

水利建设与管理

SHUILI JIANSHE YU GUANLI

原刊名 水利管理技术 (1980 年创刊)

月 刊

2022 年 第 42 卷 第 1 期

(总第 343 期)

2022 年 1 月 23 日 出版

主管单位 中国水利工程协会
主办单位 中国水利工程协会
编辑出版 《水利建设与管理》杂志社有限公司

主 编 安中仁
副 主 编 任京梅 吴香菊
责任编辑 吴晓玉

地 址 北京市西城区南滨河路 27 号小区
7 号楼 11 层 1116 号(贵都国际中心 B 座 1116 室 编 1105)

邮 编 100055
网 址 www.sljsygl.com
在线投稿 www.sljsygl.com/home/login
邮 箱 water6346@163.com
联系电话 010-63305220 (发行)
010-63305239 (投稿)
010-63305258 (广告)

印刷单位 北京博海升彩色印刷有限公司
发行范围 公开发行
订 阅 全国各地邮局
国内发行 中国邮政集团公司北京市报刊发行局
本刊发行部

国内邮发代号 2-781
国外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
国外发行代号 MO3713
广告发布登记 京西市监广登字 20170082 号
中国标准连续出版物号 ISSN 2097-0528
CN 11-4446/TV

定 价 20.00 元

目次 2022年第1期

本期特稿

- 2022 年全国水利工作会议在京召开

特别策划

- 水利部印发关于完善流域防洪工程体系的指导意见和实施方案
- 水利部印发关于实施国家水网重大工程的指导意见和实施方案
- 水利部印发关于复苏河湖生态环境的指导意见和实施方案
- 水利部印发关于推进智慧水利建设的指导意见和实施方案

172 项节水供水重大水利工程专题

- 光纤光栅式设备在滇中引水工程安全监测中的应用

王和芬 马敏艳 牟晋民

工程施工

- 扰动段长江堤防防渗处置效果分析 曹德君 朱春光 吴鑫
- 穿越京密引水渠施工方式适应性初探 张明跃 常帅 郝邨
- 陈家港水库土方调度平衡分析研究 孙晨 苏晨 陈庠
- 九道河隧洞软岩地层洞段变形控制措施研究 王有平

水利信息化

- 基于 WebGL 的水利工程三维可视化研究应用 梁啟斌 罗朝林
- 南水北调长沟泵站三种水位计的应用及改进措施 邵明猛 张健 董传强

建设管理

- 湖北 EPC 总承包水利项目现场管控的探索与实践 杨香东 刘大洋 熊壮
- 基于标后履约监管的宁波市水利建设市场信用体系研究 贺立霞 潘仁友 徐燕
- 基于模糊事故树的建设工程高处坠落事故风险分析 高黎颖

运行管理

56 新疆开都河山区水电梯级综合调度探讨 刘建军

61 博弈论融合权重-短板理论在堤防安全综合评价中的应用

张清明 徐 帅 汪自力

66 悬挂式高压摆喷垂直截渗技术在洪泽湖大堤除险加固工程中的应用 孙超君

水文泥沙

72 新疆天山北坡巴音沟河洪水研究 马红刚 张金宝 贾伟康

80 沭阳水文站南偏泓测流断面流量测速垂线精简分析

周春煦 刘 昊 王 露

行业动态

● 2021 年 12 月 23 日,湖南省潇水涔天河水库扩建工程通过由水利部、湖南省人民政府共同主持的竣工验收。湖南省潇水涔天河水库扩建工程是国家 172 项节水供水重大水利工程之一,是潇水治理开发的关键性工程。工程位于永州市江华瑶族自治县境内的湘江支流潇水上游河段,总库容 15.10 亿 m^3 ,2013 年 11 月主体工程开工,2018 年 7 月 20 日工程全部完工。工程初期运行以来,发挥了灌溉、防洪、补水、发电等综合作用,有力推动了流域、区域的经济社会发展。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211224_1556709.html,日期:2021 年 12 月 24 日)

● 2021 年 12 月 27 日,中国水利工程协会公布 2019—2020 年度中国水利工程优质(大禹)奖 45 项获奖工程及主要参建单位及主要贡献人名单,公布 774 项 2021 年度水利工程优秀质量管理小组成果名单。

(来源:中国水利工程协会网,网址:<http://www.cweun.org>,日期:2021 年 12 月 27 日)

宣传与广告

封面 南水北调工程叶县段

封二 宁夏青龙管业集团股份有限公司

封三 2019—2020 年度中国水利工程优质(大禹)奖获奖工程名单

封底 2019—2020 年度中国水利工程优质(大禹)奖获奖工程名单

《水利建设与管理》

编 委 会

主 任: 孙继昌

副主任: 安中仁 任京梅

委 员 (按姓氏笔画排序)

王爱国 石小强 许文海 孙公新

李坤刚 张利新 陈明忠 宗敦峰

祖雷鸣 唐传利 董红元 蒲朝勇

本刊声明:

1. 本刊为公开发行人物,作者投稿须遵守国家有关保密的法律法规,并对此负完全责任。

2. 本刊刊发的文字、图片等所有内容,本刊拥有网络电子版版权,未经许可不得转载。作者若有异议,请在来稿时声明。

3. 本刊已加入 OSID (Open Science Identity) 开放科学计划,欢迎作者使用。



中国水利工程协会
公众号



《水利建设与管理》
杂志社公众号

WATER CONSERVANCY CONSTRUCTION AND MANAGEMENT

Vol. 42 No. 1 2022

CONTENTS

Special Report

- 1 The 2022 National Conference on Water Conservancy Work was held in Beijing

Special Plan

- 2 Guiding opinions and implementation plans on improving river basin flood control engineering system were printed and distributed by Ministry of Water Resources
- 3 Guiding opinions and implementation plans on implementing national water network major projects were printed and distributed by Ministry of Water Resources
- 4 Guiding opinions and implementation plans on recovering ecological environment of rivers and lakes were printed and distributed by Ministry of Water Resources
- 5 Guiding opinions and implementation plans on promoting smart water conservancy construction were printed and distributed by Ministry of Water Resources

Special Topic on 172 Major Water Conservancy Projects for Water Saving and Water Supply

- 6 Application of fiber grating equipment in safety monitoring of Central Yunnan Water Diversion Project
WANG Hefen, MA Minyan, MU Jinmin

Project Construction

- 12 Analysis on anti-seepage disposal effect of Yangtze River Dike in disturbed section
CAO Dejun, ZHU Chunguang, WU Xin
- 16 A preliminary study on the adaptability of construction mode of crossing Jingmi Water Diversion Canal
ZHANG Mingyue, CHANG Shuai, HAO Ye
- 20 Analysis and study on earthwork scheduling balance in Chenjiagang Reservoir
SUN Chen, SU Chen, CHEN Xiang
- 25 Study on deformation control measures of Jiudaohe Tunnel soft rock stratum tunnel section WANG Youping

Water Conservancy Informatization

- 31 Research and application of 3D visualization of hydraulic engineering based on WebGL
LIANG Qibin, LUO Zhaolin
- 37 Application and improvement measures of three kinds of water level gauges in Changgou Pump Station of South-to-North Water Transfer Project
SHAO Mingmeng, ZHANG Jian, DONG Chuanqiang

Construction Management

- 43 Exploration and practice of site management and control of Hubei EPC general contracted water conservancy project
YANG Xiangdong, LIU Dayang, XIONG Zhuang
- 47 Research on credit system of Ningbo water conservancy construction market based on post-bid contract performance supervision
HE Lixia, PAN Renyou, XU Yan
- 51 Risk analysis of construction project high falling accidents based on fuzzy fault tree GAO Liying

Operation Management

- 56 Discussion on hydropower cascade comprehensive scheduling in Xinjiang Kaidu River Mountainous Area
LIU Jianjun
- 61 Application of game theory fusion weight and short-board theory in comprehensive evaluation of dike engineering safety
ZHANG Qingming, XU Shuai, WANG Zili
- 66 Application of suspended high-pressure swing-jetting vertical seepage-cutting technique in the Risk Removal and Reinforcement Project of Hongze Lake Levee
SUN Chaojun

Hydrology and Sediment

- 72 Study on flood in Bayingou River of northern slope of Tianshan Mountain, Xinjiang
MA Honggang, ZHANG Jinbao, JIA Weikang
- 80 Simplification analysis of flow and velocity measurement vertical line of velocity measurement section in south side of Shuyang Hydrological Station
ZHOU Chunxu, LIU Hao, WANG Lu

2022 年全国水利工作会议在京召开

全国水利工作会议 1 月 6 日至 7 日上午在北京召开。李克强总理、胡春华副总理作出重要批示。水利部党组书记、部长李国英出席会议并讲话。他强调,要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,全面贯彻党的十九大、十九届历次全会精神 and 中央经济工作会议、中央农村工作会议精神,深入贯彻落实习近平总书记“十六字”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神,按照李克强总理、胡春华副总理批示要求,弘扬伟大建党精神,坚持稳中求进工作总基调,完整、准确、全面贯彻新发展理念,加快构建新发展格局,统筹发展和安全,统筹水灾害、水资源、水生态、水环境系统治理,推动新阶段水利高质量发展,为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障,以优异成绩迎接党的二十大胜利召开。

水利部副部长田学斌主持会议并作总结讲话。部领导周学文、陆桂华、魏山忠、王新哲、刘伟平出席会议。

会议认为,2021 年,在党中央、国务院的坚强领导下,各级水利部门心怀“国之大者”,真抓实干、克难奋进,全面深入开展“三对标、一规划”专项行动,进一步提高了把握新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的政治判断力、政治领悟力、政治执行力;全力以赴打赢抗击严重水旱灾害硬仗,有效应对部分流域历史罕见雨情汛情旱情,最大程度保障了人民群众生命财产安全和供水安全;扎实开展党史学习教育,深入领悟党的百年奋斗重大成就和历史经验,深刻理解“两个确立”的决定性意义,切实解决了群众急难愁盼的一批民生水利问题。一年来,各级水利部门着眼保安全、促发展、惠民生,扎实推进水利基础设施建设,全面加强水利工程运行管护,持续加大水资源节约和管理力度,全面

加强水生态保护治理,着力提升水利行业发展能力,深入推进全面从严治党,推动新阶段水利高质量发展迈出有力步伐,实现了“十四五”良好开局。

会议指出,今年将召开党的二十大,保持平稳健康的经济环境、国泰民安的社会环境、风清气正的政治环境,具有特殊重要的意义。各级水利部门要深刻认识、准确把握当前水利工作面临的形势和任务,从高质量发展要求看,要更加自觉地走好水安全有力保障、水资源高效利用、水生态明显改善、水环境有效治理的集约节约发展之路。从统筹发展和安全看,要进一步增强风险意识、树牢底线思维,下好先手棋、打好主动仗,牢牢守住水利安全底线。从极端天气变化风险看,要主动适应和把握全球气候变化下水旱灾害的新特点新规律,强化预报、预警、预演、预案措施,有力有序有效应对极端天气事件风险。从防汛查漏补缺找出的问题看,要统筹体制机制法治、统筹规划工程技术、统筹目标任务责任、统筹近期中期长期,分类施策、精准施策,切实增强水旱灾害防御能力。

会议强调,今年要扎实有效做好 10 项重点工作。一要做好水旱灾害防御准备,确保人民群众生命财产安全。提高水旱灾害监测预报预警水平,优化防汛抗旱应急响应机制,强化水库安全管理,开展妨碍河道行洪突出问题大排查大整治,提升山洪灾害防御能力,强化工程调度运用管理,全面开展汛前隐患排查,抓好水利工程安全度汛,提升流域水工程联合调度水平。二要提升农村供水保障水平,确保农村供水安全。加快农村供水工程改造提升,健全运行管理长效机制,守住农村饮水安全底线,推进乡村振兴水利工作。三要完善流域防洪工程体系,加快构建抵御水旱灾害防线。提高河道泄洪及堤防防(下转第 60 页)



编者按

2021年6月28日,水利部党组书记、部长李国英在“三对标、一规划”专项行动总结大会上指出,水利发展进入以高质量发展为主题的新阶段。推动新阶段水利高质量发展有六条实施路径,其中包括:完善流域防洪工程体系、实施国家水网重大工程、强化水利体制机制法治管理、复苏河湖生态环境、建立健全节水制度政策、推进智慧水利建设。

年终岁尾,以上重要工作均有了新的进展。2021年12月23日,水利部部署了数字孪生流域建设工作;2021年12月29—30日,陆续发布了关于建立健全节水制度政策、复苏河湖生态环境、强化水利体制机制法治管理、实施国家水网重大工程、完善流域防洪工程体系、推进智慧水利建设的指导意见和实施方案。前者本刊已在2021年12期做了报道,为便于读者更深入地理解新阶段水利改革发展的方向要求,推出本期特别策划,着重对涉及完善流域防洪工程体系、实施国家水网重大工程、复苏河湖生态环境和推进智慧水利建设这4项工作的新闻稿进行转发。

水利部印发关于完善流域防洪工程体系的指导意见和实施方案

为深入贯彻落实习近平总书记关于防洪减灾工作的重要指示批示精神,加快解决防洪突出薄弱环节,完善流域防洪工程体系,有效抗御洪水风险,全面提升洪涝灾害防御能力,着力推动新阶段水利高质量发展,近日,水利部印发《关于完善流域防洪工程体系的指导意见》(以下简称《指导意见》),水利部办公厅印发《“十四五”时期完善流域防洪工程体系重点工作实施方案》(以下简称《实施方案》),明确了完善流域防洪工程体系的总体要求,统筹部署各项任务措施。

《指导意见》指出,流域防洪工程体系是抵御洪涝灾害威胁、保障防洪安全的第一道防线,关乎国家安全和人民群众生命财产安全。要统筹发展和安全,深入落实“两个坚持、三个转变”的防灾减灾救灾新理念,始终把保障人民群众生命财产安全放在第一位,坚持系统观念,强化底线思维,以流域为单元,通过固底板、补短板、锻长板,加快完善由河道及堤防、水库、分蓄洪区等组成的现代化防洪工程体系,大幅提升洪涝灾害防御能力,为全面建设社会主义现代化国家提供

有力的防洪安全保障。

《指导意见》明确了完善流域防洪工程体系的指导思想、基本原则和工作目标,要求突出流域单元,从流域整体着眼把握洪水发生和演进规律,科学规划、合理布局、有序推进河道及堤防、水库、分蓄洪区建设,统筹安排洪水出路,加快补齐短板弱项,着力提升防御能力。到2025年,防洪突出薄弱环节得到有效解决,流域防洪工程布局进一步优化,流域防洪工程体系进一步完善,流域防洪工程调度水平进一步提高,洪涝灾害防御能力进一步提升,洪涝灾害损失率有效降低。

《指导意见》提出了完善流域防洪工程体系的主要任务:一是加强顶层设计,包括切实加强规划引领,合理确定防洪标准,科学安排洪涝水出路,优化流域防洪区划和工程布局。二是提高河道泄洪能力,包括加快大江大河大湖治理,实施主要支流和中小河流治理,加强河湖行洪空间管控。三是增强洪水调蓄能力,包括加快流域控制性枢纽工程建设,实施病险水库水闸除险加固,加强流域水库群联合调度。(下转第5页)

水利部印发关于实施国家水网重大工程的指导意见和实施方案

为贯彻党的十九届五中全会关于实施国家水网重大工程的决策部署,认真落实习近平总书记在推进南水北调后续工程高质量发展座谈会上的重要讲话精神,完整、准确、全面贯彻新发展理念,加快构建“系统完备、安全可靠,集约高效、绿色智能,循环通畅、调控有序”的国家水网,着力推动新阶段水利高质量发展,近日,水利部印发《关于实施国家水网重大工程的指导意见》(以下简称《指导意见》),水利部办公厅印发《“十四五”时期实施国家水网重大工程实施方案》(以下简称《实施方案》),明确了加快推进国家水网重大工程建设的主要目标,重点围绕完善水资源优化配置体系,系统部署各项任务措施。

《指导意见》要求,到2025年,建设一批国家水网骨干工程,有序实施省市县水网建设,着力补齐水资源配置、城乡供水、防洪排涝、水生态保护、水网智慧化等短板和薄弱环节,水安全保障能力进一步提升。在完善水资源优化配置体系方面,建成一批重大引调水和重点水源工程,新增供水能力290亿立方米,水资源承载能力与经济社会发展适应性明显增强;城乡供水保障水平进一步提高,农村自来水普及率达到88%;大中型灌区灌排骨干工程体系逐步完善,新增、恢复有效灌溉面积1500万亩;数字化、网络化、智能化和精细化调度水平有效提升。《指导意见》还展望了到本世纪中叶的目标。

《指导意见》提出了实施国家水网重大工程的主要任务:一是加强统筹谋划,做好顶层设计,包括科学谋划国家水网总体布局、协同推进四级水网建设。二是推进水网主骨架大动脉建设,构建国家水网之“纲”,包括推进南水北调后续工程高质量发展、加快实施重大引调水工程。三是完善区域水网工程布局,织密国家水网之“目”,包括加快构建配套衔接的区域水资源配置工程体系、因地制宜完善农村供水工程网络、加强现有大中型灌区续建配套和改造、积极新建一批现代化灌区。四是加强重点调蓄工程挖潜和建设,打牢国家水网之“结”,包括充分挖掘现有调蓄工程供水潜力、加快重点水源工程建设、加强战略储备水源建设。五是提高工程建设和运行管理水平,充分发挥工程效益,包括加强工程建设管理、推进工程智慧化建设、增强科技支撑能力、提高运行调度水平、健全运行管理机制。《指导意见》还提出了加强组织领导、加快前期工作、强化资金保障、开展监督考核等四项保障措施。

与《指导意见》相配套,同时印发了《实施方案》,将《指导意见》提出的任务进一步细化实化为59项具体措施,并分别明确责任单位和完成时限。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211231_1557713.html,日期:2021年12月31日)



水利部印发关于复苏河湖生态环境的指导意见和实施方案

为贯彻落实习近平生态文明思想,完整、准确、全面贯彻新发展理念,按照“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路,推动新阶段水利高质量发展,近日,水利部印发《关于复苏河湖生态环境的指导意见》(以下简称《指导意见》),水利部办公厅印发《“十四五”时期复苏河湖生态环境实施方案》(以下简称《实施方案》),明确了复苏河湖生态环境的主要目标,系统部署各项任务措施。

《指导意见》指出,推动新阶段水利高质量发展,满足人民日益增长的美好生活需要,必须贯彻落实习近平生态文明思想,完整、准确、全面贯彻新发展理念,树立和践行绿水青山就是金山银山理念,以提升水生态系统质量和稳定性为核心,维护河湖健康生命,实现河湖功能永续利用,实现人水和谐共生。

《指导意见》明确了复苏河湖生态环境的指导思想、基本原则和工作目标。要求到2025年,海河、辽河、西北内陆河被挤占的河湖生态用水得到一定退还,大运河、滹沱河、永定河等重点河流力争实现全线过流,萎缩干涸的重点湖泊水面得到一定恢复。长江、珠江、东南诸河生态流量得到有效保障,太湖生态水位得到有效维持,黄河、淮河、松花江干流及主要支流生态流量保障程度显著提升。河湖空间管控得到加强,岸线保护利用规划体系基本建立,规划约束机制较为完善;涉河建设项目和活动管理制度建立健全,河湖管理范围全面划定,存量“四乱”(乱占、乱采、乱堆、乱建)问题不断减少,涉河违建、围垦等重大问题得到有效遏制;河道采砂秩序稳定向好。地下水超采状况有效遏制,正常来水情况下年压减地下水超采量力争达到55.5亿立方米,全国地下水取用水量总量控制在960亿立方米以内;京津冀地区约2/3以上地下水超采区实现采补平衡,超采区城镇力争全部实现采补平衡;重点区域地下水超采问题得到控制。全国新增水土流失治

理面积31万平方公里,其中黄河重点生态区2万平方公里,长江重点生态区5万平方公里;全国水土保持率提高到73%以上。

《指导意见》提出了复苏河湖生态环境的主要任务:一是推进解决河道断流、湖泊萎缩问题,包括明确范围与目标,实施华北地区河湖生态环境复苏行动,推进大运河生态保护与修复,推进西辽河流域治理,强化补水河湖水量、水质、水生态监测与分析;二是保障河湖生态流量,包括强化重要河湖生态流量目标确定,加强江河流域及重大调水工程水资源调度,加强生态流量日常监管,加强小水电生态流量监督管理,推进河湖重要控制断面的监测预警能力建设;三是加强河湖保护,包括完善河湖管理范围划界成果,强化岸线规划约束,规范河道采砂管理,严格涉河建设项目和活动管理,推进水美乡村建设,强化河湖日常监管,提升河湖监管信息化水平;四是加快地下水超采综合治理,包括实行地下水取水总量、水位控制,建立地下水储备制度,开展地下水超采区划定,推进华北及其他地区地下水超采综合治理,强化地下水监管,加强地下水监测与分析评价;五是科学推进水土流失综合治理,包括全面强化人为水土流失监管,加快推进水土流失重点治理,提升水土保持监测评价能力,健全水土保持政策体制机制,强化水土保持基础支撑;六是保障措施,包括加强组织领导,加大投入力度,提升能力保障,强化监督落实,严格考核评估。

与《指导意见》相配套,同时印发了《实施方案》,将《指导意见》提出的目标与任务进一步细化实化为73项具体措施,明确了每项具体措施的责任单位和完成时限。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211229_1557462.html,日期:2021年12月29日)

水利部印发关于推进智慧水利建设的指导意见和实施方案

为深入贯彻习近平总书记关于网络强国的重要思想,积极践行习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路,认真落实国家“十四五”规划纲要的要求,加快推进智慧水利建设,驱动新阶段水利高质量发展,近日,水利部印发了《关于大力推进智慧水利建设的指导意见》(以下简称《指导意见》)《“十四五”期间推进智慧水利建设实施方案》(以下简称《实施方案》),还同步印发了《智慧水利建设顶层设计》(以下简称《顶层设计》)《“十四五”智慧水利建设规划》(以下简称《建设规划》),系列文件明确了推进智慧水利建设的时间表、路线图、任务书、责任单。

《指导意见》指出,推进智慧水利建设是推动新阶段水利高质量发展的六条实施路径之一,需要按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求,以数字化、网络化、智能化为主线,以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径,以构建数字孪生流域为核心,全面推进算据、算法、算力建设,加快构建具有预报、预警、预演、预案(以下简称“四预”)功能的智慧水利体系。

《指导意见》要求,到2025年,通过建设数字孪生流域、“2+N”水利智能业务应用体系、水利网络安全体系、智慧水利保障体系,推进水利工程智能化改造,

建成七大江河数字孪生流域,在重点防洪地区实现“四预”,在跨流域重大引调水工程、跨省重点河湖基本实现水资源管理与调配“四预”,N项业务应用水平明显提升,建成智慧水利体系1.0版。《指导意见》还展望了到2030年和2035年的目标。

《指导意见》提出了推进智慧水利建设的主要任务:一是建设数字孪生流域,包括建设数字孪生平台、完善信息基础设施。二是构建“2+N”水利智能业务应用体系,包括建设流域防洪应用、建设水资源管理与调配应用、建设N项业务应用。三是强化水利网络安全体系,包括水利网络安全管理、水利网络安全防护、水利网络安全监督。《指导意见》还提出了落实责任、加大投入、加强监督、建强队伍等四项保障措施。

与《指导意见》相配套,水利部面向相关司局,直属单位,中国长江三峡集团有限公司、中国南水北调集团有限公司印发了《实施方案》,将《指导意见》提出的任务进一步细化实化为94项具体措施,并分别明确责任分工和完成时限。同步印发的《顶层设计》主要谋划智慧水利建设的总体目标、总体框架、建设布局、建设安排等内容,《建设规划》主要明确“十四五”时期智慧水利建设目标、建设任务、重点工程等内容。

(来源:水利部信息中心,日期:2022年1月6日)

(上接第2页)四是确保分蓄洪区分蓄洪功能,包括加快蓄滞洪区布局优化调整与建设,加强分蓄洪区管理,开展洲滩民埝分类整治。五是补齐防洪短板弱项,包括加强山洪灾害防治,加强城市防洪能力建设,加强重点涝区排涝能力建设,加强沿海防台防潮能力建设。六是加强洪水风险管理,包括加强流域防洪智慧化调度,强化防洪隐患排查和应急管理,加强洪涝灾害社会风险管控。《指导意见》还从加强组织领导、加快前期

工作、加大投入力度、强化监督考核等四方面提出保障措施要求。

与《指导意见》相配套,同时印发了《实施方案》,将《指导意见》提出的目标与任务进一步细化实化为66项具体措施,并分别明确责任单位和完成时限。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211231_1557727.html,日期:2021年12月31日)



光纤光栅式设备在滇中引水工程安全监测中的应用

王和芬¹ 马敏艳² 牟晋民³

- (1. 云南省水利水电勘测设计研究院, 云南 昆明 650021;
2. 云南水利水电建设工程技术开发有限公司, 云南 昆明 650021;
3. 基康仪器股份有限公司, 北京 100080)

【摘要】 海东隧洞为滇中引水工程中具有代表性的隧洞,隧洞监测设备种类齐全、数量繁多、线缆牵引传输超长。为了达到安全监测的目的,设备选择采用振弦式与光纤光栅组合的方式,不仅确保了施工质量、安全及进度,而且提高了监测成果的准确性和可靠性,同时有效地减少了传输线缆工程量,降低了经济指标。目前,国内尚无专门针对长距离输水工程安全监测方面的设计规范,海东隧洞安全监测选择合理的组网布置方式可为同类工程监测设计提供参考和借鉴。

【关键词】 线缆牵引;光纤光栅;组网;信号衰减;成活率

中图分类号: TV672.1

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-006-06

Application of fiber grating equipment in safety monitoring of Central Yunnan Water Diversion Project

WANG Hefen¹, MA Minyan², MU Jinmin³

- (1. Yunnan Institute of Water & Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming 650021, China;
2. Yunnan Water Conservancy and Hydropower Construction Engineering Technology Development Co., Ltd., Kunming 650021, China;
3. China Geokon Instrument Co., Ltd., Beijing 100080, China)

Abstract: Haidong Tunnel is a representative tunnel in Central Yunnan Water Diversion Project. The monitoring equipment of the tunnel is characterized by complete categories, large number and super-long cable traction transmission. The combination of vibrating wire equipment and fiber grating equipment is selected in order to meet the purpose of safety monitoring, thereby ensuring the construction quality, safety and progress on the one hand, and improving the accuracy and reliability of monitoring results on the other hand. Meanwhile, transmission cable engineering quantities are effectively reduced, and the economic index is reduced. There is no special design specification for safety monitoring of long-distance water conveyance projects in China nowadays, the selection of reasonable networking layout mode in safety monitoring

收稿日期: 2021-05-21

作者简介: 王和芬(1979—)女,本科,高级工程师,主要从事水利水电工程设计工作。

equipment of Haidong Tunnel can provide reference for monitoring design of similar projects.

Keywords: cable traction; fiber grating; networking; signal attenuation; survival rate

1 工程简介

滇中引水工程是云南省可持续发展的战略性基础工程,是国务院确定的 172 项节水供水重大水利工程中的标志性工程,也是中国西南地区规模最大、投资最多的水资源配置工程。工程由水源工程和输水工程两部分组成,水源工程位于丽江市玉龙县石鼓镇,从位于石鼓镇上游约 1.5km 的金沙江右岸取水,由泵站提水至总干渠渠首。输水工程自丽江石鼓镇望城坡开始,途经丽江市、大理州、楚雄州、昆明市、玉溪市,终点为红河州新坡背,引水线路总长 664.236km。工程受水区共涉及输水总干渠沿线 6 州(市)35 个县(市、区)的 34 个受水小区,多年平均引水量 34.03 亿 m^3 ,设计输水流量 135~20 m^3/s ,受益面积 3.69 万 km^2 ,惠及人口 1112 万。工程静态总投资为 748.85 亿元,动态总投资 780.48 亿元,施工总工期 96 个月。

输水总干线全长 664.236km,共布置 116 座主要输水建筑物,整条线路以隧洞为主,设置有隧洞 58 座,合计长 611.986km,占干线全长的 92.13%,其中长度大于 25km 的隧洞有 5 条。海东隧洞为上述 5 条隧洞之一,长 25.29km,设置有 0 号及 2 号永久施工支洞,隧洞输水流量 135 m^3/s ,设计流量 135 m^3/s ,净断面采用马蹄形, $R=4.73\text{m}$,宽 \times 高=9.46m \times 9.46m^[1]。隧洞沿线埋深普遍较大,埋深大于 300m 的洞段长约 14km,隧洞穿越地层岩性主要为灰色厚层夹中层状白云质灰岩及白云岩;直接穿越的大小断层有 13 条以上;因此隧洞主要存在高地应力、硬岩岩爆、高外水压力、高地温,活动断裂、软岩(包括断层带)大变形、隧洞突水突泥、有毒有害气体等问题。

2 监测设计内容

海东隧洞为滇中引水工程输水线路较长、隧洞埋深较大(埋深最大 500m)、开挖断面最大(9.46m \times 9.46m),且处于高地震烈度带(Ⅷ度)、高外水压带(最大 1.9MPa)、高地温(最高温度 28.55℃)、地下水环境

影响高敏感区、软岩地带及可溶岩地带(9.31km)的隧洞,且隧洞穿越多条断层及断裂带(F_{13})等。

海东隧洞地质条件复杂,且为滇中引水工程开工较早的建筑物。因此对海东隧洞进行全方位的监测,能全面掌握隧洞施工期及运行期的总体运行情况,对设计参数选择的合理性和可靠性进行验证,从而确保设计更趋合理和建筑物的安全可靠,为今后隧洞的理论设计和监测技术的深入研讨积累一定的实用资料^[2]。

根据海东隧洞的围岩条件、开挖方式、衬砌形式、受力状态等选择具有代表性的洞段或关键部位布置了 10 个综合监测断面、2 个地下水位监测断面、3 个位错监测断面及 2 个水位监测断面等 17 个监测断面,具体布置见图 1。监测内容主要为:围岩内部变形监测、衬砌和围岩的接缝开合度监测、活动断裂带地表位移和衬砌位错监测、衬砌外水压力监测、衬砌结构混凝土应力和钢筋应力监测、支护措施(锚杆、钢拱架等)受力监测、隧洞沿程水位监测等^[3],共布置了 585 个施工期临时监测点和 596 支永久安全监测设备。

3 监测设备的选取

海东隧洞长 25.29km,仅有 0 号、2 号施工支洞为永久支洞,其余施工支洞需要封堵,因此电(光)缆只能从隧洞进出口及 0 号、2 号永久检修洞引出,其中 2 号永久支洞至隧洞出口约 18.24km,电(光)缆牵引传输距离最长达 7.1km,为滇中引水工程中电(光)缆牵引最长的隧洞。因此仪器选型必须在满足测量精度的同时能实现长距离传输,并力求做到可靠、耐久、经济、实用^[4]。滇中引水工程海东隧洞安全监测面临电缆数量大、牵引距离长、采用传统振弦式设备将存在信号衰减严重(电测信号一般不超过 1.5km)等问题,与此同时,在工程永久安全监测后期实现自动化观测之后,还将面临测检修测站多、工作量大、现场供电系统投资大等方面的难点。因此在观测断面选择、各观测断面测点布设和监测仪器数量不变的前提下,为达到解决问

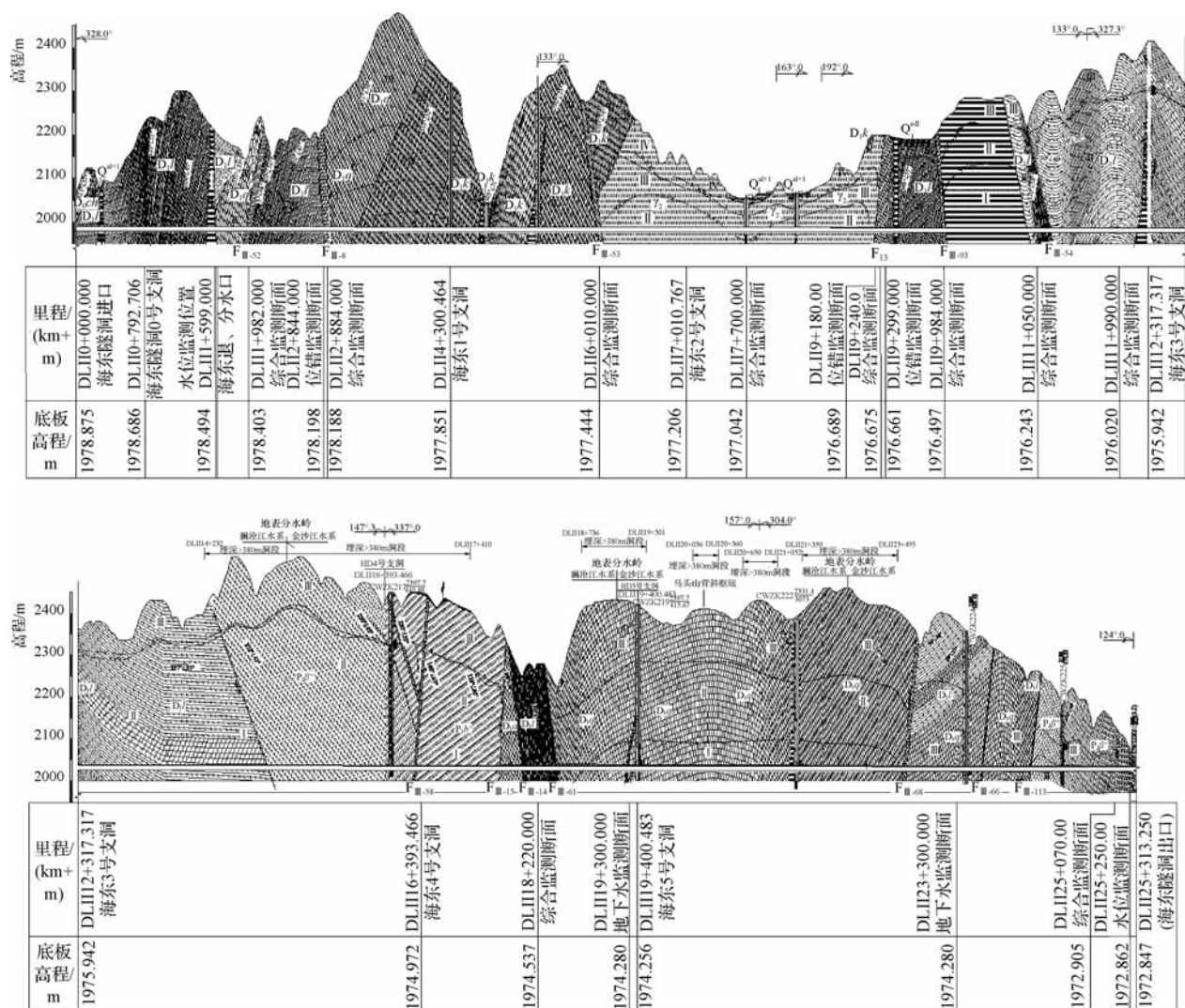


图1 海东隧洞纵剖面监测断面布置

题、优化设计的目的,海东隧洞永久安全监测设计在监测仪器和自动化设备的选择中,采用了目前工程安全监测领域最新的传感器技术成果——光纤光栅式设备。通过对仪器运行和监测的可靠性和工程经济性的综合比较,选择振弦式和光纤光栅式传感器组合的形式;对于传输距离不大于1.5km的监测断面,监测设备选取振弦式,每支仪器电缆经洞顶的线槽引出至洞外观测站;对于传输距离大于1.5km的监测断面,监测设备选取光纤光栅式,光缆通过合理组网接入接线盒后,经洞顶线槽或PVC保护管引出至洞外观测站。

4 光纤光栅传感器在海东隧洞中的应用

光纤光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)传感器作为

20世纪90年代发明的一种集光学、电子学为一体的一种新兴的光学技术成果^[5],可以用来测量应变、应力、弯曲、挠度、温度、振动、压力等多个物理量,其应用领域非常广泛。同时光纤传感器集传感和信息传输于一体,可实现分布式或准分布式以及远距离监测^[5],对被测对象进行多点测量,提取相关的信号,进行状态分析,达到示警以及故障诊断的目的,而且其传输距离理论上可达50多km,还能进行动态监测。因而海东隧洞传输距离较远的6个综合监测断面(占总综合监测断面的60%)及3个位错监测断面(占总位错监测断面100%)采用光纤光栅式设备。海东隧洞安全监测采用光纤光栅式设备的主要技术优势包括以下几个方面:

a. 光纤光栅式设备容量大:可在一根光纤上同时测量几十个点的温度、应变、压力、位移、振动等多种参量。在单路光纤上可以制作多个光栅,可以对大型工程进行分布式测量,其测量点多,测量范围大。因此海东隧洞光纤光栅式设备采用6个传感器串联为一组的形式。

b. 光纤光栅式设备测量精度高:光纤光栅式设备发出光信号,测量仪器测量其光的特征值,不受光源功率波动、光纤微弯效应及耦合损耗等因素影响;精确的透射和反射特征(小误差)使其更加准确地反映了应力、温度等的变化。因此传输距离较远的整个监测断面上的应变计、无应力计、钢筋计、钢板计、位移计等设备均采用光纤光栅式。

c. 光纤光栅式设备传感头结构简单、尺寸小,适于各种应用场合,便于安装,尤其适合于隧洞衬砌混凝土内。

d. 光纤光栅式设备为抗腐蚀、抗高压的无源器件,因此能在潮湿的恶劣化学环境下工作。同时光缆接长时均在接续盒中完成,因此不需对接头进行防水处理等,特别适合地下水位较高、施工期洞内渗水量较大的海东隧洞。

e. 光纤光栅式设备具有更远距离传输能力,在远距离传输条件下,传输线缆最经济。海东隧洞9个监测断面选择光纤光栅式设备,光纤的工程投资约6.8万元(12芯主通信光缆约58m,24芯主通信光缆约1600m,36芯主通信光缆约7200m),若改为电缆,工程投资较高,估算为2230万元(四芯电缆88万m,十芯电缆19万m),而且电缆数量众多,电缆布线也是个难点。

f. 光纤光栅式设备现场不需供电,光纤探测并直接进行信号传输不受电磁及核辐射干扰;光纤光栅对被测信息用波长编码,不受光源功率波动和光纤弯曲等因素引起的损耗的影响,因此光纤光栅式设备可靠性好、抗干扰能力强。海东隧洞较长,为监测设备永久供电不仅会大大增加工程投资,而且施工期洞内潮湿,供电风险较大。

g. 光纤光栅式设备无零漂,出厂后不需要定期检定,系统维护成本很低。

h. 光纤光栅式设备数据测量能够实现高速采集,为施工期及运行期提供高效服务。

i. 海东隧洞光纤光栅式设备采用6个传感器串联为一组引至洞顶接续盒内并完成光缆接长,不仅确保了设备及光缆的质量和安

全,还有效减少了电缆牵引工期,加快了工程进度。

j. 光纤光栅式设备采用串联牵引,并将首纤与尾纤分别引出,首纤与尾纤传输数据能互相校验;首纤(或尾纤)出现故障可以从尾纤(或首纤)获取数据,确保了仪器的成活率及运行期监测数据的准确性和有效性。

滇中引水海东隧洞选择的光纤光栅传感器还采用了独特的切趾(apodization)光栅技术,其与普通均匀光栅传感器相比,除上述优点外,性能更稳定,出现意外光能量损耗过大时,仍能精确测量,不会误报警,使各类传感器串接链测量时更可靠,接入的仪器数量也更多^[6]。切趾又叫变迹,就是将光栅的折射率调至中间高两边逐渐减小,其函数形式包括高斯函数、三角函数等。两类光栅光谱见图2~图3。

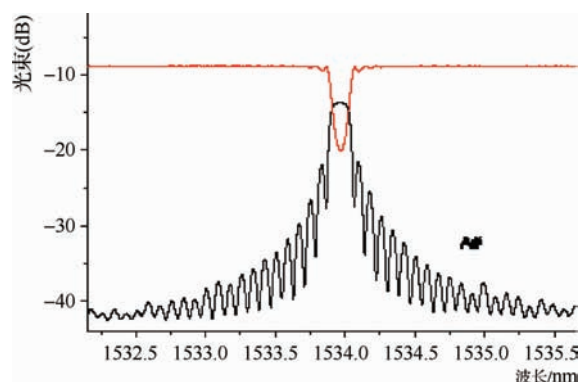


图2 均匀光栅光谱

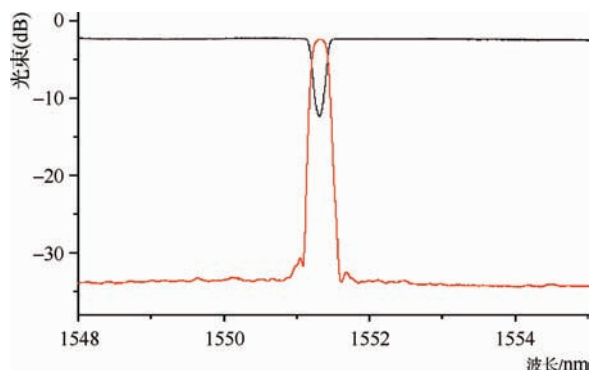


图3 切趾光栅光谱

5 海东隧洞光纤光栅设备组网

海东隧洞为滇中引水工程中具有代表性的隧洞,隧洞监测仪器设备种类繁多且线缆牵引距离最长,合理配置监测仪器设备具有十分重要的意义^[7]。采用传统振弦式设备与光纤光栅式设备混合使用,解决了电缆牵引繁杂、电缆长度过长、信号衰减过快等一系列问题。

海东隧洞工程中的各光栅光纤监测设备除渗压计和水位计采用分路器并联外,其余监测设备采用串联方式连接(通常情况6个传感器串联为一组)。具体为:从2号检修支洞出缆的6个光纤光栅式监测断面中,DLII9+240.00监测断面内的8支渗压计,每4支并联成一组接入一分四耦合器(渗压计为单端出缆),其余66支传感器每6支串联为一组,共串联成11组,再与两个一分四耦合器一起并联至该断面的接续盒内;DLII9+180.000监测断面的3组三点式多点位移计及4支位错计串联成三串然后并联至DLII9+240.00监测断面的接续盒内;DLII9+299.000监测断面的4支位错计串联成一串然后并联至DLII9+240.00监测断面的接续盒内;DLII9+984.00、DLII11+050.00及

DLII11+990监测断面内的传感器连接方式与DLII9+240.00监测断面传感器连接方式一致。

每个监测断面传感器连接完成后,采用主通信光缆进行组网。原则上为节省光缆的工程量,主通信光缆组网可将每个监测断面进行串联,如在DLII11+990.00监测断面,各仪器设备光缆通过接续盒后连接24芯主通信光缆,至DLII11+050.00监测断面位置,并入该断面的12芯光缆后采用36芯主通信光缆;至DLII9+984.00监测断面位置,并入该断面的24芯光缆后采用60芯主通信光缆;至DLII9+240.000监测断面位置,并入该断面的36芯光缆后采用96芯主通信光缆,最终接入2号检修支洞观测房内的终端分线盒,共计12芯主通信光缆约58m,24芯主通信光缆约1200m,36芯主通信光缆约1300m,60芯主通信光缆约850m,96芯主通信光缆约2600m,光缆投资约5.1万元。但是考虑到多个监测断面串联,如果主通信光缆受到外界因素影响发生断损,将会造成监测仪器群死、大量数据丢失的风险。为保证仪器设备的成活率,各监测断面仪器采用并联、串联的综合组网方式,且串联不超过48芯。即从DLII11+990.00监测断面接续盒出来后连接24芯主通信光缆,至DLII11+050.00监

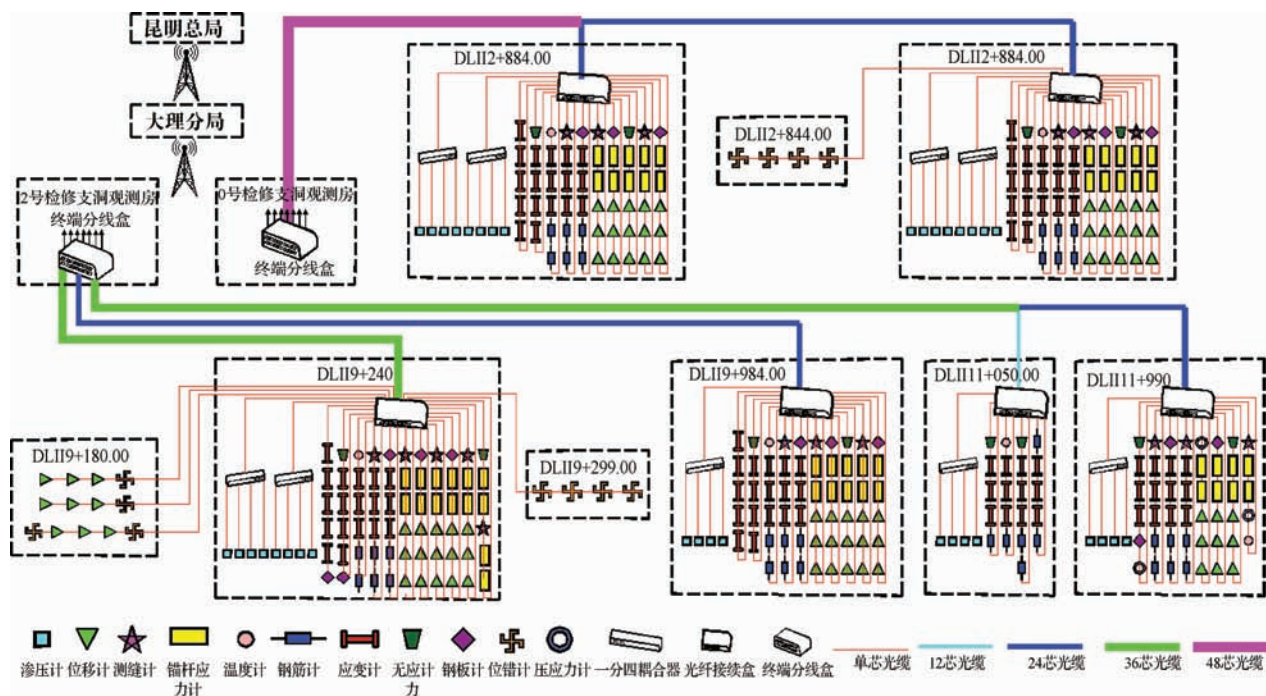


图4 海东隧洞光纤光栅式仪器设备组网

测断面位置,并入该断面的12芯光缆后采用36芯主通信光缆直接引至2号检修支洞观测房内的终端分线盒;在DLⅡ9+984.00监测断面,仪器光缆通过接续盒出来后连接24芯主通信光缆直接引至2号检修支洞观测房内的终端分线盒;在DLⅡ9+240.000监测断面,仪器光缆通过接续盒出来后连接24芯主通信光缆直接引至2号检修支洞观测房内的终端分线盒;共计12芯主通信光缆约58m,24芯主通信光缆约1600m,36芯主通信光缆约7200m,光缆投资约6.8万元。增加的工程投资仅占海东隧洞安全监测投资(103.1万元)的1.6%。工程在投资增加不多的前提下充分保证了仪器的成活率,达到了监测的意义和目的,因此海东隧洞主通信光缆采用并联、串联的混合组网方式,见图4。

光纤光栅式设备科学合理的组网方式不仅能很好地解决长距离传输问题,而且能提高系统可靠性,节省投资,便于管理和维护。

6 结 语

永久安全监测是为了服务工程正常运行,保障建筑物结构安全或运行安全而开展的持续性监测,对于地质条件复杂、结构断面较大的建筑物通常需要进行全方位的监测^[8],因此监测项目齐全,监测设备种类繁多。超长距离输水工程还存在设备选型及组网方式的选择问题,合理的设备选择及组网方式,不仅能提高系统安全性、可靠性,还能节省投资,便于管理和维护。

滇中引水工程为超长距离输水工程,目前国内没有专门针对长距离输水工程安全监测方面的监测设计规范,仅能以《水利水电工程安全监测设计规范》(SL 725—2016)作为主要依据,加之滇中引水工程由不同单位承担设计任务,极易造成各监测设备的选择和组网方式千差万别^[9]。

海东隧洞为滇中引水工程中具有代表性的隧洞,隧洞监测仪器设备种类齐全、数量繁多、线缆牵引传输距离超长,因此选择了传统设备(振弦式)与光纤光栅式联合的布置方式^[10]。实践证明此方式不仅确保了施工质量、安全及进度,而且提高了监测成果的准确性和可靠性,同时有效地减少了传输线缆工程量,降低了经济

指标。

光纤光栅式设备现已在我国水电工程安全监测领域得到应用,但从目前研究与应用情况来看,尚存在基础研究薄弱、专业人员较少、针对性不强、传感器与基体材料互适应性研究较少、监测项目的传感原理研究困难、采集系统和数据处理系统的通用性和实用性问题。然而只要加强基础研究,理论与实践紧密结合,光纤光栅设备及其相关的材料在水电工程安全监测领域的应用前景就会非常宽广,它们不仅是传统仪器的理想替代者,而且有助于工程建设施工、运行期的管理实现数字化转型,可为实现现代化、智慧化水利工程奠定基础。◆

参考文献

- [1] 滇中引水工程输水总干渠Ⅱ段初步设计报告:工程布置及建筑物[R].昆明:云南省水利水电勘测设计研究院,2009:154-218.
- [2] 水利水电工程安全监测设计规范:SL 725—2016[S].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [3] 水工隧洞安全监测设计规范:SL 764—2018[S].北京:中国水利水电出版社,2018.
- [4] 杜泽快,刘洪亮.引大济湟长距离引水隧洞安全监测设计研究[J].人民黄河,2020,42(5):116-120.
- [5] 郝长江,季凡,杜泽快,等.光纤传感技术在水电工程安全监测领域应用研究综述[J].大坝安全,2007(1):38-44.
- [6] 周庶,赵晓曦,李雷.分布式光纤传感器在重力坝安全监测中的应用[J].水利技术监督,2008(5):44-46.
- [7] 杜泽快,胡长华.滇中引水工程输水隧洞安全监测设计原则研究[J].人民长江,2019,50(10):157-161.
- [8] 王和芬,张家锐,胡明勇,等.大断面高埋深暗涵安全监测设计浅析——以云南省滇中引水工程为例[J].人民长江,2020,51(S1):165-168.
- [9] 郝长江,胡长华,杜泽快.南水北调中线干线工程安全监测系统研究[J].大坝安全,2006(6):3-8.
- [10] 赵翔元.引汉济渭输水隧洞安全监测系统技术分析与研究[J].水利建设与管理,2019,39(12):17-20,16.
- [11] 王国卿.大坝安全监测系统在输水管道工程中的应用[J].水利建设与管理,2018,38(6):71-74.
- [12] 孙昊苏,鲍维猛.大宁调蓄水库安全监测成果分析[J].水利建设与管理,2020,40(6):69-72,53.



扰动段长江堤防防渗处置效果分析

曹德君 朱春光 吴鑫

(南京市长江河道管理处,江苏南京 210011)

【摘要】 随着长江经济带不断建设发展,临江城市拥江发展,过江隧道不断增多,必将对长江堤防造成扰动,甚至可能出现险情。本文选取南京树人学校段江堤消险工程,分析出险原因,选定双排高喷桩垂直防渗墙及充填灌浆方案,通过工程质量检测、堤防渗流监测分析得出消险防渗措施实施效果良好,可供类似工程参考。

【关键词】 隧道扰动;长江堤防;消险;渗流监测

中图分类号: TV861 + TV223.4

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-012-04

Analysis on anti-seepage disposal effect of Yangtze River Dike in disturbed section

CAO Dejun, ZHU Chunguang, WU Xin

(Nanjing Yangtze River Course Administration Office, Nanjing 210011, China)

Abstract: Cities near the river are developed based on the river with the continuous construction and development of the Yangtze River Economic Belt. The tunnels across the river are increased continuously, thereby causing disturbance to the Yangtze River Dike certainly. Dangerous situation may even appear. The river dike risk elimination project in the section of Nanjing Shuren School is selected to analyze the cause of the risk in the paper. The vertical impermeable wall and filling grouting schemes of double-row high-jet piles are selected. It is concluded that the risk elimination and seepage prevention measures are effective through the quality inspection of the project and the seepage monitoring of the dike, which can be used as a reference for similar projects.

Keywords: tunnel disturbance; Yangtze River dike; risk elimination; seepage monitoring

1 引言

随着长江经济带不断建设发展,临江城市拥江发展,过江隧道不断增多,必将对长江堤防造成不同程度的扰动。南京树人学校段江堤位于南京主城区,因受土地资源约束,建设采用钢筋混凝土直立式防洪墙^[1],墙后建设有防汛通道,下方填土情况相对复杂,2016

年汛期出现渗水险情。通过分析渗水原因、制定消险设计方案并实施,以及进行质量检测及渗流监测分析,工程有效消除隐患,运行至今未再出险。

2 工程概况

2016年7月,南京市鼓楼区树人学校段江堤背水侧出现多处渗水险情,遂采取养水盆等紧急措施度汛。

收稿日期: 2020-11-24

作者简介: 曹德君(1988—),男,硕士,工程师,主要从事水利工程建设及管理工作。

出险段江堤为直立式钢筋混凝土防洪墙,墙后在滨江风光带提升中建有11m宽防汛通道,堤防等级1级,设计洪水位10.63m(吴淞高程,下同),下穿长江纬三路过江隧道,防洪墙下填土成分复杂,局部存在土体软弱区。2016年汛后,南京市组织相关单位,通过现场查看、勘察、物测等技术手段,分析渗水原因并选定相应防渗除险方案,组织实施消险。

3 消险方案设计

3.1 渗水原因

树人学校段江堤先后经历砂场码头拆除、滨江风

光带建设、长江隧道穿越,地基情况较为复杂,根据勘察发现场地浅部普遍分布淤泥质土,力学强度低;且堤身、堤基土局部不密实,存在多处松散渗水现象;隧道穿越处操场存在脱空异常区;场地工程地质条件差。经综合分析认为造成渗水的原因:原有堤身及堤基局部松散,存在渗水可能,受到长江隧道穿越扰动后,原有填土渗透性增大,达到中等—强透水程度,受汛期长江持续高水位影响,形成渗流通道,从隧道上方土体向堤后渗水。根据渗水原因,本次消险设计主要包括堤防防渗及隧道与堤防交叉处的堤基灌浆加固两部分。工程平面布置见图1。

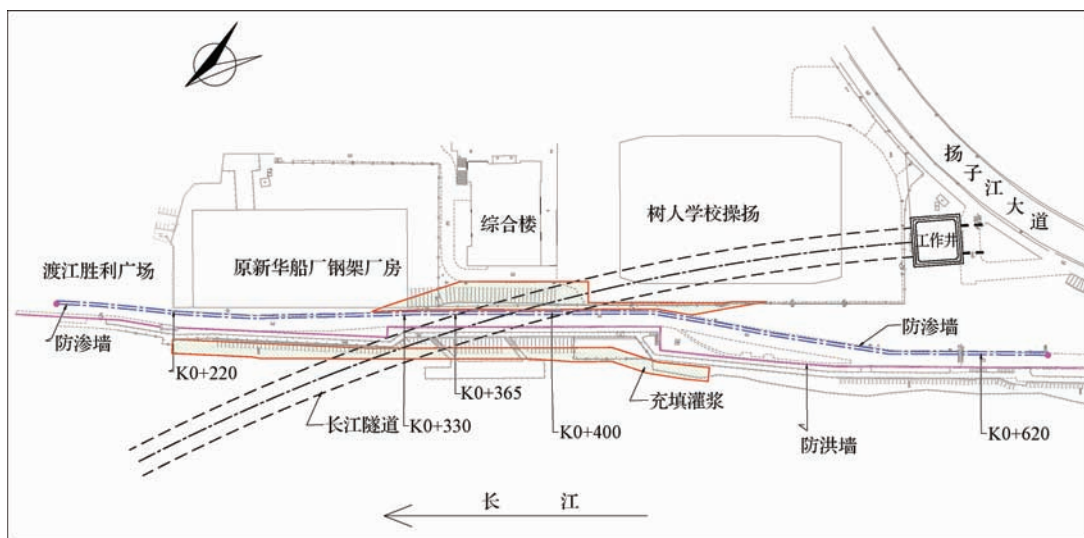


图1 工程平面布置及测点断面分布

3.2 堤防消险范围

根据探测结果(探测范围K0+220~K0+550),K0+259~K0+490岸段内,存在5处渗漏高风险区域(含本次堤后渗水较为严重的K0+350~K0+410段,隧道下穿江堤段);另外K0+193附近后方也有渗水点。根据险情及探测隐患分布,考虑应当向南北两侧延伸,本次堤防消险的范围为K0+153~K0+653,总长500m。

3.3 堤防防渗措施

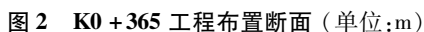
3.3.1 防渗方式

堤防防渗方式一般有堤前坡面防渗及堤身垂直防

渗^[2],考虑到出险段堤防迎水面9m高程处有2.5m宽临江步道,部分岸段存在观景平台,局部滩地有砌石护坡,且迎水面坡面防渗多为建设期采用^[3],本次消险不具备条件;防洪墙后防汛通道均在11m以上,因此拟选用顺堤顶纵向垂直防渗墙方案。此外,该段江堤位于南京市主城区,堤后紧靠树人学校及规划中党史馆,综合考虑地理位置重要性,经咨询相关行业专家后,最终采用顺堤顶纵向设置两排高喷桩垂直防渗墙,两道防渗墙之间根据现场施工情况补强。防渗墙平面布置见图1,K0+365断面防渗墙布置见图2。

3.3.2 控制要点

a. 双排高喷桩前后间距1.5m,其中前排侧高喷桩



对隧道穿越江堤处防洪墙前迎水坡滩面、堤后坡

选取江堤桩号 K0 + 365 处(隧道下穿位置)监测断面 6.0m、-1.0m、-9.0m 高程测点水位过程变化数

表1 仪器埋设位置一览

设计编号	桩号	坝轴距/m	高程/m	设计编号	桩号	坝轴距/m	高程/m
P1	江堤0+220	前排防渗墙轴线外侧1.20	6.3953	P16	江堤0+365	后排防渗墙轴线外侧1.20	-0.8134
P2	江堤0+220	后排防渗墙轴线外侧1.20	6.0421	P17	江堤0+365	前排防渗墙轴线外侧1.20	-9.3801
P3	江堤0+220	前排防渗墙轴线外侧1.20	-1.756	P18	江堤0+365	后排防渗墙轴线外侧1.20	-8.3134
P4	江堤0+220	后排防渗墙轴线外侧1.20	-0.9140	P19	江堤0+400	前排防渗墙轴线外侧1.20	6.0036
P5	江堤0+220	前排防渗墙轴线外侧1.20	-9.2561	P20	江堤0+400	后排防渗墙轴线外侧1.20	6.1142
P6	江堤0+220	后排防渗墙轴线外侧1.20	-8.4140	P21	江堤0+400	前排防渗墙轴线外侧1.20	-1.5960
P7	江堤0+330	前排防渗墙轴线外侧1.20	6.2482	P22	江堤0+400	后排防渗墙轴线外侧1.20	-1.3490
P8	江堤0+330	后排防渗墙轴线外侧1.20	6.3261	P23	江堤0+400	前排防渗墙轴线外侧1.20	-9.0963
P9	江堤0+330	前排防渗墙轴线外侧1.20	-1.1184	P24	江堤0+400	后排防渗墙轴线外侧1.20	-8.8490
P10	江堤0+330	后排防渗墙轴线外侧1.20	-1.2470	P25	江堤0+620	前排防渗墙轴线外侧1.20	6.4910
P11	江堤0+330	前排防渗墙轴线外侧1.20	-7.6184	P26	江堤0+620	后排防渗墙轴线外侧1.20	6.6011
P12	江堤0+330	后排防渗墙轴线外侧1.20	-8.7470	P27	江堤0+620	前排防渗墙轴线外侧1.20	-0.8895
P13	江堤0+365	前排防渗墙轴线外侧1.20	6.2644	P28	江堤0+620	后排防渗墙轴线外侧1.20	-1.2314
P14	江堤0+365	后排防渗墙轴线外侧1.20	6.1695	P29	江堤0+620	前排防渗墙轴线外侧1.20	-8.3895
P15	江堤0+365	前排防渗墙轴线外侧1.20	-1.8801	P30	江堤0+620	后排防渗墙轴线外侧1.20	-8.7314

据,见图3~图5。通过观察渗流测点水位过程线(其余断面基本相同),可以发现前排防渗墙迎江侧各测点随长江水位变化而变化,后排防渗墙外侧各测点受长

江水影响较小,表明防渗墙截渗效果较好,堤防运行正常。

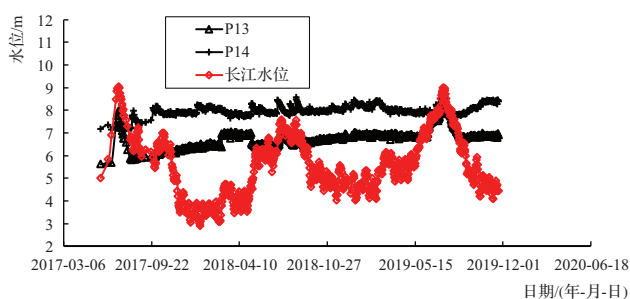


图3 江堤 K0+365 断面 6.0m 高程 P13、P14 渗流

测点水位过程线

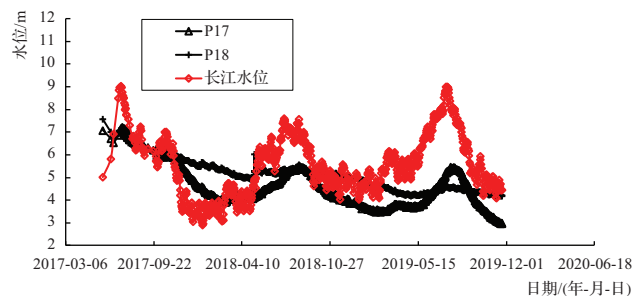


图5 江堤 K0+365 断面 -9.0m 高程 P17、P18 渗流

测点水位过程线

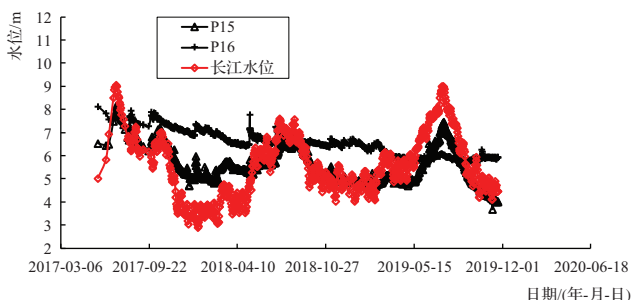


图4 江堤 K0+365 断面 -1.0m 高程 P15、P16 渗流

测点水位过程线

6 结 语

长江隧道扰动段江堤防除险加固工程,影响因素较多且复杂,受施工地理位置、过江隧道、现有防洪墙及特定土质等条件制约,采用双排高喷桩垂直防渗墙结合充填灌浆的消险方式可有效消除隐患,工程完工至今已经历了4次汛期考验,特别是2020年长江南京段超历史洪水工况下,堤防未出现渗水险情,为类似工程条件下的扰动段堤防除险加固提供了很好的参考。今后,可在除险加固的同时埋设渗流监测及位移监测等信息技术设备,同时收集除险(下转第30页)



穿越京密引水渠施工方式适应性初探

张明跃 常 帅 郝 邨

(北京市京密引水管理处,北京 101400)

【摘 要】 随着首都经济社会的飞速发展,穿越京密引水渠的管线逐年增多且穿越方式多样。为更好地保证京密引水渠运行安全,本文结合京密引水渠工程特点和运行情况,首先介绍了穿越京密引水渠的方法及其适用条件,主要包括明挖法和暗挖法两类,然后介绍了选择穿越方式时应该考虑的因素,包括渠道堤防情况、地质条件、输水状况以及周边环境,最后讨论了不同条件下穿越京密引水渠的适用方式。研究成果可为类似河道穿越管理借鉴。

【关键词】 京密引水渠;穿越;施工方法;适应性

中图分类号: TV698.2

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-016-04

A preliminary study on the adaptability of construction mode of crossing Jingmi Water Diversion Canal

ZHANG Mingyue, CHANG Shuai, HAO Ye

(Beijing Jingmi Water Diversion Management Office, Beijing 101400, China)

Abstract: The pipelines crossing Jingmi Water Diversion Canal are increased year by year and they are crossed in various ways with the rapid economic and social development of the capita. The crossing method and its applied conditions of Jingmi Water Diversion Canal are introduced firstly in order to better guarantee the safe operation of Jingmi Water Diversion Canal based on engineering characteristics and operation situation of Jingmi Water Diversion Canal in the paper, mainly including open excavation method and underground excavation method. Then, the to-be-considered factors during selection of crossing method are introduced, including canal dike circumstance, geological conditions, the water transmission condition and surrounding environment. Finally, the suitable ways of crossing Jingmi water diversion canal under different conditions are discussed. The research results can be used for reference in similar river crossing management.

Keywords: Jingmi Water Diversion Canal; crossing; construction method; adaptability

1 引 言

京密引水渠始建于1960年,全长105.059km,横跨密云、怀柔、顺义、昌平、海淀5个区,起点为龚庄子进水闸,终点为团城湖南闸^[1](北京市京密引水管理处管段)。自2015年京密引水渠开始承担向北京城区正

向供水和南水北调来水调入密云水库调蓄工程反向输水的重任,为确保正常输水运行,保证渠道堤防和建筑物安全愈加重要。

近几年,随着首都经济社会的飞速发展,京密引水渠渠道两侧城镇化进程快速推进,穿越京密引水渠的管线逐年增多。据目前统计,京密引水渠现有穿越管

收稿日期: 2021-03-10

作者简介: 张明跃(1990—),男,大专,主要从事水利水电工程施工管理工作。

线近 100 道,穿越管线包括燃气管线、电力管线、地铁轨道、自来水管线、污水管线等。作为京密引水渠管理单位,在穿越工程管理过程中发现,部分建设单位在选择穿越方法时,多侧重于考虑管径条件、工程进度和管道保护等因素,而未充分考虑京密引水渠工程情况、运行现状和周边环境等因素,最终导致穿渠方案调整、施工进度延长、资金成本增加等问题;另一方面,如果选择穿越方法不当,还会给渠道安全造成不利影响,因此,在不同条件下选择更适用于京密引水渠的穿越方式十分必要。

本文首先介绍了穿越京密引水渠的方法及其适用条件,然后介绍了选择穿越方式时应该考虑的因素,最后讨论了不同条件下穿越京密引水渠的适用方式,并对穿越工程提出了建议。

2 穿越方法及适用条件

目前,穿越京密引水渠工程方式包括明挖法和暗挖法,暗挖法又包括顶管法、定向钻拉管法、浅埋暗挖法和盾构法。在 2015 年反向运行输水前,明挖法是主要穿越方式。反向输水运行后,由于渠道运行水位较高,暗挖法穿越方式逐渐增多。

2.1 明挖法

明挖法适用浅埋地下工程和平面尺寸较大的工程施工和基坑工程施工,在海淀区北清路(北安河路—温泉路)污水管线穿越京密引水渠工程等多项工程中采用该工法。由于明挖法需将管道上部的岩石(土)体全部挖除,再进行管道敷设,最后将管沟进行回填,所以在输水渠道段穿渠时均进行了分期围堰导流。但围堰导流投资较大,约占总工程投资近 30%;此外,明挖法穿渠开挖面积大,在前期准备工作中经常涉及树木伐移、占地、交通通行等手续,施工工期较长,资金投入大。

2.2 暗挖法

2.2.1 顶管法

顶管法适用于管径为 350 ~ 4000mm 的管线穿渠,

该方法施工进度快、经济合理,而且施工过程处于受控状态,控制精度高、施工环境较好、作业安全,在大秦铁路茶坞地区煤改气天然气管线穿越京密引水渠工程等几处工程中采取了该工法。由于顶管法在卵石层中的顶进相对困难,地下水位高时施工有难度,因此在几处顶管施工前期准备工作中,都需先对渠道地质情况进行勘察。另外,顶管工程包括工作井、接收井和顶管管线^[2],工作井和接收井设置时,要考虑渠道的运行安全,因为原则上规定:河道管理范围内不得布置任何永久性竖井,施工临时竖井确需在管理范围内布设时,堤防河道距离规划堤角线应不小于 15m^[3]。

2.2.2 定向钻拉管法

定向钻拉管法适用管径在 100 ~ 1000mm 的钢管和 PE 管的管道施工,该工法施工工艺简单,不污染环境,综合成本低,对周边环境影响小,在陕京四线输气管道工程线路工程 EPC 总承包(第四标段)京密引水渠定向钻穿越工程中采用了该工法。由于定向钻拉管法仅在卵石层中的施工相对困难,因此施工前只需考虑渠道地质条件的适应性。

2.2.3 浅埋暗挖法

浅埋暗挖法适用于多种不同断面和结构埋置浅且对地面沉降要求严格的管道施工,在怀柔区小城站污水处理市场化建设配套管网工程穿越京密引水渠工程中采用了此种穿越方式。该工法喷射支护时产生粉尘多,对环境影响大;且当地下水位较高时,需要提前进行全线降水。

2.2.4 盾构法

盾构法适合建造断面大、埋深大、距离长的轨道、地铁或 3000 ~ 14000mm 管径的穿越工程,该方法效率高、机械化作业程度高、施工速度快、施工质量易控制、施工安全性高、对周围环境影响小。北京地铁 16 号线工程北安河站—温阳路站下穿京密引水渠时,由于下穿工程断面较大,其他方法施工较为困难,便采用了盾构工法。

3 选择穿越京密引水渠方式时的考虑因素

通过对穿越方法和适用条件的介绍,不难发现,不



同穿越方法都存在着优势和局限性,因此在选择穿越方式时,在考虑管线形式、施工要求等技术要求的基础上,还要进一步考虑京密引水渠堤防情况、地质条件、输水状况、周边环境等其他影响因素,以此来选择最佳的穿越方式。

3.1 渠道堤防情况

京密引水渠建设过程中,龚庄子进水闸—李史山节制闸段32km渠道系利用原白河灌渠扩建而成,堤防相对稳定;李史山节制闸—昆明湖段77km渠道按规划运河线路布置,对具体的地形、地物作了适当调整,渠堤滨河路主要利用弃土填筑^[4]。京密引水渠堤防包括填方段、挖方段和半挖半填段,高填方段主要分布在怀柔区衡王坟分水闸—刘各长大车桥和昌平区秦城公路桥—棉山东山洪桥;深挖方段主要在顺义区西台下节制闸—李史山节制闸段,此段渠底至堤顶高差10m以上。

3.2 地质条件

京密引水渠堤防地质条件主要以砂质黏土、砂砾石、粉砂为主,砂砾石存在的大直径卵石层主要分布在张各庄—龙山段;粉砂地质主要分布在龙山—昆明湖段。此外,京密引水渠张各庄上游段地下水位相对较低,水位在渠底高程左右,但张庄下游段地下水位普遍较高,一般在渠道设计水位左右。

3.3 输水状况

自2015年,京密引水渠开始承担正、反向输水,以反向输水为主。反向输水由团城湖取水,沿京密引水渠新建8个泵站加压,然后从雁栖泵站新建22km直径2.6m的PCCP输水管道入密云水库调节池^[5]。

反向输水期为每年的4—11月,反向输水过程中为保证泵站正常运行,渠道平均水深达2.6m,与正向输水水深相比增加了0.6m。同时,京密引水渠怀柔水库上游渠道警戒水深为2.8m,峰山口输水闸—西台上跌水闸警戒水深3.0m,西台上跌水闸—李史山节制闸前警戒水深3.1m;兴寿节制闸、东沙河节制闸、土城节制闸、柳林节制闸前警戒水深3.0m^[6]。由此可见,反

向输水时的水深基本已经接近渠道警戒水深。

3.4 周边环境

3.4.1 渠道周边交通情况

京密引水渠部分堤顶路为城市交通道路,车辆来往频繁,主要交通道路集中在怀柔水库下游渠道。主要道路包括怀长路、怀昌路、昌平左堤路、温阳路、温北路、黑龙潭路、黑山扈路等,其中昌平段渠道左右岸均有交通道路,并且紧邻渠道,穿越施工时要重点考虑该段渠道的交通影响。

3.4.2 渠道两岸林木情况

目前,京密引水渠两岸共有水源防护林428hm²,杨、柳、松、柏等各类树木19万株,被誉为北京地区的“绿色长城”。渠道防护林一般在渠道堤顶路两侧,但沿昌平、海淀区渠道内坡种植了大量柏树,穿渠过程中会涉及树木伐移和绿化恢复事宜。

3.4.3 渠道周边生活区情况

京密引水渠沿线共涉及5个区、21个镇乡、102个村,渠道两侧人口稠密,尤其是昌平区上苑、大辛峰、小辛峰、棉山几个村部分住户房址紧邻渠道左岸外坡脚,穿越施工时要重点考虑。

4 不同条件下适用京密引水渠的穿越方式

4.1 明挖法

因明挖法需将管道上部土方全部挖除后铺设管道,同时明挖法穿越需进行拆迁,且中断交通道路,因此,明挖法适合在京密引水渠非深挖方渠堤,以及渠道停水期和反向输水期泵站上游拆迁占地少、不影响交通的渠道段采用。为减少拆迁投入和对交通的影响,在紧邻渠道人口稠密区和主要交通道路地段不宜采取明挖法。

4.2 暗挖法

4.2.1 顶管法

顶管法穿越卵石地层时顶进困难,另外顶管工程需布置工作井,在工作井施工时应采取有效的地下水控制措施(降水或截水),否则对堤防安全影响较大。

因此采用顶管法穿越京密引水渠时要充分考虑地质条件影响,尽量避免在卵石地层和地下水位高的渠道段实施。

4.2.2 定向钻拉管法

定向钻进在卵石地层穿越比较困难,要充分考虑渠道地质情况,应尽量避免在京密引水渠地质条件为卵石地层的渠道采用。

4.2.3 浅埋暗挖法

浅埋暗挖法适合埋深较浅的穿越方式,在京密引水渠西台上跌水—李史山节制闸深挖方段渠道不宜采取。另外浅埋暗挖法受地下水影响较大,在京密引水渠地下水位高的地段不宜实施。同时该工法喷射粉尘较多,对环境影响大,建议在渠道两侧人口分散地段采用。

4.2.4 盾构法

盾构法不宜在京密引水渠砂卵石地层条件下施工。同时盾构法适合长距离的大型管线穿越工程,由于京密引水渠宽度较短,一般不超过 50m,如果管线管径较小且只在穿渠段采用盾构法显然从技术经济上考虑是不合理的。

5 结论及建议

5.1 结论

a. 明挖法施工会引起拆迁,对周边环境影响大,会增加非主体工程资金投入;而暗挖法穿越影响相对较小,并且基本不需围堰导流,能够保证渠道的正常输水量,相比明挖法具有明显优势。

b. 在选择穿越京密引水渠的方式时,在考虑穿越管径因素的基础上,还要充分考虑渠道的堤防型式、地质条件、地下水位、输水运行等情况。

c. 选择穿越方式时,要综合技术、经济、工期等多方面因素,充分发挥各种方式的优越性并避其局限,以

选择最适合京密引水渠的穿越方式。

5.2 建议

a. 穿越工程完工后,考虑渠道堤防安全,要定期对堤防进行沉降观测。

b. 建议地方政府部门统一规划考虑,同一地段避免多次开挖穿渠。

c. 为方便统一管理,可沿渠道建立穿渠综合管廊,这也是今后的发展趋势。◆

参考文献

- [1] 水务工程手册[M]. 北京:北京市京密引水管理处,2005.
- [2] 孙艳华. 试论京密引水渠技术改造工程的施工管理与启示[J]. 水利建设与管理,2002,22(3):42-43.
- [3] 姜西忠. 简析输水管道定向穿越的质量控制[J]. 水利建设与管理,2017,37(5):1-3,7.
- [4] 袁忠于. 浅议顶管施工技术在水利建设工程中的应用[J]. 水利建设与管理,2012,32(11):42-45.
- [5] 钱治国. 浅议顶管施工技术在水利建设工程中的应用[J]. 科技与企业,2015(24):149.
- [6] 京密引水管理处供水调度手册[M]. 北京:北京市京密引水管理处,2011.
- [7] 北京市南水北调配套工程南水北调来水调入密云水库调蓄工程—初步设计报告[R]. 北京:北京市水利规划设计研究院,2013.
- [8] 范强. 拉管技术在下穿既有线施工中的应用[J]. 山西建筑,2011,37(3):98-99.
- [9] 张学进. 淤泥质土浅埋暗挖隧道下穿既有管线影响研究[J]. 铁道工程学报,2020,37(7):77-83.
- [10] 北京市京密引水渠防汛资料汇编[M]. 北京:北京市京密引水管理处,2017.
- [11] 葛春辉. 顶管工程设计与施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [12] 马保松,STEIN D,蒋国盛,等. 顶管和微型隧道技术[M]. 北京:人民交通出版社,2004.



陈家港水库土方调度平衡分析研究

孙晨¹ 苏晨² 陈库³

(1. 南京水科院勘测设计有限公司, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学设计研究院有限公司, 江苏 南京 210098;

3. 南京市江宁区水务局, 江苏 南京 211100)

【摘要】 江苏沿海地区处于高速发展期,建设平原水库是保障其水安全的重要措施。平原水库的建设将产生大量土方,对其进行合理的调度平衡分析是减少工程量、降低工程投资的有效手段。陈家港水库土方工程涉及6类区域58个分区,利用统计学中的单纯形法建立数学模型,采用MATLAB软件进行模型函数计算,可以得出土方调度平衡的最优方案。研究结果显示:大中型水库土方平衡是一个复杂的运筹学问题,需综合考虑土方“量”和“质”,以求更加合理地利用土方,节省工程投资。

【关键词】 平原水库;土方调度;土方平衡;单纯形法;陈家港水库

中图分类号: TV512

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-020-05

Analysis and study on earthwork scheduling balance in Chenjiagang Reservoir

SUN Chen¹, SU Chen², CHEN Xiang³

(1. Nanjing Academy of Water Sciences Survey and Design Co., Ltd., Nanjing 210098, China;

2. Hohai University Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210098, China;

3. Nanjing Jiangning District Water Bureau, Nanjing 211100, China)

Abstract: Jiangsu coastal area is in the rapid development. The construction of flatland reservoirs is very important to ensure water security. The construction of flatland reservoirs will lead to a lot of earthwork. Reasonable scheduling balance analysis thereof is an effective means to reduce the engineering quantity and investment. The earthwork of Chenjiagang Reservoir involves 6 categories of areas and a total of 58 zones. The simplex algorithm in statistics is used for establishing a mathematical model. MATLAB software is used for calculating the model function. The optimal scheme of earthwork scheduling balance is obtained. The research results show that the earthwork balance of large and medium reservoirs is a complex operational research question. ‘Quantity’ and ‘quality’ of earthwork should be comprehensively considered, thereby utilizing earthwork more reasonably, and saving engineering investment.

Keywords: flatland reservoir; earthwork scheduling; earthwork balance; simplex algorithm, Chenjiagang Reservoir

收稿日期: 2021-04-22

作者简介: 孙晨(1987—),女,硕士,高级工程师,主要从事水利规划与设计方面的研究。

1 引言

平原水库具有蓄水、灌溉、防洪和养殖等功能,同时也能防止平原地区的水土流失^[1]。随着江苏沿海开发战略的推进,水资源短缺的现状极大地制约了地方经济发展,平原水库的建设对于江苏沿海地区高质量发展具有非常重要的意义,沿海平原水库的建设迫在眉睫^[2-3]。水库在兴建过程中不可避免地会产生大量土方,如何对其进行合理调度,最大程度减少外购回填和外弃挖除土方及其运输成本是一项重要的课题。当前有关水库土方调度平衡方面的研究相对较少,其他类似工程土方调度平衡的研究包括 BIM 技术在大型场地平整工程量计算及土方调运的研究、复杂地形下的土方平衡应用研究——以广西百色某学院项目为例、工程土石方计算及调度、基于线性规划数学模型算法的土方调度、古黄河水利枢纽工程土方施工组织与平衡的探讨、淮河干流疏浚工程超大型排泥场优化设计^[4-9]等。本文根据江苏沿海地区库区土质特性、平原水库建设特点,对水库土方工程开展分析研究,具体以盐城市陈家港水库为例,对其土方开挖和回填进行调度平衡分析研究,以达到缩短工期和提高经济效益的目的。

2 土方调度模型

2.1 模型选择

运筹学提供了多种运用数学模型解决实际问题的数学算法,如运用图解法可以解决变量较少的线性规划最大最小值问题,表上作业法可以解决工程中产销平衡问题,动态规划可以解决资源分配问题等^[10]。若把每个网格土方量的调度看作一个数学变量,那么土方量的调度涉及的变量众多,为解决多变量问题并寻求最优解,本文选用运筹学中的单纯形法建立土方工程的数学模型。单纯形法与一般寻优方法一样,都是从某初始可行解 X 开始,搜索与 X 相邻的可行解,如果存在某个相邻可行解 X' 优于初始可行解 X ,则用 X' 替代 X ,重新探查直至找到某个局部最优解 X^* ,其目标函数值不劣于所有临近点为止。对于线性规划而言,找到的局部最优解 X^* 即为全局最优解^[11]。

2.2 模型建立

某土方工程有 w 个挖方区域和 t 个填方区域,分别用 i, j 表示挖方区和填方区的编号,目标函数 Z 的表达式如下:

$$Z = \sum_{j=1}^j L_{1j} E_{1j} + \sum_{j=1}^j L_{2j} E_{2j} + \cdots + \sum_{j=1}^j L_{ij} E_{ij} \quad (1)$$

约束条件为:

$$\left. \begin{aligned} E_{11} + E_{12} + \cdots + E_{1j} &= A_1 \\ E_{21} + E_{22} + \cdots + E_{2j} &= A_2 \\ &\vdots \\ E_{i1} + E_{i2} + \cdots + E_{ij} &= A_i \\ E_{11} + E_{21} + \cdots + E_{i1} &\leq B_1 \\ E_{12} + E_{22} + \cdots + E_{i2} &\leq B_2 \\ &\vdots \\ E_{1j} + E_{2j} + \cdots + E_{ij} &\leq B_j \end{aligned} \right\}$$

式中 L_{ij} ——从第 i 个挖方区到第 j 个填方区的距离, m;

E_{ij} ——从第 i 个挖方区域调度到第 j 个填方区域的土方量, m^3 , $E_{ij} \geq 0$, $i = 1, 2, \cdots, w$;
 $j = 1, 2, \cdots, t$ 。

3 土方调度平衡分析

3.1 陈家港水库基本情况

陈家港水库位于江苏省盐城市灌东经济开发区,地处盐城市响水县东北部陈家港境内沿海滩涂区灌东新材料产业园附近。水库利用现有盐塘,经深挖筑堤兴建,属围坝型沿海平原水库。通过水库对淡水资源进行调蓄,使得洪水资源化,以丰补欠,为盐城市沿海开发提供工农业生产、居民生活的用水保障。陈家港水库由库西、库东两个库区组成,库西区临近灌东开发区的工业园区及新型小城镇,一方面与灌东开发区旅游开发结合紧密具有景观功能,另一方面还兼顾工业园区排涝。库西区主要特征参数如下:库底高程 - 2.0m、死水位 - 0.5m、正常蓄水位 3.5m,总库容 2768 万 m^3 ,兴利库容 2027 万 m^3 ,死库容 741 万 m^3 ,新建堤防等级为 3 级,堤顶高程 5.5m,堤顶宽 6m,大坝轴线长度 8.919km。



3.2 土方施工布置

开挖区为陈家港水库库西区,弃土区为灌东新材料产业区,筑堤土堆场为坝轴线内侧 30m 至坝轴线外侧 15m,排泥场位于开挖区西侧,施工管理区位于开挖区南侧。施工总平面布置见图 1。

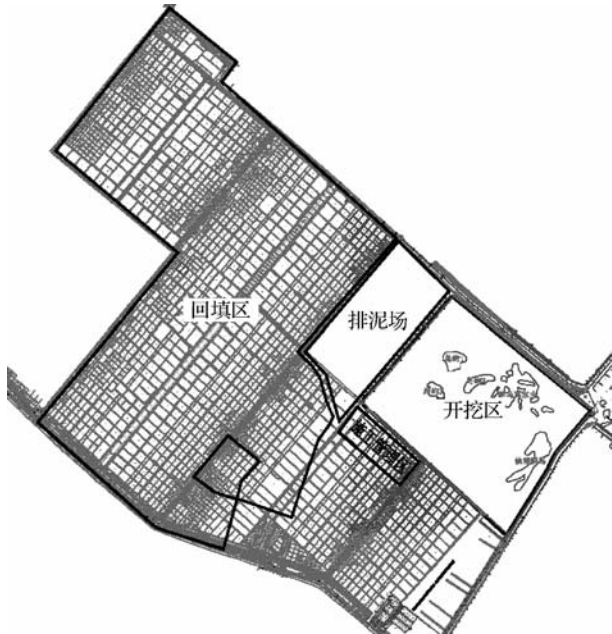


图1 施工总平面布置示意图

3.3 土方平衡设计分析

土方平衡设计不仅要考虑各区土方“量”的调度平衡,同时还应重视各区土方供给“质”的平衡影响。综合考虑水库开挖区域地下土质分布情况,判断适合回填的土方种类,结合本项目可利用的土方类型,确定土方平衡设计方案,以此确保土方调配在质上的平衡,以保证土方量平衡的最终落地。本项目可利用土方类型为岛屿预留土方、筑堤土方以及施工管理区土方。根据《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013),筑堤土方坝体填筑土方要求采用黏粒含量为 10% ~ 35%、塑性指数为 7 ~ 20 的黏性土。因此,开挖区第②层粉质黏土应全部作为筑堤土方。岛屿土方预留土方为清淤工程完成后预留一定范围的面积暂不开挖;堤防清基弃土则作为施工管理区场地平整土方。

3.4 分区土方分析计算

3.4.1 开挖区

工程开挖区总面积 503 万 m^2 ,开挖区共分为 24 个区,各开挖区详细情况见表 1。

表1 开挖区土方计算

分区名称	面积/ 万 m^2	岛屿预留土方/ 万 m^3	筑堤土方/ 万 m^3	淤泥外运/ 万 m^3	粉质黏土外运/ 万 m^3	淤泥质粉质黏土 外运/万 m^3	外运土方小计/ 万 m^3
WF1	17.13		10.95	13.19	12.52	36.99	62.70
WF2	20.57		6.62	15.84	21.56	44.42	81.81
WF3	21.14		6.72	16.28	22.23	45.66	84.16
WF4	19.54		11.50	15.05	15.27	42.22	72.54
WF5	18.50		5.48	14.24	19.87	39.96	74.07
WF6	21.86	36.01		16.83	15.97	25.17	57.97
WF7	21.86	28.33		16.83	18.95	29.87	65.65
WF8	19.15		5.48	14.74	20.76	41.36	76.86
WF9	19.82		5.43	15.26	21.72	42.80	79.78
WF10	21.86	30.19		16.83	18.23	28.74	63.80
WF11	21.86			16.83	29.94	47.21	93.98
WF12	19.37		5.43	14.91	21.10	41.83	77.85
WF13	20.54	31.25	5.44	15.82	10.57	25.25	51.64
WF14	21.86	18.75		16.83	22.67	35.74	75.24
WF15	21.86			16.83	29.94	47.21	93.98
WF16	19.59		5.44	15.08	21.39	42.31	78.78
WF17	21.27	12.50	5.45	16.38	18.84	38.30	73.51

续表

分区名称	面积/ 万 m ²	岛屿预留土方/ 万 m ³	筑堤土方/ 万 m ³	淤泥外运/ 万 m ³	粉质黏土外运/ 万 m ³	淤泥质粉质黏土 外运/万 m ³	外运土方小计/ 万 m ³
WF18	21.86			16.83	29.94	47.21	93.98
WF19	21.86			16.83	29.94	47.21	93.98
WF20	19.81		5.45	15.25	21.68	42.78	79.71
WF21	20.13		12.37	15.50	15.21	43.49	74.20
WF22	20.50	12.31	6.62	15.79	16.70	36.76	69.25
WF23	24.77	12.31	6.72	19.07	22.43	45.97	87.47
WF24	26.34		14.24	20.28	21.85	56.89	99.01
合 计	503.00	181.64	119.35	387.31	499.27	975.33	1861.91

3.4.2 排泥场

工程清淤量共 387.31 万 m³,松散系数取 1.2,排泥深度取 2.2m,需排泥场面积约 2.11km²。本次选取排泥场总面积约 2.25km²,总库容约 481.09 万 m³,可以满足清淤工程的需要,排泥场土方计算见表 2。

表 2 排泥场土方计算

分区名称	面积/万 m ²	库容/万 m ³
PNC1	68.91	151.61
PNC2	63.61	139.94
PNC3	86.16	189.54
合 计	218.68	481.09

3.4.3 筑堤土堆场

水库筑堤需土约 119.35 万 m³,取自第②层粉质黏土,为方便水库堤防施工,筑堤土堆场布置在坝轴线两侧,总面积约 43.8 万 m²,平均堆高约 2.75m,筑堤土方计算见表 1。

3.4.4 岛屿预留区

在水库建成后,库区内将形成 5 座岛屿。在清淤工程完成后,岛屿及其周边一定范围内作为岛屿土方预留区暂不开挖,经计算,岛屿土方预留区面积约 0.972km²,预留土方 181.64 万 m³,岛屿预留区土方计算见表 3。

3.4.5 弃土区

弃土区总面积约 1904.36 万 m²。弃土区现状地面高程约 2.3m,规划地面高程约 3m,本次弃土土方量约 1474.6 万 m³,考虑道路、排水沟占用部分弃土区及松

表 3 岛屿预留区土方计算

名 称	面积/km ²	需土量/万 m ³	预留挖土区面积/km ²
岛屿 1	0.091	36.013	0.193
岛屿 2	0.076	30.187	0.162
岛屿 3	0.071	28.333	0.152
群岛高尔夫	0.157	62.493	0.334
仙境群岛	0.062	24.614	0.132
合 计	0.458	181.640	0.972

土堆高等因素,弃土区堆高在 0.9~1m,弃土区填平压实后大约比原地面高 0.77m。根据弃土区现状和规划的道路、水系格局,将弃土区划分为 24 个分区,弃土区土方计算见表 4。

表 4 弃土区土方计算

分区名称	面积/万 m ²	填方高度/ m	土方小计/ 万 m ³	土方来源
TF1	63.48	0.77	49.15	WF21
TF2	78.73	0.77	60.96	WF21、22
TF3	38.53	0.77	29.84	WF22、23
TF4	57.98	0.77	44.89	WF23、24
TF5	54.76	0.77	42.40	WF12
TF6	90.08	0.77	69.75	WF11、12
TF7	81.17	0.77	62.85	WF10、11
TF8	85.56	0.77	66.25	WF18、19
TF9	74.17	0.77	57.43	WF17、18
TF10	77.30	0.77	59.86	WF24、17
TF11	81.92	0.77	63.43	WF24
TF12	58.36	0.77	45.19	WF9、10
TF13	91.31	0.77	70.70	WF8、9
TF14	82.83	0.77	64.14	WF7、8
TF15	91.35	0.77	70.74	WF14、15

续表

分区名称	面积/万 m ²	填方高度/m	土方小计/万 m ³	土方来源
TF16	79.87	0.77	61.84	WF13、14
TF17	83.35	0.77	64.54	WF20、13
TF18	82.68	0.77	64.02	WF19、20
TF19	60.04	0.77	46.49	WF6、7
TF20	89.55	0.77	69.34	WF4、5、6
TF21	86.24	0.77	66.77	WF3、4
TF22	113.76	0.77	88.09	WF2、3
TF23	101.94	0.77	78.94	WF16、1、2
TF24	99.41	0.77	76.98	WF15、16
合 计	1904.36	0.77	1474.60	WF1 ~ WF24

3.4.6 施工管理区

施工管理区总面积约 53 万 m²,其场地平整土方来自堤防清基弃土,总土方约 18.82 万 m³。

3.5 土方调度平衡计算结果

工程开挖总土方 2000.08 万 m³(含清淤土方量 387.31 万 m³),其中库区分区开挖土方 1981.26 万 m³,另外坝体清基土方 18.82 万 m³。水库开挖土方中,淤泥利用水力冲挖在排泥场晾晒,第②层粉质黏土的一部分用于坝体填筑,其他土方规划运至弃土区。

采用 MATLAB 软件进行模型函数计算,计算结果见表 5。

表5 土方调度平衡

分区名称	面积/万 m ²	填方高度/m	土方小计/万 m ³	土方来源
TF1	63.48	0.77	49.15	WF21
TF2	78.73	0.77	60.96	WF21、22
TF3	38.53	0.77	29.84	WF22、23
TF4	57.98	0.77	44.89	WF23、24
TF5	54.76	0.77	42.40	WF12
TF6	90.08	0.77	69.75	WF11、12
TF7	81.17	0.77	62.85	WF10、11
TF8	85.56	0.77	66.25	WF18、19
TF9	74.17	0.77	57.43	WF17、18
TF10	77.30	0.77	59.86	WF24、17
TF11	81.92	0.77	63.43	WF24
TF12	58.36	0.77	45.19	WF9、10
TF13	91.31	0.77	70.70	WF8、9

续表

分区名称	面积/万 m ²	填方高度/m	土方小计/万 m ³	土方来源
TF14	82.83	0.77	64.14	WF7、8
TF15	91.35	0.77	70.74	WF14、15
TF16	79.87	0.77	61.84	WF13、14
TF17	83.35	0.77	64.54	WF20、13
TF18	82.68	0.77	64.02	WF19、20
TF19	60.04	0.77	46.49	WF6、7
TF20	89.55	0.77	69.34	WF4、5、6
TF21	86.24	0.77	66.77	WF3、4
TF22	113.76	0.77	88.09	WF2、3
TF23	101.94	0.77	78.94	WF16、1、2
TF24	99.41	0.77	76.98	WF15、16
TF1 ~ 24 小计	1904.36		1474.60	WF1 ~ 24
PNC1	68.91	2.13	122.05	WF1 ~ WF8
PNC2	63.61	2.13	112.66	WF9 ~ WF16
PNC3	86.16	2.13	152.59	WF17 ~ WF24
PNC1 ~ 3 小计	218.68		387.31	WF1 ~ WF24
筑坝土方			119.35	WF1 ~ 5、WF8 ~ 9、WF12 ~ 13、WF16 ~ 17、WF20 ~ 24
施工管理区土方	53.36	0.35	18.82	坝基清理土方
合 计	2176.40		2000.08	

根据表 5 计算成果,坝体填筑需土方 119.35 万 m³,所需土方来源于 WF1、WF2、WF3、WF4、WF5、WF8、WF9、WF12、WF13、WF16、WF17、WF20、WF21、WF22、WF23、WF24 开挖的部分粉质黏土。其余 1880.73 万 m³全部运排泥场、弃土区及施工管理区。其中排泥场储存淤泥约 387.31 万 m³,弃土区堆土约 1474.6 万 m³,坝体清基土方用于平整施工管理区,约 18.82 万 m³。

4 结 论

陈家港水库土方涉及开挖区、排泥场、筑堤土堆场、岛屿预留区、弃土区、施工管理区共六类区域,包括 24 个开挖区、3 个排泥场、1 个筑堤土堆场、5 个岛屿预留区、24 个弃土区、1 个施工管理区。在进行各区土方“量”调度平衡的同时还应重视各区土方供给“质”的平衡以及接纳要求,这是一个复杂的 (下转第 42 页)

九道河隧洞软岩地层洞段变形控制措施研究

王有平

(云南省滇中引水工程建设管理局楚雄分局, 云南 楚雄 675000)

【摘要】 软岩隧洞变形是西南地区隧洞开挖的常见难题之一。本文围绕九道河隧洞工程, 针对Ⅳ类和Ⅴ类围岩洞段, 通过分析软弱围岩的地质特征, 详细探讨了软弱围岩隧道施工处理措施。九道河隧洞工程遵循“保护围岩、岩变我变, 支护宁强勿弱, 二衬及早跟进”的原则, 充分调动围岩的承载能力, 有效控制了围岩变形和松弛, 最终确保了隧道施工的顺利进行。其成功经验, 可为同类地质条件下的隧道施工提供借鉴。

【关键词】 隧道; 软岩地层; 变形控制; 施工技术

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-025-06

Study on deformation control measures of Jiudaohe Tunnel soft rock stratum tunnel section

WANG Youping

(Yunnan Central Water Diversion Project Construction Administration Bureau Chuxiong Branch, Chuxiong 675000, China)

Abstract: The deformation of soft rock tunnels is one of the common problems of tunnel excavation in Southwest China. The soft surrounding rock tunnel construction treatment measures are discussed in detail in the paper aiming at Jiudaohe Tunnel Project aiming at Ⅳ and Ⅴ surrounding rock tunnel sections through analyzing the geological characteristics of soft surrounding rock. Jiudaohe Tunnel Project follows the principles of ‘surrounding rock protection, change with rock, selection of strong support rather than weak support as well as timely follow-up of the second lining’. The bearing capacity of the surrounding rock should be fully mobilized, thereby controlling deformed and loose surrounding rock effectively, and ensuring smooth tunnel construction finally. The successful experience provides reference for tunnel construction under similar geological conditions.

Keywords: tunnel; soft rock stratum; deformation control; construction technology

1 工程概况

滇中引水工程是云南省可持续发展的战略性基础

工程, 工程从金沙江上游石鼓河段取水向滇中城镇生活及工业供水, 同时兼顾农业与生态, 以解决云南省社会经济发展的核心区严重缺水问题, 具有显著的经济、

收稿日期: 2021-03-11

作者简介: 王有平(1973—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利水电工程设计与建设管理工作。



社会和生态效益。九道河隧洞是该项目总干渠楚雄段的主要输水建筑物之一,隧洞总体方向东偏北 25° ,上接凤凰山倒虹吸,下连九道河倒虹吸,全长 9630.37m,断面尺寸 $8.26\text{m} \times 8.96\text{m}$,马蹄形断面,为无压洞,设计流量为 $100\text{m}^3/\text{s}$ 。

2 隧洞基本地质条件

隧洞穿越地段属低中山地貌,主要山脊、河流 NNE 向,沿线地面海拔 2067 ~ 2193m,最大山顶海拔 2354m,位于隧洞中段葫芦德附近。该段隧洞埋深较大,沟谷部位及出口段埋深较小,最大埋深约 380m,埋深多在 100 ~ 300m 之间。隧洞穿越的地层除隧洞出口有第四系覆盖层外,其余洞段地层以白垩系普昌河组 (K_1p)、马头山组 (K_1m)、江底河组第一段 (K_2j_1) 地层为主,地层岩性以泥岩、粉砂质泥岩等软岩为主。

九道河隧洞断层构造发育,发育 1 条宽缓背斜和多条断层,褶皱、断层构造线方向为 NNW ~ NNE 向,与隧洞轴向中等—大角度相交。共发现了 15 条 II 级、III 级断层,其中宽度不小于 5m 的 II 级断层 4 条,宽度小于 5m 的 III 级断层 11 条。断层走向以近 SN 向、NNE 向为主,东倾、陡倾角为主。节理裂隙较发育,以层面裂隙为主,其次为平行于断层的构造裂隙。褶皱核部岩层缓倾。

九道河隧洞沿线地表水系弱发育,穿越刀把箐、阿伽咪箐、篆山小河沟,规模较小。地下水类型主要为基岩裂隙水,局部断层部位有断层脉状水。隧洞前段(篆山小河之前)地下水位埋深一般为 60 ~ 90m,后段埋深一般为 30 ~ 60m,对钻孔进行地下水位长期观测,水位最大变幅 19.7m。施工单位进行了 120 段压水试验,完整、较完整砂岩地层岩体透水性、与泥质岩类相差不大,透水率较大 ($q \geq 10\text{Lu}$) 的孔段均位于断层带及影响带部位。施工单位还进行了 3 组地下水水质分析,地下水化学类型以 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+}$ 型为主,其次为 $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ 型。该洞段进行了水质简分析,虽然结果表明地下水对混凝土无腐蚀性、对钢筋混凝土中的钢筋无腐蚀性、对钢结构具有弱腐蚀,但水样可能受

到送水钻进装置引入外水影响,膏岩地层中 SO_4^{2-} 含量往往较高,地下水对混凝土可能存在硫酸盐型腐蚀。

隧洞沿线岩体风化不均匀,主要受地层岩性、构造影响,在断层及影响带形成风化深槽,山坡部位强风化带厚 10 ~ 20m,弱风化带厚 30 ~ 60m。隧洞均在微风化—新鲜岩体中穿越,仅在隧洞出口段及断层 F IV-108 部位穿越带状强弱风化岩体,局部砂岩段受连通性裂隙影响,隧洞穿越部位以弱风化岩体为主。九道河隧洞穿越地段属低中山地貌,埋深多在 100 ~ 300m 之间,穿越冲沟部位埋深一般 100 ~ 150m。地层除隧洞出口有第四系覆盖层外,其余洞段地层以白垩系普昌河组 (K_1p)、马头山组 (K_1m)、江底河组第一段 (K_2j_1) 地层为主,地层岩性有泥岩、粉砂质泥岩、泥灰岩、泥质粉砂岩及砂岩等,以“滇中红层”泥质岩为主。隧洞断层构造很发育,共发现了 15 条 II 级、III 级断层,断层发育,围岩稳定条件差。九道河隧洞围岩分类结果为:III₂ 类围岩全长约 1927.7m,约占 26.5%,IV 类围岩全长约 3154.3m,约占 43.4%,V 类(含特殊不良地质洞段)围岩全长约 2194.1m,约占 30.2%。IV、V 类围岩洞段(含特殊不良地质洞段)约占该段线路的 73.5%。总体以 IV、V 类围岩为主。具体为九道河隧洞前段(篆山小河之前)地下水位埋深一般为 60 ~ 90m,后段埋深一般为 30 ~ 60m。隧洞施工可能存在涌突水问题,预测该段隧洞涌突水灾害风险等级为 A 级(极高风险区)和 B 级(高风险区)。

3 重难点分析及变形控制措施

“滇中红层”以泥岩、粉砂质泥岩、泥灰岩、泥质粉砂岩及砂岩等软弱岩体为主,地质条件差,开挖隧洞可能会出现围岩大变形甚至发生失稳坍塌等安全事故。初期支护围岩变形控制难度大,安全风险高,尤其受断层带影响,初期支护变形速率加剧,会引发喷层开裂、剥落、掉块,钢支撑扭曲,底部隆起,支护侵限,衬砌开裂等现象,严重时将导致洞顶垮塌,对隧洞总体工期造成影响。因此,软岩洞段(IV 类和 V 类围岩洞段)施工变形控制措施是施工中应重点关注的问题。

3.1 软岩洞段变形处理技术参数

3.1.1 IV类围岩(软岩为主)洞段变形处理技术参数

根据一次支护效应计算确定IV围岩(软岩为主)洞段如下支护参数:

a. 挂网喷混凝土:一般洞段边顶拱喷20cm厚C20混凝土,边顶拱挂 $\phi 6.5@150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 钢筋网;断层洞段边顶拱喷20cm厚C20粗纤维混凝土,边顶拱挂 $\phi 8@150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 钢筋网。

b. 系统锚杆:边墙采用砂浆锚杆,顶拱采用中空注浆锚杆,参数均为C25@ $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ($L=6.0\text{m}$)。

c. 钢支撑:全洞段设I20@ $0.8\text{m} \sim 1.2\text{m}$ 钢支撑,底板设20cm厚C20素混凝土垫层。

d. 排水孔:顶拱 120° 设 $\phi 50$ 排水孔,深3m,间排距3m。

e. 预留变形量:预留8cm变形量。

3.1.2 V类围岩洞段变形处理技术参数

根据一次支护效应计算成果,并依据《水利水电工程锚喷支护技术规范》(SL 377—2007)确定V围岩如下支护参数:

a. 挂网喷混凝土:一般洞段边顶拱喷20cm厚C20混凝土,挂 $\phi 6.5@150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 钢筋网;断层洞段边顶拱喷20cm厚C20粗纤维混凝土,边顶拱挂 $\phi 8@150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 钢筋网。

b. 系统锚杆:一般洞段采用中空注浆锚杆,严重及极严重挤压变形洞段采用让压锚杆,参数为C25@ $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ ($L=6.0\text{m}$)。

c. 钢支撑:全洞段设I20@ $0.5 \sim 0.7\text{m}$ 钢支撑,底板设20cm厚C20素混凝土垫层。

d. 排水孔:顶拱 120° 设 $\phi 50$ 排水孔,深3m,间排距3m。

e. 预留变形量:一般V类围岩洞段预留10cm变形量,严重挤压变形洞段预留15cm变形量,极严重挤压变形洞段预留20cm变形量。

3.2 安全管理措施分析

按照“地质先行、综合预报”的原则,加强综合超

前地质预报,重点对洞身特殊工程地质洞段存在的涌水突泥、软岩大变形、穿越活动性断裂带等多类型特殊工程地质状况进行预测、预判,摸清前方详细地质情况,以便采取针对性的技术措施与风险防范方案。做好施工地质超前预报及专项超前预报的配合工作,及时掌握地质信息,实现信息化施工。

3.2.1 钻爆法开挖不良地质洞段的施工对策

a. 配备有经验的地质工程师,结合前期地质勘探资料进行施工超前预报,对地下洞室通过断层破碎带、涌水、高地应力段等不良地质地段制定相应的预防预报措施,备足有关的应急机具和材料。

b. 不良地质地段的隧洞施工,采取“超前探测、预锚固(或预灌浆)、先治水、短进尺、弱爆破、少扰动,早封闭、强支护、勤量测”的原则,稳步推进。

c. 不良地质洞段开挖前视地质情况采用超前小导管预注浆支护、超前大管棚、超前预固结灌浆等超前支护手段进行加固。断裂带采用大管棚支护,按设计预留变形量。严格控制开挖进尺,必要时及时进行二衬混凝土的浇筑。

d. 加强施工期安全监测,配合测量人员及时完成永久监测仪器埋设,保证施工安全。断层带及两侧影响带、节理密集带开挖后,及时设置收敛监测断面或监测仪器进行变形监测,根据各种监测数据进行安全分析和预报,对不稳定围岩或块体实施准确预测和适时有效锚固,在严密的安全监控下展开施工,保证施工安全。

e. 在掌子面与二衬混凝土间设置逃生通道,确保在发生地质灾害时,人员的安全撤离。

3.2.2 防止涌水、突泥的处理措施

a. 加强超前地质预报,及时掌握掌子面前方的水文地质情况,对富水的不良地质洞段,采取超前预灌浆封堵、超前排水孔降水、超前固结灌浆及超前支护等方案进行堵水、排水和加固,避免出现涌水、突泥等地质灾害。

b. 适时进行二衬混凝土及固结灌浆、排水孔施工,控制地下水的排放,同时确保隧洞结构的安全。



c. 对各工作面渗水量、排水量进行科学的分析、计算和研究,根据排水量、排水线路长度、施工方案、排水方向确定合理、可靠、科学的排水方案,确保各工作面的排水,保证工作面的正常施工,同时保证不浪费成本。主洞内每隔约 1km 设集水井和泵站排水,施工支洞与主洞交叉口附近设置集水坑,隧洞渗水及施工废水逐级抽排至该集水坑,然后经施工支洞抽排至污水处理系统。

d. 支洞泵站间设置自动闭塞系统,确保多级泵站间联运协调运转,支洞交叉口集水坑容量满足最大排水量要求;配备足量的备用电源,保证停电的情况下洞内正常排水的需求,防止因停电造成涌水事故淹没工作面。

e. 必要时报监理审批同意后增设备用排水设备和备用排水管。

f. 成立抽排水班组,安排专人负责抽排水系统的维护,确保抽排水系统的正常运行。

g. 编制应急预案,组织抽排水应急小组并配备足够的应急物资,一旦发生较大的突水涌水情况,立即启动应急预案进行抢险工作。

3.2.3 及时进行混凝土衬砌,确保洞室安全

为控制地下水排放或维护洞室稳定,对于涌水风险为 A 级和 B 级的洞段,应采取边挖边衬的施工措施,衬砌混凝土与开挖掌子面的距离根据围岩情况不应大于 50~120m,确保施工安全。

a. 钢模台车的设计需满足边开挖边衬砌的施工工艺要求,边顶拱衬砌台车设计时需考虑大直径风管、运输车辆及电缆水管在台车中穿行的要求。

b. 开挖工作面(钻爆段)后设置栈桥,栈桥设计参照公司的成功经验,采用钢结构拱跨越清底段、钢管绑扎段、混凝土浇筑段及混凝土等强段等几个区域,栈桥两端安装轮子便于移动。

c. 栈桥搭设完成后进行边顶拱混凝土衬砌,满足边顶拱衬砌混凝土施工进度要求。

3.2.4 加强安全监测,指导安全施工

a. 组建地质超前预报及安全监测部,在项目技术

负责人的统一协调下全面负责本标施工期临时安全监测及永久安全监测的配合工作。

b. 工程开工后,由项目部组织有关技术、安全、监测部门认真对隧洞地质情况进行研究,对支洞进口、主支洞交叉口、断层破碎带、节理密集带及不良地质结构组合情况进行施工安全分析,拟定临时安全监测断面(测点)布置方案,编制临时监测实施措施,并做好相关技术准备工作。

c. 施工中根据开挖揭露的地质情况,遇到不良地质洞段时,及时布设监测断面进行收敛监测、周边位移及拱顶下沉监测,特别对断层带加强监测,如变形速率加快或突变,立即通知监理工程师及发包人到现场研究处理方案,紧急情况下立即通知生产部门进行支护处理。

d. 建立施工期安全监测制度,除该项目负责的施工期监测外,还可利用永久监测数据指导施工,保证安全监测观测信息的快速反馈,实时进行安全预报,为工程施工提供指导,保障施工安全。

3.3 施工技术措施分析

3.3.1 施工技术重点及原则

a. 严格按“新奥法”施工,并按“先柔后刚、先放后抗”的原则进行支护施工。在隧洞初始开挖阶段结合开挖揭露地质条件及一次支护方案,针对不同围岩类别洞段加强变形监测,分析统计隧洞开挖后变形规律,开展软岩变形控制相关试验,以最终确定不同围岩类别开挖预留变形量,防止围岩侵入净空。

b. 施工时采用“短台阶”“分部开挖”“核心土”等方法进行施工,按“先边后中、先软后硬”“早预报、预加固、短进尺、弱爆破、强支护、快封闭、勤量测”的原则进行施工,分部开挖,分部支护。严格控制底板封闭时间和距离,严格控制初期支护变形,必要时采取单工序作业,开挖时不衬砌、衬砌时不开挖,保证底板封闭时间。

c. 做好超前支护。根据围岩情况采用超前锚杆、超前灌浆、超前小导管和超前大管棚等进行先期围岩支护,提高隧洞成洞条件,确保施工安全。

d. 做好初期支护。根据围岩情况做好喷锚、挂网及钢支撑支护,及时调整钢支撑间距等。切记不能使同一榀钢支撑左右两个拱脚同时悬空,且采取措施保证钢支撑脚底稳定。

e. 加强超前地质预报。高度重视施工阶段超前地质预报工作,建立责任制,明确责任和分工。全洞段采用地质素描、物探、超前钻探等方法对滇中红层洞段进行超前预报,根据围岩情况及时调整施工方法和支护设计。断层、褶皱洞段、埋深大的红层段,加强超前长、短钻孔,积极配合其他承包人进行专项超前地质预报,及时探明隧洞前方地质情况,特别是地下水的发育情况,严禁在未探明情况下盲目开挖。

f. 做好围岩变形监测,主要监控拱顶沉降与结构收敛。并根据围岩变形监测数据,及时调整支护参数,调整预留变形量,避免结构尺寸超限造成损失。对变形量进行回归分析,合理确定二次混凝土衬砌时间并进行混凝土衬砌。

g. 配备专业队伍、专业设备,在断层、褶皱洞段、软岩洞段、埋深大的红层段富含水时,采用超前灌浆,改良地层,对围岩超前加固,确保隧洞安全施工。

h. 隧洞衬砌采用“先底板、后边顶拱”的程序施工,以免基岩受施工机械等来回碾压、地下水浸泡等影响造成软化变形、凸凹不平,保证隧洞施工进度、质量和安全。

i. 断层破碎带等不良地质洞段采取短进尺、分台阶、多循环、预留核心土等施工工法以减少对围岩的扰动,并及时分区域施作钢支撑,视围岩变形程度进行钢支撑加密,防止洞顶垮塌。

j. 加强工作面积水抽排,并严格控制施工用水,防止泥岩被水浸泡后变形。

3.3.2 特殊洞段处理措施

针对不同特殊地质问题,制定科学合理的专项防治技术方案。

a. 针对可能发生涌突水的洞段,在进行综合超前地质预报勘探,探明未开挖段地质条件及地下水情况的基础上,按设计实施超前预支护体系,选用切实有效

的超前固结灌浆措施。

b. 针对涌突水洞段,按照“堵导结合、以堵为主、限量排放”的控制原则或设计要求进行处理,开挖前进行预灌浆或打超前排水孔引流释压,开挖后及时进行系统支护和排水孔施工。

c. 针对断层破碎带、软弱围岩变形洞段及稳定问题,按“短进尺、弱爆破、少扰动、早封闭、强支护、勤量测、紧衬砌”的原则进行开挖支护,选取“环形开挖预留核心土”“微台阶”等工法施工,轮廓开挖后对边拱及掌子面及时进行初喷,先初喷 3~5cm 厚混凝土或挂网混凝土,再进行工字钢及喷锚支护,并及时对掌子面按设计实施挂网喷混凝土封闭、玻璃纤维锚杆支护等措施,以防止掌子面溜坍滑塌失稳。支护按“由表及里、先柔后刚”的程序,保证施工安全和洞内成型质量。待初期支护完成、监测量测变形趋于稳定后及时进行二衬施工,以封闭成环有效控制变形。

施工中采取超前地质预报、加强光面爆破控制以提高爆破效果,采用预先施作空眼注水释放应力、快速施作初期支护封闭围岩、增强初期支护强度、喷雾和高压水冲洗岩壁或设临时防护网等措施有效防范岩爆影响。针对不同特殊地质问题,制定安全应急救援预案,并进行演练,保障施工过程绝对安全。同时,对有毒有害气体洞段、突涌水洞段排至洞外的水进行净化处理,防止对水环境产生污染。

为了检验软岩地层洞段变形控制措施效果,选择九道河隧洞 K9+380 断面作为有代表性监测断面,在拱顶设置下沉测点,并分别在拱腰、边墙和墙脚布置周边位移测点,通过跟踪量测确定洞身变形曲线,见图 1。变形监测结果显示:前期围岩变形速率较大,后期变形持续时间长(多发生在拱顶及靠山侧边墙位置),隧道开挖后即变形,变形速率较大,延续时间长,具有明显的流变特征;初期支护后洞段整体变形趋于平缓,说明初期支护后隧道洞身围岩变形稳定,变形控制措施较好。

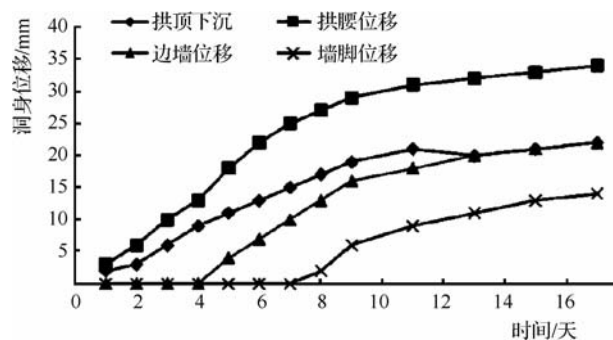


图1 九道河隧洞 K9+380 断面洞身变形

4 结 语

综上所述,软弱围岩隧道施工中,围岩处于加载、卸载的负载变化过程中,极易出现变形问题,施工难度大、危险性高,对此必须重视开挖施工工艺的选择与支护的实施问题,确保隧道施工的顺利进行。在实践中,一旦隧道已经出现大变形情况,包括初支变形侵限、二衬开裂、仰拱开裂等,必须立刻停止施工,查明原因,制定合适的处理方案,如:拱架支撑、注浆加固、换拱等,完善监控量测机制,保证隧道安全。隧道是由围岩和支护结构共同承受荷载的结构体,特别是软岩隧道,由于围岩不稳定造成其设计和施工更具特殊性,其施工技术仍处于不断深化认识和工程实践阶段。九道河隧洞遵循“保护围岩、岩变我变,支护宁强勿弱,二衬及早跟进”的原则,充分调动围岩的承载能力,有效控制围岩变形和松弛,取得了良好的施工效果,可为同类工程施工提供借鉴与参考。◆

(上接第15页)加固段江堤长期监测数据,持续观测分析江堤稳定性。◆

参考文献

- [1] 李铭华,李益进,樊昆澎.双排高喷桩防渗墙在扰动段防洪墙杂填土中的应用[J].水利建设与管理,2020,40(4):44-47.
- [2] 邓俊峰.浅谈高压旋喷灌浆防渗墙在工程中的运用[J].黑龙江水利,2017(9):74-76.
- [3] 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范:DL/T 5200—2004[S].北京:中国电力出版社,2005.
- [4] 宋成禹,薛春刚.软基地层的高压旋喷防渗[J].水运工程,2004(11):109-110.

参考文献

- [1] 沈国宁,邓宝智.公路隧道软岩大变形施工处理技术[J].公路,2020,65(12):161-163.
- [2] 赵利奎,李晓丽,冯立红,等.滇中红层深埋软岩隧洞支护措施研究[J].地下空间与工程学报,2020,16(S2):737-743,761.
- [3] 杜小洲.引汉济渭秦岭输水隧洞关键技术问题及其研究进展[J].人民黄河,2020,42(11):138-142.
- [4] 雷顺荣,杨长春.夹岩水利工程深埋长隧洞开挖施工典型地质问题及处理技术[J].水利建设与管理,2018,38(11):10-15.
- [5] 罗立哲,牛运华,王科.减小乌东德水电站软岩隧道变形的应对措施[J].水利建设与管理,2018,38(4):76-80.
- [6] 赵勇.隧道软弱围岩变形机制与控制技术研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [7] 李廷春.毛羽山隧道高地应力软岩大变形施工控制技术[J].现代隧道技术,2011,48(2):59-67.
- [8] 姜云,李永林,李天斌,等.隧道工程围岩大变形类型与机制研究[J].地质灾害与环境保护,2004(4):46-51.
- [9] 刘松富.隧洞工程堵水技术综述[J].水利建设与管理,2020,40(12):32-37,59.
- [10] 管吕军,巴宇奇,马守斌.小隧洞钢拱架支护安全控制措施应用及分析[J].水利建设与管理,2019,39(3):35-38,48.
- [11] 杨井国,何无产,姜克栋.严寒地区冬季隧洞湿喷施工技术[J].水资源开发与管理,2019(2):62-65.
- [12] 陈新泉.研发流泥地质隧道加固止水新技术[J].水资源开发与管理,2017(9):69-75.

- [5] 石习磊,薛元元,孙礼国.履带式多排钻孔机成孔低压力充填式灌浆施工工法[J].水利建设与管理,2019,39(2):71-74.
- [6] 张杰,漆巨彬.深孔覆盖层防渗灌浆试验在工程施工中的应用[J].水利建设与管理,2020,40(3):58-62,84.
- [7] 土坝灌浆技术规范:SL 564—2014[S].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [8] 赵冰.水利工程施工灌浆技术[J].河南水利与南水北调,2020(1):48-49.
- [9] 水利水电工程钻孔压水试验规程:SL 31—2003[S].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [10] 柯俊华.充填灌浆在旧堤防渗处理中的应用[J].科技与创新,2015(7):148,151.

基于 WebGL 的水利工程三维可视化研究应用

梁启斌 罗朝林

(珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 广东 广州 510610)

【摘要】 针对传统水利工程建筑信息模型(BIM)开发周期长、客户端安装复杂及展示不便等问题,采用基于 WebGL 技术的 Three.js 框架,通过导入由 SketchUp 构建的三维模型,在浏览器以 Web 方式实现了水利工程三维模型可视化展示以及实时人机交互,满足了三维模型跨平台展示需求,增强了模型展示效果和加载速度,提升了用户体验。该方法可应用于水利工程信息化平台的开发。

【关键词】 WebGL 技术; SketchUp; 三维模型; 可视化

中图分类号: TV61

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-031-06

Research and application of 3D visualization of hydraulic engineering based on WebGL

LIANG Qibin, LUO Zhaolin

(Pearl River Water Resources Research Institute of Pearl River Water Resources Commission, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Aiming at the problems of traditional hydraulic engineering building information modeling (BIM), such as long development cycle, complex client installation, inconvenient display, etc., 3D model of hydraulic engineering can be visualized and real-time human-computer interaction can be realized in the browser in Web mode by importing 3D model built by SketchUp with the Three.js framework based on WebGL technology. It meets the requirement of 3D model cross-platform display, thereby enhancing model display effect and loading speed, and improving user experience. The method can be applied to the development of hydraulic engineering information platform.

Keywords: WebGL technology; SketchUp; 3D model; visualization

1 引言

随着用户体验需求快速兴起,信息化与数字化技术已经融入社会生活的方方面面,运用的技术和手段也越来越多^[1-3],可视化技术就是其中的一种。可视化

技术和工具众多,在水利工程建设中应用广泛^[4],其中 3D 虚拟现实技术备受重视,各行业呈现出从二维平面展示模型转向三维模型立体展示模型的发展趋势^[5]。与此同时,新一代 3D 绘图标准协议 WebGL (Web Graphics Library) 应运而生,推动了网络三维可视化技

收稿日期: 2021-05-11

作者简介: 梁启斌(1992—),男,本科,工程师,主要从事水利水电信息化工作。



术的发展,使普通电脑浏览器也能流畅展示3D场景和模型。水利行业的三维展示技术起步相对较慢,目前主要通过BIM建模,并提高设计质量和效率,但用于用户模型展示时存在安装复杂、跨平台兼容性差等问题^[6]。有许多学者及技术人员把水利工程与WebGL技术进行结合,2018年潘飞等^[7]采用WebGL作为集成容器,把BIM和GIS技术有机结合,实现GIS中IFC模型数据的分级集成;2020年晁阳等^[8]运用WebGL技术实现BIM模型可视化展示。

本文基于WebGL技术,将三维模型利用软件进行轻量化转换,并通过代码编写实现三维模型在Web浏览器轻量化显示及实时数据交互功能^[9],使三维模型展示免去程序安装的过程,且具备跨平台浏览的特性,有利于三维模型技术的推广,促进水利行业建设与管理由传统的纸质化、平面化、粗放式向数字化、立体化、精细化转变。

2 WebGL技术及SketchUp软件

2.1 WebGL技术

WebGL是一种3D绘图协议,这种绘图技术标准把JavaScript和OpenGL ES 2.0结合在一起,允许开发者在Web页面上创建和渲染三维图形^[10]。目前被Firefox、Chrome、Opera、Safari、IE11以上版本等浏览器支持。其完美地解决了目前Web交互式3D动画的两个问题:一是无须任何浏览器插件支持,仅使用HTML脚本即可实现Web交互式3D动画的制作;二是通过标准的、统一的、跨平台的OpenGL接口,调用底层图形硬件加速功能进行图形渲染^[11]。

WebGL技术目前有两款主流的三维框架,分别是Three.js和ThingJS。两者都是JavaScript三维库,都运用JavaScript对WebGL的三维处理能力进行封装。其中Three.js更偏向三维技术底层,适合三维爱好者学习三维技术;ThingJS更偏重信息化应用功能开发,重在提高开发效率,降低开发成本,适合使用三维技术做项目的开发者^[12]。

2.2 SketchUp软件

SketchUp是Google开发的一套直接面向设计方案创作过程的完整3D建模设计工具,具有易学易用、所见即所得的特点。采用SketchUp进行设计,不仅能通过着色、贴图和渲染材质等功能充分表达设计师的设计理念,还能加深工程建设参与方对设计方案的理解,提高水利工程施工的精度和质量,能更好地指导水利工程施工^[13]。

3 三维可视化实现方式

3.1 SketchUp建模

SketchUp软件提供了两种基本的底图绘制方式。一是直接绘制,在新建项目中利用SketchUp软件自带的绘图工具完成底图的绘制工作;二是导入CAD软件生成的底图(见图1)^[14]。前者工作效率较低,但精准度高,不易出现软件无法识别的错误;后者制图效率高,但需要对导入的CAD底图进行预处理,否则会出现软件报错。

CAD地图预处理流程如下:

步骤1:打开图层选项卡,选中所需要的图层,把其余图层删除。

步骤2:输入命令wb,选择拾取点,拾取点一般在左下角或者右下角。

步骤3:点击“选择对象”,从右下向左上选取图形,然后选择保存路径。

步骤4:点击工具栏“绘图—填充”。预览查看是否能完成填充,不能对图形进行填充说明图形还没完全闭合,不满足导入SketchUp的条件,这时需要执行步骤5。

步骤5:输入命令bo,点击“拾取点”,选中图形中任意一处地方,然后回车确认。

步骤6:重复步骤4,预览图形能完成填充,说明图形已经闭合,可导入至SketchUp作为底图使用。

在底图的基础上,利用SketchUp软件的多种三维建模方法,如放样、拉伸、扫掠、旋转、按住并拖动等,进行三维建模。在水利工程复杂形体建模中常用的建模方法是拉伸和曲面放样(见图2)。

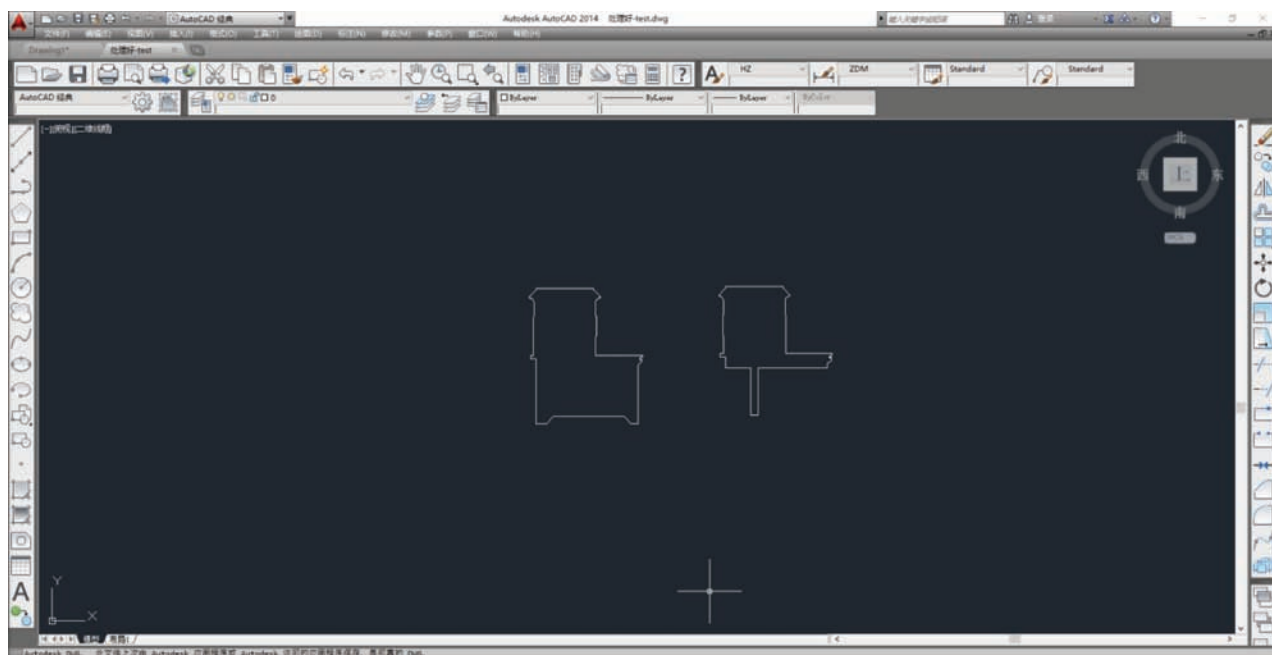


图1 CAD 底图

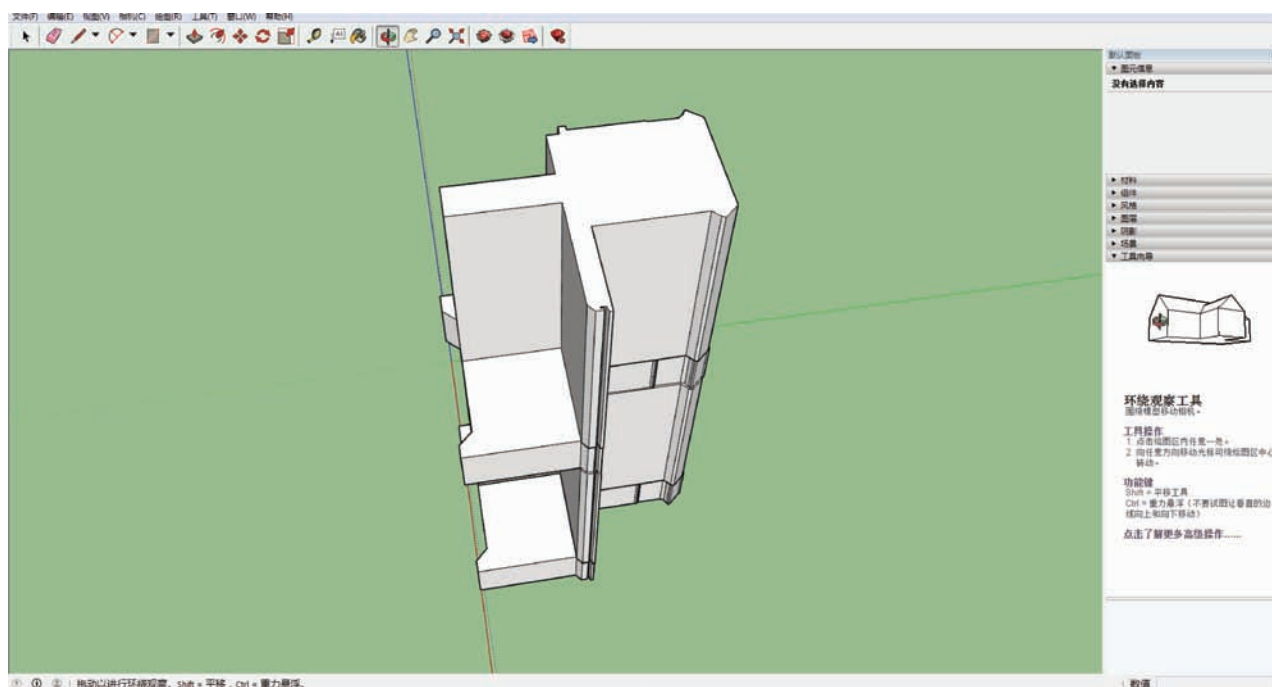


图2 图形拉伸

对于复杂的模型,可以采用拼接的方式进行建模。如图2中的三维模型,就是由两个不同的部件组合而成的。在 SketchUp 中,单纯把两个部件拼在一起并不能组合成一个新的部件,还需要选中整个部件组合,点击鼠标右键,选中菜单中的“交错平面”,选择“模型交

错”,这样两个部件才成功组合成一个部件。

3.2 运用 WebGL 技术渲染模型

步骤1:需要引入 WebGL 技术的 Three.js 框架。

步骤2:在 HTML 页面中创建场景。场景相当于现实的空间环境,它作为一个容器把所有的光源、相机



和物体都放置在其内部。创建场景的相关代码(以下代码均在 script 标签内部)为: `var scene = new THREE. Scene()`。

步骤3:设置场景中的相机。Three.js 框架内定义的相机有正交相机和透视相机两种,用于将三维空间的物理对象投射到二维平面中。相关代码如下:

创建相机对象: `var camera = new THREE. Orthographic Camera(-s * k, s * k, s, -s, 1, 1000)`。

设置相机位置: `camera. position. set(200, 300, 200)`。

设置相机方向(指向的场景对象): `camera. lookAt(scene. position)`。

步骤4:设置场景中的光源。光源对应的是现实中的各类光,包括点光源、平行光、聚光源、环境光等,能真实模拟物体在不同环境中的显示效果。相关代码如下:

创建环境光: `var ambient = new THREE. AmbientLight(0x444444); scene. add(ambient)`。

步骤5:模型导入。Three.js 框架有很多模型加载器,包括.stl、.obj 与 .mtl、.fbx、.collada、.ply 及 .gltf,可以根据导入模型的格式采用不同的加载器。如导入.

fbx 格式的模型,代码为:

```
var loader = new THREE. FBXLoader();  
loader. load( "SambaDancing. fbx", function( obj ) {  
    scene. add( obj );  
} )。
```

步骤6:设置渲染器。通过设置环境光、点光源、相机角度等操作导入三维模型,可调用渲染函数对场景进行渲染,将几何模型和材料渲染成实物并显示出来,代码如下:

创建渲染对象: `var renderer = new THREE. WebGLRenderer()`。

设置渲染区域尺寸: `renderer. setSize(width, height)`。

设置背景颜色: `renderer. set Clear Color(0xb9d3ff, 1)`。

插入 canvas 对象: `rdocument. body. append Child(renderer. dom Element)`。

执行渲染操作: `renderer. render(scene, camera)`。

通过执行上述步骤,实现了三维模型构建以及 Web 端模型展示的功能(见图3)。

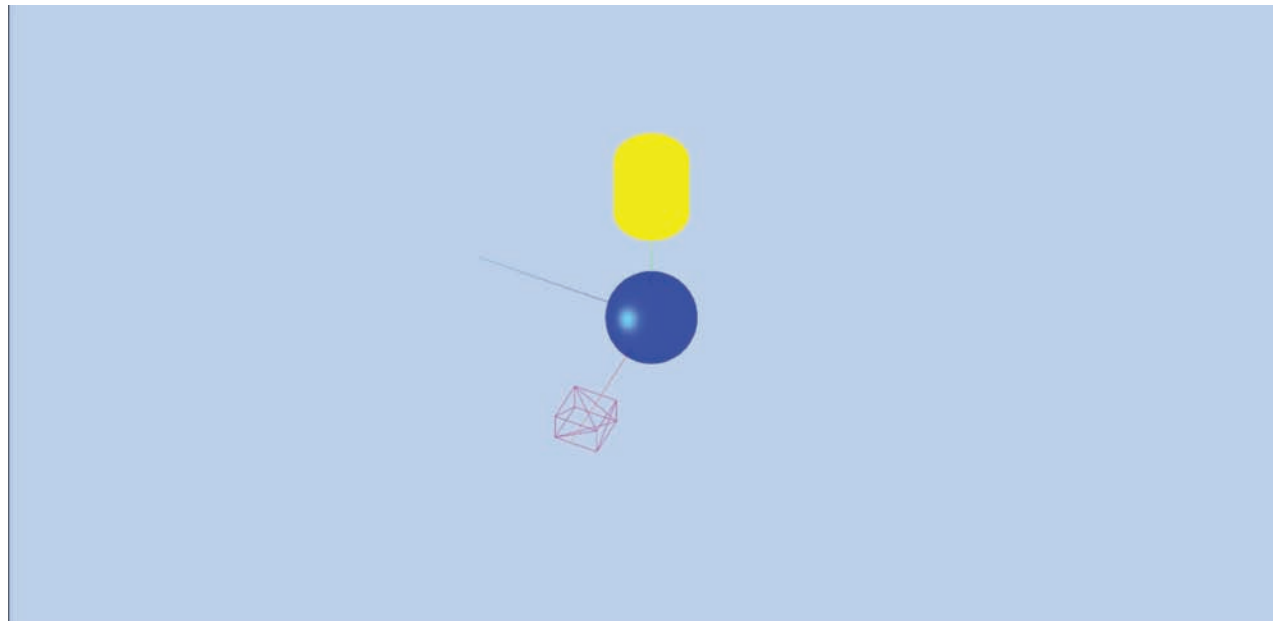


图3 三维模型 Web 展示

4 拦河坝三维模型及 Web 可视化展示应用

以李溪拦河坝工程为例,采用 SketchUp 软件建立三维实体模型,运用软件的贴图功能为模型添加材质,使三维实体模型展示效果更为逼真,最后利用其提供的导出功能把三维实体模型导出为 flx 格式文件(包括材质文件)。按上述步骤建立场景,进行相机、光源

及渲染器设置,调用加载器,最终实现在 Web 浏览器加载渲染。模型在 Web 浏览器加载完成后的效果见图 4,图中在不同构件上方的白色标签内显示的是构件名称和实时采集数据,位于图下方的绿色正方体表示扬压力监测点,位于图中间的浅蓝色长方体表示沉降位移监测点,沉降位移监测点相邻的彩色圆柱体表示水平位移监测点。

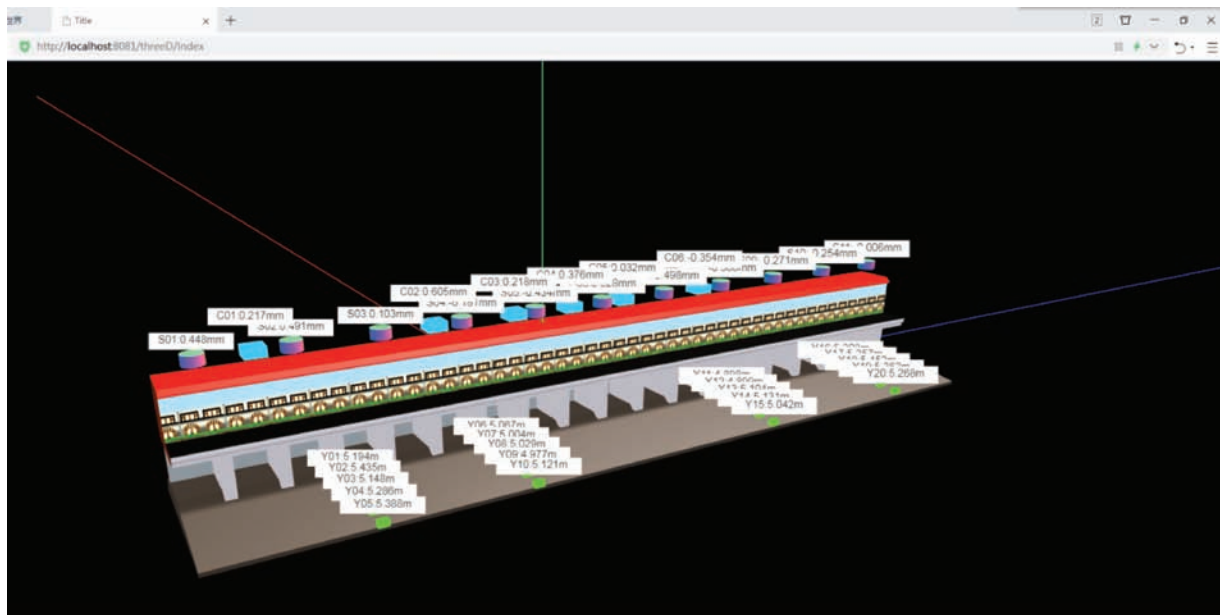


图 4 拦河坝工程三维模型 Web 展示

该拦河坝工程三维模型主要由坝体、扬压力监测点、沉降位移监测点和垂直位移监测点等构件组成,构件信息主要通过 ajax 方法,异步调用 API 接口,从后台获取构件的信息,包括采集的实时数据、型号参数、数量等,然后动态加载到三维模型上。代码如下:

```
获取 json 数据: $.ajax({ url: "/model/getdata",
    type: "GET",
    dataType: "json",
    cache: false,
    success: function (obj) {
        var alldata = obj.data[0];
    })。
```

遍历获取的数据: for (var i = 0; i < obj.data[0].bgkRealdatalist.length; i++)。

根据数据动态生成三维构件: var cylinder = new THREE.Mesh(geometry_cy, new THREE.MeshNo-

```
rmalMaterial({ color: 0xffff00, name: "sid:" + k }));
cylinder.name = "sid:" + k; cylinder.overdraw =
true; cylinder.translateY(0.55);
cylinder.translateX(-0.1)。
```

通过点击三维模型上不同的构件,可以查看其相应的信息,于页面右上方显示(见图 5),信息包括构件的名称、监测点数值、数据采集时间等内容。代码如下:

```
创建构件拾取对象: var raycaster = new THREE.
Raycaster(camera.position, vector.sub(camera.posi-
tion).normalize())。
```

计算与拾取光线相交的构件: var intersects = ray-
caster.intersectObjects(scene.children, true)。

选取相交的第一个构件: var currentIntersected =
intersects[0].object。

最后触发显示构件信息的方法。

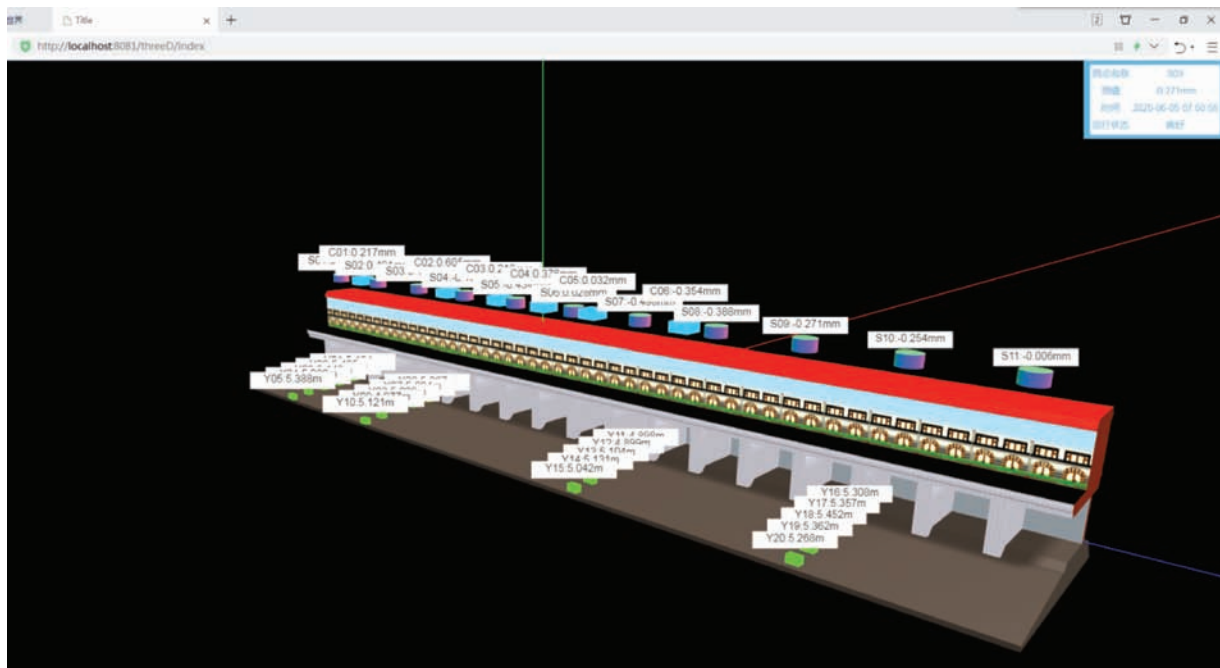


图5 三维模型 Web 交互展示

4 结 语

以 WebGL 技术为基础的 Three.js 框架,提供了一种无插件、体积小、效率高的渲染方法,优化了 Web 端用户的使用体验;利用 Three.js 框架,只需通过简单的代码编写,就能实现各种格式的三维模型轻量化显示,既能满足用户在 Web 端浏览、查询的需求,也确保了三维模型的信息安全。不过,由于模型的三维展示效果通过 Web 端进行渲染,对于大型复杂的模型场景渲染效率会降低,需要进一步研究以改善模型的渲染效率。◆

参考文献

- [1] 李扬,颜蔚,汤炜.精细化智慧水利信息平台的应用实践[J].水资源开发与管理,2021(4):55-58,38.
- [2] 于鹏,侯恩光,张忠科.泰安市城市水文智慧监测工程设计方案探讨[J].水资源开发与管理,2021(4):59-63.
- [3] 马永刚,杜历,李玉奎.浅谈宁夏“互联网+水文”的创新和实践[J].水资源开发与管理,2020(9):68-71.
- [4] 梁啟斌,陈武奋,江显群.可视化技术在灌区信息系统中的应用[J].水利建设与管理,2020,40(8):69-74.
- [5] 陈燕红,古丽米拉·克孜尔别克,谢卫国,等.Web 页面三维动态展示技术研究与应用[J].现代电子技术,2018,41(20):24-27,32.
- [6] 赵凯华,陶富岭,潘炜元.基于 Web 水利工程 BIM 数据管理及应用研究[J].水利规划与设计,2018(2):41-44.
- [7] 潘飞,张社荣.基于 3D WebGIS 的土木水利工程 BIM 集成和管理研究[J].计算机应用与软件,2018,35(4):69-74,136.
- [8] 晁阳,牛志伟,齐慧君.基于 WebGL 的 BIM 模型可视化研究[J].水电能源科学,2020,38(9):79-82.
- [9] 严慈玉,王景芸.BIM 技术在水利水电工程施工安全管理中的应用分析[J].水利建设与管理,2020,40(4):41-43,40.
- [10] 张晗玥.基于 WebGL 的 BIM 模型可视化方法研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.
- [11] 王磊,高珏,金野,等.基于 Web3D 无插件的三维模型展示的研究[J].计算机技术与发展,2015,25(4):217-220.
- [12] 高喆.基于 WebGL 的建筑信息模型展示系统研究[D].北京:北京建筑大学,2018.
- [13] 胡宇祥,殷飞,刘喜峰,等.SketchUp 软件在水闸建模中的应用[J].东北水利水电,2018,36(1):58-59.
- [14] 张龙.基于 sketchup 与 enscape 技术的室内店铺展示设计应用分析[J].现代电子技术,2020,43(3):50-53,57.

南水北调长沟泵站三种水位计的应用及改进措施

邵明猛 张 健 董传强

(南水北调东线山东干线有限责任公司, 山东 济南 250013)

【摘 要】 为使长沟泵站水位观测更加精确,将之前的压阻式水位计升级改造为浮子式和雷达式水位计,数据接入原有 PLC 模拟量输入模块或者通过串口服务器接入 PLC,并接入原有自动化监控系统。采取抑制波浪的改进措施,同时加入 40~20mA 隔离器,实现了基于浮子水位计的 MCU-32 型自动监测系统功能优化。经过改进后的水位计水位显示值准确可靠、维护成本低、应用范围广,可为类似工程水位计的选型、更新改造和应用提供参考和借鉴。

【关键词】 水位计;应用效果;改进措施;滤波;功能优化

中图分类号: TV68

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-037-06

Application and improvement measures of three kinds of water level gauges in Changgou Pump Station of South-to-North Water Transfer Project

SHAO Mingmeng, ZHANG Jian, DONG Chuanqiang

(South-to-North Water Transfer Project East Route Shandong Main Line Co., Ltd., Jinan 250013, China)

Abstract: The former pressure resistive water level gauge is upgraded to float water level gauge and radar water level gauge in order to observe the water level of Changgou Pump Station more accurately. The data is connected to the original PLC analog input module or PLC through serial port server. It is connected to the original automatic monitoring system. The function optimization of MCU-32 automatic monitoring system based on float water level gauge is realized by adopting the wave suppression improvement measures and adding 40~20mA isolator. The improved water level gauge has accurate and reliable display value, low maintenance cost and wide application range, which can provide reference for the type selection, renewal transformation and application of similar engineering water level gauges.

Keywords: water level gauge; application effect; improvement measures; filtering; function optimization

1 前 言

水位计是水利工程中自动化监测水位的重要设备,长沟泵站作为南水北调东线一期工程的第十一梯级抽水泵站,主要任务是将水从南四湖提至东平湖,实

现南水北调东线工程的梯级调水目标。在水量调度中,水位观测起到了至关重要的作用。长沟泵站在水位计的使用上,积累了丰富的经验,这些经验对于抽水泵站运行管理中如何选择合适的水位计保证观测水位的准确性,以及减少维护成本,具有十分重要的意义。

收稿日期: 2021-03-10

作者简介: 邵明猛(1985—),男,本科,高级工程师,主要从事南水北调泵站运行和安全监测工作。

最低水位。测井上有安装水位计的工作平台,供水位计安装使用,并用检测仪器接测编码器输出的编码水位信号,使它和实际水位一致。编码器的输出电缆应与所配插头准确连接。电缆的铺设要严格注意防雷和防干扰。

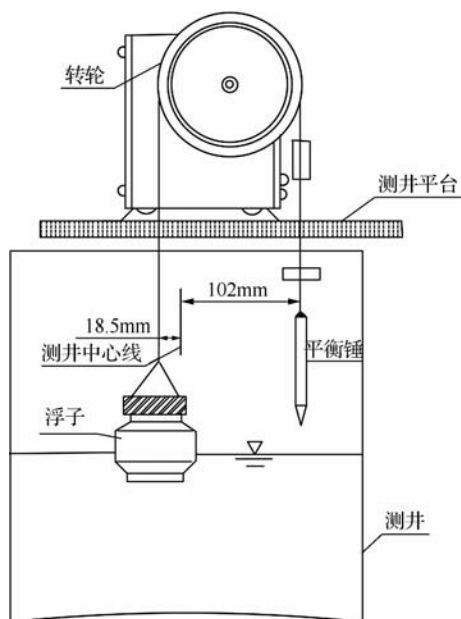


图3 浮子水位计安装示意图



图4 浮子水位计实际安装效果

3.3 雷达式水位计安装

雷达水位计的安装方式及安装后的效果见图5~图6,在安装支架时,要充分考虑现场实际情况,以及

雷达式水位计的量程等因素,确定好安装位置。立杆与支架连接采用活动抱箍方式,方便安装及后期维护。立杆、支架安装要可靠,伸出至水面的横梁要水平,固定位置要考虑雷达水位计的重量,且支架的刚度要强,在风力作用下支架能够保证稳定而不抖动。雷达水位计要紧固可靠地固定在支架上,螺母下方要加装弹簧垫片旋紧。

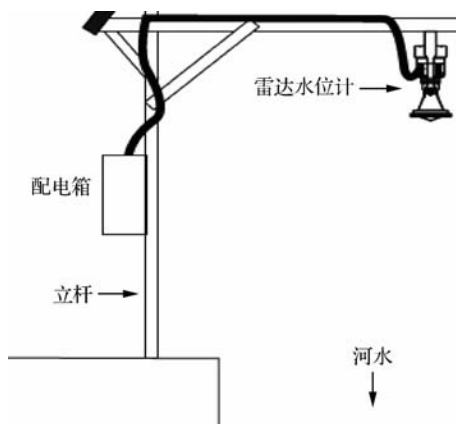


图5 雷达水位计安装示意图



图6 雷达水位计实际安装效果

雷达水位计在安装完成后需对其进行参数的设定。一般情况下要注意下面几个参数:量程、低位调整值、参考零点、空高和料高的选择,低位调整值是安装



雷达的法兰盘到液体底部的距离。这个值是不能超过量程的,测量法兰到液体底面的距离即低位调整值并输入雷达。选择要显示的数值是料高还是空高即可,通过雷达水位计的编程显示器进行调试和设定。

3.4 数据接入自动化系统

长沟泵站数据采集为4~20mA信号,RS485通信方式,数据接入到串口服务器中,需要修改上位机组态,通过现场的水尺观测,修正高程值和修正值,使采集到的水位值与实际相同。程序调试和修改必须要先进行上位机程序的备份,备份后进行修改,修改完成后再进行备份。

4 应用效果及再次改进措施

4.1 应用效果

长沟泵站水位计更新改造项目安装调试完成后,对所采集到的数据和水尺读数进行了长时间的人工比对。发现雷达水位计应用效果较好,采集数据和水尺读数基本一致,误差基本控制在1cm左右,符合规范要求。浮子水位计信号过于灵敏,受波浪影响较大,有时误差超过了3cm,还需进一步改进。

4.2 原因分析及再次改进措施

由于雷达水位计自带滤波功能,受波浪影响很小,采集数据准确可靠。浮子水位计安装于引水闸下游、出水闸上游、节制闸上下游,均位于梁济运河主河道内,受波浪影响较大,水位变幅大,浮子水位计的信号又过于灵敏,影响到了采集精度。

为了使浮子水位计的数据采集值更加准确可靠,运行管理人员经过深思熟虑,采取了以下两项抑制波浪的改进措施,一是在测井底部增加小孔改变进水流向,二是在上位机系统写入了滤波小程序。针对第二种措施,将实时采集到的数据进行取平均值计算,设定以10s内采集到的20次数据作为基准进行计算,计算方法为先将前2次数据采集值的平均值A1和第3次的数据采集值进行平均值计算,结果为A2,A2再和第4次的数据采集值进行平均值计算,结果为A3,以此类推,最终将A18和第20次的数据采集值进行平均值计

算,结果为A19,A19则为最终的浮子水位计在上位机的显示值。通过和水尺的多次人工比对,浮子水位再次改造的效果良好,采集数据和水尺读数基本一致,误差基本控制在1cm左右,符合规范要求。

5 基于浮子水位计的MCU-32型自动监测系统功能优化

5.1 长沟泵站MCU-32型自动监测系统前期设计

长沟泵站内观测设施主要包括测压管、渗压计、应变计,均已接入自动化监测系统,自动化监测系统由1台监控主机、4台MCU和现场传感器组成。监控主机控制MCU采集传感器数据,并接收MCU采集的数据存入数据库,按各类传感器考证数据和计算公式进行计算,获得工程监测所需的模数、温度、渗流压力、水位、应变等监测数据,通过资料整编软件对长系列监测资料按规范要求进行整编和分析。设计阶段未考虑将节制闸上下游水位接入到MCU-32型自动监测系统中,只是接入到了机组及闸门监控系统,在自动监测系统生成的图线中,只有节制闸测压管水位,无法和上下游水位进行比较,未能完全实现MCU-32型自动监测系统的数据采集、分析及图线绘制功能。优化前的节制闸测压管水位过程线见图7。

5.2 MCU-32型自动监测系统功能优化

为了实现MCU-32型自动监测系统功能优化,考虑将节制闸浮子水位计的4~20mA模拟量信号接入到节制闸现场MCU,再通过自动化监测系统监控主机进行参数配置。进行改造时将同一个传感器接入到两套系统中去,电流信号会产生分流,隔离器的应用在这时起到了关键作用。该隔离器是一款新产品,为单通道智能型隔离器,输入电流或电压信号后经过变换,输出隔离的电流或电压信号,实现了输入、输出、电源之间的三端隔离,采用数字化结构,并采取环境温度自补偿、零点自动校准等先进技术,广泛应用于水利、电力等行业的重大工程。经过优化后的MCU-32型自动监测系统,接入了节制闸上下游水位数据,数据显示可靠稳定,真正实现了节制闸所有安全监测数据的采集和

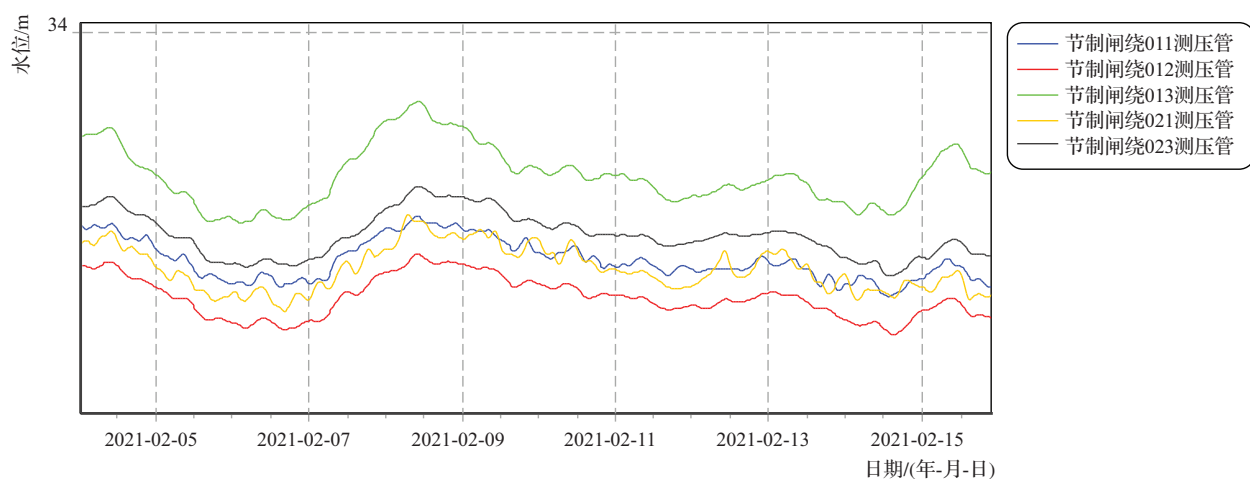


图7 优化前节制闸测压管水位过程线

图线绘制功能,所生成的图线更加直观,一目了然,不仅节省了人力计算和绘制图线的步骤,持数据的客观性。如有异常现象则会发出预警,及时而且能始终保

持数据的客观性。如有异常现象则会发出预警,及时通知值班人员。优化后的节制闸测压管水位过程线见图8。

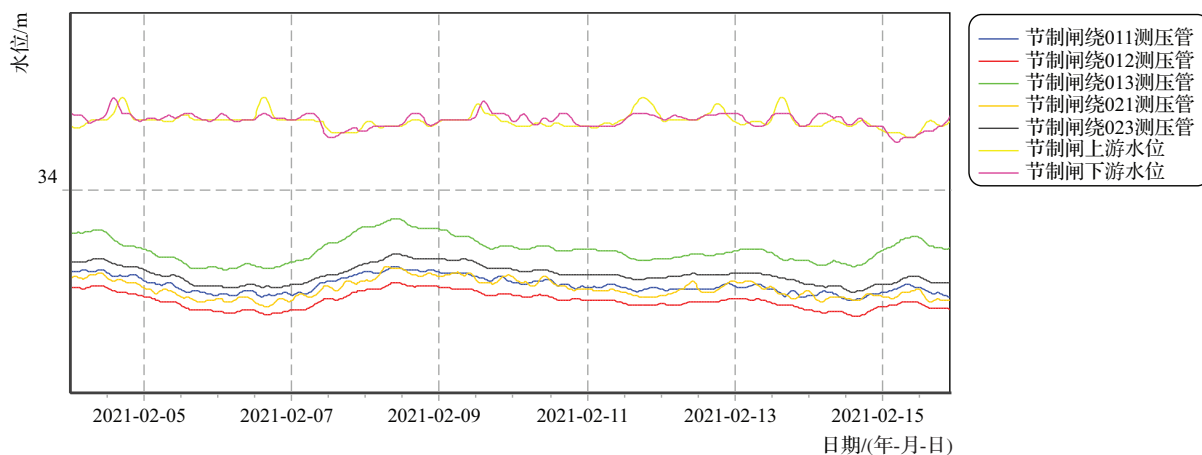


图8 优化后节制闸测压管水位过程线

6 最终应用效果

事实证明长沟泵站管理处对原有压阻水位计的改造非常成功,无论是雷达水位计还是浮子水位计,水位显示准确可靠,使用寿命长,后期维护成本很低。改造后的水位计,通过对新产品的运用,还可以应用到MCU-32型自动监测系统中,扩大了应用范围。作为北方地区南水北调工程的中间接力泵站,长沟泵站在原水输送液位计量中收获了以下运行经验:不建议采用压阻式水位计,建议优先选用雷达式水位计,如外界环

境较为复杂,管理不便,建议优先选用浮子式水位计。三种水位计应用效果比较见表1。

7 结 语

在水利工程运行管理中,为了保证建筑物安全稳定运行,通常将水位控制在设计范围以内,水位监测的准确性和及时性则显得尤为重要。本文通过对三种常见水位计(压阻式、浮子式和雷达式)在长沟泵站的实际应用效果及改进措施进行阐述和比对,为类似工程在水位计的选型、更新改造和应用方面提供了重要参考和借鉴。



表1 三种水位计技术性能综合比较

水位计名称	设备安装	维护保养	精度保障	数据传输	数字化控制操作	抗水力条件波动	耐候寿命
压阻式水位计	便于建设期安装	不方便	前期可靠,后期不可靠	多样	简便,加入隔离器后可应用于各种监测系统	一般	差
雷达式水位计	便利	方便	可靠	多样	简便,加入隔离器后可应用于各种监测系统	好,自带滤波功能	好
浮子式水位计	稍有不便,需耗费较多人力	方便	改进后可靠	多样	简便,加入隔离器后可应用于各种监测系统	过于灵敏,改进后好	好,不易遭受人为破坏



参考文献

- [1] 许笠,王延乐,华小军. 雷达水位计在水情监测系统中的应用研究[J]. 人民长江,2014,45(2):74-77.
- [2] 叶建新. 闹德海水库坝前水位计冰冻期改进方法的研究[J]. 水利建设与管理,2015,35(9):41-43.
- [3] 宋天辉,杨德生. 水位计性能在西泉眼灌区中的应用的比选[J]. 黑龙江水利科技,2012,40(8):130-131.
- [4] 戴春祥,段科萍,黄春华. 大溪水库渗流观测设施失灵原因分析及对策和后期监测数据对比分析[J]. 珠江水运,2019(19):19-21.
- [5] 侯敏. 简析浮子式水位计在三河闸测压管自动监测系统中的应用[J]. 水利建设与管理,2013,33(12):56-58.
- [6] 孙飞,翟福雷,方琪. 基于小波去噪法的南水北调工程沉降预警[J]. 水利技术监督,2021(5):73-79.
- [7] 刘加英. 江夏潮汐试验电站水位监测系统[J]. 大坝与安
- [8] 尚德功. 人民胜利渠灌区水资源实时监控体系建设[J]. 人民黄河,2013,35(9):95-96,102.
- [9] 水位观测标准:GB/T 50138—2010[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [10] 城市水文监测与分析评价技术导则:SL/Z 572—2014[S]. 北京:中国水利水电出版社,2014.
- [11] 陈长清,魏聪. 沱江湖生态水位确定方法研究[J]. 水资源开发与管理,2020(2):30-33.
- [12] 王瑞芬,季晨龙,李海明. 汾河兰村一柴村段河流水位抬升对潜水流场影响的数值模拟研究[J]. 水资源开发与管理,2020(5):1-6.
- [13] 曹玉涛. 汾河水库分期汛限水位控制方案研究[J]. 水资源开发与管理,2021(2):47-50,30.

(上接第24页)运筹学问题。本文利用单纯形法建立数学模型简化问题,并采用 MATLAB 软件进行模型函数计算,这一方法可为解决类似新建水库土方的调度平衡提供参考。◆

参考文献

- [1] 王茂东. 平原水库土坝护坡工程设计研究[J]. 水利建设与管理,2012,32(7):7-8.
- [2] 周建,李君,刘斌,等. 平原水库优化设计影响因子分析[J]. 水利建设与管理,2007,27(3):27-29,20.
- [3] 裘李豪,姜翠玲,张鹏. 江苏沿海平原拟建水库咸化趋势分析[J]. 四川环境,2016,35(4):55-58.
- [4] 王文涛,赛菡,刘元元,等. BIM 技术在大型场地平整工程量计算及土方调运的研究[J]. 施工技术,2018,47(S4):958-960.
- [5] 叶轩,邓朗妮,吴志强,等. 复杂地形下的土方平衡应用研究——以广西百色某学院项目为例[J]. 项目管理技术,2019,17(1):88-93.
- [6] 党广利,刘洋,李丽,等. 工程土石方计算及调度[J]. 测绘技术装备,2020,22(1):42-46.
- [7] 邓朗妮,罗日生,郭亮,等. 基于线性规划数学模型算法的土方调配[J]. 土木工程与管理学报,2018,35(2):25-31.
- [8] 姜海,孙海波,孟佳佳. 古黄河水利枢纽工程土方施工组织与平衡的探讨[J]. 水利建设与管理,2014,34(4):13-16.
- [9] 王南江,周志彦,冯英. 淮河干流疏浚工程超大型排泥场优化设计[J]. 水利建设与管理,2019,39(2):37-40.
- [10] 韩伯棠. 管理运筹学[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2015.
- [11] 陈宝林. 最优化理论与算法[M]. 北京:清华大学出版社,2015.

湖北 EPC 总承包水利项目现场管控的探索与实践

杨香东¹ 刘大洋¹ 熊 壮²

- (1. 湖北省水利水电规划勘测设计院, 湖北 武汉 430070;
2. 湖北腾升工程管理有限公司, 湖北 武汉 430070)

【摘 要】 EPC 设计、采购、施工总承包模式引领了工程总承包的发展趋势,但在实践过程中,也存在理解片面、工作被动和管理不到位等问题。本文结合在湖北已试行的 10 余个 EPC 总承包项目实践过程,系统提出水利工程 EPC 总承包管理方法,强调应加强内外工作协调,制定相应的 EPC 信息管理系统对接方案,同时应重视分层级管控和量化考核,促使项目设计、采购、施工实现高效协调和深度融合,以充分彰显总承包管理效率高、质量安全和工程效益有保证等优点。

【关键词】 现场管控;总承包;探索实践;水利项目

中图分类号: TV512

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-043-04

Exploration and practice of site management and control of Hubei EPC general contracted water conservancy project

YANG Xiangdong¹, LIU Dayang¹, XIONG Zhuang²

- (1. Hubei Water Resources and Hydropower Planning Survey and Design Institute, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Tengsheng Engineering Management Co., Ltd., Wuhan 430070, China)

Abstract: EPC design, procurement and construction general contracting mode lead the development trend of project general contracting. However, there are one-sided understanding, passive work, insufficient management and other problems in the practice process. The practice process of more than 10 EPC general contracting projects tribally operated in Hubei is combined in the paper. The water conservancy project EPC general contracting management method is systematically proposed. Strengthening of coordination between internal work and external work is stressed, and corresponding EPC information management system docking plan should be formulated. Meanwhile, we should pay attention to the control on the layer classification and quantitative appraisal, and prompt efficient coordination and deep integration of project design, procurement and construction, thereby fully highlighting the advantages of general contracting, namely high management efficiency, safe quality, guaranteed engineering benefit, etc..

Keywords: site control; general contracting; exploration practice; water conservancy project

收稿日期: 2021-03-28

作者简介: 杨香东(1972—),男,教授级高级工程师,硕士,主要从事水利水电工程 EPC 和 PMC 总承包和代建制等项目管理和质量管理工作。



1 引言

近年来,湖北省人民政府印发《关于促进全省建筑业改革发展二十条意见》强调:大力推行工程总承包,到2025年,武汉市、襄阳市、宜昌市新建项目工程总承包占比达到50%以上,其他市州达到30%以上。为更好地推进工程总承包建设管理新模式在湖北水利建筑市场上的试点与实践,发挥以设计单位技术和管理为龙头的总承包技术支撑、协调和保障作用,2014年11月,湖北省水利水电规划勘测设计院通过公开招标承接了鄂北水资源配置试验段EPC总承包工程,率先在全省对总承包进行了综合试点。总承包项目在试点过程中体现了投资控制良好、项目建设程序规范等优势,但也面临一些不容忽视的问题。试点和实践表明:应加强现场设计与施工深度整合,优化设计变更和服务,实现方便快捷施工。以设计为龙头的总承包单位应积极主动沟通,协调项目法人、设计代表、监理、施工、供货单位之间的关系,只有发挥好桥梁纽带优势,发现问题,解决问题,才更有利于工程的建设。另外,在试点和探索过程中,需要一个理解、包容、开放和支持的建设环境,只有这样,才能不断推动水利建管模式的改革、创新和发展。

2 概况

2017年《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》指出:“政府投资工程应完善建设管理模式,带头推行工程总承包。”水利部《2018年水利建设与管理重点工作要点》要求:“创新建设管理模式……因地制宜推行水利工程项目管理总承包、设计施工总承包等模式,提升水利建设管理专业化水平。”2017年以来,湖北省水利水电规划勘测设计院积极推进工程总承包在湖北水利建筑市场上的试点与实践,以设计为龙头,充分发挥技术优势,促进设计、采购、施工、试运行等各阶段工作的深度融合。至2020年,先后承接了鄂州市樊口泵站、安陆市引徐济安饮水项目、监利县螺山泵站、洪湖市补元退洪闸等13个总承包项目,承接总承包合同金额达28.5亿元。湖北各市、县水利项目创新实践表明,总承包建设管理模式有利于控制工程

造价,实现设计、采购、施工等各阶段工作的深度融合,提升工程建设管理水平,充分发挥项目建设的效益,但也存在一些不可回避的问题。

3 主要问题

a. 部分设计人员对以设计为龙头的总承包模式的理解存在片面性。有的总承包项目管理者误将以设计为龙头的工程总承包,片面理解为以设计技术人员为龙头的总承包模式。让单纯从事设计的人员进行现场管理,造成由于不熟悉项目管理制度和项目管理法律法规以及综合协调能力弱等原因,出现现场管理混乱、工作职责模糊不清等问题。

b. 有的总承包项目组织协调和征地工作较被动,没有形成联动机制。有的总承包项目设计人员与施工承包商仍然各自为政,融合与整合的力度不够,相互协调与配合的职能不清、权责利不明,对其考核评价体系不完善。有的总承包单位在征地移民配合方面力度不足,对外沟通协调力度不够,造成移民设计和施工脱节,征地移民工作陷入被动。

c. 有的总承包项目部针对施工分包单位及施工班组的管理不到位。部分总承包单位现场整体管理和监督不能全覆盖,针对有些施工分包企业组建的施工项目部派出实际管理经验不足、责任心不强和质量安全意识不高的现场团队,没有采取相应管理措施。此外,对现场施工作业工人进行的质量和安全生产意识培训不系统、不全面。

4 措施与建议

a. 积极推进EPC联合体总承包流程的科学化和规范化,实现由传统设计思维到“总体协调、控制和管理”的转变。总承包单位应明确总承包的核心是对工程项目建设进行总体协调、控制和管理,而非为单一设计技术人员的设计服务理念。湖北安陆市引徐济安饮水工程EPC总承包项目在建设实施过程中,以设计为龙头的项目管理部加强了对内对外的工作协调,制定相应的设计、采购、施工对接、协调机制,充分发挥以设计单位为龙头的EPC联合体总承包技术力量较强的优势,统筹项目总体实施控制与协调,选好配强项目管

理团队,项目部人员经过总承包知识的培训后再上岗,仅仅经过 12 个月的建设,主线工程顺利通水,并成功试运行。另外,总承包单位应加强设计供图与施工进度度的协调与配合,督促设计单位超前一至两周供应图纸,并做好设计技术服务和设计交底。湖北汉江干堤总承包项目,施工承包商的技术负责人及时提出图纸需求清单和设计服务需求申请清单,总承包单位技术负责人 3 天内审核图纸需求清单和设计服务申请清单,督促设计专业技术人员完成供图需求清单及设计服务申请清单;设计专业技术人员将完成的供图需求清单及设计服务申请清单及时提交总承包单位现场负责人审核后,3 天内反馈给施工专业承包商技术负责人;施工承包商技术负责人对需求申请清单实现程度和满意程度进行评价,并再次提出图纸需求清单和设计服务需求申请清单,直到达到或基本达到现场实际进度和施工承包商的施工需求。

b. 积极推进并强化征地移民信息系统建设,实现项目快速启动推进,确保工程项目组织实施畅通无阻。洪湖东分袂腰口泵站总承包项目部积极协调业主征地移民专班工作,组建业主与总承包、施工专业承包协调配合的征地移民专班模式,协调移民搬迁、征地补偿和外围施工环境,推进项目迅速启动。EPC 总承包牵头单位应积极主动消除或减少征地移民拆迁阻工、项目启动难等风险,减少和降低不利于项目建设启动的风险以及由停工和社会不稳定等因素造成的损失和影响,从而有效加快总承包项目工程建设进度。EPC 总承包牵头单位应通过创新和运用工程总承包项目征地移民拆迁项目管理信息系统,将项目征地移民清单,移民设计技术服务,移民监理评估,县、乡、村三级协调服务跟踪,业主移民专班跟踪国土林业审批反馈统一归集至总承包项目移民及征地信息管理系统,通过电脑终端或手机客户端绑定相关信息,不再用纸张记录等方式,将征地移民协调管理服务、移民设计服务、国土林业审批等技术支撑和相关信息细化至具体的项目启动实施具体部位和环节,征地移民信息系统的管理人员每天将移民设计征地调查清单、放样清单、技术服务反馈、林业国土审批清单、时间节点进行更新,实现动

态管理,从而促进设计征地移民拆迁实物资料、征地移民兑现补偿、项目施工启动深度融合和整体衔接,既可以实现征地移民快捷方便查询,又可以保证资料的真实可靠,实现资料的可追溯性,保障总承包项目协调管理和项目启动效率。

c. 建立总承包设计供图服务信息系统,帮助、提高、指导、服务施工承包商现场质量、安全和进度管理。总承包单位设计工作专班应优化设计变更和服务,建立并通过电子平台全程痕迹管理,实现总承包项目设计供图、设计服务(技术咨询、联合验收等)的动态管理,促进设计与施工的深度融合。水利工程项目以设计为龙头的总承包是建筑业完善建设管理模式的重要创新形式之一,设计单位作为 EPC 联合体总承包牵头单位,应优化设计供图和服务,提高项目建设效率。汉江干堤 2018 年度第二批项目总承包单位,充分发挥和利用设计单位总体控制与协调管理能力,派出综合把控和协调能力强的总承包现场负责人组织协调,设计经理提前 1~2 周提交施工图纸和其他相应设计文件,服务并满足总承包现场施工承包商施工用图需求,提供设计技术支撑和保障,实现方便和快捷施工。EPC 总承包牵头单位应加强设计服务的协调管理,组建现场项目设计管理部,负责项目技施设计工作,以及现场设计交底和设代服务工作。通过建设工程总承包项目管理信息系统,将设计供图清单、设计技术服务、设计供图进度、设计技术服务反馈等信息模块化,通过模块反映在电子平台上,供总承包单位技术负责人审核;通过设计供图评估模块对设计供图的进度、施工现场实际进展和设计技术服务质量进行评估;通过进度差异时间节点定量数据来客观反映工程的设计、采购、施工时时动态,从而实现施工进度与设计供图的充分对接和匹配。

d. 明确 EPC 联合体总承包管控层级,分别对设计、采购、施工项目管理目标进行分类、分层级管控。EPC 联合体总承包现场管控层级主要分三类:一是总承包单位的项目经理、技术负责人和现场控制经理管理层;二是设计经理、采购经理和施工经理职能经理层;三是质量、安全、合同等部门的部门负责人,以及各



施工工区实施层。湖北汉江干堤 2018 年度第二批项目总承包单位现场项目管理部积极推进 EPC 项目管理系统的整合,一是建立现场实施层信息传输系统,实施层是实现总承包现场安全文明施工、质量和进度管控的基础,实施层的质量、安全、合同等部门负责人、施工员、施工工区负责人通过电脑或手机移动终端,由传输模块向职能层经理传输安全文明(安全体系、隐患排查等)、质量(保证体系、设计服务等)和进度(关键线路、PDCA 等)、采购清单、图纸清单等请求报告单或报表;二是建立职能层中继站审核系统,由设计、采购和施工等职能部门经理通过中继站响应实施层项目管理请求,通过对应的部门审核子模块进行核定或核备。职能经理层审核当前状态终端报表或文件清单(质量、安全、进度、成本等),通过中继站复核实施层传输的请求和报告清单,重点识别出进度、质量、安全、设计等与合同是否匹配等关键内容,提出初步审核或核定意见,并发送至电子平台;三是建立管理层考核评价系统,项目经理、技术负责人和控制经理组成的管理层依据职能控制层相应职能部门经理上传的事项报告单据,将需要协调的通知或指令发送至后台管理平台,实现项目管理层对重要管理清单及请求事项的及时核定、融合、衔接,实现项目现场管控的高效协调和督导功能。通过确定 EPC 联合体总承包管控层级,实现分层级管控,促使总承包联合体项目的设计、采购和施工资源共享,技术与管理力量的融合和整合,及专业化、精细化的集成和集约管理。

e. 建立标准化 EPC 总承包现场管控分级考核指标体系,分别对设计、采购、施工和试运行目标进行量化考评。湖北安陆引徐济安饮水工程总承包管理部对照合同、质量、安全、进度、造价等指标,适时与施工现场投入的人员、材料、机械设备与合同进行动态对照、考核和反馈,动态评估合同约定的各项指标是否满足要求,并及时发布纠偏管理指令和进行纠偏处理,对总承包项目管理的效率和效果进行阶段性和整体性评价。如安陆市引徐济安饮水工程 EPC 联合体总承包项目部,依据合同条款对施工部进行评价和考核,较好地促进了项目顺利推进。EPC 总承包模式评价考核体

系中,设计、采购、施工和试运行为四个一级指标体系,对应分值依次为 30、20、30、20 分。水利工程总承包管理体系二级评价指标中,设计模块管理体系评价指标,对应设计清单翔实、设计服务优良、设计变更完备、供图进度良好分值分别为 6、7、8、9 分。采购、施工和试运行模块对应分值见表 1。考核评价时,将 EPC 总承包项目是否满足标准化要求,划分为初步实现、基本实现和实现标准化三个层次。初步实现标准化要求得分不低于 85 分;基本实现标准化要求得分不低于 90 分;实现标准化要求得分不低于 95。通过实施评价指标标准化体系,能够对总承包管理水平进行整体性评价,从而有效提高项目建管效率。安陆引徐济安饮水工程总承包管理部通过强化考核体系及时进行评估和反馈,项目推进顺利,仅仅一年时间就实现了通水总目标,业主和监理均很满意。

表 1 湖北安陆引徐济安饮水工程总承包管理体系分级评价指标

项 目	一级指标	赋值分数	二级指标	赋值分数
EPC 总承包项目	设计	30	设计清单翔实	6
			设计服务优良	7
			设计变更完备	8
			供图进度良好	9
	采购	20	招标方案合理	4
			招标组织及时	5
			合同条款完备	5
			合同跟踪到位	6
	施工	30	实体质量良好	8
			安全文明施工	8
			合同进度可控	8
			验收评定及时	6
	试运行	20	运行方案合理	4
			检查检测全面	5
			运行启动有序	6
			验收移交及时	5

5 结 语

实践证明,以设计为龙头的 EPC 总承包牵头单位,应强化对工程总体控制、协调和服务的理念,创新信息系统管理手段,推进征地、移民和(下转第 71 页)

基于标后履约监管的宁波市水利建设市场信用体系研究

贺立霞¹ 潘仁友¹ 徐 燕²

(1. 宁波市水利工程质量安全管理中心, 浙江 宁波 315016;

2. 宁波市水利工程管理协会, 浙江 宁波 315100)

【摘 要】 为强化宁波市标后履约监管, 确保工程质量与安全, 以在建项目为核心, 研发一个信用信息平台, 建立一套“1+2+X”的信用制度体系, 实现对市场主体从业行为的在线监管, 重点对市场主体的投标行为、工程质量和安全、施工现场管理等标后履约情况进行跟踪管理及动态评价, 系统自动形成评价等级结果, 并将评价结果与招标投标、工程担保、工程评优、市场监管等挂钩, 实行差异化管理, 取得显著成效。该信用体系可在水利行业标后履约监管工作中推广。

【关键词】 标后履约; 在线监管; 跟踪管理; 动态评价

中图分类号: TV512

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-047-04

Research on credit system of Ningbo water conservancy construction market based on post-bid contract performance supervision

HE Lixia¹, PAN Renyou¹, XU Yan²

(1. Ningbo Water Conservancy Engineering Quality and Safety Management Center, Ningbo 315016, China;

2. Ningbo Water Conservancy Project Management Association, Ningbo 315100, China)

Abstract: A credit information platform is developed, and a set of “1+2+X” credit system is established in order to strengthen post-bid contract performance supervision in Ningbo and ensure project quality and safety, thereby realizing online supervision of business operation of market subjects. The bidding behavior of market main body, the engineering quality and safety, construction site management and other post-bid contract performance circumstances are tracked for management and dynamically evaluated mainly. The evaluation grade results are automatically formed by the system. The evaluation results are linked with bidding, project guarantee, project assessment, market supervision, etc., thereby implementing differentiated management and making remarkable achievements. The credit system can be popularized in post-bid contract performance supervision of water conservancy industry.

Keywords: post-bid contract performance; on-line supervision, tracking management; dynamic evaluation

收稿日期: 2021-05-17

作者简介: 贺立霞(1975—), 女, 本科, 硕士, 高级工程师, 主要从事水利工程建设管理及水利建设市场管理工作。



1 前言

水利工程建设标后履约监管工作不仅是实现工程建设领域突出问题专项治理的常态化形式,也是实现大规模水利工程建设顺利实施与全面提升建设管理水平的重要保障。开展标后履约监管工作,对于规范水利建设市场秩序,促进市场主体诚信履约,有效制止转包、违法分包、挂靠、借用资质等违法行为,确保工程建设质量、安全和综合效益的充分发挥,具有十分重要的意义。

2 存在问题

宁波市水利建设市场存在的问题主要表现在:
①各市场主体重标前管理、轻标后履约现象严重;②在项目实施阶段,存在管理人员履职不到位、人员更换频繁、管理力量薄弱、项目部组建不规范、责任制落实不到位、管理不规范、合同履行不到位、措施不到位等问题;③个别工程建设项目存在质量和安全隐患,质量控制体系落后、质量把关不严、重工期、轻质量等问题偶有发生;④水利建设市场信用体系不健全、信息公开不规范不透明、市场准入和退出机制不健全,导致水利工程招标投标投诉较多。

为改变宁波市水利建设市场现状,破解宁波市水利建设市场标后失管、标后轻管、管而不严、严而无据等标后履约监管盲区的深层次问题,通过创新管理机制、构建标准体系、研发信用平台等一系列举措,切实提高水利建设市场监管效率,在标后履约监管领域取得了扎实成效。

3 主要做法

3.1 智能在线监管,注重信用技术融合利用

针对水利建设市场诚信缺失、标后履约监管缺乏系统性等问题,通过研究,将信用信息模型控制技术、多元信息融合技术、实时动态评价整编技术、跨平台应用技术等引入到传统的水利行业,打造一个全市统一的水利建设市场主体信用信息平台。平台包括三个子系统:信用信息跟踪管理系统、信用信息公布及公示系

统、信用动态评价系统。以在建项目为依据,重点对市场主体的招标投标行为、配合市场监管行为、质量安全管理、项目施工现场管理、良好行为、不良行为、其他方面失信行为等标后履约情况进行在线监管及跟踪评价,对标后履约行为进行量化评分、动态评价。

3.2 依规系统监管,注重信用体系顶层设计

根据标后履约监管的实际需要,建立一套全市统一的“1+2+X”的信用体系,即1个办法:《宁波市水利工程项目标后管理办法(试行)》,2个支撑文件:《宁波市水利建设市场主体信用动态评价管理办法》《宁波市水利建设市场主体信用动态评价结果应用管理办法》,X个评价标准及评价结果应用配套制度:《宁波市水利设计、施工、监理企业信用动态评价标准》《宁波市水利水电工程投标资格审查办法和招标评标办法》《宁波市水利建设工程担保管理办法》《宁波市水利建设工程安全文明施工标准化工地评审办法》《宁波市水利工程优质(它山堰)奖评选管理办法》等规范性文件。明确水利工程在建项目的监督管理重点是合同订立和履行、备案管理、设计变更、施工和监理主要人员配备与到位及现场管理、质量与安全管理、施工机械配备、资金使用和进度管理等,同时明确参建各方的履约及职责,明确履约的动态信用评价标准。通过信用动态评价体系,加大对中标单位合同履约的监管力度,从政策层面对中标单位的履约给予评价、监督,对照评价标准,对企业在建项目履约情况进行逐项评分,按评分高低排序确定信用等级,从政策层面给市场主体标后履约动态信用评价提供依据与支撑。

3.3 统一联动监管,注重监管结果应用

市县两级水行政主管部门和水利工程质量监督机构以在建项目为核心,按评价标准定期对在建项目从业单位打分,按照分值由高到低将企业信用分为A、B、C、D四个等级。动态评价标准切实将分值与业绩、质量、安全、现场管理等标后履约行为及公益等方面关联,将评价等级与工程担保费率、投标资信、监督检查频次、评优评奖等挂钩。明确招标投标活动中“信用评价分”为必选项,招标投标根据信用等级高低分别加

分,同等条件下优先考虑信用等级高的企业,明确工程担保额度按信用等级高低分别计取,从政策上制约、督促中标单位诚实守信。因制度文件公开透明,评价标准量化具体,系统自动关联数据,企业可自主对标强化管理,保障自身权益,确保质量与安全。标后履约监管体系将行业监管与企业自主管理融为一体,矛盾更少、效率更高、效果更好。

3.4 动态精准监管,有效把握监管方向

通过信用信息平台,充分利用大数据、云计算、移动互联网等新一代信息技术的发展成果,多系统、多领域、多方位汇总处理企业基本情况、人员执业资格、工程质量安全、项目现场管理、不良行为记录等各类数据,通过聘用行业专家对在建项目进行动态评价,能够及时发现市场主体的管理症结,便于及时指导、及时处理、及时帮助,同时方便抽查,通过检查、整改、反馈,基本做到各类项目统计及时、状态有底,使标后履约监管科学高效、精准有力。监管部门通过平台大数据梳理分析问题,及时发现问题或隐患,便于有效提醒、有效防范、有效处置,信用等级不同的企业对应不同的被监督检查频次,做到重点企业重点监控,重点项目重点指导,重点问题重点督查,更加准确地把控行业监管的方向。

3.5 公众高效监管,充分发挥监管的社会性

加大各类信用信息公开力度,信用评价结果通过网站向全社会公布,接受社会监督,有利于约束政府部门的依法行政行为,增强政府公信力,形成行业自律、舆论监督、公众参与相结合的水利工程标后监管体系,促进水利建设市场的规范、有序、公正、透明,实现水利行业市场管理新突破。

4 初步成效

2016年1月开展标后履约监管信用动态评价工作以来,工程在招标投标和履约管理等方面取得了积极成效,为水行政主管部门加大监管力度、提高监管效率提供了有力支撑,成为宁波市水利行业强监管工作的有力抓手。同时,也对规范市场行为、提高行业自律、促进水利建设市场良性发展、增强企业核心竞争力起

到了积极作用。其评价成果在企业投标资信方面起到了尤为重要的作用,使建设过程中的强监管从企业的被动接受转向主动参与。

4.1 全市水利企业核心竞争力不断增强

从《宁波市水利设计、施工、监理企业信用动态评价标准》的指标构成看,市县两级水利部门打分的内容主要体现在对在建工程现场管理的动态评价,分数占比达79%,现场管理涉及工地形象、工程质量、安全生产、文明标化、按图施工、现场检查、问题整改、隐患消号等,各环节环环相扣,形成了闭环管理。现场得分高低直接关系到市场主体信用等级高低,信用等级高低又与投标资信、评优评奖、工程担保费率、监督检查频次等直接挂钩,直接关系到企业的未来与发展。此举可倒逼市场主体主动增强质量与安全意识,提高管理能力与服务水平,做大做强企业综合实力,以增强自身核心竞争力。全市水利本土一级资质施工企业数量逐年增加,2016年仅4家,到2020年底已发展为10家。

4.2 全市水利建设工程质量稳步提升

从历年质量检测报告统计分析情况来看,自从开展标后履约监管工作以来,全市水利工程建设质量稳步提升。质量检测不合格率逐年降低:2018年为2.49%,2019年为1.81%,2020年为1.14%。从市水利质安中心对在建工程质量监督抽样检测(飞检)报告分析情况看,质量监督抽样检测合格率逐年提高:2018年为80%,2019年为92%,2020年为97%。

4.3 全市水利工程创优评奖氛围日趋浓厚

从优质工程评奖结果情况看,因项目获奖可对企业信用加分,全市水利工程创优评奖氛围日趋浓厚,获得的各级优质工程奖项创历史最高:2018年以来获鲁班奖1个(历史最高),中国水利工程优质(大禹)奖3个,浙江省建设工程钱江杯奖3个,宁波市水利工程“甬江建设杯”优质工程奖18个,宁波市水利工程优质(它山堰)奖24个;目前申报大禹奖4个。

4.4 全市水利建设市场秩序规范有序

从招标投标活动投诉情况看,因恶意投诉行为将直接影响企业信用得分,各种投诉情况明显减少,恶意



投诉已经杜绝。根据评价结果应用管理办法,信用等级高的企业中标的机会多、概率大,这极大地避免了围标、串标的风险,自开展信用评价以来,宁波市水利工程建设招标中的“黄牛”现象逐渐消失,之前一个投资几百万元甚至几千万元的施工项目,上百家投标单位介入的现象已销声匿迹,这为营造诚实守信的水利建设市场环境提供了强有力的基础。

4.5 全市企业活力与动力持续增强

从减轻企业经济负担来看,通过分析全市水利企业开工及中标数据,调研企业生存现状,在工程建设担保中,将各类保证金担保额度与企业信用等级挂钩(等级越高费率越低),释放了企业活力,增强了企业动力;截至2020年底,全市水利建设工程担保已出具保险保单3413单,服务水利施工企业581家,释放保证金8.3亿元,为企业减负6097万元。

5 结 语

宁波市水利建设市场主体标后履约监管虽已取得了初步成效,发挥了一定作用,但在应用过程中,仍然发现了一些短板:一是应用层级不高、范围有限,标后履约监管是个系统而复杂的问题,市级部门出台的文件层级太低,成果仅在宁波市行政区域内应用,只能暂时缓解宁波市水利建设市场出现的问题,对全国水利行业来说,作用不明显;二是应用主体不全,目前该成果仅对在宁波市承揽工程的水利设计、施工、监理企业的标后履约情况进行监管及评价,招标代理、水土保持编制单位、水利工程运行维护单位等中介服务机构的信用动态评价标准正处在研究阶段,暂未对从业人员

进行标后履约评价,建议上级部门出台相关规定,并研究对企业关键岗位人员的标后履约从业行为进行评价,进一步优化营商环境,规范市场秩序。◆

参考文献

- [1] 中华人民共和国招标投标法实施条例[M].北京:中国计划出版社,2012.
- [2] 水利部建设与管理司,水利部水利建设与管理总站.水利建设与管理法规文件汇编:第二册[M].北京:中国水利水电出版社.2012:47-60,93-95,116-127,247-261,333-353,795-800.
- [3] 贺立霞.宁波市水利建设市场主体标后履约监管初探——信用动态评价[J].浙江水利科技,2018,46(5):35-37.
- [4] 吴学文,周先富,徐长流,等.宁波市水利建设市场主体信用信息管理的基本思路与对策建议[M]//《水利系统优秀调研报告》编委会.水利系统优秀调研报告:第十四辑.北京:中国水利水电出版社,2015:412-422.
- [5] 赵淑杰.辽宁省水利工程质量年实践与探讨[J].水利建设与管理,2015,35(10):58-60.
- [6] 水利部.关于印发水利建设市场主体信用信息管理的通知[G]//水利工程质量及建设管理文件汇编,2020:402-417.
- [7] 水利部.关于印发水利建设市场主体信用评价管理的通知[G]//水利工程质量及建设管理文件汇编,2020:418-425.
- [8] 刘峰.提高总监理工程师工作质量的关键因素[J].水利建设与管理,2014,34(3):3.
- [9] 白建峰,王相谦,孙丽娟.水利工程质量监督信息化智能化的几点思考[J].水利建设与管理,2021,41(8):73-77.
- [10] 彭晓兰,许树芳.水利稽察成果分析及完善水利建设管理的思考[C]//水利部安全监督司.集良言实策 促稽察监督——水利部稽察论文集.北京:中国水利水电出版社,2018:57-65.
- [10] 牛世杰.建筑施工现场危险因素关联事故树与综合安全评价体系研究[D].重庆:重庆大学,2010.
- [11] 刘亚莲,周翠英.基于模糊事故树理论的堤防失事风险分析[J].水电能源科学,2010,28(6):86-88,77.
- [12] 张璇,谭洪波,吴爽.水利工程建设施工单位安全生产管理问题探讨[J].水利建设与管理,2019,39(12):37-39,44.
- [13] 陈孟.浅谈水利施工企业安全生产标准化建设[J].水利建设与管理,2018,38(9):55-56,42.

(上接第55页)

- [6] 宋少卿,韩建军.基于对应分析模型的建筑施工高处坠落主因挖掘[J].人民长江,2019(3):176-181,197.
- [7] 冯庚,赵坤鹏,马力,等.基于模糊事故树的溃坝风险评估与管理[J].人民黄河,2013,35(5):99-104.
- [8] 黄健陵,田苾.基于模糊事故树的施工现场地下管线泄漏风险分析[J].安全与环境学报,2017(6):2072-2078.
- [9] 冀建疆,孙媛媛.事故树分析法在水利水电工程安全评价中的应用研究[J].水利水电技术,2014,45(7):39-41,49.

基于模糊事故树的建设工程高处坠落 事故风险分析

高黎颖

(中国电建中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014)

【摘要】 为分析工程建设活动中导致高处坠落事故的风险因素,统计了 57 份事故调查报告中的 17 项风险因素,得到未佩戴安全防护用品和安全教育培训不到位是导致高处坠落事故高发的致因要素。将 17 项风险因素进一步分解,利用模糊事故树模型计算得到违反劳动纪律、管理不到位、管理层履职不到位均为中等风险因素。为降低风险,从企业和社会管理层面有针对性地提出了四点建议,可为企业后续安全管理提供参考。

【关键词】 高处坠落;事故报告;频率;模糊事故树;建议

中图分类号: X928

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)01-051-05

Risk analysis of construction project high falling accidents based on fuzzy fault tree

GAO Liying

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

Abstract: Seventeen risk factors in 57 accident investigation reports are counted in order to analyze the risk factors leading to high falling accidents during project construction activities. It is learned that failure to wear safety protective equipment and insufficient safety education and training are causation factors leading to frequent high falling accidents. Seventeen factors are further decomposed. The fuzzy fault tree model is used for calculation. It is concluded that the violation of labor discipline, insufficient management, and insufficient performance of management are all moderate risks. Four suggestions have been put forward from the enterprise and social management to provide a reference for the follow-up safety management of the company in order to reduce risks.

Keywords: high falling; accident report; frequency; fuzzy fault tree; suggestion

水利水电工程建设过程中,事故的发生在所难免。住房和城乡建设部数据显示,2018 年高处坠落事故 383 起,占事故总数的 52.2%;2019 年高处坠落事故 415 起,占事故总数的 53.69%。国家能源局数据显示,2018 年高处坠落事故死亡 16 人,占死亡人数的

40%;2019 年,高处坠落造成 14 起事故 20 人死亡,占事故总数的 37%,死亡人数占死亡总人数的 47%。针对高处坠落事故,国内学者采用了诸多不同方法进行研究和探讨。仇国芳等^[1]采用 ISM 方法研究了 2013—2018 年 123 起高处坠落事故的调查报告,选取

收稿日期: 2021-05-17

作者简介: 高黎颖(1990—),男,硕士,工程师,主要从事工程施工安全管理工作。



了19种致因要素,确定了一般事故和较大事故中人和物的影响程度。李彦锋^[2]采用物元可拓理论进行分析,并结合工程实例,对高处坠落产生的原因进行了排序。孙世梅等^[3]运用“2-4”模型对10起典型高处坠落事故从一次性行为和习惯性行为到运行行为等方面进行了分析。刘辉等^[4]采用“2-4”模型对107起高处坠落事故进行统计,分析了建设单位、施工单位、劳务分包单位、监理单位和监管单位的不安全行为发生的次数以及发生率,并提出了相关预防建议。施式亮等^[5]基于AHP-Fuzzy评价方法结合实例对高处坠落危险因素进行了分析,结果表明该评价方法对风险分析具有一定的指导意义。宋少卿等^[6]基于人因失误理论框架(HFACS)的方法研究了建筑施工高处坠落发生的主因,确定了教育培训不到位等7类主因。通过梳理文献资料,国内学者对于高处坠落事故主要关注于导致事故的因素分析,对于实际建设施工过程中产生这些

因素的更深层次的原因未进一步探究,未提出建设性指导意见。

本文通过分析高处坠落事故报告,统计了各类致因要素发生的频率,采用定性与定量相结合的方法计算了每类致因要素对事故的影响程度,并对其进行风险分级,从企业和社会层面提出建议,为防范此类事故提供了参考。

1 高处坠落事故风险因素提取与分析

通过查询全国各地政府和应急管理部门网站公布的高处坠落事故调查报告,选取了2018—2020年57起高处坠落事故,其中2018年26起、2019年27起、2020年4起,主要对调查报告中叙述的导致高处坠落的直接原因和间接原因进行分类和提取,确定了17类致因要素,并按照“人-物-环-管”4个方面进行分类,见图1。

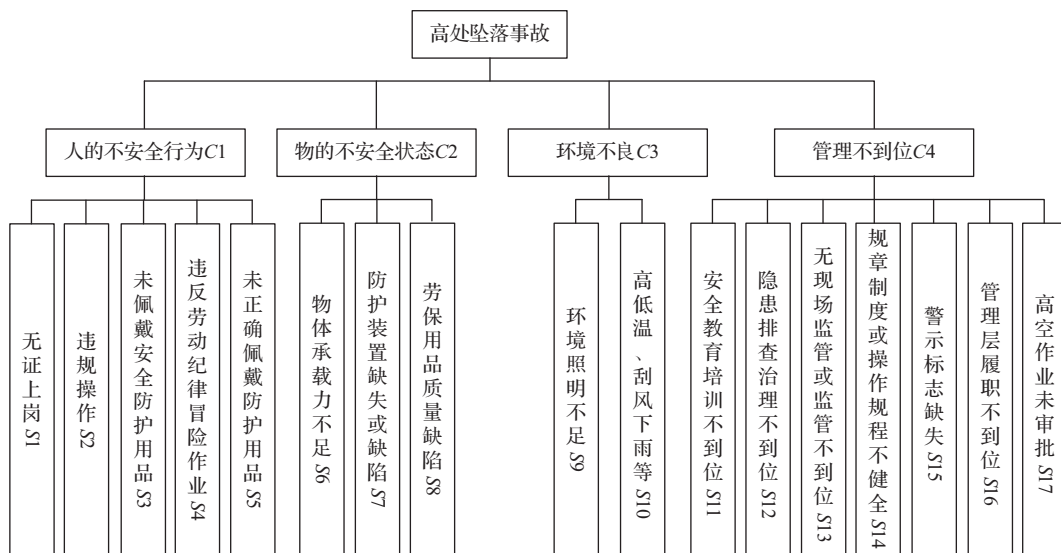


图1 高处坠落事故致因要素

对57起事故17类致因要素进行统计,其出现频率见表1。

a. 通过比较致因要素累计频率,人的不安全行为C1和管理不到位C4是导致事故发生的频率最高的两类因素,其中未佩戴安全防护用品S3和安全教育培训不到位S11是导致高处坠落事故发生频率最高的两类致因要素,表明对作业人员佩戴劳动防护用品进行督

导和开展安全教育培训是预防事故发生的管控重点。

b. 回顾事故调查报告发现,高处坠落往往导致的是一般事故,伤亡人员较少,企业重视程度不足,不能按照“四不放过”原则真正有效落实,导致事故屡有发生。企业应定期开展现场和管理方面全面隐患排查,梳理隐患清单,查找薄弱环节,并进行风险分级,重点管控。

表1 事故致因要素统计

事故分类	事故原因	直接原因		间接原因		累计频率
		频数	频率	频数	频率	
C1	S1	9	15.8%	9	15.8%	31.6%
	S2	7	12.3%	2	3.5%	15.8%
	S3	31	54.4%	1	1.8%	56.2%
	S4	12	21.1%	0	0	21.1%
	S5	9	15.8%	2	3.5%	19.3%
C2	S6	8	14.0%	0	0	14.0%
	S7	12	21.1%	6	10.5%	31.6%
	S8	1	1.8%	0	0.0%	1.8%
C3	S9	1	1.8%	2	3.5%	5.3%
	S10	0	0	1	1.8%	1.8%
C4	S11	0	0	40	70.2%	70.2%
	S12	0	0	21	36.8%	36.8%
	S13	0	0	21	36.8%	36.8%
	S14	0	0	12	21.1%	21.1%
	S15	0	0	6	10.5%	10.5%
	S16	0	0	14	24.6%	24.6%
	S17	0	0	3	5.3%	5.3%

2 模糊事故树理论基础

2.1 模糊事故树计算

事故树中涉及的与门和或门,其传统计算式如下^[7]:

$$P_{\text{and}} = \prod_{i=1}^n p_i \tag{1}$$

$$P_{\text{or}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \tag{2}$$

将上述模糊数的代数运算带入可得模糊事故树的

与门和或门计算式:

$$P_{\text{and}} = \left| \prod_{i=1}^n a_i, \prod_{i=1}^n m_i, \prod_{i=1}^n b_i \right| \tag{3}$$

$$P_{\text{or}} = \left| \left| 1 - \prod_{i=1}^n (1 - a_i) \right|, \left| 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i) \right|, \left| 1 - \prod_{i=1}^n (1 - b_i) \right| \right| \tag{4}$$

式中 p_i ——事件发生的概率;
 P_{and} ——与门事件发生概率;
 P_{or} ——或门事件发生概率;
 $a_i、m_i、b_i$ ——三角模糊数的参数。

2.2 风险等级

根据风险管理理论和实践基础,采用等风险法和事件发生概率来判断风险等级。具体描述标准见表2^[8]。

表2 高处坠落事故风险等级

等级(风险程度)	事故发生概率[0,1]	风险描述
I(高风险)	>0.7	必须采取严格改进措施
II(中等风险)	0.3~0.7	加强监测和管理
III(低风险)	<0.3	开展日常维护管理

3 模糊事故树分析

3.1 构建事故树

假设底事件之间互相独立,且发生概率相同。选取高处坠落为顶事件(T),通过阅读文献资料^[9-10],对上述提取的17类致因要素进一步分类和分解,构建事故树,见图2。

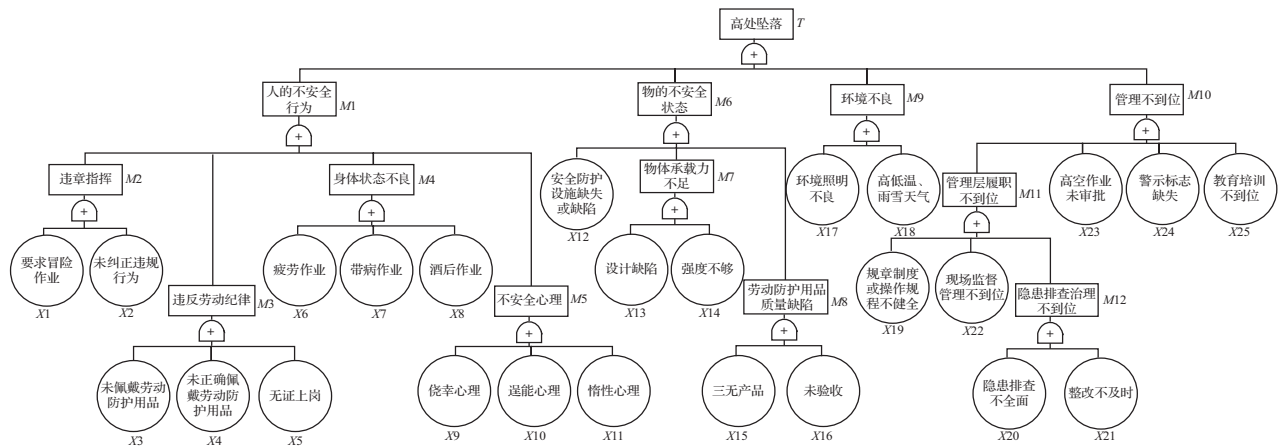


图2 高处坠落事故树

3.2 模糊事故树定性分析

顶事件 $T = M1 + M6 + M9 + M10$, 通过布尔代数法求得:

$$T = X1 + X2 + X13 + X17 + X20 + X3 + X6 + X9 + X15 + X16 + X12 + X18 + X23 + X24 + X25 + X4 + X5 + X7 + X8 + X10 + X11 + X14 + X19 + X22 + X21$$

上式表明导致高处坠落事故发生的最小割集共有 23 个, 即有 23 种可能性导致高处坠落事故发生。其

中, 一阶割集有 21 个, 表示该底事件发生时将导致顶事件发生, 属于重点防控对象; 二阶割集 2 个, 表示两个事件同时发生时将导致顶事件发生。

3.3 模糊事故树定量分析

结合历年高处坠落原因统计估计和专家评判获得了各基本事件的模糊概率。模糊数的左右两侧分布参数 a_i 、 b_i , 根据工程误差范围取为 $\pm 5\%$, 即 $a_i = 0.95m_i$, $b_i = 1.05m_i^{[11]}$, 计算结果见表 3。

表 3 各基本事件的概率中值及左右分布参数模糊概率

符号	模 糊 概 率			符号	模 糊 概 率		
	$a_i = 0.95m_i$	m_i	$b_i = 1.05m_i$		$a_i = 0.95m_i$	m_i	$b_i = 1.05m_i$
X1	0.0190	0.02	0.0210	X14	0.0570	0.06	0.0630
X2	0.0095	0.01	0.0105	X15	0.0190	0.02	0.0210
X3	0.1520	0.16	0.1680	X16	0.0095	0.01	0.0105
X4	0.1140	0.12	0.1260	X17	0.0285	0.03	0.0315
X5	0.1235	0.13	0.1365	X18	0.0190	0.02	0.0210
X6	0.0095	0.01	0.0105	X19	0.1330	0.14	0.1470
X7	0.0095	0.01	0.0105	X20	0.1045	0.11	0.1155
X8	0.0190	0.02	0.0210	X21	0.0855	0.09	0.0945
X9	0.0760	0.08	0.0840	X22	0.0760	0.08	0.0840
X10	0.0095	0.01	0.0105	X23	0.0380	0.04	0.0420
X11	0.0190	0.02	0.0210	X24	0.0475	0.05	0.0525
X12	0.0950	0.10	0.1050	X25	0.1805	0.19	0.1995
X13	0.0285	0.03	0.0315				

根据表 2 和表 3, 计算顶事件和中间事件发生概率分布及其风险等级, 结果见表 4。

表 4 顶事件和中间事件发生概率分布及其风险等级

符 号	事件性质	模 糊 算 子	概 率 分 布	风 险 等 级
T	顶事件	$or(P_{M1}, P_{M6}, P_{M9}, P_{M10})$	0.6638, 0.6835, 0.7023	I (高风险)
$M1$	中间事件	$or(P_{M2}, P_{M4}, P_{M5})$	0.1360, 0.1428, 0.1496	Ⅲ (低风险)
$M2$	中间事件	$and(P_{X1}, P_{X2})$	0.0002, 0.0002, 0.0002	Ⅲ (低风险)
$M3$	中间事件	$or(P_{X3}, P_{X4}, P_{X5})$	0.3415, 0.3569, 0.3721	Ⅱ (中等风险)
$M4$	中间事件	$or(P_{X6}, P_{X7}, P_{X8})$	0.0376, 0.0395, 0.0415	Ⅲ (低风险)
$M5$	中间事件	$or(P_{X9}, P_{X10}, P_{X11})$	0.1022, 0.1074, 0.1127	Ⅲ (低风险)
$M6$	中间事件	$or(P_{X12}, P_{M7}, P_{M8})$	0.1711, 0.1795, 0.1880	Ⅲ (低风险)
$M7$	中间事件	$or(P_{X13}, P_{X14})$	0.0839, 0.0882, 0.0925	Ⅲ (低风险)
$M8$	中间事件	$and(P_{X15}, P_{X16})$	0.0002, 0.0002, 0.0002	Ⅲ (低风险)
$M9$	中间事件	$or(P_{X17}, P_{X18})$	0.0470, 0.0494, 0.0518	Ⅲ (低风险)
$M10$	中间事件	$or(P_{M11}, P_{X23}, P_{X24}, P_{X25})$	0.5074, 0.5266, 0.5453	Ⅱ (中等风险)
$M11$	中间事件	$or(P_{X19}, P_{X22}, P_{M12})$	0.3439, 0.3592, 0.3742	Ⅱ (中等风险)
$M12$	中间事件	$or(P_{X20}, P_{X21})$	0.1811, 0.1901, 0.1991	Ⅲ (低风险)

a. 中间事件 M3(违反劳动纪律)、M10(管理不到位)、M11(管理层履职不到位)均属于中等风险,顶事件 T(高处坠落)属于高风险。因此,事故预防过程中,现场重点查违反劳动纪律行为,管理上重点查管理层履职不到位的现象。

b. 2018 年 2 月能源局发布的《2017 年全国电力安全生产情况及 2018 年电力安全生产重点工作安排》中对 2017 年的死亡事故按事故原因进行的统计分析显示:违反操作规程 32 起,造成 40 人死亡,占事故总起数的 60%,死亡人数占死亡总人数的 64.5%,违反操作规程是导致事故的最主要原因。由此可见,本文分析得到的结论与能源局发布的事故调查原因分析一致,符合实际情况。

3.4 防范措施

结合上述定性和定量分析,为有效改进企业安全生产状况,降低中间事件风险,减少高处坠落事故发生,从企业和社会层面提出以下四项建议:

a. 健全管理层安全履职考核制。管理层对安全的重视程度与企业整体安全管理状况密切相关。除签订安全生产责任书,企业还应建立管理层人员可量化的年度安全履职清单,按照考核要求,由上级管理部门或专职人员对管理层人员年度安全履职情况进行打分和评价,严格绩效考核^[12]。

b. 打造社会和企业双重安全文化。企业安全文化与全体员工的整体素质密切相关,员工的安全素养主要来源于培训和宣传,重点针对现场作业人员、监督管理人员进行专门培训和宣传,杜绝走马观花和浅尝辄止,切实提升其安全素养。同时,倡导政府主导、企业负责、全员参与的安全文化建设理念,借助公共媒体进行广泛宣传,推出新颖、简短、吸引力强的宣传教育片,加大宣传教育的力度和频率,打造全社会参与的安全文化氛围^[13]。

c. 推进安全生产标准化创建。安全生产标准化建设是提升安全生产管理水平的重要途径,其覆盖面广、全员参与性强。地方政府部门应将推动企业安全生产标准化建设作为企业参与经济活动的重要衡量标

准,使得安全生产标准化达标和安全生产许可证一样成为企业生存的必备证件。

d. 严格事故调查处理。高处坠落一般不会造成重大人员伤亡,影响范围有限,导致社会重视程度不够。因此,在“四不放过”的基础上,一是加大事故处罚力度,重点对事故责任人、相关人员和管理层进行强制封闭式安全培训和考核;二是限制企业社会经济活动,只给发生事故企业一年内最低等级参与经济活动的资格;三是全社会共同监督,发生事故企业在其网站显著位置公布整改计划,开展为期一年的隐患整治,让全社会共同监督,进一步提高企业事故处理成本,推动企业重视安全生产工作。

4 结 论

a. 通过搜集和分析 57 份事故报告,统计得到了 17 类致因要素发生频率,确定了未佩戴劳动防护用品和安全教育培训不到位是发生频率最高的致因要素,为后续模糊事故树分析奠定了基础。

b. 结合模糊事故树模型,将 17 类致因要素进一步分类和分解为 25 项事故因素,得到了违反劳动纪律、管理不到位和管理层履职不到位为中等风险,为现场和管理中控制事故提供依据。

c. 针对高处坠落高发、频发态势,从企业和社会发展层面提出了四点建议,可为营造社会安全文化,建立社会安全心理提供参考。◆

参考文献

- [1] 仇国芳,郑艳,张涑贤. 基于 ISM 的建筑施工高处坠落事故致因分析[J]. 安全与环境学报,2019,19(3):867-873.
- [2] 李彦锋. 水利水电工程高处坠落安全风险模拟分析[J]. 黑龙江水利科技,2019,47(7):56-60.
- [3] 孙世梅,赵金坤,傅贵. 基于“2-4”模型的高处坠落事故行为原因研究[J]. 中国安全科学学报,2019,29(8):23-28.
- [4] 刘辉,郑向尧,孙世梅,等. 建筑施工高处坠落事故组织行为原因分析研究[J]. 工业安全与环保,2019,45(12):19-22.
- [5] 施式亮,刘勇,李润求,等. 基于 AHP-Fuzzy 的高处坠落危险性评价研究[J]. 中国安全生产科学技术,2011,7(2):132-137.

(下转第 50 页)



新疆开都河山区水电梯级综合调度探讨

刘建军

(新疆水利水电勘测设计研究院,新疆 乌鲁木齐 830000)

【摘要】 随着开都河山区河段水电梯级逐步建设投产,水电梯级随电力系统负荷变化频繁调峰运行,造成日内下泄流量不稳定,给下游灌区引水带来困难。为解决水调与电调之间运行不匹配的问题,提出末级小山口水电站承担发电反调节功能的调度运行方案,以协调“电调”与“水调”之间的运行矛盾,达到“电调服从水调,水调支持电调”的和谐局面。此方案对于指导开都河流域水电梯级科学运行具有重要的现实意义。

【关键词】 开都河;电调服从水调;水电梯级;调峰运行;综合调度

中图分类号: TV213.2

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-056-05

Discussion on hydropower cascade comprehensive scheduling in Xinjiang Kaidu River Mountainous Area

LIU Jianjun

(Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research Institute, Urumqi 830000, China)

Abstract: Hydropower cascades frequently adjust the peaks for operation with power system load changes after the gradual construction and operation of river section hydropower cascades in Kaidu River Mountainous Area, thereby leading to instable intra-day discharge. It is difficult to divert water to downstream irrigation areas. The scheduling operation scheme is proposed, namely the final stage Xiaoshankou Hydropower Station undertakes the function of power generation reverse regulation in order to solve the problem of operation mismatch between water regulation and electricity regulation, thereby coordinating the operation contradiction between “electricity regulation” and “water regulation”, and achieving a harmonious situation of “electricity regulation obeys water regulation, and water regulation supports electricity regulation”. The scheme has important practical significance for guiding scientific operation of hydropower cascade in Kaidu River Basin.

Keywords: Kaidu River; electric regulation obeys water regulation; hydropower cascade; peak regulation operation; comprehensive scheduling

1 引言

开都河发源于天山南坡,流经和静、焉耆、博湖三县,最终注入博斯腾湖。拥有丰富的水资源及水能资源,是流域 300 万亩灌区的主要水源,同时蕴藏着

1420MW 水能资源。目前山区河段已建梯级电站 7 座,总装机容量 781MW,其中 4 座具有调节能力,总调节库容 8376 万 m^3 ,可向电网提供清洁的电力能源,为当地社会经济发展保驾护航。

伴随着开都河山区河段水电梯级的逐步建成投

收稿日期: 2021-04-28

作者简介: 刘建军(1983—),男,硕士,高级工程师,主要从事水利水电工程规划与设计工作。

产,水库调节能力增强,对天然径流调蓄能力增加。水电梯级运行按照电网调峰运行的要求,随电网电力系统负荷变化频繁调峰,造成各梯级水电站日内下泄流量不稳定,负荷低谷时,甚至长时间无水下泄,负荷高峰时,又出现大流量下泄。开都河拦河引水枢纽断面来水流量忽大忽小,给灌区正常引水造成困难,同时也给下游灌区防洪造成压力。

本文针对开都河山区水电梯级运行与下游灌区引水不协调,开展开都河山区水电梯级综合调度研究,提出流域“水调”的要求,为“电调”运行提供依据,从而实现流域水资源和水能资源之间“电调服从水调”和“水调支持电调”的和谐局面,这对指导开都河流域水电梯级科学运行具有重要的现实意义。

2 水电梯级调度对径流过程影响分析

开都河干流已建的“1库7级”梯级水电站中具有调节能力的水库有察汗乌苏(调节库容0.724亿 m^3)、柳树沟(调节库容0.037亿 m^3)、大山口(调节库容0.04亿 m^3)和小山口水电站(调节库容0.071亿 m^3),其中具有不完全年调节能力、能够对年内径流时空分布产生影响的只有察汗乌苏水电站,因此,在分析梯级水电站调度对年内径流分配的影响时,仅针对察汗乌苏水电站。

2.1 水电梯级调度对年内径流过程的影响分析

察汗乌苏水电站坝址断面多年平均年径流量为33.75亿 m^3 ,6、7、8月三个月是丰水期,径流量占全年径流量的44.78%,1、2、12月为枯水期,径流量占全年径流量的11.53%。

根据察汗乌苏水库1956—2007年共52年径流系列资料及水库的特征库容参数进行长系列径流调节计算分析。经水库调蓄后,坝址断面多年平均年径流量为33.46亿 m^3 ,出库断面径流量减少主要是由于水库蒸发渗漏损失,其水库的入库和出库过程见图1。

从径流年内分配过程来看,枯水期1、2、3月径流量有所增加,径流量由天然的3.76亿 m^3 增加至水库调蓄后的3.85亿 m^3 ,增加2.3%,增加幅度不大;4至5月中旬(4月5日—5月20日)的春灌时期出库流量有

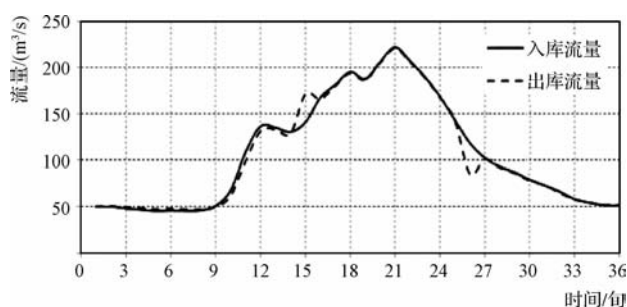


图1 察汗乌苏水电站入库与出库流量对比

所减少,径流量由天然的5.06亿 m^3 减少至4.85亿 m^3 ,减少4.2%,由于察汗乌苏水库的调蓄作用,水库的下泄水量小于天然来水,对开都河流域灌区的春灌供水造成潜在不利影响。10月中旬至11月上旬(10月20日—11月10日)的冬灌时期出库水量有所减少,由天然径流量的2.10亿 m^3 减少至出库水量的2.08亿 m^3 ,减少0.7%,由于察汗乌苏水库的调蓄作用,水库的下泄水量较建库前有所变化,受水库调蓄能力的限制,总体变化不大。

对比察汗乌苏水电站的出库过程与下游灌区用水需求,在52年径流系列中,破坏年份有44年,破坏年份较多,但供水破坏深度大部分不大,年供水量最少出现在枯水年1986年,为10.52亿 m^3 ,供水满足程度为90.7%,其他年份的供水满足程度均在92%以上,供水破坏深度较小。由长系列径流调节计算分析可知,由于察汗乌苏水库的调蓄能力有限,其调度运行对年内径流过程的改变程度不大。

2.2 水电梯级调度对日内径流过程的影响分析

开都河灌区电调和水调之间的主要矛盾期为春灌和冬灌期,春灌期典型日4月21日干流各梯级水电站的实际出库流量与下游灌区实际需水流量对比见图2,冬灌期典型日10月2日的对比见图3。

由春灌期和冬灌期典型日的出库流量和下游灌区需水流量对比可知:

a. 四座具有调节能力的梯级水电站在电网中均承担调峰任务,根据电网负荷要求调度运行,下泄流量不均匀,忽大忽小,甚至出现断流,给下游灌区引水造成困难,尤其在4月至5月上旬的春灌和10月下旬至

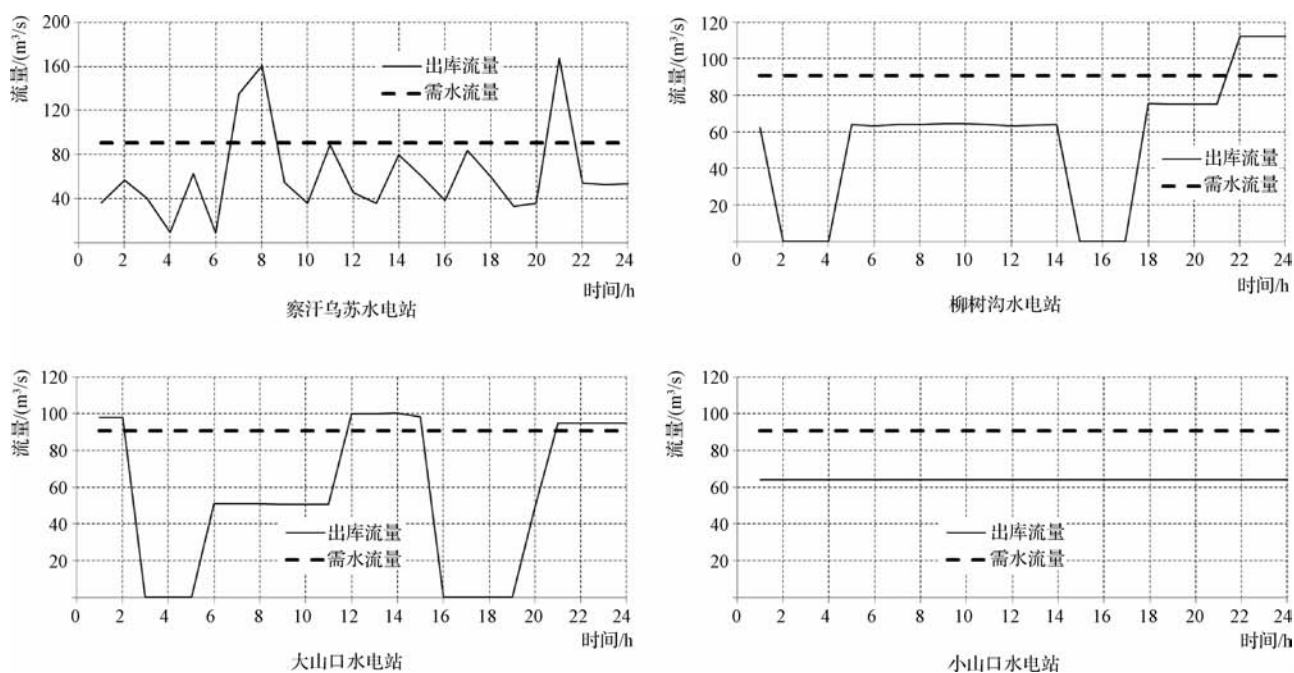


图2 春灌期典型日(4月21日)各水电站下泄流量与灌区需水流量对比

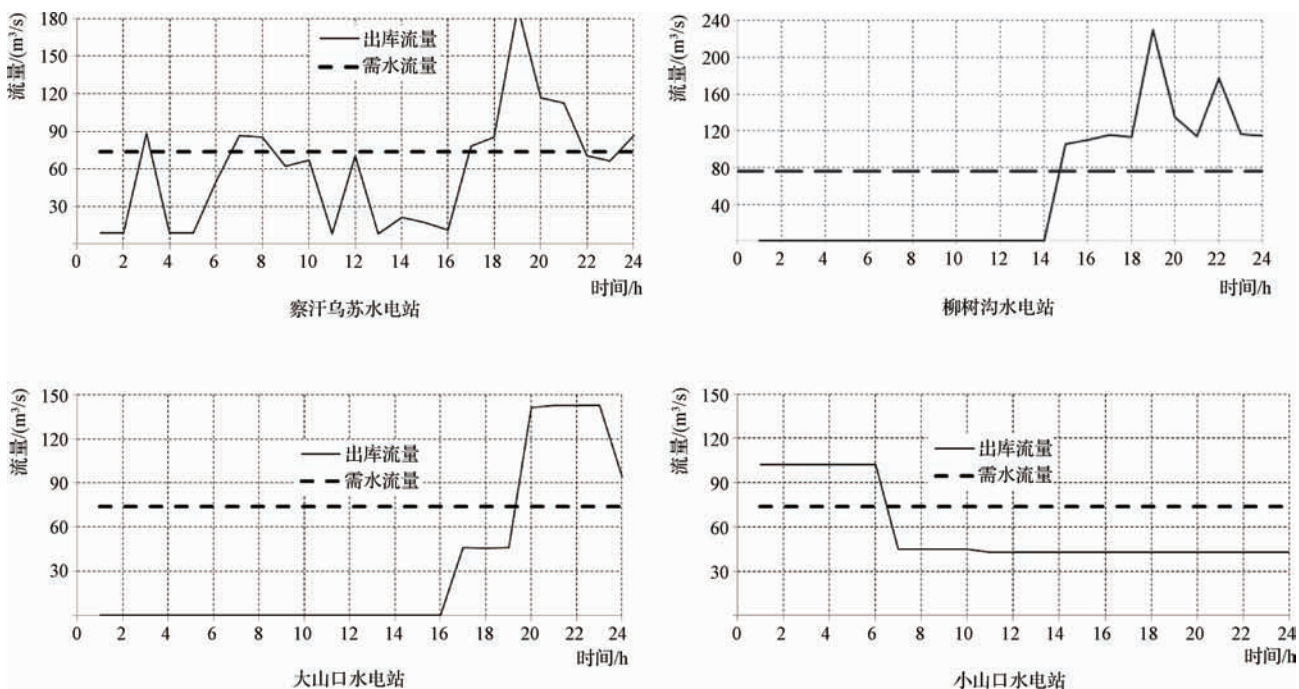


图3 冬灌期典型日(10月2日)各水电站下泄流量与灌区需水流量对比

11月上旬的冬灌,梯级水电站运行与灌区用水之间的矛盾尤为突出。

b. 察汗乌苏水电站调峰能力最大,日内出力变幅最大,下泄流量极不均匀,给下游梯级水电站的运行、灌区引水和防洪安全带来困难。

c. 4月灌区开始春灌用水,天然来水较小,梯级水电站运行与灌区用水开始产生矛盾,从4月下旬的春灌开始两者之间矛盾逐步凸显。

d. 10月下旬至11月上旬开都河流域灌区农业灌溉用水进入冬灌期,此时开都河天然来水逐渐减少,梯

级水电站的调峰运行与开都河流域灌区冬灌用水矛盾较为突出。

从开都河径流资料和开都河流域灌区用水量来看,水量能够满足下游灌区需水要求,造成下游灌区引水困难的是梯级水电站在电网中调峰运行,日内下泄流量极为不均,忽大忽小的下泄流量给下游灌区的引水造成困难,甚至出现河道断流现象,因此迫切需要开都河已建各梯级水电站统一调度,协调电站下泄流量与下游灌区用水之间的矛盾。

3 水电梯级综合调度方案拟定和分析

3.1 梯级综合调度方案拟定

结合上述已建水电站梯级布置情况、水库对径流年内和日内径流过程影响的分析成果以及已建梯级电站调度存在的主要问题,以满足下游灌区引水量下泄要求为目标,拟定两组梯级电站综合调度方案。

方案一:依据“电调服从水调”原则,各梯级水电站部分容量在电网的基荷运行。

根据下游灌区的用水需求,安排各梯级水电站的部分机组在电网的基荷运行,依据下游灌区的需水要求结合供水进行发电,各梯级电站均承担下泄供水任务。

方案二:依据“水调支持电调”原则,最末梯级小山水电站承担上游各梯级反调节任务。

小山水电站是开都河干流最后一级具有调节能力的水电站,调节库容 706 万 m^3 ,满足承担上游梯级水电站反调节任务所需要的调节库容。上游各梯级水电站可根据电网的负荷需求运行,下泄不均匀的流量,在小山水电站考虑发电反调节功能,利用调节库容对不均匀的来水进行调蓄,以满足下游灌区用水要求。

3.2 梯级综合调度方案效果分析

对比分析为解决“电调”与“水调”之间的矛盾而拟定的综合调度方案,综合评价两组方案的优缺点,推荐合理的调度运行方案。

3.2.1 方案一调度实施方案评价

a. 优点:①各梯级水电站均承担下游灌区的供水任务,部分机组安排在电网的基荷运行,将下泄流量的

责任分摊给各梯级水电站,责任明确,便于监督管理;②各梯级水电站根据下游灌区灌溉用水的要求,结合下游灌区用水进行发电,实现“电调服从水调”的调度要求,灌区用水有保证。

b. 缺点:①各梯级水电站的部分装机容量始终在电力系统基荷运行,可用于调峰的容量减小,电站整体负荷调节速度和负荷波动幅度降低,电站调度运行不够灵活;②梯级水电站在电网基荷运行时,会因出力过小而造成机组运行不稳,机组振动,给水电站的安全运行带来潜在隐患。

3.2.2 方案二调度实施方案评价

a. 优点:①充分发挥了察汗乌苏、柳树沟和大山水电站的调峰能力,为稳定安全的电网运行提供调峰、调频和事故备用电源点;②上游察汗乌苏、柳树沟和大山口三级水电站的调度运行可根据电网的负荷要求进行调度,在满足“水调”要求的情况下,较大程度满足“电调”要求;③小山水电站承担上游各梯级调峰运行的反调节任务,按下游灌区用水要求,结合供水进行发电,满足“水调”要求,对“电调”要求适应较差,虽然影响了小山水电站发电调峰效益,但该方案符合“电调服从水调,水调支持电调”的原则,各梯级水电站运行较灵活。

b. 方案缺点:①小山水电站被赋予新的任务,部分发电库容用于调节上游来水,发电额定水头有所降低,发电量减少,给小山水电站带来部分经济损失;②小山水电站隶属新华公司,供电范围为巴州电网,和上游各梯级水电站属不同管理单位和供电电网,对于该运行方案带来的经济损失,需各梯级水电站管理单位或电网酌情协商补偿。

由以上两种调度实施方案的分析评价可知,加强流域各梯级水电站的统一管理和统一调度,可以从管理上解决方案二的运行问题。目前塔里木河流域管理局作为流域机构的管理单位,可以实现流域水资源管理的统一调配,因此,推荐采用方案二,即小山水电站承担上游各梯级水电站的反调节任务,将上游梯级水电站下泄水量调节均匀,使下泄满足下游灌区的用水要求。



4 结 论

随着河流山区河段水能资源的不断开发,逐步形成了一条河流多座水电站梯级布置的格局,梯级水电站对天然径流进行调蓄,改变了天然径流过程。由于各水电站隶属不同管理单位和不同的供电范围,各自为政,造成“电调”和“水调”之间的用水矛盾。本文通过分析水电各梯级实际运行数据,揭示“水调”和“电调”之间矛盾的根源,进行开都河山区水电梯级综合调度研究,提出流域“水调”的要求,为“电调”运行提供依据,以实现流域水资源和水能资源之间“电调服从水调”和“水调支持电调”的和谐局面,这对于开都河流域水电梯级科学运行具有重要的现实意义,也可为其他流域解决类似问题提供科学经验。◆

参考文献

- [1] 任培强. 开都河出山口以下河段年径流量沿程损失率分析[J]. 新疆水利, 2014(3): 12-17.
- [2] 董延军, 李杰, 石贻贻, 等. 流域管理中电调与水调关系问题探讨[J]. 广东水利水电, 2009(8): 1-3.
- [3] 司马义·阿布都热合曼. 基于改进型极限学习机的新疆库尔勒市城市需水量预测[J]. 水资源开发与管理, 2017(7): 61-65.
- [4] 刘红岭, 蔡建章, 蔡华祥. 季调节水电站枯水期调度研究[J]. 云南电力技术, 2015, 43(1): 102-106, 137.
- [5] 吴钢, 刘磊, 李浩. 浅谈当前中国水库运行管理中存在的主要问题及对策建议[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(11): 96-98.
- [6] 唐新华, 周建军. 梯级水电群联合调峰调能研究[J]. 水力发电学报, 2013, 32(4): 260-266.
- [7] 赵晓溪. 新疆开都河小山口三级水电站建设与管理模式浅析[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(10): 74-76.
- [8] 赵少军. 新疆开都-孔雀河流域地表水与地下水统一管理探讨[J]. 水利规划与设计, 2017(2): 25-27.
- [9] 孙志远. 博斯腾湖环境风险识别体系构建探究[J]. 水资源开发与管理, 2017(10): 51-54.
- [10] 韩艳, 姜秀娟. 云南省干旱特点分析及典型干旱的确定[J]. 水资源开发与管理, 2018(2): 52-54.
- [11] 时新峰. 开都河流域水资源的开发利用及管理[J]. 水利规划与设计, 2014(7): 48-49, 52.

(上接第1页)御能力,增强洪水调蓄能力,确保蓄滞洪区功能。四要实施国家水网重大工程,提升水资源优化配置能力。加快国家水网建设,推进省级水网建设,打通国家水网“最后一公里”。五要复苏河湖生态环境,维护河湖健康生命。开展母亲河复苏行动,保障河湖生态流量,加强河湖保护治理,强化地下水超采治理,推进水土流失综合防治。六要加快建设数字孪生流域和数字孪生工程,强化预报预警预演预案功能。做好顶层设计,构建数字化场景,开展智慧化模拟,建设水利智能业务应用系统。七要建立健全节水制度政策,提升水资源集约节约利用能力。健全初始水权分配和交易制度,严格水资源保护监管措施,深入实施国家节水行动,打好黄河流域深度节水控水攻坚战。八要强化体制机制法治管理,不断提升水利治理能力和水平。强化流域治理管理,推动河湖长制有能有效,健全工程建设管理和运行管护机制,深化水利重点领域

改革,完善水利法治体系。九要加强水利行业能力建设,夯实水利高质量发展基础。抓好水利干部队伍队伍建设,强化水利科技基础支撑,推动水利国际交流合作,进一步转变政府职能。十要纵深推进全面从严治党,引领保障新阶段水利高质量发展。强化政治引领,抓实组织建设,坚定不移推进党风廉政建设和反腐败斗争。

会议以视频形式召开。南水北调集团公司负责同志,水利部总经济师,驻部纪检监察组负责同志,部机关各司局、在京直属各单位主要负责同志在主会场参加会议。京外直属各单位,各省、自治区、直辖市水利(水务)厅(局),各计划单列市水利(水务)局,新疆生产建设兵团水利局负责同志在分会场参加会议。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202201/t20220107_1558779.html,日期:2022年1月7日)

博弈论融合权重-短板理论 在堤防安全综合评价中的应用

张清明^{1,2} 徐 帅³ 汪自力^{1,2}

- (1. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003;
2. 水利部堤防安全与病害防治工程技术研究中心, 河南 郑州 450003;
3. 黄河水资源保护科学研究院, 河南 郑州 450003)

【摘 要】 堤防工程是抵御洪水、保障人民生命财产安全的重要防洪工程之一。为掌握堤防工程安全状况, 本文构建了包含堤身土质特性、堤身隐患、堤基结构、除险加固措施、洪水特性及河势变化等因素的多层次多目标的综合评价指标体系。利用博弈论思想将层次分析法(AHP)与熵值法进行优化组合来确定指标的融合权重, 兼顾了赋权专家的主观意见和评价指标的客观性, 并引入基于短板理论的综合指数法, 利用对数函数在指标崩溃时体现其短板效应, 通过非线性分等定级进行堤防安全状况评价。工程实例分析表明权重的确定科学合理, 可为堤防工程安全综合评价提供可靠依据。

【关键词】 堤防工程; 安全评价; 博弈论; 短板理论

中图分类号: TV871

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)01-061-05

Application of game theory fusion weight and short-board theory in comprehensive evaluation of dike engineering safety

ZHANG Qingming^{1,2}, XU Shuai³, WANG Zili^{1,2}

- (1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China;
2. Research Center on Levee Safety Disaster Prevention, MWR, Zhengzhou 450003, China;
3. Yellow River Water Resources Protection Scientific Research Institute, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Dike engineering is one of the important flood control projects to resist floods and ensure the safety of people's lives and property. A multi-level and multi-objective comprehensive evaluation index system is established in the paper, which includes factors such as soil properties of dike, hidden dangers of dike, dike base structure, risk removal and reinforcement measures, flood characteristics, river regime change, etc. in order to grasp the safety situation of dike engineering. The game theory thought is utilized to optimize and combine analytic hierarchy process (AHP) and entropy method. The subjective opinions of the empowered experts and the objectivity of the evaluation indicators are considered comprehensively. The comprehensive index method based on the short-board theory is introduced. The logarithmic function is utilized to reflect the short-board effect during index collapse. The safety of dike is evaluated by non-linear grading. The

收稿日期: 2021-03-29

基金项目: 水利重大科技问题研究专项(201911); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2019-15、HKY-JBYW-2020-31)

作者简介: 张清明(1983—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事堤防工程安全保障关键技术研究。

analysis of an engineering example shows that the weights are determined scientifically and rationally, thereby providing reliable basis for comprehensive evaluation of dike engineering safety.

Keywords: dike engineering; safety evaluation; game theory; short-board theory

1 引言

堤防工程可有效抵御洪水等自然灾害,保障人民的生命财产安全,是国家经济和社会发展的生命线^[1]。我国现有的堤防多是历史上经过多次加高、延长、决口、修复加固而逐渐形成的,由于堤防填筑土体材料的不均匀性、复杂性和施工技术水平的限制,汛期易产生不同程度的渗透破坏、滑坡等问题,为了确保堤防工程安全,需对工程存在的潜在危险和严重程度进行分析和评价。本次评价研究构建了堤防工程多层次多目标的综合评价指标体系,利用博弈论思想将层次分析法

与熵值法计算权重进行优化融合,采用基于短板理论的综合指数法对堤防安全状况进行非线性分等级评价。

2 堤防工程安全评价指标集

影响堤防工程安全的因素众多,总体上分为内部因素和外部因素,其中堤身土质特性、堤身隐患、堤基结构、防护措施和除险加固措施等是影响堤防安全的内部因素,洪水特性及河势变化则是影响堤防工程安全最重要的外部因素。根据堤防工程的特点,建立堤防工程多层次多目标的综合评价指标体系,见图1。

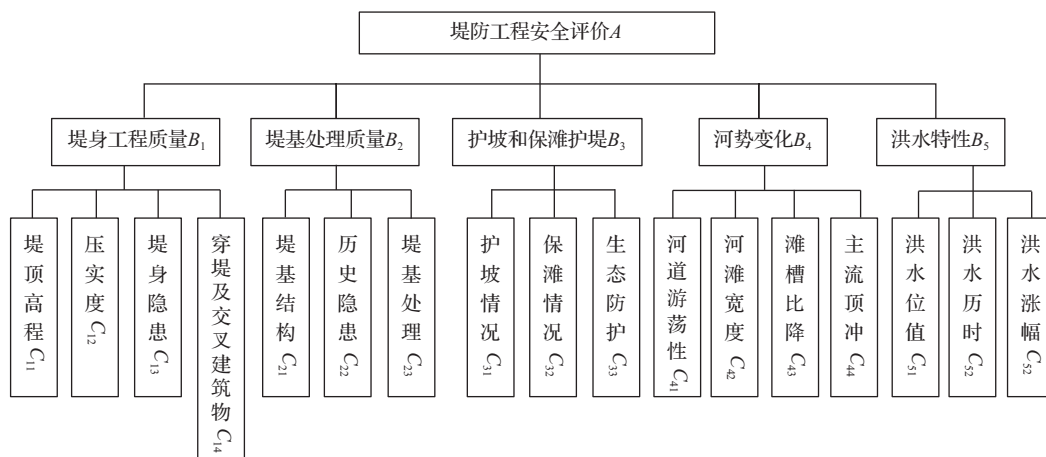


图1 堤防工程综合评价指标体系

3 博弈论融合权重

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 首先是建立一个多层次的递阶结构,然后将每一层次的各项要素相对于上一层次的各项要素用成对比较法和1~9比较尺度构造判断矩阵,最后由判断矩阵计算指标权重向量并做一致性检验^[3]。熵值法由评价指标构成的判断矩阵来确定指标权重,指标的信息熵值越小,说明该指标提供的有效信息量越大,指标的权重也越大;反之亦然^[4]。

为了兼顾赋权专家的主观意见和评价指标的客观

性,采用博弈论思想进行指标权重的优化组合,目的是寻找最满意的组合权重 w^* ,使得组合权重 w^* 与各个权重 w 的离差最小化^[5]。为避免不同赋权方法算得的权重相互矛盾,在权重融合前对不同赋权方法所得权重进行一致性检验,当 $0 \leq d(w^{(1)}w^{(2)}) \leq 1$ 时,认为两种赋权方法所得权重通过一致性检验。

$$d(w^{(1)}w^{(2)}) = \left[\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (w_j^{(1)} - w_j^{(2)})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中 $d(w^{(1)}w^{(2)})$ ——距离函数;

$w_j^{(1)}$ 、 $w_j^{(2)}$ ——第 j 项评价指标的 AHP 权重和

熵值法权重。

记 n 种赋权方法构造的基本权重集 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 这 n 个向量的线性组合为

$$W = \sum_{k=1}^n a_k^* w_k^T, \quad a_k > 0 \quad (2)$$

式中 W ——融合权重向量;

a_k^* ——归一处理后的融合权重系数;

w_k ——第 k 种赋权方法的权重向量转置。

则根据博弈论思想导出决策模型为

$$\min \left\| \sum_{j=1}^n a_j w_j^T - w_i^T \right\|_2, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

根据矩阵的微分性质, 矩阵求导后得到最优化一阶导数为

$$\sum_{j=1}^n a_j w_j w_j^T = w_i w_i^T, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中 a_j ——线性组合系数, $a_j = (a_1, a_2, \dots, a_n)$;

w_i, w_j ——不同赋权方法的权重向量;

w_i^T, w_j^T ——不同赋权方法的权重向量转置。

求解 a_j , 归一化处理后得到融合权重系数为

$$a_k^* = \frac{|a_j|}{\sum_{j=1}^n |a_j|} \quad (5)$$

式中 a_k^* ——归一处理后的融合权重系数;

a_j ——线性组合系数。

4 基于短板理论的综合指数法

短板理论核心内容为:一只木桶盛水的多少,并不取决于桶壁上最高的那块木块,而恰恰取决于桶壁上最短的那块^[6]。短板原理应用于堤防工程安全评价,可将木块数比作指标体系的各项指标,木块的宽度比作各项指标的权重,木块的高度比作各项指标的得分,即相应的工程安全状况。研究引入基于短板原理的综合指数法,利用对数函数将乘法转换为加法,从而在指标崩溃时体现其短板效应,提高评价结果的合理性,堤防工程安全评价价值 S 可表示为

$$S = \sum_{i=1}^n (\lg L_i \cdot W_i) \quad (6)$$

式中 L_i ——评价指标体系中第 i 指标的评价值;

W_i ——第 i 指标对应的融合权重。

参照《堤防工程安全评价导则》,综合堤防工程实

际情况,将堤防工程的安全性划分为 3 个等级:当安全平均值 $S > 1.9$ 时,认为堤防安全性态“优良”,当安全平均值 $S > 1.7$ 时,认为堤防安全性态“合格”,否则为“不合格”。

5 工程应用

5.1 工程概况

本文以范县黄河堤防为例进行剖析,范县黄河堤防位于黄河下游临黄大堤左岸,为游荡性向弯曲性过渡的过渡性河段,上自彭楼与濮阳县交界,下至寇庄村与台前县交界,堤防全长 41.595km,堤顶宽 9.00 ~ 12.00m,临河、背河边坡比为 1:3,纵比降为 1:10000,临背河地面悬差 1.00 ~ 3.00m。范县黄河堤防设计洪水为 2000 年标准,设防标准为防御花园口 22000m³/s。

5.2 堤防工程安全评价指标集构建

范县黄河堤防是在历代民埝基础上多次加修形成的,土质多是砂性土,堤基坐落在黄河冲积层上,堤身和堤基存在着许多隐患,为提高堤防防洪能力,范县黄河堤防全线进行了淤背加固或修筑了截渗墙,同时修建了 4 处险工和 85 处坝垛以控导主流。影响范县黄河堤防安全的因素包括堤身填筑、堤基处理、堤岸防护、河势变化、洪水特性和除险加固等,为评价范县黄河堤防工程安全性,结合工程特点,研究构建了范县黄河堤防工程安全综合评价指标集,并对各评价指标进行安全打分赋值,见表 1。

表 1 范县黄河堤防工程安全综合评价指标集及赋值结果

评价指标		赋 值	专家 1	专家 2	专家 3
范县黄河堤防工程安全评价 A	堤身工程质量 B ₁	堤顶高程 C ₁₁	84	83	82
		压实度 C ₁₂	85	90	86
		堤身隐患 C ₁₃	70	75	73
		堤身淤背加固 C ₁₄	81	82	85
	堤基处理质量 B ₂	堤基结构 C ₂₁	77	79	78
		历史隐患 C ₂₂	72	75	72
		堤基截渗处理 C ₂₃	77	85	86

续表

评价指标			赋值	专家1	专家2	专家3
范县黄河堤防工程安全评价A	护坡和保滩护堤B ₃	护坡情况C ₃₁		77	75	78
		保滩情况C ₃₂		80	82	83
		生态防护C ₃₃		78	80	80
	河势变化B ₄	河道游荡性C ₄₁		89	88	86
		河滩宽度C ₄₂		87	85	84
		滩槽比降C ₄₃		83	82	80
		主流顶冲C ₄₄		91	87	88
	洪水特性B ₅	洪水位值C ₅₁		90	88	89
		洪水历时C ₅₂		88	86	85
		洪水涨幅C ₅₃		89	89	86

5.3 AHP法和熵值法权重计算

根据层次分析法求得各指标体系的权重: $A-B=(0.2474, 0.3923, 0.1672, 0.1098, 0.0833)^T$, $B_1-C=(0.2809, 0.3397, 0.2390, 0.1404)^T$, $B_2-C=(0.5396, 0.2969, 0.1634)^T$, $B_3-C=(0.2500, 0.2500, 0.5000)^T$, $B_4-C=(0.1890, 0.3509, 0.3509, 0.1091)^T$, $B_5-C=(0.1634, 0.2969, 0.5396)^T$ 。

根据熵值法求得各指标体系的权重: $C_{1j}=(0.0138, 0.0873, 0.1141, 0.0600)^T$, $C_{2j}=(0.0156, 0.0532, 0.3418)^T$, $C_{3j}=(0.0377, 0.0333, 0.0202)^T$, $C_{4j}=(0.0289, 0.0303, 0.0333, 0.0521)^T$, $C_{5j}=(0.0120, 0.0297, 0.0369)^T$ 。

采用AHP法和熵值法计算各评价指标的权重,见表2。

表2 AHP法和熵值法计算各评价指标的权重值

评价指标			指标权重	AHP法	熵值法
范县黄河堤防工程安全评价A	堤身工程质量B ₁	堤顶高程C ₁₁		0.0695	0.0138
		压实度C ₁₂		0.0840	0.0873
		堤身隐患C ₁₃		0.0591	0.1141
		堤身淤背加固C ₁₄		0.0347	0.0600
	堤基处理质量B ₂	堤基结构C ₂₁		0.2117	0.0156
		历史隐患C ₂₂		0.1165	0.0532
		堤基截渗处理C ₂₃		0.0641	0.3418

续表

评价指标			指标权重	AHP法	熵值法
范县黄河堤防工程安全评价A	护坡和保滩护堤B ₃	护坡情况C ₃₁		0.0418	0.0377
		保滩情况C ₃₂		0.0418	0.0333
		生态防护C ₃₃		0.0836	0.0202
	河势变化B ₄	河道游荡性C ₄₁		0.0208	0.0289
		河滩宽度C ₄₂		0.0385	0.0303
		滩槽比降C ₄₃		0.0385	0.0333
		主流顶冲C ₄₄		0.0120	0.0521
	洪水特性B ₅	洪水位值C ₅₁		0.0136	0.0120
		洪水历时C ₅₂		0.0247	0.0297
		洪水涨幅C ₅₃		0.0449	0.0369

5.4 博弈论融合权重计算

5.4.1 一致性检验

将层次分析法和熵值法计算得到的权重进行一致性检验,采用式(1)计算距离函数 $d(w^{(1)}w^{(2)})=0.2572$,在 $[0,1]$ 范围内,通过一致性检验。

5.4.2 融合权重计算

根据矩阵求导后得到的最优化一阶导数式(4)建立线性方程组为

$$\begin{bmatrix} w_1 w_1^T & w_1 w_2^T & \cdots & w_1 w_n^T \\ w_2 w_1^T & w_2 w_2^T & \cdots & w_2 w_n^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n w_1^T & w_n w_2^T & \cdots & w_n w_n^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 w_1^T \\ w_2 w_2^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

将AHP法和熵值法计算得到的评价指标权重值代入线性方程组

$$\begin{cases} 0.0959a_1 + 0.0594a_2 = 0.0959 \\ 0.0594a_1 + 0.1552a_2 = 0.1552 \end{cases} \quad (8)$$

解得线性组合系数 $a_1=0.4989$, $a_2=0.8091$,将其按式(5)归一化处理后得到融合权重系数 $a_1^*=0.3814$, $a_2^*=0.6186$,根据式(2)计算得到基于博弈论思想的融合权重向量,见表3。

5.5 基于短板理论的堤防工程安全综合评价

根据范县黄河堤防评价指标的融合权重,采用式(6)计算的基于短板理论的堤防工程安全综合评价值为1.9092,根据堤防安全等级划分可知,该堤防工程安全状态优良。

表3 基于博弈论思想的融合权重向量计算结果

评价指标		指标权重	AHP 法	熵值法	博弈论融合权重
范县黄河堤防工程安全评价 A	堤身工程 质量 B_1	堤顶高程 C_{11}	0.0695	0.0138	0.0350
		压实度 C_{12}	0.0840	0.0873	0.0861
		堤身隐患 C_{13}	0.0591	0.1141	0.0931
		堤身淤背加固 C_{14}	0.0347	0.0600	0.0503
	堤基处理 质量 B_2	堤基结构 C_{21}	0.2117	0.0156	0.0904
		历史隐患 C_{22}	0.1165	0.0532	0.0773
		堤基截渗处理 C_{23}	0.0641	0.3418	0.2359
	护坡和保 滩护堤 B_3	护坡情况 C_{31}	0.0418	0.0377	0.0393
		保滩情况 C_{32}	0.0418	0.0333	0.0365
		生态防护 C_{33}	0.0836	0.0202	0.0444
	河势变化 B_4	河道游荡性 C_{41}	0.0208	0.0289	0.0258
		河滩宽度 C_{42}	0.0385	0.0303	0.0335
		滩槽比降 C_{43}	0.0385	0.0333	0.0353
		主流顶冲 C_{44}	0.0120	0.0521	0.0368
	洪水特性 B_5	洪水位值 C_{51}	0.0136	0.0120	0.0126
		洪水历时 C_{52}	0.0247	0.0297	0.0278
		洪水涨幅 C_{53}	0.0449	0.0369	0.0400

6 结 语

本文在考虑影响堤防工程安全的外部因素和内部因素的基础上,构建了堤防工程多层次多目标的综合评价指标体系,利用博弈论思想将层次分析法与熵值法进行优化组合来确定指标的融合权重,采用基于短板理论的综合指数法非线性分等定级评价堤防安全状况。工程实例分析表明,评价模型中博弈论融合权重

综合考虑了专家的主观意愿和客观事实,使得权重的确定更具科学性和合理性,为堤防工程安全综合评价提供了可靠依据。◆

参考文献

- [1] 牛贺道,胡建华. 堤防安全评价探讨[J]. 水利建设与管理, 2006, 26(2): 72-74.
- [2] 陈红. 堤防工程安全评价方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2004.
- [3] 谢婕, 龚政, 陈永平, 等. 海堤安全评价指标体系的构建及应用[J]. 水利水电科技进展, 2016, 36(2): 59-63, 68.
- [4] 曹云. 堤防风险分析及其在板桥河堤防中的应用[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [5] 介玉新, 胡韬, 李青云, 等. 层次分析法在长江堤防安全评价系统中的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004(12): 1634-1637.
- [6] 何晓洁, 赵二峰. 基于 AHP-熵权法的黄河下游堤防安全模糊评价[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2015, 37(1): 38-42.
- [7] 苏观南, 付修庆, 刘天祥. 改进的博弈论综合权重在大坝安全综合评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2014(11): 82-85.
- [8] 兰博, 关许为, 肖庆华. 基于 FAHP 与熵权融合法的堤防工程安全综合评价[J]. 中国农村水利水电, 2019(6): 131-133, 137.
- [9] 谭志英. 大坝安全评估云模型应用探析[J]. 水利建设与管理, 2016, 36(9): 52-55.
- [10] 臧成丽. 基于木桶原理的综合评价方法研究及应用[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [11] 王均乔, 鲍芳. 引黄济青渠首引水工程运行管理探讨[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(9): 58-62.
- [12] 张鹏举, 赵国荣. 疏勒河流域昌马水库坝址处水沙关系特性研究[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(4): 30-34, 26.
- [13] 周根富, 王佰伟, 陈小田. 大宁河流域降雨径流模拟研究[J]. 水资源开发与管理, 2021(10): 54-57.
- [14] 金庆日. 气候变化对塔里木河源流径流近 61 年的影响分析[J]. 水资源开发与管理, 2020(6): 15-19.
- [15] 张爱民, 张姐, 周和平. 干旱与极端干旱白杨河流域生态需水分析[J]. 水资源开发与管理, 2020(5): 35-43, 30.
- [16] 赵欣. 新疆地区年径流量与降雨量相关关系分析[J]. 水资源开发与管理, 2016(1): 73-75.

(上接第 79 页)

- [5] 刘艺, 雷晓云, 马红刚, 等. 巴音沟河近 60 年出山口年径流量演变规律[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 139-142.
- [6] 马红刚. 浅谈巴音沟河 2004 年至 2013 径流变化的影响因素[J]. 石河子科技, 2019(2): 13-15, 18.
- [7] 杨莲梅, 李霞, 张广兴. 新疆夏季强降水研究若干进展及问题[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(2): 188-198.
- [8] 方继斌. 关于给洪水“出路”做好防汛“前半篇文章”的思考[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(8): 78-80, 84.
- [9] 黄河调水调沙知识问答[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(7): 6.
- [10] 储维刃, 刘双喜, 潘丽. 龙口引水枢纽冲沙闸拉沙试验研究[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(2): 12-16.



悬挂式高压摆喷垂直截渗技术在洪泽湖大堤除险加固工程中的应用

孙超君

(江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210022)

【摘要】 高压喷射灌浆是一种提高堤防抗渗性和稳定性的常用工程措施,属于隐蔽工程,灌浆效果直接影响工程质量和建筑物安全,其工程质量管理至关重要。本文以洪泽湖大堤除险加固工程为例,探讨总结了悬挂式高压摆喷防渗处理技术施工工艺及施工时的质量控制要点。同时在常规检测手段的基础上,综合探地雷达法、高密度地震映像法、声波法等检测方法对灌浆效果进行检测,有效确保了工程质量,可为同类工程提供借鉴和参考。

【关键词】 悬挂式;高压摆喷;截渗墙;质量控制;质量检测

中图分类号: TV543+.8

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-066-06

Application of suspended high-pressure swing-jetting vertical seepage-cutting technique in the Risk Removal and Reinforcement Project of Hongze Lake Levee

SUN Chaojun

(Jiangsu Qinhuai River Water Conservancy Project Management Office, Nanjing 210022, China)

Abstract: High pressure jet grouting is one of the common engineering measures to improve the impermeability and stability of embankment, which belongs to concealed project. The grouting effect directly affects the engineering quality and building safety. The engineering quality management is very important. The Risk Removal and Reinforcement Project of Hongze Lake levee is adopted as an example in the paper. The construction technology and construction quality control points of suspended high-pressure swing jet grouting anti-seepage treatment technology are discussed and summarized. Meanwhile, the grouting effect is detected by ground penetrating radar method, high-density seismic imaging method, acoustic wave method and other detection methods on the basis of conventional detection methods, thereby effectively ensuring the engineering quality and providing reference for similar projects.

Keywords: suspended; high pressure swing-jetting; cutoff wall; quality control; quality inspection

1 引言

高压喷射灌浆技术是20世纪60年代末日本创造

出来的一种施工方法,自20世纪70年代末开始在国内得到迅速发展,具有施工范围广、地层适应面广、施工便捷等特点,在我国长江、黄河、淮河等流域堤防工

收稿日期: 2021-04-07

作者简介: 孙超君(1988—),女,硕士,高级工程师,主要从事水利工程项目管理工作。

程中均有成功应用的实例^[16]。国内外很多学者对此进行了总结和研究,张带娣^[7]结合实例对水库除险加固工程中高压摆喷灌浆施工技术进行了总结;宋庆涛等^[8]结合辛集橡胶坝工程阐述了高压摆喷施工的要点和难点。该技术不太复杂,但由于施工所处基础条件存在差异性、复杂性和隐蔽性,悬挂式高压摆喷防渗处理方式比较少见,尤其在防渗墙的厚度极小、传统的质量检测手段匮乏的情况下,如何有效地控制施工质量,开展技术监督,保证截渗墙连续性、完整性及垂直性是个难题。本文以洪泽湖大堤除险加固工程为例,对施工时的质量控制措施和质量检测要点等方面进行了探讨。

2 工程概况

洪泽湖总库容 123 亿 m^3 ,具有防洪、灌溉、航运、水产养殖等多种功能,湖底高程 10.0 ~ 11.0m,高出下游地区 4 ~ 8m。洪泽湖设计防洪标准 300 年一遇、校核防洪标准 2000 年一遇;近期防洪标准 100 年一遇,

相应设计水位 16.0m、校核水位 17.0m^[9-10]。洪泽湖大堤位于洪泽湖东岸,北起淮阴区码头镇,南至盱眙张庄高地,总长 70.63km。大堤的主要任务是拦蓄洪水,是淮河下游地区 3000 万亩耕地、2000 万人口的防洪屏障,任何情况下都必须确保大堤的安全。

3 加固处理缘由

洪泽湖大堤始建于东汉建安五年,在长期挡水过程中大堤历经毁损,决而复堵、毁而重建,在堤身内部留下很多乱石堆、埽工、淤泥等。因为建造时受当时社会环境和施工技术的制约,大堤密实度较差,有局部架空现象,存在部分堤段堤身不实、抗渗不满足要求等隐患。洪泽湖大堤土层共有①、①₁、②₁、②₂、③₁、③₂、④、④₂、⑤、⑥、⑥'、⑦₁、⑧等诸层,其中①层为堤身堆筑土(Q_4^{ml}),①₁层为新近沉积土(Q_4^{ml}),②₁、②₂层为全新世(Q_4^{al})沉积土,③₁、③₂、④、④₂、⑤、⑥、⑥'、⑦₁、⑧等诸层皆为晚更新世(Q_3^{al})及其以前沉积的土层,部分土层参数见表 1。

表 1 土 层 参 数

层号	土 层 描 述	干密度/(g/cm^3)	孔隙比/%	饱和度/%	含水率/%	渗透系数/(cm/s)
①	灰黄、棕黄杂灰色粉质黏土	1.53	0.794	93.2	27.0	3.10×10^{-4}
② ₂	灰、青灰、灰绿色粉质黏土	1.50	0.821	98.8	29.6	5.80×10^{-7}
③ ₁	灰黄、棕黄夹灰色粉质黏土	1.59	0.723	97.8	25.8	1.55×10^{-7}
③ ₂	灰黄色重粉质黏土、轻粉质壤土	1.55	0.736	97.9	26.7	3.15×10^{-4}
④ ₁	灰黄色粉质黏土、重粉质壤土	1.48	0.854	98.2	30.6	2.50×10^{-6}
⑧	灰黄、棕黄色粉质黏土	1.45	0.891	99.9	32.5	2.20×10^{-7}

经检测,洪泽湖大堤③₂土层渗透系数为 $3.15 \times 10^{-4} \text{cm}/\text{s}$,不满足工程安全运行要求。为消除安全隐患,保证堤防运行安全,保障淮河下游地区人民生命财产安全及经济社会可持续发展,对洪泽湖大堤采取截渗加固措施是必要的。

4 加固方案的确定

针对堤防存在的渗漏问题,常见的处理方案有定喷、旋喷和摆喷。定喷影响范围大,但墙体较薄,常单独用于深度不大、水头不高的防渗工程;旋喷防渗墙墙体厚,可承载荷载大,可用于钻孔深度大、水头高的透

水层加固,但造价较高;摆喷影响范围较大,墙体较厚,可单独用于深度较大、水头较高的防渗工程^[11-13]。洪泽湖大堤堤顶高程在 17.5m 左右,③₂土层高程在 2.8 ~ 6.3m 之间,深度较大,其上部分布③₁层为可塑—硬塑状态粉质黏土,下部为④₁层为可塑—软塑状态粉质黏土,土层渗透系数分别为 $1.55 \times 10^{-7} \text{cm}/\text{s}$ 、 $2.50 \times 10^{-6} \text{cm}/\text{s}$,渗透系数满足运行要求。考虑到本次加固经费有限,经研究比较,采用悬挂式高压摆喷垂直截渗技术对堤防的③₂土层进行加固处理,加固处理长度 15.45km,处理后能达到原设计功能,设计概算 2277 万元。



加固方案:采用直线对接法施工,对接角度为 30° ($\pm 15^{\circ}$ 摆喷),高压喷射孔间距为1.4m;摆喷成墙墙体平均厚度不小于10cm。墙体嵌入③₂层土的上层土100cm,下层土50cm(见图1),在施工过程中,基于地质资料,实时调整;墙体渗透系数应小于 $A \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ ($1 \leq A \leq 9$),28天抗压强度不小于1.0MPa。

5 具体施工工艺

5.1 施工流程

悬挂式高压摆喷垂直截渗工程施工工艺流程见图2。



图2 悬挂式高压摆喷截渗施工工艺流程

5.2 确定试验位置

根据工程现场条件及地质结构分布图,选定大堤桩号K40+350~K40+450为试验段,高压摆喷孔间距为1.4m,具体布置见图3。

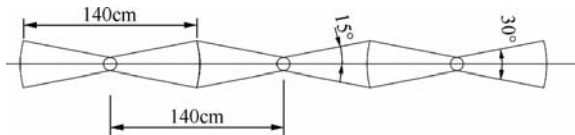


图3 高压摆喷布置示意图

5.3 拟定施工参数

影响防渗墙施工质量的主要因素有水压和水量、气压和风量、浆量和浆压、提升速度、旋转速度及摆喷角度等。通过现场试验调整孔间距、工艺参数等技术指标,通过开挖观察、钻孔取芯等,确定高压摆喷施工工艺参数,见表2。

表2 悬挂式高压摆喷施工工艺参数

名称	参数	数值
高压水	压力/MPa	20~40
	流量/(L/min)	80~120
压缩空气	压力/MPa	0.5~0.7
	流量/(L/min)	1~2

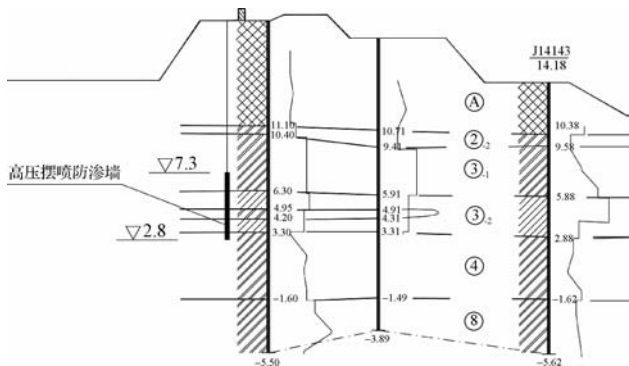


图1 悬挂式高压摆喷典型断面设计示意图

续表

名称	参数	数值
浆液	压力/MPa	0.2~3
	流量/(L/min)	80~150
	比重	1.5~1.7
高压摆喷	提升速度/(cm/min)	5~20
	旋转速度/(r/min)	5~20
	喷嘴直径/mm	1.8~3.0
	摆动角度/(°/s)	5~30

5.4 轴线及孔位布置

按批准的防渗墙中心线位置进行轴线放样,每50m设立固定控制点,校核施工轴线、桩位,误差不得大于5cm,用竹筷等标定孔位。堤身弯曲段防渗墙轴线按弧形走势,结合曲率半径测放,防止产生陡弯段,造成防渗墙搭接不牢留下渗漏通道;对急弯地段,施工轴线按地形、地貌放成折线进行搭接,保证接头桩与已完成桩通过增加接触面积形成可靠连接。

5.5 高压摆喷成墙

a. 布置先导孔。基于满足施工的水准点控制网,钻孔前布置先导孔,约30m布置一个,共3个,以探明堤基③₂层分布情况,先导孔的深度超过设计墙底深度

0.3m。

b. 钻孔。采用回转钻进或振动冲击钻进工艺,按桩距 1.4m 距离放样,钻机定位准确,控制孔位中心误差小于 5cm。钻进过程中泥浆护壁,确保孔形完整不坍塌,满足摆喷施工需要。

c. 下喷射管。将高喷台车移至孔口处,进行地面试喷,检查高喷系统的工作是否正常,调节好各项施工工艺参数,然后开始下喷射管,下管深度根据先导孔探测的深度进行控制,确保达到设计要求。

d. 摆喷、提升。启动高压清水泵、泥浆泵和空压机,按既定喷射摆动角度 $\pm 15^\circ$ 及确定的提升速度开始喷浆作业,摆喷时确保喷射角度允许偏差不大于 1° 。喷管提升至设计墙顶高程后,停止高压摆喷作业,并对孔内及时回灌。

6 施工质量控制要点

6.1 摆喷位置准确性控制

由于是隐蔽工程,与常规高压施工相比,如何准确控制防渗墙顶、底高程是悬挂式高喷施工的难点。设计要求墙体嵌入 $\textcircled{3}_2$ 层土的上层土 100cm,下层土 50cm。为确保摆喷位置的准确性,钻孔前每隔 30m 设置一个先导孔,以先导孔验证 $\textcircled{3}_2$ 层深度与控制防渗墙顶、底高程。先导孔钻进时,仔细勘查土层,做好钻孔记录,准确反映地层情况。钻孔时钻机架设平稳,控制钻孔垂直度不超过 1/100,钻进中用钢尺测量校核钻具长度,控制钻孔的有效深度需超过设计墙底深度 0.3m。

6.2 喷浆材料质量控制

按设计配合比进行泥浆试配,经过成槽试验后,确定浆液水灰比为 1:1。采用水泥(42.5 级普通硅酸盐水泥)和洪泽湖水作为原料,定期、定人检查控制施工浆液比重是否满足要求;严格控制水泥浆自制备至用完的时间不超过 4h,施工浆液存放超过有效时间时,均按废浆处理;控制浆液温度保持在 $5 \sim 40^\circ\text{C}$ 。定期用比重秤检测水泥浆液密度,及时调整浆液浓度,确保浆液质量。

6.3 摆喷质量控制

防渗墙的连续性、均匀性是高压摆喷质量的关键。设计要求摆喷成墙墙体平均厚度不小于 10cm,为确保防渗墙的连续性和厚度,在下喷设管前需地面试喷,调整注浆压力、空压机供气压力、摆幅、摆速、提升速度等达到施工参数要求后方可下放喷设管至设计位置;施工时控制施工注浆压力不小于 40MPa,浆液比重不小于 1.5,空压机供气压力保持在 $0.5 \sim 0.7\text{MPa}$,严格按照确定的参数进行高喷作业,定期检查泥浆泵的压力、浆液流量、提升速度和耗浆量;喷射过程中因故中断或因加接喷射管等停喷,在恢复施工时,重复摆喷灌浆搭接长度不小于 50cm。

7 质量检测要点

目前,对已建堤防高压摆喷工程的检测,多数还是采用传统的开挖验证或钻孔注水等传统手段,这些方法费时费力且效果有限,难以适用于较大型堤防工程的检测^[14-15]。工程在常规检测手段的基础上,探索采用探地雷达法、高密度地震映像法及声波法等多种检测方法相结合的检测技术,确保工程质量。

7.1 常规检测

采用钻芯取样法和探坑检查法,对防渗墙墙体水泥石学性能、抗渗指标、深度及外观等参数进行检测。①钻芯取样:检查墙体水泥石学性能及抗渗指标、探测截渗墙体的深度;②探坑检查:检查墙体最小厚度及外观质量。

检测结果表明,高压摆喷形成的防渗墙体水泥石具有一定的完整性,水泥喷射基本均匀,与土体胶结较好,强度较高,防渗墙顶、底高程均能满足设计要求。

7.2 探地雷达法

探地雷达法检测能较准确地对堤防结构层进行划分,反映出土体异常的性质。检测结果(见图 4)表明,雷达波形总体变化不大,未见抛物线状圆弧雷达波形等明显特征,同相轴基本连续,截渗墙墙体总体连续、完整,不存在空洞、错断现象。

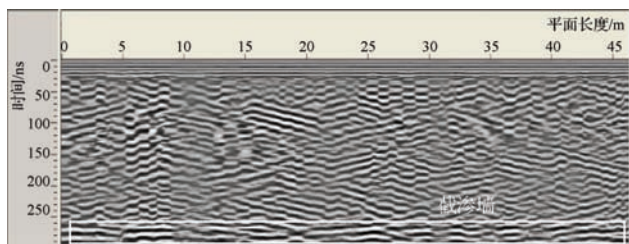


图4 探地雷达法剖面(40+400~40+450段)

7.3 高密度地震映像法

采用高密度地震映像法对典型断面进行检测,能较好地反映截渗墙体的连续性。检测结果(见图5)表明,轴线处面波分布均匀且绝大部分比较连续,说明高压摆喷截渗墙体连续性较好,墙体未见工程质量缺陷。

7.4 声波法

利用高压摆喷孔埋设的兼具反滤功能的透水测试管,采用声波法对一个测区四个测孔进行相对检测得到6条波速曲线,根据曲线特征评判墙体连续性、均匀性及墙体高度和厚度。以51K+527剖面为例,检测结果(见图6)表明,在检测范围内由高压摆喷处理形成

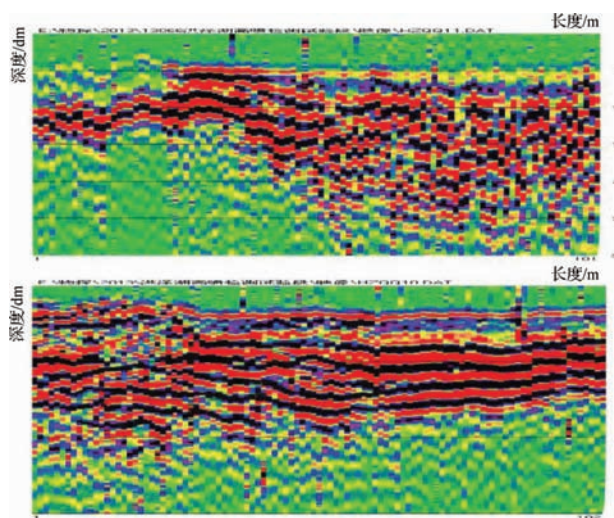


图5 高密度地震映像解译剖面(40+363~40+463段)

的防渗墙体有效高度为4.125m,大于该断面墙体3.0m高度的设计值,满足设计要求。墙体具有较好的连续性和均匀性,波速大小在不同区域内存在一定的差异,其波速值在1.344~2.817km/s之间,在混凝土的正常变化范围内。

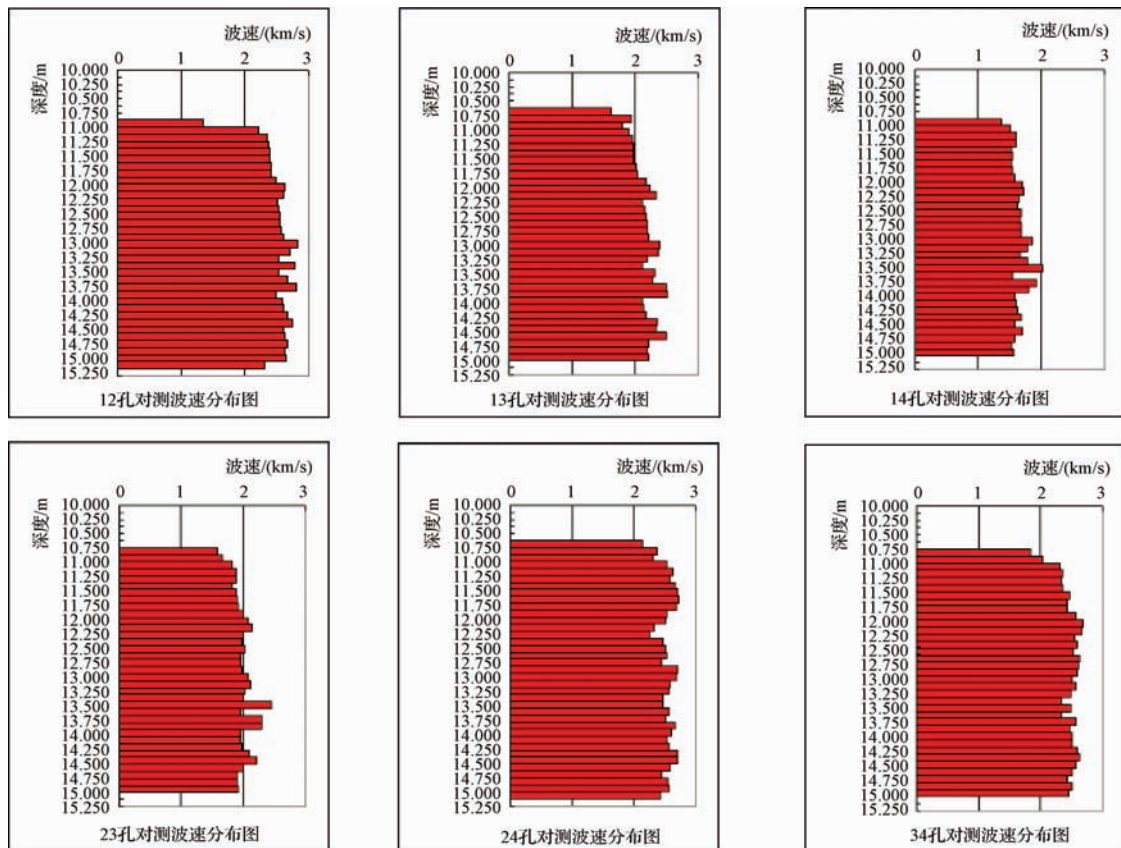


图6 波速分布(51K+527)

8 结 语

观测结果表明,工程实施前和工程实施后相比,平均渗流量减少了 59.56%,渗流量降幅明显,起到了明显的防渗效果,较好地解决了大堤抗渗不满足要求等问题。洪泽湖大堤除险加固工程实例表明,在堤防堤基进行悬挂式高压摆喷施工时,通过控制压力、流量、提速、浆液浓度等工艺参数,以及加强对摆喷位置、喷浆材料、摆喷等重点环节的质量把控,可以解决该类堤防渗漏处理的相关难点问题。该技术的成功应用,为确保堤防工程的正常运行和工程安全发挥了重要作用,为今后类似工程提供了技术参考。◆

参考文献

- [1] 祝连娣. 水库进口闸井底板基础固结灌浆工艺的分析应用[J]. 水利规划与设计, 2016(10): 144-147.
- [2] 韩洪亮, 王峰, 邵恩利. 高压摆喷施工在架空地层和松散土石围堰的应用[J]. 水利技术监督, 2016, 24(2): 108-110.
- [3] 刘园园. 高压摆喷在宣城市双桥联圩堤防防渗处理中的应用[J]. 水利科技与经济, 2019, 25(6): 78-80.
- [4] 孙晖. 简述高压摆喷防渗墙的施工工艺[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(8): 8-10.

(上接第 46 页) 拆迁工作, 实现现场分层级管控, 重视现场实施层施工区、施工作业队的质量、安全、合同、进度等动态过程控制, 把控现场安全和质量保证体系及隐患排查等重点环节, 这样才能有效控制现场质量、安全和关键线路时间节点目标。总承包牵头单位应强化现场管理协调、服务、检查、考核功能, 并及时发布管理指令, 以实现适时纠偏处理。另外, 以设计单位为龙头的工程总承包项目团队, 应基于创新思维和工程实践, 优化设计供图和服务, 促使项目设计与施工深度融合, 从而充分发挥工程建设效率和效益。◆

参考文献

- [1] 刘文帅. 浅议水利工程勘测设计施工总承包成本控制[J]. 水利建设与管理, 2012, 32(12): 19-20, 16.
- [2] 戴维梁, 吴品. 浅议 EPC 工程总承包管理模式在应急工程中的应用[J]. 水利建设与管理, 2015, 35(9): 51-53.
- [3] 张杨. 浅谈国内工程 EPC 总承包模式实施的成功要素[J]. 水利建设与管理, 2010, 30(2): 36-37, 33.

- [5] 陈文华, 帅辉玲. 桐溪坑拦河坝工程坝基固结灌浆施工探讨[J]. 水利技术监督, 2014, 22(5): 63-64, 67.
- [6] 王昆. 高压摆喷截渗技术在某船闸工程中的应用[J]. 施工技术, 2009, 38(1): 83-85.
- [7] 张带娣. 水库除险加固工程中高压摆喷灌浆的施工技术[J]. 中国水能及电气化, 2013(9): 8-10, 19.
- [8] 宋庆涛, 郝夕明. 截渗技术在辛集橡胶坝工程中的应用[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(1): 48-51.
- [9] 孙超君, 高山, 周星宇. 洪泽湖大堤加固工程水土保持项目实施的启示[J]. 水资源开发与管理, 2018, (4): 31-33.
- [10] 孙松, 徐善安, 孙远见. 高压摆喷施工技术在洪泽湖大堤堤基防渗处理中的运用[J]. 江苏水利, 2015(1): 14-16.
- [11] 曹阳, 许宏菁. 高压摆喷灌浆技术在沿海挡潮闸防渗工程中的应用[J]. 水利建设与管理, 2009, 29(3): 31-32.
- [12] 刘东康, 陆彦睿. 白垩系砾岩坝基防渗相关设计问题探讨[J]. 水利规划与设计, 2018(8): 107-109, 143.
- [13] 张玉仁. 峡谷型水库坝体渗流原因及防渗方案设计[J]. 水利规划与设计, 2018(5): 169-172.
- [14] 陈玺, 马光明. 基于压水试验及声波检测的固结灌浆效果分析[J]. 水利规划与设计, 2020(5): 131-134.
- [15] 张杰, 漆巨彬. 深孔覆盖层防渗灌浆试验在工程施工中的应用[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(3): 58-62, 84.

- [4] 杨香东. 湖北“建设管理—工程总承包”模式的探索与实践[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(5): 55-58.
- [5] 林旭, 王丽, 郭瑞. BIM 技术在水利 EPC 总承包项目中应用初探[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(8): 51-57, 47.
- [6] 徐宗超. 喀什沉砂调节池工程 EPC 总承包管理模式综述[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(12): 37-38, 61.
- [7] 温贵明, 刘伟丽. 设计单位牵头的总承包项目风险及化解措施[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(10): 28-31.
- [8] 郭永港, 任登科. EPC 总承包管理存在的问题与对策[J]. 建材发展导向, 2021, 19(24): 13-15.
- [9] 同刚, 王润民. EPC 总承包项目现场对分包商的质量管控[J]. 电力勘测设计, 2020(S2): 8-12.
- [10] 刘大宾. EPC 工程总承包管理模式的运行探讨[J]. 中国住宅设施, 2021(5): 29-30.
- [11] 刘虹. 成达公司 EPC 项目管理及其创新模式研究[D]. 成都: 西南财经大学, 2008.
- [12] 林志宇, 钟佳. 以设计为龙头的水电工程 EPC 总承包管理模式分析[J]. 工程建设与设计, 2013(8): 162-163, 167.



新疆天山北坡巴音沟河洪水研究

马红刚¹ 张金宝² 贾伟康²

- (1. 新疆石河子市巴音沟河流域管理处,新疆 石河子 832000;
2. 新疆石河子水利工程管理服务中心,新疆 石河子 830052)

【摘要】 为探索气温和降水在垂直地带影响径流的具体关键指标,为未来洪水预测预警提供依据,通过典型实际洪水分析,研究影响洪水产生的关键气象指标。研究发现,巴音沟河山洪主要发生在林线以下的中低山区,主要利用短时降雨、降雨位置和下游时空关系进行防范;高山冰川融雪洪水主要利用日内气温变化、融雪位置和下游之间时空关系进行防范;混合洪水受连续高温和长时间暴雨双重影响。

【关键词】 冰川融雪洪水;山洪;混合洪水;0℃层高度

中图分类号: [TV93]

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-072-08

Study on flood in Bayingou River of northern slope of Tianshan Mountain, Xinjiang

MA Honggang¹, ZHANG Jinbao², JIA Weikang²

- (1. Xinjiang Shihezi Bayingou River Basin Administration Office, Shihezi 832000, China;
2. Xinjiang Shihezi Water Conservancy Project Management and Service Center, Shihezi 832000, China)

Abstract: The key meteorological indicators affecting flood are studied through typical actual flood analysis in order to explore the specific key indicators of temperature and precipitation affecting the runoff in vertical zone, and provide basis for flood prediction and early warning in the future. It is found through research that Bayingou River mountain flood mainly occurs in the middle and low mountain areas below the forest line. The short-term rainfall, rainfall position and the downstream temporal and spatial relationship are mainly utilized for prevention. The high mountain glacier snowmelt flood is mainly prevented through the spatio-temporal relationship among intraday temperature variation, snowmelt location and downstream area. The mixed flood is affected doubly by continuous high temperature and prolonged heavy rain.

Keywords: glacier snowmelt flood; mountain flood; mixed flood; 0-degree layer height

1 引言

天山北坡经济带是“一带一路”在新疆的核心区之一,1996年、1999年两次群发的暴雨加冰川融水特大混合洪水,对天山北坡地区造成了很大的破坏和严

重经济损失。本文通过对已经发生的典型洪水案例进行分析,研究洪水与气温和降水因素关键指标之间的关系。通过监测这些关键指标,对即将发生的洪水进行预报预警和预测,以达到减少洪灾造成损失的目的。

收稿日期: 2020-12-10

作者简介: 马红刚(1982—),男,本科,高级工程师,主要从事水闸枢纽运行管理工作。

2 流域概况

新疆巴音沟河是天山北麓 10 条中小河流之一,位于新疆沙湾县和乌苏市的交界处,全长 140km。河流发源于天山北坡依连哈比尔尕山脉哈尔阿特河 33 号

冰川,北至准噶尔盆地南缘,西临奎屯河和四棵树河,东抵金沟河和玛纳斯河,具有新疆冰川河流的典型特征,其地理位置介于东经 $84^{\circ}45'$ ~ $85^{\circ}27'$ 、北纬 $43^{\circ}29'$ ~ $44^{\circ}58'$ 之间,见图 1。

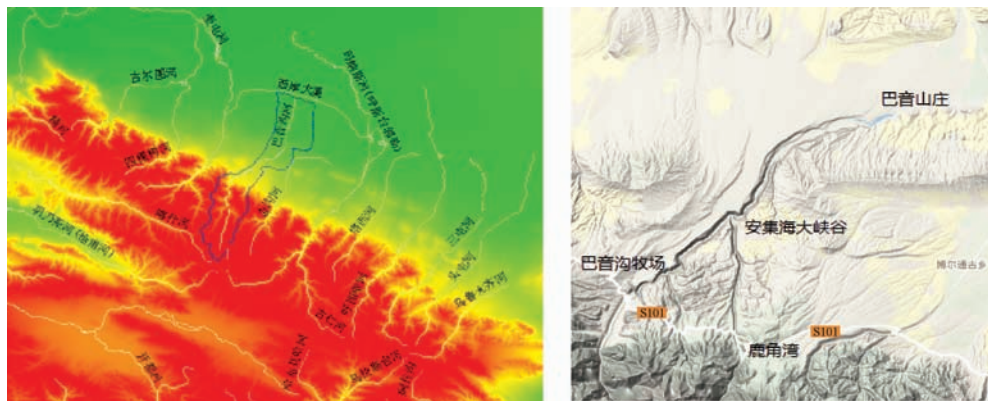


图 1 巴音沟河位置

2.1 水文径流

巴音沟河年均径流量 3.1 亿 m^3 ,最大年均径流量 4.33 亿 m^3 (2007 年),最小年均径流量 2.2 亿 m^3 (1992 年)。巴音沟河发源于巴音沟河流域高山冰川,既有高山区冰雪融水洪水补给和高山区暴雨混合洪水补给,又有中低山区暴雨山洪补给和融雪洪水补给。高山冰川储冰 92 亿 m^3 ,折合水量 74 亿 m^3 ,年平均融水 $1.50 \text{ 亿} \sim 2.00 \text{ 亿 m}^3$,其中冰川融水约占年径流量的 $25\% \sim 35\%$,降雨融雪混合补给约占年径流量的 $45\% \sim 55\%$,地下水约占年径流量的 $15\% \sim 25\%$,中低山区暴雨山洪补给约占年径流量的 1.2% 。从径流补给组成来看,巴音沟河径流除 20% 左右为地下水补给形成,其余 80% 径流由洪水组成,可以说巴音沟河是洪水造就的河流。巴音沟河径流补给组成见图 2。

发源于天山冰川的巴音沟河的河流年径流主要依靠汛期 6、7、8、9 月高山冰川融雪洪水(含地下水),这四个月径流占年径流的 83% 。7、8 月经流占年径流的 58% 。汛期主要依靠冰川融雪洪水和地下水的稳定补给,每年至少可达 2.0 亿 m^3 。而降水和暴雨引发的混合洪水径流补给相对不稳定,每年在 $0.2 \text{ 亿} \sim 2.4 \text{ 亿 m}^3$ 之间。巴音沟河月均流量变化特征见图 3。

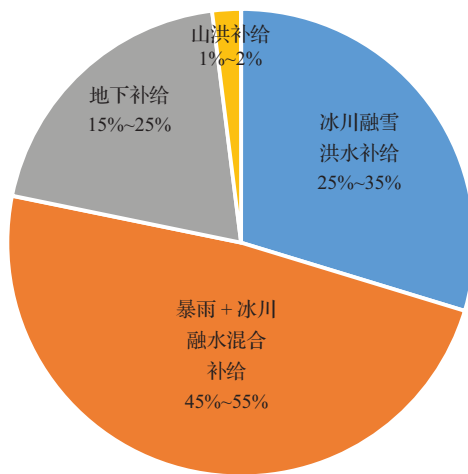


图 2 巴音沟河径流补给组成

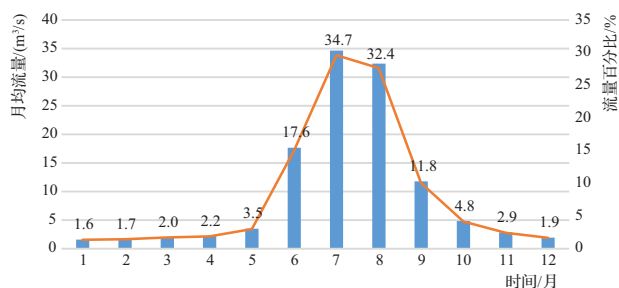


图 3 巴音沟河月均流量变化特征

2.2 气温特点

依据巴音沟河渠首水文站 1988—2010 年气温数



据(见图4)可知:巴音沟河多年平均气温为7.19℃,春、夏、秋、冬季多年平均气温分别为9.03℃、23.5℃、7.91℃、-11.67℃。1月平均气温为全年最低值,为-14.13℃,7月平均气温为全年最高值,为24.32℃。

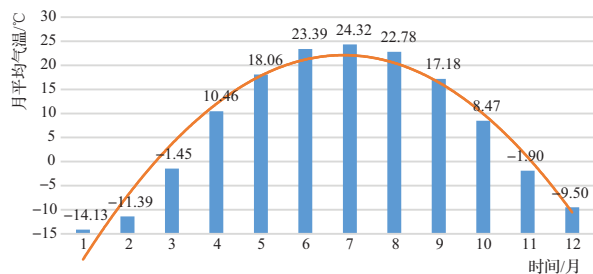


图4 巴音沟河月均气温变化特征

2.3 降水特点

巴音沟河渠首水文站多年年平均降水量为240.6mm,春、夏、秋、冬多年平均降水量分别为70.03mm、95.91mm、48.85mm和25.80mm。巴音沟河夏季降雨约占全年降雨的40%,对洪水形成影响较大。巴音沟河月均降雨量变化特征见图5。

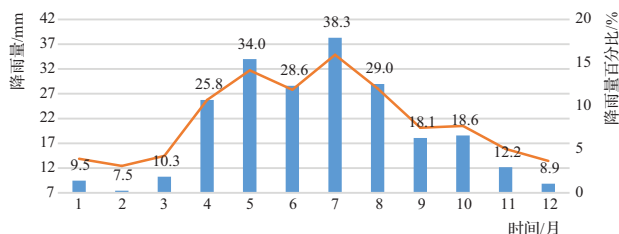


图5 巴音沟河月均降雨量变化特征

2.4 降水垂直地带分布

查询新疆气象台自动站数据,巴音沟河降水垂直分布整体呈“S”形,存在林线2200m和雪线附近4000m两个降水高值区,见图6。在海拔2200m附近,降水随海拔的增高总体呈线性增加趋势,每爬升100m平均降水增量为22mm,这一现象受地形影响较大,见图7。水汽在行进过程中遇高大山体阻挡被迫沿山体爬升,由于温度降低水汽凝结形成了降水,所以在海拔2200m林区附近,形成第一个降水高值中心,水汽在继续行进过程中受地形起伏的影响较大,到达背风坡的水汽减少,降水量减小。由于天山主峰继续阻碍水汽的爬升,所以在海拔4000m迎风坡雪线附近形成第二个降水高值中心。

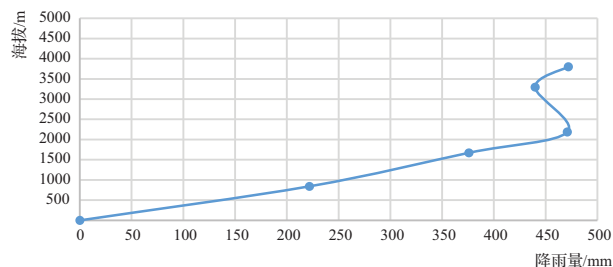


图6 巴音沟河降水垂直分布

2.5 中山带森林

森林植被受地形和气候的影响,植被类型具有完整的山地植被垂直带谱,由上而下为高山冰川带、亚高

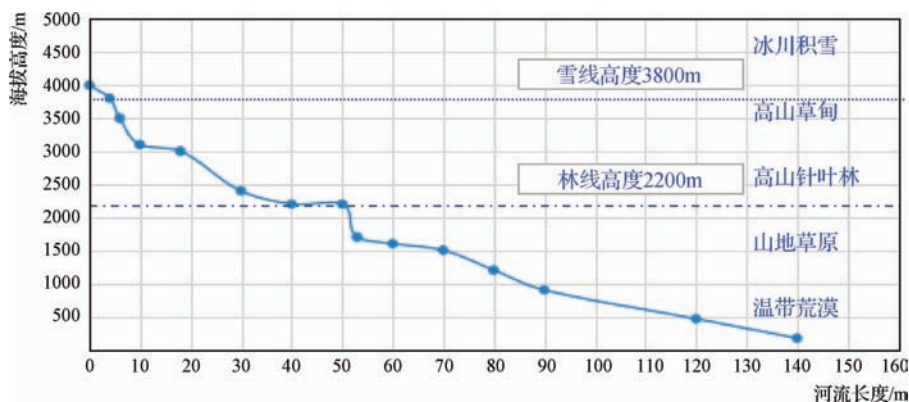


图7 巴音沟河纵剖面图及垂直自然地带

山草甸带、中山森林草甸带、低山草原带。在岩石裸露的阴坡有较大面积的云杉纯林。天山云杉森林生态系

统对降雨分配的影响规律为树木蒸腾>土壤蓄水>林冠截留>土壤蒸发>地表径流>地下径流。天山云杉

对降雨的拦蓄效果明显。由于天山云杉森林这一“绿色水库”对短时降雨的拦蓄效果较好,所以云杉森林林区不易发山洪。林区以上是高山草甸,由于海拔升高,温度降低,降水以降雪的方式进行,所以总体来说林线以上高度不易形成山洪。巴音沟河云杉森林分布见图 8。

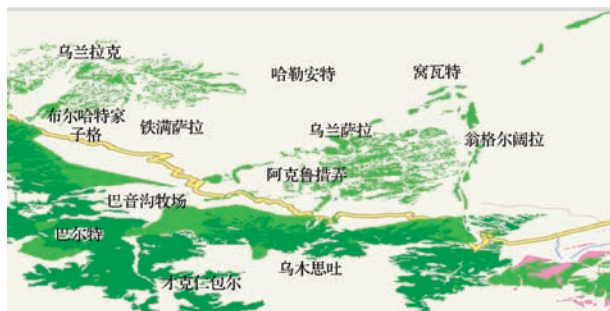


图 8 巴音沟河云杉森林分布

3 典型洪水案例

3.1 典型低山带融雪洪水(春洪)

2017 年 3 月 29 日 17 时发生低山带融雪洪水,洪峰 $6.2\text{m}^3/\text{s}$,持续洪水过程 3 天,见图 9。

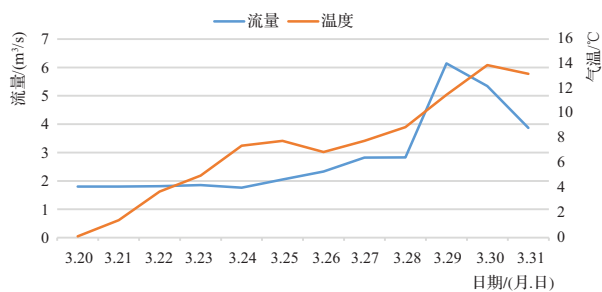


图 9 2017 年 3 月融雪型洪水过程

3.2 典型高山带融雪融冰洪水

2020 年 8 月 2—11 日发生高山带冰川融水洪水,洪峰呈一日一峰一谷,连续多日重复出现,洪峰与洪谷比为 $2 \sim 2.5:1$,见图 10。

3.3 中低地山带暴雨洪水

3.3.1 短时强降雨洪水

2017 年 6 月 22 日下午,鹿角湾自动雨量站监测到 19 时 1h 内降雨 42mm ,3h 后发生 $105\text{m}^3/\text{s}$ 洪峰,洪水 5min 内从 $32\text{m}^3/\text{s}$ 提高到 $105\text{m}^3/\text{s}$ 增加 $73\text{m}^3/\text{s}$,2h 后

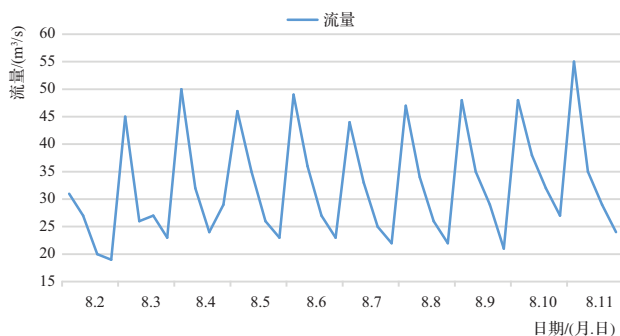


图 10 2020 年主汛期典型冰川融雪洪水日变化规律

退去。1h 内降雨 42mm 是发生此次山洪的主要原因。此次洪水过程见图 11。

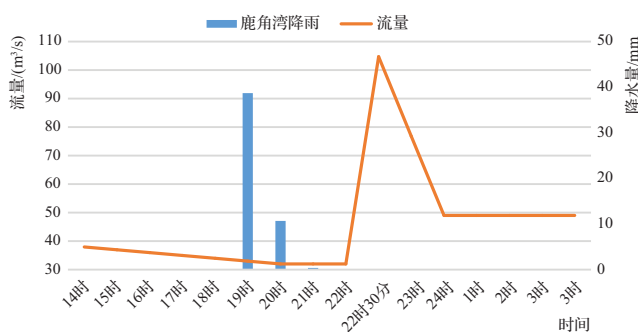


图 11 2017 年 6 月巴音沟河 1 号洪水过程

3.3.2 短时弱降雨洪水

2020 年 8 月 4 日下午,巴音山庄自动雨量站监测 21 时发生 1h 内 3.3mm 的弱降雨,21 时 30 分开始涨水,洪水 30min 内从 $28\text{m}^3/\text{s}$ 提高到 $70\text{m}^3/\text{s}$,增加 $42\text{m}^3/\text{s}$,2h 后退去。洪水从降雨到发生山洪不足 30min。1h 内降雨 3.3mm 是发生此次山洪的主要原因。此次洪水过程见图 12。

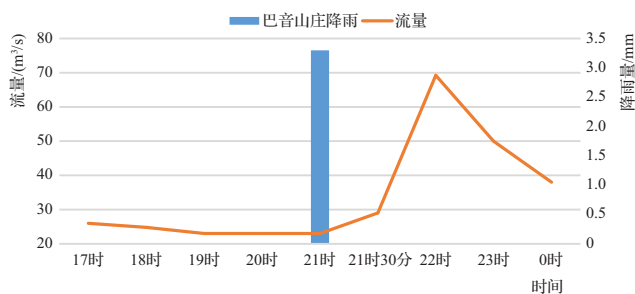


图 12 2020 年 8 月巴音沟河 2 号洪水过程

3.3.3 中低山带暴雨 + 冰川融雪洪峰河道叠加洪水

2016 年 6 月 29 日下午,巴音沟牧场自动雨量站监



测到 22 时 1h 内降雨 8.3mm, 2h 后发生 $86\text{m}^3/\text{s}$ 洪峰, 洪水 5min 内从 $20\text{m}^3/\text{s}$ 提高到 $86\text{m}^3/\text{s}$, 增加 $66\text{m}^3/\text{s}$ 。1h 内降雨 8.3mm 是发生此次山洪的主要原因。此次洪水急涨缓落, 兼具两种洪水特征, 详细过程见图 13。

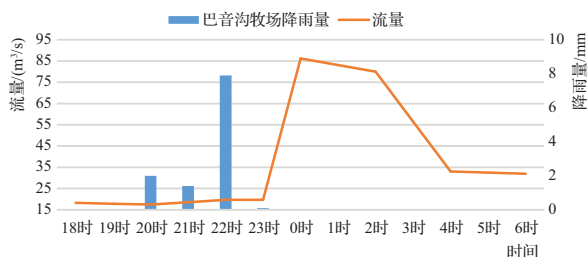


图 13 2016 年 6 月巴音沟河 1 号洪水过程

3.4 混合洪水(高山暴雨+冰川融雪洪水)

1996 年主汛期混合洪水。1996 年 7 月降水量总和约为 50.2mm, 其中发生洪水的几天降水量分别为 16 日 3.2mm、17 日 11.8mm、18 日 0.7mm、19 日 0.6mm、20 日 22.8mm。大范围低强度长时间的降雨, 短时间并没有导致高山区降温, 而 7 月下旬正值冰川融化的高峰期, 降雨加速了冰川融化, 导致新疆天山北坡发生大范围洪水。随着降雨的继续, 气温和高空气温下降, 冰川融雪洪水减弱, 虽然发生降雨和局部山洪, 但是洪水总量在减弱。17 日 11.8mm 降雨是此次洪水的主要诱因, 7 月下旬和 8 月上旬高空 0°C 层快速上升是导致冰川快速融化产生此次洪水的主因。此次混合洪水过程见图 14。

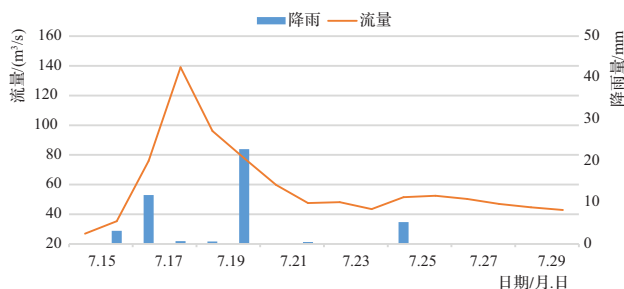


图 14 1996 年 7 月混合洪水过程

3.5 突发洪水

溃坝洪水是由于挡水建筑物突然溃决发生水体宣泄所形成的洪水。2003 年巴音沟河由于机械故障发生过一次溃坝洪水, 突发山洪不大, 但是库水叠加导致

溃坝洪峰 $339\text{m}^3/\text{s}$, 由于此次洪水是人为失误导致, 非自然发生, 故不作重点研究。

4 洪水分析

本研究选取巴音沟河渠首站径流量代表巴音沟河流域洪峰。经统计分析可知, 巴音沟河流域近 60 年 (1958—2020 年, 缺 1981—1987 年) 最大洪峰为 $339\text{m}^3/\text{s}$ (2003 年溃坝导致突发洪水); 第二大洪峰为 $325\text{m}^3/\text{s}$ (1967 年); 最小洪峰为 $46.64\text{m}^3/\text{s}$, 出现在 1993 年, 逐年洪峰统计见图 15。

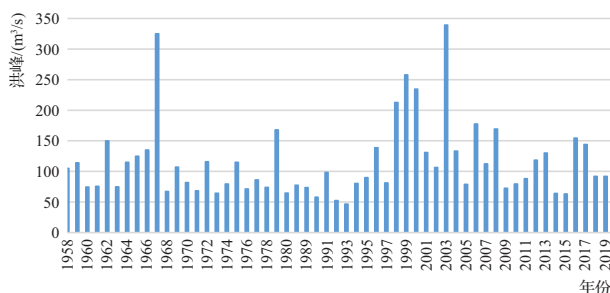


图 15 巴音沟河逐年洪峰统计

4.1 中低山带融雪洪水

中低山带 (2200m 以下) 秋冬季降水以冰雪状态蓄积, 每年 3 月下旬, 由于天山北坡地表气温持续升高, 每日 12—14 时到达顶峰, 阳坡积雪午后快速融化, 当地表积雪上中下温度都超过 0°C 时阴坡积雪融化, 缓慢汇入河道形成融雪性洪水, 此类洪水的主要影响因素有: 中低山带的积雪厚度、地温差和气温。巴音沟河融雪洪水洪峰一般为 $4 \sim 15\text{m}^3/\text{s}$, 发生在下午 18 时左右, 洪峰较小, 洪量较小, 呈急涨缓落的特征, 见图 16。

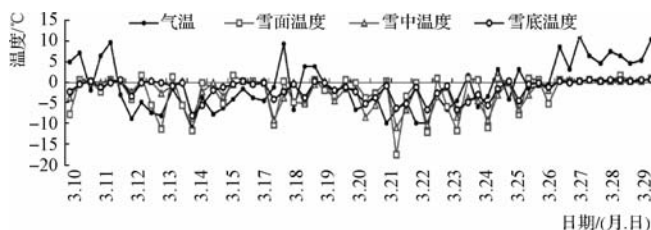


图 16 2017 年 3 月融雪洪水雪温特征

4.2 高山带冰川融雪洪水

随着 6 月上旬气温持续升高, 高空 0°C 层高度不断升高, 高山区较低冰川积雪开始融化, 冰川融雪过程开

始,随着气温不断升高,高空 0°C 层高度超过 4000m ,冰川融雪过程在7月底达到最高峰,随着气温逐渐降低,9月下旬高山冰川融雪过程结束。汛期相近冰川的河流径流跟随高空 0°C 层最低高度变化而变化,当高空 0°C 层最低高度不变或者升高时,河流径流会发生缓慢升高,当高空 0°C 层最低高度降低时,河流径流随后会减少。这说明高空气温 0°C 层最低高度是影响冰川融雪洪水减小的关键因素,见图17。

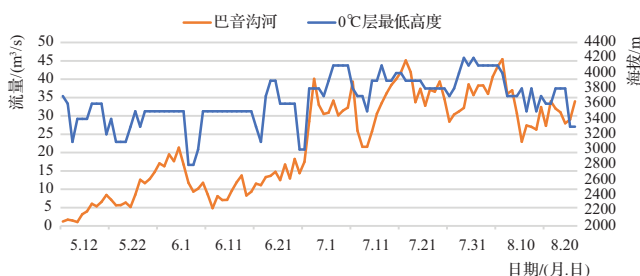


图17 2020年汛期高空 0°C 层最低高度与巴音沟河
汛期径流变化特征

2020年,利用出山口当日气温变化过程模拟当日冰川的气温变化过程,利用出山口流量倒推12h前冰川融雪洪水过程,可以发现冰川融雪洪水和日气温变化关系显著。当日气温在 $32\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间连续呈一峰一谷往复规律时,冰川洪水在 $56\sim 20\text{m}^3/\text{s}$ 之间连续呈一峰一谷往复变化。这说明出山口日内气温变化是影响冰川融雪洪水日内流量的关键因素,见图18(巴音山庄日温度变化数据来自石河子气象台巴音山庄自动气象站,巴音沟河日流量变化数据来自巴音沟河渠首水文站)。

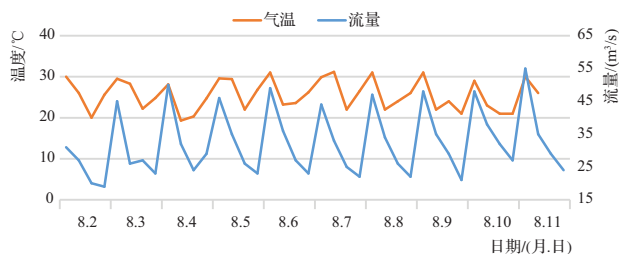


图18 2020年主汛期典型日气温变化与冰川融雪洪水
径流变化

汛期相近的四棵树河、奎屯河、巴音沟河、金沟河早8时流量变化,受高空气温 0°C 层最低高度变化影

响,当 0°C 层最低高度在 3900m 以上变动时,4条河流径流随 0°C 层最低高度变化总体呈缓慢上升的趋势;当 0°C 层最低高度在 $3900\sim 3700\text{m}$ 时,4条河流径流随 0°C 层最低高度变化而变化;当 0°C 层最低高度突然低于 3700m 时,径流会发生5天左右的低谷区,见图19~图20(0°C 层高度数据来自石河子气象台,四棵树河、奎屯河、金沟河早8时流量数据来自新疆水利厅网站水情日报,巴音沟河流量数据来自巴音沟河渠首水文站)。

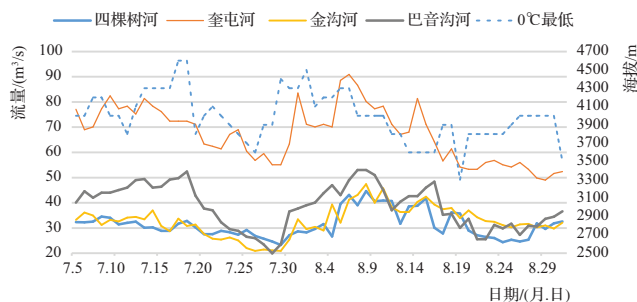


图19 2019汛期 0°C 层最低高度与天山北坡西段河流
径流变化特征

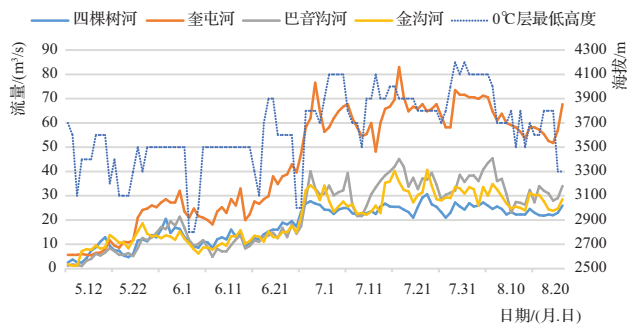


图20 2020年汛期 0°C 层最低高度与天山北坡西段河流
径流变化特征

4.3 中低山带暴雨洪水(山洪)

渠首水文站统计的2016—2020年巴音沟河汛期发生的20次洪水全部为山洪,全部与中低山带降雨有关,且降雨全部发生在海拔 $844\sim 2200\text{m}$ 之间。由于海拔 2200m 林线以下植被覆盖较差,午后至傍晚地表温度高,与周边林区温差大,水汽被迫抬升,夏季易诱发强对流天气,形成暴雨山洪。这一区域易发山洪,1h内 5mm 以上的降雨对形成山洪影响最大,短时间降雨和此类山洪关系良好,见图21(降雨数据来自新疆气

象台自动雨量站)。

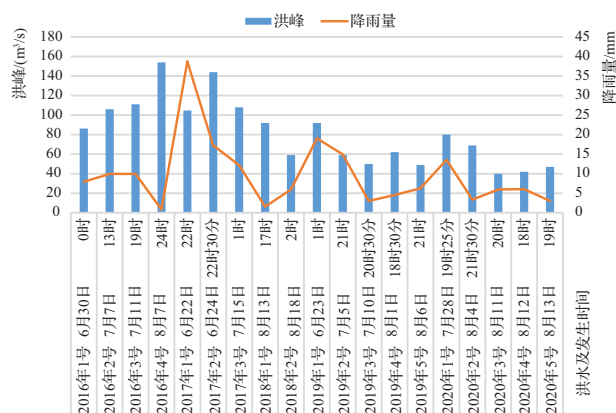


图 21 2015—2020 年洪水统计

4.3.1 降雨和山洪的时间分布

中低山带致洪降雨时间分布在 13—22 时,降雨集中在 17—22 时,洪水时间分布在 14 时至凌晨 1 时,洪水集中在 19—24 时。降雨和洪水之间平均有 3h 左右的流程时差。最快有 1h 最慢有 6h 的流程时差,说明山洪和降雨关系显著,见图 22。



图 22 降雨时间和山洪时间变化特征

4.3.2 暴雨山洪发生区域分布

暴雨山洪发生在海拔 2186m 鹿角湾自动雨量站附近 7 次,海拔 1675m 巴音沟牧场自动雨量站附近 6 次,海拔 844m 巴音山庄自动雨量站及低山区 4 次;在中低山区,降雨量随海拔升高而升高,山洪随短时降雨增多呈增加趋势;林区以上没有发生过洪水,见图 23。

4.3.3 致灾降雨的量级

42% 的山洪由 10mm 以上的短时强降雨形成,1h

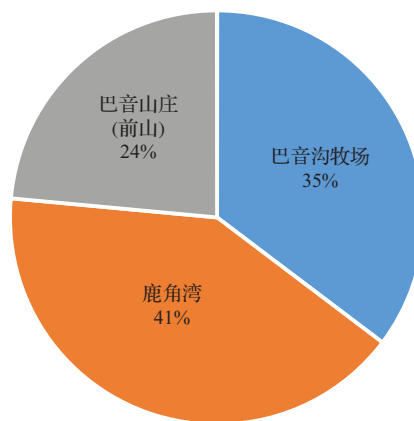


图 23 暴雨山洪发生区域

内强度越高发生山洪的可能性越高,反之越低;32% 的山洪由 5 ~ 10mm 的短时弱降雨形成;26% 的山洪由 0 ~ 5mm 的短时弱降雨形成。降水较少也可能发生山洪。见图 24。

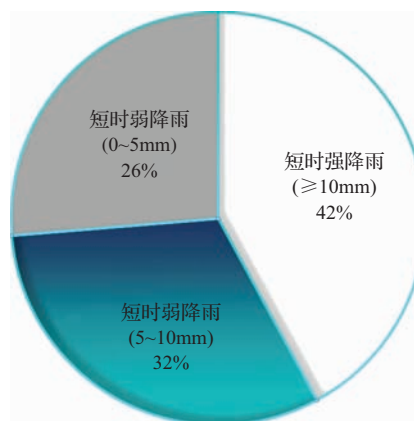


图 24 致洪降雨强度分析

4.3.4 山洪的峰值

在巴音沟河的洪水中,40% 洪峰为 $60\text{m}^3/\text{s}$ 以下,50% 洪峰为 $60 \sim 120\text{m}^3/\text{s}$,10% 洪峰大于 $120\text{m}^3/\text{s}$ 。近 5 年最大山洪峰为 $154\text{m}^3/\text{s}$,发生在 2016 年 8 月 7 日。

4.3.5 暴雨山洪特点

巴音沟河山洪易发生在巴音山庄至巴音沟牧场和鹿角湾这一三角区域。中低山短时降雨易发山洪,虽然洪水总量只约占全年径流的 1.2% ~ 4%,但是此类洪水从降雨发生到山洪暴发,一般在 20min 以内;从降雨发生至到达引水枢纽一般在 1 ~ 6h;洪水到达引水枢纽后,一般在 6 ~ 20min 内,在冰川正常融水的基础

上涨水 $15 \sim 120 \text{ m}^3/\text{s}$; $1 \sim 2 \text{ h}$ 左右洪水会退去。在巴音沟河此类洪水每年 6—8 月间会发生 3~6 次。此类洪水的主要影响因素为上游短时降雨。由于巴音沟河山洪洪峰一般为 $50 \sim 160 \text{ m}^3/\text{s}$, 洪水集中在 19—24 时, 上游发生降雨 $1 \sim 6 \text{ h}$ 后, 洪水到达, 洪峰急涨急落。洪峰高、洪量小是巴音沟河汛期最常见的洪水特征。

4.4 高山区暴雨+冰川融雪混合洪水

1999 年 7 月下旬和 8 月上旬, 巴音沟河高山区气温持续升高, 高空 0°C 层快速上升, 高空 0°C 层维持在 4600 m 以上使高山冰川快速融化是发生此次洪水的主因。7 日洪量 5677 万 m^3 , 占全年径流的 14%, 洪峰高、洪量大, 对水利工程、桥梁、铁路、水库影响较大。8 月降雨量全月总和大约是 106 mm , 其中洪水发生日前一天 8 月 1 日降水量为 23.8 mm , 8 月 2 日降水量为 1.5 mm , 8 月 3 日降水量为 8.2 mm , 8 月 4 日降水量为 5.1 mm , 与此同时, 8 月 1 日晚至 8 月 2 日凌晨巴河源头又下了 23.8 mm 的中到大雨, 是形成 8 月 2 日降水融雪型特大洪水的主要诱因。大范围强降雨导致高山冰川加速融化, 形成混合洪水。此次洪峰过程为双峰型, 7 月 27 日 $96 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪峰, 7 月 27 日 $165 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪峰, 与之前一天 10 mm 和 27 mm 的大范围降雨相关。见图 25。

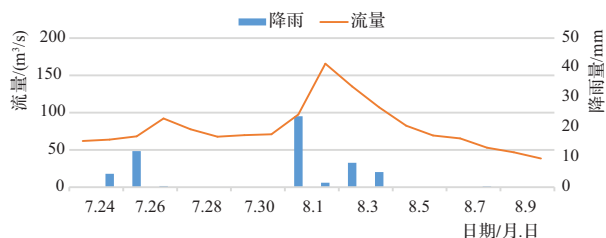


图 25 1999 年 8 月混合洪水

玛纳斯河 1999 年的洪峰也呈双峰型, 第一次洪峰出现在 7 月 20 日, 洪水形成区域集中在玛纳斯河分水岭处。第二次洪峰出现在 8 月 2 日, 洪峰最大流量为 $1095 \text{ m}^3/\text{s}$ 。混合洪水形成条件较为苛刻, 一般要在 7 月 15 日—8 月 10 日, 此时冰川融水进入活跃期, 高空 0°C 层高度在雪线以上, 即 $3900 \sim 5500 \text{ m}$, 高山区较高位置发生大范围暴雨后, 易发混合洪水。

4.5 天山北麓河流混合山洪水平方向洪水规律

无论是突发的中低山带暴雨洪水, 还是群发的高

山带暴雨混合洪水, 总体来说, 所有降水的运行路线均为四棵树→奎屯河→巴音沟河→金沟河→玛纳斯河→塔西河→呼图壁河→三屯河→头屯河→乌鲁木齐河。

5 结 论

a. 在冰川融雪洪水预测方面, 可利用汛期 0°C 层高度预报先于冰川融水洪水变化的特点, 通过对 0°C 层高度监测, 对未来一周内冰川融水洪水径流过程进行提前 $5 \sim 7$ 天预测。 0°C 层最低高度突然降低, 对径流减小影响较大, 因此应特别关注。也可利用汛期出山口日气温变化模拟上游高山冰川日气温变化, 发现日气温变化与日冰川融水过程变化相近, 则通过监测出山口气温变化可对日内冰川融水过程进行提前 $8 \sim 14 \text{ h}$ 的短期预测。

b. 在低山带山洪预警方面, 天山北坡中山带林区对拦蓄降雨减少山洪形成起到了较为明显的作用, 据观测, 林区以上不易发生山洪。汛期重点关注低山带三个自动雨量站, 1 h 内不小于 5 mm 的降雨量导致山洪发生的可能性较大, 可以利用 1 h 降雨量对未来 $1 \sim 6 \text{ h}$ 山洪进行短期流程时间差预警。这类洪水突发性强、洪峰高、洪量小, 涨水特别快落水也快。

c. 在混合型洪水预警方面, 每年的 7 月 15 日—8 月 10 日是冰川融化高峰期, 0°C 层高度的异常升高加上全疆大范围降雨, 可能导致暴雨+冰川融雪洪水, 这类群发洪水, 洪峰高、洪量大, 对工程危害最大。

d. 有关天山北坡年内汛期 0°C 层高度变化对冰川融水径流变化影响的研究文献较少, 应当加大对 0°C 层高度的研究。◆

参考文献

- [1] 武登云. 北天山及其前陆河流下切速率空间模式研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2019.
- [2] 穆振侠. 高寒山区降水垂直分布规律及融雪径流模拟研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010.
- [3] 董玉文, 胡江, 杨胜发. 新疆洪水成因及特性分析[J]. 重庆交通学院学报, 2004, 23(2): 118-122.
- [4] 马红刚, 罗宏伟, 张金宝. 新疆巴音沟河山洪案例分析[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(8): 13-19. (下转第 65 页)



沭阳水文站南偏泓测流断面流量测速垂线精简分析

周春煦¹ 刘昊² 王露²

(1. 江苏航运职业技术学院, 江苏 南通 226010;
2. 江苏省水文水资源勘测局宿迁分局, 江苏 宿迁 223800)

【摘要】 根据《水文测验手册》相关要求,结合沭阳水文站垂线平均流速横向分布曲线以及综合断面图,以该站2013—2018年以来具有代表性的测站大断面测量成果为依据,对沭阳水文站南偏泓的测速垂线进行精简分析,通过施测1110.0m、1170.0m两条垂线平均流速后,计算得到测速垂线精简方案,并进行了误差分析。研究结果表明该方案符合要求,可应用于沭阳水文站断面流量实测中。

【关键词】 测速垂线;精简分析;沭阳水文站

中图分类号: TV877

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)01-080-05

Simplification analysis of flow and velocity measurement vertical line of velocity measurement section in south side of Shuyang Hydrological Station

ZHOU Chunxu¹, LIU Hao², WANG Lu²

(1. Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China;
2. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau Suqian Branch, Suqian 223800, China)

Abstract: The horizontal distribution curve of the vertical line average flow velocity and the comprehensive cross-section map of Shuyang Hydrological Station are combined according to the relevant requirements of *Hydrographic Tesh Manual*. The measurement results of the representative measurement station large cross-section from 2013 to 2018 of the station are adopted as basis. The velocity measurement vertical line of the south side channel of Shuyang Hydrological Station is simplified and analyzed. The velocity measurement vertical line simplification plan is calculated and obtained by measuring the average velocity of 1110.0m and 1170.0m vertical lines. The errors are analyzed. The research results show that the scheme meets the requirements, and it can be used for cross-section flow measurement of Shuyang Hydrological Station.

Keywords: velocity measurement vertical line; simplification analysis; Shuyang Hydrological Station

收稿日期: 2021-04-09

基金项目: 2020年江苏高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养项目(JSQGC2020);江苏省高职院校教师专业带头人高端研修(个人访学研修)项目(2021GRGDYX007);南通市科技计划项目(基于BIM技术的农用泵站全生命周期整体优化研究 MSZ21096);南通市科技计划项目(海安市水资源承载力综合评价及预测研究 MSZ21008)

作者简介: 周春煦(1983—),男,硕士,副教授,主要从事水利水运工程教学与研究工作。

1 引言

流量是指单位时间内通过某一过水断面的水体体积,是河流十分重要的水文特征,是反映水库、湖泊以及河水等水量变化的重要因素,也是测验河段最为重要的水文要素。流量测验的方法非常多,常用的方法包括流速面积法、水力学法、化学法、直接法等。其中化学法和直接法直接适用于小流量测流,水力学法相对简单,通过测定水位和率定好的流量系数(水位流量关系),计算出流量,适合实测和在线监测;物理法是利用声、光、电、磁等物理学原理测定流量,有超声波法、电磁法和光学法。物理法有以下优点:仪器不干扰原来的水流结构,可以快速、连续地测流,操作安全。流速面积法是最基本、最常用的一种测流方法,由测量的流速乘以测算的过水断面面积得到。由于江河水文站受到多种因素的影响导致其流量变化日益复杂,为更好地分析江河流量变化情况,我国水文领域采用了多元化的方法对流量资料加以分析。近年来,我国水文领域将研究重心放在了如何在符合规范的前提下,更快速、更准确地对水文资料进行获取。本文以沭阳水文站为研究对象,对其南偏泓测流断面流量测速垂线进行精简分析,以加强此方面的深入研究。

2 概述

2.1 测站概况

沭阳水文站建于1950年7月,该站位于新沂河腰部,地处江苏省沭阳县北京南路,地理位置为东经 $118^{\circ}45'43.4''$,北纬 $34^{\circ}08'37.0''$,距嶂山闸43km,集水面积 495.97km^2 。多年平均降水量为918.0mm,其中最大降水量为1974年的1330mm,最小降水量为1978年的531.9mm,最大年蒸发量为1966年的1544.6mm,最小年蒸发量为2003年的673.2mm。该站连续观测至今,为汛期水文站,河床为两合土,流速仪测流断面设在新沂河大桥下游510m处,河宽1282m。水位流量关系主要和洪水涨落有关,呈逆时针绳套形。该站所使用的基面为废黄河口基面,实测最高水位为10.76m,发生于1974年8月16日,最大流量 $6900\text{m}^3/\text{s}$,为历史最大值。

2.2 测验河段特征

该站位于距嶂山闸(起点)43km处,测验河断顺直,断面稳定。流速仪测流断面设置在新沂大桥下游510m处,河宽1287.5m,属于典型的双复式断面。2007年进行整治,2008年底整治工程正式结束,北偏泓河槽拓宽至190m,南偏泓河槽拓宽至280m。沭阳站以上包括淮沭新河、老沭河等多条支流,两岸分别建有盐河南、北闸以及小潮河闸等。图1为沭阳水文站流速仪测流断面,图2为沭阳水文站南泓断面测深、测速垂线分布。

3 测验方法及资料选择

根据《水位观测标准》(GB/T 50138—2010)、《河流量测验规范》(GB 50179—2015)和《水文测验实用手册》的技术规定,采用该站2017年6—9月南偏泓测验数据进行分析。考虑到资料存在不确定因素,在率定前对所有比测资料进行合理性检查,选择河道水流较为稳定时期的比测资料作为样本参与单断速关系率定,样本数应大于30。根据上述原则完成筛选,最终明确参与本次单断速关系率定采用的样本数为216次,控制水位不大于8.50m。

3.1 测站概况

本次分析采用新沂河沭阳水文站2017年6—9月南偏泓测验数据进行相关分析,考虑到比测资料的不确定因素,率定前,对全部比测资料进行合理性检查,选取河道水流较为稳定时期的比测资料作为样本参与单断速关系率定。在测验过程中,对影响测流精度的测次资料予以弃用。参与率定的测次样本数应大于30,以便确定最适宜的垂线和检测流速的换算图表或系数,并尽可能涵盖断面平均流速变化范围。根据上述原则进行筛选后,确定参与本次单断速关系率定所采用的样本数为216次,控制水位为不大于8.50m。

3.2 计算分析方法

在控制水位以下范围内的测速垂线中,选定主流及其附近的一条或几条测速垂线,摘录出实测流速,采用试算法多次计算不同垂线单位流速组合,根据计算

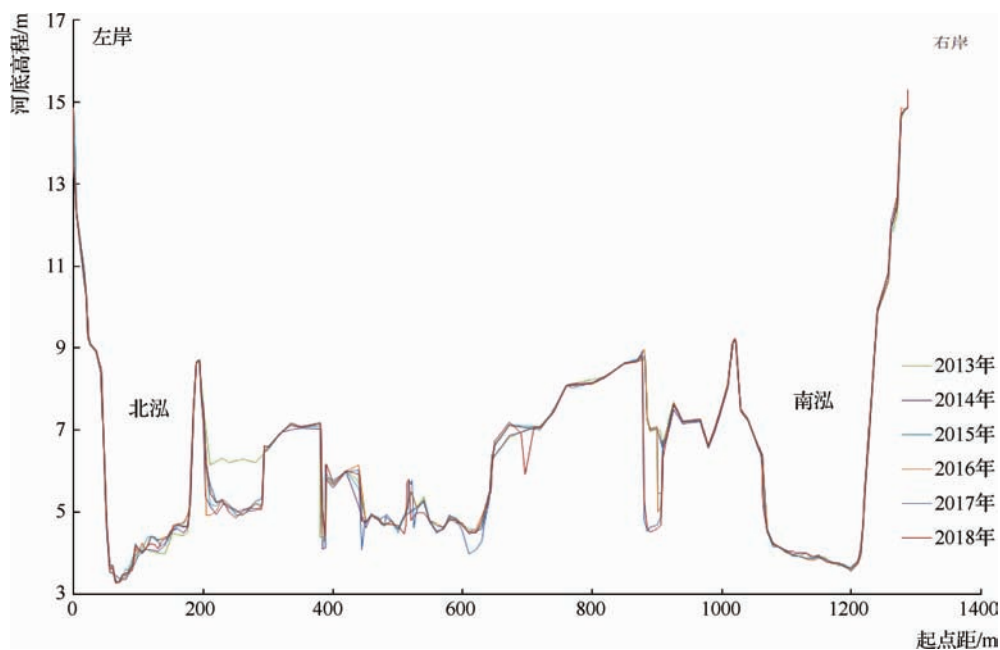


图1 2013—2018年新沂河沭阳水文站流速仪测流断面

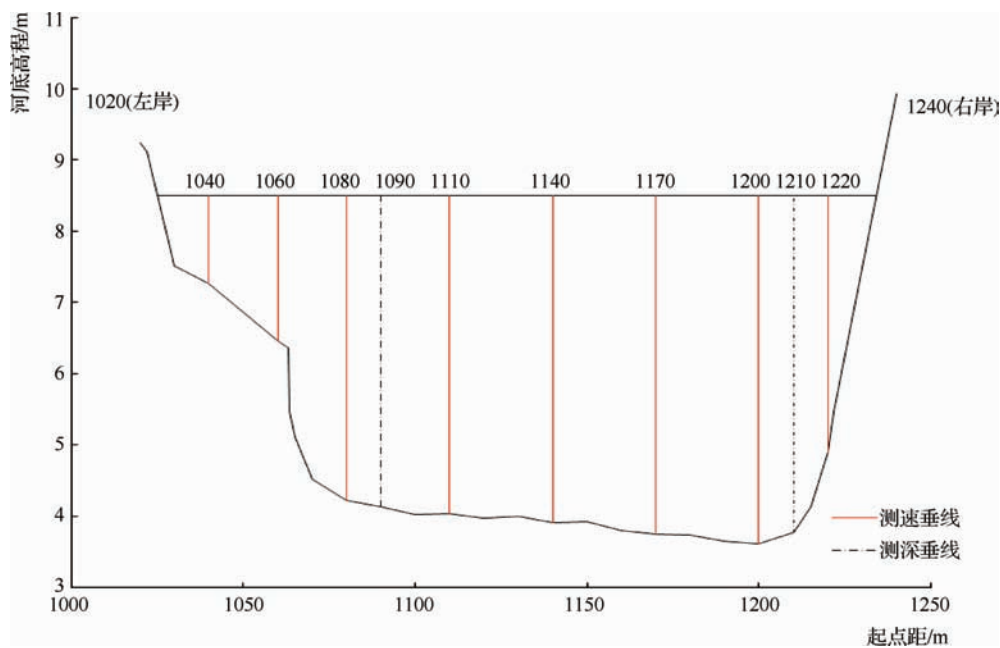


图2 沭阳水文站南泓断面测深、测速垂线布设

出的垂线单位流速(算术平均),见式(1),和每测次的断面平均流速,通过点绘关系线图,定出两者的换算系数 K ,见式(2),并优选精度较高的相关系数。

$$v_c = \frac{1}{n} \sum v'_c \quad (1)$$

式中 v_c ——垂线单位流速, m/s ;
 v'_c ——不同垂线单位流速, m/s ;
 n ——垂线数量。

$$v_d = K v_c \quad (2)$$

式中 v_d ——断面平均流速, m/s ;
 K ——断面平均流速转换系数。

4 垂线精简分析

4.1 断面稳定性分析

根据 2013—2018 年以来测站大断面的测量成果,

控制水位 8.50m 所对应的过水面积分别为 785m^2 、 785m^2 、 789m^2 、 787m^2 、 786m^2 、 784m^2 。计算结果表明:沭阳水文站水位和面积关系点的偏离曲线均符合《河道流量测验规范》(GB 50179—2015)第 3.1.4 条的规定,这证明沭阳水文站测流断面南偏泓河床稳定,河道部分冲淤不大,基本稳定。

4.2 精简测速垂线的原因及方法选择

界首站当前常用流量测验方法为缆道流速仪法,采用一点法施测。测流时受到上下游大桥以及两端障碍物的影响,存在不能及时观察上下游来往船只情况的问题。在测流的过程中,从避让船只到恢复测流需要花费双倍的缆道运行时间,而且容易出现避让不及的情况。为了减少缆道测流设备在主航道停留的时间,缩短测流历时,减少测流过程中的安全隐患,对主航道内测速垂线进行精简十分必要。界首站缆道流速仪法流量测验为全断面测量,保留现有测深垂线不影响施测过程和施测时长。沭阳水文站目前常用流量测验方法为电动水文缆道、LS68 型流速仪法,采用一点法进行施测。在南泓河槽起点距 1110.0 ~ 1170.0m 之间,总共设置 8 条测深、测速垂线。对相对水深 0.6m 处进行垂线流速施测,测点测速历时 60s,洪水期抢测洪峰时适时缩短至 30s,水深采用借用水深。一般常测

法测流历时 20 ~ 60min,采取连时序法或连实测流量过程法进行推流。为减少缆道测流设备所停留的时间,缩短测流历时,减少测流过程中的安全隐患,对测速垂线进行精简十分必要。采取瓶式采样器,在基本水尺断面上 510m 处,采取水边一线水面一点法进行取样,当基本断面低于 8.50m 时,分别在南、北泓基本断面起点距 1170m、120m 的测速垂线处取单沙水样,高水期含沙量取样共布设 14 条取样垂线,采取实测单沙过程法加以推测。

4.3 精简前后断面流量相关关系分析

以 2017 年 6—9 月共计 216 次实测流量数据为依据,精简起点距 1110.0m 处测速垂线,保留其测深垂线,计算精简后断面流量。结合实测流量计算中采用借用断面的不同,以断面平均流速作为依据,筛选出的控制水位下精度较高的测次样本数已大于 30 项,符合规范,根据所取的比测数据共 216 次合并定线,得到线性关系图(见图 3),在不考虑借用断面影响的情况下,精简起点距 1020.0m 处测速垂线并保留其测深垂线,精简前后,断面流量之间的线性关系良好,相关关系式为 $v_d = 0.91v_c$,确定性系数 R^2 为 0.9953,拟合度很高,且拟合效果极好。

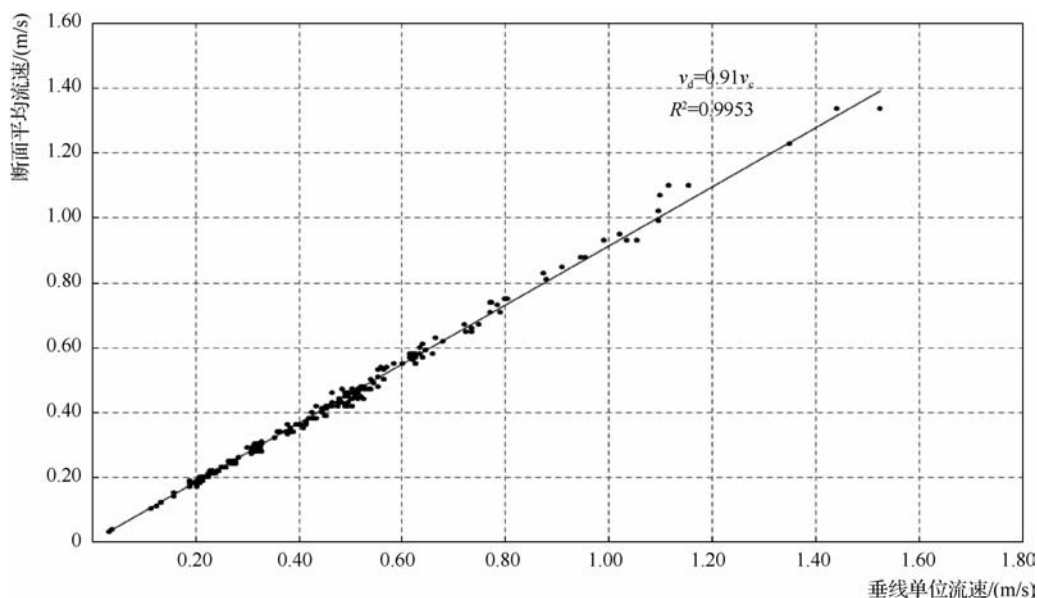


图3 新沂河沭阳水文站单断速关系线



4.4 误差分析

由图3可知,精简前后,断面流量线性关系非常好。 R^2 为0.9953,趋近于1,关系式趋近于 $y=x$,为便于实际计算,精简后断面流量系数定为1.00。将精简前断面流量与精简后断面流量进行误差分析(见图4),系统误差为-0.20%,累计频率75%以上的误差为4%。累计频率95%以上的误差为7%,符合误差限界规定,本方案可行。

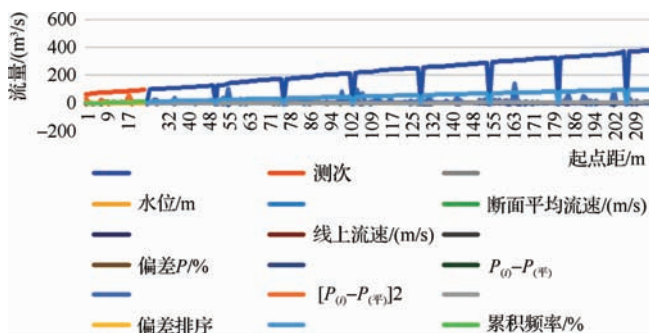


图4 沭阳水文站南偏泓测流断面流量和精简后断面流量误差分析

5 结论与建议

5.1 结论

通过对新沂河沭阳水文站南偏泓断面平均流速和垂线单位流速测验数据进行合理性分析并进行率定,得到单断速关系系数为0.91。本次比测及资料分析符合规范要求,单断速关系率定成果合理,定线精度符合规范限界要求,单断速关系可在控制水位8.50m以下范围内作为流速仪法测验的常用测洪方法,超出此范围采用常测法测验。采用简测法时通过施测起点距1110.0m、1170.0m两条垂线平均流速后计算得出垂线单位流速,乘以相关系数推求断面平均流速,建立水位-面积关系曲线,根据测时水位查算断面面积,乘以断面平均流速得出断面流量。

5.2 建议

a. 在日常工作中要强化基础数据的收集,根据规范相关要求对已经建立的单断速关系进行检定。

b. 如果水位超过8.50m,则依然采取原有的测洪方案对断面流量进行实测。为了确保成果准确,在完

成声学多普勒流速剖面仪(V-ADCP)设备安装调试后,加强数据样本收集,对单断速关系精度加以检定,将成果投入运行。◆

参考文献

- [1] 朱晓原,张留柱,姚永熙.水文测验实用手册[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [2] 水位观测标准:GB/T 50138—2010[S].北京:中国计划出版社,2010.
- [3] 水文资料整编规范:SL 247—2012[S].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [4] 河流流量测验规范:GB 50179—2015[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [5] 杨静宗,杨在华,杨旌悦.红谷田水库水情测报系统的设计研究[J].水利建设与管理,2020,40(4):65-68.
- [6] 曹杰,周洪顺,方圆.省界水资源监测站盱眙水文站流量测验精简分析[J].江苏水利,2016(11):19-22.
- [7] 李丽梅,刘春录.下关(污水)水文站流量测验垂线布设常测法精简分析[J].珠江现代建设,2014(5):13-15.
- [8] 林素琼,况玉玲.炉霍专用水文站测速垂线、测点精简分析[J].四川水利,2014,35(1):46-48.
- [9] 王文华.雷达测流仪比测分析[J].人民黄河,2016,38(5):6-9.
- [10] 周翠翠.ADCP流速数据质量控制及系统的误差修正[D].南京:东南大学,2016.
- [11] 齐勇,吴玉尚,张可可,等.ADCP的分类及其研究进展[J].气象水文海洋仪器,2016,33(1):110-114.
- [12] 阮芬,马树升,白清俊,等.超声波流量计的测流原理及其应用研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2006,37(1):99-104.
- [13] 国家三、四等水准测量规范:GB/T 12898—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [14] 王骏秋,王江,王成.声学多普勒流量流速剖面仪宽带与窄带性能分析[J].水利建设与管理,2016,36(10):31-34.
- [15] 葛锐,王修贵.Weingartner模型在水文站网规划中的应用[J].水资源开发与管理,2021(7):58-63.
- [16] 刘运珊,程亮.回水影响下H-ADCP在线流量监测系统的应用分析[J].水资源开发与管理,2021(8):72-76.
- [17] 李立州,程昱.手持电波流速仪在黄山地区中高水流量测验中的应用研究[J].水资源开发与管理,2021(7):69-73.