

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 3 期

(总第 345 期)

2022 年 3 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3期

本期特稿

1 推动新阶段水利高质量发展 全面提升国家水安全保障能力
——写在 2022 年“世界水日”和“中国水周”之际

水利部党组书记、部长 李国英

3 2022 年水利工程建设工作要点

6 2022 年水利工程运行管理工作要点

172 项节水供水重大水利工程专题

9 混凝土建筑物有盖重固结灌浆试验探索 陈佳培 任 磊 向 吉

工程施工

15 北方寒区浑北灌区排水沟道护坡方式砌护效果对比研究 郝美玲

19 句容市赤山湖堤防道路纵向裂缝成因分析与治理

赵道双 叶根苗

26 动水条件下砂卵石层高喷方法探讨 刘玉成 李华伟 张青松

31 砂卵石强渗透地层防渗墙成墙技术 成永辉 刘计成

38 基于遗传算法的城市水环境治理绿色施工优化

李 新 薛振宁 黄 健

44 两河口水电站土工膜快速收放机研制与应用

刘武超

运行管理

50 基于 AHP-熵权法赋权的水库降等报废评估模型研究

韩玉龙 罗国杰 郑婷婷

55 重庆永川区水库工程物业化管理运行情况分析与建议

肖弟康 卢本琼

59 环县农村饮水安全工程运行管理的成效和经验

王玥娜 张洪伟 李 华

63 北京地区小型水库大坝安全评价分析与探讨

窦国钦 孙宗峰 吕智君

水力学

73 土坝渗压分析一元线性回归模型构建与应用

秦根泉 田 慧 苏晓林

81 构皮滩升船机船厢空载原位顶升受力分析与研究

宋金育

行业动态

●2022年3月22日是第三十届“世界水日”,3月22—28日是第三十五届“中国水周”。联合国确定2022年“世界水日”主题为“Groundwater-Making the Invisible Visible”(珍惜地下水,珍视隐藏的资源)。我国纪念2022年“世界水日”“中国水周”活动主题为“推进地下水超采综合治理 复苏河湖生态环境”。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202203/t20220304_1563654.html,日期:2022年3月4日)

●2022年2月22日,秦岭输水隧洞实现全线贯通,标志着陕西引汉济渭工程的关键控制性工程取得重大胜利,这是人类首次从底部横穿秦岭。预计于2022年底,西安人民有望喝上汉江水。

(来源:中国水事公众号,网址:<https://mp.weixin.qq.com/s/3vEwZmVQHDbXpTHXeK9vIw>,日期:2022年2月23日)

●2022年2月16日、28日,中国水利工程协会陆续发布通知,启动2021—2022年度中国水利工程优质(大禹)奖评选、2022年度水利行业工法申报、2022年度水利工程优秀质量管理小组成果评价工作。

(来源:中国水利工程协会网,网址:<https://www.cweun.org>,日期:2022年2月28日)

●2022年2月28日水利部办公厅发布通知,对《水利工程监理工程师(水利工程)管理办法》公开征求意见。

(来源:中国水利工程协会网,网址:<https://www.cweun.org>,日期:2022年2月28日)

●2022年2月25日水利部印发《水库除险加固工作责任追究办法》《小型水库安全运行监督检查办法》。

(来源:中国水利公众号,网址:https://mp.weixin.qq.com/s/VwiO_VzvmffzXVmxN6wFGw,日期:2022年3月9日)

●2022年2月25日,水利部在北京对《数字孪生流域建设技术大纲(试行)》《数字孪生水利工程建设技术导则(试行)》《水利业务“四预”功能基本技术要求(试行)》等文件进行技术审查。

(来源:中国水利公众号,网址:<https://mp.weixin.qq.com/s/QMDSaTnpCe52DmHYcvX5gg>,日期:2022年2月26日)

宣传与广告

封面 北京市南水北调配套工程——东干渠亦庄调节池扩建工程

封二 宁夏青龙管业集团股份有限公司

封三 激发青春活力 绽放文明新花

封底 上海宏波工程咨询管理有限公司

《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. 3 2022

CONTENTS

Special Report

- 1 Promote high-quality development of water conservancy in the new stage and comprehensively enhance China's capacity to ensure water security——written on the occasion of World Water Day and China Water Week in 2022
LI Guoying, Secretary of the CPC committee of Ministry of Water Resources and Minister of Water Resources
- 3 Key points of water conservancy projects construction in 2022
- 6 Key points of operation management of water conservancy projects in 2022

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

- 9 Exploration on covered heavy consolidation grouting test of concrete buildings
CHEN Jiawei, REN Lei, XIANG Ji

Project Construction

- 15 Comparative study on pitching effect of drainage ditch slope protection mode in Hunbei Irrigation Area of cold North China
HAO Meiling
- 19 Cause analysis and treatment of longitudinal cracks in Jurong Chishan Lake embankment roads
ZHAO Daoshuang, YE Genmiao
- 26 Discussion on sand pebble layer high spraying method under flowing water condition
LIU Yucheng, LI Huawei, ZHANG Qingsong
- 31 Technology of forming cutoff walls in sand pebble strong permeable stratum
CHENG Yonghui, LIU Jicheng
- 38 Green construction optimization of urban water environment governance based on genetic algorithm
LI Xin, XUE Zhenning, HUANG Jian
- 44 Development and application of geomembrane fast retracting machine in Lianghekou Hydropower Station
LIU Wuchao

Operation Management

- 50 Research on reservoir degradation scrap assessment model based on AHP-entropy weight method empowerment
HAN Yulong, LUO Guojie, ZHENG Tingting
- 55 Analysis and suggestions on property management operation condition of Chongqing Yongchuan District Reservoir Project
XIAO Dikang, LU Benqiong
- 59 Effect and experience of operation management of Huanxian County Rural Drinking Water Safety Project
WANG Yuena, ZHANG Hongwei, LI Hua
- 63 Analysis and discussion on safety evaluation of small reservoir dam in Beijing
DOU Guoqin, SUN Zongfeng, Lu Zhijun

Hydraulics

73 Construction and application of unitary linear regression model for earth dam seepage pressure analysis

QIN Genquan, TIAN Hui, SU Xiaolin

81 Analysis and research on no-load in-situ jacking force of Goupitan ship lift cabin

SONG Jinyu

2022年
“世界水日”
“中国水周”
宣传口号

- ① 深入落实习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路
- ② 推进地下水超采综合治理，复苏河湖生态环境
- ③ 贯彻地下水管理条例，强化地下水超采治理
- ④ 实施地下水取水总量、水位双控管理
- ⑤ 复苏河湖生态环境，维护河湖健康生命
- ⑥ 强化河湖长制，建设幸福河湖
- ⑦ 开展母亲河复苏行动，让河流流动起来，把湖泊恢复起来
- ⑧ 精打细算用好水资源，从严从细管好水资源
- ⑨ 深入实施国家节水行动
- ⑩ 建立健全节水制度政策，提升水资源集约节约利用能力
- ⑪ 建立水资源刚性约束制度，强化用水总量强度双控
- ⑫ 打好黄河流域深度节水控水攻坚战
- ⑬ 积极践行公民节约用水行为规范
- ⑭ 深入贯彻实施《中华人民共和国长江保护法》
- ⑮ 深入贯彻水土保持法，推进水土流失综合防治
- ⑯ 实施国家水网重大工程，提升水资源优化配置能力
- ⑰ 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
- ⑱ 强化流域统一规划、统一治理、统一调度、统一管理
- ⑲ 完善流域防洪工程体系，提升水旱灾害防御能力
- ⑳ 提升农村供水保障水平，确保农村供水安全

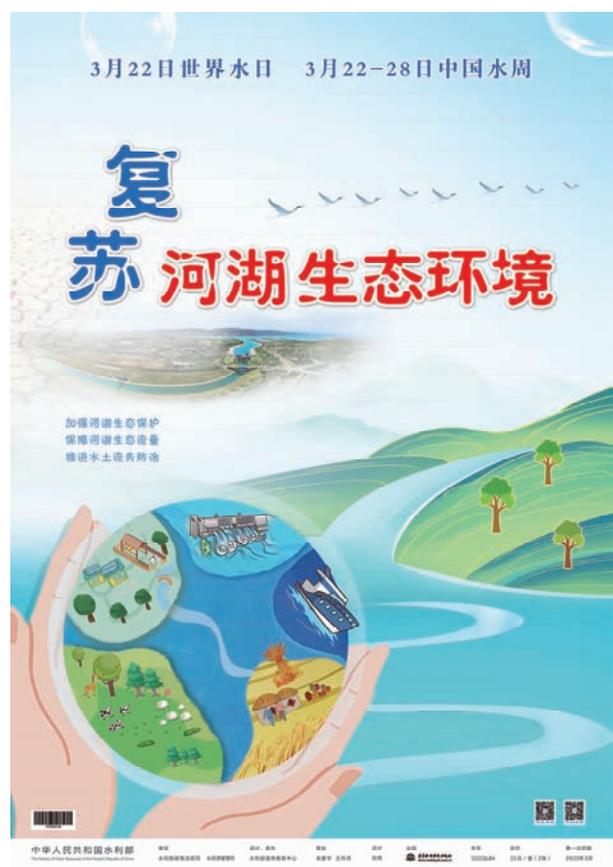
推动新阶段水利高质量发展 全面提升国家水安全保障能力

——写在2022年“世界水日”和“中国水周”之际

水利部党组书记、部长 李国英

3月22日是第三十届“世界水日”，第三十五届“中国水周”的宣传活动也同时开启。联合国确定今年“世界水日”的主题是“珍惜地下水，珍视隐藏的资源”，我国纪念今年“世界水日”“中国水周”活动的主题是“推进地下水超采综合治理 复苏河湖生态环境”。

水是万物之母、生存之本、文明之源。水利事关战略全局、事关长远发展、事关人民福祉。党的十八大以来，习近平总书记深刻洞察我国国情水情，从实现中华民族永续发展的战略高度，提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，确立起国家的“江河战略”，部署推动南水北调后续工程高质量发展等重大水利工程建设，为新时代治水提供了强大思想武器和科学行动指南。以习近平同志为核心的党中央统筹推进水灾害防治、水资源节约、水生态保护修复、水环境治理，开展一系列根本性、开创性、长远性工作，书写了中华民族治水安邦、兴水利民的新篇章。在地下水保护治理和河湖生态保护方面，通过实施国家节水行动、强化水资源刚性约束、全面建立河湖长制、推进实施一批跨流域跨区域重大引调水工程，我国水资源利用方式实现深层次变革，水资源配置格局实现全局性优化，江河湖泊面貌实现历史性改善。华北地区地下水超采综合治理取得明显成效，2021年底京津冀治理区浅层地下水水位较2018年同期总体上升1.89米，深层地下水水位平均回升4.65米，永定河实现26年来首次全线通水，白洋淀生态水位保证率达到100%，潮白河、滹沱河等多条河流全线贯通。越来越多的河流恢复“生命”，越来越多的流域重现生机，越来越多的河湖成为造福人民的幸福河湖。



水安全是生存的基础性问题，河川之危、水源之危是生存环境之危、民族存续之危，要重视解决好水安全问题。受特殊自然地理气候条件和经济社会发展条件制约，加之流域和区域水资源情势动态演变，我国水资源水生态水环境承载能力仍面临制约，解决河湖生态环境问题仍须付出艰苦努力，水旱灾害风险隐患仍是必须全力应对的严峻挑战。我们要深入贯彻落实习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，统筹发展和安

全,推动新阶段水利高质量发展,着力提升水旱灾害防御能力、水资源集约节约利用能力、水资源优化配置能力、大江大河大湖生态保护治理能力,为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障。

一是完善流域防洪工程体系。坚持人民至上、生命至上,深入落实“两个坚持、三个转变”防灾减灾救灾理念,补好灾害预警监测短板,补好防灾基础设施短板,全面构建抵御水旱灾害防线。以流域为单元,构建主要由河道及堤防、水库、蓄滞洪区组成的现代化防洪工程体系,提高标准、优化布局,全面提升防洪减灾能力。加快江河控制性工程建设,加快病险水库除险加固,提高洪水调蓄能力。实施大江大河大湖干流堤防建设和河道整治,加强主要支流和中小河流治理,严格河湖行洪空间管控,提高河道泄洪能力。加快蓄滞洪区布局优化调整,实施蓄滞洪区安全建设,确保关键时刻能够发挥关键作用。

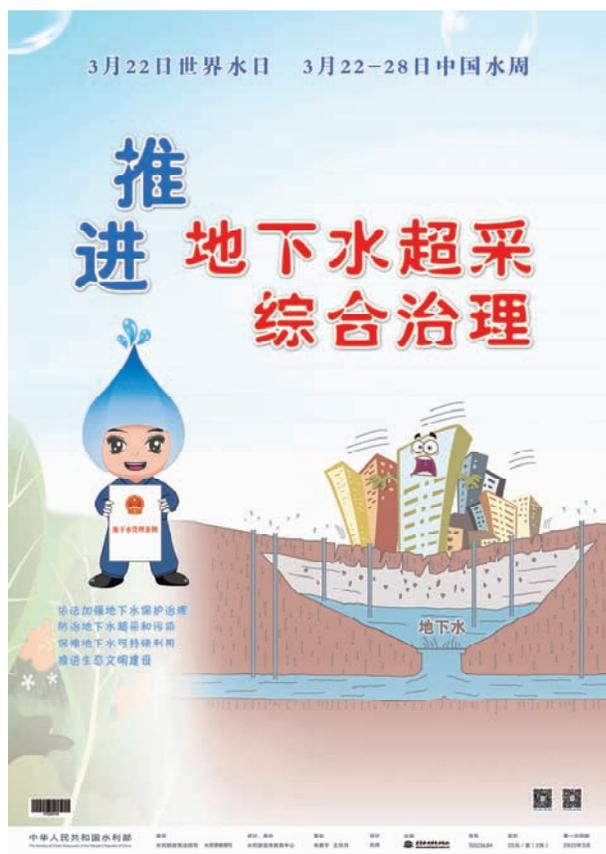
二是实施国家水网重大工程。坚持全国一盘棋,科学谋划国家水网总体布局,遵循确有需要、生态安全、可以持续的重大水利工程论证原则,以自然河湖水系、重大引调水工程和骨干输配水通道为纲,以区

域河湖水系连通工程和供水渠道为目,以具有控制性功能的水资源调蓄工程为结,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,协同推进省级水网建设,全面增强我国水资源统筹调配能力、供水保障能力、战略储备能力。因地制宜完善农村供水工程网络,加强现代化灌区建设,打通国家水网“最后一公里”。

三是复苏河湖生态环境。以提升水生态系统质量和稳定性为核心,树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理,加强河湖生态治理修复,实施河湖水系综合整治,开展母亲河复苏行动,实施“一河一策”“一湖一策”,维护河湖健康生命,实现河湖功能永续利用。深入推进地下水超采治理,开展新一轮华北地区地下水超采综合治理,持之以恒加快京津冀地区河湖生态环境复苏。科学配置工程措施、植物措施、耕作措施,扎实推进水土流失综合治理,提升水源涵养能力。

四是推进智慧水利建设。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,全面推进算据、算法、算力建设,加快建设数字孪生流域、数字孪生水利工程。针对物理流域全要素和水利治理管理全过程,构建天、空、地一体化水利感知网和数字化场景,实现数字孪生流域多维度、多时空尺度的智慧化模拟,建设具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系,支撑科学化精准化决策,实现水安全风险从被动应对向主动防控转变。

五是建立健全节水制度政策。坚持节水优先、量水而行,全面贯彻“四水四定”原则,推进水资源总量管理、科学配置、全面节约、循环利用,从严从细管好水资源,精打细算用好水资源。强化水资源刚性约束,严控水资源开发利用总量,严格节水指标管理,严格生态流量监管和地下水水位水量双控,严格规划和建设项目水资源论证、节水评价。健全初始水权分配和用水权交易制度,推进用水权市场化交易,创新完善用水价格形成机制,深入推进水资源税改革,建立健全节水制度政策。深入实施国家节水行动,强化节水定额管理、水效标准监管,推进合同节水管理和节水认证工作,深化农业节水增效、工业节水减排、城镇节水降损,建设节水型(下转第8页)



2022 年水利工程建设工作要点

2022 年水利工程建设工作的总体思路是：以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻习近平总书记“十六字”治水思路和关于治水重要讲话指示批示精神，按照水利部党组关于推动新阶段水利高质量发展的安排部署，坚持目标导向和问题导向，强化底线思维，统筹发展和安全，加快推进水利工程建设，切实保障水利工程质量安全，持续加强水利建设市场监管，大力提升水利工程建设管理水平，以优异成绩迎接党的二十大胜利召开。

一、加快推进重大水利工程建设

1. 加强组织协调。进一步压实项目法人对工程项目法人对工程建设的首要责任和主管部门的监督指导责任。逐个项目制定年度实施方案，实行清单式管理，加强动态监控和分析研判，明确重要工作节点和保障措施。加强重大水利工程施工准备、建设实施、投产验收等各阶段的统筹协调和有序推进。根据前期工作进展情况，加快新开工建设一批重大水利工程，为稳定宏观经济大盘做出积极贡献。

2. 加快实施进度。以 172 项节水供水重大水利工程和 150 项重大水利工程为重点，加快实施江河湖泊治理骨干工程、重要蓄滞洪区工程、重大引调水工程、重点水源工程、新建大型灌区工程，确保完成年度目标任务，推动工程按期完成，提升水旱灾害防御能力和水资源优化配置能力。加大进度滞后项目的督促指导力度，对进度严重滞后的项目实施重点督导和挂牌督办。

3. 加快工程验收。建立重大工程验收工作台账，制定验收计划，推进工程验收工作。以建成投产 2 年以上重大水利工程为重点，加快解决影响验收的突出问题，力争 2022 年完成 20 项以上重大水利工程竣工验收。组织大藤峡水利枢纽工程正常蓄水位阶段验收，推动工程效益全面发挥。

二、有序实施水利薄弱环节建设

4. 加快实施大中型水库除险加固。督促各地完善责任体系，压实地方政府主体责任和主管部门的监督责任。年底前全部完成 2020 年已鉴定的 256 座大中型水库除险加固项目初步设计审批工作。加强项目建设过程管控，按期完成大中型水库除险加固年度建设任务，及时组织竣工验收。督促各地同步实施新增大中型病险水库除险加固。

5. 统筹推进中小河流治理。制定中小河流治理项目建设管理办法，按照“资金跟着项目走”的原则，规范工作程序，建立激励和约束机制。督促指导



建设中的三河口水利枢纽大坝 陕西省引汉济渭工程有限公司供图

各地建立主要支流和中小河流治理年度实施项目台账，规范建设管理，按期完成年度建设任务。按照整河流治理、分阶段实施的要求，组织各地做好中小河流治理项目统筹安排。

6. 加强中小型水库建设管理。建立中小型水库建设年度实施项目台账，督促各地加强建设管理，按期完成年度建设任务。组织各地对“十四五”时期拟建小型水库进行全面梳理，加强前期工作。

三、扎实做好在建工程安全度汛工作

7. 健全安全度汛工作体系。出台关于在建水利工程安全度汛工作指导意见，制订在建水利工程安全度汛监督检查重点问题清单及度汛方案、超标准洪水应急预案编制指南，健全在建水利工程安全度汛工作监管体系、责任体系、标准体系。

8. 实施安全度汛清单管理。组织指导地方对在建水利工程进行全面梳理，根据工程年度建设实施方案分析研判，确定安全度汛重点措施，建立在建水利程度汛风险隐患项目清单和责任主体清单。对穿（破）堤施工的在建水利工程逐级统计上报，实行重点监管。

9. 开展度汛风险隐患排查整治。组织指导流域管理机构 and 各级水行政主管部门对在建水利工程开展全覆盖、拉网式度汛风险隐患排查，建立问题台账，明确整改责任单位和整改时限，对整改成效进行复查，实行闭环管理。实施风险隐患排查整治工作情况 and 整改情况重点抽查，确保整改工作取得实效，确保在建水利程度汛安全。

四、切实强化水利建设质量管理

10. 坚决守住工程建设质量底线。督促指导工程建设各方全面落实工程质量主体责任，落实工程质量终身责任制，加强工程建设全过程质量管控，防范重特大质量事故发生。以建设管理薄弱、质量问题突出的地区和项目为重点，加大督促整改和监管力度，及时排查、消除质量安全隐患。强化工程质量投诉问题的调查处理，对严重影响工程安全的质量问题，严肃

追责问责。

11. 全面提升质量管理工作水平。出台贯彻落实质量强国建设纲要提升水利工程质量的实施意见。改进水利建设质量工作考核工作，优化考核方式和考核标准，更好发挥质量工作考核的指挥棒和助推器作用。大力推动质量创优，发挥示范引领作用，激励水利建设市场主体提高质量意识，争创优质工程。继续开展质量工作帮扶，鼓励质量管理先进地区对相对落后地区的业务帮扶，提高水利建设质量管理整体水平。

12. 持续开展质量提升专项行动。以水利工程参建各方履行质量管理责任为主线，聚焦水利工程建设质量管理中的突出问题，认真开展问题排查和整改落实，进一步增强质量意识、落实质量责任。

五、不断提高水利建设市场监管效能

13. 规范实行政许可。严格实行政许可事项清单管理，科学制定并认真落实行政许可实施规范。全面实施造价工程师（水利工程）和监理工程师（水利工程）注册工作。深化“证照分离”改革，在自由贸易试验区研究试点对监理单位乙级资质认定实行告知承诺。

14. 强化事前事中事后监管。推动“双随机、一公开”监管与信用监管融合，探索实行按风险分级分类管理模式，提升监管权威性公正性。加强招标投标活动监督管理，督促指导各地进一步落实项目法人的管理责任和水行政主管部门的行政监督责任，加大对围标投标、借用资质投标、转包和违法分包等违法违规行为的打击力度，切实维护水利建设市场秩序。深化水利建设领域根治欠薪工作，全面落实农民工工资支付保障制度，加强欠薪案件跟踪督办，加快健全长效机制。

15. 深入推进信用体系建设。依托全国水利建设市场监管平台整合市场主体信用信息，研究推进信用信息核查工作，保障信用信息的真实性、准确性、完整性。指导信用评价机构完善信用评价标准和程序，加强对信用评价的全链条全流程监管，推动建立全国统一的信用评价体系。进一步加强“重点关注名单”

“黑名单”管理，依法依规开展失信惩戒。

六、大力完善水利建设体制机制法治

16. 强化流域管理机构水利建设管理职能。坚持流域系统观念，明确流域管理机构在水利工程建设协调指导、监督检查、质量考核等方面的工作职责，充分发挥流域管理机构在水利建设管理工作中的重要作用。

17. 推动水利建设管理模式创新。结合实际，因地制宜推行代建、项目管理总承包、设计施工总承包等方式，研究制定政策措施。

18. 健全水利建设规章制度体系。推动出台《水利工程质量管理规定》和《注册监理工程师（水利工程）管理办法》，加快制（修）订《水利工程造价管理规定》《水利工程建设监理单位资质管理办法》和水利工程质量检测员职业资格制度等规章制度体系。

19. 完善水利建设技术标准体系。加快制（修）订《水利水电工程施工与验收通用规范》等强制性标准、《水利工程工程量清单计价规范》等国家标准和《水利水电建设工程验收规程》《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准》等行业标准，配合新出台的有关规章制度及时颁布实施。

七、大力提升水利工程建设信息化水平

20. 推动智慧化水利工程建设。加快推进建筑信息模型（BIM）等技术在水利工程建设全过程的集成应用，充分运用数字化、网络化和智能化手段，不断提高水利工程建设智慧化水平。推动大藤峡水利枢纽工程等具备条件的水利工程开展数字孪生工程建设。

21. 完善水利工程建设信息化管理系统。建成重大水利工程建设信息化管理平台，通过信息化手段加强重大水利工程建设管理，初步实现建设进度、质量、投资的数字化集成、分析、共享，提升重大水利工程建设智慧化管理水平。进一步完善大中型水库除险加固、中小型水库建设和中小河流治理信息管理系统。

22. 提升水利建设市场监管信息化水平。升级全

国水利建设市场监管平台，推动与国家“互联网+监管”系统、水利部政务服务平台、省级水利建设市场监管平台等的互联互通和数据共享。优化政务服务，加快推进行政许可事项“一网通办”，大力推行资质证书电子化，强化电子证照归集运用。

八、统筹做好水利援藏和乡村振兴水利建设工作

23. 扎实做好水利援藏工作。深入学习贯彻新时代党的治藏方略，开展水利援藏工作和米林县定点帮扶工作，明确工作目标，细化各项任务，为促进西藏发展提供有力的水利支撑保障。

24. 继续做好乡村振兴相关工作。继续支持脱贫地区重大水利工程、大中型水库除险加固、中小型水库、中小河流治理等项目建设，巩固拓展脱贫攻坚成果，有效衔接乡村振兴战略。

九、深入推进党建工作

25. 强化政治引领。深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想、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，心怀“国之大者”，完整、准确、全面贯彻新发展理念。巩固拓展党史学习教育成果，不断提高政治判断力、政治领悟力、政治执行力，进一步增强“四个意识”，坚定“四个自信”，坚决捍卫“两个确立”，做到“两个维护”。

26. 加强基层党组织建设。加强支部标准化规范化建设，不断提升政治功能和组织力，切实发挥好战斗堡垒作用。坚持围绕中心、建设队伍、服务群众，扎实开展水利工程建设“党建进工地”活动，推动党建与水利工程建设业务深度融合，以高质量的党建工作推动水利工程建设高质量发展。

（来源：水利部网站，网址：http://www.mwr.gov.cn/zw/tzgg/tzgs/202202/t20220225_1563024.html，日期：2022年2月25日）

2022 年水利工程运行管理工作要点

坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,认真落实“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路,深入学习贯彻习近平总书记关于水库安全的重要指示批示精神,对标新阶段水利高质量发展要求,落实2022年全国水利工作会议部署,强化底线思维、忧患意识、问题导向,推进水利工程运行管理规范化、标准化、信息化,保障工程运行安全、效益充分发挥。

一、加强小型水库除险加固工作

1. 切实落实属地管理责任。各地要认真贯彻落实《国务院办公厅关于切实加强水库除险加固和运行管护工作的通知》和《国务院关于“十四五”水库除险加固实施方案的批复》要求,锚定年度任务,积极协调落实中央补助资金、地方政府一般债券和地方财政资金,切实做好各项工作。

2. 加快实施小型水库除险加固。各地要加快推进初步设计、招投标工作,加强项目进度、安全与质量的监管。2021年安排的4295座除险加固项目,在

2022年汛前主体工程基本完工,年底全部完成;2022年安排的使用中央补助资金的除险加固项目,在2022年年底前主体工程完工80%。

3. 加快推进小型水库监测设施建设。各地要加快建设雨水情测报、大坝安全监测设施,强化项目质量监管;加快推进部、省级监测平台建设,促进监测信息的汇集分析、预警应用、存档备份及互联互通;2021年安排的1.1万座雨水情测报、0.5万座大坝安全监测设施建设项目,在2022年汛前基本完成,大力推进2022年安排的1.8万座雨水情测报和1.6万座大坝安全监测设施建设项目。水利部将制定小型水库雨水情测报和大坝安全监测设施建设与运行技术指南行业标准。

4. 完成水库大坝安全鉴定存量任务。各地要及时开展已到鉴定期限水库的安全鉴定,建立常态化机制,加强成果质量监管;在2022年年底前,确保全面完成2020年底前到期存量水库的安全鉴定。水利部将继续开展大中型水库大坝安全鉴定成果核查。

5. 做好水库大坝注册登记和降等报废。各地要



加强已注册水库的信息变更和注销管理，建立未注册登记水库台账，切实做到应注册的全部注册。各地要健全水库退出机制，对符合条件的水库特别是除险加固技术上不可行或者经济上不合理的，妥善实施水库降等或报废。

二、严格水利工程安全度汛管理

6. 全面落实工程安全管理责任。各地要不断完善以地方人民政府行政首长负责制为核心的水库大坝安全责任制，逐库明确政府责任人、主管部门责任人、管理单位责任人，并报水利部备案。水利部将公布全国大型水库大坝安全责任人名单，各地要公布中、小型水库责任人名单。

各地要逐库更新落实小型水库防汛“三个责任人”，精准掌握责任人信息，不断提高责任人履职能力，实现责任人“有责”“有能”“有为”。水利部将更新培训课件，全面开展责任人线上培训，实现培训全覆盖。

各地各流域要落实堤防、水闸地方政府防汛行政责任、主管部门安全监督责任和管理单位安全主体责任，切实履行安全度汛管理职责。

7. 开展水利工程安全隐患排查。各地各流域要汲取近年来水库漫坝、溃坝、决堤等险情教训，在汛前对辖区内所有水库、水闸和堤防工程开展隐患排查，重点针对工程关键部位安全隐患和管理薄弱环节进行排查，准确把握工程安全状况，锚定“人员不伤亡、水库不垮坝、重要堤防不决口、重要基础设施不受冲击”目标，及时整改排查发现问题，汛前不能整改完成的，制定并落实临时安全度汛措施。

8. 落实水利工程安全度汛措施。各地各流域要完善水库调度运用方案和大坝安全管理（防汛）应急预案，做好巡视检查和监测预警，极端天气时加密巡查监测频次，发现险情迅速组织抢护；要核实核准病险水库、病险水闸和堤防险工险段台账，科学制定限制运用措施，主汛期病险水库原则上一律空库运行。水利部将对水利工程尤其是病险工程的安全度汛措施落实情况进行抽查。

三、建立全面、精准、动态的水库堤防水闸信息档案

9. 进一步完善水库信息运管系统。各地各流域要通过全国水库运行管理信息系统完成信息填报、审核、复核，确保“必填信息”全部填报和动态更新；明确小型水库技术责任人担任水库信息管理员，负责信息填报和更新。水利部将对水库信息填报进度和质量进行抽查并定期通报，进一步完善其他部委所管辖水库信息。

10. 加强堤防水闸基础数据维护。各地各流域要动态更新堤防、水闸基础数据库的各项信息，按计划完成大中型水闸安全鉴定年度任务并做好病险水闸、堤防险工险段名录填报入库工作。水利部将进一步完善堤防水闸基础信息数据库功能，对信息填报进度和质量进行抽查并通报。

11. 健全管理信息融合共享机制。各地各流域要加快实现省、市、县与全国水库管理信息系统、堤防水闸基础信息数据库以及“全国水利一张图”资源融合和信息共享，促进管理扁平化、决策精准化，为构建具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系提供基础支撑。

四、加强水利工程标准化管理

12. 稳步推进标准化管理工作。水利部将印发推进水利工程标准化管理的指导意见、水利工程标准化管理评价办法及配套评价标准等，各地各流域要制订本地区标准化管理实施方案和相关制度标准，建立推进标准化管理工作机制，加快推进本地区（单位）的水利工程标准化管理工作，组织开展标准化管理评价。

13. 加大水利工程划界工作力度。各地各流域要切实做好水利工程管理与保护范围划定工作，按照《“十四五”水利工程管理与保护范围划定实施方案》，加快推进水库、堤防、水闸等国有水利工程划定工作，加强对工程管理和保护范围的安全管理，及时查处危害工程安全的各类违法违规行为。

五、深化小型水库管理体制改革的

14. 实现小型水库专业化管护全覆盖。各地要进一步落实小型水库管护主体、经费、人员和措施，对剩余 2.1 万座分散管理的小型水库推行区域集中管护、政府购买服务、“以大带小”等专业化管护模式，2022 年年底基本实现全部 4.8 万座分散管理小型水库专业化管护全覆盖。水利部将对此项工作进行检查和总结认定。

15. 探索建立小型水库“巡库员”机制。各地要提炼总结已有经验，加快制定小型水库巡查管护人员补助定额标准并积极落实资金，逐库落实巡库员，加强行业指导和业务培训，并逐步将巡库员信息填报入全国水库运行管理信息系统。水利部将研究制订建立小型水库巡库员机制的指导意见。

16. 加强小型水库运行管护资金使用管理。各地要按照“科学合理、简明适用、体现差别”的原则，制定完善小型水库维修养护定额标准并按标准足额落实资金。要按照《水利发展资金管理办法》，管好用好小型水库维修养护中央补助资金，用好新增地方政府一般债券，严控支出范围，建立资金分配激励机制，确保使用资金安全，提高资金使用效益。

六、强化行业监管和指导

17. 做好运管督查和评价考核。各地要持续开展水库、堤防、水闸运行管理督查，并强化督查发现问题整改，促进 2022 年度各项任务目标全面完成。水利部将着重对小型水库除险加固和监测设施建设、病

(上接第 2 页) 社会，全面提升水资源集约节约安全利用水平。

六是强化水利体制机制法治管理。强化河湖长制，压紧压实各级河湖长责任，持续清理整治河湖突出问题，保障河道行洪通畅，维护河湖生态空间完整。坚持流域系统观念，强化流域统一规划、统一治理、统一调度、统一管理。完善水法规体系，建立水行政执法跨区域联动、跨部门联合机制，强化水行政执法与刑事司法衔接、与检察公益诉讼协同，依法推

进工程安全度汛等工作进行抽查，对管理责任不落实、问题整改不力、项目进展缓慢的予以通报或约谈，对水库除险加固和运行管护工作开展年度评价并将结果纳入河湖长制考核体系。

18. 发挥流域监督指导作用。各流域要切实管好流域直管水利工程，确保安全运行；充分发挥技术与管理优势，对流域内水库、堤防、水闸等水利工程运行管理全链条全过程指导监督指导，促进流域片区各地完成小型水库除险加固、监测设施建设、工程信息档案完善等重点任务年度目标，加快流域内管理规范化信息化标准化步伐。

七、加强运行管理队伍建设

19. 切实强化政治引领。各地各流域要把加快病险水库除险加固、维护重要水利基础设施安全作为重要政治任务，狠抓运管系统作风建设，深化整治形式主义官僚主义，履职尽责，担当作为，为提升水利工程运行管理水平提供坚强政治保障。

20. 提升业务能力水平。各地各流域要不断加强水利工程运行管理队伍建设，引导各级运管人员加强岗位锻炼、提升业务能力，培养基层运管人才，积极推荐运行管理工作突出的单位参评“大禹奖”。水利部将举办河道修防工职业技能竞赛，促进广大运管人员在各自岗位践行工匠精神。

(来源:中国水利公众号,网址:<https://mp.weixin.qq.com/s/WxSgwNWQGfYYKYbMtdcg9g>,日期:2022年3月16日)

进大江大河大湖保护治理。坚持政府作用和市场机制协同发力，深入推进多元化水利投融资、水生态产品价值实现机制、水流生态保护补偿机制等重点领域和关键环节改革，加快破解制约水利发展的体制机制障碍，完善适应高质量发展的水治理体制机制法治体系，为全面建设社会主义现代化国家提供有力的水安全保障。

(来源:人民日报,14版,日期:2022年3月22日)

混凝土建筑物有盖重固结灌浆 试验探索

陈佳培¹ 任 磊¹ 向 吉²

(1. 南京市水利建筑工程有限公司, 江苏 南京 210000;
2. 中国葛洲坝集团股份有限公司, 湖北 武汉 430000)

【摘要】 广西大藤峡南木江副坝工程地质较为复杂, 存在破碎带。为保证上部混凝土建筑物稳定及安全, 提出了河床坝段岩体有盖重固结灌浆方案。在坝下 0+005.00~坝下 0+009.00 开展生产性试验, 灌浆试验后采用压水试验及抽芯检测。试验结果表明, 该有盖重固结灌浆方案对南木江副坝工程复杂地质条件的处理具有可行性, 可用于下一步有盖重固结灌浆施工。

【关键词】 盖重; 固结灌浆; 可灌性; 透水率

中图分类号: TV651

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-009-06

Exploration on covered heavy consolidation grouting test of concrete buildings

CHEN Jiawei¹, REN Lei¹, XIANG Ji²

(1. Nanjing Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Nanjing 210000, China;
2. China Gezhouba Group Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: Guangxi Datengxia Nanmujiang Secondary Dam has complicated engineering geological conditions with fracture zones. A scheme of rock covered heavy consolidation grouting in the river bed dam section is put forward in order to ensure the stability and safety of the upper concrete building. The production test is carried out from 0+005.00 below the dam to 0+009.00 below the dam. The water pressure test and core pulling test are adopted after the grouting test. The test results show that the proposed scheme of covered heavy consolidation grouting is feasible to deal with the complex geological conditions of Nanmujiang Secondary Dam Project, and it can be used in the next stage of the covered consolidation grouting construction.

Keywords: covered heavy; consolidation grouting; groutability; permeable rate

广西大藤峡南木江副坝工程地质较为复杂, 为验证设计水工建筑物有盖重灌浆孔布置方式是否合理、是否存在优化可能, 同时论证拟采用的有盖重固结灌

浆方法的可行性、技术参数的合理性, 探索适合有盖重固结灌浆的施工方法、施工程序、灌浆压力、浆液配合比, 以及评价有盖重固结灌浆试验后地基的渗透性, 研

收稿日期: 2021-07-05

作者简介: 陈佳培(1993—), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利水电工程施工技术工作。

究受灌地层的灌浆特点,开展此次大藤峡南木江副坝混凝土建筑物有盖重固结灌浆试验研究。

1 工程概况

大藤峡南木江副坝布置在南木江与黔江汇合口下游750m处,主要由黏土心墙石渣坝段、灌溉取水口及生态泄水坝段和混凝土重力坝坝段组成,南木江鱼道过鱼口布置在混凝土重力坝坝段上。

混凝土建筑物固结灌浆设置在坝上0+015.00~坝下0+017.00、桩号0+687.75~0+763.75之间,梅花形布置,灌浆深度为入岩5m,间排距2m×2m,灌浆孔遇伸缩缝时适当调整孔位,与缝的最小距离为0.5m。

固结灌浆试验区位于坝下0+005.00~坝下0+009.00、桩号0+696.75~0+707.75之间,试验轴长11m,混凝土盖重1.3m,灌浆试验孔18个,抬动孔1个,质量检查孔1个。有盖重固结灌浆合格标准为:透水率 $q \leq 5Lu$ 。南木江副坝混凝土建筑物有盖重固结灌浆试验区位置见图1。

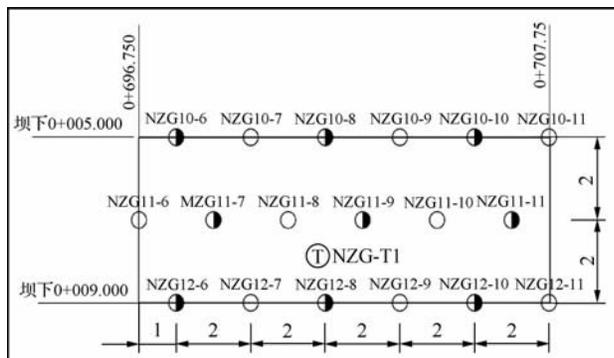


图1 南木江副坝混凝土建筑物有盖重固结灌浆试验区平面
(尺寸单位:m)

2 试验区工程地质

2.1 试验区地层岩性

南木江河床段被厚度1m左右的淤泥质黏土覆盖。阶地覆盖层厚度一般8m左右,上部以黏土为主,厚度4~6m,下部为黏土或混合土卵石,厚度约2~5m,两岸岸坡覆盖层厚度1~3m,为黏土或混合土碎石。

基岩为那高岭组第 $D_1n_{11.7}$ 层~第 $D_1n_{13.1}$ 层,岩层走向NNW,倾向NE,倾角 $3^\circ \sim 8^\circ$ 。由细砂岩、含泥质细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩构成。

2.2 试验区地质构造

试验区主要发育3条断层, F_{240} 断层在左岸山坡通过,断层走向与坝线交角 35° ,钻孔ZK964孔深9.95m,其揭露的 F_{240} 断层破碎带由碎裂岩和断层泥组成, F_{285} 断层在左岸山坡通过,断层走向与坝线交角 67° ,断层规模不大, F_{141} 断层在右岸山坡露出,断层走向与坝线夹角 60° ,倾向山里,倾角 70° ,破碎带宽度不大。

2.3 试验区岩体风化状态及水文地质

左岸山坡强风化带厚度1m左右,弱风化带厚度14~30m。地下水主要为松散堆积层中的空隙潜水和基岩裂隙水。孔隙水主要分布于漫滩、I级阶地的砂石层中。基岩裂隙水主要分布于基岩的风化裂隙中。左岸地下水埋深15~35m。南木江副坝混凝土建筑物有盖重固结灌浆试验区地质剖面见图2。

3 灌浆试验设备及材料

a. 钻孔设备:灌浆试验孔采用ZGYX-410E潜孔钻机造孔,检查孔采用XY-II型地质钻机,金刚石钻头造孔。

b. 灌浆设备:灌浆采用3SNS-A高压灌浆泵,制浆采用ZJ-600L高速制浆机,储浆搅拌机容量为600L。

c. 灌浆记录仪:采用自动灌浆记录仪。

d. 水泥:固结灌浆试验水泥采用P·O42.5普通硅酸盐水泥,受潮结块不得使用。

e. 水:固结灌浆试验用水由右岸坝后高位水池供应,用水取自黔江,原水经提升、沉淀后使用。

4 有盖重固结灌浆试验施工程序

固结灌浆试验主要施工项目包括灌浆孔及质量检查孔。

有盖重固结灌浆试验施工程序为:孔位放样→抬动孔施工→固结I序孔施工→固结II序孔施工→灌后质量检查。

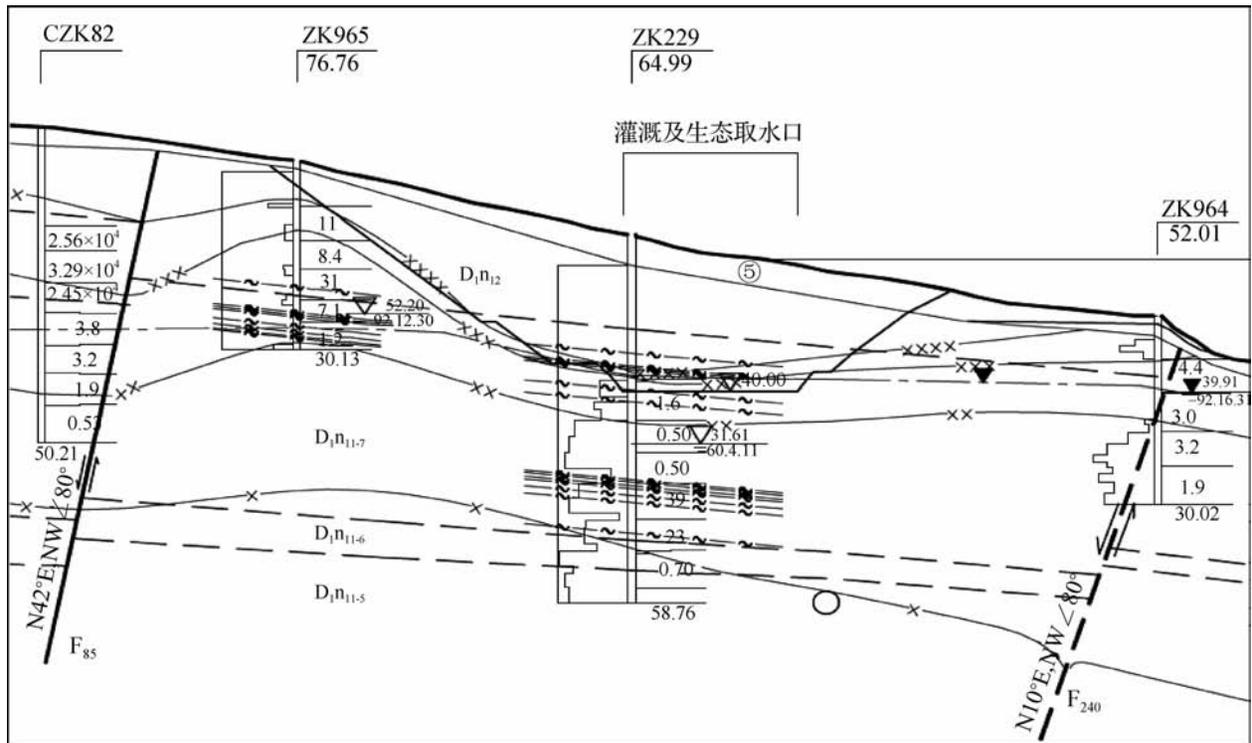


图2 南木江副坝混凝土建筑物有盖重固结灌浆试验区地质剖面(单位:m)

5 有盖重固结灌浆试验施工方法

5.1 测量放样

有盖重固结灌浆试验由测量人员采用全站仪或GPS进行孔位放样,并用红油漆标识清楚,测量时需对孔口高程进行记录。固结灌浆孔孔位偏差不得大于10cm,现场根据实际情况(如需避开预埋仪器及止水等)进行孔位适当调整。

5.2 钻孔施工

抬动观测孔采用风动冲击器钻孔,以ZGYX-410E潜孔钻机为主,抬动观测孔为铅直孔,钻孔孔径76mm。

抬动观测孔钻孔完成后,安装抬动观测装置,抬动变形观测装置在灌浆作业前完成埋设,观测15~20m范围内的灌浆孔,在裂隙冲洗、压水试验及灌浆过程中由专人连续进行观测,每10min测计一次读数,并填写观测记录表。

固结灌浆试验钻孔采用ZGYX-410E钻机进行,终孔孔径76mm。质量检查孔采用XY-2钻机配金刚石钻头钻孔。

对于质量检查孔需取芯保留,每一钻进回次岩芯

应轻敲取出,岩芯按孔口到孔底的顺序依次排放在岩芯箱内,并用岩芯牌隔开,岩芯按顺序自左而右、自上而下列放,并进行岩芯描述,绘制钻孔柱状图。

5.3 钻孔冲洗、裂隙冲洗及压水试验

5.3.1 钻孔冲洗

固结灌浆试验孔钻孔完成后,采用大流量水流将孔内岩粉等物冲出,直至回水澄清10min后结束,并测量、记录冲洗后钻孔孔深,钻孔冲洗后底残留物厚度不得大于20cm。

5.3.2 裂隙冲洗

固结灌浆试验孔(段)在灌浆前采用压力水进行裂隙冲洗,裂隙冲洗要求至回水澄清或总时间不小于30min。采用高低压脉动冲洗,压力为灌浆压力的80%。

5.3.3 压水试验

固结灌浆孔压水试验在裂隙冲洗后进行,压水试验采用简易压水试验,压水试验孔数不少于总孔数的5%,灌后质量检查孔压水试验采用五点法。

压水压入流量的稳定标准为:在稳定的压力下,每5min测读一次压入流量,连续四次读数中最大值与最小值之差小于最终值的10%,或最大值与最小值之差

小于 1L/min 时,本阶段试验即可结束,取最终值作为计算值,其成果以透水率 q 表示。

5.4 灌浆施工

本次有盖重固结灌浆试验一次性成孔、一段灌浆。

固结灌浆采用 3SNS 灌浆泵、自动记录仪监控记录,灌浆方式采用“孔口阻塞、孔内循环”法施工,孔内射浆管距灌浆段底不大于 50cm。

a. 灌浆塞采用机械挤压式栓塞,灌浆塞安设在孔口处,防止漏灌。

b. 固结灌浆试验孔分二序进行,先施工 I 序孔,在 I 序孔完成后再施工 II 序孔。

c. 灌浆压力及段长。①固结灌浆全孔一段灌浆,段长为 5m;②在施工过程中,由于 I 序孔流量普遍大于 50L/min 且外漏较普遍,故拟定 I 序孔压力为 0.25MPa。II 序孔压力为 0.4MPa。

d. 浆液搅拌。水泥浆液搅拌采用 ZJ-600L 高速制浆机(转速大于 1200r/min),搅拌时间不小于 30s,浆液在使用前过筛,滤除较大颗粒,储浆采用低速储浆桶,浆液从制备至用完时间不大于 4h。

e. 浆液配比及变换:灌浆浆液为纯水泥浆液,浆液配比(重量比)为 3:1、2:1、1:1、0.8:1 和 0.5:1,灌浆原则上从 3:1 浆液开灌,由稀到浓逐级变换。

浆液配比变换标准如下:①当灌浆压力保持不变,注入率持续减少,或当注入率不变而灌浆压力持续升高时,不得改变水灰比;②当某一比级浆液的注入量已达 300L 以上或灌注时间已达 30min,而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时(规定时段末的注入率大于开始注入率的 70%~80%),应改浓一级的水灰比;③当注入率大于 30L/min 时,可根据具体情况越级变浓。

若孔口无回浆或压力小于 0.1MPa,则直接灌注 0.5:1 的水泥浆液;当采用最大浓度浆液施灌,吸浆量很大而不见减少时,采用间歇灌浆法,同时可考虑掺入砂,如因加入掺和料而使吸浆量突减,则应停止使用掺和料。

灌浆过程中,当灌浆压力或注入率突然改变较大时,应立即查明原因,采取相应的措施进行处理。

灌浆过程中应定时测记浆液密度,必要时测记浆液温度。灌浆结束时亦应测定浆液比重并做出记录。

5.5 结束标准

灌浆段在设计压力下,当注入率不大于 1L/min 时,持续灌注 30min 即可结束灌浆。

5.6 封孔

a. 灌浆的封孔应采用泵压浆液封孔方式,封填前应尽量将孔内污物冲洗干净,量测孔深。并由施工单位对孔深及全孔灌浆成果分析鉴定,确定合格才可封孔,并填写封孔单以便查核。

b. 封孔时必须采用 0.5:1 的浓浆,排除孔内稀浆后,用该孔设计最大灌浆压力继续纯浆灌浆 30min,待孔内水泥浆凝固后,灌浆孔上部空余部分不大于 3m,并用水泥砂浆人工填实。

c. 封孔后,如发现孔口冒浆或渗水,应扫孔重新封孔。

6 有盖重固结灌浆试验成果分析

6.1 水泥消耗量分析

有盖重固结灌浆生产性试验分段灌浆注入水泥量见表 1。

表 1 有盖重固结试验灌浆水泥量统计

序号	孔序	孔数	基岩	注入水泥量/kg	单位注入量/(kg/m)
1	I	9	45	42866	952.58
2	II	9	45	12700	282.22
3	合计	18	90	55566	617.4

从表 1 可看出,固结灌浆 I 序孔注入水泥量为 42866kg,平均单位注入量为 952.58kg/m,II 序孔注入水泥量为 12700kg,平均单位注入量为 282.22kg/m,I 序孔比 II 序孔注入量大,符合现场实际地址情况。

灌浆试验区域内个别孔灌灰量波动幅度较大,为了达到良好的灌浆质量,NZG11-10、NZG11-11、NZG12-9、NZG12-10 每米灌入量达到 1000kg 以上,反映建基面浅表层原状岩体通道呈不规则分布,导致灌灰量分布不均匀。

试验区共计水泥量为 55566kg,平均单位注入量为 617.4kg/m,反映试验区地层可灌性较好。

注入量随着灌浆次序递增呈递减趋势, II 序孔较 I 序孔平均单位注灰量下降 670.36kg/m, 灌浆效果较为显著。

从单位注灰量频率曲线上可以看出, 随着灌浆次

序递增, I 序单位注灰量大于 500kg/m 频率曲线递增, II 序小于 500kg/m 频率曲线递减, 符合正常灌浆规律。

大藤峡南木江副坝左岸基础固结灌浆(试验)各次序单位注入量频率及累计曲线见图 3。

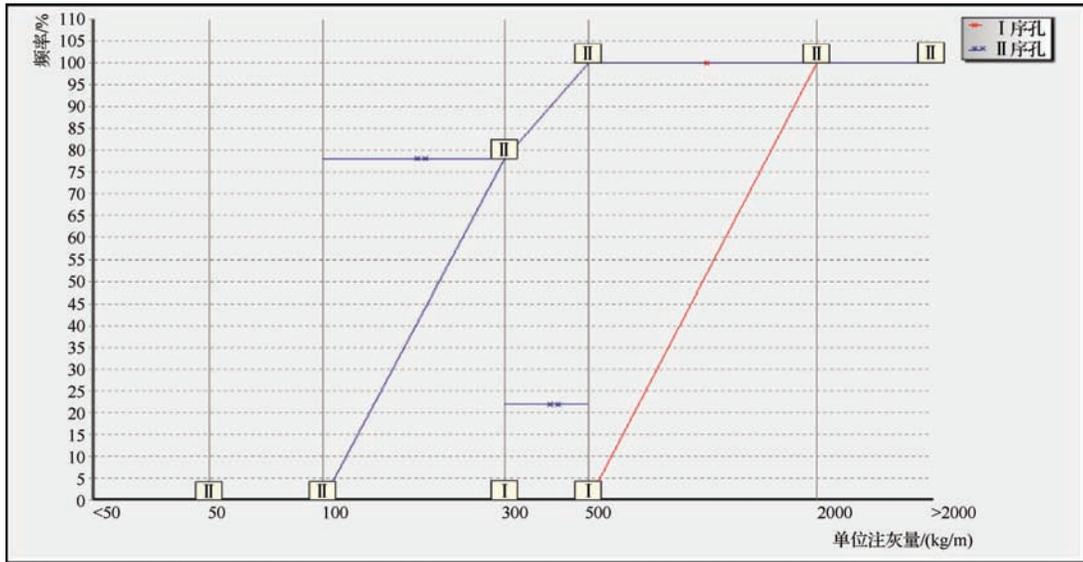


图 3 左岸基础固结灌浆(试验)各次序单位注入量频率及累计曲线

6.2 透水率分析

整体固结灌浆试验区共计 18 孔, 压水按照《广西大藤峡水利枢纽工程副坝灌浆施工技术要求》选取 5% 共计 3 段, 最大透水率为 559.5Lu, 最小透水率为 27.12Lu, 反映受灌地层整体较为破碎、不完整, 透水性较好。

固结灌浆试验区根据监理指示布置灌后检查孔 1

个, 检查孔压水结果见表 2。

表 2 有盖重固结试验灌浆检查孔压水结果

孔号	桩号	段长/m	透水率/Lu
NZG-SJ1	F1 + 706.75	5	1.72

大藤峡南木江副坝左岸基础固结灌浆(试验)各次序透水率及累计曲线见图 4。

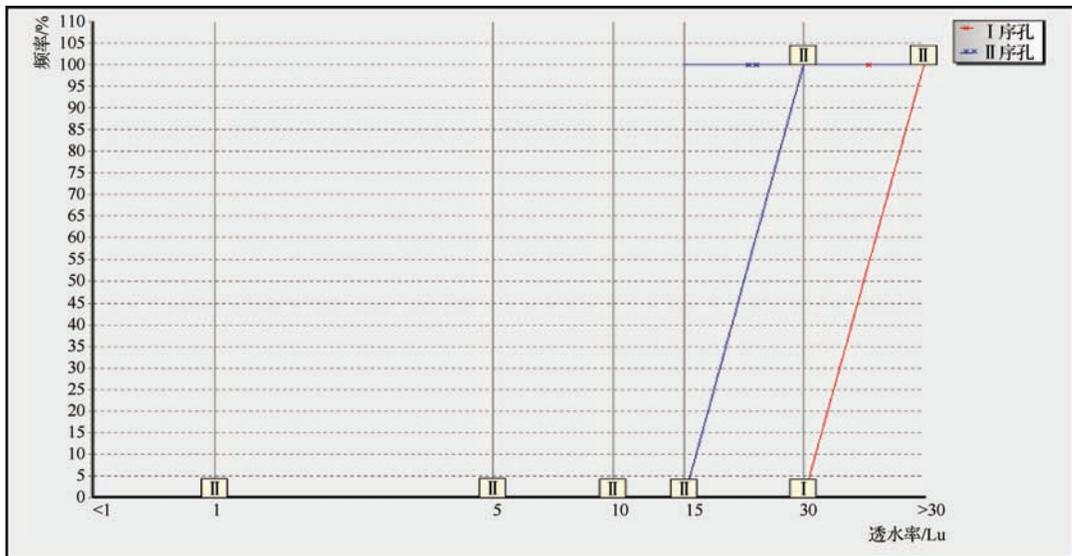


图 4 左岸基础固结灌浆(试验)各次序透水率及累计曲线

以上数据显示:灌前平均透水率为 234.12Lu,灌后平均透水率为 1.72Lu。

NZG-T1 位于试验区 0+705.75,全孔压水透水率满足设计标准,灌浆效果较为明显。

6.3 固结灌浆试验孔串、漏浆分析

试验孔施工过程中有 1 段发生串浆、外漏情况(见图 5),灌浆时外漏点距离该孔达 10m 左右,反映受灌层裂隙通畅、扩散半径大、地质条件复杂、岩体裂隙发育丰富。

发生外漏及串浆时,通常采取低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆等方法封堵外漏点。

6.4 钻孔取芯分析

由图 6 可知,建基面浅、表层岩体呈碎块及砂状,



图 5 左岸基础固结灌浆(试验)漏浆现场照片

较为破碎。下部岩层节理、裂隙发育,溶蚀现象明显,灌后检查孔内多处可见水泥结石,反映岩层可灌性较好。

NZG-T1号检查孔柱状图												
工程名称		南木江副坝左岸混凝土建筑物固结灌浆工程			开孔直径		开孔日期		年 月 日			
钻孔倾角					终孔直径		终孔日期		年 月 日			
孔口高程					钻头类型		金钢石		桩号		0+706.75	
地层代号	层底高程/m	深度/m	厚度/m	柱状图比例	岩芯采取率	岩芯长度/m	岩芯直径/mm	风化程度	地质描述	透水率	地下水位高程	备注
泥盆系	37.9	3.3	1.7	76mm	92%	81%	弱风化	由灰褐色泥岩、泥质粉砂岩组成,弱风化、岩芯呈柱状,强度较低。可见水泥浆充填形成的结石。	1.72Lu			
	36.2	4.9	1.6		94%	86%						
	34.6	6.7	1.8		94%	86%						
说明:压水试验采用五点法,全孔压水结束后进行导管注浆封口。												

图 6 盖重固结灌浆试验检查孔钻孔柱状图

7 结 语

a. 由本次试验区水泥灌入量、透水率、单位注入量及检查孔钻孔压水、取芯分析可知,岩层地质条件复杂,较为破碎,节理、裂隙发育,溶蚀较为强烈,具较强可灌性。

b. 由灌浆试验及检查孔施工分析可知,所采用的“一次成孔、全孔一段灌浆”是可行的。

c. 由灌浆试验及检查孔施工分析可知,灌浆试验排数、孔距、孔序、孔深、灌浆段长、灌浆压力、浆液比重

是适宜的。

d. 由灌浆试验区水泥灌入量与检查孔取芯及压水可知,基岩面浅、表层通道分布不规则,贯通性差,通过灌浆法施工可以改善浅、表层岩体的完整性。

e. 由于裂隙发育丰富,灌浆串、冒浆现象明显,当灌浆发生串、冒浆时,采取浓浆、低压、限流、限量、间歇法灌注,当串、漏浆部位浆液比重达到进浆比重时,吸浆量与灌浆压力无变化,灌浆可待凝 24h 后扫孔复灌,灌浆能够正常结束,对于类似特殊情况采取该种灌浆方式与处理方法较为适宜。 (下转第 25 页)

北方寒区浑北灌区排水沟道护坡方式 砌护效果对比研究

郝美玲

(辽宁泽龙水利实业有限责任公司, 辽宁 新民 110300)

【摘要】 排水沟道是灌区排灌系统的重要组成部分,冻融破坏是北方寒区排水沟道滑塌破坏的重要诱因。此次研究以辽宁省浑北灌区农田排水沟道为工程背景,通过现场试验的方式,对四种不同砌护方案在冻融破坏下的砌护效果进行对比研究。结果显示,土工袋砌护方案的砌护效果最为突出,建议在后续工程施工中采用。

【关键词】 排水沟道;砌护效果;土工袋

中图分类号: S276.3

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-015-04

Comparative study on pitching effect of drainage ditch slope protection mode in Hunbei Irrigation Area of cold North China

HAO Meiling

(Liaoning Zelong Water Conservancy Industry Co., Ltd., Xinmin 110300, China)

Abstract: Drainage ditch is an important part of drainage and irrigation system in the irrigation area. The freezing and thawing damage is an important inducement of drainage ditch collapse in cold North China. The farmland drainage ditch in Hunbei Irrigation Area of Liaoning Province is adopted as the engineering background in the study. The pitching effect of four different pitching schemes under the freeze-thaw damage is comparatively studied through the mode of field test. The results show that the pitching effect of the geotextile bag pitching scheme is the most outstanding, and it is suggested to be adopted in the construction of subsequent projects.

Keywords: drainage ditch; pitching effect; geotextile bags

1 研究背景

排水沟道是灌区农田灌排系统的重要组成部分,具有农田排水、泄洪、排涝,保证农作物正常生长的重要作用^[1]。对于北方寒区的灌区而言,受到土壤地质环境以及干湿冻融循环等诸多因素的影响,排水沟道

的崩塌破坏已经成为制约灌区农业发展的重要因素。因此,对灌区排水沟道边坡采取合理的治理和加固措施,对提高排水沟道的使用年限,促进农业增产丰收具有十分重要的意义^[2]。目前,灌区的排水沟道边坡固坡方案主要由柳桩草护坡、干砌石护坡、宾格石笼护坡、浆砌石护坡以及土工袋护坡等^[3]组成。对上述护

收稿日期: 2021-05-19

作者简介: 郝美玲(1989—),女,本科,高级工程师,主要从事水利水电工程施工管理工作。

坡方式在冻融条件下的砌护效果进行评价,无疑具有重要的工程实用价值。浑北灌区是辽宁省北部地区浑河流域的重要灌区,由于地处辽河中下游平原,地势低洼,因此是辽宁省洪涝灾害的重灾区,由于各种原因,灌区排水沟道已经多年没有清淤治理,排水能力不能达到设计标准。基于此,灌区积极申请和筹集资金,进行田间排水沟道的整治工作。此次研究以灌区排水沟道整治工程为背景,通过试验研究的方式对寒区排水沟道不同砌护方式的砌护效果进行对比研究,以期对灌区排水沟道整治工程提供有益的经验借鉴。

2 试验方案

2.1 试验段

研究中选择的排水沟道试验段位于灌区唐三家子村境内,为东西走向,地貌特点为洪积平原,土壤类型主要为灌淤土。灌淤土的厚度一般在80cm左右,土壤的质地多为中壤土或轻壤土,表层存在轻度的水土流失现象,但并不严重。在试验段地面以下150~300cm的范围内分布有厚度不等的流沙层。沟道的边坡受到砂层以及干湿冻融交替循环作用的影响,排水沟道的边坡经常会发生局部的坍塌和滑移破坏。

2.2 试验方案

针对试验段的实际情况以及施工材料和工程成本,研究中选择柳桩草护坡、干砌石护坡、宾格石笼护坡以及土工袋护坡等四种不同的护坡方式进行试验研究。其中,每种护坡方式的砌护长度为20m,试验段总长度为80m。每种砌护方案具体参数设计如下:

方案1:木桩草土护坡。该方案主要以木桩、竹片以及稻草为原料对排水沟道的边坡进行砌护。沿着排水沟道的水流方向,在距离沟道坡脚50cm的部位设置长度为1.8m的木桩,其间隔为30cm,在木桩顶部以下50cm的部位铺设长60cm的竹片,然后将稻草捆成长、宽分别为50cm和30cm的捆,并将其作为垫层^[4]。

方案2:干砌石护坡。在排水沟道的两侧采用厚度为40cm的片石干砌体,坡度设置为1:2。在砌体的背部铺设一层土工布作为反滤,土工布下为厚度20cm

的素土垫层。在坡脚的部位设置两层规格为50cm×100cm×100cm的土工格栅石笼大脚基础,提高砌护结构的稳定性^[5]。

方案3:格宾石笼护坡。在沟道两侧设置厚度为30cm的格宾石垫砌护,在其背部设置一层土工布作为反滤,在坡脚的部位设置两层规格为50cm×100cm×100cm的铅丝笼块石基础,提高整个砌护结构的稳定性^[6-7]。

方案4:土工袋护坡。在排水沟道顺水方向距离坡脚0.7m的部位,打入间隔为40cm、长度为2.0m的木桩,紧贴木桩顶铺设长度为60cm的竹片,在木桩后铺砌宽度70cm、高度15cm的3层土工袋,形成木桩支挡土工袋基础。在上部采用错缝搭接的土工袋砌护,袋子之间保持4~8cm的间隙,在铺设完成之后用素土填充并夯实。在土工袋之间利用特定的联结扣搭接。

2.3 监测试验

研究中针对不同试验段进行原型监测,沟道南北两侧的监测位置相对应,监测所使用的试验仪器和监测内容基本相同^[8]。为了判断边坡的稳定性以及滑动变形的特点,需要对边坡内部进行位移监测。具体方法为:在不同方案砌护面的上层竖直打孔设置多点位移计,每个孔内设置2个监测点,分别监测底部竖直向上40cm和120cm部位的竖向变形。对于每种砌护方案,选择位于中间部位的典型断面进行监测,监测的对比期从2019年11月20日开始经历两个冬季冻融期,历时480天,每30天统计一次,记录一次试验数据。

3 监测结果与分析

3.1 北坡位移变化对比分析

试验中对北坡不同高度的位移数据进行统计,并绘制出如图1和图2所示的不同高度位移变化曲线。由图可知,不同砌护方式下,北坡的位移量随着时间的推移呈现出不断波动增大的变化特点,同时冬季冻融时段的位移量明显偏大,说明冻融作用对位移量的影响是比较明显的。另一方面,120cm部位测点的位移量明显大于40cm部位测点。这说明靠近地表部位的

冻融影响更为明显。从不同砌护方案的对比来看,方案4,也就是土工袋砌护方案的位移变化相对比较稳定,而其余三种方案的后期变形量有显著的增大,特别是格宾石笼护坡方案,在第二年冬季冻融季节,其位移量存在显著增大,说明护坡本身的长期稳定性较差。究其原因,主要是其余三种方案抗冻融性能不足,随着试验时间的推移,结构本身也会产生比较明显的劣化作用。土工袋本身存在一定的张力,可以对边坡土体产生比较明显的约束作用,随着时间的推移,沟道的边坡土体在土工袋荷载的作用下,压缩固结程度不断提升,因此整体稳定性会不断提高,可以起到更好的边坡加固作用。

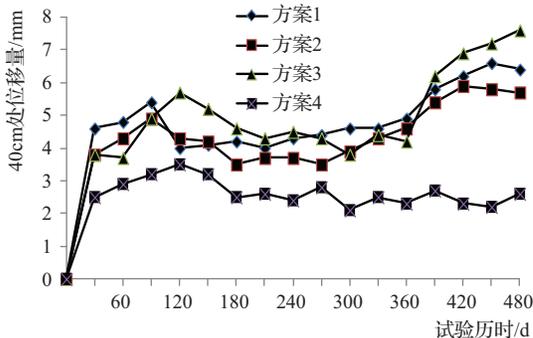


图1 北坡40cm部位位移量变化曲线

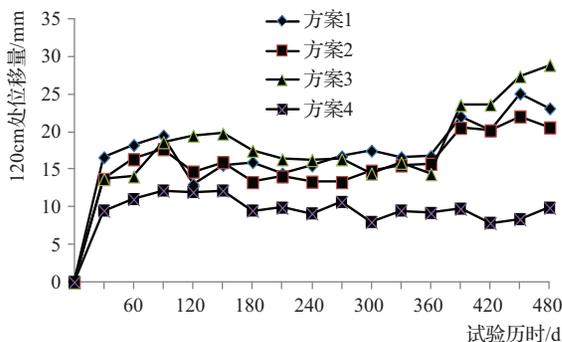


图2 北坡120cm部位位移量变化曲线

根据试验数据,计算获取如表1所列的排水沟道北坡不同方案下的位移变形量均值。由表中的结果可以看出,方案1、方案2和方案3的位移量均值相对比较接近,方案4的位移量均值明显偏小。在40cm测点部位,方案4的位移量均值为2.64mm,较方案1、方案2和方案3分别减小了约46.5%、40.9%和48.0%;在

120cm测点部位,方案4的位移量均值为9.50mm,较方案1、方案2和方案3分别减小了约42.8%、30.7%和30.7%。由此可见,采用土工袋护坡可以有效抑制排水沟道的边坡位移变形,相较于其他三种方案有明显的优势。

表1 不同方案北坡变形量均值

试验方案	位移量均值/mm	
	40cm处	120cm处
方案1	4.93	16.61
方案2	4.47	13.71
方案3	5.08	13.72
方案4	2.64	9.50

3.2 南坡位移变化对比分析

试验中对南坡不同高度监测点的位移数据进行统计,并绘制出如图3和图4所示的不同高度沟道岸坡位移变化曲线。由图可知,不同砌护方式下,南坡的位移量随着时间变化的特征与北坡基本相同,呈现出随时间的推移而波动增大的变化特点,同时冬季冻融时段的位移量明显偏大,说明冻融作用对位移量的影响是比较明显的。另一方面,120cm部位测点的位移量明显大于40cm部位测点。从不同砌护方案的对比来看,方案4,也就是土工袋砌护方案的位移变化相对比较稳定,而其余三种方案的后期变形量有显著的增大,说明护坡本身的长期稳定性较差。造成上述变化特点的原因与北坡基本相同,这里不再赘述。

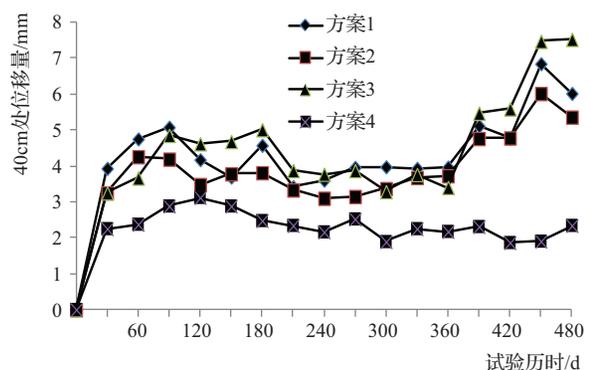


图3 南坡40cm部位位移量变化曲线

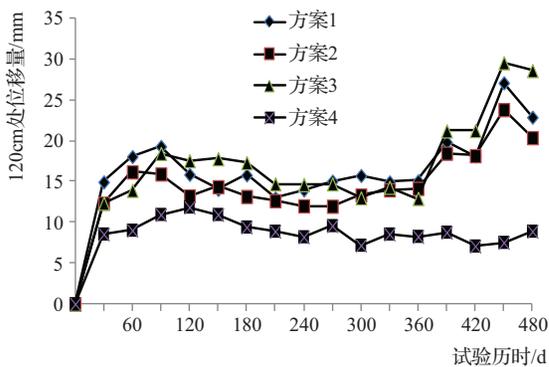


图4 南坡120cm部位位移量变化曲线

根据试验数据,计算获取如表2所列的排水沟道南坡不同方案下的位移变形量均值。由表中的结果可以看出,方案1、方案2和方案3的位移量均值相对比较接近,方案4的位移量均值明显偏小。在40cm测点部位,方案4的位移量均值为2.36mm,较方案1、方案2和方案3分别减小了约47.44%、41.0%和49.0%;在120cm测点部位,方案4的位移量均值为8.98mm,较方案1、方案2和方案3分别减小了约47.5%、41.2%和49.1%。由此可见,采用土工袋护坡可以有效抑制排水沟道的边坡位移变形,相较于其他三种方案有明显的优势。

表2 不同方案南坡变形量均值

试验方案	位移量均值/mm	
	40cm处	120cm处
方案1	4.49	17.11
方案2	4.00	15.26
方案3	4.63	17.64
方案4	2.36	8.98

4 结论

从试验结果来看,土工袋砌护作为一种新型排水沟道固坡模式,可以产生良好的砌护效果,能够有效治

理灌区农田排水沟道岸坡滑塌的难题。具体来看,新型土工袋砌护体具有柔性挡土墙的特点,具有良好的稳定性。同时,土工袋还具有良好的透水不透浆性能,可以有效避免渗透和管涌破坏。在土坡内部充填弃土之后,会增加张力并反作用于土体,对边坡的土体具有良好的约束作用。此外,新型土工袋具有良好的抗化学腐蚀和防紫外线性能,可正常使用10年以上,具有较好的耐久性。因此,土工袋砌护农田排水沟道具有良好的工程效果,可以在排水沟道中推广应用。◇

参考文献

- [1] 刘晶. 木桩支挡对排水沟道土工袋砌护边坡稳定性作用研究[J]. 陕西水利, 2020(6): 19-20, 44.
- [2] 窦少辉, 高建恩, 李兴华, 等. 黄土丘陵沟壑区沟道土地整治工程的排水设计[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 310-316.
- [3] 柴鹏翔, 王红雨, 马利军, 等. 基于集对法的土工袋砌护农田排水沟道边坡稳定性评价[J]. 中国农村水利水电, 2020(8): 117-121, 125.
- [4] 马利军, 王红雨, 姚自凯, 等. 层次分析法在引黄灌区排水沟道固坡模式优选中的应用[J]. 人民珠江, 2019, 40(11): 50-55.
- [5] 周沛然, 包永刚, 邓刚. 塔里木河干流河道防护工程材料研究及应用[J]. 人民黄河, 2016, 38(6): 73-75.
- [6] 宋承录. 论述水利工程生态护坡中格宾石笼网的运用[J]. 农村经济与科技, 2019, 303(14): 28-29.
- [7] 孙德强, 鹿新高, 张鹏飞. 铅丝笼干砌石护坡在年楚河岸坡整治中的应用[J]. 人民黄河, 2014, 36(4): 14-16.
- [8] 翟新博. 塔里木河中游防洪堤护坡形式探析[J]. 水利技术监督, 2021(1): 118-122.
- [9] 吴丽霜. 南干渠渠道改造工程技术方案研究[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(5): 5-8.
- [10] 余来平. 高地下水水位混凝土衬砌渠道冻胀损坏断裂数值分析[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(6): 52-56.

句容市赤山湖堤防道路纵向裂缝成因分析与治理

赵道双¹ 叶根苗²

- (1. 镇江市工程勘测设计研究院有限公司, 江苏 镇江 212003;
2. 南京市江北新区生态环境和水务局, 江苏 南京 211899)

【摘要】 堤防裂缝是堤防工程中常见的病害之一,若不及时治理,会影响到堤防工程的稳定和防洪安全。本文从堤防的应力分布、土层膨胀性、堤身土组成等方面探讨了句容市赤山湖湿地公园堤防道路纵向裂缝的成因。研究表明:裂缝多发生在拉应力深度内,土层具有弱膨胀性、堤身土组成存在差异、堤基存在沉降变形大的软弱土层是堤防纵向裂缝形成的主因。纵向裂缝可采取灌浆和开挖回填的方法进行治理,本文总结的纵向裂缝治理方法可为类似工程提供借鉴。

【关键词】 堤防道路;纵向裂缝;成因分析;治理

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-019-07

Cause analysis and treatment of longitudinal cracks in Jurong Chishan Lake embankment roads

ZHAO Daoshuang¹, YE Genmiao²

- (1. Zhenjiang Engineering Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Zhenjiang 212003, China;
2. Nanjing Jiangbei New District Ecological Environment and Water Bureau, Nanjing 211899, China)

Abstract: The embankment crack is one of the common diseases in embankment projects. If the crack is not treated in time, it will affect the stability and flood control safety of embankment projects. The causes of longitudinal cracks in embankment roads of Jurong Chishan Lake Wetland Park are discussed from the aspects of embankment stress distribution, soil layer expansion and embankment soil composition, etc. The results show that the main causes of embankment longitudinal cracks include the soil layer weak expansibility, the difference of embankment soil composition and soft weak soil layer with large settlement and deformation in embankment foundation. The longitudinal cracks can be treated by grouting and excavation backfilling. The treatment method of longitudinal cracks summarized in the paper can provide reference for similar projects.

Keywords: embankment road; longitudinal crack; cause analysis; treatment

1 工程概况

句容市赤山湖为国家湿地公园,位于句容市西南

部,距句容城区 15km,距南京市中心 37km,坐落于赤山东南部。赤山湖湖区面积 7.8km²,堤防长约 10.7km。

收稿日期: 2021-06-16

作者简介: 赵道双(1964—),男,本科,高级工程师,从事岩土工程勘察设计工作。

湖岸堤防在原堤基础上经历了多次加高培厚,最近一次于2014年加高约1.0m,堤顶道路为沥青路面。

自2018年以来,湖区堤顶道路多处出现纵向裂缝,严重段裂缝路面宽度约7~14cm,直接影响了环湖道路的使用,也给堤防防洪埋下了较大的安全隐患(见图1)。本文对赤山湖东段堤防的北段、东闸段和半岛段三处沥青路面纵向裂缝进行了成因分析,结合前期裂缝治理工程经验对裂缝治理提出了建议。



图1 堤防位置分布

北段:长300m,路面纵裂缝断续分布,较轻微,裂缝宽0.5~1.0cm,深度一般0.2~1.2m。

东闸段:长700m,在湖东中、北端,一般裂缝宽3~5cm,深度一般0.4~1.5m,南段约400m范围内裂缝自北向南变得愈来愈明显,道路破损较为严重,尤其最南端约85m范围内,裂缝宽度变大,约5~10cm,深1.5~2.5m。

半岛段:多为不连续的堤肩错落裂缝、偏环湖一侧路面裂缝,实测裂缝宽3~5cm,深度一般1.0~2.0m,局部较深。

2 堤防工程地质条件

2.1 土层主要物理力学性质

赤山湖微地貌单元为湖相,沉积物主要由黏性土组成,上部分布有含腐殖质的软弱土层。湖区道路地基土层自上而下分为以下层次:

①层(Q_4^{ml}):堤身填土。灰褐色、灰黄色素填土,土性一般为重粉质壤土,局部为黏土,稍湿~很湿,稍密,层厚平均为4.52m。



图2 堤防道路裂缝

②层(Q_4^{al}):重、中粉质壤土。灰黄色、灰色,软塑为主,局部流塑,含少量腐殖质,为原地表土层,底部黏性较强,干强度中等、韧性中等,切面光滑,稍有光泽反应,无摇晃反应。层厚不均匀,平均厚度为1.47m。属中偏高压缩性土。

③层(Q_4^{al}):淤泥质重粉质壤土夹轻粉质壤土。灰色,流塑,局部为轻粉质壤土,含腐殖质,土质不均匀,干强度低、韧性低,切面较光滑,稍有光泽反应,无摇晃反应。层厚不均匀,平均厚度为3.65m。属高压缩性土。

④层(Q_3^{al}):重粉质壤土。青灰色、黄褐色,可塑~硬塑,含铁锰结核,干强度高、韧性强,切面光滑,有光泽反应,无摇晃反应。层厚较均匀,平均厚度为5.24m。

④₂层(Q_3^{al}):轻粉质壤土夹中粉质壤土。灰黄色,局部灰白色,稍密,局部分布,层厚不均匀,平均厚度为4.08m。

⑤层(Q_3^{al}):轻粉质壤土夹重、中粉质壤土。灰色、灰黄色,该层底部夹风化中细砂,饱和,层厚不均匀,平均厚度为2.63m。

⑥层(K_2c):强风化粉砂质泥岩。以棕红色、砖红色为主,为白垩系上统赤山组粉砂质泥岩、粉砂岩,岩

石坚硬程度等级属极软岩,岩体完整性指数属极破碎,岩体基本质量等级为V级。

各地基土层剖面分布见图3,土的主要物理力学性质见表1。

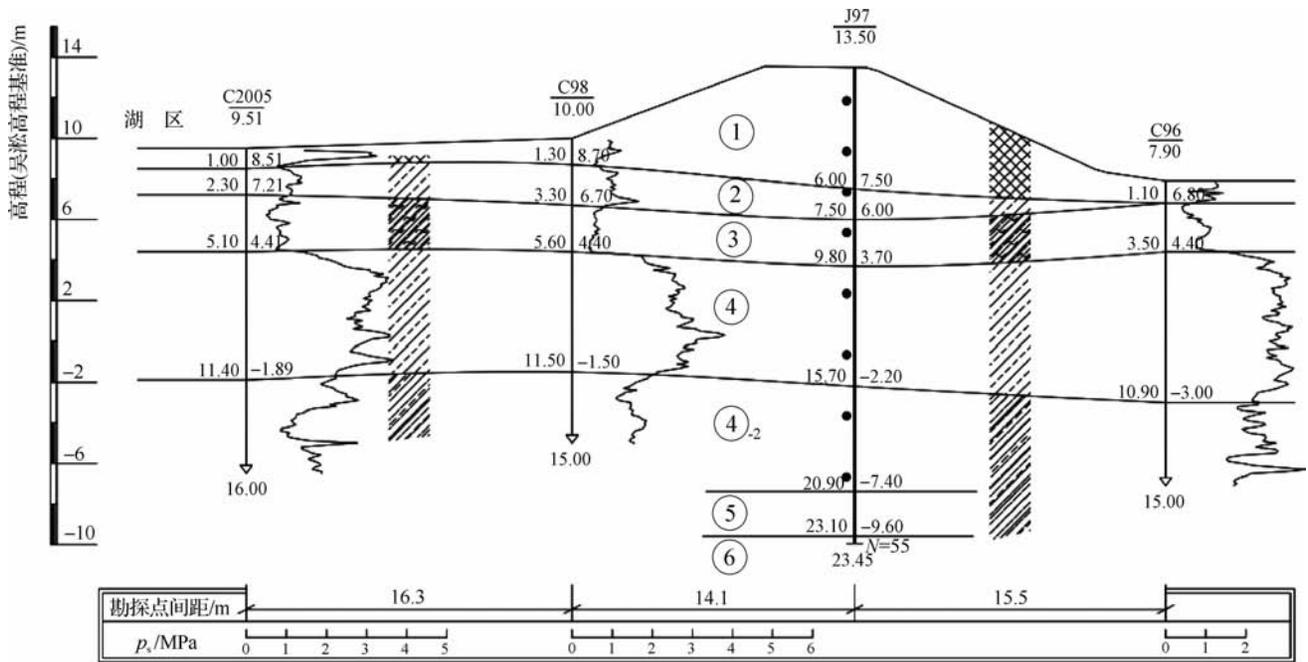


图3 工程地质剖面

表1 地基土主要物理力学性质

层号	含水率 $W/\%$	湿密度 $\rho/(g/cm^3)$	孔隙比 e	液限 $W_L/\%$	塑限 $W_p/\%$	塑性指数 I_p	液性指数 I_L/kPa	黏聚力 C_k	内摩擦角 $\varphi_k/(\circ)$	压缩模量 E_s/MPa	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	承载力允许值 R/kPa
①	24.6	1.96	0.734	37.2	21.4	15.8	0.22	21	10	7.1	0.282	
②	28.4	1.92	0.827	37.1	21.4	15.7	0.47	18	6	5.5	0.356	100
③	36.5	1.86	1.019	32.9	19.8	13.1	0.96	10	7	4.0	0.619	70
④	22.6	2.03	0.646	34.5	19.2	15.3	0.22	65	13	9.0	0.196	220
④ ₋₂	22.6	2.03	0.630	26.6	17.0	9.6	0.58	13	15	8.3	0.206	120
⑤	24.2	2.01	0.680	28.3	18.3	10.0	0.60	25	16	8.5	0.197	150
⑥												300

2.2 水文地质条件简述

赤山湖为秦淮河上游的浅水草型湖泊,地下水类型主要为潜水。场地地下水和地表湖水随季节变化存在着水力联系,堤身浸润线受湖水位影响,湖水位一般在8.9m左右。

根据邻近场地的地下水水质分析资料和现场简易测试,环境水pH值在7.0左右,为中性水,地下水与湖水互为补给,附近无污染源存在,场地环境水对混凝土结构无腐蚀性,对钢筋混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性,对钢结构具弱腐蚀性。

各土体渗透性分级:地基土主要为微透水,堤身填土为弱透水性。各层土渗透系数及渗透等级见表2。

表2 地基土渗透系数

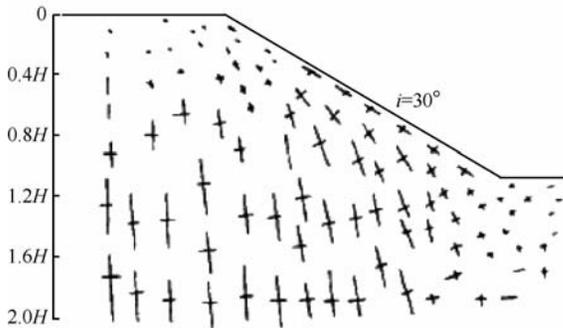
层号	$K_v/(cm/s)$	渗透性等级
①	9.8×10^{-5}	弱透水
②	4.2×10^{-6}	微透水
③	1.6×10^{-6}	微透水
④	1.2×10^{-6}	微透水
④ ₋₂	4.4×10^{-6}	微透水
⑤	3.3×10^{-6}	微透水
⑥		微透水

3 纵裂缝成因分析

3.1 堤身应力分布分析

3.1.1 应力分布

岩质边坡的应力分布研究表明^[1]:岩质边坡的应力分布特征为愈靠近临空面,最大主应力(σ_1)愈接近



平行边坡临空面,最小主应力(σ_3)愈垂直临空面。边坡坡脚处会出现应力集中,应力最大;在边坡坡顶及后缘会出现拉应力,形成与坡面近乎平行的张裂缝,大约在地面下1/3坡高处转为压应力。自重应力场作用边坡应力分布见图4。

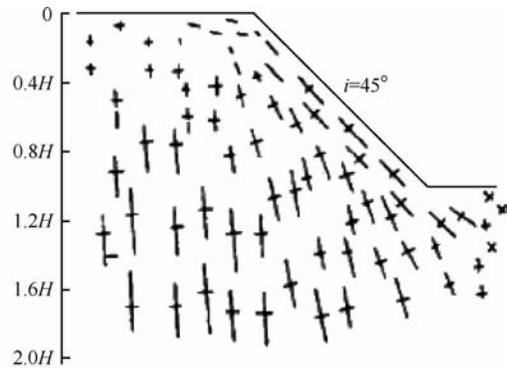


图4 自重应力场作用边坡应力分布

3.1.2 拉应力临界深度

堤身结构为黏性土,黏性土主动土压力应力计算公式^[2]如下:

$$p_a = \gamma Z K_a - 2C \sqrt{K_a} \quad (1)$$

式中: p_a 为主动土压力,kPa; γ 为重度, kN/m^3 ;Z为计算点离表面深度,m; K_a 为主动土压力系数, $K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$;C为土的黏聚力,kPa; φ 为土的内摩擦角, $(^\circ)$ 。

堤身主动土压力分布见图5。临界深度(Z_0)内主动土压力为张拉应力,向下主动土压力为压应力,临界

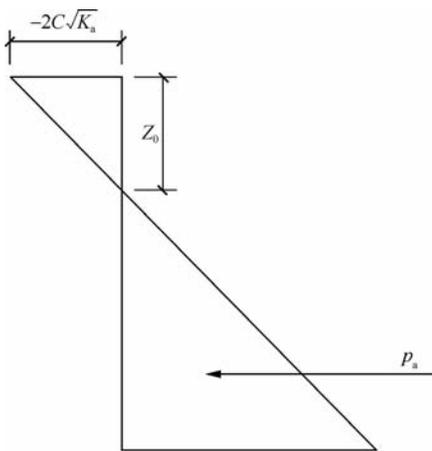


图5 主动土压力分布

深度与土层物理力学性质有关。堤顶道路浅部拉应力内会向临空区发生水平偏移,产生纵向裂缝。

拉应力临界深度计算公式为

$$Z_0 = \frac{2C}{\gamma \sqrt{K_a}} \quad (2)$$

根据堤身土体物理力学性质参数: $C = 21\text{kPa}$; $\varphi = 10^\circ$; $\gamma = 19.6\text{kN}/\text{m}^3$,求得: $Z_0 = 2.55\text{m}$ 。

3.1.3 探坑验证

选堤顶道路裂缝破坏处开挖探坑。探坑揭示:路面纵裂缝宽约2~10cm,水平延伸数米或数十米,宽度由上至下逐渐变小并尖灭,裂缝面分布基本直立,裂缝延伸深度一般在0.5~1.5m,最大为2.15m(见图6~图7)。因此从岩石边坡和土质边坡应力分析看,纵裂缝均发生在拉应力范围内,裂缝深度一般在岩石边坡地面下1/3坡高深度内,土质边坡在主动土压力临界深度内。

综上分析,当堤顶受静堆载和车辆运行等动载作用时,边坡会向临空面最小主应力方向发生位移,形成堤顶路面纵向裂缝,纵向裂缝多为垂直向下延伸,上宽,向下渐变窄,发育在拉应力深度内。赤山湖堤半岛段、东闸段湖堤两侧为临空面,且两侧临水,堤顶路面纵裂缝多发育在路中央;北段临湖迎水坡侧为单侧临



图6 北段道路裂缝探坑



图7 东闸段道路裂缝探坑

空面,路面纵裂缝发育在路面偏临空面一侧,两侧临空面的堤顶道路纵裂缝较单侧临空面的纵裂缝宽且延伸距离远。

3.2 土层的膨胀性特性影响

赤山湖环湖道路场地土层属湖相沉积,以细颗粒沉积物为主,黏粒成分含有亲水性次生黏土矿物蒙脱

石、伊利石和高岭石。蒙脱石亲水性强,浸湿后膨胀程度强烈,其次依次为伊利石和高岭石。赤山湖堤基和堤身土层亲水矿物主要为高岭石和伊利石,其次为蒙脱石,场地土具有较显著的吸水膨胀和失水收缩下沉的膨胀土特性,土工试验测得场地土①、②、④土层的自由膨胀率 $40\% \leq \delta_{ef} < 65\%$,根据膨胀土相关技术规范^[3]判别,具有弱膨胀性(见表3)。

表3 膨胀性土膨胀潜势判别

层号	自由膨胀率 $\delta_{ef}/\%$	膨胀潜势
①	46.3	弱
②	63.4	弱
③	38.4	—
④	43.9	弱

赤山湖堤基和堤身土层具有的弱膨胀土特性,在受干湿交替影响时,极易诱发堤顶道路产生裂缝。

3.3 堤身土质组成差异及堤基软弱土层沉降引起纵裂缝

湖岸堤防多年来经过数次加高培厚,原堤土质与各次加固土层的土性、密实程度及施工方法均存在差异,堤身固结速度不同,产生沉降差异,引起纵向裂缝的发生^[4]。赤山湖环湖道路堤身上部1.0m为2014年加高土层,土料主要为湖区黏性土,与原堤身土料存在明显差异,且加高层堤身密实程度较下部原堤身土层也存在差异,从开挖的裂缝探坑所揭示的土层分布情况也得到了进一步证实,因此易导致堤身产生纵裂缝。

堤基土层②层重、中粉质壤土,软塑,局部流塑,含少量腐殖质,为中偏高压缩性的较软弱土层;③层淤泥质重粉质壤土夹轻粉质壤土为高压压缩性的软弱土层,流塑,含腐殖质。因此在堤身荷载及道路动载作用下,②层、③层土会发生固结作用,产生较长时间的沉降变形,引起堤身产生纵裂缝。

4 纵裂缝治理

堤顶道路产生纵向裂缝后,应及时进行封闭加固治理,否则裂缝易成为地表水渗入通道,地下水会降低堤身土的抗剪强度,坝肩边坡稳定安全性随着降雨历时与下渗强度的增加而降低^[5],同时堤身土还具有弱

膨胀土特性,受干湿交替影响时会发生吸水膨胀和失水收缩现象,加剧道路裂缝的扩大。裂缝贯通进一步发展会形成浅层坍塌、滑坡等地质灾害^[6],影响堤身的稳定。因此当裂缝初始发生时,应及时治理。

对于水利工程堤防道路裂缝的治理,目前常规采用的处理方法主要有充填灌浆、自流灌浆和开挖回填等方法^[7-10]。赤山湖堤防道路纵向裂缝的治理,应根据堤防道路纵向裂缝成因特点采取如下相应的处理方法:①堤身培厚,限制堤顶拉应力向临空面位移;②裂缝填实封闭:用非膨胀性黏性土浆液灌浆,根据裂缝特征进行自流灌浆、充填灌浆;③用非膨胀性黏性土置换回填。

4.1 堤身培厚

湖堤道路受载荷作用会向临空面方向发生位移,现湖堤有单侧临空坡面和双侧临空坡面,坡面坡度较大,局部陡立,多处路面出现了纵裂缝和坡肩坍塌,可采用堤身培厚和临空坡面护坡方法,使湖堤坡度满足1:2.5~1:3,限制堤顶道路在张拉应力作用下向临空面侧变形,有利于堤身的稳定。

4.2 裂缝填实封闭

堤身土具有弱膨胀性,要控制堤身土含水率的变化。在稳定地下水位以下土体含水率比较稳定,地下水位以上土体含水率受大气深度影响波动大,土体会产生吸水膨胀和失水收缩现象,因此堤顶路面出现纵向裂缝后,应及时充填封闭。裂缝填实采用充填灌浆和自流灌浆方法。灌浆材料为非膨胀性黏性土浆液或水泥浆液,土料主要性能指标:液性指数10~25,黏粒含量20%~45%。

4.2.1 充填灌浆

对于开张大且深度大的裂缝,采用充填灌浆法处理。灌浆材料可取黏性土浆液或水泥浆液,黏性土材料应不具膨胀性。注浆管采用通用的注浆花管,直径50mm。灌浆施工可按下列步骤进行:

a. 开槽:沿沥青路面纵裂缝方向开槽,槽深和槽宽视路面结构层而定,一般0.5~1.0m,然后用不具膨胀性的黏性土夯实回填,作为裂缝上口的封闭层。赤山湖主堤堤防等级为3级,压实度符合相关规范^[11]要

求,压实度不低于0.93。

b. 埋管:用钻孔或振动法将灌浆花管沿裂缝方向埋入土中,钻孔深度应超过裂缝深度1~2m;孔距一般2m左右,或根据裂缝实际贯通情况调整。

c. 灌浆:采取“慢灌+复灌”方法,灌浆时应控制压力,不大于50kPa,复灌间隔视缝内浆液的凝固状态而定,完成灌浆后封孔,同时施工中对堤防进行变形监测。

d. 完成路面修复工作。

4.2.2 自流灌浆

自流灌浆法适用于裂缝宽、埋藏浅且贯通性较好的裂缝,主要步骤如下:沿纵裂缝方向开挖宽深0.2~0.3m的槽沟,先灌入清水湿润裂缝,再依次灌入稀浆液,最后灌入稠浆液,多次复灌,直到裂缝充满为止。

4.3 开挖回填

采用非膨胀性黏性土置换处理,该法是处理以上成因裂缝的有效方法之一,能彻底消除裂缝的不利影响,但造价较高。

施工步骤主要如下:

a. 沿裂缝地面走向和向下延伸方向开挖纵向沟槽,并在裂缝走向每隔5m左右开挖一条与裂缝垂直的横向沟槽,设置横向隔断,隔断长度以1.5~2.0m为宜,纵横方向沟槽深度以超出裂缝深度下0.5~1.0m为宜。沟槽呈倒梯形状,侧壁坡度1:0.75,槽底宽度不宜小于0.5m,最小槽宽应满足利于开挖和夯实时施工机械作业空间要求。

b. 按要求选用符合堤防的填料土,进行分层压实回填。土料质量主要指标要求^[12]其黏粒含量为10%~30%,塑性指数为7~17,不具膨胀土性,压实度按赤山湖主堤堤防等级要求不低于0.93。

c. 完成路面修复。

5 结论

a. 赤山湖堤防道路纵向裂缝主要是由堤身应力特征、土层的弱膨胀性、堤身土质组成差异和软弱堤基沉降变形共同作用所致,同时由于路面堆载和车辆动载作用,加剧了裂缝的发展,造成路面损坏。

b. 纵向裂缝多为垂直向下延伸,上宽,向下渐变窄,直至尖灭。裂缝多发育在拉应力深度内,岩质边坡在地面下 1/3 坡高深度内,土质边坡在主动土压力临界深度内。两侧临空面的堤顶道路纵裂缝多发育在路中央,单侧临空面的路面纵裂缝一般在路面偏临空面一侧,两侧临空面的堤顶道路纵裂缝较单侧临空面的纵裂缝宽且延伸距离远。

c. 堤防路面纵裂缝在堤防工程中普遍存在,防治措施应结合裂缝发育程度、对堤防的影响程度及工程造价等诸多方面综合考虑,以期求得最佳治理效果。◆

参考文献

- [1] 陆兆溱. 工程地质学[M]. 2 版. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [2] 陈希哲,叶菁. 土力学地基基础[M]. 5 版. 北京:清华大学出版社,2013.
- [3] 膨胀土地地区建筑技术规范:GB 50112—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.

- [4] 虎春生. 宁夏海原南坪水库土坝坝体裂缝原因分析[J]. 水利建设与管理,2018,38(4):52-54.
- [5] 周清勇,熊磊,胡国平. 不同降雨入渗影响因素下坝肩边坡稳定性分析[J]. 水利建设与管理,2021,41(12):21-25.
- [6] 王振华. 引江济汉工程中膨胀土的危害及防治措施[J]. 水利建设与管理,2013,33(11):46-48.
- [7] 沈细中,张慧,杨文丽. 黄河下游标准化堤防纵向裂缝成因与防治[J]. 岩土力学,2008,29(4):973-978.
- [8] 路开峰,马凌远,侯新学,等. 黄河大堤裂缝成因分析及防治措施[J]. 中国水运(学术版),2007(4):82-83.
- [9] 赵寿刚,常向前,沈细中,等. 黄河山东东明河段堤防工程裂缝成因及防治对策[J]. 地质灾害与环境保护,2007(1):57-61.
- [10] 土坝灌浆技术规范:SL 564—2014[S]. 北京:中国水利水电出版社,2014.
- [11] 堤防工程设计规范:GB 50286—2013[S]. 北京:中国计划出版社,2013.
- [12] 水利水电工程天然建筑材料勘察规程:SL 251—2015[S]. 北京:中国水利水电出版社,2015.

(上接第 14 页)

f. 由于透水率与单位注入量均较大,受灌地层节理、裂隙发育,试验时采取的 3:1、2:1、1:1、0.8:1、0.5:1 五个比级可适当优化,提高工效。

g. 裂隙冲洗、压水、灌浆过程外漏现象较多,且灌浆串漏部位距灌浆孔较远,浆液扩散半径偏大,导致水泥灌入量偏大。◆

参考文献

- [1] 陈兴军,罗应军,朱建华. 斜坡坡面自行式灌浆施工平台技术在三峡水库大坝趾板灌浆工程中的应用[J]. 水利建设与管理,2021,41(6):81-86.
- [2] 汤国辉. 冲击回转钻孔技术在帷幕灌浆工程中的应用[J]. 水利建设与管理,2021,41(5):32-35.
- [3] 付壮. 纯压式深孔岩溶帷幕灌浆技术[J]. 水利建设与管理,2020,40(3):53-57.
- [4] 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.
- [5] 陈伏牛,韩建东,赵彦辉. 改性环氧树脂在两河口水电站帷幕灌浆中的应用[J]. 水利建设与管理,2019,39(7):45-49.

- [6] 蔡畅,梁剑. 深孔固结灌浆法在下穿河道经过断层施工中的应用[J]. 水利建设与管理,2018,38(10):14-18.
- [7] 刘炜,拓玉华,曾毅,等. 升降式钻灌台车在调压井筒固结灌浆中的应用[J]. 四川水力发电,2021,40(5):36-40.
- [8] 高大鹏. 水利工程中灌浆技术的应用[J]. 黑龙江水利科技,2021,49(9):177-179.
- [9] 刘洪滨. 头屯河楼庄子水库大坝基础防渗措施研究[J]. 水利技术监督,2021(8):171-174.
- [10] 胡启军. 固结灌浆技术在水库泄洪洞加固中的应用[J]. 河南水利与南水北调,2021,50(7):49-51.
- [11] 梁启杰,秦志军,刘剑,等. 某电站溢洪道千枚岩区域固结灌浆效果分析[J]. 人民黄河,2021,43(S1):283-285.
- [12] 蒋明,张伟狄,王建新. 白鹤滩水电站坝基固结灌浆方法研究与应用[J]. 大坝与安全,2021(3):6-11,21.
- [13] 杨彦军. 铁城水电站坝基岩体固结灌浆试验研究[J]. 甘肃水利水电技术,2021,57(5):61-65.
- [14] 简红波. 固结灌浆在黔北地区大坝基础处理中的运用及效果分析[J]. 红水河,2021,40(2):114-117.
- [15] 苏建江. 水利工程坝基固结灌浆施工技术质量控制研究[J]. 珠江水运,2021(5):67-68.

动水条件下砂卵石层高喷方法探讨

刘玉成¹ 李华伟¹ 张青松²

- (1. 中水淮河规划设计研究有限公司,安徽 合肥 230601;
2. 安徽水安建设集团股份有限公司,安徽 合肥 230601)

【摘要】 采取高压摆喷黏土水泥浆进行含动水的砂卵石层空隙封堵,可有效解决常规高喷无法成墙的问题。在杭埠河堤防截渗工程中,在高压摆喷一般措施无效的情况下,尝试采取添加外加剂、回填灌浆再二次高喷等方法寻找可行方案,最终经专家论证确定采用黏土水泥浆高喷堵漏再二次高喷的方式施工,并完善了工艺,在实际施工中取得了良好截渗效果,扩展了高压摆喷灌浆的适用范围,具有一定的推广价值。

【关键词】 高喷灌浆;动水;砂卵石;黏土水泥浆

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-026-05

Discussion on sand pebble layer high spraying method under flowing water condition

LIU Yucheng¹, LI Huawei¹, ZHANG Qingsong²

- (1. China Water Huaihe Planning, Design and Research Co., Ltd., Hefei 230601, China;
2. Anhui Shui'an Construction Group Co., Ltd., Hefei 230601, China)

Abstract: High pressure pendulum grouting clay cement slurry is adopted to seal voids of sand pebble layer containing moving water, which can be used for effectively solving the problem that the wall cannot be formed by conventional high spraying. Feasible schemes are sought through admixture adding, secondary high spraying after backfill grouting and other methods in Hangbu River Embankment Impervious Project under the condition of invalid high pressure pendulum grouting general measures. The mode of secondary high spraying after high spraying sealing by clay cement slurry is adopted through expert argumentation determination finally. The technology is perfected. Excellent impervious effects are obtained in the actual construction. The application scope of high-pressure pendulum grouting is extended, and it has certain popularization value.

Keywords: high spraying grouting; flowing water; sand pebble; clay cement slurry

高压喷射灌浆是借助中高压喷射流冲切土体,混合浆液在射流作用区域扩散充填,形成新的固结体,以达到截渗目的的灌浆方式。高压喷射灌浆具有冲切搅拌、置换、充填、渗透等作用,适用于砂类土、黏性土、黄

土和淤泥等地层的加固和截渗,对于地下水活跃、砂砾石较多的土体需慎重选用。本文基于工程实例,对动水条件下砂卵石层进行高喷灌浆试验,确定工艺参数,达到设计指标。

收稿日期: 2021-05-06

作者简介: 刘玉成(1989—),男,硕士,工程师,主要从事水利水电工程总承包项目管理工作。

1 工程概况

杭埠河治理工程是安徽省 2016 年灾后水利薄弱环节建设治理重要支流 2017—2019 年实施项目,采取工程总承包管理模式。主要工程任务为丰乐河与杭埠河舒城段治理、提升双河镇防洪标准,其中杭埠河城南大圩与十二圩共 2.55km 段堤防采用高喷方式截渗。

杭埠河舒城段治理具体内容包括:①千人桥圩堤防加固,加固总长 7.71km;②新建堤顶道路 29.175km,含千人桥圩 7.71km、城南大圩 7.85km、十二圩 9.42km、周公渡圩 4.195km;③险工险段处理 2.55km,其中城南大圩 2.2km、十二圩 0.35km;④新建、拆除重建及加固穿堤建筑物 45 座,其中新建 1 座,重建 35 座,加固接长 8 座,拆除复堤 1 座,计划工期 22 个月。

针对杭埠河十二圩管涌渗漏段(总长 350m,位于 5+650~6+000 段)和城南大圩渗漏段(总长约 2200m,分别位于 18+350~18+700 及 19+500~21+350 段,主要表现为堤内灌溉水系通过堤基向堤外/河内渗漏),设计上采用高喷方式截渗,并给出各控制参数的参考值,详细参数组合方案以承包人经验和现场试验结果确定。

2 地质情况

杭埠河堤基在勘察深度范围内所揭露的地层从上到下按其土性特征可分为四个大层,现将钻孔揭露的堤基地层情况叙述如下:

①₁层砂壤土(Q₄^{al}):夹粉细砂,灰、灰黄等色,很湿~饱和,稍密。该层断续分布于堤基表层,呈地表覆盖层特征。层厚 0.50~5.10m,层底高程 6.03~13.61m,为中等压缩性土层,渗透性参数建议值为 2.0×10^{-4} cm/s。

④₁层细、中砂(Q₃^{al}):灰黄、棕黄色,饱和,中密—密实状,此层中下部多夹砾石,砾石直径 3~15cm,含量 5%~20%。工程区内连续分布,多数勘探孔未钻穿,已揭露层厚 0.10~5.80m,最低层底高程 0.78m,为低压缩性土层,渗透性参数建议值为 1.0×10^{-3} cm/s。

④₃层砂卵石层:黄、杂色,密实,饱和,自上而下颗粒渐粗,场地区内连续状分布,该层仅部分钻孔揭穿,厚度一般在 6~12m,上游范围一般厚度不大于 10m,中下游则多未钻穿,已揭露最大厚度 14.3m,最低层底高程 -11.73m。为低压缩性土层,渗透性参数建议值为 5.0×10^{-2} cm/s。

⑥₁层全风化凝灰质粗面岩:棕红、紫红等色,主要呈黏性土夹碎石颗粒状,渗透性参数建议值为 5.0×10^{-4} cm/s。

⑥₂层强风化凝灰质粗面岩:紫红、灰红色,岩芯为短柱状及柱状。

⑥₃层中等风化凝灰质粗面岩:灰红、灰色,岩芯为柱状。

堤防内侧存在多处水塘,细中砂、砂卵石层含一定的孔隙承压水且流动,平均水头为 6m。

3 设计思路和首次围井试验

3.1 设计思路

截渗墙采用三管法摆喷方式,渗透系数及强度要求见表 1,材料为 P·O42.5 水泥,孔距 1.2m,折接式相接,折角 20°~30°,摆喷角度 30°~40°,墙体深约 15.0~20.0m,墙底伸入相对不透水层 1.0m,墙顶高程不低于设计洪水位 +0.5m,墙顶以上钻孔采用黏土球封堵。高喷墙墙体指标见表 1,防渗处理剖面见图 1。

表 1 高喷墙墙体指标

地 层	渗透系数 $K/(cm/s)$	抗压强度 R_{28}/MPa
粉土	5.0×10^{-6}	2.0
砂土	5.0×10^{-6}	3.5
砾石	5.0×10^{-6}	5.0
卵(碎)石	5.0×10^{-5}	5.0

3.2 首次围井试验

由于防渗墙施工难度大且极其重要,在正式施工前,需进行高喷防渗墙现场试验。通过现场围井试验确定安全可靠的各项施工参数,如喷射形式、孔距、喷射压力、流量、浆液浓度、提升和转动速度等,并通过

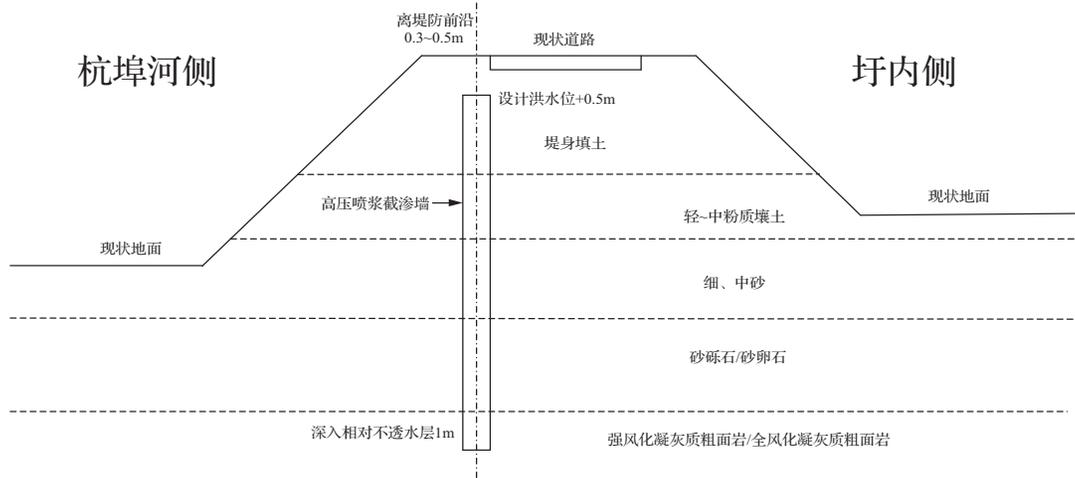


图1 防渗处理剖面

试验熟练掌握高喷工艺、控制孔斜的措施等,以指导后期施工。同时,正式施工前应进行地质复勘,以确定正式防渗加固施工范围。

首次围井试验中布置一个围井,孔位成八边形布置。高压喷射灌浆防渗墙顶高程 33.0m,底高程 14.5m,累计钻孔进尺 18.5m,累计钻孔并高压摆喷 148.0m。试验均采用钻孔高喷施工工艺,分两序进行施工,单号孔均为 I 序孔,双号孔均为 II 序孔。灌浆材料均采用 P·O42.5 水泥。围井试验平面布置见图 2,高压喷射灌浆施工工艺参数参考值见表 2。

表2 高压喷射灌浆施工工艺参数

项 目		钻孔高喷三管法
水	压力/MPa	36 ~ 38
	流量/(L/min)	70 ~ 80
	喷嘴/个	2
压缩空气	压力/MPa	0.7
	流量/(m ³ /min)	1.2
	喷嘴/个	2
水泥浆	压力/MPa	0.1 ~ 0.3
	流量/(L/min)	60 ~ 80
	密度/(g/cm ³)	≥1.6
	喷嘴(出浆口)/个	2
	喷嘴直径/mm	6 ~ 10
	孔口回浆密度/(g/cm ³)	≥1.2
提升速度 <i>v</i> /(cm/min) 摆速、摆角	砂层	13 ~ 14
	砂砾层	12
	砂卵石层	7 ~ 9
	摆喷/(次/min)	(0.8 ~ 1.0) <i>v</i>
	摆角	30°

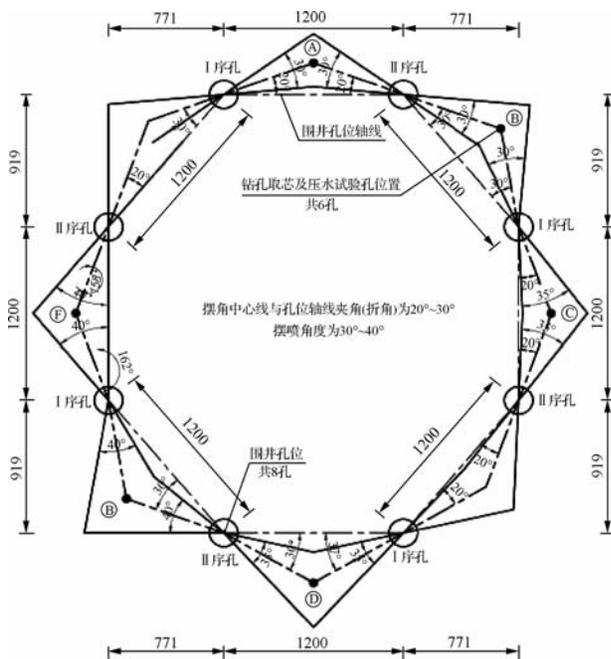


图2 围井试验孔位

围井 1 号孔喷灌开始正常,喷至离孔口 6.8m 位置(高程 25.2m)处孔口开始不返浆,此时停止提升继续喷浆,并在孔口人工往孔内灌砂,持续 5min 仍无返浆,继续采用降低水压、降低气压原位注浆,并同时人工往孔内灌砂,持续 5min 仍无返浆,由于连续停止 10min 并连续注浆仍不返浆,此时采用低速摆喷提升(提升速度 6cm/min)1.5m 后继续采用降低水压、降低气压原位注浆及人工孔内灌砂法,持续 5min 仍无返浆,然后

基本采用低速提升 1.5~2m 再原位注浆 5min,一直提升至孔口(至孔口无回浆)。当时考虑可能为个例,继续对 5 号孔喷灌,发现 5 号孔与 1 号孔情况基本一致。

4 探讨解决方案

从首次围井试验 1 号孔灌浆结果可以看出,针对此种砂卵石层较厚且存在地下动水的地基处理,三管法高喷采取降低提升速度、加大浆液密度、灌砂、复喷等方式仍无法成墙,需首先解决砂卵石层空隙封堵问题,然后再灌浆加固,否则只能放弃灌浆加固工艺。

4.1 原孔回填灌浆封堵+高喷

首次围井试验施工 3 号孔时,在喷浆前先利用清水将孔清洗干净,后采用原孔回填灌浆(黏土泥浆加入约 10% 水泥进行灌浆),但由于孔口砂层较为松软,当加压至 0.03MPa 时孔口旁边开始漏浆;将孔四周 1m 区域利用水泥浆封堵(同时将孔进行扫孔并清洗干净),18h 后继续回填灌浆,当加压仅 0.05MPa 时封堵被破坏,周边漏浆且吃浆量很小。原位回填灌浆后进行高喷作业时跟前面 1、5 号孔施工情况基本一样。后续施工 7 号孔,按照 3 号孔施工顺序,基本与前述一样在离孔口 6~7m 处不返浆。

由上可知,采用黏土+水泥掺拌浆液回填能起到一定的封堵效果,但封堵范围和强度均较小,后续高喷无法开展。

4.2 添加速凝剂高喷

首次围井试验施工 5 号孔时,在水泥浆液中添加速凝剂进行试验,结果不太理想。原因是速凝剂对添加剂量和时间要求太苛刻,而且速凝剂形成的固结体无法及时堵塞砂卵石层孔隙。另外,此种方式造价也偏高,经试验失败后放弃。

4.3 黏土水泥浆高喷+二次水泥浆高喷

在前述试验结果的基础上,考虑提升黏土水泥浆的封堵范围和封堵强度,做第二次围井试验。

在 I 序孔采用黏土水泥浆高喷,从孔底喷至离孔口 6.0m 位置(高程约 26m)喷灌正常,但离孔口 6.0m 位置(高程约 26m)开始不返浆,此时停止提升并降低

水压、降低气压,采用原位注浆持续 5min 仍无返浆,采用低速摆喷提升(提升速度 7cm/min),每次提升 2m,然后注浆 5min,直至地面高程。摆喷完成后,从 6m 处复喷黏土水泥浆,返浆正常。扫孔后, I 序孔高喷作业正常,均正常返浆。2 号围井 II 序孔高喷作业正常,均正常返浆,无特殊情况发生。

4.4 围井试验检查

按照《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》提供的渗透系数计算公式开展两次围井试验结果验证,首次和第二次围井试验的渗透系数分别为 1.40×10^{-5} cm/s 和 1.66×10^{-6} cm/s。通过开挖检查,发现首次围井试验上层成墙效果较好,但砂卵石层不连续,第二次试验墙体搭接良好,经强度检验满足设计要求,其开挖效果见图 3。



图 3 第二次围井试验开挖检查

5 工艺完善

针对已选择的工艺,现场开展多组对比实验确定各类控制参数,并梳理工艺流程,最终成果如下。

首先采用地质钻机钻孔,泥浆固壁并同步拌制黏土水泥浆,浆液密度不小于 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$,随时测量泥浆的比重以保证达到堵漏效果,插管至灌浆孔孔底,先静喷

至孔口回浆正常再开始提升,随后开始喷射作业。泥浆喷灌完成后再次进行扫孔(采用 MDL-C200 钻机二次钻孔,采用特制 PVC 管护壁),再按试验方案批准的水灰比拌制水泥浆,浆液密度 $1.6 \sim 1.70\text{g}/\text{cm}^3$,采用 P·O42.5 水泥制浆,随时测量水泥浆的比重以保证水灰比符合要求,插管至灌浆孔孔底,先静喷至孔口回浆正常再开始提升,即可按设计参数开始喷射作业。喷灌

时,同时做好各施工工艺参数记录,孔口返浆每 $20 \sim 30\text{min}$ 测一次比重并记录,返浆通过排浆沟排放至适当位置。喷射注浆,当孔口回浆量超过喷浆量的 20% 时,提高喷射压力或加快提升速度。喷灌结束后,可利用部分回浆或搅拌机拌制的浆液向喷射孔补充浆液以消除因析水产生的凹穴。具体工艺流程见图 4,新工艺参数见表 3。

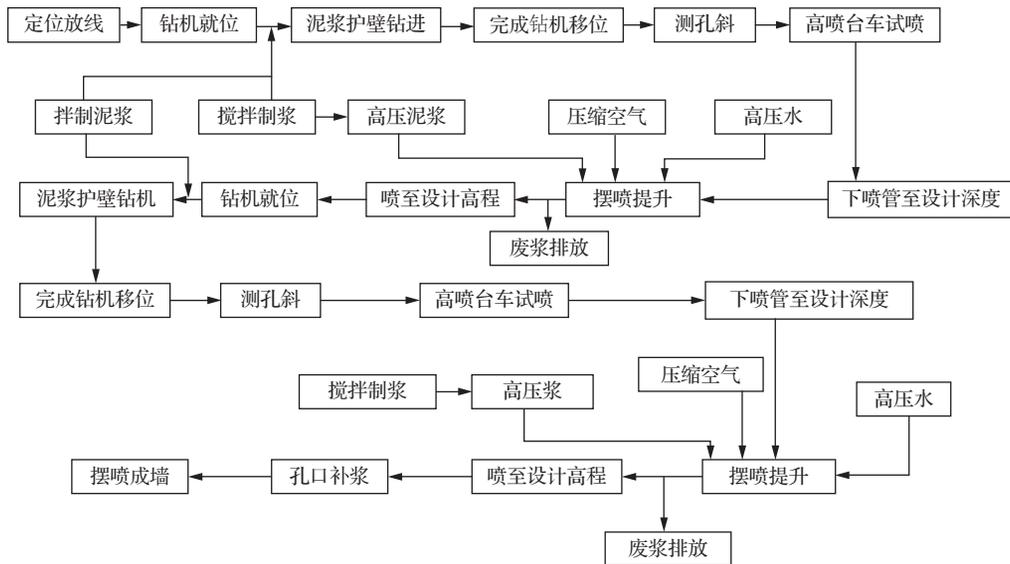


图 4 新工艺流程

表 3 高压喷射灌浆施工工艺参数(黏土水泥浆)

项 目	钻孔高喷三管法	
水	压力/MPa	35 ~ 38
	流量/(L/min)	70 ~ 80
	喷嘴/个	2
压缩空气	压力/MPa	0.6 ~ 0.8
	流量/(m ³ /min)	0.8 ~ 1.2
	喷嘴/个	2
黏土水泥浆	压力/MPa	0.2 ~ 1.0
	流量/(L/min)	60 ~ 75
	配比(土:水泥)	1:0.1
	喷嘴(出浆口)/个	2
	喷嘴直径/mm	6 ~ 10
	密度/(g/cm ³)	≥1.2
提升速度 <i>v</i> /(cm/min)	砂层	13 ~ 18
	砂砾层	10 ~ 14
	砂卵石层	7 ~ 9
摆速、摆角	摆喷/(次/min)	(0.8 ~ 1.0) <i>v</i>
	摆角	30°

经专家论证后,选择第二次围井试验工艺作为施工方法。

6 结 语

针对含动水的砂卵石层,其空隙较大,水泥浆难以快速固结成体,采取常规措施未见改善,直接高喷水泥浆无法成墙,达不到截渗效果;采用外加剂,该工艺对剂量和时间要求苛刻,不利于实施;采用回填黏土浆堵漏,其扩散范围偏窄且强度较低,下一步高喷工序无法开展;采用黏土水泥浆高喷堵漏,可扩大堵漏范围且形成较高强度固结体,待一定强度后开展二次钻孔高喷,此时外围黏土水泥浆固结体可给予水泥高喷墙良好的外壳保护,二次水泥浆高压摆喷顺利成墙。

本工程中截渗墙地质条件在江淮地区属普遍现象,通过改进三管法高喷工艺,采用黏土水泥浆高喷封堵再二次高喷工艺开展施工,截渗效 (下转第 43 页)

砂卵石强渗透地层防渗墙成墙技术

成永辉 刘计成

(广东南方建设集团有限公司, 广东 广州 510430)

【摘要】 本文以广州市增城区正果拦河坝重建工程防渗墙成墙实例为基础,介绍了在砂卵石强渗透地层环境中,针对防渗墙试验槽段因渗透压力大,泥浆被稀释导致成槽过程塌陷返工、影响成墙进度的问题,采取施打拉森钢板桩止水、增设大功率水泵降排水等措施以降低渗透压力,使防渗墙成墙的质量、进度均达到了设计要求,成功解决了砂卵石强渗透地层防渗墙塌陷返工的技术问题。

【关键词】 强渗透;防渗墙;成槽;防塌陷;成墙;措施

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-031-07

Technology of forming cutoff walls in sand pebble strong permeable stratum

CHENG Yonghui, LIU Jicheng

(Guangdong Nanfang Construction Group Co., Ltd., Guangzhou 510430, China)

Abstract: The paper is based on the example of cutoff wall formation in Guangzhou Zengcheng District Zhengguo Barrage Reconstruction Project. The problems of collapse and rework during grooving process and influence on wall formation progress in the cutoff wall test groove section due to high seepage pressure and diluted cement slurry in sand pebble strong permeable stratum environment are introduced. The following effective measures are adopted: water sealing by drilling lassen steel sheet piles and water drainage by adding high-power water pump to reduce seepage pressure. The quality and progress of forming the impervious walls meet the design requirements, and the technical problems of collapse rework of impervious walls in sandy pebble strong permeable stratum are successfully solved.

Keywords: strong permeable; cutoff wall; grooving; collapse prevention; wall formation; measures

修建于 20 世纪 80 年代的正果拦河坝旧坝闸室及坝基渗漏严重,渗透变形已严重影响闸门正常启闭,以及正果蒙花布村正果拦河坝网红打卡地的旅游安全问题。增城区水务局决定实施正果拦河坝重建工程,还市民碧水蓝天,改善乡村水生态环境和人居环境,以促进乡村建设的可持续性发展。

1 工程项目概况

广州市增城区正果拦河坝重建工程位于增城增江现状正果拦河坝下游约 50m 处,重建拦河坝(168m、九孔水闸)包括交通桥、两岸翼墙、上游铺盖及下游消能防冲设施等工程内容。设计防洪标准为 20 年一遇,校核洪水标准为 50 年一遇;施工工期为 540 天;钢筋混

收稿日期: 2021-05-12

作者简介: 成永辉(1978—),男,本科,高级工程师,主要从事水利、市政等建设项目的施工管理工作。

图 5。



图 4 引水发电不中断

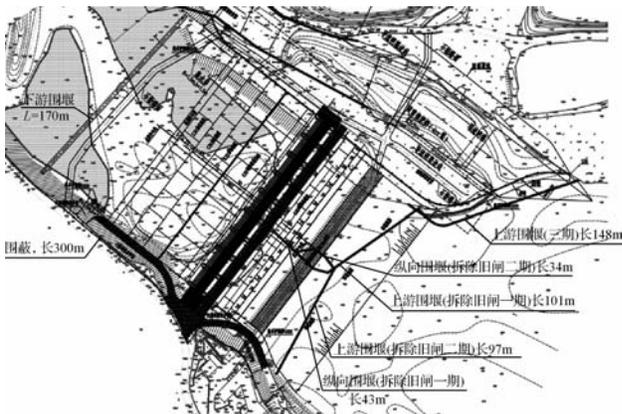


图 5 分期围堰导流

2.3 防渗墙的成墙质量影响公司品质

现状正果拦河坝的闸室及坝基渗漏严重,渗透变形已对闸门启闭造成影响。重建必须构建有效的防渗体系,因此防渗墙成墙质量控制的好坏成为本工程成败的关键。公司以“服务创造价值,品质成就未来”的理念打造精品工程,确保防渗墙的施工质量、进度、安全管理均达到省优的水平,力争跨上水利建设新台阶。

3 成墙施工过程中遇到的问题

正果拦河坝试验段防渗墙(10号、19号、21号3幅槽段)已于2020年11月10日完成混凝土浇灌作业,但根据施工日记记录及施工过程图片发现存在以下问题。

3.1 防渗墙试验段 10 号槽段成槽发生塌陷

防渗墙 10 号槽段抓斗成槽过程中,由于膨润土泥浆护壁,泥浆受到水压稀释作用,渗漏流失,曾发生过明显塌陷,后经地基回填返工处理再次成墙,见图 6。



图 6 10 号槽段塌陷返工处理

3.2 防渗墙试验段 19 号槽段成槽误判孤石导致局部塌陷

防渗墙 19 号槽段抓斗机成槽,如果按照超前钻探结果,应可利用抓斗机成槽作业至约 9m 深,才进入全风化花岗岩层。但是,现场抓斗机成槽作业至 5m 深,就遇到全风化花岗岩层。抓斗机成槽作业中断,需要改用冲孔桩机成槽,且因过早入岩,误判为局部遇到孤石,抓斗机成槽搅动过大,导致导墙周边地面局部沉降,局部下沉约 7.50cm,见图 7。



图 7 19 号槽段 5m 入岩岩样

4 综合应对措施

4.1 增长渗径,前移上游拉森钢板桩围堰

公司以防渗墙成墙质量控制为重点,图纸会审时就提出上游分期围堰改为全段一次围堰,以解决旧闸坝闸室及坝基常年渗漏、水压绕渗导致防渗墙成槽泥浆稀析流失,容易发生塌陷的问题。

a. 分期围堰改为全段一次拦断河道,一期完成上游围堰体填筑,采用原设计双排9m拉森钢板桩断面型式(见图8)。拦截断主河道由左岸至右岸,先利用驳船施打双排拉森钢板桩,后砂包填筑中间部位,同时上游右侧用膜袋砂包压脚。右岸明渠导流口作为合龙孔口,采用土石砂包作为临时围堰,以消除水位壅高溢流,也可以作为溢洪道使用,当基坑枯水期施工过程中,遇5年一遇洪水时,应急拆除进行泄洪;拦断河道时,旧水闸处于关闭状态,消除了钢板桩因水位变化而引起的压力变化,同时保证了引水发电明渠的正常供水,降低了明渠引水口水体搅动对引水水质的影响。右岸明渠土石砂包围堰距离引水发电明渠口250多m,

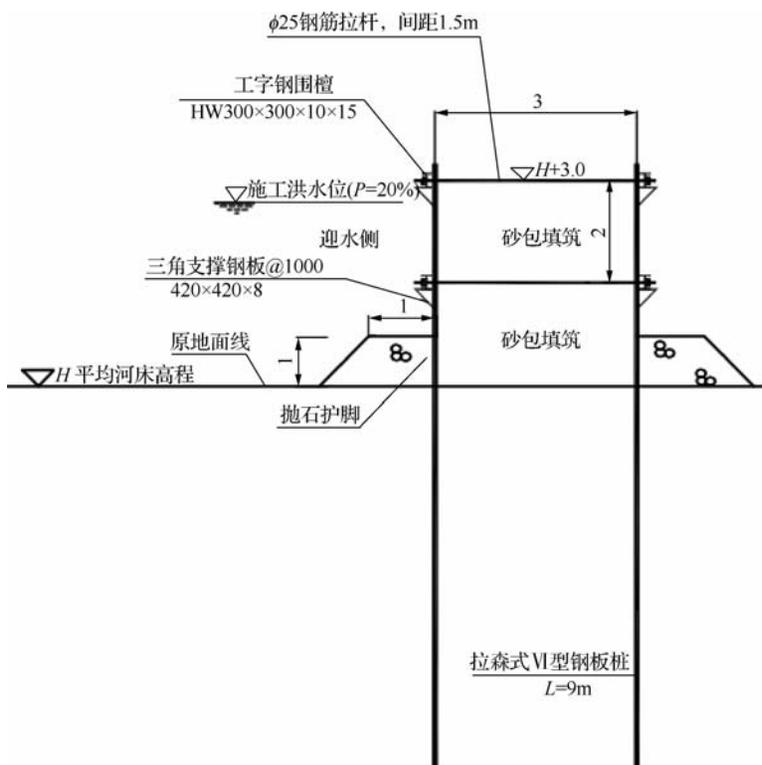


图8 上下游围堰双排9m拉森钢板桩断面型式(尺寸单位:mm)

搅动水体也有了沉淀静置的距离。合龙后,由堰顶便道向堰体下游左侧水体填土石压脚,经旧闸开闸放水降压,再对堰体内侧做修坡作业,以防拉森钢板桩变形渗漏水,见图9。

b. 旧闸坝建于强渗透性天然砂卵石河床地基上,闸室及坝基常年渗漏严重,为了减少渗流影响,增长渗径,降低绕渗压力,上游拉森钢板桩围堰由原设计围堰起点位置(见图4),采用一期双排9m拉森钢板桩及一期土石砂包临时围堰(一次束窄河床截流的形式)整体向上游前移50多m(见图8),渗径距离(上游围堰雍高水位至新建坝体防渗墙的距离)由图4原分期围堰的72m,增长到图8现时方案的122m。

4.2 铺盖前、翼墙基坑边施打拉森钢板桩止水

防渗墙试验槽段成槽发生塌陷后,联合“锐意工匠QC小组”调研相关项目案例并调查试验槽段成槽过程,落实铺盖前、翼墙基坑边施打拉森钢板桩止水的主要措施。

在新建闸坝铺盖前3m,1号、10号边墩及上游左、右岸翼墙基坑外退2m处,施打单排9m止水拉森钢板

桩。以形成纵横向防渗墙成槽段半包围止水结构,从根本上消除旧闸坝强渗透性天然砂卵石河床地基闸室、坝基绕渗的影响。对于钢板桩施打过程中可能遇到的浅层入岩施打困难的局部桩段,采取引孔方式施打,以保证止水的连续性,见图9~图10。

4.3 采用大功率水泵排水,降低渗透压力

在上游基坑围堰边的右岸,原有深2m的日常降水井(5m×5m),自动抽水降水,基坑内水位只下降了1m左右,仍存在较大的渗压力。于是在上游基坑围堰边的左岸,增设一个长20m、宽15m、深4m的降水大水池,采用大功率水泵,利用D800排水钢管辅助降排水。上游基坑理论水位已由原地面的8.02m降至4.02m(防渗墙桩顶

高程 5.45m)。经抽排水,上游基坑基本保持“干水作业”状态,见图 9、图 11。



图 9 上游围堰及防渗措施布置(尺寸单位:m)



图 10 铺盖前、翼墙边施打止水拉森钢板桩



图 11 上游围堰旁大功率水泵降水

4.4 防渗墙成墙其他辅助措施

a. 结合防渗墙砂卵石强渗透地层,局部早入岩的情况,针对地层特性选择不同的成槽机械类型(抓斗机、旋挖桩机、冲孔桩机等),并对作业队伍进行技术安全交底,落实不同标高地层的成槽作业应对策略。

b. 新制膨润土浆液需经 24h 水化溶胀后方能使用;孔内循环泥浆的密度不大于 $1.30\text{g}/\text{cm}^3$,含砂量不大于 10%,黏度不大于 35s;保证泥浆液面在导墙面下 30~50cm 以内(包含清孔阶段),及时注入泥浆,以保证孔内水压,防塌陷。

c. 加强防渗墙成墙混凝土浇筑过程防塌陷措施落实:钢筋笼存放在平整的硬化场地,高度不宜超过三层,均采用木方条隔开有效垫高,并采用专用横担吊具吊运入槽,以防止钢筋笼扭曲变形;采用专用接头管插入槽底约 1.5m,周边填入砂包防止混凝土绕渗影响成墙作业;严控商品混凝土,水灰比不大于 0.65,坍落度在 180~220mm 之间;槽段成墙混凝土浇筑前,砂包隔断浇筑槽段,浇筑过程中,采用泥浆泵及时抽走废弃浆液;使用直升导管法,采用两套导管接管机,导管内径为 250mm,间距约为 2.5m,缩短混凝土浇筑间隔时间,浇筑过程保证导管理入混凝土的深度不小于 1.5m;采用液压拔管机起拔接头管,并做好混凝土浇筑和起拔记录。

5 成果与检测

为了尽快完成闸墩底板和坝体施工,恢复坝体防

洪排涝功能,项目部要求防渗墙施工班组错开槽段,多工作面同时进行成槽成墙作业,争取每天完成三幅以上防渗墙槽段浇筑作业。

2020 年 12 月 5 日,所有防渗墙槽段成墙浇筑作业顺利完工,进入导墙拆除、破桩头、闸室底板等下一道施工工序,这为工程汛期前完成水下作业争取了工期,为闸坝重建工程早日完工、争取更大的工程及社会效益创造了条件。

2020 年 12 月 7—8 日,由业主委托的第三方检测公司对防渗墙的桩身完整性、桩长进行了桩(墙)身钻芯法检测,检测报告显示 19 号、21 号防渗墙的桩身完整性均为 II 类,桩长 19 号为 15.14m(设计 15.10m)、21 号 7.04m(设计 7.00m),抽芯均未钻穿桩底,均达到了设计要求。芯样图片见图 12~图 13。



图 12 19 号桩芯样



图 13 21 号桩芯样

19号、21号防渗墙孔渗透系数(注水)检测报告数值见表1。
显示,所施工的防渗墙渗透系数均满足设计要求,具体

表1 各孔处渗透系数

样品编号 EGS20Y	试验部位 或孔号	试验段次/ cm	钻孔深/ cm	r/cm	H/cm	L/cm	Q/(L/min)	渗透系数K (常水头)/(cm/s)	设计要求/ (cm/s)	备注
0005	19号	0~500	500	6.50	500	500	0.155	9.56×10^{-5}	1×10^{-5}	位于地下水位以上
		500~1000	1000	6.50	640	500	0.187	6.74×10^{-5}	1×10^{-5}	位于地下水位以下
		1000~1510	1510	6.50	640	500	0.203	7.31×10^{-5}	1×10^{-5}	位于地下水位以下
0006	21号	0~400	400	6.50	400	400	0.102	9.39×10^{-5}	1×10^{-5}	位于地下水位以上
		400~700	700	6.50	640	300	0.172	9.11×10^{-5}	1×10^{-5}	位于地下水位以下

30幅C30W6防渗墙由第三方检测公司进行混凝土抗压、抗渗强度检测。2021年1月2日,取回的标准养护试块抗压强度检测报告显示,30组试件抗压强度代表值最低为33MPa,最高为40.7MPa,平均值为35.14MPa;取回的同条件养护试块抗压强度检测报告显示,30组试件抗压强度代表值最低为33.3MPa,最高为43.6MPa,平均值为38.10MPa;防渗墙混凝土达到C30强度等级要求;取回的抗渗性能检测报告显示,30组混凝土抗渗试件的测试结果均为0.6,达到W6抗渗等级要求。

6 结 语

正果拦河坝重建工程防渗墙在砂卵石强渗透地层成槽成墙过程中,出现了塌陷返工,影响了成墙进度,通过采取施打拉森钢板桩止水、增设大功率水泵降排水以降低渗透压力的有效措施,使得后续防渗墙施工再无塌陷返工的问题,防渗墙施工质量通过第三方检测,抗渗、抗压均达到设计等级要求,工期上取得了提前5天进入闸墩底板、闸墩坝体施工的理想效果。本工程所采取的防渗墙成墙施工措施,值得今后在同类工程项目中参考、推广和应用。◆

参考文献

- [1] 水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范:SL 174—2014[S].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [2] 符国平,杨玉华,蔡群文.团洲泵站提高塑性混凝土防渗墙施工合格率的研究与实践[J].水利建设与管理,2021,41(10):81-84.
- [3] 徐同良,梁伟.大直径超深桩基泥浆净化装置清孔施工技术[J].水利建设与管理,2020,40(6):48-53.
- [4] 吴涛,赵剑涛.老虎口水库砂砾石地层防渗墙快速施工工艺[C]//四川省水力发电工程学会.四川省水力发电工程学会2018年学术交流会暨“川云桂湘粤青”六省(区)施工技术交流会论文集.成都:四川省水力发电工程学会,2018:197-200.
- [5] 李昭华,朱秀荣,吴倩良.混凝土防渗墙质量检测方法分析[J].中国水运,2018(11):50-51.
- [6] 张伟.浅论防渗墙钢结构导梁和入岩深度判别新工艺的应用[J].水能经济,2017(2):206.
- [7] 陆慧飞.混凝土防渗墙在水库除险加固中的应用[J].中国科技信息,2013(2):57-58.
- [8] 庄军.山田水库液压抓斗造塑性混凝土防渗墙施工技术探讨[J].水利建设与管理,2008,28(3):60.
- [9] 李海民.混凝土防渗墙施工质量检查相关问题的探讨[J].河北水利,2007(2):40-41.
- [10] 李成柱,周志芳.堤防垂直防渗墙应用条件和防渗效果研究[J].勘察科学技术,2006(3):15-17.

基于遗传算法的城市水环境治理 绿色施工优化

李新¹ 薛振宇² 黄健³

- (1. 江苏建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221116;
(2. 徐州市水利工程建设管理中心, 江苏 徐州 221000;
(3. 徐州市水利工程建设有限公司, 江苏 徐州 221006)

【摘要】 本文以城市水环境治理绿色施工为目标,开展基于遗传算法的多目标优化研究,在明确绿色施工管理目标的基础上,构建以质量、进度、费用、环保为控制因素的绿色施工多目标优化模型。本文分析了采用遗传算法对绿色施工进行优化求解的思路,以及进行优化计算所需的参数及取值。工程应用表明,采用遗传算法对典型水环境治理项目绿色施工进行优化后,在满足绿色施工要求及工程质量的前提下,项目工期及费用都达到了相对较优的水平。

【关键词】 遗传算法;水环境治理;绿色施工;多目标优化

中图分类号: TV-9

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)03-038-06

Green construction optimization of urban water environment governance based on genetic algorithm

LI Xin¹, XUE Zhenning², HUANG Jian³

- (1. *Jiangsu Vocational Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221116, China;*
2. *Xuzhou Water Conservancy Construction Management Center, Xuzhou 221000, China;*
3. *Xuzhou Hydraulic Engineering Construction Co., Ltd., Xuzhou 221006, China*)

Abstract: Green construction of urban water environment governance is adopted as the goal in the paper. The multi-objective optimization research based on genetic algorithm is implemented. A multi-objective optimization model of green construction with quality, schedule, cost and environmental protection as the control factors is constructed on the basis of making clear green construction management objectives. The idea of adopting genetic algorithm to optimize green construction, the parameters and values for optimization calculation are analyzed in the paper. The engineering application shows that the project duration and cost reach relatively better level under the premise of meeting the requirements of green construction and engineering quality after green construction of typical water environment control projects is optimized by using genetic algorithm.

Keywords: genetic algorithm; water environment governance; green construction; multi-objective optimization

收稿日期: 2021-07-27

基金项目: 江苏省住房和城乡建设厅 2019 年省建设系统科技项目(2019ZD084);江苏建筑职业技术学院 2020 年校级科研项目(JYJBZX20-07)

作者简介: 李新(1983—),男,博士,高级工程师,主要从事工程项目管理、水工结构、水利工程组织及优化方面的研究。

绿色施工是可持续发展思想在绿色理念中的一种体现^[1],早在20世纪30年代,巴克敏斯特·富勒就首先提出“少费而多用”思想^[2],即通过合理设计与利用,实现资源效用的最大化。据统计,建筑活动使用了人类使用自然资源总量的40%,能源总量的40%,而造成的建筑垃圾也占人类产生垃圾总量的40%^[3]。在可持续发展的大背景下,绿色施工必然会成为工程行业的发展方向。

在绿色施工优化方面,王宇静等^[4]建立了绿色施工多目标均衡优化模型,并采用先进仿生算法——微粒群算法(PSO)对模型进行求解;刘玲等^[5]通过采用多属性效用函数理论对绿色建筑的工期、成本和费用进行分析,建立了多目标的综合优化模型;朱慧娟^[6]将改进的粒子群算法运用到一个具体实例,求出了进度、成本、质量和环保的最优状态。

随着我国城镇化进程的加快和经济的飞速发展,中小河流开始出现水环境污染、水质恶化等问题。为满足人们日益增长的环境需求,打造生态宜居城市,绿色理念也相应地引入到中小河流水环境治理中,但基于该理念的绿色施工研究还比较少,对绿色施工的智能优化也不够完善。

1 绿色施工多目标管理

所谓绿色施工多目标管理,即是通过开展绿色施工优化研究,将先进的决策模型引入现代建造技术,以便优化施工安排及资源投入,保证施工进度,为工程建设提供更加科学合理的解决方案。在常规的费用、质量、工期的基础上加入绿色施工指标,将环保因素纳入施工主要控制目标中,并与费用、质量、工期等构成多目标控制系统。在均衡项目的进度、费用、质量和环保这四个目标之间关系的同时,确定最优目标,为企业决策提供依据。绿色施工与常规施工管理目标的对比见图1。

2 绿色施工多目标优化模型

在绿色施工管理中,质量、工期、费用、环保四个方面存在一定的内在联系,可以表示为线型关系^[7-9]。由于水环境治理项目涉及的因素较多,采用线型关系存

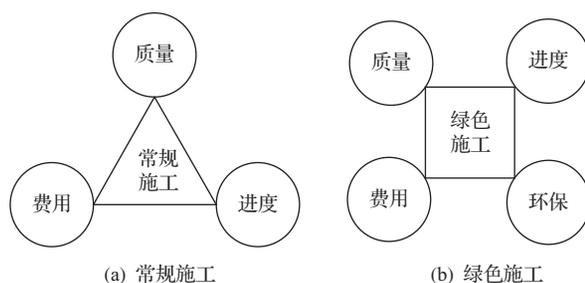


图1 管理目标对比

在一定的不足,本文结合工程特点,构建项目工期、质量、绿色施工水平与费用的二次函数关系。

2.1 工期和费用的关系

工程建设项目的费用,一般由直接费和间接费组成。直接费包括人工费、材料费、机械台班费、措施费等。间接费指无法直接计入工程成本,但为进行工程施工所发生的费用,包括管理员工资、资产使用费、保险费等。在水环境治理项目中,要压缩工期则必须有更多的人员、机械、设备等的投入,从而导致直接费的增加;反之,相应的资源投入减少,则会导致工期的延长以及费用的减少;间接费一般随工期的增加而增长。对于一个特定的项目,费用一般随着工期的延长先下降后上升^[10]。综合考虑直接费与间接费之后,可以得到工期与费用之间的函数关系:

$$C^{(i)} = (C_{\min}^{(i)} + a^{(i)} (T_{\max}^{(i)} - T^{(i)})^2) + bT^{(i)} \quad (1)$$

式中: $C^{(i)}$ 为第 i 项工序的费用,万元; $C_{\min}^{(i)}$ 为第 i 项工序的最小费用,万元; $T^{(i)}$ 为第 i 项工序的持续时间,天; $T_{\max}^{(i)}$ 为第 i 项工序的最长持续时间,天; $a^{(i)}$ 为第 i 项工序的成本变化率; b 为每日间接费,万元。

成本变化率 $a^{(i)}$ 可由下式计算得到

$$a^{(i)} = \frac{C_{\max}^{(i)} - C_{\min}^{(i)}}{(T_{\max}^{(i)} - T_{\min}^{(i)})^2} \quad (2)$$

式中: $C_{\max}^{(i)}$ 为第 i 项工序的最大费用,万元; $T_{\min}^{(i)}$ 为第 i 项工序的最短持续时间,天。

2.2 质量和工期的关系

在水环境治理中,为保持正常的质量水平,必须维持一定的时间投入,当投入的时间增加时,质量会有一定幅度的提升,但当质量水平达到一定程度后,工期增加对质量提高的影响便越来越弱,质量与工期的关系

可表达为

$$Q^{(i)} = \frac{Q_{\min}^{(i)} - Q_{\max}^{(i)}}{(T_{\max}^{(i)} - T_{\min}^{(i)})^2} (T^{(i)} - T_{\max}^{(i)})^2 + Q_{\max}^{(i)} \quad (3)$$

式中： $Q^{(i)}$ 为第 i 项工序的正常质量水平； $Q_{\max}^{(i)}$ 为第 i 项工序所能达到的最低质量水平； $Q_{\min}^{(i)}$ 为第 i 项工序所能达到的最高质量水平。

2.3 绿色施工水平和工期的关系

由于绿色施工是一个动态的过程,需要对环保、节能等进行持续投入,还需要对既有施工造成的非绿色因素进行治理,均需有一定的时间投入,绿色施工水平会随着投入时间的增加而提高;反之,压缩工期则会导致绿色施工技术不能得到有效应用,甚至会以牺牲环境为代价进行赶工。绿色施工水平与费用的函数关系可以表示为

$$E^{(i)} = \frac{E_{\min}^{(i)} - E_{\max}^{(i)}}{(T_{\max}^{(i)} - T_{\min}^{(i)})^2} (T^{(i)} - T_{\max}^{(i)})^2 + E_{\max}^{(i)} \quad (4)$$

式中： $E^{(i)}$ 为第 i 项工序的绿色施工水平； $E_{\max}^{(i)}$ 为第 i 项工序的最高绿色施工水平； $E_{\min}^{(i)}$ 为第 i 项工序的最低绿色施工水平。

3 优化模型的建立

3.1 多属性效用函数关系

为了对绿色施工进行优化,需要对质量 Q 、进度 T 、费用 C 、绿色施工水平 E 四个指标进行统一分析,但由于在优化模型中,四个指标的单位不一致,需要对其进行归一化处理,构建的函数为

$$u = u(T, C, Q, E) \quad (5)$$

若偏好关系 $>, \sim, <$ 满足

$$u = u(T, C, Q, E) \begin{cases} > \\ \sim \\ < \end{cases} u = u(T', C', Q', E') \Leftrightarrow$$

$$u = u(T, C, Q, E) \begin{cases} > \\ \sim \\ < \end{cases} u = u(T', C', Q', E') \quad (6)$$

则将函数 $u = u(T, C, Q, E)$ 称为多属性效用函数。由多属性效用函数分解定理,可得

$$u(T, C, Q, E) = k_T u(T) + k_C u(C) + k_Q u(Q) + k_E u(E) \quad (7)$$

$$k_T, k_C, k_Q, k_E \geq 0 \quad (8)$$

$$k_T + k_C + k_Q + k_E = 1 \quad (9)$$

式中： $u(T)$ 、 $u(C)$ 、 $u(Q)$ 、 $u(E)$ 分别为工期 T 、费用 C 、质量 Q 、绿色施工水平 E 的单变量效用函数； k_T 、 k_C 、 k_Q 、 k_E 分别为各单变量效用函数的权重,各权重的取值一般由专家根据经验及偏好打分确定。

3.2 约束条件

约束条件是多目标优化模型的主要构成因素之一,多属性效用函数的约束条件由各单项工作在网络计划中的逻辑关系,即工期、质量、绿色施工水平、费用相互关系,以及各变量的域值确定。可得工期、费用、质量、绿色施工水平等四个指标的效用函数分别为

$$u(T) = a + b(T - T_{\min})^2 \quad (10)$$

$$u(C) = c + d(C - C_{\min})^2 \quad (11)$$

$$u(Q) = e + f(Q - Q_{\min})^2 \quad (12)$$

$$u(E) = g + h(E - E_{\min})^2 \quad (13)$$

式中： a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 、 h 可由工期 T 、费用 C 、质量 Q 、绿色施工水平 E 的上下限求得。

3.3 绿色施工多目标优化模型

考虑各指标的权重系数 k_T 、 k_C 、 k_Q 、 k_E , 将工期、质量、绿色施工水平、费用四个指标分别对应的效用模型,代入多属性效用模型中,可得水环境治理项目优化模型的目标函数为

$$f = \max u(T, C, Q, E)$$

$$= \max [k_T u(T) + k_C u(C) + k_Q u(Q) + k_E u(E)]$$

$$= \max [k_T (a + b(T - T_{\min})^2) + k_C (c + d(C - C_{\min})^2) + k_Q (e + f(Q - Q_{\min})^2) + k_E (g + h(E - E_{\min})^2)] \quad (14)$$

s. t.

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\max} \quad (15)$$

$$C_{\min} \leq C \leq C_{\max} \quad (16)$$

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max} \quad (17)$$

$$E_{\min} \leq E \leq E_{\max} \quad (18)$$

4 绿色施工优化求解

遗传算法^[11-12] (Genetic Algorithm, GA) 是一种借鉴基因遗传机理来模拟群体自然进化过程的随机搜索最

优解的进化算法。遗传算法已被人们广泛应用于组合优化、机器学习、信号处理、自适应控制等领域。

遗传算法的基本原理是用某种编码表示问题的潜在解集,并产生初始种群,种群中的个数代表染色体的数量,通过不断淘汰劣质染色体,逐步使种群进化到包含近似最优解的状态^[13]。

4.1 基本思路

在遗传算法优化求解的过程中,采用数字编码的方式,输入项目的质量、工期、费用、绿色施工水平等数据,染色体对应的基因位代表工序号,该项工序实际持续时间代表各染色体对应的基因值,初始种群个体的基因值通过随机方式在定义区间内产生。各工序的费用、质量、绿色施工水平可由式(1)、(3)、(4)计算得出。

4.2 适应度及遗传算子

适应度函数用来表征种群中每个个体对其生存环境的适应能力,直接决定着群体的进化行为。在遗传算法中适应度值规定为非负,并且在任何情况下总是希望越大越好^[14]。遗传算子包括交叉和变异, p_c 为交

叉概率, p_m 为变异概率,交叉概率介于 0.6 ~ 1.0 之间,变异概率介于 0.001 ~ 0.1 之间。变异过程可以看作是在项目持续时间内重新产生的一个随机值,适应度函数由目标函数 $u(T, C, Q, E)$ 的最大值确定。

5 工程案例及应用分析

5.1 工程概况

徐州市奎河水环境综合整治工程,包括生态化改造现有老驳岸、河道清淤、绿化景观提升、调蓄池、沿河截污管网等项目,其中调蓄池为制约本项目的关键工程,因此选择调蓄池开展绿色施工多目标优化。调蓄池南北方向长 79.4m,东西方向宽 66.4m,基坑深 7.7m (局部深 9.5m),包括支护、开挖、抗浮锚杆、底板、内部结构等工序。

5.2 绿色施工参数

对调蓄池施工工序进行分析,可得调蓄池施工进度网络,见图 2。各工序内容见表 1。项目的关键路径为:A→B→C→D→F→H→J→K→N→O。

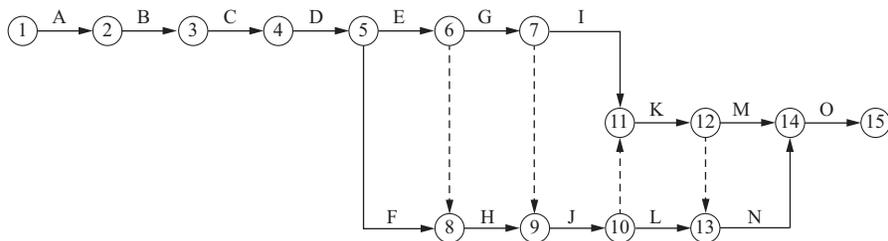


图 2 施工进度网络

表 1 各工序代号内容

代号	A	B	C	D	E	F	G	H
内容	支护	土方开挖	抗浮锚杆	底板 1	底板 2	池板及隔墙 1	底板 3	池壁及隔墙 2
代号	I	J	K	L	M	N	O	
内容	底板 4	池壁及隔墙 3	池壁及隔墙 4	调蓄池柱 1	后浇带	调蓄池柱 2	池梁板	

邀请专家对各工序的施工参数进行评估,在分析项目资源投入、工程措施、材料使用等情况的基础上,采用层次分析法,同时结合相关规范标准以及专家个人经验,得到关于工期、费用、质量、绿色施工水平的相关参数,见表 2 ~ 表 3。根据表 2 和表 3 中的数据,结合工期分析,可得 $T_{max} = 381$ 天, $T_{min} = 326$ 天, $C_{max} = 3076$ 万元, $C_{min} = 2650$ 万元, $Q_{max} = 100$ 分, $Q_{min} = 87.6$

分, $E_{max} = 100$ 分, $E_{min} = 86.4$ 分。

表 2 各工序工期、费用参数

序号	工序	最小工期/ 天	最大工期/ 天	最小费用/ 万元	最大费用/ 万元
1	A	29	34	489	539
2	B	15	18	241	281
3	C	19	23	163	189

续表

序号	工序	最小工期/ 天	最大工期/ 天	最小费用/ 万元	最大费用/ 万元
4	D	28	34	181	219
5	E	17	23	63	77
6	F	56	63	248	292
7	G	17	23	63	77
8	H	38	44	181	219
9	I	17	23	53	67
10	J	38	44	181	219
11	K	37	41	129	151
12	L	32	36	85	99
13	M	18	22	40	52
14	N	28	36	44	56
15	O	38	44	200	228

5.3 绿色施工优化及分析

基于前述分析,将交叉概率 p_c 设定为0.8,变异概率 p_m 设定为0.05,遗传种群初始规模设为500,终止遗传运算的迭代次数设定为500,采用遗传算法计算,迭代结果见图3。由图3可知,在迭代次数达到80次左右时,计算结果开始收敛,最佳适应度与平均适应度趋

于一致,此时的解为最优解,计算结果为 $(T, C, Q, E) = (347, 2830, 90.77, 88.56)$, $u(T, C, Q, E) = 0.9533$ 。从优化结果可以看出,在满足工程质量、绿色施工要求的前提下,工程费用控制在了一个合理水平,工期控制在了一个较低值,项目综合效应达到了较高水平。

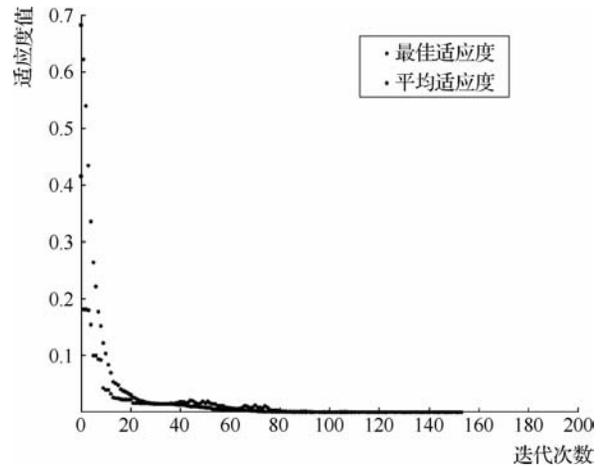


图3 计算迭代结果

优化结果表明,对于城市水环境治理项目,采用遗传算法可为项目决策提供有效依据,在满足绿色施工目标的前提下,实现工程效益的优化。

表3 各工序质量得分及绿色施工水平

序号	工序	最高质量水平/分	最低质量水平/分	质量权重	最高绿色施工水平/分	最低绿色施工水平/分	绿色水平权重
1	A	100	85	0.1583	100	82	0.0265
2	B	100	90	0.0651	100	86	0.1583
3	C	100	88	0.0265	100	83	0.0651
4	D	100	91	0.019	100	86	0.0371
5	E	100	92	0.019	100	89	0.0371
6	F	100	93	0.019	100	88	0.0371
7	G	100	90	0.019	100	85	0.0371
8	H	100	88	0.1079	100	84	0.1009
9	I	100	87	0.1079	100	88	0.1009
10	J	100	85	0.1079	100	86	0.1009
11	K	100	88	0.1079	100	85	0.1009
12	L	100	92	0.0448	100	83	0.0206
13	M	100	86	0.0448	100	91	0.0371
14	N	100	89	0.0448	100	90	0.0424
15	O	100	88	0.1081	100	90	0.098
加权值		87.62			86.43		

注 加权结果代表最低质量水平、最低绿色施工水平。

6 结 论

相较于传统项目的控制目标,本文引入绿色施工控制目标,将环保因素纳入绿色施工管理中。由于水环境治理项目涉及的影响因素较多,采用线型关系存在一定的不足,可以采用二次函数构建以质量、进度、费用、环保为控制因素的绿色施工多目标优化模型;为便于统一分析,可以采用多属性效用函数对分析指标进行归一化处理。工程应用表明,采用遗传算法对典型项目绿色施工多目标进行优化后,在满足绿色施工水平及工程质量的前提下,项目工期及费用都达到了相对较优的水平,该方法可以为项目决策提供有效依据。◆

参考文献

- [1] 谭文字. 绿色建筑项目全生命周期管理和评价体系研究[D]. 广州:华南理工大学,2019.
- [2] 吕爱民,倪丽君. 从富勒到福斯特看“少费多用”生态思想的新生[J]. 华中建筑,2010,28(5):24-26.
- [3] 王玉. 工业化预制装配建筑全生命周期碳排放模型[M]. 南京:东南大学出版社,2017.
- [4] 王宇静,李永奎. 工程项目绿色施工管理多目标均衡优化研究[J]. 计算机工程与应用,2010,46(10):7-10.
- [5] 刘玲,魏向辉,李明. 绿色建筑项目管理综合均衡优化研究[J]. 数学的实践与认识,2014,44(19):48-55.
- [6] 朱慧娟. 基于改进粒子群算法的绿色施工项目多目标优化研究[D]. 天津:天津财经大学,2017.
- [7] 张连营,岳岩. 工期-成本-质量的模糊均衡优化及其 Pareto

解[J]. 同济大学学报(自然科学版),2013,41(2):303-308,316.

- [8] AZARON A, TAVAKKOLI R M. Multi-objective time-cost trade-off in dynamic PERT networks using an interactive approach[J]. European journal of operational research, 2007, 180(3):1186-1200.
- [9] TAREGHIAN H R, TAHERI H. An application of randomized minimum cut to the project time/cost tradeoff problem [J]. Applied mathematics and computation, 2006, 173(2):1200-1207.
- [10] 高贺,柴士超. 基于模糊数学理论的工程成本-工期研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2015,37(6):786-794.
- [11] 张连营,栾燕,邹旭青. 工程项目工期-成本-质量均衡优化[J]. 系统工程,2012,30(3):85-91.
- [12] 关昕婷. 不确定环境下工程项目工期-成本-质量均衡优化[D]. 邯郸:河北工程大学,2016.
- [13] 马聪聪. 基于改进遗传算法的地铁施工项目多目标优化[D]. 兰州:兰州交通大学,2020.
- [14] 汪定伟. 智能优化算法[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [15] 袁晓渊,司黎晶,王子凯. 钻孔桩和高压旋喷桩在城市河道深基坑支护中的应用[J]. 水利建设与管理,2020,40(12):48-52.
- [16] 王湘伊. 北疆水库工程施工环境保护措施分析[J]. 水利建设与管理,2014,34(8):68-69.
- [17] 孙丽. 苏州河底泥疏浚工程环境影响因素及监理应对措施[J]. 水利建设与管理,2013,33(11):43-45,14.

(上接第30页)果明显,可有效克服动水压力,扩展高喷工艺适用范围,具有一定的推广意义。◆

参考文献

- [1] 郑伟,曹宝海. 高压旋喷桩作为承载桩技术在水利工程闸基础中的应用[J]. 水利建设与管理,2013,33(10):5-12.
- [2] 吕磊,孟庆亮. 高喷钻灌一体机在砂砾石地层中的应用[J]. 河南水利与南水北调,2016(11):88-89.
- [3] 张建喜. 高喷帷幕灌浆在砾卵石地基防渗中的应用[J]. 山东水利,2017(6):27-28.
- [4] 潘新波. 砂砾石地质条件下围堰单排高压旋喷防渗墙施工技术[J]. 西北水电,2020(3):70-72.
- [5] 彭润华. 高喷灌浆在大粒径砂卵石帷幕工程中的应用[J]. 人民长江,2003(4):21-22.
- [6] 杨新武. 深厚砂卵石地层旋喷桩止水帷幕施工技术[J]. 中

外建筑,2020(9):176-178.

- [7] 常正富,杨荣科. 高压喷射灌浆在加固砂砾石地基中的应用与研究[J]. 四川水力发电,2003(3):71-72,75-106.
- [8] 储高潮. 浅谈高喷防渗墙施工质量无损检测[J]. 水利建设与管理,2010,30(2):69-71,86.
- [9] 张齐焰,高莹. 高压旋喷桩防渗技术在卵石混砂土层中的应用[J]. 科技视界,2016(18):196,199.
- [10] 张建红,蒋振荣,傅得伟. 地下暗流复杂地层高压旋喷防渗墙喷灌施工工法[J]. 水利建设与管理,2018,38(12):67-71,80.
- [11] 徐有前. 高压喷射灌浆技术在病险坝防渗加固中应用及施工质量控制措施的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2003.
- [12] 陈怀玉,陈果. 架空动水地层围堰高喷灌浆施工探索[C]//赵纯厚,肖恩尚. 2019 水利水电地基与基础工程新技术. 北京:中国水利水电出版社,2019:295-298.

两河口水电站土工膜快速收放机 研制与应用

刘武超

(中国水利水电第十二工程局有限公司, 浙江 杭州 310000)

【摘要】 两河口水电站大坝心墙土料冬季填筑施工采用“三布两膜”进行土料覆盖保温。为保证心墙施工快速流水作业,利用液压挖掘机的正铲油压系统,实现液压马达的正反旋转,解决旋转速度的调速问题,并研制出了土工膜快速收放机,完成“三布两膜”的快速收放作业,极大地提高了收放效率,有效地避免了人工收放作业的弊端,减少了施工成本,具有较广泛的适用性和经济性。

【关键词】 两河口水电站;三布两膜;挖掘机;土工膜快速收放机

中图分类号: TV53+9

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-044-06

Development and application of geomembrane fast retracting machine in Lianghekou Hydropower Station

LIU Wuchao

(Sinohydro Bureau 12 Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: “Three-cloth two-membrane” is adopted to cover soil and keep warm for winter filling construction of dam core walls in Lianghe Hydropower Station. The face shovel hydraulic system of the hydraulic excavator is utilized in order to ensure the fast flow operation of core wall construction, thereby realizing positive and negative rotation of the hydraulic motor, solving the problem of regulating the rotation speed. The fast-retracting machine of the geomembrane is developed, thereby completing the fast-retracting operation of “three-cloth two-membrane”, greatly improving the reacting efficiency, effectively avoiding the disadvantages of artificial retracting operations, and reducing the construction cost. It has wide applicability and economical efficiency.

Keywords: Lianghekou Hydropower Station; three-cloth two-membrane; excavator; geomembrane fast retracting machine

两河口水电站大坝的填筑主要参照心墙土料的填筑速度而定,由于土料在气温出现负温度时,会出现冻土情况,因此施工规范规定,当大气温度低于0℃时,应停止心墙土料施工并采取有效的覆盖保温措施,保温后可防止仓面已填筑的心墙土料出现冻土现象。故

负温时段将直接影响到大坝心墙土料填筑工期,影响大坝填筑的整体工期。目前已经修建的或在建的土石坝工程在冬季低温时段一般采用“干土覆盖”或“季节性停工”两种施工方法,待气温回升后,再开始施工。但采用这两种方法的施工质量不易得到控制,同时会

收稿日期: 2021-03-24

作者简介: 刘武超(1989—),男,硕士,工程师,主要从事水利水电工程施工管理工作。

一定程度上造成施工成本增加、施工设备闲置、填筑强度大幅降低,影响工期。

两河口水电站及双江口水电站均处于高海拔、高寒地区,冬季气温比较低,修建 300m 级砾石土料心墙坝的施工质量和进度也将会受到影响。同时,在出现负温期间,会导致大量资源闲置,经济损失十分巨大。为解决常规施工方法存在的问题,项目部结合现场实际的施工情况研制了一种可满足工程实际需要的“三布两膜”保温材料。但土工膜生产厂家未研究相应的收放机械装备,目前只能人工进行土工膜收放施工,需要投入大量的施工人员和机械设备,导致填筑强度和资源投入不匹配。

1 概述

两河口水电站工程地处青藏高原东侧边缘地带,属川西高原气候区,最低气温为 -15.9°C ,每年最低温度主要集中在当年 12 月至次年 1 月,每天 23:00 至次日 11:00 为负温时段。该工程冬季施工时段长达 5 个多月,冬季昼夜温差较大,低温时段局部土体会受冻而含冰晶,中午升温后冰晶受热一般会消融,土体则经受冻融过程。两河口水电站为砾石土直心墙堆石坝,坝高 295m,砾石土设计填筑量 441.14万 m^3 ,接触黏土 17.96万 m^3 ,冬季施工填筑方量达到 128万 m^3 ,占心墙填筑土料的 28%。

两河口水电站大坝心墙土料冬季填筑施工采用“三布两膜”保温材料进行土料覆盖保温,施工时段随现场的气温而定,温度高于 0°C 时恢复施工,低于 0°C 时停止施工。目前心墙填筑面积约 7500m^2 ,采用常规的铲车配合人工收放土工膜,每平方米土工膜质量约为 1kg 左右,每块土工膜被裁剪的尺寸为 $20 \text{m} \times 6 \text{m}$ 。收揭土工膜时需 25 个人和 2 台装载机配合,3h 完成土工膜收揭工作。铺设土工膜时需 30 个人和 1 台装载机,铺设土工膜的时间为 3.6h。但每天有限的土料施工时间为 10h 左右,故为了能最大化地利用正温下土料的施工时间,实际施工时存在收揭土工膜时间提前及铺设土工膜时间推后的情况,导致外界气温在低于 0°C 时,土料未覆盖,土料保温未受到保障。同时采用铲车配

合搬运对土工膜的破坏较大,导致重复利用率较低,并且每块土工膜尺寸较小,整体的保温效果较低,需要消耗大量人工,劳动强度大、时间长、费用高,极易浪费每天有限的正温施工时段,无法满足快速流水作业要求。

为了解决上述土工膜快速收放问题,项目部使用了自主研发的“土工膜快速收放机”。

2 结构设计

项目部利用液压挖掘机的正铲油压系统,设计制造了土工膜快速收放机的固定支撑平台和支撑系统,布置了液压旋转动力系统,可在液压挖掘机驾驶室原正铲操作平台控制收放机的旋转方向和旋转速度。

2.1 研制思路

a. 根据土工膜的宽度、长度,提出土工膜收放机固定支撑平台的具体结构型式、长度、宽度和高度等参数,及该平台和液压挖掘机的连接方式。

b. 依据设想的土工膜收放机的工作方式和原理,选择液压马达的型号和布置位置,以及轴的结构型式和液压马达连接方式。

c. 选择液压马达和正铲的油系统连接的方式,由正铲的油系统为土工膜收放机提供动力来源。

2.2 研制过程

两河口水电站采用“三布两膜”保温材料进行土料覆盖保温,土工膜尺寸为 $6 \text{m} \times 100 \text{m}$,重量约为 $600 \text{kg}/\text{卷}$,由于其宽度较大,所设计的固定支撑平台必须具有足够的刚度和稳定性,综合分析决定采用工字钢制作该平台。平台的结构型式确定完成后,需要设计平台的总体宽度、长度和离地面高度等参数。根据填筑面实际情况以及支撑行走轮的尺寸,选择该平台离地面高度为 0.4m;根据土工膜的尺寸、液压马达的布置,选择该平台的长度为 7.2m,宽度为 1m,见图 1;根据每卷土工膜的直径,选择液压马达支撑座及轴支撑座的高度为 0.65m,即可保证土工膜收放机的强度和稳定性,平台与液压挖掘机的连接方式和正铲与液压挖掘机的连接方式相同,同时需保证该平台上的所有部件在液压挖掘机的最大回转半径 2.05m 以外,不

能阻碍挖掘机的正常旋转操作,故平台与液压挖掘机 连接杆的长度根据实际情况而定,见图2。

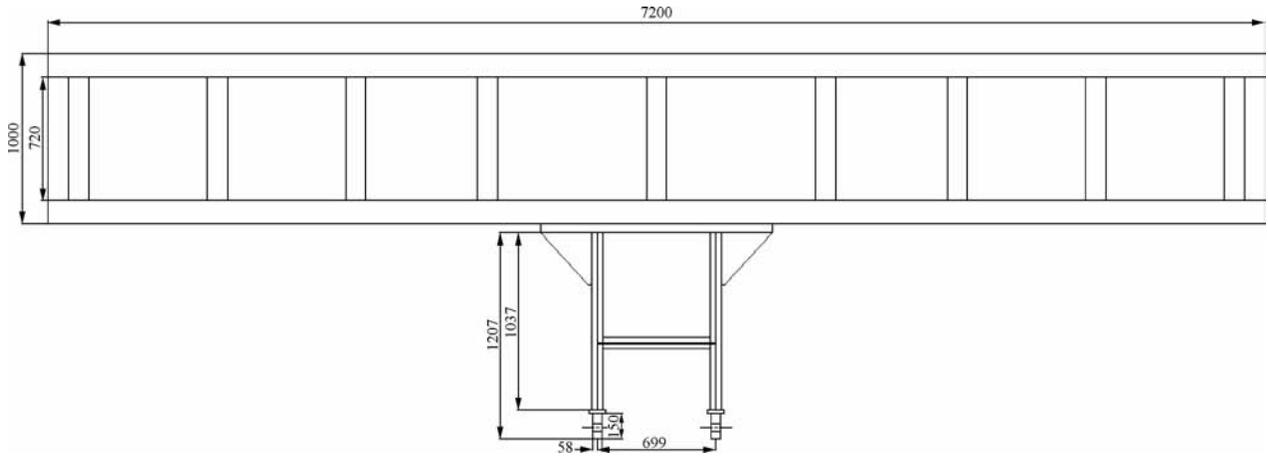


图1 土工膜快速收放机平台设计(单位:mm)

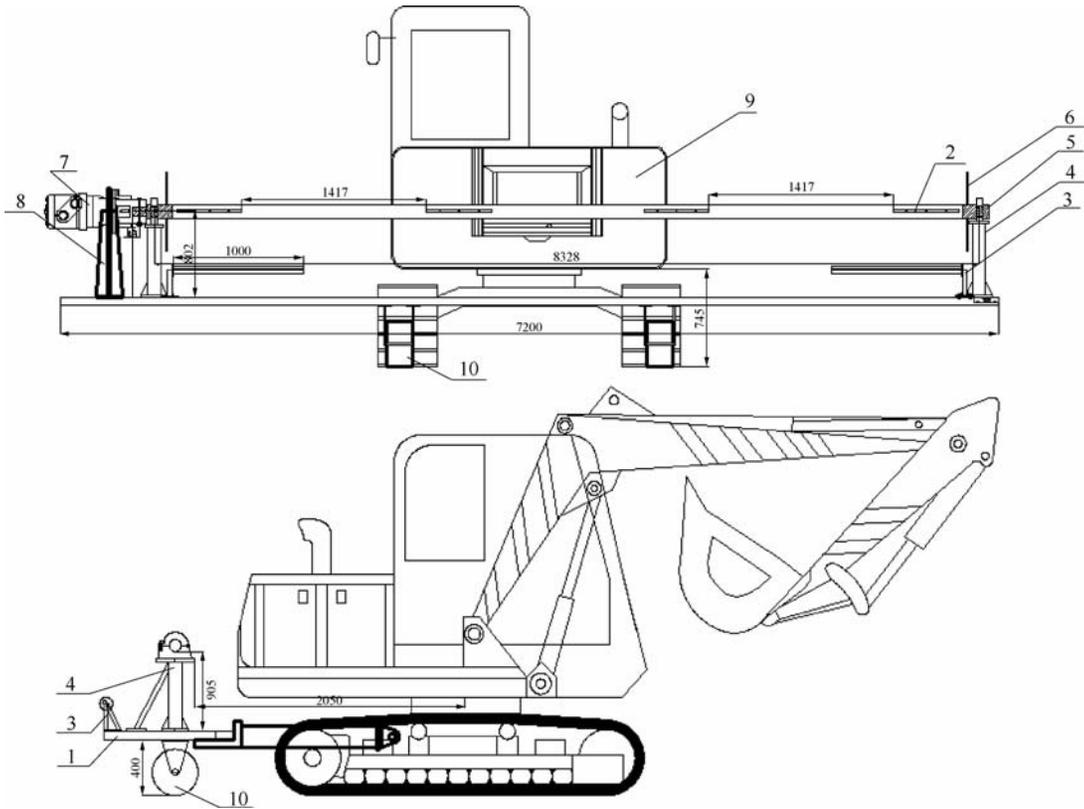


图2 土工膜快速收放机设计(单位:mm)

1—平台;2—弧形压板;3—导向装置;4—轴支撑;5—轴;6—限位装置;7—液压马达;8—液压马达支撑座;
9—液压挖掘机;10—行走轮胎;11—联轴器

研制土工膜快速收放机要解决的核心问题是正铲的油系统能否实现液压马达的正反旋转以及旋转速度的调节。

如图3所示,轴的直径为108mm,中间部位为空心轴,两侧0.3m的位置为实心轴,轴与液压马达采用自

制的联轴器进行连接,轴的长度为6.7m,液压马达固定在支撑座上,轴放置在轴支撑座上,轴与轴支撑座、轴与联轴器的连接方式均采用活连接,方便轴的拆卸,土工膜快速收放机的重点是一卷土工膜与一根轴的配合使用。

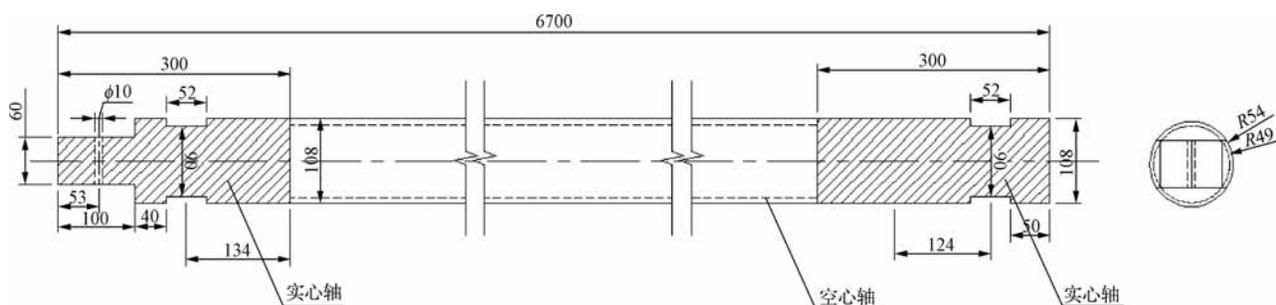


图3 土工膜快速收放机轴设计(单位:mm)

液压马达依据土工膜的重量及旋转速度进行选择,将液压马达与正铲的油路采用油管连接,并在此油管上设置限流阀门,调整最大旋转速度,同时将两根油管在液压马达上的安装位置分别做好标记,保证每次操作时液压马达的旋转方向是一致的。

如图2所示,在轴上布置3块长度为500mm、宽度为20mm的弧形压板,并采用螺栓固定;在轴的两侧设置两个定位板,定位板的直径为600mm,采用螺栓固定在轴上,定位板的间距为6.2m;同时在固定支撑平台上布置导向装置,设置该装置的主要目的是除去土工膜膜面上黏结的土和石头,且可以拉直褶皱的土工膜,对土工膜起到收放方向的指引作用。

2.3 土工膜收放过程

a. 将土工膜的一端按弧形压板的间距进行裁剪,利用弧形压板将土工膜固定在轴上,然后将土工膜卷在轴上。

b. 在冬季心墙砾石土填筑施工过程中,当外界气温低于 0°C 时,利用液压挖掘机的反铲配合使用钢丝绳将成卷的土工膜吊在土工膜快速收放机上,吊装过程中,注意保护土工膜防止受到机械损害。

c. 司机在驾驶室操作原正铲的手柄,开始铺设土工膜,铺设过程中液压挖掘机的行走速度与释放土工膜的旋转速度相匹配,铺设过程需一人进行指挥配合。该卷土工膜铺设完成后,利用液压挖掘机的反铲配合使用钢丝绳将释放完成的轴吊下来,再吊一卷成卷的土工膜放在土工膜快速收放机上,重复上述操作,铺设过程中保证土工膜互相搭接宽度为300mm。

d. 当外界气温高于 0°C 时,利用液压挖掘机的反

铲配合使用钢丝绳将轴吊在土工膜快速收放机上,在吊装过程,注意避免轴受到机械损害。

e. 司机在驾驶室操作原正铲的手柄,开始收揭土工膜,收揭过程中液压挖掘机的行走速度与收放土工膜的旋转速度相匹配,同时需要增加力度,使土工膜的褶皱部位经过导向装置后自动压平,利于收卷,收揭过程需一人进行指挥配合。该卷土工膜收揭完成后,利用液压挖掘机的反铲配合使用钢丝绳将收揭完成的土工膜吊下来,再吊一根轴放在土工膜快速收放机上,重复上述操作(见图4)。



图4 土工膜快速收放机工作过程

f. 冬季心墙砾石土填筑施工完成后,拆除依托在液压挖掘机上的土工膜快速收放机,恢复液压挖掘机的正铲部位,液压挖掘机即可投入到其他施工工作中去。

土工膜快速收放机由液压挖掘机改装而成,利用液压挖掘机正铲的油系统,实现液压马达的正反转以及旋转速度的调节,进行长宽规格为 $6\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的“三布两膜”保温材料的土工膜快速收放,单机标配人

员2名(驾驶员1人,指挥1人),液压挖掘机可自动化装卸土工膜,单台收放机铺设作业效率达到 $5000\text{m}^2/\text{h}$,收揭作业效率达到 $5900\text{m}^2/\text{h}$,极大地提高了收放效率,有效地避免了人工收放作业的弊端,减少了施工成本。

3 效益分析

3.1 效率分析

a. 两河口水电站大坝2016年冬季心墙土料填筑施工面积约为 7500m^2 ,采用常规的人工收放土工膜方法,收土工膜需要25人以及2台装载机配合,铺设土工膜需要30人以及1台装载机配合。土工膜收放消耗时间的统计数据见表1。

表1 土工膜收放耗时统计(2016年冬季施工数据)

日期	收土工膜时间/min	放土工膜时间/min
11月28日	168	224
12月5日	178	208
12月12日	160	215
12月19日	180	220
12月26日	174	204
1月2日	175	228
1月9日	166	208
1月16日	169	217
1月23日	170	219
1月30日	174	204
2月7日	173	206
2月14日	174	230
平均	171	214

结论:采用人工收放土工膜的方法,每次收揭土工

膜平均耗时171min,平均每小时收揭土工膜面积为 $7500/(171/60) = 2632\text{m}^2$,每次铺设土工膜平均耗时214min,平均每小时铺设土工膜面积为 $7500/(214/60) = 2101\text{m}^2$ 。

b. 土工膜快速收放机在现场使用时需配备一名驾驶员和一名指挥人员。在单卷土工膜($6\text{m} \times 100\text{m}$)进行收放时,对用时进行了统计,数据见表2。

结论:使用土工膜快速收放机单次收揭平均用时5min26s,单次铺放平均用时6min27s。使用土工膜快速收放机时,单台平均每小时铺放土工膜面积为 $540 \times (60/(6 + 27/60)) = 5023\text{m}^2$,单台平均每小时收揭土工膜面积为 $540 \times (60/(5 + 26/60)) = 5945\text{m}^2$ 。

表2 土工膜收放机使用收放时间统计(2016年冬季施工数据)

统计时间	铺放平均用时	揭收平均用时	共计
12月6日	6min35s	5min36s	12min11s
12月7日	6min44s	5min24s	12min8s
12月8日	6min35s	5min56s	12min31s
12月9日	5min55s	4min48s	10min43s
12月10日	5min54s	5min55s	11min49s
12月11日	6min42s	4min56s	11min38s
12月12日	6min45s	5min27s	12min12s
平均用时	6min27s	5min26s	11min54s

3.2 经济效益分析

将使用土工膜快速收放机与采用人工覆盖土工膜的费用进行分析对比,统计结果见表3。

表3 两种方案费用对比

方案选择	机械费用	人工费用	共计费用/元
人工收放	收揭:装载机两台,则装载机费用为 $(171/60) \times 2 \times 150 = 855$ 元	收揭: $25 \text{人} \times (171/60) \text{h}/8 = 8.9$ 工日,人工费用为 $8.9 \times 200 = 1780$ 元	2635.00
	铺放:装载机一台,费用为 $(214/60) \times 150 = 535$ 元	铺放: $30 \text{人} \times (214/60) \text{h}/8 = 13.375$ 工日,人工费用为 $13.375 \times 200 = 2675$ 元	3210.00
土工膜快速收放机	收揭:挖掘机一台,费用为 $130 \times (7500/5945) = 227.08$ 元	收揭: $1 \text{人} \times (7500/5945) \text{h}/8 = 0.158$,人工费用为 $0.158 \times 200 = 31.6$ 元	258.68
	铺放:挖掘机一台,费用为 $130 \times (7500/5023) = 268.76$ 元	铺放: $1 \text{人} \times (7500/5023) \text{h}/8 = 0.187$,人工费用为 $0.187 \times 200 = 37.4$ 元	306.16

通过计算可知,采用常规的人工收放土工膜,每天机械费用和人工费用总计为 5845 元,每月施工成本为 5845 元 \times 30 天=175350 元,每年冬季按三个月计算,则每年冬季施工成本为 52.61 万元。采用土工膜快速收放机进行施工,每天机械费用和人工费用总计为 258.68+306.16=564.84 元,每月施工成本为 564.84 元 \times 30 天=16945.2 元,每年冬季施工成本为 5.08 万元,土工膜快速收放机设计制作费用总计约 15 万元。

3.3 对比分析

2017—2022 年冬季时心墙的面积为 90280m²,以后几年若采用人工加机械进行施工,成本为(90280/7500) \times 52.61=633.28 万元(不考虑人工上涨),采用土工膜快速收放机进行施工的成本为(90280/7500) \times 5.08=61.15 万元。

通过计算得出,采用土工膜快速收放机节约直接施工成本 633.28-61.15-15=557.13 万元,经济效益十分突出。因此,采用土工膜快速收放机进行施工,可以提高土工膜收铺施工效率,大大增加其他施工机械(凸块碾、推土机、自卸车)和施工人员的有效施工时间,减少工程机械和人员的闲置时间,提高工程机械的利用率和人员的工作效率,间接地增加了经济效益。

4 结 语

该台“土工膜快速收放机”在两河口水电站冬季心墙砾石土填筑施工中使用,为两河口水电站 3 个月的冬季心墙砾石土填筑施工争取了更高的填筑高度,保证了大坝心墙的填筑进度,达到了经济、高效、快捷的目的,得到了业主方、设计方和监理方的高度评价,创造了良好的经济效益和社会效益。

目前我国规划与在建的高土石坝工程相对较多,大部分都地处高海拔、高寒冷地区,如四川的双江口水

电站、西藏的米林水电站等工程项目,心墙的土料填筑方量巨大,同时均存在冬季心墙土料填筑施工强度高和质量低的问题,但是若冬季停止心墙土料填筑的施工,加之雨季会对心墙土料的填筑造成影响,一年中可用于心墙土料填筑施工的时段会更少,工程的建设期将会变得很长。采用“土工膜快速收放机”解决了冬季心墙土料填筑施工中土工膜收放的效率问题,保证了冬季心墙土料填筑施工进度及工程质量,降低了施工成本,值得在类似条件的项目中进行推广应用。◆

参考文献

- [1] 吴高见,张喜英.土石坝施工技术的现状与发展趋势[J].水力发电,2018,44(2):1-6,24.
- [2] 碾压式土石坝施工规范:DL/T 5129—2013[S].北京:中国电力出版社,2013.
- [3] 赵彦辉.复合土工膜面板在堆石坝中的应用与施工工艺[J].水利建设与管理,2020,40(2):43-47.
- [4] 赵彦辉,李有希.两河口水电站大坝砾石土心墙雨季施工措施[J].水利建设与管理,2018,38(10):26-29.
- [5] 赵彦辉.两河口水电站冬季土料防控措施研究[J].西北水电,2017(6):94-99.
- [6] 朱长军.碾压式土石坝施工技术与管理[J].水利科学与经济,2013,19(5):90-92.
- [7] 陈刚.冬季碾压土石坝的施工[J].甘肃农业,2013(24):103-104.
- [8] 沈长春.浅谈土工膜铺设过程中的质量控制[J].江西建材,2015(3):117.
- [9] 孙建光,战博.碾压式土石坝施工技术与管理[J].工程技术研究,2018(6):79-80.
- [10] 沈长春.浅谈土工膜铺设过程中的质量控制[J].江西建材,2015(3):117.
- [11] 张泉.液压挖掘机液压系统分析[J].黑龙江科技信息,2015(13):19.

基于 AHP-熵权法赋权的水库降等报废 评估模型研究

韩玉龙 罗国杰 郑婷婷

(华北水利水电大学水利学院,河南 郑州 450046)

【摘要】 随着我国病险水库降等报废工作逐步实施,评估决策的可靠性问题得到广泛关注,而评估指标权重的确定是影响评估决策科学性、合理性的重要一环。为使评估结果更合理准确,本文基于层次分析法和熵权法对评估指标组合赋权,削弱了主观评价的随机性和客观评价的局限性。本文结合工程经济学理论,选择效益成本评估指标,构建效益成本评估指标体系,并构造基于 AHP-熵权法组合赋权的水库降等报废决策评估模型。工程应用表明:评价指标体系与评价模型是科学合理和实用可行的,该模型的计算结果与水库降等报废评估结果相比,一致性也较好,因此该研究可为规范水库报废与降等评估提供理论依据。

【关键词】 病险水库;降等报废;评估决策;组合赋权;评估模型

中图分类号: TV62+1

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)03-050-05

Research on reservoir degradation scrap assessment model based on AHP-entropy weight method empowerment

HAN Yulong, LUO Guojie, ZHENG Tingting

(Water Conservancy College of North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: The reliability problem of assessment decision-making has been widely concerned with the gradual implementation of degradation scrap work of dangerous reservoirs in China, and the determination of the assessment index weight is an important part of the scientific and rational assessment decision-making. The assessment index combination is empowered based on analytic hierarchy process and entropy weight method in the paper in order to make the assessment result more reasonable and accurate. The randomness of subjective evaluation and the limitation of objective evaluation are weakened. The theory of engineering economics is combined in the paper. The benefit-cost assessment indexes are selected to establish the benefit-cost evaluation index system. The assessment model of reservoir degradation scrap decision-making based on AHP-entropy weight method is constructed. The engineering application shows that the evaluation index system and evaluation model are scientific, reasonable, practical and feasible. The calculation results of the model are better consistent with the assessment results of reservoir degradation scrap so that the study can provide theoretical basis for standardizing reservoir scrap and degradation assessment.

Keywords: dangerous reservoir; degradation scrap; assessment decision-making; combination empowerment; assessment model

收稿日期: 2021-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51709115); 河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(182102210066)

作者简介: 韩玉龙(1997—),男,硕士(在读),主要从事水工结构方向的研究。

我国大多数小型水库修建于 20 世纪 50—70 年代^[1],受当时技术、经济及物资等因素制约,运行投入力度不够,加之受自然灾害影响,水库现状淤积严重,效益衰减,已失去其原有功能和作用。这类病险水库不但对下游人民生命财产安全造成威胁,还会造成管理资源的浪费^[2]。

2003 年水利部以第 18 号令发布实施了《水库降等与报废管理办法》(试行),对符合条件的病险水库实行降等报废,这在消除安全隐患、优化工程体系、促进地方发展等方面发挥了积极作用^[3]。

水库降等报废是其生命的里程碑,也是水库工程的一项重要管理措施^[4]。为规范水库报废与降等评估,水利部 2019 年 12 月发布《水库报废与降等评估导则》(SL/T 791—2019)(以下简称《导则》),据《导则》,当水库降等报废无显著关键指标时,可采用综合评估决策方法,综合考虑多因素的作用和影响,通过评估指标体系来影响决策的裁定^[5]。其中评估决策的准确性与评估指标权重的确定相关,因此保证其权重的准确性和合理性是至关重要的^[6]。根据以往探讨,确定权重常用主观或客观赋权法,这一过程又称为对评估指标赋权。2016 年,成荣亮等^[7]基于层次分析法构建了水库降等与报废成本效益评价模型;2017 年,秦鹏飞^[8]基于层次分析法构建了水库报废降等综合效益投入评估模型。因决策者对评估指标的主观偏好度存在差异,为减少客观绝对性产生的误差,使最终赋权结果尽可能主客观统一化,本文使用层次分析法和熵权法分别计算评估指标权值,再经过组合赋权确定最终权值,可使最终赋权的结果更加合理、可信,有利于提高评估决策的准确性和有效性。

1 AHP-熵权法组合赋权

1.1 层次分析法赋权

层次分析法^[9-10](AHP)是把影响评估决策的相关评估指标分解成决策—基准—方案的层次递进关系,并在此层次结构上进行定性元素的定量化分析的一种方法。

基本步骤如下:

步骤 1:构造判断矩阵 $A_{ij} = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

a_{ij} 表示不同指标相对比的重要程度,各指标相互对比,构造判断矩阵,用 1~9 级标度法量化(见表 1)。

表 1 判断矩阵标度含义

量化值 a_{ij}	指标 i 比指标 j	量化值 a_{ij}	指标 i 比指标 j
1	同等重要	3	稍微重要
5	较强重要	7	绝对重要
9	极端重要	2,4,6,8	介于对应重要程度之间
倒数	当指标 i 与 j 的比较为 a_{ij} 时,指标 j 与 i 的比较为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$		

步骤 2:计算各评估指标权重。

求最大特征值 λ_{\max} 的特征向量。

步骤 3:判断矩阵一致性检验。

CR (一致性比率): $CR = \frac{CI}{RI}$, $CR < 0.1$, 判断矩阵

满足要求。 CI (一致性指标): $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; RI 和矩阵阶数 n 的关系见表 2。

表 2 随机一致性指标 RI 取值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	—	—	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

1.2 熵权法赋权

熵权法^[11]按照每个指标的信息量确定权重,可以用信息熵来衡量指标包含的有效信息。基本步骤如下:

步骤 1:评估指标正、负向标准化处理。

正向指标:

$$x_{ij} = \frac{x_{1j} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (1)$$

负向指标:

$$x_{ij} = \frac{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - x_{1j}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (2)$$

步骤 2:计算各指标的信息熵 F_j 。

$$F_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (4)$$

式中: $k = 1/\ln(n) > 0$, 满足 $F_j \geq 0$ 。

步骤3:计算各指标的熵权 W_j 。

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^m D_j}, j = 1, \dots, m \quad (5)$$

式中: $D_j = 1 - F_j; j = 1, \dots, m$ 。

1.3 组合赋权方法

组合赋权^[12]可将由主观赋权法与客观赋权法各自求出的权重再组合赋权,以达到更准确的目的。

组合赋权 W^* 的计算公式如下:

$$W^* = \sum_{u=1}^q \alpha_u W^{(u)} \quad (6)$$

$$\alpha_u = \theta \lambda_u + (1 - \theta) \beta_u, 0 \leq \theta \leq 1 \quad (7)$$

式中: α_u 为第 u 种赋权方法的相对重要度; λ_u 为评估者对第 u 种赋权方法的偏好度; θ 为 λ_u 的重要度; β_u 为第 u 种赋权方法的相对一致性。

步骤1:选用 q 种赋权方法,给定 λ_u , 求得 q 种赋权结果。

$$W^{(u)} = (w_1^{(u)}, \dots, w_n^{(u)})^T$$

步骤2:确定 β_u 的取值。

$$\beta_u = \rho_u / \sum_{i=1}^q \rho_i, u = 1, \dots, q \quad (8)$$

式中:平均一致性程度 ρ_u 的计算公式如式如下:

$$\rho_u = \frac{1}{q-1} \sum_{i=1, k \neq u}^q \rho_{uk}, u = 1, \dots, q \quad (9)$$

若 $q=2$, 可用 Spearman 等级相关系数来计算

$$\rho_{uk} = 1 - \frac{6}{n(n^2-1)} \sum_{j=1}^n (p_j^{(u)} - p_j^{(k)})^2 \quad (10)$$

式中: ρ_{uk} 表示 u 与 k 的等级相关系数, n 为矩阵阶数, k 为第 k 种赋权方法。

步骤3:根据上述计算结果,利用式(6)可得到组合权重向量 $W = (w_1, \dots, w_n)^T$ 。

2 基于 AHP-熵权法组合赋权的水库降等报废评估模型

根据水库的降等或报废以及除险加固投入的成本及产出的效益进行综合经济效益评估,可得知经济是否合理,进一步判断技术是否可行^[12]。水库降等报废项目和续建、改建、增建项目有一定共同点,但又有着明显区别。水库降等或报废项目无法直接按照产生的

效益进行评估,只能依靠全部投入成本和综合产出效益进行评估。

2.1 产出效益评估指标选择

根据水库发挥的功能等特点,可将产出效益评估指标分为发电、供水、灌溉、防洪、其他共5个,其指标说明见表3,并形成产出效益评估指标体系。

表3 综合产出效益评估指标说明

指标	指标说明	计算说明
发电 M_1	1. 财务效益;2. 电力效益	年发电总量 × 电价
供水 M_2	城乡取水水源	年总供水量
灌溉 M_3	社会及自身效益	面积(亩) × 亩产
防洪 M_4	避免和减小洪灾后的金额	据洪灾推求
其他 M_5	渔业、旅游、林业、航运等	$(M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5) \times 5\%$

2.2 投入成本评估指标选择

根据水库运行的方式等特点,可将投入成本评估指标分为治理、维护、管理、保障、其他共5个,其指标说明见表4,并形成投入成本评估指标体系^[13-14]。

表4 投入成本评估指标说明

指标	指标说明	计算说明
治理 F_1	对水库采取一次全面治理的工程措施	水库除险加固与降等按10年计算;报废按20年计算
维护 F_2	水库工程维修养护项目所产生的费用	按年维修养护总费用计算
管理 F_3	水库大坝日常运行所需费用	按年平均运行管理总费用计算
保障 F_4	保障水库各项工作的开展等综合运行的保障资金	按综合保障成本总费用计算
其他 F_5	不确定性投入等成本	$(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5) \times 5\%$

2.3 构建水库报废与降等综合经济效益评估模型

2.3.1 综合效益与成本

根据构建的产出效益与投入成本评估指标体系,可算出病险水库降等或报废及除险加固的综合产出效益 M (万元) 和综合投入成本 F (万元), 计算公式如下。

$$M = M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 + M_4X_4 + M_5X_5 \quad (11)$$

式中： $X_1 \sim X_5$ 为各效益评价指标的权重。

$$F = F_1Y_1 + F_2Y_2 + F_3Y_3 + F_4Y_4 + F_5Y_5 \quad (12)$$

式中： $Y_1 \sim Y_5$ 为各成本评价指标的权重。

2.3.2 成本效益评估模型

工程总产出效益与总投入费用(成本)的比值越大,工程的综合效益越好,定义 φ 为降等与报废产出效率比,构建综合经济效益评估模型,计算公式为

$$\varphi = \frac{M_1X_1 + M_2X_2 + M_3X_3 + M_4X_4 + M_5X_5}{F_1Y_1 + F_2Y_2 + F_3Y_3 + F_4Y_4 + F_5Y_5} \quad (13)$$

按照式(12)、式(11)可分别计算出除险加固、降等、报废 3 种方案的综合投入成本和综合产出效益,再按式(13) 计算出相应的产出效率比 φ 。根据 φ 的大小进行比较排序, φ 值越大,表明产出效率越高,最后选择经济上最合理的措施。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

马涧河水库位于偃师市缙氏镇布村南 200m 处的伊河一级支流马涧河上,控制流域面积 80km²,扣除上游九龙角水库流域面积 47km²,区间面积 33km²,流域内包括浅山、丘陵区,多已垦为平地耕种,土壤入渗率较大,径流系数小,水土流失严重,坝前已淤积 8m 左右。水库于 1958 年 1 月 29 日开始动工修建,同年 6 月 15 日竣工验收,总库容 627 万 m³,为小(1)型水库。1958 年 7 月大坝决口水库被冲垮,1959 年又再次修复,铺设 3 条输水管道,均为钢筋混凝土斜管。溢洪道位于大坝右岸,距坝头 100m。1961 年因溢洪道未达到设计标准,开挖泄洪洞,断面 2m × 2m。1988 年,省、市投资 7 万元,衬砌泄洪洞及消能设施,加固整修泄洪道、输水道,并对坝体进行自压灌浆。

经现场调查后,现状水库主要问题总结如下:

①现状大坝渗漏严重,无法蓄水;②现状溢洪通道和输水洞已经完全被堵塞(见图 1),不具备泄洪能力,溢洪道逐渐作为交通道路使用;③现状水库坝前淤积严重,接近死水位;④现状水库防洪功能严重失效;⑤现状水库无人员值守,无监测设施;⑥现状水库大坝安全级别为 C 级,安全类别为 3 类^[15]。



图 1 原泄洪洞堵塞弃用

该工程存在质量问题,运行中暴露出裂缝、渗漏、塌陷甚至局部垮坝等严重险情,降等仍不能保证工程安全,经影响预测与评估和方案费用效益分析,最终得出对水库实施报废处理,理由如下:①水库淤积严重;②水库防洪能力不足;③现状水库空库运行且无固定人员管理;④现状水库在报废处理的过程中,不会存在管理设施及人员的安置问题^[16]。报废后处理方案:不拆除大坝,增建 4 孔泄水涵洞。

3.2 模型计算

根据水库的基本情况和偃师市马涧河水库报废论证报告,对水库除险加固、降等及报废措施的成本效益进行统计^[17],具体的数值见表 5 ~ 表 6。

表 5 马涧河水库成本统计 单位:万元

项 目	治理 F_1	维护 F_2	管理 F_3	保障 F_4	其他 F_5
除险加固	81.55	10	10	8	5.48
降等	34.15	10	10	6	3.01
报废	11.65	0	0	0	0.58

表 6 马涧河水库效益统计 单位:万元

项 目	发电 M_1	供水 M_2	灌溉 M_3	防洪 M_4	其他 M_5
除险加固	0	20	20	55	4.75
降等	0	10	10	23	2.15
报废	0	0	0	7.33	0.37

3.2.1 利用层次分析法求权重

根据该水库的功能及运行等特点,可构造产出效益与投入成本评估指标判断矩阵,计算出各指标权重,

见表7~表8。

表7 效益评估指标(M)判断矩阵

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	W
X_1	1	1/2	4	3	3	0.263
X_2	1	2	7	5	5	0.475
X_3	1/4	1/7	1	1/2	1/3	0.055
X_4	1/3	1/5	2	1	1	0.090
X_5	1/3	1/5	3	1	1	0.117

由表7内矩阵信息计算得出 $CR = 0.016 < 0.10$ ，产出效益评估指标(M)判断矩阵满足一致性要求。

表8 成本评估指标(F)判断矩阵

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	W
Y_1	1	1/4	1/4	1/6	1/2	0.054
Y_2	4	1	1/2	1/3	2	0.165
Y_3	4	2	1	1/3	3	0.239
Y_4	6	3	3	1	3	0.442
Y_5	2	1/2	1/3	1/3	1	0.100

由表8内矩阵信息计算得出 $CR = 0.035 < 0.10$ ，投入成本评估指标(F)判断矩阵满足一致性要求。

3.2.2 利用熵权法求权重

根据该水库的实际运行情况,将投入成本评估值(见表5)和产出效益评估值(见表6)作为信息熵,归一化并求得熵权,见表9~表10。

表9 成本评价指标(F)熵权

指标	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
信息熵	0.51	0.61	0.6	0.63	0.62
熵权	0.24	0.19	0.2	0.18	0.19

表10 效益评价指标(M)熵权

指标	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
信息熵	0.63	0.58	0.51	0.58	0.55
熵权	0.17	0.19	0.23	0.19	0.21

3.2.3 组合赋权

本文使用的两种赋权方法,分别为AHP法赋权和熵权法赋权,一致性系数 $\beta_1 = \beta_2 = 0.5$ 。针对本次评估目标,决策者偏好度的相对重要性 $\theta = 0.57$;决策者对AHP法赋权的偏好度为 $\lambda_1 = 0.65$;对熵权法赋权的

偏好度为 $\lambda_1 = 0.35$ 。赋权结果见表11~表12。

表11 成本评估指标组合赋权结果

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
AHP法	0.054	0.165	0.239	0.442	0.100
熵权法	0.24	0.19	0.20	0.18	0.19
组合赋权	0.128	0.196	0.208	0.307	0.131

表12 效益评估指标组合赋权结果

	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5
AHP法	0.263	0.475	0.055	0.09	0.117
熵权法	0.17	0.19	0.23	0.19	0.21
组合赋权	0.207	0.251	0.268	0.126	0.148

然后将有关数据代入,可计算出综合产出效益综合投入成本,最后将它们代入评估模型,可计算出除险加固、降等及报废的效益比 φ 分别为 0.86, 1.06, 1.21。

3.3 结果与讨论

综合上述分析和经济效益对比,在解决该水库险问题的措施中,对其进行报废处理优选度最高,降等次之,除险加固最不合适。本文使用综合经济效益评估模型推求的结果与降等报废论证的结果相符合,表明构建的评估模型在水库报废降等评估中有普遍的适应性及可操作性。

4 结论

本文将AHP与熵权法组合赋权确定权重的方法引入到水库降等与报废评估中,建立了投入成本及产出效益评估指标体系,提出了水库降等与报废的投入成本产出效益模型,并通过组合赋权,将主观与客观赋权法结合,提高了评估决策的可行性。同时结合实例应用并分析得出,构建的综合经济效益投入成本产出效益模型具有较强的适用性,为水库除险加固与降等报废的决策开展提供了一个切实有效的方法。今后还需进一步深入研究国内外不同类型病险水库除险加固与降等报废的相关资料,完善并补充现有研究成果。◆

参考文献

- [1] 刘宁. 21世纪中国水坝安全管理、退役与建设的若干问题[J]. 中国水利, 2004(23): 27-30, 5. (下转第80页)

重庆永川区水库工程物业化管理运行情况分析与建议

肖弟康 卢本琼

(重庆水利电力职业技术学院,重庆 402160)

【摘要】 水利工程物业化管理是推行水利工程“管养分离”的积极举措。文章以重庆永川区为例,梳理了水库工程物业化管理的运行情况,剖析了管理中存在的资金不足、物业管理企业综合实力不强及对物业管理企业的监督考核难等问题。在此基础上提出了通过健全资金保障机制、健全水利工程物业化管理市场、地方水行政部门为水库工程物业化管理试点工作多提供资金和技术支持等措施来提升水库工程物业化管理质量,以期完善水利工程物业化管理、落实“管养分离”提供参考借鉴。

【关键词】 水库工程;物业化管理;管养分离;问题;对策

中图分类号: TV697

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-055-04

Analysis and suggestions on property management operation condition of Chongqing Yongchuan District Reservoir Project

XIAO Dikang, LU Benqiong

(Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Chongqing 402160, China)

Abstract: The property management of water conservancy projects is a positive measure to promote the separation of management and maintenance of water conservancy projects. Chongqing Yongchuan District is adopted as an example in the paper. The operation condition of property management in reservoir projects is sorted. The problems in management are analyzed, such as insufficient funds, weak comprehensive strength of property management enterprises and difficult supervision and assessment of property management enterprises. The following measures are proposed in order to improve the property management quality of reservoir projects: perfecting fund safeguard mechanism, improving the property management market of water conservancy projects, providing fund and technical support for property management pilot work of reservoir projects by local water administration departments, etc., thereby providing reference for perfecting water conservancy project property management and implementing ‘separation of management and maintenance’.

Keywords: reservoir project; property management; separation of management and maintenance; problem; countermeasures

水利工程物业化管理是响应中央“探索社会化和专业化的多种水利工程管理模式”,推行水利工程“管

收稿日期: 2021-05-31

基金项目: 重庆水利电力职业技术学院 2019 年度人才引进基金及高层次人才科研基金项目(KRC201902)

作者简介: 肖弟康(1967—),男,本科,教授,主要从事水利工程建设管理教学及科研工作。

养分离”(工程运行管理与维修养护分离)的积极举措,是水利工程运行管理向社会力量购买服务的一种方式,是实现水利工程运行管理专业化、标准化和现代化的有益尝试。但在推行水利工程物业化管理的过程中,普遍存在物业化管理运行缺乏政策支撑、“两费”(公益性人员基本支出和公益性工程维修养护经费)资金不足、物业化管理市场化程度不高等问题。本文以永川区水库工程物业化管理情况为例,分析其存在的问题并提出相应对策,希望能为相关部门提供决策依据。

1 永川区水库工程物业化管理试点工作情况及成效

1.1 试点工作简况

自2017年以来,永川区水库工程物业化管理实现了从无到有式的跨越。根据重庆市水利局《水利工程运行管理向社会力量购买服务的指导意见的通知》^[1]、永川区委《关于深化水利体制改革》等相关文件精神,结合永川区的实际情况,经相关职能部门及专家反复调研和探讨,2017年6月永川区水务局制定了《永川区水务局直管35座水库“管养分离”方案》和《永川区水务局直管水库“管养分离”实施细则(试行)》等管理手册,启动了对区水务局直管35座水库进行物业化管理的试点工作。

1.2 管理成效

通过近四年来的实践,永川区水库工程物业化管理实现了新的突破,取得了一些成效。一是实行物业管理,水库工程“管养分离”得到了落实,水库的管理水平和维护保养质量分别得到了提高:一方面水库管理单位不再承担纷繁复杂的水库管护工作,其工作重点放在了水库的监管、督查和处理相关的行政事务、协调水库利益各方关系和水库的安全保障等方面,从而有更多的时间和精力从事水库工程管理工作,提升了管理工作水平;另一方面,负责水库工程的日常巡视检查、草坪养护、坝区保洁、工程维护等具体工作的维修养护承包人,通过招标方式择优确定,实现了水库工程维修养护的专业化、社会化和市场化,提高了水库的维护保养质量。二是物业管理促进了水库“两费”资金落实,使水

库工程“管养分离”可持续发展有了更足的资金保障。在中央、重庆市及永川区政府水库维修养护资金不足的情况下,水库工程物业管理将促进地方财政等相关职能部门解决水库工程“两费”配套资金不足的问题,如通过探索打破以往水库非税收入不能用于水库管理的惯例,将水库非税收入优先用于水库管理等,拓展了水库“两费”资金的来源渠道。三是农村水库工程点多面广,加之新建水库工程的不断增多,在当前不能增加水库管理单位人员编制的情况下,对水库工程实行物业管理,很好地解决了由于水库管理单位人员不足,难以正常维修保养水库的问题。

2 存在的问题及原因分析

永川区现有各类型水库136座,目前仅有35座(占全区水库总数的25.7%)水库工程开展物业管理试点工作,其余大部分水库尚未实施物业管理,这充分说明现阶段的水库工程物业化管理工作尚存在一些亟待解决的问题。

2.1 存在的问题

a. “两费”资金不足且不能常态化安排。一是“两费”资金不足。如永川区直管的35座水库,2017年需水库“两费”资金1385.88万元,中央、重庆市级补助资金及永川区财政拨付的水库管理“两费”共计722.33万元,资金缺口达663.55万元。若全区136座水库实行物业管理,资金缺口还将进一步加大。二是资金不能常态化稳定投入,如永川区2018年“两费资金”894.02万元,2019年则为340.00万元^[2]。

b. 较难找到技术、管理等综合实力较强的水库工程物业管理企业。一是通过招标方式选择水库物业管理企业时,参与投标的企业较少。二是参与竞标的水库工程物业管理企业的资质普遍偏低,技术、管理等综合实力不能很好地满足水库工程物业化管理的需要。

c. 对物业管理企业的监督管理和考核难,考核结果不佳。一是水库管理单位不能很好地指导、监督物业管理企业开展水库工程物业化、专业化管理工作。二是考核结果不能很好地反映物业管理企业的工作实绩。三是从考核结果看,物业管理企业在水

库安全监测、放水设施及金属结构维护等方面的表现不尽如人意。

2.2 原因分析

a. 政府资金投入不足,缺乏政策支撑和投资主体缺位等,使资金不能被常态化安排。一是鉴于目前重庆的发展水平,完全依靠农村取水用水市场的健全来解决农村水库工程维保资金不足的条件还不成熟,仍需依靠政府继续增加无偿投入来解决,在政府投入有限的情况下,水库“两费”资金不足及投入不稳定而不能被常态化安排的情况在短期内将难以得到很好地解决^[3]。二是水库工程物业化管理试点工作刚开展不久,政府相关职能部门对解决投资相关难题进行有效沟通的力度不够,在法律、法规、政策等允许范围内对资金来源渠道的“挖掘”力度不够,未联合发文对“两费”资金相关问题予以规范或明确,致使在“两费”资金的申报或使用存在渠道不通或政策依据不足的现象。三是投资主体缺位。农村人口居住相对分散,近年来,随着大量青壮年外流和大量农村人口涌入城镇长期居住,农村“空心化”现象严重,耕地荒芜,水库用水量减少,其利用价值不断降低,加之取水用水市场还很不健全,因此难以吸引企业或个体户来投资农村水库工程。

b. 水库物业化管理市场化程度不高,较难找到综合实力较强的专业化管理队伍。一是除防洪物资采购、仓库修复等项目外,很多修缮性维保项目的使用年限受外界气候、水文、地质等条件影响大,需要修缮的范围、内容等具有很大的不可预测性,致使物业化管理合同风险大,加之整个水库工程物业管理项目总投资相对较小等因素,难以吸引较高水平的专业化队伍参与管理。二是除水库工程的日常巡视检查、草坪养护、坝区保洁、工程维护等技术含量相对较低的项目外,水库安全监测、放水设施及金属结构维护等对企业的特殊专业技术要求相对较高,具备技术资质条件的企业数量少,承揽业务时报价相对较高等,客观上给选择综合实力强的物业化管理单位增加了难度。三是水库工程“点多面广”,在人员、资金条件有限的情况下,很多企业客观上无法在短期内配备一支技能合格、数量充足的物业化管理队伍,人员的数量、任职条件不能很好

地满足《水利工程管理单位定岗标准(试点)》(水办〔2004〕307号)的基本要求^[4]。四是按照当前永川区财政预算规定,水库管理单位年初进行预算,年终实行零基预算,致使水库“两费”每年都不相同,加之永川区财政的“两费”资金没有很好的保障,水库管理单位不得不每年通过招标的方式重新选择新的水库物业化管理企业,物业化管理合同一年一签。“走马灯”似的更换物业化管理企业,造成物业化管理企业的工作没有延续性,致使物业化管理企业缺乏加大相关人、财、物投入的积极性和主动性。

c. 管理监督力量薄弱,物业化管理合同期短,物业化管理企业技术力量不能很好地满足要求等,使得考核管理难度大,考核结果不佳。一是目前永川区水库管理单位人员少、年龄偏大、文化程度不高、专业不齐,难以指导、监督、考核物业化管理企业的物业化、专业化管理工作。二是因物业化管理合同时间过短(一年),管理工作业绩不足以在任务期内显现而难以考核。三是物业化管理企业的管理、技术力量薄弱,加之水库管理单位人员也不能很好地指导、监督物业化管理企业开展技术管理工作,使得物业化管理企业在诸如水库安全监测、放水设施及金属结构维护等方面的工作质量存在缺陷和不足。

3 对策建议

目前永川区水库工程实施物业化管理还处在试点阶段,物业化管理模式还有很多需要提高或改进的地方。我们必须立足实际,精心策划,合理定位,找准继续推进水库工程物业化管理试点的突破方向,进一步丰富试点工作内容,拓展试点范围,提升水库工程物业化管理质量。

a. 健全机制,以物业化管理促进水库工程管理体制政策落地。一是健全资金保障机制。经费落实是水库工程物业化管理的基础,除积极争取中央和重庆市级资金投入,力争区级财政配套水库“两费”实行常态化预算外^[5],建议各级地方政府按照水库工程管理体制要求,组织发改委、财政等相关职能部门对水库工程试点工作中遇到的“两费”资金不足的相关问题进行探讨、研究,在此基础上,出台相关配套政策,为水库物业化管理提供政策依据,保障物业化管理所

需经费。同时抓好水库效益发挥,在确保工程安全和生态环境的前提下,探索生态养殖、旅游开发、地产建设等方式,引入企业、个体户投资等,增强工程自身造血能力。二是加强制度保障,对水库工程物业化管理这一新课题存在的困难和问题、管理盲点,进行分析研究,在此基础上对现行各项管理制度进行全面整理,针对薄弱环节及时制定和完善相应制度,形成一整套管理制度体系,促进管理体制政策落地。

b. 以管理标准化为目标持续推进水库物业化管理试点,健全水库工程物业化管理市场。一是在推行水库工程物业化管理过程中,不能仅仅满足于实现形式上的物业化,否则将变成原有“聘用水管员”模式的翻版,导致工程运行管理水平长期徘徊不前;应该依托技术力量强、管理经验丰富的机构和企业,突出承接单位的专业化,以运行管理标准为目标,让物业化这个手段更好地服务于提升管理水平这个内核。二是充分以永川区现有的管理、设计、施工、咨询等机构和企业为平台,积极引导、支持各类市场主体进入水库工程物业化管理市场,通过市场竞争和技术指导培育、壮大和健全物业化管理市场。

c. 地方水行政部门要不断优化水库物业化管理模式,加强督促检查,为试点工作提供资金、技术上的支持。一是优化物业化管理模式。在试点过程中,地方水行政部门要认真总结试点工作经验,查找试点工作中存在的不足,并有针对性地提出调整方案,不断在实践中探索出因地制宜、切实有效的水库工程物业化管护模式。二是加强督促检查。①区水务局要督促水库管理单位完善考核细则,明确考核指标并严格执行各类考核、验收要求;②水管单位按照“监督+抽查+考核”模式,借助“智慧水利云平台系统”平台,实时监测巡查管护情况,加大对物业化管理日常工作过程的管理和考核力度,将考核结果与物管费用拨付挂钩,确保管理水平不断提高。三是加大地方经济投入力度,力争将水库物业化管理时间延长至2~3年,费用逐年结算,使得水库工程物业化管理工作具备应有的持续性。四是要加强水管单位管理队伍建设,通过“外引内培”的方式配齐相关专业人员,使之能满足指导、监督水库工程物业化、专业化管理的需要。

4 结 语

通过三年多的实践,永川区水库工程物业化管理工作虽然取得了一定的成效,但也应看到,目前永川区水库工程实施物业化管理还处在试点阶段,尚有101座(占全区水库总数的74.3%)水库工程未实施物业化管理,物业化管理模式也还有很多需要提高或改进的地方,水库工程的安全运行及水库水质差等问题还没有得到很好的解决。为落实重庆市水利局《关于印发水利水库运行管护向社会力量购买服务的指导意见的通知》(渝水〔2017〕246号)及永川区政府水利管理改革相关会议精神,保障全区水库水质尽快达到或优于Ⅲ类和水库安全运行,必须坚持有序推进、质量至上、效益优先、因地制宜的原则,积极探索社会化和专业化的水利工程物业化管理模式,高位推动全区水库工程管理向规范化、专业化、现代化的水库工程物业化管理方向发展,以保护永川区水库水域生态环境,并为永川区新时代生态文明建设做出更大的贡献。◆

参考文献

- [1] 重庆市水利局. 重庆 物业化管理让水利工程有了新“管家”[J]. 中国水利, 2016(24): 216-219.
- [2] 贵州省息烽县水利局. 局部突破 标杆引领 典型创新——小型水库管理体制改革的示范县创建工作部分典型经验介绍(二)[N]. 中国水利报, 2019-07-10(3).
- [3] 肖弟康, 卢本琼. 渝西地区农村饮水安全工程建管问题及对策——以永川区为例[J]. 中国水利, 2016(5): 50-51.
- [4] 肖弟康, 卢本琼. 重庆市农村水利基层服务体系建设与建议[J]. 中国水利, 2019(9): 47-48, 52.
- [5] 吴义鸿, 魏涛, 刘传涛. 安徽省稻渔综合种养产业融合的现状与对策[J]. 科学养鱼, 2020(12): 1-2.
- [6] 刘琳, 孙华林. 水利工程维修养护物业化管理模式探讨[J]. 山东水利, 2017(9): 19-20.
- [7] 高多云. 深化水利工程管理体制模式改革的探讨[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2012, 12(3): 37-39.
- [8] 沈洁. 水利工程管理体制模式的研究[J]. 居舍, 2019(30): 146.
- [9] 费忠浩. 水利工程维修养护物业化管理初探[J]. 河北水利, 2017(4): 43.
- [10] 姚月伟, 赵法元. 公益性水利工程物业管理模式探讨[J]. 水利建设与管理, 2001, 21(5): 35, 41.
- [11] 吕丽芬, 李继国, 刘飞鹏, 等. 物业化管理模式在云南小型水利工程中的应用[J]. 云南水力发电, 2020, 36(8): 256-258.

环县农村饮水安全工程运行管理的成效和经验

王玥娜¹ 张洪伟^{1,2} 李 华^{1,2}

(1. 兰州交通大学, 甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃省黄河水环境重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

【摘要】 环县是典型的黄土高原丘陵沟壑区, 人口居住十分分散, 经济相对落后, 农村饮水安全工作具有重要意义。水利部门从水源多样化、运管一体化、维护专业化等六个维度提出了创新发展思路, 初步构建起了环县农村饮水安全工程的良性运管机制。本文对该工程运行管理的经验和成效进行了归纳总结, 并提出了相应的发展建议, 可供其他类似地区参考。

【关键词】 饮水安全工程; 运行管理; 经验; 成效; 环县

中图分类号: TV211.3

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-059-04

Effect and experience of operation management of Huanxian County Rural Drinking Water Safety Project

WANG Yuena¹, ZHANG Hongwei^{1,2}, LI Hua^{1,2}

(1. Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China;
2. Key Laboratory of Gansu Yellow River Water Environment, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Huanxian County is a typical hilly and gully area of Loess Plateau. The population is scattered. The economy is relatively backward. The safety of rural drinking water is of great significance. The water conservancy department puts forward innovative development ideas from six dimensions, such as diversification of water sources, integration of transportation and management, professional maintenance, etc. A benign transportation and management mechanism of rural drinking water safety project in Huanxian County is preliminarily built. The experience and effect of the project operation management is summarized in the paper, and corresponding development suggestions are proposed, thereby providing reference for other similar areas.

Keywords: drinking water safety project; operation management; experience; effects; Huanxian County

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 国家重点研发计划“绿色宜居村镇技术创新”专项“村镇饮用水水质提升关键技术与装备开发”项目(2019YFD1100100); 甘肃省科技计划资助项目(20JR2RA002)

作者简介: 王玥娜(1998—), 女, 硕士(在读), 主要从事村镇饮用水长效管理方面的研究。

1 工程概况

环县属于毛乌素沙漠边缘的黄土高原丘陵沟壑区,总土地面积 9236km²,境内梁峁沟壑纵横,有大小沟道 1.74 万条,农户居住地相当分散,平均每个山头不足 3 户,近 30 年降雨量年均 400mm 左右,而蒸发量却高达 1800mm,属于干旱地区,全县人均淡水占有量不到 100m³,资源型、水质型、工程型缺水并存。

环县通过“集蓄天上水、提取地下水、淡化苦咸水、引用黄河水”四水齐抓工程、智慧调度中心工程以及一体化发展思路,初步实现了“全县一张网、供排一体化、城乡一个价、调度自动化”的供水格局,有力地保障了全县城乡居民用水。

2 经验做法

2.1 供水保障“多样化”

面对丘陵沟壑区地势复杂、多类型缺水并存和深度贫困等问题,环县因地制宜采用“四水齐抓”方式多重保障农村供水。一是全面实施集雨场窖工程,累计投资 3.25 亿元,配套建设水窖 835358 眼、集流场 62443 处。二是逐步实施扬黄供水工程,投资 6.24 亿元,建成千吨万人自来水入户工程 7 个、搬迁安置点集中供水工程 45 处,延伸管线 4500km,保障了全县 21.8 万城乡人口黄河水供给。三是稳妥实施机井供水工程,投资 2.1 亿元,建成机井 122 眼,配套淡化设备 59 处,建设以机井水为水源的小型集中供水工程 48 处。四是选择实施小电井和沟道水集中供水工程,先后投资 0.21 亿元,建成沟道水集中供水工程 8 处。最终形成场窖广泛分布,机井、引泉小电井相互补充,扬黄集中供水工程覆盖范围逐步扩大,多种饮水方式互补的水源保障体系,实现了全县 36.32 万人的饮水安全保障。环县农村供水工程建设情况见表 1。

2.2 运行管理“一体化”

实现城乡“同网、同质、同价、同服务”供水,是全面提升农村供水保障能力的最有效手段^[1-2]。环县积极推行供水和排水、农村供水和城市供水“一家管”的企业化运行管理模式,由自来水公司负责供水、维护、

表 1 环县农村供水工程情况

水源	供水工程名称	投资额/亿元	工程数量
雨水	集雨场窖工程	3.25	水窖 835358 眼、集流 62443 处
黄河水	扬黄供水工程	6.24	集中供水工程 45 处
地下水	机井供水工程	2.1	小型集中供水工程 48 处
地表水	沟道水集中供水工程	0.21	小型集中供水工程 8 处

服务一体化管理。自来水公司下设农村供水分公司,负责县域内所有国家投资建设的农村集中供水工程的调水、取水、净化水处理、水质检测、供水管理运行、维修保养和水费收缴工作;供水分公司在各乡镇设立供水服务站,负责履行农村供水分公司在辖区内所有职责;各行政村设有供水点,主要负责供水运行、维修保养、水费收缴等工作。同时,环县政府落实行政主管和监督职能,由县水务局设立农村人饮管理办公室,负责全县农村饮水安全工程建设及全县农村供水工程运行管理和监督,乡镇设立水利工作站,负责监督本乡镇农村供水工程运行管理以及统计本乡镇农村饮水设施和宣传涉水法律法规等工作。各级人员分工明确、职责清晰,有效保障了农村饮水的良性发展。各级机构设置见图 1。

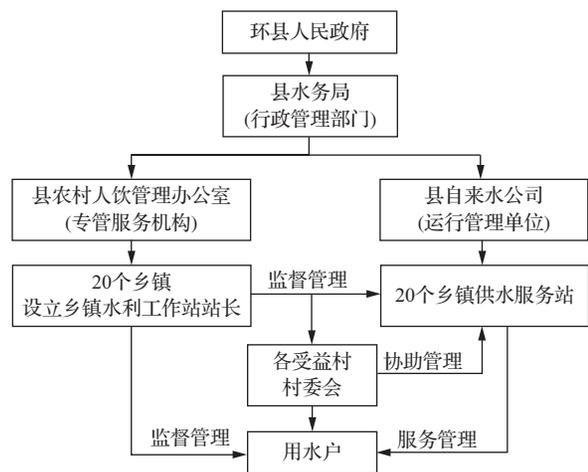


图 1 环县供水管理机构设置

2.3 维修保养“专业化”

农村地区供水管线长、供水季节性差异大,加之早期供水设施建设标准低以及维修资金匮乏,导致农村

供水设施维修成为影响农村供水保障率的重要因素^[3]。为此,环县从制度保障、技术保障和资金保障等多个方面着手实现了维修养护的“专业化”。一是建立并完善了《环县农村供水工程维修养护基金管理办法》,明确了资金来源、使用方式和支出范围。二是选聘 348 名农村供排水服务人员负责全县所有集中供水工程的制水和供水运行管理及维修服务工作,组建 42 人规模的专业维修队,负责重大故障的抢险任务,每个乡镇供水站设有 3~10 名维修技术人员,实行“专人包抓、分片负责”制,确保供水工程正常运行。三是投资 1100 万元新建城乡供排水自动化调度指挥中心,将扬黄供水工程及机井、沟道泵站供水工程以及城乡污水处理和中水利用全部纳入自动化调度管理,实行统一指挥调度和远程调度控制管理。四是从水费中按 10%~20% 比例提取维修养护基金,县财政每年预算列支 200 万元,作为专项维修管护基金保障缺口,通过专款专用形式对维修养护工作提供全力保障。

2.4 水务管理“智能化”

城市供水基本实现了智能化管理,为城市安全供水提供了重要保障,而农村供水智能化建设起步晚、规模小、重视程度不够,但随着农村供水规模的扩大、供水安全保障要求的提升和一体化步伐的加快,供水智能化建设发挥的作用越来越明显^[4-5]。环县投资新建了供排水中央智慧调度系统,采用物联网与云计算技术,将传统水利与现代信息化技术进行深度融合,实现了水质情况的实时监控,水池水位、管网压力、流量的实时监控,异常预警、应急警报的及时处理,还能够实现远程运行状态的终端控制和操作,360°全景水厂展示、实时数据更新和画面传输,以及报表输出、历史记录查询和数据分析等功能,全面提高了供水的管理水平和服务水平。

2.5 水质监测“一张网”

环县全面落实水质检测设备、人员、经费“三个到位”,实现源头与龙头的闭环检测、内部检测与监督检查结合,日常检测与抽样检测结合的“一张网”水质检测布局。设立了中心化验室和千人以上水厂水质检测室,有专职化验人员 20 名,配备便携式水质检测仪 10

余台。由自来水公司负责水质日常化验和内部检测,开展日检 11 项、周检 14 项、月检 31 项检测;在县疾控中心设立水质检验检测中心,定期开展针对场窖、小电井水水质的检测,确保农村分散式供水的水质安全;同时与兰州城市供水集团水质监测中心签订协议,对每次调引黄河水进行检验,全县水质检测指标、检测覆盖面均符合要求。

2.6 城乡供水“一个价”

农村饮水定价和水费收缴是农村供水保障的一个重要组成部分,决定了农村供水事业的可持续发展^[1]。为此,环县建立了计量收费、水费补贴、控价供应“三项机制”,在各乡镇设立了收费大厅,全县农村用水户均安装 IC 卡智能水表,方便农村用水户按计量及时缴纳水费,如出现行政村水费收缴率低于 85% 时,乡镇分管领导将督促村委会和用水户及时缴清水费。收缴水费实行专户使用、统一管理,主要用于饮水工程的运行、维修和养护。县财政每年预算列支 600 万元,对农村供水进行补贴,保障低价、同价稳定供水。供水实行成本核算,城乡居民用户统一执行 4.4 元/m³ 的供水价格。

3 建议及展望

3.1 分类施策,推进农村供水事业健康发展

立足环县地域面积大、沟壑纵横、群众居住分散、资源型和水质型缺水并存的实际现状,按照“集蓄天上水、提取地下水、淡化苦咸水、引用黄河水”的总体思路,继续推进建设以扬黄工程集中供水为主体,水窖、小电井和苦咸水淡化为辅助的供水保障体系。坚持“因地制宜、分类施策”的原则,群众居住集中且具备供水条件的,要依托扬黄工程外调水源继续扩展、建设集中供水工程,管网铺设到村组、供水入户;不具备入户条件的,村组建集中供水点,提高干旱年份人饮和产业供水保障能力;居住分散,集中供水工程建设、管理运行难度大的,修建分散集雨蓄水工程(水窖、蓄水池),正常年份保障人饮和产业用水,在极端干旱年份集中送水到村组、到户,确保人饮和产业发展。

3.2 加强宣传,转变农户用水观念和参与度

全面加强用水节水宣传工作,通过电视、广播、宣

传手册以及微信公众号、抖音等多种媒介加大宣传力度,全面提高群众的“水商品意识”和饮水安全意识,明确水资源和水费缴纳是国家政策和用水户义务,广泛宣传节水节水相关知识法规,引导广大群众改变窖水使用习惯,提升自来水的入户率和使用率^[6-7]。村民作为农村供水的直接受益者,应在村民委员会和村民小组的统一组织下,积极参与农村饮水安全工程管道设备的维护、饮用水源的保护工作,引导群众树立爱水护水、节约用水理念,营造“人人爱护设施、全民参与维护”的良好用水环境。

3.3 创新思路,保障供水工程的良性运行

一是发展产业,实现“以水养水”。依托地域特色优势,加大偏远地区政策扶持力度,大力吸引循环农业、中医中药、清洁能源等相关企业的入驻,依托企业用水反哺农民用水,提升供水保障率,以水养水,破解偏远山区用水难的症结。二是健全水价形成和水费收缴机制。完善水价相关测算方法、水价制定流程及定价制度,全面推行两部制水价计价方式,合理饮水定价,提高用水户节水意识,实现供水单位和农民“双赢”^[8-10]。三是多渠道筹集资金。探索建立社会资本参与农村供水工程投资的体制机制,建立以公共财政投入和金融支持、农民投资投劳、社会资本参与为主要支撑的农村供水工程投资稳定增长机制^[11-13]。通过水费提取、政府补贴、社会融资等多形式多渠道保障农村供水工程的可持续运行。◆

参考文献

- [1] 刘昆鹏. 农村供水“十四五”发展对策建议[J]. 水利发展研究, 2020, 20(5): 8-10, 15.
- [2] 傅宝山, 何华林. 鄂城区: 统筹规划建管并重实现城乡供水一体化[J]. 中国水利, 2010(17): 50-51.
- [3] 秦丽娜, 马乐, 唐丽. 浅析农村村集体公益性水务设施运行维护[J]. 中国水利, 2013(S1): 35-36.
- [4] 魏文密. 彭阳县“移动互联网+农村人饮”管理模式探索与实践[J]. 中国水利, 2019(15): 52-54.
- [5] 桂冬梅, 董盛文. 来凤县农村饮水安全工作实践与思考[J]. 中国水利, 2018, (17): 56-57.
- [6] 郭苏丽. 高平市农村饮水工程现状及发展对策[J]. 山西水利, 2012, 28(5): 23, 30.
- [7] 孙迪. 对北京农村饮水安全提质增效的建议[J]. 中国水利, 2015(6): 45-47.
- [8] 赵发华. 民乐县农村供水管理的现状与对策分析[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(4): 58-61.
- [9] 张永宏. 甘肃省清水县远门农村饮水安全工程水价管理的现状分析[J]. 水利建设与管理, 2011, 31(10): 43-45.
- [10] 陈崇德, 胡小梅, 王永东. 关于两部制水价的思考[J]. 水利发展研究, 2006(5): 41-43.
- [11] 吕术元. 静宁县建立农村供水工程投入稳定增长机制的思考[J]. 中国水利, 2012(4): 47-49.
- [12] 刘昆鹏. 农村供水投融资体制机制探析[J]. 水利发展研究, 2019, 19(2): 10-13, 28.
- [13] 孙所英, 张勇, 牟同峰. “十三五”农村饮水提质增效工程融资模式探讨与分析[J]. 水利建设与管理, 2016, 36(9): 68-71.
- [14] 李晓明, 马振斌. 德州市陵城区农村饮水安全工程建设管理探讨[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(4): 48-50.
- [15] 杨玲. “互联网+”在彭阳县农村饮水工程管理中的应用[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(4): 53-57, 61.
- [16] 赵发华. 民乐县农村供水管理的现状与对策分析[J]. 水利建设与管理, 2017, 37(4): 58-61.
- [3] 盛金保. 小型水库大坝安全与管理问题及对策[J]. 中国水利, 2008(20): 48-52.
- [4] 邵美娇. 水库安全鉴定诸单元分析和对策[J]. 水利建设与管理, 2013, 33(6): 46-48.
- [5] 邵秀成. 小型水库大坝安全管理的实践与探讨[J]. 中国水能及电气化, 2018(11): 51-53.
- [6] 袁明道, 徐云乾, 史永胜, 等. 广东地区小型水库大坝安全评价分析与探讨[J]. 大坝与安全, 2019(4): 20-23.
- [7] 黄春华, 杨文滨, 夏甜, 等. 中小型水库大坝安全评价若干问题的思考[J]. 广东水利水电, 2019(9): 22-24.
- [8] 北京市水文手册: 第二分册 洪水篇[M]. 北京: 北京市水务局, 2005.
- [9] 王惠民. 土石坝安全鉴定阶段的地质勘探工作探讨[J]. 水利建设与管理, 2013, 33(10): 29-31.
- [10] 张娜. 新疆小型水库降等与报废问题探讨[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(7): 68-71.

北京地区小型水库大坝安全评价 分析与探讨

窦国钦¹ 孙宗峰¹ 吕智君²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100048;
2. 北京燕平水利工程勘察设计有限责任公司, 北京 102200)

【摘要】 本文结合北京地区小型水库大坝安全评价工作,介绍了北京市小型水库大坝的现状及管理情况。在总结北京市小型水库大坝安全管理及安全评价经验和成果的基础上,针对小型水库建设标准低、基础资料缺乏、安全管理水平低下等问题提出相应对策,可为北京市及国内其他地区小型水库大坝安全评价工作提供借鉴和参考。

【关键词】 北京;小型水库;大坝;安全评价

中图分类号: TV62 + 1

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-063-10

Analysis and discussion on safety evaluation of small reservoir dam in Beijing

DOU Guoqin¹, SUN Zongfeng¹, Lu Zhijun²

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China;
2. Beijing Yanping Hydraulic Engineering Survey and Design Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: The present situation and management condition of small reservoir dams in Beijing are introduced based on the safety evaluation work of small reservoir dams in Beijing. Corresponding countermeasures are proposed aiming at low construction standard, insufficient basic information, low safety management level and other problems of small reservoirs on the basis of summarizing the experience and achievements of safety management and safety evaluation of small reservoir dams in Beijing, thereby providing reference for the safety evaluation work of small reservoir dams in Beijing and other areas in China.

Keywords: Beijing; small reservoir; dam; safety evaluation

2003年,水利部《水库大坝安全鉴定办法》(水建管〔2003〕271号)规定:大坝实行定期安全鉴定制度,首次安全鉴定应在竣工验收后5年内进行,以后应每隔6~10年进行一次。运行中遭遇特大洪水、强烈地震、工程发生重大事故或出现影响安全的异常现象后,

应组织专门的安全鉴定。

2021年1月,水利部组织编制了《坝高小于15米的小(2)型水库大坝安全鉴定办法(试行)》,规范坝高小于15m的小(2)型水库大坝安全鉴定工作。

2021年4月,《国务院办公厅关于切实加强水库

收稿日期: 2021-07-02

作者简介: 窦国钦(1983—),男,博士,主要从事水库大坝安全鉴定及设计咨询工作。

除险加固和运行管护工作的通知》(国办发〔2021〕8号)中明确:2022年年底以前,有序完成2020年已到安全鉴定期限水库的安全鉴定任务;对病险程度较高的水库,抓紧实施除险加固;探索实行小型水库专业化管护模式。2025年年底以前,全部完成2020年前已鉴定病险水库和2020年已到安全鉴定的期限、经鉴定后新增病险水库的除险加固任务;对“十四五”期间每年按期开展安全鉴定后新增的病险水库,及时实施除险加固;健全水库运行管护长效机制。

我国中小型水库尤其是小型病险水库的主要问题表现在三方面:第一,水库大部分工程已经达到了设计使用年限。我国80%以上的水库修建于20世纪50年代到70年代末,经过几十年运行,功能老化的现象比较严重,所以出现病险具有一定的客观性。第二,受超标洪水、强烈地震等自然灾害影响,水库一旦遭遇突发暴雨洪水,超出自身的防御标准,就可能引发严重的水损,产生病险。据统计,2020年的洪涝灾害共损坏大型水库131座、小型水库1991座,其中许多被鉴定为病险水库。第三,管护薄弱,后天不良。部分地方存在“重建轻管”“以建代管”的现象,疏于水库日常管理、维修养护,尤其是小型水库,多归农村集体经济组织所有,小型水库维修养护不及时,有的积病成险^[1]。

“十三五”期间,北京陆续完成密云、官厅等大中型水库安全评价工作,对小型病险水库的安全评价及除险加固也在如火如荼地开展当中。水库大坝安全评价是水库安全运行管理和除险加固的前期关键工作,如何做好小型水库的安全评价工作,直接影响到防洪、供水安全以及除险加固设计方案的合理性和科学性。

北京市共有水库工程88座,总库容93.77亿 m^3 。其中,大型水库工程4座,分别为密云水库、官厅水库、怀柔水库和海子水库;中型水库17座;小型水库67座。

北京市水库工程的主要任务是防洪和供水。其中82座水库具有防洪任务,总防洪库容12.25亿 m^3 ,控制流域面积6.71万 km^2 ;69座水库具有供水任务,总设计年供水量43.61亿 m^3 ,2011年实际总供水量6.49亿 m^3 ^[2]。

根据统计情况,截至2019年底,小(1)型与小(2)

型水库为67座,占水库总数的76%,其中小(1)型水库大坝坝型主要为土石坝(均质土坝、黏土心墙坝),砌石护砌;小(2)型多为重力坝或者拱坝,以浆砌石材料为主。该类小型水库大坝多建于20世纪50—70年代,由于当时的建设条件和标准限制,水库建成时就存在一定问题,加之运行时间长、工程老化、现场管理水平较低、基础资料缺失,存在诸多安全隐患^[3-4]。因此需要做好小型水库安评工作,消除北京市范围内小型水库建设标准低、基础资料缺乏、安全管理水平低下等问题,做到“一库一策”,解决小型病险水库防汛薄弱环节。

1 安全评价面临的主要问题

1.1 基本资料缺失

大部分小型水库建设于20世纪50—70年代,当时资金及人员条件有限,绝大多数工程勘测、设计、施工、运行、监测资料缺乏,勘测设计及施工资料缺失尤为严重,虽然部分水库历史上经历过除险加固,但由于对小型水库管理不到位,设计与施工资料未得到妥善保存,造成遗失。当进行新一轮水库大坝安全评价时,针对工程质量情况、大坝结构数据、库区地形、上下游河道比降以及金属结构数据,均需要开展大量的复测、勘察,查清项目区地质情况,绘制工程图纸等基础工作,才能正常完成《水库大坝安全评价导则》(SL 258—2017)(以下简称SL 258—2017)规定的相关内容。另外,承担安全鉴定任务的单位往往注重对大坝等主要挡水设施进行资料收集复核,忽略对溢洪道和输水管,特别是坝下埋管检查和检测相关资料的收集复核。以上这些情况,给顺利、高效开展水库大坝安全评价工作带来了很大难题^[4-5]。

1.2 无标准化管理

北京地区小型水库尚未完全实现标准化管理。大部分小型水库位于山区,现场杂草丛生,建筑物年久失修,有些水库甚至没有方便的上坝公路。①小型水库一般由当地乡镇人民政府委托附近村民管理,无专业技术人员参与,水库大坝的日常检查和定期养护得不到保障;②规章制度不够健全,部分水库大坝无巡视检

查、安全监测、机电设备操作、应急管理措施等必要的运行管理规章制度保证大坝正常运行;③管理手段较落后,即使有日常定期的巡视检查,但是缺乏必要的水库大坝监测手段,应急管理工作薄弱,容易出险且险情触发后不能及时上报和组织抢险。

1.3 无统一评价标准

根据 SL 258—2017,水库大坝安全评价标准适用于坝高 15m 及以上或库容 100 万 m^3 及以上的已建水库大坝安全评价,坝高小于 15m 的小(2)型已建水库大坝参考执行。目前,水库大坝安全评价工作基本是参考以上评价导则执行^[6]。

2021 年 1 月 12 日水利部印发《坝高小于 15 米的小(2)型水库大坝安全鉴定办法(试行)》(以下简称试行办法),此办法适用于库容 10 万(含)~100 万 m^3 (不含)且坝高小于 15m(不含)的水库。至此,才初步建立起小型水库大坝安全评价基本方法及标准,试行办法第十二条规定:“判别大坝安全类别采用现场安全检查和专题评价相结合方式。现场安全检查能够满足大坝安全类别判别需要的,可不进行专题评价。”^[7]

目前,除部分现场管理较好、水文条件稳定、工程资料齐全和大坝运行态势较好的小型水库大坝外,大部分小型水库不具备仅靠现场安全检查就能完全判别水库大坝安全类别的条件,仍需开展专题评价,目前试行办法中规定专题评价内容为防洪能力专题评价、渗流安全专题评价、结构安全专题评价、金属结构安全专题评价四个方面。值得注意的是试行办法中并不包含 SL 258—2017 中“抗震安全评价”内容,依据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015),北京地区小型水库大坝大多处于地震烈度为Ⅶ度或Ⅷ度地区,大坝抗震设防烈度为 7 度及以上,再加上大部分小型水库始建于 20 世纪 50—70 年代,当初大坝修建时未进行抗震设计或抗震设计标准较低,相应的抗震工程措施不足,对于此类小型水库大坝,在进行安全评价时,抗震安全复核显得非常必要。

另外,试行办法中对于水库大坝现场安全检查需要达到的深度未作明确要求。

综上,对于小型水库大坝安全评价,应完全按照试行办法执行,还是参照 SL 258—2017 执行,还存在一定困扰。

2 小型水库安全评价关键点及方法

2.1 资料收集整理

基础资料的收集是水库大坝安全评价能够顺利开展的主要前提,基础资料主要有大坝工程特性、工程地质、水文资料、大坝设计、施工、运行、检查、监测、除险加固、维修养护、以往安全鉴定情况及管理情况等^[8]。

对于一般小型水库,当设计资料缺失、缺乏可靠的监测资料时,需要通过现场工程测量与安全鉴定勘察采集一手数据,为工程安全鉴定分级提供计算依据与地质资料。

2.1.1 主要工作内容

a. 对水库地形,库容、大坝及附属建筑物结构进行复测。

b. 复查影响工程安全的工程地质和水文地质条件,检查工程运行后地质条件的变化情况。

c. 对于土石坝,了解坝体结构分区、填筑材料,对填筑质量作出地质评价,评价坝基是否存在砂土液化问题;对于混凝土坝或砌石坝,调查坝基和绕坝渗流分布范围,对坝基、坝肩稳定不利的断层破碎带、软弱夹层等分布情况,库区两岸及近坝库区边坡稳定情况。

d. 对坝基、岸坡等处理效果作出地质初步分析。

e. 复核工程区场址的地震动参数。

2.1.2 主要勘察方法

a. 收集区域地质资料,复核工程区区域地质环境,构造环境背景。

b. 根据现行国家标准《中国地震动参数区划图》复核工程区地震动参数。

c. 收集有关资料,包括勘察、设计、施工和水库运行监测及水库险情处理资料。

d. 调查与隐患险情有关的现象,调查近坝库区不良地质现象。

e. 沿坝轴线方向布置 1 条横剖面,在最大坝高处布置一条纵剖面,纵横剖面上共布置 5 个钻孔,孔深进

入基岩 5~10m。

f. 根据需要布置坑槽、探井勘探工作。

g. 对坝体填筑物及坝基岩体进行注水试验和地下水位观测。

h. 根据坝体填筑物,在钻孔内进行标准贯入试验和动力触探试验。

i. 分层取样,每层土的有效组数不少于 6 组,对其进行物理力学试验。

通过上述测量地勘工作,获得主要成果(见表 1),这些成果可以作为专项复核结构计算的工作依据与数据支撑,同时也为现场安全检查提供基础数据^[9-10]。

表 1 水库大坝安全鉴定测量地勘成果

序号	种类	单位	内容
1	测量	项	库区 1:2000 数字化地形图
		项	建筑物 1:500 数字化地形图
		项	大坝及溢洪道等主要建筑物断面图
2	勘察	项	库区 1:2000 地质测绘图
		项	大坝及溢洪道等 1:500(1:1000) 工程地质剖面图
		项	坝体及坝基钻孔注水试验成果
		项	钻探土工试验成果表
		项	坝体及坝基岩土物理力学指标建议值

2.2 现场安全检查

安全评价承担单位根据前期制定的大坝安全鉴定工作计划,组织专家进行现场安全检查,包括查勘工程现场,查阅工程设计、施工与运行资料,与管理人员或熟悉工程情况的人员座谈等,并做好相关记录。重点关注水库大坝防洪、渗流、结构、金属结构等安全问题,同时反映水雨情测报、安全监测、防汛交通、通信条件、管理用房等设施问题以及下游河道、周边环境问题,填写现场安全检查表。根据现场检查情况,结合发现的问题提出质量检测、病害部位勘探试验、专题评价等意见和建议。

从现场安全检查情况来看,对于混凝土坝或砌石坝来说,目前北京区域小型水库典型问题有以下几方面(见图 1):①泄洪排水相关金属结构、机电设备设施

老化、锈蚀,缺乏日常定期维护;②坝体表面砌石勾缝脱落,干砌石松动且凹凸不平;③坝体溢洪段表层混凝土风化冲蚀严重;④部分水库大坝缺乏消能设施或消力池混凝土结构破损严重;⑤水库大坝坝肩与山体接缝处有渗漏现象;⑥近坝库区山体有滑坡情况等;⑦土石坝坝下埋管或混凝土管涵缺乏检查检测。

2.3 专项复核

目前有关规范要求中提出的小型水库安全专题评价主要包括以下四个方面:

a. 对于大坝的防洪标准、设计洪水、抗洪能力的复核,以及水库调洪计算的防洪安全评价。

b. 对于大坝渗流控制措施和渗流性态是否正常的渗流安全评价。

c. 对于大坝变形、强度与稳定性是否满足规范要求的结构安全评价。

d. 对于泄洪建筑物、输水建筑物的闸门、启闭机及电气设备、保障供电可靠性的金属结构安全评价。

2.3.1 防洪复核

对于北京地区小型水库大坝来说,部分老旧水库大坝防洪能力存在一定的问题,主要是部分砌石重力坝坝顶高程复核不满足现行规范要求。小型水库洪峰流量复核,一般依据 2005 年编制的《北京市水文手册:第二分册 洪水篇》查取暴雨参数进而推求设计洪水。根据地形和气候特征等情况,将北京无实测洪水资料的山区分为三个区:背山区、山后区和山前区。背山区(I区)指延庆盆地和白河上游地区;山后区(II区)包括永定河、清水河地区和潮河密云水库上游地区;山前区(III区)指山前迎风区。在北京山区,若流域缺乏水文资料,一般综合采用经验公式加推理公式(改进推理公式)分析估算设计洪峰流量^[11]。

北京市现用经验公式基本形式如下:

$$Q = KN^m F^n \quad (1)$$

式中: Q 为洪峰流量, m^3/s ; K 为综合系数; N 为重现期, a ; F 为流域面积, km^2 ; m 、 n 为指数。

对于 $20km^2$ 以上山区,主要采用以下推理公式:

$$Q_p = 0.278\psi FS/\tau^n \quad (2)$$



图1 砌石坝现场安全检查典型问题

式中： Q_p 为洪峰流量， m^3/s ； S 为最大 1h 降雨量， mm ； F 为流域面积， km^2 ； n 为暴雨递减指数； ψ 为洪峰径流系数； τ 为汇流时间， h 。其最适合面积在 $90 \sim 700 km^2$ 。

20 km^2 以下山区，主要采用以下改进推理公式：

$$Q = 0.278Fh_i/t \quad (3)$$

$$\tau = 0.278\theta/(mQ^{1/4}) \quad (4)$$

计算时采用先列表后图解的方法，分别计算不同历时的 $Q-t$ 、 $Q-\tau$ 关系，在坐标纸上点绘两条相关线，

其相交点坐标即为所求洪峰流量 Q_p 、汇流历时 τ 。建议此方法仅在小流域使用。

部分北京地区小型水库存在防洪能力偏低的现象，高风险水库大坝有必要搜集近年极端降雨资料作为水库防洪能力评估复核的依据。

2.3.2 渗流复核

对于北京地区小型水库大坝，通过现场检查大坝渗流表象，初步判断大坝渗流安全状况。当工程存在土石坝上游坝坡塌陷、下游坝坡散浸、渗流量在相同条

件下不断增大、渗漏水出现浑浊或可疑物质等现象时,可初步认为大坝渗流性态不安全或存在严重渗流安全隐患,需进一步采用监测资料分析法或计算方法进行分析。当小型水库大坝监测资料缺乏且精度低,无法反映大坝实际渗流状况时,一般采用现场检查法和计算方法进行复核。

以小型水库大坝常见的土石坝为例,采用有限元

法对大坝进行渗流计算,根据大坝现状最大横断面简图(见图2)建立有限元模型,模型范围为大坝向上游与下游各取12m,建基面以下取12m。采用四边形单元为主、三角形单元为辅的方式进行有限元网格剖分,大坝共包括1847个单元、1918个节点,得到的有限元网格见图3。

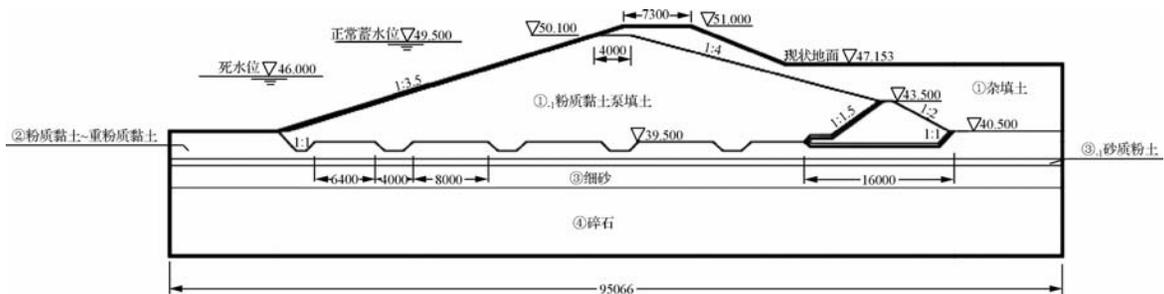


图2 大坝渗流计算断面简图(高程单位:m,尺寸单位:mm)

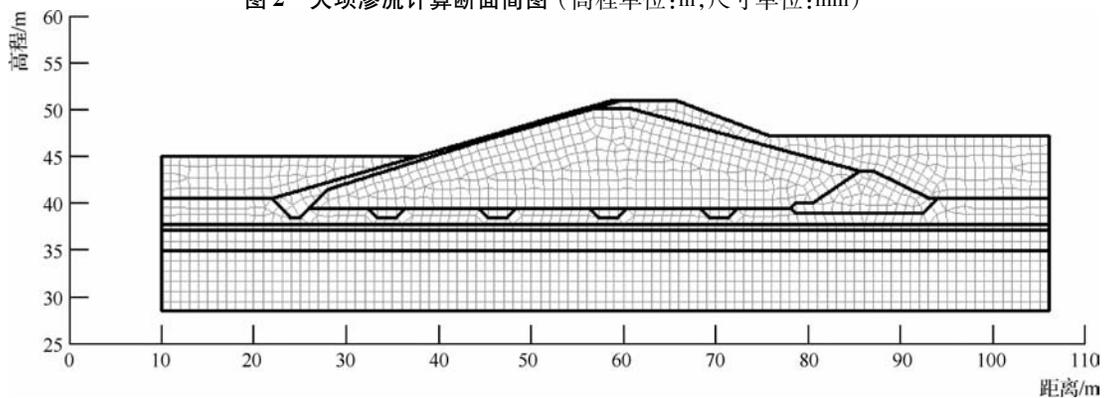


图3 大坝渗流计算有限元网格剖分

参考《碾压式土石坝设计规范》(SL 274—2001)规定,渗流计算应考虑运行中出现的不利工况条件,按稳定渗流考虑,并考虑以下渗流计算工况:

a. 正常蓄水位工况:上游正常蓄水位49.500m,下游对应水位取47.153m。

b. 设计洪水位工况:上游设计洪水位49.700m,下游对应水位取47.153m。

c. 校核洪水位工况:上游校核洪水位50.400m,下游对应水位取47.153m。

d. 水位骤降工况 I:上游水位按水位降落速度0.1m/d由正常蓄水位49.500m骤降至死水位46.000m,下游对应水位取47.153m。

e. 水位骤降工况 II:上游水位按水位降落速度0.5m/d由正常蓄水位49.500m骤降至死水位46.000m,下游对应水位取47.153。

大坝渗流计算的渗透坡降、渗流量及逸出点成果见表2,计算的浸润线位置及等势线见图4~图8。

对于均质土坝,以上计算结果应与大坝该断面实际高水位形成稳定渗流的测压管资料,或者前期地勘钻孔观测到的坝体浸润线进行比较,两者值比较接近时,计算结果才比较符合实际。如果差距较大,应结合坝体、坝基渗流量监测资料,或根据勘察钻探资料确定坝体渗透性分区和渗透系数,计算各级水位的浸润线、渗流坡降,同时进行渗流量的拟合计算。

表2 各工况渗流分析结果

计算工况	部 位	最大渗透坡降	最大渗透坡降 出现高程/m	允许渗透坡降	单宽渗流量/ [m ³ /(d·m)]	渗透稳定
正常蓄水位	坝体出逸	0.24	47.49	0.5~0.6	1.89	满足
	坝基壤土	0.12	38.20	0.5~0.6		满足
	坝体填土	0.40	44.94	0.5~0.6		满足
设计洪水位	坝体出逸	0.28	47.53	0.5~0.6	2.37	满足
	坝基填土	0.16	38.45	0.5~0.6		满足
	坝体壤土	0.44	44.95	0.5~0.6		满足
校核洪水位	坝体出逸	0.36	47.59	0.5~0.6	2.63	满足
	坝基壤土	0.20	38.68	0.5~0.6		满足
	坝体填土	0.48	45.00	0.5~0.6		满足
水位骤降工况 I	坝体出逸	0.06	47.58	0.5~0.6	0.64	满足
	坝基壤土	0.03	38.20	0.5~0.6		满足
	坝体填土	0.30	44.90	0.5~0.6		满足
	上游坡面	0.21	45.81	0.5~0.6		满足
水位骤降工况 II	坝体出逸	0.09	47.83	0.5~0.6	0.63	满足
	坝基壤土	0.04	38.36	0.5~0.6		满足
	坝体填土	0.32	45.00	0.5~0.6		满足
	上游坡面	0.22	45.89	0.5~0.6		满足

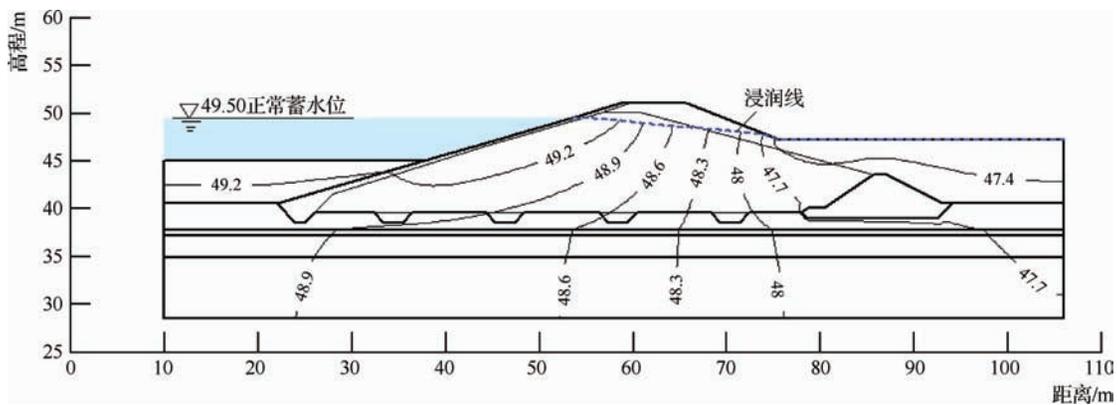


图4 正常蓄水位工况浸润线位置及等势线

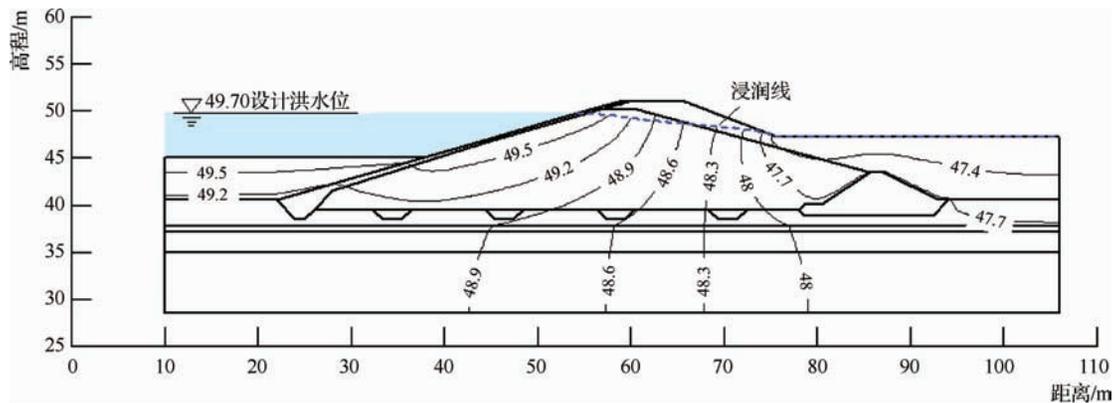


图5 设计洪水位工况浸润线位置及等势线

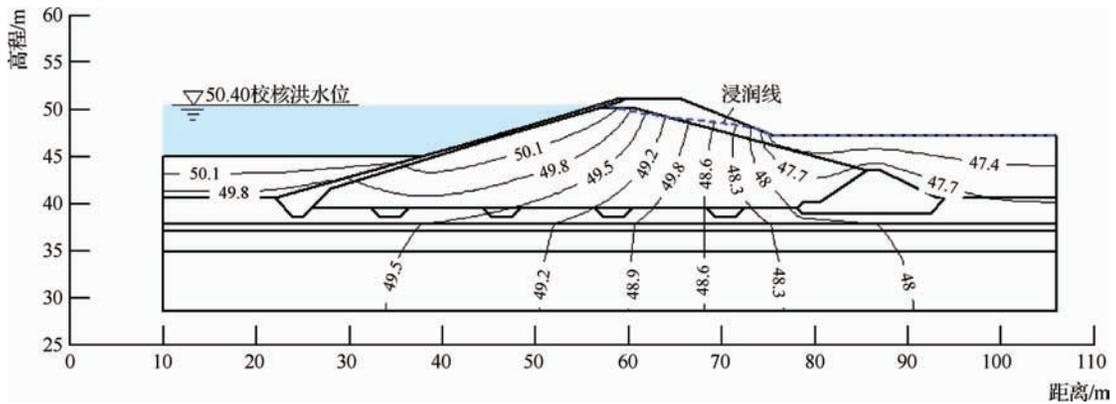


图6 校核洪水水位工况浸润线位置及等势线

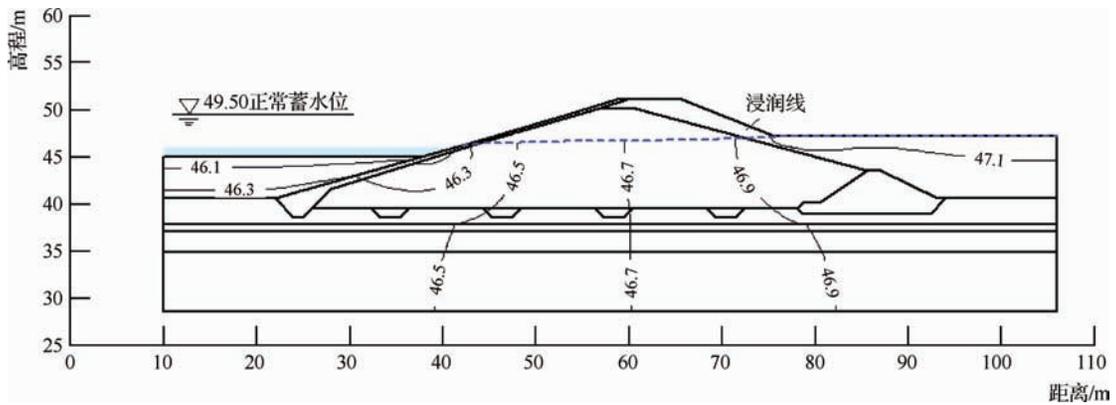


图7 水位骤降工况 I 等势线及浸润线位置(3.5日终降时)

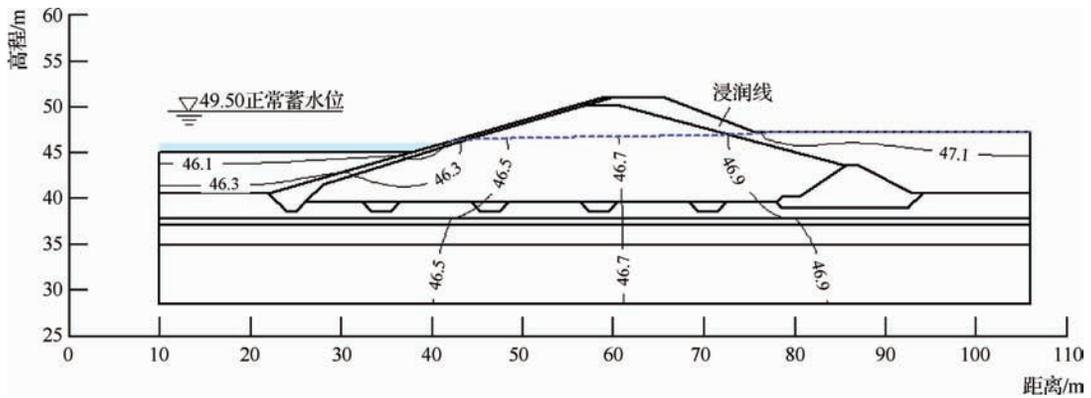


图8 水位骤降工况 II 等势线及浸润线位置(7日终降时)

2.3.3 结构复核

结构安全复核主要复核大坝变形、强度与稳定性是否满足规范要求。

目前,结构安全复核一般会综合采用现场检测资料、监测资料和结构计算等两种及以上方法对大坝及相关结构进行评价,由于小型水库的设计及现场监测

资料通常缺失,需要通过工程地质勘察确定坝体填筑质量、坝基岩石土样物理参数等,作为结构计算复核的基本参数。

以响潭水库砌石重力坝为例,参考《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2018),结构复核主要复核强度与稳定性,在正常蓄水位和校核洪水水位工况下,合理选取

典型横断面,采用抗剪断强度计算公式和抗剪强度计算公式确定抗滑稳定安全系数,采用同时计入动、静力作用下的弯曲和剪切变形的材料力学法进行强度计算。

2.3.3.1 计算截面

选取的典型横断面见图9~图10。

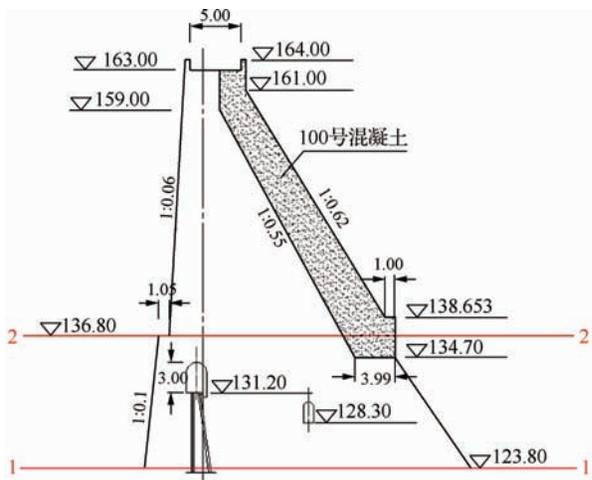


图9 选取的典型横断面1(非溢流坝段计算截面1-1与2-2)

(单位:m)

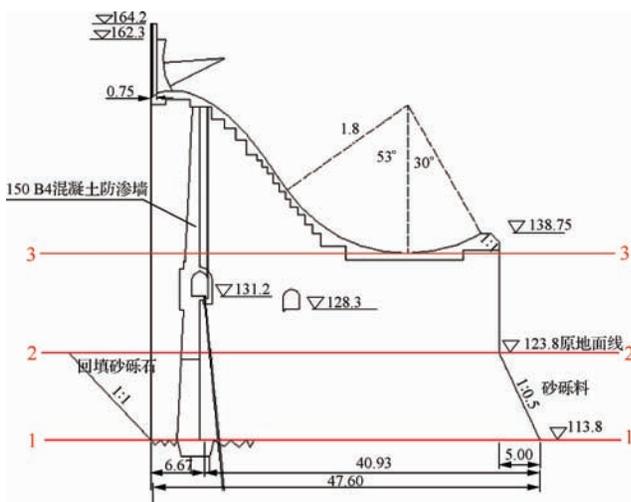


图10 选取的典型横断面2(溢流坝段计算截面1-1、2-2、3-3)

(单位:m)

2.3.3.2 抗滑稳定计算参数

参考现场地勘报告,以及对应规范附录D中坝基岩体力学参数表D.0.2的Ⅲ级岩体选取抗滑稳定计算的抗剪摩擦系数、抗剪断摩擦系数和黏聚力值,见表3。

表3 坝基面抗滑稳定计算参数

计算截面	抗剪摩擦系数 f	抗剪断摩擦系数 f'	抗剪断黏聚力 C'/MPa
非溢流坝段	0.65	1.10	1.10
溢流坝段	0.65	1.10	1.10

2.3.3.3 强度计算参数

根据已有工程设计书或者现场地勘报告,确定坝体浆砌石天然密度最大值为 $2.78\text{g}/\text{cm}^3$,最小值为 $2.33\text{g}/\text{cm}^3$,平均值为 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$,单轴饱和抗压强度最大值为 151.46MPa ,最小值为 21.08MPa ,平均值为 81.97MPa ;基岩的天然密度最大值为 $2.86\text{g}/\text{cm}^3$,最小值为 $2.69\text{g}/\text{cm}^3$,平均值为 $2.74\text{g}/\text{cm}^3$,单轴饱和抗压强度最大值为 108.25MPa ,最小值为 41.32MPa ,平均值为 77.49MPa 。

2.3.3.4 计算工况

正常蓄水位工况:上游水位 161.8m ,下游对应水位 125.0m 。

校核洪水位工况:上游水位 163.0m ,下游对应水位 128.2m 。

2.3.3.5 荷载计算结果

为进行稳定和强度计算,需先进行荷载计算。正常蓄水位与校核洪水位两种工况下主要计算荷载包括坝体自重、静水压力、扬压力等,扬压力根据所给出的各个截面的扬压力水头进行计算。各计算截面主要荷载计算结果见表4。

表4 各计算截面主要荷载计算结果

计算断面	计算工况	自重/kN	上游静水压力/kN	扬压力/kN	
非溢流坝段	1-1 截面	正常蓄水位	18218.71	7082.62	5039.81
		校核洪水位	18218.71	7442.26	5358.45
	2-2 截面	正常蓄水位	9281.00	3065.63	2701.97
		校核洪水位	9281.00	3366.99	3293.33
溢流坝段	1-1 截面	正常蓄水位	33203.12	10790.80	10119.96
		校核洪水位	33203.12	10856.14	12361.67
	2-2 截面	正常蓄水位	21601.81	7082.62	6544.21
		校核洪水位	21601.81	7537.22	8133.10
	3-3 截面	正常蓄水位	8121.01	3179.48	1733.51
		校核洪水位	8121.01	3807.16	3057.01

2.3.3.6 坝体抗滑稳定性分析计算结果

在正常蓄水位以及校核洪水位三种工况下,基于渗流复核计算确定的各坝段横剖面坝基扬压力结果,考虑结构自重、静水压力、扬压力和地震作用等荷载,运用刚体极限平衡法中的抗剪断强度公式和抗剪强度公式分别计算坝体沿建基面的抗滑稳定。依据规范公式分别核算后的抗滑稳定安全系数 K' 和(由抗剪断强度公式推导) K (由抗剪强度公式推导)见表5。

表5 建基面抗滑稳定安全系数

桩号	计算工况	安全系数 K'	规范允许最小安全系数值 K'	安全系数 K	规范允许最小安全系数值 K
非溢流坝段	正常蓄水位	7.20	3.0	1.29	1.05
	校核洪水位	6.82	2.3	1.21	1.00
溢流坝段	正常蓄水位	7.27	3.0	1.43	1.05
	校核洪水位	7.21	2.3	1.37	1.00

由表5所列结果可以看出在正常蓄水位以及校核洪水位两种工况下,根据规范推荐公式分别计算出的响潭水库非溢流和溢流这两个坝段的抗滑稳定安全系数值均大于最小允许安全系数值。因此,水库重力坝满足两种工况的坝基面抗滑稳定要求。

2.3.3.7 坝体强度评价结果

在正常蓄水位以及校核洪水位两种工况下,基于渗流复核计算确定的各坝段横剖面坝基扬压力结果,考虑结构自重、静水压力、扬压力等荷载,运用规范公式计算坝踵和坝趾处的垂直应力,计算结果见表6。

表6 各截面上下游面的垂直应力

计算截面		计算工况	上游垂直应力 σ_{yu}/kPa	下游垂直应力 σ_{yd}/kPa
非溢流坝段	1-1 截面	正常蓄水位	201.71	663.59
		校核洪水位	171.20	681.35
	2-2 截面	正常蓄水位	246.39	356.37
		校核洪水位	174.88	376.79
溢流坝段	1-1 截面	正常蓄水位	450.32	549.19
		校核洪水位	343.77	603.28
	2-2 截面	正常蓄水位	274.39	432.54
		校核洪水位	233.95	435.35
	3-3 截面	正常蓄水位	306.65	-8.65
		校核洪水位	224.36	50.35

计算结果的符号约定如下:压应力为正,拉应力为负。

根据各截面的垂直应力计算结果,两种工况下,响潭水库重力坝上游坝踵垂直应力未出现拉应力,且均小于基岩容许承载力值。坝体结构应力中,最大主压应力为校核洪水位工况下非溢流坝段 1-1 截面处的下游垂直应力,数值为 681.35kPa,小于坝体压应力容许值。经校核,所选断面的上下游边缘垂直应力均符合强度指标。

2.3.4 金属结构

对于北京地区小型水库来说,一般通过现场巡视检查和历史资料分析对水库金属结构部分进行评价,必要时也需进行金属结构无损检测。水库中的灌溉(排水)管大多处于废弃或闲置状态,锈蚀较严重;有些设有溢洪道闸门的水库由于定期保养维护,金属结构相对较完好,但也存在局部止水装置老化、防腐涂层脱落、闸门局部锈蚀等典型问题,启闭机、闸门等其他设备均能正常运行。这些问题通过加强日常保养与维护完全可以解决。

3 结语

水库大坝安全评价是做好水库大坝管理很重要的基础工作,小型水库与大中型水库的基本要求相同,但小型水库由于规模小,基层技术力量薄弱,资金投入少,相较于大中型水库容易被忽视。

水库大坝出现事故或问题从根本上应归咎于人为因素。如何降低库水位,以及选择合适的防洪设计标准都需要设计者去设计和复核,不合适要重新调整。因此,只有做好小型水库安全评价工作,特别是小型水库大坝现场安全检查工作、泄洪能力复核、结构安全复核,根据每个小水库的具体情况,做到“一库一策”,才能从根本上保证水库大坝的安全。◆

参考文献

- [1] 水库大坝安全评价导则:SL 258—2017[S].北京:中国水利水电出版社,2017.
- [2] 北京市第一次水务普查工作领导小组办公室.北京市第一次水务普查成果丛书:水利工程普查成果[M].北京:中国水利水电出版社,2013.

(下转第62页)

土坝渗压分析一元线性回归模型构建与应用

秦根泉^{1,3} 田 慧^{1,3} 苏晓林²

(1. 四创科技有限公司, 福建 福州 350100;

2. 福州大学土木工程学院, 福建 福州 350100;

3. 福建省防灾减灾信息应用工程技术研究中心, 福建 福州 350100)

【摘要】 为研究一种建立土坝渗压分析回归数学模型的方法, 在东圳水库选取两支编号为 BS3、BS4 的渗压计, 收集该渗压计的历史监测数据和相应水库水位监测数据, 经 Grubbs 准则处理后, 先采用最小二乘法分别建立两监测数据间的一元线性回归模型, 采用相关系数法进行可信度检验, 并应用模型预测渗压值和控制库水位。所建立的两个回归模型的相关系数分别为 0.911、0.850, 相关性良好, 符合正常规律, 且两者相互预测的区间都较为准确。随后应用该方法建立东圳水库全部 29 个渗压计数据的回归模型, 进行分析验证, 并对少部分相关差异性较大的渗压计进行了归因分析, 论证了该模型的适用性。研究结果表明土坝渗透压力和上游水位相关性较强, 可通过构建一元线性回归模型进行预测预报。

【关键词】 渗压; 最小二乘法; 回归模型; 预测控制; 东圳水库

中图分类号: TV877

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-073-08

Construction and application of unitary linear regression model for earth dam seepage pressure analysis

QIN Genquan^{1,3}, TIAN Hui^{1,3}, SU Xiaolin²

(1. Sichuang Technology Co., Ltd., Fuzhou 350100, China;

2. Civil Engineering College of Fuzhou University, Fuzhou 350100, China;

3. Fujian Disaster Prevention and Mitigation Information Application Engineering Technology Research Center, Fuzhou 350100, China)

Abstract: A method of establishing the regression mathematical model of earth dam seepage pressure analysis is studied in the paper. Two osmometers numbered BS3 and BS4 are selected as representatives in Dongzhen Reservoir, and the historical monitoring data of seepage pressure and upstream water level are selected and processed by Grubbs criterion. Subsequently, the least square method is used to establish one-variable linear regression model between the two monitoring data, respectively. And the correlation coefficient method is used to test the reliability, and the model is used to predict the seepage pressure value and control the water level of reservoir. The correlation coefficients of the two regression models established are 0.911 and 0.850 respectively, which are well correlated and conformed to normal laws. And the results of

收稿日期: 2021-07-02

作者简介: 秦根泉(1977—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事水利工程设计和智慧水利平台方面的研究。

mutual prediction of seepage pressure value and reservoir water level are quite accurate. Then, this method is used to establish all 29 piezometer data regression models of Dongzhen Reservoir. The results are mostly well correlated, and attribution analysis is performed on a small number of poorly correlated data, the applicability of the model is demonstrated. The research results show that there is a relatively strong correlation between the seepage pressure of the earth dam and the upstream water level, which can be predicted and forecasted by constructing one-variable linear regression model.

Keywords: seepage pressure; least square method; regression model; predictive control; Dongzhen Reservoir

大坝建成蓄水后,渗漏问题一直是影响大坝整体安全的一个重要因素。就土石坝而言,因防渗机理和筑坝材料特性的原因,大坝挡水渗流安全分析显得尤为重要^[1]。前期,很多学者针对大坝渗流监测资料异常值成因分析、数据变化规律分析、安全监测系统研究及预测模型研究等展开了一系列的定性分析和工程实践验证,以此来评价工程的安全现状并推断未来变化趋势^[2-4]。如雷艳等^[5]基于实际工程特点建立考虑不同分区的有限元渗流分析模型,对水库土石坝进行了稳定-非稳定渗流分析,进而判断工程是否出现渗透破坏,为相似工程提供理论方法参考。吕高峰等^[6]利用有限元分别计算测值异常增大前后的渗流场,并进行对比分析,以掌握测值异常增大对黏土斜心墙及渗流稳定的影响,为工程后期运行提供参考性意见。秦继辉等^[7]将逐步回归模型(SRA)、小波神经网络模型(WNN)和基于逐步回归和小波神经网络的土石坝渗压预测模型(SRA-WNN)进行对比,得出在土石坝渗压预测中,前两种模型得到的预测误差均高于SRA-WNN模型,且建立SRA-WNN模型的输入因子更为合理,更能反映出大坝渗流状况。刘聪^[8]结合工程实例,以土体渗透系数与土体体积应变之间的关系作为耦合的桥梁,用迭代耦合算法对该工程进行渗流与应力耦合分析,得出在工程设计时考虑渗流场和应力场耦合作用将会更加有利于提高土石坝体的安全性。王宇等^[9]针对土石坝渗流安全预测预警,采用重标度极差分析方法(R/S分析),阐释了渗流时间序列具有分形标度不变性,揭示了渗流时间序列具有趋势性和随机性双重特性。

现有的研究偏重于对大坝渗流分析方法应用及特定的工程渗流安全问题进行分析,鲜有关于工程数字模型建立方法和应用效果的系统介绍。本研究依据东圳水库较为完整的大坝坝体渗压监测资料和统计学回

归分析理论,对水库水位与渗压监测值的非确定性关系进行了公式推导,建立一元线性回归模型,实现了渗压值预测和水库安全允许水位控制的应用。通过对该工程29个渗压监测计的数据进行分析,得出了东圳水库大坝渗流监测相关性整体分析结果,并对该模型的可靠性和适用性进行了评价。

1 项目背景

东圳水库^[10]位于福建省莆田市境内的延寿溪中游,是一座具有灌溉、防洪、发电、航运、养殖、游览等综合效益的大(2)型水利枢纽工程,防洪标准按1000年一遇洪水设计,10000年一遇洪水加20%校核,水库总库容4.35亿 m^3 ,电站总装机容量3台共计6320kW。该工程主要分为枢纽工程和渠道工程两大部分,其中枢纽工程由大坝、输水涵洞、溢洪道三部分建筑物组成。大坝坝型为黏土心墙坝,坝长367m,最大坝高58.6m,顶宽8.34m,见图1。



图1 东圳水库大坝

东圳大坝于1960年建成,2014年除险加固时,建设了较为完备的变形、渗压和渗流监测项目。其中,渗压、渗流监测项目主要包括坝体渗流监测、绕坝渗流监测等。渗流监测在坝体设置了4个断面和左、右岸各一组绕坝断面,总共设置了29孔测压管,渗压监测项目基础信息见表1。测压管内监测数据于2018年4月

25 日始测,采用的是渗压计自动化监测,监测周期在 运行初期为 30min,正常运行期为 8h。

表 1 大坝渗压计编号信息

监测断面	孔位轴距	管号	测点部位/高程/m	监测断面	孔位轴距	管号	测点部位/高程/m
B0 + 090	Z0 - 001	BS1	心墙/54.32	B0 + 235	Z0 + 009	BS16	坝基/44.38
		BS2	坝基/49.47		Z0 + 071	BS17	坝基/26.70
	Z0 + 009	BS3	心墙/47.35	B0 + 310	Z0 - 001	BS18	心墙/61.88
		BS4	坝基/45.46			BS19	坝基/57.30
	Z0 + 071	BS5	坝基/31.45		Z0 + 009	BS20	心墙/60.72
	Z0 + 130	BS6	坝基/32.44			BS21	坝基/60.72
B0 + 155	Z0 - 001	BS7	心墙/53.19	B0 + 036	Z0 - 001	RR1	坝基/62.78
		BS8	坝基/35.15		Z0 + 019	RR2	坝基/67.15
	Z0 + 009	BS9	心墙/42.36	B0 + 060	Z0 + 009	RR3	右坝肩/34.80
		BS10	坝基/37.18	B0 + 210	Z0 + 165	RL1	左坝肩/23.40
	Z0 + 071	BS11	坝基/26.58	B0 + 276	Z0 + 108	RL2	左坝肩/27.45
	Z0 + 130	BS12	坝基/26.55	B0 + 309	Z0 + 065	RL3	左坝肩/53.40
B0 + 235	Z0 - 001	BS13	心墙/51.30	B0 + 355	Z0 - 001	RL4	坝基/71.15
		BS14	坝基/43.24		Z0 + 019	RL5	坝基/57.82
	Z0 + 009	BS15	心墙/44.38				

2 土坝渗压分析回归模型建立

2.1 数学模型建立方案

本文选取东圳水库大坝 B0 + 090 断面的渗压计 BS3、BS4 作为代表,通过收集、运用历史数据,研究模型构建方法并分析模型应用效果。建模过程包括数据预处理、建立数学模型、模型显著性检验。

2.2 监测数据预处理

2.2.1 数据预处理方法

前期研究表明,在一系列的大坝监测值中出现异常值是不可避免的。异常值对回归分析有显著影响,严重地影响对参数的估计,引起较大的残差,进而影响回归方程的拟合效果及预测预报性能^[11]。常用的异常值统计检验法有拉伊达(3 σ)、格拉布斯(Grubbs)、狄克松(Dixon)及 t 检验(3S, 又称罗曼若夫斯基准则)等准则,均是以正态分布和小概率原理为基础的^[12]。根据选取的数据特性,本文采用的方法是 Grubbs 准则。

根据 Grubbs 准则,服从正态分布的监测值序列若存在异常值,则有统计量

$$G = \frac{|x_d - \bar{x}|}{S_n} > \alpha$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中: x_i 为序列监测值; x_d 为待检验的监测值; \bar{x} 为序列监测值的平均值; S_n 为序列监测值的标准差; α 为 Grubbs 准则的临界值表中的显著性水平^[13]。

2.2.2 数据预处理结果

选取渗压计 BS3、BS4 各 20 组监测数据,根据上述计算公式,首先对渗压计监测数据进行预处理分析。采用 Grubbs 准则法对 2 个渗压计监测值和水库水位进行统一检验,得到其 G 统计量和临界值(显著性水平 $\alpha = 0.05$),见表 2。结果显示,仅 2018 年 12 月 21 日 8 时水库水位监测值的 G 统计量(4.25)大于临界值(2.56),检查发现,该数据对应的水位值为 35.3m,低于水库死水位(50m),明显异常,应予以剔除。

2.3 建立数学模型

对于大坝渗流监控预报,目前出现了多种方法和模型,主要包括统计回归模型、时间序列模型、支持向量机模型以及神经网络模型等。其中,统计回归模型有着模型结构简单、参数少的特点,同时能够较好地

表2 BS3与BS4号渗压计监测值与G统计量

监测日期	监测数据			G统计量			临界值 $\alpha = 0.05$
	BS3 管水位/m	BS4 管水位/m	水库水位/m	BS3 管水位/m	BS4 管水位/m	水库水位/m	
2018-12-22 0:00	72.88	72.65	75.69	1.54	1.41	0.21	2.56
2018-12-21 16:00	72.88	72.64	75.7	1.54	1.65	0.21	2.56
2018-12-21 8:00	72.89	72.68	35.3	1.27	0.67	4.25	2.56
2018-12-20 16:00	72.89	72.66	75.73	1.27	1.16	0.21	2.56
2018-12-20 8:00	72.90	72.67	75.74	0.99	0.92	0.21	2.56
2018-12-19 8:00	72.92	72.69	75.77	0.44	0.43	0.22	2.56
2018-12-19 0:00	72.92	72.69	75.78	0.44	0.43	0.22	2.56
2018-12-18 16:00	72.92	72.68	75.79	0.44	0.67	0.22	2.56
2018-12-18 0:00	72.93	72.71	75.81	0.17	0.06	0.22	2.56
2018-12-17 16:00	72.94	72.7	75.82	0.11	0.18	0.22	2.56
2018-12-17 0:00	72.94	72.72	75.67	0.11	0.31	0.21	2.56
2018-12-16 16:00	72.94	72.71	75.85	0.11	0.06	0.23	2.56
2018-12-16 0:00	72.95	72.72	75.87	0.39	0.31	0.23	2.56
2018-12-16 0:00	72.95	72.72	75.87	0.39	0.31	0.23	2.56
2018-12-15 16:00	72.88	72.70	75.88	1.54	0.18	0.23	2.56
2018-12-15 0:00	72.96	72.73	75.9	0.66	0.55	0.23	2.56
2018-12-14 0:00	72.98	72.75	75.92	1.21	1.04	0.23	2.56
2018-12-13 16:00	72.98	72.74	75.93	1.21	0.79	0.24	2.56
2018-12-12 8:00	72.99	72.78	75.97	1.49	1.77	0.24	2.56
2018-12-12 0:00	73.00	72.80	75.97	1.76	2.26	0.24	2.56

理非线性和高维数的问题,且在理论上得到的结果为全局最优。本文将大坝的坝体渗透系数、防渗措施、排水措施作为固定边界条件,水库水位作为大坝渗压值变化的唯一可变量,据此假定可建立水库水位和坝体渗压值的一元线性回归方程。

2.3.1 一元线性回归模型方程

假定存在一定关联性的两变量 x 与 y , 两者的关系是不确定的, 则有一元线性回归模型的基本形式

$$\left. \begin{aligned} y &= a + bx + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: a, b, σ^2 是与 x 无关的未知参数; ε 是不可预测的随机变量, 且假定 $E\varepsilon = 0, D\varepsilon = \sigma^2$ 。

又因 ε 为随机变量, 则 y 也为随机变量, 有

$$y \sim N(a + bx, \sigma^2) \quad (3)$$

为对参数作区间估计与假设检验, 假定一组样本容量为 n 的数据序列 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots,$

(x_n, y_n) 。回归分析得 a, b 的估计值 \hat{a}, \hat{b} , 由理论回归方程得

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x \quad (4)$$

式中: y 为 x 的回归函数; \hat{a}, \hat{b} 为回归系数。

2.3.2 最小二乘法参数估计

针对 x 的一组不完全相同的值 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 做独立试验, 得随机变量 y 的相应监测值 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 。因此, 一元回归模型可以写为

$$\left. \begin{aligned} y_i &= a + bx_i + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i &\sim N(0, \sigma^2) \end{aligned} \right\}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \text{各 } \varepsilon_i \text{ 独立} \quad (5)$$

若记

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2 \quad (6)$$

需选取合适的 a, b 的估计值 \hat{a}, \hat{b} , 使得

$$Q(\hat{a}, \hat{b}) = \min_{a, b} Q(a, b) \quad (7)$$

分别求 $Q(a, b)$ 对 a 及 b 的偏导数,并令之为0,得

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial a} &= -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b} &= -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - a - bx_i) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中,根据样本数据 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$, 有

$$\left. \begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \\ \overline{xy} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

把(9)式代入(8)式,得

$$\left. \begin{aligned} a + b\bar{x} &= \bar{y} \\ a\bar{x} + b\bar{x}^2 &= \overline{xy} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

整理上述方程组,即得 a, b 最小二乘估计

$$\left. \begin{aligned} \hat{a} &= \bar{y} - \hat{b}\bar{x} \\ \hat{b} &= \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

即得 y 对 x 的回归方程

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x = \bar{y} + \hat{b}(x - \bar{x}) \quad (12)$$

方程的图形称为回归直线,是一条经过点 (\bar{x}, \bar{y}) , 且斜率为 \hat{b} 的直线。

把 x_i 代入式(12),有

$$\hat{y}_i = \bar{y} + \hat{b}(x_i - \bar{x}) \quad (13)$$

式中, \hat{y}_i 称为回归值。

2.3.3 回归模型的显著性检验方法

变量 x 与 y 无论是否存在相关关系,都能得到样本回归直线,但需对建立的样本回归直线进行检验。根据统计学理论,可通过对式(4)中回归系数 \hat{b} 做显著性检验,检验 x 与 y 的相关显著性,即回归模型的显著性。可采用 F 检验法、 t 检验法、相关系数(R)检验法^[13] 三种方法。本文采用的是相关系数(R)检验法,有

$$R = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2} \sqrt{\bar{y}^2 - (\bar{y})^2}} \quad (14)$$

相关系数 R 体现 x 与 y 线性相关程度。根据数据样本长度 n 和给定的显著性水平 α (一般取值 0.05 或 0.01),查临界值表可得临界值 c 。当 $|R| > c$ 时,说明 x 与 y 两者存在线性相关关系;反之则说明 x 与 y 两者不存在线性相关关系。

2.3.4 回归模型建立与检验

根据上文预处理后的监测数据和建模方法,分别建立两个渗压计监测值与水库水位的一元线性回归模型,并根据式(14)对建立的模型进行显著性检验,结果见表3、图2。

表3 回归模型建立结果

管号	一元线性回归模型	相关系数	临界值 ($n=20, \alpha=0.05$)	显著性判断
BS3	$y = 0.3500x + 46.4028$	0.911	0.444	相关
BS4	$y = 0.3677x + 44.8316$	0.850	0.444	相关

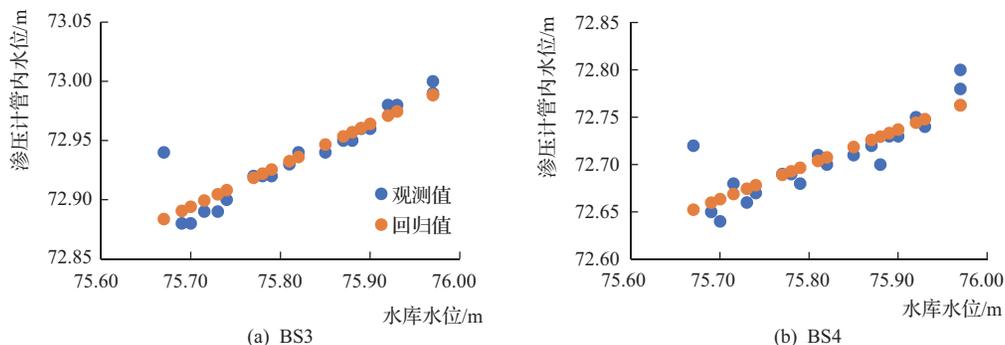


图2 BS3与BS4号渗压计监测值与回归值比较分析

从表3可以看出,BS3和BS4渗压计的相关系数均在0.80以上,均大于临界值0.444,说明这两个渗压计监测值与水库水位存在显著的相关性;且由回归模

型拟合得到的回归值基本符合监测数据的规律(见图2),说明以此建立的一元线性回归模型是有效的,可利用模型方程进行预测与控制。其中,确定的回归模型

显示, 渗压监测值相对水库水位变化的趋势是合理的, 两者的变化斜率均小于1, 分别为0.3500和0.3677, 说明在渗流稳定的情况下大坝渗压与水库水位线性关系较为稳定。

3 应用回归模型预测与控制

3.1 模型预测方法

模型预测是指在大坝渗流稳定期, 输入确定的水库水位值, 对坝内某一具体位置的渗压值和变化范围进行预测。在获得经验回归方程后, 对给定的 $x = x_0$, 将 x_0 代入经验回归方程, 得

$$\hat{y}_0 = \hat{a} + \hat{b}x_0 \quad (15)$$

式中: \hat{y}_0 为 y_0 的预测值, 水库水位和渗压值单位均为 m, 下同。

在一元线性回归模型中, 设 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 相互独立, 则有 $y_0 = a + bx_0 + \varepsilon_0, \varepsilon_0 \sim N(0, \sigma^2)$ 及回归值 $\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x$, 根据正态分布规律, 可得

$$y_0 - \hat{y}_0 \sim N\left(0, \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{n(\bar{x}^2 - (\bar{x})^2)}\right]\right) \quad (16)$$

对于置信度 $1 - \alpha$, 可由

$$P = \{|t| < t_{1-\alpha/2}(n-2)\} = 1 - \alpha \quad (17)$$

得 y_0 的置信度 $1 - \alpha$ 的预测区间为

$$(\hat{y}_0 - \delta(x_0), \hat{y}_0 + \delta(x_0)) \quad (18)$$

其中, $\delta(x_0) = t_{1-\alpha/2}(n-2) \sqrt{\frac{S_E}{n-2} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{n(\bar{x}^2 - (\bar{x})^2)}}$,

$S_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$, 下同。

3.2 模型控制方法

控制是预测的反问题, 当渗压值 y 在某区间 (y_1, y_2) 内取值时, 要求水库水位 x_1 和 x_2 , 当 $x_1 < x < x_2$ 时, x 相应的监测值 y 至少以 $1 - \alpha$ 的置信度落在 (y_1, y_2) 内。要求的 x_1 和 x_2 应为下列方程组的解

$$\left. \begin{aligned} \hat{a} + \hat{b}x - \delta(x) &\geq y_1 \\ \hat{a} + \hat{b}x + \delta(x) &\leq y_2 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

转化为等式方程组, 求得 x_1 和 x_2 为

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= (y_1 - \hat{a} + \sigma \cdot u_{1-\alpha/2}) / \hat{b} \\ x_2 &= (y_2 - \hat{a} - \sigma \cdot u_{1-\alpha/2}) / \hat{b} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

式中, 采用了简化后的 $\delta(x) = \sigma u_{1-\alpha/2}$, 其中, $\sigma = \sqrt{\frac{S_E}{n-2}}$; 当设定一允许渗压值 y 时, 令 $y = y_1 = y_2$, 可用上式求解 x_1, x_2 , 若 $x_1 > x_2$, 控制区间为 (x_2, x_1) , 若 $x_2 > x_1$, 控制区间为 (x_1, x_2) 。

3.3 预测与控制结果分析

依据建立的一元线性回归模型, 对于给定的水库水位和渗压值范围, 预测和控制相应的预测渗压值、渗压值范围和水库水位范围, 其结果见表4。

表4 回归模型预测与控制结果

管号	BS3	BS4	
一元线性回归模型	$y = 0.350x + 46.4028$	$y = 0.3677x + 44.8316$	
预测	给定水库水位	75.78	75.78
	渗压预测值	72.922	72.693
	渗压预测值范围	(72.888, 72.955)	(72.645, 72.741)
控制	给定渗压值	72.95	72.70
	水库水位预测值范围	(75.803, 75.916)	(75.645, 75.953)

模型预测结果显示, 对于给定的水库水位 75.78m, 预测得到的渗压值分别为 72.922 和 72.693, 均在合理范围内, 说明预测结果正常; 预测得到的渗压值范围分别为 (72.888, 72.955) 和 (72.645, 72.741), 也在合理范围内。

模型控制结果表明, 对 BS3 和 BS4 分别给定渗压值 72.95 和 72.70, 其 $1 - \alpha$ 的置信区间均在合理范围, 控制分析得到的水库水位预测值范围分别为 (75.803, 75.916) 和 (75.645, 75.953), 均在库水位正常运行范围内。

4 模型项目应用评价

采用土坝渗压一元线性回归模型方法分别对东坝水库 29 组渗压计 2019 年 9 月 1 日—11 月 19 日期间的监测数据建立了回归方程, 并对监测序列中存在的异常情况进行归因分析 (见表 5)。由相关性分析结果可知, 29 支渗压计回归方程相关系数小于临界值 ($n = 100, \alpha = 0.05$) 的渗压计编号为 BS17、RL1。其他渗压计监测值与水库水位的线性相关性良好, 相关系数最高可达 0.981 (BS16)。大坝渗压值与水库水位的相关性受监测点位置、地质条件、筑坝材料等多种因素影

响。从监测点的位置分析,BS17 渗压计所在位置为坝背水坡坝脚,离上游水库挡水边界距离较远,RL1 位于大坝左右岸坝肩。受两岸山体地下水位或长距离的渗

流路径影响,渗压计的数据和上游水位都有可能减弱相关性,该推论在东圳水库大坝的各渗压计回归方程相关性上得到了一定的验证。

表5 渗压监测序列相关性统计

编号	回归方程	相关系数	临界值	显著性判断	原因分析
BS1	$y = 0.5025x + 31.1798$	0.891	0.197	相关	
BS2	$y = 1.0066x + 5.3355$	0.904	0.197	相关错误	渗压监测值整体上大于水库水位值,渗压计设定的基数有误
BS3	$y = 0.2972x + 49.5646$	0.350	0.197	相关	
BS4	$y = 0.3938x + 42.1538$	0.436	0.197	相关	
BS5	$y = -0.2916x + 58.0253$	-0.547	0.197	相关	渗压计水位和水库水位同步下降,渗压计水位下降速率低于水库水位的下降速率
BS6	$y = 0.0691x + 30.3704$	0.353	0.197	相关	
BS7	$y = 0.1936x + 59.0868$	0.921	0.197	相关	
BS8	$y = 0.2217x + 56.1950$	0.938	0.197	相关	
BS9	$y = 0.4725x + 34.3961$	0.922	0.197	相关	
BS10	$y = 1.2399x - 27.6590$	0.873	0.197	相关	
BS11	$y = -0.2520x + 51.4600$	-0.571	0.197	相关	渗压计水位和水库水位同步下降,渗压计水位下降速率低于水库水位的下降速率
BS13	$y = 0.8344x + 11.0264$	0.952	0.197	相关	
BS14	$y = 0.8474x + 11.1718$	0.952	0.197	相关	
BS15	$y = 0.4045x + 42.7325$	0.979	0.197	相关	
BS16	$y = 0.4056x + 44.3026$	0.981	0.197	相关	
BS17	$y = 0.031x + 38.359$	0.025	0.197	不相关	渗压计位于大坝背水坡坝体与坝基相交处,与坝轴线相距较远
BS18	$y = 0.6635x + 25.2948$	0.865	0.197	相关	
BS19	$y = 0.6933x + 23.2099$	0.869	0.197	相关	
BS20	$y = 0.3935x + 45.7808$	0.828	0.197	相关	
BS21	$y = 0.3942x + 41.3905$	0.827	0.197	相关	
RR1	$y = -3.8089x + 382.47$	-0.719	0.197	相关	主要受右侧山体地下水汇流的影响
RR2	$y = -0.1092x + 79.5413$	-0.293	0.197	相关	主要受右侧山体地下水汇流的影响
RR3	$y = 0.5937x - 0.5466$	0.787	0.197	相关	
RL1	$y = -0.3822x + 103.281$	-0.101	0.197	不相关	主要受左侧山体地下水汇流的影响
RL2	$y = 0.3942x + 41.3905$	0.827	0.197	相关	
RL3	$y = 0.5915x + 29.5743$	0.509	0.197	相关	
RL4	$y = 0.1238x + 45.9381$	0.262	0.197	相关	
RL5	$y = 0.2052x + 21.7568$	0.548	0.197	相关	

5 结 语

a. 依据水库水位和坝体渗压值之间存在明显的非确定相关性判断,对东圳水库两支渗压计采用最小二乘法建立渗压分析一元线性回归方程,并用相关系数法进行相关显著性检验,检验系数均在 0.80 以上,

均大于临界值 0.444,得出这两支渗压计监测值与水库水位存在显著的相关性。

b. 通过对土坝渗流回归模型的预测和控制得到的两支渗压计渗压预测结果和水库安全控制水位均在合理范围,与实际测量值基本吻合。

c. 经检验,东圳水库 29 支渗压计建立的一元线性

回归模型的相关系数和显著性,总体较好,个别渗压计的异常情况原因基本查明,说明该模型方法在土坝渗压分析中是适用的。

d. 本文提出的一元线性回归模型适用于稳定渗流期,鉴于渗流过程的复杂性和阶段性,今后可考虑时间、材料等多种影响因子的变化,进行多元线性回归分析。◆

参考文献

- [1] 郑辉. 基于 GPRS 的大坝监测系统研究与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [2] 何金平. 大坝安全监测理论与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [3] 沙成刚. 基于 Geo-Studio 的土石坝渗流与稳定分析研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
- [4] 刘杰, 谭少华, 李建林, 等. 基于改进遗传算法的渗压分析[J]. 水电自动化和大坝监测, 2005, 29(3): 74-76.
- [5] 雷艳, 王智阳, 张海洋. 赤金峡水库土石坝稳定-非稳定渗流分析与评价[J]. 陕西水利, 2019(10): 7-8.
- [6] 吕高峰, 王玉洁, 周建波, 等. 某黏土斜心墙坝渗压计测值异常与渗流稳定分析[J]. 大坝与安全, 2017(1): 47-50.
- [7] 秦继辉, 吴云星, 谷艳昌. 基于逐步回归和小波神经网络的土石坝渗压预测模型研究[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(5): 1670-1674.
- [8] 刘聪. 土石坝渗流与应力耦合及其工程应用分析[D]. 成都: 西华大学, 2013.
- [9] 王宇, 陈超, 陈祥勇. 土石坝渗流安全预测预警研究[J]. 水利水电技术, 2018, 49(11): 68-74.
- [10] 林锦良. 东圳水库水利工程防渗处理施工技术应用[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 8(42): 179-180.
- [11] 吴中如. 水工建筑物安全监控理论及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 5-6.
- [12] 魏肖怡. 大坝自动化监测数据粗差处理方法探究[J]. 理论探究, 2019(31): 227.
- [13] 周中汉, 王汉江, 李梅, 等. 利用 DPS 剔除测量数据中的异常值[J]. 计量技术, 2007(10): 61-63.
- [14] 盛骤, 谢式千, 潘承毅, 等. 概率论与数理统计[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [15] 张宇驰, 周志维. 中小型水库大坝安全监测设施更新改造初探[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(4): 41-46.
- [16] 陈静茹, 田志军, 张沐川, 等. 长江镇扬河段世业洲左汉幸福河口段崩岸成因分析[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(7): 12-15.
- [11] 刘威, 董婉琪. 基于 AHP-熵权法组合赋权的排水管网风险评估方法研究[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(3): 949-956.
- [12] 宋光兴, 杨德礼. 基于决策者偏好及赋权法一致性的组合赋权法[J]. 系统工程与电子技术, 2004(9): 1226-1230, 1290.
- [13] 盛金保, 李雷, 杨正华. 《水库降等与报废管理办法(试行)》解读与建议[J]. 中国水利, 2008(20): 70, 63.
- [14] 成荣亮, 杨正华, 王昭升, 等. 水库降等与报废评估指标体系与评判方法[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(2): 6-10, 15.
- [15] 任亚周, 张爱军, 胡海军. 国内外水库退役标准对比研究[J]. 中国水利, 2015(20): 11-14.
- [16] 郑守仁. 我国水库大坝安全问题探讨[J]. 人民长江, 2012, 43(21): 1-5.
- [17] 偃师市马涧水库报废论证报告[R]. 郑州: 河南华北水利水电勘察设计有限公司, 2021.
- [18] 张娜. 新疆小型水库降等与报废问题探讨[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(7): 68-71.
- [19] 阮利民. 水利工程运行管理工作现状与展望[J]. 水利建设与管理, 2019, 39(4): 10-13.
- [20] 秦夫锋, 崔为胜, 刘金良. 莒南县小型水库管理的探索与实践[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(11): 37-40, 25.

(上接第 54 页)

- [2] 韩丽红, 吴文强, 杨宝中, 等. 国内外水库降等与报废管理现状与启示[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 39-42.
- [3] 向衍, 盛金保, 袁辉, 等. 中国水库大坝降等报废现状与退役评估研究[J]. 中国科学: 技术科学, 2015, 45(12): 1304-1310.
- [4] 王荣鲁, 叶莉莉, 李哲, 等. 小型水库运行管理问题及对策[J]. 中国水利, 2021(04): 34-37.
- [5] 黄晓丽. 关于加强小型水库安全管理的思考[J]. 中国水利, 2013(18): 40-41.
- [6] 荆茂涛, 杨正华, 蒋金平. 全国水库降等与报废情况调查分析[J]. 中国水利, 2018(20): 12-14, 45.
- [7] 成荣亮, 杨正华. 小型水库降等与报废成本效益评价模型研究[J]. 人民长江, 2016, 47(24): 101-105.
- [8] 秦鹏飞. 水库报废降等综合效益投入评估探析[J]. 水利规划与设计, 2017(10): 96-98.
- [9] 侯慧敏, 周冬蒙, 徐存东, 等. 基于云理论改进 AHP 的泵站节能增效综合评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 15-21.
- [10] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 148-153.

构皮滩升船机船厢空载原位顶升受力 分析与研究

宋金育

(构皮滩水电站, 贵州 遵义 550000)

【摘要】 构皮滩升船机船厢作为大型金属结构,采用分块运抵现场后再组拼、焊接为整体。但在胎架布置时,未考虑钢丝绳连接高程误差,导致钢丝绳无法直接连接到船厢绳孔。本文基于上述情况,提出了船厢原位顶升方案,该方案借用船厢下锁定装置,通过操作液压千斤顶并配合填塞钢支墩和钢垫板,逐步将船厢结构顶升至适当的高程,再将船厢与钢丝绳相连。实践表明该方案具有较强的可操作性,顶升实施过程安全、平稳。理论计算结果也验证了船厢的挠度和受力均满足要求,可为类似工程提供参考经验。

【关键词】 船厢;原位顶升;安全

中图分类号: [TV11]

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)03-081-04

Analysis and research on no-load in-situ jacking force of Goupitan ship lift cabin

SONG Jinyu

(Goupitan Hydropower Station, Zunyi 550000, China)

Abstract: Goupitan ship lift cabin is transported to the site in pieces as a large metal structure. Then, it is assembled and welded as a whole. However, when the bed-jig is arranged, the connecting height error of the wire rope is not considered, therefore the wire rope cannot be directly connected to the rope hole of the cabin. The cabin in-situ jacking scheme is proposed on the basis of the above situation. The cabin lower locking device is adopted in the scheme. The cabin structure is gradually jacked to suitable height through operating the hydraulic jack and combining with the filling steel piers and steel pads. Then, the cabin is connected with the wire rope. The practice shows that the scheme has strong operability and the jacking implementation process is safe and stable. The theoretical calculation results also verify that the deflection and stress of the cabin meet the requirements, which can provide reference experience for similar projects.

Keywords: cabin; in-situ jacking; safety

构皮滩水电站通航建筑物工程由上下游引航道、3座钢丝绳卷扬提升式垂直升船机和2级中间渠道(含通航隧洞、渡槽及明渠)等建筑物组成(升船机整体组

成见图1)。其中,第二级船厢采用全平衡式,船厢结构为钢质槽形结构,由80根钢丝绳悬吊,船厢通过钢丝绳与外侧平衡重相连,以达到全平衡的目的^[1-3]。

收稿日期: 2021-07-12

作者简介: 宋金育(1984—),男,本科,工程师,长期从事水利工程项目升船机建设的施工管理工作。

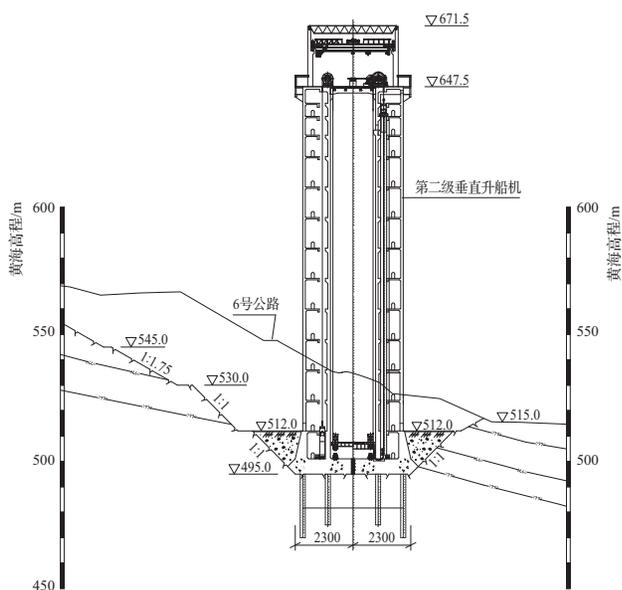


图1 第二级升船机整体面貌

船厢作为大型金属结构,因形体尺寸较大、结构型式复杂,采用分块单元形式,即按照运输及吊装限制条件进行厂内分块制作^[4],将拼装所需胎架根据要求布置在船厢室内,再将分块单元落位在胎架上进行原位拼焊形成整体。施工过程中,在船厢拼焊形成整体后,由于胎架高程不足,发生了船厢结构无法正常连接钢丝绳索结的现象,导致船厢无法正常安装。因此,本文针对上述问题,提出了构皮滩升船机船厢空载原位顶升施工方案,将船厢顶升至预定高程,达到船厢和钢丝绳能够连接的目的。本文对施工流程和船厢受力特性等内容进行重点讨论,并对存在的问题提出了修改建议。

1 船厢空载原位顶升方案设计

根据第二级船厢室的现状,在船厢空载顶升方案设计时^[5],需设定如下两个前提条件:

a. 假定船厢侧向刚度无穷大,即在顶升的过程中不会发生整体倾覆、扭转。

b. 假定船厢顶升支撑点同时工作时,忽略因人工操作和设备误差而引起的加载不同步问题,即假定各个顶升点在顶升过程中是平稳同步进行的,由此还可消除由基准面不平而引起的观测误差。

基于上述两点假定,即可认为船厢在顶升的过程

中能够整体被提升,且不发生平面外任何扭转和倾覆现象,船厢主纵梁始终保持在一个平面,从而重点关注船厢自身平面内的受力、变形和挠曲等问题。

1.1 方案设计

构皮滩第二级船厢初始落位于拼装胎架上,船厢结构已经全部焊接完成,其中船厢下锁定装置已经完全焊接于船厢结构上。顶升方案设计思路为:借用船厢下锁定装置,通过操作液压千斤顶并配合填塞钢支墩和钢垫板,逐步将船厢顶升至适当的高程,再将船厢与钢丝绳相连。

船厢原位顶升施工工艺流程为:施工准备→承船厢数次顶升过程实施→检查承船厢变形及稳定情况→承船厢最后一次顶升→承船厢顶升就位后进行变形量复测及钢丝绳连接。

在船厢下设四个顶升点,每个顶升点下设有6个钢垫墩(一)和4个钢垫墩(二),用于船厢顶升过程中的高度调整互换。每个顶升点配置一台液压泵站,采用一拖四分配阀形成4套液压管路,控制4台千斤顶,从而达到一台泵站控制4台千斤顶的效果,最大程度上保证顶升加载过程的同步性。船厢的顶升点布置见图2。

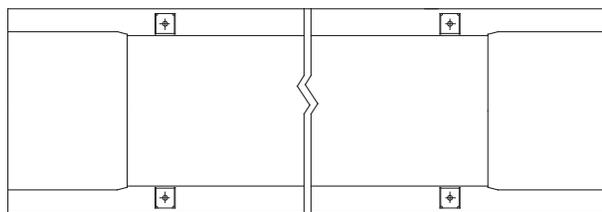


图2 船厢原位顶升点布置

1.2 技术特点

本文所涉及的项目工况为船厢结构原位顶升,根据所设计的方案,在技术上能够实现船厢结构的同步抬升,并且在一定程度上能够保证顶升过程中实现高程微调的目标。在达到目标高程后,作业人员通过液压装置将钢支墩和钢板垫块塞入下锁定梁处,循环操作千斤顶,从而实现船厢结构稳定被提升。从技术特点上,本方案需重点关注同步性和平稳性,以及船厢结构在顶升过程中的挠度问题。

1.3 实施步骤

1.3.1 施工准备

根据施工工艺流程,确定并组织承船厢顶升施工项目的人员,熟悉图纸,掌握工艺及标准,对进入施工的相关人员进行技术交底及安全作业培训;申报消耗材料耗用计划、机械及工器具使用计划。

1.3.2 工作面检查

施工前需要相关责任单位清理船厢室底板杂物,将顶升所需的工器具布置就位。承船厢顶升前,测量承船厢纵梁、底铺板的水平度及垂直度,根据测点的布置情况,制定好测量方案,并做好原始记录。

1.3.3 船厢顶升

第二级船厢与钢丝绳索结高程相差约 1632mm,由于千斤顶行程有限,加之考虑顶升过程中的稳定性、船厢受力等因素,采用分次加载顶升的办法。具体如下。

1.3.3.1 第 1 次顶升

首次顶升时,先缓慢试顶起一部分(约 5~10mm),仔细检查液压千斤顶无异常后,再继续进行顶升。

1.3.3.2 第 2~11 次顶升

首次顶升检查船厢整体情况后,后续每次顶升时,顶升高程控制在 150mm 左右,是因为千斤顶行程大约在 150mm。

1.3.3.3 第 12 次顶升

最后一次顶升时,根据每次顶升过程中记录的数据,计算出最后一次顶升所需要的行程,操作时要统一协调,确保最后一次顶升到位。

1.3.3.4 锁定状态

在船厢顶升至设计高程且完成船厢与钢丝绳的连接后,船厢底部顶升的液压千斤顶需保持保压状态,并进行船厢位置偏差复查。

1.3.3.5 最终检查

为防止完成钢丝绳连接后,解除液压千斤顶过程中,船厢发生上下游摇摆,船厢顶升到位后需继续保持液压千斤顶的顶升状态,此时需在船厢上四条夹紧轨道处布置夹紧锁定装置。船厢主要测点分布见图 3。

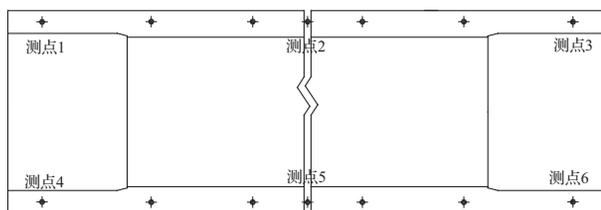


图 3 船厢测点布置

2 受力分析

由图 2 可知,船厢结构受力形式为简支梁,在船厢自重作用下,顶升点两侧承受负弯矩,船厢中部承受正弯矩,船厢结构在自重荷载作用下的受力形式见图 4。

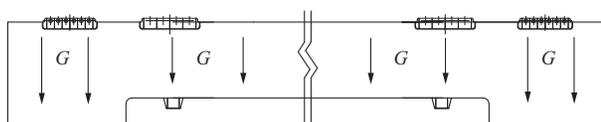


图 4 船厢结构受力

2.1 整体受力分析

第二级船厢承船厢为钢质槽形结构,主纵梁为普通的箱形梁结构,为竖向主要抗弯构件。底铺板采用次纵梁用铺板连接形式,次纵梁从厢头位置开始间隔布置,最终由铺板连接形成一个平面。因此在整体分析时,根据受力性能选择相应截面计算。

由船厢结构受力特性可知,主纵梁跨中弯矩最大,相应的挠度最大。因此选取跨中截面进行最大挠度计算。厢头作为外伸梁,取其自由端作为挠度最大点进行计算。主纵梁和厢头荷载工况下的挠度计算结果见表 1。

表 1 挠度计算结果

部 位	q (N/mm)	EI (N/mm ²)	Δ /mm
厢 头	271	6.08×10^{18}	3.27
主纵梁	200	2.36×10^{18}	4.91×10

由表 1 可知,在自重荷载作用下,厢头因设备层截面刚度较大,所产生的位移为 3.3mm;主纵梁跨中部位所产生的挠度为 49.1mm(主纵梁两支点的距离为 43m,故挠度比为 1:1100),满足《钢结构设计标准》(GB/T 50017—2017)^[6]附录 B 中主梁挠度容许值(容许挠度比为 1:500)的要求。

2.2 局部受力分析

在进行局部受力分析时,仅对支墩处进行局部受压分析,因其余部位无接触,故不做受力计算。

已知船厢目前在安装阶段的重量为 960t,根据顶升点钢支墩的布置原则和部位可知:

a. 单个钢支墩(一)承压力: $P_1 = 960t / (4 \times 6) = 40t = 400000N$, 钢支墩(一)承压面积 $S_1 = 350mm \times 500mm = 175000mm^2$, 钢支墩(一)抗压压强 $= P_1 / S_1 = 400000N / 175000mm^2 = 2.29MPa < \sigma = 235MPa$ 。

b. 单个钢支墩(二)承压力: $P_2 = 960t / (4 \times 4) = 60t = 600000N$, 钢支墩(二)承压面积 $S_2 = 350mm \times 350mm = 122500mm^2$, 钢支墩(二)抗压压强 $= P_2 / S_2 = 600000N / 122500mm^2 = 4.9MPa < \sigma = 235MPa$ 。

经计算可知,顶升点处钢支墩的局部受压应力满足要求。

3 船厢顶升实际观测数据分析

在顶升过程中,根据测点的布置情况,重点关注主纵梁两端悬臂段和跨中段的数据实测值。本次测量共分为 5 次,对设置的观测点进行观测并实时记录数据。船厢在顶升过程中的实时测量结果见表 2。

表 2 沉降观测值

测量次数	测点 1/ mm	测点 2/ mm	测点 3/ mm	测点 4/ mm	测点 5/ mm	测点 6/ mm
0	0	0	0	0	0	0
1	-2	-9	-1	-2	-13	-1
2	-2	-17	-2	-2	-19	-2
3	-3	-26	-2	-2	-30	-3
4	-4	-43	-3	-3	-45	-3
5*	4	43	4	4	44	4

* 表示顶升完成之后,钢丝绳连接到船厢上。

通过实际观测数据可知:

a. 厢头部位(测点 1、测点 3、测点 4、测点 6)的实际挠度值与理论计算接近,说明厢头部位的计算简化较为合理,即应考虑设备层空间大带来的抗弯刚度增大的情况。

b. 主纵梁跨中部位(测点 2、测点 5)的实际挠度

值比计算值偏小,主要是因为理论计算时仅取跨中一个截面的抗弯性能,而未考虑船厢纵向整体协同工作能力,说明计算结果偏于安全,留有一定的安全余量。

测量次数“5*”是指在顶升完成,将钢丝绳连接到船厢上钢丝绳孔后的状态,即挠度值由负转正,说明在 64 根钢丝绳的作用下,船厢整体的变形与放置于胎架上基本相同,船厢整体受力平稳,结构设计合理,受力明确。

4 结论

实践表明,按照本文所提出的船厢原位顶升方案所规定的操作流程,船厢能够被顶升到预定高程位置处,该方案具有较强的可操作性。同时,理论计算表明,船厢的挠度和受力均满足要求,顶升实施过程安全、平稳,能够为类似工程提供参考经验。◆

参考文献

- [1] 马要坡. 构皮滩发电厂升船机明渠柔性止水装置受力分析与研究[J]. 华电技术, 2018, 40(12): 45-47, 79.
- [2] 宋金育, 耿克普, 李航宇. 构皮滩水电站升船机重力式闸门锁定装置受力分析及加固处理[J]. 华电技术, 2019, 41(10): 68-71.
- [3] 耿克普, 宋金育, 全志杰, 等. 构皮滩升船机超重型设备吊装方案设计[J]. 水电与新能源, 2020, 34(9): 53-57.
- [4] 耿克普. 构皮滩升船机承船厢现场拼焊施工设计方案[J]. 华电技术, 2020, 42(1): 63-67.
- [5] 耿克普, 李航宇, 全志杰. 构皮滩升船机入水式承船厢柔性吸能装置研究[J]. 人民长江, 2019, 50(S2): 131-134.
- [6] 钢结构设计标准: GB/T 500017—2017[S]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [7] 袁晓渊, 司黎晶, 王子凯. 钻孔桩和高压旋喷桩在城市河道深基坑支护中的应用[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(12): 48-52.
- [8] 游涛. 水轮机机械超速保护装置调整方法优化[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(12): 60-63.
- [9] 晁燕安, 蒋龙, 李玉峰. 乌东德水电站大坝边坡及建基面精细开挖技术[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(8): 25-30, 4, 19.
- [10] 章啸. 高桩码头钢管斜桩施工关键技术研究[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(2): 53-56.
- [11] 赵根昌. 超长竖井压力钢管安装技术研究[J]. 水利建设与管理, 2019, 39(10): 43-47, 66.