

中国水能 及电气化

CHINA WATER POWER
& ELECTRIFICATION

中国水能及电气化

CHINA WATER POWER & ELECTRIFICATION

2022年第6期(总第207期)

中华人民共和国水利部 主管

水利水电工程建施工法约稿（征稿）函

为更好地推广和宣传水利水电工程建施工法，《中国水能及电气化》期刊开辟专栏，刊登优秀工法介绍。请有关单位严格按照稿件要求（见《中国水能及电气化》期刊官网投稿须知栏目）撰写工法内容，并将电子文稿发送至邮箱（wateree6346@163.com，请在邮件标题中注明“水利水电工法展示”字样）。本次宣传推广活动本着自愿参加的原则，不收取任何费用。

水利工程优秀质量管理小组成果约稿（征稿）函

为更好地推广和宣传水利工程优秀质量管理小组成果，《中国水能及电气化》期刊开辟专栏，刊登优秀质量管理小组成果介绍。请有关单位严格按照稿件要求（见《中国水能及电气化》期刊官网投稿须知栏目）撰写优秀质量管理小组成果内容，并将电子文稿发送至邮箱（wateree6346@163.com，请在邮件标题中注明“水利工程优秀质量管理小组成果展示”字样）。本次宣传推广活动本着自愿参加的原则，不收取任何费用。

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 邮政编码：100055
联系人：张 洁 电话：010-63305281 投稿须知网址：<http://zgsm.cweun.org/tgxz.php>

〔期刊基本参数〕 CN 11-5543/TK*2005*m*A4*70*zh*P*¥16.00*15300*15*2022-6

ISSN 1673-8241



9 771673 824224

2022.6
月刊 总第 207 期

征集水利工程标准化管理 相关稿件的启事

2022 年 3 月 24 日，水利部印发《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》等文件，加快推进水利工程标准化管理工作。《水利建设与管理》作为水利建设与管理领域的行业期刊，积极担负宣传引导、经验交流、知识积累的职责，刊发与此工作有关的指导文件、标准规范、典型案例、探讨研究等稿件。

欢迎科研机构、高等院校，尤其是水利工程管理单位和主管部门的管理、技术和研究工作者就水利工程标准化管理相关的成功经验、典型做法、问题与对策、思考与探讨等方面撰稿。稿件须为原创，字数在 3500 ~ 4500 字之间，文章须观点明确、用语规范、有理有据，能够结合实际、有资料支撑，其他要求详见网站投稿须知。

符合要求的稿件一律免费刊发，欢迎投稿。

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

投稿须知网址：<http://www.sljsygl.com/Home/Tgxz>

咨询电话：010-63305239

联系人：张雪虎

节水专栏约稿（征稿）函

节约用水贯穿着经济社会发展的全过程，涉及农业、工业、服务业等领域，涉及单位、家庭、个人等用水主体，是所有用水者共同的社会责任。为全面贯彻新发展理念，推进实施国家节水行动、科学谋划和扎实促进新阶段水利高质量发展、全面建设社会主义现代化国家提供有力支撑，《水资源开发与管理》期刊开设节水专栏，旨在提升公众节水意识、培养社会节水风尚、促进节水型社会建设、推进水资源节约保护融入经济社会发展和生态文明建设，现特面向各城市水利（水务）部门，水利科学研究单位的领导、专家、技术人员及高校科研人员征稿（约稿），稿件要求如下：

稿件按照学术论文的写作规范，应有两百字左右的摘要和三至五个关键词，正文部分要包含引言和结语。专栏内容可围绕国家节水行动、节水型社会建设、用水定额管理、节约用水规划、节水评价、节水载体建设、节水技术等内容。

水利乡村振兴专栏约稿（征稿）函

水利乡村振兴是巩固拓展脱贫攻坚成果、推进乡村振兴的水利支撑和保障。为扎实推进《“十四五”巩固拓展水利扶贫成果同乡村振兴水利保障有效衔接规划》的实施，促进脱贫地区水利高质量发展，《水资源开发与管理》期刊拟设水利乡村振兴专栏，展现乡村河湖治理的优质成果和脱贫地区重大水利工程建设经验以供其他脱贫乡村水管理部门参考。

稿件需语句通顺，逻辑关系衔接紧密，有可宣传借鉴的实践意义。按照学术论文的写作规范，应有两百字左右的摘要和三至五个关键词，正文部分有引言和结语，且字数不少于 4000。正文内容可围绕农村饮水安全、农田灌排工程建设、乡村防洪减灾、水生态环境治理和保护、乡村供水保障等。

期刊背景

《水资源开发与管理》（月刊）是由中国水利工程协会主管主办、公开发行的科技类学术期刊。国际标准连续出版物号 ISSN 2096-0131，国内统一刊号 CN 10-1326/TV。

投稿方式

请作者登录杂志社官方网站：<http://www.sljsygl.com/> 注册成功后，点击“水资源开发与管理在线投稿”填写信息并上传稿件。稿件审核后，择优免费刊登。

联系方式

联系人：杨 燕 王宁昕

地 址：北京市西城区南滨河路 27 号贵都国际中心 B 座 1119 室

电 话：010-63305216/63305236

邮 编：100055

2022 6 月刊
总第 207 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://zgsw.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 水利工程标准化管理评价办法

水电站技术与研究

- 3 乌江渡水电站多波束联合水下机器人无损检测分析
华朝锋
- 8 垣曲抽水蓄能电站碱性骨料料源比选的研究
付 斌 景鹏云
- 15 临泽县水电站增效扩容改造技术研究
李开月
- 20 关于雁栖泵站主电机启动过程中电压暂降情况分析
陈永波

施工技术

- 26 袖阀管注浆法在杂填土地层基础加固中的应用
罗跃文 高春羽 高春雷
- 31 沙沟水库丙乳砂浆加固技术要点初探
郝恩烽
- 34 基于自平衡法的红河水渡槽桩基竖向抗压静载监测研究
王建锋
- 40 两河口水电站雾化区边坡综合治理措施
刘玉兴

科学研究

- 45 混凝土中骨料碱活性抑制效能试验研究
潘义为 徐 爽
- 49 水利堤防工程安全预防体系模型的建立和应用
陈 钟 周星宇 陆泳君

运行管理

- 56 山美电站实行“无人值守”前期准备工作分析
陈晓明
- 59 右安门橡胶坝坝袋检测与安全评价
桂 彬 李 萌 乌 溪

经验交流

- 64 水资源精细化管理对策及技术思路
李国强
- 67 内河航道下穿管线普查方法可行性分析
张 旭

Contents

Special Report

- 1 Measures for Standardized Administration and Evaluation of Water Conservancy Projects

Hydropower Station Technology and Research

- 3 Nondestructive Detection Analysis of Multi-Beam Joint Underwater Robot at Wujiangdu Hydropower Station HUA Chaofeng
- 8 Study on Alkali Aggregate Source Comparison and Selection of Yuanqu Pumped Storage Power Station FU Bin, JING Pengyun
- 15 Study on Transformation Technology of Enhancing Efficiency and Expanding Capacity of Hydropower Station in Linze County LI Kaiyue
- 20 Voltage Sag Analysis during Main Motor Starting Process in Yanqi Pump Station CHEN Yongbo

Construction Technology

- 26 Application of Sleeve Valve Pipe Grouting Method in Foundation Reinforcement of Miscellaneous Fill Stratum LUO Yuewen, GAO Chunyu, GAO Chunlei
- 31 Preliminary Study on Key Points of Acrylic Emulsion Mortar Reinforcement Technology in Shagou Reservoir HAO Enfeng
- 34 Research on Vertical Compressive Static Pressure Load Monitoring of Pile Foundation of Honghe Water Aqueduct based on Self-balance Method Wang Jianfeng
- 40 Comprehensive Treatment Measures for Slope in Atomization Area of Lianghekou Hydropower Station LIU Yuxing

Scientific Research

- 45 Experimental Study on Inhibition Efficiency of Alkali Activity of Aggregate in Concrete PAN Yiwei, XU Shuang
- 49 Establishment and Application of Safety Prevention System Model for Water Conservancy Embankment Project CHEN Zhong, ZHOU Xingyu, LU Yongjun

Operation Management

- 56 Analysis on Preparatory Work of Implementing “Unattended” Task in Shanmei Hydropower Station CHEN Xiaoming
- 59 Inspection and Safety Evaluation of Youanmen Rubber Dam Bag GUI Bin, LI Meng, WU Xi

Engineering Design

- 64 Countermeasures and Technical Ideas of Refined Management of Water Resources LI Guoqiang
- 67 Feasibility Analysis of General Survey Method for Undercrossing Pipeline in Inland Waterway ZHANG Xu

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

水利工程标准化管理评价办法

第一条 为加强水利工程标准化管理,科学评价水利工程运行管理水平,保障工程运行安全和效益充分发挥,依据《关于推进水利工程标准化管理的指导意见》,制定本办法。

第二条 水利工程标准化管理评价(以下简称标准化评价)是按照评价标准对工程标准化建设成效的全面评价,主要包括工程状况、安全管理、运行管护、管理保障和信息化建设等方面。

第三条 本办法适用于已建成运行的大中型水库、水闸、泵站、灌区、调水工程以及3级以上堤防等工程的标准化管理评价工作。其他水库、水闸、堤防、泵站、灌区和调水工程参照执行。

第四条 水利部负责指导全国水利工程标准化管理和评价,组织开展水利部标准化评价工作。

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,组织开展所属工程的标准化评价工作,受水利部委托承担水利部评价的具体工作。

省级水行政主管部门负责本行政区域内所管辖的水利工程标准化管理和评价工作。

第五条 标准化评价按水库、水闸、堤防等工程类别,分别执行相应的评价标准。

泵站、灌区工程标准化评价按照《水利部办公厅关于印发大中型灌区、灌排泵站标准化规范化管理指导意见(试行)的通知》(办农水〔2019〕125号)执行。调水工程评价标准另行制定。

第六条 省级水行政主管部门和流域管理机构应按照水利部确定的标准化基本要求,制定本地区(单

位)水利工程标准化管理评价细则及其评价标准,评价认定省级或流域管理机构标准化管理工程。

第七条 水利部评价按照水利部评价标准执行,申报水利部评价的工程,需具备以下条件:

(一)工程(包括新建、除险加固、更新改造等)通过竣工验收或完工验收投入运行,工程运行正常;

(二)水库、水闸工程按照《水库大坝注册登记办法》和《水闸注册登记管理办法》的要求进行注册登记;

(三)水库、水闸工程按照《水库大坝安全鉴定办法》和《水闸安全鉴定管理办法》的要求进行安全鉴定,鉴定结果达到一类标准或完成除险加固,堤防工程达到设计标准;

(四)水库工程的调度规程和大坝安全管理应急预案经相关单位批准;

(五)工程管理范围和保护范围已划定;

(六)已通过省级或流域管理机构标准化评价。

第八条 水利部评价实行千分制评分。通过水利部评价的工程,评价结果总分应达到920分(含)以上,且主要类别评价得分不低于该类别总分的85%。

第九条 省级水行政主管部门负责本行政区域内所管辖水利工程申报水利部评价的初评、申报工作。

流域管理机构负责所属工程申报水利部评价的初评、申报工作。

部直管工程由工程管理机构初评后,直接申报水利部评价。

第十条 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。流域管理机构所属工程,由水利部或其委托的单位组织评价。

第十一条 水利部和流域管理机构建立标准化评价专家库,评价专家组从专家库抽取评价专家的人数不得少于评价专家组成员的三分之二;被评价工程所在省(自治区、直辖市)或所属流域管理机构的评价专家不得担任评价专家组成员。

第十二条 通过水利部评价的工程,认定为水利部标准化管理工程,进行通报。

第十三条 通过水利部评价的工程,由水利部委托流域管理机构每五年组织一次复评,水利部进行不定期抽查;流域管理机构所属工程由水利部或其委托的单位组织复评。对复评或抽查结果,水利部予以通报。

省级水行政主管部门和流域管理机构应在工程复评上一年度向水利部提交复评申请。

第十四条 通过水利部评价的工程,凡出现以下

情况之一的,予以取消。

(一)未按期开展复评;

(二)未通过复评或抽查;

(三)工程安全鉴定为三类及以下(不可抗力造成的险情除外),且未完成除险加固;

(四)发生较大及以上生产安全事故;

(五)监督检查发现存在严重运行管理问题;

(六)发生其他造成社会不良影响的重大事件。

第十五条 本办法由水利部负责解释。

第十六条 本办法自发布之日起施行。《水利工程管理考核办法》及其有关考核标准(2019年修订发布,2021年部分修改)同时废止。已通过水利部水利工程管理考核验收的,在达到规定复核年限前依然有效。

(此办法由水利部于2022年3月24日发布,来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/zw/tzgg/tzgs/202203/t20220330_1567504.html,日期:2022年3月30日)

(上接第7页)

参考文献

- [1] 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.
- [2] 朱伟玺,马俊.多波束联合遥控水下机器人在高土石坝水下检测中的应用[J].水利水电快报,2019,40(4):53-56.
- [3] 黄华新,王桂成,陈小雨.沙袋护岸除险施工工法[J].中国水能及电气化,2019(4):25-28.
- [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] 李庆松.基于无人机载激光和无人船多波束下水陆一体化三维测量技术应用和探讨[J].水利技术监督,2021(11):42-45.

- [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] 张阳,陈晨,张一,等.水下机器人航道安全检测应用设计[J].人民长江,2019,50(6):1-5.
- [8] 耿红磊,方超群,孔垂雨,等.遥控水下机器人在金属结构安全检测中的应用[J].水利技术监督,2017,25(6):49-50,68.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 何亮,马琨,李端有.多波束联合水下机器人在大坝水下检查中的应用[J].大坝与安全,2019(5):46-51.

水电站技术与研究

乌江渡水电站多波束联合水下机器人无损检测分析

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】 为准确掌握乌江渡水电站新建机组发电尾水池底板及左右边墙现存状态, 采用多波束探测技术联合水下机器人进行高质量水下全覆盖安全检测, 获取高精度、高分辨率的水下地形数据和构建物直观图像, 以查明尾水池底部冲刷破坏程度和左右边墙性能。结果表明, 新建机组发电尾水池底板和左右边墙虽存在淤积、水生物附着、墙面麻面结瘤等问题, 但程度均较轻, 影响较小。多波束联合机器人能获得翔实水下地形数据和直观图像, 能准确判断待测区域冲刷破坏程度和构建物性状, 可为类似工程水下安全检测分析研究提供参考。

【关键词】 水下测量; 多波束测深; 机器人; 安全检测

中图分类号: TV738

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-003-05

Nondestructive Detection Analysis of Multi-Beam Joint Underwater Robot at Wujiangdu Hydropower Station

HUA Chaofeng

(Guizhou Wujiangdu Power Plant of Guizhou Wujiang Hydropower Development Co., Ltd., Zunyi 563002, China)

Abstract: Multi-beam detection technology joint underwater robot is adopted for high quality underwater complete coverage security detection in orderto accurately grasp the existing state of tailwater pond baseplate, the left and right side walls of new generating units in Wujiangdu Hydropower Station, thereby obtaining underwater terrain data and building visual images with high accuracy and high resolution, and finding out the tail tank bottom scouring damage degree and the performance of the left and right side walls. The results show that there are some problems on the tailwater pond baseplate, the left and right side walls of the new generating units, such as siltation, aquatic organism attachment, nodulation on the wall surface, etc., but the degree is not serious and the influence is not significant. The multi-beam joint robot can be used for obtaining detailed underwater terrain data and visual images. It can be used for accurately judging the extent of scouring damage and properties of structures in the to-be-tested area, which can provide reference for similar underwater safety inspection and analysis.

Key words: underwater measurement; multi-beam sounding; robot; safety detection

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工作。

1 联合无损检测原理

安全专项检查（分析）是发现和探明水电站水下结构缺陷和隐患的重要手段，可为水工构筑物安全性态评价和缺陷修复提供翔实的数据资料。鉴于水下环境的复杂性、检测区域的特殊性和影响因素的动态性，传统水下检测主要采用蛙人定期局部进行检查^[1-3]。受下潜时间、深度和潜水设备装置等因素制约，该方法无法准确、全面获得待测区域的量化指标，且潜水员的生命还面临巨大威胁。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，以提取得到水下待测对象的高精度地形数据，经计算可对缺陷部位进行准确定量分析，但缺少对缺陷直观定性的判断依据^[4-6]。水下机器人搭载高像素摄像机，可在水下连续、全方位和 360° 无死角对待测区域进行拍照与录像，实现对水下缺陷的定性判断，但缺少对缺陷尺寸、大小的定量评价数据^[7-8]。将多波束测深技术联合水下机器人应用到乌江渡水电站新建机组尾水池无损检测中，通过定性化图像和量化数据全面了解和系统评估水下情况，为电站科学制定发电运行计划和缺陷修复提供翔实基础数据。

1.1 多波束探测定量分析

多波束探测系统是用发射换能器阵列向水底发射声波，接收换能器接收水底返回的声波信息，经数据处理后获得沿航线方向一定范围水下待测目标的大小、形状和高低等数值。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^[9]，并绘制翔实等深线图和典型测线地貌图，可为水电站水工建筑物运行性态专项检查和运行隐患排除及处理提供翔实的数据支撑。多波束探测系统工作原理见图 1。

乌江渡水电站新建机组尾水池无损检测项目中，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。采用华星 A12 GNSS RTK 系统进行检测辅助定位^[10-11]；安装

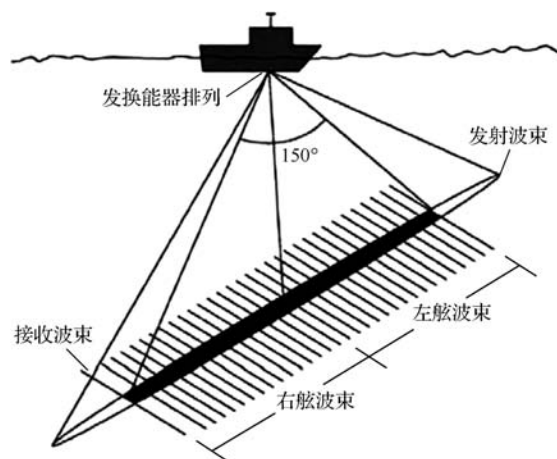


图1 多波束探测系统工作原理

Sonic 2024 型宽带超高分辨率多波束测深仪和采用水下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。

1.2 水下机器人定性判断

水下机器人是搭载有高清摄像头由水面控制的水下作业系统，主要由控制主机、地面绞盘及控制管理系统、信号线缆、水下潜器、水声定位系统和辅助成像三维声呐等功能单元组成^[12]。水下机器人探测系统作业见图 2。

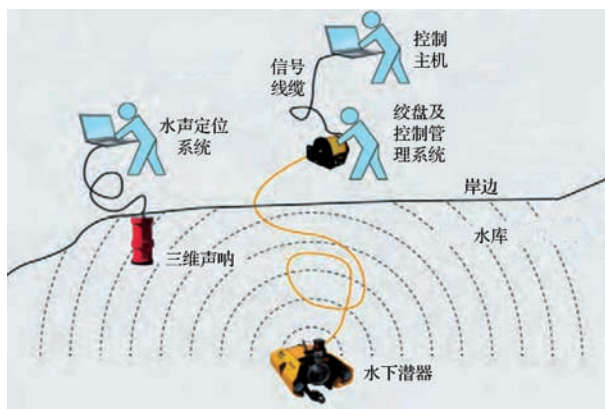


图2 水下机器人探测系统作业示意图

2 联合无损检测工程应用

乌江渡水电站新建机组尾水池无损检测项目中，采用海豚 II 型机器人，通过搭载水下摄像系统、Tele-dyne Blueview BV5000 水声三维扫描设备和 M900 避碰声呐等装备进行高质量扫测作业，通过拍摄大量的图

像资料来准确、直观地发现异常区域，实现对缺陷的定性判断。

2.1 工程概况

乌江渡水电站位于贵州省遵义市境内，原始装机 630MW，经扩机、增容改造后装机 1250MW，是我国在喀斯特地貌石灰岩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（ T_1 ），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）项目及要求”中提出：采用设备对新机组尾水池进行地形测量，并绘制水下地形图和典型测线地貌图，同时结合水下机器人拍摄图像资料对水工构筑物性态进行分析。

2.2 水下检测实施

采用冲锋舟作为水下地形测量多波束探深系统的载体，在预设位置安装好水下发射、接收换能器、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。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，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。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，最终获得翔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和典型测线地貌图。

3 水下检测成果分析

3.1 水下地形多波束探测

乌江渡水电站新机组尾水池检测项目，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。首先采用多波束探测系统进行水下全覆盖检测，了解乌江渡发电厂新机组尾水池池底及边墙现存状态；然后

基于多波束检测成果，针对局部隐患或缺陷部位，采用水下无人潜航器完成重点区域情况的探查。新机组尾水池三维点云探测成果见图 3。

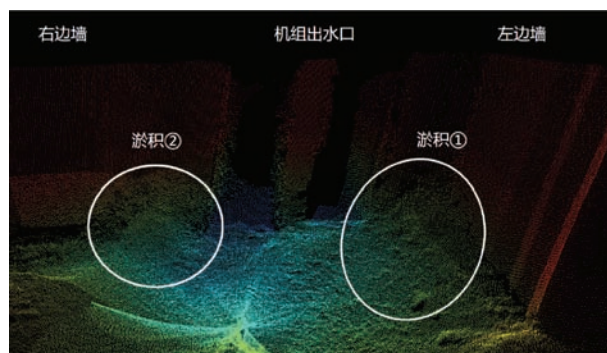


图 3 新机组尾水池三维点云

对检测范围内尾水池底板沿水流方向剖切 3 个剖面进行典型测线地貌分析，剖面间隔为 12m。剖切面位置及起始桩号见表 1 和图 4。

表 1 剖切面起始桩号数据

方向	1 号剖面		2 号剖面		3 号剖面	
	起点	终点	起点	终点	起点	终点
坝横	0 + 148	0 + 145	0 + 165	0 + 152	0 + 180	0 + 159
坝纵	0 + 096	0 + 138	0 + 100	0 + 140	0 + 103	0 + 142

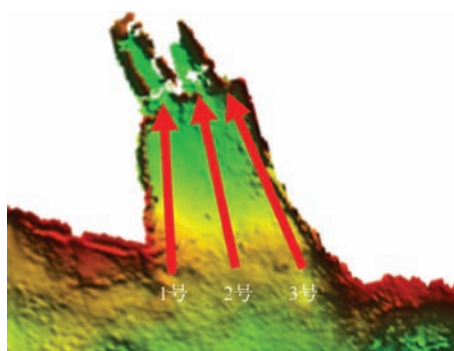


图 4 尾水池剖面布置

软件分析得到的新机组尾水池底板典型测线地貌见图 5 ~ 图 7。

从图 3 和图 5 ~ 图 7 可知，从机组出水口至河道，尾水池底板高程总体上逐渐增加，底板最低点位于机组出水口附近，高程约 611.37m；存在 2 处疑似淤积，需结合水下机器人进行准确定性判断。

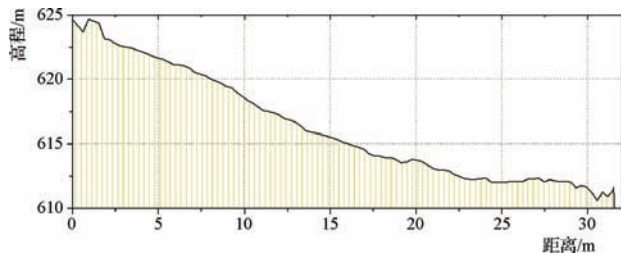


图5 尾水池底板1号剖面

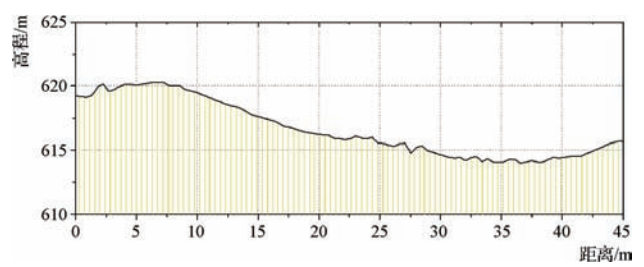


图7 尾水池底板3号剖面

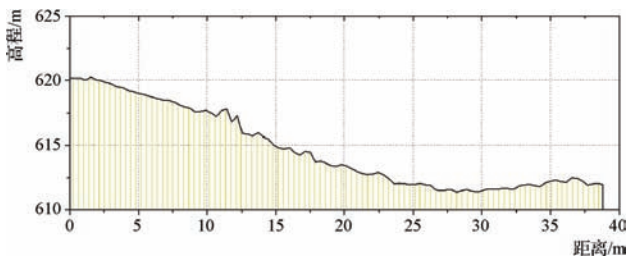


图6 尾水池底板2号剖面

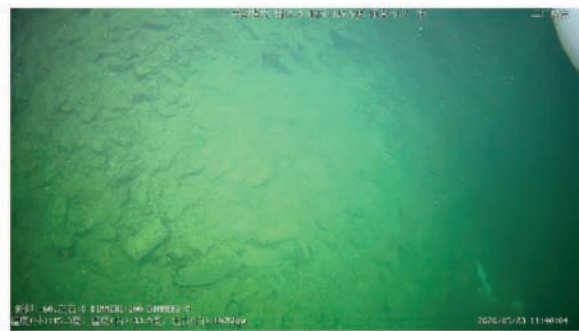
3.2 水下机器人定性判断

3.2.1 底板淤积

从图3可知,机组出水口与左边墙及右边墙连接处存在2处疑似淤积。为探测尾水池淤积情况,采用水下机器人进行重点探查,成果见图8。



(a) 淤积①水下图形



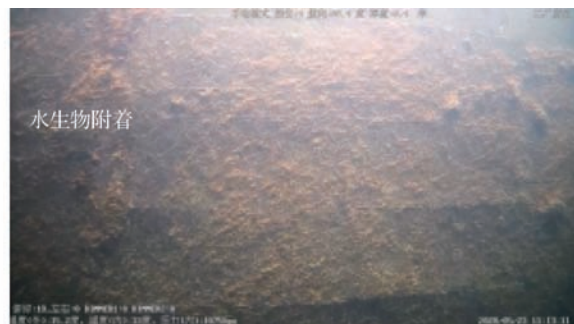
(b) 淤积②水下图形

图8 尾水池淤积图形

从图8可知,新机组尾水池底部存在局部淤积,淤积①比淤积②更明显,淤积①处存在混凝土块状物体,但淤积整体程度较轻,基本不会对发电尾水造成影响。

3.2.2 左右边墙结构性态

通过分析多波束检测结果,未发现左右边墙有明显的破损、漏筋等结构异常;机器人水下探查左右边墙水下摄像成果见图9和图10。



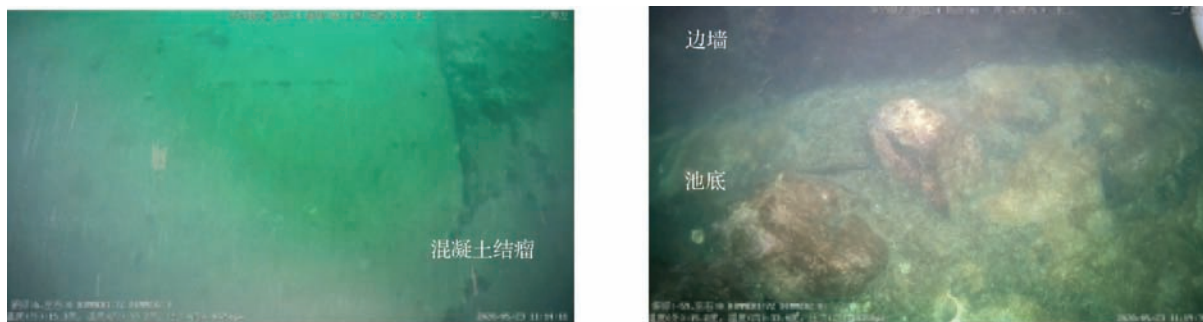


图9 左边墙水下摄像成果

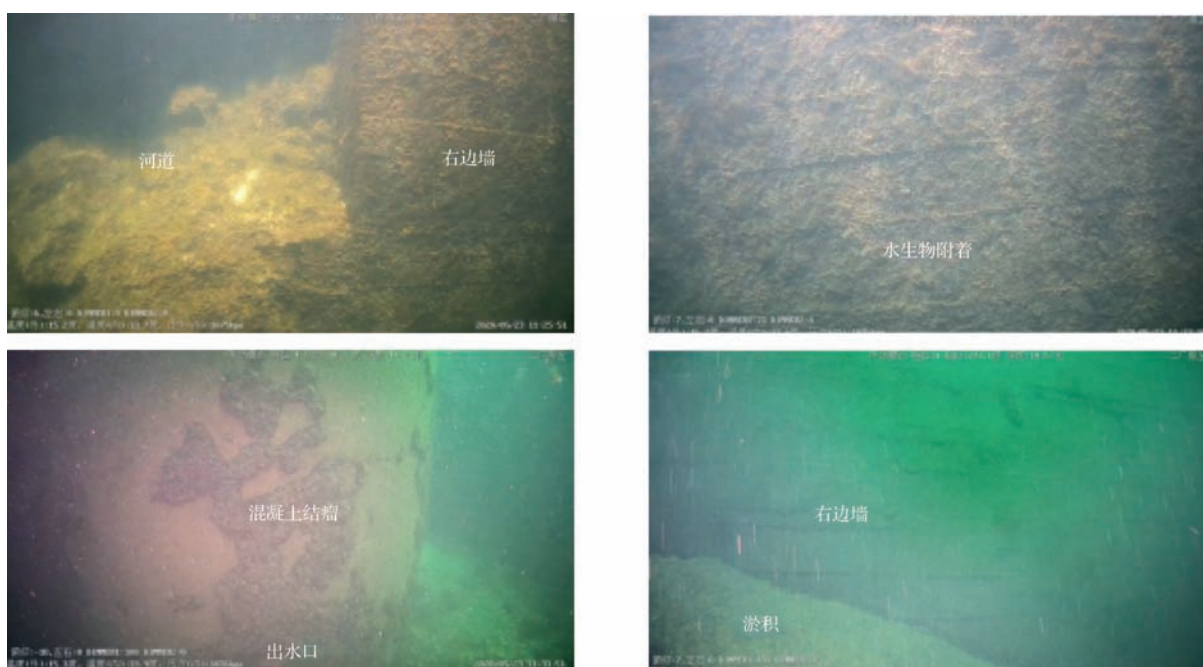


图10 右边墙水下摄像成果

从图9和图10可知,左右边墙结构完整,混凝土表明无明显的缺损、裂缝异常;水面附近墙体表面附着有水生物;墙体表面存在少量的麻面现象,并有少量混凝土结瘤附着在墙体表面;左边墙底板局部淘蚀,石头外露;右边墙底板存在淤积。综上所述,新机组尾水池左右边墙局部存在水生物附着、墙面麻面结瘤、底板淘蚀或淤积等问题,但隐患整体程度较轻,基本不会对水工结构造成影响。

4 结 语

多波束探测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。将多波束探测技术和水下机器人引入到乌江渡水电站新建机组尾水池中,实施联合无损检测,有效采集到发电尾水池影响范围内河床、左右边墙的现状地形点云数据,经软件分析获得典型测线地貌图。并结合水下机器人拍摄图像资料,对底板淤积、左右边墙结构性状进行了定性分析,可为电站后期发电运行策略制定和安全隐患排查提供翔实资料依据。多波束探测技术结合水下机器人,能全面清晰绘制水下地形,并对冲刷区域淘蚀范围及水工结构性态进行准确定性和定量判断,可为类似水下隐蔽工程全面精确安全检测提供可靠技术支持。▲ (下转第2页)

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.06.03

垣曲抽水蓄能电站碱性骨料料源 比选的研究

付 斌 景鹏云

(山西垣曲抽水蓄能有限公司, 山西 垣曲 043700)

【摘 要】 为合理确定山西垣曲抽水蓄能电站碱性骨料料源地, 根据电站的工程特点, 针对碱性骨料料源稀缺的不利因素, 在料源地比选过程中, 从开采环境、料源质量、交通运输、征地移民、开采投资等多方面进行技术、经济综合分析, 择优确定碱性骨料料源地, 解决了开采过程中周边环境的制约问题, 做到了料源优化, 实现了经济效益和社会效益相统一。

【关键词】 抽水蓄能电站; 碱性骨料; 沥青混凝土; 优化比选

中图分类号: TV743

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-008-07

Study on Alkali Aggregate Source Comparison and Selection of Yuanqu Pumped Storage Power Station

FU Bin, JING Pengyun

(Shanxi Yuanqu Pumped Storage Co., Ltd., Yuanqu 043700, China)

Abstract: Technical and economic comprehensive analysis is conducted from the mining environment, material source quality, transportation, land expropriation and resettlement, mining investment and other aspects for reasonable determining alkaline aggregate material source pool of Shanxi Yuanqu Pumped Storage Power Station according to the project characteristics of the power station aiming at the disadvantageous factors of scarce alkali aggregate material sources during material source comparison. The alkaline aggregate material source region is optimally determined. The restriction problem of surrounding environment in the mining process is solved, thereby optimizing material source, and realizing the unification of economic benefit and social benefit.

Key words: pumped storage power station; alkaline aggregate; asphalt concrete; optimization comparison

抽水蓄能电站主要由上水库、输水发电系统、地下厂房系统、下水库等组成, 其中上水库主要功能为将从下水库泵送的水进行储存, 相当于储存了电能,

因此对上水库库盆防渗标准要求更高。沥青混凝土对骨料特性有很高的要求, 已有工程应用的实践表明, 酸性石料与沥青的黏结力较差, 一般抗剥离等级达不

收稿日期: 2022-05-13

作者简介: 付斌 (1988—), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利水电工程施工管理工作。

到要求,因而沥青混合料的强度达不到要求。沥青与碱性石料的黏结力要好于酸性石料。经调查,国网新源控股有限公司下属 60 余家抽水蓄能电站上水库普遍采用沥青混凝土防渗,且全部电站沥青混凝土均采用以灰岩、白云岩等碱性岩石为主的骨料^[1]。

1 工程概况

山西垣曲抽水蓄能电站,上水库库盆采用沥青混凝土筒式面板防渗,面板坡比 1:1.75,沥青混凝土整平胶结层厚 8cm,防渗层厚 10cm,表面采用 2mm 厚的沥青玛蹄脂封闭,所需沥青混凝土工程量约 6.28 万 m^3 ,需要生产沥青混凝土成品骨料约 14.68 万 t,所需毛料约 17.46 万 t。在预可研阶段,中水东北勘测设计院对电站周边开展碱性骨料场普查工作,经普查,该区域灰岩较少,均为零星分布,随着普查力度不断加大,最后确定以前斜料场和乐尧料场作为料源地进行方案比选。根据土石方平衡计算,骨料设计开采需要量为 7.56 万 m^3 (自然方),考虑 1.5 倍的需求量,规划开采需要量为 11.34 万 m^3 (自然方)^[2]。为确定碱性骨料料源地,重点对前斜料场和乐尧料场从开采规划条件、储量对比评价、岩石物理指标、征地移民、施工期环境条件、经济投资等方面进行多角度、深层次分析比较。

2 对外交通条件

结合工程区附近公路现状及大宗外来物资来源情况,公路对外交通有 3 条线路可供选择:

线路一:垣曲高速收费站→长直乡→东南庄→上下库连接公路(简称北线)。

线路二:垣曲高速收费站→寨里村→前斜→关家沟→上下库连接公路(简称中线)。

线路三:垣曲高速收费站→寨里村→前斜→清水河桥→下库左坝头(简称南线)。

可研阶段,从工程投资、建设工期、交通条件、与场内交通衔接及与地方规划相适应等 5 方面,对 3

条对外交通线路进行了综合比较,最终选择北线为对外交通线路。经此线路,前斜料场距离上水库 54km;乐尧料场距离上水库 36km,运距较近(见图 1)。

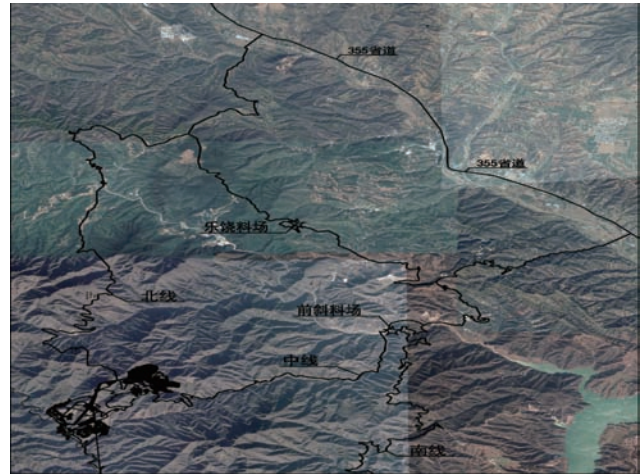


图 1 碱性骨料料场分布

3 料场开采规划

3.1 前斜料场开采规划

前斜料场规划开采底高程为 340m,设计开采底高程为 360m,顶部开采高程为 440m,规划开采深度为 100m,覆盖层开挖坡比为 1:1.5,弱风化开挖坡比为 1:0.5,微风化开挖坡比为 1:0.3,每 20m 设置一级 2m 宽马道,规划开采面积 1.12 万 m^2 ,剥离量 8.66 万 m^3 。

前斜料场场内需新建临时道路 1.125km,临时公路按 4 级公路标准设计,路基宽 7.5m,采用砂石路面。骨料开采运输总运距约 54km,其中部分道路狭窄、破损严重,部分路段不具备大型车辆运输条件,需对约 25km 的路段进行重新修复扩建,整体开采运输条件较差。

料场开采后需对设计开采底高程 360m 以上边坡进行防护,主要防护措施:料场边坡采用喷混凝土防护,喷混凝土厚 10cm;料场边坡较破碎范围内采用锚杆($L=3\text{m}$, $\phi 22\text{mm}$)支护,锚杆间、排距 1.5m,梅花形布置,锚杆入岩深度 2.75m,局部挂钢筋网,

网格 20cm×20cm，钢筋直径 8mm；距离料场开采边线外 5m 处布置浆砌石截水沟，净尺寸 1m×1m（宽×深），浆砌石厚 0.5m。料场防护工程量见表 1。

表 1 前斜料场防护工程量

编号	项 目	单位	数量	备 注
1	喷混凝土	m ³	764	C20，10cm 厚
2	锚 杆	根	2265	L = 3m， ϕ 22mm
3	钢筋网	t	14	直径 8mm 网格 20cm×20cm
4	土石方开挖	m ³	970	截水沟
5	浆砌石	m ³	647	截水沟

3.2 乐尧料场开采规划

乐尧料场规划开采底高程为 690m，设计开采底高程为 702m，顶部开采高程为 758m，规划开采深度为 68m，弱风化开挖坡比为 1:0.3，剥离量 5.28 万 m³，规划开采面积 0.62 万 m²。

乐尧料场开采条件相对较好，料场附近有公路经过，距离选定的对外交通公路较近，为 7km，路况较好，至上水库骨料加工厂运距为 36km。料场开采需新建 3 条临时公路，长度各为 140m、500m 和 150m，分别连接料场 730m 高程、710m 高程和 690m 高程。料场临时公路按 4 级公路标准设计，路总长 0.79km，路基宽 7.5m，采用砂石路面。

料场开采后需对设计开采底高程 702m 以上边坡进行防护，主要防护措施如下：料场边坡采用喷混凝土防护，喷混凝土厚 10cm；料场边坡较破碎范围内采用锚杆（L = 3m， ϕ 22mm）支护，锚杆间排距 1.5m，梅花形布置，锚杆入岩深度 2.75m，局部挂钢筋网，网格 20cm×20cm，钢筋直径 8mm；距离料场开采边线外 5m 处布置浆砌石截水沟，净尺寸 1m×1m（宽×深），浆砌石厚 0.5m。料场防护工程量见表 2。

表 2 乐尧料场防护工程量

编号	项 目	单位	数量	备 注
1	喷混凝土	m ³	713	C20，10cm 厚
2	锚 杆	根	2112	L = 3m， ϕ 22mm
3	钢筋网	t	13	直径 8mm 网格 20cm×20cm
4	土石方开挖	m ³	610	截水沟
5	浆砌石	m ³	407	截水沟

经对比分析，乐尧料场运距较近，相对于前斜料场节省运距约 18km，路况相对较好，临时道路的新建及现有道路的扩建与维护距离均更短，同时料场防护工程量更少，故乐尧料场整体开采运输条件相对较好。

4 料场储量评价

经实地测量勘察，乐尧料场长约 100m，宽约 70m，产地面积约 7000m²，开采底面高程 680m，开挖坡比 1:0.3，剥离层厚度平均 7.7m；前斜料场长约 82m，宽约 68m，产地面积约 5500m²，开采底面高程 301m，开挖坡比 1:0.3，剥离层厚度平均 12.0m。根据钻孔取样分析，两者灰岩溶蚀不发育，结构面较发育，综合考虑 10% 的溶蚀、溶洞及断层弃料^[34]，两料场综合地质情况详见图 2 和图 3。因两料场地形起伏较大、剥离层和无用层厚度不均匀，结合《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL 251—2015）要求，利用平行断面法进行储量计算，结合两料场规划，分别在乐尧和前斜料场取 3、4 个平行断面（见图 2 和图 3），算出断面有用层和无用层面积，结合断面间平均距离，算出有用层和无用层储量^[5]，进行储量评价。两料场储量计算成果见表 3。

经比较，两料场储量均满足设计需用量 1.5 倍的要求，乐尧料场相较于前斜料场，有用层储量更大，无用层体积更小，综合两料场储量比较，乐尧料场较优。

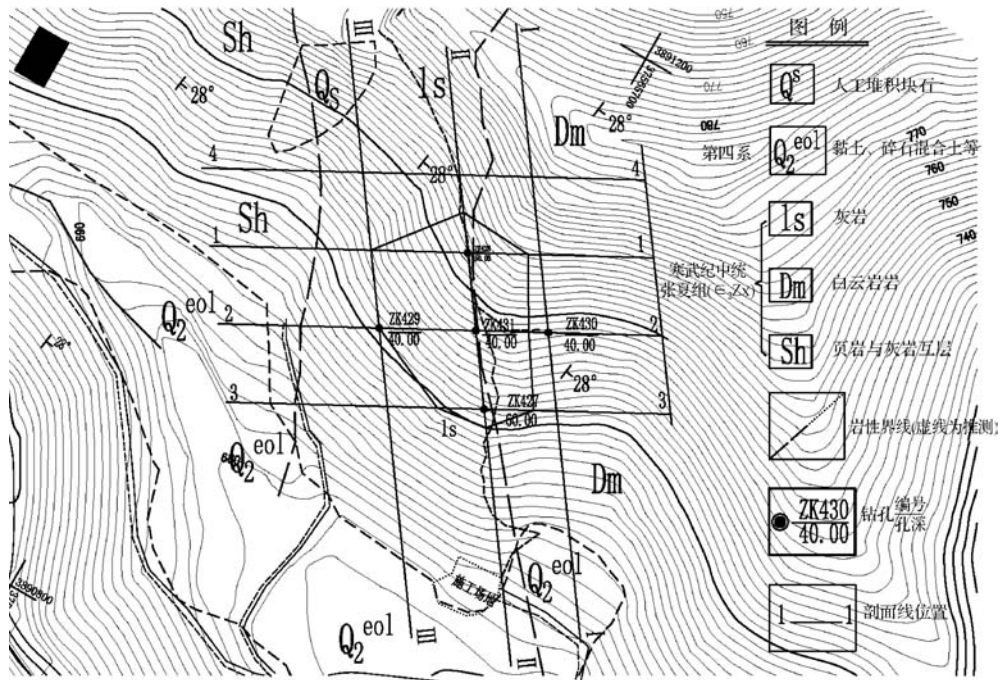


图2 乐尧料场工程地质

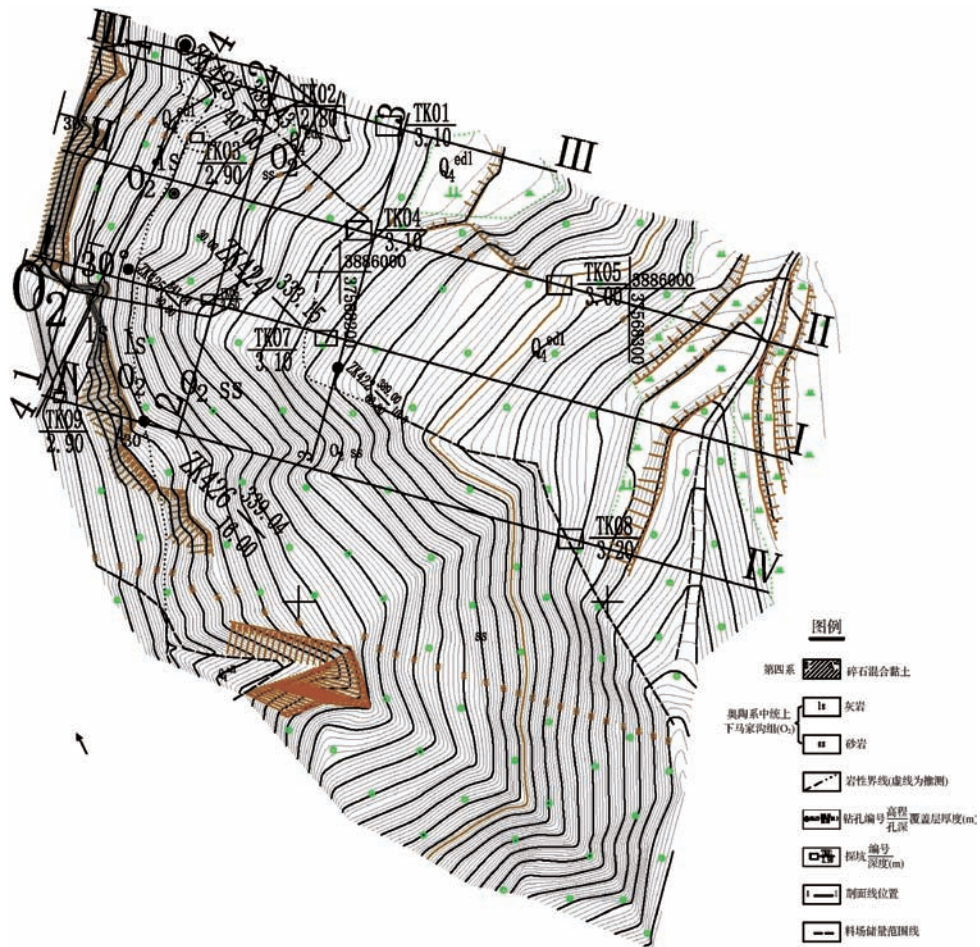


图3 前斜料场工程地质

表 3 平行断面法储量计算成果

名 称	断面编号	断面面积/m ²		两断面平均面积/m ²		两断面间平均 距离/m	无用层体积/ 万 m ³	有用层储量/ 万 m ³
		无用层	有用层	无用层	有用层			
乐尧料场	I - I	631. 92	2556. 82	620. 45	2308. 68	37. 40	2. 32	8. 63
	II - II	608. 98	2060. 55					
	III - III	284. 42	882. 49	446. 70	1471. 52	37. 40	1. 67	5. 50
	合 计		溶蚀、溶洞及断层弃料占 10%			3. 99	14. 14	
						5. 40	12. 72	
前斜料场	IV - IV	1048. 72	998. 54	947. 5	1020. 00	40. 00	3. 79	4. 08
	I - I	846. 28	1041. 46					
	II - II	736. 58	1312. 82	791. 43	1177. 14	35. 00	2. 77	4. 12
		III - III	663. 42	1430. 04	700. 00	1371. 43	35. 00	2. 45
	合 计		溶蚀、溶洞及断层弃料占 10%			9. 01	13. 00	
						10. 32	11. 70	

5 岩石试验结果及质量技术指标评价

为查明料场岩石物理力学性质，分别在前斜和乐尧料场各钻孔 5 处，分别进尺 186m 和 241m，结合骨料需求量，按照《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL 251—2015）要求，各取 6 组磨片样进行岩石命名，各取 5 组岩样，按照《水利水电工程岩石试验规程》（SL/T 264—2020）等多种规范规定，进行室内岩体物理力学性质试验^[6-8]，并在此基础上，按照《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》（SL 251—2015）中对人工骨料的要求，进行质量技术指标评价。试验成果详见表 4，灰岩原岩质量技术指标评价见表 5。

表 4 物理力学指标对比

物理力学指标		前斜料场		乐尧料场	
		范围值	平均值	范围值	平均值
密度/ (g/cm ³)	颗粒密度	2. 73 ~ 2. 77	2. 75	2. 77 ~ 2. 81	2. 78
	天然密度	2. 62 ~ 2. 67	2. 64	2. 72 ~ 2. 78	2. 74
	干密度	2. 61 ~ 2. 66	2. 63	2. 71 ~ 2. 77	2. 73
	饱和密度	2. 63 ~ 2. 68	2. 65	2. 73 ~ 2. 79	2. 75
孔隙率/%		2. 93 ~ 4. 73	4. 23	1. 42 ~ 2. 52	1. 94
紧密度/%		95. 27 ~ 97. 08	95. 78	97. 48 ~ 98. 58	98. 06
吸水率/ %	自然吸水率	0. 23 ~ 0. 67	0. 4	0. 11 ~ 0. 33	0. 25
	饱和吸水率	0. 25 ~ 0. 7	0. 42	0. 16 ~ 0. 39	0. 3

续表

物理力学指标		前斜料场		乐尧料场	
		范围值	平均值	范围值	平均值
单轴抗压强度/MPa		55 ~ 80	69	78 ~ 106	91
抗拉强度/MPa	烘干	62 ~ 92	75	63 ~ 84	72
	饱和	55 ~ 80	69	49 ~ 73	60
	冻后	2. 6 ~ 3. 1	2. 9	3. 5 ~ 6. 0	4. 5
冻融损失率/%		0. 02 ~ 0. 06	0. 04	0	0
冻融系数/%		0. 68 ~ 0. 88	0. 78	0. 71 ~ 0. 85	0. 79
软化系数		0. 67 ~ 0. 93	0. 79	0. 32 ~ 0. 41	0. 38
弹性模量/GPa		22. 7 ~ 36. 9	29. 2	29. 7 ~ 34. 3	31. 7
泊松比		0. 20 ~ 0. 23	0. 22	0. 20 ~ 0. 23	0. 22
硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃)/%		0. 23 ~ 0. 26	0. 24	0. 11 ~ 0. 13	0. 12

表 5 原岩质量技术指标评价对比

名称	项 目	质量技术指标标准	试验范围值	试验平均值	评价
前斜料场	饱和抗压强度/MPa	>40	55 ~ 80	69	合格
	冻融损失率/%	<1	0. 02 ~ 0. 06	0. 04	合格
	硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃)/%	<0. 5	0. 32 ~ 0. 41	0. 38	合格
	乐尧料场				
乐尧料场	饱和抗压强度/MPa	>40	78 ~ 106	91	合格
	冻融损失率/%	<1	0	0	合格
	硫酸盐及硫化物含量 (换算成 SO ₃)/%	<0. 5	0. 11 ~ 0. 13	0. 12	合格

试验成果表明：前斜料场鲕状灰岩饱和单轴抗压强度试验值 55 ~ 80MPa，平均值为 69MPa，为坚硬岩；软化系数 0.67 ~ 0.93，平均值为 0.79，不易软化；吸水率平均值为 0.40%，吸水率低。乐尧料场鲕状灰岩饱和单轴抗压强度试验值 78 ~ 106MPa，平均值为 91MPa，为坚硬岩；软化系数 0.32 ~ 0.41，平均值为 0.38，不易软化；吸水率平均值为 0.25%，吸水率低。经比较，两料场岩石均满足 SL 251—2015 中表观密度大于 2.60g/cm³、吸水率小于 2.0%、饱和抗压强度大于 40MPa 等主要物理力学指标要求，就具体指标数据而言，乐尧料场具有单轴抗压强度更高、吸水率更小、冻融损失率更小等优点，整体优于前斜料场。

6 对周边环境条件的影响

前斜料场位于垣曲县解峪乡前斜村板涧河右岸，紧邻村庄，考虑到施工期机械设备的大量进场，施工过程中骨料爆破开采、渣料运输会产生大量烟尘、噪声，严重影响周边居民正常生产生活，引发村民阻工、扰工等聚众性影响工程施工的风险增加，同时由于紧邻河道，环保水保形势严峻，外在不可控因素增加。

乐尧料场位于垣曲县解峪乡乐尧村西北侧，远离

居民生活区域，料场征地范围内无自然保护区、水源保护区等制约工程建设的环保问题；乐尧料场为临时占地，工程结束进行植被恢复与重建，区内植物种类均为山西省内分布较广的物种，资源丰富且无珍稀物种，不会造成生物多样性降低和物种消失，施工期，料场的开采可能会造成水土的流失、生态的破坏^[9]，但对环境的影响是暂时的、可逆的，在采取一定的措施后，可以恢复至原有状态，从环境角度来说，影响轻微，是可以接受的。

前斜料场紧邻村庄，涉及征地移民 20 人，实施难度较大。乐尧料场施工区征地主要包括临时道路、弃渣场和料场，临时道路按边坡开口线及回填坡脚线外 1 ~ 2m 控制，其他场地按边坡开口和回填边线外 20m 控制，并形成封闭的施工征地区，不涉及居民搬迁。

7 经济投资

在上述对比的基础上，充分考虑工程建设期料场开挖工程量、防护工程量、骨料的运输费用、临时道路的修建及维护费用、征地移民费用等方面，并参考当地物价水平，对两料场直接费用进行全面预估比较^[10]（见表 6）。

表 6 直接费用对比

编 号	项 目	单 位	前 斜 料 场			乐 尧 料 场		
			数 量	单价/元	合计/万元	数 量	单价/元	合计/万元
1	料场无用层清除				342.45			182.52
1.1	覆盖层剥离	m ³	6000	12.73	7.64	8200	9.97	8.18
1.2	强风化开挖	m ³	80600	41.54	334.81	44600	39.09	174.34
2	骨料原料运输				798.69			547.11
2.1	原料运输	m ³	115668	69.05	798.69	115668	47.30	547.11
3	料场防护				138.14			121.78
3.1	截水沟土石方开挖	m ³	970	45.64	4.43	610	45.64	2.78
3.2	喷混凝土厚 10cmC20	m ³	764	886.69	67.74	713	886.69	63.22
3.3	φ8 钢筋网	t	14	6498.44	9.10	13	6498.44	8.45

续表

编 号	项 目	单 位	前 斜 料 场			乐 尧 料 场		
			数 量	单价/元	合计/万元	数 量	单价/元	合计/万元
3.4	φ22 锚杆 L=3.0m, 入岩 2.75m	根	2265	168.24	38.11	2112	168.24	35.53
3.5	浆砌石截水沟	m ³	647	290.00	18.76	407	290.00	11.80
4	施工临时道路				950.00			456.00
4.1	新建临时道路 (泥结碎石路面 7.5/6.5m)	km	1.125	4000000.00	450.00	0.79	4000000.00	316.00
4.2	现有道路扩建及维护	km	25	200000.00	500.00	7.00	200000.00	140.00
5	料场征地移民及环保				175.96			97.32
5.1	耕 地	亩	89.02	8744.00	77.84	0	8744.00	0
5.2	园 地	亩	0	8744.00	0	6.46	8744.00	5.65
5.3	林 地	亩	82.29	11924.00	98.12	76.88	11924.00	91.67
6	合 计				2405.24			1404.73

从两料场直接投资进行比较,乐尧料场较前斜料场节省投资 1000.5 万元。

8 结 论

针对料源地的选择,本文以骨料开采运输条件、储量、岩石质量、周边环境、经济投资为重要关注点,多方面比较,得出以下结论:乐尧料场开采运输条件较好,运距较近,相对于前斜料场节省运距约 18km,路况相对较好,临时道路的新建及现有道路的扩建与维护距离均更短,同时料场防护工程量更少;两料场储量以及岩石质量技术指标均满足现场需求和规范要求,相较而言,乐尧料场有用层储量更大,无用层体积更小,试验数据技术指标更优;乐尧料场对周边环境的影响更小,不涉及征地移民;乐尧料场直接费用更少,较前斜料场节省投资。综合以上比较,选取乐尧料场为山西垣曲抽水蓄能电站碱性骨料料源地。▲

参考文献

[1] 黄振伟,雷明,张玮鹏.西藏拉洛水利枢纽沥青混凝土骨料质量评价及料场比选[J].长江学院报,2016(11):149-153.

[2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.水电工程可行性研究报告编制规程:DL/T 5020—2007[S].北京:中国电力出版社,2007.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.水力发电工程地质勘察规范:GB 50827—2016[S].北京:中国计划出版社,2016.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国质量监督检验检疫总局.水利水电工程地质勘察规范:GB 50487—2008[S].北京:中国计划出版社,2008.

[5] 中华人民共和国水利部.水利水电工程天然建筑材料勘察规程:SL 251—2015[S].北京:中国水利水电出版社,2015.

[6] 中华人民共和国国土资源部.煤和岩石物理力学性质测定方法:GB/T 23561.10—2010[S].北京:中国标准出版社出版,2010.

[7] 中华人民共和国水利部.水利水电工程岩石试验规程:SL/T 264—2020[S].北京:中国水利水电出版,2010.

[8] 中华人民共和国国土资源部.岩石物理力学性质试验规程:DZ/T 0276.18—2015[S].北京:中国标准出版社出版,2015.

[9] 方华,欧阳育林,林建平,等.采石场生态整治的技术与行政措施——以深圳市为例[J].水土保持研究,2004,11(1):3.

[10] 张安.新疆奎屯河引水工程将军庙水利枢纽料场比选[J].水利规划与设计,2020(9):112-116.

临泽县水电站增效扩容改造技术研究

李开月

(临泽县水务局, 甘肃 临泽 734200)

【摘要】 临泽县现有小水电站2座, 均建成于1995年, 受当时技术经济条件制约, 经过20多年运行, 现水电站运行工况发生了重大变化, 出现了水能不能充分利用、机组设备技术落后、水轮机老化磨蚀、运行效率严重下降等问题。文章论证了梨西1号水电站、梨西2号水电站增效扩容改造可行性并进行了效益分析, 结果表明: 水电站增效扩容改造具有技术成熟可靠、投资费用少、工程造价低的优势。增效扩容改造, 对充分利用水能资源, 增加发电供给, 提高电站效益, 加快电气化县建设等方面具有积极的促进作用。

【关键词】 水电站; 增效扩容改造; 技术研究

中图分类号: TV737

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-015-05

Study on Transformation Technology of Enhancing Efficiency and Expanding Capacity of Hydropower Station in Linze County

LI Kaiyue

(Linze County Water Affairs Bureau, Linze 734200, China)

Abstract: There are two small hydropower stations in Linze County, which were built in 1995. Restricted by the technical and economic conditions at that time, the operating conditions of the hydropower stations have been changed significantly after operation for 20 years, and there are some problems, namely the water energy can not be fully utilized, the equipment of the unit is backward in technology, the turbine is aging and abraded, and the operating efficiency is seriously declined. The feasibility of efficiency enhancing and capacity expansion transformation of Lixi No. 1 Hydropower Station and Lixi No. 2 Hydropower Station is demonstrated, and the benefits are analyzed in the paper. The results show that the efficiency enhancing and capacity expansion transformation has the advantages of mature and reliable technology, low investment cost and low project cost. The efficiency enhancing and capacity expansion transformation has active promotion role in the aspects of making full use of hydropower resources, increasing power supply, improving the efficiency of power stations, speeding up the construction of electrified counties, etc.

Key words: hydropower station; efficiency enhancing and capacity expansion transformation; technology research

收稿日期: 2022-04-25

作者简介: 李开月 (1968—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利水电工程建设及运行管理、防汛抗旱等工作。

1 基本情况

梨园河属内陆河黑河水系,发源于祁连山北麓,是黑河最大支流,干流全长 169km,多年平均径流量 2.43 亿 m^3 ,流经肃南县、临泽县进入黑河。上游肃南县位于祁连山区,总人口只有 3.2 万,为牧业县,用水量较少。梨园河经临泽县鸚鵡嘴、红山湾两座中型水库调节后,通过梨园河引水枢纽引入梨园河东、西干渠灌溉。其中梨西干渠设计引水流量 $8.5\text{m}^3/\text{s}$,加大引水流量 $12.5\text{m}^3/\text{s}$,承担着梨园河灌区 12400hm^2 农田灌溉任务,1995 年临泽县利用梨西干渠纵坡大 ($1/50 \sim 1/70$)、引水流量相对稳定的优势,在梨西干渠上建设了梨西 1 号、2 号水电站,两座水电站首尾串联,利用灌溉水进行发电。

1.1 梨西 1 号水电站

梨西 1 号水电站位于梨园河引水枢纽下游 1km 处,设计引水流量 $8.6\text{m}^3/\text{s}$,设计水头 36m,装机 2500kW ($2 \times 1250\text{kW}$),安装 2 台 HLA551-WJ-79 水轮机,2 台 SFW1250-10/1430 发电机组。设计年发电量 825.05 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,装机年利用小时数 3260h。安装 S9-3150/38.5/6.3 型升压变压器一台,升压至 35kV 输送到梨西 2 号电站与系统联网。

1.2 梨西 2 号水电站

梨西 2 号水电站位于梨西 1 号水电站下游,接梨西 1 号水电站尾水,设计引水流量 $8.6\text{m}^3/\text{s}$,设计水头 23.0m,装机 1600kW ($2 \times 800\text{kW}$),安装 2 台 HLD74-WJ-88 水轮机,2 台 SFW800-14/1430 发电机组。装机年利用小时数 3427h,设计年发电量 500.30 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。安装 S9-2000/38.5, Y/ Δ -11 主变压器一台,通过主变压器升压至 35kV 与电网 II 接。

2 存在的主要问题

2.1 电站设计引水流量偏小

电站建设时,上游只有鸚鵡嘴水库调节,鸚鵡嘴水库总库容 2500 万 m^3 ,调蓄水量有限,梨西干渠年

引水量只有 1.2 亿 m^3 左右,随着灌区事业的发展,2017 年临泽县又建成了红山湾水库,红山湾水库位于鸚鵡嘴水库下游 22km、梨园河引水枢纽上游 1.2km,总库容 1700 万 m^3 ,两座水库联合调度,调蓄能力大大增强,现状梨西干渠年灌溉引水量已增加至 1.5 亿 m^3 左右,灌溉期 5—11 月,梨西干渠引水流量在 $2 \sim 11\text{m}^3/\text{s}$ 之间,平均引水流量 $8.26\text{m}^3/\text{s}$,尤其在 6—8 月汛期,流量超过 $8.6\text{m}^3/\text{s}$ 的天数多于 90 天,占年发电天数的 43%,每年弃水约 4000 万 m^3 ,水资源不能被充分利用。同时,通过小东沟河河道治理,打通了梨西干渠弃水入河通道,汛期及非灌溉期的发电弃水可绕道小东沟河泄入黑河,为梨西干渠汛期和非灌溉期引水发电奠定了基础。

2.2 水轮机老化磨蚀

电站建成初期,机组效率均能达到设计要求,经过 20 多年运行,机组转轮、叶片、导叶轴、主轴密封等部件磨损严重,线圈老化,绝缘能力降低,在额定工况下,梨西 1 号电站年发电量只有 570 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,梨西 2 号电站年发电量只有 350 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$,只能达到设计发电量的 70% 左右,运行效率严重下降。

2.3 机组设备技术落后

随着设备制造技术的更新换代,原机组设备工艺陈旧落后,密封不严,漏水严重,机组故障多发,维修零部件短缺,运行期间频繁停机检修,影响发电工作的正常进行。

3 改造的必要性

临泽县地处西北内陆,是典型的灌溉农业县,工业经济薄弱,利用水能资源优势,发展水电产业是缓解用电矛盾、改善生态环境、推动新农村建设、促进县域经济发展的有效举措。

3.1 合理利用水能资源的需要

随着运行工况变化,原电站设计引水流量及装机容量偏小,每年约有 4000 万 m^3 弃水,水能不能被充分利用。电站增效扩容改造可充分利用水能资源,提

高水能利用率,增加发电量,提高电站经济效益;调整农村能源结构,缓解农村用电矛盾,为农户提供更充足电量,改善农民生产生活质量,促进生态环境保护和改善,有利于推动新农村建设,满足当地工农业发展对电力的需求,促进社会、经济等各项事业的发展。

3.2 恢复和提高机组综合效率的需要

电站经 20 多年运行,设备老化、磨损严重,在额定工况下,年发电量只能达到设计发电量的 70% 左右。通过增效扩容改造,应用先进适用技术,可增加水电站装机容量,减少弃水和水头浪费,提升电站的自动化和信息化水平,达到无人值守或少人值守目标,实现自动化运行和减员增效,提高安全和技术性能,在额定工况下,将水轮发电机组的综合效率由现在的 70% 左右提高到 90% 以上,在大幅增加发电量的同时,提高机组稳定安全运行水平和综合效率。

3.3 促进节能减排

临泽县地处西部地区,生态基础脆弱,经济实力不强,采用现代化技术改造电站,最大化利用水能资源,增加绿色清洁能源,增加农村用电供给,减少柴、煤等传统能源消耗,可保护天然林,增加森林覆盖率,减少水土流失,改善农民生产生活条件,壮大农村水电规模,有效减少污染性能源消耗,为碳达峰、碳中和做出贡献。

3.4 消除安全隐患

采用先进适用技术对电站增效扩容,可消除安全隐患,增强农村水电为“三农”服务能力,改善农村生产生活条件,拉动农村市场和其他行业发展,促进农村消费,提高农村生活水平,推动新农村建设,助力农村和谐发展。增效扩容符合河流规划和水能资源开发规划,兼顾全县生产生活用水、环境保护和生态建设。

4 改造参数确定

经分析,正常情况下,现状梨西干渠引水流量被

电站机组利用后还有大量未被利用的水能资源,因此对电站进行增容改造能充分利用水能资源,现状引水流量可满足增容改造的要求。

4.1 设计引水流量

梨西 1 号、2 号水电站是利用梨西干渠灌溉水发电的引水式水电站,虽然上游有鸚鵡嘴、红山湾水库对径流进行调节,但电站来水完全依赖于灌溉用水,本身无调节能力。根据对梨西干渠逐日平均引水流量的统计分析,电站流量变化范围较大,其变化范围如下:

- 2.0 ~ 4.0 m³/s, 年出现天数 15 天, 约 0.5 月;
- 4.0 ~ 6.0 m³/s, 年出现天数 48 天, 约 1.6 月;
- 6.0 ~ 8.0 m³/s, 年出现天数 63 天, 约 2.1 月;
- 8.0 ~ 11.0 m³/s, 年出现天数 94 天, 约 3.1 月。

梨西干渠引水流量 8.0 ~ 11.0 m³/s 出现天数 94 天, 占总引水天数的 42%。根据勘测成果及引水方案,确定梨西 1 号、2 号水电站设计引水流量为 10.8 m³/s。

4.2 设计水头

梨西 1 号、2 号两座水电站首尾串联,原设计发电引水流量 8.6 m³/s,为满足增容改造水头、流量要求,需对引水渠、前池和尾水渠进行加高加固,以满足设计流量 10.8 m³/s 要求。梨西 1 号电站加高引水渠 0.608 km,加高 0 ~ 0.562 m,压力前池加高 0.216 m;梨西 2 号电站加高引水渠 1.15 km,加高 1 m,加高尾水渠 727.35 m,压力前池加高 1 m。根据加高后电站的前池及尾水水位关系,计算得电站水头参数如下:

梨西 1 号电站前池正常水位 1662.876 m,前池最小水位 1662.276 m,正常尾水位 1624.601 m,最低尾水位 1623.755 m。

最大净水头: $H_{\max} = 38.80 \text{ m}$;

最小净水头: $H_{\min} = 37.04 \text{ m}$;

加权平均净水头: $H_{\text{加权}} = 37.92 \text{ m}$;

设计水头: $H_p = 37.5 \text{ m}$ 。

梨西 2 号电站前池正常水位 1591.20 m,前池最

小水位 1590.44m, 正常尾水位 1565.00m, 最低尾水位 1564.23m。

最大水头: $H_{\max} = 25.86\text{m}$;

最小水头: $H_{\min} = 24.95\text{m}$;

加权平均水头: $H_{\text{加权}} = 25.8\text{m}$;

设计水头: $H_p = 25\text{m}$ 。

4.3 水能计算

电站为引水式水电站, 出力计算公式为

$$N_{\text{总}} = AQH\eta_{\text{水}}\eta_{\text{发}}$$

式中 $N_{\text{总}}$ ——装机容量, kW;

A ——电站综合出力系数, 取 9.81;

Q ——发电引用流量, m^3/s ;

H ——电站净水头, m;

$\eta_{\text{水}}$ ——水轮机效率, 取 0.92;

$\eta_{\text{发}}$ ——发电机效率, 取 0.96。

根据《小水电水能设计规程》(SL 76—2009) 和《小型水力发电站设计规范》(GB 50071—2014) 规定, 按照《农村水电增效扩容改造项目机电设备选用指导意见》, 并依据灌溉实际情况和电站 2000—2020 年放水流量及电站运行测定的水头, 计算总装机容量:

梨西 1 号电站: $N_{\text{总}} = 9.81 \times 37.50 \times 10.8 \times 0.2 \times 0.96 = 3508\text{kW}$;

梨西 2 号电站: $N_{\text{总}} = 9.81 \times 25.0 \times 10.8 \times 0.92 \times 0.96 = 2339\text{kW}$ 。

4.4 装机容量确定

根据电站现有机组和水能测算, 选定梨西 1 号水电站增容改造装机容量为 3500kW ($2 \times 1750\text{kW}$), 梨西 2 号水电站增容改造装机容量为 2300kW ($2 \times 1150\text{kW}$)。

5 改造路径

加高引水渠、前池、尾水渠, 满足 $10.8\text{m}^3/\text{s}$ 引水流量和设计水头要求, 在不改变原机组流道尺寸和结构的条件下, 更新水轮机、发电机、调速器和励磁系统, 改造通信、控制系统、继电保护、主变、输电

线路等变配电设备、保护设备, 增大水轮机出力, 大幅增加电站装机容量, 提高电站自动化控制水平和运行效益。

5.1 梨西 1 号水电站改造

5.1.1 水轮机改造

将电站原有 2 台 HLA551-WJ-79 水轮机组拆除, 安装型号为 HLA551-WJ-95 的水轮机 2 台, 转轮直径由 790mm 加大到 950mm, 单机设计引水流量增至 $5.4\text{m}^3/\text{s}$, 2 台引水流量增大到 $10.8\text{m}^3/\text{s}$ 。水轮机主要参数如下:

水轮机型号: HLA551-WJ-95;

设计水头: $H_p = 39\text{m}$;

机组最大过水流量: $Q_{\max} = 11.8\text{m}^3/\text{s}$;

设计流量: $Q_p = 2 \times 5.4\text{m}^3/\text{s} = 1.08\text{m}^3/\text{s}$;

电站最小引水流量: $Q_{\min} = 2.0\text{m}^3/\text{s}$;

额定转速: $n = 600\text{r}/\text{min}$;

水轮机额定出力: 1750kW;

装置形式: 卧式两支点结构。

5.1.2 发电机改造

将电站原有 2 台 SFW1250-10/1430 发电机组拆除, 安装型号为 SFWE-K1750-14/1730 的 2 台发电机, 单机额定功率由原 1250kW 增加到 1750kW。

5.2 梨西 2 号水电站改造

5.2.1 水轮机改造

将电站原有 2 台 HLD74-WJ-88 水轮机组拆除, 安装型号为 HLA551-WJ-95 的水轮机 2 台, 转轮直径由 880mm 加大到 950mm, 单机设计引水流量增至 $5.4\text{m}^3/\text{s}$, 两台设计引水量增大到 $10.8\text{m}^3/\text{s}$ 。水轮机主要参数如下:

水轮机型号: HLA551-WJ-95;

设计水头: $H_p = 25\text{m}$;

机组最大过水流量: $Q_{\max} = 11.8\text{m}^3/\text{s}$;

设计流量: $Q_p = 2 \times 5.4\text{m}^3/\text{s} = 10.8\text{m}^3/\text{s}$;

电站最小引用流量: $Q_{\min} = 2.0\text{m}^3/\text{s}$;

额定转速: $n = 600\text{r}/\text{min}$;

水轮机额定出力: 1205kW;

装置形式: 卧式两支点结构。

5.2.2 发电机改造

拆除电站原有 2 台 SFW 800-14/1430 发电机组, 安装 2 台型号为 SFWE-K1150-14/1730 的发电机, 单机额定功率由 800kW 增到 1150kW。将两座水电站原型号为 YWT-600 的调速器改型为 BWT-1000 调速器, 将两座水电站原型号为 WLC-1000 的励磁装置改型为 PWK250。

5.3 电气改造工程

更换集控部分、机组自动屏、发电保护屏、线路保护屏、同期计量屏、站用交流屏、直流屏、统合屏、动力屏和主变保护等控制保护装置。将梨西 1 号电站型号为 S9-3150/38.5 的主变改型为 S11-4000/38.5, 额定容量由原 3150kVA 增容至 4000kVA, 将梨西 2 号电站型号为 S9-2000/38.5 的主变改型为 S11-3150/38.5, 额定容量由原 2000kVA 增容至 3150kVA, 更新高压电气设备。

5.4 金属结构改造

电站压力管道现为单管单机布置形式, 钢管直径均为 1.3m, 经济流速为 3~5m/s; 本次设计单管过流量 $5.4\text{m}^3/\text{s}$, 经复核计算, 流速为 4.07m/s , 小于 5m/s 的规范允许经济流速, 钢管过流满足流量要求, 故本次压力管道不做改造。

5.6 上网线路改造

改建 35kV 上网线路 13km, 彻底解决电站上网输出问题, 保证电站的正常运行。

6 效益测算

6.1 运行方式

水电站为以灌溉期发电为主的渠道引水式电站, 机组出力由灌溉用水量决定。选定水轮机单机最大流量均为 $5.4\text{m}^3/\text{s}$, 当流量小于 $2\text{m}^3/\text{s}$ 时, 因运行不稳定而停止发电; 流量大于 $2\text{m}^3/\text{s}$ 而小于 $5.4\text{m}^3/\text{s}$ 时, 单机单发; 流量大于 $5.4\text{m}^3/\text{s}$ 时, 2 台机组同时发电。

根据梨西干渠引水现状分析, 电站运行时间从 4 月下旬到 11 月共 210 天。其中, 单机运行时间 48 天, 两台机组共同运行时间 162 天, 其中满发 86 天。机组检修安排在 12 月及次年 4 月前进行, 因机组单机运行时间较短, 一般不宜安排空闲机组检修。

6.2 效益测算

根据选定的机组型号和改造内容, 电站厂用电率取 0.8%, 有效电量系数取 0.90。电站增效扩容总投资 1452.7 万元。其中, 梨西 1 号水电站 890.97 万元, 梨西 2 号水电站 561.73 万元。

6.2.1 梨西 1 号电站

改造后, 梨西 1 号水电站装机容量将由 2500kW 增容至 3500kW, 净增容量 1000kW。年装机利用小时数由 3260h, 变为 3050h, 年平均发电量由 825.05 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加至 1175.05 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 平均每年多发电 350 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

有效电量 = $0.9 \times$ 设计年发电量 = 0.9×1175.05
= 1057.55 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$;

上网电量 = $1057.55 \times (1 - 0.8\%) = 1049.08$ 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

电站有效发电量 1057.55 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 上网电量 1049.08 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 匡算电站改造投资 890.97 万元, 每千瓦投资 2545 元, 电能投资 0.76 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$), 发电成本 0.13 元/($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

6.2.2 梨西 2 号电站

改造后, 梨西 2 号水电站装机容量将由 1600kW 增容至 2300kW, 净增容量 700kW。年装机利用小时数由 3427h 变为 3002h, 年平均发电量由 500.30 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加至 690.21 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 平均每年多发电 189.91 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

有效电量 = $0.9 \times$ 设计年发电量 = $0.9 \times 690.21 =$
621.19 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$;

上网电量 = $621.19 \times (1 - 0.8\%) = 616.22$ 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

电站有效发电量 621.19 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 上网电量 616.22 万 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。匡算电站改造投 (下转第 44 页)

关于雁栖泵站主电机启动过程中电压暂降情况分析

陈永波

(南水北调江苏泵站技术有限公司, 江苏 扬州 225000)

【摘要】 雁栖泵站分别在 10kV 两段母线上先后启动两台主电机, 启动过程中导致线路电压下降, 造成同一母线的站用变压器低压侧断路器因欠电压和延时时长均超过定值而出现跳闸现象, 文章对此现象原因进行了分析, 并提出了解决方案, 此解决思路和设想, 可为其他泵站电气设备运行出现类似情况提供参考。

【关键词】 雁栖泵站; 启动过程; 跳闸

中图分类号: TV675

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-020-06

Voltage Sag Analysis during Main Motor Starting Process in Yanqi Pump Station

CHEN Yongbo

(South-to-North Water Diversion Project Jiangsu Pump Station Technology Co., Ltd., Yangzhou 225000, China)

Abstract: Two main motors are started successively on two 10kV bus bars respectively in Yanqi Pump Station. Voltage sag of the line is caused during starting process. The station transformer low voltage side circuit breaker of the same bus bar suffers from tripping phenomenon since under-voltage and delay time exceeding the fixed value. The cause of the phenomenon is analyzed in the paper. Solutions are proposed. The solutions and ideas can provide reference for similar circumstances of electric equipment operation in other pump stations.

Key words: Yanqi Pump station; starting process; trip

1 工程应用

1.1 工程简介

雁栖泵站是北京市大型泵站, 单机设计流量 $5\text{m}^3/\text{s}$, 泵站设计流量 $10\text{m}^3/\text{s}$, 设计扬程 55.20m, 配备单级双吸卧式离心泵 3 台, 2 用 1 备, 配套 10kV 卧

式异步电动机, 功率 4000kW, 总装机容量 12MW, 主电机采用高压固态软启动装置启动, 两台并联工频运行。泵站 10kV 双回路电源引自某 110kV 变电站不同主变的 10kV 母线, 站内 10kV 系统采取单母线分段接线方式, 设置母联断路器。泵站正常调水运行时, 每段母线分别带载 1 台 10kV 异步电动机和 1 台 10kV

收稿日期: 2022-05-16

作者简介: 陈永波 (1987—), 男, 工程师, 本科, 主要从事水利工程泵站运行维护工作。

变压器等相关设备。

1.2 系统结构

该泵站电力系统主要由 10kV 进线、10kV 母线、3 台 10kV 异步电动机、3 套 10kV 电容器、3 套 10kV 固态软启动器、2 台 10kV 变压器和 2 套 0.4kV 低压开关设备等组成。

泵站 10kV I 段分别为 1 号主电机、2 号主电机、1 号电容器、2 号电容器和 1 号变压器等供电，10kV II 段分别为 2 号主电机、3 号主电机、2 号备用电容器、3 号电容器和 2 号变压器供电。高压一次系统见图 1。

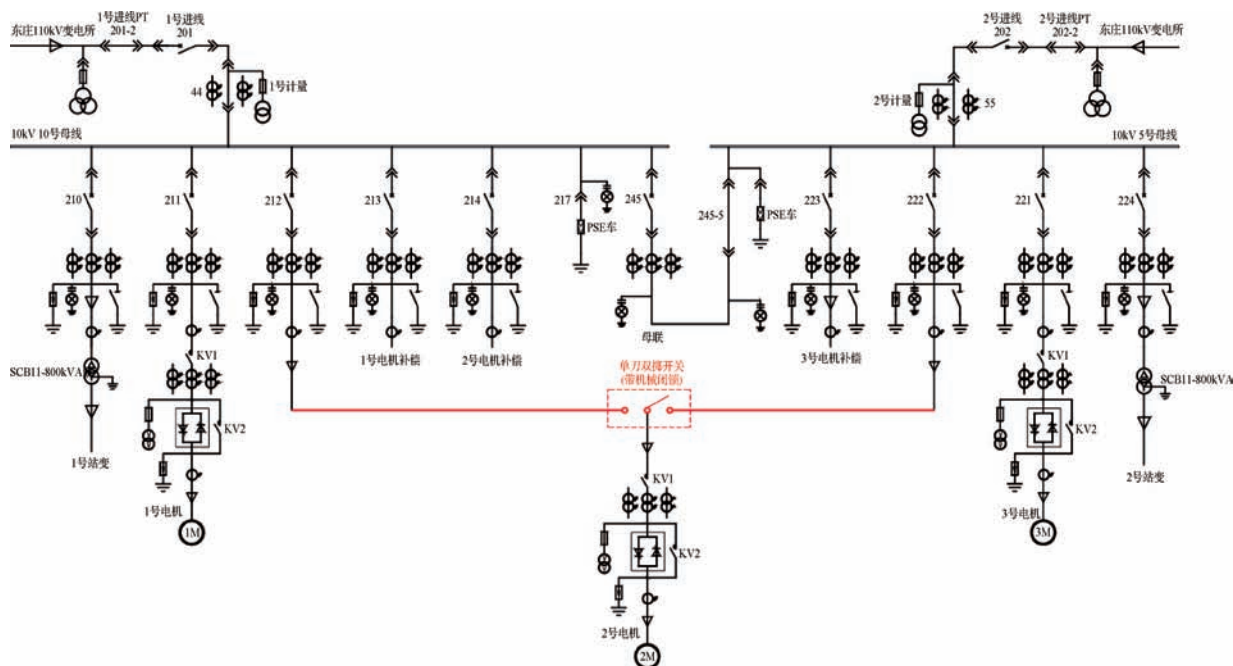


图 1 泵站高压一次系统

泵站 0.4kV 系统采用两段低压母线单独接线方式，带联络开关，母联断路器自投手复。0.4kV 系统 3 台低压断路器（编号 401、402 和 445）自投功能由可编程控制器（PLC）和电压监测继电器组合构成，当某段母线的电压超过或低于系统设定值，并且时长超过时间继电器设定值后，继电器动作，此时 PLC 的 DI 模块采集到动作信号后，DO 模块输出逻辑指令，断开 401 或 402 断路器，445 母联断路器投入。低压系统部分原理图见图 2。

2 故障排查

2.1 2020 年试运行时的低压断路器 402 跳闸

2020 年该泵站调水运行时，启动 10kV II 段所带 3 号主电机导致该段变压器 0.4kV 侧 402 断路器跳

闸，2s 后低压母联 445 投运，该段 0.4kV 系统所有设备改由 I 段供电。现场人员检查发现 0.4kV II 段电压监测继电器延时时间与 I 段设置不一致，将延时调整到与 I 段一致，延时时间设定为 3s，随后再次启动该主电机，发现 402 断路器仍跳闸，结合现场分析初步怀疑是低压断路器故障或因主电机启动线路压降较大且时长超过继电器设定时间值，导致跳闸。由于下一级泵站主电机大修，渠道没有来水，因此，无法进行再次试机，等待 2021 年调水运行时进行检测。

2.2 2021 年主电机试运行时的两台低压断路器跳闸

2021 年对 3 号主电机开机试运行，在主电机启动过程中低压断路器 402 仍跳闸。为查明原因，联系 ABB 断路器厂家对 2 台低压断路器（401 和 402）进

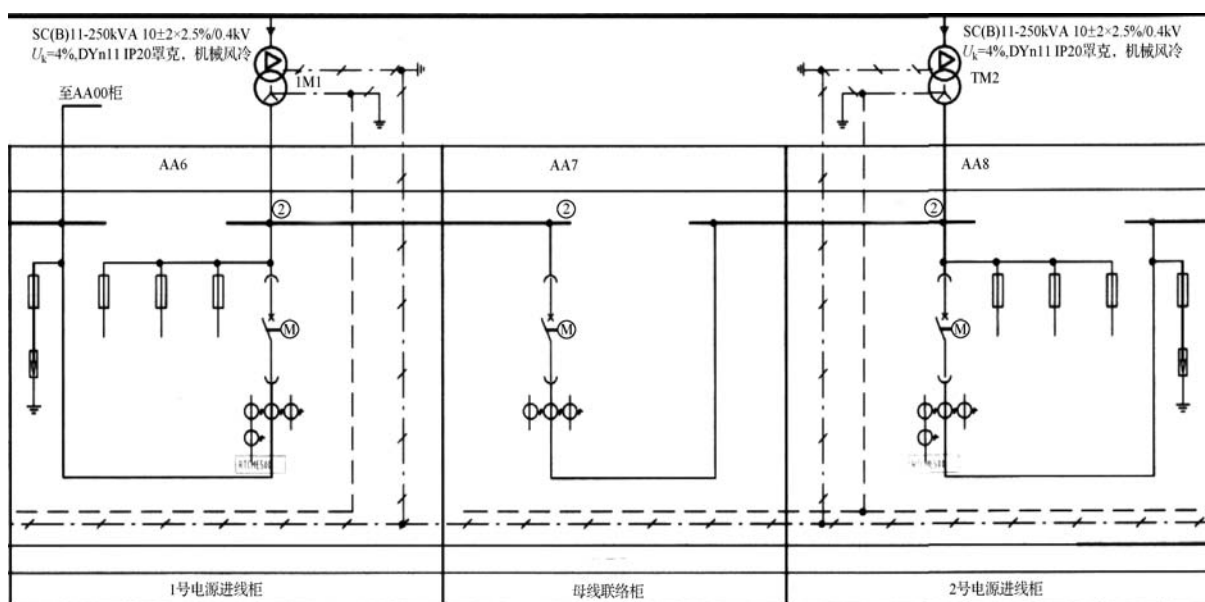


图2 泵站低压系统部分原理 (1号电源进线柜、母线联络柜和2号电源进线柜)

进行检测,经测试低压断路器本体无异常。当日再次进行10kV I段和II段两台主电机试机,启动瞬间401断路器和402断路器均出现跳闸现象。主电机启动过程中,低压室照明日光灯出现先暗后亮现象,现场高压仪表显示电压由10.4kV降至8.0kV左右后逐渐恢复,低压仪表显示电压由412V降至308V后逐渐恢复,电压波动时间大约在10s左右。

3 故障原因及影响分析

3.1 主电机启动过程的电压监测

为准确监测主电机启动过程10kV侧电压变化趋势,在10kV I段和II段分别启动2号和3号主电机时,外接录波器对两段电压进行监测并记录(见图3~图8)。

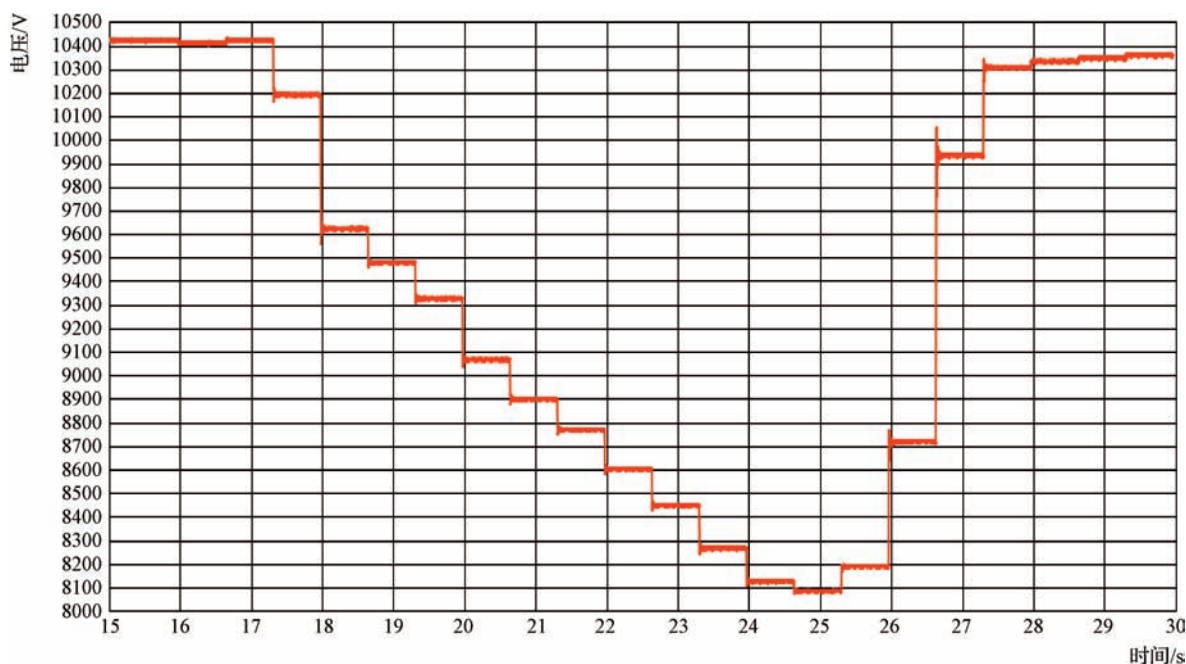


图3 10kV I段2号主电机启动过程A相电压变化过程

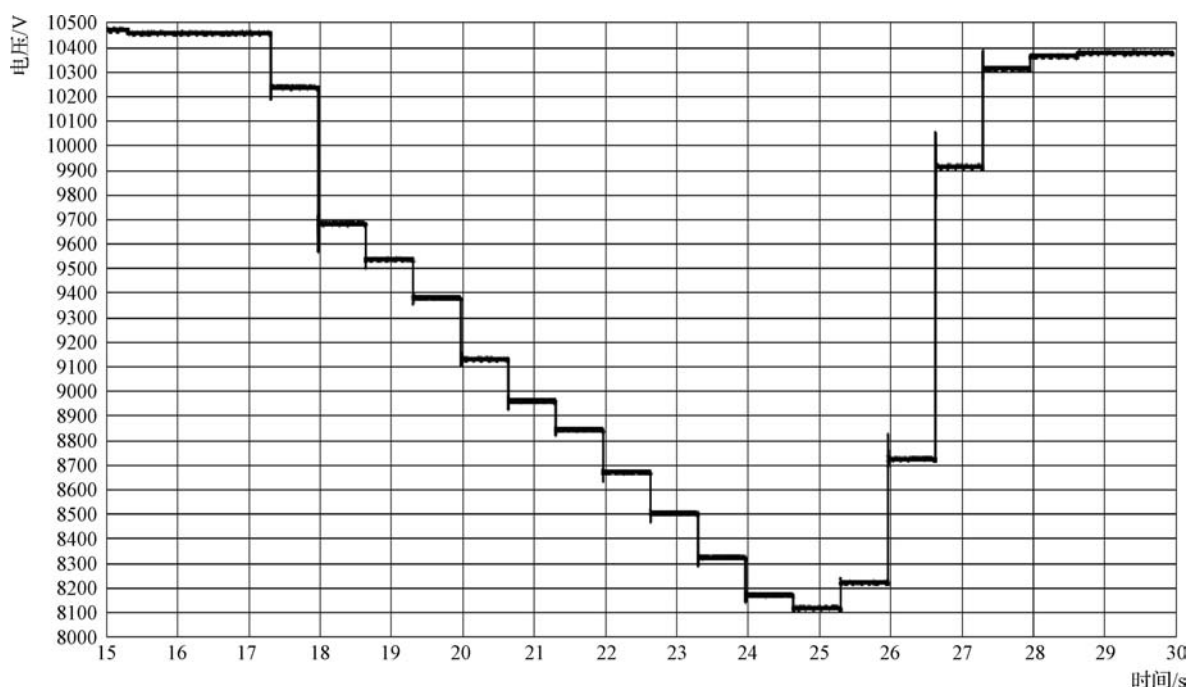


图4 10kV I 段 2 号主电机启动过程 B 相电压变化过程

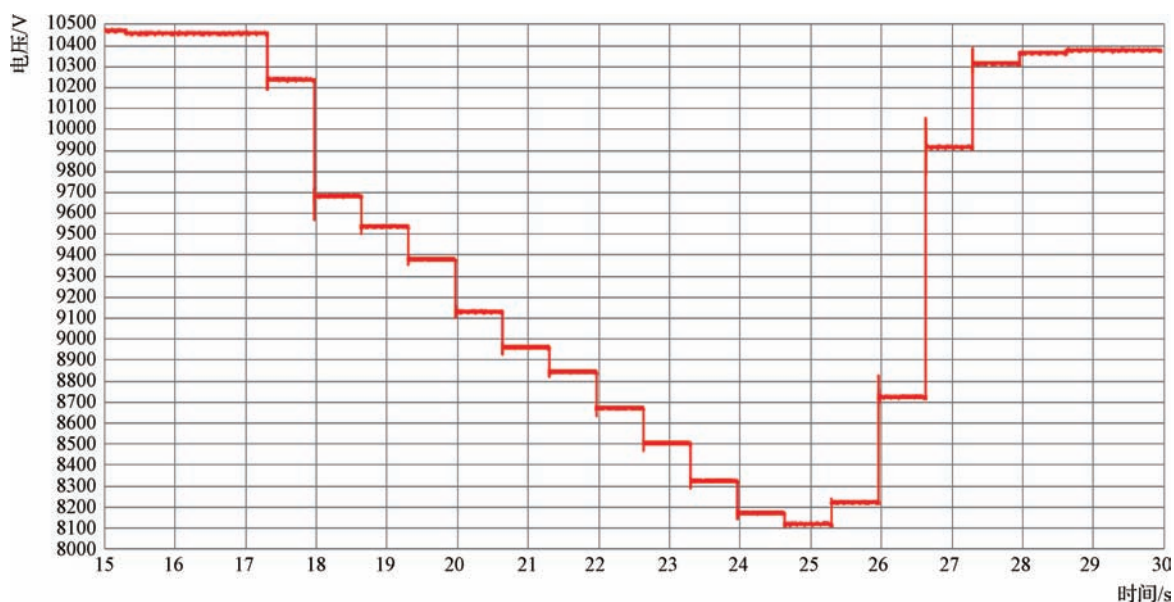


图5 10kV I 段 2 号主电机启动过程 C 相电压变化过程

由电压监测波形图可知, 2 号和 3 号主电机启动过程中, 10kV 侧电压首先降到最低至 8.1kV, 然后逐步上升到正常电压, 持续时间约为 10s。I 段和 II 段低压断路器保护设置是低电压定值 360V, 延时间定值 3s, 根据换算比例关系, 低压断路器电压定值 360V 对应的 10kV 侧电压应为 9kV。按照波形规律,

高压侧电压低于 9kV 的时间约为 7s, 压降为 10% ~ 23% (9 ~ 8.1kV), 所以设置延时 3s 时间不能满足要求。

通过试验证明, 401 和 402 断路器跳闸原因是主电机启动过程中, 造成低压线路欠电压并时长超过延时定值导致继电器动作, PLC 检测到动作信号后控制

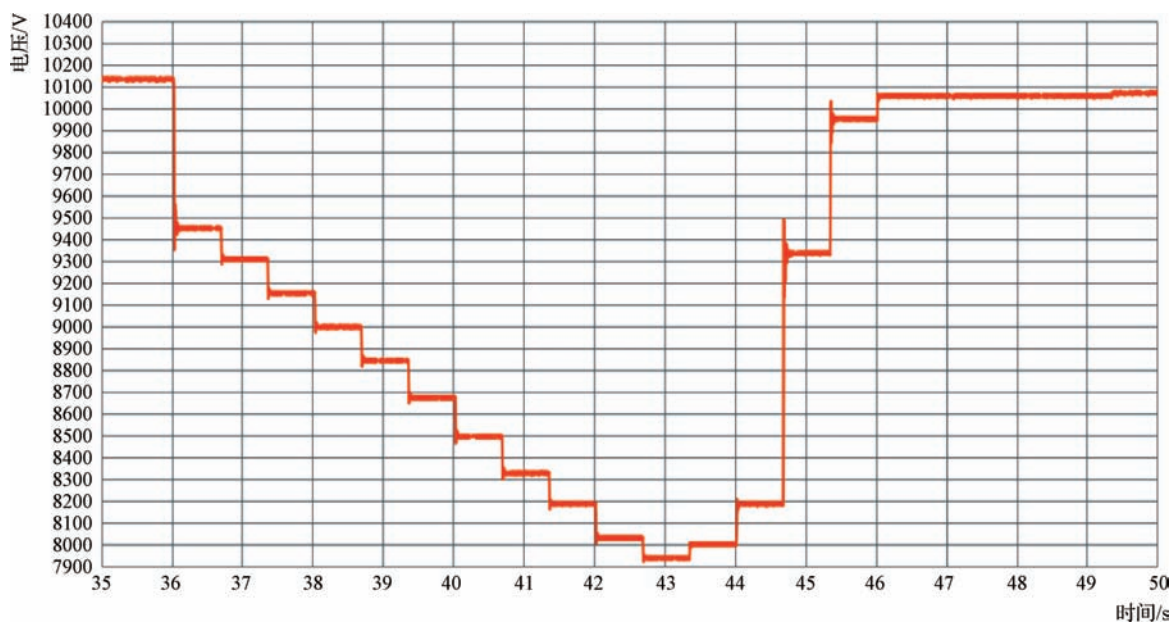


图6 10kV II 段 3 号主电机启动过程 A 相电压变化过程

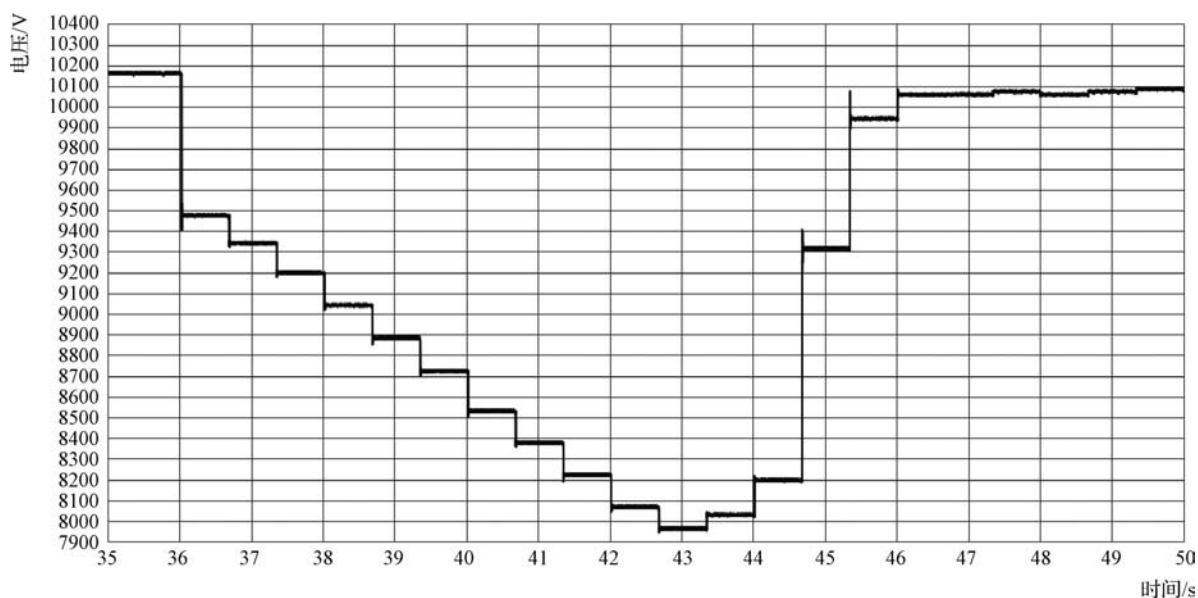


图7 10kV II 段 3 号主电机启动过程 B 相电压变化过程

断路器分闸。

产生此故障现象的原因是随着近几年泵站周边经济发展迅速,受电区增加大量的用电负荷,从而导致上级变电站系统容量接近饱和,而且泵站距离上级变电站达 11km,却采用 ZRC-YJV₂₂ - 8.7/15kV - 3 × 300mm² 电缆供电,导致线路损耗过大。

3.2 跳闸对生产生活的影响

现行情况下,启动任一段线路的主电机,都会导致 401 或 402 断路器跳闸,母联 445 断路器虽然可以进行自投,但辅机系统设备断电后停运,需要重新手动开启,以保证主电机 PLC 和公用 PLC 各功能模块能够及时接收到相关开关量和模拟量信号,从而确保主电机能够正常运行。

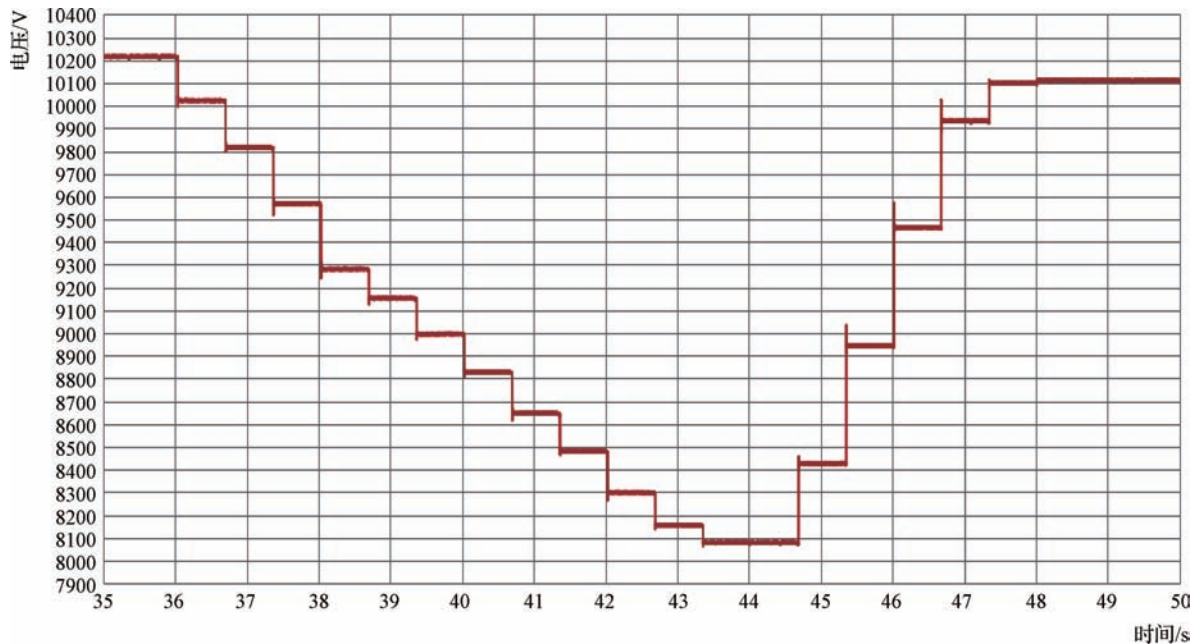


图8 10kV II段3号主电机启动过程C相电压变化过程

因此,主电机启动时需要在各辅机处安排人员值守,一旦发生断电后可以人工及时处置,迅速恢复辅机运行。但是低压系统设备在低电压下运行、频繁跳闸和投切电源的情况下会对使用寿命等产生不利影响。此外,低压跳闸还会引起办公区和生活区断电,对泵站日常办公和生活都会造成很大影响。

4 解决方案

结合主电机、水泵和软启设备运行工况,采取调整软启装置启动电流倍数来限制主电机启动对电网线路的冲击,经过现场多次启动试验,在主电机启动倍数允许范围内,无论调至任何数值,试验证明主电机启动时的压降大小与软启参数均无直接关联。

通过调整电压监测继电器动作保护定值或延长动作时间可以避开主电机启动时的电压降低情况,但是通过测试分析,目前启动最低电压为8.1kV且延时时长为7s,如果再调整继电器动作保护定值,可能会影响低压设备正常启动和运行,时间长了会损坏电气设备。

上述措施均为临时举措,不能作为长久之策,为从根本上解决问题,笔者认为可采取以下四种方案。

4.1 改变主电机启动方式

因软启动方式启动时间较短,启动转矩过大,对电网冲击大,导致电压暂降幅度和时长过大,故可考虑将启动方式改为变频启动。通过降低启动频率可以使主电机低转速缓慢启动,从而减小启动转矩,延长启动时间,这样可以避免启动电流过大,减小启动的电压压降,进而减小对线路电网的冲击。

4.2 提高线路电网容量

由于该泵站目前采用非专用线路供电,随着该段线路用户逐渐增多,线路容量逐渐减小,可以与供电公司协商增加该段线路电网容量或减少线路用户,以提高线路电网承受冲击负荷的能力,使泵站主电机和其他设备在正常的电压区间启动和运行。

4.3 采用专线供电

由目前10kV直埋电缆供电改为35kV/110kV专线供电,并在站区配备专用变电站对泵站供电,提高供电的可靠性和系统容量的稳定性。

4.4 0.4kV系统单独供电

除上述三方案外,还可以考虑另(下转第48页)

施工技术

袖阀管注浆法在杂填土地层基础加固中的应用

罗跃文 高春羽 高春雷

(北京通成达水务建设有限公司, 北京 100020)

【摘要】 北京市南水北调配套工程河西支线工程施工第三标段进出水管线基础为杂填土地层, 填土地层力学性质不稳定, 采取袖阀管注浆加固法进行基础加固, 效果明显, 很好地改善了地层性质, 地基承载力明显提高。文章根据工程实际情况, 对袖阀管注浆工艺进行了简要介绍, 供工程技术人员参考。

【关键词】 杂填土地层; 基础加固; 袖阀管注浆

中图分类号: TV551.4

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-026-05

Application of Sleeve Valve Pipe Grouting Method in Foundation Reinforcement of Miscellaneous Fill Stratum

LUO Yuewen, GAO Chunyu, GAO Chunlei

(Beijing Tongchengda Water Construction Co., Ltd., Beijing 100020, China)

Abstract: The inlet and outlet water pipeline foundation in the third bidding section during construction of Hexi Branch Project of Beijing South-to-North Water Diversion Supporting Project belongs to miscellaneous fill stratum, which has unstable mechanical properties. The sleeve valve pipe grouting reinforcement method is adopted to reinforce the foundation, which has obvious effect. The stratum property and the bearing capacity of the foundation are prominently improved. The grouting technology of the sleeve valve pipe is briefly introduced in the paper for the reference of engineers and technicians according to the actual situation of the project.

Key words: miscellaneous fill stratum; foundation reinforcement; sleeve valve pipe grouting

1 工程概况

北京市南水北调配套工程河西支线工程自大宁调

蓄水库取水, 新建3座加压泵站, 将水加压输送至三家店调节池, 工程线路总长18.8km, 第三标段为第三级泵站——中门泵站工程, 本工程包括新建一座加

收稿日期: 2022-06-06

作者简介: 罗跃文 (1979—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利水电工程施工管理工作。

压泵站及460m 配套管线。

1.1 地质情况

管线采用DN2000 钢管，钢管外侧浇筑C25W6F150 混凝土包封，管线基础为人工杂填土基础，地基土主要为①₁层杂填土，局部为①层卵石填土、①₂层粉

土填土和②层卵石（见图1）。①层卵石填土、①₁层杂填土和①₂层粉土填土物理力学性质不均，不宜作为基础持力层，采用注浆加固的方式进行基础加固处理。

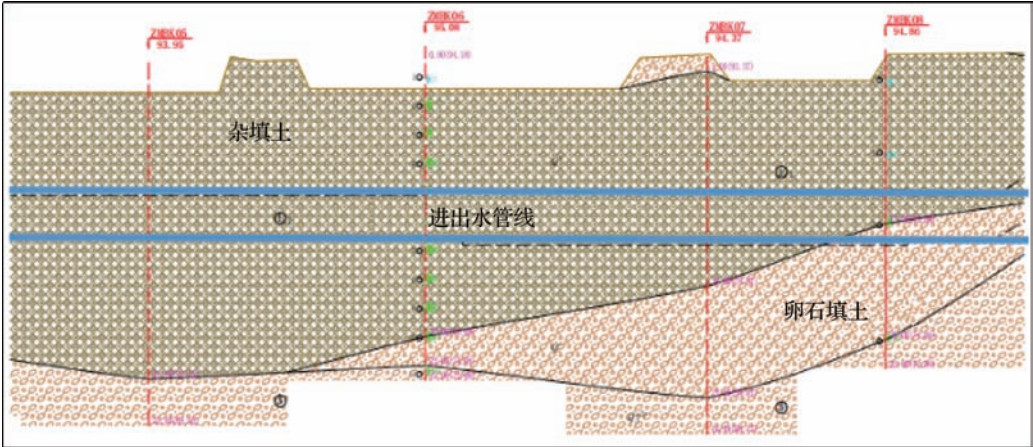


图1 管线基础地质情况

1.2 设计要求

注浆压力0.5~1.0MPa，注浆加固后通过地质雷达或面波监测整体注浆加固效果的连续性、完整性、填充性，同时进行地基静载荷试验检验，要求地基承载力不小于300kPa。

1.3 注浆方案比选

目前，基础注浆加固常用方法有钻杆后退式注浆法及袖阀管注浆法两种，两种方法各有特点，见表1。

表1 两种注浆方法对比

序号	注浆方式	注浆特点	
		优点	缺点
1	钻杆后退式注浆法	1. 钻孔与注浆设备一体化，操作简便； 2. 钻杆作为注浆管，成孔容易，适用于各种地层	1. 边注浆边拔钻杆过程中容易造成卡钻杆现象； 2. 容易造成串浆、冒浆现象； 3. 注浆过程中无法进行重复、间歇注浆，松散地层浆液扩散范围不可控，施工成本难以控制； 4. 钻孔与注浆一体化，施工效率底
2	袖阀管注浆法	1. 可分段进行重复注浆，注浆效果好，有利于节约投资； 2. 套壳料封闭成环，冒浆及串浆概率小； 3. 钻孔与灌浆作业分开进行，工作效率更高	1. 注浆完成后，袖阀管无法拔出重复使用，工程造价较高； 2. 施工工艺相对复杂，施工过程中需要细致控制

本工程地面注浆加固区域与其他施工项目场地交叉，且两项工程均有节点工期要求，因此施工工期紧，另外，人工杂填土孔隙率大、孔隙分布不均，采

用钻杆后退式注浆法加固范围及施工成本难以控制。综合工程质量、造价及进度要求，本工程选用袖阀管注浆法进行地基注浆加固。

2 袖阀管注浆法施工

2.1 袖阀管注浆法简介

袖阀管注浆法（又称索列丹斯法），于 20 世纪 50 年代开始广泛应用，后经过多次调整改进，是目前公认的最可靠的注浆方法，在英吉利海峡隧道、北京地铁王府井站、广州地铁等注浆工程中均取得了良好的注浆效果，产生了巨大的社会效益和经济效益。

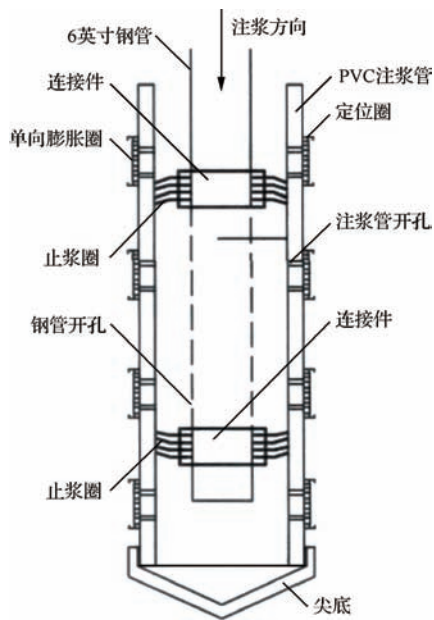


图 2 袖阀管构造

袖阀管由两部分组成：①内径为 48mmPVC 的注浆管，注浆管为壁厚 3mm 的优质 PVC 管，保证在最大灌浆压力下不产生破坏，PVC 注浆管每隔 500mm 在四周开设 4 个 6mm 出浆孔，出浆孔外面用弹性良好的橡皮箍圈套紧，底部进行封闭；②内部 6 英寸钢

管注浆器，在钢管端头部位 480mm 范围内开设 6 个 60mm×10mm 的注浆孔，在注浆孔两端设置止浆圈。结构见图 2。

2.2 袖阀管注浆施工工艺流程

袖阀管注浆施工分为钻孔、安装袖阀管、浇筑套筒料及注浆四个步骤，见图 3。

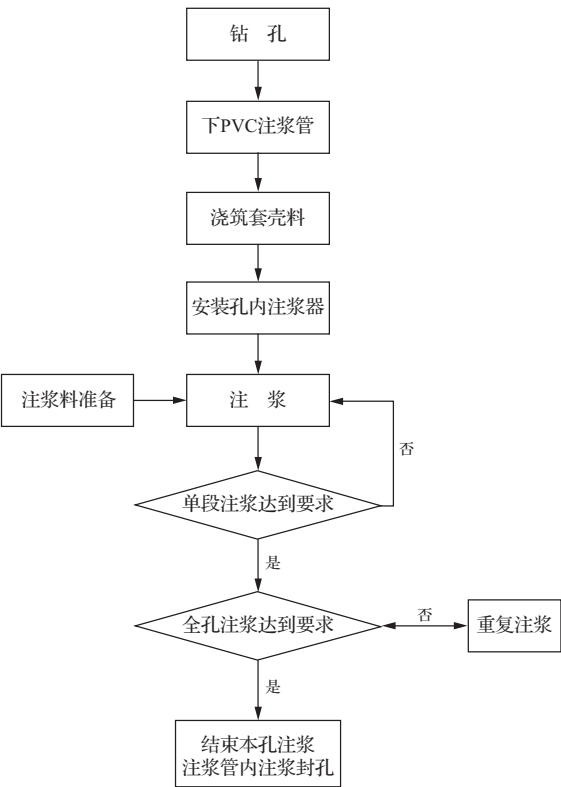


图 3 袖阀管注浆施工工艺流程

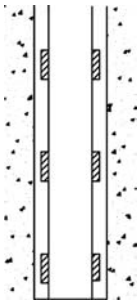
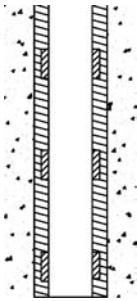
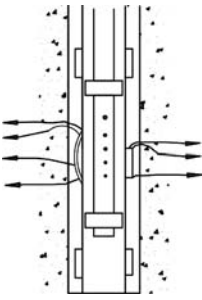
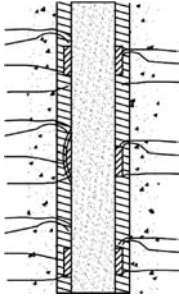
2.3 袖阀管注浆施工

袖阀管注浆施工步骤与要求见表 2。

表 2 袖阀管注浆施工步骤与要求

施 工 简 图	施 工 描 述
	<p>测量定位：根据已布设好的控制点坐标，使用全站仪放出控制孔位，并依照控制点用钢尺放出所有钻孔孔位，然后用水准仪测量地面高程，确定钻孔深度，灌浆孔位与设计孔位偏差不大于 10cm；</p> <p>钻机就位、对孔位：钻机就位时应准确并放置平稳，以保证钻孔的竖向垂直度及控制孔位偏移，施工过程中通过观察钻杆垂直度配合角度仪控制孔斜率，孔底偏斜率不大于 2.5%；</p> <p>钻孔：采用 MGZJ-180 冲击钻机进行，成孔孔径为 133mm，由于杂填土土质松散，泥浆护壁无法保证成孔，因此采用钢套管就行护壁</p>

续表

施 工 简 图	施 工 描 述
	<p>袖阀管构造：袖阀管是浆液进入地层的通道，注浆花管采用 PVC 塑料管，每隔 50cm 钻一组 $\phi 5$ 射浆孔，射浆孔外侧包裹一层橡胶皮，注浆时橡皮套被注浆压力冲开，使浆液穿过套壳料进入地层，停止注浆时橡皮套弹回压紧袖阀管；</p> <p>安装袖阀管：将连接好的袖阀管下口用尖底封好；然后，将袖阀管下入孔中，要确保袖阀管下到孔底，袖阀管底端与灌浆孔低距离不大于 20cm。袖阀管下放保持平稳，不得强力下压或拧动，为保证袖阀管位于孔位中心，每隔 2m 设置一处定位卡，袖阀管下设完成后拔出套管</p>
	<p>套壳料浇筑：袖阀管安装完成后浇筑套壳料，封闭袖阀管与钻孔壁之间的环状空间，防止灌浆时浆液四处流窜，在橡皮袖阀和止浆塞的配合下迫使浆液只在一个灌浆段开环注浆；</p> <p>套壳料物理力学性：适宜的强度兼顾开环和防止串浆的需要；收缩性小，凝固后不致和袖阀管脱离；脆性较高，增加开环后的破碎程度；黏度低，析水率小和稳定性高；</p> <p>套壳料配比：水泥：膨润土：水 = 1：1.53：1.94</p>
	<p>灌浆方式：灌浆前首先进行开环，开环采用高压清水进行，开环后持续灌注 5min，袖阀管注浆自下而上进行，灌浆时在灌浆管内下设双联式灌浆塞，每次灌注一环孔，每环孔间距 50cm，分段注浆可以有效地减少地层不均性对注浆效果的影响。注浆过程中，每段注浆完成后，向上移动一个步距的灌浆管长度；</p> <p>灌浆顺序及注浆材料：注浆采用先外后中间注浆顺序，同排孔跳孔间隔注浆，边排孔采用双液浆 [（水泥浆（水：水泥 = 0.8：1）：水玻璃（水：水玻璃 = 1：1） = 1：1]，将注浆范围封闭，中间孔采用水泥浆（水：水泥 = 0.8：1）；</p> <p>注浆结束标准：单位注入量达到计算注浆量的最大值或在最大灌浆压力下，注入率不大于 2L/min，并持续灌注 20min</p>
	<p>封孔：将导管下入到 PVC 注浆管底部，用灌浆泵向导管内泵入水：水泥 = 0.5：1 的新鲜普通水泥浆，将孔内余浆或积水顶出孔外，在泵入浆液过程中，将导管徐徐上提，并注意使导管底出口始终保持在浓浆面以下</p>

2.4 注浆效果检查

注浆加固结束后，采用钻孔取芯观测法检测地层孔隙之间的填充效果，采用面波检测法检测基础加固效果，采用静载试验法检测地基承载力提高效果。

a. 钻孔取芯检测法。施工完毕 28 天后，对加固体进行钻孔取芯检验，观察其加固土体的孔隙填充情

况及地层的完整性。钻取的芯样显示，杂填土地层中的孔隙得到充分填充，达到预期的填充性效果，地层完整。

b. 面波检测法。鉴于人工填土物理力学性质较离散，且加固区位于地面以下，采用面波检测法检测整体注浆加固的连续性、完整性、填充性。面波检测

采用的是多道瞬态面波勘察方法,根据探测目的和现场实际情况,计划现场使用 DAQ Link III 地震仪,宽频带的脉冲震源、低频检波器,进行 24 道数据采集,道间距 2m,偏移距 2m。注浆加固前,在指定区域布置瑞雷波测试点,测试点布置在注浆加固区域,注浆加固完成后,在相同位置再次进行数据采集,通过后期处理,计算出工前工后的面波波速,通过对其进行对比,分析评价区域的注浆加固情况。

c. 在钻孔取芯及面波检测合格后,进行静载试验,共进行了三个点的试验,所检测点地基承载力特征值均达到 300kPa。

钻孔取芯、面波波速检测及地基静载试验检测表明,按照设计参数[注浆压力 0.3~0.5MPa (I 序孔 0.3MPa, II 序孔 0.5MPa),地层孔隙率 0.4,地层填充系数 0.8,边排孔浆液损失系数 1.2~1.4 (边排 I 序孔 1.4,边排 II 序孔及中间 I 序孔 1.3,中间 II 序孔 1.2)]进行注浆后地层孔隙被填充,达到预期的连续性、完整性、填充性要求,袖阀管注浆对地基加固效果明显。

2.5 注浆过程中发现的问题及改进措施

a. 塌孔。施工前期为控制施工成本采用膨润土泥浆护壁进行成孔,但由于杂填土地层孔隙率大、地质松散,护壁泥浆跑浆,塌孔,导致卡钻、袖阀管破坏等现象时有发生,致使施工成本增加,施工效率降低。

改进措施:改用跟进套管钻进成孔,成孔后安装袖阀管,边浇筑套壳料边拔出套管。此方法大幅提高了成孔质量,有效避免了塌孔,同时,套管重复使用,施工成本相较泥浆护壁有所降低。

b. 卡管、漏浆及堵管。注浆过程中,由于在开环时瞬时压力过大(最大压力可达到 4MPa)导致止浆塞反转,造成注浆芯管卡管无法拔出,漏浆堵塞袖阀管,无法进行重复注浆。

改进措施:①调整套壳料配比:开环压力大的直接原因是袖阀管周边的套壳料强度高,因此,将套壳

料配合比由水泥:膨润土:水=1:1.4:1.8 调整为水泥:膨润土:水=1:1.5:1.9,降低水泥用量,增加膨润土及水用量,降低套壳料强度,平均开环压力降低至 2MPa,止浆塞被冲反转卡管、漏浆情况明显减少,堵管情况得到改善;②改良止浆塞:通过调整套壳料配比,堵管情况得到改善,但管底约 2~3m 范围仍存在堵管现象,目前购买的成品注浆芯管为 6 英寸管,注浆芯管外径与袖阀管内径之间存在 8mm 间隙,该间隙由止浆塞进行封堵,为降低止浆塞反转概率,在止浆塞下方增设螺丝垫片,减小注浆芯管外径与袖阀管内径之间间隙,增加止浆塞的稳定性,通过此方法进一步解决漏浆问题;此方法可以有效解决漏浆问题,但注浆芯管拔出困难,卡管发生频率增加,故此方法不可行;③调整开环方式:开环的压力远远大于工作压力,漏浆现象大部分发生在开环期间,因此将浆液开环调整为采用清水开环,一方面清水的流动性更强,更容易开环,另一方面漏出至袖阀管内的水不会导致堵管影响后续施工,调整为清水开环后,漏浆、堵管问题得到有效解决。

3 结 语

袖阀管注浆法具有注浆量可控、可分段重复注浆及施工效率高等特点,与高压喷射注浆等方法相比,该方法虽然 PVC 袖阀管无法拔出重复使用,耗费管材较多,但总体浆液量可控,工艺成本显著降低,与普通注浆方法相比,袖阀管注浆效果在施工效率、成本控制、加固效果方面有明显优势,且施工成本差距不大。因此,在杂填土地层进行地基加固处理的时候,袖阀管注浆法有较大的优势,具有广阔的应用空间。▲

参考文献

- [1] 龚晓南.地基处理手册[M].3 版.北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 曹杨政.袖阀管注浆在基础加固中的应用[J].工程技术研究,2021(12):61-62.
- [3] 彭中伏,王科伟,罗桂军.特殊复合地层袖阀管注浆加固技术研究[J].工程技术研究,2021(23):55-57.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.06.07

沙沟水库丙乳砂浆加固技术要点初探

郝恩峰

(山东省沂水县沙沟水库管理中心, 山东 沂水 276400)

【摘要】 沙沟水库运行多年来, 溢洪道防冲槽底板混凝土表面冻融、剥蚀, 闸墩侧墙混凝土局部老损, 闸墩头水位变动区域混凝土碳化, 石子外露, 文章提出了丙乳砂浆加固技术方案, 介绍了加固处理过程中主要施工技术及质量控制要点。结果表明: 该技术措施施工工艺简单, 施工便捷, 环保无毒, 安全可靠。

【关键词】 丙乳砂浆; 施工技术; 质量控制

中图分类号: TV697.3

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-031-03

Preliminary Study on Key Points of Acrylic Emulsion Mortar Reinforcement Technology in Shagou Reservoir

HAO Enfeng

(Shandong Yishui County Shagou Reservoir Management Center, Yishui 276400, China)

Abstract: Shagou Reservoir has been operated for many years. The spillway anti-scour trench bottom board concrete surface suffers from freeze-thaw and denudation. The gate pier side wall concrete is locally aging damaged. The concrete in the water level change area of the gate pier head is carbonated and the stones are exposed. Acrylic-emulsion mortar strengthening technical scheme is proposed in the paper. The main construction technology in the reinforcement treatment process and quality control points are introduced. The results show that the technology measure process is simple, convenient in construction, environmentally friendly, non-toxic, safe and reliable.

Key words: acrylic emulsion mortar; construction technology; quality control

1 工程概况

沂水县沙沟水库位于淮河流域沭河干流上游, 1958年10月动工兴建, 1959年11月建成蓄水。水库总库容1.04亿 m^3 , 兴利库容0.46亿 m^3 , 流域面积163 km^2 ; 是一座以防洪为主, 结合水力发电、城乡供水、淡水养殖、观光旅游等综合利用的大(2)

型水库。水库枢纽工程主要包括大坝、溢洪道、放水洞、电站等。溢洪道位于大坝南段丘陵鞍部, 设溢洪闸3孔, 每孔净宽10.0m; 放水洞位于大坝桩号0+430处, 主要由进水段、洞身段、竖井组成, 洞身为1.4m \times 1.4m钢筋混凝土方涵, 水电站设在放水洞出口处。水库枢纽工程于2002年进行了除险加固, 经过多年来的运行, 溢洪道防冲槽底板混凝土表面冻

收稿日期: 2022-05-23

作者简介: 郝恩峰(1994—), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事水利工程的管理与建设工作。

融、剥蚀，闸墩侧墙混凝土局部老损，闸墩头水位变动区域混凝土碳化，石子外露。放水洞进水段与洞身段混凝土由于当时施工时形成的蜂窝麻面、模板漏浆处理欠缺，出现裂缝、表面剥蚀，钢筋锈蚀等。不仅制约结构使用寿命，且严重影响水库行洪安全^[1]。通过全面排查、综合研判，决定对钢筋混凝土存在的老损、剥蚀等质量问题采用丙乳砂浆技术措施进行全面加固修复处理。

2 加固方案设计

根据工程实际，设计采用丙乳砂浆加固技术措施。丙乳砂浆是丙烯酸酯共聚乳液改性的聚合物水泥砂浆。其凝结体的物理力学性能与其配合比、水泥等级、砂率及施工工艺有较大关系。为了探讨和检验其物理性能指标，施工单位委托具备资质的专业试验室对原材料进行主要性能指标试验及配合比确定。在建设、监理单位相关人员见证下，现场制取试件，经监理单位对试验结果确认后具体实施加固方案。

3 丙乳砂浆配合比试验

3.1 配合比试验确定

根据现场环境及施工工艺要求，通过试验确定丙乳砂浆重量配合比为水泥：丙乳：石英砂：水 = 100：36：165：15。

试验选用的丙烯酸酯共聚乳液，外观为乳白色，无沉淀的乳液固体含量 41.0%，pH 值为 9.0，密度为 1.06g/cm³。水泥为 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥。砂为水库附近产的石英砂，粒径小于 2.5mm，过筛处理。搅拌等生产用水从水库抽取。试配丙乳砂浆试件成型后，按照规范要求^[2]，进行基本物理力学性能试验。

3.2 基本指标试验结果

3.2.1 抗压强度

试验结果见表 1。

表 1 丙乳砂浆试件抗压强度试验结果

试块编号		28 天抗压强度/MPa	
组编号	块编号	单块强度	组平均值
I	I -1	50.8	51.3
	I -2	51.4	
	I -3	51.7	
II	II -1	50.6	50.5
	II -2	50.2	
	II -3	50.7	
III	III -1	49.7	50.4
	III -2	50.2	
	III -3	51.3	

3.2.2 黏结强度

黏结强度是加固修复旧混凝土结构的主要指标之一。试验结果见表 2。

表 2 丙乳砂浆与普通水泥砂浆黏结强度试验结果

对照组编号	普通水泥砂浆/MPa	丙乳砂浆/MPa
1	1.35	5.8
2	1.39	5.2
3	1.42	5.7

3.2.3 抗冻性

试件为 100mm × 100mm × 400mm 柱体，3 个为 1 组。试验经 300 次快速冻融循环，其动弹模量达到 92.3%。试验结果见表 3。

表 3 丙乳砂浆抗冻性试验结果

冻融次数	相对动弹模量/%	冻融次数	相对动弹模量/%
0	100	200	96.0
30	98.7	225	95.8
100	96.5	275	94.9
150	96.3	300	92.3

3.2.4 抗渗性

试验表明：当渗透压力达到 1.5MPa 时，恒压 12h 试件无渗水现象，丙乳砂浆试件的透水压力大于 1.5MPa。

将丙乳砂浆试件烘干至恒重后浸泡于水中，3 天后称重吸水率为 1.0%。试验结果表明，由于丙乳聚

合物的分子在水泥颗粒及骨料表面形成聚合物膜，聚合颗粒填充砂浆孔隙，使砂浆固结体内空隙减小，结合力增强，提高了砂浆的密实度，改良了丙乳砂浆的各项性能，使丙乳砂浆的抗渗、抗冻性能增强。

本次加固工程所采用的丙乳砂浆物理力学性能满足设计及规范要求^[3]。

4 施工技术

4.1 施工前的准备

4.1.1 基面处理

根据工程实际状况，由建设、监理方对混凝土缺陷部位用记号笔圈定，根据缺陷程度划分成片区；然后利用手持电镐结合人工的方式剔除缺陷混凝土。凿除时，要求露出坚硬新鲜混凝土面，每片加固修复面除局部坑洼外做到凿除深度均匀平整。

现场监理人员验收。重点查看凿除缺陷混凝土的范围，记号线内外是否有松动混凝土片；凿除深度是否平整均匀，坚硬新鲜混凝土面是否全部露出。若钢筋锈蚀应局部深凿，单独处理。

监理人员确认后，用高压水枪冲洗，个别部位人工用钢丝刷清理，确保清理效果。

4.1.2 丙乳砂浆的配制

根据试验确定配合比拌制丙乳砂浆。将水泥与砂子按比例人工拌和均匀后，倒入丙乳和水搅拌均匀待用。一次拌和量不宜太多，以免拌和不均或者造成浪费，拌制好的砂浆要在45min内用完。

4.2 施工技术要点

4.2.1 喷（抹）丙乳砂浆

基面处理经验收合格后，对基面凿除的沟槽及坑洼处，涂刷1遍丙乳净浆（水泥：丙乳=1：0.8），然后用丙乳砂浆分层找平，养护12天后待喷（抹）丙乳砂浆^[4]。

溢洪道防冲槽底板修补区原有施工缝原位置保留，无施工缝处在修补区边沿剔除一道宽8.0cm、深4.0cm的嵌边齿槽。其他加固修补区域不另外增加施

工缝和嵌边齿槽。

溢洪道防冲槽底板、闸墩头加固修复区域采用高压喷射丙乳砂浆的方法处理，闸墩侧墙、放水洞进水段与洞身段采用人工抹浆的方法处理。喷（抹）丙乳砂浆前，在待喷（抹）混凝土全部基面上均匀涂刷一层较薄的丙乳净浆。丙乳砂浆固结前，人工用金属压板均匀地抹压修饰一遍，对喷（抹）未到位或不平整的部位一并处理，确保闸墩等外露表面光滑平整，确保外观质量。

4.2.2 滚涂丙乳净浆及养护

丙乳砂浆表面固结后，用装饰涂料滚子在表面均匀滚涂一层较薄的丙乳净浆。

最后滚涂的丙乳净浆不仅对丙乳砂浆加强了保护，提高了外观质量，同时封闭丙乳砂浆中的水分，起到了养护作用^[5]。丙乳净浆固结后，喷水湿润，覆盖塑料薄膜，既起到养护作用，又能保护成品；之后，不需另外洒水养护。

5 质量控制关键点及其建议

丙乳（丙烯酸酯共聚乳液）选购应严把质量关。近年来，丙烯酸酯乳液凭借其优异特性，对其功能化改性的研究开发和应用得到了迅速发展，市场品种繁多，名称相似，用途不同^[6]。使用前必须由专业试验室试验并确定配合比。

做好对相关人员的施工技术和施工安全交底。施工人员要熟知施工要点、操作程序及注意事项，操作必须细心。

对缺陷混凝土面要全面清理。对坑洼、露筋及边缘处，必须经现场监理验收。对形成的坑洼用丙乳砂浆分多次找补，每次抹浆厚度不大于2.0cm。确保每一片区喷（抹）浆范围内厚度均匀。

涂刷丙乳净浆时，工作基面要饱和湿润，丙乳净浆未硬化前喷（抹）丙乳砂浆，保证黏结力。

喷射丙乳砂浆分两次进行。第1层喷射厚度在2.5cm左右，初凝后清理表面浮尘，（下转第39页）

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.06.08

基于自平衡法的红河水渡槽桩基竖向抗压静载监测研究

王建锋

(中铁十八局集团市政工程有限公司, 天津 300222)

【摘要】 为监测渡槽桩基竖向抗压静载能力, 故设计基于自平衡法的红河水渡槽桩基竖向抗压静载监测方法。按照设计流程, 对静载试验进行准备, 提出合理的自平衡试验原理, 确定平衡点位置。在此基础上, 结合自平衡试验加载方式与桩身的受力特点, 计算桩身极限抗压承载力, 构建自平衡试桩荷载传递模型, 以完成渡槽桩基竖向抗压静载监测。设计完成后进行验证分析, 结果表明: 所设计的方法能准确进行最大沉降量与位移值, 且能分析桩端反力位移情况、试验桩侧阻力、端阻力分担荷载比例以及顶荷载作用下桩身轴力变化情况, 满足设计要求。

【关键词】 自平衡法; 渡槽; 桩基; 竖向抗压; 静载; 荷载

中图分类号: TU473

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-034-06

Research on Vertical Compressive Static Pressure Load Monitoring of Pile Foundation of Honghe Water Aqueduct based on Self-balance Method

Wang Jianfeng

(China Railway 18th Bureau Group Municipal Engineering Co., Ltd, TianJin 300222, China)

Abstract: In order to monitor the vertical compressive static load capacity of aqueduct pile foundation, a monitoring method of vertical compressive static load of Honghe water aqueduct pile foundation based on self-balancing method is designed. According to the design process, prepare for the static load test, put forward a reasonable self-balancing test principle, and determine the balance point position. On this basis, combined with the loading mode of self-balancing test and the stress characteristics of pile body, the ultimate compressive bearing capacity of pile body is calculated, and the load transfer model of self-balancing test pile is constructed to complete the vertical compressive static load monitoring of aqueduct pile foundation. After the design is completed, the verification analysis is carried out. The results show that the designed method can accurately calculate the maximum settlement and displacement value, and can analyze the pile end reaction displacement, the side resistance of the test pile, the load-sharing ratio of the end resistance and the axial force change of the pile shaft under the top load, which can meet the design requirements.

Key words: self-balancing method; aqueduct; pile foundation; vertical compression; static load; load

收稿日期: 2021-11-04

作者简介: 王建锋 (1977—), 男, 本科, 助理工程师, 主要从事工程测量工作。

为提高红河流域供水能力,在沿线设置了较多大型渡槽,渡槽主要由砌石、混凝土及钢筋混凝土等材料组成。因渡槽所处地质条件不同,一般渡槽皆要求采用桩基作为渡槽下部结构的基础形式,增加了渡槽承载力的计算难度。目前,渡槽桩基础抗压静载荷计算方法尚缺乏规范标准,无法为工程设计提供帮助,应寻求一种比较合理的设计理论,将其应用于工程实际,以提高桩基竖向抗压性能。

自平衡法自研发后即得到广泛推广,其克服了传统堆载或锚桩等反力装置的限制,使用较简单。在使用过程中,受场地影响较小,安装简单,占用场地较小,不会拖延施工进度,很大程度上降低了安全风险。相对于传统的测试方法,这种承载力检测可降低测试费,节省测试材料,缩短测试时间,且能适应多种特殊的试桩环境。基于此,为提高红河水渡槽桩基竖向抗压监测效果,采用自平衡法对其进行静载监测,以期能为桩基竖向抗压静载监测提供依据。

1 静载试验前准备

为提高桩基竖向抗压静载监测效果,进行监测前准备,试验过程中,需保证试验坑底与桩底标高保持一致。具体内容如下:

- a. 分析前,预先处理桩顶部的破碎层与软弱混凝土^[1],降低其他干扰因素影响监测结果。
- b. 桩头直径与设计桩径需保持一致,桩头顶面处理平整,且保证桩头与桩身上部的中轴线重合^[2]。
- c. 在桩的顶部设置箍筋,箍筋与桩的间距不超过100mm,在桩顶下部200,400mm处分别设1层钢筋网,每层间距200mm。
- d. 桩头混凝土强度等级不低于C30。

2 基于自平衡法的渡槽桩基竖向抗压静载监测方法设计

2.1 自平衡试验基本原理

自平衡法利用试验桩自身反力平衡特点解决问题。为得到计算结果,需要在桩身的平衡点处放置荷

载箱,采用加压装置对荷载箱施加荷载,施加过程中需要保证施加的荷载位于平衡点上,采用从上到下的荷载施加方式。在试验桩达到极限状态后,停止施加荷载,获得试验桩的极限加载值^[3]。

2.2 平衡点原理及其确定方法

试验中的核心问题是确定桩基平衡点,平衡点的计算精度与试验结果的可靠性有密切关系,其还阐释了自平衡试验原理^[4]。平衡点主要是指试验桩的桩身处于同一位置,上部桩身与极限桩侧的摩擦力等于下段桩身与桩端反力之和。基于上述分析,将平衡点以上自重力表示为 G ,基于平衡点的定义,将 G 代入下式:

$$\lambda_i \times \frac{1}{2}u \sum_{\pm} l_i \times q_i + G = \frac{1}{2}u \sum l_i \times q_i + A_p \quad (1)$$

式中 q_i ——桩侧摩擦阻力参数;

u ——桩端反力参数;

A_p ——第 p 个点到顶点的距离参数。

用上式进行平衡点的计算。

2.3 荷载箱安装过程

本研究所使用的设备主要为百分表、压力表、电油泵和荷载箱等,其中加载装置是自平衡试验中的核心设备,其荷载箱为加载装置,以上、下两个不同内径的圆圈为主,结构简单。外观主要为圆柱形,内径不同。钢圈之间用钢板隔开,分隔成多个相同大小的格室,且在每个格子内放置一台千斤顶,并设置两个位移管^[5],上位杆置于荷载箱顶部,下位杆置于荷载箱底部,其主要结构见图1。

安装时先对平衡点位置进行预计算,计算完毕后,在钢筋笼内安装吊箱,安装过程中还需保证钢筋笼内内径与吊篮外径一致,以保证其安装成功。同时,需要将荷载箱与钢筋笼放置于桩顶,为避免其掉落,采用护筒安装位移杆^[6]。在准备工作完成后,利用高压油泵加载,加载结果通过压力表测读,通过百分表读取试桩的位移量,针对需求可自动测读。除此之外,为使结果更具说服力,在表架上安装5个百分表,表架安装于临时搭设的支架上,支架应具备良好的



图1 荷载箱安装示意

的刚度，在荷载箱下部安装2个百分表，下移安装2个百分表测量，上移安装1个百分表测量。

2.4 极限承载力计算

在上述工作准备完成后，对桩进行极限抗压承载力计算。需依据自平衡试验特点进行计算，桩身向上推力等于桩身自重与桩身向下的阻力之和；桩身向上的摩擦阻力等于桩端承载力，荷载箱的向上推力等于桩身自重与桩身向上的摩擦力的总和；桩身的顶力与桩身向上的摩擦力相等^[7]。基于上述分析，计算公式为

$$Q_u = \frac{Q_{\frac{\pi}{u}} - w}{r} + Q_{\frac{\pi}{u}} \quad (2)$$

式中 Q_u ——施加荷载过程中单桩的竖向抗压极限承载参数；

$Q_{\frac{\pi}{u}}$ ——施加荷载后桩身上部分的极限荷载值；

w ——桩上段重量，该参数的确定需要依据荷载箱上部分土的类型确定。

在自平衡试验中，加载方式与桩身的受力特点见图2^[8]。

自平衡试验开始后，装载箱沿桩身由上向下施加荷载，引起桩身压缩，并在桩身上下移动^[9]，产生摩擦阻力，摩擦阻力方向由上向下。自平衡测试的工作流程见图3。

由此看出，整个桩在承载箱内承受外力作用时，

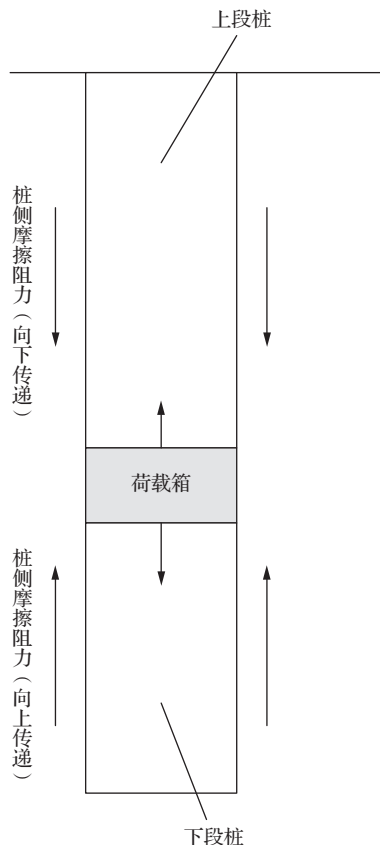


图2 自平衡加载方式

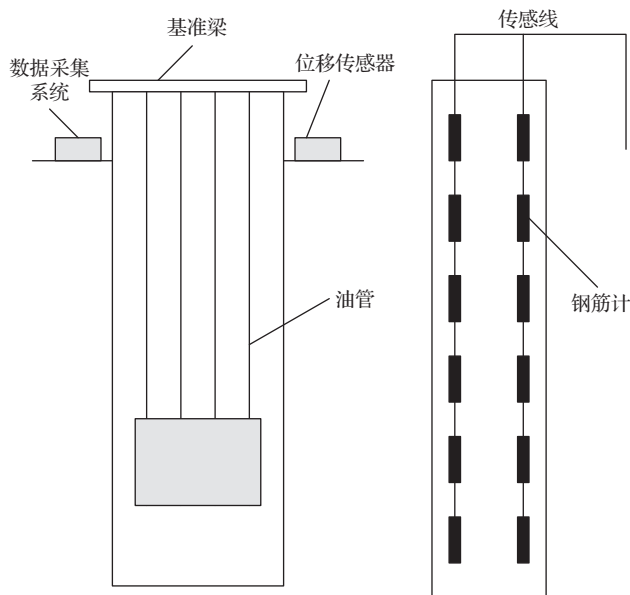


图3 自平衡试验示意

桩身受从上到下的侧摩擦阻力与桩身自身重量的作用，计算中需综合考虑，在试验结束后，取上一级荷载值为最终极限值^[10]。

2.5 自平衡试桩荷载传递模型

自平衡试桩的荷载传递模型建立过程中使用的桩土截面荷载传递函数为双曲线型^[11]，公式为

$$\tau = \frac{s}{a + bs} \quad (3)$$

式中 τ ——桩侧摩擦的阻力；

s ——桩体的相对位移参数；

a, b ——双曲线函数。

检测时，还需对桩身进行内力测试，将试桩置于上荷载上部及主土层附近的分界面^[12]，并在试桩表面安装试筋仪情况见图4。

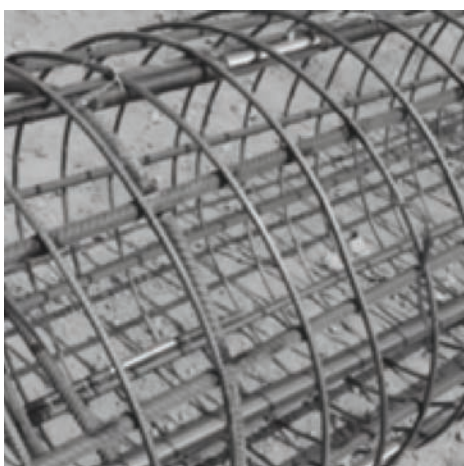


图4 钢筋应力计现场埋设

在监测过程中，建立混凝土应力应变回归方程，对断面的桩身应变值进行计算^[13]，计算公式为

$$\sigma = a_1 \varepsilon + a_2 \varepsilon^2 \quad (4)$$

在此基础上，计算各断面的桩身轴力进行计算^[14]：

$$Q_{ij} = A\sigma \left(\frac{\sigma_{ij}}{E_s} \right) \quad (5)$$

式中 Q_{ij} ——施加荷载后实验桩身在第 j 级作用下第 i 处的轴力值；

σ_{ij} ——施加荷载后桩身在第 j 荷载作用下桩身第 i 处的应力平均值；

E_s ——钢筋弹性模量；

A ——实验桩身的截面面积值^[15]。

通过上述计算完成试验准备，后对监测结果进一步分析。

3 结果分析

3.1 测试方法及步骤

a. 试验期为成桩后不少于 15 天的桩底进行试桩前的灌浆试验，灌浆后的时间不少于 28 天。

b. 按静载荷试验桩规范进行加载，一级加载二倍负荷，卸载按二倍负荷进行。

c. 加载后，监测其变化，需根据静载试桩规范进行加载，第一级负载 2 倍的负载分级负载。

3.2 最大沉降量分析

极限承载力下对应的最大沉降量分析结果见图5。

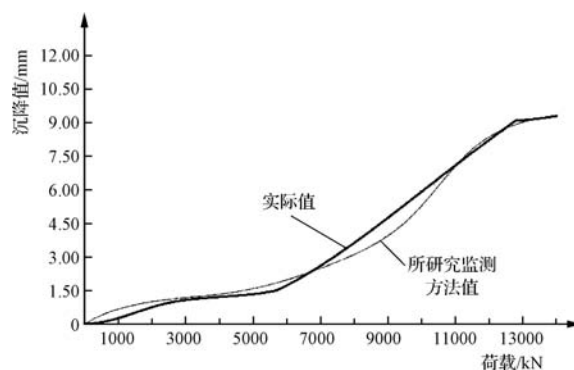


图5 最大沉降量分析

由图5可知，在最终 13000kN 荷载作用下，试验桩基的最大沉降量不超 10mm，与实际值基本一致，证明该研究方法能准确分析其最大沉降量。

3.3 试验桩位移值分析

试验桩的位移值监测结果见图6。

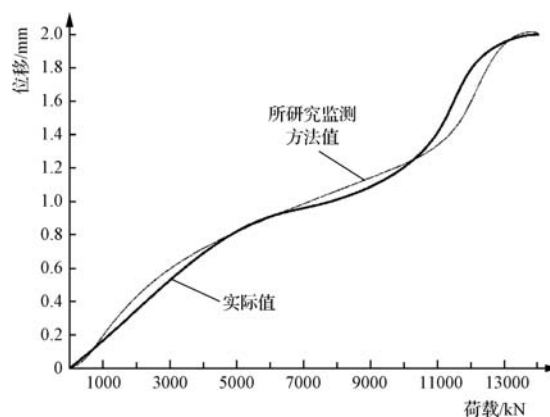


图6 试验桩位移值分析结果对比

由图6可知,基于自平衡法模拟结果与实际位移大小接近,说明该方法获得的数据较合理,能准确分析试验桩的位移值,满足抗压静载监测要求。

3.4 桩端反力位移情况分析

桩端反力位移情况见图7。

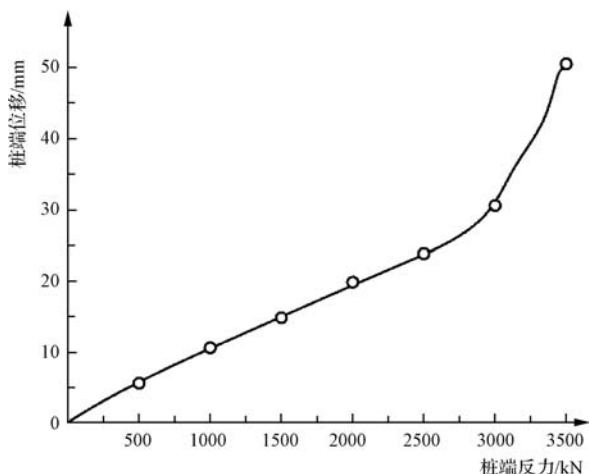


图7 桩端反力位移情况分析

由图7可知,随着桩端反力的增加,桩端位移逐渐加大,两者呈现正相关关系。

3.5 试验桩侧阻力和端阻力分担荷载比例分析

试桩侧阻力与端部阻力分担荷载比例的分析结果见图8~图9。

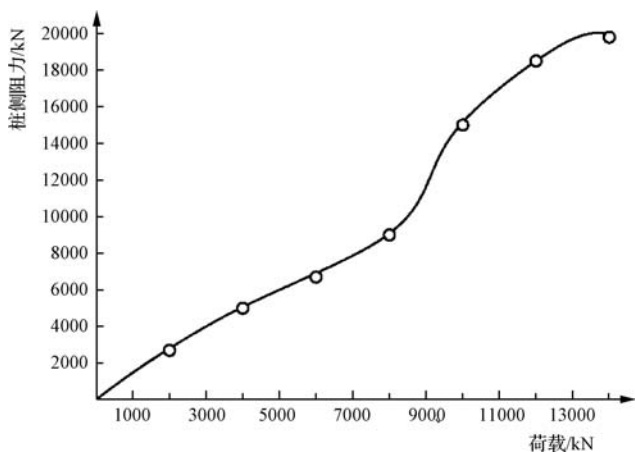


图8 桩侧阻力承担荷载比例分析

由图8~图9可知,当加载较小时,桩侧阻力值与桩端阻力值相差较小,对比可知,桩侧承担较大荷载。但随着荷载增加,桩端承担的荷载逐渐加大。

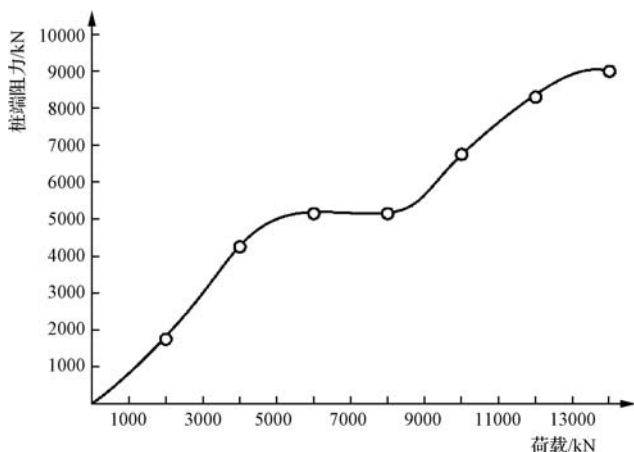


图9 桩端阻力承担荷载比例分析

3.6 桩顶荷载作用下桩身轴力变化情况分析

桩顶荷载作用下桩身轴力变化情况见图10。

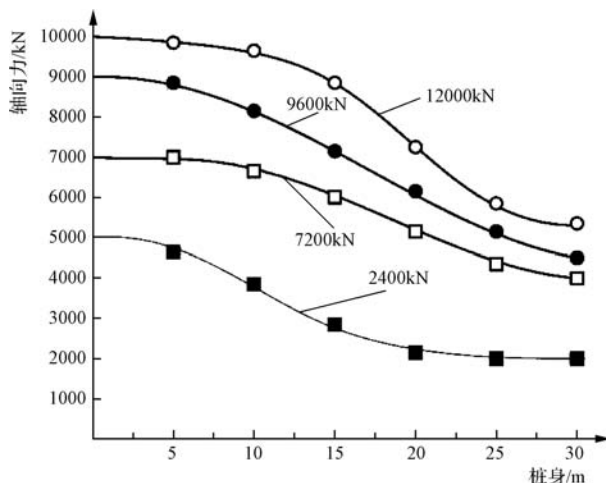


图10 桩顶荷载作用下桩身轴力变化情况分析

可见,在桩顶荷载作用下,桩身轴向力随着深度增加而增加,至桩端时基本达到最小,反映出摩擦性特征。该分析能了解桩侧阻力大小和不同深度桩身的基本情况,为后续桩基础设计提供有力依据。

4 结 语

基于自平衡法的测试数据可靠且较为直观,能为相关领域提供帮助。但进行实际桩基抗压静载能力分析时易受其他因素影响,导致计算结果不准确,为此在后续研究中,应分析可能影响的因素,以提高监测效果。▲

参考文献

- [1] 肖娅婷. 黄土地区基桩自平衡法静载试验受力变形机制与数值模拟分析[J]. 建筑科学, 2019, 35(11): 89-94.
- [2] 缪云, 谢礼飞, 殷开成, 等. 越南格更 1 号桥桩基竖向抗压承载力检测[J]. 中外公路, 2020, 40(1): 92-95.
- [3] 缪云, 王贵彬, 徐福建, 等. 煤系地层人工挖孔桩承载特性现场试验研究[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(7): 124-130.
- [4] 史永跃, 王奎华, 卢松, 等. 桶形负压试桩反力装置现场试验及工程应用[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 119(2): 139-146.
- [5] 杨兴华, 何宇, 杨劲岫, 等. 双荷载箱的自平衡法在戛洒江特大桥桩基优化中的应用[J]. 世界桥梁, 2019, 47(1): 76-80.
- [6] 余竹, 殷永高, 杜宪亭. 池州长江公路大桥根式基础承载力试验研究[J]. 桥梁建设, 2019, 49(4): 13-17.
- [7] 霍少磊, 黄兴怀, 戴国亮. 变电站工程中 PHC 管桩竖向承载力试验研究[J]. 施工技术, 2019, 48(1): 210-212.
- [8] 王智明, 连杰明. 采用静载试验合理确定单桩竖向抗压极限承载力的方法[J]. 建筑技术, 2020, 51(3): 378-380.
- [9] 周跃鹏, 陈树人, 唐忠, 等. 曲柄滑块秸秆压缩机构振动研究——基于惯性力平衡法[J]. 农机化研究, 2019, 41(4): 37-41.
- [10] 刘满禄, 韩帅, 张俊俊, 等. 基于两轮自平衡小车的 H_{∞} 和 LQR 控制方法对比研究[J]. 机械设计与制造, 2019(5): 245-248.
- [11] 王金淑, 吴光, 潘岳, 等. 基于改进 Mindlin 解的自平衡试桩基底沉降计算[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(1): 92-99.
- [12] 董洪汉, 李新凯, 庄宁, 等. 基于岩土体自身承载力的桩基设计[J]. 建筑结构, 2020, 50(17): 121-125.
- [13] 冯忠居, 李铁, 冯凯, 等. 基于 Mohr-Coulomb 的强盐沼泽区桩基承载特性探讨[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(11): 74-80.
- [14] 段瑞芳, 王鼎, 王晓明. 冲刷作用下斜坡桩基竖向极限承载力评价方法[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019, 43(1): 20-25.
- [15] 邓美林, 王晋伟, 杨鑫, 等. 超大厚度黄土地区钻孔灌注桩承载力与沉降研究[J]. 建筑技术, 2019, 50(2): 132-135.

(上接第 33 页) 然后喷射第 2 层, 喷射厚度在 2.0cm 左右。

丙乳砂浆第 1 层用木抹子压实抹平, 第 2 层用铁抹子压实抹光。抹压时要注意边沿压实, 不要来回多次抹压, 以免被压实的边沿又被带起, 形成缝隙; 反复抹压也会影响浆体中聚合物膜的质量。

6 结 语

丙乳砂浆加固处理部位经过 1 年运行后, 组织有关技术人员进行专项检查, 表面未发现缝隙, 敲击没有脱鼓声, 表面平整, 与完工验收时无任何变化。实践证明: 丙乳砂浆具有良好的物理力学性能, 对水工混凝土工程进行加固处理, 技术切实可行, 质量有保证; 既适合薄层修复, 又能潮湿面施工, 工艺简单, 环保无毒, 安全可靠, 优势明显。较好地解决了水工

混凝土老损剥蚀等质量问题, 效果显著。▲

参考文献

- [1] 乔生祥, 黄华平. 水工混凝土缺陷检测和处理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工程结构加固材料安全性鉴定技术规范: GB 50728—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工业建筑防腐蚀设计标准: GB 50046—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [4] 董永全, 马德福. 丙乳砂浆在豆腐窝分洪闸大梁加固中的应用[J]. 水利建设与管理, 1997, 17(5): 30-31.
- [5] 陈爱民, 秦维升, 陈玉红. 丙乳砂浆在跋山水库老闸墩头处理中的应用[J]. 治淮, 2001(12): 2.
- [6] 程利, 王鑫, 赵雄燕. 功能化丙烯酸酯乳液的研究与应用[J]. 应用化工, 2019, 48(8): 5.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.06.09

两河口水电站雾化区边坡综合治理措施

刘玉兴

(中铁十八局集团第二工程有限公司, 河北 唐山 063000)

【摘要】 泄流雾化是水库及水电站常见的泄流水流形态, 对岸坡有一定的影响。文章以两河口水电站为研究背景, 通过雾化区降雨强度分级对雾化区进行分区, 结合雾化区降雨影响范围的分区及雾化区两岸边坡地质条件, 分别提出了三种类型两岸边坡制定分区防护思路, 通过对两岸边坡分区的防护, 保证了工程安全, 可为类似工程的边坡防护治理提供参考。

【关键词】 两河口水电站; 泄流雾化; 边坡治理

中图分类号: TV221

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-040-05

Comprehensive Treatment Measures for Slope in Atomization Area of Lianghekou Hydropower Station

LIU Yuxing

(China Railway 18 Bureau Group Second Engineering Co., Ltd., Tangshan 063000, China)

Abstract: Discharge atomization is a common discharge water flow pattern in reservoirs and hydropower stations, which has certain influence on the bank slope. Lianghekou Hydropower Station is adopted as the research background in the paper. The atomization areas are zoned according to rainfall intensity classification. The zoning of rainfall influence range in the atomization area and the slope geological conditions at both banks of the atomization area are combined. The zoning protection thoughts formulated according to A, B and C both-bank slopes are respectively proposed. The project safety is guaranteed through the zoning protecting of slopes on both banks, thereby providing reference for slope protection and treatment of similar projects.

Key words: Lianghekou Hydropower Station; discharge atomization; slope treatment

1 工程概况

两河口水电站位于四川省甘孜州雅江县境内的雅
砻江干流上, 电站坝址位于雅砻江干流与支流鲜水河

的汇合口下游约 2km 河段, 坝址控制流域面积为
6.57 万 km², 坝址处河流多年平均流量 666m³/s, 电
站采用坝式开发, 开发任务以发电为主, 兼顾防洪。
两河口水电站枢纽建筑物由砾石土心墙堆石坝、洞式

收稿日期: 2021-12-28

作者简介: 刘玉兴 (1974—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利水电工程施工管理工作。

溢洪道、深孔泄洪洞、放空洞、漩流竖井泄洪洞、地下发电厂房、引水及尾水建筑物等组成,采用“拦河砾石土心墙堆石坝+右岸引水发电系统+左岸泄洪、放空系统+左、右岸导流洞”的工程枢纽总体布置格局,泄洪消能方式为挑流泄洪。

针对水电站泄洪产生的雾化问题,练继建等^[1]基于国内外相关研究成果和工程实践应用,构建了中国高坝枢纽雾雨场源及防护体系,凝练了当前高坝枢纽泄洪雾化的发展成果和技术瓶颈。慕洪友等^[2]依据 Matlab 计算的雾化分区分级结果,分析了 RM 水电站泄洪雾化特点,提出了雾雨区边坡防治对策。杨银辉等^[3]通过对二滩水电站大坝下游两岸工程边坡变形破坏区的地质条件和泄洪雾化影响进行分析,发现了导致边坡变形破坏的内因及外因。刘志国等^[4]针对丰满水电站重建工程中的挑流消能方案,采用随机溅水数学模型对雾化降雨进行了数值模拟,证明了该工程分区挑流方案对控制雾化范围的有效性和雾化降雨对坝后及下游建筑物的影响有限,给出了泄洪运行调度的建议方案。陈毅峰等^[5]以象鼻岭水电站为背景,结合雾化区预测影响范围及雾化区边坡地质条件,制定了分区防护措施。李建会等^[6]针对角坝堆积体对猴子岩水电站下游边坡稳定的不利影响,提出了新的加固方案,保证了工程进度,增加了边坡稳定安全裕度。张旻^[7]根据物理模型预报泄洪水舌与泄洪雾化雨强分布,对锦屏一级水电站泄洪洞泄洪雾化影响进行了综合分析,并据此采取了防护措施。向柏宇等^[8]采用定性宏观评价与半定量评价(CSMR)相结合的方法,对大岗山水电站雾化区左、右岸环境边坡危岩体进行了稳定状态评价和失稳模式的划分,并对环境边坡危岩体进行了分区治理。

2 雾化降雨影响范围分区

两河口水电站在洞式溢洪道和深孔泄洪洞全部开启泄洪的情况下,雾化源主要有两个:一是洞式溢洪道挑流泄洪时形成的雨雾;二是深孔泄洪洞挑流泄洪

时形成的雨雾。雾化影响区范围纵向上长约 1365m [以溢洪道出口挑坎 0+950 桩号为起点(溢出)0+000],爬升最大高程至 2780.00m,最大影响高度约 200m。

根据工程区雨强资料,把左右岸分别分为 I、II、III、IV 四个级别的雾化降雨区。

3 雾化区边坡地质条件

3.1 雾化区左岸边坡地质条件

左岸主要针对 IV 区进行工程地质评价。

IV 区以洞式溢洪道出口挑坎(溢)0+950 桩号为起点(溢出)0+000,IV 区桩号为(左溢出)0+700~1+060,高程 2627.00~2780.00m。该区地形坡度约 40°,地形较完整,有浅沟切割。岸坡主要为覆盖层,基岩零星裸露。该区在 2756.14m 高程布置有钻孔,孔深 50.6m。0~12m 为覆盖层,12~50.6m 为 $T_3lh^{2(5)}$ 层粉砂质板岩与绢云母板岩互层。弱上风化 0~46m,弱下风化 46~50.6m(未揭穿)。下伏基岩浅表为弱风化强卸荷的 V 类岩体,岩体较破碎。岸坡为横向谷,整体稳定性好;浅表覆盖层及破碎岩体在雨雾影响下,稳定性差,可能出现塌滑或坡面泥石流,应有必要的工程处理措施。左岸雾化区 IV 区边坡现状见图 1。



图 1 左岸雾化区 IV 区边坡

3.2 雾化区右岸边坡地质条件

I 区:以洞式溢洪道出口挑坎 0+950m 桩号为起

点（溢出）0+000，右岸Ⅰ区桩号为（右溢出）0+080~0+160，高程2627.00~2720.00m。该区地形坡度约45°，地形较完整。岸坡主要为覆盖层，基岩零星裸露。据钻孔揭示，覆盖层厚2.8~6.5m，为崩坡积的块碎石土。下伏基岩浅表为弱风化强卸荷的Ⅴ类岩体，岩体较破碎。岸坡为横向谷，整体稳定性好；浅表覆盖层及破碎岩体在雨雾影响下，稳定性差，应有必要的工程处理措施。

Ⅱ区：右岸Ⅱ区桩号为（右溢出）0+160~0+420，高程2627.00~2760.00m。该区地形坡度约40°，岸坡主要为覆盖层，基岩零星裸露。据钻孔揭示，覆盖层厚5.7~6.5m，为崩坡积的块碎石土。岸坡表覆盖层、破碎岩体及倾倒岩体在雨雾影响下，稳定性差，可能出现塌滑或坡面泥石流，应有必要的工程处理措施。右岸雾化区Ⅰ、Ⅱ区边坡现状见图2。



图2 右岸雾化区Ⅰ、Ⅱ区边坡

Ⅲ区：右岸Ⅲ区桩号为（右溢出）0+420~0+940，其中（右溢出）0+420~0+560之间，地形完整性较差，无名沟切割较深。岸坡主要为覆盖层，基岩零星裸露，勘探揭示覆盖层厚2~6m。无名沟内覆盖层分布较厚，据钻孔揭示，覆盖层厚6.65~20.6m。无名沟走向与地层小角度相交，两岸浅表发育有倾倒变形岩体，应有必要的防护措施。（右溢出）0+560~0+630之间岸坡主要为覆盖层，基岩零星裸露。无名沟下游侧勘探揭示覆盖层厚2~6m。下伏基岩浅表为弱风化强卸荷的Ⅴ类岩体，岩体较破碎。鉴于岸坡为横向谷，整体稳定性好，浅表覆盖

层、破碎岩体及无名沟浅表倾倒岩体在雨雾影响下稳定性差，可能出现塌滑或坡面泥石流，应有必要的工程处理措施。（右溢出）0+630~0+940之间边坡，勘探揭示高程2820.00m以下覆盖层厚2~12m，高程2820.00m以上，植被发育，覆盖层堆积较厚，据钻孔揭示，厚16~28.9m。鉴于岸坡为横向谷，整体稳定性好，影响区内覆盖层及浅表松散岩体稳定性差，可能出现塌滑或坡面泥石流，应有必要的工程处理措施。右岸雾化区Ⅱ、Ⅲ区边坡现状见图3。



图3 右岸雾化区Ⅱ、Ⅲ区边坡

Ⅳ区：右岸Ⅳ区桩号为（右溢出）0+940~1+130，高程2627.00~2700.00m。该区地形坡度高程2650.00m以下35°，以上地形坡度约20°，地形完整性较差，浅沟较发育。覆盖层广泛分布，勘探揭示厚3~11m。影响区内覆盖层及浅表松散岩体稳定性差，可能出现塌滑或坡面泥石流，应有必要的工程处理措施。右岸雾化区Ⅲ、Ⅳ区边坡见图4。



图4 右岸雾化区Ⅲ、Ⅳ区边坡

4 雾化区两岸边坡防护措施

4.1 雾化区左岸边坡防护措施

左岸雾化区边坡加固处理范围为溢洪道挑坎出口下游（左溢出）0+700~1+060（IV区）。雾化区左岸边坡加固处理措施如下：

高程 262.007~2650.00m 范围内，贴坡 C25 混凝土，平均厚度 0.5m；坡面布置系统锚杆 $\phi 25$ ， $L=3.0\text{m}$ 和 $\phi 25$ ， $L=4.5\text{m}$ ，锚杆间、排距为 2.0m；坡面布置排水孔 $\phi 50$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 40$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管。

高程 2650.00~2700.00m 范围内，坡面布置框格梁护坡，框格梁间、排距为 4.0m，框格梁尺寸为 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ；框格梁中间喷 C25 混凝土，厚 15cm，挂防护网 $\phi 6.5@15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ；框格梁节点布置锚筋束 $3\phi 28$ ， $L=9.0\text{m}$ ，框格梁定位锚杆根据实际情况采用普通水泥砂浆锚杆或自进式锚杆 $\phi 28$ ， $L=6.0\text{m}$ ，间、排距 2.0m，定位锚杆位于框格梁上；坡面布置排水孔 $\phi 90$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 75$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管。

高程 2700.00~2780.00m（14 号施工便道路面高程）范围内，坡面布置框格梁护坡，框格梁间、排距为 4.0m，框格梁尺寸为 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ ，框格梁中间喷 C25 混凝土，厚 15cm，挂防护网 $\phi 6.5@15\text{cm} \times 15\text{cm}$ ；框格梁节点布置锚筋束 $3\phi 28$ ， $L=9.0\text{m}$ ，框格梁定位锚杆根据实际情况采用普通水泥砂浆锚杆或自进式锚杆 $\phi 28$ ， $L=6.0\text{m}$ ，间、排距 2.0m，定位锚杆位于框格梁上；坡面布置排水孔 $\phi 90$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 75$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管；此范围内根据覆盖层厚度及边坡具体情况局部布置 4 排或 8 排 $P=1000\text{kN}$ ， $L=30\sim 70\text{m}$ 的预应力锚索，锚索位于框格梁节点上，间距 4.0m，垂直高差为 4.0m。

4.2 雾化区右岸边坡防护措施

右岸雾化区边坡加固处理范围为右岸泄洪雾化区

IV 区高程 2660.00m 以下、其他区（I 区、II 区、III 区）高程 2680.00m 以下。具体右岸泄洪雾化区边坡加固处理措施如下：

溢洪道挑坎出口下游（右溢出）0+080~0+160（I 区），即高程 2627.00~2680.00m 范围，贴坡 C25 混凝土，平均厚度 0.5m；坡面布置系统锚杆 $\phi 25$ ， $L=3.0\text{m}$ 和 $\phi 25$ ， $L=4.5\text{m}$ ，锚杆间、排距为 2.0m；边坡布置排水孔 $\phi 50$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 40$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管；布置两排 $P=1000\text{kN}$ 锚索于混凝土面板上，锚索间距 5.0m。

溢洪道挑坎出口下游（右溢出）0+160~0+420（II 区），即高程 2627.00~2680.00m 范围，贴坡 C25 混凝土，平均厚度 0.5m；坡面布置系统锚杆 $\phi 25$ ， $L=3.0\text{m}$ 和 $\phi 25$ ， $L=4.5\text{m}$ ，锚杆间、排距为 2.0m；边坡布置排水孔 $\phi 50$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 40$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管。根据现场实际情况，局部布置 $P=1000\text{kN}$ ， $L=30\sim 50\text{m}$ 的预应力锚索。

溢洪道挑坎出口下游（右溢出）0+420~0+940（III 区），即高程 2627.00~2680.00m 范围，贴坡 C25 混凝土，平均厚度 0.5m；坡面布置系统锚杆 $\phi 25$ ， $L=3.0\text{m}$ 和 $\phi 25$ ， $L=4.5\text{m}$ ，锚杆间、排距为 2.0m；边坡布置排水孔 $\phi 50$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 40$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管。根据现场实际情况，局部布置 $P=1000\text{kN}$ ， $L=30\sim 50\text{m}$ 的预应力锚索。

溢洪道挑坎出口下游（右溢出）0+940~1+130（IV 区），即高程 2627.00~2660.00m 范围，贴坡 C25 混凝土，平均厚度 0.5m；坡面布置系统锚杆 $\phi 25$ ， $L=3.0\text{m}$ 和 $\phi 25$ ， $L=4.5\text{m}$ ，间、排距为 2.0m；边坡布置排水孔 $\phi 50$ ， $L=4.0\text{m}$ ，间、排距 3.0m，排水孔中布置外包土工布 $\phi 40$ ， $L=4.0\text{m}$ 的 PVC 排水花管。

5 结 论

本文通过对泄洪雾化降雨影响范围分区和两岸边

坡地质条件的分析,发现两河口水电站大坝下游两岸边坡线性破坏主要受岸坡岩体中局部结构面不利组合形成的楔形块体滑移拉裂变形和雾化降雨引起地下水位抬高对结构面性状的不利影响所控制,结合内外因,总结出两岸边坡分区防护措施,可为类似雾化区边坡防护工程提供借鉴。

浅层支护:A型贴坡C25混凝土,平均厚度0.5m;坡面布置系统锚杆 $\phi 25$, $L=3.0\text{m}$ 和 $\phi 25$, $L=4.5\text{m}$ 两种,间、排距为2.0m;基岩坡面布置排水孔 $\phi 76$, $L=4.0\text{m}$,间、排距3.0m,排水孔中布置有外包土工布 $\phi 50$, $L=1.0\text{m}$ 的PVC排水花管;覆盖层坡面布置排水孔 $\phi 90$, $L=4.0\text{m}$,间、排距3.0m,排水孔中布置有外包土工布 $\phi 75$, $L=4.0\text{m}$ 的PVC排水花管。B型坡面布置框格梁护坡,框格梁间、排距为4.0m,截面尺寸为 $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$;中间喷C25混凝土,厚15cm,挂网 $\phi 6.5@15\text{cm}\times 15\text{cm}$;框格梁节点布置锚筋束3 $\phi 28$, $L=9.0\text{m}$,定位锚杆采用自进式锚杆 $\phi 28$, $L=6.0\text{m}$,间、排距为2.0m;覆盖层坡面排水孔布置与A型相同。C型坡面喷C25混凝土,厚15cm,挂网 $\phi 6.5@15\text{cm}\times 15\text{cm}$;坡面布置系统锚杆 $\phi 28$, $L=6.0\text{m}$,间、排距为2.0m;坡面布置排水孔

(上接第19页)资561.73万元,每千瓦投资2442元,电能投资0.81元/(kW·h),发电成本0.13元/(kW·h)。

6.3 对比分析

在额定工况下,水轮发电机组的综合效率由现在的70%左右提高到90%以上,梨西1号电站年发电量比目前的570万kW·h增加605万kW·h,增幅106%,比原设计年均发电量825.05万kW·h增加350万kW·h,增幅42%,产生净效益约87.5万元;梨西2号电站年发电量比目前的350万kW·h增加340万kW·h,增幅97%,比原设计年均发电量500.3万kW·h增加189.91万kW·h,增幅38%,产生净效益约47.55万元。按综合上网电价0.25元/

$\phi 76$, $L=5.0\text{m}$,间、排距3.0m,排水孔中布置外包土工布 $\phi 50$, $L=1.0\text{m}$ 的PVC排水花管。

深层支护:采用1860MP,公称直径15.20mm的锚索钢绞线,设计安装吨位1500kN及1000kN,左岸雾化区设计孔深40~65m,间距4m;右岸雾化区设计孔深30~60m,间距5m。▲

参考文献

- [1] 练继建,刘丹,刘昉.中国高坝枢纽泄洪雾化研究进展与前沿[J].水利学报,2019,50(3):283-293.
- [2] 慕洪友,姜威立,郑雪玉.RM水电站泄洪雾化特性及边坡防治对策[J].水电与抽水蓄能,2019,5(6):103-110,150.
- [3] 杨银辉,韩先宇,闵四海,等.二滩水电站下游雾化区高边坡变形破坏机理浅析[J].大坝与安全,2019(4):7-11.
- [4] 刘志国,柳海涛,孙双科,等.丰满水电站重建工程挑流消能方案泄洪雾化研究[J].水利水电技术,2018,49(1):108-113.
- [5] 陈毅峰,刘杰,崔进.象鼻岭水电站雾化区治理设计[J].工程建设与设计,2019(21):86-88.
- [6] 李建会,冉从勇,何兰.猴子岩水电站泄洪雾化区堆积体治理设计[J].人民长江,2014,45(8):51-54.
- [7] 张旻.锦屏一级水电站泄洪洞泄洪雾化及防护措施研究[J].水电站设计,2015,31(2):24-27.
- [8] 向柏宇,李建会,邵敬东,等.大岗山水电站雾化区环境边坡综合治理[J].水力发电,2016,42(9):37-40,53.

(kW·h)计算,电站改造后财务年收入416.32万元,平均每年可获利润267.83万元。若按影子电价0.30元/(kW·h)计算,其国民经济年收益为499.59万元,增效扩容改造效益十分明显。

7 结 语

综上所述,临泽县小水电站水能资源丰富,基础设施较好,增容改造条件优越,改造技术简单,工程量小,投资省,效益好,应进一步论证,争取早日实施。▲

参考文献

- 张兆新,李开月.发展农村水电事业推动临泽社会主义新农村建设[J].中国水能及电气化,2006(9):46-47,51.

科学研究

混凝土中骨料碱活性抑制效能试验研究

潘义为¹ 徐爽²

- (1. 水利部建设管理与质量安全中心, 北京 100038;
2. 中水东北勘测设计研究有限责任公司, 吉林 长春 130061)

【摘要】 碱骨料反应对混凝土破坏力极强, 是水利工程建设必须注意的问题。文章介绍了混凝土中碱骨料反应对混凝土耐久性的影响, 并对掺和料对混凝土中骨料碱活性的抑制效能进行了试验, 进一步了解了掺和料对碱活性的抑制效能, 以供类似工程借鉴。

【关键词】 混凝土; 碱骨料; 效能; 试验

中图分类号: TV431

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-045-04

Experimental Study on Inhibition Efficiency of Alkali Activity of Aggregate in Concrete

PAN Yiwei¹, XU Shuang²

- (1. Construction Management and Quality Safety Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;
2. China Water Northeast Survey, Design and Research Co., Ltd., Changchun 130061, China)

Abstract: Alkali aggregate reaction is extremely destructive to concrete. It is a problem that must be paid attention to in water conservancy projects construction. The influence of concrete alkali aggregate reaction on concrete durability is introduced in the paper, and the inhibition efficiency of mineral admixture on alkali activity of concrete aggregate is tested, and the inhibition effect of admixture on alkali activity is further understood, which can be used for reference in similar projects.

Key words: concrete; alkali aggregate; efficiency; test

混凝土中碱骨料反应, 是混凝土中有害活性骨料与胶凝材料中的碱发生反应。反应后产生一种碱—硅凝胶物质, 这种凝胶包裹着混凝土骨料, 当与混凝土中的水分子相互作用时会发生体积膨胀, 从而导致混

凝土发生破坏现象, 降低耐久性。碱骨料反应在混凝土浇筑后就逐渐开始, 严重时, 产生的裂缝会使整个混凝土结构受到破坏, 因此, 工程碱骨料反应危害引起足够重视。本文通过骨料碱活性抑制效能试验,

收稿日期: 2022-01-14

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

研究在采用有害活性骨料时，掺加掺和料对骨料活性的抑制效果，提高混凝土的耐久性。

1 试验方案选择

1.1 碱骨料反应具备的前提条件及抑制方案

发生混凝土碱骨料反应需要具备以下三种条件：首先是混凝土中胶凝材料和外加剂中含碱量高；第二是骨料为有害活性骨料；第三是混凝土在湿气较大的环境中使用，有充足的水分或湿气供给。当前在抑制碱骨料反应中，一般在设计混凝土配合比时就采取相应的措施，主要措施包括控制水泥含碱量、控制混凝土中总碱量、对骨料选择使用、加掺和料。受地理条件限制，较多工程的混凝土骨料无法选择使用，在尽可能控制混凝土中胶凝材料含碱量的前提下，选择掺入掺和料的方案，控制混凝土碱骨料反应是容易实现和可行的。

1.2 碱骨料反应试验材料

本次试验研究采用的骨料是通过试验被评为有害活性的骨料，混凝土配置时选择掺入掺和料，从而达到控制混凝土碱骨料反应的目的。试验中，选定粉煤灰、硅粉、碳酸锂这三种掺和料作为骨料碱活性抑制材料（见表1）。

1.2.1 粉煤灰骨料碱活性抑制材料

粉煤灰属于活性混合材料，在与水泥熟料水化产生的氢氧化钙和水在有碱的情况下能够生成水硬性物质，降低混凝土中的碱含量，粉煤灰等量代替水泥加入混凝土中还可减少水泥带入混凝土中的碱量，从而有效抑制碱骨料反应的发生。

1.2.2 硅粉骨料碱活性抑制材料

硅粉作为掺和料掺入混凝土中使用时，可以使混凝土的孔隙结构发生变化，产生大量的超细微孔隙，减少混凝土砂浆中的 Na^+ 、 K^+ 的含量，同时硅粉掺入混凝土中还可使水泥中的氢氧化钙被吸收，能够形成活性较低的凝胶产物，而这样的凝胶呈现很强的吸

收碱的能力。

1.2.3 碳酸锂骨料碱活性抑制材料

碳酸锂中锂离子与硅的生成物比碱与硅的生成物离子结合力更强，含锂离子化合物的引入将使锂离子取代钠离子、钾离子，首先形成另一种凝胶产物——锂硅酸凝胶，其自身是非膨胀性物质。锂离子可进入混凝土孔隙中，与有害活性骨料发生反应产生硅酸锂凝胶，对骨料进行保护，可以阻止钠离子、钾离子与有害活性骨料发生碱活性反应。所以碳酸锂有降低碱骨料反应发生的效果，使混凝土尺寸保持稳定。

表1 抑制材料掺量

序号	抑制材料	掺量	备注
1	碳酸锂	0.5%	占混凝土中水泥用量
2		1.0%	
3	粉煤灰	25%	75% 为水泥，25% 为掺和料，掺量按照体积计算，等体积代替水泥
4	粉煤灰、硅粉	20% 粉煤灰 + 5% 硅粉	

2 骨料碱活性抑制效能试验

2.1 配合用料

试验混凝土中的骨料采用石英玻璃砂；试验所用水泥为基准水泥，通过加入氢氧化钠溶液使基准水泥碱含量达到 1.0%。

为判别掺和料的效能，本次试验选择掺量为 0.5%、1.0% 碳酸锂，25% 粉煤灰，20% 粉煤灰 + 5% 硅粉四种方案进行，其中碳酸锂方案，对比试样所用水泥采用与基准试样水泥相同质量，碳酸锂掺量为占水泥用量的 0.5% 和 1%。当采用粉煤灰、粉煤灰与硅粉两种方案时，掺和料掺量按体积计，制作的对比试样中粉煤灰、粉煤灰与硅粉混合料取代 25% 水泥用量，其余 75% 水泥用量与基准试样相同。

2.2 试验方法

对比试样水泥用量与标准试样相同。混凝土试验样品制作完成后，在不拆除模具的情况下立即进行养

护，标准养护 22 ~ 26h 后拆除混凝土试样外模具。模具拆除后立即测量试样的基准长度。长度测量完成后将混凝土试样置于密闭的养护容器中，将养护容器放入 36 ~ 40℃ 的养护室里进行养护，至 14d 和 56d 的测长龄期前一天，把试样和养护容器一同从养护室拿出，储存在 18 ~ 22℃ 的恒温环境中，到达 14d 和 56d 龄期时测量混凝土试样长度。

采用表 1 中的四种抑制材料掺量方案进行试验。从试验结果可看出，25% 掺量的粉煤灰对骨料碱活性抑制效果最好（见表 2）。

表 2 骨料碱活性抑制效能试验结果

序号	抑制材料及掺量	不同试验龄期下的试样膨胀率/%		14d 膨胀率降低率/%
		14d	56d	
1	基准试样	0.307	0.815	—
2	0.5% 碳酸锂	0.079	0.108	74.3
3	1.0% 碳酸锂	0.035	0.060	88.6
4	25% 粉煤灰	0.032	0.048	89.6
5	20% 粉煤灰 + 5% 硅粉	0.050	0.065	83.7

3 碱活性抑制效能验证试验

通过抑制效能试验得出的初步结果是 25% 掺量的粉煤灰可以有效降低骨料碱活性，为验证该结果的可靠性，采用砂浆棒快速法及混凝土棱柱体法进行有害活性骨料的碱活性验证试验，进一步评定混凝土中掺入 25% 粉煤灰对骨料碱活性的抑制效果。

3.1 砂浆棒快速法效能验证

砂浆棒快速法是测试有害活性骨料在混凝土中的有害碱—硅酸反应的一种方法。试验所用水泥为基准水泥，通过加入氢氧化钠溶液使其碱含量达到 1.0%。砂料采用有害活性骨料，经破碎组合成标准级配试验用砂，水泥与砂的质量比为 1:2.25，一组 3 个试样，砂浆水灰比为 0.47。粉煤灰掺量按体积计，等量取代 25% 的水泥掺量。

混凝土试验样品制作完成后，在不拆除模具的情况下放入温度为 17 ~ 23℃、湿度在 95% 以上的养护室中，标准养护 22 ~ 26h 后拆除混凝土试样外模具，模具拆除后立即在 18 ~ 22℃ 的恒温环境中测量试样的初始读数。测量完成后将试样全部置于装有水的密闭养护容器中，在 78 ~ 82℃ 具有恒温功能的水箱中放置 1d。然后将试样从养护容器内拿出并尽快测量试样的基准长度，测量完毕后，将试样放置于装有 1mol/L 浓度的 NaOH 溶液的养护容器中，试样应全部置于溶液中，再将密闭的养护容器放入温度在 78 ~ 82℃ 具有恒温功能的水箱中，之后的 3d、7d、14d 进行三次长度测量。从试验结果（见表 3）可以看出，不掺任何抑制材料的活性骨料 7d 和 14d 凭膨胀率明显大于掺加 25% 粉煤灰的活性骨料。

表 3 砂浆棒快速法碱活性检测结果

抑制材料及掺量	不同试验龄期下的试样膨胀率/%		
	3d	7d	14d
无	0.007	0.038	0.242
25% 粉煤灰	0.009	0.016	0.021

3.2 混凝土棱柱体试验法效能验证

混凝土棱柱体试验法是测试混凝土试样在温度 38℃ 及湿度较大的环境下，混凝土胶凝材料中的碱与有害活性骨料相互作用产生的体积变化现象对混凝土破坏程度量化的一种试验。试验所用水泥与砂浆棒快速法相同。骨料采用活性骨料。

混凝土试样按试验方案规定的材料配合比制作完成后，在不拆除模具的情况下放入温度为 17 ~ 23℃、湿度在 95% 以上的养护室中，标准养护 22 ~ 26h 后拆除混凝土试样外模具，模具拆除后测量试样的长度，试样长度的测量需要在 18 ~ 22℃ 的恒温环境中完成。混凝土试样测长后将试样放入密闭养护容器中，置于 36 ~ 40℃ 的养护室里进行标准养护，分别在第 1 周龄期、第 2 周龄期、第 4 周龄期、第 8 周龄期、第 13 周龄期、第 18 周龄期、第 26 周龄期、第 39 周龄期、

第 52 周龄期时期进行混凝土试样长度测量。进行混凝土试样长度测量的前 1d，将养护容器从 36 ~ 40℃ 的养护室中拿出，放入 18 ~ 22℃ 的恒温室中 1d 后进行混凝土试样长度测量，通过混凝土试样长度的变化

计算膨胀率，从而判定碱活性的危害程度。从试验结果（见表 4）可以看出，活性骨料在掺入 25% 的粉煤灰后，试样一年膨胀率仅为 0.015%。

表 4 混凝土棱柱体试验法碱活性检测结果

抑制材料及掺量	不同试验龄期的试样膨胀率/%								
	1 周	2 周	4 周	8 周	13 周	18 周	26 周	39 周	52 周
25% 粉煤灰	-0.002	-0.005	-0.007	-0.010	-0.013	-0.007	0.004	0.009	0.015

4 结 语

骨料碱活性抑制效能试验选择掺量为 0.5% 碳酸锂、1.0% 碳酸锂、25% 粉煤灰、20% 粉煤灰 + 5% 硅粉四种方案进行，最终试验结果显示，掺入 25% 粉煤灰具有抑制骨料碱活性反应的效能；砂浆棒快速法和混凝土棱柱体法验证试验结果显示，掺入 25% 粉煤灰对有害骨料碱活性起到了明显的抑制作用。▲

参考文献

[1] 杨再志,杨柳,刘军,等. 乌弄龙水电站大坝混凝土抑制碱骨料反应综合措施[J]. 云南水力发电,2021,37(2):18-20.

[2] 肖祖阔,吴金灶,朱仲,等. 粉煤灰抑制碱-硅活性反应试验研究[J]. 福建水力发电,2020(2):51-54.

[3] 王座林,王座海. 隆巴水库砂板岩骨料碱活性试验及抑制措施分析[J]. 吉林水利,2020(11):26-29.

[4] 崔博涛,邓良超,董瑞靖,等. 阜康抽水蓄能电站骨料碱活性及抑制试验研究[J]. 四川水泥,2020(10):327-328.

(上接第 25 页) 取一路电源为 0.4kV 系统独立供电，使其与 10kV 主电机系统电源彻底分开，从而确保主电机启动过程中低压系统设备运行不受影响。

5 结 语

通过对该泵站主电机启动过程中 0.4kV 系统低电压保护跳闸现象进行故障排查，并对根本原因进行深入分析，从不同角度提出了四种解决方案。本文对有关问题的解决思路和设想，可为其他泵站电气设备运行出现类似情况提供参考。▲

参考文献

[1] 潘庆. 低压断路器频繁跳闸故障分析及防范措施[J]. 大众科技,2011(7):186-197.

[2] 张文宏. 低压配电室跳闸事故原因分析与预防措施[J]. 电工技术,2016(11):78,93.

[3] 何仰赞,温增银. 电力系统分析:下册[M]. 4 版. 武汉:华中科技大学出版社,2016:26.

[4] 傅宏武. 0.4kV 低压进线断路器无故跳闸分析[J]. 求知导刊,2018(18):60.

水利堤防工程安全预防体系模型的建立和应用

陈 钟¹ 周星宇¹ 陆泳君²

(1. 江苏省洪泽湖水利工程管理处, 江苏 淮安 223100;
2. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230000)

【摘 要】 为了建立洪泽湖堤防工程安全预防体系, 引进综合风险评价, 根据 LS 法分析的风险因素和隐患排查信息辅助决策, 构建了洪泽湖堤防工程层次结构模型, 基于层次分析法进行计算, 计算采用 MATLAB 进行, 针对层次分析法容忍度不充分问题, 加入专家权重, 对专家选取工作进行权威性判断, 得出权向量, 分析了影响洪泽湖堤防工程安全的主要因素, 提出了风险管控的措施。结果表明, 洪泽湖堤防工程(省管段)综合风险值为 82 分, 判断等级为良好。整体来说, 洪泽湖堤防工程运行多年, 未发生重大事故隐患, 运行管理、防洪安全、渗流安全、结构安全在工程风险中占比大, 因此要推动安全标准化建设工作、查险排患和防汛抢险工作, 保证堤防工程安全生产态势稳定。

【关键词】 安全预防体系; 综合风险评价; 专家权重; 风险因素; 层次分析法; 洪泽湖堤防

中图分类号: TV871

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-049-07

Establishment and Application of Safety Prevention System Model for Water Conservancy Embankment Project

CHEN Zhong¹, ZHOU Xingyu¹, LU Yongjun²

(1. Jiangsu Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office, Huai'an 223100, China;
2. Hefei University of Technology, Hefei 230000, China)

Abstract: Comprehensive risk evaluation is introduced in order to establish the safety prevention system for Hongze Lake Embankment Project. Hongze Lake Embankment Project hierarchy structure model is constructed according to the risk factors in the LS method analysis and auxiliary decision-making of hidden survey information. It is calculated based on analytic hierarchy process (AHP). MATLAB is adopted for calculation. Expert weight is added aiming at insufficient tolerance of analytic hierarchy process. The expert selection is authoritatively judged. Weight vector is obtained. Main factors affecting the safety of Hongze Lake Embankment Project are analyzed. The measures of risk control are put forward. The results show that the comprehensive risk value of Hongze Lake Embankment Project (provincial control section) is 82 points. The judgment grade is good. Hongze Lake Embankment Project has been operated for many years without any potential accidents. Operation management, flood control safety, seepage safety and structural safety account for a large

收稿日期: 2022-04-18

作者简介: 陈钟 (1988—), 男, 本科, 工程师, 从事水利运行和安全生产工作。

proportion in project risks. Therefore, it is necessary to promote safety standardization construction, risk investigation and disaster elimination, flood control and emergency rescue work, thereby ensuring the stability of the safety production situation in dike projects.

Key words: safety prevention system; comprehensive risk assessment; expert weight; risk factors; analytic hierarchy process; Hongze Lake Embankment

堤防工程是保安澜、防洪水的重要工程，是保护居民和工农业生产的重要措施^[1]。堤防工程管理战线长，存在环境多变、管理人员缺少、巡查条件差等问题，使堤防工程管理具有很大的不确定性和安全风险，需要堤防管理人员能够准确地辨识危险源和加强安全评估工作，并能在巡查和检查中排查出隐患，找到堤防工程管理漏洞进行管控。现阶段，堤防安全风险评估工作根据《水利部办公厅关于印发水利水电工程（堤防、淤地坝）运行危险源辨识与风险评价导则（试行）的通知》（苏水转〔2021〕49号）中的LS法（风险矩阵法）进行评估，该方法只能评估出单个危险源的风险等级，而不能对堤防整体的风险进行评估，不能客观地体现堤防安全管理水平，需要引进方法对堤防工程进行综合评价。

风险评估方法虽然已被广泛应用于各个领域的安全管理中^[2]，但堤防综合风险评估却处于刚刚起步阶段。20世纪70年代美国管理学者 Saaty^[3] 提出层次分析法（AHP），这是一种层次权重决策分析方法；汪

应洛等^[4]首次把 AHP 法应用到我国煤炭决策分析中，具有重要实践意义；沈斐敏^[5]首次把 AHP 法运用到工程技术方案的选取中，对工程管理工作具有实践意义；陈昌仁等^[6]对洪泽湖流态生态风险进行研究，采用 AHP 法—熵权法对整个洪泽湖生态风险进行综合评估，对评价结果提出了针对性措施；王伟等^[7]对安全标准化创建工作进行动态评估，运用 AHP 法对施工企业进行动态评价，构建出层次结构模型，分析出关键因素和失效因素，进行打分评估，确定等级。根据水利部提出的“双预防”机制，堤防工程预防体系模型需要基于隐患排查治理和风险评估进行构建，为堤防安全管理人员的风险决策和隐患治理提供研究方法。

1 综合风险评估方法

基于层次结构模型的综合风险评估的方法包括体系构造、方法设计和综合风险分析3部分，主要靠以下4个步骤来实现（见图1）：

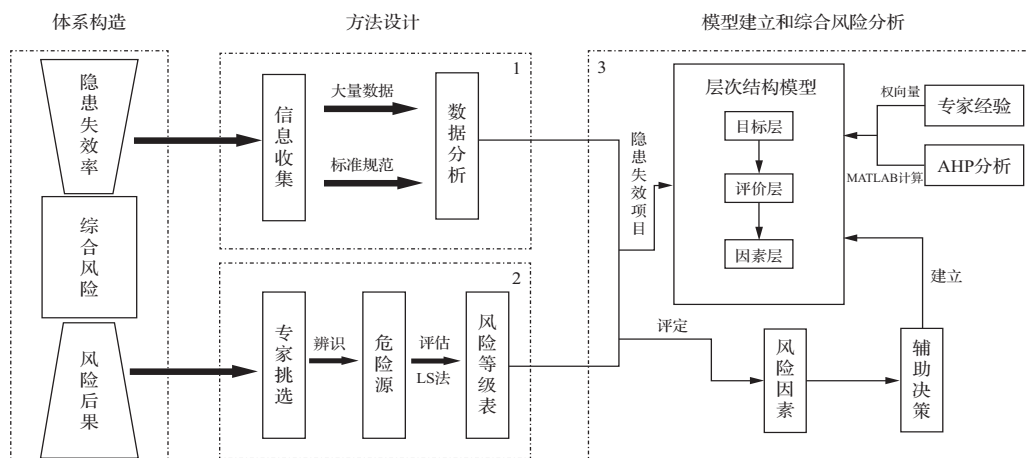


图1 综合风险分析的框架结构

a. 体系构造。根据 ISO 13824 关于风险评估的一般原则，风险的定义为： R （风险）= P （失效概率）

$\times H$ （失效后果），结合堤防安全管理实际，则体系构造为： R （综合风险）= Y （隐患失效率） $\times F$

(风险后果)。

b. 专家挑选。金远征等^[8]提出利用专家权重改进 LEC 法,解决了在评估过程中主观性较强、风险容忍度考虑不充分的问题,据此,在管理单位三个层级(分管责任人、部门责任人、运行管理人员)中挑选专家,并计算出权向量 M 。

c. 风险因素分析。利用挑选出的专家对堤防进行危险源辨识和风险评价(风险评价方法为 LS 法),根据风险等级表,分析堤防风险因素。

d. 层次模型建立及综合风险分析。基于专家经验、风险因素及《堤防工程安全评价导则》(SL/Z 697—2015)等建立层次结构模型并分析,根据年度隐患统计及数据分析,得出隐患失效项目,结合层次结构分析,采用 MATLAB 软件计算出综合风险评估值,确定堤防风险等级,辅助管理人员进行风险决策,并采取有效措施加以解决。

1.1 专家权重

在三个层级中挑选专家,分成 3 组,分别为三个层级分管负责人 A、部门负责人 B、运行管理人员 C,各层级选取专家,并利用专家权重^[9]来挑选专家,综合从事专业年限、专业技术水平、从事安全生产工作经验、堤防工程管理工作技术水平等 4 方面因素确定,见表 1,一级、二级、三级专家的可信度 δ 分别为 1.0、0.8、0.6。

表 1 专家分级标准

一 级	二 级	三 级
从事专业年限 10 年以上,有相关的安全生产工作经验,水利运行类高级工程师及以上	满足以上条件 2 项	满足以上条件 1 项

根据专家分级标准来确定某专家 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 可信度 δ_i ,专家组综合可信度 α_n 按下式计算:

$$\alpha_n = Q(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n) = 1 - (1 - \delta_1)(1 - \delta_2) \dots (1 - \delta_n) \quad (1)$$

Q 为相关函数,与可信度 δ_i 有关, α_n 越接近 1,则专家组可信度越高,权威程度越大。某专家可信度

在专家组内的权重 θ_i 按下式计算:

$$\theta_i = \frac{\delta_i}{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n} \quad (2)$$

权向量 $M = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]$,其中 n 为专家总数。

1.2 风险因素分析

根据堤防工程管理实际,利用挑选出的专家组,依据水利部堤防导则,对堤防工程进行危险源辨识和风险评估,危险源风险评估采用 LS 法,LS 法的数学表达式为

$$R = L \times S \quad (3)$$

其中 R 为风险值, L 为事故发生的可能性, S 为事故造成危害的严重程度。针对危险源评价价值,根据一般危险源风险等级划分标准表——风险矩阵法 (LS 法),判断出危险源风险等级,见表 2,根据较大以上风险等级危险源,分析出堤防工程风险因素,作为层次结构模型建立的辅助决策作用。

表 2 一般危险源风险等级划分标准
——风险矩阵法 (LS 法)

R 值区间	风险程度	风险等级	颜色标示
$R > 320$	极其危险	重大风险	红
$160 < R \leq 320$	高度危险	较大风险	橙
$70 < R \leq 160$	中度危险	一般风险	黄
$R \leq 70$	轻度危险	低风险	蓝

1.3 层次模型建立及综合风险分析

1.3.1 层次模型建立

AHP 分析法是一种定性和定量分析的决策方法^[10],根据问题性质和要达到的总目标,将问题分解为不同的组成因素,形成一个多层次的分析结构模型,采用数理化形式,对多因素进行分析评价,最终得出综合性决策。其优点为计算简单,便于理解,可应用到具体工程安全管理过程中。采用 AHP 分析法,首先需要建立层次结构模型,本文研究方法为:①专家组根据《堤防工程安全评价导则》(SL/Z 697—2015)建立堤防层次结构模型;②对堤防工程进行风

险评估，分析出的风险因素用于辅助决策。建立的层次结构为目标层（ E ）、评价层（ F ）、因素层（ G ）等3个层次框架结构，层次结构模型见图2，图中 m 、 n 为大于2的整数。

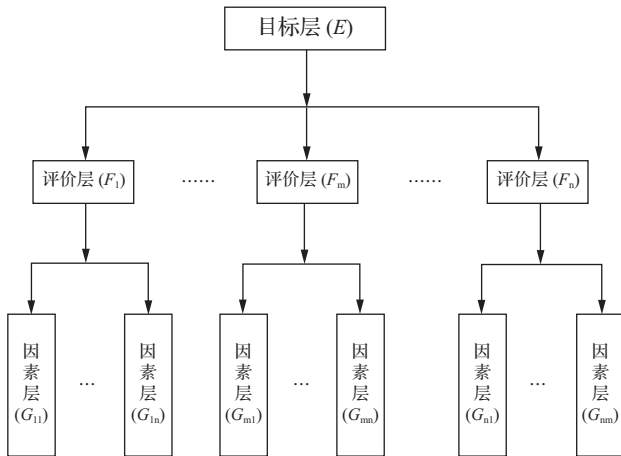


图2 层次结构模型

1.3.2 综合风险分析

a. 构造判断矩阵。构造判断矩阵的目的是以上一层因素作为比较准则，下一级层次中的因素与上一级因素存在隶属关系，对本层各因素之间相对重要性进行表示，各因素之间的相对重要性会随着所采用比较标度方法的不同而改变。根据层次结构模型，评价层中 F_1 、 F_2 、 \dots 、 F_n 以目标层 E_k 作为比较准则，以此类推，因素层 G_{ni} 以上一层 F_n 对应因素作为比较准则，用 ρ_{ij} 来表示同一层次的第 i 、 j 个因素的相对权重，若 $\rho_{ij}=1$ ，则 $\rho_{ji}=1/\rho_{ij}$ ，而同一层次两因素相对重要度采用1~9标度法^[11]进行赋值，判断矩阵标度定义见表3。

表3 判断矩阵标度定义

标 度	含 义
1	两个因素同等重要
3	两种因素比较，其中一个稍重要
5	两种因素比较，其中一个较强重要
7	两种因素比较，其中一个强烈重要
9	两种因素比较，其中一个极端重要
2, 4, 6, 8	以上两相邻判断的中值

用1~9标度法将各因素之间的相对重要度以量化形式表示，构成判断矩阵，构造的判断矩阵如下：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

由判断矩阵计算被比较元素的权重 ρ_{ij} ，计算公式为

$$L_i = \prod_{j=1}^n r_{ij} \quad (5)$$

$$\rho_{ij} = \frac{\sqrt[n]{L_i}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{L_i}} \quad (6)$$

式中， L_i 为判断矩阵中同一行数的乘积。

b. 层次单排序及其一致性检验。引入一致性指标 CI 和 RI ，计算检验系数 CR ，当 $CR < 0.1$ 时，一般认为此判断矩阵通过一致性检验，否则需调整^[12]，验证公式为

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(L\rho)_i}{\rho_i} \quad (7)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

式中， λ_{\max} 为判断矩阵的最大特征根，其中 $(L\rho)_i$ 为向量 $L\rho$ 的第 i 个元素。平均随机一致性指标 RI 取值见表4。

表4 平均随机一致性指标 RI

矩阵阶数	RI	矩阵阶数	RI
1	0	6	1.26
2	0	7	1.36
3	0.58	8	1.41
4	0.90	9	1.46
5	1.12	10	1.49

c. 综合风险评估。针对层次分析法单一取值主观性较强、容忍度考虑不充分的问题，本文提出对层次分析法进行赋权，挑选出的专家用1~9标度法分

别对层次模型评价层、因素层给出判断矩阵，并对判断矩阵做一致性检验，利用 MATLAB 软件计算^[13]，分别计算出各层次中相关因素权重 ω_{mn} ，则专家 m ($m = i = 1, 2, \dots, n$) 的权重赋分为 $[\omega_{m1}, \omega_{m2}, \dots, \omega_{mn}^T]$ (此向量为列向量)，权向量 M 按照 1.1 节中公式计算，则修正后的权重按下式计算：

$$[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m] = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n] \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{n1} & \omega_{n2} & \dots & \omega_{nn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

各评价层项目赋分值不同，将各项目的得分值转化为百分制，并与因素层权重相结合，则综合风险值计算公式为

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \mu_{ij} \omega_i \omega_{ij} \quad (11)$$

式中， R 为堤防工程综合风险值， μ 为评价项目得分，把上一年发生隐患的失效项目作为扣分项目，根据表 5，把堤防工程划分为优秀、良好、一般、较差、差 5 个等级。

表 5 综合风险等级划分

评价等级	评价得分	评价等级	评价得分
优秀	90 ~ 100	较差	60 ~ 70
良好	80 ~ 90	差	0 ~ 60
一般	70 ~ 80		

2 工程实例

洪泽湖大堤为 1 级水工建筑物，有效吹程为 30km，正向风速为 10 级 ($v = 26.5\text{m/s}$)，波高采用 2.2m，防浪林台及防浪林一起消能 70%，湖底平均高程为 10.5m，大坝土质以粉质黏土为主，占 60% ~ 70%，其次为重粉质壤土及黏土和粉质土层，高程 10 ~ 10.5m 以上为人工填土，而历史险工段有 6 段，经过多次加固处理，已消险，本文研究其省管段工程，江苏省洪泽湖堤防管理所为工程管理部门。

2.1 模型建立

2.1.1 专家挑选

根据表 1，在洪泽湖堤防管理单位三个层级中挑选专家，每个层级挑选 2 名专家，判断各专家可信度 δ_i ，分别为 1、1、0.8、0.8、0.8、0.6，根据式 (1) 计算，则这三个层级的综合可信度 α_n 分别为 1、0.96、0.92，选取的三组专家可信度高，权威性较大，再根据式 (2) 计算出各专家的权重 θ_i ，则权向量 $M = [0.2, 0.2, 0.16, 0.16, 0.16, 0.12]$ 。

2.1.2 风险因素分析

专家对洪泽湖堤防工程进行危险源辨识，采用由 LS 法对辨识出的危险源进行风险评估，根据式 (3) 计算出各危险源的风险值，依表 2 判断出风险等级，而根据洪泽湖堤防工程较大以上的风险等级，分析出洪泽湖堤防工程有管涌、渗流、溃堤、流土、坍塌、失稳、工程破坏等风险因素，用于辅助决策。

2.1.3 层次模型建立

收集洪泽湖堤防工程设计、施工、管理以及与安全评价相关的社会经济、水文、气象、地形、地质等资料^[14]，依据上文分析的风险因素种类，再根据洪泽湖堤防工程特点，结合《堤防工程安全评价导则》(SL/Z 697—2015) 建立洪泽湖堤防工程层次结构模型，目标层即为堤防工程综合风险评价指标 (E)，评价层为工程质量 (F_1)、运行管理 (F_2)、防洪安全 (F_3)、渗流安全 (F_4) 和结构安全 (F_5) 等 5 项指标，因素层为评价层进一步分解的若干指标，如防洪安全 (F_3) 可分解为防洪标准 (G_{31}) 和堤顶高程 (G_{32}) 等 2 个评价指标，见图 3。

2.2 综合风险分析

2.2.1 层次权重计算

6 位专家根据表 3 分别对评价层和因素层构建判断矩阵，应用 MATLAB 软件计算，根据式 (7) ~ 式 (9)，分别对判断矩阵进行一致性检验，RI 值根据表 4 取值，分别为 1.12、1.12、0.58、0、0.58、1.12，经计算，CR 值均小于 1，满足一致性要求。根据式

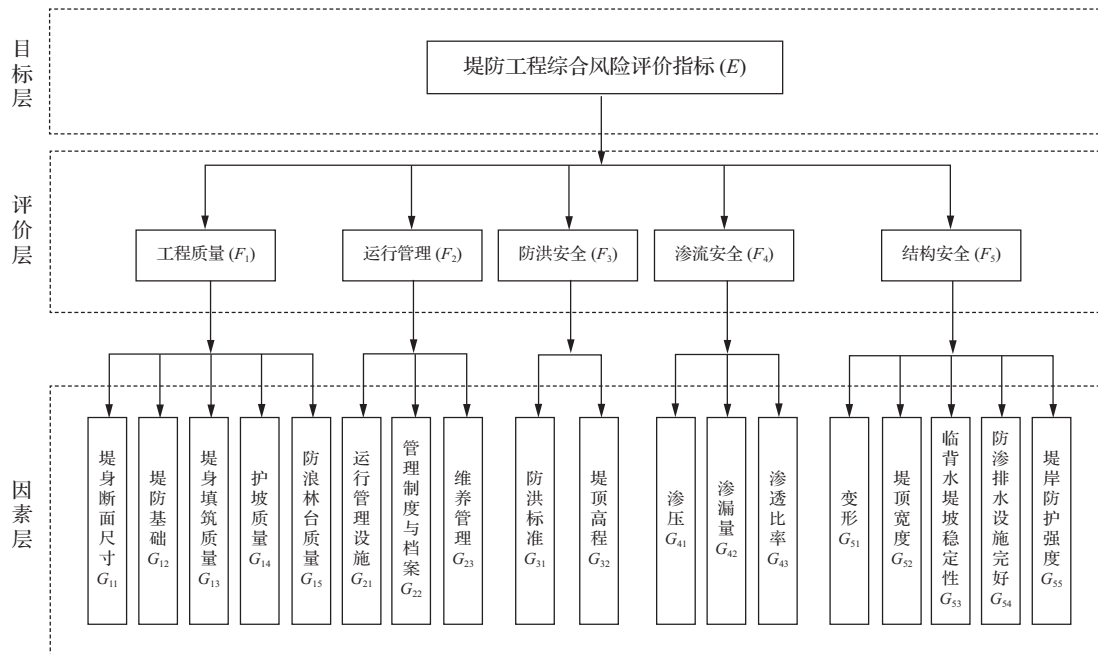


图3 洪泽湖堤防工程综合风险评价层次模型

(5) ~式 (6) 计算出 6 位专家的权重, 再根据式 (10) 对各专家权重结果进行修正, 最终得到权重计算结果见表 6 ~ 表 11。

表 6 目标层权重 E

E	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	修正
F_1	0.117	0.092	0.123	0.082	0.122	0.123	0.109
F_2	0.117	0.087	0.209	0.384	0.375	0.209	0.221
F_3	0.417	0.377	0.090	0.082	0.073	0.090	0.209
F_4	0.088	0.217	0.289	0.226	0.215	0.289	0.213
F_5	0.261	0.217	0.289	0.226	0.215	0.289	0.248

表 7 因素层权重 F_1

F_1	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	修正
G_{11}	0.313	0.123	0.082	0.092	0.117	0.122	0.151
G_{12}	0.099	0.209	0.384	0.087	0.117	0.375	0.211
G_{13}	0.099	0.090	0.082	0.377	0.417	0.073	0.197
G_{14}	0.176	0.289	0.226	0.217	0.088	0.215	0.214
G_{15}	0.313	0.289	0.226	0.217	0.261	0.215	0.227

表 8 因素层权重 F_2

F_2	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	修正
G_{21}	0.217	0.233	0.473	0.206	0.492	0.284	0.312
G_{22}	0.271	0.534	0.189	0.397	0.254	0.284	0.329
G_{23}	0.512	0.233	0.338	0.397	0.254	0.432	0.359

表 9 因素层权重 F_3

F_3	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	修正
G_{31}	0.247	0.431	0.752	0.568	0.247	0.431	0.438
G_{32}	0.753	0.569	0.248	0.432	0.753	0.569	0.562

表 10 因素层权重 F_4

F_4	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	修正
G_{41}	0.284	0.473	0.492	0.217	0.206	0.233	0.326
G_{42}	0.284	0.189	0.254	0.271	0.397	0.534	0.306
G_{43}	0.432	0.338	0.254	0.512	0.397	0.233	0.368

表 11 因素层权重 F_5

F_5	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	修正
G_{51}	0.122	0.092	0.082	0.117	0.123	0.313	0.132
G_{52}	0.375	0.087	0.384	0.117	0.209	0.099	0.218
G_{53}	0.073	0.377	0.082	0.417	0.090	0.099	0.197
G_{54}	0.215	0.217	0.226	0.088	0.289	0.176	0.205
G_{55}	0.215	0.217	0.226	0.261	0.289	0.313	0.248

经过 6 位专家的分析研究, 洪泽湖堤防工程评价层中结构安全 (F_5) 权重最大, 为 0.248, 因素层中防浪林台质量 G_{15} 、维养管理 G_{23} 、堤顶高程 G_{32} 、渗透比率 G_{43} 、堤岸防护强度 G_{55} 相对于评价层指标 F 中权重最高, 堤防管理人员应把这几项指标作为日常安

全管理的重点,提升堤防工程安全管理水平。

2.2.2 洪泽湖堤防工程综合风险分析

综合风险分析,首先收集上一年工程专项、综合性、自查等安全检查方式排查出的隐患数据,进行分析评估,梳理出出现频次较多的隐患作为失效项目,并作为最后数理分析的扣分项。如根据2021年洪泽湖堤防工程安全管理实际情况,结合水利部网上填报数据,主要存在的隐患为:④52~54km段一级平台存在风浪冲刷上岸的水草;⑤管理所院内施工现场杂乱,人员未佩戴安全帽;⑥堤防部分段视频监控光纤被破坏;⑦周桥大塘部分石工墙倒塌;⑧堤身存在猪獾等害堤动物。根据以上主要隐患判断洪泽湖大堤2021年堤防失效项目扣分项为 G_{13} 、 G_{21} 、 G_{23} 、 G_{54} 、 G_{55} ,结合上文权重计算,根据式(11),洪泽湖堤防工程在2021年综合风险值为82,根据表5,判断等级为良好。

3 结论与建议

本文基于层次分析法对洪泽湖堤防工程安全风险进行了综合分析和评价,加入专家权重,充分考虑风险容忍度,根据综合评价结果,洪泽湖堤防工程2021年安全风险等级为良好。尽管堤防工程还面临高水位、大风等环境因素影响,但整体安全管理现状良好。本文基于洪泽湖堤防工程风险因素分析、隐患排查治理数据,构建层次分析模型,运用层次分析法对整个堤防工程进行综合风险评价,针对堤防工程运行管理和存在的结构安全风险,提出相关措施。

a. 深入推进安全生产标准化建设。洪泽湖堤防工程在2018年创建安全标准化二级单位,逐步推进标准化建设,应在满足条件的情况下提档升级,管理所需加强制度建设、教育培训等工作,提升理论基础和人员管理能力,加强堤防除患消险能力,建立健全预防应急能力,根据发现的隐患及时整改,实行“五落实”,针对危险源进行源头管控,做好季节性、极端天气等预防措施,采用PDCA模式进行闭环管理^[15],有效做到洪泽湖堤防工程安全生产态势稳定。

b. 加强堤防查险排患管理水平。落实洪泽湖堤

防工程段格化^[16]、网格化巡查方式,加强人员查险查患能力,进一步升级堤防自动化、信息化监控设备水平,针对堤防防洪安全、结构安全、渗流安全出现的问题能及时发现,编制重大危险源、重大隐患等预案,并报主管部门备案,落实防汛防旱预报预警工作,加强防汛抢险队建设工作,提高堤防管理所防汛抢险人员除险水平,做好基础性抢险能力培训,保证洪泽湖周边地区居民安全。▲

参考文献

- [1] 田爱平,朱鹏程.上海黄浦江上游干流段堤防安全风险分析与应对措施[J].中国防汛抗旱,2021,31(8):32-35.
- [2] 程江洲,朱德,付文龙,等.基于贝叶斯网络的水力发电系统动态风险评估方法[J].水利学报,2019,50(5):631-640.
- [3] 陈娟,王晓昕.层次分析法在工业用水水平评估中的运用[J].人民黄河,2021,43(S1):50-53,56.
- [4] 汪应洛,乐伟梁.应用多层次权重分析决策方法对山西煤炭基地2000年时煤炭发展规模的决策分析[J].西安交通大学学报,1983(5):76-85.
- [5] 沈斐敏.层次分析法及其在工程技术决策中的应用[J].福州大学学报(自然科学版),1986(2):101-108.
- [6] 陈昌仁,张敏,徐铭,等.洪泽湖流域生态风险评价[J].人民长江,2021,52(3):36-40.
- [7] 王伟,朱延琴,沈朝晖,等.水管单位安全生产标准化创建动态评价与关键因素分析[J].江苏水利,2021(12):66-72.
- [8] 金远征,崔守臣,赵礼,等.基于改进LEC法的水利施工安全风险评估与管控[J].人民长江,2018,49(19):63-66,104.
- [9] 黄莺,雷俊,王轲.基于FMEA的建筑施工HSE风险预警研究[J].武汉大学学报(工学版),2021,54(9):835-841.
- [10] 高黎颖,温雄飞.基于DEMATEL的隧洞施工风险分析与控制[J].中国水能及电气化,2021(9):6-11.
- [11] 廖朴訥,李航,易瑞来.海绵城市建设实施效果评价体系构建及应用[J].水利规划与设计,2022(4):29-32,73.
- [12] 张琳琳.基于模糊概率的水利水电施工安全评估方法研究[J].水利技术监督,2022(4):101-105.
- [13] 张建胜.混凝土重力坝深层抗滑稳定模糊体系可靠度研究[J].中国水能及电气化,2021(5):31-37.
- [14] 刘峻嘉,吴建东.引洮供水二期工程总干渠23号隧洞施工方案研究[J].中国水能及电气化,2022(3):10-14.
- [15] 陈钟,陈星辰,陈凯.安全生产标准化“1+N”模型的建立与应用[J].水利建设与管理,2020,40(5):67-71.
- [16] 陈昌仁,周和平,徐铭,等.堤防工程段格化管理的探索与实践[J].中国水利,2020(8):41-42,52.

运行管理

山美电站实行“无人值守”前期准备工作分析

陈晓明

(泉州市山美水库水资源调配中心, 福建 泉州 362000)

【摘要】 福建山美水电站地下厂房屋于2012年实行“无人值守”运行值班方式,在实行前进行了充分的论证探讨,就设备、技术、运行管理、预防性措施等工作做了充分的准备。文章对山美电站实行“无人值守”前的各项准备工作进行总结分析,为同类水电站实行“无人值守”前期准备工作提供相关经验。

【关键词】 山美电站;无人值守;前期准备工作

中图分类号: TV737

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-056-03

Analysis on Preparatory Work of Implementing “Unattended” Task in Shanmei Hydropower Station

CHEN Xiaoming

(Quanzhou Shanmei Reservoir Water Resource Allocation Center, Quanzhou 362000, China)

Abstract: The underground powerhouse of Fujian Shanmei Hydropower Station implemented the “unattended” operation duty mode in 2012. Sufficient demonstration and discussion were carried out before implementation, and sufficient preparations were made on equipment, technology, operation management, preventive measures, etc. The preparatory work before the implementation of “unattended” task in Shanmei Hydropower Station is summarized and analyzed in the paper, thereby providing reference experience for the preparatory work of similar hydropower stations.

Key words: Shanmei Power Station; unattended; preparatory work

1 概述

随着水电站计算机监控技术及远程操控技术的发展,水电站实行现场“无人值守”运行值班方式成

为必然趋势。泉州市山美水电站于1972年建成投运,电站建成之初装有2台1.5万kW的水轮发电机组。电站建设时,因电站厂房布置在200多米深的山体中,造成地下厂房在采光、通风、通信等方面存在许

收稿日期: 2022-04-05

作者简介: 陈晓明(1965—),男,大专,工程师,从事水电站运行管理工作。

多问题，工作环境比较恶劣。1996 年，山美水电站扩建了 1 台 3 万 kW 的机组，3 号机厂房位于坝后，是一座宽敞明亮的现代化厂房，这为地下厂房实现“无人值守”搭建了一个基础平台。2006 年，电站对 3 台机组进行了全面技改，配置了国内最先进的电站计算机监控系统和视频监控系统，并且将 3 台机组的计算机系统合并为一个系统，为实现地下厂房无人值守提供了技术上的保证。为了保证实行“无人值守”后的安全性和可控性，在实施之前，电站管理部门先后多次组织有关技术人员进行广泛论证，从设备、技术、运行管理、预防性措施等方面，进行了细致、全面的准备工作。

2 设备、技术准备工作

2.1 投运电站计算机监控系统选用

电站计算机监控系统的投运，是山美电站地下厂房实现“无人值守”的先决条件。山美电站计算机监控系统采用 H9000 分布开放系统，地下厂房 1 号、2 号机部分按“无人值守”原则设计。电站控制层设备包括 2 套操作员工作站、1 套工程师工作站、1 套通信工作站等。操作员工作站设在 3 号机中控室，供运行值班人员使用，实现对整个电站发供电设备进行运行监视和闭环控制，随时接受调度中心的调度命令，发布操作控制命令，设定与变更工作方式，厂内优化运行 AGC/AVC 计算和处理，数据库管理等功能。H9000 计算机监控系统于 2005 年建成投运，为山美电站地下厂房实现“无人值守”在技术上打下了坚实的基础。

2.2 机组大修消除设备隐患

2011 年、2012 年，在实行无人值守前，山美电站分别组织对 1 号、2 号机组进行大修。除了按大修规范要求完成各检修项目外，重点排查机组主副设备各部件的工作状况，消除安全隐患，使机组保持最健康的状态。结合大修启动试验，对机组进行甩负荷试验、过速试验、低油压事故试验等极端工况试验，检

验计算机监控系统、计算机保护系统、调速器系统工作的准确性和可靠性，确保机组在极端工况或事故情况下可以安全可靠地实现停机。

2.3 提高主辅设备完好率

2011 年，山美电站开展电站安全性评价工作，利用这个契机，组织检修、运行等部门对 1 号、2 号机组的主辅设备进行了全面排查，对所有不符合安评标准的自动化元件、油、水、气等辅助设备进行了更新改造。主要包括更换老旧空压机、排水泵、通风机，更换油、水、气系统阀门、压力表计等，对“三漏”点逐一处理，对压力油罐、气罐的安全阀进行检测试验，最大限度地提高设备的完好率。逐一检测示流器、油位计、压力传感器等自动化元件的灵敏度和动作可靠性，最大限度地提高设备的可靠性。

2.4 完善应急处置硬件设施

首先，对地下厂房的排水系统进行更新改造。山美 1 号、2 号机组位于地下厂房，排水系统对厂房的安全至关重要。2011 年，山美电站对地下厂房的排水系统进行更新改造，更换排水泵、水泵控制柜，特别是把故障率较高的电极式水位信号器更换成浮球式水位信号器，提高了排水系统的可靠性。其次，增设厂房视频监控点，做到重要部位不留死角。第三，配置齐全交通、联络、通信、照明等应急设施，厂房内增设事故照明灯，各重要部位配置联络电话，保证通信畅通，地面厂房和地下厂房间配备快速交通工具，确保紧急情况下运行、检修人员能迅速响应，及时到位。

经过一系列精心准备，山美电站地下厂房在设备和技术上，已经具备了“无人值守”的“硬件”条件。

3 电站安全保障措施

3.1 开展电站事故处理预案演练

实行“无人值守”，对电站对突发事故的应急处理能力提出了更高的要求。为确保有备无患，2011 年 6 月 11 日，山美电站组织了一次有针对性的反事

故演习，检验电站地下厂房1号机黑启动和2号机带2号主变零起升压预案的可行性及设备可靠性，提高运行、检修及相关人员应对突发事件的处理能力。这次事故模拟2号主变低压侧因蛇经过引起相间短路故障。故障发生后，计算机监控系统上位机语音报警事故现象及保护动作情况，运行人员立即对2号主变差动保护范围内的一次设备进行全面检查，查明事故原因，向地调及生计科等相关部门的当班人员汇报故障现象及保护动作情况。生计科值班人员按照预案下令展开事故应急处理，检修人员对故障点进行抢修，运行人员对地下厂房1号机黑启动成功，2号主变排除故障后零起升压成功。整个演习过程有条不紊，相关人员动作及时准确，演习达到了预期效果。

这次成功的反事故演习，使电站的事故应急预案得到近似实战的检验，相关人员的应急处理能力和临场操作熟练程度得到很大的提高，也增强了对山美电站地下厂房实行“无人值守”的信心。从2012年开始，反事故演习作为山美电站的一个长效安全机制，每年都要进行一次不同科目的针对性演练，对电站实行“无人值守”后的安全运行起到了非常重要的预防性保障作用。

3.2 完善制度保证体系

作为一个有40年历史的老电站，山美电站有一

整套完善的管理办法和制度。但是，地下厂房无人值守是个全新的课题。虽然在硬件上已经配备齐全，但是，如何在管理制度上适应无人值守的要求，是电站管理方面一个全新的挑战。针对管理上的新问题，电站管理层集思广益，大胆创新，从两个方面入手。首先，管理处根据无人值守新情况，重新制定了《运行值班制度》《设备巡视检查制度》《运行交接班制度》《检修人员值班制度》《设备评级制度》等管理制度，重新修订《运行规程》《检修规程》，为无人值守提供了制度保证。另一方面，管理处根据技术发展的新要求，对运行、检修人员进行培训，提高员工的技术水平，提出“机电合一”“一岗多能”的岗位新要求，以适应无人值守的新运行方式。为了有效地落实规章制度，实现行之有效的管理，管理处创新利用现有的门禁系统，在厂房设备的重要部位，设置多个巡视刷卡点，要求运行、检修值班人员定时巡视发供电设备，并结合管理处的考核系统，对巡视检查制度进行考核。创新性利用管理处的网络管理平台，开发出设备缺陷处理系统，使设备的缺陷得到及时准确的处理，保证设备的健康运行。

3.3 建立电站设备缺陷处理系统

为保证电站安全运行，建立了电站设备缺陷处理系统（见图1）。当班运行人员发现某个设备缺陷，立

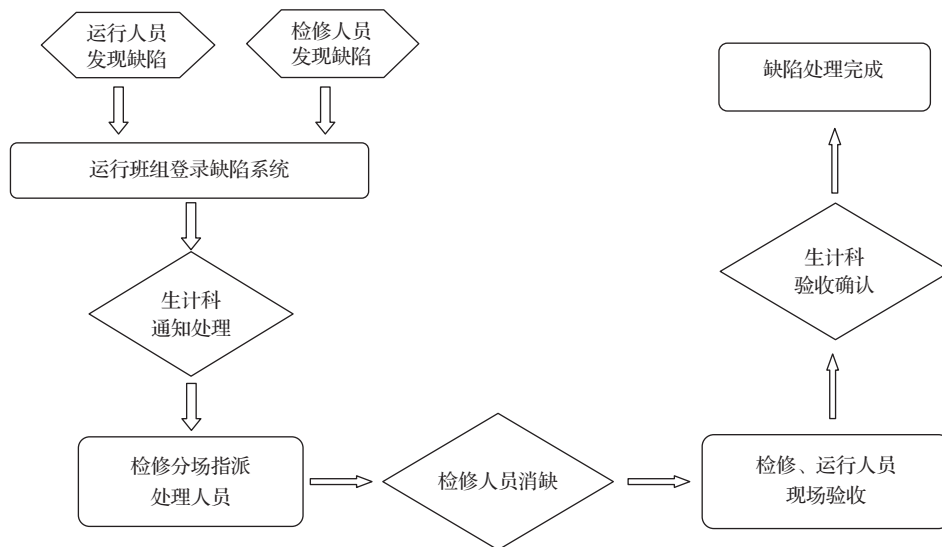


图1 山美电站设备缺陷处理系统流程

（下转第63页）

右安门橡胶坝坝袋检测与安全评价

桂彬¹ 李萌² 乌溪¹

- (1. 北京市城市河湖管理处, 北京 100089;
2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

【摘要】 北京市右安门橡胶坝是我国建设的第一座充水橡胶坝, 1966 年建成投入运用。随着运行年限的增长, 橡胶坝坝袋将会出现磨损、老化等病害现象, 坝袋强度将不能满足安全运行要求。文章介绍了右安门橡胶坝坝袋安全检测内容与方法, 对安全检测与坝袋强度复核结果进行了分析, 提出了安全评价结论和处理建议, 以期橡胶坝安全运行管理提供依据。

【关键词】 坝袋检测; 强度复核; 安全评价

中图分类号: TV644

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-059-05

Inspection and Safety Evaluation of Youanmen Rubber Dam Bag

GUI Bin¹, LI Meng², WU Xi¹

- (1. Beijing Municipal Administration of Rivers and Lakes, Beijing 100089, China;
2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Beijing Youanmen Rubber Dam is the first water-filled rubber dam built in China. It was built and put into use in 1966. The rubber dam bag will suffer from wearing, aging and other diseases with the increase of operation life, the strength of the dam bag can not meet the requirements of safe operation. The safety test content and method of Youanmen Rubber Dam bags are introduced in the paper. The results of safety test and dam bag strength check are analyzed. The safety evaluation conclusions and treatment suggestions are proposed in order to provide basis for safe operation and management of rubber dams.

Key words: dam bag detection; strength check; safety evaluation

橡胶坝坝袋属于高分子材料, 长期处于日晒、水浸的环境中运行, 还可能遭受各种外力作用和自然条件侵袭, 坝袋胶布的老化变质、磨损等状态都处在不断变化之中^[1-2]。随着运行年限的增长, 橡胶坝坝袋

磨损、老化等病害将逐渐显现, 加强工程日常检查、定期检测和安全评价日益重要。若管理不善或无人管理, 未能及时检测发现坝袋出现的病害缺陷并采取必要的修补措施, 将有可能造成坝袋撕裂报废, 直接威

收稿日期: 2022-05-26

作者简介: 桂彬 (1981—), 男, 本科, 工程师, 从事水利工程运行管理工作。

胁工程的安全运行。

1 工程概况

右安门橡胶坝位于北京市右安门外以西约 500m 的南护城河上。设计坝高 3.0m，坝袋设计内压水头为 4.3m，采用双锚线螺栓压板式锚固。坝袋胶布型号为 JBD3.5-260-2，二层胶布，锦纶胶布型号为 J260260-2，胶布强度均为 260kN/m。右安门橡胶坝起着节制闸和分洪闸的双重作用，平时鼓坝壅水调节流量，担负着向南护城河和凉水河分配工农业用水的任务；汛期洪水流量小时坝泄洪，当洪水流量较大时，则将橡胶坝鼓起到设计高度向凉水河分洪。右安门橡胶坝自上次更换坝袋至今已运行 18 年，为保证橡胶坝工程运行安全、加强质量管理，需要对坝袋进行检测与安全评价。

2 检测内容与检测方法

影响坝袋老化的因素有内在和外在两种，根据坝袋的运用情况，其发生老化的现象可分为外观变化和物理力学性能变化^[3]。根据相关规程规范要求^[4-5]，本次橡胶坝坝袋检测内容主要包括外观质量、坝袋厚度、拉伸强度、拉断伸长率及硬度等物理力学指标。

2.1 坝袋外观质量检测

坝袋外观质量检测内容主要包括坝袋的褶皱、破损、老化、磨损、修补情况以及坝袋的密封性等。

2.2 坝袋厚度检测

现场在坝袋锚固边缘部位取样，将坝袋试样放在厚度计平台上，确保坝袋光滑平整，无皱折，无任何拉伸。将压脚轻轻放到坝袋试样上，使其在坝袋试样上停留 10s，然后读取厚度计示值（精确至 0.02mm）。在坝袋试样有效宽度上均匀等距测量 10 个点的厚度，计算 10 次测量的算术平均值，取该值作为坝袋的厚度^[6]。

2.3 坝袋硬度检测

坝袋胶料硬度采用邵 A 型硬度计检测^[7]，压针端

头平面直径为 0.79mm。邵氏硬度计的测量原理是在弹簧力的作用下把压针压入橡胶试样一定深度，用其压入深度度量硬度值的高低。

2.4 坝袋拉伸强度和拉断伸长率检测

现场在坝袋锚固边缘部位取样，在试验室将坝袋试样制作成标准哑铃形试件（见图 1），试件数量不少于 3 个。试样的宽度取裁刀狭窄部分刀刃间的距离，试样厚度采用测厚计在试验长度的中部和两端测量，取 3 个厚度测量值的中位数用于计算横截面积^[8]。在任何一个哑铃状试样中，试验长度部分的三个测量厚度值都不得超过厚度中位数的 2%。

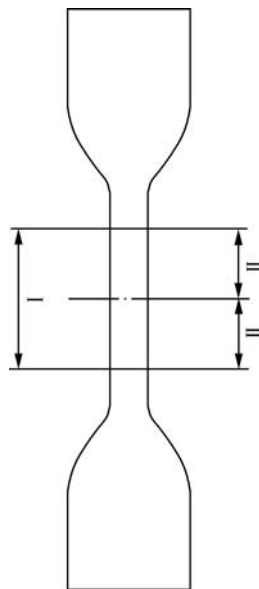


图 1 哑铃状试样形状

在试验过程中，为保证拉力均匀地分布在横截面上，将试样对称地夹在拉力试验机的上、下夹持器上，并在试验机上装配一个伸长测量装置，夹持器的移动速度为 $500\text{mm}/\text{min} \pm 50\text{mm}/\text{min}$ （见图 2）。在整个测试过程中，需要连续观测试样长度和拉力的变化情况，精度在 $\pm 2\%$ 之内。根据试验结果对拉伸强度和拉断伸长率进行计算，计算公式如下：

$$T_s = \frac{F_m}{W_t}$$

$$E_b = \frac{100(L_b - L_0)}{L_0}$$



图2 坝袋胶料拉伸试验

式中 T_s ——拉伸强度, MPa;
 E_b ——拉伸伸长率, %;
 F_m ——记录的最大力, N;
 W ——裁刀狭窄部分的宽度, mm;
 t ——试验长度部分宽度, mm;
 L_b ——断裂时的试验长度, mm;
 L_0 ——初始试验长度, mm。

3 坝袋安全检测结果与分析

3.1 坝袋外观状况检测

右安门橡胶坝坝袋严重老化、变色, 表面龟裂 (见图3); 橡胶坝表层胶存在多处损伤、开裂 (见图4); 坝袋搭接黏合处表层胶出现大量老化、损伤开裂现象, 最大开裂长度 5.9m, 最大开裂宽度 3.5mm, 开裂深度 1~2mm (见图5)。



图3 坝袋表面老化龟裂、搭接处表层胶老化开裂



图4 坝袋外层胶损伤、开裂



图5 坝袋搭接黏合处外层胶老化、损伤开裂

3.2 坝袋胶布的胶层厚度检测

现场取样，按照相关标准规定的试验方法，在试验室对坝袋胶布的胶层厚度进行了检测（见表1）。

表1 坝袋胶布试样的胶层厚度检测结果

胶层名称	指标要求/mm	检测结果/mm
外层覆盖胶	大于2.5	2.82
夹层胶	0.3~0.5	0.98
内层覆盖胶	大于2.0	2.14

由表1可知，右安门橡胶坝坝袋样品外层覆盖胶、夹层胶以及内层覆盖胶厚度均满足规范要求。

3.3 坝袋物理力学性能检测

现场取样，在试验室按照标准试验方法对坝袋胶料样品的拉伸强度、拉断伸长率及硬度和坝袋胶布的拉伸强度进行了检测（见表2）。

由于取样位置位于橡胶坝边缘处，该样品在运行过程中基本不存在受力疲劳老化，只有气候老化。

表2 坝袋胶料与胶布试样物理力学性能检测结果

材料名称	检测项目	指标要求	检测结果	备注
外层胶	拉伸强度/MPa	≥14	5.98	
	断裂伸长率/%	≥400	106	
	硬度（邵尔A）	55~65	89	
内层胶	拉伸强度/MPa	≥6	3.96	
	断裂伸长率/%	≥250	93	
	硬度（邵尔A）	55~65	64	
胶布	拉伸强度（经向）/（kN/m）	260	181	外胶层从帆布上撕脱
	拉伸强度（纬向）/（kN/m）	260	165	外胶层从帆布上撕脱

由表2可知，右安门橡胶坝坝袋外层胶、内层胶拉伸强度分别为5.98MPa和3.96MPa，仅为规范最低指标要求的42.7%和66.0%；外层胶、内层胶的拉断伸长率分别为106%和93%，仅为规范最低指标要求的26.5%和37.2%；坝袋外层胶、内层胶指标已远低于规范指标要求。右安门橡胶坝坝袋胶布的经向、纬向拉伸强度分别为181kN/m和165kN/m，较

设计胶布强度分别降低了30.4%和36.5%，不满足设计要求。

4 坝袋强度复核与安全评价

4.1 坝袋强度复核

坝袋抗拉强度与坝袋设计强度之比为坝袋强度设计安全系数。在工程实践中发现，造成坝袋屡屡被撕裂破坏的主要原因之一是坝袋强度安全系数过低。为了掌握目前坝袋安全系数，采用下列公式对坝袋径向计算强度进行了计算，坝袋内外压比 α 为1.43，坝袋径向计算强度 T 为41.85kN/m。

$$T = \frac{1}{2}\gamma\left(\alpha - \frac{1}{2}\right)H_1^2$$

$$\alpha = H_0/H_1$$

式中 T ——坝袋径向计算强度，kN/m；

γ ——水的重度，10kN/m³；

α ——坝袋内外压比；

H_0 ——坝袋内压水头，m；

H_1 ——设计坝高，m。

由表2可知坝袋胶布检测径向拉伸强度为181kN/m，经计算坝袋强度安全系数 K 为4.3。

4.2 坝袋安全评价

a. 外观状况。右安门橡胶坝坝袋表面严重老化、龟裂、变色，外层胶存在多处损伤、开裂，坝袋搭接黏合处表层胶存在大量老化、损伤开裂现象。

b. 物理力学性能指标。橡胶坝检测试样外层胶、内层胶拉伸强度分别为5.98MPa和3.96MPa，仅为规范最低指标要求的42.7%和66.0%；外层胶、内层胶的拉断伸长率分别为106%和93%，仅为规范最低指标要求的26.5%和37.2%；坝袋胶布径向、纬向拉伸强度分别为181kN/m和165kN/m，较设计胶布强度分别降低了30.4%和36.5%。由检测结果可知，坝袋试样外层胶、内层胶指标已远低于规范要求，坝袋胶布抗拉强度不满足设计要求。

c. 坝袋强度。坝袋强度安全系数为4.3，不满足《橡胶坝工程技术规范》（GB/T 50979—2014）“充水

式坝袋的强度设计安全系数不应小于 6.0”的要求。

目前,坝袋外观存在较严重的老化开裂等病害缺陷,外层胶、内层胶拉伸强度、拉断伸长率均严重低于规范要求,坝袋胶布抗拉强度大幅下降,坝袋强度安全系数不满足规范要求,坝袋存在撕破损坏安全隐患。

5 结 语

右安门橡胶坝是我国建成的第一座充水式橡胶坝,目前已经运行 50 多年,运行期间于 1987 年、2004 年分别进行过坝袋更新,自上次更换坝袋至今已运行 18 年,基本上达到使用寿命。根据坝袋检测、强度复核和安全评价结果,坝袋老化损伤问题凸显,建议尽快更换坝袋。▲

参考文献

- [1] 高本虎. 橡胶坝工程技术指南[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] 王博文,韩昌海,童中山. 橡胶坝技术及应用[M]. 北京:中国

水利水电出版社,2008.

- [3] 化工部合成材料研究院金海化工有限公司. 聚合物防老化实用手册[M]. 北京:化学工业出版社,1999.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 橡胶坝工程技术规范: GB/T 50979—2014 [S]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [5] 中华人民共和国水利部. 橡胶坝坝袋: SL 554—2011 [S]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
- [6] 中华人民共和国工业和信息化部. 橡胶或塑料涂覆织物整卷特性的测定第三部分:测定厚度的方法: HG/T 3050. 3—2020 [S]. 北京:化学工业出版社,2020.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 硫化橡胶或热塑性橡胶压入硬度试验方法 第 1 部分:邵氏硬度计法(邵氏硬度): GB/T 531. 1—2008 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定: GB/T 528—2009 [S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [9] 高瑞,谭培箱,王伟. 小埠东橡胶坝坝袋更换工程遇到的问题及对策[J]. 中国水能与电气化,2014(5):42-44.

(上接第 58 页)即登录设备缺陷处理系统发出信息,生计科值班人员立即通过网络短信平台通知检修带班领导指派相关班组前往处理,处理后检修人员登录系统,对处理情况进行反馈,运行人员会同检修人员到现场对处理结果进行验收,合格后通过系统反馈给生计科,生计科做最后的验收,合格后设备恢复原状。

整个处理过程快速有效,并且纳入绩效考核系统,职责明确,响应快速,处理及时。

4 结 语

经过几年的精心准备,山美水电站于 2012 年 6 月 12 日顺利实现“无人值守”运行方式。经过近 10 年的运行,目前电站已实现了 4000 多天的连续安全运行记录,充分说明当初实行无人值守前的一系列准

备工作是全面、周密、有效的,从效果上看是一次非常成功的实践。目前,新建水电站实行“无人值守”已经相当普遍,本文内容可供相关单位实行“无人值守”技改工作参考借鉴。▲

参考文献

- [1] 刘爱玉. H9000 计算机监控系统在山美水电站的应用[J]. 电工技术,2007(4):39-40.
- [2] 单文培,黄少敏. 水轮发电机组安装与检修[M]. 北京:中国电力出版社,2008:115-121.
- [3] 姚琼. 中小水电站“无人值班,少人值守”的应用探讨[J]. 山东工业技术,2017(7):1.
- [4] 周登茂,陈挺,李太进. 中小型水电站无人值班(少人值守)设备管理及运维人员工作方式浅析[J]. 中国科技纵横,2016(5):2.

经验交流

水资源精细化管理对策及技术思路

李国强

(甘肃省水利水电工程局有限责任公司, 甘肃 兰州 730000)

【摘要】 当前社会的快速发展增加了对水资源的消耗, 社会水资源问题日益突出。以往相对粗放的水资源管理模式已经不符合当前时代的发展, 需要建立与时俱进的管理模式, 提高水资源管理精细化程度。文章基于新时期加强水资源精细化管理的必要性, 分析了新时期水资源管理中存在的问题, 提出了加强水资源精细化管理的相关策略和技术手段, 旨在为水资源精细化管理提供可靠的依据和方法。

【关键词】 水资源; 精细化管理; 对策

中图分类号: TV213.4

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-064-03

Countermeasures and Technical Ideas of Refined Management of Water Resources

LI Guoqiang

(Gansu Provincial Bureau of Water Resources and Hydropower Engineering Co., Ltd., Lanzhou 730000, China)

Abstract: The consumption of water resources is increased due to rapid development of the current society, and the problem of social water resources is becoming increasingly prominent. The previous relatively extensive water resources management mode is not in line with the development of the current era. It is necessary to establish a management mode keeping pace with the Times and improve the refinement of water resources management. The problems in the management of water resources in the new period are analyzed in the paper based on the necessity of strengthening the refined management of water resources in the new period. Relevant strategies and technical means to strengthen the refined management of water resources are proposed, thereby providing reliable basis and methods for the refined management of water resources.

Key words: water resources; refined management; countermeasures

如何打造科学合理的水资源管理体系, 提升水资源的利用率是人类目前面临的重要课题。为进一步提升水资源利用率、加强水资源精细化管理, 迫切需要

在水资源管理领域引入新发展理念。本文对新时期加强水资源精细化管理的必要性进行研究, 旨在为水资源精细化管理提供可靠的依据和方法。

收稿日期: 2022-05-18

作者简介: 李国强 (1987—), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利信息分析和水利工程施工相关工作。

1 新时期加强水资源精细化管理的必要性

水资源精细化管理主要是指对水资源管理中的重点项目进行详细的管理,以及对水资源进行治理和监督、管理与维护的过程,目的是提高水资源管理效率。在新时期发展背景下,水利部制定印发的《2022年水资源管理工作要点》中着重强调了提高水资源管理精细化水平的必要性,进一步明确了水资源管理的精细化建设是其现代化的前提,也是贯彻新发展理念,谋划好新阶段水资源管理的必然要求。

2 新时期水资源精细化管理中存在的问题

2.1 尚未全面建立取水计量监测体系^[1]

相关数据显示,全国取水计量监测设施并没有实现全面覆盖,而且准确度和设备的在线使用率均不足,相关数据信息管理系统亦不够先进,各个信息平台之间的数据无法实现数据共享。加强源头管控以及实施刚性约束是水资源保护的重要手段,目前,取水计量监测体系的覆盖面空缺,是制约新时期水资源精细化管理的瓶颈^[2]。

2.2 尚未实现全面的电子化取水许可审批管理体系^[3]

目前,取水许可电子证照已在浙江、江苏、湖北、广东、山西等地方进行试点,取得一定成效,但部分地区的取水管理工作依旧采用原始的人工调查、统计和记录^[4]。技术和管理方法落后,信息反馈慢,工作周期长,不能满足“互联网+政务服务”的一体化在线政务服务平台建设工作部署以及现代水资源管理的需要。

2.3 水资源管理调配应用系统现代化程度较低^[5]

水资源管理信息系统以及相关技术体系,初步的模式和系统框架已经建立,但在信息数据管理方面仍存在一个致命的问题,就是缺乏统一标准和规范,导致管理系统的再开发以及和原有系统的对接存在不兼容的问题,地区间的水资源管理信息系统不匹配,水

资源管理信息系统的统一发展深受掣肘。同时,管理标准与规范的缺失加大了水资源管理信息系统建设的难度,不利于国家对水资源的集约化管理。水资源管理信息系统的发展水平目前还处于较低阶段,远未达到全国范围内的系统联动要求^[6]。大部分地区区域管理系统都未联网,无法实现与其他区域的信息数据共享和交流,使得水资源全国范围内的管理和整体调度难度加大。

3 资源精细化管理对策及技术思路

3.1 加快取水口取水计量监测体系建设

3.1.1 全面提高计量监测覆盖面

为达到用水监测的“全覆盖”,需对生产生活用水、工农业用水以及服务类行业用水等所有用水户配备计量设施,其中针对规模性用水用户,尤其对取用地表水达到20万 m^3 /年以上或抽取地下水的用户,实现在线计量全覆盖。对水资源紧缺以及水资源开发过度地区必须进行更加严格的用水计量监测。对采用地表水灌溉的灌区渠首取水口,大中型灌区采取在线计量,小型灌区采用规定比例的典型样本进行取水计量。对直径20cm以上的农用灌溉机井,应尽量安装计量设施,暂不具备安装计量设备条件的小口径的机井,可采用电折水等方法推算用水量。

3.1.2 着力提升计量数据的监测质量

明确要求各用水户要安装符合规范要求的取水计量设施,并且要对取水数据的准确度、传输规约等进行实时校核;在农业取水量计算方面,对采用电折水等折算方法计量用水量的,应根据当地的具体情况采用不同的折算系数,不具备计量设备安装条件和折算条件的地区,可采用抽样调查的方法推算该区域用水量,并采用遥感或水量平衡法进行复核,以保证数据的可靠性;在用水管理信息平台建设方面,依托国家水资源管理系统,进一步完善计量监测信息管理平台,做好各平台间的对接,推进水资源信息数据的同步与共享并进行资源整合,使信息服务更快捷、便利、高效。

3.1.3 切实强化计量监测的成果应用

将取水计量作为取水许可管理的前提条件,符合相关要求的才能发放取水许可证。对于不符合相关要求的,除不发取水许可证外,亦不能办理取水许可变更或延续手续。通过计量监测数据,对超计划、超许可的取水问题及时进行监管与处理。应当充分挖掘取用水计量监测数据在水资源调配管理中的潜能,使其在用水总量统计、水资源评价工作和水资源调度中发挥重要作用,进而为地下水超采监管、生态流量监管、水量调度和水资源管理考核等提供依据。

3.2 强化取用水电子证照信息的应用

取水许可审批和取水许可管理,是各级水行政主管部门监督水资源开发利用的重要手段。在促进水资源合理开发、有效保护和高效利用、支持经济社会发展和维护生态安全等方面发挥着十分重要的作用。取水许可电子许可证是电子存储和展示取水许可基本关键要素的一种文件形式。推进取水许可证电子证在全国一体化平台的深入应用,加强取水许可证审批信息资源的有效利用,积极应用大数据等新技术,建立取水许可管理预警、过程监管、事后问责的支撑体系,会显著提升取水监管能力和水平。同时,加强取水许可证电子数据的收集和整合,提高取水管理信息化水平,可为流域实施总量取水控制、严格取水管理、实行刚性水资源约束制度提供有力支撑。

3.3 推进水资源管理调配应用系统建设

推进水资源管理与调配应用系统建设,需要充分利用云计算、物联网等信息技术、计算机仿真技术,构建多维、多元的高还原度数字模型,在数字化系统开发方面,应用可视化模型,采用仿真技术和渲染技术,为流域和虚实一体化的可视化场景提供高保真的数字映射^[7]。

基于现有的流域水资源管理调度系统,实现数字孪生流域信息的共享和调用,生成各流域的水资源管理与调度配置的仿真场景。以流域集水区域为单元,通过对用水户、行政边界、地下水量、取水口等信息进行实时监控,即可实现对该单元实际用水量数据和

水资源总量的准确掌控^[8]。开发水资源管理配置模型,对主要入流区的区域需水量、径流、地下水、生态流量等要素进行推测和预报,以实现生态流量、用水定额、地下水超采等红线指标的预警,最终实现水资源管理和配置的模拟预测。针对性地对现有方案进行优化调整,可有效促进水资源管理的数字化、智能化和精细化^[9]。

4 结 语

合理利用水资源是社会发展与进步的重要保障。但目前我国水资源应用管理中还有一些管理盲区,亟须在水资源管理中引入新的发展理念,提升水资源的数字化、网络化、智能化管理水平。

本文基于新时期加强水资源精细化管理的必要性,分析了新时期水资源管理中存在的问题,从加快取水口取水计量监测体系建设,强化取水、用水电子证照信息的分析应用,推进水资源管理调配应用系统建设这三个方面提出了加强水资源精细化管理的相关策略和技术手段,旨在为水资源的精细化管理提供可靠的依据和技术思路。▲

参考文献

- [1] 吴宏平,张晓悦,陈晓东.取水许可审批管理机制存在的问题及改进建议[J].水电能源科学,2012,30(10):110-112,215.
- [2] 郭磊,黄本胜,邱静,等.取水监管系统构建关键技术体系综述[J].中国农村水利水电,2017(11):114-118.
- [3] 宋乔依,谈雅君.规范取水许可证延续强化取水许可监管[J].四川水利,2021(S1):13-15.
- [4] 刘强,李静希.取水许可管理与水资源费征收问题及法律思考[J].人民长江,2009,40(13):90-92.
- [5] 刘英.数字化技术在水资源管理中的应用[J].吉林农业,2019(22):37.
- [6] 黎堂生.水资源管理中水利信息化技术的应用[J].技术与市场,2020,27(11):120-121.
- [7] 刘啸,戴向前,周飞,等.对取水许可事中事后监管的分析与思考[J].水利发展研究,2021,21(12):29-31.
- [8] 吴方力,李维,马李秀.地下水取水工程取用水台账系统开发应用分析[J].地下水,2021,43(5):84,100.
- [9] 刘啸,戴向前,马俊.新形势下完善取水许可制度的思考[J].水利经济,2021,39(2):50-54,96-97.

内河航道下穿管线普查方法可行性分析

张 旭

(上海山南勘测设计有限公司, 上海 201206)

【摘 要】 内河航道下穿管线普查对航道精细化管理至关重要。文章梳理了目前内河航道下穿管线的现状, 与城市道路地下管线探测的异同点, 并对现有物探方法在航道下穿管线普查中的可行性进行了分析, 总结出浅地层剖面法和磁法两种连续走航式探测方法可满足全面、准确、快速、经济的内河航道下穿管线普查需求, 为即将开展第三次全国内河航道普查做好必要的技术储备。

【关键词】 内河航道; 航道下穿管线; 普查; 浅地层剖面法; 磁法

中图分类号: U614

文献标识码: A

文章编号: 1673-8241 (2022) 06-067-04

Feasibility Analysis of General Survey Method for Undercrossing Pipeline in Inland Waterway

ZHANG Xu

(Shanghai Shannan Investigation & Design Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Undercrossing pipeline general survey for inland waterway is very important for refined management of waterway. The status quo of undercrossing pipelines of current inland waterways, and the similarities and differences with urban road underground pipeline detection are combed in the paper. The feasibility of existing geophysical exploration methods in waterway undercrossing pipeline general survey is analyzed. It is concluded that shallow seismic profile method and magnetic method, two continuous walking navigation detection methods, can satisfy the inland waterway undercrossing pipeline general survey demands fully, accurately, quickly and economically, thereby doing well in necessary technical preparation for the third national inland waterway survey in the future.

Key words: inland waterway; waterway undercrossing pipeline; general survey; shallow seismic profile method; magnetic method

内河航道作为交通系统的重要组成部分, 具有安全性、可靠性, 能耗低等优点, 符合节能环保理念。“十三五”期间, 我国水运事业迎来黄金发展期, 内河航道建设及内河航运发展取得了显著成绩, 对支撑

流域经济社会发展发挥了重要作用。1979 年和 2002 年全国先后开展了两次内河航道普查, 时隔 30 年, 我国航道发展和建设逐渐趋于完善, 但由于长期的河流淤积、航道疏浚, 改道, 使航道状态发生了很大变

收稿日期: 2022-05-18

作者简介: 张旭 (1984—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事工程物探数据处理和解释工作。

化。虽然目前还没有开展第三次全国内河航道普查工作,但各省市已经相继启动了各自的普查计划。2018年9月,上海市航务管理处下发了《关于开展下穿航道管线专项排查的通知》,全面排查辖区内所有航道下穿管线;2020年11月,江苏省启动第四次内河航道普查,完成约3700km省干线航道、约6000km市干线航道数据采集;其他各省也在制定相关普查计划。

航道下穿管线是航道重要的基础设施。近年来,随着经济的发展和城市化进程的加快,穿越航道的管线数量和种类越来越多,由于管线权属单位与航道管理部门没有隶属关系,航道周边设施综合管理体系尚未建立,航务部门难以准确掌握所有穿越航道的管线信息,主要体现在以下三个方面:

a. 由于航道每年均有泥沙淤积沉淀,需定时清淤,保障通畅;此外,随着航运发展,船舶吨位不断增加,也需进行航道疏浚。在航道清淤、疏浚、改道等施工过程中,引起过河管线位置产生相对变化,现有资料失去了原有的技术指导作用,存在安全隐患。

b. 目前航道下穿管线大多采用“定向钻”“顶管法”“拖拉管”等施工方式穿越航道,具有一定的隐蔽性;铺设较早的管线,或没有管线竣工图纸,或年久遗失,或后期施工变更,图纸未更新,失去了指导价值。

c. 由于管线的建设和维护由管线权属单位负责,航道下穿管线资料分散在各权属单位或者其下属分管部门,虽然管线权属单位正在建设各自的管线数据库,但尚未实现互联互通,没有形成一个完整全面的内河航道下穿管线数据库。

本文通过对比分析城市道路地下管线与航道下穿管线的特点和差异,说明城市道路地下管线探测方法并不适用于航道下穿管线探测,由此开展水上物探方法在内河航道下穿管线普查中的可行性分析,探寻全面、准确、快速、经济的普查方法,为即将开展第三次全国内河航道普查,有效管控和降低航道安全风险,提高航道信息化管理水平提供技术支撑。

1 城市道路地下管线探测方法在航道下穿管线普查中可行性分析

1.1 道路地下管线与航道下穿管线特点

城市道路路面承载交通通行,地下则是市政配套管线的主要通道。道路地下管线种类齐全,一般平行道路铺设,根据管线类别,依次分布在机动车道、非机动车道、人行道和绿化带之下,每隔一段距离设置工作井、检查井、阀门或测试桩等管线相关设施,保障地下管线的正常运行、管理和维修。随着城市进程加快,道路地下管线空间占用率越来越高,特别是城市核心区道路地下管线,道路与管线比可达1:15~1:30,管线上下重叠,道路地下管线分布见图1。



图1 城市道路地下管线分布示意图

航道下穿管线主要包括连接两岸居民正常生产生活的电力、信息、燃气等供给管线,以及长距离运输的航油、原水等主干管线,广泛分布于航道沿线,部分集中于跨河桥梁和公路两侧;铺设时多采用顶管或拖拉管等非开挖方式施工,一般埋深在0~30m之间,埋深变化大,隐蔽性强,航道下穿管线分布见图2。

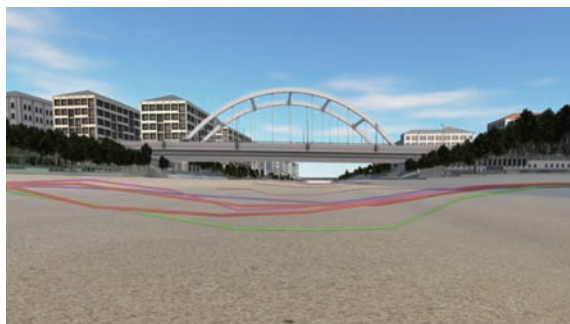


图2 航道下穿管线分布示意图

1.2 道路地下管线与航道下穿管线的区别

a. 管线施工方式和埋藏深度不同。道路地下管线一般采用直埋方式埋设，深度一般小于2m，在路口或已有管线铺设的情况下，使用非开挖方式施工；航道下穿管线多采用非开挖方式施工，航道两岸设有工作井，管线剖面形态呈宽弧形，中间深，两头浅，航道内管线埋深一般大于3m。

b. 管线分布情况不同。道路地下管线一般平行于道路铺设，根据设计分布在道路的不同车道下方，地下空间占用率高，管线之间的距离较小；航道下穿管线一般与航道成90°直角或大角度斜交，根据航道两岸基础设计和居民情况铺设，存在分散性、多样性和隐蔽性特点，部分集中铺设于桥梁附近。

c. 管线相关设施分布不同。道路地下管线的相关设施，如工作井、阀门等，一般每隔一段距离会设计一个，以保障管线的运行和维护；对于航道下穿管线，河道两侧的工作井无明显分布规律，有些工作井距离航道驳岸线较远，具有隐蔽性，甚至为了安全而设置暗井。

d. 探测的干扰源不同。道路地下管线探测的干扰源多来自相邻管线、路面钢筋网、高压线和过往车辆等；航道下穿管线探测的干扰源主要是跨河桥梁、河底沉积物和过往船只等，探测时会受到水面起伏影响。

e. 管线探测方法不同。道路上主要采用管线仪法、探地雷达法探测直埋管线，采用导向仪法和陀螺仪法探测非开挖管线；航道下穿管线以非开挖管线为主，除采用导向仪法和陀螺仪法探测，还会采用水上

探测方法。

f. 管线探测成果表现侧重点不同。道路地下管线探测成果，根据探测的目的，一般侧重展示平面赋存情况，强调管线的完整性和前后连接关系；而航道下穿管线探测成果，则侧重展示河口线或航道蓝线范围内水下管线的埋设情况，特别是剖面图中管线与河底、河岸的相对位置关系。

1.3 可行性分析

由于道路地下管线与航道下穿管线存在很大差异，管线仪法探测深度较浅，不适合航道的非开挖管线探测；导向仪法的接收机在水上难以保持稳定，定位定深误差较大，且需从工作井穿线探测，耗时费力，成本高，不适合普查准确、快速、经济的需求；陀螺仪法需将陀螺从航道一侧的工作井穿到另一侧工作井，探测精度虽高，但对外界探测条件的要求和成本也较高，该方法也不适用于在用的燃气、航油等管线，亦不满足普查全面、快速、经济的需求。因此，常规的城市道路地下管线探测方法不适合航道下穿管线普查，需考虑水上物探方法在航道下穿管线普查中的适应性。

2 水上物探法在内河航道下穿管线普查中的可行性分析

目前，水上物探方法主要包括浅层地震法、浅地层剖面法、多波束法、侧扫声呐法、磁法、高密度电法、探地雷达法。通过对比上述七种方法在管线探测中的优缺点，并结合内河航道和下穿管线特点，分析其在普查中的适应性，见表1。

表1 水上物探方法在航道下穿管线普查中可行性分析

方法类型	优点	缺点	适应性分析
浅层地震法	探测精度高、抗干扰能力强	受水流影响大，信号叠加效果差；施工条件复杂，仅适合静态探测，效率较低	不适合连续走航探测
浅地层剖面法	管道反射特征明显，适合连续走航探测，探测效率高	穿透砂层深度有限，随机噪声和多次波发育影响成像质量	适合连续走航探测
多波束法	探测范围广，适合连续走航探测，水深测量效果好	对调查船要求高，干扰因素多，不能探测水底面以下管线	不适合内河小型航道探测

续表

方法类型	优 点	缺 点	适应性分析
侧扫声呐法	探测范围广，适合连续走航探测，反映水底地貌影像	不能探测水底面以下管线	不适合掩埋管线探测
磁法	探测精度高，适合连续走航探测，铁磁性异常管线特征明显	易受周边铁磁性物质干扰	适合电力或铁磁性管线探测
探地雷达法	快速、高效、无损及实时展示地下图像	探测深度有限	仅适合浅埋管线探测
高密度电法	测量结果准确，探测深度大	受水面环境等因素影响较大，施工条件复杂	不适合连续走航探测

根据全面、准确、快速、经济的内河航道下穿管线普查需求，首先应选择适合船载设备连续走航式探测的方法，即浅地层剖面法，多波束法、侧扫声呐法、瞬变电磁法、磁法、探地雷达法；其次，考虑到航道下穿管线一般埋设于水底面以下，且埋深变化大，可排除多波束法和侧扫声呐法两种海底面探测的方法，以及探测深度有限的探地雷达法。浅地层剖面法和磁法均适合连续走航式探测，满足快速、经济的普查需求；同时，浅地层剖面法对地层具有较强的穿透能力，可用于探测原水、雨污水、航油等管径较大的管道，磁法灵敏度高，对电力、通信和铁磁性的燃气等管线探测效果较好，两种方法相互补充，相互验证，以满足全面、准确的普查需求。

因此，本文推荐采用浅地层剖面法和磁法两种连续走航式探测的方法作为内河航道下穿管线普查的方法。

3 结 论

本文根据内河航道和下穿管线特点，分别对城市道路地下管线探测方法和水上物探法在内河航道下穿管线普查中的适用性进行了分析，得出了浅地层剖面

法和磁法两种连续走航式探测方法可满足全面、准确、快速、经济的普查需求，为即将开展第三次全国内河航道普查做好必要的技术储备，对“数字航道”的建设也具有重要意义。▲

参考文献

[1] 殷颖川. 内河航道管理的现代化与信息化[J]. 智能城市, 2018,4(20):131-132.

[2] 王少群. 第二次全国内河航道普查内容浅介[J]. 统计与咨询, 2003(3):37.

[3] 李明. 数字航道技术在内河航道管理中的应用[J]. 工程建设与设计,2021(9):96-99.

[4] 贾刚,汤修华,孔向平. 我国内河航道总里程达 13.5 万公里[N]. 中国交通报,2004-07-16.

[5] 刘臻,曹立华,童思友,等. 高频浅地层剖面技术在海底管道探测中的应用[J]. 海洋地质前沿,2015(7):66-70.

[6] 陆礼训,王水强,胡绕,等. 高精度磁法用于海底深埋管线探测[J]. 港工技术,2015(4):99-101.

[7] 潘正华,叶初阳. 深埋管线的几种探测技术与规程精度探讨[J]. 城市勘测,2009(2):134-137.

[8] 杨敏,宋涅,王芳,等. 掩埋海底管道探测方法及新技术应用研究[J]. 海洋科学,2015(6).