合物柔性喷层混凝土中,水泥采用P.O 42.5普通硅酸盐水泥,砂子采用细度模数2.45的普通河砂,粗骨料采用粒径5mm左右的人工碎石,减水剂采用聚羧酸高效减水剂,增稠剂采用HPMC增稠保水剂,可分散乳胶粉采用瓦克5044乳胶粉,有机乳液采用纯丙乳液,纤维采用长度为5mm的聚丙烯纤维。试验中需要使用的仪器为水泥砂浆搅拌机、恒温恒湿养护箱、WHC-2000万能试验机。

2.2 试验方案

试验中首先按照设计的试验配合比在搅拌机中搅拌均匀,然后制作成50mm×50mm×150mm的混凝土喷层试件,然后将试件放在标准养护室内养护至试验规定龄期。对养护至规定龄期的试件进行抗压强度、抗折强度、黏结性能以及拉伸率等力学性能试验^[6]。对不同聚合物胶粉含量、聚丙烯纤维掺量以及有机乳

液掺量等进行配比试验,分析上述因素对喷层材料力学性能的影响规律,通过对喷层混凝土配比优化,为工程应用提供必要的支持。

2.3 试验结果与分析

2.3.1 聚合物乳胶粉

可分散性乳胶粉可以有效改善水泥砂浆与基础岩体的黏结强度,提高喷射混凝土砂浆的各种性能。在试验过程中采用0.5的灰砂比、0.28的水灰比,对0%、1%、1.5%和2%这4种可分散乳胶粉掺量条件下的喷层材料试件在7d和28d龄期的抗压强度、抗折强度以及正拉黏结强度进行试验(见表1)。从试验结果可以看出,随着可分散乳胶粉掺量的增加,喷层材料的抗压强度值呈现出逐渐降低的变化特点,而抗折强度和黏结强度则呈现出不断降低的变化特点。综合试验结果,可分散乳胶粉的掺量应该以1.0%为宜。

表1 不同分散性乳胶粉掺量试验结果

试验参数		分散性乳胶粉掺量				
		0%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
抗压强度/MPa	7d	22.6	22.1	20.8	18.4	15.2
	28d	55.7	53.2	50.4	45.3	39.2
抗折强度/MPa	7d	4.4	4.6	5.0	5.7	6.2
	28d	10.5	11.0	11.4	12.4	12.9
黏结强度/MPa	7d	0.2	0.5	0.8	1.0	1.3
	28d	0.3	0.7	1.2	1.5	1.7

2.3.2 聚丙烯纤维掺量

0.5的灰砂比、0.28的水灰比和1%的分散性乳胶粉掺量不变,对0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%这5种不同聚丙烯纤维掺量水平试件的抗压和抗折强度进行试验(见表2)。从试验结果可以看出,随着聚丙烯纤维掺量的增加,试件的抗压强度呈现出不断下降的变化特征,而抗折强度则呈现出先增加后减小的变化特点。综合试验结果,当聚丙烯纤维掺量为1.5%时综合性能较优,喷层材料具有较高的和易性,同时抗折强度较高而抗压强度减低并不明显,因此,在喷层材料制作过程中选择1.5%的聚丙烯纤维掺量。

表 2 不同聚丙烯纤维掺量试验结果

试验参数		聚丙烯纤维掺量				
		0%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
抗压强度/MPa	7d	35.2	34.7	34.3	33.8	31.6
	28d	46.5	46.2	45.4	44.2	42.5
抗折强度/MPa	7d	7.6	7.9	8.0	8.1	7.8
	28d	10.6	10.7	11.0	11.1	10.2

2.3.2 有机乳液掺量试验

有机乳液具有较高的延伸率，将其加入喷层材料中，可以有效提升喷层材料的韧性和黏结性，充分满足背景工程隧洞围岩大变形的要求。试验中在保持其余材料掺量不变的情况下，设计 0%、5%、10%、15% 和 20% 这 5 种不同的有机乳液掺量水平进行试验，其 28d 龄期的延伸率、抗拉强度以及正拉黏结强度的试验结果见表 3。由试验结果可知，随着有机乳液掺量的增加，喷层材料的延伸率和强度值也会不断增加，增加速率也不断加快。当有机乳液的掺加量达到 10% 时，其正拉黏结强度达到 1.24MPa、延伸率达到 6% 以上，不仅与隧洞围岩具有较高的黏结强度，不容易脱落，也具有较高的拉伸率，完全可以满足围岩变形需求。因此，在工程施工中选择 10% 的有机乳液掺加量。

表 3 不同有机乳液掺量试验结果

试验参数	有机乳液掺量				
	0%	5%	10%	15%	20%
延伸率/%	0	2.2	6.3	16.7	32.0
抗拉强度/MPa	0.38	0.69	1.12	1.57	2.24
正拉黏结强度/MPa	1.21	1.22	1.24	1.28	1.36

3 工程施工参数优化

3.1 支护时机选择

为进一步确定柔性喷层锚喷支护在背景工程中的应用价值以及最佳施工方案，以背景工程为依托进行现场试验^[7]。在试验中采用锚杆+柔性喷层支护模式，其中锚杆的长度为 6m，相邻锚杆的间距为 1.0m，在 360° 范围内分布，然后施加柔性喷层支护，支护厚度

为 20cm。在施加支护时由两种可能的极端情况：一是开挖后立即支护；二是隧洞开挖之后待围岩发生很大变形后再进行支护^[8]。上述两种方式都有其不利之处。因此，最有利的方式是把握好合适的时机，充分发挥围岩的自承能力，降低支护成本，保证隧洞施工和运行安全。研究中结合背景工程的实际情况，选择开挖后 0h、4h、8h、12h、16h、20h、24h 的支护时机选择方案进行现场试验，每种方案的试验段长 5m，根据试验获得隧洞关键部位位移数据（见表 4）。

表 4 不同支护时机方案位移量试验结果 单位：mm

支护时机	关键部位				
	拱顶	拱肩	拱腰	拱脚	底板
0h	33.5	26.4	31.2	22.1	22.3
4h	31.4	23.5	29.7	20.1	21.4
8h	27.5	20.1	25.4	17.5	19.2
12h	29.4	21.2	27.1	19.2	20.1
16h	32.2	23.4	29.1	21.2	22.8
20h	35.5	26.1	32.3	24.1	24.6
24h	40.1	29.7	35.5	28.1	28.2

从表 4 可以看出，随着开挖与支护施工间隔的延长，隧洞各关键部位的位移量均呈现出先减小后增加的变化特点，以开挖与支护施工间隔 8h 时的位移量为最小，为最佳支护时机。究其原因，主要是开挖后立即支护时围岩应力未得到充分释放，造成锚杆和围岩一起变形，锚杆受力较大并导致轻微破坏，造成围岩的变形量相对较大。在开挖后间隔一段时间支护，可以使围岩应力得到一定释放，因此锚杆可以合理受力，没有损坏，能起到良好的支护作用。如果开挖后经过较长时间支护，围岩的变形会越来越大，支护前围岩已经发生较大的变形破坏，不仅变形量较大，也不利于工程施工和后期运行安全。

3.2 喷层厚度

对于 8h 支护时机，对喷层厚度为 5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、30cm 这 6 种不同方案进行试验，获得不同喷层厚度位移量（见表 5）。从表 5 可看出，随着喷层厚度的增加，隧洞各关键部位的位移量呈现出不断减小的变化特征，说明增加喷层厚度对控制位

移变形具有一定的作用。但是,从具体的数值来看,喷层厚度对位移量的影响较小,其中影响最大的在拱顶部位,当喷层厚度由5cm增加到30cm时,位移量减小了约6.47%,其余各部位的位移量变化均在5%以内。由此可见,通过增加喷层厚度提高支护效果并不具有工程和经济价值。因此,工程建设推荐采用10cm的喷层厚度。

表5 不同喷层厚度方案位移量试验结果 单位: mm

喷层厚度	关键部位				
	拱顶	拱肩	拱腰	拱脚	底板
5cm	30.9	22.2	28.3	19.9	20.8
10cm	30.5	21.8	27.8	19.6	20.5
15cm	29.7	21.5	27.4	19.4	20.3
20cm	29.4	21.2	27.1	19.2	20.1
25cm	29.1	21.0	26.9	19.1	20.0
30cm	28.9	20.9	26.8	19.1	20.0

4 结论

本文以具体工程为背景,探讨了柔性喷层锚喷支护输水隧洞工程中的应用问题,并得出如下主要结论:根据试验研究结果,推荐在柔性喷层材料制作中掺加1%的可分散乳胶粉、1.5%的聚丙烯纤维和

(上接第37页)且调整计算的结果精度更高。此外,系统对于机组轴线的曲折状态能够通过三维图形显示,便于现场盘车人员准确掌握机组轴线状态和顺利开展盘车工作。

3 总结与展望

a. 在进行水电机组盘车时,水电机组盘车摆度测量及调整系统相比传统的手动盘车省时省力、盘车装置易于搭建和拆除、停点准确可信、自动读数误差小、调整计算值精度高、可靠性好、盘车操作效率高、不会对操作人员提出较高要求,更能快速处理海量数据,提高了水电机组盘车的准确性和自动化水平。

b. 由于卧式水电机组和三段式水电机组轴线需要考虑更多的影响因素,采集更多的盘车测量数据,本文现只考虑立式水电机组的盘车情况,同时需要调整受油器和操作油管等部位轴线的水电机组也未考虑进来,而这将是水电机组安装检修自动化的重要方向。

10%的有机乳液;隧洞各关键部位的位移量均呈现出先减小后增加的变化特点,以开挖与支护施工间隔8h时的位移量为最小,为最佳支护时机;喷层厚度对位移量的影响较小,工程建设推荐采用10cm的喷层厚度。▲

参考文献

- [1] 朴春红. 大伙房输水工程特长隧洞衬砌选型及支护系统优化研究[J]. 水利建设与管理,2016,36(5):33-36.
- [2] 李国辉,王大明,王思恒,等. 新型纳米特种外加剂在隧洞喷护施工中的应用[J]. 中国水利,2016(20):74,43.
- [3] 计红燕. 高岩温输水隧洞运行期支护结构影响规律分析研究[J]. 中国水能及电气化,2019(12):33-37.
- [4] 张成霞,袁媛. 甘肃中部地区工程混凝土用粗砂效能试验研究[J]. 甘肃水利水电技术,2020,56(8):52-58,62.
- [5] 李学彬,杨春满,滕德强,等. 软岩巷道新型柔性喷层材料配比及力学性能试验研究[J]. 煤炭工程,2018,50(10):138-141.
- [6] 陈章森,孟泽宇. 夹岩毕大供水工程王家坝输水隧洞支护措施分析[J]. 陕西水利,2020(11):164-165.
- [7] 方东明. 白石输水隧洞支护设计优化研究与应用[J]. 中国水能及电气化,2019(10):40-43,35.
- [8] 陈洲,王建国,丁红春,等. 龙开口电站15号输水隧洞支护及塌方治理技术[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2017,39(3):11-14.

c. 未来运用更加先进的传感器测量技术,更加精准、实用的先进算法,更易学、更稳定的软件开发平台搭建盘车系统,促使盘车测量进一步自动化、智能化,是必然的发展趋势。▲

参考文献

- [1] 李则泉,陈苗. 锦屏二级水电站7号机组盘车与轴线调整新工艺[J]. 水电站机电技术,2014(4):19-21.
- [2] 杜懋远. 立式水电机组轴系摆度测量与调整计算的研究与改进[D]. 南昌:南昌工程学院,2017(12).
- [3] 苟小军,张建伟,冯铁成. 自动盘车装置在刘家峡水电站的应用[J]. 水电能源科学,2008(1):161-162.
- [4] 覃涛. 自动盘车装置在岩滩水电站的应用[J]. 企业科技与发展,2015(11):80-82.
- [5] 李延阳,云峰发电厂盘车数据采集分析处理系统开发与应用[D]. 长春:长春工程学院,2015.
- [6] 刘润根,杨虹. 水电站机组智能盘车系统设计与应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2015(1):74-78.
- [7] 何宝海,李延阳,张海波. 水电机组盘车数据采集分析处理系统开发[J]. 长春工程学院学报(自然科学版),2017(1):64-66.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.04.10

水电站河道冲刷破坏水下多波束测深 检测分析

华朝锋

(贵州乌江水电开发有限责任公司乌江渡发电厂, 贵州 遵义 563002)

【摘要】 为了准确掌握乌江渡水电站发电尾水下游河道及两岸边坡现存状态, 文章采用多波束测深技术进行高质量水下全覆盖地形检测, 获取高精度、高分辨率的水下地形探测数据, 以查明河道底部冲刷破坏程度和冲坑面积及淘刷深度。结果表明, 发电尾水下游河道存在3个冲坑, 虽较1994年冲坑面积及深度有所增加, 但未发现山体与河床结合面存在淘刷现象, 基本不会对两岸边坡构成影响。多波束测深能获得详实冲刷磨损检测数据, 能准确判断冲坑范围及破坏程度, 可为类似工程水下冲刷破坏分析研究提供参考。

【关键词】 水下测量; 多波束测深; 冲刷淘蚀; 乌江渡水电站

中图分类号: TV698.2+5

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-042-06

Underwater Multi-beam Sounding Detection and Analysis of River Scouring Damage in Hydropower Station

HUA Chaofeng

(GuizhouWujiangdu Power Plant of GuizhouWujiang Hydropower Development Co., Ltd., Zunyi 563002, China)

Abstract: Multi-beam sounding detection technology is adopted in the paper for high quality underwater full coverage topography detection in order to accurately grasp the existing state of downstream river channel and both bank slopes of power generation tail water of Wujiangdu Hydropower Station, thereby obtaining high accuracy and high-resolution underwater topography detection data, finding out the scouring damage degree at the bottom of the river channel, the impact area and depth of the scouring pit. The results show that there are three scouring pits in the downstream area of the power generation tail water. Although the area and depth of the scouring pits are increased compared with that in 1994, no scouring phenomenon is found in the interface between mountain and river bed, and the slope on both sides is not affected basically. Multi-beam sounding can be applied for obtaining detailed scour wear detection data and accurately judging the extent of scouring pit and damage degree. It can provide reference for similar underwater scouring damage analysis.

Key words: underwater measurement; multi-beam sounding; scouring; Wujiangdu Hydropower Station

冲刷破坏是喀斯特地区高水头、大流量大型水电站发电尾水道安全稳定运行的重要威胁。电站服役期

收稿日期: 2022-03-01

作者简介: 华朝锋 (1985—), 男, 本科, 工程师, 主要从事大坝安全管理。

间,采用合理无损检测方法对下游河道水下地形进行测量,准确掌握河道底部及两岸边坡的冲刷破坏程度,并及时提出有针对性的处理方案以防止冲刷破坏进一步加剧影响水工建筑物的运行安全,已成为水电站定期专项检查和研究的重点^[1-3]。水电站发电尾水下游河道底部主要为水垫塘或消力池,其水深十几米甚至几十米,很难通过修筑围堰等措施进行直观检查。水下地形测量是一种特殊测量形式,传统水下测量主要包括测深杆法、潜水探摸法、回声测深仪法等,但此类测量方法普遍存在测量精度低、可视范围小、定位繁杂等问题^[4-5]。多波束测深技术利用发射换能器阵列,多波束测深可获得一个条带覆盖区内多个测量点的水下深度值,从而实现从单波束“点一线”测深向“线一面”测量的跨越^[6-7]。同时,多波束测深系统采用惯导系统并配置 GNSS 辅助定位,可精准获取水下地形的三维模型,并绘制详实等深线图 and 典型测线地貌图,可为水电站水工建筑物运行性态专项检查和运行隐患排查及处理提供详实的数据支撑。

1 工程概况

乌江渡水电站位于贵州省遵义市境内,原装机 630MW,经扩机、增容改造后装机 1250MW,是我国石灰岩喀斯特地区兴建的第一座大型水电站。工程于 1970 年开工,1983 年底竣工投运发电。挡水建筑物为混凝土重力拱坝,坝高 165m,坝顶长 395m。坝址处河谷呈“V”形,坝基地层为下三叠统玉龙山石灰岩(T₁),总厚度 233m,石灰岩地下喀斯特高度发育,岩体完整性差。“乌江渡水电站大坝安全第五次

定期检查、专项检查(分析)项目及要”中提出:采用设备对坝趾至左耳下游影响范围内河床及坡脚进行地形测量,绘制水下地形图、缺陷平面分布图、典型测线地貌图,并与以往成果进行对比说明河床淘刷情况。

2 多波束水下测量实施

为查明乌江渡水电站下游河道检测区域的河床及两岸地形和冲刷淘蚀情况,运用多波束测深技术结合 GPS-RTK 技术与惯性导航系统进行定位,开展水下地形测量工作^[8-10]。采用华星 A12 GNSS RTK 系统进行检测辅助定位;安装 Sonic 2024 型宽带超高分辨率多波束测深仪和无人潜航器搭载水下高清彩色摄像设备进行水下高质量扫测作业。

2.1 仪器设备安装

冲锋舟作为水下地形测量多波束测深系统的载体,在预设位置安装好水下发射、接受换能器、RTK 流动站等仪器设备,并完成仪器设备的紧固和初始参数设置、校调。

2.2 定位辅助

采用网络 RTK 技术提供定位参数,项目实测坐标系为 WGS-84 坐标系^[11],高斯 3°带投影,测区中央子午线为 105°。工作现场使用网络 RTK 对各基点进行了测量,作为水下地形检测工作的坐标框架。最后,完成 WGS-84 与乌江渡水电站坐标系之间的“三个线性平移量、三个角度旋转值和一个比例尺因子”七参数的坐标转换。计算成果见表 1。

表 1 坐标系转换参数计算

控制点	WGS-84 坐标系			乌江渡水电站坐标系			转换七参
	纵坐标 X	横坐标 Y	高程/m	纵坐标 X/m	横坐标 Y/m	高程/m	
GP-2	27°19'07.6028"	106°45'39.189"	732.706	3024435.751	673922.442	765.247	DX (m) = 180.298621 DY (m) = 3918.348788 DZ (m) = 646.836217
GP-4	27°19'06.938"	106°45'49.858"	649.643	3024419.420	674216.010	682.146	WX (秒) = -49.91082336 WY (秒) = 17.49558713
GP-13	27°18'37.480"	106°46'25.880"	651.635	3023526.869	675218.843	684.109	WZ (秒) = -17.77342582 K (ppm) = -540.69905800

通过计算得到表 1 所列的坐标系转换成果后，为验证转换成果的可靠度，使用网络 RTK 站，选取乌

江渡水电站较为可靠的控制点进行校验，转换后成果与实测基点进行对比分析（见表 2）。

表 2 WGS-84 坐标系转换为乌江渡水电站坐标系后坐标差值对比

点 名	转换后坐标值			已知坐标值			转换后坐标差值		
	纵坐标 X/m	横坐标 Y/m	高程/m	纵坐标 X/m	横坐标 Y/m	高程/m	纵坐标 X/m	横坐标 Y/m	高程/m
GP-8	3023910.08415	675075.095982	658.543947	3023910.0761	675075.0854	658.6034	0.00805	-0.010582	0.059453

由表 2 可知，控制点转化后实测坐标与控制点基准坐标相差均不超过 ±0.059m，可见转换成果的定位精度符合《水电水利工程施工测量规范》（DL/T 5173—2012）的相关要求^[12]。

2.3 数据处理

采用 PDS2000 软件完成水下地形实测数据采集，并结合 CARIS HIPS and SIPS 软件完成实测数据的姿态校正、测线实测数据合并等处理，最终获得详实的水下地形和冲坑位置、深度、高程等数据信息，并绘制地形等深线图 and 典型测线地貌图。

3 水下检测成果分析

3.1 水下地形实测现状

乌江渡水电站发电尾水下游河道及两岸边坡水下地形检测项目，采用多波束探测系统与水下无人潜航器联合进行水下探查。现场实施过程中，首先采用多波束探测系统进行水下全覆盖检测，了解乌江渡水电站下游河道两岸边坡及河道现存状态。同时，基于多波束检测成果，采用水下无人潜航器完成局部边墙及冲坑外观情况的探查。电站发电尾水下游河道及两岸边坡水下地形多波束探测成果见图 1。

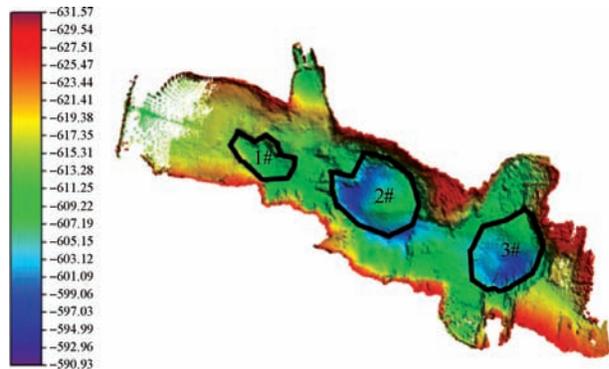


图 1 下游河道水下地形多波束探测成果

由图 1 可知，乌江渡水电站投运发电 30 余年后，下游河道实测水底整体上呈现“两岸高、河中低，上游高、下游低”的特点。水下检测发现河道内有 3 处明显冲坑（图 1 中的 1 号、2 号和 3 号），其中，1 号冲坑沿上下游方向呈“梭形”，位于（坝横）0 + 100 至（坝横）0 + 150，（坝纵）0 + 030 至（坝纵）0 + 065；2 号冲坑呈“碗状”，位于（坝横）0 + 200 至（坝横）0 + 280，（坝纵）0 + 013 至（坝纵）0 + 080；3 号冲坑呈“椭圆形”，位于（坝横）0 + 340 至（坝横）0 + 400，（坝纵）0 + 003 至（坝纵）0 + 083。水下检测范围内，实测水底高程介于 597.5 ~ 631.5m 之间，其中，高程最低约 597.5m，位于下游距尾水坝面 220m 河道中部 [平面坐标为 (674265.60, 3024453.52)] 及下游距尾水坝面 385m 河道中部 [平面坐标为 (674414.39, 3024380.27)]。检测区域河道高程带状图见图 2。

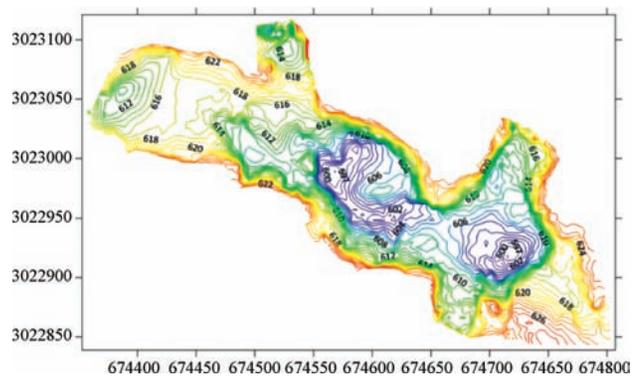


图 2 河道高程带状图

对检测范围内河道沿水流方向剖切 3 个纵剖面、对垂直河道剖切 8 个横剖面进行典型测线地貌分析，剖面位置见图 3 和图 4。其中，纵剖面的剖面间隔为 25m，剖面 1 号起点平面坐标 (674089.72, 3024493.41)，终点平面 (674487.57, 3024302.97)；

横剖面的剖面间隔为 50m (1 号、2 号剖面间距为 30m)，剖面 1 号距尾水坝面为 70m。各剖面起始桩号数据见表 3。

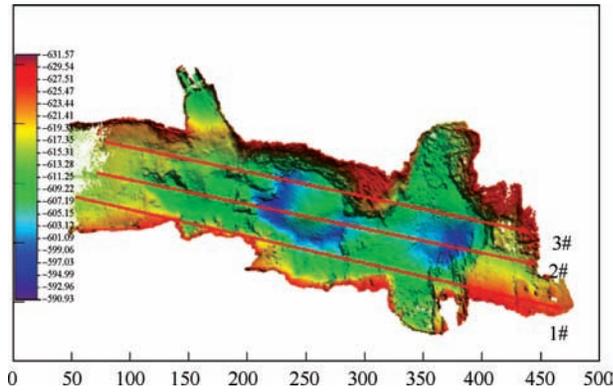


图 3 纵剖面布置

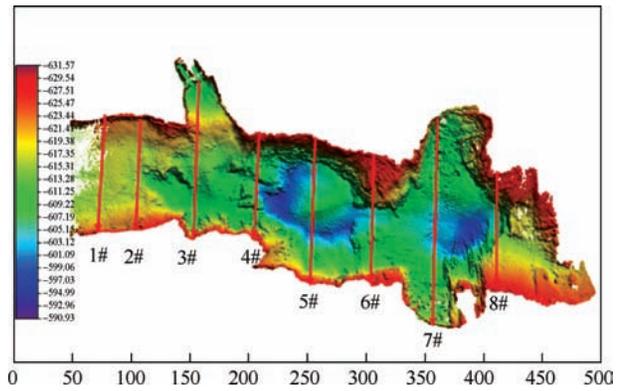
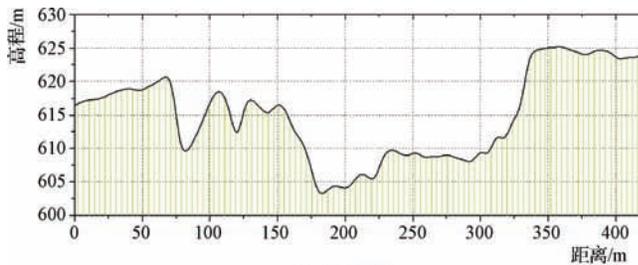


图 4 横剖面布置

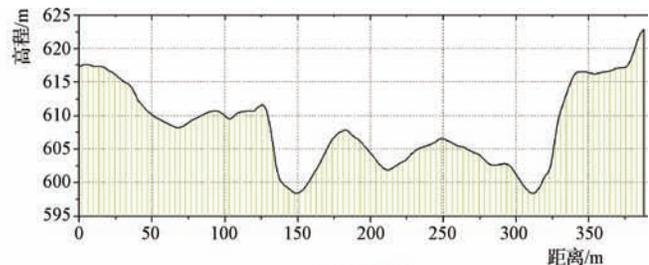
分析得到乌江渡水电站发电尾水下游河道及两岸边坡水下典型测线地貌，分别见图 5 和图 6。

表 3 剖面起始桩号数据

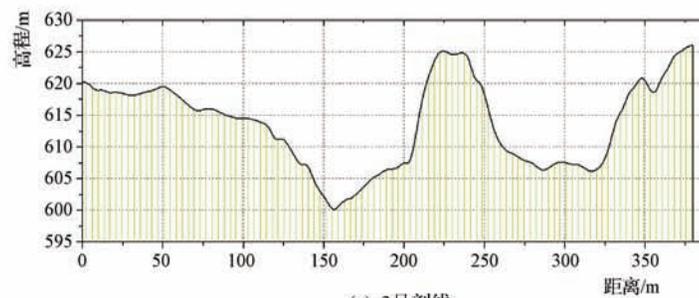
方向	1#纵剖	2#纵剖	3#纵剖	1#横剖	2#横剖	3#横剖	4#横剖	5#横剖	6#横剖	7#横剖	8#横剖
坝横	0 + 045 ~ 0 + 497	0 + 064 ~ 0 + 454	0 + 067 ~ 0 + 447	0 + 069 ~ 0 + 066	0 + 101 ~ 0 + 098	0 + 150 ~ 0 + 149	0 + 203 ~ 0 + 201	0 + 255 ~ 0 + 253	0 + 306 ~ 0 + 305	0 + 357 ~ 0 + 358	0 + 413 ~ 0 + 411
坝纵	0 + 031 ~ 0 - 021	0 + 055 ~ 0 + 013	0 + 081 ~ 0 + 041	0 + 101 ~ 0 + 002	0 + 102 ~ 0 + 009	0 + 132 ~ 0 - 001	0 + 091 ~ 0 - 000.5	0 + 086 ~ 0 - 038	0 + 074 ~ 0 - 031	0 + 107 ~ 0 - 077	0 + 062 ~ 0 - 041



(a) 1号剖面



(b) 2号剖面



(c) 3号剖面

图 5 水下地貌纵剖面

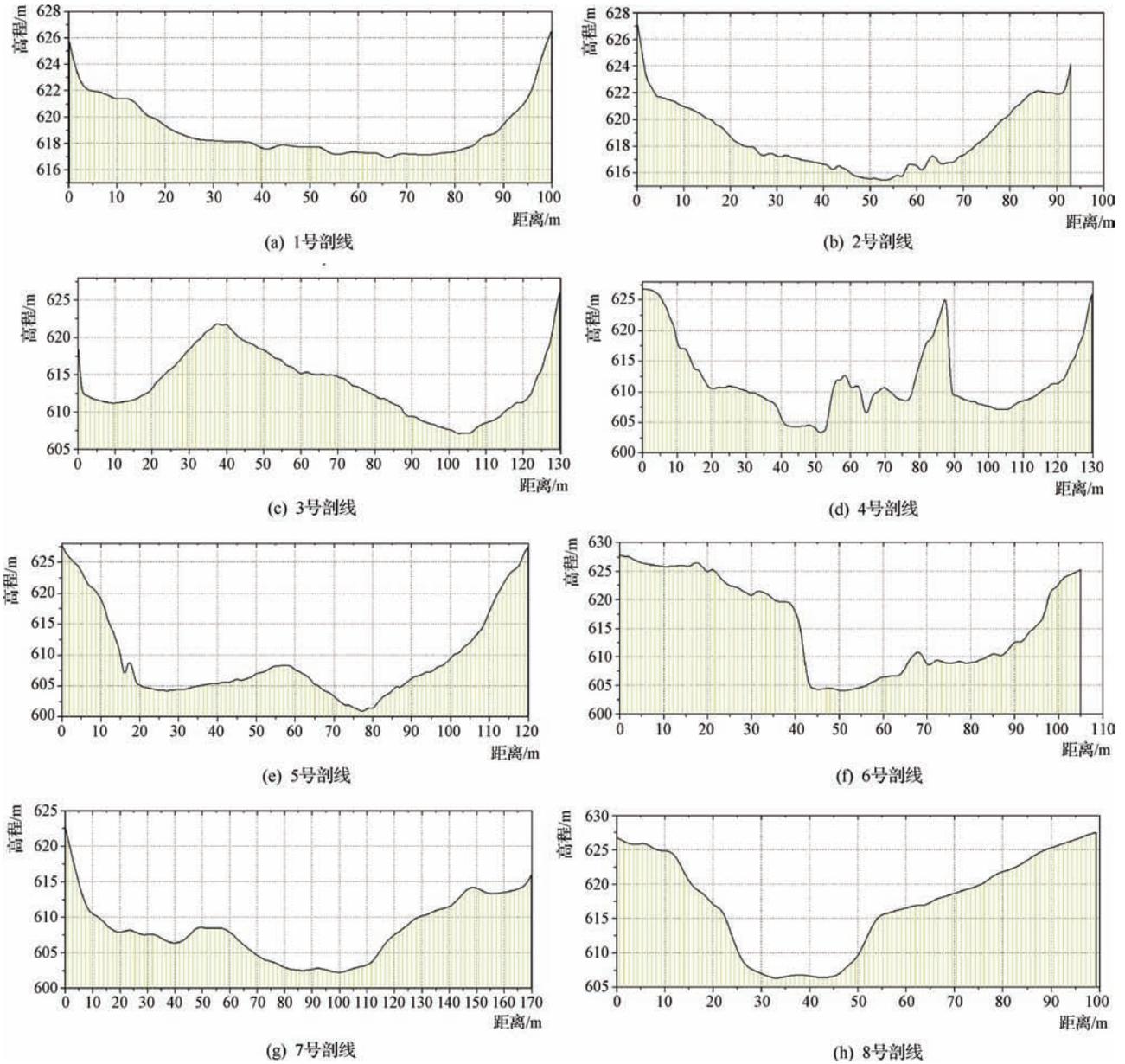


图6 水下地貌横剖面

3.2 冲坑区域及两岸边坡检测成果

从三维点云数据观测该冲坑面积较大，水下机器人探查中发现河道中部区域出现了较为陡峭深坑，呈“下游高，上游低”的状况，并且高程最大落差约为16m。为获得发电尾水下游河道冲坑准确的数据信息，利用网格划分取样统计分析各冲坑的长度、宽度、面积等参数，并与1994年冲坑实测深度进行对比分析（见表4）。

由表4可知，发电尾水下游河道水下检测范围内

共发现3处明显冲坑，冲坑面积分别为1058.87m²、4228.34m²和3457.26m²；冲坑深度分别为8.2m、12.1m和12.5m，分别较1994年实测值增加0m、1.6m和4.6m。2号和3号冲坑虽然其深度较1994年有明显增加，但该两处冲坑与两岸岩体的结合处均有一定坡度，且边缘距离山体边坡均大于15m，未发现山体与河床结合面存在淘刷现象，基本不会对两岸边坡构成影响。

表4 冲坑特性参数信息分析成果

名称	位置	长度/m	宽度/m	面积/m ²	深度/m	深度增加量/m
1号冲坑	(坝横) 0+100 至 (坝横) 0+150 (坝纵) 0+030 至 (坝纵) 0+065	60.0	26.0	1058.87	8.2	0
2号冲坑	(坝横) 0+200 至 (坝横) 0+280 (坝纵) 0+013 至 (坝纵) 0+080	87.5	65.3	4228.34	12.1	1.6
3号冲坑	(坝横) 0+340 至 (坝横) 0+400 (坝纵) 0+003 至 (坝纵) 0+083	65.85	73.2	3457.26	12.5	4.6

注 深度为冲坑区域最大深度,深度增加量为2020年实测与1994年实测最大深度差值。

4 结 语

多波束测深技术具有测量精度高、可视覆盖范围广、定位准确等优点,在较复杂水下地形测量、水下建筑物无损检测等领域具有良好的应用效果。将多波束测深技术引入乌江渡水电站运行期发电尾水下游河道水下地形检测中,有效采集到坝趾至左耳下游影响范围内河床及坡脚的现状地形点云图数据,并经软件运行分析获得地形等深线图、典型测线地貌图、冲刷区域发展规模及冲坑特性参数等数据成果,为电站后期运行策略制定和安全隐患排除提供了详实资料依据。多波束测深技术对水下地形绘制全面清晰,对冲刷区域淘蚀范围及深度判断准确可靠,可为类似水下隐蔽工程全面精确检测提供技术支持。▲

参考文献

- [1] 王羿磊,孙红亮. 3D Echoscope 系统对垂直结构冲刷破坏检测效果分析[J]. 水利技术监督,2019(5):56-58,101.
- [2] 黄华新,王桂成,陈小雨. 沙袋护岸除险施工工法[J]. 中国水(上接第53页)
- [2] 郭明珠,刘晃,王欢欢,等. 金沙江上游贡扎村岩质滑坡发育特征及演化成因分析[J]. 地震研究,2021,44(2):242-250.
- [3] 赵元平,许明,刘先珊,等. 地震作用下顺层岩质滑坡启动机制研究[J]. 岩石力学与工程学报,2021,40(S1):2692-2700.
- [4] 尤志明,邵东桥,丁保艳,等. 地震放大效应对滑坡稳定性计算的影响[J]. 山西建筑,2022,48(2):80-82.
- [5] 张夏冉,殷坤龙,李烨,等. 库水位下降和降雨对重庆万州下坪滑坡稳定性的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报,2017,28(2):22-29.
- [6] 童欣,方燃,李虹. 降雨对滑坡的稳定性影响及排水措施建议[J]. 岩土工程技术,2021,35(1):52-55,59.
- [7] 谭海,王小毛,徐卫亚. 金沙江上游某库区滑坡稳定性分析及滑速涌浪预测[J]. 武汉大学学报(工学版),2021,54(10):879-886.
- [8] 余政兴,孙宁. 引发某近坝库岸滑坡失稳临界蓄水水位研究[J]. 水利技术监督,2021(11):157-163.
- [9] 秦二乐,鲁博,李萍,等. 库水位抬升对老车村水库浸水滑坡稳定性影响的预测[J]. 河南科学,2021,39(1):29-36.
- [10] 钟瑶. 库水位下降速率对上孝仁村滑坡的稳定性影响[J]. 湖北工业大学学报,2022,37(1):86-90,114.
- [3] 来记桃,聂强,李乾德,等. 水下检测技术在雅砻江流域电站运维中的应用[J]. 水电能源科学,2021,39(11):207-210,144.
- [4] 宁新龙. 浅析无人测量船在水下地形测量中的应用前景[J]. 水利建设与管理,2021,41(3):47-50.
- [5] 买买提·塔什. 基于 RTK 数字测深仪的水库容量计量研究[J]. 中国水能及电气化,2015(3):55-57,54.
- [6] 朱相丞,彭广东,王子俊,等. 多波束测深技术在护岸工程运行监测中的应用[J]. 水利技术监督,2021(8):26-29.
- [7] 边浩林,魏晋平. 物探技术在引洮工程断层探测中的应用研究[J]. 中国水能及电气化,2019(9):32-36,25.
- [8] 赵亚峰. 水下岩塞高精度空间地理信息获取方法与应用[J]. 水利技术监督,2021(6):48-51.
- [9] 郑善磊. 基于 GPS 的水下地形测量及实践分析[J]. 水利建设与管理,2020,40(6):54-59.
- [10] 刘骥. 基于 GPS 快速定位技术的滑坡灾害动态变形监测[J]. 中国水能及电气化,2016(4):34-37.
- [11] 刘风学,刘宝贵,郭金星,等. GNSS 测深仪在河道清淤测量中的应用[J]. 水利规划与设计,2014(3):48-50.
- [12] DL/T 5173—2012 水电水利工程施工测量规范[S]. 北京:中国电力出版社,2012.

不同工况下库区大型岩质滑坡 稳定性分析

倪明 保守林 郝超

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610037)

【摘要】 编号为 TM 滑坡位于金沙江上游巴塘水电站库区, 最大相对高差达到 700m, 属大型岩质滑坡。文章基于现场勘探 + 数值模拟方式, 对 TM 滑坡在天然工况、地震工况、降雨工况以及蓄水工况四种工况下的稳定性进行了评估分析。结果表明: 在天然工况下, TM 滑坡稳定系数达到 1.42, 具备足够的安全储备, 不会发生失稳破坏; 在地震和降雨两种不利工况下, 滑坡仍能保持稳定状态; 随着蓄水水位升高, 滑坡的稳定系数逐渐减小, 失效概率逐渐增大, 当蓄水水位达到 2550m 后, 稳定系数小于 1, 失效概率达到 78.15%, 极有可能发生失稳破坏。

【关键词】 巴塘水电站; 岩质滑坡; 稳定性; 工况

中图分类号: TV223

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-048-06

Stability Analysis of Large Rock Landslide in Reservoir Area under Different Working Conditions

NI Ming, BAO Shoulin, HAO Chao

(Powerchina Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd., Chengdu 610037, China)

Abstract: TM landslide is located in Batang Hydropower Station reservoir area in the upper reaches of Jinsha River. The maximum relative height difference reaches 700m, and it belongs to a large rock landslide. The stability of TM landslide under four working conditions of natural working condition, earthquake working condition, rainfall working condition and water storage working condition is evaluated and analyzed based on field exploration + numerical simulation in the paper. The results show that the stability coefficient of TM landslide reaches 1.42 under natural conditions. It has sufficient safety reserve and no instability damage. The landslide can still maintain stable state under two unfavorable conditions of earthquake and rainfall. The stability coefficient of landslide is decreased gradually, and the failure probability is increased gradually with the rise of water storage level. The stability coefficient is less than 1, and the failure probability reaches 78.15% when the water storage level reaches 2550m, and it indicates that it is very likely to produce instability failure of landslide.

Key words: Batang Hydropower Station; rock landslide; stability; working condition

收稿日期: 2022-03-04

作者简介: 倪明 (1986—), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利水电工程技术方面工作。

1 工程概况

巴塘水电站位于金沙江上游，设计装机容量750MW，正常蓄水位2545m，设计正常蓄水位以下库容1.55亿m³。巴塘水电站位于川、滇、藏三省交界处，区域内有金沙江、巴塘、理塘等多条大型断裂带，地质构造活动十分活跃，导致库区发育多处大型滑坡，其中一处滑坡（编号TM）中轴线距离电站上坝址仅约1km，滑坡长约1030m，宽约300m，平均厚度约80m，滑坡体体积估算约为1225万m³，整体上呈扇形分布（见图1）。

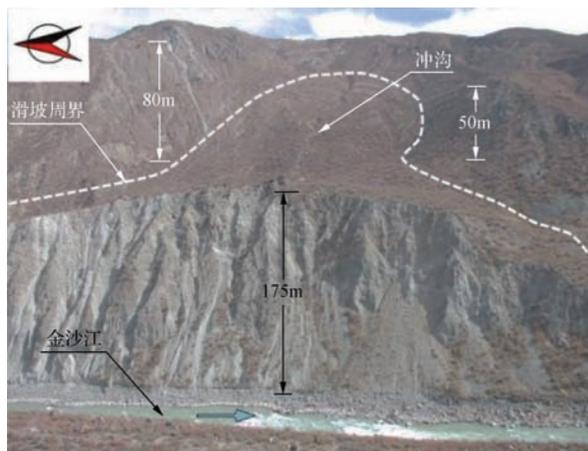


图1 TM滑坡正视图

TM滑坡区属于侵蚀高山区，滑坡体上有雄松—苏洼龙断裂通过，海拔2600~3000m，平均年降雨量

474mm，主要出露地层为二叠系地层，主要岩性包括变质碎屑岩、大理岩、绢云母石英片岩、云母方解片岩、灰岩、石英砂岩、砾岩等。TM滑坡处于金沙江褶皱带，宽度17~30km，呈南北向条状带分布，在褶皱作用下，滑坡体右岸岩层与边坡逆交倾上游，产状倾向为280°~300°，左岸岩层与边坡逆交倾下游，产状倾向为110°~125°。研究区内节理裂隙发育，主要包含四组结构面，倾角为20°~70°，分别呈NWW、NNE、NNW和NEE展布。受喜马拉雅运动和强烈的新构造运动影响，研究区内地震活动强烈，据史料记载，5级以上地震共发生过67次。

2 滑坡堆积体性质

对TM滑坡堆积区进行的钻孔勘探揭示：滑坡浅表部主要以灰黄色碎土层为主，碎石含量达到40%，块石含量约为15%，总体结构比较松散；滑坡堆积体主要以粉状碎石土质为主，粒径大于2mm的碎石含量超过60%，细粒含量约为30%；滑坡滑带土主要为青灰色碎石土，土：石=6：4。经对钻孔勘探的滑坡土体进行物理力学试验（结果见表1），TM滑坡堆积土体平均塑性指数为7.15，液限为19.7%，表明滑坡堆积土体具有液限粉土的性质，但由于其天然含水率低于塑限值，因而土体的胶结性比较好，呈坚硬状态^[1-2]。

表1 滑坡堆积体物理力学参数

含水率/ %	干密度/ (g/cm ³)	密度/ (g/cm ³)	液限/%	塑限/%	塑性指数	压缩系数/ MPa ⁻¹	压缩模量/ MPa	摩擦角/ (°)	黏聚力/ kPa	渗透系数/ (cm/s)
10.3	1.80	2.88	19.7	12.6	7.15	0.64	3.80	32.7	8	0.000012

3 数值模型建立及工况参数设计

3.1 模型建立

TM滑坡多在陡倾的“U”形河谷中，坡脚接近40°，高差最大达到700m，滑坡体多为易风化岩石，遇水易软化，滑坡体顶部有雄松—苏洼龙断裂穿越，新构造运动十分活跃，滑坡体植被覆盖稀松，同时该

地降雨多集中在夏季，造成TM滑坡是一个巨型滑坡，对巴塘电站安全造成重要影响，因此，需要对滑坡体在不同工况下的稳定性进行评估。采用Flac3D数值模拟软件，对滑坡体在天然工况、地震工况、降雨工况以及蓄水工况下的稳定性进行计算分析。

滑坡体模型Y指向金沙江上游方向，长度为903m，Z指向为滑坡体竖直向上方向，同时Z向滑坡

坡脚处延伸至高程 2200m 作为模型的起始高程，X 正方向与滑坡的倾向相反。滑坡模型分析两个部分，一部分为滑坡壁、滑床以及基岩，另一部分为滑坡体。模型采用四面体单元进行网格划分，部分区域进行了加密处理，滑坡模型共包括 32414 个单元和 6762 个节点（见图 2）。

3.2 工况参数设计

根据地质钻孔勘探结果，对滑坡体（碎石土）以及基岩（石英片岩）进行物理力学参数赋值（见表 2）。

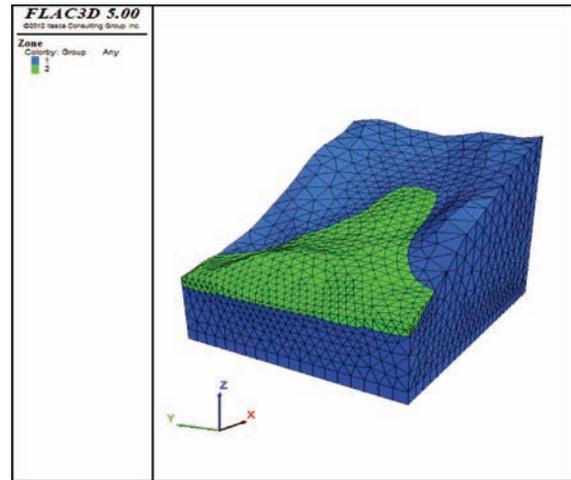


图 2 TM 滑坡模型

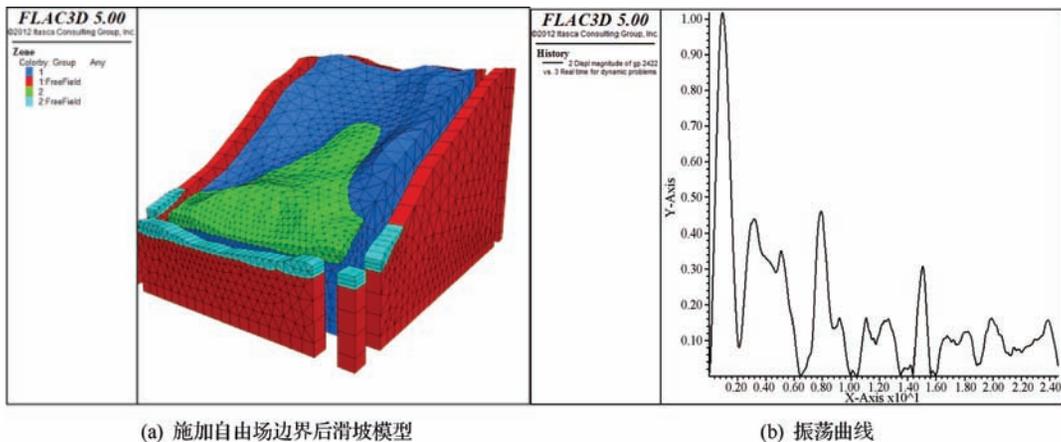
表 2 TM 滑坡模型地层物理力学参数取值

结 构	体积模量/Pa	剪切模量/Pa	弹性模量/Pa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	密度/(kg/m ³)
滑坡体	4.1×10^7	2.0×10^7	0.35×10^7	0.28	12	31	1800
基 岩	6.3×10^9	3.3×10^9	8.4×10^9	0.28	32	55	2800

3.2.1 地震工况

以天然工况下模拟结果为基础，在模型底部施加地震波，由于对地面的破坏主要来自剪切波（横波 S 波），因此在模拟过程中忽略地震纵波（P 波）的影响，地震动持续时间为 10s，最大加速度为 0.18g，最大速度 17cm/s，最大位移 9.15cm，对应震级 7.4，地震动反应谱特征周期 0.41s，使用 table 命令将地震

波数据输入模型；为防止地震波在传播过程中遇到边界反射而造成失真，需在模型边界四周建立自由场边界，自由场边界由 4 个面网格和 4 个柱体网格组成，采用瑞利阻尼进行地震模拟，最小临界阻尼比设置为 0.04，最小中心频率设置为 0.4Hz^[3,4]。地震状态下滑坡体模型及振荡曲线见图 3。



(a) 施加自由场边界后滑坡模型

(b) 振荡曲线

图 3 地震作用下 TM 滑坡模型

3.2.2 降雨工况

以天然工况下模拟结果为基础，根据地下水位线

计算初始渗流场，然后在 TM 滑坡体表面施加不同雨强下的渗流场，当雨强小于土体的渗透系数时，设置

通量边界，当雨强与土体渗透系数相同时，通过调节渗流通量的大小进行雨强模拟，当雨强大于土体渗透系数时，通过在坡面设置给定的水头边界来模拟雨强。根据 24h 降雨量等级以及当地有记录的雨强资料，选用 60mm/24h（暴雨级别）雨强进行分析。基岩为不透水边界，初始饱和度设置为 0.2，饱和度每增加 0.2，土体含水率增加 14%，内摩擦角降低 1°，地下水位至基覆界面设置依次递减的负孔隙水压力^[5,6]（降雨渗流参数见表 3）。

表 3 降雨渗流参数

滑坡土体参数		降雨参数		
渗透系数/ (cm/s)	孔隙率	渗流量/ (m/s)	密度/ (kg/m ³)	体积模量/ Pa
1.12×10^{-11}	0.6	6.94×10^{-7}	1000	2×10^9

3.2.3 蓄水工况

蓄水工况也以天然工况模拟结果为基础，通过设置水位面法向量来模拟不同蓄水位（2500 ~ 2550mm，2500m 为平水期水位，2545m 为正常蓄水位）下的滑坡稳定性。

4 计算结果分析

4.1 天然工况滑坡稳定性

由天然工况下滑坡应力、应变云图（见图 4）可知：由于在天然工况下，滑坡体的自重应力是最大应力的主要影响因素，因此在天然工况下滑坡体的应力等值线与坡面形态基本一致，呈层状分布；滑坡体与基岩界面存在明显的应力集中现象，应力集中带边缘与滑坡体边缘基本重合，最大剪应变集中在前缘

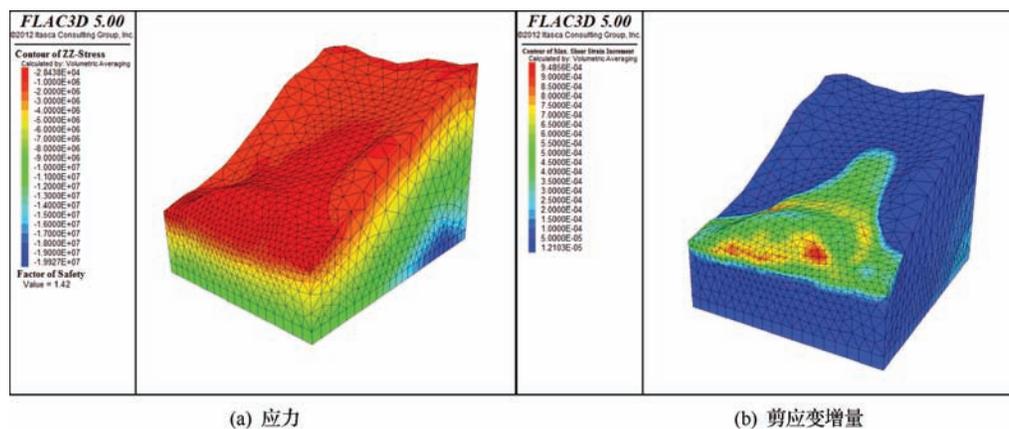


图 4 天然工况下滑坡模拟结果

堆积体中部，宽度约 330m，长度约 200m，是整个滑坡体的潜在滑动面，但是在自重应力下，剪应变仅为 10^{-4} 数量级，不会对边坡稳定性造成影响；通过软件自带的强度折减法程序计算得到的滑坡体在自重应力下的稳定性系数为 1.42，因此，在天然工况下，TM 滑坡将处于稳定状态。

4.2 地震工况滑坡稳定性

由地震工况下滑坡的剪应变增量和塑性区分布云图（见图 5）可知：在地震作用下，剪应变增量的最大值主要集中在滑坡体的前缘，并呈“弓形”分布在两端，因此在地震作用下滑坡体两端的应力集中现

象最明显、变形最大，但最大剪应变分布并没有出现明显的贯通现象；塑性区集中在堆积体后部反倾处，且分布面积不大，也没有形成明显的贯通现象；从模拟结果来看：在地震作用下，滑坡体仅会在堆积体中前部出现局部的坍塌现象，基覆界面上上下错动距离在 50mm 以下，基本可以保持稳定。

4.3 降雨工况滑坡稳定性

由不同降雨历时长滑坡体数值模拟结果（见图 6）可知：随着降雨历时的延长，湿润锋逐渐向下延伸，滑坡体的前缘和后缘最先进入饱和状态；最大剪应变也集中分布在滑坡体的前缘和后缘，随着降雨进

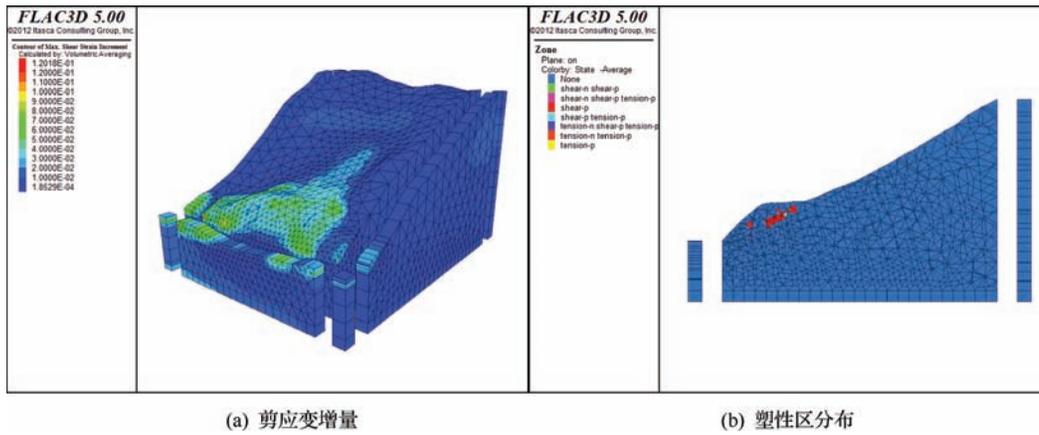


图5 地震工况下滑坡模拟结果

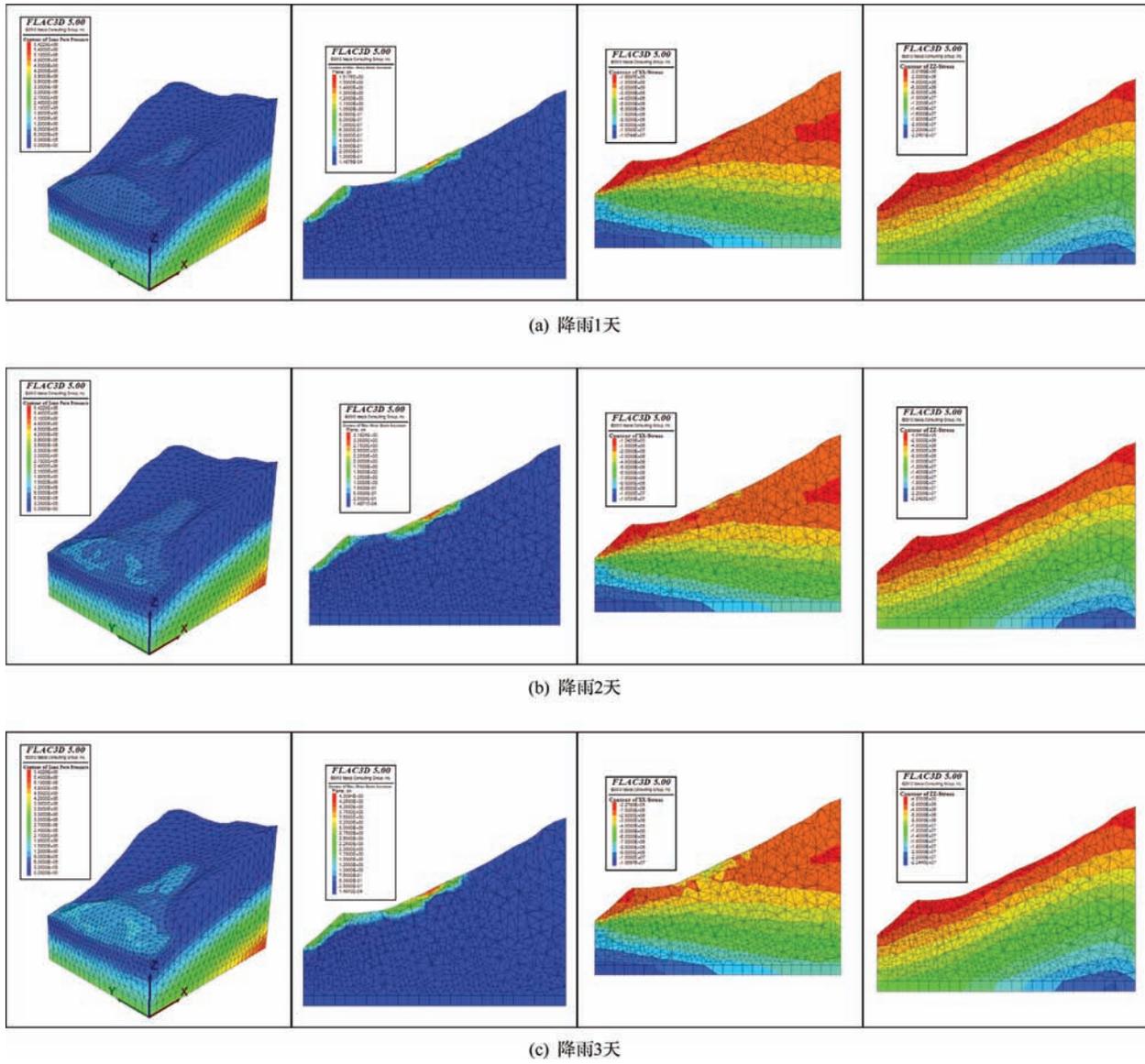


图6 降雨工况下滑坡模拟结果

(从左至右依次为: 孔隙水压力、最大剪应变增量、X向应力、Z向应力)

行,最大剪应变逐渐增大并向滑坡体中部扩散,当降雨进行到第3天时,降雨才会影响到滑坡体的中部平台;X向和Z向应力均为负值,表明两个方向均是受压应力影响,没有出现拉应力,滑坡整体上处于稳定状态,且随着降雨历时的增加,X向应力呈先减小后增大的变化过程,这是因为降雨初期渗透速度极快,雨水下渗容量大,导致土体内部应力变化较大,有向X向(临空面)蠕滑的变化趋势,当渗流趋于稳定后,土体内部应力也趋于稳定,因而应力逐步回升;Z向应力随降雨历时逐步增大,且前期增长幅度大于后期。从整体上看:在暴雨作用下,最大剪应变增量既没有沿滑坡体基覆界面分布,也没有出现拉应力,因此降雨不会造成滑坡复活。

由利用极限平衡法计算的不同降雨历时下滑坡稳定系数(见图7)可知:常规极限平衡法计算得到的稳定系数最大,其次为M-P法和Bishop法,Janbu法计算得到的稳定系数最小;随着降雨历时的增加,稳定系数逐渐降低,但各个阶段略有区别,降雨0~24h,滑坡体的稳定系数基本保持不变,降雨24~48h,稳定系数逐渐降低,降雨48h后,稳定系数下降幅度逐渐减小;在经历3天暴雨之后,M-P法、Bishop法、Janbu法和常规法计算得到的稳定系数分别下降0.042、0.051、0.055和0.032,且暴雨之后的稳定系数均在1.4以上,表明滑坡处于稳定状态。

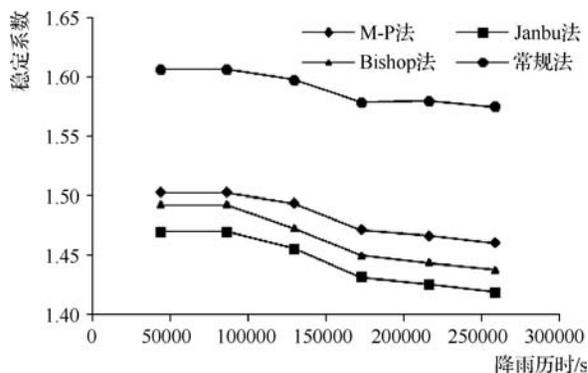


图7 极限平衡法计算稳定系数结果

4.4 蓄水工况滑坡稳定性

对不同蓄水水位下的滑坡稳定性进行模拟分析,由

计算得到稳定系数和失效概率随蓄水水位的变化特征(见图8)可知:随着水库蓄水水位的逐渐升高,滑坡的稳定系数逐渐降低,失效概率逐渐增大,当蓄水水位在2500~2530m时,稳定系数下降幅度较慢,当蓄水水位超过2530m后,稳定系数下降幅度较快,当蓄水水位达到2545m时,达到极限平衡,当蓄水水位达到2550m后,稳定系数小于1,失效概率达到78.15%,滑坡将很可能发生失稳破坏^[7-10]。

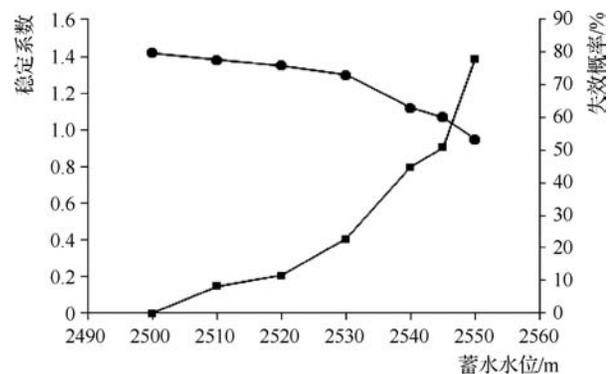


图8 稳定系数和失效概率随蓄水水位变化特征

5 结语

a. 天然工况下, TM 滑坡的稳定系数达到1.42,具有一定的安全储备,处于稳定状态。

b. 地震工况下, TM 滑坡的基岩和上覆岩体不会发生明显的位移错动,仅在堆积体后部反倾处存在零星非贯通的坍塌现象,滑坡基本处于稳定状态。

c. 在暴雨工况下,最大位移集中在滑坡体前缘,最大剪应变增量既没有沿滑坡体基覆界面分布,也没有出现拉应力,降雨历时3天后,稳定系数仍大于1.4,边坡仍能保持稳定状态。

d. 随着蓄水水位的升高,滑坡稳定系数逐渐减小,失效概率逐渐增大,当蓄水水位达到2550m后,稳定系数小于1,失效概率达到78.15%,滑坡很可能发生失稳破坏,应引起重视。▲

参考文献

[1] 张巷生. 三峡库区顺层岩质滑坡变形机理及潜在涌浪危害研究[D]. 宜昌:三峡大学,2021.

(下转第47页)

DOI:10.16617/j.cnki.11-5543/TK.2022.04.12

南水北调工程安全监测自动化系统 人工比测方法研究

边超 王璐璐

(南水北调中线信息科技有限公司,北京 100038)

【摘要】 文章以南水北调中线工程为例,研究安全监测人工比测可行性方法。在确保采集数据真实有效的前提下,选取涿涿管理处安全监测自动化系统人工比测数据作为研究对象。由于《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019)对方差分析法进行了重新修订,需进一步对南水北调工程安全监测自动化系统人工比测涉及的方差分析法、精度指标法进行讨论。研究表明:精度指标法仍为本工程适宜性方法,方差分析法存在不同类型缺陷。

【关键词】 自动系统;人工比测;方差分析法;精度指标法

中图分类号:TV68

文献标识码:B

文章编号:1673-8241(2022)04-054-04

Study on Manual Comparison Method of Safety Monitoring Automation System of South-to-North Water Diversion Project

BIAN Chao, WANG Lulu

(South-to-North Water Diversion Project Middle Line Information Technology Co., Ltd., Beijing 100038, China)

Abstract: The middle line of South-to-North Water Diversion Project is adopted as an example in the paper to study the feasibility method of manual comparison of safety monitoring. The manual comparison data of safety monitoring automation system of Laizhuo Management Office is selected as the research object under the premise of ensuring real and effective data collection. Since the variance analysis method is revised in “Technical Specification for Automation of Dam Safety Monitoring (DL/T 5211—2019)”, it is necessary to further discuss the variance analysis method and precision index method involved in manual comparison measurement of the safety monitoring automatic system of South-to-North Water Diversion Project. The results show that the accuracy index method is still suitable for the project, and the variance analysis method has defects in different categories.

Key words: automatic system; manual comparison; variance analysis method; precision index method

南水北调中线干线工程是一项跨流域、长距离的、地域分布广的特点,且涉及专业极多,对自动化集成控制大型调水工程,工程不仅具有线路长、覆盖范围大、制要求高。为确保建筑物安全,可靠掌握水工建筑物

收稿日期:2022-03-10

作者简介:边超(1989—),男,本科,工程师,主要从事工程安全监测自动化系统研究工作。

的工作性态,满足工程实时监测和快速反馈需求,必须建立高效、稳定且满足南水北调工程实际情况的安全监测自动化系统^[1]。南水北调安全监测自动化系统主要包括四部分:数据采集与控制子系统、网络通信子系统、供电子系统和防雷接地子系统,选择 CR1000 系列高性能数据采集器为核心的自动化系统设备,建立分布式监测数据自动采集系统^[2],有效解决了监测范围广、测点数量庞大、工程规模巨大等问题。

目前,南水北调工程安全监测自动化系统已整体有效运行近 10 年,安全监测自动化系统集成电路电子产品面临质量极限,存在数据失真风险,为确保安全监测自动化系统可靠有效,按照《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019)要求,结合工程实际规定每年进行至少 1 次全部测点人工比测工作。目前南水北调工程采用精度指标法^[3]进行人工比测工作,由于《大坝安全监测自动化技术规范》对人工比测部分进行重新修订,需结合南水北调工程安全监测自动化系统实际情况,对方差分析法、精度指标法进行重新分析讨论。笔者在进行南水北调中线干线工程安全监测自动化系统人工比测的过程中发现,《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019)中人工比测方法存在诸多问题,而精度指标法则为南水北调工程安全监测自动化系统人工比测适宜性方法,并结合工程实际对精度指标法进行了适用性细化。

1 规范标准人工比测不适宜性

1.1 规范比测规定

《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019)为进行内观机器人工比测的方差分析,采用测点试运行期自动化监测和人工监测相同时间、相同测次的测值分别组成自动化测值序列 X_{zi} 和人工测值序列 X_{ri} 。每次进行人工及自动化对比测量时的连续测读数为 3~9 次,记录对应测量过程中的中间值 X_{zi} 、 X_{ri} 。按式(1)计算两个序列之间的偏差 δ_i ,按式(2)计算比测偏差序列的均方差 δ ,按式(3)计算比测偏差控制值 σ ,取 $\delta \leq 2\sigma$ 。

$$\delta_i = |X_{zi} - X_{ri}| \quad (1)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_r^2 + e_z^2 + e_r^2} \quad (3)$$

式中 i ——第 i 次比测;

n ——总比测次数;

σ_z ——自动化测量精度;

σ_r ——人工测量精度。

按式(4)、式(5)计算本次对比测量时该测点的标准差 e_{ri} 、 e_{zi} ;按式(6)、式(7)计算运行时间内该测点的标准差算数平均值 e_r 、 e_z 。

$$e_{ri} = \frac{X_{rimax} - X_{rimin}}{C} \quad (4)$$

$$e_{zi} = \frac{X_{zimax} - X_{zimin}}{C} \quad (5)$$

$$e_r = \frac{e_{r1} + e_{r2} + \dots + e_{rn}}{C} \quad (6)$$

$$e_z = \frac{e_{z1} + e_{z2} + \dots + e_{zn}}{C} \quad (7)$$

C 值按表 1 查询。

表 1 极差系数查询

极差系数	2	3	4	5	6	7	8	9
C	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.7	2.85	2.97

注:当测点在试运行期间保持基本稳定时,可只记录测点的某一次 e_{ri} ,取 $e_r = e_z = e_{ri}$ 。

1.2 规范标准中存在的问题

依照南水北调中线工程安全监测自动化系统 2020 年及 2021 年人工比测实际工作情况,总结发现规范标准存在如下实际问题。

1.2.1 无法获取试运行期间内相同次数与相同时间的测值

南水北调工程安全监测自动化系统人工比测基于先采集自动化数据或先采集人工数据均不影响数据准确性,规定人工自动化连续测读 4 次满足规范要求。以先进行人工读数为例,人工读数由于振弦读数仪存在读数延迟或无效读数,完成一支仪器 4 次读数时长大于 1min,后需进行 2~3min 自动化系统设置,再

进行自动化读数;反之先进行自动化读数,变更人工读数也需清除前序自动化读数脚本,系统设置仍需 2 ~ 3min,总之单支仪器自动化人工读数至少间隔在 3min 以上,对于高灵敏度传感器来说,其所采集的数据可能出现瞬时变化,无法满足相同时间条件规定。

1.2.2 进行多序列测读,人工成本巨大

面对南水北调工程规模大、线路长、仪器种类数量繁多的情况,在不考虑是否满足相同时间的情况下,按照人、车辆等现有实际情况,完成单次单序列人工比测工作需 1 个月,每增加一组序列采集,工作时长翻倍,按照每年 2 次人工比测,采集 3 序列,人工比测工作需 6 个月,若需采集更多序列,易出现无法满足工程维护实际条件的情况,局限性大。

1.2.3 公式修订无效,实际效果不良

人工比测合格性评判为误差在精度范围内即判定合格,方差分析法满足 $\delta \leq 2\sigma$ 则合格。《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019)对误差值与精度值控制无效,适用性有待考究。

a. 仪器状态良好, δ 误差值控制方式适得其反。

南水北调工程安全监测自动化系统人工及自动化读数进行 4 次,建立自动化采集数据系列($X_{zi}, i = 1 \sim 4$)和人工采集数据系列($X_{ri}, i = 1 \sim 4$),中间值分别取中位数,求差取得 δ_i ,若仅为 1 次人工比测, $\sqrt{\delta_i}$ 即为 δ ,原标准《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019), δ_i 直接作为误差值,新版标准《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2015),对 δ 进行了开方处理,会产生两种情况:一是理想状态下,同时测读的高精度传感器人工自动化理论差值 δ 可控制在 1 模数范围内,开方处理后的误差值 δ 在理想状态下将会变大;二是参考大坝安全监测自动化系统人工比测的精度指标法^[3]可知,自动化采集仪与人工观测读数仪是两种不同类型的仪器仪表,在进行人工比测时,人工读数仪为完全隔离绝缘的设备,而 MCU 的测值则可能受到绝缘能力降低的某些传感器的不利影响, δ 误差值可能大于 1 模数;以涿州管理处数据为例,去除不纳入仪器的和温度计,共计 613 支仪器, $\delta \leq 1$ 处于理想状态的占 404 支,可见只有 65% 的仪器状态处于理想

状态,大部分仪器误差值被放大。

b. 引入标准差 e ,未对精度值 σ 起到实际作用。

南水北调工程试运行近 10 年,测点已经保持基本稳定,可只记录测点的某一次 e_{ri} ,取 $e_r = e_z = e_{ri}$,规范认为人工读数仪为完全隔离绝缘的设备,读数准确度高,但对于高精度仪器,基本可以认为 $e_{ri} = 0$,公式 $\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_r^2 + e_z^2 + e_r^2}$ 可以简化为 $\sigma = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_r^2}$,对于高精度仪器 σ 极小,精度指标变小同样会使得仪器合格率下降。

2 南水北调工程人工比测适用方法完善内容

南水北调工程安全监测自动化系统人工比测工作于 2020 年正式启用精度指标法对仪器进行合格性评判,合格率符合系统实际情况,并在实践过程中对精度指标法进行了完善。完善内容包括以下四项:一是对于钢弦式传感器,频模通道和温度通道均满足精度要求的,传感器比测结果为合格;频模通道合格,温度测值不合格但附近有可替代的温度测值或温度测值存在常差,传感器的读数是有效、可用的,也应判为合格。二是人工比测前必须进行测站接地电阻测试。三是对于整编物理量计算不采用温度修正的仪器可不对温度通道进行比测。四是严格控制不纳入仪器,对于可确定失效仪器不纳入统计处理,失效仪器表现为:人工自动化均无读数,可直接判定失效;人工自动化数据跳动剧烈,可判定失效;人工自动化读数明显超频模范围,可判定失效。其他留观仪器均纳入统计,保证合格率真实性。

3 南水北调工程自动化系统人工比测方差分析法与精度指标法结果比较分析

以南水北调工程涿州管理处安全监测自动化系统人工比测作为样本,采用精度指标法进行人工比测发现不合格仪器分为以下几类:人工读数稳定,自动化无读数/跳数/超限值/经验错误值;人工无读数/跳数/超限值/经验错误值,自动化读数稳定;温度计温度差值超限不合格;人工自动化读数超精度限制。精度指标法可识别频模大范围波动、自动化人工读数差值为常

差等异常情况,需注意人工自动化读数尽可能选择在同一时间点,因为部分仪器精度高,对原始数据质量要求较高。比如部分应变计型号为 BGK4200,精度为 1.2 模数,控制值较小,易发生错判。按照精度指标法进行数据分析,有效仪器 639 支,582 支合格,合格率为 91.07%。按照方差分析法对涞涿管理处数据进行分析,统计结果如下:接入有效仪器 639 支,188 支合格,合格率为 29.42%,方差法无法体现安全监测自动化系统实际运行状态。

按照《大坝安全监测自动化技术规范》(DL/T 5211—2019)的规定,应用方差分析法进行南水北调工程自动化系统人工比测,对大部分仪器来说,放大了误差值 δ ,并未有效放大精度控制值 σ ,无法满足对南水北调安全监测自动化系统有效评价的要求。

南水北调工程振弦传感器装有热敏电阻^[4],可同时测量该传感器所在部位温度数值,但经过长期运行,温度通道损坏失效情况较多,理论上应与传感器绝缘性

(上接第 26 页)

4 质量控制措施

正式施工前,根据设计施工图纸对开挖区控制点坐标进行复核测量。利用 GPS RTK 在河渠测量若干个特征点,记录坐标、椭球高及需要拍摄的每个点对应的河渠部分位置,检测河渠实景三维模型的精度,确保模型精度。

由于倾斜摄影采取多视匹配的算法进行空三加密处理,在航设过程中严格按照既定航线、点位进行操作。依据机载 POS 数据检查下视相机的倾斜角度,在摄影期间飞机开启畸变校正模式,以保证相机轴与铅直方向的夹角为 0° 。

摄区航线弯曲度可依照框幅式数字航空摄影规范值,因此在航高保持方面要求同一航线上相邻相片的航高差不大于 30m,最大航高与最小航高之差不大于 50m,分区内实际航高与设计航高之差不大于 50m。

为保证摄区外侧也能获取影像,摄区边界覆盖较垂直摄影大。实际航摄过程中,在航线旁向和航向方向测区边界范围外增加一个航高以上距离的外扩。

能有关,但数据并不支持理论说法,仍在研究讨论当中。

4 结语

本次南水北调工程安全监测自动化系统人工比测方法研究是继制定精度指标法后的进一步深化,对规范标准换版后的方差分析进行了说明,进一步细化完善了精度指标法,通过实例证明了精度指标法适用于南水北调工程的实际情况。▲

参考文献

- [1] 管世珍. 南水北调中线安全监测自动化系统设计与应用[J]. 水利建设与管理,2021,41(12):5-9,48.
- [2] 张秀丽,杨泽艳,索丽生,等. 水工设计手册 第 11 卷 水工安全监测[M]. 2 版. 北京:中国水利水电出版社,2013.
- [3] 卢正超,姜云辉,黎利兵,等. 大坝安全监测自动化系统人工比测的精度指标法[J]. 水力发电,2018,44(11):95-97.
- [4] 罗志高,苏丹. 铜电阻和半导体热敏电阻温度特性测量实验设计与实现[J]. 大学物理实验,2021,34(3):59-63.

5 结语

本文研究将“无人机倾斜摄影测量+铣刨机”技术用于水利工程崩解岩基础保护层开挖施工中,采用了大疆精灵 4PRO+2.0 型无人机,在飞机前、后、左、右及下方垂直角度搭载 5 台传感器,分别对航向重叠度、坐标值、旁向重叠值、航速及航高、飞行航向等数据进行采集,基于 CNS 和地理信息技术等合理结合,提高了数据分析的精确度。数据分析后,将导出数据实时传输给铣刨机操作手,以便其动态调整铣刨深度。铣刨机的一次铣刨宽度为 1.5m,开挖面超挖可有效控制在 3~5cm。成功解决了崩解岩地区保护层超欠挖控制难度大的问题,对类似工程工具有借鉴意义。▲

参考文献

- [1] 李安福,曾政祥,吴晓明. 浅析国内倾斜摄影技术的发展[J]. 测绘与空间地理信息,2014,37(9):57-59,62.
- [2] 杨国东,王民水. 倾斜摄影测量技术应用及展望[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(1):13-15,18.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.04.13

小水电站生态流量泄放对发电影响分析及 补偿机制探讨

何先进 郜晓辉

(邯郸市水利水电勘测设计研究院, 河北 邯郸 056000)

【摘要】 小水电站减脱水段下泄生态流量及采取相应的生态流量泄放保障措施,一定程度上减缓了小水电站对于生态环境造成的不利影响,但水电站发电量也受到一定影响。文章定量分析了小水电站在一个发电周期内,因生态流量泄放损失的发电量;探索了生态电价、年度定额资金、生态发电奖励等补偿和激励措施,可促进小水电站可持续绿色发展。

【关键词】 小水电站;生态流量;影响分析;补偿机制

中图分类号: TV43

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-058-04

Analysis on Influence of Ecological Discharge of Small Hydropower Station on Power Generation and Discussion of Compensation Mechanism

HE Xianjin, GAO Xiaohui

(Handan Design and Research Institute of Water Conservancy and Hydropower, Handan 056000, China)

Abstract: The ecological discharge of the dehydration reduction section of the small hydropower station and corresponding guarantee measures to ensure the ecological discharge can alleviate the adverse influence of the small hydropower station on the ecological environment to a certain extent. However, the power generation of the hydropower station is also affected. The generating capacity lost due to ecological discharge of small hydropower stations in a generation cycle is quantitatively analyzed in the paper. Compensation and incentive measures such as ecological electricity price, annual quota fund and ecological power generation reward and other aspects are explored to promote sustainable and green development of small hydropower stations.

Key words: small hydropower station; ecological flow; influence analysis; compensation mechanism

本文定量分析小水电站在一个发电周期内,因生态流量泄放损失的发电量,探索一定的补偿和激励措施,统筹好发电和生态关系,权衡利弊,降低小水电对水环境的不利影响,实现小水电绿色转型可持续发展^[4]。

1 工程概况

平山县秘家会水电站为引水式电站,位于滹沱河中上游,滹沱河在此由南向北转向,形成了一个C形,C形段全长5.5km,而直线距离不超过500m,形

收稿日期: 2022-02-18

作者简介: 何先进(1976—),男,本科,高级工程师,主要从事水利水电规划设计工作。

成了一个集中落差修建电站的好地形。

秘家会水电站 1977 年开始建设, 1980 年正式发电, 原装机容量为 $3 \times 800\text{kW}$, 设计水头 24.9m, 设计发电流量 $13.2\text{m}^3/\text{s}$, 设计年利用小时数 6000h, 设计年发电量 1440 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。电站原有主要设备: 水轮机型号 HL240-WJ-84, 发电机型号 SFW800-14/1430, 调速器型号 XT-600。原秘家会水电站并网线路电压为 10kV, 联网运行, 发电机所发电能经升压变压器升压后, 一路经 0.5km 线路并入 XJ110kV 变电站 10kV 母线, 另一路经 1km 线路送入近区负荷硅铁厂。

秘家会水电站增效扩容改造内容为: 更换水轮机转轮和导水机构、更换滤水器、维修主阀、改造发电机、更换调速器、更换励磁系统、更换高低压设备及变压器, 新增计算机监控系统。增效扩容改造后装机容量为 $3 \times 900\text{kW}$, 设计水头 24.9m, 设计发电流量 $12.87\text{m}^3/\text{s}$, 设计年利用小时数 5626h, 设计年发电量 1519.02 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

2 生态流量计算

生态流量计算包括生态基流及敏感生态需水计算两部分, 本次涉及河段均位于流域上游, 引水口与退水口之间无人工取水口, 也无敏感生态需水, 因此生态流量只需考虑河道内基本生态需水量。生态流量计算方法较多, 根据本次减脱水河段具体的环境影响、河流需水特点及下游生态需水的共性要求, 并结合所掌握的水文资料情况, 经综合分析决定本次分别采用 Q_p 法、Tennant 法、 $7Q_{10}$ 法 3 种方法计算生态流量^[3]。

2.1 生态流量计算方法

2.1.1 Q_p 法

Q_p 法又称不同频率最枯月平均值法, 以河流控制断面长系列 ($n \geq 30$ 年) 月平均流量、月平均水位或径流量为基础, 用每年的最枯月排频, 选择不同频率下的最枯月平均流量、月平均水位或径流量作为河流控制断面生态基流。频率 P 根据流域水资源开发利用程度、规模、来水情况等实际情况确定, 宜取 90% 或 95%。本次选取 90% 保证率设计值作为生态环境需水量。

2.1.2 Tennant 法

Tennant 法主要适用于在北温带较大的常年性河流, 作为河流规划目标管理、战略性管理方法。使用时, 较枯较丰时段的划分, 可根据多年平均月径流量排序确定; 也可根据当地汛期、非汛期时段划分确定, 汛期和非汛期时段应根据南北方气候调整。

基本生态环境需水量取值范围应符合下列要求: 水资源短缺、用水紧张地区河流, 可在《河湖生态环境需水计算规范》(SL/T 712—2021) 附录 A 表 A.0.5 “良好” 的分级之下, 根据节点径流特征和生态环境状况, 选择合适的生态环境流量百分比值。水资源较丰沛地区河流, 宜在 “很好” 的分级之下取值。

结合涉及河流水系的实际情况, 本次非汛期 10—次年 5 月采用同时段多年平均径流的 10%, 汛期 6—9 月采用同时段多年平均径流的 10% 进行计算。

2.1.3 $7Q_{10}$ 法

$7Q_{10}$ 法又称 “最小流量法”, 通常选取 90% ~ 95% 保证率下年内连续 7 天最枯流量值的平均值作为基本生态环境需水量的最小值。也可采用一年 364 天都能保证的流量。该方法适用于水量较小, 且开发利用程度已经较高的河流。使用时应有长系列水文资料。本次选取与 90% 保证率设计值相近的年份作为典型年, 取典型年实测逐日平均流量中最枯连续 7 天的平均流量的均值作为生态流量。

依据水文站径流系列, 经过频率分析计算, 得到 90% 保证率设计径流量, 选取 90% 保证率的典型年。选取 2 年进行对比分析, 选取原则为选择与 90% 保证率设计径流量相近的实测年份, 并且年内分配不均匀符合当地径流特点的作为该保证率的典型年, 水文站典型年选取 2001 年、2015 年。

根据典型年数据分析, 如果选取径流量较小的年份则造成下游生态流量较小, 对生态极为不利, 可能会造成河道断流的现象, 因此典型年宜选取枯水月径流量较大的年份, 由此选取的典型年为 2001 年。

2.2 计算结果及成果合理性分析

依据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z

712—2014), 结合所掌握的水文资料情况, 按照以上 3 种方法分别计算出两电站所在河段生态基流量 (见表 1)。

表 1 秘家会电站生态流量分析计算成果比较

水文站	Q_p 法/ (m^3/s)	Tennant 法/(m^3/s)		$7Q_{10}$ 法/ (m^3/s)
		汛期 (6—9月)	非汛期 (10—5月)	
秘家会电站	0.255	1.633	0.535	0.107

由以上计算成果可知, 3 种方法均采用了长系列水文资料, 其中 Q_p 法是采用最枯月径流量 90% 保证率设计值, 该方法仅考虑了低保证率时非零的枯水月份, 又因为逐月资料与逐年资料系列年份不一致, 造成成果不稳定; Tennant 法是采用汛期、非汛期对应时段多年平均径流量的 10%, 考虑了汛期、非汛期流量差异情况; $7Q_{10}$ 法是采用了与 90% 保证率设计值相近的年份中实测最枯连续七天平均流量, 鉴于选取的是与 90% 设计值相近的年份, 使得计算结果仅照

顾到枯水年的最小值, 代表性不足, 此次不推荐采用此种方法。对 3 种方法成果进行比较后, 本次电站取水口断面生态流量推荐采用 Tennant 法计算成果。

2.3 径流分析

根据小觉水文站 1955—2018 年实测资料, 据调查 1980 年以后上游的水利工程大多已建成, 下垫面条件没有再发生明显变化, 两岸各年引用水情况已相对稳定, 故本次直接采用 1980—2018 年实测径流资料进行分析计算, 多年平均实测径流量为 28444.31 万 m^3 。

秘家会水电站引水口控制流域面积与水文站控制流域面积一致, 因此电站引水口径流量直接采用水文站成果, 即多年平均径流量为 28444.31 万 m^3 。

滹沱河上游河道来水量, 可用上游水文站 1955—2018 年实测资料, 据调查 1980 年以后上游的水利工程大多已建成, 下垫面条件没有再发生明显变化, 两岸各年引用水情况已相对稳定, 故本次采用水文站 1980—2018 年实测径流资料进行分析计算 (见表 2)。

表 2 小觉水文站径流量系列统计成果

系 列	径 流	统计参数			年径流量/万 m^3		
		均值/万 m^3	C_v	C_s	25%	50%	75%
1980—2018 年	实 测	28444.36	1.0	2.5	36737.78	18206.54	9358.96

根据典型年选取原则, 最终选取 1989 年、2000 年、2006 年作为 25%、50%、75% 保证率典型年, 将这几年与其他年份比较发现其年内径流分配过程较为不均匀且具有代表性, 从偏不利考虑选为典型年。

秘家会电站处的三个保证率的设计年径流分别为 36737.78 万 m^3 、18206.54 万 m^3 、9358.96 万 m^3 , 现状基准年为 2011 年, 径流系列为实测系列, 计算不再扣除现状年用水量。通过选取的典型年年内分配比例, 对设计年径流进行分配, 得到可利用逐日平均流量成果。

采用 Tennant 法计算生态流量, 经计算, 电站引水口处河道应泄放的生态流量汛期 (6—9 月) 为 1.633 m^3/s (水量 1721 万 m^3), 非汛期 (10—5 月) 为 0.535 m^3/s (水量 1123 万 m^3)。计算扣除下游生态流量后引水口可利用逐日平均流量。

计算的逐日平均流量为引水口处河道内可利用流量, 由电站设计数据可知, 秘家会电站设计流量 12.87 m^3/s , 可利用流量大于电站设计流量部分从河道直接下泄, 电站无法引用, 故实际可引水流量不大于该流量。

3 生态流量泄放对发电影响分析

3.1 秘家会电站水能计算

本次水能计算从两方面考虑: 一是对扣除生态流量的多年平均发电量进行计算; 二是对未扣除生态流量的多年平均发电量进行计算。多年平均年发电量以水文计算成果为基础, 按典型年法计算, 按照不同保证率年调节流量计算水电站日平均出力和电能, 计算公式如下:

$$N = kQH \quad (1)$$

$$E = Nt \quad (2)$$

式中 N ——出力, kW;

E ——发电量, 万 kW·h;

k ——出力系数, 取为 7.8;

Q ——日平均发电流量, m^3/s ;

H ——发电水头, 24.9m;

t ——时间, h。

秘家会水电站三个典型年在扣除生态流量以及未扣除生态流量两种情况下水能计算成果见图 1。从图中可以看到, 在 25% 保证率时, 扣除生态流量以及未扣除生态流量两种情况计算的发电量差距要比 50%、75% 保证率发电量差距小, 50%、75% 保证率典型年生态流量对于小水电站的发电量影响更大一些。

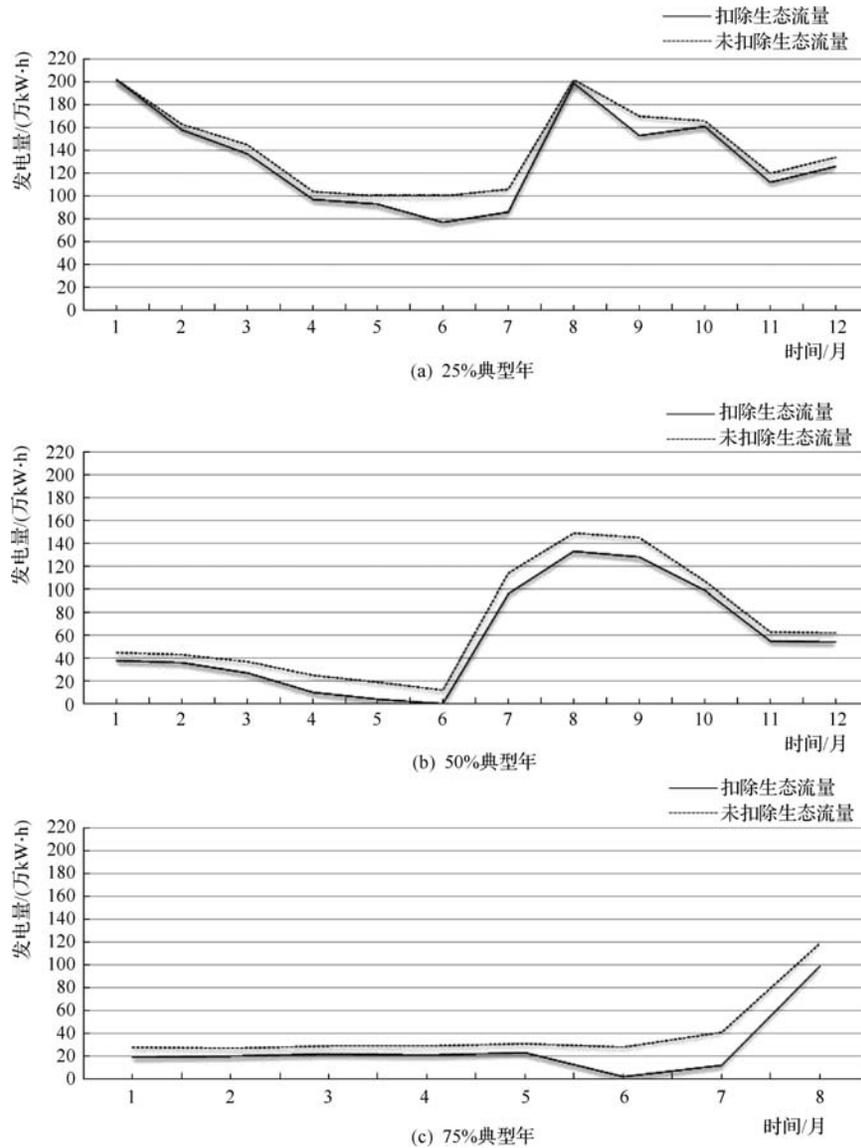


图 1 秘家会水电站三个典型年年发电量比较

3.2 生态流量泄放对发电影响分析

根据秘家会水电站水文调节成果、日平均流量及水能计算成果, 进行了逐日不同装机容量下的年平均出力、发电量计算。电站增效扩容改造后装机容量为 $3 \times 900kW$, 进而统计并计算出扣除生态流量多年平

均发电量为 867.15 万 kW·h, 年利用小时数为 3212h; 未扣除生态流量多年平均发电量为 1007.25 万 kW·h, 年利用小时数为 3731h。经计算, 因为泄放生态流量损失的发电量为 140.10 万 kW·h, 上网电价采用 0.42 元/(kW·h), 由此电 (下转第 65 页)

经验交流

对国家标准 GB/T 50082—2009 抗硫酸盐 侵蚀试验方法的探讨

潘义为 李守通 张振洲

(水利部建设管理与质量安全中心, 北京 100038)

【摘要】 文章针对《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)规定的抗硫酸盐侵蚀试验方法在实践中存在的试件浸泡方式、烘干温度、浸泡和烘干时间等方面的问题进行了分析,在综合相关文献和研究成果的基础上,为解决以上问题提出了设想,供标准修编时参考。

【关键词】 标准; 硫酸盐侵蚀; 试验方法; 温度湿度

中图分类号: TV41

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-062-04

Discussion on Test Method of Sulfate Corrosion Resistance of National Standard GB/T 50082—2009

PAN Yiwei, LI Shoutong, ZHANG Zhenzhou

(Construction Management and Quality Safety Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China)

Abstract: The sulfate corrosion test method regulated in the national standard “Standard for Test Methods of Long-term Performance and Durability of Ordinary Concrete” (GB/T 50082—2009) has some unreasonable points. The problems existing in the practice of sulfate corrosion resistance test method specified in “Standard test Method for Long-term Performance and Durability of Ordinary Concrete” (GB/T 50082—2009) are analyzed in the paper, the problems include specimen soaking method, drying temperature, soaking and drying time, etc. Suggestions are proposed in order to solve the above problems on the basis of comprehensive relevant literature and research results. It is used as the reference during standard revision.

Key words: standard; sulfate corrosion; test method; temperature humidity

混凝土的抗硫酸盐侵蚀性能是盐渍土地区混凝土结构和耐久性的重要性能之一。国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)^[1]对抗硫酸盐侵蚀试验方法进行了详细规定,为混凝土

收稿日期: 2022-01-14

作者简介: 潘义为 (1989—), 男, 本科, 工程师, 从事水利工程建设管理与质量安全工作。

抗硫酸盐侵蚀性能评价和工程混凝土配合比设计奠定了基础,保证了硫酸盐盐渍土地区工程施工、质量评价和健康服役的各环节工作有据可依。然而,通过多年来的实践检验,以及结合相关文献报道的内容,笔者发现,该标准规定的硫酸盐侵蚀试验方法存在一些不合理之处。目前,《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)已被列入修编计划。本文通过试验研究和相关文献报道的内容,简单提一些初步的设想,希望能对标准修编提供参考。

1 混凝土硫酸盐侵蚀机理

研究表明,硫酸盐对混凝土材料的侵蚀主要有四种方式^[2]:一是钙矾石(Aft)型硫酸盐侵蚀,环境水中的 SO_4^{2-} 渗入混凝土内部与水泥石中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水化铝酸钙等水化产物反应,生成石膏及水化硫铝酸钙,固相物质体积增大,产生较大膨胀压力,导致混凝土结构发生破坏。二是石膏型硫酸盐侵蚀,随着侵蚀溶液中的 SO_4^{2-} 浓度逐渐提高,将发生钙矾石—石膏复合型结晶,当 SO_4^{2-} 浓度较高时,石膏结晶的侵蚀起主导作用。三是碳硫硅钙石型(TSA)硫酸盐侵蚀,在寒冷气候($0\sim 15^\circ\text{C}$)条件下,且硫酸盐、碳酸盐都存在时,如混凝土碳化后出现硫酸根离子或者采用了石灰石集料等原因,硫酸盐侵入混凝土后会使得混凝土内的C-S-H凝胶内部转变为松散无胶结力的碳硫硅钙石,从而降低混凝土的性能。四是物理结晶型硫酸盐侵蚀,在干湿交替作用下,侵入混凝土的硫酸盐经过反复或连续的蒸发,使引气硫酸盐溶液达到过饱和而结晶,如 Na_2SO_4 在常温下就会结晶产生结晶压力,造成混凝土破坏。

硫酸盐侵蚀过程发生的条件:结构混凝土具有渗透性;环境中硫酸盐的含量超标;水或潮湿条件。

2 标准规定的试验方法

国家标准规定的抗硫酸盐侵蚀试验方法适用于混凝土试件在干湿交替环境中,以能够经受的最大干湿循环次数来表示混凝土抗硫酸盐侵蚀性能。试验步骤和方法详见文献[1]。满足标准规定的试验方法的设备市面有售(见图1)。



图1 市售抗硫酸盐侵蚀试验机

3 标准规定的试验方法探讨

3.1 浸泡方式

工程实践表明,混凝土在硫酸盐侵蚀水质中腐蚀最快的往往是水位变化干湿交替区,此区域由于具有强烈的水分蒸发作用,在“灯芯效应”作用下,侵蚀性物质被提拔到液面以上,与混凝土水化产物发生二次反应,加上自身的干燥结晶和上部结构的约束,形成强烈的膨胀结晶压力,导致微裂缝和破坏发生^[3]。国标中规定浸泡阶段采用全部淹没的方式,要求溶液液位高于混凝土试件表面20mm以上,这与混凝土的实际服役状态差别较大。尽管采用干湿循环浸泡方式在一定程度上模拟了受腐蚀混凝土结构在水位变化区劣化最为严重的情况,却忽视了“灯芯效应”。实际上,由于灯芯效应的作用,水分蒸发区形成高浓度硫酸盐溶液,该溶液与水泥水化产物接触生成侵蚀产物才是导致混凝土破坏的主要原因。

刘晋艳等^[4]发现半浸泡干湿循环试件的浸泡区局部发生化学侵蚀,生成钙矾石,干湿交替区发生化学物理综合性侵蚀,生成石膏和芒硝,干湿交替区域的腐蚀更严重。肖海英等^[5]采用尺寸为 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 的小棱柱体试件和人工制备盐溶液(Mg^{2+} 20g/L, SO_4^{2-} 20g/L, Cl^- 50g/L)进行了不同浸泡方式的腐蚀破坏研究,发现立式半浸泡腐蚀方式可用于快速评定混凝土的耐腐蚀性。

近年来,专家学者为了最大程度模拟工程实际状况,通常采用半浸泡试验方法进行混凝土的抗硫酸盐侵蚀试验。如刘晋艳等^[4]针对掺硅粉C50混凝土进行的干湿循环试验。

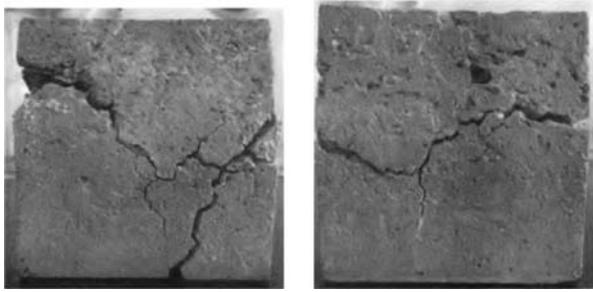


图2 刘晋艳等半浸泡试验 50 次循环效果
(水胶比 0.40, 强度等级 C50)

3.2 烘干温度

混凝土硫酸盐侵蚀试验烘干过程的温度尚有较大争议。标准中规定烘干温度为 80℃, 保温 6h。这一方面是为了加速化学反应进程, 起到加速破坏的作用; 另一方面是为了加速试件的干燥速度, 使试件在较短时间内趋于干燥, 增加下一个循环浸泡过程的吸水量。已有的干湿交替硫酸盐侵蚀研究中采用的干燥条件和时间相差很大, 如牛全林^[6]采用 80℃ 烘干 6h, M. T. Bassuoni et al.^[7]采用 40℃ 干燥 48h, 金祖权^[8]采用 60℃ 烘干 48h, 姜磊等^[9]采用室温下干燥 8d 等。

标准中规定烘干温度为 80℃, 保温 6h。按照标准试验方法, 试验由浸泡转入烘干状态后, 腐蚀箱内温度在 30min 内升高至 80℃, 混凝土试件内部仍存有大量水分。此时, 混凝土在高温和水分共同作用下, 水化反应加速进行, 容易造成循环次数较少时, 受腐蚀混凝土的强度比养护室标养的对比试件还要高的情况, 对抗侵蚀等级较低的混凝土评价不够准确。高性能混凝土的掺和料如粉煤灰等掺量较大, 高温条件下二次水化反应过程加快。温度高虽能加速试验过程, 但与实际环境不太相符, 且高温烘干会对混凝土中侵蚀产物产生影响, 从而改变混凝土的损伤劣化机理。Lawrence et al.^[10]认为, 为有效避免钙矾石结构失稳, 最高允许温度为 65 ~ 70℃ 之间, AFt 大约在 70℃ 分解。标准规定的烘干温度 80℃, 已大幅超过 AFt 的分解温度。

3.3 浸泡时间与烘干时间

大量研究表明, 作为一种多孔材料, 混凝土的吸水速度快而烘干速度慢。由于烘干温度不能过高, 要使混凝土达到一定的干燥状态, 烘干时间就要延长。

同样是混凝土的干燥过程, 采用的干燥温度不同, 干燥速率和散失水分形式便不同。从图 3^[11]可见, 混凝土在不同温度下的干燥速度明显不同, 在 60℃ 条件下, 30h 内的含水率一直处于快速降低过程中, 且没有收敛趋势; 在 85℃ 条件下, 50h 的含水率一直处于快速降低过程中, 且没有收敛趋势。由此可见, 在 85℃ 以下短期内进行的试件烘干很难使试件完全或接近完全干燥。因此, 延长试件烘干过程的时长显得十分必要。

从不同种类混凝土的吸水率—时间关系 (见图 3、图 4) 可以看出, 混凝土在 10h 内基本上吸水率已趋于稳定, 而国家标准规定浸泡时间需要超过 15h, 延长了试验时间。

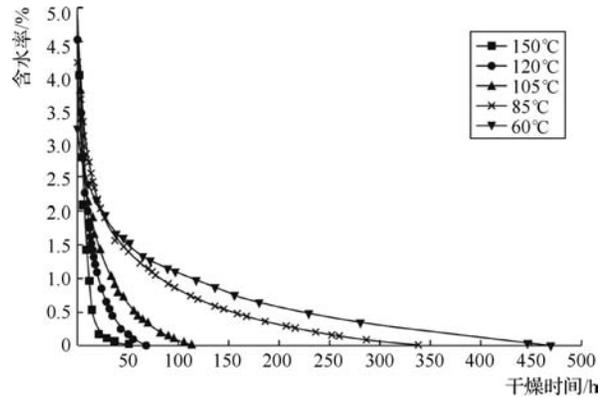


图3 混凝土在不同温度下的含水率—时间曲线

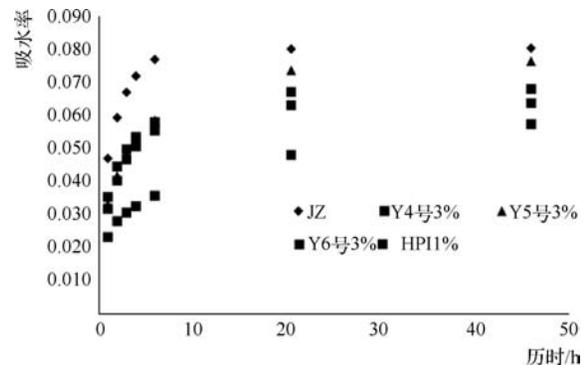


图4 不同种类混凝土的吸水率—时间试验结果

更进一步, 采用时间控制给试验检测和相关研究带来了很大的波动性, 因为混凝土干湿循环侵蚀试验中, 相同时间内, 不同配合比的混凝土试件在相同深度处的温湿度大不相同。大量研究表明, 混凝土试件具有吸水快、干燥慢的性质。如果以时间来控制侵蚀试验中的干燥和浸泡过程, 当干燥时间过短时, 混凝土的干燥程度过低, 加快不了劣化速度。当浸泡时间

过长时,不仅混凝土的干燥深度增长缓慢,而且浪费时间,并不能加快试件的劣化速度。迄今为止尚未找到一种较为合理且统一的干湿循环制度,不同学者所采用的干湿循环制度差异性与随意性均很大,一般均采用时间作为控制对象,只设定试件的干燥、浸泡以及升温、保温、降温、冷却等阶段的时间,而忽视了干燥、浸泡以及升温、保温、降温、冷却,目的是使试件内部达到一定的湿度和温度,导致试验结果可比性和重现性差。

4 结 语

混凝土的硫酸盐侵蚀试验作为混凝土耐久性能的基本试验之一,在评价盐渍土地区和海工混凝土的耐久性能方面具有重要意义。室内加速试验需要遵守不改变劣化机理、重现性高、评价指标敏感等原则,本文针对国家标准中的抗硫酸盐侵蚀试验方法存在的问题进行了初步分析,并结合实践经验和文献研究成果提出了一些初步的想法。当然,标准的修编影响范围广、影响程度大,需要充分听取行业意见,认真求证,才能使新修订的标准更符合实际情况。▲

参考文献

[1] GB/T 50082—2009 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.

(上接第 61 页)站每年发电收益减少 58.8 万元。

3.3 补偿和激励措施

对于泄放生态流量损失的发电量,为了激发水电站改造的积极性,采取一定的补偿和激励措施,从生态补偿电价和年度定额资金生态发电奖励两方面考虑,促进电站可持续绿色发展。

根据秘家会电站生态流量泄放对发电影响分析结果,为补偿下泄生态流量而造成的发电量损失,生态补偿电价可调至上网电价的 16.7%,对年度定额资金生态发电奖励进行适当调整,电站每年发电收益可不受生态流量泄放的影响,从而进一步激发小水电业主创建绿色水电的积极性,引导小水电绿色发展。

4 结 语

小水电生态流量泄放是小水电绿色生态化发展的

- [2] 马昆林,龙广成,谢友均.硫酸盐半浸泡侵蚀下水泥基材料中腐蚀产物的试验研究[J].混凝土,2013(9):32-39.
- [3] 刘赞群,李湘宁,侯乐,等.粉煤灰加刷半浸泡混凝土硫酸盐侵蚀的研究[J].建筑材料学报,2017,20(3):439-448.
- [4] 刘晋艳,巩天真,李强.半浸泡干湿循环下混凝土硫酸盐腐蚀性能研究[J].新型建筑材料,2017(4):87-90.
- [5] 肖海英,葛勇,张宝生,等.浸泡方式对混凝土腐蚀性的研究[C].//邢锋,明海燕,沿海地区混凝土结构耐久性及其设计方法.北京:人民交通出版社,2004:147-151.
- [6] 牛全林.预防盐碱环境中混凝土结构耐久性病害的研究及应用[D].北京:清华大学,2004.
- [7] BASSUONI M T, NEHDI M L. Durability of self-consolidating concrete to sulfate attack under combined cyclic environments and flexural loading[J]. Cement and concrete research, 2009, 39(3): 206-226.
- [8] 金祖权.西部地区严酷环境下混凝土的耐久性与寿命预测[D].南京:东南大学,2006.
- [9] 姜磊,牛荻涛.硫酸盐侵蚀作用下混凝土损伤层与微观研究[J].硅酸盐通报,2015,34(12):3462-3467.
- [10] Lawrence C D. Mortar expansion due to delayed ettringite and formation, effect of curing period and temperature[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(4): 903.
- [11] 张林飞,李宗利,张国辉,等.不同温度下混凝土干燥过程试验初步研究[J].混凝土,2014(7):52-54.

根本,按照“谁开发谁保护、谁受益谁补偿”的原则,建立电价的生态补偿机制,确保小水电生态流量泄放是小水电绿色生态化发展的根本,只有保障生态效益,才能发挥小水电经济效益,确保小水电可持续绿色发展。▲

参考文献

- [1] SL 752—2017 绿色小水电评价标准[S].北京:中国水利水电出版社,2017.
- [2] 黄晓南,潘炳坤.福建晋江桃溪流域小水电生态修复探索[J].中国水能及电气化,2017(5):7-9.
- [3] 欧传奇.新时代农村水电绿色发展的思考[J].中国水能及电气化,2021(6):60-65,22.
- [4] 李勋东,罗跃进.绿色小水电助推美丽乡村建设——浙江省遂昌县周公源水电站绿色小水电建设典型经验介绍[J].中国水能及电气化,2015(8):12-13,36.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.04.15

BIM 技术在建筑电气设计中的应用分析

徐寒电

(浙江步钱建设工程有限公司, 浙江 杭州 311700)

【摘要】 近年来,随着工业化进程的加快,人们对电气设计的整体要求逐步提升,在此背景下,BIM 技术在建筑工程的电气设计中得到了广泛应用,同时人们开始意识到 BIM 技术在建筑设计中应用的价值,进一步推动了建筑电气行业的健康可持续发展。为了提升建筑电气设计的效果,文章结合实际工作经验,对 BIM 技术在建筑电气设计中的应用展开了讨论与分析,认为 BIM 技术在建筑电气设计中的应用需要关注信息传递和测量及布局的准确控制问题,在此基础上,文章还指出了 BIM 技术在建筑电气设计中的应用环节和过程,希望能够为相关研究提供借鉴与参考。

【关键词】 BIM 技术; 建筑电气; 电气设备

中图分类号: TU85

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 04-066-03

Application Analysis of BIM Technology in Building Electrical Design

XU Handian

(Zhejiang Buqian Construction Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311700, China)

Abstract: The overall requirement of people on electrical design is gradually improved with the speeding up of industrialization process in recent years. The BIM technology has been widely applied in electrical design of construction engineering under the background. Meanwhile, people begin to realize the value of applying BIM technology in architectural design, thereby further promoting the healthy and sustainable development of building electrical industry. The application of BIM technology in building electrical design is discussed and analyzed based on practical work experience in order to improve the effect of building electrical design. It is believed that the application of BIM technology in building electrical design need to pay attention to the accurate control of information transmission, measurement and layout. The application link and process of BIM technology in building electrical design are also indicated in the paper on the basis. It is expected that the paper can provide reference for related research.

Key words: BIM technology; building electrical; electrical equipment

BIM 技术是一种利用网络信息技术搭建建筑信息模型的 3D 建模技术,这种技术手段具备协调性和仿真性等优点,在建筑物电气设计中的广泛应用,能够

达到科学化协同作用的效果^[1]。因此,电气工程的设计师们必须加大对 BIM 技术的研发与运用,保证建筑规划方案的精确度。

收稿日期: 2022-03-07

作者简介: 徐寒电 (1964—), 男, 专科, 助理工程师, 主要从事水利水电工程电气技术方面工作。

1 建筑电气设计的内容

1.1 电气设备的自动化监控系统

电气设备的自动化监控又称作电脑控制，电气设计主要是利用电脑软件实现对设备的自动化监控，所以电气设备的运行状态和产生的故障能够及时被发现。自动化监控系统的应用，能够减少人力资源的投入，而且还可以节约能源和提升经济效益。在建筑中采用这种系统，可以实现对整个建筑电气设备的实时有效监控。

1.2 确定变电所的位置

现代化建筑楼层比较高，而且用电量相对较大。对此，设计者在确定了变电所的位置以后，需要将高压线深入到负荷中心，以达到减少电能消耗量的目的，且供电质量也会明显提升。在确定变电所的位置时，必须要考虑进线的方向，同时还需要尽可能地偏向电源一侧，以使进出线与设备运输更为便捷。

1.3 电气照明设计

光源的选择、照度设计以及调光等，都属于电气照明设计的范围。照明设计和建筑装饰有着密切的关系，两者之间相互协同，共同发挥作用，增强艺术氛围。使用高光效的点光源，能够达到更为理想的节能效果。

1.4 防雷与接地设计

防雷设计是建筑电气设计的重点，直接关系着建筑物内电气设备装置的安全。在防雷设施和接地方案设计时，最常用的方法就是使用避雷针等装置，并且选择性地采用消雷器等装置^[2]。现代建筑中，做好与金属管道的连接工作是必不可少的，这主要是由于当前的现代建筑大多采用钢筋混凝土剪力墙，连接楼板的安全性也相对比较高。因此建筑物的防雷接地设计中的重点工作就是维护好设备。

2 BIM 技术在建筑电气设计中的应用要点

2.1 信息传递

采用 BIM 技术可以绘制二维图样，但必须要有有

相应族库作为保障。而目前，BIM 的系统图数量相对比较少，且与建筑电气相关的数据量不多。为了充分满足建筑电气设计的需求，必须建立电气族库，除了可以更好地保护数据信息，提升数据的真实可靠性，还能够确保信息的全面性，为后续的设计工作提供更为有力的保障。建筑电气设计的大范围覆盖，要求相关工作者可以依据规范标准把建筑电气族库快速建立起来，同时确保产品型号与规格合理，有助于后续工作顺利开展。在建立建筑电气族库过程中，必须要明确上下游数据传输的实际需求，确保信息能够及时安全地传递。

2.2 测量及布局的准确控制

测量是电气设计工作开展之前的一项必要工作，设计者需要全面熟悉业主的实际需求，并且需要熟悉建筑的结构设计。在设计工作中，要以业主的实际需求为导向，保证电气设计与建筑结构和实际情况相一致，一方面能够保证设计的合理性，另一方面能够提升设计的适应性。另外，在设计过程中需要精准地测量计算机房的面积，并对电气设备的布设位置进行精确的分析，从而制定出合理的管道线路方案。从传统设计方式来看，如果只是在图纸上使用简单的线条来表达设计方案，往往会存在机房设计精度不足等问题，而且还难以体现出电气设计的细节。使用 BIM 技术后，能够对测量和布局进行精确地控制，保证建筑电气的细部可以精准地呈现出来，而且设计者也可以更好地把握电气设计的每一个细节，提升设计的精确性^[3]。

3 电气设计中 BIM 技术应用环节

3.1 BIM 技术和配电系统的设计

进行与配电控制系统有关的设计准备工作时，要从建筑电气系统的整个层面考虑，并收集建筑内部的有关数据，以设计出合理的建筑电气视图。通过对与设计相关的历史数据进行综合比较分析，可以更好地减少设计风险。在制定电气视图的过程中，一定要对供电半径和机房区域等作出科学合理的计划，尽可能

地避免出现碰撞。与此同时,还必须合理地布置供电装置和插座。在参数与技术的帮助下,精确地建立一个三维模式,从而进行供电线路的布设,使整个配电体系中的线路有效连接。使用 BIM 技术,可以全面分析配电系统,重视配电线路中的所有细节,从而可以对配电线路的实际属性与与配电盘所对应的明细情况进行全方位检测,从而防止产生细部问题影响建设项目的顺利进行。而针对施工中配电价格体系的具体设计工作,也可以直接从平面视图的角度标注细部,特别是配电线路及其相关的设备。在项目后期的施工中还需要作出更具体的设计指示,从而可以保证配电网体系的完整性,充分满足设计方案的要求。

3.2 BIM 技术与照明系统的设计

建筑电气设计尤其需要重视照明系统,将其与 BIM 技术结合在一起,需要设计者全面收集照明系统的相关数据信息,并对这些数据进行分析与整理,保证照明系统与室内房间规划相适应。照明系统设计中合理利用 BIM 技术,能够将设计方案转变成立体化的模型,并能够将设计方案模型化与可视化地呈现出来,进而了解到方案设计中存在的问题。

3.3 BIM 技术与智能系统的设计

BIM 技术的应用,必须要对智能系统进行优化设计,同时设计者需要根据管理运行的实际需要,对设计方案进行完善。从实际设计经验来看,BIM 技术与智能系统的有效融合,能够让电气设备与建筑主体之间的协调性更强。设计者需要合理利用 BIM 技术的优势,对设计的细节进行优化,最大程度地模拟与还原智能系统,进而帮助工作人员实时关注监控智能系统的运作情况。

4 电气设计中 BIM 实际技术应用

4.1 建立电气族库进行设计

在工作过程中,每一项设计工作都必须要结合电气设计的相关数据信息开展。现阶段,BIM 技术的应用,可以让设计者更加快速地构建电器族库,其中

Revit 软件是 BIM 技术中非常重要的设计软件,根据我国电气制图标准,建立电气族库,能够更好地满足电器族库对电气项目的需求。在这一过程中,针对不同类型的线路与设备,需要为其匹配相对应的族,进而保障其能够在平面图上精准地表现出来。除此之外,还需要符合实际尺寸、性能等方面的需求。设计者应高度关注电气族库的具体类型和数量,避免对后续的计算和模型构建产生不利影响。

4.2 电气平面设计

平面设计内容涵盖有照明和供电等,在使用 BIM 技术手段设计电力平面系统过程中,设计师还可通过 Revit MEP 软件,把已整合的电气族库信息记录在软件系统中,并在以后的工程设计中随时调取有关数据,以提高设计工作的质量与效率。此外,在 Revit MEP 软件和 BIM 技术的帮助下,利用 CAD 技术的优点还可以对设计方案加以完善和优化。根据国际电气设计的有关规范与规定,在版面设计时一定要对三维建模中的电线和灯具等作出合理的标注,与此同时,还要检测相应碰撞情况,在抓住重点的基础上,进一步提高版面设计的有效性。

在应用 BIM 技术手段设计电气平面过程中,设计者可以使用 Revit MEP 软件,将整合的电气族库信息录入到软件中,并在接下来的设计中随时调用相关数据,进一步提高设计工作的质量与效率。除此之外,在 Revit MEP 软件和 BIM 技术的支持下,可以发挥 CAD 技术的优势对设计方案进行完善与优化。在本工程中,把电气工程文件数据输入到软件系统中,实时查看每一电气族库中的有关参数,在精准定位的前提下修改相应的参数。最后,使用电缆桥架或者是线管等连接平面上的设备,搭建专业的电气模型。

4.3 建立电气系统模型

BIM 技术应用过程中,非常重要的一个环节是发挥 BIM 技术的可视化与模拟化作用,搭建出一个完善的系统模型。需要注意的是,设计(下转第 70 页)

水利大讲堂

堤防工程作业要求大全

一、堤基清理的要求

1. 筑堤工作开始前, 必须按设计要求对堤基进行清理。
2. 堤基清理范围包括堤身、铺盖和压载的基面。堤基清理边线应比设计基面边线宽出 30 ~ 50cm。老堤加高培厚, 其清理范围包括堤顶和堤坡。
3. 堤基清理时, 应将堤基范围内的淤泥、腐殖土、泥炭、不合格土及杂草、树根等清理干净。
4. 堤基内的井窖、树坑、坑塘等应按堤身要求进行分层回填处理。
5. 堤基清理后, 应在第一层铺填前进行平整压实, 压实后土体干密度应符合设计要求。
6. 堤基冻结后有明显冰夹层、冻胀现象时未经处理, 不得在其上施工。

二、填筑作业面的要求

1. 地面起伏不平时, 应按水平分层由低处开始逐层填筑, 不得顺坡铺填; 堤防横断面上的地面坡度陡于 1:5 时, 应将地面坡度削至缓于 1:5。
2. 分段作业面长度, 机械施工时段长不应小于 100m, 人工施工时段长可适当减短。
3. 作业面应分层统一铺土、统一碾压, 严禁出现界沟, 上、下层的分段接缝应错开。
4. 在软土堤基上筑堤时, 如堤身两侧设有压载平台, 两者应按设计断面同步分层填筑, 严禁先筑堤身后压载。
5. 相邻施工段的作业面宜均衡上升, 段间出现

高差, 应以斜坡面相接, 结合坡度为 1:3 ~ 1:5。

6. 已铺土料表面在压实前被晒干时, 应洒水润湿。
7. 光面碾压的黏性土填料层, 在新层铺料前, 应作刨毛处理。
8. 出现“弹簧土”、层间光面、层间中空、松土层等质量问题应及时处理。
9. 施工过程中应保证观测设备的埋设安装和测量工作的正常进行; 并保护观测设备和测量标志完好。
10. 在软土地基上筑堤, 或用较高含水量土料填筑堤身时, 应严格控制施工速度, 必要时应在地基、坡面设置沉降和位移观测点, 根据观测资料分析结果, 指导安全施工。
11. 对占压堤身断面的上堤临时坡道作补缺口处理, 应将已板结老土刨松, 与新铺土料统一按填筑要求分层压实。
12. 堤身全段面填筑完成后, 应作整坡压实及削坡处理, 并对堤防两侧护堤地面的坑洼处进行铺填平整。

三、铺料作业的要求

1. 应按设计要求将土料铺至规定部位, 严禁将砂(砾)料或其他透水料与黏性土料混杂, 上堤土料中的杂质应予清除。
2. 铺料要求均匀、平整。每层的铺料厚度和土块直径的限制尺寸应通过现场试验确定。
3. 土料或砾质土可采用进占法或后退法卸料,

砂砾料宜用后退法卸料；砂砾料或砾质土卸料时如发生颗粒分离现象，应将其拌合均匀。

4. 堤边线超填余量，机械施工宜为 30cm，人工施工宜为 10cm。

5. 土料铺填与压实工序应连续进行，以免土料含水量变化过大影响填筑质量。

四、压实作业要求

1. 施工前，先做碾压试验，确定机具、碾压遍数、铺土厚度、含水量、土块限制直径，以保证碾压质量达到设计要求。

2. 分段碾压，各段应设立标志，以防漏压、欠压、过压。

3. 碾压行走方向，应平行于堤轴线。

4. 分段、分片碾压，相邻作业面的搭接碾压宽

度，平行堤轴线方向不应小于 0.5m；垂直堤轴线方向不应小于 3m。

5. 拖拉机带碾磙或振动碾压实作业，宜采用进退错距法，碾迹搭压宽度应大于 10cm；铲运机兼作压实机械时，宜采用轮迹排压法，轮迹应搭压轮宽的 1/3。

6. 机械碾压应控制行走速度：平碾 $\leq 2\text{km/h}$ ，振动碾 $\leq 2\text{km/h}$ ，铲运机为 2 挡。

7. 碾压时必须严格控制土料含水率。土料含水率应控制在最优含水率 $\pm 3\%$ 范围内。

8. 砂砾料压实时，洒水量宜为填筑方量的 20% ~ 40%；中细砂压实的洒水量，宜按最优含水量控制；压实施工宜用履带式拖拉机带平碾、振动碾或气胎碾。

(来源：水利之声微信公众号)

(上接第 68 页)者建模之前必须清楚地了解建模的过程，并且掌握工程的相关标准与要求，利用现场调查等方式，建立中心文件，进而充分满足工程项目的实际需要。在建立中心文件之后，需要将文件及时传输到服务器上，并连接相对应的模型。除此之外，围绕提升设计效率的实际需求，设计者需要对电气资料进行分类整理。应用中心文件时，需要将楼层当成是参考物，并对有关的数据信息及时更新，发挥 BIM 技术的优势，同步相关数据，进而确保构建的系统模型与工程的实际需求相适应。

4.4 检查管线碰撞

在实施方案时，往往会出现管道铺设问题，或者是电气设备难以顺利安装等问题。出现这些问题的主要原因是设计者并未能够关注到管线的碰撞。而在应用 BIM 技术后，设计者必须高度关注管线的碰撞问题，并在完成初步设计以后，使用 BIM 技术中的碰撞检测软件作出全面的检测。除此之外，还需要进行详细的审查，尤其是冲突问题的检查。采用最合适的方法

对管线进行排布，从而提高电气管线设计的合理性。

5 结语

电气系统是目前建筑工程中的重要组成部分，对其进行合理设计至关重要。设计者需要深入学习和了解 BIM 技术，并在照明、智能等系统中合理利用。在建立电气族库时，需要设计出合理的电气平面图与系统模型等，充分发挥其在建筑电气设计中的优势。本文重点介绍了 BIM 技术在建筑电气设计中的应用情况，旨在为设计工作的开展提供参考依据，今后需要进一步探索 BIM 技术的应用问题。▲

参考文献

- [1] 郑欣. 基于三维激光扫描及 BIM 技术的水库开挖工程量复核[J]. 中国水能及电气化, 2019(10): 6-9.
- [2] 王百新. 水利工程应用 BIM 技术的思考[J]. 中国水能及电气化, 2016(11): 66-70.
- [3] 孙鑫, 杨荣伟. 基于 BIM 技术的机电管线防碰撞分析[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(S2): 61-65.