



以人为本 诚信守法
铸造精品工程

广告

河南省水利第二工程局集团有限公司

河南省水利第二工程局集团有限公司始建于1950年,1983年改革为自收自支事业单位,2022年9月整体转制为国有独资企业,现隶属于河南水利投资集团有限公司。公司具备水利水电工程施工总承包壹级、建筑工程施工总承包壹级资质,同时具有公路、市政、输变电、地基和基础处理、钢结构、环保工程施工资质。公司能够独立承担各类大型水库、电站、隧洞、渡槽、涵闸、供水、排灌、河道治理、堤防填筑、桩基、灌浆、钻探等水利水电工程施工和桥梁、公路等交通工程施工,以及电力、工业与民用建筑、基础勘探处理和矿山开采等各类工程施工。

公司承建的郑州市郑东新区熊耳河治理工程、东风渠治理工程、燕山水库工程、河口村水库工程获中国水利工程优质(大禹)奖,陆浑水库除险加固工程、白沙水库除险加固工程、昭平台水库除险加固工程等获河南省水利优秀施工奖,豫江大堤综合整治工程防洪工程、河口村水库工程获中州杯奖(河南省优质工程)和天府杯金奖,燕山水库工程、河口村水库工程获中国建设工程鲁班奖(国家优质工程)。公司为水利部安全标准化建设一级达标单位,获得了中国水利工程协会颁发的“AAA”级企业信用等级证书。

河南省水利第二工程局集团有限公司始终坚持“开拓创新,团结协作,艰苦奋斗,诚实守信”的企业精神,团结拼搏,秉承“管理创品牌,质量求生存,创新求发展,诚信求效益”的经营理念,以“科技创新稳步发展,规范管理多创精品,持续改进质量体系,诚信求实顾客满意”为质量方针,秉承新时代水利精神,信守承诺,孜孜以求,为国家和社会建造精品工程。



参与承建的172项重大水利工程千里淮河第一坝——出山店水库工程,出山店水库是一座以防洪为主,结合供水、灌溉,兼顾发电等综合利用的大(1)型水库,总

库容12.51亿 m^3 ,大坝型式为混合坝型,主坝轴长3690.57m,其中土坝段长3261m,最大坝高27.4m,混凝土坝段长429.57m(含连接坝段),最大坝高40.6m,坝顶高程100.4m。水库主要建筑物由土坝、混凝土坝、南北灌溉洞、电站四部分组成。



参与承建的济源河口村水库,大(2)型水库,总库容3.17亿 m^3 ,坝体为混凝土面板堆石坝,最大坝高122.5m,坝顶长530m;泄洪洞洞径为 $9 \times 13.5m$,设计出水流量4.129 m^3/s ,进水塔高度为102m,荣获“大禹奖”“鲁班奖”。



承建的信阳龙山大闸为大(1)型水闸工程,共9孔,设计水位时泄水量2000 m^3/s ,施工质量评定为优良等级。



参与承建的172项重大水利工程——前坪水库,大(2)型水库,水库总库容5.84亿 m^3 。

Vol.42 No.12 2022

ISSN 2097-0528
CN 11-4446/TV

《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊
《中文科技期刊数据库》收录期刊
《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊
《中国学术期刊网络出版总库》收录期刊
《中国知识资源总库》收录期刊

2022 12 第42卷

水利建设与管理

WATER CONSERVANCY CONSTRUCTION AND MANAGEMENT

公益

二〇二二年 第四十二卷 第十二期



南水北调东线一期工程南家坝泵站工程泵站全貌

ISSN 2097-0528



国内邮发代号: 2-781
定价: 20.00 元

中国水利工程协会主管
Directed by China Water Engineering Association
中国水利工程协会主办
Sponsored by China Water Engineering Association

使命与性格，捍卫安全生产是不可触碰的底线和红线

深水兆业首部企业专著出版发行

深水兆业首部企业专著《安全监理规定动作清单及工作指南》（以下简称《清单及指南》）由华中科技大学出版社正式出版发行。

从公司提出自下而上、自上而下全面梳理安全规定动作清单到《清单及指南》一书发行历时整整两年，这期间经过反复研讨、反复实践应用和反复修正完善的过程，始终坚持谁执行、谁参与、谁表态的原则。

规定动作从国家、行业及主管部门文山规海、多头指令及碎片化要求中解放出来，系统、完整地讲清楚安全监理要做什么，谁来做，怎么做，做到哪一步才是履职尽责。

规定动作从实践中提炼升华，复归于指导实践应用，这是《清单及指南》成书的原则。因此，从规定动作诞生的那一刻起，就决定了它的使命，铸就了它的性格！

——使命——

安全监理规定动作，就是监理履行安全法定职责及完成监理服务所必须执行到位的系统监理工作，有四层含义：

- ①履职尽责。履行安全法定职责必须完成的工作。
 - ②优质服务。完成监理服务必须完成的工作，为委托方提供安全、优质、省心的监理服务。
 - ③构建安全防控体系。构建系统的安全生产管理体系和风险防控体系。
 - ④刚性执行。必须刚性执行，并且像条件反射一样形成习惯。
- 坚决捍卫安全生产是不可触碰的底线和红线，这就是深水监理的使命。

安全监理规定动作清单一览表

序号	层级	规定动作数量（44个）	规定动作
1	监理单位	8	一建二投三培训，四检五整六总结，事故救援和报告，系列动作必留痕。
2	监理单位	10	一建二交三审查，四验五值六整改，七督八停九报告，系列动作必留痕。
3	总监理工程师	11	一建二交三审签，四查五抓六验收，七值守，八整督，九停工，十报告，系列动作必留痕。
4	专业监理工程师	6	一编二审三巡查，四验五督六报告，系列动作必留痕。
5	监理员	5	一巡视，二检查，三旁站，四报告，系列动作必留痕。
6	资料员	4	核查收发与整理，监理动作都留痕。



——性格——

规定动作的性格就是简明、实用。简明而不简单，实用而不累赘。

①动作必有依据，动作合乎规定。《清单与指南》的理论基础来源于《建设工程安全生产管理条例》第十四条规定，融合了《安全生产法》、住建部颁发的《建筑工程安全生产监督管理工作导则》和《关于落实建设工程安全生产监理责任的若干意见》等法律法规对安全监理提出的工作要求。

②做减法，做加法，实现“四化”。《清单与指南》包含三部分：规定动作、工作指引和操作示例。先做减法，从国家、行业及主管部门繁复的文山规海中提炼出规定动作，分为6个岗位层级，44个动作。再做加法，按照国家、行业及主管部门提出的各类工作要求，针对每一个规定动作制定详细的工作指引，进行解读；然后制定标准化的操作示例。就这样，先减再加，使得安全监理复杂事情简单化、简单事情标准化、标准事情流程化、规定动作规范化。

③简单明晰，易记易行。《清单及指南》采用极简表现形式，一个岗位，一张纸，一张表，用简单活泼的话，把全部动作交代清楚。动作如歌诀，朗朗上口，方便记诵。

需要注意的是，监理单位、监理机构、总监或专监的安全监理规定动作全部是按照由内而外的顺序来排列，即先对内完善自我，然后再对外开展工作，监理必须先武装自我再服务业主、管理他人，所谓“内圣而外王”。

近年来，我公司积极响应号召，遵循行业发展方向，坚持开拓创新，促进快速转型升级，致力于构建具有满足现场管理需要和时代需求特色的标准化体系和项目管理体系，立足于全过程咨询管理目标，以“规定动作”和“项目检查”为抓手，实现项目建设全过程科学管控，确保为项目提供优质、安心、省心的标准化服务。

深圳市深水水务咨询有限公司
公司地址：深圳市罗湖区清水河一路116号罗湖投资控股大厦A座4层
邮编：518000 联系电话：0755-22385966 传真：0755-22385900

子公司-深圳市深水兆业工程顾问有限公司
公司地址：深圳市罗湖区清水河一路116号罗湖投资控股大厦A座2003



深水咨询公众号



深水兆业公众号



安全可靠·云网一体·专属定制·经济实用·多云协同



联通云安全数智云

物联感知云+ CIM赋能南京南部新城
铸就智慧城市典范

1套城市运营门户
3万余智能终端
17项智慧应用



扫码关注联通云

WWW.CUCLOUD.CN

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 12 期

(总第 354 期)

2022 年 12 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12期

172 项节水供水重大水利工程专题

1 引汉济渭秦岭隧洞 TBM 卡机脱困分析 赵 力 王 博 魏军政

科研设计

7 独特心墙形式土石坝工程除险加固效能评价分析研究

顾艳玲 杨 孟

13 淹没出流条件下小挑角挑流消能工消能特性研究

熊长鑫 梅家鹏 董宗师

19 真空预压联合电渗法处理软土试验研究

刘巍巍 姜晨阳 陈博涵

24 民乐县高标准农田地表水滴灌工程优化布局模式探讨及应用

韩欣宇

工程施工

29 西藏高海拔碾压混凝土筑坝温控防裂技术与实践

姜顺宏 熊 涛

36 大涌水隧洞超前灌浆技术研究

蔡 畅

45 西霞院工程水下建筑物混凝土缺陷修复施工关键技术研究实践

王京宇 刘焕虎

50 基于 AutoBank 分析高土石围堰边坡稳定影响因素

郝中州 苏茂荣 陈志军

建设管理

58 白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目质量控制

仝雅婷 徐 剑 张明庆

64 水利企业安全生产主体责任落实“十五条”硬措施

马建新

引汉济渭工程专栏

68 三河口大坝施工期浇筑层温控措施优化分析

王佐荣 李晓峰 岳立宇

工程风险管理与保险

76 我国工程保险的发展思考

王 蕊 王海燕 吴庆涛

行业动态

• 2022 年 12 月 10 日,山东省恩县洼滞洪区建设工程通过竣工验收。恩县洼滞洪区建设工程是 2020 年国务院确定的 150 项重大水利工程中第一项通过竣工验收的工程。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202212/t20221214_1620781.html,日期:2022-12-14)

• 2022 年 12 月 11 日,云南省德厚水库通过完工验收。德厚水库是国务院确定的 172 项节水供水重大水利工程之一,位于云南省文山壮族苗族自治州文山市马塘镇境内,是解决红河流域泸江水系盘龙河中上游文砚地区资源性缺水和工程性缺水的核心水利工程。主要功能为城乡生活供水、工业供水、农业灌溉,兼顾发电,概算总投资 22.7 亿元。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202212/t20221212_1620531.html,日期:2022-12-12)

• 2022 年 11 月 29 日,山东省蒙河双墩水库工程开工建设。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202211/t20221129_1619160.html,日期:2022-11-29)

• 近日,水利部办公厅印发《关于推进农村供水工程标准化管理的通知》(以下简称《通知》),旨在全面提升农村供水工程运行管理水平,保障农村供水工程持续稳定发挥效益,助力全面推进乡村振兴。

《通知》指出,要完整、准确、全面贯彻新发展理念,按照中国式现代化的要求,以农村供水工程“设施良好、管理规范、供水达标、水价合理、运行可靠”为着力点,完善农村供水工程标准化管理体系,提升农村供水规范化、专业化、智慧化管理水平,保障工程安全、稳定、长效运行。

《通知》要求,从制定标准化管理方案、完善标准化管理制度、推进标准化管理实施、做好标准化管理评价等方面,根据不同水源类型、工程规模等,因地制宜制定本地区农村供水工程标准化管理实施方案和管理制度,分类有序推进标准化管理。

《通知》强调,各地水行政主管部门要将农村供水工程标准化管理作为“十四五”农村供水保障的重要工作,加强部门协调,强化资源整合和要素保障,多渠道筹措资金,统筹推进。同时,强化激励措施,做好总结宣传,发挥辐射带动效应。

《通知》明确,要健全完善农村供水工程运行管理制度,落实工程管护主体,健全合理水价形成和水费收缴机制,推进工程标准化管理。2025 年底前,千吨万人供水工程全面实现标准化管理;千人供水工程管理水平明显提升。2030 年底前,农村集中供水工程全面实现标准化管理。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202211/t20221124_1612142.html,日期:2022-11-24)

宣传与广告

封面 南水北调东线一期工程蔺家坝泵站工程泵站全貌

封二 深圳市深水水务咨询有限公司

封三 中国联通

封底 河南省水利第二工程局集团有限公司

《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. 本刊已许可中国知网、万方数据、维普资讯、超星域出版、中邮阅读网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用于作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊,即不再另行向作者支付。

4. 凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意上述声明。



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. 12 2022

CONTENTS

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

- 1 Analysis on TBM jamming release of the Qingling Tunnel for Hanjiang-to-Weihe River Valley Water Diversion Project ZHAO Li, WANG Bo, WEI Junzheng

Scientific Design

- 7 Evaluation and analysis of danger removal and reinforcement efficiency of earth-rock dam with unique core wall structure GU Yanling, YANG Meng
- 13 Study on energy dissipation characteristics of trajectory energy dissipater with small-trajectory angle under submerged outflow condition XIONG Changxin, MEI Jiapeng, DONG Zongshi
- 19 Experimental study on soft soil treatment by vacuum preloading combined with electroosmosis LIU Weiwei, LOU Chenyang, CHEN Bohan
- 24 Discussion and application of optimal layout model of high-standard farmland drip irrigation project with surface water in minle county HAN Xinyu

Project Construction

- 29 Technology and practice of temperature control and crack prevention for high altitude RCC dam construction in Tibet JIANG Shunhong, XIONG Tao
- 36 Study on advanced grouting technology of large water gushing tunnel CAI Chang
- 45 Research and practice of key technology for repairing concrete defect of underwater buildings in Xixiayuan Project WANG Jingyu, LIU Huanhu
- 50 Analysis of influencing factors of high earth – rock cofferdam slope stability based on AutoBank HAO Zhongzhou, SU Maorong, CHEN Zhijun

Construction Management

- 58 Quality control of small water conservancy EPC Project of Baihetan Resettlement TONG Yating, XU Jian, ZHANG Mingqing
- 64 Implementation of fifteen tough measures for the main body of safety production of water conservancy enterprises MA Jianxin

Special Column of Hanjiang-to-Weihe River Water Diversion Project

- 68 Optimization analysis of temperature control measures for pouring layer during the construction period of Sanhekou Dam WANG Zuorong, LI Xiaofeng, YUE Liyu

全国水利建设年度完成投资首次突破 1 万亿元

今年全国水利建设完成投资首次突破 1 万亿元,成为新中国成立以来水利建设完成投资最多的一年。2022 年 12 月 14 日,水利部发布水利基础设施建设进展和成效有关情况,水利部副部长刘伟平介绍,截至 11 月底,全国完成水利建设投资 10085 亿元,较去年全年增长 33%。

今年,水利部认真贯彻党的二十大精神,深入践行习近平总书记“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路,坚决落实党中央、国务院决策部署,统筹疫情防控和水利发展,迅速研究提出水利行业落实稳住经济一揽子政策措施的 19 项具体措施,将工作任务精准到项目,实施周会商、月调度,重点任务和重要节点专题部署推进,以超常规工作力度推进水利基础设施建设。截至 11 月底,有 10 个省份完成投资超过 500 亿元,全国水利项目施工直接吸纳就业人数 236 万人,其中农民工 192 万人,有力拉动了上下游相关产业发展。

刘伟平介绍,在发展改革、财政、自然资源、生态环境、林草等部门大力支持下,水利项目审查审批和开工建设速度加快。截至 11 月底,全国累计新开工水利项目 2.5 万个,新增投资规模 1.18 万亿元,较去年全年多开工 3767 项、多增加投资规模 6511 亿元。新开工重大水利工程 46 项,投资规模达 4372 亿元,创历史新高。特别是开工建设了淮河入海水道二期、南水北调中线引江补汉、环北部湾广东水资源配置、太湖吴淞江治理等一批事关流域区域防洪安全、供水安全、生态安全,具有战略意义的重大工程。近期还将开工建设安徽引江济淮二期等重大工程。水利部门加强项目组织实施,严格质量安全管理,强化建设节点控制,保证工程建设进度。引汉济渭秦岭输水隧洞全线贯通、黄金峡水利枢纽大坝全线浇筑至坝顶,云南滇中引水工程 755 公里输水隧洞完成 70% 以上,广东珠三角水资源配置工程隧洞全线贯通,安徽引江济淮工程年底前试通水试通航。全国实施病险水库除险加固 3500 多座,治理中小河流 1.3 万公里。大力实施母亲河复苏行动,治理水土流失面积 6.3 万平方公里。新开工 8 项大型灌区,实施 505 处大中型灌区现代化改造,今年将新增恢复和改善灌溉面积 3370 万亩。农村供水工程已完工 16196 处,提升了 7449 万农村人口供水保障水平,全国农村自来水普及率达 87%,比年度目标提高了 2 个百分点。

刘伟平介绍,水利部建构两手发力“一二三四”工作框架体系,联合金融机构出台水利中长期贷款支持政策,制定推进水利基础设施政府和社会资本合作(PPP)模式发展、投资信托基金(REITs)试点指导意见,拓宽水利长期资金筹措渠道。截至 11 月底,累计落实水利建设投资 11465 亿元,较去年全年增长 43%。其中,利用地方政府专项债券 2024 亿元,较去年全年增长 51.3%;金融信贷和社会资本 3196 亿元,较去年全年增长 77%。

据介绍,2023 年,水利部将锚定全面提升国家水安全保障能力总体目标,统筹水灾害、水资源、水环境、水生态治理,加快构建高质量现代化水利基础设施体系,着力推动新阶段水利高质量发展,为全面建设社会主义现代化国家开好局起好步提供水利支撑。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202212/t20221215_1620843.html 日期:2022-12-15)

引汉济渭秦岭隧洞 TBM 卡机脱困分析

赵力¹ 王博¹ 魏军政²

(1. 陕西省引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024;

(2. 中铁第一勘察设计院集团有限公司, 陕西 西安 710043)

【摘要】 本文以引汉济渭秦岭隧洞 TBM 卡机段为研究对象, 采用现场监测和数值模拟相结合的方法, 分析了脱困施工条件下围岩变形、钢架受力等特征规律。结果表明: 采用控制性人工开挖和及时新增支护, 护盾至撑靴之间换拱卸荷对隧洞岩体的扰动在可控范围; 受临近原拱架扩挖拆除影响, 钢架顶部应力呈增长状态, 增长速率随时间逐步衰减; 随着隧洞的超前扩挖, K51+592.3 处顶拱变形量较大, 围岩变形最大值在紧邻拱顶的两侧位置, 顶拱区域两侧围岩塑性区深度较大; TBM 完成脱困正常开挖后, 锚杆受力值小于设计值, 二衬浇筑完成后钢筋应力基本稳定。

【关键词】 隧洞; 不良地质; 软岩变形; TBM 卡机; 变形监测

中图分类号: TV554

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)12-001-06

Analysis on TBM jamming release of the Qingling Tunnel for Hanjiang-to-Weihe River Valley Water Diversion Project

ZHAO Li¹, WANG Bo¹, WEI Junzheng²

(1. Hanjiang-to-Weihe River Valley Water Diversion Project Construction Co., Ltd., Shanxi Province, Xi'an 710024, China;

2. China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Xi'an 710043, China)

Abstract: In this paper, the TBM jamming section of the Qingling Tunnel for Hanjiang to Weihe River Valley Water Diversion Project is taken as the research object. By combining field monitoring and numerical simulation, the characteristic rules of the surrounding rock deformation and steel frame stress are analyzed under the releasing condition. The results show that the disturbance to the rock mass of the tunnel, which is caused by the arch exchange unloading between shield and support boots, is in a controllable range by using the controlled artificial excavation and timely support. Under the influence of expanding excavation and removal of the adjacent original arch frame, the stress at the top of the steel frame increases, and the increasing rate gradually decays with time. With the advance expansion of the tunnel, the deformation of the arch apex at K51+592.3 is large, and the maximum deformation of the surrounding rock is on both sides of the arch apex. The depth of the plastic zone of the surrounding rock on both sides of arch apex area is large. After the TBM is released and the excavation is normal, the value of the stress is less than the design strength of the bolts, and the

收稿日期: 2022-04-26

基金项目: 2016 年国家十三五重点研发计划专项: 大埋深隧洞围岩大变形及岩爆预测与防控技术(2016YFC0401802); 陕西省水利科技项目: 复杂地质条件深埋长隧洞 TBM 掘进关键技术研究(2017slkj-26)

作者简介: 赵力(1988—), 男, 高级工程师, 主要从事水利工程建设管理及研究工作。



reinforcement stress is basically stable after the secondary lining pouring is completed.

Keywords: tunnel; unfavorable geology; soft rock deformation; TBM jamming; deformation monitoring

随着工程技术的发展,TBM(硬岩掘进机)在水利水电、交通等隧洞建设中得到广泛应用。TBM具有施工速度快、环境友好等优点,但地质适应性较差,诸如软岩大变形、塌方等会使TBM施工面临严峻挑战^[1-2]。软岩大变形破坏与围岩特性、地应力环境、工程扰动等复杂因素有关^[3-6],往往会严重威胁隧洞安全施工及运行,尤其对于TBM掘进施工,软岩、断层破碎带等不良地质容易造成TBM卡机被困^[7-10]。关于卡机脱困方案的制定,需要结合其对围岩、钢拱架、锚杆、衬砌等的影响,开展可行性研判。为有效评估并及时调整施工方案,降低软岩段工程开挖风险,开展TBM卡机脱困施工分析具有重要的现实意义。

在软岩变形和TBM卡机方面,许多学者做了大量的研究工作。王有平^[11]针对九道河隧洞软弱围岩变形洞段,通过变形监测及软岩变形控制相关试验,确定不同围岩类别开挖预留变形量,采用施工措施及时控制围岩变形和松弛;罗立哲等^[12]对隧道不利岩性段,采取拱部、边墙、底板的全断面固结灌浆,施作端头锚固型张拉锚杆,有效减小软弱围岩段隧洞变形;苏珊等^[13]针对新疆某超埋深地下隧洞TBM卡机,提出了护盾后方拱架段加强支护,护盾及刀盘侧顶周围松散塌方体化学注浆、水泥固结注浆使围岩自稳后人工凿除刀盘周边破碎固结体的施工方法;唐祁忠等^[14]以构皮滩水电站尾水隧洞软岩段为例,阐述了特大断面软岩洞室群的工程地质条件及施工技术。

本文以引汉济渭秦岭隧洞TBM卡机脱困施工为研究对象,采用现场监测和数值模拟相结合的方法,分析了脱困施工条件下围岩变形、钢架受力等特征规律,

可为脱困方案的优化和评估提供参考依据和支撑。

1 工程概况

引汉济渭工程是“十三五”期间国家加快推进的172项重大水利工程之一,自汉江及其支流子午河取水,通过隧洞穿越秦岭,向关中平原调水。秦岭输水隧洞作为引汉济渭骨干控制性工程,全长98.3km,最大埋深2012m,工程建设难度大、地质条件复杂,穿越了3条区域性大断裂、4条次一级断层和33条一般断层,涉及岩性20余种。工程设计流量70m³/s,纵比降1/2500。隧洞采用钻爆法和TBM法施工,其中TBM段长达30km以上,采用直径8.02m的圆形断面。TBM施工段通过各断层泥砾带、千枚岩中局部破碎的碳质千枚岩地段,由于岩质软弱,隧洞埋深较大,地应力值相对较高,施工中有可能会产生软岩大变形现象。

2016年5月31日清晨7时32分,TBM施工遭遇高地应力涌出状破碎岩,该段埋深1200m,桩号K51+597.6,护盾后方拱顶围岩破碎、松散,盾尾边墙底部砂砾状渣体不断涌出,流渣填充刀盘并在护盾后方堆积,TBM被迫停机^[15]。

该处隧洞轴线方位角约N10°E,揭露的岩层为千枚岩夹变砂岩、夹碳质千枚岩,弱风化,受地质构造影响严重。根据岩体初始应力场反演分析成果可知,该隧洞洞段附近的应力场优势方位为NW31.4°,与隧洞轴线夹角41.4°,且以水平构造应力场为主,最大水平主应力侧压系数为1.15,变形较大。主应力计算量值及方位角见表1。

表1 局部坐标系下的隧洞围岩稳定性分析典型剖面主应力计算值(桩号K51+597)

σ_1 主应力			σ_2 主应力			σ_3 主应力		
量值/MPa	方位角/(°)	倾角/(°)	量值/MPa	方位角/(°)	倾角/(°)	量值/MPa	方位角/(°)	倾角/(°)
33.90	149.31	25.21	27.46	319.67	64.47	24.02	57.55	3.74

注 表中的“局部坐标系”定义为以水流方向(北偏东10°)为Y轴正向、X轴垂直洞轴线、Z轴铅直向上,且服从右手定则。

2 施工监测分析

为实现 TBM 释压脱困,采用小导洞迂回反向支护技术^[16],通过辅助坑道迂回至受卡刀盘前方并扩挖形成接应洞室。

为了监测 TBM 卡机脱困段(护盾后方—撑靴部位)围岩卸荷松弛与岩体蠕变变形情况,在紧邻护盾后方左右两侧布置了 2 套 5 点式大量程(300mm 量程)多点位移计,测点深度分别为 2m、6m、9m、16m、24m。

监测结果表明:护盾后方左右侧岩体总体增量变形分别为 3.8mm、4.0mm;岩体变形增长主要发生在护盾上方及两侧开挖期间和换拱开挖期间(刀盘前方开挖应力调整主要由护盾承担);径向方向,围岩主要变形和扰动区间在 6~9m 范围及其浅部 0~2m 范围;采用控制性人工开挖和及时新增支护,护盾至撑靴之间换拱开挖和切割原钢架卸荷对隧洞岩体的扰动在可控范围;后期护盾顶部钢架拆除和 TBM 向前掘进过程中该部位围岩将再次受到应力卸荷与转移作用,围岩位移将再次增长变化。

为了掌握隧洞钢架受力特征,对护盾后方钢架布置振弦式应变计、光纤光栅应变计。对整个换拱过程进行支护钢架应力监测。结果表明:新换拱架整体呈受压状态;最大压应力为 50.73MPa,一般受力为 1.23~39.03MPa;拱顶受力大于两侧;越靠近换拱施工部位钢架受力越大;受临近原拱架扩挖拆除影响,应力转移明显,钢架顶部应力呈增长状态,增长速率随时间逐步衰减。

为揭示该段隧洞二衬混凝土结构的受力特征,在二衬混凝土中布置了钢筋计。监测结果表明:衬砌施工过程中受到混凝土浇筑和混凝土温度影响,衬砌钢筋应力变化较大,3~7 天后应力趋于平稳,衬砌结构钢筋主要承受压应力,压应力量值为 3~26MPa,主要是位于顶拱和拱腰部位内外侧钢筋、边墙中部外侧钢筋。边墙中部内侧钢筋呈受拉状态,量值为 4~6MPa。由于经过加固处理的围岩已经稳定,围岩无时效变形增长现象,因此二衬浇筑完成后钢筋应力基本稳定。

3 脱困施工模拟分析

根据 TBM 施工洞段围岩的地质条件和岩性特点,建立隧洞三维数值模型。模型计算范围为 $120\text{m} \times 200\text{m} \times 120\text{m}$ ($X \times Y \times Z$),Y 轴沿洞轴线方向(顺水流方向为正),Z 轴沿铅直方向(向上为正),X 轴与 Y 轴垂直(右手坐标系);隧洞中心坐标为 (60m, 100m, 60m),开挖洞径为 8.0m。边界条件为:上部作用有上覆岩体重量,四周和底部为法向位移约束。围岩本构模型采用考虑内变量演化特征和围压效应的深埋软岩复合黏弹塑性模型。采用 8 节点六面体单元和 4 节点四面体网格共划分了 784454 个单元,计算模型见如图 1 所示。

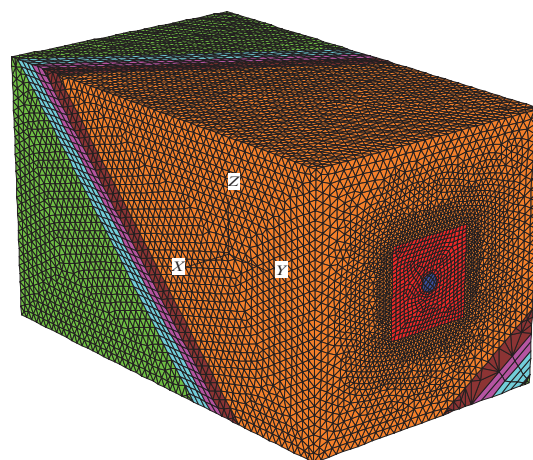


图 1 计算模型示意图

模型纵剖面如图 2 所示,Y 轴坐标 100m 对应里程 K51+581.3,即掌子面处;Y 轴坐标 100~105m 为管棚工作间;105~116m 为管棚洞,进一步细化为管棚洞 I、II、III 三部分,分别对应 Y 轴坐标 105~109m、109~113m、113~116m;Y 轴坐标 116m 对应里程 K51+597.3,即 TBM 护盾前方刀盘处,Y 轴坐标 116~

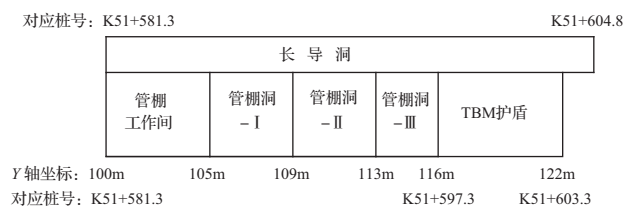


图 2 剖面示意图



122m 为护盾;在隧洞拱顶上方偏右侧布置超前导洞,导洞起于护盾尾部后方 1.5m,长 23.5m,宽 2.4m,高 1.5m。根据地质勘探资料,建立的模型中包括主断层带和两侧影响带,主断层带的宽度为 5m,两侧影响带宽度皆为 7m。卡机之前的正常开挖段为里程 K51 +

603.3 ~ K51 + 681.3,即对应模型中 Y 轴坐标的 122 ~ 200m。

在岩体力学试验基础上,结合工程现场围岩变形量、钢拱架上的应变计监测到的钢拱架受力,反演得到围岩参数,见表 2。

表 2 围岩力学参数

围岩类别	E^M/GPa	E_1^K/GPa	$E_2^K/(\text{GPa} \cdot \text{d})$	$\eta_1^K/(\text{GPa} \cdot \text{d})$	$\eta_2^K/(\text{GPa} \cdot \text{d})$	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
Ⅲ类围岩	15.2	30.0	13.5	5.8	2.8	1.28	45
断层影响带	3.96	11.9	10.7	3.3	1.5	0.44	32
主断层带	1.96	1.1	0.83	1.2	0.7	0.19	25

隧洞的开挖包括卡机前、脱困期、脱困后三个阶段,三个阶段全部完成后,模型中的隧洞实现贯通。图 3 为普通锚杆与让压锚杆支护下围岩稳定后合位移云图,该图为平行于洞轴线的剖面图。可以看出,隧洞开挖稳定后的较大变形量出现在隧洞与主断层带、断层影响带交叉的位置,即 TBM 掘进机卡机段。

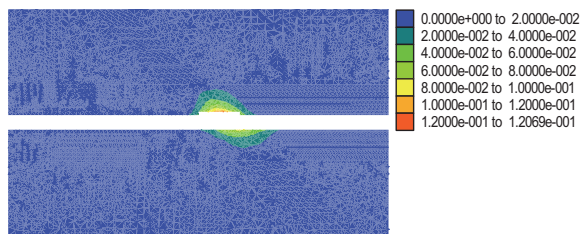


图 3 隧洞贯通后围岩合位移云图

根据 TBM 脱困方案,对卡机之后的超前开挖进行精细分步。超前开挖主要分为四步:隧洞上部导洞超前开挖、管棚工作间和管棚洞上层超前开挖、管棚工作间和管棚洞左右两侧超前开挖、TBM 护盾外围超前开挖。管棚工作间和管棚洞是部分超前开挖,超前开挖之后残余岩体待 TBM 脱困后向前推进时开挖。扩挖第一步只是长导洞的开挖,因此没有监测拱顶下沉量。后三步中,都监测了顶拱的下沉,每一步开挖之后都进行支护。在后三步的计算中,监测了模型中 Y 轴坐标为 102m、107m、111m、115m 处的围岩顶拱下沉量,四个坐标值分别对应实际隧洞的 K51 + 583.3、K51 + 588.3、K51 + 592.3、K51 + 596.3 桩号。如图 4 所示,横坐标表示的是隧洞桩号,纵坐标表示每一步完成后

围岩拱顶累积的下沉量。由图 4 可以看出,随着隧洞的超前扩挖,顶拱下沉变形量不断增大。在监测的四个位置中,K51 + 592.3 处(即模型 Y 轴 111m 处)的顶拱下沉量总是大于其他三个监测位置,可见此处受断层影响最大,也是 TBM 脱困最关键的位置。

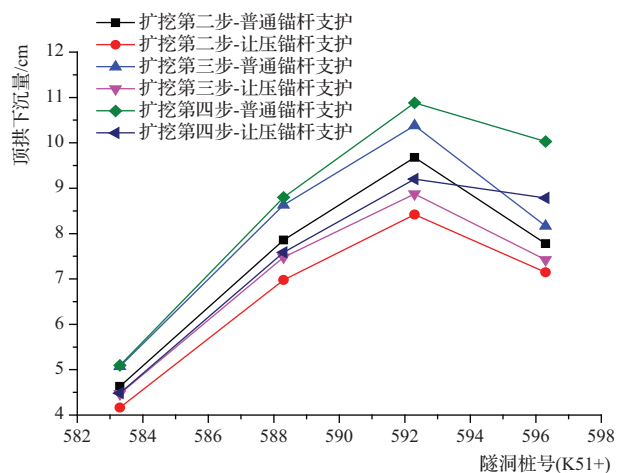


图 4 分步扩挖后顶拱下沉量

在完成最后一步扩挖之后,围岩变形量以及塑性区的分布对 TBM 脱困有着决定性的影响。完成第四步扩挖之后,垂直于洞轴线(即模型 Y 轴)选取剖面 K51 + 592.3 处进行计算,竖向和水平方向的围岩位移云图如图 5 所示。隧洞中间残余的岩体在 TBM 脱困后正常向前推进时开挖,不需要支护。

由图 5 可以看出,在支护下,稳定后的围岩顶拱下沉量达到 12.06cm,两侧边墙收敛变形 15.49cm。由此可知,受断层影响,此处围岩变形的最大值并不是在正拱顶,而是在紧邻正拱顶的两侧。

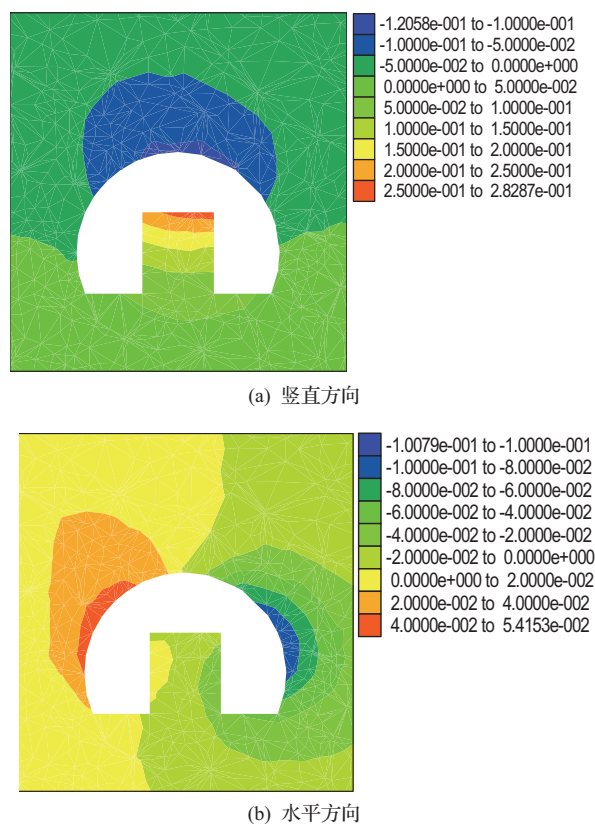


图5 支护时围岩位移云图

在完成第四步扩挖之后垂直于洞轴线选取剖面 K51 + 592.3 处进行计算,支护情况下围岩塑性区分布如图 6 所示,塑性区主要沿断层展布,顶拱区域两侧塑性区深度较大。

TBM 脱困完成之后,进入正常开挖阶段。模拟隧洞贯通之后,选取距离卡机位置 32m 处,垂直于洞轴线剖面进行计算,支护下的围岩变形与锚杆受力分布如图 7 所示。隧洞开挖后,围岩向中间移动。可以看出支护时

围岩最大变形的合位移为 12.66mm。锚杆的轴力分布状态都呈“纺锤状”分布,锚杆受力值小于设计值。

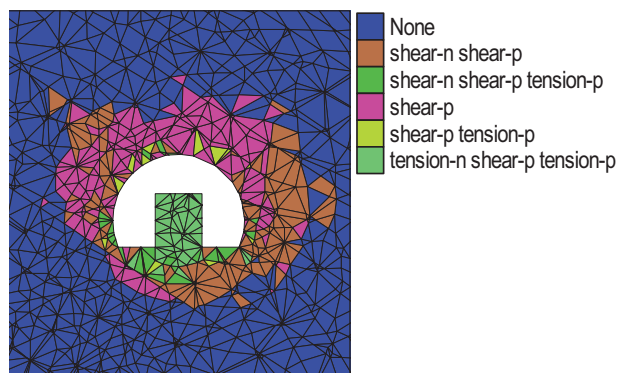


图6 扩挖段围岩塑性区分布

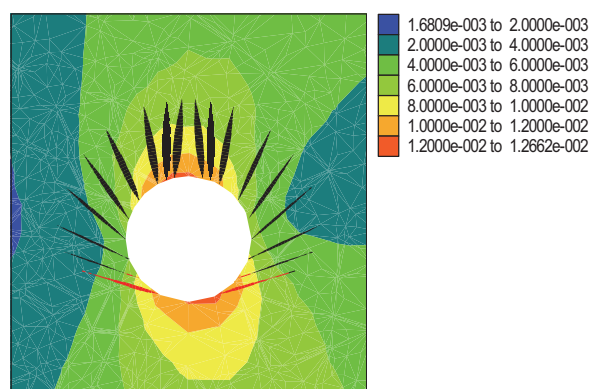


图7 正常掘进段围岩合位移云图及锚杆轴力分布

基于上述计算结果,将模拟中的监测结果与现场实测进行对比。多点位移计安装时现场施工已经进入 TBM 脱困阶段第二步,因此所测数值主要是之后第三步与第四步结果。监测结果和模拟结果对比如图 8 所示。

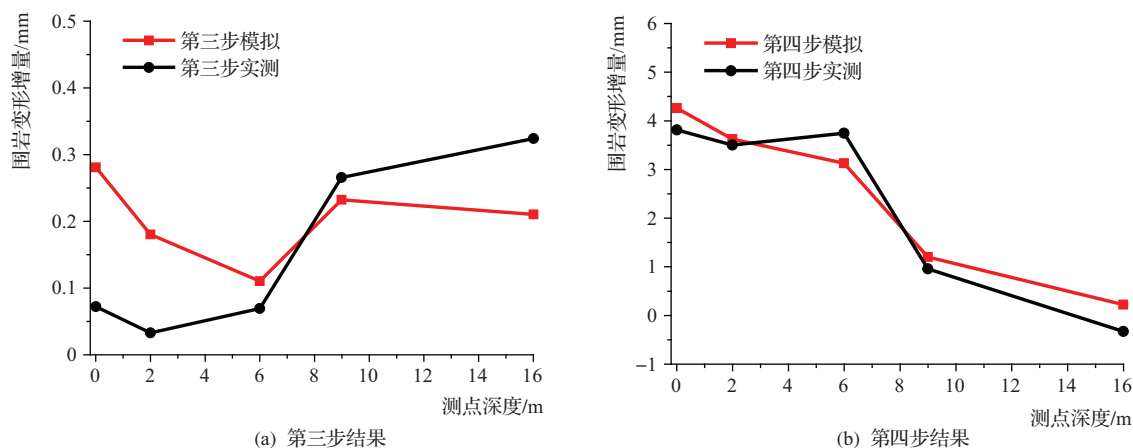


图8 多点位移计监测结果与模拟结果对比



由图8可以看出,数值模拟的结果和现场监测的结果虽略有差别,但差值较小,并且总体变化趋势及分布规律基本一致,可以证明数值模拟结果符合现场实际。经后期实际工程验证,按照上述支护方案,TBM掘进机顺利完成脱困;脱困之后,能够持续稳定地进行正常段的施工。

4 结 论

a. 岩体变形增长主要发生在护盾上方和两侧开挖期间及换拱开挖期间;采用控制性人工开挖和及时新增支护,护盾至撑靴之间换拱卸荷对隧洞岩体的扰动在可控范围。换拱过程中,新换拱架整体呈受压状态;拱顶受力大于两侧;受临近原拱架扩挖拆除影响,钢架顶部应力呈增长状态,增长速率随时间逐步衰减。

b. 随着隧洞的超前扩挖,顶拱变形量不断增大。K51+592.3处顶拱变形量较大,围岩变形最大值在紧邻拱顶的两侧位置,顶拱区域两侧围岩塑性区深度较大。

c. TBM完成脱困正常开挖后,锚杆的轴力分布状态呈“纺锤状”形,锚杆受力值小于设计值,二衬浇筑完成后钢筋应力基本稳定。◆

参考文献

- [1] 齐梦学.我国TBM法隧道工程技术的发展、现状及展望[J].隧道建设(中英文),2021,41(11):1964-1979.
- [2] 孔祥政.敞开式TBM对软弱围岩的掘进方法[J].水利建设与管理,2017,37(5):12-15.
- [3] 马栋,孙毅,王武现,等.高地应力软岩隧道大变形控制关键技术[J].隧道建设(中英文),2021,41(10):1634-1643.

- [4] 温森,杨圣奇,董正方,等.深埋隧道TBM卡机机理及控制措施研究[J].岩土工程学报,2015,37(7):1271-1277.
- [5] 刘林涛.新疆某干渠浅埋深极软岩隧洞洞顶坍塌成因分析及处理措施[J].水利建设与管理,2014,34(12):10-12.
- [6] 苏雅,苏永华,赵明华.基于Hoek-Brown准则的软岩隧道围岩极限变形估算方法[J].岩石力学与工程学报,2021,40(S2):3033-3040.
- [7] 王亚锋.高黎贡山隧道TBM不良地质条件下卡机脱困施工关键技术[J].隧道建设(中英文),2021,41(3):441-448.
- [8] 刘琪,张传健,颜天佑.敞开式TBM穿越断层破碎带时岩机作用分析:以滇中引水工程香炉山隧洞为例[J].人民长江,2021,52(10):165-175.
- [9] 张根才.万家寨引黄工程不良地质条件下TBM施工技术对策[J].水利建设与管理,2009,29(9):30-31.
- [10] 薛永庆.引汉济渭工程TBM卡机脱困技术[J].铁道建筑技术,2017(8):106-110.
- [11] 王有平.九道河隧洞软岩地层洞段变形控制措施研究[J].水利建设与管理,2022,42(1):25-30.
- [12] 罗立哲,牛运华,王科.减小乌东德水电站软岩隧道变形的应对措施[J].水利建设与管理,2018,38(4):76-80.
- [13] 苏珊,曹海.新疆某隧洞开挖TBM卡机原因及脱困处理措施[J].水利水电技术,2018,49(2):77-85.
- [14] 唐祁忠,侯钦礼.构皮滩水电站尾水隧洞软岩段工程地质条件及开挖施工技术[J].水利建设与管理,2008,28(4):13-17.
- [15] 王新.引汉济渭输水隧洞TBM卡机处理方案研究[J].陕西水利,2017(3):155-158.
- [16] 刘晓瑞.小导洞迂回反向支护在TBM卡机脱困中的应用[J].人民黄河,2020,42(2):109-112.

独特心墙形式土石坝工程除险加固效能评价分析研究

顾艳玲¹ 杨 孟²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

【摘 要】 为探究黏土心墙和混凝土心墙组合形式下独特心墙结构的土石坝工程服役特性,笔者基于其初始条件、边界条件等重要因素,结合其渗流计算方法,借助 APDL 语言,二次开发了独特心墙结构土石坝工程渗流分析程序,给出了其浸润线的构建方法和渗流分析的理论计算方法,对加固前后渗流场进行了模拟分析,对比了大坝加固前后正常蓄水位下渗流场的总水头和压力水头,并求解对比了正常蓄水位下混凝土防渗墙内最大渗透比降、下游坝壳料最大渗透比降、总渗漏流量等数值,对其加固效能进行了定性定量化的全面有效评价分析。

【关键词】 独特心墙型式;土石坝;二次开发;加固效能;评价分析

中图分类号: TV698.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)12-007-06

Evaluation and analysis of danger removal and reinforcement efficiency of earth-rock dam with unique core wall structure

GU Yanling¹, YANG Meng²

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to explore the service characteristics of earth-rock dam with unique core wall structure under the combination of clay core wall and concrete core wall, based on its initial conditions, boundary conditions and other important factors, combined with its seepage calculation method, and with the help of APDL language, the seepage analysis program of earth-rock dam with unique core structure is developed, and the construction method of saturation line and the theoretical calculation method of seepage analysis are proposed. The seepage field before and after reinforcement is simulated and analyzed, and the total head and pressure head of the seepage field under the normal discharge water level before and after dam reinforcement are compared. The maximum seepage gradient in the concrete cut-off wall under the normal discharge water level, and the maximum seepage gradient of downstream dam shell material and the total seepage flow are solved and compared, and the reinforcement efficiency is comprehensively evaluated and analyzed qualitatively and quantitatively.

Keywords: unique core wall structure; earth-rock dam; secondary development; reinforcement efficiency; evaluation and analysis

收稿日期: 2022-04-21

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0402208)

作者简介: 顾艳玲(1983—),女,高级工程师,主要从事水利工程管理、水工结构工程研究工作。

我国现有堤坝工程数量庞大,其中绝大多数是土石堤坝,在役期间其不可避免地遭受不利环境荷载、材料疲劳效应及外界侵蚀等多因素耦合效应作用^[1-2],对土石堤坝而言,其最突出的病患即为渗漏病害,从溃坝相关资料中得知,渗流导致溃坝的情况占 29.1%^[3];根据国内外的调查资料,渗流冲刷破坏溃坝的情况占 40%,与渗流密切相关的滑坡破坏占大约 15%^[4]。在蓄水后,由于较大水头的作用,在坝基较薄弱的地方会产生渗流破坏,渗流破坏对于水工建筑物的稳定会产生不利影响,也会引起地基的渗透破坏^[5],渗流过大也会造成水库的严重漏水,一般工民建工程不存在此问题,使得渗流问题成为水工方面独有的问题。因此加强堤坝工程渗漏病害防治意义重大。

澄碧河水库主体工程为土石坝工程,其为混凝土心墙和黏土心墙的组合结构,为极为少见的特殊型式。对土石坝工程进行渗漏渗流等安全要素的分析是坝体工程设计的重要前提,也是估算土石坝工程多方效益的重要保障。

对土石坝工程进行渗流计算分析的研究方法主要有理论求解、物理模拟、数值模拟三种。其中,有限元方法作为数值模拟法的一种是使用最多的方法之一^[6]。利用有限元法可以进行稳定渗流和非稳定渗流

分析,可以对二维、三维的模型进行处理,不仅可以面向堤防工程的非均质性特点,也能针对各向异性开展研究,因此现有的渗流计算理论基本可以满足一般类似堤防工程的渗流分析需要^[7-9]。对于自由面情况下的渗流分析而言,主要是关于不变网格的计算方法,也就是在固定化的网格中研究,代表性的方法有:吴梦喜等的虚单元法^[10];针对三维问题开展应用提出的改进法,如张有天依据剩余流量法,引入非线性应力分析,进而得出初应力的概念,并且提出了初流量法^[11];Neuman 针对固定化的网格研究提出了 Galerkin 方法;Desai 针对该问题提出了剩余流量法^[12]。

本文在对土石坝渗流计算方法和浸润线确定方法进行分析的基础上,借助 APDL 语言进行二次开发,建立了该独特心墙型式的土石坝加固前、后的渗流场分析模型,进而对加固前后该独特类型的土石坝的渗流性态进行了定性与定量化的对比分析,对其他工程具有极好的借鉴意义。

1 独特心墙形式的土石坝分析

澄碧河水库枢纽工程是在特殊的历史背景下兴建的,是典型的“三边”工程,见图 1~图 2,施工质量较差,留下较多隐患。历史上经过多次加固,仍未消除其

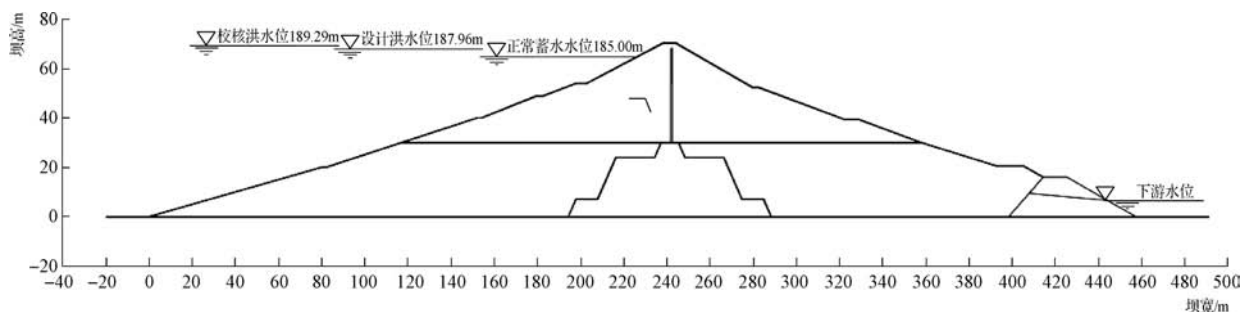


图 1 独特心墙型式土石坝工程加固前工程图

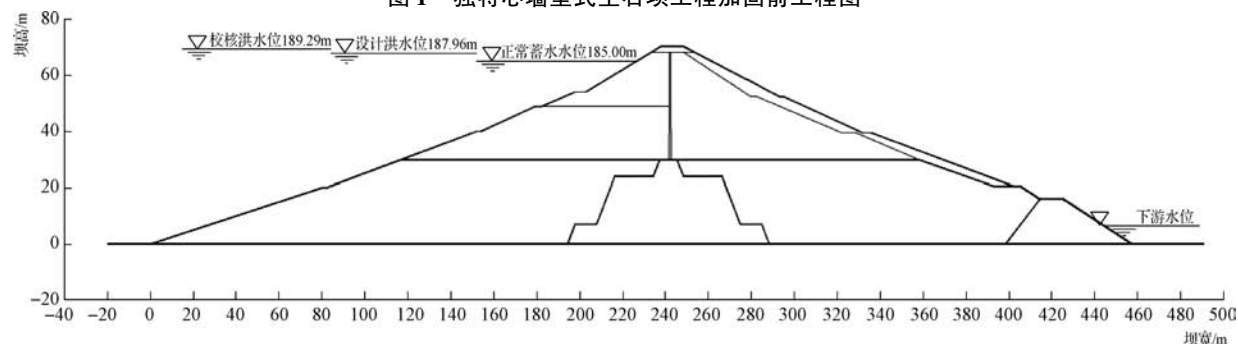


图 2 独特心墙型式土石坝工程加固后工程图

安全隐患,致使水库长限制水位运行,不能发挥正常效益。该土石坝工程为混凝土心墙与黏土心墙结合的土石坝,最大坝高 70.40m。初期,在大坝上游坝坡高程 174.0m 以上做黏土防渗斜墙;后期,开始混凝土防渗心墙的设计与施工。混凝土防渗心墙施工完毕后,坝顶加高至 190.40m。

总体上,混凝土心墙修建后,墙前、墙后水位差较大,下游出逸点较低,使原来大坝坝体严重的渗漏情况得到了很大的改善,坝后坡体上成片的渗漏点基本消除。但该心墙建成已经近 40 年,随着使用年限的增加,其防渗能力在逐渐降低,需要进行除险加固,通过对防渗墙进行全面的检查,根据检查情况,在局部区段进行高喷灌浆。下游坝坡加固处理方案主要从两个方面考虑:其一,在抗震工况下,下游坝坡抗滑稳定安全系数不满足规范要求;其二,坝顶宽度不满足规范要求。因此,建议采用坝坡放缓方案进行加固,初步拟定采用振冲加固方案,对大坝上游坝坡进行加固。

该独特心墙型式土石坝的渗流主要是指水流在多孔介质内流体的流动^[13-15]。渗流情况依据水头、水力梯度等表征量是否随时间变化又分为稳定渗流和非稳定渗流^[16]。

2 独特心墙型式土石坝工程除险加固效能评价分析

基于前述土石坝浸润线的判定分析方法和渗流分析的理论计算方法,本小节针对该独特心墙型式土石坝工程特点,应用 ANSYS 软件中的 APDL 语言进行二次开发,编制了土石坝渗流分析程序,对某土石坝加固前后渗流场进行模拟分析,评价其加固方案性能。

2.1 独特心墙型式土石坝工程渗流计算程序二次开发

基于独特心墙型式土石坝工程渗流计算分析的需求,根据虚点法原理计算渗流,并基于 APDL 单元生死技术来实现。首先假定浸润线的位置,不断地迭代计算,直到前后两次迭代差值满足限差为止,找到浸润线以及逸出点位置,且计算总的渗流量。

在相似的边界条件下,可以通过 ANSYS 热分析模块来分析渗流场,但是关于浸润线问题应用单元生死

技术更为合适,需要二次开发。独特心墙型式土石坝工程的渗流存在自由面,自由面以下称为饱和土体,其具有固定的渗透系数,自由面以上部分认为是不参与渗流计算的主体,对于定解条件,假定浸润线的法向渗流速度为零。二次开发的思路为:首先假定独特心墙型式土石坝工程的浸润线以及下游出口处的位置,根据假定的边界条件进行不断的运算,然后设定限差,两次求解的总水头的差值满足给定的限差时计算结束。

自由面的计算是渗流分析中的难题之一,渗流自由面是渗流场中的待求边界,需同时满足第一类边界条件和第二类边界条件。在目前的大多数固定网格方法中,确定自由面的计算较为复杂,依赖性强。本文提出使用局部网格变动方法来分析该独特心墙型式土石坝工程除险加固工程,该方法既能简单地将旧迭代的网格变形成新迭代后要求的网格,也能采用贴体坐标变换技术,使每次迭代过程的网格全部重新生成。根据上述过程,要假定浸润线的出口点位置,并利用 APDL 单元生死技术不断地对在浸润线以上的部分进行单元“杀死”操作。浸润线以下的部分一直处于“生”的状态,只参与计算,一直循环进行直到满足限差,结束循环。具体的操作流程见图 3。

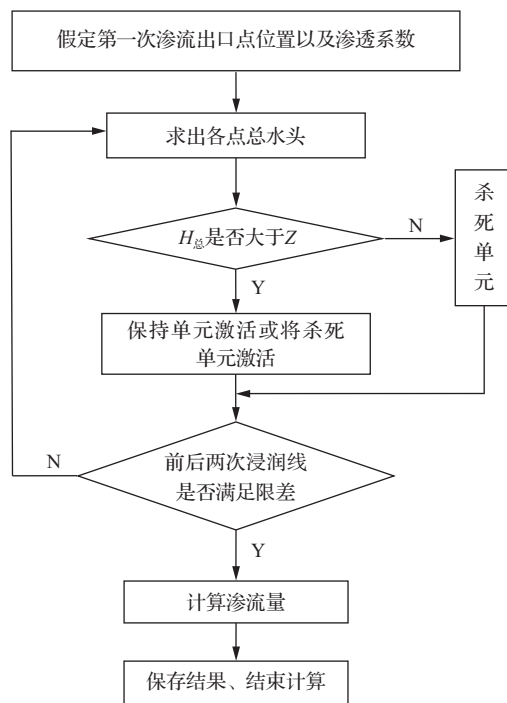


图 3 独特心墙型式土石坝工程渗流二次开发程序



2.2 除险加固效能结果分析

基于该工程特点和大坝的加固方案,分别构建大坝加固前后的有限元计算模型,见图4~图5。

针对该坝特点,选择最大河床断面进行二维渗流有限元分析。其材料分区有坝体风化土区、心墙黏土区、混凝土防渗墙区、排水棱体区和坝基基岩层区,渗透系数取值依次为 $2.0 \times 10^{-4} \text{ m/d}$ 、 $2.0 \times 10^{-5} \text{ m/d}$ 、 $2.0 \times 10^{-6} \text{ m/d}$ 、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ m/d}$ 、 $2.0 \times 10^{-5} \text{ m/d}$ 。

根据上述基本资料和计算模型,对该大坝加固前后正常蓄水位下的渗流场进行计算分析。渗流要素计

算结果见表1,加固前和加固后各工况下总水头和压力水头等值线图和云图见图6~图13。

基于二次开发的计算,得出了正常蓄水位下渗流要素计算结果,见表1。

表1 正常蓄水位下渗流要素计算结果

项 目	加固前	加固后
混凝土防渗墙内最大渗透比降	32.26	32.25
下游坝壳料最大渗透比降	0.15	0.15
总渗漏流量/(m^3/d)	1.92	1.85

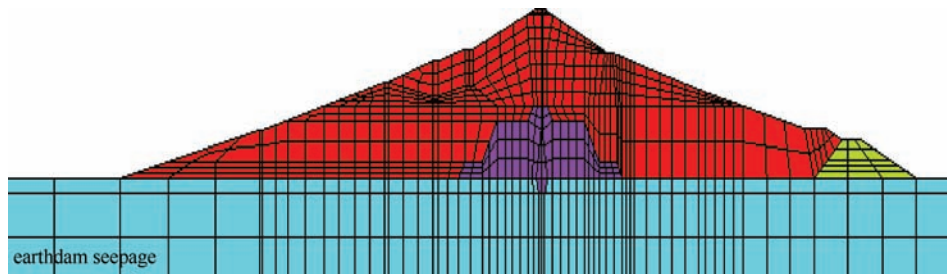


图4 加固前大坝有限元模型

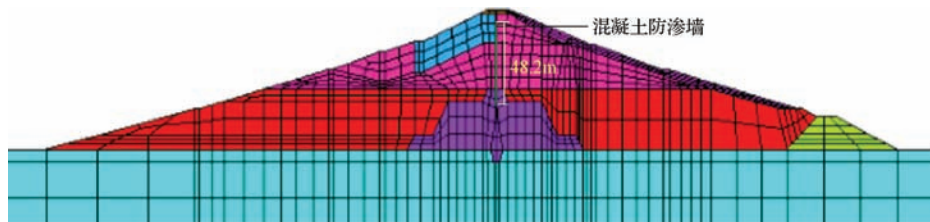


图5 加固后大坝有限元模型

■-地基; ■-黏土心墙; ■-150m高程以下部分; ■-振冲桩区域; ■-150m高程以上部分;
■-混凝土防渗墙; ■-混凝土墙到坝顶部分; ■-下游培厚; ■-排水棱体

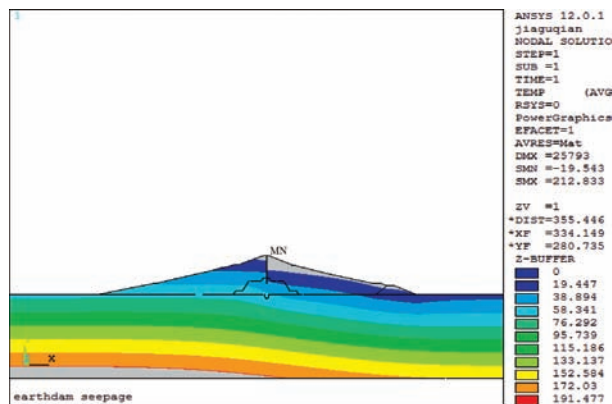


图6 加固前正常水位下压力水头线云图

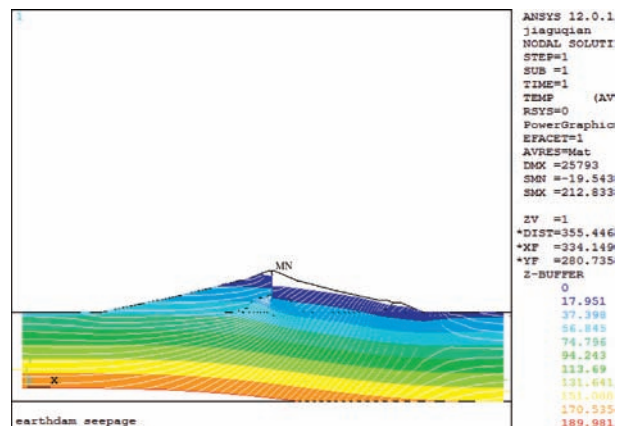


图7 加固前正常水位下压力水头等值线

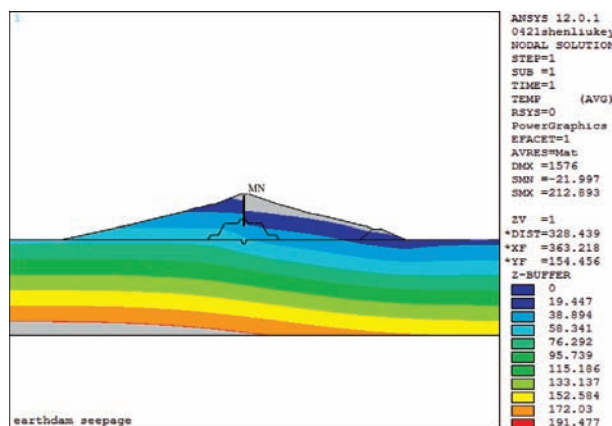


图 8 加固后正常水位下压力水头线云图

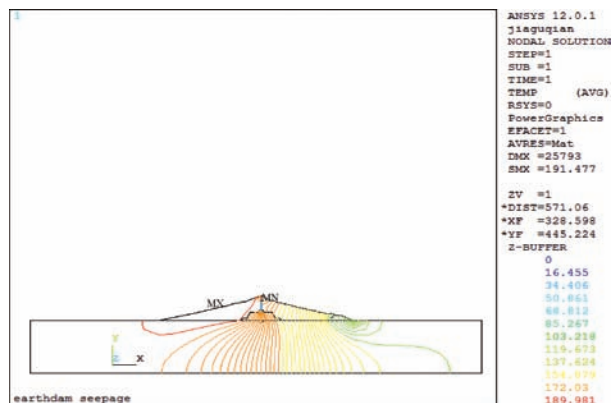


图 11 加固前正常水位总水头等值线

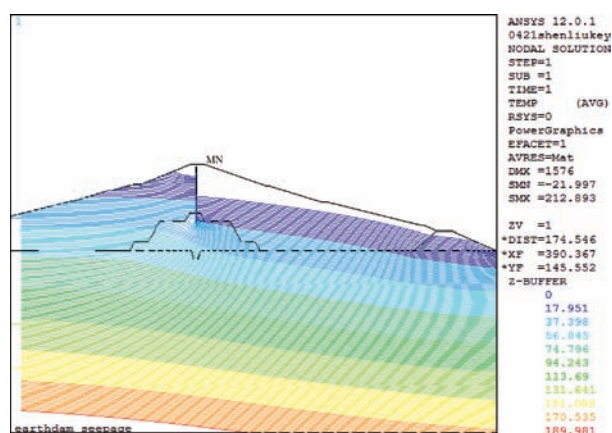


图 9 加固后正常水位下压力水头等值线

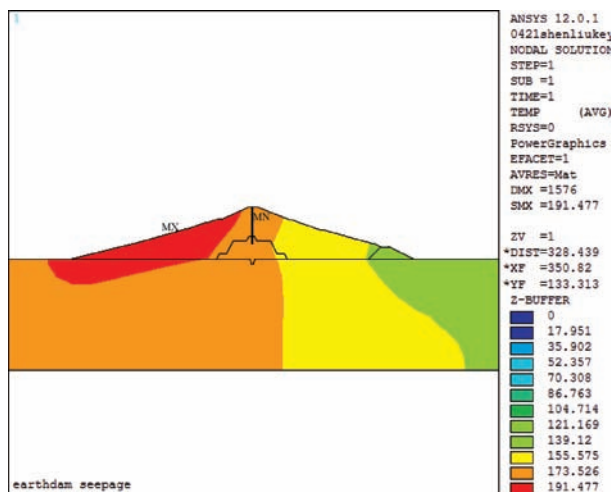


图 12 加固后正常水位下总水头云图

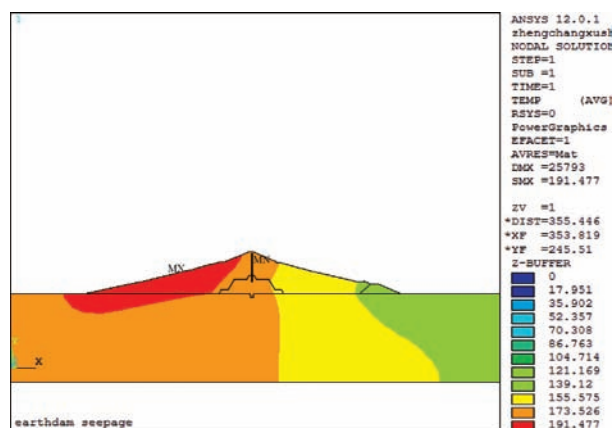


图 10 加固前正常水位下总水头云图

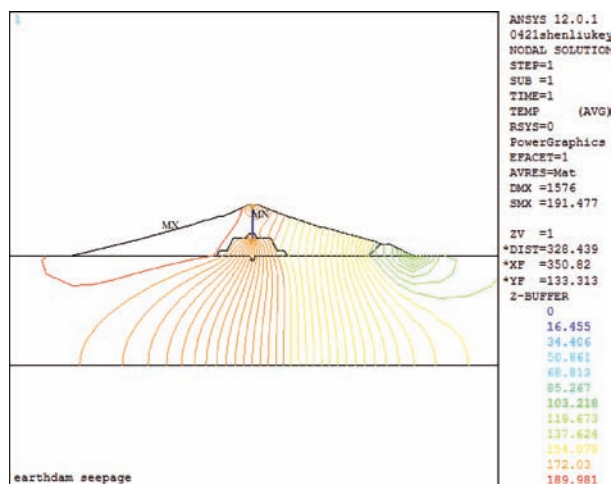


图 13 加固后正常水位下总水头等值线

对比分析可知:

a. 大坝原混凝土防渗墙起到了防渗作用,坝体渗漏量较小。

b. 大坝加固前后坝体下游浸润线均从排水棱体中出逸,大坝渗流形态安全。

c. 大坝加固前后,大坝渗流形态没有明显变化,大坝渗流安全。

d. 混凝土防渗墙和黏土防渗结构的结合部位有水



头线聚集现象,说明该区域具有较为复杂的渗流特性,在加固前后对比发现,加固后的水头线密集程度明显降低,表明加固过程对改善混凝土防渗墙和黏土防渗结构的结合部位渗流状况具有较好的效果。

以上成果在认为混凝土心墙质量满足要求的情况下获得的。地勘及观测资料表明:混凝土心墙内存在横向和纵向裂缝。混凝土心墙连续性较差,局部存在波速较低的部位。随着防渗墙使用年限的增加,部分墙段的水位差在减小,坝体渗润线在逐渐抬高。但在现阶段,混凝土心墙质量缺陷难以模拟。因此,拟在全面检查后,确定处理范围。

3 结 论

基于黏土心墙和混凝土心墙组合形式下独特心墙结构的土石坝工程,给出了浸润线的判定分析方法和渗流分析的理论计算方法。针对该独特心墙型式土石坝工程特点,应用 APDL 语言进行二次开发,编制了独特心墙结构的土石坝工程渗流分析程序,对某土石坝加固前后渗流场进行了模拟分析,评价了除险加固效能,对其他工程有很好的借鉴意义。

a. 依托独特心墙型式土石坝工程,充分考虑水头、渗流速度、孔隙水压力、渗流力、渗流量等要素,采用单位重量意义上的土水势概念,确定其浸润线构建方法,并基于该方法,确定了使用 APDL 语言进行二次开发的构建思路。

b. 该土石坝工程为基于黏土心墙和混凝土心墙组合形式下的独特心墙结构,确定了其初始条件、边界条件等重要因素,并分析了其渗流计算方法,并基于二次开发的构建思路,进行了独特心墙型式土石坝渗流计算二次开发,计算得出了其渗流结果。

c. 计算得出了大坝加固前后正常蓄水位下的渗流场的总水头和压力水头等值线图 and 云图,计算求解了正常蓄水位下混凝土防渗墙内最大渗透比降、下游坝壳料最大渗透比降、总渗漏流量等数值,并进行了多方面的对比分析,得出了大坝加固方案的效果极为明显的结论,对其加固效果进行了定性 with 定量化的全面有效评价分析。◆

参考文献

- [1] 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.
- [2] 顾冲时,吴中如. 大坝与坝基安全监控理论和方法及其应用[M]. 南京:河海大学出版社,2006.
- [3] 邓苑苑. 病险土石坝渗流破坏机理分析[D]. 石河子:石河子大学,2006.
- [4] 张秀丽. 国内外大坝失事或水电站事故典型案例原因汇集[J]. 大坝与安全,2015(1):13-16.
- [5] MOORE J R, BOLEVE A, SANDERS J W, et al. Self-potential investigation of moraine dam seepage[J]. Journal of applied geophysics, 2011, 74(4):277-286.
- [6] 宋勇,艾宴清,梁波,等. 精通 ANSYS 7.0 有限元分析[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [7] CONNOR J J, BREBBIA C A. 流体流动的有限元法[M]. 吴望一,译. 北京:科学出版社,1981.
- [8] 杜延龄,许国安. 渗流分析的有限元法和电网络法[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [9] 柴军瑞,徐维生. 大坝工程渗流非线性问题[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [10] 吴梦喜,张学勤. 有自由面渗流分析的虚单元法[J]. 水利学报,1994(8):18-22.
- [11] 张有天,陈平,王镭. 有自由面渗流分析的初流量法[J]. 水利学报,1988(8):18-26.
- [12] DESAI C S, LI G C. A Residual flow procedure and application for free surface flow in porous media[J]. Advances in water resources, 1983, 6(1):27-35.
- [13] 刘庆华,刘纯祥,薛克敏. 基于 ANSYS 的水位骤降坝体渗流场模拟[J]. 山东水利,2010(4):17-18,25.
- [14] 刘杰. 土的渗透稳定与渗流控制[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- [15] CHAIYO K, RATTANADECHO P, CHANTASIRIWAN S. The method of fundamental solutions for solving free boundary saturated seepage problem[J]. International communications in heat and mass transfer, 2011, 38(2):249-254.
- [16] CHEN Y F, HU R, ZHOU, CH B, et al. A new parabolic variational inequality formulation of Signorini's condition for non-steady seepage problems with complex seepage control systems[J]. International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, 2011, 35(9):1034-1058.

淹没出流条件下小挑角挑流消能工 消能特性研究

熊长鑫 梅家鹏 董宗师

(长江设计集团有限公司,湖北 武汉 430010)

【摘要】 挑流消能工广泛应用于高水头泄洪建筑物消能,但目前大部分挑流消能工多为自由出流工况,在淹没出流条件下应用较少。本文采用三维 CFD 技术对咸丰丁寨泄洪排涝隧洞淹没出流工况下小挑角消能工的泄洪流态及消能效果进行研究。首先对比了自由出流和淹没出流下挑流消能的消能特性,然后分析了不同频率洪水下挑流消能的三维流态、湍动能及消能率。结果表明:小挑角挑流在下游水位较低时,挑射水舌类似于跌流消能;当下游水位较高时,隧洞出流主流与尾水水流撞击,类似于面流消能。由于小挑角下,挑射水流纵向拉伸不够,难以形成挑射水舌,消能效果不佳,本工程各频率泄洪条件下消能工的消能率均低于 70%,建议优化消能工体形,提高消能效果。该研究可为淹没条件下的挑流消能工程设计提供参考。

【关键词】 挑流消能;淹没出流;水流流态;湍动能;消能率

中图分类号: TV653+.3

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)12-013-06

Study on energy dissipation characteristics of trajectory energy dissipater with small-trajectory angle under submerged outflow condition

XIONG Changxin, MEI Jiapeng, DONG Zongshi

(CISPDR Corporation, Wuhan 430010, China)

Abstract: Trajectory energy dissipaters are widely applied in the energy dissipation for high head flood discharge buildings. However, most of trajectory energy dissipaters are under the condition of free outflow, which are rarely applied under submerged outflow condition. In this paper, 3D CFD technology is used to study the discharge flow and energy dissipation effect of small-trajectory angle energy dissipater under submerged outflow condition of Xianfengdingzhai flood discharge tunnel. Firstly, the energy dissipation characteristics of trajectory energy dissipation under free outflow and submerged outflow are compared. Then, the three-dimensional flow pattern, turbulence energy and energy dissipation rate of trajectory energy dissipation under floods with different frequency are analyzed. The results show that when the water level is low in the downstream, the jet nappe is similar to underflow energy dissipation. When the water level is high in the downstream, the main flow of the tunnel impinges with the tail water, which is similar to surface energy dissipation. Due to the insufficient longitudinal stretch of the outflow water at small-trajectory angle, it is difficult to form the jet nappe and the energy dissipation effect is not good. The energy dissipation rate of the energy dissipaters is lower than 70% under the flood discharge conditions of each frequency in this project. It is suggested to optimize the shape of the energy dissipaters to

收稿日期: 2022-04-19

作者简介: 熊长鑫(1988—),男,硕士,主要从事水利工程设计工作。



improve the energy dissipation effect. This study can provide reference for the design of energy dissipater under submerged outflow condition.

Keywords: trajectory energy dissipation; submerged outflow; turbulence energy; energy dissipation rate

挑流消能工在建筑物末端设置挑流鼻坎,将下泄主流挑射至空中,经过扩散、紊动和掺气作用,消除部分能量,然后跌落至下游水体中,形成一定深度的水垫,跌落水流与水垫撞击,再次消除剩余能量。目前,对自由出流的挑流消能工研究较多,且有成熟的挑距计算公式。顾小兵等^[1]对几个典型水工建筑物规范中的挑距计算公式进行分析对比,发现不同规范略有差异,并对计算参数的选取提出了建议。张守磊等^[2]采用水力学计算方法,探讨了挑坎切角对水舌的影响,并通过曲线拟合得到了挑角与挑距之间的关系。余挺等^[3]采用模型试验对挑坎体型进行优化,提出了挑坎位置和体型较优的椭圆形挑坎。成永华等^[4]和尹韬等^[5]根据模型试验发现挑流消能工的挑角、反弧半径以及挑坎长度是影响挑流效果的主要因素。刘宣烈等^[6]和刘士和等^[7]考虑空气阻力和掺气影响,对水舌挑距进行了修正。曾颖等^[8]研究发现挑射水流发生掺气时,实际挑流射程大于规范计算值。蒲云娟等^[9]提出了高低坎差动式鼻坎挑流,指出高坎提前挑出的水流与低坎挑出的水流在空中碰撞消耗能量,消能效果好。为了改善挑流消能工与适应地形,研究者提出了扭转挑流挑坎^[10]、燕尾挑流^[11]、设置掺气坎^[12]、新型非对称转向收缩差动式挑坎^[13],其可改变挑射水舌的导向及落水位置,从而有效地减轻了下游冲刷。闫路明^[14]对挑流消能的研究进行总结,指出目前挑流消能工可适应高水头大流量下的消能,其消能效果良好。综上所述,尽管挑流消能工在研究和应用方面已经非常成熟,但目前针对挑流消能工的计算和模型试验都是针对自由出流工况的,即挑射鼻坎上并不存在淹没情况。在特殊条件下,当下游水位较高且淹没挑流鼻坎时,尤其是淹没深度较为严重时挑流消能工的研究还比较匮乏。随着 CFD (Computational Fluid Dynamics) 计算技术的高速发展,采用数值模拟方法计算消能工消能特性已十分普遍,其中采用 VOF (Volume of Fluid)

技术追踪自由液面,从而实现对具有自由液面的流动问题计算仿真已经相当成熟。尹锐^[15]采用 VOF 方法对挑流消能进行数值模拟,得到了其三维流场,并展示了水舌随时间变化的情况。何志亚等^[16]采用 FLUENT 软件对拟定的挑流消能进行计算,并进行了挑流鼻坎体型的优化。因此三维 CFD 技术在一定程度上可以相对准确地预现消能工的泄洪流态,分析消能工的消能效果,从而节省原型测试和模型试验的花费。

由于出口位置的限制,咸丰县新城片区丁寨防洪排涝工程(简称“咸丰丁寨”)高水头泄洪排涝洞出口消能工设计采用小挑角挑流消能,同时下游河道常遇水位较高,泄洪隧洞经常会在淹没出流状态下泄洪。对于淹没状态下的小挑角消能工的消能效果还未可知,其是否能综合挑流消能和面流消能的优点,成功解决本工程的消能问题,是本研究关注的重点。因此,本文通过三维 CFD 技术,以咸丰丁寨泄洪排涝洞出口原设计的淹没出流条件下小挑角挑流消能工为研究对象,分析消能工的消能特性。文中首先对比分析自由出流和淹没出流工况下挑流消能工的流态,然后分析淹没出流条件下不同频率来流的泄洪流态、湍动能以及消能率。

1 计算模型与边界条件设置

1.1 控制方程

由于水体压缩性影响很小,本次计算采用不可压缩 N-S 计算方程。

连续性方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i u_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

动量方程式中从左到右各项依次为控制体内的动量变化率,边界上对流流动引起的动量变化,压力引起的动

量变化; τ_{ij} 为分子黏性作用在控制体表面产生的黏性应力引起的控制体的动量变化; ρ 为混合流体的密度; t 为时间; u 为速度; p 为压强; 下标 i 和 j 代表笛卡尔坐标系下 x, y, z 。

本文计算采用涡黏模型中的 RNGk- ε 湍流模型, 应用 VOF 界面追踪技术捕捉水汽交界面。

k 方程:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{\text{eff}} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3)$$

ε 方程:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{\text{eff}} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{G_{1\varepsilon} \varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

式中: ρ 为混合流体的密度, kg/m^3 ; t 为时间, s ; x_i, x_j 为坐标分量, m ; $i, j = 1, 2, 3$; u_i 为 i 方向的瞬时速度分量, m/s ; p 为修正压力, Pa ; k 为紊动能, m^2/s^2 ; ε 为紊动耗散率, m^2/s^3 ; μ 为流体运动黏度, m^2/s ; μ_t 为湍动黏度, m^2/s ; G_k 为平均梯度产生的湍动能生成项; μ_{eff} 为 μ

与 μ_t 之和, 即 $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$; α_k 和 α_ε 为 k 和 ε 的紊流普朗特数, $\alpha_k = 1.0, \alpha_\varepsilon = 1.3$; $C_{1\varepsilon}^*$ 和 $C_{2\varepsilon}$ 为 ε 方程常数, $C_{1\varepsilon}^* = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92$ 。采用 VOF 方法处理自由水面问题, 对第 q 相流体体积分数计算采用下式控制方程计算:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha u_i) = 0 \quad (5)$$

式中: α 为水相的体积分数, 气相则为 $1 - \alpha$ 。

1.2 工程概况及模型建立

1.2.1 计算模型建立

排洪隧洞全长 4577.1m, 隧洞前段坡比为 1:75, 后段坡比为 1:16, 隧洞采用无压城门洞形断面, 出口断面宽 7m, 直墙段高 7.1m, 顶拱高为 2.3m。图 1 为隧洞纵剖面示意图, 隧洞出口接挑流鼻坎段, 挑角为 10° , 挑流半径为 70m, 泄洪水头达 186.17m。由于本工程隧洞出口河道狭窄, 地形条件受限, 设计的挑坎挑射角度较小, 属于高水头下的小挑角挑流消能工。

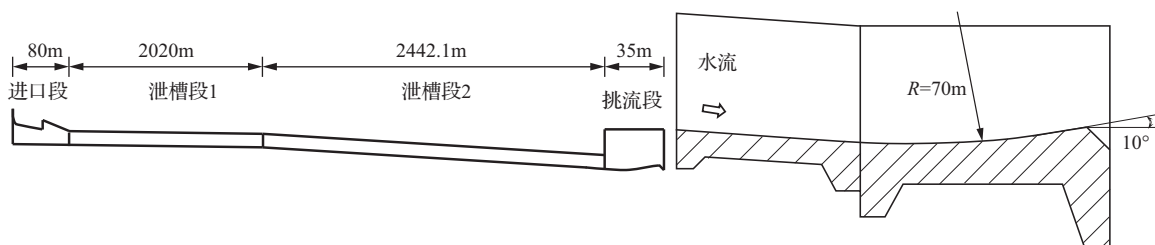


图 1 泄洪排涝隧洞结构示意图

数值模拟计算域如图 2 所示, 隧洞出口断面为城门洞形, 出口接挑流鼻坎段, 经护坦段之后进入下游河道。泄洪期间下游河道水位较高, 挑流鼻坎常在淹没出流工况下运行。

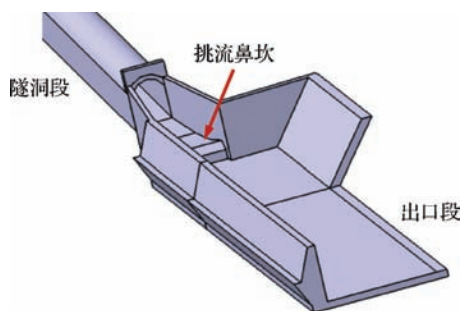


图 2 泄洪排涝隧洞出口段三维模型

1.2.2 网格划分及边界条件

计算域网格采用正交笛卡儿网格, 见图 3。采用 FAVORTM 技术, 使矩形网格也能描述复杂的几何外形, 从而可以高效率并且精确地定义几何外形。全流域网格采用重点部位加密的原则, 在挑流区域为了更好地捕捉挑流水舌, 网格加密, 在下游出口段网格相对稀疏, 总网格数量 565 万。隧洞出口位置给定流速边界条件, 并设置相应的水位, 在下游出口位置设置压力出口边界条件, 其压力由下游河道的水位给定, 所有固体边界设为无滑移壁面 Wall, 自由面设置为压力边界, 相对压力大小设为 0。

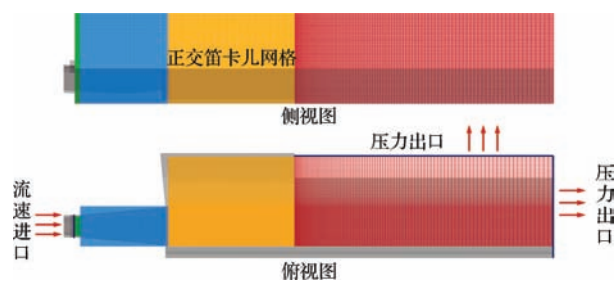


图3 网格划分及边界条件示意图

2 计算结果分析

2.1 计算工况

防洪排涝洞常遇洪水频率为20% (5年一遇),设计洪水频率5% (20年一遇),校核洪水频率2% (50年一遇),以下对三种洪水频率下挑流消能工分别进行计算,相应的参数见表1。

表1 计算工况各参数

频率/ %	水库水位/ m	隧洞出口 水位/m	隧洞出口 流速/(m/s)	Fr	下游河道 水位/m	隧洞出口 水深/m	下游河道 水位/m
20	739.74	552.79	24.08	3.74	553.12	4.22	4.55
5	742.71	554.05	25.87	3.53	554.45	5.48	5.88
2	745.15	555.14	25.52	3.18	555.96	6.57	7.39

设计隧洞出口底板高程为548.57m,可见各工况下,下游河道水位均高于隧洞出口底板高程,淹没深度在20% (5年一遇)、5% (20年一遇)、2% (50年一遇)工况下分别为4.55m、5.88m和7.39m,可见在50年一遇洪水位时下游河道水位超过了隧洞出口的直墙段高度,淹没严重,因此研究淹没情况下挑流消能工的消能效果,判断隧洞运行安全是非常有必要的。

2.2 流态分析

首先对比分析淹没出流和自由出流条件下挑流消能工的出流流态,进而分析在各洪水频率下挑流流态的变化。

2.2.1 淹没出流和自由出流对比

隧洞出口淹没出流和自由出流工况下挑流消能工的出流流态如图4所示,可见在下游水位较低时,水流流经挑流鼻坎,直接冲入尾水河道,下泄水流流速衰减

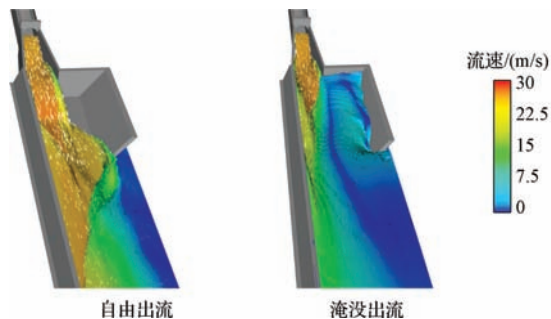


图4 淹没出流和自由出流情况下流速分布云图

幅度小,主流能量并未得到大幅度的降低,因此整个挑流段和尾水段流速均较大。而下游水位较高时,出坎水流与下游水流碰撞,旋滚的水流从尾水渠道右岸通过,其余位置流速较小。由于主流与尾水的撞击,消耗大量能量,尾水水流流速较小。

在淹没出流和自由出流工况下,隧洞出口中间顺河剖面流态如图5所示,可见原设计小挑角挑流消能工挑流效果甚微,当下游水位较低时,挑射水流并未在纵向拉伸,其流态类似于跌流,但水垫高度不够,整个过程中能量并未得到大幅的消耗,尾水流速仍然大于20m/s。而在下游水位较高时,隧洞出流主流与下游淹没水流撞击,由于主流流速较高,将下游水流冲至远离挑坎位置,在主流与消能工内水流交界面处由于强大的动量耗散,下游出流流速逐渐减弱,尾水流速下降至10m/s左右。

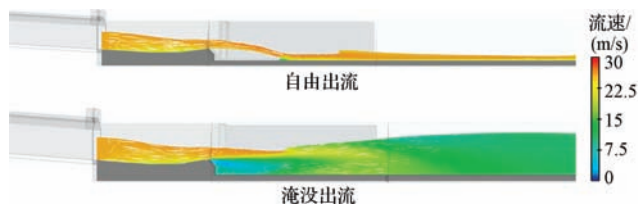


图5 淹没出流和自由出流工况下隧洞出口中间顺河剖面流速分布云图

从上述分析可知,本工程原设计的小挑角挑流消

能工在下游水位较低时会类似于跌流流态,挑射水舌在纵向并未拉伸,能量耗散不大,因此消能效果不佳。而在下游水位较高时,主流与消能工内水流撞击,其消能效果类似于面流消能,能量耗散较大,但小挑角也并未形成挑射水舌,因此本工程设计的小挑角流并未真正起到挑流消能的作用。

2.2.2 不同频率洪水工况下流态对比

不同洪水频率下,出流流态类似,见图6。由于在挑坎段断面尺寸逐渐扩大,在挑坎段边墙两侧均出现一层低流速区域,中心主流与下游淹没水流撞击,将下游淹没水流冲击至远离挑坎位置。随着来流量增大,来流将淹没水流冲击得越远,水流撞击的程度也越大。但在各工况下,主流在尾水段并未向左岸横向扩散,主流仍然沿直线向下游流动,因此流速也较大。

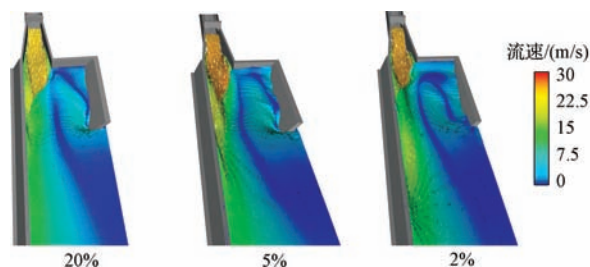


图6 不同频率洪水下隧洞出口流速分布云图

从各工况下隧洞出口中间顺河剖面流速分布云图(图7)可见,设计挑坎挑角为 10° ,各工况下挑流挑坎并未形成挑射水流,加之下游水位均较高,下泄主流直接冲击尾水段水流,水流能量在二者撞击位置耗散巨大,流速在交界面后消减较大,下游尾水流速降低至 10m/s 以内。因此在淹没出流的小挑角消能工下,其出流类似于面流消能,小挑角挑流并未起到作用。由于面流消能对于高水头大流量的泄洪消能效果有限,本工程的消能工还需进一步优化。

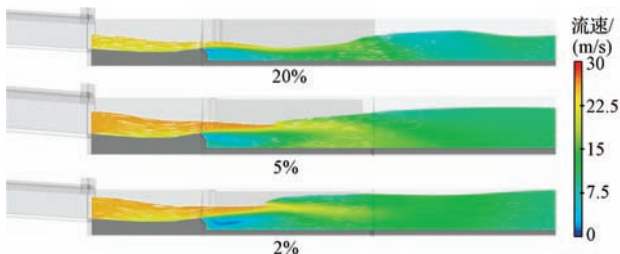


图7 不同频率洪水下隧洞出口中间顺河剖面流速分布云图

2.3 湍动能

各工况下湍动能分布如图8所示,可见湍动能最大位置为下泄水流与下游淹没水流的交界处,主要因为下泄水流与尾水水流碰撞,形成高度紊动的三维流动,最大湍动能约为 20J/kg 。从隧洞出口中间顺河剖面湍动能分布图(图9)可看出湍动能向下游逐渐减小,其主要原因为紊动程度逐渐减弱。对于本消能工的水流能量耗散主要源于主流与下游水流撞击,从整体来看,本工程水舌并未纵向拉开,小挑角的挑流消能工消能效果有限,挑流效果不明显。

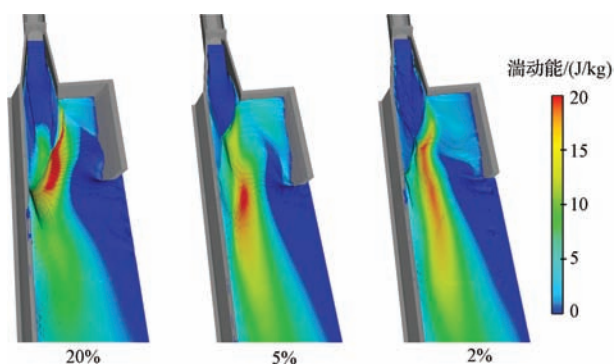


图8 不同频率洪水下隧洞出口湍动能分布图

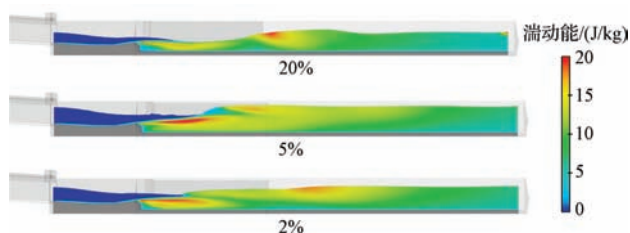


图9 不同频率洪水下隧洞出口中间顺河剖面湍动能分布图

2.4 消能率计算

本次小挑角挑流消能工消能率 η 通过能量守恒原理计算^[17],对消能工进口位置的总能量与尾水段出口的总能量进行对比,计算公式为

$$\eta = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\% \quad (6)$$

式中: E_i 为能量,即 $E_i = h_i + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g}$, $i = 1, 2$,其中1表示隧洞出口断面,2表示尾水段出口断面, h_i 为自由水面距基准面的高程差, $\frac{\alpha_i v_i^2}{2g}$ 为流速水头。



分析本挑流消能工在各工况下的消能率,见表2。随着来流增大,下游水位增高,淹没条件下的消能率逐渐增大。但在各下泄流量下,消能率均低于70%,消能效果仍然不理想。

表2 各计算工况消能率

计算工况/%	E_1/m	E_2/m	$\Delta E/\text{m}$	$\eta/\%$
20	37.0	11.9	25.1	67.7
5	42.9	14.5	28.3	66.0
2	43.0	16.6	26.4	61.4

可见与流态分析得到的结论一致,本工程设计的挑角消能工消能率不大,下泄水流的能量并未得到充分耗散,高能量水流进入下游河道,产生较大的影响。

3 结 语

本文通过数值模拟对咸丰丁寨高水头泄洪排涝隧洞出口淹没工况下小挑角挑流消能工的消能流态及消能效果进行研究,发现小挑角消能工并不能充分发挥挑流作用,流态更多地类似于面流消能,消能效果不佳。具体结论如下:

a. 原设计出流为淹没出流条件下的小挑角挑流消能,挑射角度过小,挑射水舌纵向拉伸不够,难以形成挑射水舌,消能不充分。当下游水位较低时,挑射水舌类似于跌流消能,但水垫高度不够,消能效果不佳;当下游水位较高时,下泄主流直接冲击尾水淹没水流,二者相互撞击,能量耗散相对较大。

b. 尽管淹没出流工况下消能效果大于自由出流工况,但因本工程地形条件受限,设计的鼻坎挑角较小,挑流消能的效果不明显,更多地是类似于面流消能。各工况下消能率均低于70%,消能效果不理想。淹没条件下尾水流速仍有10m/s左右,消能不充分,故建议对消能工体形进行优化,另外对挑流水舌河段河底及岸坡进行加固处理。◆

参考文献

- [1] 顾小兵,曾俊. 关于挑流消能挑距计算公式的应用分析[J]. 水利水电工程设计,2021,40(2):14-16.
- [2] 张守磊,陈和春,张坤. 斜切挑流鼻坎水舌挑距水力计算研究[J]. 中国水运月刊,2008,8(12):160-161.
- [3] 余挺,贺昌林,张建民,等. 高水头大流量泄洪洞挑坎体型优化及下游冲淤研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2007(4):20-25.
- [4] 成永华,曾一夫,黄志文,等. 太湖水库溢洪道挑流鼻坎优化设计研究[J]. 江西水利科技,2020,46(2):106-112.
- [5] 尹韬,邱勇,李京蔚,等. 基于试验研究的挑流消能机理分析[J]. 水利规划与设计,2017(7):103-105.
- [6] 刘宣烈,张文周. 空气阻力对挑流水舌的影响[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版),1982(2):70-80.
- [7] 刘士和,曲波. 平面充分掺气散裂射流研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑),2002,17(3):376-381.
- [8] 曾颖,郝瑞霞,韩丽娟. 柏叶口水库泄洪发电洞挑流消能特性分析[J]. 水利水电技术,2020,51(S1):143-148.
- [9] 蒲云娟,王一飞,吕海艳,等. 大单宽、中水头水流挑流消能试验研究[J]. 四川水力发电,2017,36(1):69-71.
- [10] 孙东坡,曹帅,宋永军,等. 改善泄洪放空洞挑流消能效果的试验研究[J]. 华北水利水电学院学报. 2013,34(6):8-11.
- [11] 毛栋平,张法星,钟晓凤,等. 黄登水电站燕尾型挑坎挑流消能适用性试验研究[J]. 水电能源科学,2016,34(3):104-107.
- [12] 梁尚英. 高坝溢洪道挑流消能探讨[J]. 水利规划与设计,2017(6):64-66.
- [13] 李元杰,姜作兴. 一种新型非对称转向收缩差动式挑坎设计[J]. 水利规划与设计,2019(4):142-148.
- [14] 闫路明. 挑流消能工研究现状及其应用[J]. 四川水力发电,2017,36(1):133-135.
- [15] 尹锐. 挑流消能数值模拟[J]. 中国水运,2020,20(9):58-59.
- [16] 何志亚,冷月华,杨磊,等. 沙河水库溢洪道挑流鼻坎体型优化及下游消能防冲研究[J]. 中国农村水利水电,2021,12:6-11.
- [17] 刘景武. 阶梯式溢洪道底流消能分析[J]. 现代农业科技,2021,12:180-184.

真空预压联合电渗法处理软土试验研究

刘巍巍¹ 姜晨阳² 陈博涵²

(1. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003;

2. 河南工业大学, 河南 郑州 450001)

【摘要】 本文在对大连大窑湾港区软土进行真空预压与电渗联合作用试验的基础上,分析了试验软土出水量及出水速率、含水率、抗剪强度等参数的变化规律,探讨了真空预压法和电渗法处理软土的效果。结果表明:真空预压与电渗联合作用后土体发生变形,阳极附近土体颜色改变,作用效果明显;联合作用的不同阶段,真空预压和电渗排水作用程度不同,土体出水量和出水速率有差异。试验结束后,土体含水率减少了37.4%,真空预压的作用范围主要集中在土体表层和排水板附近;电渗对阳极附近的土体排水起主要作用。土体的抗剪强度提高程度与阴极和阳极的位置有关,电渗法对土体抗剪强度的提高有一定的作用。

【关键词】 港区;软土地基;真空预压;电渗;联合作用

中图分类号: TV522

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)12-019-05

Experimental study on soft soil treatment by vacuum preloading combined with electroosmosis

LIU Weiwei¹, LOU Chenyang², CHEN Bohan²

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China;

2. Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on the experiment of the soft soil in Dalian Dayaowan port area by the combined action of vacuum preloading and electroosmosis, this paper analyzes the variation law of parameters such as water output, water output rate, water content and shear strength, and discusses the effect of vacuum preloading and electroosmosis in treating soft soil. The results show that the soil is deformed and the color of the soil near the anode is changed after the combined obvious effect of vacuum preloading and electroosmosis. In different stages of combined action, the drainage degree of vacuum preloading and electroosmotic is different, and the soil water output and water output rate are different. After the experiment, the moisture content of soil decreases by 37.4%, and the range of vacuum preloading mainly concentrates on the surface of soil and near the drainage plate. Electroosmosis plays a major role in soil drainage near the anode. The improvement degree of shear strength of soil is related to the position of cathode and anode, and the electroosmosis method has a certain effect on the improvement of shear strength of soil.

Keywords: port area; soft soil foundation; vacuum preloading; electroosmosis; combined action

收稿日期: 2022-04-19

基金项目: 国家自然科学基金(42041006-04-03), 水利部堤防安全与病害防治工程技术研究中心开放课题基金(LSDP202106)

作者简介: 刘巍巍(1982—),女,硕士,主要从事工程材料方面的研究工作。

真空预压法是处理软土地基的一种有效方法,在港口码头、机场和高速公路工程中得到广泛应用^[1]。但采用真空预压法存在后期软土处理效率低、加固效果不明显,尤其是存在硬壳层、下部土体加固较差等问题,可能需要进行二次处理,造成大量人力物力浪费^[2-3]。电渗法是在软土的两端通直流电,使土中的自由水和弱结合水随水化阳离子一起向阴极移动,从而达到排水固结的一种地基处理方法^[4-6]。但电渗具有能耗大、腐蚀严重、时间长等缺点^[7-8]。对于天然含水量高、天然孔隙比大、抗剪强度低、压缩性高、渗透性差的软土,采用这两种方法通常难以达到预期的效果^[9-10]。近年来开始将真空预压与电渗二者相结合使用,利用真空预压法和电渗法的优势,既能够提高土体强度,也可以加快固结速度,提高施工效率^[11-12]。本文对大连大窑湾港区软土进行了真空预压与电渗联合作用试验,通过试验数据分析加固效果,探索加固机理,为工程施工提供技术和数据支持。

1 试验方案

1.1 试验软土特性

试验用土样来自大连大窑湾港区软土,呈流动状态,见图1。表1为试验用软土主要物理力学指标。从表1可以看出,该软土具有含水率高、液限和塑限高、孔隙比大、渗透性低、压缩性大等特点。



图1 软土形态

1.2 试验装置及仪器

主要试验装置及仪器:模型箱为10mm厚钢化玻璃箱,尺寸为800mm×400mm×600mm;电极为直径

表1 试验用软土的主要物理力学指标

物理力学指标	平均值	物理力学指标	平均值
含水率/%	107.4	压缩系数/ MPa^{-1}	1.66
液限/%	54.30	渗透系数/(cm/s)	5.2×10^{-8}
塑限/%	37.80	压缩模量/ MPa	2.47
密度/(g/cm^3)	1.45	黏聚力/ kPa	0
孔隙比	2.96	摩擦角/($^\circ$)	0

25mm的光面钢筋;塑料排水板采用国产C型排水板,尺寸为100mm×5mm,滤膜等效孔径为40~70 μm ;直流电渗仪为KDF-可控型电析降水仪;真空泵为SHB-Ⅲ型循环水式多用真空泵;水气分离装置为ZK-270型真空饱和缸;电子秤最大量程30kg,精度5g。

1.3 试验步骤

试验前先在模型箱的内壁和箱底设置两层土工薄膜,将土样填至40cm高度,插入排水板和钢筋电极,并在土体表面铺设两层土工布作为水平向排水系统,最后用土工膜包裹覆盖土体并保持密封。模型箱、真空饱和缸和真空泵通过管路相连接,见图2。试验开始后6天内,进行真空预压法排水,真空度维持在80kPa左右,同时每隔24h进行1h电渗(第一阶段);第7天开始,每隔24h进行3h电渗,控制总电流大小不变,为6.4A,持续6天(第二阶段)。当出水量基本稳定时关闭真空预压和电渗的电源并停止试验。试验完成后,对测定的有关指标并与试验前土体的指标进行比较分析。

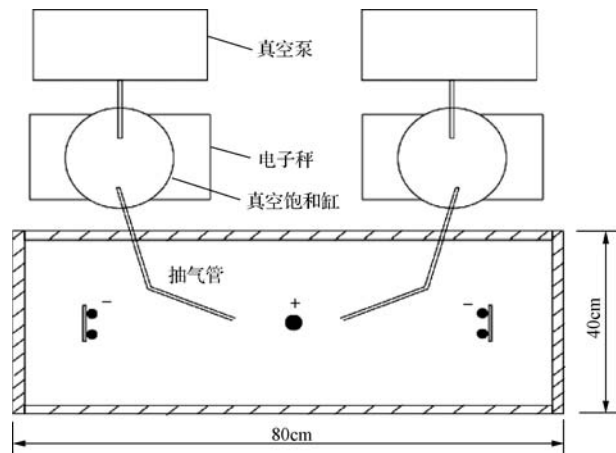


图2 试验布置平面示意图

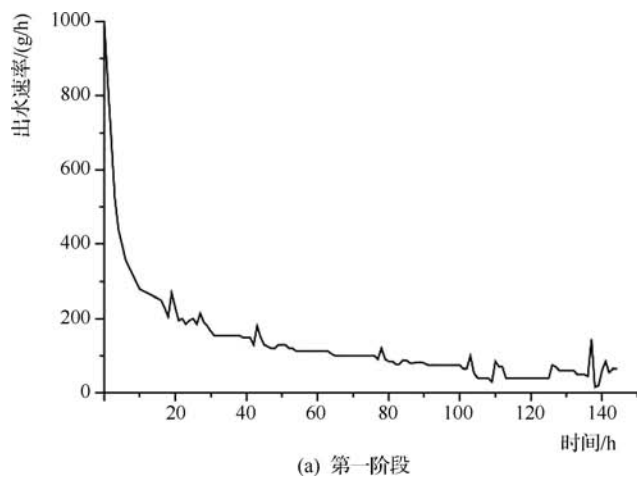
2 试验结果

2.1 土体变形

试验结束后土体发生 5cm 的竖向位移,由于膜下真空度的存在,大气压近似于外加荷载作用在土体表面,使土体出现竖向变形;阳极附近的土体呈现黄褐色,土体相对干燥,且阳极周围分布有往阴极方向扩张的环状微裂缝,裂缝两界面呈褐色,说明聚集有大量铁离子。阳极发生氧化反应产生的含铁离子的化合物充填于软土中,使土体的颜色沿径发生由深至浅的变化(见图 3)。



图 3 试验后软土外观



2.2 出水量及出水速率

图 4~图 5 为整个试验过程中出水量及出水速率的时程变化曲线。两个阶段的排水时间相同,均为 144h。整个过程出水量为 25.4kg,其中第一阶段的排水量为 19.8kg,第二阶段的排水量为 5.6kg。第一阶段出水速率随着含水率的下降急剧减小,通电时出水速率略有回升,说明电渗确实能够增加排水的效果。第二阶段出水速度很慢,其中一些时间段可能是由于排水系统淤堵甚至不排水,而在通电时出水速率能够提高 2~3 倍,说明电渗在后期的排水效果比较明显。

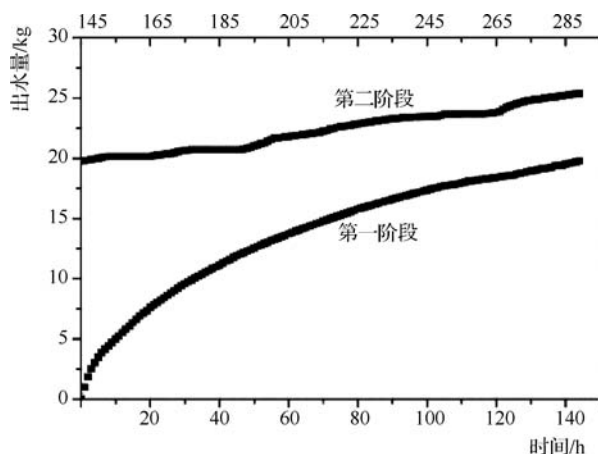


图 4 出水量时程曲线

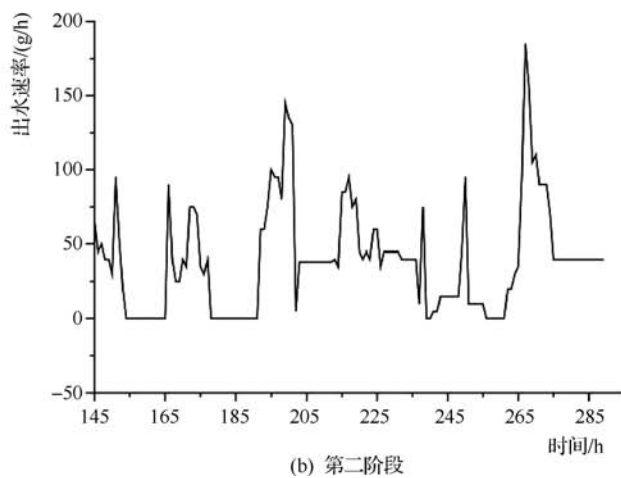


图 5 出水速率时程曲线

通过前后两个阶段对比分析,说明在土体含水率高的情况下,真空预压起主要排水作用;在土体含水率降到 85% 之后,电渗的排水效果相对明显,体现了这两种方法结合使用的优势。

2.3 含水率

试验后测定两极之间的含水率大小,沿深度方向在 5 个层面上取样,每层取相同间距的 4 个土体单元(见图 6),根据测得的含水率大小绘制含水率分布等

值线图,见图7。试验后土体平均含水率减小到70%左右,与初始含水率相比减少了37.4%。从图7可以看出:最小含水率分布在土体表层和阴阳极附近,最大含水率分布在深度为0.25m以下的两极中间;在同一深度处,阳极和阴极的土体含水率较低,中间最高;两极中间的土体含水率沿深度方向依次递增。由此可见,真空预压的作用范围主要集中在土体表层15cm范围内和排水板附近;电渗对阳极附近的土体排水起主要作用。

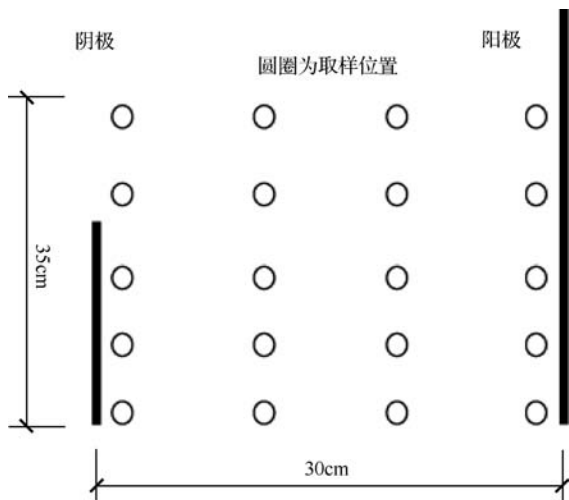


图6 含水率测量取样位置示意图

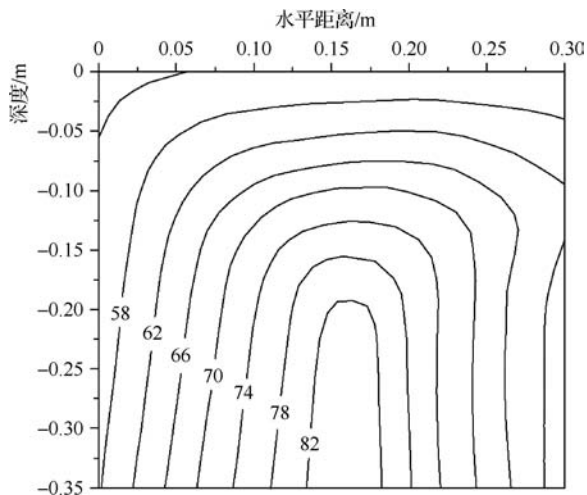


图7 试验后土体含水率分布等值线图(%)

2.4 抗剪强度

试验结束后对两极附近的土体进行了直剪试验。采取分层取样的方法,共分3层做6组直剪试验,将其编号为YN1、YN2、YN3和YG1、YG2、YG3,取样位置见图

8,每组试验取同一位置的4个土样,试验结果见图9~图10及表2。

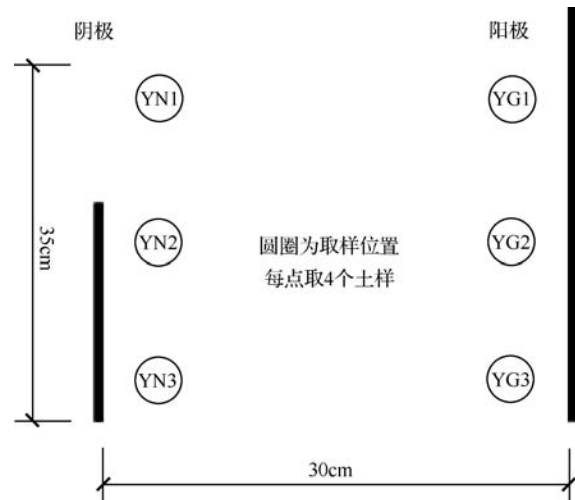
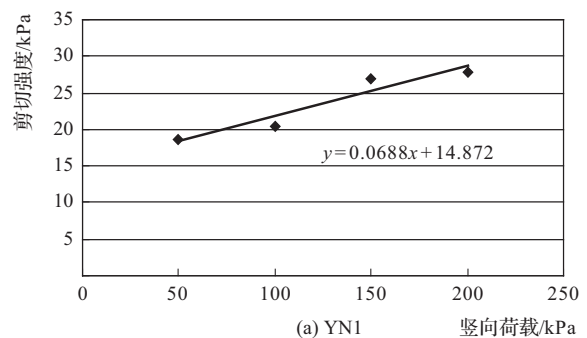
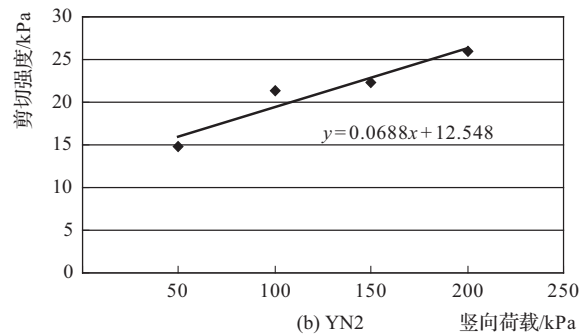


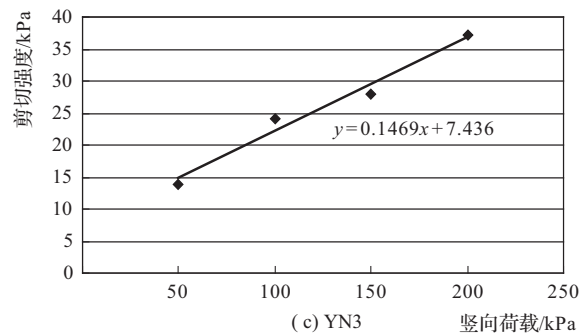
图8 直剪试验取样位置示意图



(a) YN1 竖向荷载/kPa



(b) YN2 竖向荷载/kPa



(c) YN3 竖向荷载/kPa

图9 阴极附近土体快剪强度

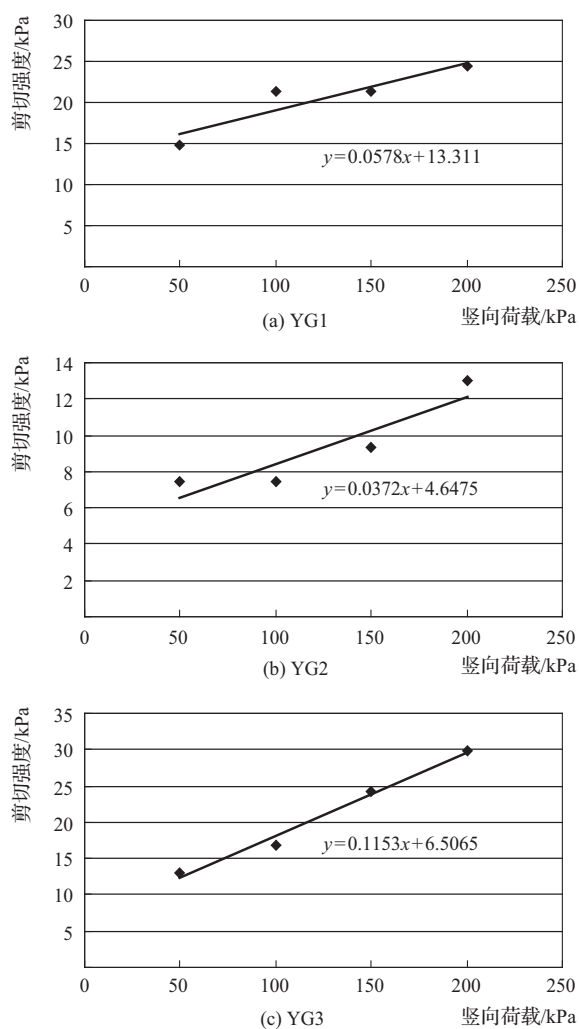


图 10 阳极附近土体快剪强度

表 2 试验后土体强度指标

阴极	c/kPa	$\varphi/(\circ)$	阳极	c/kPa	$\varphi/(\circ)$
YN1	14.87	3.94	YG1	12.7	3.72
YN2	12.55	3.94	YG2	4.65	2.13
YN3	7.44	8.36	YG3	6.51	6.58

试验前土样呈流动状态,无法进行直剪试验。试验后表层和两极附近的土体抗剪强度明显提高,其他位置的强度增加有限,主要因为表层土体和阴极(排水板)附近的土体在真空荷载的作用下排水固结,阳极附近的土体在电渗的作用下排水固结,而在两极之间且位置偏下的土体受真空预压和电渗的影响较小,强度增长有限。

由表 2 可知,土体抗剪强度阴极附近大于阳极附近,这是由于阴极附近的土体在真空荷载的作用下产

生负的超静孔压,从而增大土体有效应力,真空荷载维持在 80kPa 时土体强度会有大幅度提高;而在电渗的作用下由于裂隙的产生及电渗通电时间相对较少等原因,阳极附近土体的强度增长相对小一些。阳极附近底部土体的强度高于中层土体的强度,主要因为试验中阴极只有 20cm,且布置在模型箱底部,故电渗主要作用在土体底部,说明电渗法对土体强度的提高有一定的作用。

3 结 语

通过真空预压联合电渗法处理软土的模型试验,研究了真空预压联合电渗法处理软土的原理及效果,得到如下几点结论:

a. 真空预压主要是排水作用,而电渗兼有排水和电化学作用,两者联合使用的效果明显,联合作用后土体发生竖向位移,阳极附近的土体颜色改变。

b. 联合作用前期,出水量随作用时间逐渐增大,出水速率较大,真空预压的排水作用强于电渗;当土体平均含水率小于 85% 左右之后,出水量减小,出水速率减小,电渗的排水作用明显。因此,建议在含水率降到一定的标准时接直流电进行真空预压联合电渗法处理。

c. 联合作用后,土体含水率减少了 37.4%;真空预压的作用范围主要集中在土体表层和排水板附近;电渗对阳极附近的土体排水起主要作用。

d. 联合作用后,土体表层和两极附近的抗剪强度明显提高;阴极附近的土体抗剪强度大于阳极,电渗法对土体抗剪强度的提高有一定的作用。◆

参考文献

- [1] 邵旭. 真空预压加固港口软土地基的机理研究[J]. 港工技术, 2015, 52(1): 84-87.
- [2] 王海建, 杨建贵, 胡建斌, 等. 真空预压联合电渗加固吹填土现场试验研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(34): 108-112.
- [3] 俞家锐, 宋永东. 电渗联合真空预压法加固吹填土现场试验研究[J]. 水资源开发与管理, 2019(3): 58-62.

(下转第 44 页)



民乐县高标准农田地表水滴灌工程 优化布局模式探讨及应用

韩欣宇

(民乐县水务局,甘肃 民乐 734500)

【摘要】 针对民乐县大面积实施高标准农田配套地表水滴灌的工程措施,结合民乐县情,从蓄水池位置、池内取水方式、灌溉分片、水泵和过滤器布置、地埋管道布设、管径选择、地面给水设施设置以及支管和滴灌带选择等方面进行了优化布局,形成了固定的滴灌模式。项目实施促进了群众思想转变,提高了运行管理效率,加速了土地流转经营,满足了分片种植不同作物的灌溉需求,应用效果明显,为逐步实现智慧农业奠定了坚实基础,也可为不同区域的地表水滴灌工程布置提供参考。

【关键词】 高标准农田;地表水滴灌;优化布局模式;探讨及应用

中图分类号: [TV93]

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-024-05

Discussion and application of optimal layout model of high-standard farmland drip irrigation project with surface water in Minle County

HAN Xinyu

(Minle Water Bureau, Minle 734500, China)

Abstract: In view of the large area implementation of high-standard farmland drip irrigation project measure with surface water in Minle County, combined with the situation of Minle County, a fixed drip model is formed by optimizing the layout of reservoir location, water intake mode, irrigation fragmentation, water pump and filter arrangement, buried pipeline layout, pipe diameter selection, ground water supply facility setting, branch pipeline and drip irrigation belt selection. The implementation of the project promotes the ideological transformation of the masses, improves the efficiency of operation and management, accelerates the transfer of land management, meets the irrigation needs of different crops planted in segments with obvious application effect. It lays a solid foundation for the gradual implementation of intelligent agriculture development, and also provides reference for the layout of drip irrigation projects with surface water in different regions.

Keywords: high-standard farmland; drip irrigation with surface water; optimal layout model; discussion and application

沿山灌区耕地起伏变化大,地块不规则,农业生产效率低下,加之群众渠水漫灌思想牢固,致使有限的水资源得不到充分利用。建设高标准农田,走高效节水

发展之路,提高农田灌溉的保证程度,确保农田适时适量灌溉、科学施肥,实现旱涝保收,是提高作物产量最直接有效的举措。通过实践探索出一条适宜当地地表

收稿日期: 2022-03-10

作者简介: 韩欣宇(1989—),女,工程师,主要从事水利工程设计施工工作。

水滴灌工程的布局模式尤为重要,要让群众看得见、摸得着,消除思想顾虑,促进群众积极参与到工程建设中来,积极投身到运行管理中去,使滴灌工程长期发挥效益,成为“三农”发展的好帮手。

1 基本情况

高标准农田建设是保障国家粮食安全,实施“藏粮于地、藏粮于技”战略的重要举措^[1]。民乐县计划自2019年至2022年建设高标准农田50万亩,占全县耕地面积的43%,现已建成30万亩。高标准农田建设主要包括土地平整、田间道路、灌溉与排水、防护林带、土壤改良、农电设施等内容,其中灌溉设施布局主要以高效节水地表水滴灌工程为主。大面积实施滴灌工程在民乐县尚属首次,由于群众长期以来大水漫灌的传统思想一时难以改变,对高效节水灌溉持怀疑态度,未科学认识灌溉能够节水、节肥、增产、增效从而提高收益,对此瞻前顾后、顾虑重重。因此,滴灌设施布局的好坏直接成为高标准农田建设成败的关键所在。为了打消群众顾虑,顺利进行高标准农田建设,将高效节水滴灌工程变为提高水资源利用率、提高农田收益和群众喜闻乐见的灌溉方式,从根本上解决问题,提高农田灌溉质量,使其长期发挥农田效益,必须探讨出一条适宜的滴灌工程布局模式,被群众接受认可。结合民乐县情,在建设之初,先对高标准农田建设积极,并对高效节水滴灌方式认识高的个别村进行试点。全方位精心设计、优化布局,历经一年的努力探索,打造出适合当地的地表水滴灌工程的布局模式。该模式节水、节肥、节力、增产效果明显、管理方便、群众乐于接受,在后续的高标准农田建设中,掀起了村村竞争列项建设的热潮,为民乐县“三农”发展、助力乡村振兴起到了积极的推动作用。

2 滴灌工程优化布局模式

以平整好的田地为载体,以通达的田间道路为参照,以现状的高标准支渠或斗渠为引水条件,按照系统简单、取水方便、运行高效的原则,根据工艺顺序,从蓄水池位置选择、池内取水方式布置、灌溉分片设置、水

泵过滤器布置、地埋管道布置、管径选择、地面给水设施布置以及支管和滴灌带选择等方面进行了优化布局。

2.1 蓄水池位置按统一原则优化布置

地表水滴灌必须以连续供水为前置条件,蓄水池是实现连续供水的必要设施。通过多方案比选,蓄水池布置在控制灌溉农田的上端和现状衬砌引水渠道上游的交叉处最为合理。这一原则布置,可最大限度地使农田处在蓄水池的下游,可使自流灌溉的农田面积最大化,为节省运行费用创造了条件。

2.2 将坝顶取水优化布置为坝底取水

常规的蓄水池由于位置选择不佳,常常做成坝顶取水,完全丧失了自流灌溉的途径。一旦取水受阻,来不及维修设施,农田将得不到适时适量灌溉,将造成较大的损失。优化采用坝底埋管取水,并将离心水泵安装在与埋管同高程的管端位置,通过节制阀门控制可使水泵进水管始终处于满水状态,频繁启动水泵安全快捷,免去了每次启动水泵前先向其进水管长时间充水的操作程序,为运行管理带来了极大的便利,提高了系统运行效率。同时在水泵进水管前安装旁通管与过滤器下游的系统主管连接,形成下游区自流灌溉(见图1)。

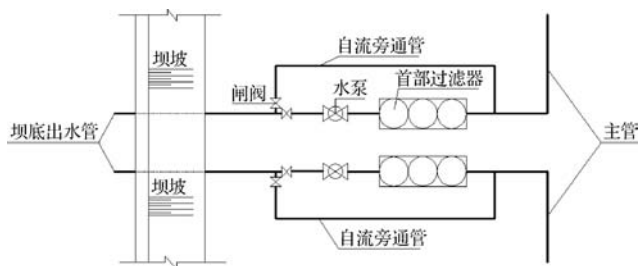


图1 坝底取水管布置示意图

2.3 将整片灌溉优化布置为多个分片灌溉

传统的灌溉采用一个灌水系统整片按序依次灌溉,系统流量大,对各方面要求高,管理不够灵活,一旦管道出现问题,势必导致整个系统停运维修,影响作物的最佳灌溉时间。现优化该模式为多个灌片独立灌溉,每个灌片面积控制在1000亩左右。每个灌片可以单独进行灌溉,不但规避了停运维修带来的风险,还便



于作物倒茬和分类施肥。此模式对于南北长且落差大、东西窄的项目区还有另外一个好处,就是在项目区合适位置划分灌片,充分利用上下游自然落差实现系统自压滴灌,节省了水泵加压运行费用,从而可以节约运行成本,提高收益。

2.4 将单一的“一泵一器”供水优化为多个“一泵一器”供水

所谓“一泵一器”供水是指无论灌片面积大小均采用一台水泵配套一套过滤器向田间管网系统供水。该供水模式系统流量大,控制灌溉面积大,多种作物共用一套系统供水,不同作物施加不同的肥料时不能方便控制,存在不同作物之间串肥混淆的弊端,给管理带来极大的困难。运行中水泵或者过滤器出现故障时,若不能及时维修将影响整片灌溉。针对“一泵一器”供水模式的弊端,将其优化为多个“一泵一器”供水模式,即根据划分的灌片采用每个分片配一套“一泵一器”供水施肥。优化后的供水模式系统流量小,控制灌溉面积小,可以实现多个灌片同时供水且灌溉时间和周期互不影响,从而实现一村一片地可种植多种作物独立灌溉和独立施肥,使水肥一体化设备充分发挥效益。同时也解决了一村耕地不能被多人流转,发展不同作物种植的弊端。

2.5 将管道系统布置优化为“干草叉”形式布置

常规的滴灌系统埋管道布置形式有树枝形、丰字形、梳子形等。树枝形布置适用于非标准条田,安装管件多,管理不便;丰字形和梳子形布置适用于标准条田,管道顺直,安装便捷。根据平整的标准条田或“一马平川”大块田形式,将埋管道优化统一布置为“干草叉”形(见图2),即与首部系统连接的独管垂直于分片地上端的横向田埂布置,在其下游侧平行于横向田埂布置一根横管,垂直横管等间距布置竖管。若将埋管道分为总管、干管、分干管三级,则总管垂直于分片地上端的横向田埂,干管与总管倒“T”形连接,分干管垂直于干管呈梳子形布置。其分干管间距规定为120m不变,每路分干管控制左右两侧标准距离均为60m。此种布置形式简单明了,连接均为正向连接,便

于管与管之间连接,质量易于保证。

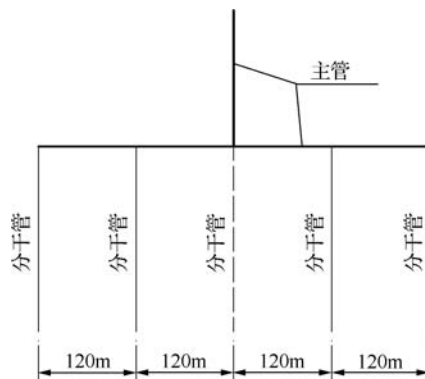


图2 埋管道布置形式

2.6 将埋管道优化为两种管径布置

按照分片面积1000亩作为一个灌水系统进行典型设计,选取高耗水作物马铃薯进行相关的参数计算,确定灌水定额为 $18\text{m}^3/\text{亩}$,灌水周期为5天,每次灌水延续时间为4h,灌溉水利用系数取0.9,按每天工作20h计算,系统流量为 $222\text{m}^3/\text{h}$,确定埋管道总管和干管管径为250mm,分干管管径为160mm。按照条田和“一马平川”形式的不同,并考虑条田秋泡保墒或倒茬作物漫灌的要求,总管和干管管径统一为315mm。为了便于管理,将总管和干管合并称为主管,使整个埋管道固定为两级,即主管和分干管(见图2)。

2.7 将给水栓由单一的滴灌出水优化为滴灌+管灌出水

给水栓均安装在与分干管垂直连接的出地管上。常规的滴灌给水栓出水口较小,其口径一般为75mm,材质为化学建材,采用模具注塑成型。该种给水栓虽然美观,但耐久性较差,更换频次高、不经济,且条田泡地或小畦漫灌时出水量小,不适宜节水灌溉。优化给水栓为既能滴灌又能管灌的多功能给水栓(见图3),采用钢质材料由人工加工制作而成。栓身采用DN160无缝钢管,垂直栓身单侧平行布置两个出水口,上口与栓身同径,下口为DN90无缝钢管,栓顶设置手柄用丝杆连接栓内装置启闭上口,下口采用直螺纹连接同径球阀供水和闭水。关闭上口打开下口即可启动滴灌系统小流量供水,关闭下口打开上口连接轻质软管即可

启动管灌系统满管流量供水,从而实现了一栓两用,既实现了群众期盼的管灌+滴灌方式的灌溉,又使倒茬适宜管灌的作物得到了供水保证,达到了灌溉方便,节约成本的目的。



图3 多功能给水栓

2.8 优化地面支管平行于地理分干管布置

地面支管采用同径球阀与给水栓连接,垂直于条田横向田埂布置,同一档条田上支管的位置在平面上与地理分干管的位置重合,在立面上相互平行(见图4)。每个给水栓连接一条支管,布置为双侧连接滴灌带供水,标准长度等于给水栓之间的距离,当条田宽度为25~35m时采用管径为75mm的PE软管供水,当条田宽度为35~42m时采用管径为90mm的PE软管供水,承压能力均不小于0.63MPa。

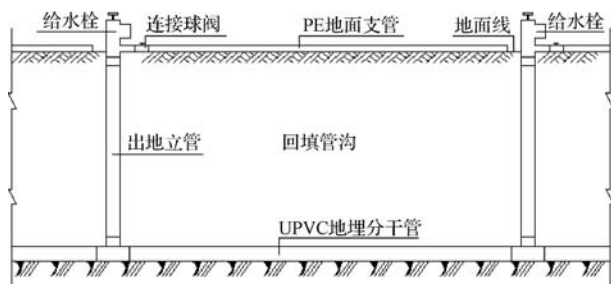


图4 地面支管与地理分干管布置示意图

2.9 优化滴灌带为“五定”统一布置

滴灌带“五定”为定长度、定直径、定流量、定水头、定滴头。滴灌带垂直于支管呈梳子形定长等间距布置,单根定长为60m,间距根据作物窄行距确定,材

质为PE,承压能力不小于0.25MPa,选定直径16mm,流量确定为2.1L/h,计算工作水头确定为9.0m,滴头选择为压力补偿式滴头,间距30cm。市场上滴灌带品种多,质量参差不齐,农户购买时难辨好坏,存在铺设后滴水不畅的风险。滴灌带“五定”统一布置,标准统一,易于识别,避免了农户购买存在的使用不畅的风险。

3 应用效果

优化布局后的地表水滴灌工程模式在民乐县高标准农田建设中被广泛应用且运行良好,受到广大群众和流转大户的一致好评,最为突出的优点是管路布置简单明了,管理便捷高效,管理人员稍加培训便能掌握其操作运行技能。2019年至2021年民乐县实施高标准农田滴灌工程面积已达25.95万亩,在县域内的10个镇64个村分散实施,全部运行良好。该模式下的滴灌作物灌水便捷,产量明显提高。

3.1 打消了群众对滴灌“不行”的认识

通过对滴灌工程的优化布局,使群众经由田间地头的猜忌设障转变到管材设备布置的实物认识,工程监督管理的参与,交付使用后的自主运行管理,其思想上和行动上都发生了巨大变化。特别是同类作物在滴灌方式下的亩均产量与常规的大水漫灌方式下的亩均产量相比增产效果明显,增幅达到了30%。通过参与生产收获过程的体验,群众切身感受到了滴灌工程的高效性和灌溉的便捷性等诸多益处。简单的布局模式易于接受,取得的效益看得见、摸得着,广大群众越来越热衷于高标准农田建设。先前对滴灌方式认为“不行”的农民,其思想也发生了根本变化,从质疑到接受、从支持到参与,彻底打消了滴灌工程实施的思想障碍,使滴灌工程建设从先前的被动实施到了现在的争抢列项,形成了村村竞争的格局。

3.2 实现了运行管理的便捷化

“三分建七分管”,工程管理至关重要,管理不善造成跑冒滴漏,势必影响工程效益的正常发挥。优化布局后的滴灌工程布置模式简单明了^[2-3],从蓄水池坝



底管分水口取水,通过水泵加压和过滤器运行及水肥注入,进入地理主管通过闸阀控制水流到指定的地理分干管和地面给水栓,采取球阀连接支管统一进入所连滴灌带滴入作物根部,水流流向清楚、管路走向简单易记,无须每次都照图管理。由于系统布置简单,运行过程中分水闸阀操作个数少,给水栓启闭便捷,每个给水栓连接一条支管,出现问题可以单个维修,不影响其他给水栓及支管的正常运行,只要对一般人员稍加培训即可掌握系统的操作要求,胜任系统的正常运行管理以及简单的维修和保养。

3.3 增强了土地流转的竞争性

优化后的滴灌工程布局模式使田间灌溉设施配套更加合理,操作简单易行,加之平整后的农田标准化程度高,农业机械作业效率提升,使农民对土地的珍惜爱护情结升温,思想发生了质的飞跃^[4]。为了提高土地收益,农民认识到位,思想集中统一^[5],引进流转大户和企业积极参与耕地流转的竞争。通过耕地流转费报价和流转企业实力评估,确定流转户、签订流转合同,建立了长效机制,使土地的价值最大限度地得到了提高,农民的收益实现了最大化,每年流转费的提前发放成了农民看得见、摸得着的实惠。

3.4 满足了分片单独灌溉的需求

优化后的滴灌工程布局模式考虑田地地形、不动工程设施和平整后的地块、田间道路等,将一村一片地划分成亩数大致相等的多个分片,将每个分片布置为一个独立灌片,达到了一村多田、多户小量流转,多种作物倒茬轮作,适时适量灌溉,独立施肥的目的^[6-7],极大地契合了流转户或流转企业在一村一片地上进行多禾种植的思路,避免了单一品种作物种植带来的市场风险,在一定程度上提高了抵抗市场风险的能力,为流转户和流转企业确保种植效益提供了有力保障。

4 结 语

民乐县实施高标准农田建设的村组基本实现了

“一村一片地,一户一块田”的农田格局,使得“三农”发展有了长足的后劲。利用灌区骨干渠道引水至蓄水池,水源保障程度高。利用规则的农田优化了滴灌工程的布局,形成了统一的灌溉模式,管路简单明了,操作简单易行,运行高效便捷,从根本上解决了农业生产基础设施配套不全、产出不高的问题,基本实现了水、地的高效利用和农田的高效产出,极大地促进了农民种地的积极性,增强了对土地的亲和力,为保障国家粮食安全,实施“藏粮于地、藏粮于技”战略提供了有力保障^[8-11]。◆

参考文献

- [1] 师诺,赵华甫,任涛,等.高标准农田建设全过程监管机制的构建研究[J].中国农业大学学报,2022,27(2):173-185.
- [2] 王彤.墒增视角下的水利工程运行管理标准化建设[J].水利建设与管理,2021,41(3):72-76.
- [3] 张波,陈武奋,江显群.智慧灌区建设中的关键技术应用[J].水利建设与管理,2020,40(9):72-76.
- [4] 任莉.农田水利工程高效节水灌溉发展思路分析[J].甘肃农业,2021(12):108-110.
- [5] 张奎忠.水利工程节水灌溉设计与规划中存在的问题及解决措施[J].冶金管理,2021(23):99-100.
- [6] 李中杰.不同灌溉技术和灌水量的陕北山地苹果节水增产提质效应研究[D].西安:西安理工大学,2021.
- [7] 欧玉民.城市绿化节水灌溉技术及其对再生水适用性对比研究[D].北京:北京建筑大学,2021.
- [8] 董姗,王皓,贾倩民,等.灌溉模式与种植方式对河西地区青贮玉米生长、产量和经济效益的影响[J].草地学报,2020,28(4):1111-1120.
- [9] 张志彬,杨延强,高扬,等.基于山东省农业用水合理利用的多目标农作物种植结构调整[J].农业工程,2020,10(6):108-113.
- [10] 刘钊.不同灌溉方式下马铃薯种植综合效益分析[J].水利科技与经济,2020,26(2):81-84.
- [11] 刘颖.初探改善灌溉条件及种植模式提高高标准农田效益[J].内蒙古水利,2015(3):163-164.

西藏高海拔碾压混凝土筑坝温控防裂技术与实践

姜顺宏¹ 熊 涛²

- (1. 中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081;
2. 中国水利水电第九工程局有限公司, 贵州 贵阳 550081)

【摘 要】 大古水电站是世界在建最高海拔碾压混凝土重力坝。面对高海拔特殊气候条件,混凝土温控防裂成为大坝建设中的关键技术难题。为避免大坝出现温度裂缝,本文在总结碾压混凝土筑坝温控防裂工程经验的基础上,结合高海拔干冷河谷气候特点,对整个保温保湿工序进行了温控防裂关键技术研究,并总结出适合高海拔地区的温控防裂技术。该技术有效地防止了大坝温度裂缝的出现,解决了高海拔地区碾压混凝土筑坝温控防裂技术难题。

【关键词】 高海拔;碾压混凝土;筑坝;温控防裂;实践

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-029-07

Technology and practice of temperature control and crack prevention for high altitude RCC dam construction in Tibet

JIANG Shunhong¹, XIONG Tao²

- (1. Powerchina Guiyang Engineering Co., Ltd., Guiyang 550081, China;
2. Sinohydro Bureau 9 Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: Dagou Hydropower Station is the highest elevation RCC gravity dam under construction in the world. Facing the special climate condition of high altitude, the temperature control and crack prevention of concrete has become the key technical problem in dam construction. In order to avoid temperature cracks in the dam, based on the experience of temperature control and crack prevention projects of RCC dams, combined with the climate characteristics of arid-cold valleys at high altitude, this paper studies the key technology of temperature control and crack prevention in the whole thermal insulation and moisturizing process, and summarizes the temperature control and crack prevention technology suitable for high altitude areas. This technology can effectively prevent the appearance of temperature cracks in the dam and solve the technical problems of temperature control and crack prevention of RCC dams in high altitude areas.

Keywords: high altitude; RCC; dam construction; temperature control and crack prevention; practice

收稿日期: 2022-03-01

基金项目: 中国电力建设股份有限公司科技项目:西藏高海拔复杂气候条件下碾压混凝土筑坝技术研究(DJ-ZDXM-2019-16)

作者简介: 姜顺宏(1975—),男,工程师,主要从事铁路工程及水利水电工程监理工作。



自20世纪80年代起,碾压混凝土筑坝技术因其造价低、工期短等优势在中国得到广泛研究和快速推广,但至今碾压混凝土坝的温控防裂仍是坝工界研究的重要课题。

虽然从20世纪30年代开始,碾压混凝土坝的温控防裂就已经发展并形成一整套的理论体系,但国内外仍然存在“无坝不裂”的现象^[1]。大体积碾压混凝土裂缝产生的原因:一是内外温差大使混凝土内部产生压应力,表面产生拉应力,产生温度裂缝;二是外界的湿度降低加速了混凝土的干缩,导致混凝土干缩裂缝的产生^[2]。乌东德水电站与丰满水电站大坝针对温控防裂采取了智能通水温控系统,取得了良好的效果,保证了工程质量^[3,4]。溪洛渡水电站、拉西瓦水电站、小湾水电站以及龙滩水电站大坝针对工程气候条件,通过一系列的控温控湿措施的研究,避免了危害性裂缝的发生^[5-8],三峡大坝提出并应用“个性化”通水冷却方案,混凝土施工监控实施天气预警、温度控制预警及间歇期预警制度,以及细化的综合防裂措施,取得了显著成效^[9]。

大古水电站地处高海拔干冷河谷地区,气候条件恶劣,大坝温控防裂难度更大,技术措施及手段更需要有针对性。

1 工程概况

大古水电站位于西藏自治区山南地区桑日县境内,为Ⅱ等大(2)型工程,以发电为主,水库正常蓄水位3447.00m,相应库容0.5528亿 m^3 ,电站坝址控制流域面积15.74万 km^2 。多年平均流量1010 m^3/s ,电站装机容量660MW。电站枢纽建筑物由挡水建筑物、泄洪消能建筑物、引水发电系统及升压站等组成。拦河坝为碾压混凝土重力坝,共有17个坝段,坝体为全断面碾压混凝土,上游防渗采取变态混凝土+二级配碾压混凝土防渗,防渗区从下至上厚度依次为5m、3.5m、2m。坝顶高程3451.00m,最大坝高117m,坝顶长385m,大坝碾压混凝土93.7万 m^3 ,常态混凝土50.5万 m^3 ^[10]。

2 坝址气候特征

本工程位于青藏高原气候区,基本特性为气温低、空气稀薄、紊乱强风、气候干燥、昼夜温差大、太阳辐射强烈($>1500\text{W}/\text{m}^2$)。每年11月至次年4月为旱季,5—10月为雨季。本地区多年平均气温9.3℃,极端最高、最低气温分别为32.5℃和-16.6℃。多年平均降水量527.4mm,多年平均蒸发量为2084.1mm,多年平均相对湿度为51%。最低相对湿度不足10%,多年平均气压为685.5hPa,历年最大定时风速为19.0m/s,多年平均日照时数为2605.7h,历年最大冻土深度为19cm^[11]。

3 高海拔碾压混凝土筑坝面临温控防裂的挑战

坝址所在地气候条件对坝体的温控防裂极为不利。主要体现如下:①新浇混凝土外表面受太阳强辐射、大风、干燥的气候特点影响,表面水分散失极快,易在混凝土表面形成拉应力,从而引起混凝土开裂,导致表面干缩裂缝;②新浇混凝土水分蒸发快,产生体积收缩时受老混凝土面的约束,易产生裂缝;③昼夜温差大,且温度骤降频率高,混凝土在达到设计强度指标之前,水化温升温降阶段,内部温度高,导致内外温差较大,易导致温度裂缝发生。

为确保工程质量,从混凝土配合比、原材料、通水冷却、运输及浇筑过程温度回升控制措施、坝面保温保湿、越冬保温等整个工序,开展温控防裂关键技术研究,总结出适合高海拔地区的温控防裂技术。

4 温控防裂设计控制标准

大坝碾压混凝土温控防裂设计技术要求如下:

- a. 大坝准稳定温度:10℃。
- b. 入仓温度:控制不超过12℃。
- c. 基础容许温差 ΔT :强约束区小于12℃,弱约束区小于14.5℃。
- d. 新老混凝土温控标准:碾压混凝土不大于13℃。老混凝土面以上新浇混凝土应短间歇均匀连续

上升,避免再次出现老混凝土。

e. 坝体碾压混凝土内外温差:控制不超过 16℃。

f. 设计容许最高温度:碾压混凝土容许最高温度 $[T_{\max}]$:强约束区不大于 22℃,弱约束区不大于 25℃,自由区不大于 28℃。

5 温控防裂技术

根据裂缝成因,针对本地区特殊气候条件,大坝温控防裂主要从以下几方面进行控制。

5.1 混凝土配合比

根据浇筑时段、气候条件及原材料性能参数确定混凝土的原材料组成比例,优化混凝土配合比,配制出抗裂能力高、水化热相对低、最优 VC 值和良好可碾性、泛浆性的混凝土。

a. 采用中热硅酸盐水泥:放缓混凝土早期的强度增长速度,利于混凝土内部温度的控制。

b. 龄期:采用 90 天设计龄期。

c. 加大粉煤灰掺量:在保证混凝土强度的前提下最大程度加大粉煤灰的掺量,降低混凝土绝热温升。

d. VC 值:碾压混凝土 VC 值极易受高海拔地区

特有的强日照、低气压、昼夜大温差、干燥、大风等环境影响。对于 VC 值控制不能以同一个标准对待,而应随每天各个不同时段温度、湿度、日照、风速等条件进行动态调整。从 2019 年总结数据看,早晨和夜晚温度相对较低,湿度较高,仓面 VC 值宜控制在 1~2s;当午后气温不低于 25℃,且受太阳直射时,仓面 VC 值损失较快,在初凝时间变短的情况下,VC 值宜控制在 0~3s。仓面施工按照不陷碾,VC 值取小值的原则控制。

e. 坍落度:常态混凝土宜采用低坍落度,以降低胶凝材料用量。

f. 变态混凝土:采用机拌变态工艺取代人工加浆工艺,避免人工加浆容易导致过量从而带来混凝土水化热增加,同时更有利于防渗区变态混凝土层间结合质量。

g. 石粉含量:最佳石粉含量为 20%,宜将石粉含量控制在 20%±2%。

本工程采用的碾压混凝土配合比和每方材料用量见表 1~表 2。

表 1 碾压混凝土配合比

设计等级	级配	水泥种类	混凝土种类	设计坍落度/VC 值/mm	水胶比	粉煤灰掺量/%	砂率/%	用水量/(kg/m ³)	骨料比例	减水剂掺量/%	减水剂种类	引气剂掺量/%
C ₉₀ 15W6F100	三	中热	碾压	0~3	0.55	63	34	88	30:40:30	0.8	萘系	0.35
C ₉₀ 20W8F200	二	中热	碾压	0~3	0.50	50	38	93	50:50	0.8	萘系	0.30
C ₉₀ 15W6F100	三	中热	变态	120~140	0.55	60	32	142	30:30:40	0.8	萘系	0.012
C ₉₀ 20W8F200	二	中热	变态	120~140	0.50	50	36	151	50:50	0.8	萘系	0.012

表 2 每方材料用量

单位:kg/m³

设计等级	级配	混凝土种类	水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石	大石	减水剂	引气剂	表观密度
C ₉₀ 15W6F100	三	碾压	88	60	100	739	430	573	430	1.28	0.560	
C ₉₀ 20W8F200	二	碾压	93	93	93	805	658	658	—	1.49	0.558	2420
C ₉₀ 15W6F100	三	变态	142	104	155	687	438	438	584	2.07	0.310	2400
C ₉₀ 20W8F200	二	变态	151	151	151	746	664	664	—	2.42	0.036	2548



5.2 原材料及半成品温控措施

a. 成品料仓(粗细骨料)均采取遮阳保温措施,堆高均大于6m,采用地笼取料,以减小骨料温度受昼夜温差及极端天气情况的影响,低温季节不至于冻结、堆料中下部骨料温度不低于3℃。

b. 增加砂的脱水时间,减少砂含水率,以便于能够多加冰或制冷水。

c. 混凝土拌和加冰或加制冷水。粗骨料、砂、加冰量是影响混凝土出机口温度的主要因素。根据2019年的数据统计,粗骨料或砂温度上升1.0℃,碾压混凝土温度上升0.30~0.52℃;每加1.0kg冰,碾压混凝土温度降0.17~0.20℃。因此在混凝土生产过程中,需严格控制好粗骨料的风冷效果,尽量加冰或加制冷水。

5.3 运输过程中温度回升控制

a. 选择合理的入仓方式,减少转运。本工程坝体2/3的碾压混凝土均采用自卸汽车直接入仓,确保入仓强度的同时减少了温度回升^[12]。

b. 运输道路宜采用双车道,不具备双车道入仓条件的在合适位置设置错车道并安排专人调度指挥,以提高混凝土运输车辆的效率,缩短混凝土运输及等待卸料时间^[12]。

c. 自卸汽车、管道等混凝土运输设备全部采取在外壁贴3cm厚橡塑海绵进行保温,混凝土运输自卸车顶部加设保温活动式遮阳棚。

d. 拌和站至碾压混凝土仓面运输距离不超过1.6km。

通过以上措施,出机口温度至入仓温度的回升能够控制在2℃以内。

5.4 浇筑过程中温度回升控制

a. 入仓后及时进行摊铺、碾压,充分提高混凝土浇筑强度,最大限度地缩短层间间隔时间。碾压混凝土层间间隔时间控制在6h内,高温季节通过合理分仓,减小仓面面积,将坝段分成若干块进行平层铺筑法施工,层间间隔时间控制在4h内。

b. 碾压后的条带(包括振捣完成的变态混凝土),及时采用浅色彩条布或薄膜覆盖进行保温保湿,在下一层混凝土覆盖前才允许揭开。

c. 制造仓面小气候,采用喷雾机、冲毛机对仓面进行喷雾,形成局部小气候,对已完成碾压进行覆盖的区域同样要进行喷雾。

d. 大坝悬臂翻升钢模板背部粘贴10cm厚聚苯乙烯板进行模板保温。

e. 大坝地处峡谷,强日照发生在下午时段,因此冷却水管在夜间或者上午铺设,避开下午高温及太阳直射时段施工冷却水管层碾压混凝土,冷却水管层高布置可在设计布置高程上下30cm进行调整。

通过以上措施,入仓温度至浇筑温度的回升能够控制在2℃以内。

5.5 混凝土成型后保温保湿

a. 表面覆盖保湿、洒水降温。混凝土浇筑完毕后,混凝土表面采用土工布、彩条布或塑料薄膜进行洒水覆盖养护,使混凝土表面保持长时间湿润,且在高温季节起到很好的散热效果。

b. 立面养护。拆模选择在白天高温时段进行,拆模一块区域,保温保湿工艺及时跟进。坝体横缝面拆模后采用橡塑海绵保温,根据坝体上升情况,下一仓面浇筑前才能沿高程逐段拆除。上下游立面养护结合越冬保温措施一次成型。

大坝混凝土保温原设计为粘贴聚苯乙烯保温板,受强风影响,聚苯乙烯板存在脱落现象,同时粘贴的聚乙烯板中间不可避免地存在缝隙,导致在太阳辐射及强风的作用下,混凝土表面极易失水干燥,使保温保湿效果变差。

通过保温保湿工艺试验对比,创新出新型压条式保温保湿工艺(见图1):喷水花管+PC薄膜+橡塑海绵+三防布+定制压条+螺栓固定,同时验证了该工艺具有以下优点:

a. 该工艺的保温保湿效果满足设计要求,能够保证混凝土内外温差不大于16℃,混凝土表面湿度

可达到 95% 以上,确保了混凝土表面保温保湿效果,有效避免了混凝土表面温度裂缝及干缩裂缝的发生。

b. 该工艺的保温保湿材料均属于柔性材料,能够

搭接;且采用压条及螺栓固定,强风条件下也不会导致脱落;拆除后无胶水附着物,外观美观,不需要对坝面二次清理;各部件材料回收方便,能够二次利用,实现节能环保。压条式保温保湿工艺见图 1。

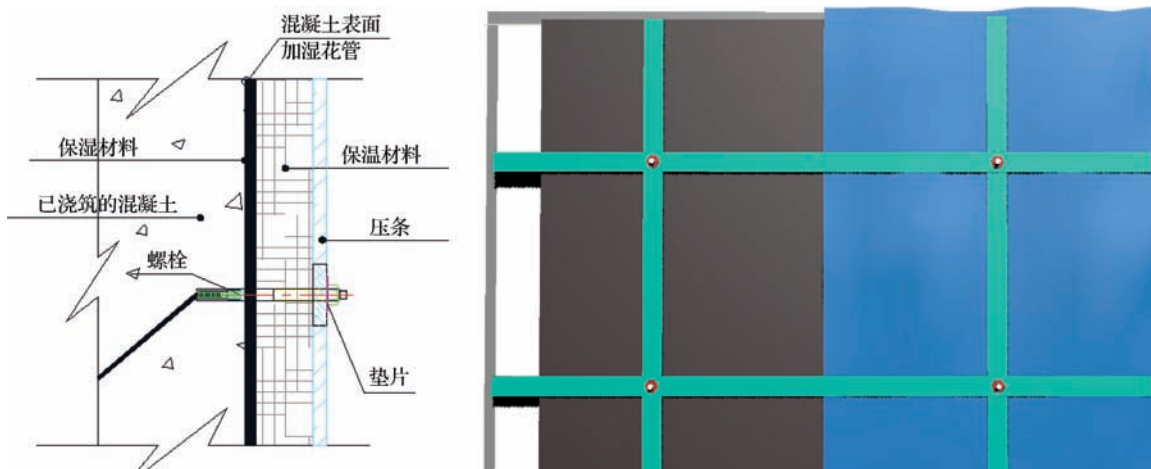


图 1 压条式保温保湿工艺示意图

5.6 智能通水冷却,降低混凝土内部温度

冷却用水水池及干支管均采用 3cm 厚橡塑海绵保温材料包裹,采用雪山融水作为坝体冷却用水,雪山融水高温季节水温 5~10℃,低温季节水温 1~5℃,大坝在越冬期间气温达到 0℃ 以下时,停止通水。

在冷却水管铺设时,在坝后设置预留键槽与预埋 PPR 管(见图 2),可保证通水过程不受施工干扰,在水

管铺设之后第一时间实现通水,而后利用智能温控系统对大坝混凝土进行智能通水,通过削弱碾压混凝土强度增长的温度峰值来实现大坝温控防裂。

对上下游变态混凝土区域的冷却水管进行适当的加密。

根据系统内部降温速率评价信息,降温速率整体控制较好,整体控制在 0.3~0.5℃/d 内,见图 3。且根据内部温度计监测统计成果,总体合格率达 90% 以上。

5.7 越冬保温

混凝土在冬歇期(12 月至次年 2 月)暂停施工,对越冬保温材料按照坝体上游下游表面、坝体侧面、坝体长间歇面、坝体孔洞,根据气候特征及保温要求进行措施划分,并与技术要求措施进行对比,见表 3。

三防布主要功能为防止大风、降雨、降雪融水进入坝体内,同时具备防火功能,避免工区火灾事故的发生。

表面压重:由于低温季节峡谷风大,保温保湿材料容易被风掀开,影响保温保湿效果,故将脚手架管和扣件连接成整体形成 2m×2m 的网格状,该压重方式安装和拆除方便。

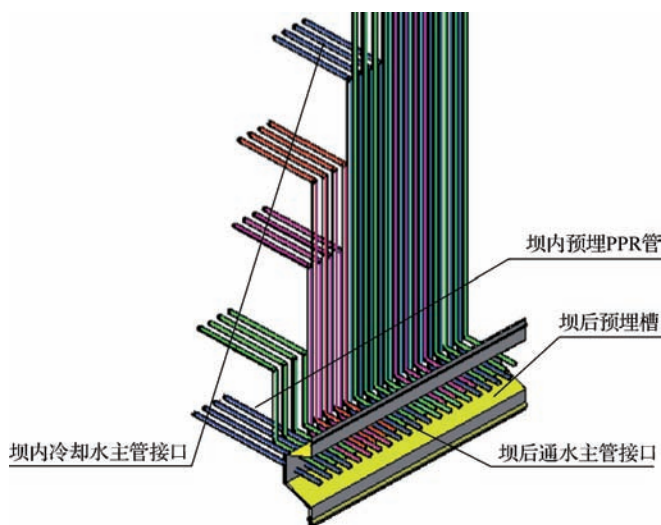


图 2 预留键槽实施效果

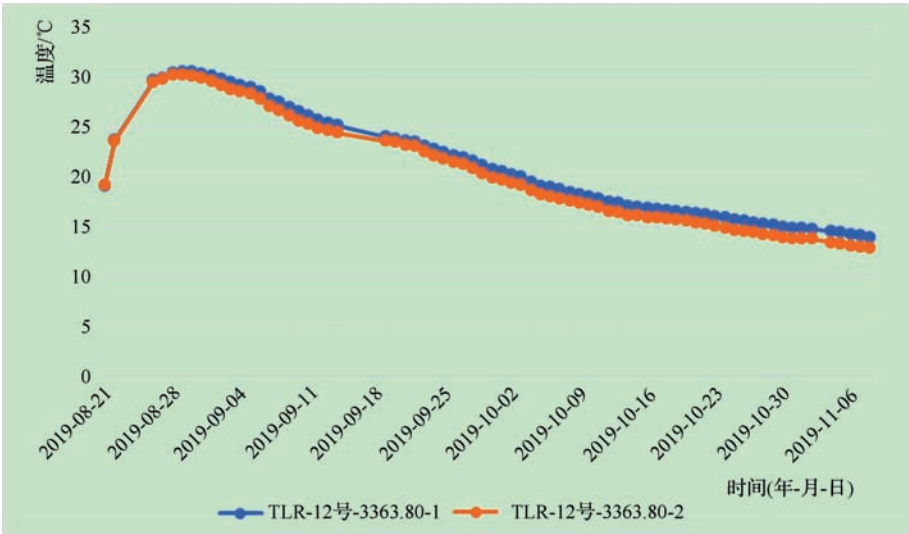


图3 2019年12号坝段高程3363.80m智能温控效果监测情况

表3 越冬保温措施与原技术要求对比

部 位	原技术要求措施	优 化 后 措 施	备 注
坝体上下游表面	表面粘贴5cm厚聚苯乙烯板	喷水花管+PC薄膜+3cm橡塑海绵+扁钢+三防布	转角处搭接1.5m
坝体侧面	表面粘贴3cm厚聚苯乙烯板	喷水花管+PC薄膜+3cm橡塑海绵+扁钢+三防布	
坝体长间歇面	15cm厚棉被	喷水花管+PC薄膜+6cm橡塑海绵(纵横向各一层)+三防布+脚手架管及扣件压重	
坝体孔洞	3cm厚聚苯乙烯板封闭	5cm厚保温门帘	

注 预埋花管及PC薄膜主要功能为保湿。

2019—2020年冬歇期在大坝上下游表面、坝段立面及越冬水平面布置了17台温湿度记录仪用于越冬保温效果监测,典型部位的温控效果见图4~图5。

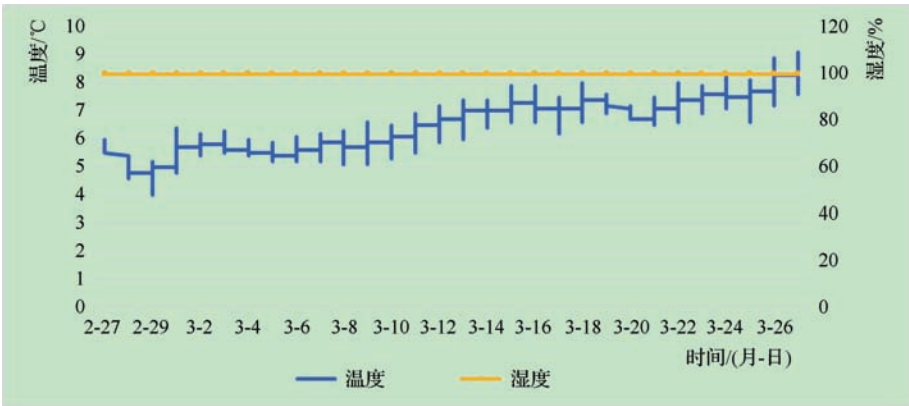


图4 6号坝段混凝土表面温湿度数据曲线

监测成果表明,混凝土表面温湿度及温度梯度呈现较好的效果,均满足设计温控指标,避免了表面干缩裂缝、温度裂缝等的产生,采用该越冬保温方式效果良好。

6 结 语

通过在高海拔复杂气候条件下开展的大坝温控防裂技术研究与实践,对效果进行分析,得出以下结论:

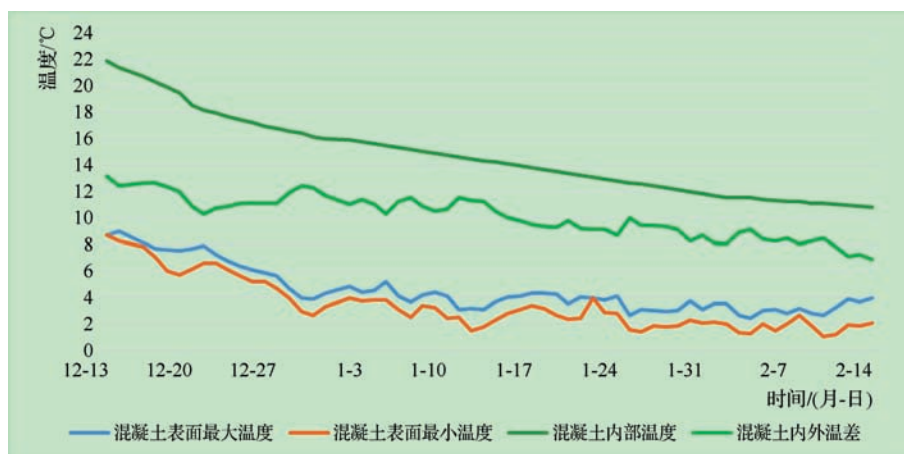


图5 7号坝段混凝土内部温度、表面温度、大气温度数据曲线

a. 通过从原材料到混凝土成型后的温控及养护措施,有效保证了混凝土内外温差在设计指标内,减少乃至避免了裂缝发生,积累的数据经验极具借鉴推广意义。

b. 混凝土智能温控系统在温控防裂中起到了关键性作用,节省了施工成本,在保证冷却通水效率、混凝土温控指标的同时,降低了施工差错率,提高了施工保证率,大幅减小乃至避免了裂缝产生,积累的数据经验极具借鉴推广意义。

c. 高海拔地区温控防裂技术有效地防止了大坝温度裂缝的出现,解决了碾压混凝土筑坝关键技术难题。在2019—2020年冬歇期后揭开保温被,未发现裂缝,得到建设单位的高度认可。

d. 通过对温控防裂技术的实践与总结,为大坝混凝土质量提供了有力保障,同时掌握了青藏高原地区碾压混凝土筑坝温控防裂技术,对雅鲁藏布江流域后续水电开发具有重要的借鉴意义。◆

参考文献

- [1] 刘毅,张国新. 混凝土坝温控防裂要点的探讨[J]. 水利水电技术,2014,45(1):77-83,89.
- [2] 蔡畅,向前,杨卫. 高海拔干冷河谷大坝混凝土新型保温保湿工艺研究[C]//中国大坝工程学会. 国际碾压混凝土坝新进展与水库大坝高质量建设管理——中国大坝工程学会2019学术年会论文集. 北京:中国三峡出版社,2019:

368-376.

- [3] 石晓杰,普新友. 智能通水在乌东德大坝混凝土温控中的应用[J]. 建设监理,2020(2):79-84.
- [4] 邓春霞,林晓贺. 丰满水电站重建大坝智能通水温控系统的应用[J]. 建筑技术开发,2017,44(23):3-4.
- [5] 王雁,李小磊,易丹. 溪洛渡电站双曲拱坝混凝土温控防裂施工技术[J]. 人民长江,2014,45(S1):123-124,137.
- [6] 吴静,张玄. 拉西瓦电站大坝混凝土温控措施研究[J]. 陕西水利,2011(2):86-87.
- [7] 赵仲,王红军. 小湾水电站大坝混凝土温控施工工艺[J]. 施工技术,2010,39(12):45-49.
- [8] 李高峰,刘小兵,赵银超,等. 龙滩水电站大坝碾压混凝土温控防裂措施[J]. 四川水力发电,2010,29(6):225-229,276.
- [9] 郑守仁. 三峡大坝混凝土设计及温控防裂技术突破[J]. 水利水电科技进展,2009,29(5):46-53.
- [10] 蔡畅,路明. 大古水电站碾压混凝土试验研究[J]. 水利建设与管理,2020,40(3):45-52,79.
- [11] 勾中刚,张义,晏国顺,等. 高寒、高海拔地区常态大体积混凝土温控实践[J]. 水电与新能源,2019,33(12):43-46.
- [12] 刘朝建,向前. 高海拔特殊气候条件下碾压混凝土坝入仓方式总体规划研究[C]//中国大坝工程学会. 国际碾压混凝土坝新进展与水库大坝高质量建设管理——中国大坝工程学会2019学术年会论文集. 北京:中国三峡出版社,2019:335-341.



大涌水隧洞超前灌浆技术研究

蔡 畅

(中国水利水电第九工程局有限公司, 贵州 贵阳 550081)

【摘 要】 由于隧洞围岩条件破碎、岩性复杂,并紧邻水库库区,在掘进施工过程中大涌水问题突出,严重影响了小浪底引黄工程隧洞施工进度和安全。因此施工中提出了“堵排水结合,以排水为主、堵水为辅”的超前灌浆思路,采用三种不同的超前灌浆技术处置掌子面涌水,及时封堵较大的涌水点,控制掌子面涌水量,成功处置了隧洞大涌水问题。经对比分析,最终总结出不同的地质条件下最有效的超前灌浆技术。该技术保证了施工进度和安全,同时降低了隧洞排水费用。

【关键词】 大涌水;隧洞灌浆;超前灌浆;双液灌浆;小浪底引黄工程

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-036-09

Study on advanced grouting technology of large water gushing tunnel

CAI Chang

(Sinohydro Bureau 9 Co., Ltd., Guiyang 550081, China)

Abstract: Due to the broken surrounding rock condition and complex lithology of the tunnel as well as its close proximity to the reservoir area, the water gushing problem is prominent in the tunneling process, which seriously affects the construction progress and safety of Xiaolangdi Yellow River Diversion Project. Therefore, the advanced grouting idea of “combining blocking and drainage, giving priority to drainage and supplemented by water plugging” is put forward in the construction process. Three different advanced grouting technologies are used to deal with the water gushing on the surface of the tunnel, so as to timely block the larger water gushing point and control the water gushing on the surface of the tunnel, and the problem of large water gushing is successfully treated. Through comparative analysis, the most effective advanced grouting technology under different geological conditions is finally summarized, which ensures the construction progress and safety and reduces the tunnel drainage cost.

Keywords: large water gushing; tunnel grouting; advanced grouting; double-fluid grouting; Xiaolangdi Yellow River Diversion Project

灌浆技术可以起到对地层的填充加固、防水堵漏等作用,是地下岩土工程建设中不可或缺的一个关键环节,对地下空间的开发有着重要意义。

堵水注浆技术最早可以追溯到1802年,当时法国工程师 Charles Bering 将石灰和黏土用水混合成泥浆

压入岩石裂隙中。1824年英国人发明了“Portland 水泥”后,水泥灌浆法作为一种重要的工程措施被广泛应用到工程中^[14]。1884年英国工程师将灌浆法引入隧道开挖工程中,灌浆理论也随着灌浆法的发展而产生^[2]。

收稿日期: 2022-02-06

作者简介: 蔡畅(1992—),男,工程师,主要从事水利水电工程项目施工技术与管理工作。

我国的工程灌浆技术发展相对较晚,20 世纪 50 年代初期我国初步掌握了地质条件较好的岩石地基中的灌浆处理技术。随着人类活动范围的扩大,出现了一些特殊工程,需要灌浆材料能迅速固化。如采用单液灌浆方式易造成灌浆管堵管,因此人们开发出了双液灌浆工艺,1967 年水泥-水玻璃双液灌浆开始出现^[5]。1987 年,中国建材研究院在研究膨胀剂的基础上研制成无收缩超早强二次灌浆砂浆,得到了较大的推广和应用^[6]。

在水利工程建设过程中,往往会遇到不同地质情况、不同涌水情况的隧洞工程,特别是在遇到不良地质段、大涌水量、富水层、高地下水位时,隧洞施工存在很大安全隐患和施工难度,制约着施工进度和经济投入。

1 工程概述

山西省小浪底引黄工程位于山西省运城市,是自黄河干流上的小浪底水利枢纽工程向山西省涑水河流域调水的大型引调水工程。工程主要解决运城市区及其周边县城的生活用水、农业灌溉、工业用水问题,工程社会效益和意义重大。

施工 I 标负责新建设的 1 号引水隧洞的范围为 S0+000~S5+000,长 5000m。其中,0 号施工支洞及其控制段设计最大涌水量为 12000m³/d,0 号施工支洞紧邻小浪底库区,在掘进施工过程中大涌水问题突出,实测最大的涌水量达 100000m³/d;围岩条件差,IV 类、V 类围岩所占比例达到 98.3%,涌水不但增加了施工难度和安全风险,还成为制约施工进度最关键的因素。

2 地质情况概述

工程区地处省界边缘,属水文地质构造条件复杂区域。地表沟谷纵横区域大断裂横切隧洞轴线,并与库区贯通,延伸长、切割深,破坏性强,不明构造交错重叠,地层起伏颠倒杂乱,设计围岩类型与揭露围岩类型差别较大,地质条极差,施工难度极大。

隧洞洞底高程在 226.00m 以下,常年低于库区水位 40~50m,洞段东侧有区域 F₁ 大断层,延长大于 1.5km,错距大于 200m,破碎带宽度为 30~50m,影响

带大于 100m,并自南部库区与北侧板涧河贯通,施工区地下水主要受库区补给,其次为大气降水补给。该段揭露地层为奥陶系碳酸盐岩(灰岩、泥质灰岩),裂隙岩溶极为发育,性脆,易裂,易溶蚀,水位线以下地下水活动频繁、岩溶裂隙串通,溶腔、中小型溶洞发育黄色软弱溶蚀泥灰岩,且厚度大、延伸长;受区域大型断裂构造和多期次活动叠加及自身理化性质不稳定影响,该部位围岩的稳定性极差。

S0+690.00~S0+709.00 段为奥陶系中统(O₂)灰黄色泥质灰岩夹泥灰岩;S0+709.00~S0+720.00 段为泥质白云质灰岩夹泥灰岩,围岩结构破碎,小型构造裂隙极发育,0+705.2~0+720.0 掌子面及洞段有较大涌水,约 400m³/h 左右,围岩极不稳定,为 V 类围岩。S0+705.20 掌子面及两壁发育 2 组剪切裂隙,L₁ 组走向 20°NW∠70°,L₂ 组走向 80°NW∠60°,结构面平直表面有铁质氧化物,破碎块体在 3~5cm。S0+717.60 掌子面及两壁发育 1 组剪切张裂隙:L₃,走向 360°W∠80°,泥沙质充填其中。涌水受剪切裂隙控制,由裂隙面向层面涌出(地层产状:120°∠40°,局部变化大)。隧洞地质编录展示图见图 1。

3 超前灌浆思路

由于隧洞地质条件复杂,岩溶裂隙发育、延伸长、连通性好,采用常规的堵水灌浆不能将隧洞涌水封堵。故在引水隧洞涌水处理过程中创新地采取了“堵排水结合,以排水为主、堵水为辅”的超前灌浆思路,及时封堵较大的涌水点,控制隧洞涌水量,保证施工进度和安全,同时降低隧洞开挖排水费用。灌浆时综合考虑开挖期堵水效果,同时考虑后期隧洞衬砌灌浆过程中耗浆量。通过综合效率对比分析,解决了灌浆施工难问题,缩短了隧洞灌浆施工时间,加快隧洞循环开挖速度。

灌浆前对掌子面进行了超前探测,根据超前探测的结果确定超前灌浆的原则。超前探测采用潜孔钻对掌子面中部富水集中段钻设 1~3 个水平探水孔。在富水段布设的水平探水孔可兼做卸压孔和超前堵水灌

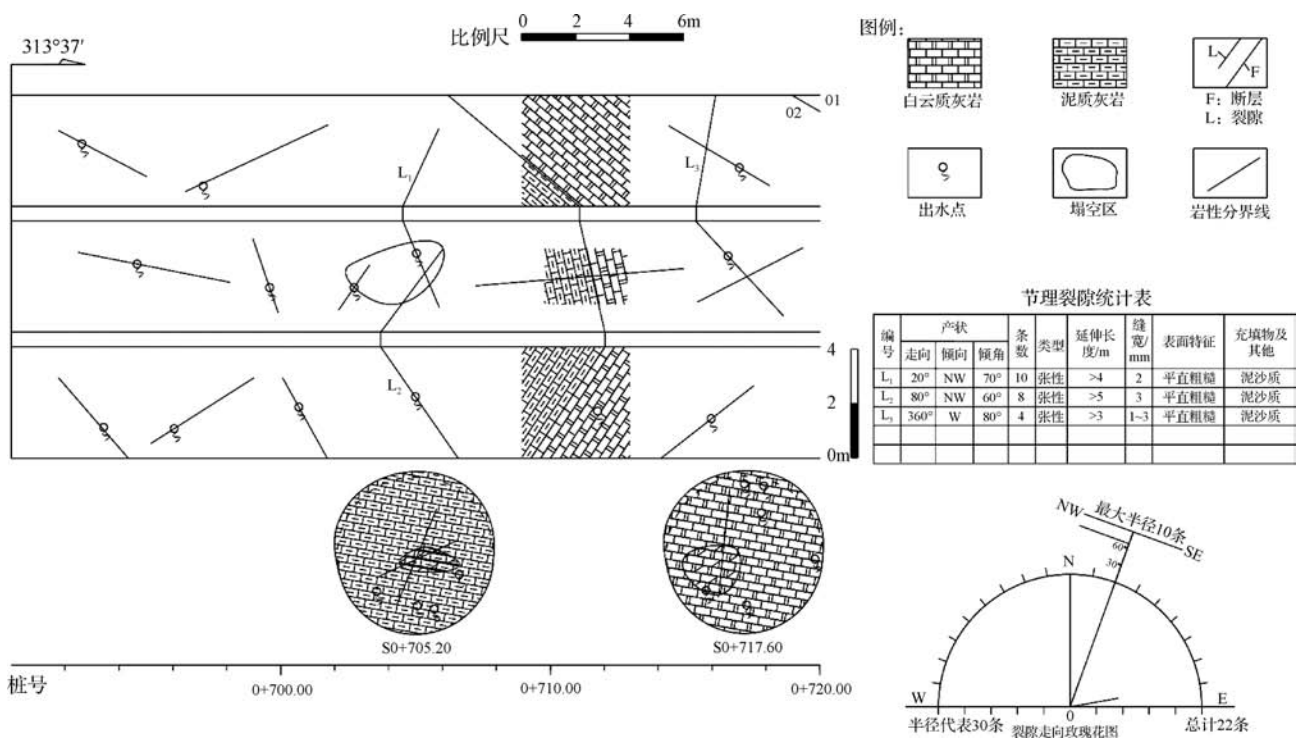


图1 1号引水隧洞 S0+690.00~S0+720.00 段隧洞地质编录展示图

浆时的灌浆孔,探水孔深 15~20m,孔径 76mm。若在钻孔过程中出现掉钻等情况,应停止钻孔,立即进行灌浆,完成后重新进行扫孔钻进。

由于地质条件特殊、涌水大,灌浆思路应保持一致,但不同的地质条件还应采取不同的灌浆方式。在 1 号引水隧洞 S0+609.00~S0+710.00 洞段掘进施工过程中,视掌子面开挖情况,分别在 3 个部位进行了 3 种超前灌浆方式,分别为 S0+693、S0+701、S0+705 桩号掌子面。

在材料选择上,考虑水玻璃-水泥双液价格便宜、凝结时间短、速度快、结石强度高、安全无毒,不仅具有水泥浆的优点,同时还有化学浆液凝结时间可控的特性^[7-10],因此采用水泥-水玻璃双液浆进行引水隧洞超前灌浆。

4 水泥-水玻璃浆液配比及凝结时间

水泥基浆配比采用 0.8:1、0.5:1 两级,水玻璃稀释浓度为 39.5Bé;双液体积比(C/S)为 1:1、1:0.75、1:0.5、1:0.25、1:0.1,水泥基浆凝结时间见表 1,水泥-水玻璃双液浆配比的凝结时间(室内试验)见表 2,水

泥浆与水玻璃不同体积比的胶凝时间见图 2。

表1 水泥基浆凝结时间

序号	水灰比	初凝时间/min	终凝时间/min
1	0.5:1	465	597
2	0.8:1	523	609

表2 水泥-水玻璃双液浆配比的凝结时间

水灰比	凝结时间	水泥浆:水玻璃体积比			
		1:0.25	1:0.5	1:0.75	1:1
0.8:1	初凝时间/s	56	91	163	236
	终凝时间/s	123	162	242	322
0.5:1	初凝时间/s	51	67	101	193
	终凝时间/s	101	124	174	275

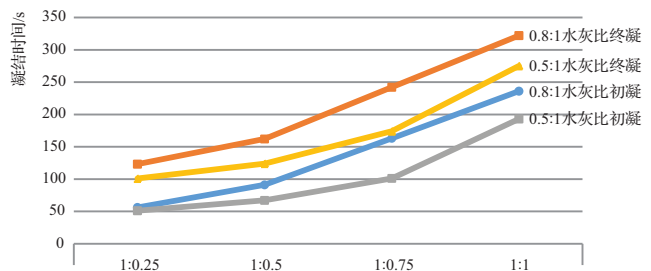


图2 水泥浆与水玻璃不同体积比的胶凝时间

5 超前灌浆

5.1 掌子面浅孔灌浆 + 全断面双液灌浆

5.1.1 概述

在1号引水隧洞S0+693桩号开挖过程中揭露掌子面及两壁发育2组剪切裂隙,涌水受剪切裂隙控制,由裂隙面向层面涌出。目测流量 $Q > 300\text{m}^3/\text{h}$ 。

首先采用掌子面浅孔灌浆的方式对掌子面的渗水进行浅孔灌浆,完成后利用YQ70潜孔钻在掌子进行超前探水孔施工,视探水孔涌水情况确定是否进行系统灌浆,灌浆完成后进行隧洞正常开挖掘进。

5.1.2 掌子面浅孔灌浆

掌子面浅孔灌浆主要采取对掌子面集中涌水部位进行钻孔灌浆的方式,灌浆布置见图3。灌浆操作步骤如下:

a. 对掌子面目前正在涌水的炮孔、锚杆孔分I序孔、II序孔分别依次进行灌浆,采用孔口封闭全孔段灌浆的方法,灌浆压力0.5MPa,水泥基浆的配比采用0.8:1和0.5:1。

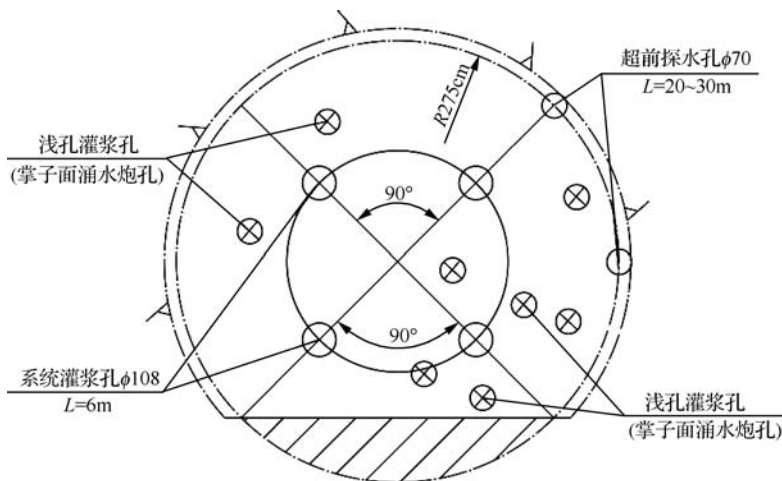


图3 掌子面浅孔灌浆孔位布置

b. 将现有的涌水孔灌浆封堵后,在掌子面布置 $\phi 108$ 、 $L=6\text{m}$ 灌浆孔对掌子面再次进行灌浆(同样分I序孔、II序孔),掌子面灌浆完成后形成岩塞闭浆。

c. 钻孔过程中未涌水的,就一钻到底,全孔一次压入式注浆;在钻孔过程中,如发现涌水,即停止钻孔,采取注一段钻一段的前进式注浆,直至达到设计段长位置。

在水压、水量较大的情况下,采用分层泄水减压、分层注浆方式,注浆顺序为由下而上,由里向外。

d. 超前探水孔钻孔时,如果涌水量大,则利用探水孔进行灌浆,采取边灌边钻的方式,完成后进行系统灌浆;如果涌水量小或者不涌水时,则进行隧洞开挖。

5.1.3 系统灌浆

系统灌浆则是按照规定的灌浆孔间排距对掌子面进行系统的钻孔灌浆,灌浆布置见图4。系统灌浆说明如下:

a. 在掌子面开挖边线间隔2m布置 $\phi 70$ 超前灌浆孔,采用YQ70潜孔钻或岩石电钻进行钻孔,深度20~30m,钻孔深度根据物探结果和实际钻孔情况可做调整,有条件尽量加大钻孔深度以便减小循环次数;灌浆孔沿隧洞轴线方向水平布置,并便于钻孔施工。

b. 灌浆工艺与上述的掌子面浅孔灌浆工艺一致。在采用0.5:1水泥浆液灌注耗灰量达到2t仍未达结束标准时,则在灌浆过程中参入水玻璃。

双液浆采用2台注浆泵灌注,在孔口混合,通过控制灌浆时的浆液流量来调整和控制浆液比例。双液体积比(C/S)为1:1、1:0.75、1:0.5、1:0.25,按照每一级耗灰量不超过2t逐级变浆。

c. 水泥基浆灌注结束标准:在最大注入压力下,吸浆量不大于 $1.0\text{L}/\text{min}$,继续灌注10min即可结束。水泥-水玻璃双液灌浆结束标准:在最大注入压力下,注入量小于 $1.0\text{L}/\text{min}$ 即可结束,避免管路堵塞。

d. 灌浆结束后,在掌子面周边和中心位置随机布设 $\phi 108$ 超前孔,间距2m,

孔深20~30m,如果涌水明显减小或者消失,则说明超前灌浆达到了预定的效果。

5.1.4 灌浆效果

首先以集中灌浆的方式对掌子面涌水大的炮孔依次进行灌浆。实际灌浆参数:孔深 $L=4.5\sim 6.4\text{m}$,灌浆压力 $p=0.5\text{MPa}$,灌浆吸浆 $Q=26804.854\sim$

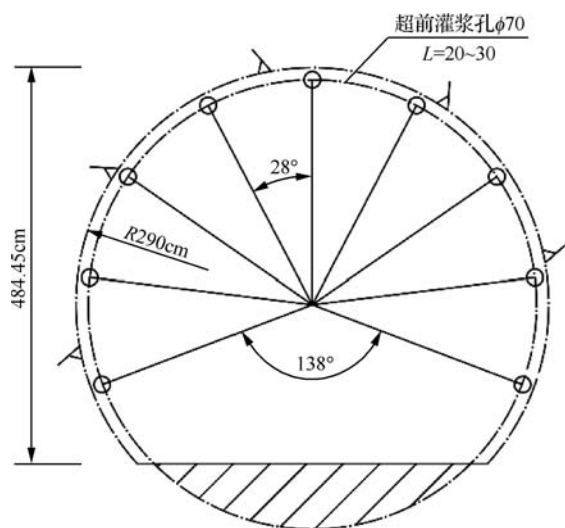


图4 系统灌浆孔位布置

43578.08L,未掺入水玻璃。

浅孔灌浆完成后,掌子面仍有部分裂隙在渗水,对渗水部位进行了系统灌浆。根据现场实际情况,在渗水部位用潜孔钻钻孔,采取边钻孔边灌浆的方式,钻孔过程中出现涌水时立即对钻孔进行灌浆处理,为加快水泥浆的凝结速度,浆液中掺入水玻璃,封堵完成后重新钻孔和灌浆。

灌浆参数:孔深 $L = 6.3 \sim 17.3\text{m}$,灌浆压力 $p = 0.5\text{MPa}$,灌浆吸浆 $Q = 35062.51 \sim 39060.60\text{L}$,水玻璃掺量为 $0 \sim 1930.43\text{kg}$ 。

灌浆完成后掌子面未见渗水,开挖了4个循环,出现了较大涌水,灌浆前后现场情况见图5。

5.2 掌子面浅孔灌浆+全断面双液灌浆(控制吸浆量)

5.2.1 概述

在1号引水隧洞开挖过程中揭露S0+701桩号掌子面及两壁发育2组剪切裂隙,涌水受剪切裂隙控制,由裂隙面向层面涌出,目测流量 $Q = 300\text{m}^3/\text{h}$ 。

掌子面采用潜孔钻造超前探水孔时,发现超前探水孔的涌水量大,同时在钻孔过程中出现了掉钻的现象,说明掌子面前方存在溶洞或大的裂隙,同时在S0+693桩号掌子面灌浆时发现灌浆水泥消耗量较大,对灌浆方案进行了调整,开灌采用0.5:1纯水泥浆液,之后按不同比级掺入水玻璃加快浆液的凝结。



(a) 灌浆前



(b) 灌浆后

图5 S0+693桩号灌浆前后对比

参照S0+693桩号灌浆方法对S0+701桩号掌子面进行超前灌浆,由于涌水水压变大,灌浆最大压力提高到1.0MP,灌浆开始时直接采用0.5:1纯水泥浆液灌注,如果灌入2t水泥后吸浆量和压力没有明显变化时,则采用双液浆灌注(掺入水玻璃)。

5.2.2 灌浆效果

灌浆时先用0.5:1纯水泥浆液依次对掌子面的集中涌水孔进行灌注;灌入2~3t水泥后吸浆量和压力没有明显变化,在浆液中掺入了水玻璃,按照体积比1:1、1:0.75、1:0.5、1:0.25依次逐级进行灌注。加入水玻璃后完成灌浆孔封堵,掌子面无渗水。

灌浆参数:孔深 $L = 2.8 \sim 22.7\text{m}$,灌浆压力 $p = 0.5 \sim 1.0\text{MPa}$,灌浆吸浆量 $Q = 1918.96 \sim 8758.4\text{L}$,水玻璃掺量为 $288.96 \sim 1586.82\text{kg}$ 。

灌浆完成后掌子面未见渗水,开挖了2个循环,灌浆前后现场情况见图6。



(a) 灌浆前



(b) 灌浆后

图6 S0+701 桩号灌浆前后对比

5.3 掌子面浅孔灌浆+全断面砂浆灌浆+砂浆超前灌浆

5.3.1 概述

根据开挖后揭露的情况发现,S0+705 桩号掌子面裂隙发育、渗水量较大,并且溶洞溶腔发育。结合前面两次的灌浆情况和灌后的效果,对 S0+705 桩号掌子面采取如下措施:

a. 参照 S0+701 桩号的灌浆方法(水泥-水玻璃双液灌浆)对 S0+705 桩号掌子面进行浅孔灌浆。

b. 由于裂隙、溶腔较大,采取灌注砂浆的方式对大的裂隙和溶腔进行填充,以减小水泥耗量,然后再进行超前灌浆(纯水泥浆或者双液浆灌浆)。

5.3.2 砂浆灌浆

砂浆灌浆的流程为:钻孔→安装孔口管→砂浆灌浆→灌浆完成闭孔→进行二次超前灌浆→涌水减小、

灌浆完成→隧洞开挖。

在灌浆表面存在渗水裂缝时,避免在灌浆过程中出现较大的串浆和渗漏现象,在灌浆前人工敲击将裂隙扩大,然后用麻丝等进行嵌缝封堵处理。

砂浆使用 GS50E 灌浆泵进行灌注,水泥使用 P·O42.5 水泥,砂最大颗粒小于 5mm,水为抽取的洞内渗水,水玻璃浓度为 39.5Bé,注浆方式采用全孔一次压入式。

砂浆的配比为 0.5:1:0.3~0.5:1:1(水:水泥:砂,质量比),水泥浆液用高速制浆机拌制,然后将拌制好的浆液输送到 GS50E 灌浆泵,砂在 GS50E 灌浆泵中添加后直接泵入灌浆孔内。灌浆时砂的掺量由小变大,先在水泥浆液中掺入少量的砂(0.3 比例的掺量),如果灌入 15~20min 砂浆注入量没有变化,则分级加大砂的掺量,按照 0.1 比例分级增加砂的掺量,要求掺砂后不能堵塞管路。如果灌浆孔内的涌水量大、压力大,或者掺入大比例砂进行灌注时都无法封堵,可在砂浆中掺入 10%~50%(体积比)的水玻璃作为速凝剂。

由于裂隙和溶洞、溶腔中的涌水有流动性,与外界水源贯通,为了增加砂浆对缝隙和空腔的封堵效果,在砂浆中掺入 5%~20%(质量比)的麻丝,麻丝采用人工切割麻袋制造成成品,掺入麻丝时掺量由小变大,根据现场的灌浆情况进行调整,要求不能堵塞灌浆管路。

砂浆灌注的压力为 0.5~2MPa,最大不超过 2MPa。灌浆完成后闭浆 12h,然后使用 YQ70 潜孔钻进行超前钻探,探明前方的灌浆效果和渗水情况,如果出现大的涌水且裂隙较小时,为保证浆液的扩散半径和灌浆效果,优先采用水泥浆或者双液浆灌浆的方法进行封堵;如果遇到大的溶洞和裂隙,或者采用水泥浆(双液浆)灌浆后未达到封堵效果时,则采用上述的方案再次进行砂浆灌浆封堵。重复上述工作直到探孔渗水变小、不影响开挖为止,灌浆结束后进行隧洞开挖。灌浆孔位布置见图 7。

5.3.3 灌浆效果

a. 掌子面浅孔灌浆。由于开挖后掌子面揭露裂隙和溶腔发育,并且比较明显,灌浆时漏浆严重,故先

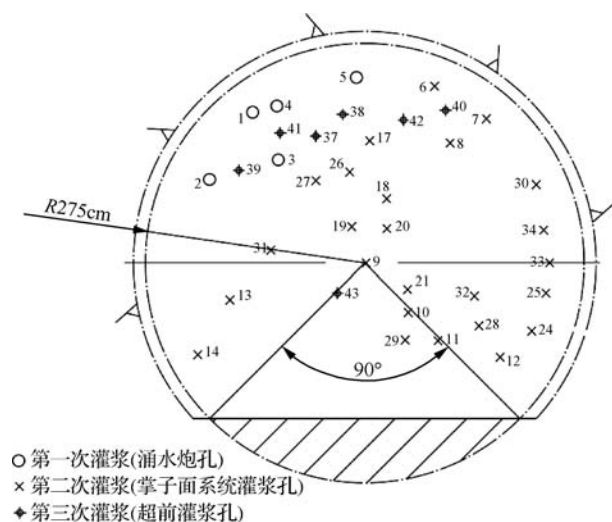


图7 灌浆孔位布置

对掌子面进行浅孔水玻璃双液浆灌浆,将裂隙和溶洞溶腔封闭,使掌子面封闭。

参数如下:孔深 $L = 2.3 \sim 5\text{m}$, 灌浆压力 $p = 0.5 \sim 2.0\text{MPa}$, 灌浆吸浆量 $Q = 136.64 \sim 1948.6\text{L}$, 水玻璃掺量为 $0 \sim 179.31\text{kg}$ 。

掌子面浅孔灌浆时为防止掌子面大面积串浆,首先对渗水小的部位进行钻孔灌浆,然后依次对渗水大的部位进行钻孔灌浆。

由于大渗水孔的水压和水量较大,灌浆时先在大渗水孔的周围钻卸压孔,卸压孔以 20° 角斜穿裂隙,然后安装 $\phi 100\text{PE}$ 管将涌水引排,将裂隙进行喷混凝土覆盖,最后依次分别进行灌浆。灌浆时,先依次灌注卸压孔,最后灌注大渗水孔。

b. 砂浆灌浆。掌子面浅孔灌浆完成后,按照前述两次灌浆的方法进行超前灌浆,同样采取边钻边灌的方式。

在钻孔过程中发现裂隙和溶腔较大,使用纯水泥浆和水玻璃双液浆不能达到封堵效果,采用了灌注砂浆的方式进行灌浆。

超前灌浆实际参数如下:第一段孔深 $3.3 \sim 8.7\text{m}$, 灌浆压力 $0.28 \sim 1.61\text{MPa}$;第二段灌浆孔深 $10.3 \sim 11.5\text{m}$, 灌浆压力 $0.24 \sim 1.53\text{MPa}$ 。掺砂量 $725.41 \sim 4638.6\text{kg}$, 水玻璃参量 $86.4 \sim 1870.01\text{kg}$ 。

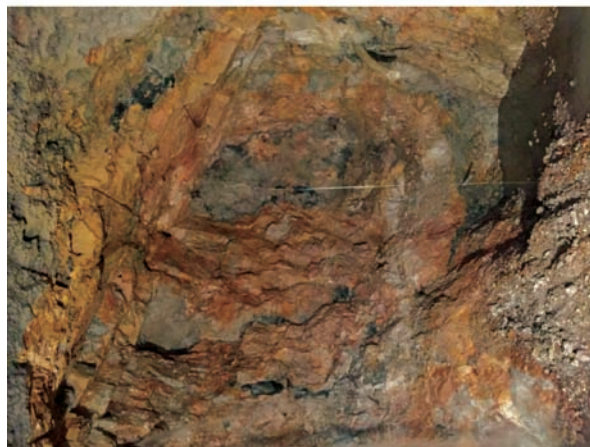
在掌子面超前灌浆钻孔过程中37号孔、42号孔在

第二段灌浆钻孔过程中遭遇溶洞,钻杆存在掉钻现象,空腔深度约 0.6m 。为此,在灌浆过程中直接灌注砂浆,并在浆液中添加麻丝、水玻璃,对溶洞进行回填封堵。

在掌子面超前灌浆完成后,进行钻孔超前探测,钻至 15m 孔内水量较小,证明本次试验灌浆取得预期效果,灌浆前后现场情况见图8。



(a) 灌浆前



(b) 灌浆后

图8 S0+705 桩号灌浆前后对比

6 灌浆效果对比

6.1 工期对比

经现场统计,引水隧洞 S0+693、S0+701、S0+705 桩号涌水超前灌浆工期对比见表3。

结论:由表3可以看出,引水隧洞 S0+705、S0+701 桩号超前灌浆每延米耗时 0.71 天, S0+693 桩号超前灌浆每延米耗时 1.1 天。在裂隙发育地段,掌子

表 3 超前灌浆工期对照

部 位	起讫时间	实际用时/天	灌后开挖进尺长度/m	延米耗时/天	采用的 灌 浆 方 式
S0 + 693 桩号灌浆	3 月 2—10 日	9	8.2	1.1	掌子面浅孔灌浆 + 全断面双液灌浆
S0 + 701 桩号灌浆	3 月 19—21 日	3	4.2	0.71	掌子面浅孔灌浆 + 全断面双液灌浆 (控制吸浆量)
S0 + 705 桩号灌浆	3 月 26 日—4 月 18 日	14	19.6	0.71	掌子面浅孔灌浆 + 全断面砂浆灌浆 + 砂浆超前灌浆 (扣除 10 天设备采购耗时)

面浅孔灌浆 + 全断面双液灌浆 (控制吸浆量) 的方式对施工进度有利 (S0 + 701); 在裂隙、溶洞溶腔发育地段, 使用掌子面浅孔灌浆 + 全断面砂浆灌浆 + 砂浆超前灌浆 (S0 + 705m) 的方式, 在工期上具有优势, 可节约工期, 对引水隧洞开挖进度有利。

6.2 材料消耗对比

经现场统计, 引水隧洞 S0 + 693、S0 + 701、S0 + 705 桩号涌水超前灌浆在材料消耗对比见表 4。

表 4 超前灌浆材料消耗对照

备 注	项 目	S0 + 693 桩号灌浆	S0 + 701 桩号灌浆	S0 + 705 桩号灌浆
1	进尺循环长度/m	8.2	4.2	19.6
2	灌浆孔数/个	5	8	41
3	孔总深度/m	41	54.2	192.7
4	灌浆孔总深度 $\phi 50$ /m	10.9	20.5	83.8
5	超前探钻孔总深度 $\phi 70$ /m	30.1	33.7	108.9
6	总水泥量/t	222.075	63.687	209.847
7	总水玻璃量/t	2.127	6.224	8.878
8	总细砂量/t	0	0	81.718
9	延米进尺水泥用量/(t/m)	27.1	15.2	10.7
10	延米进尺水玻璃用量/(t/m)	0.3	1.5	0.5
11	延米进尺细砂用量/(t/m)	0.0	0.0	4.2

通过材料消耗对比, 可得出以下结论:

a. 掌子面浅孔灌浆 + 全断面砂浆灌浆 + 砂浆超前灌浆 (S0 + 705) 的灌浆方式每延米进尺消耗水泥量更少。

b. 掌子面浅孔灌浆 + 全断面双液灌浆 (S0 + 693) 的灌浆方式延米进尺消耗水玻璃更少。

6.3 投资对比

对引水隧洞 S0 + 693、S0 + 701、S0 + 705 桩号涌水超前灌浆在工期、误工补偿、材料消耗等方面进行了投资对比, 见表 5。

表 5 超前灌浆投资对照

序号	项 目		S0 + 693 桩号灌浆	S0 + 701 桩号灌浆	S0 + 705 桩号灌浆	备 注
1	进尺循环长度/m		8.2	4.2	17.7	
2	灌浆费用	钻 $\phi 50$ 孔/元	212.44	399.55	1633.26	
3	灌浆费用	钻 $\phi 70$ 孔/元	903.00	1011.00	3267.00	
4	灌浆费用	灌浆/元	5740.00	7588.00	26978.00	
5	超灌费用	水泥超灌量/t	218.80	59.35	194.43	
6	超灌费用	水泥超灌费用/元	175036.00	47480.80	155544.80	800 元/t
7	超灌费用	水玻璃超灌费用/元	3403.20	9958.40	14204.80	1600 元/t



续表

序号	项 目		S0 +693 桩号灌浆	S0 +701 桩号灌浆	S0 +705 桩号灌浆	备 注
8	超灌费用	砂超灌费用/元	0.00	0.00	6946.03	85 元/t
9	误工补偿	人员误工/元	27000.00	9000.00	72000.00	3000 元/d
10	误工补偿	设备误工/元	15301.17	5100.39	40803.12	1700.13 元/d
11	总费用/元		227814.61	80597.49	321571.44	
12	延米费用/(元/m)		27782.27	19189.88	16406.71	

结论:从表5可以看出,掌子面浅孔灌浆+全断面砂浆灌浆+砂浆超前灌浆(S0+705)的灌浆方式延米进尺费用最少。

7 结 语

在引水隧洞超前灌浆过程中,提出了“堵排水结合,以排水为主、堵水为辅”的超前灌浆思路,及时封堵了较大的涌水点,控制了掌子面涌水量,保证了施工进度和安全,同时降低了隧洞排水费用。

经过工期、材料投入、投资几个方面的对比,在裂隙发育地段未出现溶洞溶腔时,采用掌子面浅孔灌浆+全断面双液灌浆(控制吸浆量)(S0+701)的方式对进度、经济等方面有利;在裂隙、溶洞溶腔发育地段,采用桩号掌子面浅孔灌浆+全断面砂浆灌浆+砂浆超前灌浆(S0+705)能够更加有效地封闭涌水,在进度、经济方面等均有明显优势。◆

参考文献

[1] 李茂芳. 大坝基础灌浆[M]. 北京:水利电力出版社,1987.

(上接第23页)

- [4] 王柳江,刘斯宏,汪俊波,等. 真空预压联合电渗法处理高含水率软土模型试验[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2011,39(6):671-675.
- [5] 孙召花,高明军,黄文君,等. 电渗复合真空预压法加固湖相吹填土试验研究[J]. 科学技术与工程,2014,14(7):264-267.
- [6] 刘志浩,高明军,曾国海,等. 电渗复合真空预压法处理软土地基试验研究[J]. 防灾减灾工程学报,2013,33(1):67-72.
- [7] 金锦强,陈晨,章迪康,等. 间歇通电作用下电渗法加固滩涂淤泥试验研究[J]. 浙江水利水电学院学报,2018,30(3):22-26.

- [2] 梁仁友,邢开第. 国内外工程灌浆的发展状况[J]. 勘察科学技术,1987(1):15-20.
- [3] 煤炭科学研究院. 煤矿灌浆技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,1978.
- [4] 电力工业部华东勘测设计院科学研究所. 化学灌浆技术[M]. 北京:水利出版社,1980.
- [5] 孙永明,华萍. 水玻璃化学灌浆材料的发展现状与展望[J]. 吉林水利,2005(9):13-14.
- [6] 刘小兵,臧军,刘圆圆,等. 水泥基无收缩灌浆料发展应用[J]. 粉煤灰,2011,23(4):32-34.
- [7] 王燕谋,苏慕珍. 第三系列水泥:硫铁铝酸盐水泥系列介绍[J]. 混凝土,1994(1):21-25.
- [8] 刘彪. 绿色高性能混凝土:材料高科技的产物[J]. 中国水泥,2004(3):50-54.
- [9] 谭毓浚. 试论劈裂注浆[J]. 铁道工程学报,1993(1):82-87.
- [10] 胡国兵. 水泥、水玻璃浆液在锦屏工程涌水封堵中的应用[J]. 人民长江,2009,40(21):32-34.

- [8] 侯晋芳,刘文彬. 电渗法与电渗法联合真空预压法加固超软土地基的室内试验分析对比[J]. 中国港湾建设,2018,38(2):30-34.
- [9] 吴辉,胡黎明. 真空预压与电渗固结联合加固技术的理论模型[J]. 清华大学学报(自然科学版),2012,52(2):182-185.
- [10] PENG J,XIONG X,MAHFOUZ A H,et al. Vacuum preloading combined electroosmotic strengthening of ultra-soft soil[J]. Journal of Central South University,2013,20(11):3282-3295.
- [11] 高志义,张美燕,张健. 真空预压联合电渗法室内模型试验的研究[J]. 中国港湾建设,2000(5):58-61.
- [12] 房营光,徐敏,朱忠伟. 碱渣土的真空-电渗联合排水固结特性试验研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2006(11):70-75.

西霞院工程水下建筑物混凝土缺陷修复 施工关键技术研究实践

王京宇¹ 刘焕虎²

- (1. 水利部建设管理与质量安全中心, 北京 100038;
2. 小浪底水利枢纽管理中心, 河南 济源 454681)

【摘要】 水库大坝混凝土普遍存在缺陷问题,如混凝土开裂、冲蚀、剥落等,对于水面以上的缺陷,可以有多种处理材料与工艺,但对于水下部位建筑物的缺陷,受修补材料、设备及工艺的限制,长期以来一直得不到有效的解决。西霞院工程位于黄河干流上,经过黄河调水调沙运用,受到“大流量、高含沙”冲击,水下建筑物混凝土存在冲刷掏空现象。在西霞院工程水下建筑物破坏修复工作中,提出搭建水上施工平台和浇筑水下不分散混凝土的新施工工艺和方案,实施后经过一个汛期的考验,修复效果良好,该技术可为今后水下建筑物混凝土缺陷修复提供借鉴和指导。

【关键词】 水下建筑物;水上施工平台;水下不分散混凝土

中图分类号: TV697

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-045-05

Research and practice of key technology for repairing concrete defect of underwater buildings in Xixiayuan Project

WANG Jingyu¹, LIU Huanhu²

- (1. Center of Construction Management & Quality & Safety Supervision, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;
2. Xiaolangdi Multipurpose Dam Project Management Center, Ministry of Water Resources, Jiyuan 454681, China)

Abstract: Defects are common in reservoir dam concrete, such as concrete cracking, erosion, peeling, etc. For the defects above the water surface, there can be a variety of treatment materials and technology. However, for the defects of underwater buildings, which are limited by repair materials, equipment and technology, they have not been effectively solved for a long time. Xixiayuan Project is located on the mainstream of the Yellow River. After the application of water and sand transfer in the Yellow River, it is affected by the impact of “large flow and high sand content”, and the phenomenon of erosion and hollowing out exists in the concrete of underwater buildings. In the repair work of underwater buildings in Xixiayuan Project, a new construction technology and scheme of building construction platform over water and pouring underwater anti-washout concrete are put forward, which has been tested in a flood season and proved to have good repair effect. This technology can provide reference and guidance for the repair of underwater building concrete defects in the future.

Keywords: underwater building; construction platform over water; underwater anti-washout concrete pouring

收稿日期: 2022-10-31

作者简介: 王京宇(1964—),男,高级工程师,主要从事水利工程建设管理工作。



1 工程概况

西霞院反调节水库是黄河小浪底水利枢纽的配套工程^[1],位于黄河干流中游河南省洛阳市境内,坝址左、右岸分别为洛阳市的吉利区和孟津县。上距小浪底水利枢纽(以下简称小浪底工程)16km,西霞院工程是一座以反调节为主,结合发电,兼顾灌溉、供水等综

合利用的大型水利工程。水库总库容 1.62 亿 m^3 ,电站装机容量 140MW,灌溉农田面积 113.8 万亩。工程规模为Ⅱ型,属Ⅱ等工程^[2]。土石坝为 2 级建筑物。西霞院工程的泄水、排沙、发电建筑物集中布置在右岸滩地,其两侧布置复合土工膜斜墙砂砾石坝(见图 1)。电站排沙建筑物由电站两侧的排沙洞和机组段的排沙底孔组成^[3]。

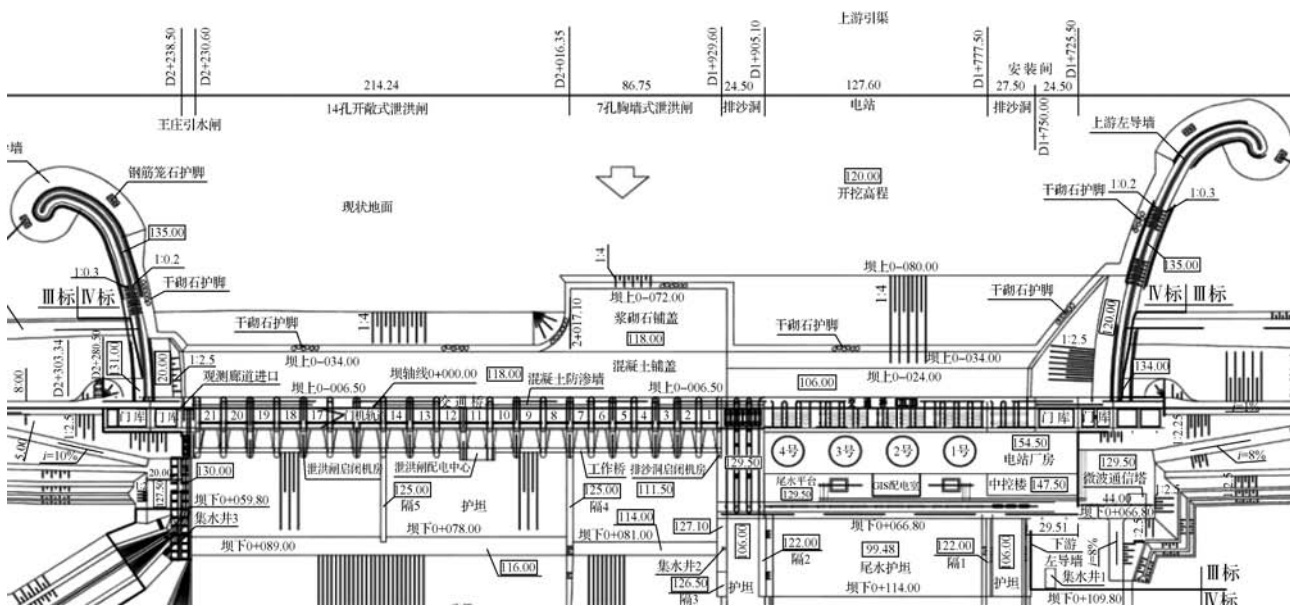


图 1 西霞院工程平面布置

2 现状问题

西霞院反调节水库经过了多次调水调沙运用,特别是 2019 年和 2020 年的“低水位、大流量、高含沙、长历时”泄洪运用。2020 年 11 月 2 日至 12 月 4 日,黄河水利水电开发集团有限公司对西霞院反调节水库混凝土坝段水下建筑物进行了全面检查,发现 6 号排沙洞上游右挡墙修复部位 112~114m 高程钢筋笼底部严重淘空。根据汛后水下检查和修复工程施工前复检的对比,目前 112~114m 高程钢筋笼挡墙基础部位的淘空范围、淘空深度和影响范围均朝着破坏深度更深、破坏范围更大的趋势发展。淘空范围宽度约 40m,垂直深度最大 3.4m,纵向深度超过 7m,预计总掏空方量超 500 m^3 。为确保西霞院反调节水库安全稳定运行,需尽快开展西霞院工程水下建筑物破坏修复工作。

3 实施方案

3.1 施工工艺流程

施工工艺流程见图 2。

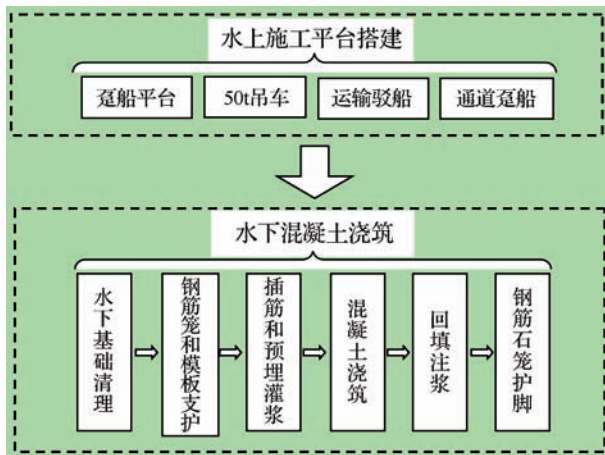


图 2 施工工艺流程

3.2 水上施工平台搭建

水上施工平台搭设设备包括水上施工趸船平台、吊车和机动驳船,平台吊装设备采用一台 50t 汽车吊固定在 12m × 30m 的趸船平台上。坝顶到趸船间的大型设备及材料运输由 50t 驳船完成,泵送平台及通道由两艘平板趸船和一艘观光船组成^[4-5],见图 3。

平底船采用四角定位法固定,在平底船左岸上游100m处沉放一个四面体,作为锚固点,右岸上游侧采用未打捞出的船锚作为锚固点,使用前对钢丝绳进行

检查。下游侧在坝顶交通桥泄水孔处设置锚点,拴钢丝绳固定船只。80m趸船一端安放在6号排沙洞闸墩上,一端向大船靠近,趸船之间用角铁固定,形成整体。在趸船前端向左岸约50m处,安放一个四面体,用于拴揽趸船。靠闸墩一端顶支在闸墩上,两侧用倒链牵引相邻闸墩上的预埋件,趸船尾部用旧轮胎支垫。趸船中部两侧以45°角向合适的闸墩上牵引缆绳,用倒链连接在闸墩预埋件上。趸船和平底船用缆绳拴揽,确保趸船锚固安全。

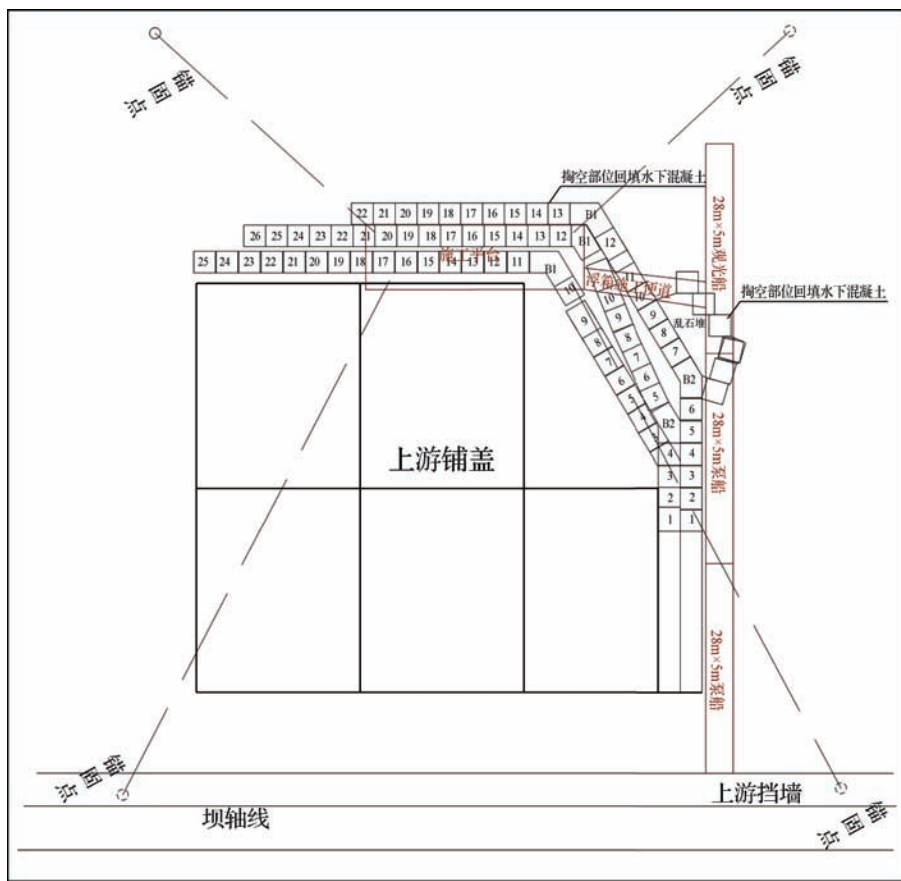


图3 水上施工平台布置平面图

3.3 钢筋笼和钢模板支护

在 114m 高程基础淘空上游布设钢筋笼混凝土挡墙,挡墙自冲刷坑底至 112m 高程,钢筋笼采用六面体型式,长宽均为 2.0m,高度根据实际冲坑深度加工,约比坑深高出 50cm,局部衔接位置钢筋笼的形状、尺寸可根据挡墙实际布置位置进行适当调整,钢筋笼水下

焊接;内衬钢丝网,密目网间距不大于 10mm,结合现场施工工艺,根据实际情况保留或取消部分单侧网面,便于预埋注浆管和混凝土浇筑施工,零星钢筋笼基础淘空处理,采用钢结构模板立模浇筑水下混凝土,钢模板不拆除,当作防护工程的一部分,钢筋笼和钢模板支护位置见图 4。

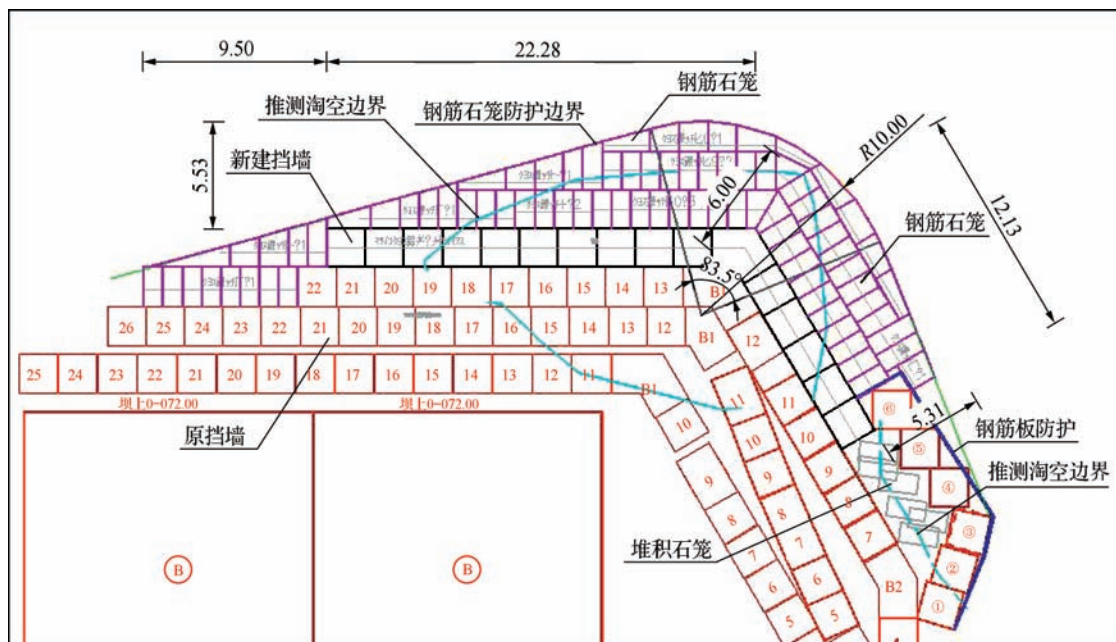


图4 掏空区修复平面图(单位:m)

3.4 插筋和预埋灌浆管

相邻钢筋笼之间利用插筋或卡扣连接,钢筋笼临水下回填混凝土面利用锚筋与回填混凝土连接,钢筋笼之间采用短插筋、连接筋连接或焊接。锚筋在钢筋笼安装到位后进行水下安装,采用 HRB400 热轧钢筋,钢筋直径 22mm,长度由冲坑纵向实际深度确定,水平间距 0.5m,上下两层错开布置。锚筋伸入钢筋笼内有效锚固长度不小于 800mm,采取与钢筋笼焊接的方式进行有效搭接。钢筋笼如采用插筋连接,插筋应在钢筋笼安装到位后进行水下安装,采用 HRB400 热轧钢筋,钢筋直径 22mm,长度 1.5m,间排距 0.5m,梅花形布置,插筋伸入相邻两钢筋笼各 0.75m。插筋安装到位后,应采取有效的固定措施,以防止混凝土浇筑时移位或脱落。掏空部位纵向深度方向的插筋根据潜水员操作能力,要尽量长,并可在浇筑完挡墙部分后,增加伸向掏空部位的斜插筋作为补充。

由于基础掏空部位纵向深度较深,不能有效保证基础内部充填密实,根据水下检查地形情况,并结合掏空深度,在回填混凝土的掏空区域布置 4 根直径 48mm 的钢质灌浆管,用于浇筑后灌浆作业^[6]。

3.5 浇筑水下不分散混凝土

水下不分散混凝土具有自密实的特性,对于挡墙基础掏空回填选用水下不分散混凝土^[7-8]。根据实际需求混凝土等级不低于 C25F100,且水下混凝土配置强度宜提高 10% ~ 20%;其胶凝材料用量不宜少于 360kg/m³;絮凝剂用量每方约 12.5kg。

为了防止混凝土离析,混凝土在水中有自由落差时,胶凝材料用量不宜低于 400kg/m³,且水下不分散混凝土的粗骨料最大粒径不宜超过 20mm,选用一级配混凝土。

浇筑施工方法为:利用施工平台和通道架设泵送管道、竖向混凝土导管,使用汽车混凝土泵泵送混凝土,水下潜水员配合,将混凝土浇筑至指定部位。浇筑作业共分两次进行,第一次浇筑钢筋笼挡墙和钢模板支护部分,浇筑完成并具有一定强度后,再进行下阶段钢筋笼挡墙内侧掏空区域水下混凝土回填施工。

3.6 回填注浆

基础混凝土回填完成后,通过预留注浆管,对基础浇筑不密实部位进行注浆。控制灌浆压力为 1MPa,通过 4 根直径 48mm 的钢质灌浆管,分别灌注普通硅酸

盐425水泥浆^[9]。灌浆的水灰比按照前期3:0.1、后期1:0.1、终孔0.6:0.1控制。

3.7 布置钢筋石笼护脚

钢筋笼混凝土挡墙112~114m高程上游采用钢筋石笼防护,钢筋石笼摆放呈前低后高形式,摆放高度不超过钢筋笼混凝土挡墙,周边块和前后排直接采用锰钢链和D形扣连接形成饼状。石笼尺寸采用2.0m×1.0m×1.0m(长×宽×高),间距150mm,钢筋为直径为16mm的HBR300热轧钢筋,前缘边块和衔接块部位的形状和尺寸根据实际摆放情况加工;钢筋石笼直接采用不锈钢卡扣连接,为保证连接效果,卡扣形式根据现场吊装试验确定;石笼一般长度方向顺水流向放置,前缘边块和衔接块部位可根据设计边界形状适当调整方向,抛填时应尽量错缝摆放。钢筋石笼内所填石料应是坚固密实、耐风化、遇水不易分解破碎的大块石料,粒径应大于网孔孔径^[10],局部冲坑较深位置可适当增加钢筋石笼数量,具体数量可根据实际地形调整,钢筋石笼布置见图4。

4 结 论

2021年3—5月,完成西霞院水库坝前水下混凝土缺陷修复施工,共回填浇筑C30水下不分散混凝土568m³,回填灌浆0.8t,布设钢筋笼挡墙16个,布置护脚钢筋石笼112个。通过2021年汛后检查,6号排沙洞上游右挡墙修复部位未再出现冲刷掏空现象,修复

效果良好,证明搭设水上施工作业平台和浇筑水下不分散混凝土的施工工艺和方案,适用于西霞院工程上游铺盖混凝土冲刷掏空的修复工作,也为今后水下建筑物混凝土缺陷修复提供了借鉴和指导。◆

参考文献

- [1] 刘钢钢,刘焕虎,白瑞洁.西霞院工程机组水发联轴法兰渗油分析及处理[J].人民黄河,2020,42(S1):262-263.
- [2] 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准:DL 5180—2003[S].北京:中国电力出版社,2003.
- [3] 宋莉萱,吴国英,武彩萍.西霞院反调节水库泄水建筑物组合运用分析[C]//金生,尚宏琦,张利新,等.水库大坝高质量建设与绿色发展;中国大坝工程学会2018学术年会论文集.郑州:黄河水利出版社,2018:705-711.
- [4] 未山山.浅谈水下混凝土施工工艺及注意事项[J].四川水利,2021,42(2):104-106.
- [5] 刘其森,于洋.苗尾水电站导流洞出口洞内水下混凝土围堰技术[J].人民黄河,2020,42(S2):183-184,186.
- [6] 吴世斌,林宏,沈杰.钢衬底部混凝土浇筑密实施工的技术应用[J].人民长江,2018,49(S1):192-194.
- [7] 周德文.水下不分散自密实混凝土在沙坪二级水电站的应用[J].中国建材科技,2014(S2):108.
- [8] 王国鹏.低温施工水下不分散混凝土和自密实混凝土配制技术研究[J].绿色环保建材,2019(3):126-128.
- [9] 丁泓力,黄晖.早强型水泥基灌浆料的试验研究[J].新型建筑材料,2019,46(11):136-139.
- [10] 郭红民,张田甜,胡海松,等.钢筋石笼的空隙率对其稳定特性的影响[J].长江科学院院报,2017,34(5):36-39,43.
- [7] 马夺,张瑞刚.基于AutoBank的黄材水库大坝渗流稳定分析[J].湖南水利水电,2020(5):52-54,77.
- [8] 占平.基于AUTOBANK的土石坝稳定性研究[J].水利技术监督,2019(1):36-39,195.
- [9] 碾压式土石坝设计规范:SL 274—2020[S].北京:中国水利水电出版社,2020.
- [10] 堤防工程设计规范:GB 50286—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [11] 刘永,马飞,张坤强,等.基于AutoBank的丁坞水库坝坡稳定性分析[J].山东农业大学学报(自然科学版),2022,53(1):145-149.

(上接第57页)

- [3] 王学武,党发宁,蒋力,等.深厚复杂覆盖层上高土石围堰三维渗透稳定性分析[J].水利学报,2010,41(9):1074-1078.
- [4] 张曙光,彭冈,时会良,等.长江三峡水利枢纽导流明渠截流与三期围堰工程[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [5] 石金良.大渡河河床深厚覆盖层及其工程地质问题[J].四川水力发电,1986(3):10-15.
- [6] 罗立哲,胡志根,刘全,等.土石围堰边坡稳定的多因素综合风险分析[J].天津大学学报,2013,46(7):617-622.



基于 AutoBank 分析高土石围堰边坡稳定影响因素

郝中州¹ 苏茂荣¹ 陈志军²

(1. 河南黄河河务局, 河南 郑州 450002;
2. 河南华北水利水电勘察设计有限公司, 河南 郑州 450045)

【摘要】 高土石围堰的边坡稳定关系到水利水电工程的安全施工和施工进度。影响高土石围堰边坡稳定的因素众多。本文基于 AutoBank 软件, 采用控制变量法, 分析堰体参数、边坡坡比、围堰高度、围堰基础、防渗体、排水措施等因素对高土石围堰边坡稳定的影响, 可供工程应用参考。

【关键词】 土石围堰; 边坡稳定; AutoBank

中图分类号: TV641

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-050-08

Analysis of influencing factors of high earth-rock cofferdam slope stability based on AutoBank

HAO Zhongzhou¹, SU Maorong¹, CHEN Zhijun²

(1. Henan Yellow River Bureau, Zhengzhou 450002, China;
2. He'nan North China Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co., Ltd., Zhengzhou, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: The slope stability of high earth-rock cofferdam is related to the safe construction and construction progress of water conservancy and hydropower projects. There are many factors affecting the slope stability of high earth-rock cofferdam. Based on AutoBank software, this paper uses the control variate method to analyze the influence of factors such as cofferdam parameters, slope ratio, cofferdam height, cofferdam foundation, anti-seepage device and drainage measures on the slope stability of high earth-rock cofferdam. The results can provide guidance for project application.

Keywords: earth-rock cofferdam; slope stability; AutoBank software

1 引言

在水利水电工程施工过程中, 围堰是为保证主体工程施工而修建的临时性建筑物^[1]。围堰的安全稳定, 不仅关系到整个施工导流工程和主体工程的安全

和施工进度, 甚至影响到下游人民群众的生命财产安全^[2]。对于平原地区大江大河上的水利水电工程, 施工围堰多修建在常年冲刷淤积的滩地或河床上, 在深厚软弱地基上填筑围堰所面临的技术难度要比常规土石围堰大得多^[3], 围堰的填筑条件和运行条件更为复

收稿日期: 2022-09-23

作者简介: 郝中州(1964—), 男, 高级经济师, 主要从事水利工程建设和运行管理工作。

杂;围堰的填筑多为在原始地基上直接水下抛填,无法提前进行地基处理,承载力较差,且水下抛填体密度差,后期容易产生较大的沉降变形^[4];围堰运行时,要面临施工期工况、基坑开挖工况、汛期洪水工况等复杂的外部环境,运行条件更为复杂^[5]。对于软弱基础上的高土石围堰,面临着地基条件差、填筑材料就近取材难、填筑质量低等问题,堰体参数、围堰高度、边坡坡比、围堰基础、防渗体等诸多因素都会影响高土石围堰的安全稳定^[6]。采用 AutoBank 软件,能够很好地模拟土石坝或者土石围堰的渗流稳定^[7]和边坡稳定^[8]情况。本文结合碾盘山水利枢纽工程,基于 AutoBank 有限元软件,分析高土石围堰边坡稳定影响因素,并在碾盘山施工围堰稳定计算中进行应用。

2 AutoBank 简介

AutoBank 有限元计算软件是河海大学开发的,针对土石坝、堤防、围堰等建筑物进行渗流和边坡稳定计算分析的软件。该软件遵照现行《碾压式土石坝设计规范》(SL 274—2020)^[9]和《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)^[10]有关稳定安全计算的若干规定,用有限元方法进行土石坝、面板堆石坝、堤防、一般土质边坡、尾矿坝的稳定计算,能够考虑圆弧、非圆弧、软弱夹层滑动面、上部荷载、非线性砂性土质等复杂情况。该软件可通过导入地层及建筑物文件建立有限元模型,基于渗流计算模块和边坡稳定模块,实现渗流、变形、应力、稳定计算一体化^[11]。

3 土石围堰边坡稳定影响分析

本文基于 AutoBank 软件,建立土石围堰有限元模型,导入地层地质及力学参数,进行渗流和边坡稳定计算,通过控制单个变量,逐步分析高土石围堰边坡稳定的影响因素。

3.1 堰体参数

对于土石围堰,堰体填筑材料的物理力学参数(黏聚力 c 和内摩擦角 φ)是影响围堰边坡稳定的首要因素。对于砂性土,由于缺少黏粒,黏聚力较小,而对于

黏性土,则黏聚力较大。为了研究黏聚力和内摩擦角对围堰稳定的影响,采用控制变量法,分别模拟不同力学参数下的围堰稳定情况。

基于 AutoBank 软件建立土石围堰模型,围堰高度为 10m,堰前水位为 96.0m,对应的水头为 6m,通过修改堰体填筑材料的物理力学参数对比边坡稳定计算结果。堰体填筑材料物理力学参数见表 1,其中材料 1 代表粉细砂,材料 2 代表黏性土,材料 3 代表粗砂。三种材料边坡稳定计算结果如图 1 所示。

表 1 堰体材料物理力学参数

材 料	重度 γ / (kN/m^3)	浮容重 $\gamma_{\text{浮}}$ / (kN/m^3)	渗透系数 k / (m/s)	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
材料 1	15.2	9.3	1.5×10^{-5}	0	28
材料 2	15.2	9.3	1.5×10^{-5}	10	28
材料 3	15.2	9.3	1.5×10^{-5}	0	35

根据计算结果,对于粉细砂围堰,黏聚力 c 为 0,在渗流作用下,边坡极易失稳,边坡稳定安全系数最小,为 0.65;对于黏性土围堰,黏聚力 c 为 10kPa,边坡稳定安全系数增大至 1.85[见图 1(b)1.85274],可以看出黏聚力 c 对围堰稳定具有极大的影响;对于粗砂围堰,黏聚力 c 为 0,内摩擦角 φ 增大至 35° 时,边坡稳定安全系数比粉细砂围堰有一定的提升,由 0.65 增大至 0.81。

通过以上分析可以看出,堰体填筑材料的物理力学参数对围堰的渗流稳定和边坡稳定有较大影响。一般情况下,黏性土围堰的稳定性要优于砂性土(粉细砂或粗砂)围堰,而内摩擦角较大的粗砂要优于粉细砂。

3.2 边坡坡比

对于松散的无黏性土,当其自然堆积时能够形成的自然坡角,就是天然休止角。天然休止角一般略小于滑坡开始滑动的滑动角,而且比同一物质的内摩擦角小 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。当采用砂性土填筑围堰时,围堰的边坡坡比对围堰的稳定有较大影响。采用控制变量的方法,保持堰体材料不变,采用 AutoBank 软件分别建立边坡坡比为 1:2、1:2.5、1:3 的围堰模型,研究边坡坡比对围堰稳定的影响情况,计算结果如图 2 所示。

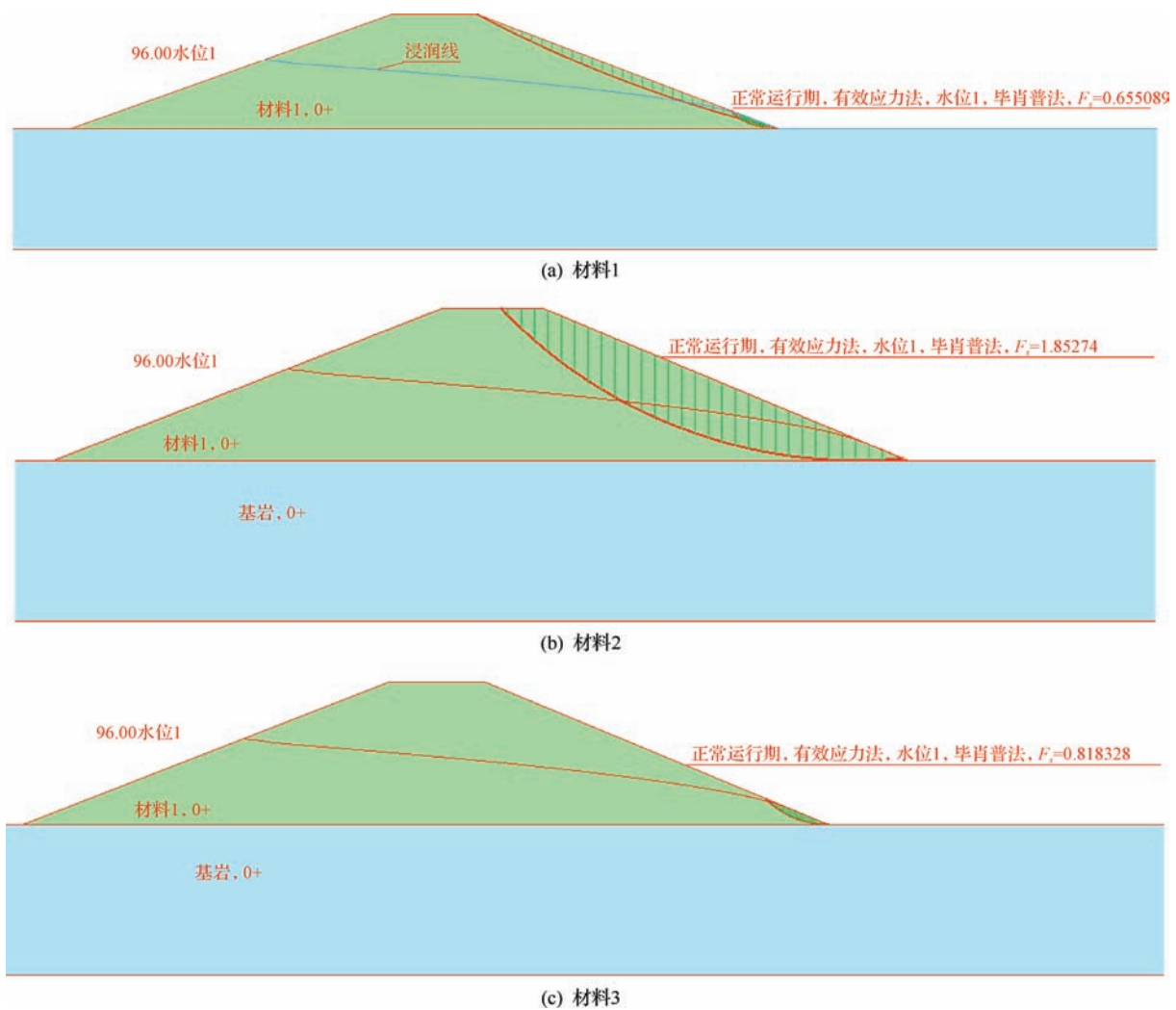
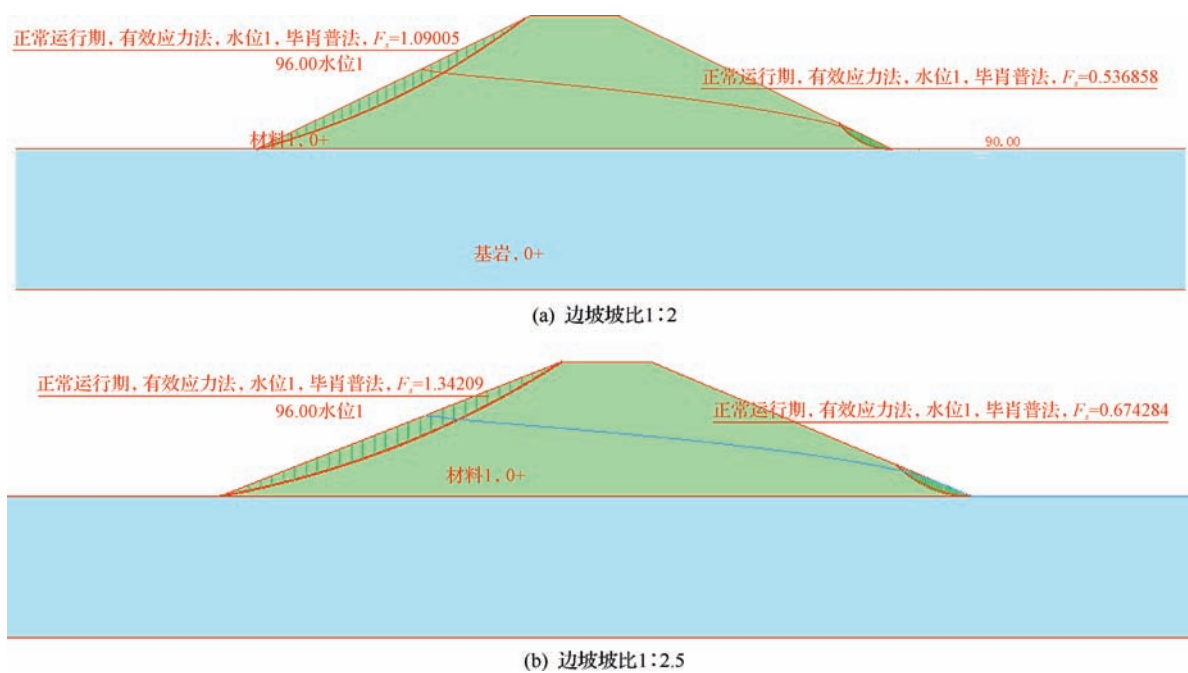


图1 不同堰体参数下边坡稳定计算结果



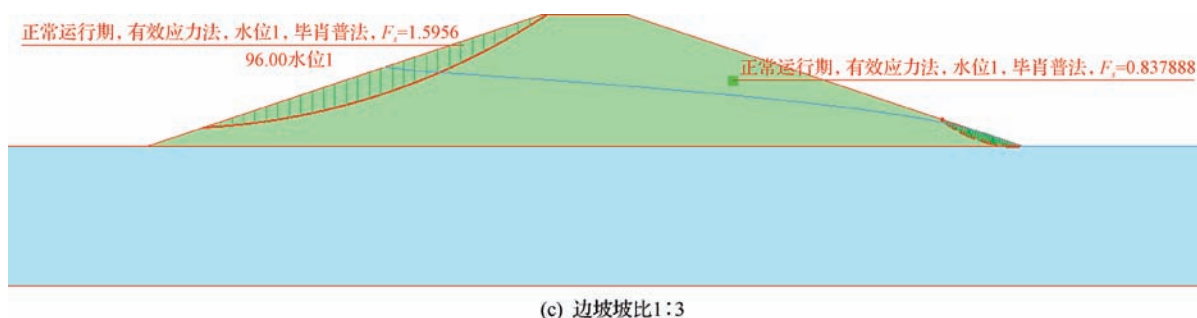


图2 不同边坡坡比下边坡稳定计算结果

计算结果显示,当边坡坡比逐渐增大时,边坡稳定安全系数逐渐增大,其中临水侧安全系数分别为1.09、1.34、1.59,背水侧出溢点附近边坡稳定安全系数分别为0.53、0.67、0.83。可以看出,边坡坡比对围堰稳定有较大影响,适当增大边坡坡比可以提高围堰的边坡稳定安全系数,但是对应的围堰填筑工程量也会增大。

3.3 围堰高度

当围堰的高度超过10m时,一般认为属于高大围堰。围堰越高,边坡的危险性越大,出现问题时的危害也越大。围堰超过一定高度时,就需要做二级马道,以提高围堰的安全性。为了研究围堰高度对围堰稳定性

的影响,采用控制变量法,建立两个模型,围堰高度分别为10m和5m,其中10m高围堰堰前水头控制为6m,5m高围堰堰前水头控制为3m,采用AutoBank软件进行计算,结果如图3所示。

计算结果显示,当围堰高度从5m增大到10m时,临水侧安全系数有轻微降低,背水侧出溢点附近安全系数有较大降低,从0.91降低至0.67。可以看出,围堰高度对边坡稳定的影响较大,当围堰超过一定规模时,要特别注意安全稳定问题。

3.4 围堰基础

围堰的安全不仅与堰体本身的稳定有关,也与围堰基础的稳定有很大关系。当堰体基础条件较差时,

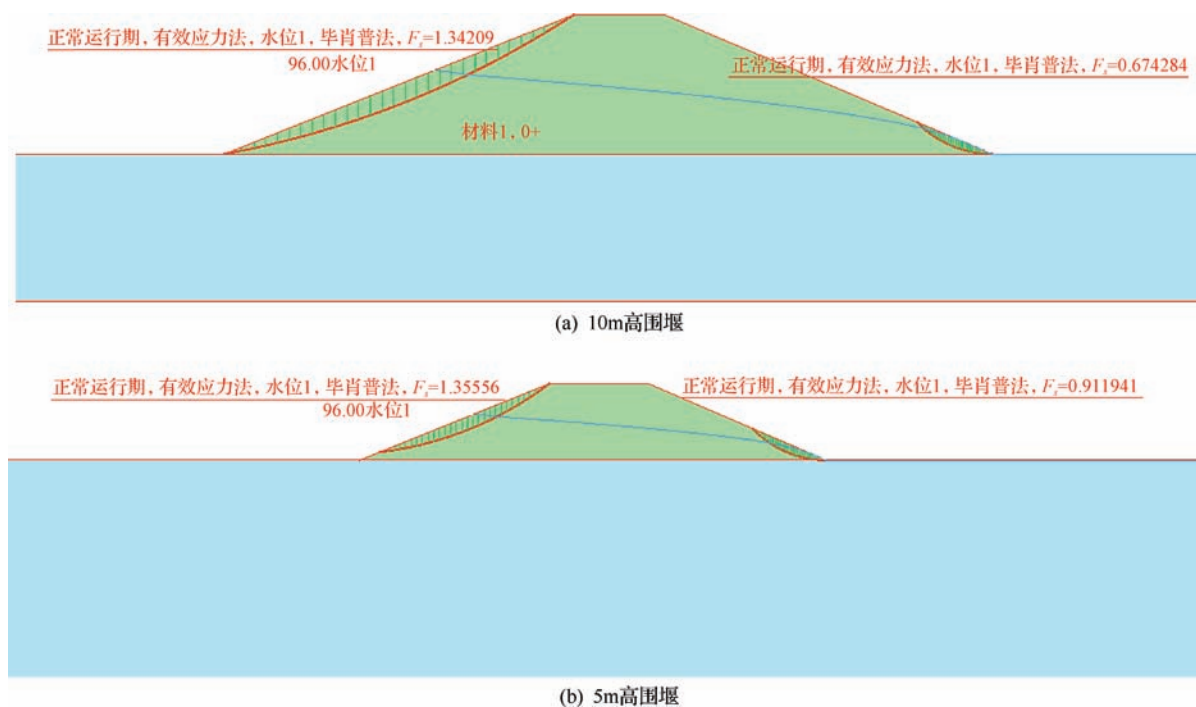


图3 不同围堰高度下边坡稳定计算结果



围堰就容易出现深层滑动,引发堰体的滑坡。为研究软弱基础的围堰稳定问题,采用控制变量法,建立4个模型,分别模拟10m高围堰在淤泥质土基础、粉细砂基础、黏土基础以及岩石基础条件下的稳定情况,相关材料的物理力学参数见表2。采用 AutoBank 软件进行边坡稳定计算,计算结果如图4所示。

表2 材料物理力学参数

参 数		重度 γ / (kN/m^3)	浮重度 $\gamma_{\text{浮}}$ / (kN/m^3)	渗透系数 k / (m/s)	c / kPa	φ / ($^{\circ}$)
堰体材料		18.0	9.0	1.5×10^{-7}	18	13
基础1	淤泥质土	17.6	7.6	2.5×10^{-7}	10	5
基础2	粉细砂	19	9.0	5.0×10^{-5}	0.1	25
基础3	黏 土	18.2	9.3	1.5×10^{-8}	25	10
基础4	岩 石	23	13	1.0×10^{-10}	2000	60

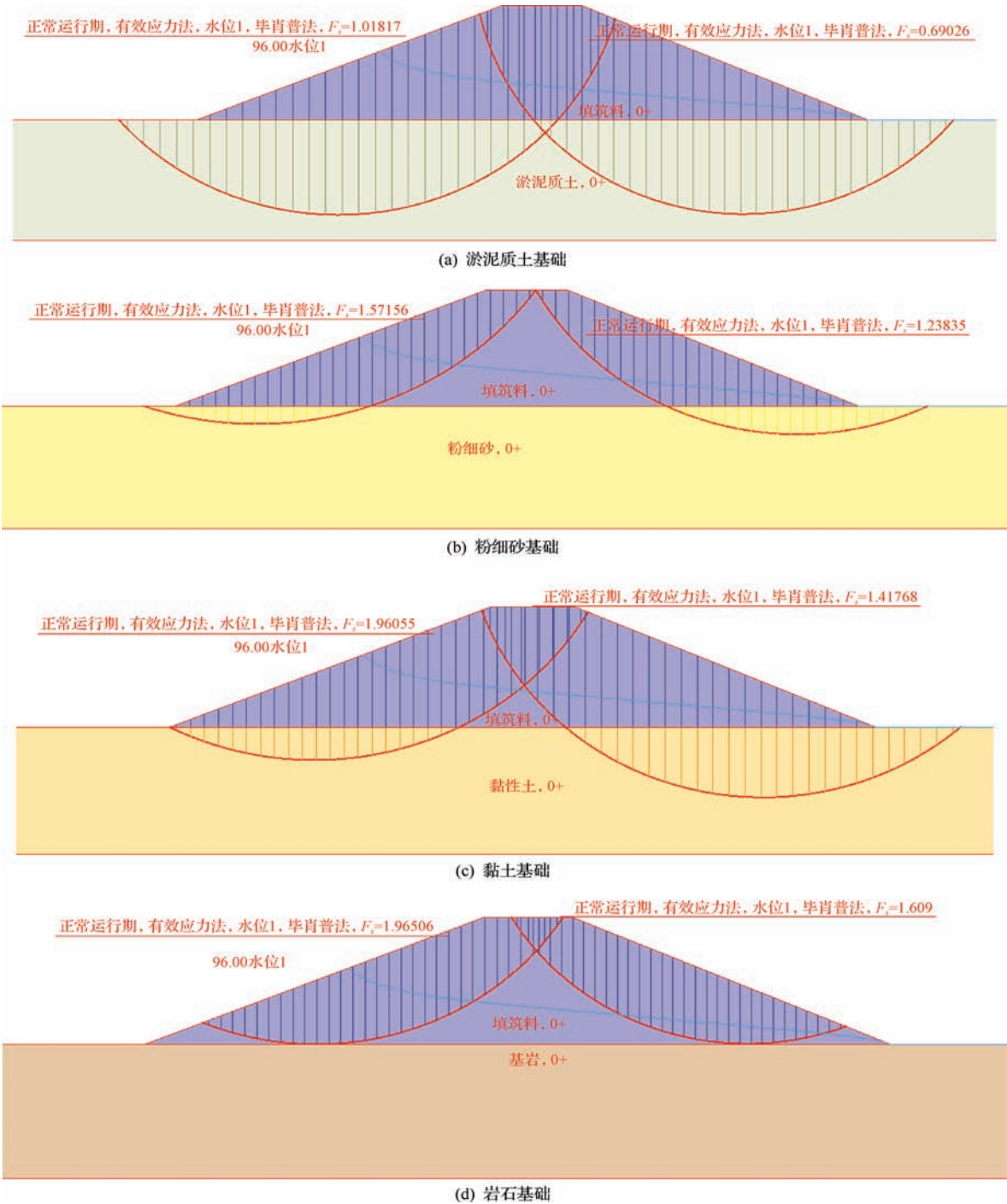


图4 不同基础下边坡稳定计算结果

计算结果显示,在围堰填筑材料、边坡坡比、高度等条件保持一致的情况下,围堰基础对边坡的稳定有较大影响:淤泥质土基础条件最差,承载能力最低,围堰边坡容易出现深层滑动,边坡稳定安全系数最低;粉细砂基础的黏聚力为 0.1(应与表 2 一致),但是内摩擦角较大,承载能力相对较高,边坡滑动同样为穿过粉细砂基础的深层滑动,边坡稳定安全系数为 1.23;黏土基础的黏聚力较大,承载能力有较大增强,边坡稳定安全系数达到 1.42;岩石基础的强度高,承载能力远大于围堰材料,边坡滑动面在堰体内部,边坡稳定安全系数取决于堰体材料,稳定安全系数也最高,达到 1.60。可以看出,围堰的基础条件对边坡稳定有较大影响,软弱基础条件下的围堰最容易出现边坡失稳破坏。

3.5 防渗体

土石围堰要承担挡水任务,围堰堰体及堰体基础的渗透特性对于围堰的安全至关重要。由于围堰多采用当地材料填筑,堰体的防渗体也有多种:均质、黏土心墙、混凝土墙等。对于围堰基础条件不好的情况,比如渗透性较大的粉细砂基础、砂砾石基础等情况,就必须采用有效的防渗体,以降低围堰的渗透性,保证围堰的安全稳定。为了研究防渗体对围堰的安全稳定影响,同样采用控制变量法进行研究,建立围堰模型,围堰基础为渗透性较强的粉细砂基础,基坑开挖至粉细砂基础,防渗体分别采用均质、黏土心墙、混凝土墙等。采用 AutoBank 软件进行渗流稳定和边坡稳定计算,计算结果如图 5 所示。

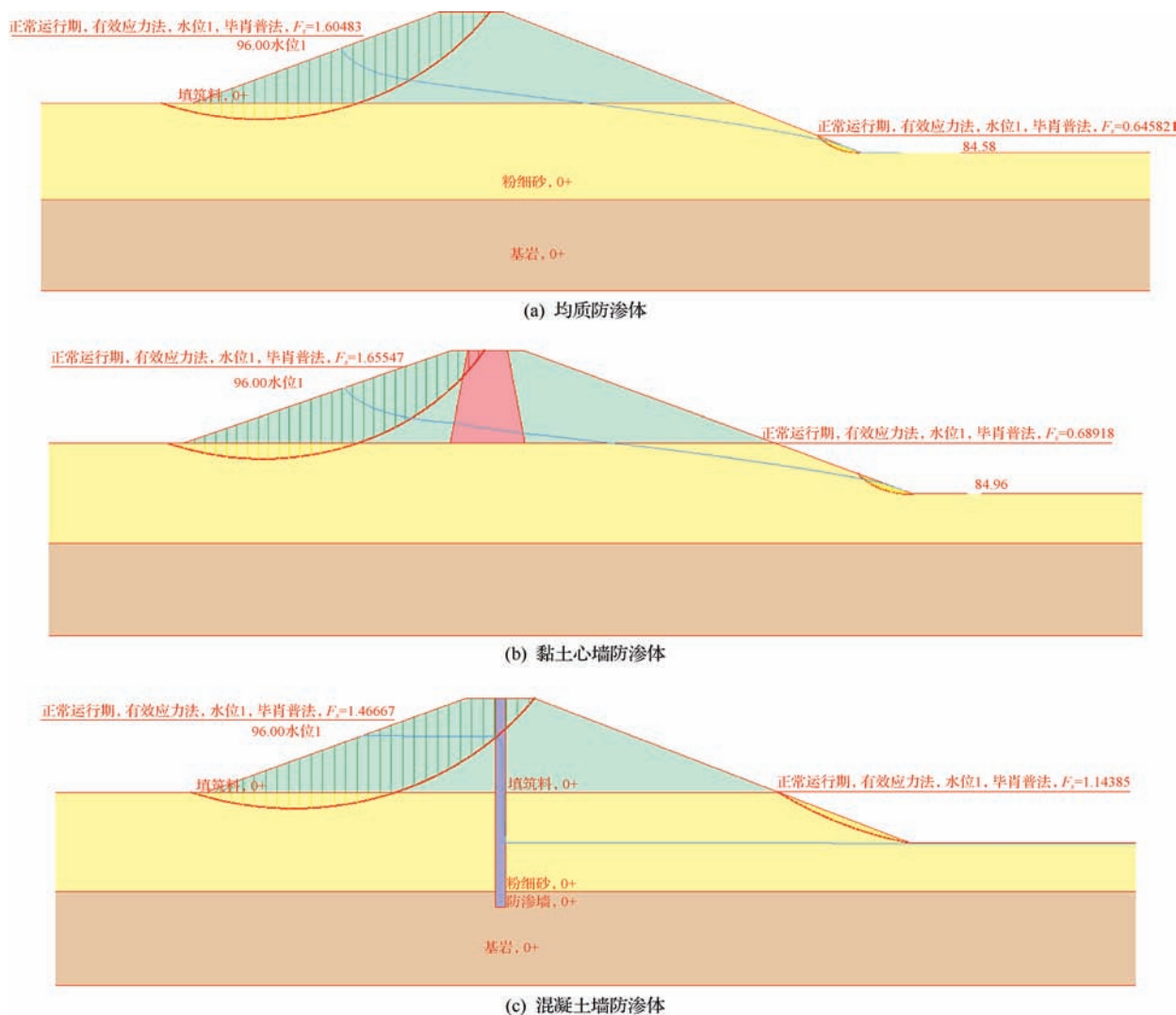


图5 不同防渗体下边坡稳定计算结果



计算结果显示,围堰基础条件对于围堰的渗流稳定非常重要。对于粉细砂基础,均质防渗体和黏土心墙防渗体无法与底部不透水层基岩相接,无法形成封闭的防渗体,当基坑开挖较深时,背水侧在渗流作用下就会出现边坡失稳的情况,同时围堰的单宽渗流量较大,且主要从基础进行渗流,围堰最危险的区域在溢 outlets 周围。采用防渗墙防渗体(黏土心墙或混凝土墙)时,其与底部不透水层形成封闭防渗体,可以极大地降

低堰体的浸润线,降低单宽渗流量,从而提高围堰的稳定安全系数。当采用混凝土墙防渗体时,围堰稳定安全系数从 0.64 提高至 1.14。对于基础渗透性较大的围堰,采用防渗措施对围堰的边坡稳定至关重要。

3.6 排水措施

围堰填筑后,由于岩体本身的渗透性,会在堰体内部形成一条浸润线,浸润线以下为饱和状态。为保证围堰的稳定,常用的工程技术手段是改变围堰浸润线

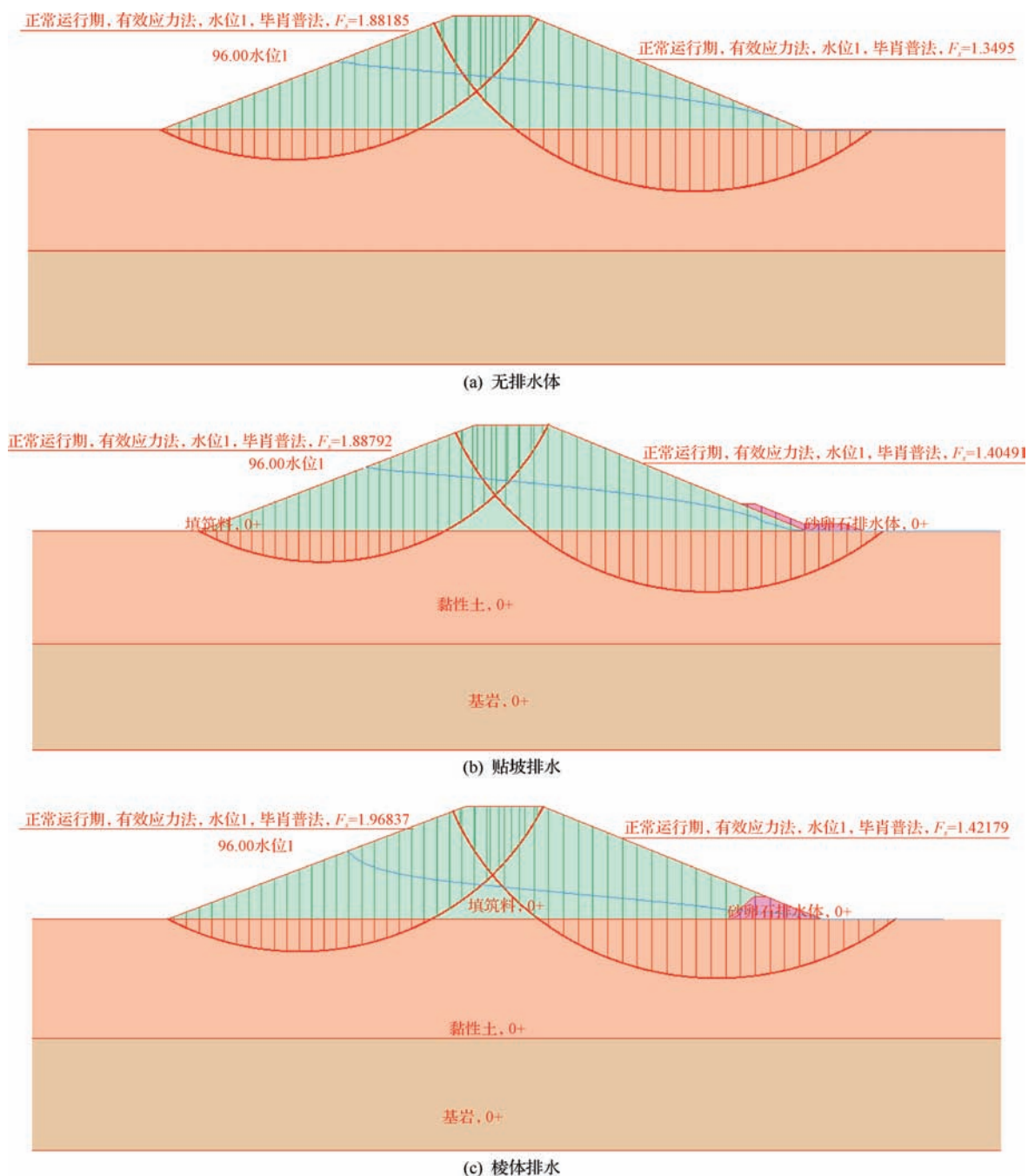


图6 不同排水体下边坡稳定计算结果

溢出点位置的排水条件。工程中常用的手段包括贴坡排水、褥垫排水、棱体排水等。为研究排水措施对浸润线以及堰体稳定的影响,同样采用控制变量法建立围堰模型,其中溢出点位置分别为无排水体、贴坡排水和棱体排水,排水体采用透水性较强的卵砾石材料。采用 AutoBank 软件进行有限元计算,计算结果如图 6 所示。

计算结果显示,排水体可以改善溢出点的渗透特性,其中贴坡排水和无排水体的浸润线比较接近,而棱体排水可以显著降低浸润线的位置。贴坡排水措施对溢出点渗水进行反滤后,能够提高堰体坡脚的渗透稳定性,防止出现管涌和流土等渗透破坏。贴坡排水和棱体排水均能改善围堰坡脚的渗流状况,提高围堰边坡的稳定性,安全系数从 1.35 分别提高至 1.40 和 1.42。

4 工程案例

碾盘山水利枢纽工程位于汉江中游河段的钟祥市境内,水库正常蓄水位 50.72m,总库容 9.02 亿 m^3 ,电站总装机 18 万 kW,年发电量 6.16 亿 kW·h。该工程采用围堰一次拦断河床、左岸开挖导流明渠过流的方式进行施工导流。其中,上游围堰长 808m,堰顶高程 51.85m,堰顶宽 10m,临水侧坡比为 1:3.0,背水侧坡比为 1:2.5,围堰设二级马道。根据施工期工程地质揭露情况,基础地层由上至下依次为砂壤土、粉细砂、砂砾石和砂岩。基础透水性较强,采用塑性混凝土防渗墙接复合土工膜防渗,背水侧坡脚为截流戗堤固脚。

根据地质资料和围堰结构,采用 AutoBank 软件建立有限元模型,分别进行渗流和边坡稳定计算,计算结果如图 7 所示。根据计算结果,临水侧边坡稳定安全系数为 1.63,背水侧边坡稳定安全系数为 1.20,均大于规范要求,围堰的设计较为合理。

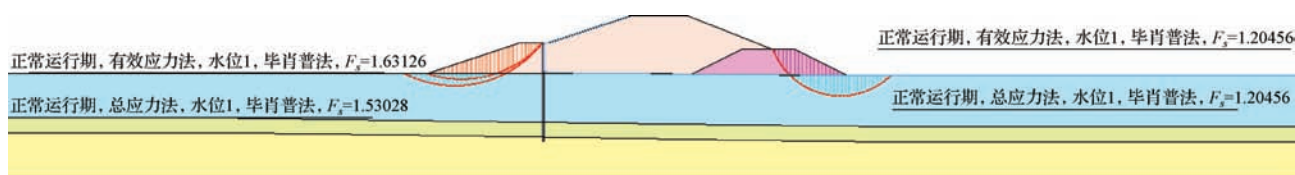


图 7 碾盘山枢纽上游围堰边坡稳定计算结果

5 结论

本文基于有限元软件 AutoBank 对影响围堰边坡稳定的因素进行了研究,模拟不同的堰体参数、边坡坡比、围堰高度、围堰基础、防渗体以及排水措施等条件下围堰的边坡稳定情况。经过分析,得出以下结论:

a. 围堰填筑料的物理力学参数黏聚力 c 和内摩擦角 φ 是影响围堰边坡稳定的首要因素,黏聚力 c 和内摩擦角 φ 越大,围堰的稳定性越好。在采用当地材料填筑围堰时,优先采用黏性土,其次采用内摩擦角大的砾石土,最不利的材料是有一定渗透性的砂性土。

b. 围堰边坡坡比、高度是影响围堰稳定的重要因素,降低边坡坡比和围堰高度均可以提高围堰的边坡稳定安全系数;当围堰超过一定高度时,要设分级马道,同时降低边坡坡比。

c. 围堰的基础条件也会影响边坡稳定安全系数:淤泥质土基础的承载能力差,粉细砂基础容易出现深层滑动,不同的基础条件要采用不同的处理措施。

d. 防渗体可以改善围堰的渗透特性,对于透水性基础,采用混凝土墙防渗体可以降低浸润线,减小渗流量,提高围堰的边坡稳定安全系数。

e. 围堰背水侧的排水体可以改善溢出点的渗流特性,棱体排水可以降低浸润线位置,提高边坡稳定性,贴坡排水可以起到反滤作用。◆

参考文献

- [1] 匡林生. 施工导流及围堰[M]. 北京:水利电力出版社, 1993.
- [2] 郑守仁,王世华,夏仲平,等. 导流截流及围堰工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005. (下转第 49 页)



白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目 质量控制

仝雅婷 徐 剑 张明庆

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

【摘 要】 EPC 总承包模式已成为现阶段我国水利水电工程建设的主流。基于 EPC 总承包模式的优势,白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目工程结合工程实际情况不断创新,在质量管理过程中应用智能化、信息化、多样化的管理方式,取得了令人满意的成果。本文对白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目质量管理方法进行总结和探讨,可为确保工程质量效果,充分发挥 EPC 模式优势提供一些有益的借鉴。

【关键词】 EPC 承包模式;水电工程;质量控制;白鹤滩水利工程

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-058-06

Quality control of small water conservancy EPC Project of Baihetan Resettlement

TONG Yating, XU Jian, ZHANG Mingqing

(Powerchina Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311122, China)

Abstract: EPC general contracting mode has become the mainstream of the construction of water conservancy and hydropower projects in our country at present. Based on the advantages of EPC general contracting mode, the small water conservancy EPC project of Baihetan resettlement has been innovative in combination with the actual situation of the project, and applied intelligent, information and diversified management methods in the process of quality management, and achieved satisfactory results. This paper summarizes and discusses the quality management method of the small water conservancy EPC project of Baihetan resettlement, which can provide some useful reference for ensuring the project quality effect and giving full play to the advantages of EPC mode.

Keywords: EPC contracting mode; water conservancy and hydropower project; quality control; Baihetan water conservancy project

项目的质量控制是施工方与建设方重点关注的问题。水利水电工程项目建设受外界因素影响很大,一些不可预测的风险因素将影响工程建设的顺利进行和质量目标的实现^[1]。

白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目的质量控制与管理结合实际工程状况,合理采用质量控制方法,有效开展施工工作。对于 EPC 工程项目而言,质量控制不是纯粹的技术问题或者管理问题,而是一个系统化工

收稿日期: 2022-02-22

作者简介: 仝雅婷(1987—),女,工程师,主要从事水利工程项目管理工作。

程,需要各方面资源的支持和保障。

1 EPC 模式项目质量控制

EPC 总承包是一种总承包模式,工程总承包方全面负责承包工程的质量、安全、工期、造价等,对整个工程项目实行整体构思、全面安排、协调运行的前后衔接紧密的承包模式^[2]。

1.1 项目质量控制的 3 个阶段

项目质量控制阶段可以分为前期质量控制阶段、中期质量控制阶段和后期质量控制阶段。

1.1.1 前期质量控制

前期质量控制的重点是施工准备工作。施工准备工作包括现场检查和单位工程施工准备。首先要对原材料和施工器材进行检查,加强对施工现场的质量把控,落实各项质量控制制度。同时,明确单位工程施工质量关键点,保证施工进度^[3],与项目组织机构、技术负责人进行交流沟通,明确分工合作,做好工程前期质量控制工作。

1.1.2 中期质量控制

中期质量控制包括:在施工中检查工序交接过程,保存并审查技术措施底稿,按照流程执行设计变更等^[3]。应仔细审核涉及质量的文件,严禁出现无证技术人员上岗操作,以及擅自更改图纸的情况。中期质量控制能够有效推进工程项目施工的顺利进行。

1.1.3 后期质量控制

后期质量控制主要由水利工程验收小组负责。根据验收资料,完成对分部工程、单位工程的质量评定,确保水利工程的安全性和可靠性^[3]。除此之外,还要关注水利设施在投入使用的后续情况,加强周期性检查。

1.2 影响工程质量控制的因素

a. 施工计划组织是否有序。施工单位能否全面制定施工计划,能否按照技术标准严格要求各个施工工序,能否准确把控施工关键点等都对后续工程项目的质量控制有着至关重要的影响。

b. 项目施工现场管控是否严格。部分水利工程项目施工现场,存在项目施工工序、技术混乱,机械设

备管理不严格的问题,在施工阶段缺乏完善有效的质量管理体系,都会导致施工环节的质量控制效果较差^[4]。

c. 项目建设材料质量是否合格。若用于项目建设的原材料如钢筋、混凝土等质量不达标,必然出现项目质量问题^[5]。因此严格把控项目建设材料质量是项目质量控制的根本。

d. 项目施工技术人员是否专业。在水利项目施工期间,水利项目建设的施工质量与施工队伍的人员素质和技术水平息息相关^[6]。但是由于存在部分施工技术人员的专业水平不足的现象,工程施工的质量控制重点难以把控,导致施工质量控制效果较差。

1.3 EPC 模式质量控制的优势

水利工程 EPC 总承包项目质量管理具有以下几个方面的优势。

1.3.1 责任主体明确

工程项目建设的责任主体是总承包方。EPC 总承包方负责完成工程建设过程中的项目设计、材料采购、项目施工以及后续阶段的工作,并且承担施工及管理过程中的全部责任。合同责任界面清晰、明确,避免了传统模式中设计、施工责任不清导致的扯皮。

1.3.2 责任主体直接参与质量管理

EPC 模式的责任主体总承包方直接参与全程质量管理,设计、采购、施工顺利的配合使工程在质量和投资上能够很好地协调,达到降成本、缩工期、保质量的目标。可避免传统模式中用分包商的施工水平和质量管理良莠不齐而影响项目质量控制效果。

1.3.3 各阶段质量管理协调统一

在 EPC 模式下,设计、采购、施工各个阶段是相互搭接的,这样就避免了传统模式下设计、采购、施工相互制约和相互脱节的缺陷,大大缩短了施工的工期。环节与环节之间有效协调和合理安排,确保质量控制按照计划进行,成为衡量总承包方质量管理水平的标准^[2]。

白鹤滩移民小型水利类项目体系庞杂,选用 EPC 总承包的质量管理方法能够明确责任主体,直接参与质量控制,有效地确保工程质量。相对于传统的承包



模式,EPC 总承包具有保障设计、采购、施工等环节有效衔接的优势^[1]。本文对白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目质量管理方法进行总结和探讨,创新运用智能信息化质量管理方式,为此类项目的质量管理提供一些有效方法,为充分发挥 EPC 模式优势,进行一些有意义的探索。

2 白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目质量控制

白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目工程承包范围包含 13 个集中居民点的生产生活供水工程及对外连接道路工程,15 座码头及连接道路工程,19 条库周村庄恢复对外交通连接线,文物古迹处理工程和库底清理工程,1 座两岔河水库工程。华东勘测设计研究院作为总承包方负责项目工程的深化设计、土建施工、设备材料采购与安装、竣工验收和工程缺陷责任期内的缺陷修复、保修服务,以及对工程项目进行质量、安全、进度、费用、合同、信息等管理和控制。中国水利水电第四工程局作为联合体成员承担采购、施工及缺陷修复工作。

2.1 白鹤滩质量控制目标

- a. 单元、分部、单位工程合格率 100%,单位工程竣工交验合格率 100%。
- b. 工程交工一次验收合格率 100%,竣工一次验收合格率 100%,满足施工合同承诺的质量目标,争创省级或国家级优质工程。
- c. 合同履约率 100%。
- d. 不发生一般及以上等级的质量事故,杜绝发生影响结构功能性的缺陷。
- e. 无业主方书面抱怨或投诉,不被地市级以上质量监督管理部门通报。
- f. 顾客满意度达到 95% 以上。

2.2 白鹤滩项目质量控制措施

- a. 关键工艺:编制施工工艺评价报告,对关键工艺进行审核,检查技术交底落实情况。
- b. 重点部位:划入质量控制关键点,联合专业设计、施工人员编制相应设计、技术标准。

c. 重要隐蔽工程验收:经总包及设计人员同意,五方联合验收。

d. 试验检测:对接库区工程试验中心,识别关键试验项目,现场实施时采取共同见证措施。

e. 重点部位外观质量:实行样板制,统一质量及验收标准,样板先行、同类推行。

2.3 白鹤滩项目质量控制具体方法

2.3.1 梳理质量管理要点,细化岗位职责,实现多手段联合管理

2.3.1.1 梳理管理清单

梳理隐蔽工程、重点工艺、重点部位的清单,明确华东勘测设计研究院质量管理的层次和动作。保证施工计划组织有序进行,准确把握施工关键点。

a. 地基与基础工程:回填前参与碾压试验,确定参数,每个回填层(隐蔽工程)参与验收。

b. 混凝土挡土墙工程:地基等联系设计、地勘等联合验收,其余参与验收,关注挡墙放线准确性和排水孔是否通畅(滤包);回填前联系设计、地勘等对隐蔽挡墙联合验收,重点关注墙背回填碾压。

c. 边坡治理工程:参与验收,重点关注锚杆孔距、长度及注浆密实度、抗拔试验。

d. 排导渠工程:参与验收,重点关注钢筋数量、直径、间距等,排导渠断面尺寸。

e. 砌筑挡土墙工程:地基等联系设计、地勘等联合验收,其余参与验收,关注挡墙放线准确性和排水孔是否通畅;回填前联系设计、地勘等参与隐蔽挡墙联合验收,重点关注墙背回填分层碾压。

f. 道路工程:土石方路基及处理联系设计、地勘参与联合验收;参与验收道路基层,重点关注级配及厚度、地基等联系设计、地勘等联合验收,其余参与验收(关注挡墙放线准确性和排水孔是否通畅);回填前联系设计、地勘等参与隐蔽挡墙联合验收,重点关注墙背回填分层碾压。

g. 建筑工程:联系设计、地勘等联合验收,其余参与验收。其余还包括给排水工程、绿化工程、桥梁等。

2.3.1.2 细化岗位职责

参照《建设工程总承包管理规范》(GB/T

50358—2017)^[7]联合体实施细则,华东勘测设计研究院派出项目经理、设计经理、商务经理和技术总工共 4 人;中国水利水电第四工程局派出施工项目经理、项目副经理、安全总监和施工总工共 4 人。关键岗位均设有华东勘测设计研究院和施工合作方的双负责人,细化联合体质量管控责任,明确双方的管控层次和范围。项目责任主体直接参与质量控制,严格把控原料采购、施工现场以及施工技术人员水平。

2.3.1.3 协调设计共同管控

采用“总承包项目部,设计管理部、施工管理部,各工区部”三级管理模式。定期召开设计协调会,解决现场实际问题,通过内部协调设计,保证工程质量验收,达到华东勘测设计研究院与施工合作方进行共同管理

质量的目的。工区实行驻点管理制,进行施工质量的日常检查、监督和协调。使设计、施工环节协调进行,保证质量管理协调统一。

2.3.2 实行样板工程和首件工程认可制度

实行样板工程和首件工程认可制度,首先施工合作方负责设计、规划并上报样板试验方案,工区项目部收到方案后,按试验方案执行样板施工,随后总承包部各部门联合验收施工完毕的样板,在按照标准验收合格后,工区项目部根据验收合格的样板展开大面积施工,最后总承包部组织各工区学习并推广该样板施工方法。样板工程和首件工程认可制度流程见图 1。该制度大大提升了工作效率,可以严格把控各环节的质量问题。

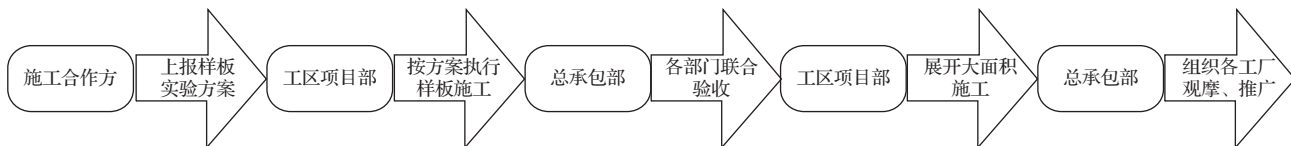


图 1 样板工程和首件工程认可制度

2.4 白鹤滩项目质量控制成果

在施工前进行了周密的策划,建立了完善的质量控制体系,创新应用智能信息化质量管理工具把控制施工质量及工作效率,施工过程中严控各个环节,施工效果达到了预期目标,工程项目全部合格,单位工程全部优良,完工验收顺利通过,得到监理、业主及质检单位的一致好评,如期完成项目质量控制目标。

3 质量管理中智能化信息化的应用

中国工程项目建设的规模不断增加,工程技术难度大幅提升,加之复杂多变的施工环境,工程质量安全风险的控制难度不断加大,使得质量监管任务艰巨而繁重,责任尤为重大^[8]。随着现代信息技术的快速发展,物联网、大数据、云计算等高新科技在工程建设质量管理领域的广泛应用为传统质监模式的转型升级提供了较为坚实的基础。然而,目前工程建设质量管理智能化仍处于初级阶段,白鹤滩项目针对工程建设如何实现质量管理智能化进行了探索。

白鹤滩项目中巧家市政项目的北门工区,属高层

房建用地,覆盖层厚度超过 70m,最大回填高度为 30m,填筑总量为 1730 万 m^3 ,高峰强度为 150 万 m^3 /月,工区位于水库消落区,沉降控制难,回填质量控制是关键。在该项目的回填碾压施工中采用了智慧碾压技术用来提高工作效率和施工质量。

3.1 智能信息化系统的结构及功能

该项目采用的智慧碾压技术构建了用于碾压施工的智能信息化系统,实现了对碾压施工的实时监控和管理。智能信息化系统结构见图 2。从图 2 中可以看出,整个系统分以下几个部分:

a. 数据采集系统:数据采集系统是利用北斗定位基准站(见图 3)和数据采集移动站(见图 4)获取实时的施工数据。数据采集移动站将振动压实机具作为加载设备,根据压实机具与路基之间的相互作用,通过路基结构的反作用力(抗力)来分析和评定路基的压实状态,进而实现压实过程中压实质量的连续控制。数据采集移动站包括碾压机和平仓机,可实时采集碾压设备的碾压轨迹、碾压速率、碾压次数等参数。数据采集移动站和北斗定位基准站相联,实现施工数据的共享。

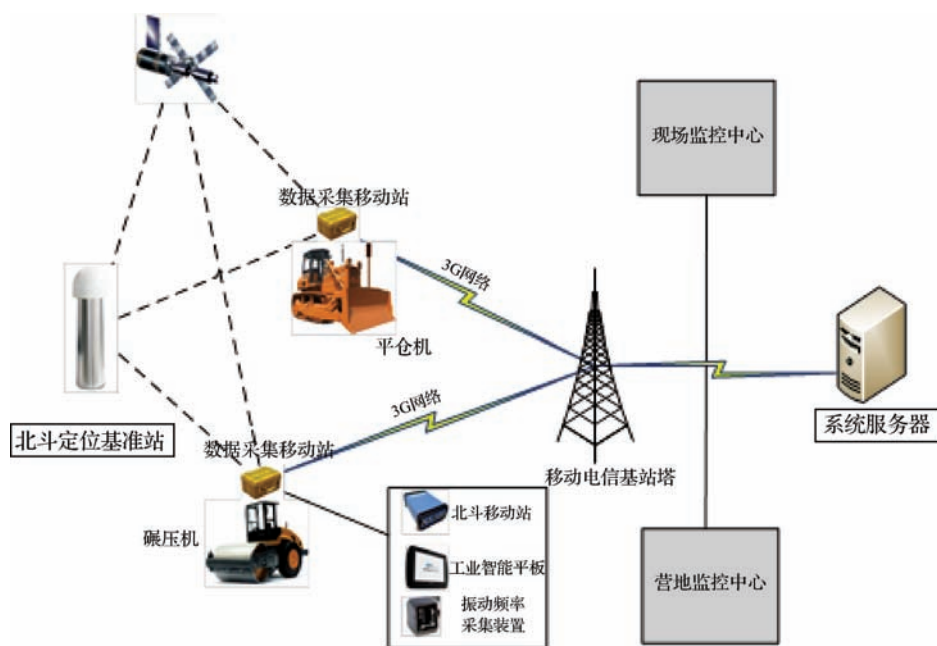


图2 智能信息化系统结构

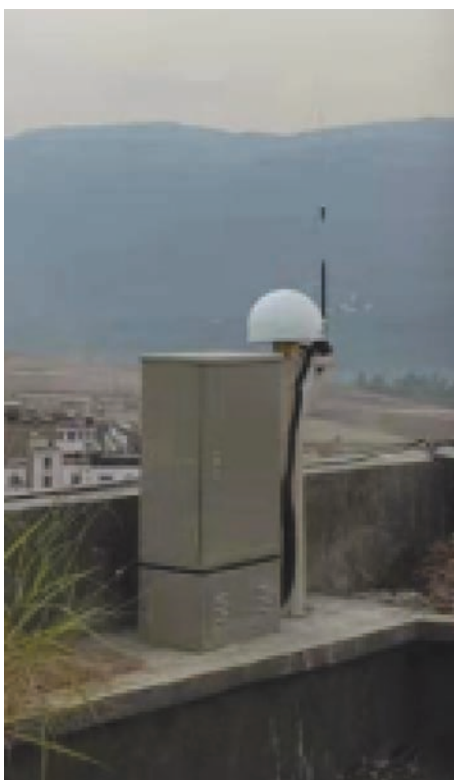


图3 北斗定位基准站



图4 数据采集移动站

b. 数据传递系统:数据传递是通过互联网完成的。通过移动/电信基站塔将施工现场的实时数据传送至监控中心进行数据分析,再将施工参数的控制方案传至施工指引显示屏(见图5)实时指导现场施

工,完成整个智慧碾压过程。

c. 数据分析系统:营地监控中心和现场监控中心按现场数据对施工情况进行自动分析,结合CEV压实指标,实时反映“弹簧土”局部过硬(超大粒径填料)或

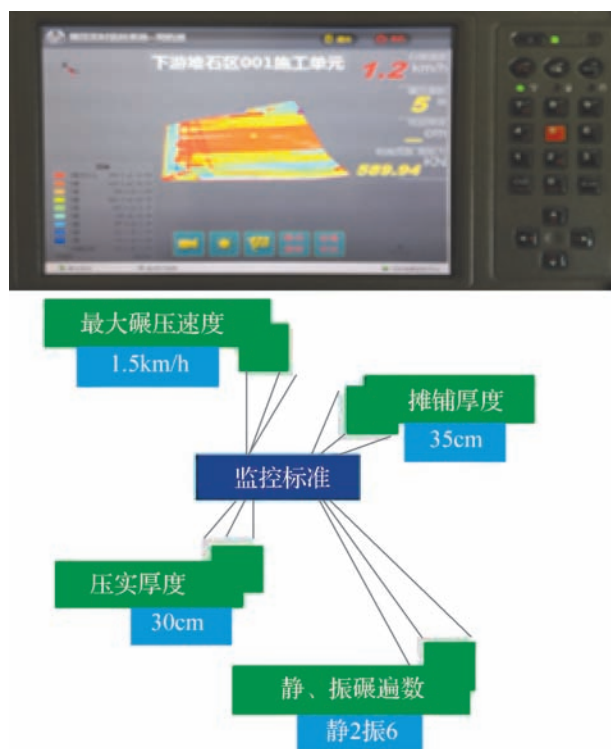


图5 施工指引显示屏

过软现象,反映整个工作面的压实均匀性。实时绘制碾压轨迹、自动计算碾压次数,自动计算振动频率、碾压速率,自动绘制碾压轨迹热力图,自动计算各碾压次数面积占比。

3.2 智能信息化系统的结构优势

a. 高效率施工。指导路基碾压工作,整合连续压实数据和压实结果,实时掌握路基压实进展情况;相比传统的抽点检测,连续压实检测实现了全覆盖,能指导常规人工检查,准确定位薄弱区域,停止碾压后精确锁定欠压区域,进行补压。

b. 高质量施工。对碾压过程中的压实程度、压实均匀性和压实稳定性进行全方位实时质量监控,对碾压薄弱区域快速定位,实现对施工段最优碾压;高精度GPS定位,实现碾压轨迹精确记录。

3.3 智能信息化系统运用效果

白鹤滩项目质量控制的关键点在于回填质量,运用智慧碾压技术,实现碾压、检测一体化管理,有效避免了过压和欠压,科学地解决了沉降控制难的问题。

对施工的实时质量监测,不仅提升了路面施工质量,解决了路面压实作业全过程、全面监控的难题,而且保证了对路面压实作业工序施工过程质量管控。物联网技术的逐渐发展成熟为丰富工程建设管理手段,提高工程建设的信息化管理水平提供了很好的时机。

4 结 语

白鹤滩移民水利类 EPC 工程采用以上质量管控措施取得了优秀质量成果。在施工前进行了周密的策划,建立了完善的质量控制体系,施工过程中严控各个环节,施工效果达到了预期目标,工程项目全部合格,单位工程全部优良,完工验收顺利通过,得到监理、业主及质检单位的一致好评。尤其是创造了许多工程亮点,受到了业主方上级单位及地方政府的好评。质量管理中智能化信息化技术的应用,有效地提升了质量控制水平,顺利解决了施工难点。在 EPC 总承包工程质量管理中采取的各项措施满足了优良工程要求,达到了当前水利工程 EPC 总承包项目质量管理的先进水平。◆

参考文献

- [1] 马红钧,王晓莉,王胜龙,等. 水利工程 EPC 总承包项目质量管理与控制[J]. 云南水电,2019,35(4):160-162.
- [2] 程德强. 浅论水利工程项目施工质量控制管理[J]. 中国水运(下半月),2013,13(4):135-136.
- [3] 刘春梅. 水利工程项目施工管理与质量控制措施探析[J]. 资源信息与工程,2016,31(3):155-156.
- [4] 陈志鼎,郭琦. 工程总承包与传统承包模式比较[J]. 中国工程咨询,2006(4):13-14.
- [5] 杨波. 简析 EPC 工程总承包模式[J]. 四川建材,2007(6):233-235.
- [6] 宁波. EPC 总承包项目质量管理与控制的探讨[J]. 石油化工设备技术,2010,31(3):34-36,70-71.
- [7] 建设项目工程总承包管理规范:GB 50358—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [8] 韩国波. 基于全寿命周期的建筑工程质量监管模式及方法研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2013.



水利企业安全生产主体责任落实 “十五条”硬措施

马建新

(广西右江水利开发有限责任公司,广西 南宁 530029)

【摘要】 国务院安委会安全生产“十五条”硬措施是政府对安全生产管理的有效举措。笔者在深入解读“十五条”硬措施、吸收行业前期探索和总结企业以往经验的基础上,提出了水利企业安全生产主体责任落实的“十五条”措施,供水利企业借鉴。

【关键词】 安全生产;责任落实;措施;水利企业

中图分类号: TV00

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-064-04

Implementation of fifteen tough measures for the main body of safety production of water conservancy enterprises

MA Jianxin

(Guangxi Youjiang Water Resources Development Co., Ltd., Nanning 530029, China)

Abstract: The “fifteen” tough measures for production safety proposed by the Security Commission of the State Council are effective measures for the government to manage production safety. On the basis of in-depth interpretation of the “fifteen” tough measures, absorption of the industry’s previous exploration and summary of the enterprise’s previous experience, the author puts forward “fifteen” measures for the implementation of the main responsibility of the production safety of water conservancy enterprises, for reference of water conservancy enterprises.

Key words: production safety; implementation of responsibility; measure; water conservancy enterprise

2022年4月,国务院安委会印发《关于进一步强化安全生产责任落实、坚决防范遏制重特大事故的若干措施》(安委〔2022〕6号),一般称之为安全生产“十五条”硬措施。各行业、各地、各单位贯彻落实文件精神,纷纷出台了实施方案。水利企业是生产经营主体,也是安全生产责任主体,按照有关精神,结合行业特点和企业实际,研究制定并执行好自身的安全生产工作

措施殊为重要。

1 国务院安委会安全生产“十五条”硬措施 解读

国务院安委会安全生产“十五条”硬措施,分别是严格落实地方党委安全生产责任;严格落实各级政府安全生产责任;严格落实部门安全生产责任;严肃追究

收稿日期: 2022-11-26

作者简介: 马建新(1972—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利工程建设与管理,安全生产管理。

领导责任和监管责任;严格落实企业主要负责人责任;立即深入扎实开展安全生产大检查;牢牢守住项目审批安全红线;严厉查处违法分包转包挂靠资质行为;切实加强劳务派遣灵活用工安全管理;重拳出击开展打非治违;坚决整治执法检查“宽”“松”“软”问题;加强安全生产监管执法队伍建设;重奖激励安全生产举报;严肃查处瞒报、谎报、迟报、漏报生产安全事故行为;统筹做好经济发展安全生产疫情防控。

“十五条”硬措施是国务院安委会深入贯彻落实习近平总书记关于安全生产重要指示精神和党中央、国务院决策部署,认真落实全国安全生产电视电话会议精神,深刻吸取近期各类生产安全事故教训,梳理相关法律法规已有规定、以往管用的举措和近年来针对新情况采取的有效措施。从内容上看主要包括四个方面:一是强调落实5方责任,包括地方党委、各级政府、部门、领导和监管、企业主要负责人责任;二是3个行之有效的防范手段,包括安全生产大检查、加强项目审批、加强劳务派遣灵活用工安全管理;三是6项执法问责措施,包括查处违法分包转包挂靠资质行为、打非治违、执法从严、加强执法队伍建设、奖励举报、查处瞒报;四是1个统筹,统筹做好经济发展安全生产疫情防控。

制定企业安全生产措施必须深入学习领会有关法律规定,有关措施要体现法律责任的全面落实。

2 水利行业近年来在安全生产管理方面的探索

2016年,国务院安委会办公室印发《标本兼治遏制重特大事故工作指南》(安委办〔2016〕3号),要求建立安全生产双重预防机制,把安全风险管控挺在隐患前面,把隐患排查治理挺在事故前面,扎实构建事故应急救援最后一道防线。水利部认真贯彻落实文件精神,积极探索建立水利安全生产双重预防机制,并加强应急管理,进行了以危险源、隐患、事故管理为核心的水利安全生产技术管理实践。

首先,厘清风险、危险源和隐患概念。2016年,我国安全生产管理正式引入风险管理理念,但风险、危险

源、隐患概念不清,在同一文件中出现“全面开展安全风险辨识”和“科学评定安全风险等级”。风险是发生事故的可能性和事故造成损害程度的乘积,是一个具体的数值,可以根据数值大小评定等级,但不能辨识。可辨识的是危险源。危险源是风险的载体,风险是危险源的属性。同时,在风险、危险源引入我国安全生产管理领域时,业界没有重视我国安全生产管理传统中已有隐患的概念,造成危险源与隐患混淆。水利部基于双重预防机制建设,把危险源与隐患两个概念进行区分,认为危险源是导致事故发生的根源或状态,危险源管控不力形成隐患,隐患治理不力导致事故。危险源一般不能消除,隐患则必须消除。风险、危险源、隐患概念的厘清,为水利安全生产技术管理扫清了基本障碍。

其次,印发危险源、隐患、事故应急管理相关制度。先后印发《水利部生产安全事故应急预案》《关于进一步加强水利生产安全事故隐患排查治理工作的意见》《关于开展水利安全风险分级管控的指导意见》《水利安全生产监督管理办法(试行)》,为水利安全生产技术管理建立了制度体系。

第三,密集出台危险源、隐患的管理标准。先后出台了《水利工程生产安全重大事故隐患判定标准(试行)》《水利工程生产安全重大事故隐患清单指南》以及水利水电工程施工和水库、水闸、水电站、泵站、堤防、淤地坝等各类工程运行危险源辨识与风险评价导则,基本建立了水利安全生产管理标准体系框架,明确了危险源的辨识、风险评价方法和标准,明确了重大隐患判定方法和标准。

第四,建立了安全生产信息采集体系。自2014年开始,水利部推行“信息化+安全生产”,建立了水利安全生产信息监管系统,把约5万个水利单位和40多万个水利工程纳入水利安全生产信息监管数据库。出台了《水利安全生产信息报告和处置规则》并不断完善。水利安全生产信息采集聚焦在危险源、隐患和事故等数据,二级指标包括危险源辨识、管控,隐患排查、整改,事故等级、起数等,水利生产经营单位每月6日前上报隐患排查整改情况,每季度首月6日前上报危



险源辨识、管控及动态更新情况,为水利安全生产技术管理积累了基础数据。

第五,把风险管理应用于行业监管。2018年第四季度,水利部开始开展水利安全生产状况评价工作,以后每个季度对流域管理机构、省级行政区域水利安全生产状况进行排名。水利安全生产状况评价以风险度为基本度量,指标为危险源、隐患和事故,构建了水利安全生产状况评价指标体系,并建立了模型。一些地方水行政主管部门依此也对本区域内水利安全生产状况开展评价。通过水利安全生产状况评价工作的广泛开展,找出了管理不力领域和区域,突出了管理重点,达到了分级管理的目的。2022年,水利部印发了《构建水利安全生产风险管控“六项机制”的实施意见》,风险管理系统地应用于水利安全生产管理全过程。目前,一些水利生产经营单位结合数字孪生水利工程建设,正在探索建立单位的安全生产状况评价指标体系和模型,继续为水利安全生产技术管理的应用拓展实践空间。

3 水利企业安全生产“十五条”硬措施

水利企业贯彻落实国务院安委会安全生产“十五条”硬措施,应遵循习近平总书记关于安全生产的重要论述和重要指示批示精神,按照法律法规明确的责任、行业有益探索和企业以往行之有效的举措来制定适合自己的硬措施。本文梳理出十五条,以供参考。

一是坚持安全理念。及时认真学习贯彻习近平总书记关于安全生产的重要论述,树牢人民至上、生命至上理念,统筹发展和安全,树立红线意识和底线思维,经济发展决不能以牺牲人的生命为代价。

二是建立全员安全生产责任制。建立安全生产责任制是做好安全生产工作的关键。要明确企业各岗位的责任人员、责任范围和考核标准等内容,建立监管机制。

三是始终强化技术管理。要坚决摒弃当前阶段生产安全事故“不可避免论”,实化安全生产管理内容,不以口号落实口号,不以文件落实文件,以科学有效的技术管理支撑安全防范和处置工作。推进安全风险分

级管理和隐患排查治理双重预防机制建设,建立风险查找、研判、预警、防范、处置、责任六项机制,推进公司安全生产状况评价体系建设。加强设计安全审核。

四是严格落实党委责任。加强企业党委对安全生产工作的领导。党委委员要按照职责分工,协调、支持、保障、监管安全生产工作。建立健全企业党委领导下的安全生产领导小组,由主要负责同志担任组长,定期研判重大安全风险,及时研究解决安全生产重大问题。

五是严格落实经理层责任。经理层要落实企业党委要求,统筹发展和安全,采取有力措施确保安全,并推进企业安全生产管理体系和管理能力现代化。按照要求设置安全生产管理机构,配备专兼职安全生产管理人员,着力打造高素质、专业化安全生产干部队伍。

六是严格落实领导责任和监管责任。企业党委书记为安全生产第一责任人,按照“党政同责”要求,全面履行《安全生产法》明确的职责。总经理为安全生产第一责任人,全面履行《安全生产法》明确的职责。其他领导要按照“一岗双责”要求严格履责,切实抓好分管领域安全生产工作。

七是严格落实部门责任。建立健全企业安全生产领导小组工作规则,坚持综合监管和专业监管相结合,明确各部门、子公司安全生产职责。各部门、子公司按照“管业务必须管安全”和“一岗双责”要求,把安全生产工作贯穿业务工作全过程

八是加强危险源管控工作。做好危险源辨识工作,建立危险源清单,开展风险评价,明确分级管控责任。对于重大危险源要“一案一策”,强化管控措施和应急措施。

九是加强隐患排查治理工作。全面、全方位、全过程开展隐患排查,消除盲区和死角,建立隐患台账,及时消除隐患。持续推进安全生产大检查和整治专项行动,组织开展消防安全、危化品和特种设备等专项检查,督促积极整改发现的问题。

十是加强应急管理工作。健全应急管理体制机制,制定规章制度,建立生产安全事故应急预案体系,强化应急救援队伍建设,强化事故报告和值班值守。

十一是加强重点领域、关键环节和重要时段的安全生产工作。强化建设项目和外委项目施工现场安全管理,加强对高边坡、脚手架、起重吊装、复杂地质条件下的洞室工程以及油库等风险较大的薄弱环节安全管理。加强对老旧设备设施的更新改造力度。加强工程安全度汛管理,加强重要活动和节假日以及岁末年初安全生产工作。统筹做好经济发展、疫情防控和安全生产工作。

十二是严禁“三违”和违法行为。严禁违章指挥、违章作业、违反劳动纪律。加强对建设项目或外委项目施工转包、违法分包行为的查处,严禁特种作业或特种设备操作人员无证上岗,严格对承担企业项目的外委单位和作业人员的资质审查。

十三是做好安全生产教育培训。牢固树立教育培

训不到位就是最大的隐患的意识。认真做好三级培训和新员工、灵活用工人员和外包入场人员的培训,保证学时和质量。

十四是加强信息化和标准化工作。推进“安全监管+信息化”,开展公司及子公司水利安全生产状况评价并实施风险预警,督促风险较高的部门、领域开展精准监管。按照水利工程安全生产标准化要求,推动企业水利安全生产标准化达标。

十五是强化考核奖惩。发挥奖惩的激励作用和震慑作用,完善公司安全生产奖惩管理办法,做到奖惩并重、奖惩分明。将安全生产责任落实情况纳入对各部门负责人的年度考核,对在安全生产工作方面出现问题、影响较大或因工作不力造成水利生产安全事故的,严肃追责。◆

行业动态

2022年12月17日,引大济湟北干渠二期工程松多水库下闸蓄水,标志着引大济湟主体工程全面建成。

松多水库位于青海省海东市互助县上水磨沟流域内,是一座拦河式调蓄水库,正常蓄水位2763.00米,水库总库容为789.53万立方米,兴利库容574.53万立方米,为Ⅳ等小(1)型工程。作为引大济湟北干渠二期控制性工程,水库可调蓄供水4975万立方米,保障乐都区工业、生活供水,水库下游人饮、灌溉供水及生态基流,对缓解湟水流域日趋严重的水资源供需矛盾,改善湟水流域生态环境,支撑区域经济社会发展具有重要作用。

引大济湟是青海省“一号”水利工程,是省级水网的主骨架、大动脉,是东部城市群水资源保障工程,黄河流域生态保护和高质量发展的支撑工程,打造青藏高原生态文明高地和全面推进乡村振兴的基础工程,更是造福湟水流域各族群众的幸福工程。十年来,引大济湟工程已建成项目已累计向西宁市供水1.94亿立方米,共调蓄灌溉水量40.85亿立方米,累计向下游河道生态补水3.94亿立方米,水库电厂发电20.6亿度,有效提升了水资源集约利用水平,为全省脱贫攻坚、乡村振兴及高质量发展提供了可靠水利支撑。

(来源:中国水利公众号,网址:<https://mp.weixin.qq.com/s/H-f46uwwcbuV7HdAu045mA>,日期:2022-12-19)



三河口大坝施工期浇筑层温控措施 优化分析

王佐荣 李晓峰 岳立宇

(陕西省引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024)

【摘要】 在大体积混凝土施工过程中,温度裂缝一直是施工中面临的难题,因此,浇筑层温控措施是施工期坝体碾压混凝土温度和应力变化过程的关键影响因素。本文基于 ANSYS 三维有限元方法,针对三河口碾压混凝土拱坝剖面 and 不同季节、不同浇筑层下的温控过程开展仿真模拟。研究结果表明:秋冬季浇筑碾压混凝土,随着浇筑厚度的逐步增加,碾压混凝土最高温度与最大应力值也依次增加;夏季浇筑碾压混凝土,随着浇筑厚度的增加,碾压混凝土最高温度与最大应力值也依次增加,安全系数依次递减,且与秋冬季浇筑碾压混凝土有明显差异;无论夏季还是秋冬季,1.5m 层厚度与 3.0m 层厚度最大温度和最大应力值差异均较大,3.0m 层厚度与 4.5m 层厚度最大温度差异均较小,在 0.5℃ 范围内,最大应力值差异值也在 0.5MPa 范围内。

【关键词】 仿真分析;温度应力;温控优化;仓面;三河口大坝

中图分类号: TV642.2

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)12-068-08

Optimization analysis of temperature control measures for pouring layer during the construction period of Sanhekou Dam

WANG Zuorong, LI Xiaofeng, YUE Liyu

(Hanjiang-to-Weihe River Valley Water Diversion Project Construction Co., Ltd., Shanxi Province,
Xi'an 710024, China)

Abstract: In the process of mass concrete construction, temperature cracks have always been a difficult problem in the construction. Therefore, the temperature control measure of pouring layer is the key factor in the temperature and stress change process of RCC during the construction period. Based on the ANSYS three-dimensional finite element method, the temperature control process of the RCC arch dam profile in Sanhekou under different seasons and different pouring layers is simulated. The results show that in autumn and winter, the maximum temperature and maximum stress of RCC increase with the gradual increase of pouring thickness. In summer, the maximum temperature and maximum stress of RCC also increase with the gradual increase of pouring thickness, which is obviously different from that in autumn and winter. No matter in summer or autumn and winter, the difference of maximum temperature and maximum stress between 1.5m layer thickness and 3.0m layer thickness is large, and the difference of maximum temperature between 3.0m layer thickness and 4.5m layer thickness is small. Within the range of 0.5℃, the difference of maximum stress value is also within the range of 0.5MPa.

收稿日期: 2022-06-07

基金项目: 陕西省水利科技计划项目;引汉济渭工程三河口碾压混凝土拱坝施工过程可视化仿真与优化研究(2016slkj-5)

作者简介: 王佐荣(1981—),女,高级工程师,主要从事水利水电工程建设管理工作。

Keywords: simulated analysis; stress due to temperature; temperature control optimization; surface; Sanhekou Dam

碾压混凝土坝是目前流行的坝型,其具有能够缩短工期、大幅度提升浇筑效率、加强施工质量等特点。但是施工浇筑过程中受气候条件和昼夜温差的影响较大,碾压混凝土坝面临着施工时内外温差较大容易产生裂缝的问题。之所以出现以上现象,主要有以下两个方面原因:①传统的现场施工条件、技术条件及配套设备、措施都相对落后,多以人工旁站或经验参考为主,对于近年来建设的大坝缺乏监控施工质量(温控、碾压、振捣等)的有效手段;②受原材料、骨料选定等客观条件限制,设计方在可研、初设阶段制定大坝温控标准与措施时所依托的相关科研成果,其计算假定边界条件或材料参数与现场实际边界条件和材料参数往往差异较大,难以全面反映现场施工时的真实情况和各种工况,大多数工程进入施工阶段后往往沿用早期成果,难以有效指导现场施工,使得现场的温控防裂工作缺乏有效的实时支撑。因此,施工期裂缝和渗漏问题的出现将导致施工经济和时间成本增加,以及无法正常蓄水发电等问题。已有许多学者针对温控措施优化问题进行了大量的研究,傅少君等^[1]以小湾超高碾压混凝土拱坝为研究对象,以高拱坝温度特征和温控防裂等关键技术为出发点,提出了对小湾混凝土拱坝的冷却方案、浇筑方案、表面保护措施,构建了拱坝温控的动态跟踪与仿真反馈系统模型,计算出温度特征、温度应力特征参数,计算结果精确,为小湾碾压混凝土高拱坝施工提供了依据。马涛等^[2]针对北方冬天寒冷,坝体内外温差较大的情况下,以新疆某碾压混凝土重力坝段为研究对象,采用 ANSYS 软件进行仿真计算分析,对坝体内部温度应力进行研究,结果表明:夏季施工需要对混凝土采取降温措施,秋季混凝土温度较低,不需要进行降温,冬天不建议进行混凝土浇筑,如果浇筑须做好防护措施。张晓飞等^[3]以某碾压混凝土重力坝过程为例,采用三维有限元法,分析不同浇筑厚度对大坝混凝土温度场和应力场的影响。研究结果表明:坝体混凝土最高温度随着浇筑层厚度的增大而增加,且最高温度不仅受浇筑层厚度影响,也受浇筑的时间影响,碾压混凝土最大拉应力随着浇筑层厚度增加而

增加。钱波等^[4]以实际工程为例,对碾压混凝土的内外温差和浇筑层之间温差进行计算,以确定坝体的温控标准,找出影响温控措施的较大因素,优化温控措施。综上可知现有关于大坝温控措施的研究多针对单一因素展开,同时考虑浇筑层厚度和不同季节施工时坝体温度和应力变化过程的研究较为匮乏。

本文以三河口碾压混凝土拱坝为研究对象,基于温度场和应力场的理论,采用三维有限元^[5]分析方法,从不同季节和不同浇筑层厚度两个角度开展三维仿真分析,研究其施工浇筑过程中的温度和应力变化过程,研究坝体混凝土最高温度和最大应力值,分析浇筑季节和浇筑层厚度对温度和应力的影响规律,提出温控优化措施,为三河口碾压混凝土拱坝施工期温控优化提供技术支撑。

1 工程概况

引汉济渭工程是陕西省内重大跨流域调水工程,其中三河口水利枢纽工程是引汉济渭工程的重要组成部分。其为大(1)型 I 等工程。坝体采用碾压混凝土浇筑,坝高 145m,总库容达 7.1 亿 m^3 ,调节库容 6.62 亿 m^3 。主要任务是调蓄支流子午河来水和一部分抽入水库的汉江干流来水,向关中地区供水,兼顾发电。目前已顺利完成截流,下一步将开始大坝主体的全面建设,大坝建设过程中将会面临以下困难:相对于普通混凝土而言,碾压混凝土的抗裂能力存在不足,在浇筑时其分层结合面之间的质量控制过程存在较大困难,无法较好地控制其防渗和抗裂性能;三河口碾压混凝土拱坝坝址所在地多年平均温度 12.3℃,其中 1 月多年平均温度 0.8℃,7 月多年平均温度 23.3℃,气候干燥,年温差大,相对于同类已建工程,内外温度之差较为明显,防裂条件不足,出现裂缝的可能性、防裂难度都大于其他同类已建工程。

2 计算理论

2.1 温度场计算理论

在混凝土坝仿真分析中,温度荷载是基本作用荷

载。坝体温度变化是一个热传递问题。利用仿真计算分析^[6-7],对坝体中的温度荷载进行计算^[8]。温度场计算见图1。

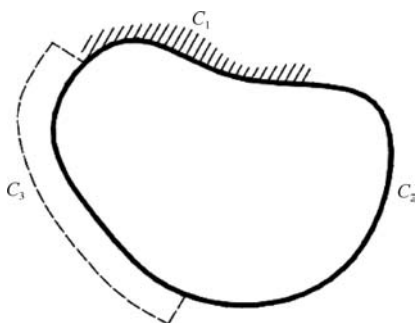


图1 温度场计算示意图

热传导的微分方程^[9]:

式(1)的使用前提是固体温度场能够具备平均性、各向同性:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{a} \left(\frac{\partial \theta}{\partial \tau} - \frac{\partial T}{\partial \tau} \right) = 0 \quad (1)$$

边界条件为

$$T = \bar{T} \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \beta(T - T_a) \quad (4)$$

式中: τ 为时间,h; λ 为导热系数, $\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$; a 为导温系数 $a = \lambda / \rho c$, m^2/h , 其中 ρ 为密度, kg^3/s , c 为比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; θ 为绝热温升, $^\circ\text{C}$; $\bar{T} = \bar{T}(\tau)$ 为 C_1 边界上确定不变的温度, $^\circ\text{C}$; $q = q(\tau)$ 为 C_2 边界上确定不变的热流量, $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; β 为 C_3 边界表面放热系数 $\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$; 在自然对流条件下, T_a 是外界环境温度; 在强迫对流条件下, T_a 是边界层的绝热壁温度。

热量平衡方程式(1)中从左到右的三项依次代表:由 x, y, z 方向进入单元热量; 本身热源热量; 微元体升温需要的热量。

C_1 为确定不变的温度 $\bar{T}(\tau)$;

C_2 为边界上确定不变的热流量 $q(\tau)$, 当 $q = 0$ 时为绝热边界条件;

C_3 为边界上确定对流热交换条件。

只要能够满足 C_1 边界上的温度条件, 在求解的过程中, 自然能够满足 C_2, C_3 为自然边界条件的要求。

2.2 应力场计算理论

将剪切应变当作物体的初始应变, 温度变形^[10] 只能产生线应变。对温度应力进行计算时, 第一步计算出温度产生的变形 ε_0 , 其次得到相应的初应变引起的节点等效温度荷载 p_{ε_0} , 下一步按照普通的计算应力方法得出因温度变化发生的结点位移, 最后得出温度应力 σ 。单元 e 的等效结点温度荷载 $P_{\varepsilon_0}^e$ 为

$$P_{\varepsilon_0}^e = \iiint_{\Delta R} \mathbf{B}^T \mathbf{D} \varepsilon_0 dR \quad (5)$$

式中: \mathbf{B} 为位移与应变的转换矩阵; \mathbf{D} 为弹性矩阵。可以将等效结点荷载 P_{ε_0} 与其他荷载相加, 计算出包含温度应力的总应力。

计算应力的应力-应变关系中包括初应变项:

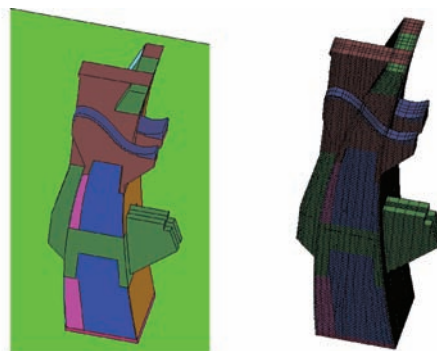
$$\sigma = \mathbf{D}(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (6)$$

3 施工期浇筑层温控措施优化分析

3.1 计算模型构建

本章选取三河口大坝5号河床坝段的典型剖面进行建模。

图2所示为河床5号坝段的计算模型与网格。坝段底高程501.0m, 顶高程646.0m。共剖分单元总数71122个, 结点总数82767个。图中 Y 代表横流方向, X 代表顺流方向, Z 代表竖直向上。顺河向中心剖面见图3。



(a) 计算整体模型和材料分区

(b) 坝体网格

图2 计算模型与网格

温度场的计算边界条件: 绝热边界为顶部和底部, 其余均可以实现热量交换。应力计算边界将基础面三个方向设置为约束。

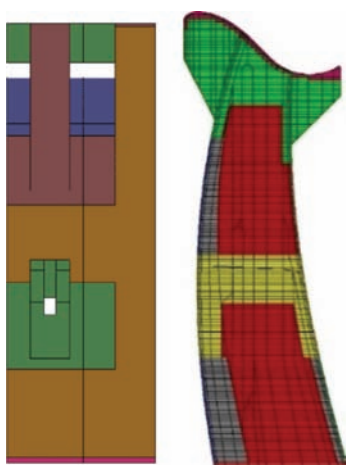


图3 顺河向中心剖面示意图

3.2 材料性能参数

a. 混凝土材料热力学性能参数见表1。

表1 混凝土热力学性能参数

指标名称	单位	C ₉₀ 25 三级配碾压	C ₉₀ 25 二级配碾压	C ₂₈ 25 三级配常态
导热系数	10 ⁻³ m ² /h	2.669	2.758	2.850
导热系数	kJ/(m ² ·h·℃)	6.51	6.39	6.71
比热	kJ/(kg·℃)	0.997	0.963	0.971
容重	kg/m ³	2450	2420	2325
泊松比		0.167	0.167	0.167
线胀系数	10 ⁻⁶ /℃	9	9	9

b. 混凝土弹模参数见表2。

表2 混凝土弹模参数

强度等级	弹模/GPa			
	7d	28d	90d	180d
C ₉₀ 25 三级配碾压	21.0	32.0	35.0	37.0
C ₉₀ 25 二级配碾压	22.0	34.0	39.0	41.0
C ₂₈ 25 三级配常态	24.0	34.0	37.0	38.0

c. 混凝土极限拉伸值见表3。

表3 混凝土极限拉伸值

强度等级	极限拉伸值(10 ⁻⁶)			
	7d	28d	90d	180d
C ₉₀ 25 三级配碾压	40	75	92	100
C ₉₀ 25 二级配碾压	42	78	97	105
C ₂₈ 25 三级配常态	70	90	95	105

注 混凝土抗拉强度取极限拉伸×弹性模量、劈拉强度、轴拉强度的最小值。相应的极限拉伸、弹性模量、劈拉强度、轴拉强度均直接取试验值。

d. 混凝土虚拟抗拉强度参数见表4。

表4 混凝土虚拟抗拉强度(极限拉伸×弹性模量)参数

强度等级	强度/MPa			
	7d	28d	90d	180d
C ₉₀ 25 三级配碾压	0.84	2.40	3.01	3.70
C ₉₀ 25 二级配碾压	0.92	2.65	3.51	4.31
C ₂₈ 25 三级配常态	1.68	3.06	3.52	3.80

3.3 施工期浇筑层温控措施优化分析

3.3.1 计算工况

计算工况见表5。

表5 计算工况

工况	分析对比参数	温控措施	对比工况
gk1	秋季 (11月)	工程实际浇筑层厚度为3.0m; 一期冷却:水温18℃,冷却时间20天,流量1.5m ³ /h; 中期冷却:水温16℃,流量1.5m ³ /h,目标温度20℃; 二期冷却:水温8℃,流量1.5m ³ /h,目标温度12℃; 表面保温:上、下游面和仓面5kJ/m ² ·h·℃	实际工况 gk1、gk2、 gk3
gk2		浇筑层厚度为1.5m,其他同gk1	
gk3		浇筑层厚度为4.5m,其他同gk1	
gk4	夏季 (7月)	浇筑层厚3.0m,浇筑温度16℃;4—10月水管间距:1.5m×1.5m;11—3月:1.5m×3.0m水管间距; 一期冷却:水温18℃,冷却时间20天,流量1.5m ³ /h; 中期冷却:水温16℃,流量1.5m ³ /h,目标温度20℃; 二期冷却:水温8℃,流量1.5m ³ /h,间歇期10天; 表面保温:上下游和仓面5kJ/(m ² ·h·℃)	gk4、gk5、 gk6
gk5		浇筑层厚1.5m,其余同gk4	
gk6		浇筑层厚4.5m,其余同gk4	

3.3.2 计算结果

表6~表7为坝体碾压混凝土在不同浇筑层厚工况的最高温度比较。图4~图13为不同季节下的不同浇筑层厚工况中间剖面温度和应力包络图。图14~图17为夏季高温季节不同浇筑层厚工况的典型高程温度及应力过程线比较。



a. 对于秋冬季浇筑的大坝碾压混凝土,由于外界气温相对较低,仓面中部 1.5m/层方案、3.0m/层方案、4.5m/层方案的最高温度分别为 25.53℃、27.13℃、27.58℃。1.5m 层厚比 3.0m 层厚仓内最高温度低大约 1.6℃,3.0m 层厚比 4.5m 层厚仓内最高温度低大约 0.45℃。仓面中部 1.5m/层方案、3.0m/层方案、4.5m/层方案的最大应力分别为 1.83MPa、2.17MPa、2.19MPa。安全系数分别为 1.99、1.68、1.66,见表 6。

表 6 秋冬季不同浇筑层厚度计算结果

工况	浇筑层厚度/m	最高温度/℃	最大应力值/MPa	安全系数
gk1	3.0m	27.13	2.17	1.68
gk2	1.5m	25.53	1.83	1.99
gk3	4.5m	27.58	2.19	1.66

注 安全系数是按 180 天龄期虚拟抗拉强度考虑的安全系数。

b. 对于夏季浇筑的碾压混凝土,由于外部温度相对较高,中部仓面 1.5m/层方案、3.0m/层方案、4.5m/层方案下的碾压混凝土最高温度分别为 30.10℃、30.58℃、30.58℃,1.5m 层最高温度比 3.0m 层最高温度低大约 0.48℃,3.0m 层厚度与 4.5m 层厚度最高温度无变化,仓面中部 1.5m/层方案、3.0m/层方案、4.5m/层方案最大应力分别为 2.42MPa、2.73MPa、2.78MPa。安全系数分别为 1.57、1.39、1.37,见表 7。

表 7 夏季不同浇筑层厚度计算结果

工况	浇筑层厚度/m	最高温度/℃	最大应力值/MPa	安全系数
gk1	3.0m	30.58	2.73	1.39
gk2	1.5m	30.10	2.42	1.57
gk3	4.5m	30.58	2.78	1.37

注 安全系数是按 180 天龄期虚拟抗拉强度考虑的安全系数。

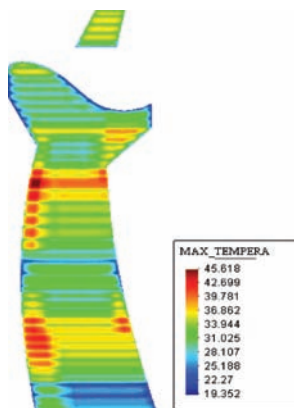


图 4 gk1 浇筑层厚 3.0m 方案中间剖面温度包络图 (单位:℃)

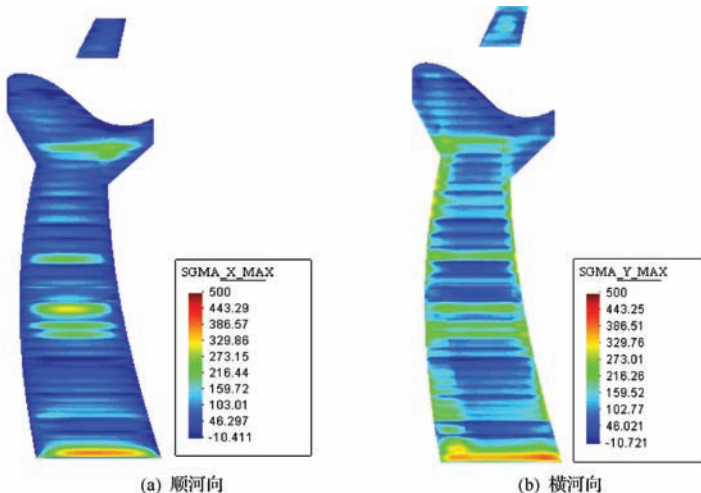


图 5 gk1 浇筑层厚 3.0m 方案中间剖面应力包络图 (单位:0.01MPa)

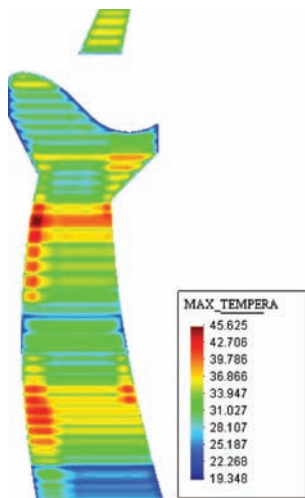


图 6 gk2 浇筑层厚 1.5m 方案中间剖面温度包络图 (单位:℃)

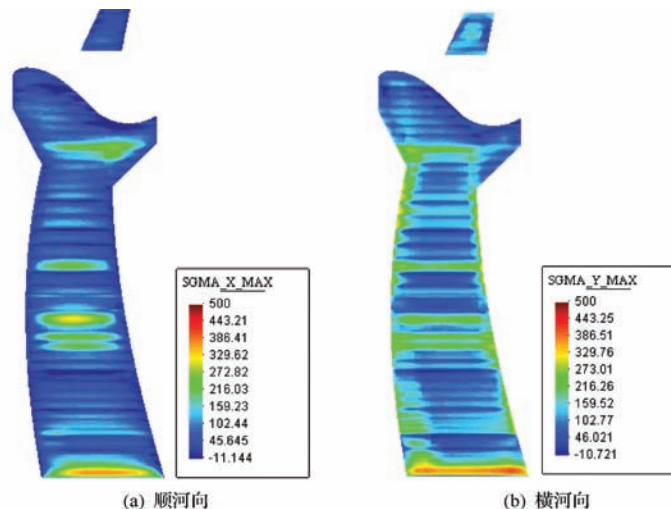


图 7 gk2 浇筑层厚 1.5m 方案中间剖面应力包络图 (单位:0.01MPa)

c. 无论是薄层还是厚层浇筑,其最高温度都与浇筑季节有较大的相关性。浇筑季节对浇筑最高温度的影响较大。若在秋冬季节浇筑,覆盖层较薄时,最高温度较低,降温速度比较快。只要做好保温,其应力低于厚浇筑层。若在夏季节浇筑,混凝土浇筑的最高温度明显大于秋冬季,不同浇筑厚度最高温度变化不明显,

应当做好对最高温度的控制,缩短层间浇筑的间隔时间,在运输、碾压和摊铺各环节采取措施,减少混凝土温度回升和水分蒸发;在满足混凝土设计标准的情况下,宜采用中低热水泥,缓凝高效减水剂,可采用预冷骨料,加冷水拌和等措施,降低混凝土的出机温度。

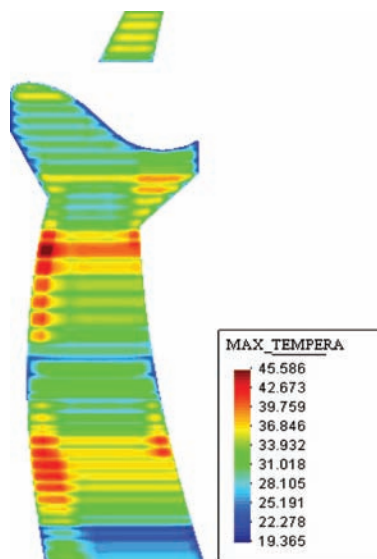


图8 gk3浇筑层厚4.5m方案中间剖面温度包络图(单位:℃)

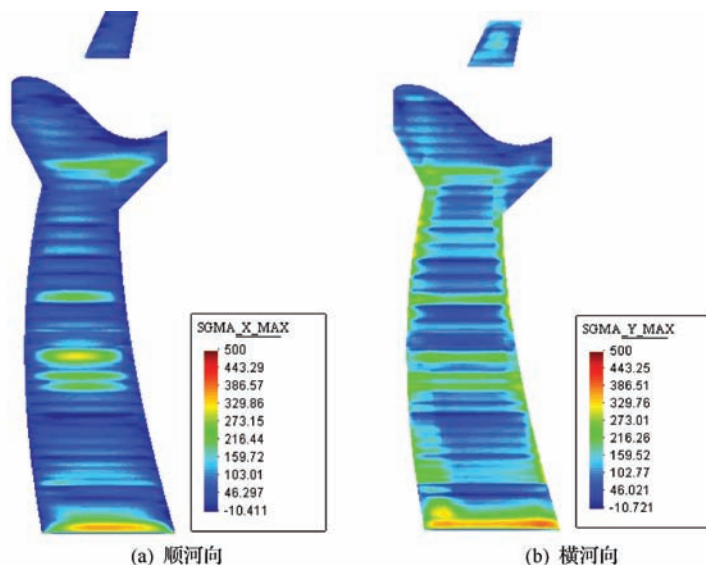


图9 gk3浇筑层厚4.5m方案中间剖面应力包络图(单位:0.01MPa)

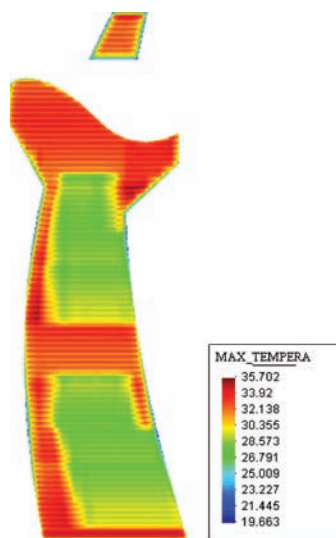


图10 gk4浇筑层厚1.5m方案中间剖面温度包络图(单位:℃)

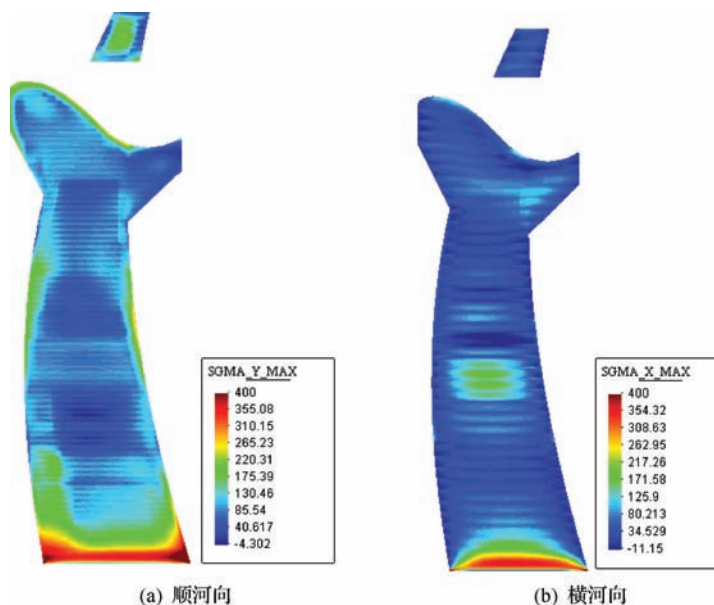


图11 gk4浇筑层厚1.5m方案中间剖面应力包络图(单位:0.01MPa)

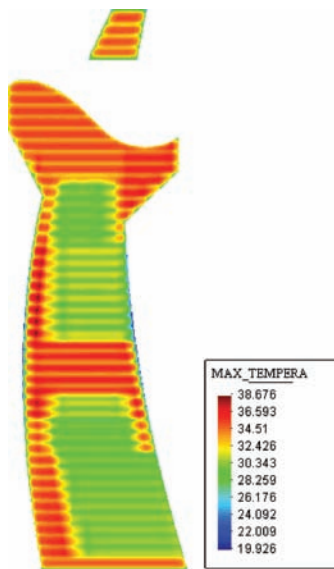


图12 gk5 浇筑层厚 3.0m 方案中间剖面温度包络图 (单位:℃)

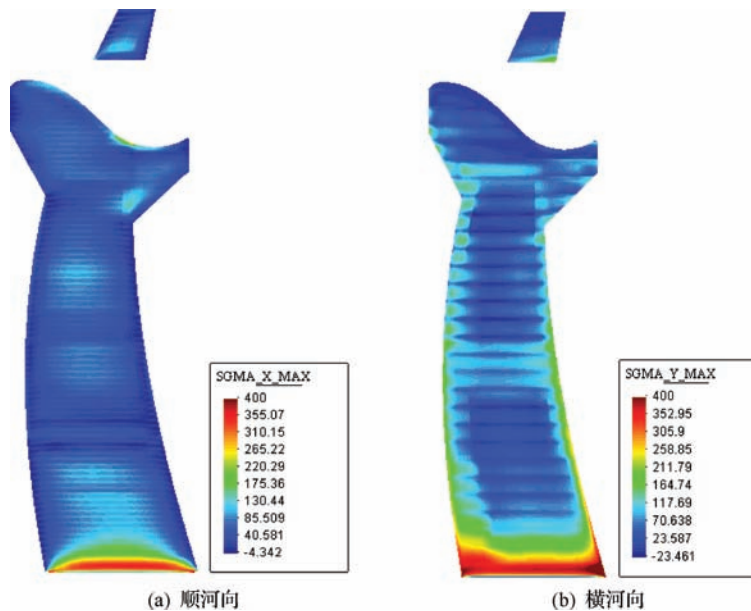


图13 gk6 浇筑层厚 4.5m 方案中间剖面应力包络图 (单位:0.01MPa)

4 结 论

本文以三河口水利枢纽碾压混凝土坝为研究对象,运用三维有限元方法对拱坝 5 号河床典型坝段混凝土进行仿真计算,通过计算分析不同季节、不同浇筑层厚度下拱坝碾压混凝土的温度和应力变化可以发现:

a. 无论是夏季、秋冬季,大坝混凝土温度和最大

应力值都随着浇筑层厚度的增加而依次递增,安全系数随着浇筑层厚度的增加而递减。

b. 对于基础强约束区的碾压混凝土,由于受到外界气温较低的影响,秋冬季浇筑时 1.5m 浇筑层厚的降温速率会大于 3m、4.5m 层厚浇筑,高温季节浇筑时,由于外界温度高于混凝土内部温度,温度倒灌现象高于 3.0m、4.5m 层厚浇筑。

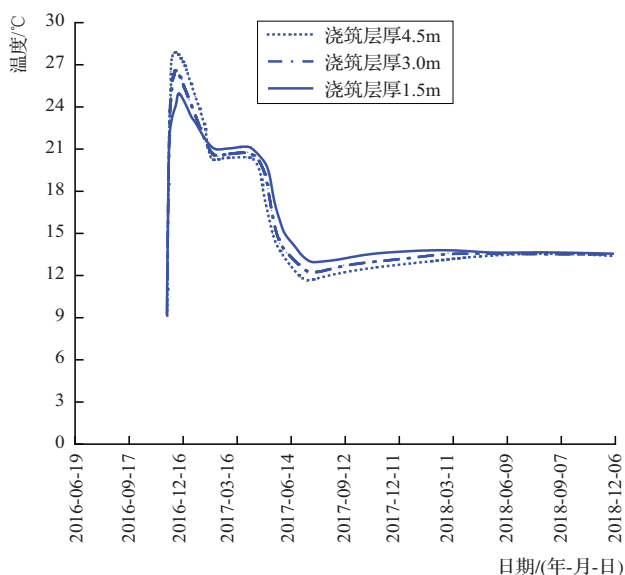


图14 1.5m、3.5m、4.5m 厚度浇筑层的大坝中部温度变化过程 (秋冬季节、505.5m 高程)

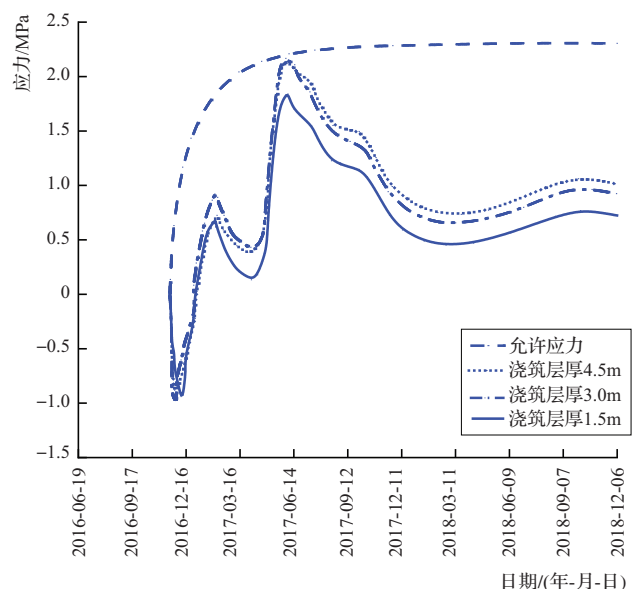


图15 1.5m、3.5m、4.5m 厚度浇筑层的大坝中部横河向应力变化过程 (秋冬季节、505.5m 高程)

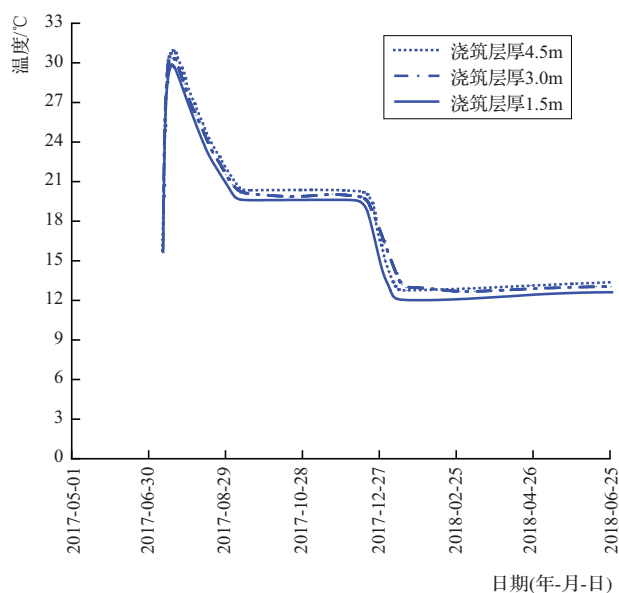


图 16 1.5m、3.5m、4.5m 厚度浇筑层的大坝中部温度变化过程(春夏季节、505.5m 高程)

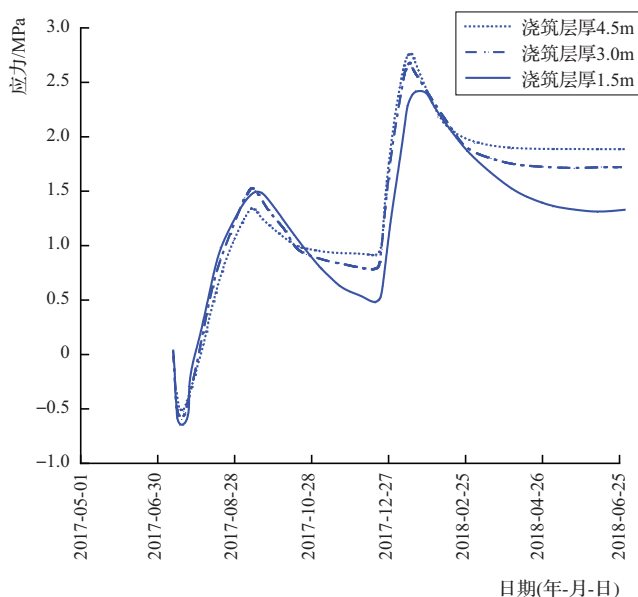


图 17 1.5m、3.5m、4.5m 厚度浇筑层的大坝中部横河向应力变化过程(春夏季节、505.5m 高程)

c. 考虑三河口高温季节月均气温,夏季 3m 和 4.5m 层厚最高温度和应力相差不大;3m 层厚和 4.5m 层厚差异较 1.5m 和 3m 层厚差异小,最高温度相差 0.5°C 以内,应力相差 0.5MPa 以内;考虑薄层浇筑碾压混凝土的强约束更为明显,以及冬季三河口气温较低的情况,参考已经计算出的结果,对于基础强约束区的碾压混凝土而言,拟采用 3.0m 厚层浇筑,以达到最佳的温度控制裂缝效果。◆

参考文献

- [1] 傅少君,张石虎,解敏,等. 混凝土拱坝温控的动态分析理论与实践[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(1):113-122.
- [2] 马涛,吕琦,孙胜利,等. 严寒地区碾压混凝土坝温度场和温度应力仿真分析[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(3):119-123.
- [3] 张晓飞,郑刚峰,王瑞科,等. 浇筑层厚对碾压混凝土坝温度场和应力场的影响[J]. 水电能源科学,2020,38(9):

71-74.

- [4] 钱波,宋铭明. 某碾压混凝土重力坝温控方案优化研究[J]. 长江科学院院报,2013,30(10):87-93.
- [5] 张澆,刘耀儒,杨强,等. 杨房沟拱坝整体稳定性的三维非线性有限元分析与地质力学模型试验研究[J]. 岩土工程学报,2013,35(S1):239-246.
- [6] 张晓林,王德明. 温塘特大桥主桥承台大体积混凝土水化热全过程仿真分析[J]. 工程建设与设计,2020(10):171-173.
- [7] 张国新. 碾压混凝土坝的温度应力与温度控制[J]. 中国水利,2007(21):4-6.
- [8] 刘毅,杨波,程恒,等. 高寒大温差对高拱坝工作性态影响及应对措施[J]. 水力发电,2021,47(10):37-44.
- [9] 王一凡,宁兴东,陈尧隆,等. 大体积混凝土温度应力有限元分析[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(1):109-113.
- [10] 仇文勇,孙淑珍. 沧州东南部典型区近 30 年温度演变特征分析[J]. 中国水利,2013(S2):86-88,54.



我国工程保险的发展思考

王蕊¹ 王海燕² 吴庆涛¹

- (1. 泛海在线保险代理有限公司, 北京 100005;
2. 中国水利工程协会, 北京 100055)

【摘要】 水利工程具有工程规模大、工期长、工作条件复杂、施工难度大、社会影响大等特点,一旦出现问题,对国家经济和人民生活将造成无法挽回的重大损失。保险作为目前较为成熟的风险管理工具,具有风险治理、价值创造和资源配置职能,对工程建设的顺利实施具有重要意义。本文通过梳理工程保险的含义及发展情况,提出几点建议,可为推动其广泛应用提供助力。

【关键词】 工程保险;发展现状;对策与建议

中图分类号: F842.6

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)12-076-04

Thought on the development of engineering insurance in China

WANG Rui¹, WANG Haiyan², WU Qingtao¹

- (1. Fanhai Online Insurance Agency Co., Ltd., Beijing 100005, China;
2. China Water Engineering Association, Beijing 100005, China)

Abstract: Water conservancy projects are characterized by large project scale, long construction period, complex working condition, difficult construction and great social impact. Once problems occur, they will cause irretrievable losses to the national economy and people's lives. As a relatively mature risk management tool, insurance has the functions of risk management, value creation and resource allocation, which is of great significance to the smooth implementation of project construction. This paper summarizes the meaning and development of engineering insurance and puts forward some suggestions, which can provide reference for promoting its wide application.

Keywords: engineering insurance; current development situation; countermeasures and suggestions

近年来,国家加强交通、能源、水利等基础设施建设,工程建设不仅在数量和规模上不断增加,对工程质量和安全管理等也提出了更高要求。建筑工程风险复杂多样,主要包括自然灾害风险、工程风险、人员风险、管理风险、安装风险、责任风险、其他风险。保险作为目前较为成熟的风险管理工具,具有风险治理、价值创

造和资源配置职能,对工程建设的顺利实施具有重要意义。

1 工程保险简介

广义的工程保险包括与工程建设有关的各种保险,如建筑工程保险、安装工程保险、职业责任保险、工程质量保险、工程保证保险等。狭义的工程保险主要

收稿日期: 2022-10-24

作者简介: 王蕊(1987—),女,本科,主要从事保险风险管理服务方面的研究。

指建筑/安装工程一切险对整个施工期间因自然灾害和意外事故造成的物质损失,以及第三者人身伤亡或财产损失承担赔偿责任。本文重点讨论狭义工程保险的责任及发展情况。

1.1 保险责任

保险责任包括物质损失和第三者责任保障两部分。物质损失责任主要覆盖建筑工程、安装工程以及业主提供的建筑合同之外的物料及建设项目,施工用机具、设备、机械装置等,可以通过特别约定纳入保障范围。第三者责任保障主要对保险合同所承保工程直接相关的意外事故造成的工地内以及邻近区域的第三者人身伤亡、疾病或财产损失进行赔偿。

1.2 一般除外责任

除外责任又名责任免除,指保险合同规定的,保险公司不负责赔偿的损失范围主要包含:设计错误引起的损失和费用;自然磨损、内在或潜在缺陷、物质本身变化、自燃、氧化、锈蚀、虫蛀等原因造成的保险财产自身的损失和费用;因原材料缺陷或工艺不善引起的保险财产本身的损失以及换置、修理或矫正等费用;维修等费用;档案、文件、票据等物料的损失;盘点时发现的短缺等。

1.3 保险金额

物质损失部分的保险金额,为建筑工程完工时的总价值;第三者责任险的保险金额,由投保时保险公司与投保人共同决定;单次事故的免赔额和赔偿限额,设有相关规定。对于地震、海啸、洪水、暴风和暴雪等特殊风险,则设定专门的赔偿限额。

1.4 保险费

保险费的厘定需考虑以下因素:工程性质和造价、工程施工危险程度、工程地区地址及自然地理状况、工期长短、施工季节、巨灾风险、施工防护措施、施工单位的资质等。

1.5 保险期间

保险责任生效日期可在保单中约定,或以保险工

程开工、材料和设备运抵工地的日期为准;责任终止日期可在保单中约定,大多数以工程所有人签发完工验收证书日期为准。如工程未按期完工,被保险人提出申请并加付规定保费后,保险公司将延长保险期限。

2 我国工程保险的发展

1949年10月,中国人民保险公司在北京设立,“工程保险”以强制保险形式出现;1979年8月,人民银行与国家计委等多部门联合发出通知,规定国内基建单位应将引进的建设项目保险费列入投资概算;1980年,中国人民保险公司拟定了建筑工程一切险和安装工程一切险的条款及保单;1994年,建设部、中国建设银行印发了《关于调整建筑安装工程费用项目组成的若干规定》,要求在间接费中增加保险费的内容,为国内工程保险费纳入建安成本提供了依据;1995年,中国人民银行颁布了《建筑工程一切险条款》和《安装工程一切险条款》,其保险责任包含由自然灾害和意外导致的财产损失以及第三者财产及人员损失,符合国际通行的条款要求,也满足FIDIC施工合同中对保险的要求;1998年工程保险保费突破6亿元,占当年财产保险保费的1.18%,我国涉外水利工程投保率达90%以上,但国资水利工程投保率不足30%。

2006年保险业“国十条”发布,有力推动了工程保险发展;2008年,工程保险保费达39.2亿元,占财产保险保费1.69%,三峡工程、南水北调工程等国家重点项目中,累计保险金额分别超过了300亿元和600亿元;2021年工程保险保费为144.92亿元,占当年财产保险保费收入的1.24%;2022年上半年,我国工程保险保费约81亿元,相比上年同期负增长14亿元。整体来看,近几年工程保险保费增速与财产保险保费增速基本一致,占比变化不大。目前,建筑工程保险几乎在所有大型工程中都发挥了重要的保障作用。我国工程保险发展的相关政策及投保情况见表1和图1。



表1 我国工程保险相关政策

时 间	公 布 部 门	文 件	主 要 内 容
1979年4月	中国人民银行	《关于恢复国内保险业务和加强保险机构的通知》	对恢复国内保险业务和设置保险机构作出了具体部署
1979年8月	中国人民银行、国家计委、国家建委、财政部、外贸部和国家外汇管理总局	《关于办理引进成套设备、补偿贸易等财产保险的联合通知》	提出国内基建单位应将引进的建设项目保险费列入投资概算,向中国人民保险公司投保建筑工程险或安装工程险
1985年	国家计委、中国人民银行和国家审计署	《关于基本建设项目保险问题的通知》	国家预算内的“拨改贷”项目和国家计划用信贷资金安排的基建项目,不投保财产保险。自筹资金的基本建设项目是否实行保险,可自行决定,其保险费由自有资金解决
1994年	建设部、中国建设银行	《关于调整建筑安装工程费用项目组成的若干规定》	经调整,建筑安装工程费用中增加了保险费项目,部分保险费可列入工程成本
1995年	中国人民银行	《建筑工程一切险条款》和《安装工程一切险条款》	本次条款修改更多依据国际惯例
1995年	全国人民代表大会	《中华人民共和国保险法》	保险业发展更加规范,推动保险业健康发展
1998年	建设部	《关于一九九八年建设事业体制改革工作要点》	逐步建立健全工程索赔制度和担保制度
1998年3月	全国人民代表大会	《中华人民共和国建筑法》	第四十八条 建筑施工企业必须为从事危险作业的职工办理意外伤害保险,支付保险费
1999年10月	国家开发银行	《贷款项目工程保险管理暂行规定》	提出相关建设项目的借款人或工程承包方等活动主体,原则上应投保建筑工程一切险、安装工程一切险、综合财产险等险种
2005年	建设部联合保监会	《关于推进建设工程质量保险工作的意见》	要进一步改革和完善工程质量保证机制,在工程建设领域引入工程质量保险制度
2006年	国务院	《关于保险业改革发展的若干意见》(简称“国十条”)	提出要积极推进建筑工程保险业务,以及要发展建筑工程责任保险业务
2014年	国务院	《关于加快发展现代保险服务业的若干意见》(简称“新国十条”)	强调要将工程保险纳入灾害事故防范救助体系,并鼓励保险资金利用债权投资计划、股权投资计划等方式,支持重大基础设施、棚户区改造、城镇化建设等民生工程和国家重大工程
2019年6月	住建部等六部委联合	《关于加快推进房屋建筑和市政基础设施工程实行工程担保制度的指导意见》	支持保险机构开展工程保证保险业务,切实发挥防范和化解工程风险的作用

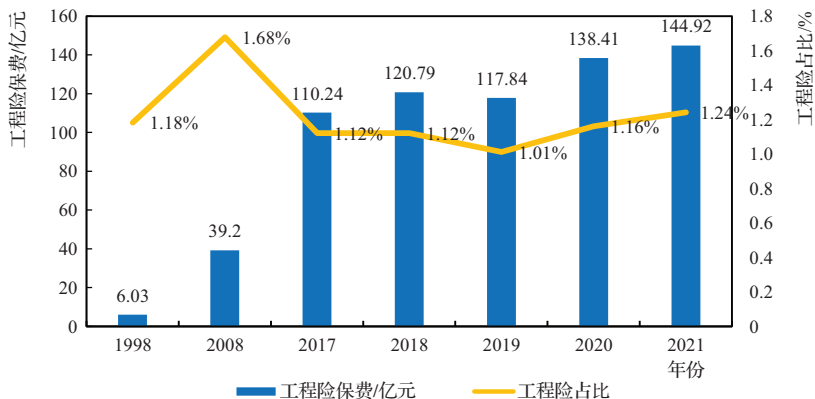


图1 工程保险保费及在财产保险的占比情况

3 我国工程保险面临的挑战

我国大型工程的工程保险投保率逐步提升,但工程保险投保覆盖率还有待提升。其原因,总结为以下几个方面。

3.1 相关制度规定不健全

目前,《担保法》《建筑法》《合同法》《招标投标法》《建设工程质量管理条例》等法律法规为我国工程保险的发展提供了制度保证。但缺乏能够指导我国工程保险发展的总体政策要求,水利等行业推行工程保险尚无具体实施细则,相关制度有待进一步健全。

3.2 行业专属保险产品不足

由于建筑工程的专业性和复杂性,建筑工程保险需要根据各行业工程技术理论和实践经验而设定,但我国工程保险发展时间较短,保险公司缺乏专门人才。水利行业专属保险产品匮乏,风险因子的选择不专业,也未形成行业专属产品费率表。

3.3 专业风险管理不足

工程保险应由保险公司负责提供针对工程的风险管理服务,但从工程保险实际情况来看,投保后,有的根本不提供风险管理服务,有的即使提供风险管理服务也不专业。现有风险管理服务机构很少是针对行业特点而设定的,而且缺少信息平台的支持,线上化、数字化水平较低。2021年工程保险综合成本率高达112%,承保亏损,其中综合赔付率为69%,综合费用率为43%,更多资源投入在销售环节,风险管理资源投入不足。

3.4 保险市场非理性竞争明显

投保企业把工程保险当作成本负担,一味追求低价投保,保险公司则通过降低价格来争夺市场,导致部分项目保费充足率不足,更没有充足的费用开展风险管理的研究和实践工作,无法为投保企业提供有效的风险管理服务,不利于保险公司的良性运营。在不断降低保费的过程中,甚至出现承保时保险保额降低或者提高赔付条件的情况,保险公司以此来缩小保障额度及保障范围,进而压低事故发生后的赔付金额。导

致投保企业在投保后发现自己购买的低价保险产品,并未达到自己预期效果,严重影响了工程保险的口碑。

3.5 投保环节不透明

在工程保险走向市场的过程中,销售不透明的行为迅速蔓延,成为突出的社会问题。投保企业限于线下投保、线下交流的方式,对市场上现有保险产品的了解存在严重信息差,选择效率较低。在销售过程中,保险佣金返还给投保企业代表人的情况也时有出现。线上化水平较低,也不利于保险公司的数据收集和积累,风险定价、风险管理很难系统开展。

4 工程保险发展的对策建议

为提高工程保险对现代企业保驾护航的作用,提出如下对策建议。

4.1 加强引导力度,规范投保制度

借鉴安全生产责任保险(简称安责险)的有效推广措施。自安责险成为法定保险,在高危行业、领域强制投保后,水利行业逐步全面推行安责险,部分城市已取得明显成果,如镇江市2021年重点水利工程安责险投保率达100%。因此,为确保工程保险的投保力度,建议出台相关实施办法和指导意见,明确各方责任,制定管理细则,实行激励和惩戒机制,对投保情况、开展风险管理服务情况实施监督管理。

4.2 开发具有行业特色的工程保险产品,满足行业需求

水利工程建设规模大、周期长,受暴雨、洪水、滑坡等自然灾害影响较大。因此针对水利建设工程保险特点,应设计出专业化、差异化、定制化的专属水利行业建设工程保险产品。

4.3 形成专属投保平台,优化投保流程

定制行业专属保险产品时,采用线上平台销售水利行业专属工程保险产品,便于企业理解、操作,也有助于相关风险数据的动态积累。上海保交所作为国务院批准建立的重要金融基础设施平台,近年来已经上线了新能源车险、水利建设工程安责险等多款行业专属保险产品,成为行业创新产品发展的重要平台。该



交易平台上的保险产品无须单独支付销售费用,降低了企业投保成本,且信息公开透明。企业可在专属投保平台上,自由选择适合自身项目情况的工程保险产品。

4.4 提供专业风险管理服务,提高风险管理水平

保险公司可联合第三方风险管理服务机构拓展“保险+科技+服务”的模式内涵与实现形式,通过建立工程建设的全过程动态化、数字化和智能化风险管理机制,提高风险管理能力。积极运用物联网、人工智能等先进技术,加强风险识别、监测、预警等风险管理专业能力,主动提供防灾减灾服务,从源头降低风险损失,实现风险减量管理服务模式转型。

4.5 加快工程保险数字化水平建设,优化建设项目管理机制

充分运用物联网等信息化手段,建立保险风控信息平台,将风险管理前移到安全监测和工程隐患消除上,既提升了行业日常运行管理水平,也为抢险救灾决策、后期工程运营管理提供了有力支撑。同时,投保、风险管理、理赔等专业服务数据可以有效沉淀,从根本上提升建设项目风险管理能力,降低风险事故发生率。推进投保企业、监管部门、安全管理服务机构和保险

机构四方信息共享,提升管理运营效率,优化项目管理机制。◆

参考文献

- [1] 高宇明.工程保险的风险评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2004.
- [2] 栗敏.我国工程保险和担保制度研究[D].成都:西南交通大学,2003.
- [3] 闵康.我国工程保险业的发展现状分析[J].世界家苑,2021(2):190-191.
- [4] 武心智.浅谈国内建筑工程保险的现状 & 对策[J].建筑工程,2016(11):60-61.
- [5] 陈喻明,李呈阳,张静玉,等.工程保险在工程建设项目中的现状问题分析及改进建议[J].建设监理,2021(3):2-6.
- [6] 房文彬.银保监会明确财险业发展目标[N].中国银行保险报,2021-09-14(1).
- [7] 余宏亮,黄金艳.基于利益相关者理论的水电工程保险研究[J].水利经济,2020(2):17-22.
- [8] 李明,高欣.国外工程保险制度的发展和基本内容研究[J].基建优化,2002(5):9-10,13.
- [9] 陈建军,卞艺杰.浅谈国内外水利工程保险的现状[J].水利科技与经济,2005,11(1):14.
- [10] 徐亮.工程保险在建设施工中的情况分析[J].黑龙江科技信息,2016(17):281.

行业动态

安徽省巢湖环湖防洪治理工程通过竣工验收

2022年12月16日,安徽省巢湖环湖防洪治理工程顺利通过竣工验收。

巢湖环湖防洪治理工程是国务院确定的172项节水供水重大水利工程之一,主要建设任务为环巢湖堤岸线中尚未达标和存在安全隐患的堤段、崩岸严重的岸段以及支流河口段,总投资18.6亿元。

工程于2017年6月开工建设,2020年12月完工。工程建成以来,有效提高了巢湖堤防防洪抗灾能力,抑制巢湖湖岸的崩塌,加强环湖水土保持建设,改善巢湖水质,增加水环境容量,确保防洪保护区内生态安全、改善环湖生态环境。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202212/t20221219_1621145.html,日期:2022-12-19)

《水利建设与管理》2022 年总目次

2022 年第 1 期

本期特稿

- 1 2022 年全国水利工作会议在京召开

特别策划

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

172 项节水供水重大水利工程专题

- 6 光纤光栅式设备在滇中引水工程安全监测中的应用
王和芬 马敏艳 牟晋民

工程施工

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

水利信息化

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

建设管理

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

运行管理

- 56 新疆开都河山区水电梯级综合调度探讨 刘建军
61 博弈论融合权重-短板理论在堤防安全综合评价中的应用
张清明 徐帅 汪自力
66 悬挂式高压摆喷垂直截渗技术在洪泽湖大堤除险加固工程中的应用
孙超君

水文泥沙

- 72 新疆天山北坡巴音沟河洪水研究 马红刚 张金宝 贾伟康
80 沭阳水文站南偏泓测流断面流量测速垂线精简分析
周春煦 刘昊 王露

2022 年第 2 期

本期特稿

- 1 为黄河永远造福中华民族而不懈奋斗 中共水利部党组

特别策划

- 5 部长讲话中的“水利建设与管理”
——李国英在 2022 年全国水利工作会议上讲话节选

科研设计

- 8 引江济淮西淝河北站水泵装置模型试验研究 秦钟建

- 14 金沟河引水枢纽工程整体水工模型造床平衡试验研究

马军 冉建西 范勇锋

工程施工

- 19 乌东德水电站右岸主厂房高边坡陡倾薄层小夹角部位岩体稳定性调控的工程措施研究 颜其林 蒋业龙
27 高海拔峡谷地区过高坝长鱼道快速施工技术研究
刘朝建 柘孝金 刘惠
35 碾压式土石坝施工质量评定影响因素探究 张有文 陈金辉
42 城市地铁近距离下穿大型输水管道防护技术 闫梦华
48 涵洞钢内模移动台车的设计与应用效果 南晓飞 程士华
55 混凝土冷却水管布置形式优化分析 任喜平 李虎子 焦雄

运行管理

- 60 王英水库大坝坝体渗流监测资料分析
张峰 唐威 姜丽萍
66 移动 APP 在灌区管理中的应用 张波 罗朝林

水文泥沙

- 71 江苏省无资料山丘区产汇流计算方法与模型构建研究
华晨 费国松 潘茹
79 柳河上游水沙特性及河道断面变化特征分析 巩士群

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
宾国钦 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

2022年第4期

本期特稿

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

南水北调工程专栏

- 7 南水北调中线工程驱动受水区高质量发展的基本效应
韩江波 陈 雯

科研设计

- 16 山西中部引黄工程技术难题及关键技术研究
张成军 马 菲 石建军
- 24 涵盖生命周期关键点的边坡生态设计方法研究及应用
丁 培
- 29 基于水利仿真模拟设计的金湖县城西河节制闸加固结构分析研究
陈冬冬 李 杰 卞 威
- 35 山西农谷降水变化与旱涝特征分析及水利应对策略
吴伟伟 冯锦萍 孟 佩

工程施工

- 43 老挝南俄3水电站引水隧洞淤泥沙段综合治理
魏兴存 刘汉斌 高富文
- 49 水工隧洞衬砌下沉底板错台处置方法
叶瑞彬 吴锐敏
- 53 高效废水处理系统在黄金峡水利枢纽工程中的应用
马光明 闫 良
- 58 堡镇港北等四座水闸外移工程基坑排水方案设计与优化
蔡超英 潘世洋

机电及金属结构

- 66 基于振动监测系统对竖井式贯流泵推力轴承异响原因的分析
唐 演 缪融融 钱 杨
- 72 垂直运输设备空间三维定位的设计与实现
李永山 刘发永 周新志

运行管理

- 79 鲁西南乡村振兴水系治理模式初探
赵红兵 朱明辉 李子玉

2022年第5期

本期特稿

- 1 水利工程标准化评价办法

科研设计

- 2 信息熵理论在大坝安全评价中的应用进展综述
顾艳玲 杨永森 武学毅
- 9 小作河预应力渡槽全断面应用补偿收缩混凝土实施要点及成效
张韶辉 肖伟华 张卓洋
- 16 龙口贮灰场增设景观设施对灰坝的影响分析
梁树军 李 健 肖建章

工程施工

- 21 巴塘水电站围堰优化设计
李建平 向尚君

- 27 不露滩条件下塑钢板桩水下沉桩施工技术研究
邓柏旺 湛廷恩

- 34 基于原型观测的高温季节大体积混凝土施工温控分析与改进措施
陈敏芬 叶雷震 余志华

- 39 全断面洞室开挖生产性爆破试验研究
贾 超 贾 群 石 瑛

- 45 提高太浦闸联动启闭机齿盘啮合精准率的研究与实践
马士磊 胡书庭 陈荣尧

建设管理

- 51 新疆生产建设兵团水利监督平台建设与应用
张永威 孙蓬勃 周明强
- 56 工程资料全生命周期信息化管理研究与实践
杨志祥 来 栋

水力学

- 63 泥浆护壁条件下缺陷混凝土防渗墙抗渗特性研究
杨春鸣
- 73 托帕水库整体水工模型试验研究
张林波

工程风险管理与保险

- 77 我国保险政策对水利发展的支持
王海燕 潘 玲
- 80 浅述我国保险业发展历程和现状

2022年第6期

工程施工

- 1 隧洞洞内长大管棚处理复杂地质突发大塌方体施工技术
杨井国 王 鑫
- 5 块碎石架空地层深孔防渗墙施工塌孔预防措施
张太波
- 9 超张拉理论在预应力渡槽槽缝处理中的应用
张 涛 屈 展 祝创新

建设管理

- 14 水利建设市场信用体系建设的实践与思考
王海燕
- 18 济南市“幸福河湖”规划建设管理探讨
唐光凤
- 22 江苏省农田水利投资效率分析
潘 俊 曹德君 王 苏
- 28 敦煌月牙泉恢复补水工程建设管理经验
李世珠
- 32 永州四区县河长制运行中的问题与对策
黄 涛 苏晓婷 刘笑吟

水文泥沙

- 36 辽宁省大中型水库抗暴雨能力工程制约因素分析
李忱庚
- 41 多沙河流泥沙冲淤埋深确定方法与应用
赵有信

水工材料

- 46 新扩建堤防填料对加高培厚堤防工程沉降的影响研究
杨永森 顾艳玲 孙天祯
- 51 寒区蒸发塘防渗材料的耐久性研究
张丽雅 李 健 肖建章

水力学

- 56 水位骤降影响下海堤变形研究分析
陆鹏源
- 60 岩锚吊车梁荷载试验研究
王永德 谢勇兵 刘 军

经验交流

- 64 水利工程建筑废弃物资源化利用实践
张志华
- 68 提高闸站玻璃幕墙施工一次合格率的研究与实践
王晓峰 陈凯武 冯誉辉

工程风险管理与保险

- 74 水利行业常见的保险产品分析
潘 玲
- 81 浅谈水利工程建设风险与保险对策
王诗兰

2022年第7期

本期特稿

- 1 坚持系统观念 强化流域治理管理
水利部党组书记、部长 李国英

引汉济渭工程专栏

- 3 先拱墙后仰拱法衬砌施工隧洞混凝土裂缝形成及防治研究
李虎子 任喜平
- 8 狭小空间内 TBM 设备主轴承内密封更换技术研究
任喜平 王 俊 董团伟
- 13 水工隧洞施工智能化管理应用分析 齐国庆 郭 恒 王 亮

南水北调工程专栏

- 18 系统过电压治理技术应用研究 朱志伟 戚 猛
- 21 信息化监管在南水北调中线工程的应用实践 石文明 符 鹏

科研设计

- 25 一种基于熵权和灰色关联分析的大坝安全综合评价方法
顾艳玲 杨永森
- 29 扭王字块在海堤工程堤脚防护中的运用 李连成
- 34 堆石混凝土技术适用性评价研究 郑文勇

水工材料

- 43 酸碱环境下硅溶胶的长期耐久性研究
江志安 谢 武 崔 激
- 49 一种新型注浆材料在水库渗漏止水中的应用研究 朱 俊

建设管理

- 54 水利建设项目计划管理稽察工作的实践与探索 李越川
- 58 水利建设项目稽察评价体系探究 李 红

机电及金属结构

- 63 基于故障树的景电工程水泵常见故障分析 董雪旺 彭维恩
- 68 龙口水电站调速器电气控制系统改造
赵远新 褚红伟 武 杰
- 73 东台新抽水站多泵运行时水泵实际性能分析
李 悦 李连成 陶圣叶

工程风险管理与保险

- 78 浅析安全生产责任保险的推广情况 潘 玲 王海燕

水利工程标准化管理经验交流

- 83 做好顶层设计,紧抓关键环节,推动黄河水利工程标准化管理
高质量发展

2022年第8期

172 项节水供水重大水利工程专题

- 1 中部引黄工程大埋深超长引水隧洞 TBM 施工数值仿真分析
马 菲 张成军 王克忠
- 8 珠江三角洲水资源配置工程数字化安全管理
邹 哲 芦庆恭 曾 东
- 14 高温差地区混凝土面板施工期裂缝分布规律初探
罗 帅 王建帮 杨兵强

科研设计

- 21 基于数值模拟计算的大型泵站排涝效果分析
张玉伦 贾 能 陈盛达
- 27 感潮河道上过闸流量控制的自动化方法 刘 洪 马晓辉
- 32 长距离输水管道水力过渡过程计算 董航凯 田 睿 王启国

地质与勘测

- 39 安哥拉 KK 水电站高混凝土重力坝坝基综合勘察技术及建基岩
体选择 李辰舟 苏传洋 刘 凯
- 51 句容抽蓄地下厂房隐伏溶洞处理范围与措施研究
徐剑飞 梁睿斌 陈洪春

机电及金属结构

- 56 水利设备中二极管钳位型五电平逆变器优化均压算法研究
方 丽
- 62 基于分布式体系的门塔机群防碰撞系统设计与应用 李永山

工程施工

- 67 高压旋喷桩在流砂地层中的施工技术
刘少林 周书东 徐钦明
- 73 螺山泵站流道异型木模板支撑设计研究
黄 露 李建林 黄正东
- 81 水利工程装配式建筑的应用与展望 黄桂林 黄若坚

水利工程标准化管理经验交流

- 84 重庆市水利局四项措施高质量推进水利工程标准化管理工作

2022年第9期

特别策划

- 1 加快建设数字孪生流域 提升国家水安全保障能力
水利部党组书记、部长 李国英
- 3 智慧水利感知体系建设思路初探 郭 华 储梦溪 何 莉
- 8 南水北调数字孪生泵站工程建设思路探讨
江如春 沈芳芳 张 歆
- 12 临淮岗数字孪生工程建设研究和探索 李君廷

工程检测

- 18 水下机器人在北京雨洪工程水下检测中的应用
肖 俊 曹温博 郑鸿志

水力学

- 24 水电站调压阀水力学计算研究 洪振国 田 辉 刘俊华
- 29 闸坝下游局部冲刷计算方法的对比分析 高 翔
- 33 基于细观损伤力学的四级配混凝土立方体试件单轴破坏有限
元分析 糜凯华 邓水明

水文泥沙

- 40 近 36 年来渭河定西段蒸发量时空变化及演变趋势研究 张跃峰
- 46 加大流量对簸箕李引黄灌区泥沙输移影响分析
房本岩 魏守民
- 50 对郑州“7·20”洪水中水库作用的分析与思考 董永立

水环境与生态

- 55 2007—2020 年引江济太环境效益分析及工程优化调度研究
殷 鹏 华 萍 胡晓雨
- 60 应用大口径管道截流老城区溢流污水方案研究
马方凯 王雪健 高兆波
- 70 调水引流改善平原河网水质分析及优化调度方案研究
何妙妙 司黎晶 王 姣

建设管理

- 77 金厂坪水库除险加固工程综合效益后评价
肖 俊 郑 棚 汤 程



2022年第10期

引汉济渭工程专栏

- 1 秦岭复杂地质环境隧洞 TBM 快速掘进技术研究
鹿俊皓 王 江 柯贤博
- 8 黄金峡水利枢纽泵站厂房温控措施研究
董航凯 晏安平 唐 寅
- 16 监控量测技术在秦岭长隧洞中的应用技术研究
齐国庆 王 亮 田 睿

特别策划

- 21 黄河上游干旱区祖厉河流域生态发展模式研究
王小娥 魏 智 吴锦奎

科研设计

- 25 基于均衡法及数值模拟法的乔诺地下水库资源量论证计算
王友年
- 32 西河泵站工程出水渠道优化设计
付爱华
- 38 感潮河段适应水位变化自升降拦污设施应用研究
孙超君 张宜亮 张 辉

工程施工

- 43 高原地区大坝基础振冲碎石桩施工研究
赵如阳 贾洪波
- 48 地下水封洞库灌浆止水施工技术及应用
吴 波 王 凯 郭 钊
- 52 膏浆灌浆技术在矿山酸水库大坝防渗工程中的应用
王绍平 黄 磊 刘 兵
- 57 不良地质段地下厂房岩锚梁开挖技术探究
王淑莹

建设管理

- 62 对进一步完善代建制管理的政策建议
王诗祥 余智囊

运行管理

- 66 长距离输水管道水压试验方法及验收标准探析
马志华
- 70 白蚁监测诱杀 IPM 技术在鲁班水库中的应用研究
赵 川 肖 翔 罗思敏

工程检测

- 75 浅析基于分布式光纤传感的 PCCP 监测技术应用
孙 钰 封 皓 沙 洲
- 80 水下测量系统在预制构件安装定位中的研发与应用
徐立军

2022年第11期

172 项节水供水重大水利工程专题

- 1 滇中引水工程弃渣场安全监测设计及应用
王和芬 晏 欣

科研设计

- 6 台阶式消能设计中相关参数的敏感性分析
姜 啸
- 12 丰溪河鸡公石崽段岸坡坍塌成因分析及对策研究
戴 霖 简鸿福 邓 伟
- 18 弧形闸门机械开度与启闭机行程之间函数关系的研究及计算
许海洋
- 23 防洪“四预”视域下海河流域防洪调度系统建设与发展构想
齐师杰 吕天慧

地质与勘测

- 29 马街河水库坝基蚀变花岗岩勘察研究及其处理分析
赵 静 郑培溪

- 37 吹填围垦堆载对临港道路及桥梁地基变形影响研究
董中明
- 46 淤泥质黏土夹层对渗流坝体稳定性安全评价分析
陈 超 王 霄 齐春舫
- 50 深层透水地基上水闸渗流安全分析与评价
罗居刚

水文泥沙

- 56 汴河袁家庵站测验方式优化可行性分析
蒙雅雯 崔建和
- 62 降水和下垫面对北峪河流域径流影响的定量研究
杨亚军
- 67 改进可公度法的丰满流域极端径流年预报
班友康 梁 云 雷冠军
- 73 近 50 年乌江流域降雨演变趋势研究
李长江 吴海宽 付 杰

团体标准专题

- 79 水利团体标准发展策略研究
杨清凤 王海燕

水利工程标准化管理经验交流

- 83 水利部调水管理司负责同志解读《调水工程标准化管理评价标准》

2022年第12期

172 项节水供水重大水利工程专题

- 1 引汉济渭秦岭隧洞 TBM 卡机脱困分析
赵 力 王 博 魏军政

科研设计

- 7 独特心墙形式土石坝工程除险加固效能评价分析研究
顾艳玲 杨 孟
- 13 淹没出流条件下小挑角挑流消能工消能特性研究
熊长鑫 梅家鹏 董宗师
- 19 真空预压联合电渗法处理软土试验研究
刘巍巍 姜晨阳 陈博涵
- 24 民乐县高标准农田地表水滴灌工程优化布局模式探讨及应用
韩欣宇

工程施工

- 29 西藏高海拔碾压混凝土筑坝温控防裂技术与实践
姜顺宏 熊 涛
- 36 大涌水隧洞超前灌浆技术研究
蔡 畅
- 45 西霞院工程水下建筑物混凝土缺陷修复施工关键技术研究实践
王京宇 刘焕虎
- 50 基于 AutoBank 分析高土石围堰边坡稳定影响因素
郝中州 苏茂荣 陈志军

建设管理

- 58 白鹤滩移民小型水利类 EPC 项目质量控制
全雅婷 徐 剑 张明庆
- 64 水利企业安全生产主体责任落实“十五条”硬措施
马建新

引汉济渭工程专栏

- 68 三河口大坝施工期浇筑层温控措施优化分析
王佐荣 李晓峰 岳立宇

工程风险管理与保险

- 76 我国工程保险的发展思考
王 蕊 王海燕 吴庆涛

81 《水利建设与管理》2022 年总目次