



2019—2020 年度中国水利工程优质（大禹）奖获奖工程

海南省五指山市新春水库水源工程



[期刊基本参数] CN 11-4446/TV*1980*m*A4*84*zh*P*¥20.00*17000*18*2022-7

水利建设与管理

二〇二二年 第四十二卷 第七期

Vol.42 No.7 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 7 第42卷

水利建设与管理

WATER CONSERVANCY CONSTRUCTION AND MANAGEMENT



新春水库水源工程库区全景

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

安全生产是必须守住的底线

深水兆业首部企业专著出版发行

深水兆业的首部企业专著《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于2021年5月正式出版发行。

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，这期间始终坚持谁执行、谁参与、谁表态的原则，经历了反复研讨、反复实践应用和反复修正完善的过程。

规定动作系统、完整地讲清了安全监理要做什么，谁来做，怎么做，以及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，规定动作从诞生的那一刻起，便铸就了它的使命和性格！

——使命——

安全监理规定动作，即监理履行安全管理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，有以下四层含义：

- ①履职尽责。履行安全管理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。
- 安全生产是必须守住的底线，这就是深水监理的使命。

——性格——

规定动作的性格即简明、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。《清单及指南》的理论基础来源于《建设工程安全生产管理条例》第十四条的规定，融合了《安全生产法》、住房和城乡建设部颁发的《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”。《清单及指南》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、行业及主管部门发布的文件和规范中提炼出规定动作，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，即“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，致力于构建满足现场管理需要和具有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

水利水电工程建施工法约稿（征稿）函

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

水利工程优秀质量管理小组成果约稿（征稿）函

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

单位：《中国水能及电气化》杂志社有限公司
联系地址：北京市西城区南滨河路27号 贵都国际中心B座1119室 邮政编码：100055
联系人：张洁 电话：010-63305281 投稿须知网址：<http://zgzn.cweun.org/tgxz.php>

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 7 期

(总第 349 期)

2022 年 7 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

行业动态

● 为深入贯彻党中央关于“疫情要防住、经济要稳住、发展要安全”的重大决策,全面落实党中央、国务院对稳定全国经济大盘的系列部署,根据民政部办公厅《关于充分发挥行业协会商会作用为全国稳住经济大盘积极贡献力量的通知》(民办函〔2022〕38号)的要求和指导精神,制定了《中国水利工程协会助力稳住全国经济大盘若干措施》,经研究决定,印发执行。

(来源:中国水利工程协会网站,网址:<https://www.cwun.org/show.php?cid=11&id=1198>,日期:2022年7月7日)

● 水利部副部长魏山忠在7月11日水利部召开的2022年上半年水利基础设施建设进展和成效新闻发布会上表示:“今年上半年,水利工程建设取得显著成效,新开工重大水利工程项目和完成投资均创历史新高。”他介绍,在水利工程建设取得显著成效上,一是项目开工明显加快;二是工程建设明显提速;三是投资强度明显增大。

(来源:人民网,网址:<https://view.inews.qq.com/a/20220712A0500700>,日期:2022年7月12日)

宣传与广告

封面 新春水库水源工程库区全景

封二 深圳市深水水务咨询有限公司

封三 《中国水能及电气化》约稿(征稿)函

封底 海南省五指山市新春水库水源工程

《水利建设与管理》

编 委 会

主 任: 孙继昌

副主任: 安中仁 任京梅

委 员 (按姓氏笔画排序)

王爱国 石小强 许文海 孙公新

李坤刚 张利新 陈明忠 宗敦峰

祖雷鸣 唐传利 董红元 蒲朝勇

本刊声明:

1. 本刊为公开发行人物,作者投稿须遵守国家有关保密的法律法规,并对此负完全责任。
2. 本刊刊发的文字、图片等所有内容,本刊拥有网络电子版版权,未经许可不得转载。作者若有异议,请在来稿时声明。
3. 本刊已加入 OSID (Open Science Identity) 开放科学计划,欢迎作者使用。



中国水利工程协会
公众号



《水利建设与管理》
杂志社公众号

WATER CONSERVANCY CONSTRUCTION AND MANAGEMENT

Vol. 42 No. 7 2022

CONTENTS

Special Report

- 1 Adhere to the system concept and strengthen watershed management

Li Guoying, Secretary of the CPC committee of Ministry of
Water Resources and Minister of Water Resources

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

- 3 Research on tunnel concrete crack formation and prevention control measures of arch wall followed by back arch
lining construction tunnel

LI Huzi, REN Xiping

- 8 Research on sealing replacement technology of main bearing of TBM equipment in narrow space

REN Xiping, WANG Jun, DONG Tuanwei

- 13 Application analysis of intelligent management in hydraulic tunnel construction

QI Guoqing, GUO Heng, WANG Liang

Special Column of South-to-North Water Diversion Project

- 18 Research on application of system overvoltage control technology

ZHU Zhiwei, QI Meng

- 21 Application practice of information-based supervision in middle route of South-to-North Water Diversion Project

SHI Wenming, FU Peng

Scientific Design

- 25 A comprehensive evaluation method of dam safety based on entropy weight and grey relational analysis

GU Yanling, YANG Yongsan

- 29 Application of accoropode in embankment foot protection in seawall project

LI Liancheng

- 34 Applicability evaluation study of rock-filled concrete technology

ZHENG Wenying

Hydraulic Materials

- 43 Study on long-term durability of silica sol under acid-base environment

JIANG Zhian, XIE Wu, CUI Wei

- 49 Application study of a novel grouting material in reservoir leakage sealing

ZHU Jun

Construction Management

- 54 Practice and exploration of planning management inspection of water conservancy construction projects

LI Yuechuan

- 58 Study on inspection and evaluation system of water conservancy construction projects

LI Hong

Electromechanical and Metal Structure

- 63 Analysis on common faults of water pump in Jingdian project based on fault tree

DONG Xuewang, PENG Wei'en

68 Reformation of electrical control system for speed governor in Longkou Hydropower Station

ZHAO Yuanxin, CHU Hongwei, WU Jie

73 Actual performance analysis of water pumps in Dongtaixin Pump Station during multi-pump operation

LI Yue, LI Liancheng, TAO Shengye

Engineering Risk Management and Insurance

78 Brief analysis on promotion of safety production liability insurance

PAN Ling, WANG Haiyan

Exchange of Experience in Standardization Management of Water Conservancy Projects

83 Do a good job on top-level design; focus on the key links; promote the high-quality development of standardized management of the Yellow River water conservancy projects

• 6月17日,水利部在京启动七大江河“十四五”数字孪生流域建设方案审查,刘伟平副部长出席会议并讲话,吴文庆总规划师出席指导。会议成立专家组,选取水利部长江水利委员会报送的《“十四五”数字孪生长江建设方案》进行典型审查。近期,水利部还将对其余六大江河数字孪生流域建设方案进行审查。刘伟平指出,水利部党组高度重视数字孪生流域建设,将其作为推进智慧水利建设的核心和关键。水利部印发行政、规划、工作、技术等层面的系列文件,数字孪生流域建设已经全面展开。数字孪生流域是创新性很强的复杂系统工程,既要通过先行先试突出重点先行、积累经验,也要面向“十四五”综合性整体性谋划建设。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202206/t20220619_1580079.html,日期:2022年6月19日)

• 6月18日至19日,水利部党组书记、部长李国英调研环北部湾(粤西)水资源配置工程。他强调,要坚决贯彻落实习近平总书记关于全面加强水利基础设施建设的重要讲话精神和党中央、国务院决策部署,统筹发展和安全,科学规划设计、全面加快推进重大水利工程建设,为稳住经济大盘作出水利贡献,为全面提升水安全保障能力提供有力支撑。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202206/t20220621_1580492.html,日期:2022年6月21日)

• 黄河下游引黄涵闸改建工程开工建设。该工程是国务院部署实施的150项重大水利工程之一,也是今年重点推进的55项重大水利工程之一,总投资20.70亿元,共涉及山东、河南两省11个市21个县区37座涵闸,总工期36个月。工程建成后,作为我国重要粮食主产区和农业生产基地的引黄灌区的供水保障率将进一步提高,还将改善沿线地区城镇生活、工业及生态供水条件,有效支撑华北地区经济社会高质量发展。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202206/t20220625_1581785.html,日期:2022年6月25日)

• 湖南大兴寨水库工程开工建设。该项目是国务院部署实施的150项重大水利工程之一,也是今年重点推进的55项重大水利工程之一,总投资51.14亿元,总工期36个月。工程建成后,将全面提升湘西州府吉首市城市防洪能力和供水保障能力,改善吉首市农业产业灌溉条件,防洪能力由10年一遇提高到50年一遇,同时还将进一步丰富旅游资源,改善峒河流域生态环境,促进民族地区乡村振兴和经济社会高质量发展。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202206/t20220625_1581782.html,日期:2022年6月25日)

• 安徽省包淦河治理工程开工建设。该项目是国务院部署实施的150项重大水利工程之一,也是今年重点推进的55项重大水利工程之一,总投资25.57亿元,总工期36个月。工程建成后,将进一步完善包淦河流域防洪除涝工程体系,提高包淦河防洪排涝标准,恢复涵闸蓄水灌溉功能,畅通沿河防汛道路,提升水旱灾害防御能力,有力促进区域经济社会持续健康发展。

(来源:水利部网站,网址:http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202206/t20220625_1581779.html,日期:2022年6月25日)

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

习近平总书记强调,“坚持系统观念,从生态系统整体性出发,推进山水林田湖草沙一体化保护和修复,更加注重综合治理、系统治理、源头治理”“保障水安全,关键要转变治水思路,按照‘节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力’的方针治水,统筹做好水灾害防治、水资源节约、水生态保护修复、水环境治理”“要从生态系统整体性和流域系统性出发,追根溯源、系统治疗”“上下游、干支流、左右岸统筹谋划,共同抓好大保护,协同推进大治理”。我们要深入贯彻落实习近平总书记的重要讲话精神,坚持系统观念,强化流域治理管理,打造幸福河湖,为建设人与自然和谐共生的美丽中国作出更大贡献。

流域性是江河湖泊最根本、最鲜明的特性。坚持系统观念治水,关键是要以流域为单元,用系统思维统筹水的全过程治理,强化流域治理管理。流域是降水自然形成的以分水岭为边界、以江河湖泊为纽带的独立空间单元,流域内自然要素、经济要素、社会要素、文化要素紧密关联,共同构成了复合大系统。治水只有立足于流域的系统性、水流的规律性,正确处理系统与要素、要素与要素、结构与层次、系统与环境的关系,才能有效提升流域水安全保障能力。

强化流域统一规划。要以流域为单元,一体化谋划流域保护治理全局,为推进流域保护治理提供重要依据。在完善流域综合规划上,立足流域整体,科学把握流域自然本底特征、经济社会发展需要、生态环境保护要求,正确处理需要与可能、除害与兴利、开发与保护、上下游、左右岸、干支流、近远期的关系,对流域的开发利用、水资源节约集约利用、水旱

灾害防御作出总体部署,构建流域保护治理的整体格局。流域综合规划具有战略性、宏观性、基础性,流域范围内的区域规划应当服从流域规划。在完善流域专业规划体系上,以流域综合规划为遵循,细化深化实化有关要求,形成定位准确、边界清晰、功能互补、统一衔接的流域专业规划体系。完善流域防洪规划,系统部署流域内水库、河道及堤防、蓄滞洪区建设,统筹安排洪水出路。立足流域水资源时空分布,研判把握水资源长远供求趋势,完善流域水资源规划,增强流域水资源统筹调配能力、供水保障能力、战略储备能力。在强化规划权威性上,规划一经批准,必须严格执行。建立健全流域规划实施责任制,完善流域规划相关指标监测、统计、评估、考核制度,强化结果运用,确保流域规划目标任务全面落实。严格依据相关法律法规和流域规划开展水工程建设规划同意书、河道管理范围内建设项目工程建设方案、建设项目水土保持方案、工程建设影响水文监测等许可审批,对不符合法律法规和流域规划要求的,不予行政审批。

强化流域统一治理。要充分发挥流域规划的引领、指导、约束作用,推进流域协同保护治理,做到目标一致、布局一体、步调有序。统筹工程布局。坚持区域服从流域的基本原则,统筹协调上下游、左右岸、干支流关系,综合考虑工程功能定位、区域分布,科学确定工程布局、规模、标准,着力完善流域防洪工程体系和水资源配置体系。流域内水利工程建设要算系统账、算长远账、算整体账,每个单点工程的论证和方案比选,都要充分考虑对全流域的影响,



在流域规划的总体框架下进行。特别是防洪工程,要根据流域上下游防洪保护对象的不同,科学确定防洪标准、工程规模、运行方式等,防止因建设不当而产生系统性不利影响。统筹项目实施。从流域全局着眼,更加注重工程项目的关联性和耦合性,防止畸轻畸重、单兵突进、顾此失彼。合理区分轻重缓急,统筹安排工程实施优先序,做到流域和区域相匹配、骨干和配套相衔接、保护和治理相统筹,坚决避免出现上下游相互掣肘、干支流系统割裂、左右岸以邻为壑的现象。

强化流域统一调度。要充分发挥流域级平台的牵头作用,强化多目标统筹协调调度,建立健全各方利益协调统一的调度体制机制,更好保障流域水安全,实现流域涉水效益的“帕累托最优”。强化流域防洪统一调度。始终把保障人民群众生命财产安全放在第一位,按照洪水发生和演进规律,以流域为单元,综合分析洪水行进路径、洪峰、洪量、过程,系统考虑上下游、左右岸、干支流的来水、泄水、蓄水、分水,全面考虑不同防洪保护对象的实际需求,精细落实预报、预警、预演、预案措施,精准确定拦、排、分、滞措施,以系统性调度应对流域性洪水。强化流域水资源统一调度。以流域为单元,统筹供水、灌溉、生态、发电、航运等需求,根据雨情、水情、旱情、水库蓄水量等,按照节水优先、保护生态、统一调度、分级负责的原则,加强区域间、行业间不同调度需求统筹,构建目标科学、配置合理、调度优化、监管有力的流域水资源管理体系,实现流域水资源统一调度。强化流域生态统一调度。从全流域出发,依据生态保护对象确定生态调度目标,优化调度方案,保障河流生态功能用水需求。加强生态流量管理,保障河湖生态流量,坚决遏制河道断流和湖泊萎缩干涸

态势,维护河湖健康生命。

强化流域统一管理。要打破区域行业壁垒,加强流域综合执法,构建流域统筹、区域协同、部门联动的管理格局,一体提升流域水利管理能力和水平。强化河湖统一管理。充分发挥河湖长制作用,发挥流域层面河湖长制工作协作机制作用,构建目标统一、任务协同、措施衔接、行动同步的流域河湖长制工作机制,推进上下游、左右岸、干支流联防联控联治。完善水行政执法跨区域联动机制、跨部门联合机制、与刑事司法衔接机制、与检察公益诉讼协作机制,严厉打击河道乱占、乱采、乱堆、乱建等违法违规行为,严肃查处非法围垦河湖、人为水土流失等问题,坚决遏制侵占河湖躯体的行为,实现河湖功能永续利用。强化水权水资源统一管理。做好流域初始水权分配,把流域水资源量逐级分解到流域内的行政区域和河流控制断面。强化水资源刚性约束,落实用水总量和强度双控,严格水资源用途管制,对流域内水资源超载地区暂停新增取水许可,及时制止和纠正无证取水、超许可取水、超计划取水、超采地下水、擅自改变取水用途等行为。建立完善流域用水权市场化交易平台和相关制度,培育和发展用水权交易市场,引导推进流域地区间、行业间、用水户间开展多种形式的用水权交易。

在实现第二个百年奋斗目标的新征程上,我们要深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想,善用系统思维统筹水的全过程治理,保持定力、久久为功,大力实施流域统一规划、统一治理、统一调度、统一管理,奋力开拓流域治理管理新局面,为全面建设社会主义现代化国家提供强有力的水安全保障。

(来源:《人民日报》,2022年6月28日,第10版)

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

(陕西引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024)

【摘要】 受设计、施工等复杂因素作用,隧洞衬砌混凝土往往容易形成裂缝,对工程安全和正常运行产生不利影响。本文采用三维有限元数值模拟方法对秦岭隧洞黄三段Ⅱ标4号支洞先拱墙后仰拱法施工的衬砌混凝土受力特征进行了分析,并提出了合理的裂缝防治措施。这些措施在施工中取得了良好的应用效果,可为今后同类工程提供借鉴和参考。

【关键词】 输水隧洞;先拱墙后仰拱;受力分析;裂缝防治

中图分类号: TV523

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-003-05

Research on tunnel concrete crack formation and prevention control measures of arch wall followed by back arch lining construction tunnel

LI Huzi, REN Xiping

(Shaanxi Hanjiang to Weihe River Water Diversion Project Construction Co., Ltd., Xi'an 710024, China)

Abstract: The tunnel lining concrete is often prone to crack formation under the action of complex factors such as design, construction, etc., which adversely affects the safety and normal operation of the project. The three-dimensional finite element numerical simulation method is adopted to analyze the lining concrete stress characteristics of arch wall followed by back arch lining construction in Qinling Tunnel Huangjinxia-to-Sanhekou Section Bid II No. 4 Branch Tunnel in the paper. Reasonable crack prevention and control measures are proposed. Excellent application effect is obtained in the construction through the measures, thereby providing reference for similar projects.

Keywords: water conveying tunnel; arch wall followed by back arch; stress analysis; crack prevention and control

调水工程中输水隧洞发挥着极其重要的作用,其中混凝土衬砌施工是保证质量和制约工期的关键性工序。隧洞衬砌是指支持和维护隧洞的长期稳定和耐久性的永久结构物^[1]。隧洞衬砌混凝土的裂缝问题是比较普遍的质量问题^[2],公伯峡、周宁、惠蓄等水利工程

的输水隧洞衬砌混凝土出现了或多或少的混凝土开裂现象^[3-5]。开裂将会导致渗漏问题,可能会危及水工隧洞的结构安全,并造成一定经济损失^[6]。本文结合引汉济渭工程,对输水隧洞衬砌“先拱墙后仰拱”法施工裂缝进行数值模拟分析,并提出防治措施。

收稿日期: 2021-07-12

基金项目: 2017年陕西省水利科技计划项目(项目编号:2017slkj-27)

作者简介: 李虎子(1983—),男,工程师,主要从事水利工程建设管理工作。

1 工程简介

引汉济渭工程秦岭隧洞黄三段Ⅱ标主隧洞桩号起点为 K7+929, 终点为 K16+481.16, 总长 8552.16m。主隧洞为马蹄形断面, 断面净空尺寸 6.76m×6.76m, 纵比降 1/2500。主隧洞支护形式为一次锚喷支护和二次衬砌。衬砌结构选用 C25 混凝土, Ⅱ~Ⅴ类级别围岩钢筋混凝土衬砌结构的厚度分别为 30cm、35cm、45cm、50cm。其中Ⅱ、Ⅲ类围岩配置单排结构配筋, Ⅳ、Ⅴ类围岩配置双排受力钢筋。地板和拱墙之间的接茬混凝土采用凹形键槽型式进行设置, 键槽连接部位设置止水条。

2 计算原理

2.1 分层组合式

分层组合式模型是通过把横截面划分成若干混凝土和钢筋层, 并沿着截面高度形成直线分布模式, 按照钢筋混凝土材料的应力和应变结合平衡条件皆能够得到相应单元的刚度表达式。分层组合式计算原理在钢筋混凝土板、壳结构、杆件系统中应用较为普遍。

采用分层组合式将混凝土划分成若干条带, 将同层钢筋划分成一个条带。普通的受弯构件把混凝土结构划分成 7~10 层计算弯矩和曲率的关系是比较适宜的。在计算过程中将每一条带上的应力视作是均匀分布模式。

2.2 带钢筋的四边形单元

假定四边形单元中含有一根钢筋。图 1 中单元的节点力的数学表达式为 $[F_E] = [X_1 Y_1 X_2 Y_2 X_3 Y_3 X_4 Y_4]^T$, 节点位移的数学表达式为 $[\delta_E] = [U_1 V_1 U_2 V_2 U_3 V_3 U_4 V_4]^T$, 不含钢筋的纯混凝土结构单元刚度矩阵 ($8 \times$

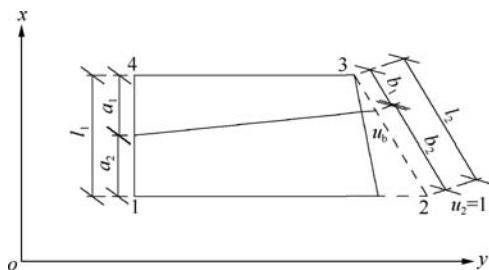


图1 含有一根钢筋的四边形单元

8) 表达式为 $[K_C] = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} B^T D B |J| d\xi d\eta$, 通过这个数学表达式将 $[F_E]$ 和 $[\delta_E]$ 结合到一起, 单根钢筋的矩阵表达式为 $[F_E] = [K_C][\delta_E]$ 。

2.3 带钢筋膜的8结点六面体单元

此组合方法选取等参数单元, 把钢筋和混凝土结合看作是不存在相对滑移, 两者分布于一个位移场里面, 通过结点的位移来确定其他各点所有的位移。与通常均匀连续体的区别为, 此组合单元具有钢筋, 可对单元刚度起到一定的作用。

3 计算条件

3.1 计算模型

以黄三段Ⅱ标主隧洞桩号 K15+234 衬砌混凝土地板为坐标系的原点, 轴线方向设定为 X 轴, 隧洞下游方向作为正; 垂直方向设定为 Z 轴, 向上的方向为正; 与轴线垂直的方向设定为 Y 轴。

选用非线性有限元 ANSYS 软件选取 5 倍洞径的外围岩建立模型, 沿 X 轴向取 0~60m; 沿 Y 轴向取 -60~60m; Z 轴向取高程 1578m 为下界限, 地表面为上界限。有限元模型底界限选用三向约束, 两侧界限采取水平约束。选用四节点面单元对围岩和混凝土结构进行有限元网格划分, 选用两节点线单元对钢筋进行有限元网格划分, 共计 25675 个节点和 28780 个单元。隧洞结构的三维有限元模型见图 2。

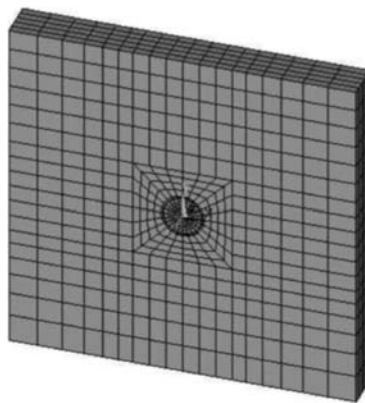


图2 隧洞结构的三维有限元模型

3.2 计算参数

依据秦岭隧洞(黄三段)地质资料和相关参考资

料确定 K10 + 410 ~ K10 + 560 洞段Ⅳ类围岩及衬砌混凝土、钢筋的力学参数,详见表 1。

表 1 秦岭隧洞围岩、衬砌支护结构相应参数取值

项 目	弹性模量/MPa	泊松比	容重/(t/m ³)	黏聚力/MPa	摩擦角/(°)	膨胀角/(°)	抗压强度/MPa	抗拉强度/MPa
Ⅲ类围岩	2.5×10^4	0.35	2.5	0.45	35	0.5	30	3
C40 混凝土	3.25×10^4	0.167	2.4	0.2	50	0.8	17.1	1.75
C20 混凝土	2.55×10^4	0.167	2.4	0.2	50	0.8	17	1.75
钢 筋	2.1×10^5	0.35	7.85	—	—	—	—	—

4 衬砌裂缝分析

衬砌混凝土为 C30 素混凝土,为分析“先拱墙后仰拱”施工对裂缝形成的影响,采用有限元模拟软件 ANSYS 对拱墙衬砌混凝土受力特征进行了数值分析。

4.1 纵向裂缝分析

拱部 X 方向(即隧洞断面)应力计算结果见图 3,可以看出:X 向应力在曲墙中部和拱部中心位置出现拉应力区,拱部中心区域拉应力值大于 C30 混凝土抗拉强度(1.5MPa),可见在此区域及附近有出现纵向裂缝的可能。

拱部 X 方向(即隧洞断面)位移计算结果见图 4,可以看出:X 位移一侧为正、一侧为负,断面中间区域为正负分界区,拱部受拉向两侧发生位移。中间区域可能被拉开,出现纵向裂缝;同时,曲墙中部也出现了正负分界区域,可能出现纵向裂缝。

综上所述,拱部在中心位置处易出现纵向拉裂缝,曲墙中部也可能出现纵向拉裂缝。拱部和曲墙的纵向开裂主要是由于无筋混凝土属于典型的脆性结构,围岩应力产生水平作用,从而使拱部和曲墙受到垂直于隧洞轴线的拉应力,当拉应力超过抗拉强度时,则可能会出现纵向裂缝。

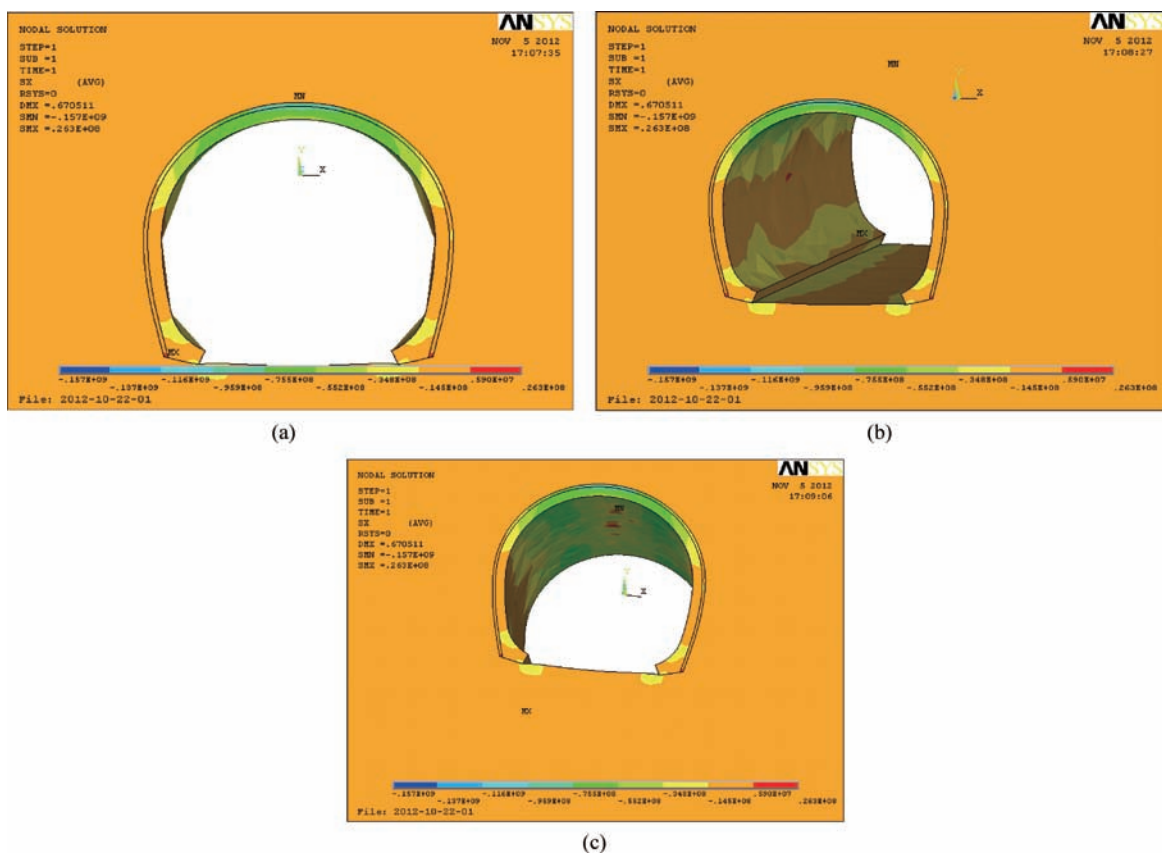
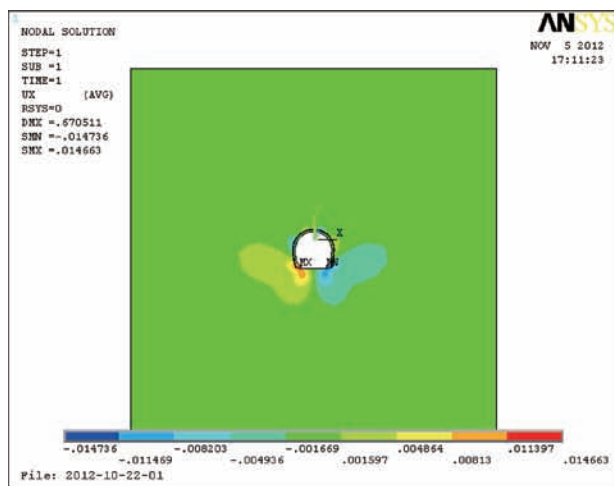
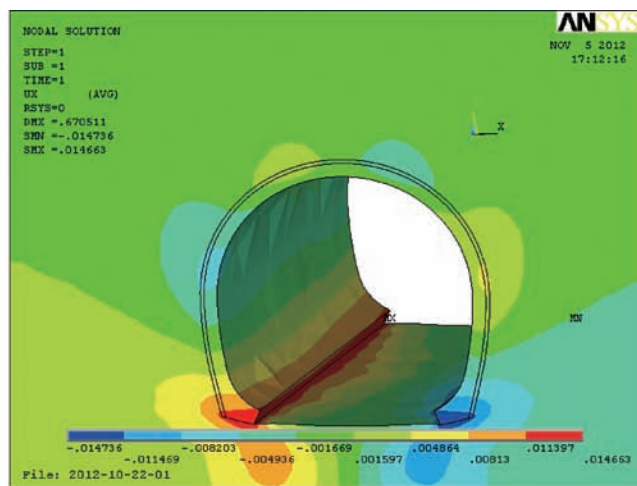


图 3 X 向应力云图



(a)



(b)

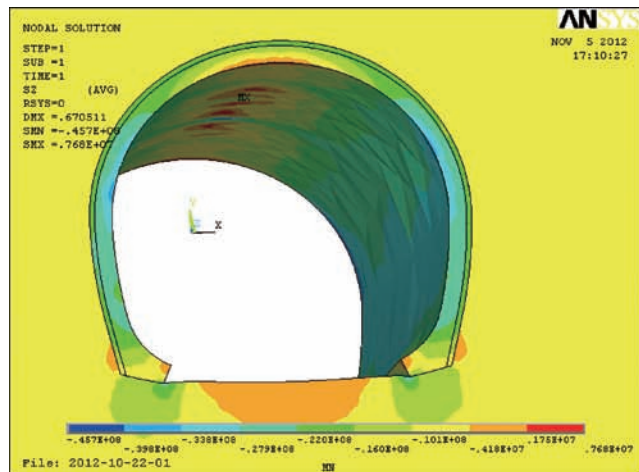
图4 X向位移云图

4.2 环向裂缝分析

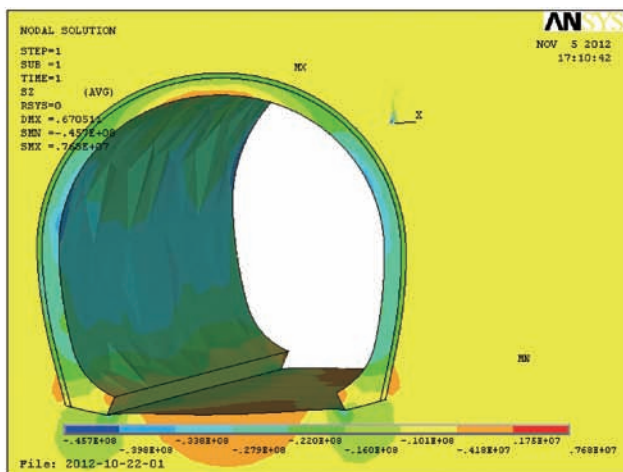
拱部Z方向(即洞轴方向)应力计算结果见图5,可以看出,Z向应力在拱部中线附近的正值区域,沿纵向有较长的分布区域,这些区域受拉力控制,拉应力最大值出现在拱部中点位置,达到7.68MPa,多处受拉区域拉应力值达到1.75MPa,拉应力值超过C30混凝土

抗拉强度(1.5MPa),区域范围可能出现环向裂缝。

拱部和曲墙的环向开裂主要是由于无筋混凝土属于典型的脆性结构,不同里程下的围岩产生不均匀沉降变形,导致拱部和曲墙受到沿隧洞轴线的拉应力,当拉应力超过抗拉强度时,则可能造成环向裂缝。



(a)



(b)

图5 Z向应力云图

5 施工裂缝防治措施

5.1 控制混凝土质量

a. 优化配合比。为降低水化热,项目在配合比设计阶段,以保证设计指标为前提,多次优化配合比,降低水泥用量,严格控制骨料级配^[7]。

b. 控制混凝土坍落度。在保证混凝土和易性良好的情况下降低混凝土坍落度可有效防止施工裂缝,按照《水工混凝土施工规范》要求泵送混凝土在浇筑时坍落度范围为180~220mm^[8];现场浇筑混凝土坍落度范围为180~200mm,在混凝土搅拌、运输过程中严格控制坍落度,首先对搅拌机口混凝土的温度和坍落

度进行量测,准确记录混凝土运输时间,洞外多次量测混凝土罐车上混凝土温度,混凝土进洞之后,再次记录混凝土坍落度和温度,通过数据统计,计算混凝土在运

输过程中坍落度的损耗,做好坍落度从搅拌到浇筑过程中的控制,见表2。

表2 混凝土数据统计

搅拌机口		混凝土运输 时间/min	4支洞口		隧洞内		坍落度损耗/ mm
温度/℃	坍落度/mm		温度/℃	坍落度/mm	温度/℃	坍落度/mm	
20	185	31	17	180	16	180	5
21	190	33	17	184	16	184	6
20	190	32	17	185	15	185	5

5.2 提高衬砌台车刚度

为避免混凝土浇筑过程中衬砌台车出现较大变形,项目在台车设计时,采用高强度钢材焊接台车龙门架,提高衬砌台车整体刚度,将浇筑过程中的台车变形降到最低。同时,在混凝土浇筑过程中,增设横向钢支撑,限制台车变形,随时观测记录,根据台车变形调整混凝土浇筑速度。

5.3 控制混凝土浇筑过程

混凝土浇筑过程采用人工振捣,二窗以下的混凝土浇筑过程中,人工钻进衬砌台车进行振捣,混凝土入仓后先平仓再振捣,每一位置的振捣时间以混凝土粗骨料不再显著下沉,并开始泛浆为准,防止欠振、漏振或过振,浇筑块第一层、卸料接触带和台阶边坡混凝土应加强振捣。衬砌台车在浇筑过程中存在盲区,部分位置不能振捣,针对这一问题,我们在衬砌台车二窗下部90cm位置增设窗口,加强振捣。

5.4 及时养护

对于浇筑好的衬砌混凝土,拆模之后,及时进行养护;项目采用雾炮车进行衬砌混凝土外观质量养护,持续养护28天。

6 结 论

a. “先拱墙后仰拱”法施工时拱部中心位置、曲墙中部均易出现纵向拉裂缝,主要由于无筋混凝土是脆性结构,围岩应力产生水平作用,从而使拱部和曲墙受到垂直于隧洞轴线的拉应力,当拉应力超过抗拉强度时,则可能会出现纵向裂缝。

b. 拱部和曲墙的环向开裂主要是由于无筋混凝土

是脆性结构,不同里程下的围岩产生不均匀沉降变形,导致拱部和曲墙受到沿隧洞轴线的拉应力,当拉应力超过抗拉强度时,则可能造成环向裂缝。

c. 采取控制混凝土质量、提高衬砌台车刚度、控制混凝土浇筑过程以及及时养护等措施对“先拱墙后仰拱”法施工裂缝具有良好的防止效果。◆

参考文献

- [1] 洪跃庭. 水工隧洞衬砌混凝土裂缝成因分析及控制措施分析[J]. 四川水泥, 2018(9): 276.
- [2] 钟伟. 隧洞衬砌裂缝成因分析及处理措施探究[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 2(47): 130-132.
- [3] 冯璐. 浅埋隧洞穿越不良地质段技术方案优化研究[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(2): 57-61.
- [4] 李贺林, 王毅鸣. 天花板拱坝左岸坝肩窑洞式开挖设计及研究[J]. 水力发电, 2011, 37(6): 57-59.
- [5] 冯国军, 崔连生, 赵志强. 大伙房水库输水(二期)工程刘山隧洞出口穿越铁路施工技术方案[J]. 水利建设与管理, 2008, 28(5): 62-66.
- [6] 冯海青, 李贺林. 高陡地形拱坝坝肩窑洞式开挖设计与施工[J]. 云南水力发电, 2013, 29(4): 49-52.
- [7] 祝春江, 冯勇. 圆形有压隧洞钢模板衬砌施工工艺的研究[J]. 水利建设与管理, 2015, 35(11): 6-8.
- [8] 王云鹏, 李海涛. 招徕河拱坝左坝肩的窑洞式开挖[J]. 湖北水力发电, 2004(3): 37-39.
- [9] 鹿宁, 邱敏, 张文江. 水工隧洞钢筋混凝土衬砌开裂加固设计方法研究[J]. 西北水电, 2018(4): 44-46, 56.
- [10] 石岳灵. 水工隧洞衬砌混凝土裂缝成因及控制措施[J]. 农业科技与信息, 2017(21): 125-126.
- [11] 郭洪林, 郭能达, 沈一帆. 提高引水隧洞钢筋混凝土衬砌施工效率的有效措施[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(6): 79-84.
- [12] 朴春红. 大伙房输水工程特长隧洞衬砌选型及支护系统优化研究[J]. 水利建设与管理, 2016, 36(5): 66-68.



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

(陕西引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024)

【摘 要】 引汉济渭岭南 TBM 设备长期在不良地质环境和极限负荷状态下运行,为降低设备故障率并提升设备利用率,本文分析了造成 TBM 设备主轴承部件内密封损坏的原因及更换的必要性,拟定了 TBM 设备关键部件主轴承内密封更换的总体方案,介绍了吊装设计、更换步骤、效果验证过程和更换过程中控制的重难点。此次在狭小空间内主轴承内密封安全、快速的更换,确保了岭南 TBM 设备在不良地质环境施工中的高效运行,提高了 TBM 设备利用率和适应性,降低了故障率,减少了成本支出。

【关键词】 狭小空间;内密封;更换;提高;故障率

中图分类号: TV53

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)07-008-05

Research on sealing replacement technology of main bearing of TBM equipment in narrow space

REN Xiping, WANG Jun, DONG Tuanwei

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

Abstract: Lingnan TBM equipment of Hanjiang-to-Weihe River Water Diversion Project is operated in adverse environment and limit load transfer state for a long time. The causes of inner sealing damage of TBM equipment main bearing component and replacement necessity are analyzed in the paper. The overall scheme of main bearing inner sealing replacement of TBM equipment main component are formulated. The control keys and difficulties during lifting design, replacement steps, effect validation process and replacement process are introduced. The main bearing inner sealing in the limited space is replaced safely and quickly, thereby ensuring that Lingnan TBM equipment can be efficiently operated in the adverse geological environment construction, improving the utilization rate of the TBM equipment and adaptability, and reducing the failure rate and cost.

Keywords: narrow space; inner sealing; replacement; improvement; failure rate

地下洞室采用 TBM 设备掘进和常用的钻爆法开挖相比,具有快捷、环保、安全等优点,特别是在一些距

离长、埋深大的高难度隧洞选用比较多,是国内外的铁路、水利水电、矿业、综合管廊、城市轨道交通等领域选

收稿日期: 2021-07-28

基金项目: 2017 年省级水利科技项目(2017slkj-26)

作者简介: 任喜平(1984—),男,高级工程师,主要从事水利水电工程建设管理工作。

用的重要施工方案。同时,由于隧洞施工不断向复杂地质条件和恶劣环境发展,使得 TBM 设备在掘进过程中关键部位零部件的损伤较大,施工困难不断加大,对设备可靠性和现场快速消除故障的要求也随之不断加大。主轴承作为 TBM 设备的关键和核心部件,其性能状况影响整个 TBM 设备的运行质量和效率,而此部件的正常运行与内外密封的可靠性密切相关。

目前,许多学者对复杂地质条件和恶劣环境中 TBM 设备主轴承零部件的修复和更换进行了研究,余海东等^[1]分析研究了锦屏二级水电站项目 TBM 设备的主要部件主轴承的运行状态,总结了主轴承系统润滑油运行状态的监测方案和产生故障时应急处理措施;韩小亮^[2]分析研究了 TBM 设备主轴承外密封结构挡圈部件产生断裂掉落现场的实例,根据现场状况对三种处理措施进行对比研究得到一种安全、快速的修复处理方案;董仁涛^[3]分析研究了 TBM 设备主轴承部件密封系统运行过程中故障的诊断分析和具体的保养措施,提出了合理的保养措施确保了高效运行;贾峰^[4]分析研究了南疆吐库二线铁路中天山隧道右线项目 TBM 设备主轴承密封耐磨钢带密封结构的损坏情况,在狭窄空间内通过优化传统维修方案快速高效地完成了维修保养工作,张新彬^[5]分析研究了兰渝线西秦岭特长隧道项目 TBM 设备主轴承现场快速、安全更换和修复措施,提出了一套迂回导洞和左线绕行相结合的实施方案,取得了良好的效果。

本文以引汉济渭引水隧洞岭南 TBM 施工段设备为例,通过分析 TBM 主轴承内密封损坏情况及影响,研究了狭窄空间内主轴承内密封更换方案、具体的操作方法及更换过程控制的重难点,采用该方案快速、安全地进行了主轴承内密封系统的更换和修复工作,确保了岭南 TBM 设备在不良地质环境施工中的高效运行,提高了 TBM 设备利用率和适应性,减少了故障率。

1 主轴承内密封损坏情况描述及更换的必要性

1.1 主轴承内密封损坏情况描述

引汉济渭调水工程岭脊段选用一台敞开式 TBM

设备掘进施工,最大埋深达到 2100m,洞内温度达 40℃左右,湿度超过 90%,岩石最高强度达 230 MPa,复杂地质条件和恶劣环境叠加,是调水工程隧洞施工难度最大的地段。洞内复杂地质条件和恶劣环境对 TBM 设备关键部位零部件造成诸多不利影响,在秦岭隧洞硬岩掘进过程中 TBM 设备主轴承润滑系统频繁出现运行异常,主要表现为润滑油脂硅成分含量异常,同时伴随有粉尘和少量水分,造成阀块卡顿等现象,经逐一排查发现主轴承内圈密封存在磨损,致使内密封冲洗水在主轴承内部无气密保压状态下直接泄漏至主轴承内部。监测数据表明,润滑油内硅成分含量持续上升,说明密封磨损为持续状态,当内部风压不能有效隔绝水冲洗时,主轴承工作环境将急剧恶化。

1.2 更换的必要性分析

密封磨损程度较轻的情况下,系统带压状态下冲洗水虽不能泄漏至主轴承内部,但若不及时处理和更换,随着时间的推移,密封磨损会不断加剧,同时也会造成钢带磨损,当主轴承内部气压以及密封润滑油脂不能有效隔绝水冲洗时,将导致大量冲洗水进入轴承内部,水与油脂混合,不能对主轴承造成有效润滑,将对主轴承造成难以预料的损坏。

2 内密封更换总体方案描述

停机将刀盘内积渣清理干净后,先拆除接渣斗导流板,其后拆除刀盘接渣斗以及 1 号皮带从动端的滚筒渣斗^[6]。以上工作完成后拆除刀盘内密封盖板,取出内密封及隔圈,检查钢带的完好性,视磨损情况决定是否更换钢带。若需更换钢带,将钢带拆除后,清理钢带安装凹槽,加温新钢带至 120℃,安装钢带,等钢带完全冷却后,安装新密封及密封压环、盖板等,恢复刀盘接渣斗,完成密封更换全过程。

3 吊装方案的设计

在内密封更换过程需要进行吊装的部件主要有刀盘接渣斗、密封内外盖板以及密封压环,更换期间需拆除部件的参数见表 1。

表1 更换期间需拆除部件参数

名称	外形尺寸/(mm×mm×mm)	重量/t	数量
刀盘接渣斗	2607×2799×2173	7	1
密封内挡圈	3494×3494×54	0.275	1
密封外挡圈	3596×3596×85	0.338	1

3.1 手拉葫芦选择

本文涉及的吊装部件主要为刀盘接渣斗,吊装过程最大载荷的计算公式为

$$Q_1 = K_1 K_2 Q \quad (1)$$

式中: Q_1 为吊装最大载荷,t; Q 为渣斗和吊具重量的总和,t; K_1 为动载荷系数,取1.1; K_2 为不平衡载荷系数,取1.25。

由式(1)的计算可知,吊装最大荷载为9.7t,根据市场常用手拉葫芦参数选择,采用2台5t手拉葫芦同步起吊。2个2t手拉葫芦辅助渣斗平稳下降过程,可满足作业要求。

3.2 刀盘隔板吊点载荷校核

通过吊点位置结构受力分析可知,刀盘隔板吊点位置存在最大受力点应力,最大受力点应力计算式为

$$\sigma = Qg/S \quad (2)$$

式中: σ 为刀盘隔板最大受力点应力,MPa; Q 为渣斗及索吊具重量总和,t; g 为重力加速度, m/s^2 ,取为 $9.8m/s^2$; S 为刀盘隔板截面积, m^2 。

由式(2)的计算结果可知,吊装的刀盘隔板结构最大受力点应力是38.27MPa,钢结构材料的屈服强度取值为235MPa,在规范中按215MPa取值进行计算,远大于刀盘隔板部位的最大受力点应力值,可满足吊装作业要求。

3.3 吊耳的选择

根据吊耳标准参数,选用6.5t吊耳作为渣斗吊装的主受力吊耳,选用2t吊耳作为渣斗辅助吊装的平衡吊耳。

3.4 吊耳位置确定及焊接

吊耳安装位置应与分段重心对称,以保持吊耳复合的均衡和分段吊装的平稳,且安装方向应与其受力方向一致,以避免产生扭矩,其接渣斗对称位置焊接2

个2t吊耳,垂直方向在刀盘隔板位置焊接2个6.5t吊耳^[7]。在吊耳焊接过程中,因刀盘内水分较多,必须保证焊接面干燥且无锈迹或灰尘,进行双面连续角焊,以保证焊接质量。其吊耳位置因刀盘内部空间狭小,需根据现场位置遵循以上原则进行选择,做到受力平衡方便吊装和安装工作^[8]。

3.5 接渣斗位置下降

在吊耳焊接完成后,再用手拉葫芦将渣斗与吊耳链接,使链条受力后,拆除接渣斗的链接销,使用调整倒链将渣斗移至下落路径无障碍物位置,缓慢下降至整个主轴承中央位置,使用手拉葫芦将其固定^[9]。在下降过程中需先拆除1号皮带从动尾端,以免在下降过程中产生倾斜。

4 主轴承内密封更换步骤

4.1 主轴承密封端盖拆除

密封盖板分为内外两个盖板,具体结构见图1,首先拆除内圈盖板,在拆除之前在内盖板焊接小吊点,使用1.5t倒链将其固定,拆除固定螺栓,利用4个顶孔用M16螺栓将其顶出,使用固定倒链将其吊起。然后使用同样方式拆除外圈盖板,见图1。

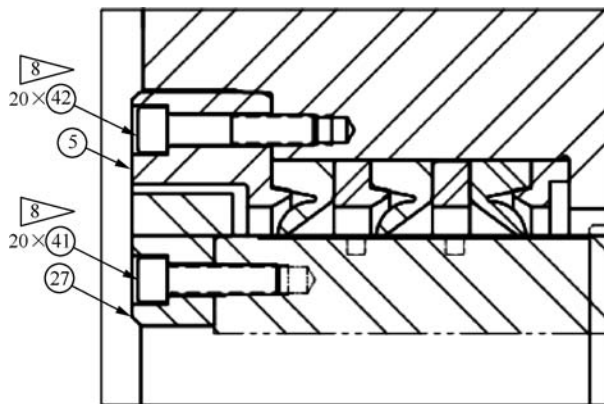


图1 端盖及密封装配结构

注 编号8表示主轴承;编号④表示下部端盖外圈盖板;编号④表示上部端盖外圈盖板;表号⑤表示上部密封盖板;编号⑦表示下部密封盖板

4.2 密封取出及钢带、压环检查

在取出密封前使用润滑油脂将密封安装槽润滑,

安排 6~8 人使用倒勾在整个密封槽对称位置同步进行密封及压环取出工作,在工作进行中切勿暴力损坏密封安装槽以及密封压环。取出密封后,检查钢带磨损情况,看是否存在凹槽、毛刺等现象,如钢带磨损凹槽超过 0.5mm,则需更换,同时检查压环表面有无损坏,是否存在尖锐棱角,如有损坏,视严重程度选择修复或更换^[10]。

4.3 钢带加热及安装

若需更换钢带,需将旧钢带切割取出,并清理检查钢带安装槽,将新钢带加热至 120~140℃,进行同步安装,安装方法为先将钢带对至安装孔,使用 6 台喷灯同时加热,温度达标后,由安装人员穿上隔热装备进行安装^[11]。

4.4 密封安装

在安装密封前首先确定钢带温度是否降至常温,密封腔内表面、压环表面、密封表面的清洁工作是否完成,以上工作无误后使用轻质润滑脂在相应表面做润滑工作,然后按照图 1 由右到左依次进行密封和压环的安装^[12]。

根据图纸将第一道密封唇口朝里安装,密封腔周围固定 6~8 个等边点,几点处的密封按照安装方向塞入密封腔,然后逐步将其他部位塞入,等密封完全塞入后,确认密封没有反转现象,使用木棒或橡胶棒及橡胶锤将密封推至合适位置,然后安装第一道压环,安装期间确保压环干净,没有任何锋利边角。按照图纸将第二道密封唇口朝外安装,安装步骤同上,同时安装第二道压环,第三道同理。安装完成后,先安装密封外圈盖板,然后安装内圈定位销及盖板,确定安装位置无误,使用螺栓固定,所有连接螺栓使用螺纹锁固胶涂抹,并复合扭矩,螺母位置使用硅胶填充^[13]。

4.5 刀盘渣斗安装

在密封安装完成后,先恢复 1 号皮带从动尾端,继而恢复刀盘接渣斗,使用固定倒链将渣斗提升至安装位置,使用小倒链进行连接销对孔工作,完成后进行链接销安装以及渣斗固定工作。

5 更换效果验证

在密封更换完成后,拆除主轴承观察盖板,单独启动内密封冲洗,观察主轴承内部是否有水溢入,若无水溢则更换效果能达到使用要求,反之则为不合格,需重新安装。

6 施工控制重难点分析

a. 主轴承内密封盖板的拆卸与安装。拆卸前用两个螺栓孔在主轴承上找出对应的连接螺栓孔位置,做上标记,拍照留底。安装前对准标记位置,复核定位销位置,保证所有螺栓连接孔正确对应;安装前检查盖板表面有无锋利尖锐棱角,避免划伤密封,影响密封使用效果^[14]。

b. 紧固螺栓的质量控制。对于高强度螺栓一定要按照初拧、复拧、终拧步骤进行紧固,初拧和复拧阶段的扭矩操作到螺栓所需扭矩的一半,终拧阶段按外六角螺栓(M16×60mm)规定的相关扭矩拧紧,在实施过程中必须按照 12.9 级高强度螺栓的紧固规范,24h 内应完成所有螺栓的终拧工作。

c. 刀盘接渣斗拆除及安装。由于刀盘内部空间狭小,且渣斗体积较大,吊装空间有限,在渣斗拆除过程中,阻碍较多,考虑到密封更换完成后的恢复问题,拆除时不能随意切割,故而难度较大,是耗时最长的一道工序^[15]。

d. 旧钢带的切除和新钢带的加热、安装工作。钢带热装至钢带安装槽内为一个整体,旧钢带在切割时要尽量避免对安装凹槽的伤害;又因在隧洞内空间有限,切除工作困难,该项工作在拆开后视情况而定,尽量不实行切割工作,采取熔化措施。新钢带安装需加热至 120~140℃,因洞内条件有限,至今没有很好的加热方式,拟定使用喷灯进行烘烤,其效率较慢。新钢带安装属高温时安装,在安装时,安装人员必须穿戴隔热服以及隔热手套,避免造成人员伤害^[16]。

7 结 语

受不良地质和恶劣环境的影响,岭南 TBM 主轴承



内密封出现了磨损现象,会导致大量冲洗水进入轴承内部,水与油脂混合不能对轴承造成有效润滑,将对轴承造成难以预料的损坏,导致 TBM 设备安全、快速掘进产生诸多故障隐患。

本文针对洞内更换作业空间狭小,分析了主轴承部件内密封的损坏情况及更换的必要性,介绍了内密封更换总体方案及吊装设计、内密封更换步骤、效果验证,也对更换过程中控制的重难点进行了分析,成功实现了狭小空间内主轴承内密封的安全、快速更换,确保了岭南 TBM 设备在不良地质环境施工中的高效运行,提高了 TBM 设备利用率和适应性,减少了故障率和成本支出,也为洞内狭小空间条件下主轴承内密封安全、快速的更换提供了参考实例。◆

参考文献

- [1] 余海东,李琳,赵勇,等. TBM-319 掘进机主轴承润滑系统故障探析[J]. 使用维修,2015,12(1):74-81.
- [2] 韩小亮. 敞开式 TBM 主轴承外密封挡圈断裂脱落解决方案分析[J]. 隧道建设,2019,12(3):92-94.
- [3] 董仁涛. TBM 掘进机主轴承密封故障诊断与处理[J]. 维护与修理,2015,45(9):45-46.
- [4] 贾峰. TBM 主轴承密封系统洞内修复[J]. 隧道建设,2013,40(11):119-121.

(上接第 20 页)研究,并重点介绍了国内首例 38.5/35kV 专用降压变压器。实际运行表明,38.5/35kV 专用降压变压器的应用成功解决了唐河中心站供电段系统过电压问题,形成的治理模式对南水北调电力安全运行管理起到了非常积极的促进作用,同时也为南水北调工程其他供电段系统过电压问题处理提供了一定的参考依据。◆

参考文献

- [1] 沙杰. 解析电力系统中配电网的安全运行技术[J]. 中国设备工程,2020(22):216-217.
- [2] 郭军,王英斌. 提高电力系统供电可靠性的方法[J]. 通信电源技术,2019,36(3):264-265.
- [3] 刘帅. 提高煤矿供电安全可靠性的对策探讨[J]. 智能城市,2019,5(19):99-100.
- [4] 田阳普. 高电压电气设备绝缘及检测技术研究[J]. 产业科

- [5] 张新彬. 西秦岭隧道 TBM 主轴承洞内更换方案研究[J]. 隧道/地下工程,2017,12(6):68-72.
- [6] 赵大鹏,张守伟,马长复. TBM 主轴承外密封挡圈故障诊断及洞内修复技术[J]. 水利技术监督,2016,2(42):109-112.
- [7] 李厚峰. 复杂地质环境对 TBM 掘进速度的影响[J]. 人民黄河,2018,40(11):119-121.
- [8] 黄俊阁. 高磨蚀性硬岩地段敞开式 TBM 掘进参数优化和适应性研究[J]. 水利水电技术,2017,48(8):90-95.
- [9] 郭树生. 深埋小断面输水隧洞 TBM 施工通风技术研究与应用[J]. 水利建设与管理,2017,37(7):1-4.
- [10] 李文富,黄兵. 大伙房水库输水工程隧洞 TBM 施工出渣技术研究与应用[J]. 水利建设与管理,2007,27(5):30-33.
- [11] 赵成欣. 西秦岭长大隧道 TBM 盘形滚刀磨损分析[J]. 建筑机械化,2014(1):79-81.
- [12] 陈馈,杨延栋. 高黎贡山隧道高适应性 TBM 设计探讨[J]. 隧道建设,2016,36(12):1523-1530.
- [13] 林长杰,李光波,苑晓倩. 特长隧洞 TBM 施工组织管理技术的研究与实践[J]. 水利建设与管理,2011,31(S1):61-65.
- [14] 袁兴泽,李文富,赵玉辉. TBM 掘进速度及影响因素浅析[J]. 水利建设与管理,2009,29(4):75-77.
- [15] 谢启江,余海东,郑辉,等. 变约束条件下硬岩掘进机推进系统动态特性[J]. 机械设计与研究,2015,31(3):152-156.
- [16] 李荣军,赵力,赵翔元. 岩爆引起的 TBM 主驱动故障分析及处理措施[J]. 水利建设与管理,2020,40(6):34-39.

- 技创新,2019,1(18):63-64.
- [5] 魏琪. 过电压对电力机车高压电气设备的影响[J]. 内燃机与配件,2017(19):116-117.
- [6] 吴荣辉. 提高配电网供电可靠性的管理措施分析[J]. 无线互联科技,2012(11):77,80.
- [7] 李辉,周帮勇,冯舷. 新形势下供电所安全管控的几点思路[J]. 电气时代,2019(12):48-49.
- [8] 于海波. 高压地下变电站大型变压器新型冷却技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2012.
- [9] 电力变压器 第五部分:承受短路的能力:GB1094.5—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [10] 罗海凹. 油浸式配电变压器抗短路能力提升技术研究[D]. 广州:华南理工大学,2020.
- [11] 王明英. 居民小区 10kV 一次降压变电所技术设计[J]. 科技创新导报,2017,14(16):55-56.

水工隧洞施工智能化管理应用分析

齐国庆 郭 恒 王 亮

(陕西省引汉济渭工程建设有限公司, 陕西 西安 710024)

【摘 要】 为弥补传统施工管理模式在面对长大水工隧洞施工时的不足,实现秦岭输水隧洞施工智能化管理,以隧洞施工管理为基础,应用 BIM、物联网、移动通信、大数据、微服务等技术,通过智能化方法搭建隧洞施工智能化系统,将现场监测、数据采集等与智能化管理有机结合,并在设计、进度、安全、质量等方面进行了应用分析,实现了隧洞施工管理动态化、可视化,大幅提升了管理效率和安全管理水平,可为促进隧洞施工智能化技术应用提供参考。

【关键词】 施工管理;智能化;BIM;动态化;可视化;物联网

中图分类号: TV512

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)07-013-05

Application analysis of intelligent management in hydraulic tunnel construction

QI Guoqing, GUO Heng, WANG Liang

(Shaanxi Hanjiang-to-Weihe River Water Diversion Project Construction Co., Ltd., Xi'an 710010, China)

Abstract: BIM, Internet of things, mobile communication, big data, micro-service and other technology are applied based on the tunnel construction management in order to make up for the disadvantages of the traditional construction management mode in the face of long and large hydraulic tunnel construction, and realize intelligent management of Qinling tunnel construction. The intelligent system of tunnel construction is built through intelligent method. The site monitoring, data acquisition and other aspects are combined organically with intelligent management, they are applied and analyzed in the aspects of design, schedule, safety, quality, etc., thereby realizing dynamic and visual tunnel construction management, greatly improving the management efficiency and safety management level, and providing reference for promoting the application of intelligent technology in tunnel construction.

Keywords: construction management; intelligent; BIM; dynamic; visualization; Internet of things

随着工程建设技术的不断发展,水工隧洞工程趋向长距离、大埋深发展,其地质环境越发复杂,但目前的勘察技术所能获取的地质基础信息十分匮乏,且传

统的水利工程大部分把信息化建设放在运行管理阶段^[1-2],在工程施工期信息化应用较少。面对施工环境复杂的长距离大埋深水工隧洞工程时,传统的建设管

收稿日期: 2021-06-16

基金项目: 2016 年国家十三五重点研发计划“水资源高效利用”专项——大埋深长距离隧洞建设智能仿真与建设信息集成技术(2016YFC0401806)

作者简介: 齐国庆(1985—),男,硕士,主要从事水利工程建设管理工作。



理手段已无法满足工程建设管理需要。因此需通过信息化、智能化技术和方法实现输水隧洞施工智能化来弥补传统施工管理模式的不足。而我国水工隧洞智能化技术应用、安全风险管理与控制策略研究现阶段仍在起步阶段,管理模型的自动化程度不高,影响工程管理及风险控制的可靠性和时效性^[3]。因此,将社会上不断涌现的智能化的新技术,应用于工程现场管理^[4],实现智能化管理控制,保障施工安全,提升工程管理效率,是现阶段水工隧洞工程迫切需要解决的问题。本文以秦岭输水隧洞智能化管理系统为背景对智能化研究原理和应用进行说明分析。

1 智能化管理研究原理思路

特长隧道施工是一个复杂的系统,伴随着高风险作业,设计与施工必须紧密相连,动态设计和动态施工管理是有效降低施工风险、提升管理效率的必要手段。隧洞工程在施工过程中为实现动态化设计和动态化施工管理,利用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能计算机技术、图像处理技术、通信技术、控制技术,将设计、施工信息有机地结合在一起,开发和设计施工智能化管理系统,通过统一接口收集施工过程中的众多信息,实现系统终端与子系统的数据交换,对施工过程中出现的各种状况进行管理,使参建各方能够进行应对突发情况的应急联动和及时处置,进而提高工程管理效率,保证施工安全性和进度。

2 智能化管理系统的架构及原理

秦岭输水隧洞位于秦岭主脉,地质条件复杂,施工过程中伴随超硬岩、强岩爆、有害气体、突涌水等众多叠加地质灾害,为保障施工安全和进度,隧道施工过程中实时监测设备运转参数、支护结构变形数据、超前地质预报数据等信息数据,并通过物联网技术中的传感器技术、网联网的传输网络技术实现人员、气体、温度等施工环境数据采集,并传输到智能管理系统平台进行管理、存储、调用、处理,从而实现对秦岭隧洞施工中的动态设计、进度、质量、安全四方面智能化管理。

2.1 隧洞施工智能化管理系统

BIM 三维施工模拟技术,基于对整个建设项目信

息的采集,以及对所采集到的信息进行相应的数字化处理后建立建筑信息模型并加以利用^[5]。秦岭输水隧洞智能化管理系统基于 BIM 三维施工模拟技术,搭建标准化工业物联网架构,将 BIM 模型管理、TBM 状态管理、施工进度管理、施工安全管理、施工质量管理、人员定位、有害气体监测、视频监控、超前地质预报等九个子系统集成在一个平台上,通过计算机技术实现来自不同子系统、不同类型的数据信息融合。

系统综合运用 BIM、移动通信、大数据、微服务等新技术,实现施工全过程的各个子系统的数据自动采集,同时将隧洞施工管理、风险管理、质量管理等信息集中到能够实现远程操作的系统平台上进行智能分析、智能预警和智能管控,以实现隧洞施工全过程各个环节的监控,使隧洞施工管理达到智能化、信息化的要求。

秦岭输水隧洞智能化管理系统针对建设单位、设计单位、监理单位、施工单位设计不同级别的管理模式,通过系统平台设置管理权限,可实现对所有子系统和监控、监测设备的调度和管理。各个子系统除在系统平台统一调度和管理之外,还能够根据现场实际情况在其权限范围内管理和调度与子系统相应的设备和设施。

系统平台的框架设计和搭建是实现智能化控制的基础和关键,秦岭输水隧洞智能化管理平台总体架构见图 1。

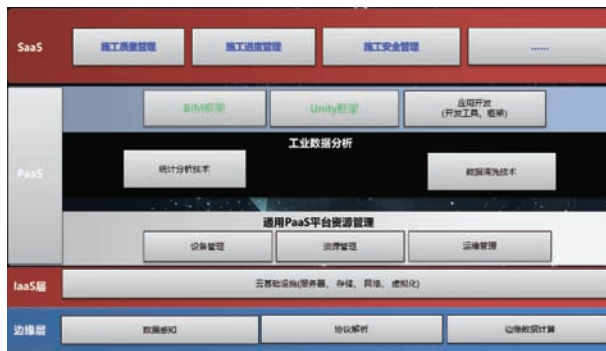


图1 秦岭输水隧洞智能化管理平台总体架构

2.2 系统数据存储与调用技术

水工隧洞施工管理中涉及大量的工程数据信息,以往传统的数据采集主要依靠人工,会间接影响数据

资源整合所发挥的效益^[6]。因此,智能化管理系统利用自动化信息采集及物联网等先进技术采集和集成数据信息,并通过系统集成处理使相关数据信息进行内部交互和形成决策闭环。而系统与子系统的内部数据信息交互,能够进一步实现数据库重新调整和资源整合,从而达到进度合理、资源均衡、成本最低^[7]。

根据施工现场智能化系统设备多、数据量大、数据类型多的特点,秦岭输水隧洞智能化管理系统数据库按照实时、历史、统计分析三个类型数据库设计。实时数据库主要功能是实现快速更新数据和实时处理;历史数据库主要功能是按照临时和永久信息分别实现临时存储和永久备份存储;统计分析数据库主要功能是存储由智能化管理系统自动统计、分析产生的报表及数据。

系统数据信息按照工程管理级别的不同,以内部使用、外部引用的模式设计访问和调用权限,使在工程现场采集的大量数据信息能够实时为不同管理层级访问和调用。同时利用接口编程技术和数据调用统一标准实现系统和子系统之间的高度一致性和协作性,使各级用户都可简易操作和调用,保持一致的数据信息。

3 隧洞施工智能化管理系统的应用分析

3.1 在水工隧洞动态设计中的应用

动态化设计是隧洞施工智能化管理系统的首要环节,是在隧洞 BIM 模型建立及隧洞施工过程中各种信息实时反馈的基础上,通过实时设计决策选取或设计相应设计方案。

3.1.1 隧洞 BIM 模型建立

BIM 是由充足信息构成,并可由计算机应用程序直接解释的建筑或建筑工程信息模型^[8,9]。在隧洞工程实施前,基于 BIM 三维施工模拟技术,通过隧洞地质勘察资料,构建隧洞断面数学模型和隧洞地质模块,搭建“隧洞地质信息与三维模型”融合的精细化三维实体隧洞模型,形成立体三维信息环境。隧洞三维模型采用真实场景技术对地面地理信息、高程、地物、不良地质、环境敏感区等控制性因素进行全要素表达,通过基于立体视觉原理建立的大范围无缝立体模型,对

岩层分布情况、地质年代、岩石物理属性及不同段落的主要勘察、设计信息进行查询,使设计人员能够身临其境地进行工程动态设计,三维隧道模型内部见图 2。

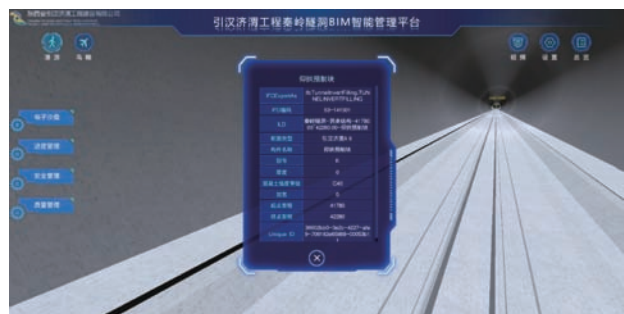


图 2 三维隧道模型内部

在施工过程中,根据超前地质预报信息,工程现场监控量测信息反馈可进一步完善 BIM 模型,同时通过系统统一的数据标准,可使 BIM 模型信息在设计、施工等阶段进行无障碍信息传递^[10]。

3.1.2 动态设计应用

设计单位将根据地质勘察报告针对不同种类围岩、不同施工环境采取不同的支护设计,将相应设计方案以报告信息的形式录入隧洞智能化施工管理系统,形成设计预案。在施工过程中,根据系统的超前地质预报信息、现场监控监测反馈信息数据分析报表,设计人员针对不同情况调用相应设计预案,经确认后通过系统权限提交建设、施工、监理;同时考虑特殊情况下可人工录入相应的设计方案,及时解决问题,在后续出现类似情况时,能及时调用相应设计方案应对,保证设计工作的动态化、科学化。

在进行动态设计的同时,参建各方可通过系统平台随时掌握隧洞工程在施工过程中出现的工程变更、特殊情况处理等信息,增强了设计、施工联动;还可在三维立体模型中以直观的方式观察地质变化、设计修改等内容,有效提升了工程管理效率,并保证了信息迅速传递。

3.2 在施工进度中的应用

水工隧洞施工是一个复杂的系统工程,不可预见性因素较多^[11],由于岩爆、塌方、突涌水等原因往往导致不能按照预期目标完成施工任务,因此必须在施工



过程中对施工进度进行实时监测、分析,针对性地整合资源和采取纠偏措施保证施工进度。秦岭输水隧洞施工智能化管理系统按照日进行进度数据采集和录入,并通过隧洞三维模型直观展示实时工程形象面貌;同时系统通过与标段施工计划、总体施工计划对比分析,以及动态换算预期完成时间,量化分析形成横道图,直观展示施工进度报告(见图3)。



图3 施工进度报告

进度数据通过TBM设备参数采集以及日报录入。采集的数据包括TBM推进速度、刀盘转速、扭矩等主要参数,通过参数整理、分析,可以实时反映掘进速度;同时设计单位可以利用由设备参数与设计参数对比分析产生的报表,进一步优化设计方案。日报录入主要针对水工隧洞施工的3个基本施工工序(开挖、衬砌和灌浆)进行数据录入,现场施工人员通过施工智能化管理系统手机端上传工程日进度实际形象面貌情况和图片,形成数字报表。

在施工过程中,系统持续观测项目,监督关键线路的执行情况,若发现实际进度与计划进度不符,监理通过系统平台及时下达纠偏指令,施工单位采取调整措施后,将相应人、材、机的调整计划上传系统报监理、建设单位复核和确认,形成闭环的进度动态管理,从而有效管控进度,及时进行进度分析和纠偏处理。

3.3 在施工安全管理中的应用

施工智能化管理系统在施工安全管理方面有别于传统的管理模式,从施工风险管控、长距离通信、人员安全等方面着手,运用物联网技术、计算机技术搭建安全管理模块,通过视频传输设备、各类传感器和监测设

备等仪器设备的信息自动采集,以及系统经过科学算法的自动安全性判断与风险识别进行预警和管控,如对施工前方存在的断层、岩爆、突涌水、高温、有害气体等风险因素进行预警,提示施工、监理、建设管理人员按照设计措施提前做好风险防控准备。

隧洞施工过程中,超前地质预报是必不可少的一环,是隧洞施工预判风险的重要依据。施工智能化管理系统依据地质勘探报告、风险评估报告形成风险识别参数化模型,与施工过程中自动采集的包括微震监测在内的超前地质预报信息,进行数据量化后的对比分析、判断,形成风险提示报告,特别是针对岩爆危害,智能化管理系统平台能够依据超前地质预报信息通过风险范围、能量区间、岩爆风险等级等关键参数,自动给出风险应对预案,同时系统将风险预报结果关联到隧洞三维模型,直观展示断裂、岩爆、变形等不同类型风险点在隧洞中的分布情况(见图4),从而实现实时风险管控目的。

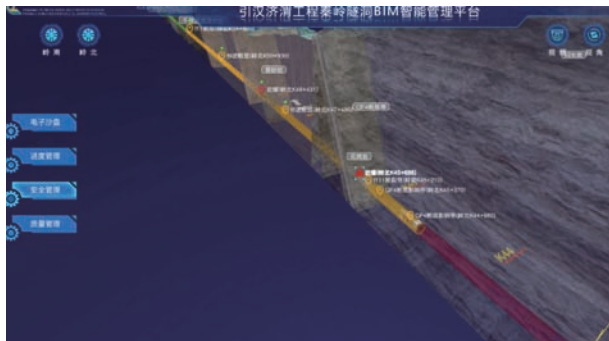


图4 风险预警

由于隧洞埋深大,施工距离长,施工过程中不可预见的地质灾害较多,智能化管理系统采用长距离通信技术和人员定位技术实时监控现场,能够通过计算机终端和手机端实时观察现场情况,在确保能够及时应对紧急情况的同时,大大提高了工程管理效率,降低了施工风险。

3.4 在施工质量管理中的应用

智能化管理系统将设计参数、质量信息在三维隧洞模型中进行直观对比显示,同时按照不同工序将工程单元、分部、单位质量情况以报表形式呈现,使工程数字化管理常态化,据此参建各方可以实时联动,全方

位跟进工程质量管控。在隧洞三维漫游状态下,能够通过点击构件查看不同里程段支护结构设计信息,方便施工管理人员现场核对结构是否满足设计要求。

施工过程中,现场质量、安全管理人员可通过与设计信息对比,将检查中发现的质量信息,通过系统手机端提交上传,由相应负责人确认处理措施和期限后,通过系统平台下发指令至施工负责人落实整改,完成整改后上传信息,由相应负责人验收确认,达到闭环管理,大幅提高了现场质量安全管理信息传递效率。

3.5 应用效果

3.5.1 突破了传统施工管理模式,实现了智能化和动态化管理的结合

智能化管理系统充分运用云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等信息技术,使隧洞施工动态化、可视化,实现了工程施工动态设计和动态管理,大幅提高了管理的规范化程度和管理水平,为工程建设精细化管理奠定了基础。与传统管理相比,智能化管理已完成了定性管理向定量管理、静态管理向动态管理转变。

3.5.2 大幅提升了管理效率和安全管理水平,实现了实时信息共享

智能化管理系统实现了隧洞工况的动态精准监控,以及对工程施工技术、安全、质量、进度等方面的实时、动态、精准诊断分析和预警预测,通过系统平台实时联动设计、施工、监理、建设单位,在提升管理效率的同时,实现了全方位信息共享。在安全管理方面,系统实现了可视化风险管理,特别是在遭遇突发事件情况下,能够自动生成应急处置方案,大幅提高了参建各方应对重大危机的智能化管理水平。

3.5.3 为后续运维智能化管理奠定了基础

智能化系统基于 BIM 三维施工模拟技术搭建的精细化三维实体隧洞模型,为后期运行管理智能化奠定了基础,更为实现工程全生命周期数字化管理积累了宝贵经验,提供了施工智能化管理向运行智能化管理转变的可能。

4 结语和展望

水工隧洞施工智能化管理系统集成应用云计算、

大数据、物联网、移动互联、人工智能等技术,在施工智能化管理方面取得了一定的突破,实现了在复杂施工环境下的智能化管理,并通过智能化系统实现了动态化设计和动态化管理,弥补了传统水工隧洞施工管理模式不足,是在水工隧洞传统施工管理模式基础上的突破和发展。

在科学技术和工程建设技术不断发展的社会大背景下,智能化技术应用越发成熟,要求也在不断提升,针对长距离输水隧洞工程施工智能化管理,需要不断地积极地引进社会上先进的智能化管理方法和技术,与工程的项目管理技术进行深度融合,在精细化管理方向不断发展,如通过二维码标识衬砌管片进行质量管控等。深入研究和丰富水工施工智能化管理内容,将对长距离输水隧洞工程信息化和智能化水平的提升起到更大的促进作用。◆

参考文献

- [1] 王岚,谷金钰.水利信息化发展综述[J].水利建设与管理,2018,38(10):33-36.
- [2] 刘辉,方国材.水利行业信息化现状与发展概述[J].水利建设与管理,2021,41(8):81-84.
- [3] 朱学辉.高风险隧道施工安全预警管理系统研制与应用[J].铁路技术创新,2015(5):82-85.
- [4] 周建长.公路施工智能化管理应用探讨[J].四川水泥,2019(5):52-53.
- [5] 李文春.探讨 BIM 技术在水利水电工程建设中的应用[J].水利建设与管理,2018,38(10):37-40.
- [6] 王来印.信息化在水利工程施工管理中的应用[J].水利建设与管理,2020,40(10):63-66.
- [7] 倪祥祥,秦拥军,朱丽玲,等.基于 BIM 的智能化工管理系统研究[J].城市住宅,2020,27(10):216-218.
- [8] 陈钊,赵梦玲.BIM 技术在移动式防洪墙施工质量控制中的应用[J].水利建设与管理,2021,41(2):27-32.
- [9] 王天兴,张继勋,任旭华,等.基于 BIM 技术的水工隧洞施工进度仿真研究[J].长江科学院院报,2020,37(11):149-155.
- [10] 林旭,王丽,郭瑞.BIM 技术在水利 EPC 总承包项目中应用初探[J].水利建设与管理,2020,40(8):51-57,47.
- [11] 甘培生.隧道施工与安全智能管理系统应用研究[D].西安:长安大学,2012:123-160.



系统过电压治理技术应用研究

朱志伟 戚 猛

(南水北调中线信息科技有限公司,北京 100038)

【摘 要】 南水北调供电工程辐射半径大,是保障渠道沿线设备安全用电的必要支撑,故其供配电系统的安全稳定运行至关重要。本文针对南水北调中线唐河中心站供电段存在的系统过电压现象展开了分析研究,通过建立设备预知供电管理模式、制定合理的供电质量管理方案及引进建设专用降压站等措施,不仅解决了系统过电压问题,同时也提高了工程供电质量管理水平。结果表明,专用降压站的应用成功解决了唐河中心站供电段系统过电压问题,形成的治理技术模式对南水北调的电力安全运行管理起到了积极的促进作用。

【关键词】 系统过电压;专用降压站;供电质量管理;南水北调

中图分类号:TV52

文献标志码:A

文章编号:2097-0528(2022)07-018-03

Research on application of system overvoltage control technology

ZHU Zhiwei, QI Meng

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

Abstract: The South-to-North water diversion power supply project has a wide radiation range. It is regarded as the necessary support to ensure the safe power consumption of equipment along the channel. The safe and stable operation of its power supply and distribution system is very important. The system overvoltage phenomenon on the power supply section of Tanghe central station in South-to-North Water Diversion middle route is analyzed in the paper. The system overvoltage problem is solved on the one hand. The project power supply quality management level is improved by establishing the equipment predictive power supply management mode, formulating a reasonable power supply quality management scheme, introducing the construction of special step-down station, etc. The results show that the application of the special step-down station has successfully solved the problem of system overvoltage in the power supply section of Tanghe central station. The treatment technology mode has played a positive role in promoting the safe operation and management of South-to-North Water Diversion Project.

Keywords: system overvoltage; dedicated step-down station; power supply quality management; South-to-North Water Diversion

1 研究背景

以供电电压为重要衡量指标的供电质量稳定性不

仅是信息机电设备正常运行的重要保障,也是保证施工、运维等作业人员生命安全的重要基础,对南水北调沿线日常安全生产作业的重要性不言而喻^[1-2]。截至

收稿日期:2021-09-13

作者简介:朱志伟(1980—),男,高级工程师,主要从事供配电系统运行管理工作。

目前,南水北调沿线的供电质量安全完全符合甚至高于国家相关标准,对于同类工程具有较高的借鉴及参考意义,但由于个别降压变电站距离上级站较近,导致供电段内出现了系统电压超过额定设计值的情况^[3]。系统长期处于过电压状态,容易造成变电站供电范围内的信息机电设备带病运行,轻则导致设备绝缘下降、寿命受损,重则将导致设备损坏^[4]。

本文对当前南水北调中线唐河中心站供电段存在的系统过电压现象进行了分析研究,重点讨论了系统过电压治理技术的应用,以推动南水北调中线唐河中心站供电段安全供电管理技术改良工作稳步前进,同时为南水北调沿线供配电系统过电压问题治理提供了一定的参考依据。

2 研究项目概况

2.1 供电现状

南水北调中线唐河中心站位于河北省定州市境内,供电段下设 37 座降压站,供电跨度达 110km,电源引自唐县拔茹 AC110kV 变电站,系统预设额定线电压为 AC35kV。由于唐河中心站位于供电线路初端,导致实际电源电压高达 38.5kV,超过额定值 10%。

2.2 系统过电压存在的安全隐患

唐河中心站供电段降压变电站用电负荷数量较多,长期的系统过电压将对其供配电系统、辖区用电设备造成极大的危害,严重影响设备安全运行,具体表现在以下几个方面^[5]:

- a. 加速供电段内降压站电气及信息机电设备绝缘老化速度,降低设备使用寿命。
- b. 易导致站内直流屏设备故障,从而影响电气系统正常操作。
- c. 增大站内二次设备采样误动概率,同时增加微机保护装置相关电压保护定值设定区间的复杂度。
- d. 导致设备故障率增高,间接增加运维人员工作量及运维成本。

3 系统过电压治理技术

3.1 创新管理措施

为提高南水北调中线唐河中心站供电段供电管理

水平,同时较好地解决唐河中心站供电段系统过电压问题,经研究讨论后,决定从以下几个方面进行供电质量创新管理措施改进。

3.1.1 建立设备预知供电管理模式

以提高电能质量及供电安全为目的的传统管理措施多采用定期维保或事后报修模式,属于被动式供电管理措施,故引进国际先进供电管理方法,创新性地从定期维保转变为预知供电管理模式,有效地降低了设备故障率、减少了设备维修成本^[6]。

3.1.2 制定合理供电质量管理方案,建立科学管理制度

唐河中心站供电段降压站改造项目建立了科学的供电管理制度及项目管理制度,通过组建工作管理小组,负责人直接协调调动各个部门,将日常工作层层分配,实现了工作内容的精细化管理,提高了中心开关站供电运行管理的可靠性^[7]。

3.1.3 开展唐河中心站供电段降压站改造

通过采用预装式箱式变电站改造措施,将电源引入 KYN61 高压开关柜,创新性地配置 SCB13-38.5/35kV-3150kVA 特种变压器,实现了降压和稳压的目的。该特种变压器电压变比属国内首例,采用干式变压器结构,避免了漏油风险,设计使用寿命长达 30 年,具有体积小、结构紧凑、投产迅速、经济效益高等优点。

3.2 特种变压器参数设计

根据唐河中心站供电段系统运行需求,对 38.5kV 箱式变电站主要技术参数进行选型计算,具体如下。

3.2.1 运行条件

系统额定电压:38.5kV;
系统最高电压:40.5kV;
系统接地方式:中性点不接地系统;
系统运行频率:50Hz。

3.2.2 降压变比参数设计

降压变高压侧额定电压为 38.5kV,降压变低压侧额定电压为 35kV,故变压器变比参数为 $N = 38.5 / 35 = 1.1$ 。

3.2.3 变压器容量设计

唐河中心开关站供电段下设降压变电站 37 座,其



中,降压变电站的供电设备总需求容量为 2100kVA,过载设计容量裕度取 1.5,故降压变压器额定设计容量为 $S = 2100 \times 1.5 = 3150\text{kVA}$ 。

3.2.4 特种变压器基本参数设计及技术要求

结合现场使用条件及运行需求,变压器选用 SC10 系列、户内、空气自冷、环氧树脂绝缘型干式变压器,高压侧额定电压为 38.5kV,低压侧额定电压为 35kV,主要技术参数见表 1。

表 1 38.5kV/35kV 特种变压器主要技术参数

序号	名 称	参 数
1	设备名称	环氧树脂浇注三相干式电力变压器
2	型号	SC10
3	额定容量	3150kVA
4	频率	50Hz
5	相数	3 相
6	额定电压	38.5/35kV
7	调压分接	无励磁调压 3 × 2.5%
8	联结组别	YD11
9	阻抗电压	8%
10	噪声水平	63dB(A) (声压级)
11	空载损耗	7200W
12	负载损耗(120℃)	24500W
13	空载电流	0.5%
14	局部放电	≤10pC
15	冷却方式	AN/AF
16	绝缘水平	LI170-AC70/LI170-AC70
17	绝缘等级	H
18	使用寿命	30 年
19	轨距	1475mm

根据相关规范标准可知,变压器在规定的使用环境、运行工况及空气自冷等条件下,应能长期、连续满负荷运行,变压器线圈平均温升(电阻法测量)不超过 100℃,线圈最高温度不超过 155℃,在任何情况下,不得出现使铁芯本身、其他部件或与其相邻材料受到损害的温度^[8]。

变压器承受短路电流的能力应符合《电力变压器

第五部分:承受短路的能力》(GB1094.5—2008)^[9]中相关规定,当系统容量为无穷大时(即系统阻抗值为 0),变压器在任意分接头以及 1.05 倍额定电压条件

下,热稳定能力应能承受变压器满负荷运行时端部三相对称短路电流持续时间 2s,且线圈的平均温度最高不超过 350℃;动稳定能力应能承受端部三相对称短路动稳定电流持续时间 0.5s,且变压器各部位应无损坏、明显位移、变形及放电痕迹^[10]。

变压器线圈在短路后的最大平均温度为

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{2(\theta_0 + 235)}{\frac{101000}{J^2 t} - 1}$$

式中: θ_0 为变压器线圈起始温度,℃; J 为短路电流密度, A/mm²; t 为持续时间, s。

4 成果效益分析

通过实施预知供电管理模式,实现了工作内容的精细化管理,不仅降低了设备故障发生率,也间接减少了运维人员工作量,节约了设备维修成本。项目采用预装式变电站方案,变电站由预装式模块化结构现场拼接组合而成,降低了土建施工投资成本,同时,所选用的集成式箱式变电站具有体积小、结构紧凑、投产迅速、经济效益高等优点,内置的节能降耗型 SCB13-38.5/35kV-3150kVA 特种干式变压器变比尚属国内首例,技术先进成熟,运行稳定可靠,现场实际效果见图 1^[11]。



图 1 预装式箱式降压变电站现场效果

5 结 论

本文首先分析了唐河中心站供电段系统过电压问题产生的原因及影响,之后对供电质量管理改进措施及系统过电压治理技术进行了讨论 (下转第 12 页)

信息化监管在南水北调中线工程的应用实践

石文明 符 鹏

(中国南水北调集团中线有限公司,河南 郑州 450001)

【摘 要】 为加强对南水北调沿线工程的监管,保障工程安全平稳运行,南水北调中线工程在全线渠道上安装了一系列的“监控视频”“监测设备”等信息化设备。这些设施的应用不仅确保了工程及输水调度的安全,也强化了工程的监督管理,实现了监督管理从模糊、笼统到可见、可控、快捷的转变。

【关键词】 强监管;信息化;管理

中图分类号: TV512

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-021-04

Application practice of information-based supervision in middle route of South-to-North Water Diversion Project

SHI Wenming, FU Peng

(Middle Line of China South-to-North Water Diversion Group Co., Ltd., Zhengzhou
450001, China)

Abstract: A series of information equipment such as “monitoring video” “monitoring equipment”, etc. are installed on the whole channel of the middle route project of the South-to-North Water Diversion Project in order to strengthen the supervision of the South-to-North Water Diversion Project and ensure safe and smooth operation of the project. The application of these facilities not only ensures the safety of the project and water transport dispatching, but also strengthens the supervision and management of the project, thereby realizing the transformation from fuzzy and general supervision management to visible, controllable and fast supervision management.

Keywords: strong supervision; informatization; management

南水北调中线干线工程,是国家南水北调工程的重要组成部分,是缓解我国黄淮海平原水资源严重短缺、优化配置水资源的重大战略性基础设施,是关系到受水区河南、河北、天津、北京等省市经济社会可持续发展和子孙后代福祉的百年大计。中线总干渠特点是

规模大、渠线长、建筑物样式多、交叉建筑物多,总干渠呈南高北低之势,具有自流输水和供水的优越条件,以明渠输水方式为主,局部采用管涵过水。由于输水线路长,输水运行安全风险因素繁多,为保证工程安全平稳运行,中线建管局在持续推进“两个所有”,进一步

收稿日期: 2021-08-27

作者简介: 石文明(1981—),男,高级工程师,主要从事水利水电施工管理和稽察工作。

固化机制,推动“两个所有”向纵深发展的同时,使用信息化监管手段进一步加强了工程实体及设备设施的安全监管力度。

1 南水北调中线工程信息化系统的主要设备

1.1 闸站监控系统

闸站监控系统(见图1)是南水北调工程进行自动化调度运行的关键,系统在通信和计算机网络系统建设的基础上,采用先进成熟的计算机、自动控制和传感器技术,通过现地监测、控制等自动化设施,实现对控制性建筑物水量调度信息和运行状态的监测和控制。闸站监控系统主要的控制对象包括南水北调工程沿线的节制闸、控制闸、分水口及退水闸等输水建筑物的闸门、液压系统及卷扬启闭机等系统,监控的主要内容包括闸门状态、控制方式、闸门开度、水位、水深、流速及液压启闭机的电流、电压、油温、系统压力等运行参数,且通过系统可对历史数据进行查看。



图1 闸站监控系统

1.2 闸站视频监控系统

闸站视频监控系统(见图2)主要通过安装在输水建筑物设备间内部及园区的高清摄像头,完成对输水建筑物内设备设施及周边环境的实时监控,利用设备间的摄像头可查看柴油发电机、高低压配电设备、自动化机房、启闭机室及闸门等设备设施的工作情况,园区摄像头可对控制性建筑物降压站及分水口、退水闸周边情况进行监控,且闸站视频监控系统可进行视频回放,用于查看复核设备工作运行情况。

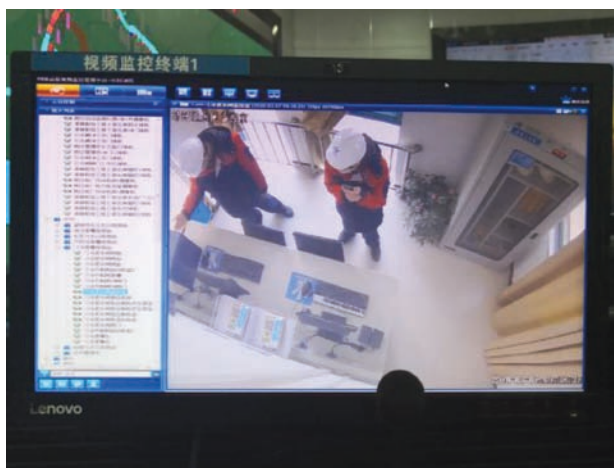


图2 闸站视频监控系统

1.3 消防远程监控系统

消防远程监控系统(见图3)结合当代最先进的火灾报警技术、信息通信及网络技术、计算机控制技术和多媒体显示技术,通过公用(单位)电话网络、局域/广域网络、无线 GPRS/CDMA 网络等多种传输方式,实时采集监控现场的各类报警信号、故障信号、图像信息,并及时可靠地将上述信息传送到远程报警检测中心的设备。

在中心可完成对联网单位的报警信息显示、电子地图操作、数据查询检索、远程音视频传送、应急预案管理、短信息订制和发送等工作。通过大屏幕、滚动屏、模拟盘等多媒体设备了解所有联网单位的状况。

1.4 安防视频监控系统

南水北调中线工程投入使用的安防系统包含智能电子围栏系统和视频监控系统。智能电子围栏利用先进的物联网技术结合监视区域的隔离网,在沿线渠道两侧及重要设施区域布设安防振动光缆,形成输水线路沿线外部入侵自动感知,经语音告警系统传导至终端,提示管理者及早发现入侵并采取措施。视频监控系统由前端视频采集、语音告警、音视频传输光纤网络、后台视频数据存储、显示控制和音视频管理等软硬件组成,在沿线平均每 500m 左右布设一个高清视频监控摄像机、扩音喇叭,形成输水线路全线覆盖的监控网络。智能电子围栏遭到外部侵入而使终端平台告警时,

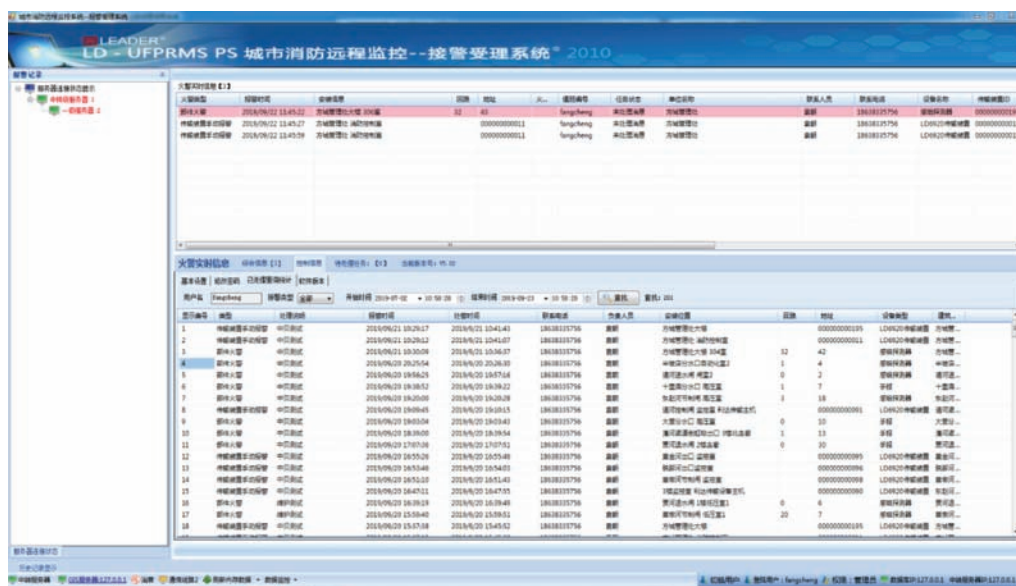


图3 消防远程监控系统接警平台

管理者通过视频监控系统可直接调取该部位视频监控或视频影像,确认外部侵入后,通过扩音喇叭喊话,阻止侵入。

1.5 工程巡查系统

南水北调中线干线工程巡查涉及信息机电、安全监测、土建绿化、水质安全、调度运行、防汛应急、安全保卫和安全生产8大类30个专业。工程巡查系统为解决信息传递慢、统计查询难、巡查维护工作不易监管等问题,研发了一套适合巡查实时监管的数字化、智能化管理系统,系统基于南水北调中线干线工程设施设备标准化、规范化制度体系,采用IT技术、移动终端APP、GIS技术、工作流引擎、机器学习等信息化手段进行开发。

系统主要功能包括人员管理、任务管理、问题管理等。运行流程可简化为:各专业巡查维护标准导入系统→绑定设施设备标准→规划巡查路线制定巡查计划→系统将巡查任务推送至执行人员→巡查发现问题→处理问题→统计分析。

1.6 安全监测自动化系统

南水北调中线干线工程安全监测自动化系统服务于中线局、分局、管理处三级用户,能为管理处用户提供管辖范围内安全监测数据采集(数据管理)、建筑物安全状态分析(数据分析)、实时状态监控、报警管理、

地图监测显示、报表报告、数据对比工具、文档资料、台账及基础信息管理等服务。

1.7 人员进出管理系统

目前南水北调中线工程沿线大门锁具正在逐步更换为物联网智能锁,配套使用的系统为人员进出管理系统,人员进出管理系统WEB端和人员进出管理系统APP配合使用。用户主要在APP端通过用户名密码登录,录入进渠道记录,然后进行开关锁的操作。WEB端主要进行对门禁的实时状态、报警记录、门禁操作记录、人员进出记录的查看,用户门禁的授权及基础信息的维护。

2 信息化系统对监管的促进作用

利用目前南水北调中线工程已投入使用的信息化设备,可对现场工程实体、设备设施、维护作业情况进行监管,信息化监管的方式主要分为两种,一种是“主动型”监管,一种是“被动型”监管。

“主动型”监管主要是工作人员利用摄像头或各类信息系统查看人员及工程设备的工作情况,例如使用闸站视频监控系统查看闸站或分水口的各类设备设施运行情况,查看值守人员是否在岗等;使用安防视频查看沿线渠道及各类建筑物进出口周边情况,查看工程设施是否完好或存在明显问题,对渠道范围内维护



作业人员及巡查人员、安保人员等的工作情况进行跟踪,查看是否在作业维护过程中存在明显的违规行为;利用工程巡查系统查看自有员工在岗情况及工作期间的工作轨迹等。利用安全监测自动化系统可对管理处管辖范围的全部建筑物和监测站的安全状态进行查看,从宏观角度对全线安全信息进行掌握。同时也对监测数据采集状态、自动化设备运行状态进行实时监控,保障监测数据采集的稳定性、可靠性。

“被动型”监管主要利用信息化设备的主动报警功能实现,例如消防远程监控系统的火灾告警主机,可以通过消防联网主机将火情信息传输至管理处中控值班室;安防综合监控系统中的智能电子围栏利用先进的物联网技术结合监视区域的隔离网布设安防振动光缆,当有外部人员试图翻越隔离网或大门时,振动光缆会将告警信息直接传输至系统终端,光缆本身出现故障时,如发生断裂等,系统均能报警提示。闸站监控系统可以监控闸站的液压设备及闸门工作状态,当闸门、液压设备出现异常时,可将报警信息通过网络传输至

中控值班室。

目前投入使用的信息化设备报警终端基本均已接入中控值班室各信息控制平台,值班室全天 24h 有人值守,对发现的告警信息及时进行确认处理,保证工程安全运行。

3 信息化与非信息化监管对比情况

随着各信息化管理系统的使用,信息化监督检查成为可能,随着科技发展、信息化管理程度的提高,信息化监督检查将会起到更重要的作用。信息化监督检查依托各信息化管理系统实现了远程监督检查,与传统监督检查相比有如下特点。

3.1 便捷、省工时

信息化监督检查方式便捷、省时、省力,可以通过远程设备全面掌握某一管理处或分局的相关运行数据和设备工作状态,而传统监督检查方式需要检查人员到每一处检查现场进行检查。信息化监督检查与传统监督检查对比见表 1。

表 1 信息化监督检查与传统监督检查对比

检查对象	传统监督检查			信息化监督检查	
	检查人员	配合人员	检查用时	检查人员	检查用时
现地管理处	检查组 2~3 人	至少 1 人配合	约 2~3 天	信息系统 1 人可操作	约 1 天

3.2 可查询、可追溯

信息化管理系统可在被查对象不知情的情况下随时对相关情况进行检查,不通知对方,具有隐藏和威慑性的特点。同时通过历史数据查询、视频回放等功能可以对相关质量缺陷、违规行为进行记录,充分利用信息化管理系统进行检查可以有效督促现场相关人员履行各自职责。

3.3 高效、预警

设备设施在运行过程中不可避免地会出现设施故障、异常等问题,如果单纯靠人工排查故障或异常情况,耗时耗力效率不高,且排查受维护人员本身专业技术水平及经验制约,如果设备故障及安全隐患长时间得不到解决,可导致其他严重后果发生。信息化监管技术的应用可以保证设备出现异常时快速预警并进行

检测,有效地对故障进行定位,可以帮助维护人员快速确定问题所在,及时进行维护。

3.4 技术水平先进、维护成本较高

信息化监督检查主要以各种信息化管理系统为依托来实施,信息化系统或平台正常运行是保证监督检查的前提,而各种信息化系统涉及的关键技术种类繁多,科技含量及技术水平先进,运行维护成本较高,系统维护均需相关专业人员定期进行,例如管理处综合机房涉及的通信、网络、闸控、消防、安防等机柜,均需专业维护人员定期巡检,保证设备运行正常。

3.5 局限性

信息化监督检查也存在一定的局限性,如对未接入闸站监控系统的电动葫芦、移动台车等设备无法查询相关数据及设备状态;视频监控存 (下转第 48 页)

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

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

【摘要】 大坝是一个复杂的灰色系统,大坝安全综合评价很大程度上依靠专家经验,带有一定的主观性。本研究针对大坝安全综合评价在指标的选择和级别的判断上具有灰色性,采用灰色关联度来确定其所属级别,同时引入信息熵理论,采用熵权法计算各评价指标所占权重,减少人为因素和主观性影响,并将熵权法和灰色关联度有机结合,建立了一种不受样本数量和规律限制的熵权灰色关联模型,避免了主观计算权重的干扰,为大坝安全评价提供了一种更加客观、符合实际的多指标综合评价方法。

【关键词】 熵权;灰色关联分析;大坝;综合评价

中图分类号: TV31

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)07-025-04

A comprehensive evaluation method of dam safety based on entropy weight and grey relational analysis

GU Yanling, YANG Yongsen

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Dam is a complex grey system. Dam safety comprehensive evaluation largely relies on the experience of experts with a certain degree of subjectivity. The selection of indicators and the judgment of grades in the comprehensive evaluation of dam safety are grey in the study, and the grey relational degree is used to determine the grades thereof. Meanwhile, the theory of information entropy is introduced, and the entropy weight method is used for calculating the weight of each evaluation index, thereby reducing the influence of human factors and subjectivity. The entropy weight method and the grey relational degree are organically combined to establish an entropy weight and grey relational model that is not limited by the number of samples and laws. The interference of subjective calculation weights is avoided. A more objective and practical method for the multi-index comprehensive evaluation is provided for dam safety evaluation.

Keywords: entropy weight; grey relational analysis; dam; comprehensive evaluation

大坝是一个复杂的灰色系统,其结构性态、变形状况、各种力学参数等都较难确定^[1]。大坝安全综合评

价在指标的选择和级别的判断上也具有灰色性,因此,可应用灰色关联度来确定其所属级别。同时,为减少

收稿日期: 2022-02-14

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和水工结构工程研究。



人为因素和主观性影响,运用熵权法确定各评价指标的权重。熵权法通过各指标蕴含的信息量大小来计算权重,属于客观赋权法。熵权法的基本思想是,指标差异程度越大越重要,其权重也越大。本文将熵权法和灰色关联度有机结合,建立基于熵权和灰色关联分析的大坝安全综合评价方法。

1 大坝安全综合评价概述

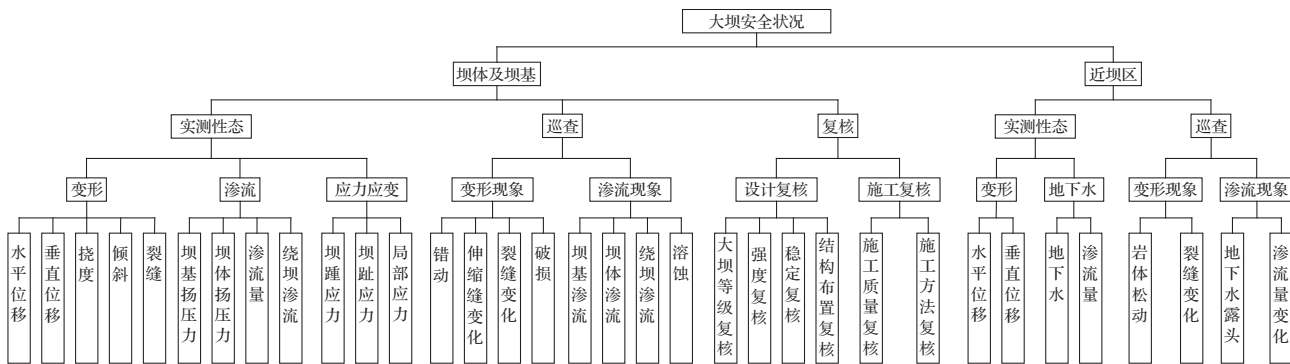
大坝安全综合评价由以下几个环节组成:一是根据大坝安全相关的各影响因素先建立一个客观合理的综合评价指标体系^[2],二是选择合适的方法对单个评价指标进行度量,三是通过主观赋权法或客观赋权法给各评价指标赋予相应的权重,四是综合各评价指标的度量结果,得到对大坝安全状况的综合评价结果。

1.1 综合评价指标体系

建立综合评价指标体系是大坝安全综合评价的基础。指标设置恰当与否,直接关系到最终评价结论是否合理可靠。因此,指标体系必须科学、客观、合理,尽可能相对全面地反映大坝安全状况各方面的重要特征和重要影响因素。

影响大坝安全的因素繁多,建立大坝安全综合评价指标体系时应综合考虑大坝结构特性、大坝安全监测类别和项目、巡查、复核等因素。从大坝结构性态角度考虑,大坝安全综合评价指标可分为坝体及坝基评价指标和近坝区评价指标。坝体及坝基的评价指标又可进一步细分为变形评价指标、渗流评价指标和应力应变评价指标等。从监测类别和监测项目角度考虑,可分为变形监测、渗流监测、应力应变监测等。变形监测又可细分为水平位移监测、垂直位移监测、挠度监测、倾斜监测和裂缝监测等;渗流监测又可细分为坝基扬压力监测、坝体扬压力监测、渗流量监测、绕坝渗流监测等;应力应变监测又可细分为坝趾应力监测、坝踵应力监测、局部应力监测等。从巡查角度考虑,可分为日常巡查、年度巡查、定期检查和特种检查四种类型。巡查内容主要包括变形现象和渗流现象。从复核角度考虑,主要是设计复核和施工复核。设计复核可分为大坝等级标准复核、强度复核、稳定复核、结构布置复核等;施工复核可分为施工质量复核、施工方法复核等。

综合考虑坝体、坝基及近坝区的应力、应变、渗流等相关因素影响,建立如下的综合评价指标体系(见图1)。



1.2 评价指标度量方法

仅仅用“安全”或“不安全”来综合评价大坝安全状况概念较为模糊,不够科学,无法让人满意。为更加科学、合理地进行大坝安全综合评价,需要对大坝安全状况作出定量的评价等级划分。但是如何划分,涉及因素很多,目前还没有形成公认的统一标准。若等级数量划分过多,则等级间界限不好确定,而且计算工作

量大;若等级数量划分过少,又不利于反映大坝实际的安全状况。

本文采用较为常见的五个评价等级的划分方法,即

$$I = [I_1, I_2, I_3, I_4, I_5]$$

$$= [\text{健康}, \text{基本健康}, \text{轻度病变}, \text{重度病变}, \text{危情}]$$

(1)

采用系统工程中常用的等区间划分法来划分大坝安全评价等级。

$$I = \{I_1, I_2, I_3, I_4, I_5\}$$

$$= \{[1.0, 0.8], (0.8, 0.6], (0.6, 0.4], (0.4, 0.2], (0.2, 0]\}$$
(2)

2 灰色关联分析

灰色系统理论^[3]中,用黑表示信息未知,用白表示信息可知,用灰表示部分信息可知、部分信息未知。针对大坝安全评价的灰色性和不确定性,采用灰色关联分析方法。灰色关联分析^[4-6]是以部分信息可知、部分信息未知的不确定性系统为研究对象,通过对已知信息的分析计算,推演出不确定性系统的规律。通过定量刻画系统内部主要因素之间的相关程度,对系统内部事物之间的状态进行量化比较分析。

2.1 确定分析序列

将大坝各个坝段的集合记为 A : $A = \{\text{坝段 } 1, \text{坝段 } 2, \dots, \text{坝段 } m\} = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, 将各评价指标(变形、渗流、应力应变等)的集合记为 I : $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ 。坝段 A_i 对评价指标 I_j 的属性值为 $X_{ij} (i = [1, m]; j = [1, n])$ 。

2.2 构建决策矩阵

为了更方便地进行数据处理以及更快地收敛到最优解,在评价前先进行归一化处理。采用成本型指标和效益型指标综合表示评价指标^[7-8],其中,成本型指标属性值越小越优,而效益型指标则越大越优。

将相对最佳方案的指标设为 X_{0j} , 同时满足以下条件,当指标 I_j 为成本型指标时, $X_{0j} = \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$; 当指标 I_j 为效益型指标时, $X_{0j} = \max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ 。令:

$$X'_{ij} = X_{ij}/X_{0j} (i = [0, m]; j = [1, n]) \quad (3)$$

归一化处理得到如下无量纲矩阵:

$$X'_{0j} = [1, 1, \dots, 1] \quad (4)$$

$$X'_{ij} = [X'_{i1}, X'_{i2}, \dots, X'_{in}] \quad (5)$$

坝段集合 A 对指标 I 的决策矩阵即为含有相对最佳决策方案的增广型矩阵 $X = (X_{ij})_{(m+1) \times n}$, ($i = [0,$

$m]; j = [1, n]$)。

2.3 确定关联系数

2.3.1 计算绝对差序列、两级最小差以及最大差

绝对差序列:

$$\Delta_{ij} = |X'_{ij} - X'_{0j}| \quad (6)$$

两级最小差: $\Delta(\min) = \min \min(\Delta_{ij}) (i = [0, m]; j = [1, n])$

两级最大差: $\Delta(\max) = \max \max(\Delta_{ij}) (i = [0, m]; j = [1, n])$

2.3.2 确定关联系数

关联系数表示比较数列跟标准数列在某一点上的关联性^[9],第 i 方案第 j 项指标的关联系数 ξ_{ij} 取值如下:

$$\xi_{ij} = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{\Delta_{ij} + \rho(\max)} \quad (7)$$

式中:分辨系数为 ρ , 取值范围为 0 到 1, 取经验值 0.5。

3 熵权法确定指标权重

熵权法中权重的确定主要依赖各指标传递的信息量,能够客观评价系统的真实情况^[10]。信息熵^[11]表征信息量的大小,反映系统的混乱程度,同时表征系统状态的不确定性。熵值越大,它所蕴含的信息量越小,系统某项属性的变异程度越小,相应的权重也越小,反之亦然。也就是说,当一项评价指标离散程度较强时,即该指标值相差较大,而熵值较小,则该指标提供的有效信息量较大,说明该指标较为重要,权重也应较高;反之,当某项评价指标离散程度较弱时,熵值较大,则有效信息量较小,表明该指标重要程度较差,权重也应较低。

该方法中指标权重的计算主要是依据评价指标构成的判断矩阵,各因素权重的主观性会被大大的减弱,因此,评价结果也更接近实际情况。

3.1 构建判断矩阵

构建判断矩阵 B , 其中包括 m 个方案 n 个评价指标:

$$B = (x_{ij})_{mn} (i = [0, m]; j = [1, n]) \quad (8)$$



将上式归一化处理,得到如下归一化效益型和成本型判断矩阵 R , 矩阵 R 中的元素 r_{ij} 计算公式如下:

效益型:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (9)$$

成本型:

$$r_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (10)$$

其中, x_{\max} 、 x_{\min} 分别为同一指标不同方案中最满意和不满意的方案。

3.2 确定指标熵权

评价指标的熵计算如下:

$$H_j = - \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (i = [0, m]; j = [1, n]) \quad (11)$$

式中: $p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$, 当 $p_{ij} = 0$ 时, 令 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

定义了第 j 个指标的熵之后, 可得到第 j 个指标的熵权:

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (12)$$

且有 $\omega = (\omega_j)_{1 \times n}$, $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

4 综合评价

根据关联度的大小进行综合评价, 关联度 E_i 指被评价方案与标准方案两者相互接近的程度, 由下式表示:

$$E_i = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 & \cdots & A_m \\ E_1 & E_2 & \cdots & E_m \end{vmatrix} \quad (13)$$

其中, $E_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \xi_{ij} \quad (i = [0, m])$ 。 E_i 越大, 关联度越高, 被评价方案越接近标准方案。进而采用关联度将不同方案优劣排序, 同时也可依据标准值的关联度划分类别。

最后根据关联度的大小, 再参照式(1)、式(2)划分的大坝健康等级确定大坝安全健康状况所属等级。

5 结语

大坝安全综合评价是一个复杂的系统问题, 影响因素较多, 涉及层次丰富, 需要综合考虑大坝施工和运行期间影响大坝安全的各种定性和定量指标, 利用系统工程和数学方法等对大坝作出全局性、整体性评价。本研究针对大坝安全综合评价在指标选择和级别判断上具有灰色性, 应用灰色关联度来确定其所属级别, 同时引入信息熵理论, 采用熵权法计算各评价指标所占权重, 进而建立了一种不受样本数量和规律限制的熵权灰色关联模型, 避免了主观计算权重的干扰, 为大坝安全评价提供了一个更加客观、符合实际的多指标综合评价方法。◆

参考文献

- [1] 李宗坤, 葛巍, 王娟, 等. 中国大坝安全与风险管理战略思考[J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 7.
- [2] 何金平, 施玉群, 吴雯娟. 大坝安全监测系统综合评价指标体系研究[J]. 水力发电学报, 2011, 30(4): 6.
- [3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [4] 龚傲龙, 普千益. 基于层次-灰色分析法的大坝开挖支护方案优选研究[J]. 林业建设, 2018(6): 61-64.
- [5] 李浩平, 卞雪, 唐傲翔, 等. 基于实例灰色关联分析的中小型水库大坝安全评价指标体系研究[J]. 水利科技, 2016(1): 156-157.
- [6] 熊德松. 灰色关联分析通用程序[J]. 长江水利教育, 1997(2): 68-70.
- [7] 潘妮, 梁川. 基于熵权的灰色关联模型在流域水质综合评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2008(4): 1-3.
- [8] 刘政, 朱国宇, 张先起, 等. 水质综合评价的基于熵权的灰色关联模型[J]. 四川环境, 2007, 26(6): 69-71.
- [9] 李秀敏, 江卫华. 相关系数与相关性度量[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(12): 5.
- [10] 杨文光, 吴云洁, 王建敏. 基于熵权法的小样本灰色置信区间估计[J]. 郑州大学学报(理学版), 2016, 48(1): 51-56.
- [11] 张继国, 辛格. 信息熵: 理论与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.

扭王字块在海堤工程堤脚防护中的运用

李连成

(盐城市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 盐城 224002)

【摘要】 近几年来,滨海县振东闸以北段主海堤抛石护脚受潮水波浪冲刷形成陡坡,严重影响主海堤安全,亟须加强堤脚防护。在水毁修复工程中堤脚防护按照坡面防护设计,根据现状波浪要素计算护脚块石重量。本文结合波浪断面物理模型试验和扭王字块现场摆放试验,确定堤脚采用 600kg 扭王字块结合 250kg 抛石的防护型式。实践证明该防护方案是可行有效的,且单层扭王字块双向嵌固安装整体稳定性优于单向嵌固型式,可为类似海堤工程提供参考。

【关键词】 扭王字块;堤脚防护;抛置密度;安装方式

中图分类号: TV871.3

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-029-05

Application of accoropode in embankment foot protection in seawall project

LI Liancheng

(Yancheng Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Yancheng 224002, China)

Abstract: The main seawall riprap foot protection in the north section of Zhendong Gate in Binhai County forms a steep slope by tidal wave erosion in recent years, thereby seriously affecting the safety of main seawall. It is urgent to strengthen the embankment foot protection. The weight of the embankment block stone is calculated according to current wave elements in the flood damage repair project according to the slope protection design. The physical model test of wave section and field placement test of accoropode are combined in the paper to determine the protection model of 600kg accoropode combined with 250kg riprap. The practice proves that the protection scheme is feasible and effective, and the overall stability of bidirectional embedment installation of single-layer accoropode is better than that of unidirectional embedment, thereby providing reference for similar seawall projects.

Keywords: accoropode; embankment foot protection; drop density; installation mode

扭王字块体是沿海工程中常用的预制混凝土块体,在盐城境内水利工程中常用于主海堤坡面防护、堤脚压护、抛石丁坝及抛石顺坝压护,单体重量 0.4~2t 不等。自海堤达标工程建设至今,采用 400kg 扭王字块对滩面设计高程较低堤段以及节点堤段的主海堤坡脚进行压护。随着堤前滩面蚀降加剧,400kg 扭王字

块已不能满足堤脚防护工程安全运行的需要。滨海县振东闸以北段海堤位于陶湾岳堆至振东闸之间,主海堤水毁情况严重。在该段海堤水毁修复工程中,运用 600kg 扭王字块双向嵌固安装对堤脚加强防护。结合扭王字块现场摆放试验,确定了 600kg 扭王字块双向嵌固安装方式下的抛置密度,减少了工程设计时扭王

收稿日期: 2021-09-15

作者简介: 李连成(1986—),男,工程师,主要从事水利工程规划设计工作。

字块工程量计算的偏差。通过波浪断面物理模型试验验证了防护效果,可为其他海堤工程中扭王字块设计提供参考。

1 现状情况及方案分析

堤前滩面刷深加剧是滨海县振东闸以北段海堤水毁的重要原因之一(工程处滩面变化情况见图1)。因

滩面持续蚀降,原主海堤坡脚位置近似前移,滩面近似刷深成缓坡。堤脚外70m为管桩顺坝,按照传统设计思路,采用抛石将堤脚前滩面恢复至设计高程,保滩修复工程与海堤修复工程共同实施,解决滩面蚀降的问题。但是工程投资巨大,且不科学不经济。本次为海堤水毁修复工程,保堤必须保脚,故本次工程对现状堤脚顺坡加强防护,减少堤脚处滩面蚀降,确保主海堤的安全。

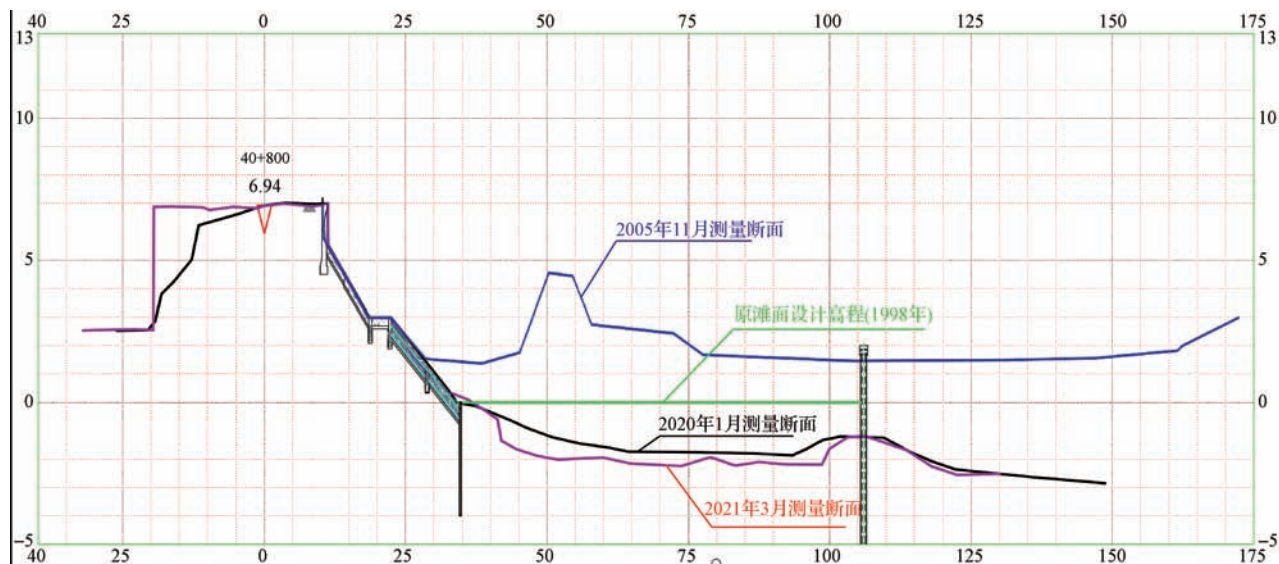


图1 滩面蚀降情况测量对比(单位:m)

滨海海堤工程中,常用抛石对滩面进行加固,局部堤段还采用400kg扭王字块进行坡脚护滩平护。本工程堤段原主海堤防护工程中采用抛石护脚,抛石单体重量为60kg/块。随着堤前滩面刷深加剧,波浪要素增大,原规格抛石防护已不能满足工程需求,且块石体积小,易经波浪作用带到堤上,撞击坡面,形成主海堤坡面水毁,造成严重安全隐患。故本次修复工程设计坡脚防护拟采用扭王字块结合抛石的综合型式。扭王字块护脚,不仅可以加强护脚防护效果,其空隙消浪效果强于抛石防护,而且可以隔断抛石护滩与主海堤防护,减少小抛石上岸冲毁主海堤护坡的风险。同时,该地区附近无块石码头,工程抛石需通过陆运至施工场地,采用扭王字块代替部分抛石,不仅可以减少抛石采购数量,缩短工期,而且施工质量得到保证,海堤防护效果明显。

2 护脚防护设计

根据滩面刷深情况,设计护脚防护长度20m。初拟方案堤前护脚紧密布置五排扭王字块,其余采用抛石防护,抛石厚度不小于1m。

2.1 扭王字块设计

本次护脚防护块体单体重分2种工况分别计算:①作为护底块石根据堤前最大波浪底流速确定;②考虑堤前滩面刷降成陡坡按护坡防护进行计算。

计算公式均依据《海堤工程设计规范》(GB/T 5105—2014)。

2.1.1 作为护底块石根据堤前最大波浪底流速确定

根据《海堤工程设计规范》(GB/T 5105—2014)附录J,J.0.7条,斜坡堤前最大波浪底流速按下式计算:

$$V_{\max} = \frac{\pi H}{\sqrt{\pi Lsh(4\pi d/L)/g}}$$

式中: V_{\max} 为斜坡堤前最大波浪底流速,m/s; H 为设计

波高, m , 计算取用 $H = 3.82m$; L 为计算波长, m , 计算取用 $L = 20m$; g 为重力加速度, 取 $9.81m/s^2$; d 为堤前水深, m , 考虑滩面刷深至 $-2.0m$, $d = 5.45m$ 。

计算得, $V_{\max} = 1.211 \text{ m/s}$, 查表 J. 0. 7, 对应的块石重量不大于 60kg。

2.1.2 考虑堤前滩面刷降成陡坡按护坡防护进行计算

该工况下防护块体单体重量按下式计算:

$$Q = 0.1 \frac{\gamma_b H^3}{K_D (\gamma_b/\gamma - 1)^3 m}$$

式中: Q 为单个扭王字块质量, t ; γ_b 为预制扭王字块的重度, kN/m^3 , 取 $\gamma_b = 24 \text{ kN/m}^3$; γ 为水的重度, kN/m^3 , 取 $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$; H 为设计波高, 3.82 m ; m 为斜坡坡率, 取 5 (考虑堤前滩面刷深, 坡面变陡); K_D 为稳定系数, 取 18。计算得, $Q = 0.54 t$ 。

由两种工况计算结果可知,堤脚前滩面刷深成较陡坡面,海堤堤脚近似前移,坡面防护所需块体重量远大于护底块石重量。综合两种工况计算成果,设计扭王字块单体重量取 0.6t,即 600kg 扭王字块。

根据《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154—2018)附录 B,扭王字块标准尺寸有 AB 两种型号,结合滨海海堤施工经验,B 型扭王字块脱模相对困难,影响块体质量,故本次工程设计选用 A 型扭王字块。由规范表 B.0.2 可计算得 600kg 扭王字块计算高度 $h=92\text{cm}$ 。

2.2 扭王字块护面厚度复核

预制混凝土异型块体护面厚度按下式计算:

$$t = nc \left(\frac{Q}{0.1\gamma_b} \right)^{\frac{1}{3}}$$

式中: t 为扭王字块护面厚度, m; n 为扭王字块护面层数, 取 1; c 为系数, 1.3, 规则安放的块体空隙率 P' 为 40%, 计算得, $t = 0.80\text{m}$ 。

600kg 扭王字块双向嵌固摆放时高度为 $0.85\text{m} > 0.8\text{m}$, 满足设计要求。

2.3 扭王字块摆放理论计算

扭王字块安装方式有散抛和规则安放两种,其中规则安放又有多种安装型式。滨海海堤工程常用单层扭王字块进行坡面坡脚防护,单层扭王字块的安装方式有单向嵌固(三足着地)和双向嵌固(一边一足着地)两种。设计时初拟规则安放的抛置密度,具体安装型式由现场试验确定。

扭王字块个数按下式计算:

$$N = Anc(1 - P') \left(\frac{0.1\gamma_b}{O} \right)^{2/3}$$

式中: N 为扭王字块体个数; A 为垂直于厚度的护面层平均面积,取 100m^2 ; P' 为护面层的空隙率,% ,取 $P'=40\%$ 。计算得, $N=208$ 块。

2.4 海堤工程波浪断面物理模型试验

初始方案:护坡护脚前采用扭王字块压护结合抛石护滩。其中扭王字块摆 5 排,抛石范围为堤脚前 20m,抛石面高程一致采用 0.00m(废黄河零点,下同)。

海堤原修复方案考虑管桩消浪及管桩破坏工况下,120kg 及以上的护脚块石发生位移,部分块石滚动至 C35 混凝土护坡和栅栏板护坡上部,对海堤上部结构安全可能造成一定影响。

物理模型试验对初始方案进行如下优化:

a. 优化方案一将护脚块石加大至 250kg 及以上。优化方案一考虑管桩消浪工况,有块石作用至扭王字块体顶部,无块石作用至栅栏板护面,海堤各部位均满足波浪作用下的稳定性要求。优化方案一考虑管桩破坏工况时,有少量块石作用到栅栏板护坡上部。优化方案一海堤断面见图 2。

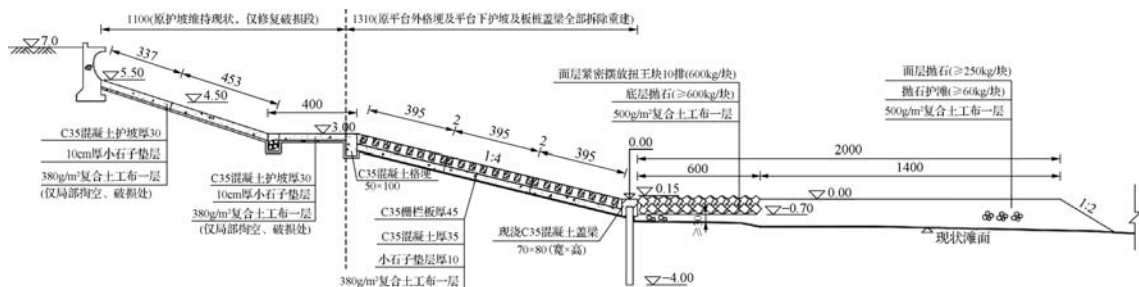


图2 优化方案一海堤断面(高程单位:m,尺寸单位:cm)

b. 优化方案二采用 250kg 及以上护脚块石,抛石段向外海以 1:10 坡度降低,保证平铺段厚度 1m,保持该顶高程平铺至扭王字块外侧 14m 位置,栅栏板下部的 35cm 厚 C35 混凝土垫层更换为 35cm 厚干砌块石垫

层。优化方案二考虑管桩消浪工况,有块石作用至扭王字块体顶部,无块石作用至栅栏板护面。优化方案二考虑管桩破坏工况时,有少量块石作用到栅栏板护坡上部。优化方案二海堤断面见图 3。

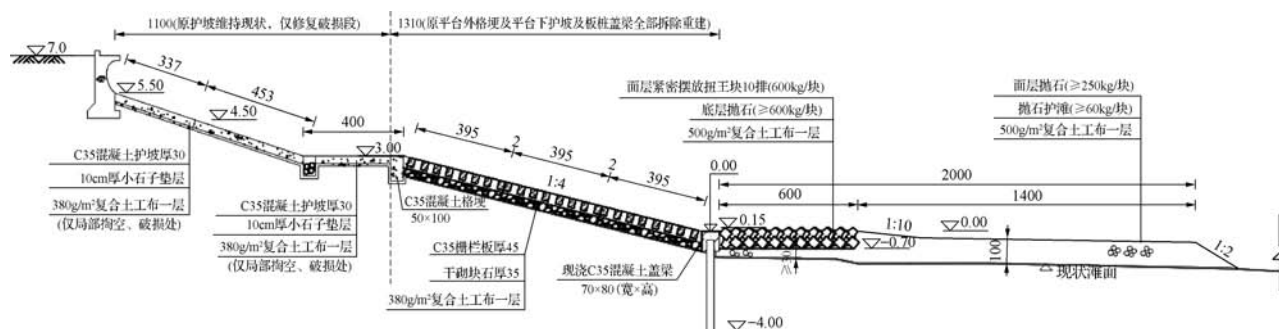


图3 优化方案二海堤断面 (高程单位:m,尺寸单位:cm)

物理模型试验结论:两种优化方案均可作为设计方案。

2.5 本工程最终设计方案

对比物理模型试验两种优化方案,防护效果相同,防护工程量优化方案二明显低于优化方案一。工程拟采用优化方案二,护脚防护总长度为 20m。波浪断面物理模型试验时,扭王字块(见图 4,白色块体)采用单向嵌固的安装方式。扭王字块的安装方式不同,直接影响扭王字块的稳定性及护脚的防护效果。扭王字块防护长度需通过扭王字块现场摆放试验确定。



图4 波浪断面物理模型试验中扭王字块

3 扭王字块现场摆放试验

盐城滨海地区扭王字块安装常用单向嵌固(三足着地)和双向嵌固(一边一足着地)两种方式。从已实施的工程效果来看,单向嵌固方式安装简单,但是扭王字块块体之间只受单方向的约束,一个扭王字块失稳

后容易使整排扭王字块发生滑移;双向嵌固安装较复杂,需横竖两个方向错位安装,有一定的嵌固深度,达到双向嵌固的效果,整体性优于单向嵌固安装方式。

根据初步设计批复及模型试验要求,工程堤脚前需紧密摆放扭王字块五排。施工单位根据设计要求,分别摆出单向嵌固和双向嵌固这两种安装形式。

a. 单向嵌固:三足着地,五排总长度 3.10m,单排宽度 0.92m,考虑排与排间距 0.02m,计算得每百平方抛置密度为 170 块。计算得单向嵌固安装方式下的扭王字块块体空隙率约为 50.96%。单向嵌固摆放见图 5。



图5 扭王字块三足着地单向嵌固现场摆放

b. 双向嵌固:一足一边着地,双向嵌固摆放见图 6~图 8。五排总长度 4.50m,单排宽度 0.92m,现场测量实际嵌入深度约 0.30m,每百平方米抛置密度为 178 块。双向嵌固安装方式下的扭王字块块体空隙率

约为 48.65%。



图6 扭王字块一边一足着地双向嵌固现场摆放图(正面)



图7 扭王字块一边一足着地双向嵌固现场摆放图(侧面)



图8 扭王字块一边一足着地双向嵌固现场摆放图(背面)

考虑护脚防护控制扭王字块为紧密布置五排,每百米海堤长度下,双向嵌固防护范围($4.50\text{m} \times 100\text{m} = 450\text{m}^2$)大于单向嵌固($3.10\text{m} \times 100\text{m} = 310\text{m}^2$),防护面积大,且扭王字块整体稳定性好;双向嵌固方式需扭王字块 801 块,单向嵌固方式需扭王字块 527 块,双向嵌固的总投资略高,但可以减少纯抛石防护范围(长度相应减少 1.40m,即 140m^2),减少抛石防护工程量。因该地区施工时块石采购困难,影响施工进度,适当增加扭王字块防护范围减少块石防护,可缩短工程工期,及早发挥工程效益。

故工程护脚防护采用模型试验中优化方案二,其中扭王字块防护范围 4.50m,其余 15.50m 采用抛石进行防护。扭王字块安装采用双向嵌固的方式,工程施

工时受潮汐以及底层抛石面平整度影响,安装条件更为苛刻,确定 600kg 扭王字块抛置密度为每百平方不小于 175 块。扭王字块护脚施工安装见图 9。



图9 扭王字块双向嵌固安装施工

4 结 语

盐城地区海堤工程一直秉承“保堤必须保脚,保脚必须保滩”的设计理念。此次水毁修复工程除修复主海堤防护外,着重加强了堤脚防护。该段主海堤原护脚平护的型式已经不能满足现状坡脚滩面蚀降后形成坡面防护的要求。

工程采用 600kg 扭王字块结合抛石对堤脚进行防护,其效果明显优于纯抛石的防护型式。通过波浪断面物理模型试验,验证了该防护方案是切实可行有效的。海堤护脚防护只能减缓堤脚前 20m 范围滩面蚀降速度,保脚必须保滩,因此要采取工程措施以减少管桩顺坝至堤脚间滩面蚀降。建议加强滩面蚀降监测,尽早实施有效的保滩措施,减小波浪水深,确保主海堤的安全。◆

参考文献

- [1] 王晓虎,于雷.扭王字块压护在海堤水毁修复工程实施效果分析[J].江苏水利,2020(11):32-34.
- [2] 钟雄华,陈国平,严士常,等.不同摆放方式扭王字块体稳定性研究[J].水道港口,2016,37(5):479-483.
- [3] 吴乔,赵瑞东,邓涛.扭王字块随机安放细则[J].水运工程,2019(2):170-176.
- [4] 刘胜强.对赣榆县海堤工程管理的思考[J].水利建设与管理,2011,31(5):30-31.

(下转第 42 页)



堆石混凝土技术适用性评价研究

郑文勇

(福建省水利投资开发集团有限公司,福建 福州 350011)

【摘要】 堆石混凝土技术在工程中的运用,主要依靠工程经验进行评价,缺乏定量分析。本文通过采用基于层次分析法的模糊综合评价法对其适用性进行量化评价,构建了评价体系的专家系统,遴选了3个层次的25个评价指标,并给出了各层次评价指标的权重值,实现了从定性评价到定量评价的突破。此外,通过建立基于BP神经网络算法的指标权重优化系统,实现了指标权重体系的优化调整和信息反馈学习。

【关键词】 堆石混凝土;适用性评价;模糊综合评价法;层次分析法;评价指标

中图分类号:TV642.3+1

文献标志码:B

文章编号:2097-0528(2022)07-034-09

Applicability evaluation study of rock-filled concrete technology

ZHENG Wenyong

(Fujian Water Investment and Development Group Co., Ltd., Fuzhou 350011, China)

Abstract: The application of rock-filled concrete technology in projects mainly depends on project experience without quantitative analysis in the previous studies. The applicability is quantitatively evaluated by using the fuzzy comprehensive evaluation method based on the analytic hierarchy process in the paper. The expert system of the evaluation system is established. Twenty-five evaluation indicators at 3 levels are selected. The weight values of evaluation indicators at each level are also given. The breakthrough from qualitative evaluation to quantitative evaluation is realized. In addition, the optimization adjustment and information feedback learning of the indicator weight system are realized through establishing the index weight optimization system based on BP neural network algorithm.

Keywords: rock-filled concrete; applicability evaluation; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process; evaluation index

1 引言

堆石混凝土技术在近些年来得到了广泛的应用。在工程实践中,堆石混凝土依靠自身独特的施工工艺,在水泥用量、水化热、密实度与强度保证率、结构稳定性、施工速度、节能环保等方面相对传统混凝土有较大优势^[1-4]。堆石混凝土技术基础理论的研究随着工

程应用在不断发展,已经在抗压、抗拉、抗裂、抗剪、抗渗、抗冻、绝热温升等宏观性能试验方面取得了丰富的研究成果^[5-9]。堆石混凝土技术相比其他混凝土技术的特性明显,例如无须振捣,机械化程度高,工期短,成本低^[10-16]。堆石混凝土在我国境内已经有诸多实施案例,累积了大量的现场经验。例如,围滩水电站坝型原设计为浆砌石重力坝,由溢流坝段、非溢流坝段及冲沙

收稿日期:2021-08-16

作者简介:郑文勇(1971—),男,高级工程师,长期从事水利水电工程技术管理工作。

闸段组成,结合本工程材料价格情况,经分析,采用堆石混凝土方案相比原方案成本增加很少,但可以大大加快施工进度,并保证工程质量,因此堆石混凝土技术开始在围滩水电站应用。堆石混凝土技术在围滩水电站的使用,大大减少了人工施工带来的质量隐患,保证了施工进度与质量。原来计划近百人的施工队伍精简到20多人,施工速度反而提高了4倍。作为一种新型的混凝土筑坝技术,相比传统混凝土技术,一方面特征优势明显,另一方面对外部因素影响更敏感,诸如地形地质、地材供应、环境气候等因素^[14-20]。经过十余年的发展,堆石混凝土技术已经有了长足的发展,应用领域也在不断地扩大,但是堆石混凝土构筑物及产业链仍然处于初始阶段,并且缺乏一套科学、适用的标准体系,无法支撑堆石混凝土技术生产体系及产业链运作。目前,我国对堆石混凝土技术适用性分析评价方面的研究较少,缺乏一套科学、适用的评价体系,难以科学地指导生产实践。

工程实践中,对堆石混凝土技术方案选择和建设的评价,往往只能依靠工程经验来定性分析评价,无法按理论计算来定量分析评价。现实情况既给工程技术人员造成了技术分析评价的困扰,也不利于堆石混凝土技术的工业化推广运用。因此,在工程建设实践中需要研究创新一套科学合理的堆石混凝土技术适用性评价体系,实现从经验定性分析提升到数据定量分析的突破。

综上,堆石混凝土技术的适用性评价体系完备与否,不仅直接对工程的质量、安全、节能环保等方面有影响,还会影响工程的投资效益、施工效率以及社会效益等。堆石混凝土技术适用性评价体系的建立及其专家系统的构建是当前亟待研究的问题,因此,本文以堆石混凝土技术为研究对象,对其适用性评价体系进行研究,并给出能够评判其适用程度的专家系统,该专家系统可以对今后的项目实施提供定量的评判,并结合项目最终的实施结果进行不断的反馈和完善。

2 堆石混凝土技术适用性评价研究思路

为将堆石混凝土技术适用性评价由传统经验定性

评价升级为理论计算定量评价,拟采用基于层次分析法的模糊综合评价法等数学方法对堆石混凝土技术适用性进行量化评价,评价指标根据工程积累经验,通过综合调研分析统计获取,再通过建立BP神经网络数据模型进行智能优化,从而实现量化评价和信息反馈。

2.1 通过数学方法进行模糊评价

针对工程实践中对堆石混凝土技术适用性难以定量分析评价的现状,将基于层次分析法的模糊综合评价法应用于堆石混凝土技术适用性的量化评判,构建堆石混凝土技术适用性评价体系的专家系统,给出堆石混凝土技术的定量评判值。应用模糊关系合成,从多个因素对评价对象隶属等级状况进行综合评价。

2.2 通过实践经验确定评价指标

根据工程经验,采用调研、座谈、问卷调查等形式,与设计、监理、施工及高校相关的专业技术人员沟通交流后遴选确定评价指标。并以模糊数学、模糊线性变换原理和最大隶属度原则为基础,对影响评价体系的各个评价指标因素进行优劣、等级评价,将不确定性(非量化因素)在形式上转化为确定性(量化结果)。

2.3 通过BP神经网络算法优化指标体系

针对后续工程技术的进步和发展,通过采集施工阶段和运营阶段的数据,在BP神经网络算法的框架下建立堆石混凝土技术适用性评价的大数据分析模型,根据技术进步的需要逐渐重新分配各级指标的权重,使得堆石混凝土技术的适用性评价体系更加完善。

3 适用性评价体系的评价方法

3.1 模糊综合评价法

首先确定被评价对象的因素(指标)集 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和评判(等级)集 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$;再分别确定各个因素的权重及它们的隶属度向量,获得模糊评判矩阵;最后把模糊评判矩阵与因素的权向量进行模糊运算并进行归一化,得到模糊综合评价结果。

3.2 模糊综合评价法的模型及步骤

根据评价因素的属性将评价因素分成若干级 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。确定被评价对象各评价结果集合的评



价等级。采用层次分析法,根据各个因素的重要性结合数学模型运算确定权重。对被评价对象的每个因素 u_i 进行量化,即确定从单因素来看被评价对象对各等级模糊子集的隶属度,进而得到模糊关系矩阵。利用合适的合成算子将权重集与模糊关系矩阵合成得到各被评价对象的模糊综合评价结果向量。

3.3 层次分析法确定评价因素权重步骤

a. 评价指标层次化。按照评价指标间的相互影响以及隶属关系,将指标层次的递阶由高到低分为目标层、准则层和指标层,其中上一层次指标对下一层次指标起支配作用。

b. 建立判断矩阵。找出所有因素两两比较的结果,并且把它们定量化;然后再从所有两两相对比较的结果之中求出多因素综合比较的结果。比较结果分为5种等级:相同、稍强、强、明显强、绝对强,应用1~9个数字尺度来进行定量化。

c. 层次排序以及一致性检验。同一层次指标对于上一层次某一个指标相对重要性的权重值的排序,即层次单排序。需计算一致性指标CI,进行层次单排序一致性检验。层次总排序权重可通过自上而下地将层次的排序权重合成获得,并进行一致性检验,确认层次总排序结果一致性。

4 堆石混凝土技术适用性评价体系及指标分析

4.1 堆石混凝土技术适用性评价体系

根据评价指标体系建立原则,构建堆石混凝土技术适用性评价体系,按层次分析法分为目标、准则和指标三个层。目标层为反映适用度的评价体系指标;准则层按措施准则设置了五个中间环节指标;指标层则在准则层下细分了共25个评价指标。

a. 目标层。目标层为堆石混凝土技术适用性评价体系,用以反映影响堆石混凝土技术的适用度指标。

b. 准则层。准则层包括对象、易用性、有效性、可靠性和经济性五个指标,分别用 B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 表示。

c. 指标层。指标层共包括25个评价指标,从对象

性、易用性、有效性、可靠性和经济性五个方面分别表示影响堆石混凝土技术适用性的主要因素。

①对象性指标:建筑物级别 U_1 ,结构功能 U_2 ,社会效益 U_3 ,环境评价 U_4 ;

②易用性指标:地形条件 U_5 ,施工企业等级 U_6 ,施工机械化程度 U_7 ,重要材料供应能力 U_8 ,气候条件 U_9 ,地质条件 U_{10} ;

③有效性指标:混凝土强度等级 U_{11} ,热效应 U_{12} ,干缩性能 U_{13} ,抗渗性能 U_{14} ,抗裂性能 U_{15} ,抗震性能 U_{16} ;

④可靠性指标:施工难易程度 U_{17} ,施工风险等级 U_{18} ,施工组织能力 U_{19} ,施工工期计划 U_{20} ;

⑤经济性指标:堆石骨料料场储量 U_{21} ,施工材料本地成本 U_{22} ,材料供应能力 U_{23} ,施工交通运距 U_{24} ,本地人工成本 U_{25} 。

4.2 指标权重分析

a. 准则层指标权重分析。准则层包括对象性、易用性、有效性、可靠性和经济性5个方面。通过综合分析评价,各指标的重要性排序依次为对象性、易用性、有效性、可靠性、经济性。通过计算一致性指标判断矩阵的一致性。按照层次分析法确定权重的原理,计算最大特征值的归一化特征向量,对应得到准则层中单层次各指标权重。在此基础上,对五个方面指标逐一分析,获得各指标的对应权重分布。

b. 总层次指标权重和总排序。对总体进行一致性检验,从而确认层次总排序结果的一致性。根据计算获得的准则层5个方面的权重,25个评价指标的权重,进行权重总排序,从而获得堆石混凝土适用性评价总层次各指标权重分布。

4.3 评价等级值域划分

a. 评判集的确定。工程评判集划分为 $V = \{\text{完全适用,适用,不适用}\}$ 。

b. 评价集值域的划分。按照对象性、易用性、有效性、可靠性和经济性5个方面共25个评价指标分别划分标准,确定隶属度函数和隶属函数分布。各指标的划分标准见表1~表25。

建筑物级别划分标准见表1。

表1 建筑物级别划分标准

等级	I	II	III	IV	V
取值	0.5	0.6	0.75	0.85	1

结构型式划分标准见表2。

表2 结构型式划分标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
结构型式	<0.25	0.25 ~ 0.85	>0.85
文字描述	结构型式非常复杂	结构型式较简单	结构型式简单

社会效益适用性评价标准见表3。

表3 社会效益适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
社会效益	<0.25	0.25 ~ 0.85	>0.85
文字描述	经济效益差； 社会效益差； 对当地的自然生态系统易产生严重破坏	经济效益较好； 社会效益较好； 不会对当地的自然生态系统产生严重破坏	经济效益好； 社会效益好； 不会对当地的自然生态系统产生破坏

环境评价适用性评价标准见表4。

表4 环境评价适用性评价标准

适应类别	完全适应	适 应	不 适 应
环境评价	≤100	100 ~ 300	≥300
文字描述	1m ³ 产生的CO ₂ 小于等于100kg	1m ³ 产生的CO ₂ 在100 ~ 300kg	1m ³ 产生的CO ₂ 大于300kg

地形条件适用性评价标准见表5。

表5 地形条件适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
地形条件	<0.25	0.25 ~ 0.85	>0.85
文字描述	地形条件差； 交通不便利	地形条件较好； 交通较为便利	地形条件好； 交通便利

施工企业等级适用性评价标准见表6。

表6 施工企业等级适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
施工企业等级	≤0.25	0.25 ~ 0.75	≥0.75
文字描述	三级施工资质； 信誉较差； 施工经验不足； 专业素质较差； 临时施工团队	二级施工资质； 信誉较好； 施工经验较充足； 专业素质较好； 较稳定施工团队	一级或特级施工资质； 信誉好； 施工经验充足； 专业素质好； 稳定施工团队

施工机械化程度适用性评价标准见表7。

表7 施工机械化程度适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
施工机械化程度	≤0.25	0.25 ~ 0.75	≥0.75
文字描述	机械化程度低； 大多采用人力劳动	机械化程度较高； 较充分利用机械施工	机械化程度高； 充分利用机械施工

重要材料供应能力适用性评价标准见表8。

表8 重要材料供应能力适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
重要材料供应能力	≤0.25	0.25 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	供应商供应能力差； 供应计划不完备； 重要材料运输不方便	供应商供应能力较强； 根据施工进度，制定较为详尽的供应计划； 重要材料运输较方便	供应商供应能力强； 根据施工进度，制定详尽的供应计划； 重要材料运输方便

气候条件适用性评价标准见表9。

表9 气候条件适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
气候条件	≤0.25	0.25 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	暴雨且持续时间长或者冬季温度极低； 夏季温度37℃以上； 以上极端情况每年累计超过两个月	气候条件较好，中到大雨情况每年累计不超过两个月； 冬季温度稍低，但不会在-5℃以下	气候条件好



地质条件适用性评价标准见表 10。

表 10 地质条件适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
地质条件	≤ 0.30	$0.3 \sim 0.90$	≥ 0.90
文字描述	地质条件复杂；不良地质作用频发	地质条件较好；极少有崩塌、滑坡、泥石流等不良地质作用	地质条件好；无崩塌、滑坡、泥石流等不良地质作用

混凝土强度评价适用性标准见表 11。

表 11 混凝土强度适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
混凝土强度	< 1	$1 \sim 1.15$	≥ 1.15
文字描述	试件抗压强度均值小于设计抗压强度	试件抗压强度均值与设计抗压强度的比值在 $1 \sim 1.15$ 之间	试件抗压强度均值与设计抗压强度的比值大于 1.15

热效应适用性评价标准见表 12。

表 12 热效应适用性评价标准

适应类别	完全适应	适 应	不 适 应
热效应/ $^{\circ}\text{C}$	≤ 15	$15 \sim 25$	≥ 25
文字描述	堆石混凝土绝热温升范围在 15°C 以下	堆石混凝土绝热温升范围在 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间	堆石混凝土绝热温升范围在 25°C 以上

干缩性能适用性评价标准见表 13。

表 13 干缩性能适用性评价标准

适应类别	完全适应	适 应	不 适 应
干缩性能/ $\%$	≤ 0.015	$0.015 \sim 0.04$	≥ 0.04
文字描述	RFC 的干缩率不大于 0.015%	RFC 的干缩率一般在 $0.015\% \sim 0.040\%$ 之间	RFC 的干缩率不小于 0.04%

抗渗性能适用性评价标准见表 14。

表 14 抗渗性能适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
抗渗性能	≤ 2	$2 \sim 12$	≥ 12
文字描述	RFC 的抗渗等级不大于 W2	RFC 的抗渗等级在 W2 ~ W12 之间	RFC 的抗渗等级不小于 W12

抗裂性能适用性评价标准见表 15。

表 15 抗裂性能适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
抗裂性能	≤ 0.30	$0.3 \sim 0.90$	≥ 0.90
文字描述	抗拉强度低；弹性模量高；干缩值大；绝热温升值高；自身体积收缩变形大	抗拉强度较高；弹性模量较低；干缩值较小；绝热温升值较低；自身体积收缩变形较小	抗拉强度高；弹性模量低；干缩值小；绝热温升值低；自身体积收缩变形小

抗震性能划分标准见表 16。

表 16 抗震性能划分标准

抗震设防烈度	5	6	7	8	9
取值	0.85	0.8	0.75	0.7	0.65

施工难易程度适用性评价标准见表 17。

表 17 施工难易程度适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
施工难易程度	≤ 0.25	$0.25 \sim 0.75$	≥ 0.75
文字描述	机械化程度低；交通不便利；地质条件不好；材料供应不足	机械化程度较高；交通较便利；地质条件较好；材料供应较足	机械化程度高；交通便利；地质条件好；材料供应足

施工风险等级适用性评价标准见表 18。

表 18 施工风险等级适用性评价标准

适应类别	完全适应	适 应	不 适 应
施工风险等级	≤0.3	0.3 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	机械化程度高； 不会发生大的不良地质作用； 施工安全组织完善； 施工人员安全素养规范	机械化程度较高； 基本不会发生崩滑流等不良地质作用； 施工安全组织较好； 施工人员安全素养较规范	机械化程度低； 存在崩滑流等不良地质作用； 施工安全组织较差； 施工人员安全素养较差

施工组织能力适用性评价标准见表 19。

表 19 施工组织能力适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
施工组织能力	≤0.25	0.25 ~ 0.75	≥0.75
文字描述	施工组织计划相对简单； 施工程序、工艺不够完善； 人员、设备、材料准备不充分	施工组织计划比较科学； 施工程序、工艺基本完善； 人员、设备、材料准备较为充分	施工组织计划科学合理； 施工程序、工艺完善； 人员、设备、材料准备充分

施工工期计划适用性评价标准见表 20。

表 20 施工工期计划适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
施工工期计划	≤0.25	0.25 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	无法按期完成施工	按期完成施工	超前完成施工

堆石骨料料场储量适用性评价标准见表 21。

表 21 堆石骨料料场储量适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
堆石骨料料场储量	≤0.25	0.25 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	附近无堆石骨料料场； 堆石骨料运距远	附近有堆石骨料料场； 交通比较便利	堆石骨料料场储量充足； 交通便利

施工材料本地成本适用性评价标准见表 22。

表 22 施工材料本地成本适用性评价标准

适应类别	完全适应	适 应	不 适 应
施工材料本地成本/元	≤5000	5000 ~ 14500	≥14500
文字描述	施工材料成本不超过 5000 元	施工材料成本在 5000 ~ 14500 元之间	施工材料成本超过 14500 元

材料供应能力适用性评价标准见表 23。

表 23 材料供应能力适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
材料供应能力	≤0.25	0.25 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	材料综合供应不足	材料综合供应较为充足	材料综合供应充足

施工交通运距适用性评价标准见表 24。

表 24 施工交通运距适用性评价标准

适应类别	不 适 应	适 应	完全适应
施工交通运距	≤0.25	0.25 ~ 0.85	≥0.85
文字描述	交通闭塞； 运输距离较长	交通比较便利； 运输距离较短	交通便利； 运输距离短

本地人工成本适用性评价标准见表 25。

表 25 本地人工成本适用性评价标准

适应类别	完全适应	适 应	不 适 应
本地人工成本	≤500	500 ~ 800	≥800
文字描述	每浇筑 100m ³ 堆石混凝土需要支付高级熟练工、熟练工、半熟练工和普工的总价不大于 500 元	每浇筑 100m ³ 堆石混凝土需要支付高级熟练工、熟练工、半熟练工和普工的总价在 500 ~ 800 元	每浇筑 100m ³ 堆石混凝土需要支付高级熟练工、熟练工、半熟练工和普工的总价不小于 800 元

c. 指标评价域划分。规定指标值越大,适用度越高,为正效应,符号为“+”;指标值越小,适用度越



高,为负效应,符号为“-”。汇总见表26。

表26 各个指标评价值域划分

指 标	效应	完全适用	适 用	不适用
建筑物级别	-			
结构型式	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
社会效益	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
环境评价	-	$\leq 100\text{kg}$	$100 \sim 300\text{kg}$	$\geq 300\text{kg}$
地形条件	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
施工企业等级	+	≥ 0.75	$0.25 \sim 0.75$	≤ 0.25
施工机械化程度	+	≥ 0.75	$0.25 \sim 0.75$	≤ 0.25
重要材料供应能力	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
气候条件	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
地质条件	+	≥ 0.90	$0.30 \sim 0.90$	≤ 0.30
混凝土强度评价	+	> 1.15	$1 \sim 1.15$	≤ 1
热效应	-	$\leq 15^\circ\text{C}$	$15 \sim 25^\circ\text{C}$	$\geq 25^\circ\text{C}$
干缩性能	-	$\leq 0.015\%$	$0.015\% \sim 0.04\%$	$\geq 0.04\%$
抗渗性能	+	≥ 12	$2 \sim 12$	< 2
抗裂性能	+	≥ 0.90	$0.30 \sim 0.90$	≤ 0.30
抗震性能	+			
施工难易程度	+	≥ 0.75	$0.25 \sim 0.75$	≤ 0.25
施工风险等级	-	≤ 0.30	$0.30 \sim 0.85$	≥ 0.85
施工组织能力	+	≥ 0.75	$0.25 \sim 0.75$	≤ 0.25
施工工期计划	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
堆石骨料料场储量	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
施工材料本地成本	-	≤ 5000	$5000 \sim 14400$	≥ 14400
材料供应能力	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
施工交通运距	+	≥ 0.85	$0.25 \sim 0.85$	≤ 0.25
本地人工成本	-	≤ 500	$500 \sim 800$	≥ 800

说明:当建筑物级别为I级时,输入0.5;当建筑物级别为II级时,输入0.6;当建筑物级别为III级时,输入0.75;当建筑物级别为IV级时,输入0.85;当建筑物级别为V级时,输入1。抗震性能:当抗震设防烈度为5时,输入0.85;当抗震设防烈度为6时,输入0.8;当抗震设防烈度为7时,输入0.75;当抗震设防烈度为8时,输入0.7;当抗震设防烈度为9时,输入0.65。

5 堆石混凝土技术适用性评价成果及应用

5.1 模糊综合评价法的实施流程

本文建立的基于模糊综合评价法的堆石混凝土技术适用性评价方法流程见图1。

5.2 堆石混凝土技术的适用性评价分级标准

将堆石混凝土技术适用性评价标准划分为三个等级,不同评价等级与适用度的关系及适用性评价见表27。

表27 堆石混凝土的适用性评价分级标准

等 级	适用度	适用性评价
I	> 0.85	完全适用
II	II _a	适用(高度)
	II _b	适用(中度)
	II _c	适用(低度)
III	< 0.55	不适用

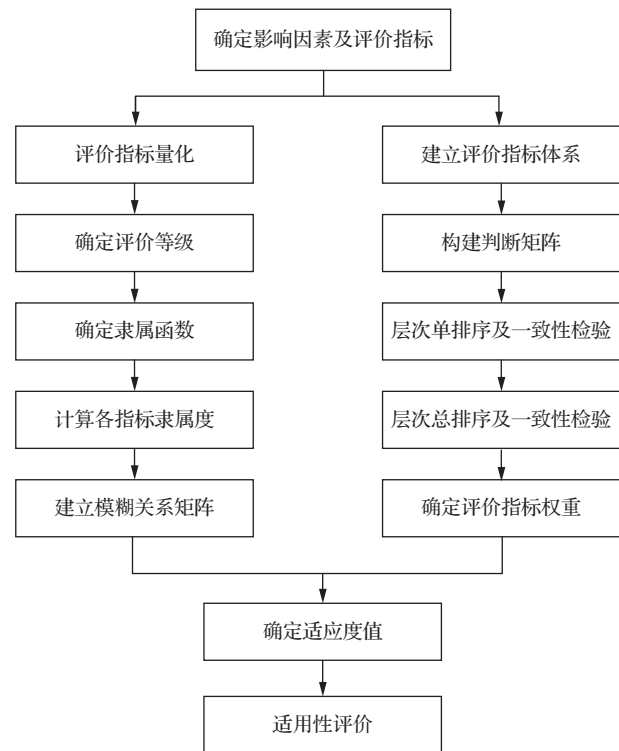


图1 基于模糊综合评价法的适用性评价流程

堆石混凝土工程在确定各评价指标参数值后,经模糊综合评价法分析,最终可以得到一个定量的适用度数值,从而确定该堆石混凝土工程的适用等级。

5.3 堆石混凝土技术适用性评价软件

对堆石混凝土工程,基于模糊综合评价法进行技术适用性定量评价,为便于操作,编制了堆石混凝土技术适用性评价软件,软件系统包含基于层次分析法和综合模糊评价法的适用性评价系统,以及基于 BP 神经网络的反馈调节模块,其软件界面见图 2。建立了基

于大数据分析的堆石混凝土技术评价系统。

利用开发的堆石混凝土技术适用性评价软件,建立 BP 神经网络训练数据库,得到训练好的 net 网络;利用 sim 函数进行预测。随着技术发展,可根据工程经验进行修正,建立新的数据库,重新训练得到新的 net 网络以完善预测。

堆石混凝土技术适用性评价软件

对象性评价集 易用性评价集 有效性评价集 可靠性评价集 经济性评价集

工程级别: 1

说明:

当工程级别为I级时,请输入0.5

当工程级别为II级时,请输入0.6

当工程级别为III级时,请输入0.75

当工程级别为IV级时,请输入0.85

当工程级别为V级时,请输入1

工程级别查询

结构形式: 1

适应类别	完全适应	适应	不适应
结构形式	>0.85	0.25~0.85	<0.25
文字描述	结构形式简单	结构形式较简单	结构形式非常复杂

社会价值: 1

社会价值应包括四个方面的内容: ①项目对促进当地社会效益的影响; ②评价项目对当地居民生活的影响; ③评价项目对当地自然环境产生的影响④评价项目对当地特殊群体的影响

适应类别	不适应	适应	完全适应
社会价值	<0.25	0.25~0.85	>0.85
文字描述	经济效益差; 社会影响力差; 对当地的自然生态系统产生严重破坏	很好的经济效益; 很好的社会影响力; 基本不会破坏当地的生态系统	很好的经济效益; 很好的社会影响力; 不会对当地的自然生态系统产生破坏

结果

该工程采用堆石混凝土的适用性评价: [] []

图2 堆石混凝土技术适用性评价软件主界面

堆石混凝土技术适用性评价体系建立后,先后在福建省的黄沙坑水库堆石混凝土重力坝、坪坑水库堆石混凝土重力坝、九九坑水库堆石混凝土重力坝等工程建设中进行了适用性分析评价应用,取得良好效果。

例如在已竣工的黄沙坑水库堆石混凝土大坝的适用性评价中,25个指标经提取信息、选定取值后,输入堆石混凝土技术适用性评价软件,输出结果见图3。

结果

该工程采用堆石混凝土的适用性评价: 适应(高度),等级为IIa

0.835641815

图3 黄沙坑水库大坝项目的适用性分值的输出

运算得适用度数值为 0.8356,适用等级为适用(高度),等级为 IIa。验证了堆石混凝土适用性评价系统的科学合理性。

6 结 语

本文通过建立堆石混凝土技术适用性评价系统的理论框架,对评价指标体系的层次框架进行了定量化



设计,选定了适用性评价指标的定量模型,构建了堆石混凝土技术适用性评价体系的专家系统,建立了BP神经网络数据模型,开发了堆石混凝土技术适用性评价软件,实现了对堆石混凝土技术适用性的科学量化评价,为堆石混凝土技术的进一步推广应用,提供了评价体系理论支持。◆

参考文献

- [1] 金峰,安雪晖,石建军,等.堆石混凝土及堆石混凝土大坝[J].水利学报,2005,36(11):1347-1352.
- [2] 黄绵松,周虎,安雪晖,等.堆石混凝土综合性能的试验研究[J].建筑材料学报,2008,11(2):206-211.
- [3] 高俊青.堆石混凝土施工技术在新疆铁路及公路挡土墙工程中的应用[J].混凝土,2009(2):123-125.
- [4] 尹蕾.堆石混凝土的应用现状与发展趋势[J].水利水电技术,2012,43(7):1-4.
- [5] XIE Y, CORR D J, CHAOUICHE M, et al. Experimental study of filling capacity of self-compacting concrete and its influence on the properties of rock-filled concrete[J]. Cement and concrete research, 2014(56):121-128.
- [6] 石建军,张志恒,金峰,等.自密实堆石混凝土力学性能的试验研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(S1):3231-3236.
- [7] 石建军,张志恒,金峰,等.自密实混凝土充填堆石体的试验[J].南华大学学报(自然科学版),2005,19(1):38-41.
- [8] 刘昊.堆石混凝土综合性能试验与温度应力研究[D].北京:清华大学,2010.
- [9] 张广泰,潘定才,刘清.大体积堆石(卵石)混凝土内部温度的试验研究[J].建筑科学,2009,25(9):34-37.
- [10] 刘运华,谢友均,龙广成.自密实混凝土研究进展[J].硅酸盐学报,2007,35(5):671-678.
- [11] OKAMURA H, OUCHI M. Self-compacting concrete[J]. Journal of advanced concrete technology, 2003, 1(1):5-15.
- [12] KHAYAT K H. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete[J]. ACI materials journal, 1999, 96(3):346-353.
- [13] OKAMURA H, OUCHI M. Self-compacting high performance concrete[J]. Progress in structural engineering and materials, 1998, 1(4):378-383.
- [14] ROUSSEL N, NGUYEN T, YAZOGLI O, et al. Passing ability of fresh concrete: a probabilistic approach[J]. Cement and concrete research, 2009, 39(3):227-232.
- [15] ROUSSEL N. Rheology of fresh concrete: from measurements to predictions of casting processes[J]. Materials and structures, 2007, 40(10):1001-1012.
- [16] NG I, WONG H, KWAN A. Passing ability and segregation stability of self-consolidating concrete with different aggregate proportions[J]. Magazine of concrete research, 2006, 58(7):447-457.
- [17] 黄绵松.堆石混凝土中自密实混凝土充填性能的离散元模拟研究[D].北京:清华大学,2010.
- [18] 张志恒,石建军.堆石混凝土抗冻抗渗性能的试验研究[J].南华大学学报(自然科学版),2009,23(3):76-79.
- [19] 金峰,李乐,周虎,等.堆石混凝土绝热温升性能初步研究[J].水利水电技术,2008,39(5):59-63.
- [20] 张志恒,石建军,杨晓峰,等.自密实堆石混凝土抗拉性能的试验研究[J].混凝土,2007(10):38-41.

(上接第33页)

- [5] 宋文滔.福建省海堤加固技术浅析[J].水利管理技术, 1998, 18(2):11-14.
- [6] 张帆.宁德市东湖塘海堤加固工程技术探讨[J].水利建设与管理, 2009, 29(7):82-84.
- [7] 戴龙洋,张阳.盐城市侵蚀性海岸防护设计[J].水利水电科技进展, 2009(3):49-53.
- [8] 常根朋.结合实际工程分析海堤防护工程设计[J].工程建设与设计, 2020(21):138-140.
- [9] 陈必文,于雷.滨海县海堤达标工程损坏类型及修复对策[J].江苏水利, 2015(2):22-23.
- [10] 王世杰.常见海堤工程的结构形式分析及应用[J].科技咨询导报, 2007(14):55-56.
- [11] 黄锦林,江洧.海堤设计若干问题探讨[J].水利技术监督, 2009, 17(3):1-3.

酸碱环境下硅溶胶的长期耐久性研究

江志安^{1,2} 谢武^{1,2} 崔巍³

- (1. 中国水电基础局有限公司, 天津 301700;
2. 天津市地基与基础工程企业重点实验室, 天津 301700;
3. 天津大学建筑工程学院, 天津 300350)

【摘要】 为探究硅溶胶在酸碱环境中的适用性,使其能够在工程注浆领域更好地应用,开展了室内硅溶胶质量、体积、抗压强度、溶脱率试验,并利用所得试验数据分析了硅溶胶在酸碱环境中的耐久性。研究表明:在 $\text{pH} = 3$ 的酸性环境中,硅溶胶凝胶体的损失非常小,与在 $\text{pH} = 7$ 的蒸馏水中养护的凝胶体区别不明显,显示了硅溶胶在酸性环境中良好的稳定性;在 $\text{pH} = 11$ 的碱性环境中,凝胶体的损失比中性和酸性环境都大,说明硅溶胶在碱性环境中的稳定性稍差。

【关键词】 酸碱环境;硅溶胶;耐久性;室内试验

中图分类号: TV41

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)07-043-06

Study on long-term durability of silica sol under acid-base environment

JIANG Zhian^{1,2}, XIE Wu^{1,2}, CUI Wei³

- (1. Sinohydro Foundation Engineering Co., Ltd., Tianjin 301700, China;
2. Tianjin Key Laboratory of Foundation and Basic Engineering, Tianjin 301700, China;
3. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

Abstract: The quality, volume, compressive strength and dissolution rate tests of silica sol are carried out in laboratory, and the durability of silica sol in acid and alkali environment is analyzed by using the obtained test data in order to explore the applicability of silica sol in acid and alkali environment so that it can be better applied in the project grouting field. The results show that the loss of silica sol gel is very small, and the difference is not obvious from the gel cured in $\text{pH} = 7$ distilled water in $\text{pH} = 3$ acidic environment. It displays that the silica sol is stable in acidic environment. The loss of gel is larger than that of neutral and acidic environment in $\text{pH} = 11$ alkaline environment. It indicates that the stability of silica sol is worse in alkaline environment.

Keywords: acid-base environment; silica sol; durability; indoor test

在水利、建筑、交通等许多领域的工程防渗处理中,注浆是常用且有效的方法^[1-5]。然而,随着工业的

快速发展,工业污水和废气的排放引起了地下水酸碱程度的变化,注浆浆液长期与具有较强酸碱性的地下

收稿日期: 2021-08-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52079092)

作者简介: 江志安(1977—),男,教授级高级工程师,主要从事岩土工程和水利工程基础处理等方面的技术工作。

水接触后,浆液结石体可能会被侵蚀破坏,从而失去封堵地下水和加固岩土体的作用^[6]。在复杂的地质条件下,浆液建立的防渗加固效果,很大程度上取决于注浆材料的抗侵蚀能力,因此,注浆材料的耐久性对工程的长期安全起着重要的作用,国内外研究者也在此方面进行了较多的研究。陈明祥等^[7]通过室内浆材性能试验,对拟用于岩溶地层条件下的灌浆材料耐蚀性进行了研究。涂鹏等^[8]就水泥基注浆材料抵御海水侵蚀的耐久性试验开展研究,并采用模糊数学的手段来综合评定浆液材料的耐久性能。湛文武等^[9]以SH溶液为主剂,粉煤灰、土遗址原生土与生石灰拌和为灌浆材料,通过温湿度循环试验、冻融循环试验和耐碱性试验等,对浆体耐久性进行评价。赵献辉等^[10]利用碱渣、粉煤灰和硅酸钠溶液制成新型采空区充填注浆材料,探索该注浆材料的耐酸性和碱性渗出特性。

硅溶胶由悬浮在水中的无定形二氧化硅构成的非常小的球形颗粒组成^[11],颗粒尺寸为5~100nm,硅溶

胶具有高渗透性,可以渗透并密封水泥基注浆材料无法到达的空隙。此外,硅溶胶无毒环保,是一种优良的微细孔隙多孔介质绿色注浆材料。目前对硅溶胶浆液耐久性的研究较少^[12],研究酸碱环境下硅溶胶的劣化则更加少见。本研究通过室内硅溶胶质量、体积、抗压强度、溶脱率试验,研究了其在酸碱环境中的耐久性,为其在工程注浆领域中更好地应用提供了理论依据。

1 试样制备与试验方法

硅溶胶是纳米二氧化硅胶体微粒在水溶液中均匀扩散而形成的一种胶体溶液^[13]。硅溶胶具有比表面积大、耐火隔热性高、分散性高、抗氧化性和高吸附性等诸多优良性能,且原料来源广泛、生产工艺简单,因而逐渐发展成为一种重要的无机高分子原料,并已广泛应用于涂料^[14]、工程灌浆^[15]及纺织^[16]等领域。

1.1 试样制备

试样的制备过程见图1。

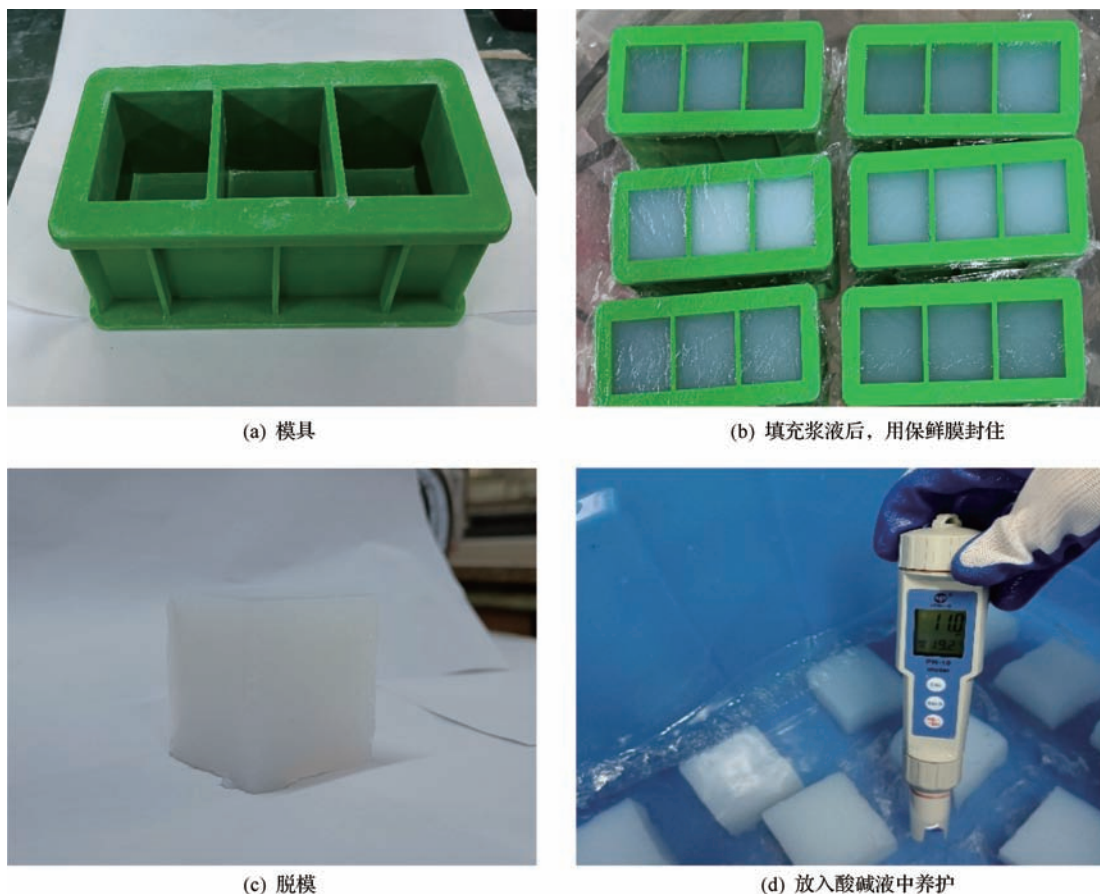


图1 硅溶胶制备过程

a. 在模具内部涂一层脱模油,用透明胶带封堵模具孔,防止浆液漏出。

b. 将硅溶胶 A、B 液按 1:1 进行配比,充分搅拌。

c. 把配制好的浆液一次性倒入涂好油的模具中,倒浆的同时用玻璃棒搅拌,防止产生气泡。

d. 在室内(20 ± 5)℃ 温度环境下静置两天,然后拆模,对试样进行编号。

e. 将脱模后的硅溶胶凝胶体分别浸泡在 pH = 7 的蒸馏水、pH = 3 的盐酸溶液和 pH = 11 的氢氧化钠溶液中,保证试块间距不小于 10mm,养护过程中每天检测溶液中 pH 值的变化,若上下浮动超过 0.5 则及时添加盐酸或氢氧化钠溶液维持溶液酸碱度。

f. 待养护 3 天、7 天、14 天、28 天后,将试块取出擦净,测试其质量、体积、抗压强度、溶脱率。

1.2 试验方法及内容

表示硅溶胶耐久性程度的重要指标是硅溶胶淋溶的凝胶收缩和伴随其脱水收缩的离浆现象。耐久性主要影响因素为二氧化硅的淋溶量和凝胶收缩,其他表现为质量变化、强度变化等。因此,本试验通过质量、体积、抗压强度、SiO₂ 溶脱率等指标来研究硅溶胶的耐久性。本试验采用 3 个平行试样进行测试,结果取平均值。

1.2.1 质量、体积测试

分别使用电子天平和排水法定期测定放置在蒸馏水和酸碱溶液中的凝胶体的质量和体积,计算凝胶体养护 3 天、7 天、14 天、28 天时的质量、体积损失。

1.2.2 抗压强度测试

抗压强度使用图 2 所示的试验机进行测试,该试验机可对各种金属、非金属及复合材料进行力学性能测试和分析研究,主要技术指标见表 1。使用该试验机测试凝胶体 3 天、7 天、14 天、28 天的抗压强度,凝胶体抗压强度按式(1)计算:

$$\sigma = \frac{P}{A} \times 1000 \quad (1)$$

式中: σ 为抗压强度, kPa; P 为破坏荷载, N; A 为试样承压面积, mm²。

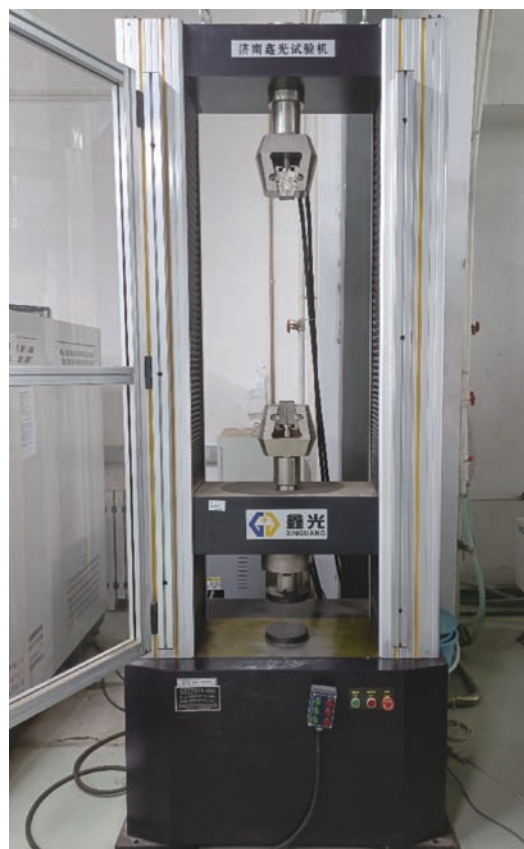


图 2 试验机

表 1 电子式万能材料试验机主要技术指标

主要技术指标	说 明
最大载重	300kN
感应方式	进口高精度双向负荷传感器
荷重精度	+0.01%
力分辨率	+1/500000FS
数据采集频率	1000Hz
测力精度	示值的 $\pm 0.3\%$ 以内

1.2.3 SiO₂ 溶脱率测试

二氧化硅溶出按照《二氧化硅(可溶性)的测定(硅钼黄分光光度法)》(SL 91.1—1994)硅钼黄法进行测试,二氧化硅溶脱率用溶液中所溶脱出二氧化硅的含量与凝胶体初始二氧化硅含量的比值来表示,使用如图 3 所示的分光光度计测试凝胶体 1 天、3 天、7 天、14 天、28 天的二氧化硅溶出量。



(a) 50mL比色管



(b) 分光光度计

图3 硅钼黄法测可溶性二氧化硅

2 试验结果与讨论

2.1 质量损失

硅溶胶凝胶体在不同 pH 环境中质量随龄期变化情况见表 2 和图 4。从图中可以看出,在不同 pH 环境中,硅溶胶凝胶体的质量损失率随龄期的增加而逐渐增大。其中,在 pH = 7 的中性环境中,凝胶体养护 28 天后的质量损失率最小,为 0.71%;在 pH = 11 的碱性环境中,质量损失率最大,为 1.57%;在 pH = 3 的酸性环境中,质量损失率为 1.18%。

表 2 不同 pH 值环境中质量变化

pH	质量/g				
	0d	3d	7d	14d	28d
3	126.4	126.2	125.7	125.3	124.9
7	126.9	126.7	126.5	126.2	126.0
11	127.5	127.1	126.6	126.0	125.5

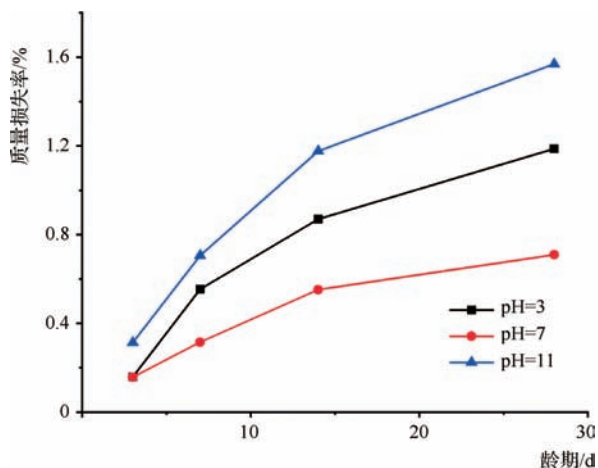


图 4 不同 pH 值环境中的质量损失率

2.2 体积损失

硅溶胶凝胶体在不同 pH 环境中体积随龄期变化情况见表 3 和图 5。从图中可以看出,在不同 pH 环境中,硅溶胶凝胶体的体积损失率随龄期的增加而逐渐增大。其中,在 pH = 7 的中性环境中,凝胶体养护 28 天后的体积损失率最小,为 0.66%;在 pH = 11 的碱性环境中,体积损失率最大,为 1.31%;在 pH = 3 的酸性环境中,体积损失率为 0.98%。

表 3 不同 pH 值环境中体积变化

pH	体积/cm ³				
	0d	3d	7d	14d	28d
3	122.8	122.5	122.2	121.8	121.6
7	121.5	121.4	121.2	120.9	120.7
11	121.9	121.6	121.1	120.7	120.3

2.3 抗压强度损失

硅溶胶凝胶体在 pH = 3、7、11 溶液中的抗压强度随龄期变化情况见表 4 和图 6。从图中可以看出,硅溶胶浆液形成的凝胶体的抗压强度随时间逐渐增加,随后增长速度放缓且趋于稳定。养护 28 天后,在 pH = 11 的碱性环境中抗压强度最低,为 95.5kPa;在 pH = 7 的中性环境中抗压强度最高,为 131.6kPa;在 pH = 3 的酸性环境中抗压强度为 118.2kPa。可以看出,硅溶胶凝胶体在碱性环境中抗压强度衰退较为明显,而在酸性环境中强度稍稍降低。

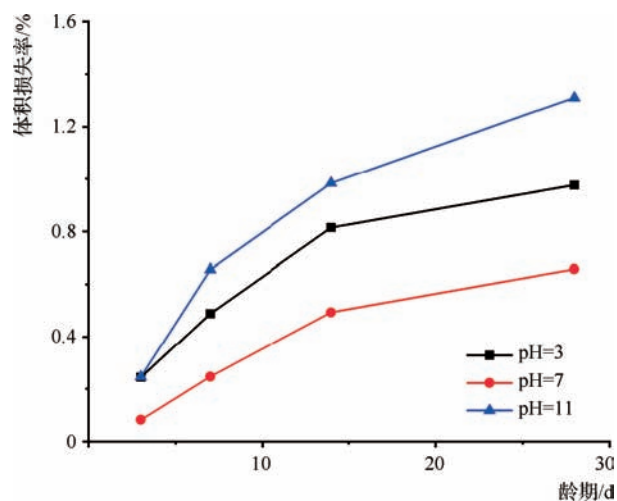


图5 不同 pH 值环境中的体积损失率

表4 不同 pH 值环境中抗压强度变化

pH	抗压强度/kPa			
	3d	7d	14d	28d
3	63.8	84.5	110.0	118.2
7	71.3	95.3	116.5	131.6
11	54.1	71.6	85.4	95.5

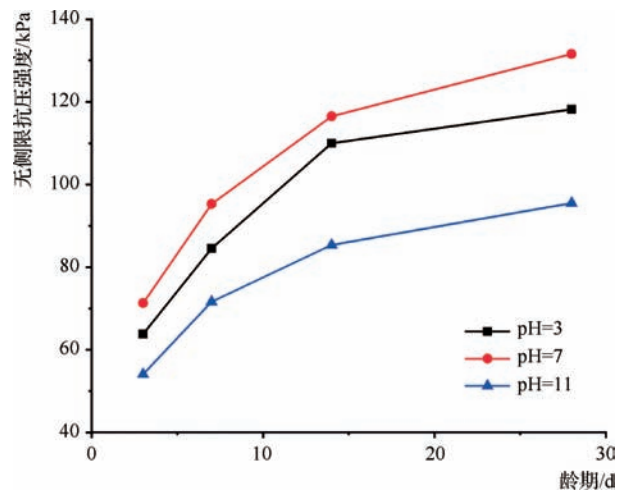


图6 不同 pH 值环境中的抗压强度变化

2.4 二氧化硅溶脱率

表5和图7为不同酸碱条件下凝胶体的溶脱率变化,从图中可以看出,硅溶胶凝胶体的溶脱率随龄期逐渐增加后,增长速度放缓且趋于稳定。养护28天后,在pH=7的中性环境中溶脱率最低,为0.055%;在pH=11的碱性环境中溶脱率最高,为0.113%;在pH=3的酸性环境中溶脱率为0.084%。

表5 酸碱环境中SiO₂溶脱率变化

龄期/天	溶脱率/%		
	pH = 7	pH = 3	pH = 11
1	0.0006	0.001	0.012
3	0.007	0.013	0.045
7	0.023	0.052	0.086
14	0.045	0.073	0.102
28	0.055	0.084	0.113

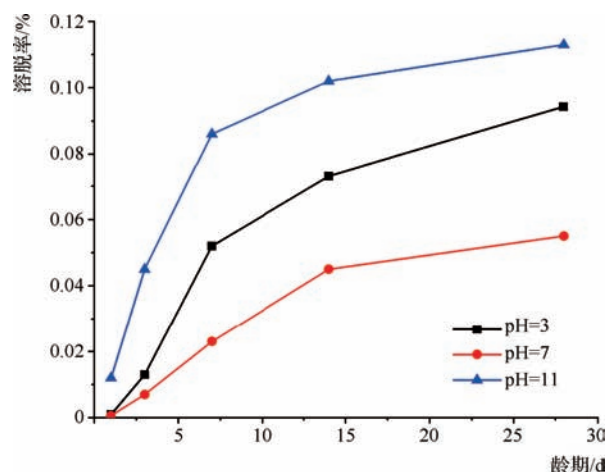


图7 酸碱环境中SiO₂溶脱率变化

从凝胶体质量、体积、抗压强度、溶脱率随龄期变化的结果看,硅溶胶凝胶体在pH=3的酸性环境中损失非常小,与pH=7的蒸馏水中养护的凝胶体区别不明显,而在pH=11的碱性环境中,凝胶体的损失比中性和酸性环境都大。由此说明硅溶胶凝胶体在酸性环境中具有良好的稳定性,而在碱性环境中的稳定性稍差。

3 结 论

通过室内试验,对硅溶胶在酸碱环境中的耐久性展开研究,得到以下结论:

a. 无论是在酸性还是碱性环境中,硅溶胶凝胶体的质量损失率、体积损失率、抗压强度、溶脱率均随龄期的增加而逐渐增大。

b. 在pH=3的酸性环境中,凝胶体养护28天后的质量损失率为0.71%,体积损失率为0.66%,抗压强度为118.2kPa,溶脱率为0.084%,硅溶胶凝胶体在pH=3的酸性环境中损失非常小,与pH=7的蒸馏水中养护的凝胶体区别不明显,说明硅溶胶凝胶体在酸性环境中具有良好的稳定性。



c. 在 $\text{pH} = 11$ 的碱性环境中,凝胶体养护 28 天后的质量损失率为 1.57%,体积损失率为 1.31%,抗压强度为 95.5kPa,溶脱率为 0.113%。凝胶体的损失比中性和酸性环境都大,说明在碱性环境中硅溶胶的稳定性稍差。◆

参考文献

- [1] 杨新安,郭乐,王树杰. 高速铁路软土路基有控注浆技术现场试验研究[J]. 西南交通大学学报,2018,53(1):15-22.
- [2] 王复明,李嘉,石明生,等. 堤坝防渗加固新技术研究与应用[J]. 水力发电学报,2016,35(12):1-11.
- [3] 张健,李术才,张乾青,等. 覆盖型岩溶地基注浆处理与效果检测分析[J]. 建筑结构学报,2017,38(9):167-173.
- [4] 朱平火. 单管高压旋喷防渗墙在布坑水库除险加固中的应用[J]. 水利建设与管理,2015,35(8):66-68,71.
- [5] 王文添. 秦岭输水隧洞七号洞高压富水区帷幕注浆试验研究[J]. 水利建设与管理,2021,41(7):39-43.
- [6] 涂鹏. 注浆结石体耐久性试验及评估理论研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [7] 陈明祥,汪在芹,郭晓刚. 岩溶地层灌浆材料耐蚀性试验研究[C]//中国硅酸盐学会 2003 年学术年会水泥基材料论

文集:下册. 北京:2003:248-252.

- [8] 涂鹏,王星华. 海底隧道注浆材料耐久性模糊综合评定[J]. 水文地质工程地质,2010,37(1):68-72.
- [9] 湛文武,刘建,龚书亚,等. 土遗址裂隙注浆用 $\text{SH}-(\text{C} + \text{F} + \text{CaO})$ 浆液耐久性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2016,35(S2):4310-4317.
- [10] 赵献辉,刘春原,左丽明,等. 碱渣—粉煤灰基新型注浆材料耐久性试验研究[J]. 工业建筑,2018,48(3):31-36.
- [11] ILLER, R K. The chemistry of silica, solubility, polymerization, colloid and surface properties, and biochemistry [M]. New York: Wiley, 1980.
- [12] 刘灿平. 改性硅溶胶灌浆材料的研发及其砂土灌浆模拟[D]. 天津:天津大学,2018.
- [13] 段晓娜,孙羊羊,张海红,等. 硅溶胶的研究进展及应用[J]. 硅酸盐通报,2014,33(4):836-840.
- [14] 高超,曾一兵,吴晓峰,等. 硅溶胶改性及其对水性硅橡胶涂料的补强作用[J]. 表面技术,2018,47(5):148-153.
- [15] 史新华. 镶嵌碎裂结构岩石中的灌浆研究[J]. 水利建设与管理,2012,32(1):7-10.
- [16] 郭肖青,朱平. 硅溶胶的制备及其在纺织上的应用[J]. 染整技术,2005,27(8):10-15.

(上接第 24 页)在一定死角,只局限于视频监控范围内的设备设施及运行管理情况的监督检查,且一般清晰度摄像头的监控视频放大后部分内容不能清晰显示;由于视觉角度差导致通过监控视频读取的部分数据不准确等问题。而传统检查方式可以直接面对各类设备,发现异常情况可根据实际情况详细查看相关设备的各部位或进行相关现场检测。

4 结 语

随着社会的发展和科学技术的不断进步,信息化建设及应用逐渐普及到各行各业中,信息化监管应用也会越来越广泛,搭设信息化监管平台的必要性显得尤为重要。信息化监管不仅是对传统监管模式的补充完善,它具备特有的优势。因此,将传统监管模式与信息化监管相结合,进一步完善了工程监管体系,为南水北调中线工程平稳运行、减少事故发生率提供了坚实保障。通水六年来,工程安全平稳运行,供水量逐年递增,没有出现重大安全问题。◆

参考文献

- [1] 李五勤,王彤彤. 浅谈调水工程管理制度体系的建立和完善[J]. 水利建设与管理,2020,40(11):48-49.
- [2] 梁敏斌,陈武奋,江显群. 可视化技术在灌区信息化系统中的应用[J]. 水利建设与管理,2020,40(8):72-73.
- [3] 赵翔元. 引汉济渭输水隧洞安全监测系统技术分析与研究[J]. 水利建设与管理,2019,39(12):17-20,16.
- [4] 查治荣. 基于移动互联的水文信息服务研究[J]. 水资源开发与管理,2019(11):77-78.
- [5] 何健航. 基于动态权重系数的串联水库供水规则研究[J]. 水资源开发与管理,2018(5):73-74.
- [6] 朱震东,王义坤,程宇. 江苏省河湖和水利工程管理范围划定成果管理信息系统建设研究[J]. 水利建设与管理,2020,40(10):50-58,49.
- [7] 郭振璐. 山东省调水工程泵站云化网络建设介绍[J]. 水利建设与管理,2020,40(8):75-78,65.
- [8] 崔晓峰,董国荣. 南水北调中线干线闸站监控系统维护常见问题探析[J]. 水电站机电技术,2018(11):21-22.
- [9] 诸葛梅君,陶付领. 南水北调中线干线工程智能安防系统研究与设计[J]. 人民黄河,2020,42(12):119-122,134.

一种新型注浆材料在水库渗漏止水中的应用研究

朱 俊

(安徽省龙河口水库管理处,安徽 舒城 231360)

【摘 要】 为解决龙河口水库的长期渗流问题,利用最新型的聚氨酯高分子材料和快硬硫铝酸盐水泥,对龙河口水库大坝土体进行不同水泥掺量和聚氨酯浓度下的改良试验。结果显示:聚氨酯水泥浆液在合理配比下,具有较高的流动性和扩散性,凝结时间较短,可用于大坝快速注浆补强施工;聚氨酯注浆材料对于土样的强度、水稳定性、抗冻性以及抗渗性有明显的改善效果;由于水泥对聚氨酯土的既有结构会产生破坏,因此在聚氨酯浓度较低时,水泥的掺量不宜过高,或者掺入水泥之后,应适当提升聚氨酯的浓度,以保证改良土的整体性。

【关键词】 龙河口水库;聚氨酯高分子材料;注浆;渗漏止水;配合比

中图分类号: TV44

文献标志码: A

文章编号: 2097-0528(2022)07-049-05

Application study of a novel grouting material in reservoir leakage sealing

ZHU Jun

(Anhui Longhekou Reservoir Management Office, Anhui 231360, China)

Abstract: The latest polyurethane polymer material and rapid hardening sulphate aluminium cement are used to solve the long-term seepage problem of Longhekou Reservoir. The soil of Longhekou Reservoir dam is modified with different cement content and polyurethane concentration. The results show that polyurethane cement grout has high fluidity and diffusivity and short setting time under reasonable proportion, which can be used for dam fast grouting reinforcement construction. Polyurethane grouting material has obvious improvement effect on soil sample strength, water stability, frost resistance and permeability resistance. The cement content should not be too high when the polyurethane concentration is low due to the damage of cement to the existing structure of polyurethane soil, or the polyurethane concentration should be appropriately increased after the cement is added to ensure the integrity of the improved soil.

Keywords: Longhekou Reservoir; polyurethane polymer material; grouting; leakage sealing; mixing proportion

1 工程概况

龙河口水库位于安徽省舒城县巢湖水系支流杭埠河上游,始建于1958年,竣工于1969年,库区控制流

域总面积约为1100km²,防洪保护面积为53万亩,总库容9.03亿m³,底库容0.502亿m³。主坝全长600m,采用黏土心墙砂壳坝,坝顶高程为75.8m,坝顶宽度为6.45m,溢洪道最大泄洪量为3820m³/s。自建成以来,

收稿日期: 2021-09-16

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



经过除险加固施工,目前水库防洪标准已提高到万年一遇,但水库工程的安全隐患一直未得到根本消除:防洪标准和调蓄能力低,泄洪过于频繁,由于受到白蚁侵害,大坝的渗漏问题一直比较严重,因此有必要寻求一种新技术来解决水库大坝长期渗漏问题^[1-3]。

聚氨酯是由异氰酸酯与多元醇反应而成的一种通用聚合物,具有质量轻、机械性能、耐化学性能以及耐磨性能良好等特点,在建筑、鞋类、汽车等诸多领域得到广泛应用。通过将聚氨酯与水泥等胶凝材料进行拌和,可产生大量的 CO_2 气体,这些气体会产生 $0.5 \sim 1.0 \text{ MPa}$ 的压力,使得材料发生膨胀变形,对周围裂缝进行填充,从而达到止水堵漏和补强加固的效果,可将其应用到建筑、水利、交通等复杂地质下的堵水止漏加固施工。但是聚氨酯注浆材料的性能受原材料和配比的影响较大,如何提升聚氨酯注浆材料的综合性能,改善止水堵漏和补强效果成为当下一大热点问题。

本文利用最新型的聚氨酯高分子材料和水泥对龙河口水库大坝土体进行改良试验,以期获得最佳的聚氨酯注浆材料配比,为指导水库的止水堵漏施工提供借鉴。

2 试验概况

2.1 试验材料

试验土:取自龙河口水库大坝,密度为 2.63 g/cm^3 ,天然含水率为 2% ,最大干密度为 1.65 g/cm^3 ,最小干密度为 1.34 g/cm^3 ,最大孔隙率 0.97 ,最小孔隙率 0.59 ,内摩擦角为 18° ,体积模量为 8 MPa ,剪切模量为 5.3 MPa ,黏聚力为 0.045 MPa 。

水泥:选用 R. SAC42.5 型快硬硫铝酸盐水泥,初凝时间为 25 min ,终凝时间为 180 min ,标准稠度用水量为 27.6% ,28 天抗压和抗折强度分别为 45 MPa 和 7 MPa ,主要化学成分为 CaO 、 Al_2O_3 和 SiO_2 ,占比分别为 44.4% 、 23% 和 10.8% 。

聚氨酯:它是由聚醚多元醇、异氰酸酯以及各种功能材料在特殊时间、温度和配比下经聚合得到的亲水性聚氨酯复合功能材料,简称 W-OH,呈浅黄色或者黄

褐色,固含量为 85% ,密度为 1.18 g/cm^3 ,黏度为 $500 \sim 800 \text{ Pa}\cdot\text{s}$,是一种无毒环保的新型材料,具有固化凝聚时间短、适用范围广(固定沙土、止水、防尘等均可)、安全性高、附着力强、耐久性好等诸多特点^[4-6]。

2.2 试验方案

试验分为两类:第一类是对聚氨酯水泥浆液基本性能进行测试;第二类则是对聚氨酯水泥改性土的力学性能进行测试。在第一类试验中,分别设计 7 组配合比的浆液进行对比分析,见表 1。第二类试验中土与聚氨酯溶液的掺量(质量比)为 $4:1$,即聚氨酯浓度 = 聚氨酯质量/(聚氨酯 + 水)质量,设计 9 组配合比进行试验,见表 2。

表 1 聚氨酯水泥浆液配合比

试验编号	水灰比	聚氨酯浓度/%
J1	0.5	0
J2	0.5	4
J3	0.5	6
J4	0.5	8
J5	0.6	6
J6	0.7	6
J7	0.8	6

表 2 聚氨酯水泥改性土配合比

试验编号	土的掺量	水泥的掺量	聚氨酯浓度/%
T1	100	0	6
T2	100	5	6
T3	100	10	6
T4	100	5	0
T5	100	5	4
T6	100	5	8
T7	100	0	4
T8	100	0	8
T9	100	0	10

2.3 试验内容

聚氨酯水泥浆液性能:主要对浆液的流动性、初凝时间和终凝时间进行测试。聚氨酯水泥改性土性能:主要进行不同龄期下的抗压强度试验、浸水试验、冻融循环试验以及抗水渗透性试验。微观结构:主要对不

同配合比下聚氨酯水泥改性土进行 SEM 扫描电镜试验。

3 试验结果分析

3.1 聚氨酯水泥浆液性能

聚氨酯水泥浆液流动性和凝结特性试验结果见表 3。从表 3 可知:当水灰比一定时(J1 ~ J4),随着聚氨酯浓度的增加,聚氨酯水泥浆液的扩散半径逐渐减小,初凝时间和终凝时间也逐渐降低,且随着聚氨酯浓度的增加,对扩散半径和凝结时间的影响程度逐渐减小,这是因为聚氨酯浓度越大,与水生成的凝胶物质越多,使得聚氨酯水泥浆液的黏度增大,因而浆液的扩散半径(流动性)越小。聚氨酯浓度越高,溶液中所包含的活性分子越多,分子之间的运动速率和碰撞概率也就越大,因而凝结速度加快。当聚氨酯浓度一定时(J3、J5 ~ J7),随着水灰比的增大,聚氨酯水泥浆液的扩散半径越大,流动性越好,这是因为当聚氨酯浓度一定时,溶液中所掺水分越多,凝胶物质的黏度就越小,因而扩散半径越大;聚氨酯水泥浆液的凝结时间随着水灰比的增大而逐渐增大,这主要是因为当水灰比增大时,溶液中的分子碰撞剧烈程度会降低,水化反应速度随之减小,因而凝结速度变慢。

表 3 聚氨酯水泥浆液性能

试验编号	扩散半径/cm	初凝时间	终凝时间
J1	27.8	6min45s	9min
J2	24.0	4min15s	5min15s
J3	21.3	3min50s	4min35s
J4	19.9	3min30s	4min
J5	27.2	4min15s	5min
J6	32.1	4min30s	5min30s
J7	33.0	5min	6min15s

以上分析可知:聚氨酯水泥浆液初凝时间和终凝时间较短,可用于防水止漏等快速抢修工程施工,在实际运用时,应根据现场情况制定合理的堵漏方案,确定最佳的施工配合比,从而达到最佳的防渗止水效果^[7-8]。

3.2 聚氨酯水泥改性土强度特征

聚氨酯水泥改性土在不同龄期下的强度特性见图 1。由图 1 可知:当水泥掺量一定时,随着聚氨酯浓度的增加(T2、T4 ~ T6),聚氨酯水泥改性土的强度呈逐渐增大的变化特征,龄期越久,强度越高,这是因为随着聚氨酯浓度的增大,与水聚合反应生成的凝胶物质越多,这些物质具有很强的附着力,并包裹在土颗粒周围,在土颗粒之间形成很强的黏结强度,使土体的抗压缩能力显著提升,因而抗压强度得到增强;在早期,聚氨酯水泥改性土还具有较强的弹性变形、塑性变形和保水能力,但是随着龄期增长,弹性变形和保水能力会逐渐弱化,使得土体的强度进一步提升,因此,聚氨酯水泥改性土后期的强度改善效果明显优于前期。

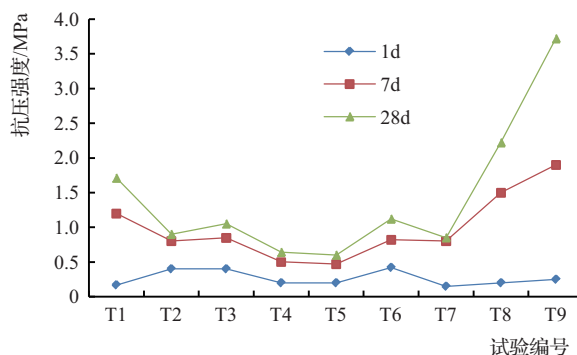


图 1 聚氨酯水泥改性土抗压强度

在试验过程中,还发现了一个现象:掺入水泥后,对改良土早期的强度有一定改善作用,但是对后期的强度反而有一定的抑制作用,相同聚氨酯浓度下,不掺入水泥试验组(T1、T7 ~ T8)的后期强度明显高于掺入水泥组(T2、T5 ~ T6),这主要还是与聚氨酯材料早期具有较好的保水能力有关,由于其早期较好的保水能力,使得土体中维持着较高的含水率,当掺入水泥后,可促进水化反应进行,在凝胶体和颗粒间隙中生成并填充结石体,从而使得强度有所提高,但是随着时间增长,聚氨酯材料的保水性能在后期基本消失,此时聚氨酯生成的凝胶体与土颗粒包裹在一起,形成一个良好的整体,如果再加入水泥,就会破坏凝胶体与土颗粒之间的既有结构,因而造成在聚氨酯浓度一定的情况下,



水泥掺量越多,后期强度越低的情况,基于此,在实际操作中应严格控制聚氨酯水泥改性土中的水泥掺量^[9-10]。

3.3 聚氨酯水泥改性土水稳定性

试验得到的聚氨酯水泥改性土浸水试验结果见表4。由表4可知:将聚氨酯水泥改性土完全浸入水中后,T4试验组底部出现大量散土并随即发生崩解,而其他试验组无明显变化,这说明单纯的水泥处理,水泥产生的胶结力无法抵御水引起的侵蚀破坏;当浸水48h后,T5试验组也发生崩解破坏,而其他试验组无明显变化,这说明当聚氨酯浓度较低(4%)时,水泥对既有结构的破坏程度大于聚氨酯本身的凝结力,使得试件发生崩解;当浸泡1个月后,除了T4、T5试验组崩解外,其他试验组仍没有发生明显变化,这说明采用聚氨酯处理的试件具有良好的水稳性能,这主要得益于聚氨酯材料与土颗粒之间较强的既有结构,可以很好地抵御水的侵蚀破坏,同时也再次说明,聚氨酯水泥改性土中的水泥掺量不宜太高,或者掺入水泥时可适当提高聚氨酯溶液的浓度。

表4 水稳定性试验现象

试验编号	浸水0h	浸水48h	浸水1个月
T1	无	无	无
T2	无	无	无
T3	无	无	无
T4	崩解		
T5	无	崩解	
T6	无	无	无
T7	无	无	无
T8	无	无	无
T9	无	无	无

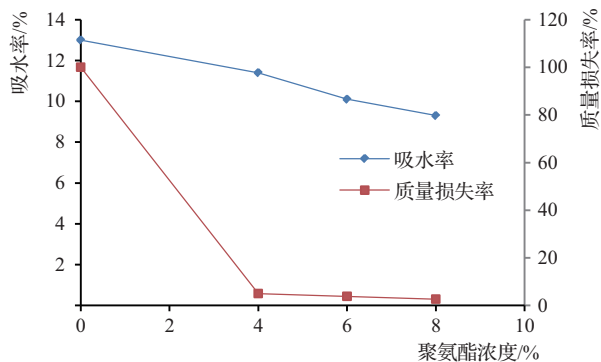
3.4 聚氨酯水泥改性土抗冻融循环特性

聚氨酯水泥改性土经过25次冻融循环(冻结温度-17℃,融化温度17℃)的试验结果见表5。从表中可以看到:经过25次冻融循环之后,T4试验组在放入水中时已发生崩解,而T5试验组有轻微的颗粒脱落,但结构的整体稳定性较好,这说明经聚氨酯处理后的试

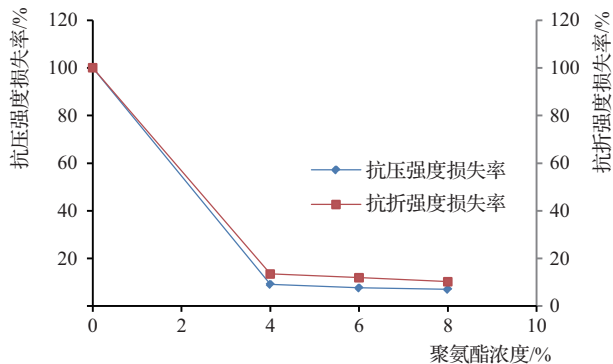
件,抗冻性能更佳。这主要是因为聚氨酯可以与水反应在土颗粒表面形成一层薄而坚韧的膜状物质,这些膜状物质作为颗粒的连接纽带,最终在试件中形成三维交联网络结构,从而能够起到很好的传递应力的作用,使土壤的整体性得到增强,胶结力大大提升,因而耐久性明显提升,从而有效抑制江水和地下水对大坝内部的侵蚀破坏。

表5 冻融循环试验现象

试验编号	冻融后状态
T1	整体结构稳定
T2	整体结构稳定
T3	整体结构稳定
T4	浸水已崩解
T5	有颗粒脱落,结构整体稳定
T6	整体结构稳定
T7	整体结构稳定
T8	整体结构稳定
T9	整体结构稳定



(a) 吸水率与质量损失率



(b) 强度损失率

图2 聚氨酯浓度对抗冻性的影响

为进一步分析聚氨酯浓度对抗冻性的影响,在水灰比为 0.5 的情况下,统计了聚氨酯浓度分别为 0、4%、6% 和 8% 四组试件的吸水率、质量损失率和强度损失率,结果见图 2。从图 2 可知:随着聚氨酯浓度的增加,改良土的吸水率、质量损失率、强度损失率均呈逐渐降低的变化趋势,这主要是因为聚氨酯与水反应生成的胶凝物质充填在孔隙结构中,不仅改善了浆体的孔隙结构,降低了孔隙连通性,提高了密实度,而且由于这些胶凝物质穿插在水泥水化产物中,具有很好的引气作用和胶结作用,可以阻止冻融循环下裂缝的扩展与延伸。

3.5 聚氨酯水泥改性土渗透性能

不同试验组 28 天龄期下的渗透性能试验结果见图 3。由图 3 可知:在相同龄期下,T4 试验组的渗透系数最大,达到了 $11.2 \times 10^{-7} \text{ m/s}$,T3 试验组的渗透系数最低,仅为 $1.2 \times 10^{-7} \text{ m/s}$,T3 与 T4 的渗透系数相差一个数量级,同时经聚氨酯处理后的改良土抗渗性明显优于纯水泥试验组,当混掺聚氨酯和水泥时,水泥水化反应生成的产物可以填充在土颗粒之间,从而使密实度提升,抗渗特性逐渐提高,但是水泥掺量并不能太高,这是因为水泥会破坏聚氨酯与土颗粒的既有结构,从而使孔隙率增加,因此,低掺量聚氨酯情况下,不宜掺入水泥,但是有时为了提升早期强度,在掺入水泥时,聚氨酯浓度应当适当提升。

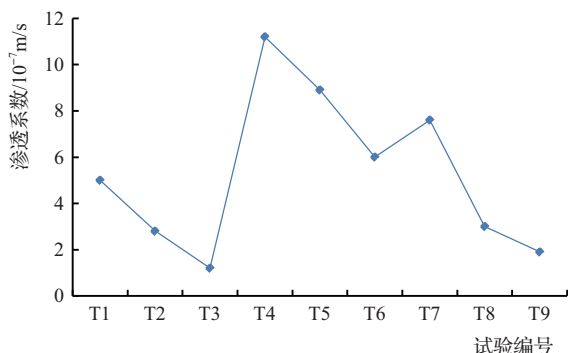


图 3 抗渗性试验结果

4 聚氨酯水泥改性土体微观结构特征

为进一步解释聚氨酯水泥改性土防渗止水的微观机理,对原状土及 T3、T4 和 T9 试验组进行 SEM 扫描

电镜试验,结果见图 4。由图 4 可知:在原土样中,虽然孔隙率较少,但土颗粒与土颗粒之间的相互联系较少,土颗粒呈独立赋存状态,一旦遇水或受其他外界因素影响,这种平衡结构很容易被打破;当仅掺入水泥进行改良时(T4),水泥水化反应生成的水化物质可以将土颗粒成团包裹起来,但是容易在这些团状颗粒之间留下较大的孔隙间隙,从而降低渗透性能;对于仅掺入聚氨酯的试验组(T9),在土颗粒周围有一层坚韧的白色薄膜,这层薄膜具有很强的黏结作用,使得土样的强度和水稳性能得到有效提升,但仍会有部分孔隙没有被填充;当混掺聚氨酯水泥进行改良时,土颗粒被坚韧薄膜包裹,同时水化产物填充在空隙处,使得土样内部形成三维交联网络结构,不仅避免了应力集中现象,而且还可以起到机械支撑作用,使得改良土的各方面性能均较优。

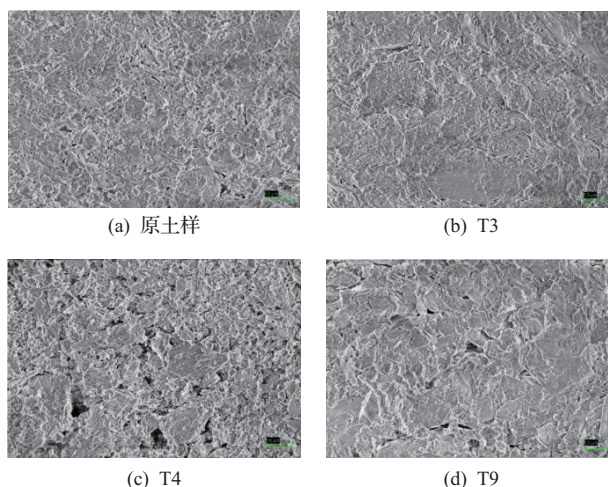


图 4 SEM 扫描电镜试验结果

5 结 论

针对龙河口水库主体大坝存在长期渗漏的现象,利用新型聚氨酯材料对大坝土体进行注浆加固改良试验,得出如下结论:

- 聚氨酯水泥浆液初凝时间和终凝时间较短,可以用于大坝快速注浆补强施工,但聚氨酯浓度会影响浆液的扩散半径,因而需要在注浆时适当调高水灰比。
- 聚氨酯水泥改性土在后期的强度改善效果明显优于前期,聚氨酯浓度越高,强度提 (下转第 84 页)



水利建设项目计划管理稽察工作的 实践与探索

李越川

(水利部建设管理与质量安全中心,北京 100038)

【摘要】 水利项目建设稽察是强化水治理、保障水安全的重要监管手段,计划管理是稽察工作的重要组成部分,历经20余年,计划管理稽察形成了较为完备的工作程序、方法和经验。本文通过总结计划管理稽察经验,查找工作中存在的不足,提出了完善计划管理稽察的建议和对策,可为后续开展计划管理稽察工作提供借鉴。

【关键词】 水利建设项目;计划管理;稽察;对策

中图分类号:TV698.2+1

文献标志码:B

文章编号:2097-0528(2022)07-054-04

Practice and exploration of planning management inspection of water conservancy construction projects

LI Yuechuan

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

Abstract: Water conservancy project construction inspection is an important supervision means to strengthen water management and ensure water safety. Planning management is an important part of inspection work. Relatively complete work procedures, methods and experience are formed for planning management inspection after more than 20 years. Shortcomings in work are discovered in the paper through summarizing the experience of planning management inspection, thereby providing reference for the follow-up planning management inspection.

Keywords: water conservancy construction project; planning management; inspection; countermeasures

水利稽察工作通过新形式、新方法和新理念的运用,促进了监督检查体系完善,实现了实时、高效、精准监管,特别是针对优化水利项目建设计划管理的稽察实践与探索,有利于提升稽察工作效能,是推动新阶段水利高质量发展的具体工作举措。

1 水利建设项目计划管理稽察概述

1.1 水利建设项目稽察的内涵

水利建设项目稽察是水利行业内部的监督检查,是发现问题并督促整改的制度设置。水利建设项目稽察是将水利行业监管职能进行有效整合,并独立于行业内各职能部门的监督管理工作,不受外界干扰和

收稿日期:2022-01-19

作者简介:李越川(1978—),女,工程师,主要从事水利建设项目监管工作。

影响,具有客观、公正、独立的特性。稽察目的是规范水利建设行为,纠正错误行为,加强国家水利建设投资管理,提高建设资金使用效益,确保工程质量并起到帮扶指导作用。

1.2 计划管理稽察的重点内容

计划管理稽察是水利建设项目稽察工作的重要组成和关键环节,是贯穿水利建设项目稽察工作始终的一条主线,主要包括:①计划下达环节稽察,被稽察的责任主体主要为地方计划主管部门或水行政主管部门,依据《政府投资条例》《重大水利工程中央预算内投资专项管理办法》等规定,核查在计划下达与转下达方面是否存在超概算或超范围下达投资计划(预算资金)、投资计划转(分解)下达不及时等问题;②计划执行环节稽察,被稽察的责任主体主要为项目法人、施工单位、监理单位以及其他关联单位,依据《中华人民共和国预算法》《工程建设项目施工招标投标办法》《水利水电工程标准施工招标文件》《水利水电工程施工测量规范》《水利工程施工监理规范》等规定,核查在工程计量及审核支付、计划调整与工程变更、投资控制与概算执行等方面是否存在工程价款结算计量无依据或依据不充分、建设项目调整未按规定履行设计变更手续、概算调整未履行报批手续等问题;③工程进度环节稽察,被稽察的责任主体主要为地方政府移民管理机构、项目法人、施工单位、监理单位以及其他关联单位,依据《中华人民共和国民法典》《大中型水利水电工程建设征地补偿和移民安置条例》《水利工程建设项目法人管理指导意见》等规定,核查在工程建设进度、年度计划进度和节点进度等方面是否存在工程建设进度滞后、移民征地进度不满足施工用地需求、主体工程节点进度滞后等问题;④工程数据统计环节稽察,被稽察的责任主体主要为项目法人、施工单位、监理单位等,依据《中华人民共和国统计法》《水利统计管理办法》等规定,核查统计管理、统计数据等方面是否存在未建立统计台账、统计数据弄虚作假等问题。

1.3 计划管理稽察的工作方式

计划管理稽察是水利建设项目稽察的一部分,是

对被稽察项目计划管理情况进行全过程、全方位的现场监督检查。根据被稽察单位和有关部门对计划管理存在问题的整改落实情况,适时组织专项督察或复查,强化问题整改落实。

现场稽察阶段由稽察组长牵头组织,计划专家具体负责实施专业稽察,通过听取汇报、查阅资料、查勘现场、座谈了解、调查取证和交换意见等方式,查出问题后,提交稽察工作底稿和工作建议等工作成果。

2 计划管理稽察实践及典型经验

水利建设项目稽察工作至今已历经 20 余年,计划管理专业的稽察人员将创新工作方法、提升工作效能贯穿于稽察工作始终,形成了较为完备的计划管理稽察的工作程序、方法和经验。

2.1 精细筹备工作开局

精细地做好稽察各项前期筹备工作是顺利开展计划管理稽察的基础,主要包括:详细了解被稽察项目相关情况,收集被稽察项目类型的法规标准和以往年度此类项目计划管理稽察发现问题的情况,梳理出此类项目多发和易发问题;合理制定计划管理工作方案,明确计划管理稽察的方向和重点;择优选用适合项目特点和工作要求的计划管理专业稽察人员。

2.2 创新稽察方式方法

为完善监督检查手段,强化监管能力,计划管理专业稽察人员编制了《水利建设项目稽察常见问题清单(试行)》(计划下达与执行卷),涵盖计划下达、计划执行、工程进度和工程数据统计 4 大类 67 项常见计划管理问题,每项问题对问题描述、法规标准内容、问题严重性质、违规责任主体予以明确,系统解决发现问题定性不准、标准不统一的问题;开发运用了稽察工作信息系统,客观记录和准确表述发现的计划管理问题,及时通过信息系统上传相关证据,作为发现问题的支撑材料,以提升信息化水平促进稽察工作效能。

2.3 规范现场稽察程序

在听取汇报、查阅资料、查勘现场、座谈了解、调查取证、交换意见六个常规现场稽察工作程序和方法基



基础上,研究制定了《计划管理专业稽察基本方法表》,统一规范计划管理稽察主要内容、检查方法以及重点关注问题,并且要求对计划管理发现的问题进行深入分析研判,找出问题产生的原因,分析体制机制存在的不足,提出意见和建议,确保现场稽察工作程序规范、工作深入,增强现场计划管理稽察效果。

2.4 严谨把关稽察成果

计划管理稽察成果是项目稽察报告的重要组成部分,为分清相关稽察人员责任,设置了多层级把关、审核机制。计划管理稽察专家对本专业工作底稿的准确性负直接责任,稽察助理对稽察报告与专家工作底稿的一致性负直接责任,对专家工作底稿的准确性负复核责任,稽察组长、专家组长对专家工作底稿、稽察报告的准确性分别负主管、分管责任。计划管理稽察成果经过稽察组长、专家组长初审后,形成交换意见稿,与被稽察单位交换意见。交换意见稿经稽察成果讨论会进行集中研讨后,修订形成审定稿提交上级主管部门,保障稽察成果符合要求。

2.5 严肃问题整改落实

计划管理稽察是通过发现计划管理方面的问题,督促被稽察单位按相关意见和建议,采取整改措施纠正计划管理存在的错误,规范计划管理工作。逐一复核被稽察单位反馈的稽察整改落实情况报告,着重核实计划管理发现问题产生的原因、责任人和整改措施是否满足整改意见的要求,必要时采取“回头看”方式进行复查。

3 计划管理稽察存在的不足

3.1 计划管理稽察专家匮乏

计划管理稽察工作涉及水利建设项目的全生命周期,是对水利建设项目的全过程、全部目标和全部活动的系统性检查,包括项目前期规划论证、可行性研究报告核定投资来源和规模、初步设计批复的主要建设内容、建设项目投资计划下达与执行、工程相关数据统计等方面内容,加之稽察的重大水利枢纽、大型灌区、病险水库等建设项目种类繁多,需要长期从事计划管理

相关工作且具有水利建设项目综合管理经验的技术人员担任计划管理稽察专家,但现阶段计划管理人员大多从事投资计划下达、计划执行、工程进度和工程数据统计的单项管理,具有综合性管理经验的人员偏少,造成计划管理稽察专家人力资源短缺。

3.2 对清单化稽察方式理解不到位

计划下达与执行专业实行常见问题清单化稽察方式是计划管理稽察的创新,虽然解决了定性不准、标准不统一的问题,但梳理出的常见问题较多(67项),相对于水利建设项目稽察时间较短而言,部分计划管理稽察专家逐项核对难度较大,往往忽视稽察重点,发现问题集中在简单或常见问题的现象突出。据统计,各批次稽察工程建设进度滞后、计划下达不合规问题较为频发,占每批次计划管理稽察发现问题比例的50%以上,一定程度上影响了计划管理稽察的机动性和灵活性。另外,稽察清单是方便专家写清问题的工具,不应完全套清单来查问题,还有很多清单外的问题,应在查清查实的同时,随时对稽察清单进行修改和丰富。

3.3 稽察专业间的互动需强化

对发现的典型计划管理问题进行研究显示,稽察指出的投资与概算控制、工程量计量等突出的问题较少,分析原因主要是实施概算外项目、工程存在计量错误等问题均与建设资金挂钩,此类问题实施具有很强的隐蔽性,检查难度很大。计划管理稽察专家需与前期设计、财务、质量安全等专业稽察专家互动发现问题,但现阶段个别计划管理稽察专家与其他专业稽察专家缺少互动与沟通。

4 完善计划管理稽察的对策建议

4.1 培养复合型计划管理稽察专家

复合型计划管理稽察专家是提升稽察工作质量的基础保障,需要从严把好计划管理稽察专家筛选的入口关,优先选择既从事过水利建设项目计划管理工作,又熟悉概算控制与执行的相关专家,此类人需要具备计划的宏观管理和概算控制等综合能力。同时,需要对选聘的计划管理稽察专家开展业务培训,及时更新

计划管理新要求、新知识,了解新时期加快构建国家水网的新目标、新理念,及时通报计划管理方面发现的典型案例,促进学习和交流,推行信息共享与成果共享机制,引导计划管理稽察专家深入开展工作,更好地服务于构建国家水网工作大局。

4.2 发挥清单式稽察的深层次作用

创新开展计划管理清单式稽察需要循序渐进,应总结开展计划管理清单式稽察的优缺点,关注计划管理稽察的重点项目、重点内容和重要环节,除工程建设进度控制外,还应注重投资控制环节,投资控制的重点就是概算控制、工程计量及审核等,特别应将涉及抛石护岸等隐蔽工程的水利建设项目列为重点检查内容,将申报完成投资、办理价款结算等列为重要检查环节,促使计划管理稽察查深查透查实,以利于发现计划管理存在的突出问题和深层次问题。

4.3 重视工程现场查勘的核心作用

工程现场查勘是水利建设项目稽察的必要环节,工程现场的形象面貌是计划执行和投资完成的具体展示,通过现场查勘可以了解工程项目是否实施、是否按照设计标准实施等,结合查阅工程前期设计文件和财务结算资料,系统了解水利建设项目与周边农业、国土整理等部门建设项目的搭接情况,避免出现重复列项目的问题,便于深入开展概算控制和执行的检查。

4.4 注重与其他稽察专业的互通交流

通过梳理稽察计划管理专业的问题发现,不论是突出问题还是典型问题,均需要计划管理稽察专家与前期、建管、财务等专业的专家互动、交流,计划管理稽察专家不能孤立地开展工作的,一旦发现苗头性问题,需马上启动相关专业的稽察专家互动程序,各专业稽察专家形成合力,化解稽察过程中存在的难点,也要加强现场稽察与后方互动,对定性不准或存疑的问题充分

讨论,群策群力,持续拓展计划管理稽察工作的深度和广度。

5 结 语

水利工程项目大多数是社会公益性项目,资金来源主要是国家投资和地方补助,单项工程投资数额大,工期较长。计划下达与执行对工程建设十分重要,因此,加强计划管理,严格控制投资进度和建设进度,按照时间节点逐步推进,是确保工程达到预期目标的根本,是助力新时期水利工程建设管理高质量发展的重要举措。◆

参考文献

- [1] 水利部安全监督司. 水利工程项目稽察绩效调研报告[C]//查事情 求真知 出良策——水利部2009年调研报告集. 北京:中国水利水电出版社,2010.
- [2] 水利部安全监督司. 水利稽察法规汇编[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
- [3] 郑晓慧. 水利工程稽察理论与实践[M]. 郑州:黄河水利出版社,2015.
- [4] 石庆尧,黄玮,庞晓岚,等. 水利工程质量监督理论与实践指南[M]. 3版. 北京:中国水利水电出版社,2015.
- [5] 刘湘宁. 用法治思维和法治方式谋划水利稽察工作[J]. 水利建设与管理,2015,35(4):14.
- [6] 刘晓明,吕祖云,陈结文. 水利工程项目稽察评价指标体系及评价方法研究. [J]. 中国水利,2015(10):16-19.
- [7] 邱信蛟. 新形势下加强水利工程质量监督计划编制工作的思考[J]. 中国水利,2018(18):36-37.
- [8] 雷俊荣,刘燕. “强监管”下的稽察监督体制机制探讨[J]. 中国水利,2020(2):45-47.
- [9] 李甜畅. 对稽察发现问题、分析原因和形成概念的思考[J]. 水利建设与管理,2020(9):48-50,47.
- [10] 刘爱国,刘曙光,孟霖. 新时期水利稽察工作的几点启示[J]. 山东水利,2021(8):34.



水利建设项目稽察评价体系探究

李 红

(水利部建设管理与质量安全中心,北京 100038)

【摘 要】 为加强稽察成果应用,推动水利稽察工作高质量发展,本文结合稽察工作实践经验,通过研究水利稽察项目评价关键影响因素,采用层次分析法构建水利建设项目稽察评价体系,对稽察过程、同一批次、同一类型或同一年度的水利建设稽察项目进行多方位的量化评价分析,以提高水利稽察效能,为水利行业监管体系建设提供决策支撑。

【关键词】 水利建设项目;稽察评价;稽察专业;建设阶段;评价体系

中图分类号: TV512

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-058-05

Study on inspection and evaluation system of water conservancy construction projects

LI Hong

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

Abstract: The practical experience of inspection work is combined and the analytic hierarchy process is adopted to construct the inspection evaluation system of water conservancy construction project through studying key factors affecting the evaluation of water conservancy inspection project in order to strengthen the application of inspection results and promote high-quality development of water conservancy inspection work. Multi-dimensional quantitative evaluation and analysis of the inspection process are carried out aiming at the same batch, the same type or the same year of water conservancy construction inspection projects, in order to improve the efficiency of water conservancy inspection and provide decision-making support for the construction of water conservancy industry supervision system.

Keywords: water conservancy construction project; inspection evaluation; inspection specialty; construction stage; evaluation system

稽察是水利建设项目监督检查的重要方式,是促进贯彻落实水利改革高质量发展的重要手段。为提升稽察工作质量,探索建立一套稽察发现问题与建管水平、监管效果等要素相联系的评价体系,对评价稽察成效,创新稽察方式方法,具有指导工作实践的积极意义。

1 水利稽察项目评价影响因素

水利稽察工作主要针对的是中央投资的水利工程建设项目,从前期与设计、建设管理、计划管理、资金使用与管理、质量管理、安全管理6个专业入手开展稽察监管,水利建设项目稽察评价工作的影响因素较为复

收稿日期: 2021-11-03

作者简介: 李红(1976—),女,高级工程师,主要从事水利工程稽察工作。

杂,涉及不同建设阶段、稽察发现问题、地域差异、稽察人员差异、项目类型等多种因素。

1.1 不同建设阶段

水利建设项目在开工前(可研初设阶段)、施工准备、主体工程开工、施工高峰、主体工程接近完工等不同阶段,建设侧重点不同,前期与设计、建设管理等6个专业在整个稽察工作中所占权重不同。一般情况下,开工前和施工准备阶段,前期与设计是所占权重较大的重点稽察内容;主体工程开工至施工高峰阶段,建设管理、资金使用与管理、质量管理、安全管理是所占权重较大的重点稽察内容;主体工程接近完工阶段,资金使用与管理、质量管理是所占权重较大的重点稽察内容。

1.2 稽察发现问题

稽察成果主要是指稽察发现的问题,发现问题的数量和严重程度是对水利建设项目稽察评价的直观影响因素。

1.3 地域差异

我国地域辽阔,南方与北方、东部与西部在气候条件、经济发展水平、人才储备等多方面都存在较大差异,对水利建设项目影响较多的是工程建设进度。考虑到批复项目工期时,已经对这些差异进行了统筹安排,在水利建设项目稽察评价时不再重复考虑该因素。

1.4 稽察人员差异

鉴于稽察组内组长、专家的业务水平、实践经验等各不相同,对于同一个稽察项目,不同稽察组发现的问题会存在一定的差异。在筹建稽察组时已充分考虑了人员的结构层次,不同稽察组的人员搭配相对均衡;另

外,通过制定统一的稽察规则 and 标准也可以进一步消减这方面的影响。

1.5 项目类型

水利建设项目类型复杂多样,不同类型的项目稽察成果也存在一定的差异。当稽察评价的水利建设项目涉及到多种类型时,可先进行同类型评价,根据项目规模等差异因素,系数微调后再进行分析研究。

2 构建水利建设项目稽察评价体系

通过分析水利建设项目稽察评价的影响因素,可发现不同建设阶段和稽察发现问题是最主要的客观影响因素。由此,我们假定其他因素均处于理想状态,则可构建由不同建设阶段和稽察发现问题两个分项组成的水利建设项目稽察评价体系,对水利建设项目进行量化的稽察评价。

对于每个稽察项目,按照前期与设计、建设管理等6个稽察专业来确定评价指标,设定项目不同建设阶段各专业的权重系数为 A ,稽察发现问题的数量和严重程度评价系数为 B ,水利建设项目稽察评价值为 C 。则可得出稽察评价结果 C :

$$C = A \times B^T \times 100$$

$$= [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6] [B_1 \ B_2 \ B_3 \ B_4 \ B_5 \ B_6]^T \times 100 \quad (1)$$

在该评价体系中,最终评价结果位于最顶层,基本评价信息位于最底层,呈现多层次递阶的层次分析结构,其中上下层之间均有关联隶属关系,每一级都是上一级的评价指标,也是下一级的评价目标。稽察评价体系见图1。

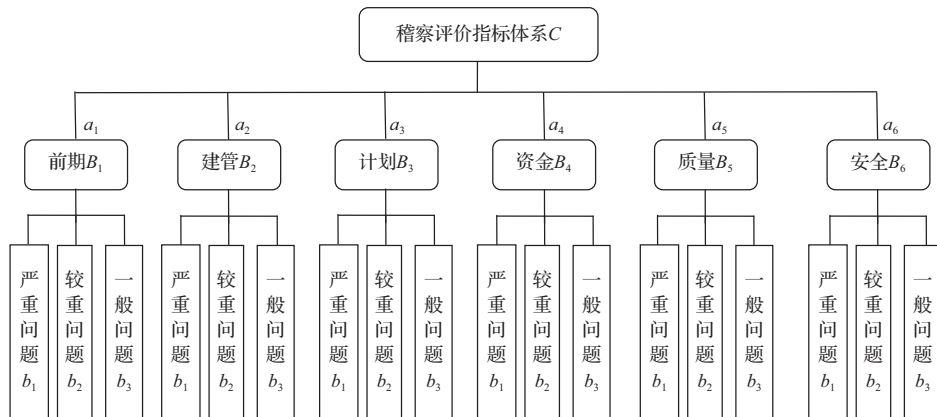


图1 稽察评价体系框架



按照“木桶定律”原理,要评价出最差的项目,对其重点关注和整改提高,从而提升整个水利行业的建设水平。根据 C 值得分,可对水利建设项目进行优劣排序,并划分为优良、合格和不合格三个等级,其中 85 分及以上为优良、60 分(含)至 85 分之间为合格、60 分以下为不合格,发生重特大质量或安全事故,评价为不合格。

3 评价系数研究

要科学客观地评价水利建设项目,按照公平公正的原则,利用数理统计的方法,对项目在不同的建设阶段的权重系数 A 、发现问题的数量和严重程度评价系数 B ,研究设定科学合理的赋值。

3.1 权重系数 A 值

权重系数 A 值是指在项目不同建设阶段,各稽察

专业在建设中所占的比重,各稽察专业权重系数之和为 1。将项目所处不同建设阶段作为横向层次,前期与设计、建设管理等 6 个稽察专业的评价权重作为纵向层次,各专业占项目总体评价的权重以矩阵 A 表示:

$$A = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5 \quad a_6]$$

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 = 1$$

根据完成投资占项目批复总投资的多少来设定项目建设进度,将建设过程划分为 0 ~ 20%、20% ~ 50%、50% ~ 70%、70% ~ 90% 和 90% ~ 100% 等 5 个阶段,前期与设计、建设管理等 6 个专业在这 5 个阶段中的评价权重系数 $A_1 \sim A_6$,详见表 1 和连续函数公式:式(1)~式(6)。

表 1 各专业评价权重 A 值

系数 A	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
进度/%	0 ~ 20	20 ~ 50	50 ~ 70	70 ~ 90	90 ~ 100
专业					
前期与设计 a_1	0.3	0.3 ~ 0.2	0.2 ~ 0.1	0.1	0.1
建设管理 a_2	0.2	0.2 ~ 0.25	0.25 ~ 0.2	0.2 ~ 0.1	0.1
计划管理 a_3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
资金使用与管理 a_4	0.15	0.15	0.15 ~ 0.2	0.2 ~ 0.25	0.25
质量管理 a_5	0.1	0.1 ~ 0.15	0.15 ~ 0.2	0.2 ~ 0.25	0.25 ~ 0.3
安全管理 a_6	0.1	0.1	0.1 ~ 0.15	0.15	0.15 ~ 0.1

$$a_1 = \begin{cases} 0.3 & [0, 20) \\ \frac{20-x}{300} + 0.3 & [20, 50) \\ \frac{50-x}{200} + 0.2 & [50, 70) \\ 0.1 & [70, 100) \end{cases} \quad (1)$$

$$a_2 = \begin{cases} 0.2 & [0, 20) \\ \frac{x-20}{600} + 0.2 & [20, 50) \\ \frac{50-x}{400} + 0.25 & [50, 70) \\ \frac{70-x}{200} + 0.2 & [70, 90) \\ 0.1 & [90, 100) \end{cases} \quad (2)$$

$$a_3 = 0.15 \quad (3)$$

$$a_4 = \begin{cases} 0.15 & [0, 50) \\ \frac{x-50}{400} + 0.15 & [50, 90) \\ 0.25 & [90, 100) \end{cases} \quad (4)$$

$$a_5 = \begin{cases} 0.1 & [0, 20) \\ \frac{x-20}{600} + 0.1 & [20, 50) \\ \frac{x-50}{400} + 0.15 & [50, 90) \\ \frac{x-90}{200} + 0.25 & [90, 100) \end{cases} \quad (5)$$

$$a_6 = \begin{cases} 0.1 & [0, 50) \\ \frac{x-50}{400} + 0.1 & [50, 70) \\ 0.15 & [70, 90) \\ \frac{90-x}{200} + 0.15 & [90, 100) \end{cases} \quad (6)$$

3.2 评价系数 B 值

评价系数 B 值是指各专业发现问题的严重程度和数量所对应的评价系数。各专业评价系数以矩阵 B 表示:

$B = [B1 \ B2 \ B3 \ B4 \ B5 \ B6]^T$ (注:转置矩阵,1列、6行)

$B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 、 $B4$ 、 $B5$ 、 $B6$ 分别表示前期与设计、建设管理等6个稽察专业的评价取值。通过专业评价取值表,可确定稽察各专业的评价得分 B_i , $B_i = b_{1\text{严重}} + b_{2\text{较重}} + b_{3\text{一般}}$ 。

为体现稽察重在发现和挖掘深层次问题,使 B 值更客观真实地表达项目建设情况,严重问题、较重问

题、一般问题的权重比例确定为5:3:2。其中严重问题 b_1 取值范围0.5~0,较重问题 b_2 取值范围0.3~0,一般问题 b_3 取值范围0.2~0。系数 B 取值表将稽察发现问题的数量作为横向层次,问题的严重程度作为纵向层次,详见表2~表4和函数公式(7)。

表2 严重问题 b_1 评价取值

问题(n)	0	1	2	3	4(≥ 4)
系数(b_1)	0.5	0.35	0.2	0.05	0

表3 较重问题 b_2 评价取值

问题(n)	0	1	2	3	4	5	6(≥ 6)
系数(b_2)	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0

表4 一般问题 b_3 评价取值

问题(n)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10(≥ 10)
系数(b_3)	0.2	0.18	0.16	0.14	0.12	0.1	0.08	0.06	0.04	0.02	0

$$B = \sum_{i=1}^3 b_i(n_i) \quad b_1 = \begin{cases} 0.5 - 0.15n_1 & n_1 < 4 \\ 0 & n_1 \geq 4 \end{cases}$$

$$b_2 = \begin{cases} 0.3 - 0.05n_2 & n_2 < 6 \\ 0 & n_2 \geq 6 \end{cases}$$

$$b_3 = \begin{cases} 0.2 - 0.02n_3 & n_3 < 10 \\ 0 & n_3 \geq 10 \end{cases} \quad (7)$$

4 评价体系验证

按照上述评价体系,利用现有稽察成果,对2019年和2020年部分稽察项目进行了评价验证。

4.1 合理性验证

正态分布是一种很重要的连续型随机变量的概率分布,广泛存在于自然现象、社会现象、科学技术以及生产活动中,在实际生活中遇到的许多随机现象都服从或者近似服从正态分布。

基于正态分布的普适性,采用正态分布来验证稽察评价体系评价结果的合理性,即若干稽察项目评价结果 C 值服从正态分布,则认为稽察评价体系评价结论合理。

正态分布概率密度函数为

$$f(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

其中, μ 和 σ^2 分别是正态分布的期望和方差,分别表征随机变量的最可能取值以及一切可能取值的分散程度。

4.2 2019年稽察项目评价验证

选取2019年度112个水利建设项目进行稽察评价,评价结果为优良的13个、占11.6%,合格的85个、占75.9%,不合格的14个、占12.5%,评价曲线整体分布较合理,接近正态分布,见图2,概率密度函数见式(8)。

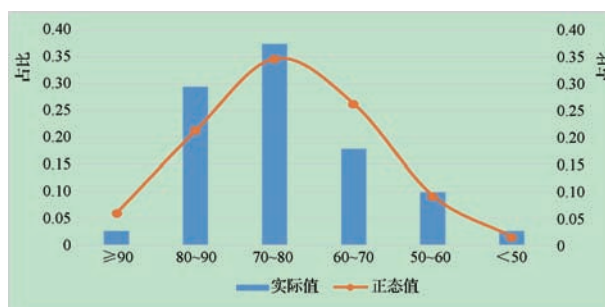


图2 112个项目综合评价曲线分布



$$f(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.11} e^{-\frac{(c-0.74)^2}{2 \times 0.11^2}} \quad (8)$$

4.3 2020年稽察项目评价验证

选取2020年的40个水利建设项目进行稽察评价,评价结果为优良的7个、占17.5%,合格的31个、占77.5%,不合格的2个、占5%;评价曲线分布见图3,概率密度函数见式(9)。

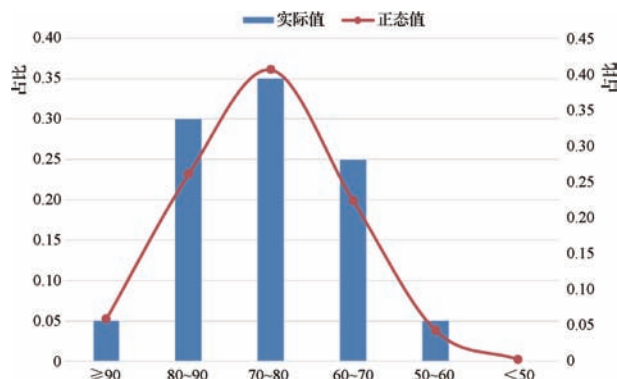


图3 40个项目综合评价曲线分布

$$f(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(c-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.09} e^{-\frac{(c-0.76)^2}{2 \times 0.09^2}} \quad (9)$$

评价结果显示,稽察评价体系综合评价曲线整体分布较合理,接近正态分布,与部分项目的现场稽察人员核实后发现,评价结果与实际情况基本相符。说明所构建的稽察评价体系计算方法适用合理,可尝试作为后续水利建设项目的稽察评价方法。

5 应用前景

结合现有稽察信息管理系统,研究构建一套科学有效的水利建设项目稽察评价体系,可使稽察评价工作更加方便、简捷、实用。根据稽察成果,可得出各专业和项目的综合评价得分,在稽察工作中实现以下四个方面的应用。

5.1 稽察工作中

在稽察工作中,根据稽察发现的问题,对各专业和整个项目进行稽察评价后,当评价得分与项目建设实际情况差异较大时,可对现场稽察工作起到纠偏引导作用。

5.2 同一批次稽察的水利建设项目

对同一批次稽察的水利建设项目,可按需求对批次或者某个专业进行稽察评价。对评价出的优秀项目,作为行业先进示范项目;对评价出的较差项目,则给予重点关注和帮助指导。

5.3 同一类型水利建设项目

该体系可对同一类型的水利建设项目开展稽察评价,直观反映出这类项目的发展趋势,便于明确今后该类型项目的稽察监管方向。

5.4 同一年度稽察的水利建设项目

该体系可对同一年度内稽察过的水利建设项目开展稽察评价,总结分析年度稽察工作成效,查缺补漏,进一步提升稽察工作质量。◆

参考文献

- [1] 矫勇. 全面推进新形势下水利稽察工作 为水利事业又好又快发展提供有力保障——在全国水利稽察工作会议上的讲话[J]. 水利建设与管理, 2009, 29(12): 1-6.
- [2] 白梅花, 翟丽丽, 白云. 生活常态模式——浅谈正态分布[J]. 科技资讯, 2020, 18(4): 192-193.
- [3] 刘晓明, 吕祖云, 陈结文. 水利工程项目稽察评价指标体系及评价方法研究[J]. 中国水利, 2015(10): 16-19.
- [4] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012(7): 93-100.
- [5] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008(5): 148-152.
- [6] 章志明, 汪峰, 桂单明. 水利工程稽察评价指标识别与体系构建[J]. 浙江水利水电学院学报, 2018(3): 39-44, 49.
- [7] 陈维杰. 水利工程稽察方法刍议[J]. 治淮, 2018(7): 48-49.
- [8] 刘湘宁. 用法治思维和法治方式谋划水利稽察工作[J]. 水利建设与管理, 2015, 35(4): 1-4.
- [9] 李甜畅. 对稽察发现问题、分析原因和形成概念的思考[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(9): 48-50, 47.
- [10] 刘爱国, 刘曙光, 孟霖. 新时期水利稽察工作的几点启示[J]. 山东水利, 2021(8): 3-4.

基于故障树的景电工程水泵常见故障分析

董雪旺 彭维恩

(甘肃省景泰川电力提灌水资源利用中心,甘肃 白银 730400)

【摘要】 水泵是景电工程泵站提水系统的核心设备。由于自身问题及复杂的设备运行环境,水泵时常发生故障,严重影响了提水效率和运行安全。本文基于故障树分析法对景电工程的离心泵进行故障建模分析,通过对水泵故障的定性分析和定量计算,总结归纳水泵故障发生概率的可能性排序,并以此为依据对故障进行预防,对水泵进行维护,以缩减故障发生时间,减少故障发生频率,提高水泵效率,延长水泵工作时间,确保水泵安全运行。

【关键词】 景电工程;水泵;故障建模;故障树分析法

中图分类号: TH311

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-063-05

Analysis on common faults of water pump in Jingdian project based on fault tree

DONG Xuewang, PENG Wei'en

(Gansu Jingtaichuan Electric Power Pumping Irrigation Water Resources Utilization Center, Baiyin 730400, China)

Abstract: The water pump is the core equipment of the water pumping system of Jingdian Project Pump Station. The pump failure occurs sometimes due to the problem of the pump itself and the complicated operating environment of the equipment, thereby seriously affecting the pumping efficiency and operation safety. Fault modeling analysis is carried out aiming at centrifugal pumps of Jingdian Project based on fault tree analysis. The probability of water pump failure is summarized, and it is regarded as a basis to effectively prevent the faults and maintain the water pump accordingly through the qualitative analysis and quantitative calculation of the water pump fault, thereby reducing the fault time and frequency, improving the efficiency of the water pump, extending the working time of the pump, and ensuring safe operation of the pump.

Keywords: Jingdian Project; water pump; fault modeling; fault tree analysis

甘肃省景泰川电力提灌工程是一项高扬程、大流量、多梯级的电力提灌引黄工程。景电工程灌区发展至今,共建有泵站41座,机组306台套,总装机容量为

31.34万kW;灌区灌溉面积约120万亩(含民勤),现一、二期设计总提水流量 $31.5\text{m}^3/\text{s}$,加大流量 $36.83\text{m}^3/\text{s}$,最大提水高度713m。景电工程以泵站为

收稿日期: 2021-07-12

基金项目: 甘肃省水利重点科研计划项目“离心水泵滚动轴承改装与研究”(甘水科外发[2018]70号);甘肃省水利科学试验研究及技术推广计划(甘水建管发[2021]71号)

作者简介: 董雪旺(1968—),男,高级工程师,主要从事水利水电工程管理工作。



输水节点,梯级提水,逐级分流。

水泵是各级泵站提水的核心设备,景电工程使用的水泵以中开双吸离心泵为主。根据上水流量的大小,各级泵站安装流量大小不同、数量不等的水泵。由于水泵本身问题、安装精度、进出水条件、黄河水质、输水管路、供电电源问题、设备运行环境复杂等诸多因素,导致水泵故障时有发生,严重影响了提水的效率和运行的安全性。为了保证灌区土地的正常灌溉,如何保证水泵正常工作,减少水泵故障时间,有效提高景电工程提水灌溉效益是亟待解决的问题。针对这一问题,需要建立一个完善的水泵故障评估系统,对水泵的常见故障进行分析,为泵站技术人员提供水泵维护、管理和自动化监测方面的有效参考意见。

1 水泵故障分析

1.1 结构组成

中开双吸离心泵由泵体、泵盖、泵轴、叶轮、密封环、轴套、填料、轴承组成。一般来说,离心泵的基本结构可分为转子、泵体、密封和轴封。水泵转子由叶轮、轴承、轴套、泵轴构成,主要起到为离心泵提供运转动力的作用。泵体在具体的设计方面一般多以导叶或者蜗室两种结构型式为主,导叶与蜗室均具备扩散的特性,主要为输送与包容液体提供支撑和导流功能。而密封环主要作用是解决液体从高压区向低压区泄漏的问题,轴封主要作用是解决带压液体与大气压之间的

隔离问题^[1]。

1.2 工作原理

离心泵主要利用叶轮高速旋转使液体产生离心力来工作。离心泵在启动前先关闭出水阀,打开进水阀,入口液体进入叶轮中心区域,必须使泵壳和吸入管内充满液体,然后启动电机,泵轴带动叶轮高速旋转,同时打开出水阀,使叶轮内的液体在离心力的作用下将液体甩出,经蜗形泵壳的流道流入离心泵的输出管路,叶轮中心就形成低压区,入口液体在大气压作用下,源源不断地流向低压区,即进入叶轮中心后又被甩出,重复循环,达到了输送液体的目的^[2]。

1.3 常见故障及原因

景电工程由于泵站较多,采用梯级建设,各泵站都并联安装多台水泵,在上水高峰期,大部分泵站满负荷运行,无备用机组,如若设备发生故障,会造成多级泵站停运相应流量的水泵,造成灌区流量减少,系统运行失衡,因此水泵安全运行尤为重要^[3]。离心泵在实际运行中,常见的故障种类较多,例如水泵振动、异常声响、流量不足、轴承发热或损坏、串轴、过负荷、阀门下落、电压不平衡、电机问题等^[4],需要统计归纳,总结经验,分类管理,避免故障发生。

本文以景电工程应用的离心泵为例,对水泵运行故障进行分类,其故障主要分为三种类型:动力问题、水泵振动严重和出水问题。表1进一步分析了各故障的根本原因,并总结归纳了相应处理方法。

表1 离心泵运行故障分类

故障类型	根本原因	符号	处理方法
动力问题 A1	机器小,水泵大	X01	选择合理的水泵配套电机
	电源故障	X02	保障安全供电、调整供电质量
	电机问题	X03	对电机进行修复
泵振动严重 A2	轴瓦间隙过大或轴承损坏	X04	调整轴瓦间隙或更换轴承
	转子不平衡	X05	停机检修、消除应力
	两轴不同心或间隙过小	X06	调整同心度或间隙
	断轴或泵轴弯曲	X07	更换泵轴
	联轴器问题	X08	紧固或调整间隙
	叶轮与密封环或泵壳有碰磨	X09	清除机械摩擦故障
	地脚松动	X10	立即拧紧

续表

故障类型	根本原因	符号	处理方法
出水问题 A3	叶轮汽蚀、磨损严重	X11	更换或修复叶轮
	泵扬程不足	X12	选择合理的泵型
	阀门开度不够	X13	维修阀门系统
	水质差	X14	清理杂物、做沉沙处理
	泵内杂物卡阻或空气进入	X15	清理泵内杂物和气体





2 故障树模型建立与分析

2.1 故障树建立

故障树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)是一种自上而下的演绎推理方法,主要用于可靠性分析和安全工程研究等领域。它能够将可能造成水泵系统失效的原因进行逐步分解,用一系列带有特定含义的符号,按照一定的规则绘制系统对应的倒立树状因果关系图,获取造成系统失效的根本原因,确定各故障发生的可能性^[5]。

对水泵系统进行故障树分析的第一步就是对该系统进行故障树建模。首先要针对水泵系统选定影响范围最大的故障原因作为顶事件,然后将造成这种故障的原因逐一分解作为故障树的中间事件,将不能再进行分解的故障原因作为水泵系统故障树的底事件,这也是造成水泵故障发生的根本原因。通常用合理的逻辑符号来描述各事件之间的相互关系^[6],常用的故障树符号见表2。

表2 常用故障树符号

名称	符号	说明
圆形		基本事件,底事件
矩形		顶事件,中间事件
或门		输入事件中有一个事件发生则输出事件就发生
与门		输入事件全都发生则输出事件就发生

通过逻辑符号来描述中间事件与顶事件和底事件之间的因果关系,下层事件是上层事件的原因,上层事

件是下层事件的结果。

2.2 定性分析

故障树的定性分析过程就是求故障树最小割集的过程,目的是为了寻找导致顶事件发生的最少底事件组合。

系统发生故障往往伴随着多个底事件共同发生,通过建立故障树模型对系统进行定性分析,获取导致系统发生故障的最小割集,对最小割集的底事件进行单点重要性计算,得到对系统潜在故障或者问题的分析结果,指出设备容易发生故障的重点部位,并给出对这些部位进行维修养护的指导意见,因此利用最小割集对故障树进行分析具有很强的研究价值^[7]。

2.3 定量分析

故障树定量分析的任务是根据底事件发生的概率估计顶事件发生的概率以及系统的一些可靠性指标。在故障树定量计算时可以通过故障树的逻辑关系直接求顶事件发生的概率,也可以通过最小割集求顶事件发生的概率^[8]。

根据故障树的顶事件与中间事件的逻辑运算结构,可以将复杂整树结构分解成许多的单独子树结构,从最底层开始由下往上进行逐层计算。由于本文水泵故障树建模,只涉及了或门的应用,且同一底事件或未探明事件在故障树中只出现了一次,所以故障的定量分析可采用直接概率法求顶事件发生的概率,计算公式为

$$P(T) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$$

式中: P_i 为底事件*i*发生的概率; $P(T)$ 为输出事件发生的概率。



3 水泵故障树建模分析

建立的顶事件,从上而下建立水泵故障树模型,见图1。

3.1 水泵故障树建立

根据对水泵的故障分析,选定水泵故障为故障树

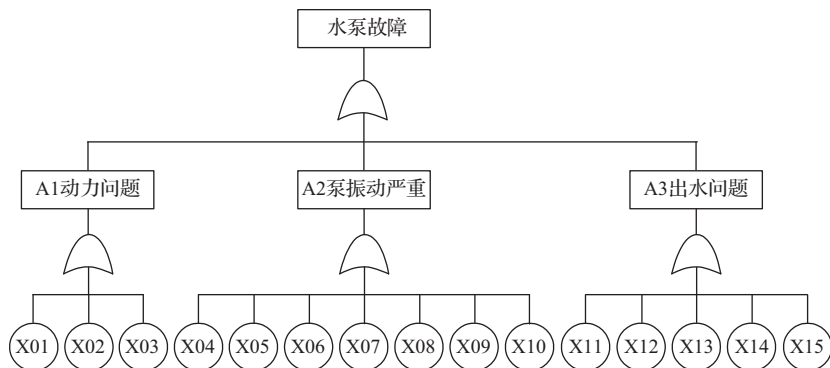


图1 水泵故障树模型

3.2 故障树分析

因为水泵故障树底事件之间是相互独立的,而水泵在实际运行中,底事件和中间事件之间有交叉因素,为避免重复计数,所以把底事件归纳为某一中间事件,这样就可以得到导致水泵产生故障的最小割集为

$$P = A1 + A2 + A3$$

$$A1 = X01 + X02 + X03$$

$$A2 = X04 + X05 + X06 + X07 + X08 + X09 + X10$$

$$A3 = X11 + X12 + X13 + X14 + X15$$

根据最小割集中所包含的底事件进行概率统计定量分析,采集景电一、二工程306台套离心泵故障数据,统计2018年3—12月的水泵故障数据总量,具体的水泵故障底事件概率见表3。

表3 卧式中开双吸离心泵故障底事件概率统计

底事件	样本总量	底事件发生次数	概率 P_i
X01	306	7	0.0229
X02	306	3	0.0098
X03	306	1	0.0033
X04	306	19	0.0621
X05	306	3	0.0098
X06	306	4	0.0131
X07	306	6	0.0196
X08	306	3	0.0098
X09	306	2	0.0065

续表

底事件	样本总量	底事件发生次数	概率 P_i
X10	306	2	0.0065
X11	306	27	0.0882
X12	306	6	0.0196
X13	306	7	0.0229
X14	306	11	0.0359
X15	306	15	0.0490

由于导致水泵故障发生的原因属于单点原因,可以根据定量计算公式计算得出水泵故障树顶事件和各中间事件的发生概率 P 如下:

$$\begin{aligned} P(A1) &= 1 - (1 - P(X01))(1 - P(X02))(1 - P(X03)) \\ &= 1 - 0.9771 \times 0.9902 \times 0.9967 \\ &= 0.0357 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(A2) &= 1 - (1 - P(X04))(1 - P(X05))(1 - P(X06)) \\ &\quad (1 - P(X07))(1 - P(X08))(1 - P(X09)) \\ &\quad (1 - P(X10)) \\ &= 1 - 0.9379 \times 0.9902 \times 0.9869 \times 0.9804 \times 0.9902 \\ &\quad \times 0.9935 \times 0.9935 \\ &= 0.1218 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(A3) &= 1 - (1 - P(X11))(1 - P(X12))(1 - P(X13)) \\ &\quad (1 - P(X14))(1 - P(X15)) \\ &= 1 - 0.9118 \times 0.9804 \times 0.9771 \times 0.9641 \times 0.9510 \\ &= 0.1992 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(T) &= 1 - (1 - P(A1))(1 - P(A2))(1 - P(A3)) \\
 &= 1 - 0.9643 \times 0.8782 \times 0.8008 \\
 &= 0.3218
 \end{aligned}$$

根据统计表中底事件的概率统计,以及对离心泵故障树模型的定性分析和定量计算,可得水泵顶事件故障的年发生概率为 32.18%。所以,因故障造成水泵停机次数增多,严重影响了景电工程提水灌溉效率和正常灌溉。其中,可以看出造成水泵故障的最重要原因是出水不足问题,其次是泵振动严重,最后是动力问题。因此可以根据水泵故障的分析结果作出对应的检修维护计划,对水泵发生故障的关键部位进行重点检修,减少水泵故障发生时间,提高水泵提灌效益。

4 解决措施

4.1 出水问题解决措施

首先,出水问题是水泵维修的重点事项。出水不足的主要原因是景电工程泵站属引黄提灌工程,水中含沙量大,杂物卡阻或空气进入占比较大,易造成水泵严重磨损和汽蚀,水泵叶片穿孔。因此,选择抗磨损、汽蚀性好、制造工艺精良的水泵至关重要,且很有必要在二级泵前建沉沙池^[9];另外在停水期加大对泵的涂护和修复是一项重要的检修工作;在上水期注重及时停机维护保养,清除前池的杂物,排出泵内的气体,相对提高前池水位,确保泵在良好的状态下运行。其次,是泵的扬程不足问题。在改造期间,要严格选择适合该级泵站运行工况的水泵。最后,加大对出水阀门系统的维修,确保阀门启闭灵活,开度到位。

4.2 泵振动严重解决措施

泵振动严重的主要原因是轴瓦间隙过大或轴承损坏。根据现场情况,景电二期 1~13 泵站安装的 84 台 1200S 主力泵中有 70 台采用滚动轴承支撑,轴承发热和损坏事件发生率高,可以加装滑动轴承以提高泵的安全性;装有滑动轴承的水泵应将轴瓦间隙调整至规定范围内。其次是泵轴问题,断轴多发生在中小型水泵,主要由轴有挠度、泵内卡阻、填料过紧和压盖倾斜造成,因此保持水泵在良好环境下运行,按规定加填料是必然要求。其余底事件多因安装问题引起,确保泵

的安装精度可以避免水泵振动^[10]。

4.3 动力问题解决措施

产生动力问题的主要原因是电机小、水泵大、过负荷,以及由电机内部质量问题造成的机组振动、串轴、出水不足,因此,选择相对应的配套优质电机是确保电机安全运行和水泵正常工作的必要条件;其次是使用电源的质量问题,应严格采用安全供电设备,使用规范的电源,使机组运行在供电可靠、不跳闸,不缺相、电压频率标准、三相平衡的安全电源环境状态。

5 结论

基于景电工程离心水泵的故障分析,建立了基于故障树的水泵故障模型,通过定性分析和定量计算,获取了离心水泵的故障发生概率,根据所得的故障概率数值大小,可对水泵日常的检修维护采取相应的处理和预防措施,确保设备安全运行,同时为景电工程泵站自动化建设提供一定的技术支撑和理论依据。◆

参考文献

- [1] 刘毅. 离心泵的结构特征及维护技术分析[J]. 居舍, 2017(30): 46.
- [2] 刘勇. 离心泵的性能特点及应用[J]. 工艺与设备, 2018(8): 94.
- [3] 杨斌, 魏生全. 浅析高扬程泵站存在的问题和更新改造的思路[J]. 水利建设与管理, 2010, 30(8): 22-23.
- [4] 张媛媛, 原思聪, 郭田奇. 案例推理方法在水泵故障诊断中的应用[J]. 机械设计与制造, 2018(11): 63-66.
- [5] 何卫东, 任喜岩, 马思群, 等. 转辙机可靠性的逻辑诊断与故障树分析[J]. 铁道学报, 1996(5): 41-45.
- [6] 薄一龙. 基于故障树的煤矿排水泵故障分析[J]. 陕西煤炭, 2019, 38(2): 62-64, 61.
- [7] 张帆, 黄世泽, 郭其一, 等. 基于故障树分析法的道岔故障诊断与可靠性评估方法[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(10): 52-56.
- [8] 郑辉. 基于故障树的高速铁路道岔故障分析与研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2018.
- [9] 袁江霞, 史玉洁, 王昕. 中部引黄泵站一期水泵抗泥沙磨蚀综合措施[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(1): 31-34, 41.
- [10] 王兵, 尹晓东. 大型水泵轴瓦摩擦失效原因分析与技术改造[J]. 水利建设与管理, 2020, 40(8): 66-68, 82.



龙口水电站调速器电气控制系统改造

赵远新¹ 褚红伟² 武 杰³

- (1. 黄河万家寨水利枢纽有限公司电站管理局, 山西 忻州 036412;
2. 山西支点科技有限公司, 山西 太原 030012;
3. 国网山西省电力公司电力科学研究院, 山西 太原 030001)

【摘 要】 针对龙口水电站调速器电气控制系统部分模块故障率不断增加、备品备件采购困难、备用通道不足、操作维护不便等问题,经分析、设计、选型,在原有 WDST 型式基础上,采取控制器升级、电液转换器换型、导桨叶传感器换型、通信结构优化等措施对系统进行了改造。新改造的系统经静态、动态试验验证,运行稳定、可靠,各项功能符合现行规程要求,且操作维护方便,解决了原系统存在的问题,获得了预期的效果。

【关键词】 水电站;调速器;电液转换;静态试验;动态试验

中图分类号: TV734.4

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-068-05

Reformation of electrical control system for speed governor in Longkou Hydropower Station

ZHAO Yuanxin¹, CHU Hongwei², WU Jie³

- (1. Yellow River Wanjiazhai Hydropower Project Co., Ltd., Xinzhou 036412, China;
2. Shanxi Zhidian Technology Co., Ltd., Taiyuan 030012, China;
3. Electric Power Research Institute, State Grid Shanxi Electric Power Co., Ltd, Taiyuan 030001, China)

Abstract: The failure rate of some modules in speed governor electrical control system of Longkou Hydropower Station is increased constantly, it is difficult to procure spare parts, the standby channels are insufficient, and the maintenance operation is inconvenient, etc. The following measures are adopted to reconstruct the system aiming at the above-mentioned problems through analysis, design and model selection on the basis of original WDST model. The newly reconstructed system is verified through static and dynamic tests. It is operated stably and reliably. All functions are consistent with existing regulations and requirements. The system is operated and maintained conveniently. Problems in the original system is solved, and expected effects are obtained.

Keywords: hydropower station; speed governor; electro-hydraulic conversion; static test; dynamic test

龙口水电站位于黄河北干流托龙段(内蒙古托克托至龙口)尾部,是黄河万家寨水利枢纽的配套工程。电站共装有4台单机容量100MW的轴流转桨式水轮

发电机组和1台单机容量20MW的混流式机组,5台水轮机调速器系统均为WDST型产品。机组按照单元接线方式以220kV电压等级分别接入山西和内蒙古电

收稿日期: 2021-07-23

作者简介: 赵远新(1987—),男,工程师,从事水电站二次设备检修与维护工作。

力系统。

1 改造前调速器控制系统存在的问题

调速器是水机组的重要设备,其自动化程度及控制性能高低决定着发电机组效率及稳定性^[1]。龙口水电站 1~4 号机组调速器原有控制系统采用长江控制研究所设计生产的 WDST 型产品,投运以来总体运行状态良好。但随着运行时间的不断增加,突出存在以下问题:

a. 系统投运时间为 2009 年,已使用 10 年有余,电气控制部分使用时间临近电子元件的可靠使用寿命,且近两年连续发生过多次核心模块故障。

b. 控制器、触摸屏等核心产品相继停产,原型号备品备件采购困难,采购周期长,换型成本较大。

c. 现有控制器模拟量输出通道有限,无法满足机组涉网试验接线需要。如机组一次调频、调速器模型参数试验均需要临时配置扩展模块并修改在运程序,相应维护工作量增加。

d. 现有控制器因通信接口配置问题,调试笔记本接入和触摸屏通信存在接口矛盾,无法在不影响触摸屏通信的前提下,进行调试笔记本监视运行和试验数据采集。

e. 现有电液转换部件电液比例阀驱动板模拟电路上集成了导叶桨叶信号调零调幅、补偿信号、震动分量以及放大倍数的调整功能,这些信号均需要借助现场经验及辅助测量通过模拟变阻器调整,无具体量化值参考,调整后易发生偏移,不便于维护和问题查找^[2]。

依据现场运行维护情况可以看出,现有调速器电气部分存在核心元器件老化、系统接口配置方式落后以及试验维护辅助手段不足等系列问题,应当择机进行改造升级。下面以 4 号机组调速器电气控制系统改造为例,摘要叙述改造要点。

2 新型调速器控制系统选型与设计

新型控制系统设计和元器件选型以通用性和实用性为原则,在旧型系统控制原理基础上,针对系统存在的各项突出问题开展系统设计。新控制系统调节器核心控制元件从原有的 2003 系列可编程计算机控制器升级至 M340 系列模块组合,整体控制结构依然采用 A、B 机完全独立的交叉冗余配置,原理框图见图 1。A、B 自动调节通道拥有各自独立的电源、I/O、测频及模入通道,开关电源、测频通道、导叶传感器以及电液转换单元,以交叉冗余方式分别接入 A 机和 B 机。

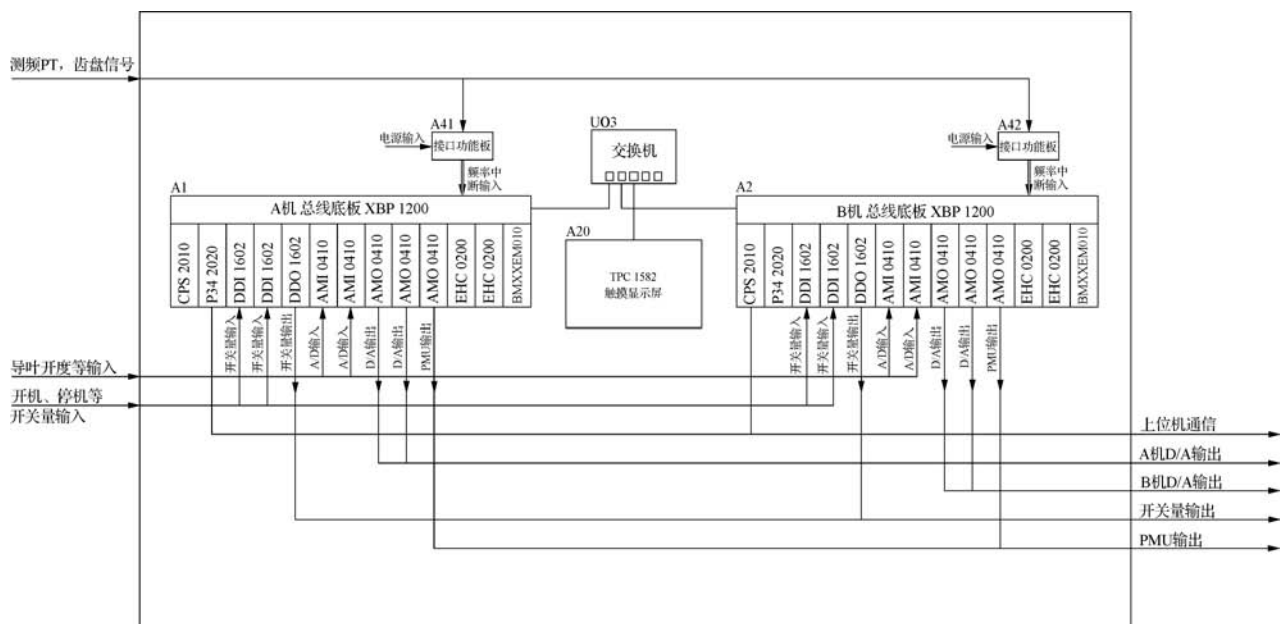


图 1 新型调速控制系统原理框图



3 新型调速器控制系统特点

3.1 电液转换核心部件升级

电液转换部件作为调速器控制系统电气部分与机械部分的关键衔接点,其转换精度及工作稳定性对系统运行尤为重要。本次改造将原有 4WRBA10 E64 型比例阀升级更换为 4WRPEH10 RC 型伺服电磁阀,新型伺服电磁阀自带内置电子线路驱动器,省去原有外部驱动板配置,原有烦琐的参数整定方式由驱动板模拟量调节转变为触摸屏数字整定,既消除了模拟量参数容易发生漂移的弊端,又使这些关键参数有迹可循,便于记录。

3.2 变送器、传感器配置及型号调整

a. 目前多数水电站一般采用开度调节模式,由机组监控系统实现功率闭环调节。由于调速器功率闭环模式具有更快的响应速度和更小的超调量,所以该种调节方式仍然作为主备用调节方式^[3]。原调速器控制系统双机共用一台功率变送器,考虑信号回路的独立性及冗余备用,本次改造将功率变送器一增为二,互为备用。

b. 将原 RMF-2C8P90 型位移传感器更换为 RMF-B18P90 型号,桨叶开度反馈回路由原来的 4~20mA 转 0-10V,变为现有的 0~10V 信号直接输出至对应模拟

量输入通道,化繁为简,省去了信号转换环节,进一步提高了系统工作稳定性。

c. 将原有的两套 LWH900 型拉杆式位移传感器更换为 EP00950MD341V01 型磁致伸缩式位移传感器,新型传感器在各方向受力均匀,抗油污能力强。现场对传感器安装方式及接线略作调整,确保运行更加稳定。

3.3 通信方式优化

a. 改造后的系统通过交换机连接同一网段的 A、B 调节器及触摸屏,调试电脑通过 IP 设置即可联机任一节点,从而方便完成监视运行、录波分析、程序调试及上传下载等常规维护工作。

b. 原有与监控系统的通信采用触摸屏上送部分系统信息,通信协议中定义上传的系统信息相对偏少,不利于中控室监视运行及事故追忆。此次改造重新定制原有通信方式及通信协议,通过分时复用 A、B 调节器自带通信接口替代原有触摸屏串口,避免了中间环节,增加了信息传递的有效性。除此之外,在增加上送信息量的同时配置备用通信通道,为后期系统维护工作的开展奠定了有利基础。

3.4 人机交互界面功能丰富

触摸屏采用工业级人机界面 TPC1582,主显画面见图 2。人机界面内容十分丰富,主要系统信息以图形

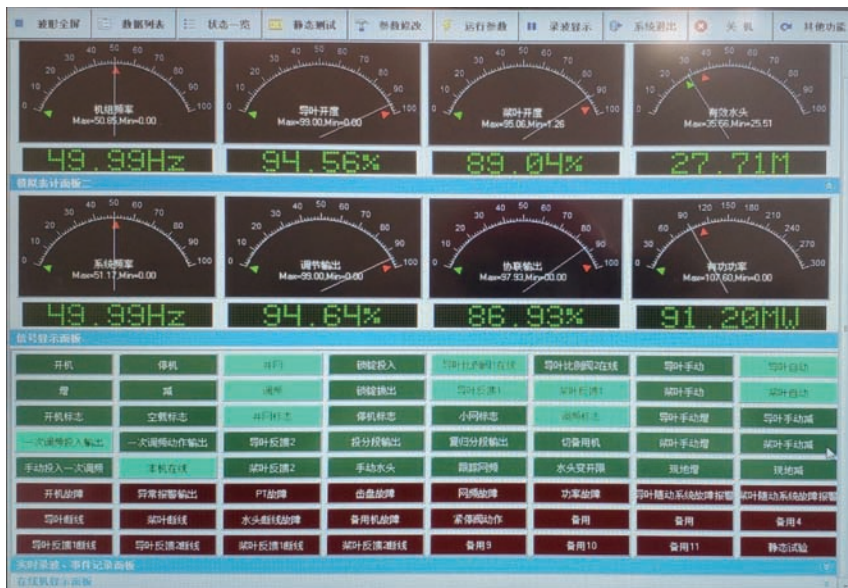


图 2 触摸屏主显画面

方式显示在触摸屏上,其中包括以指针表形式显示的重要参数,如机组转速、水头信号、导叶开度、桨叶开度,以光字牌形式显示的系统状态量。在触摸屏上除了可以进行增减负荷、双机切换、参数调整、事件追忆、波形录制等常用操作外,还能够进行静特性、空载摆动及扰动、开关机时间测定等试验。

4 机组启动并网试验

经静态调试及动态调试,改造后的调速器各项性

能指标均优于国标与行业标准,现举例说明如下。

4.1 静态试验

调速器置自动,模拟发“并网令”,投入静态试验功能,开度给定置 50%,然后通过触摸屏升高模拟机频值至 51.5Hz(或降低模拟机频值至 48.5Hz)使接力器全关或全开,步进调节机频值使之按一个方向逐次改变 0.3Hz,在接力器每次变化稳定后,记录该次模拟频率值和对应的接力器行程,开关方向全行程往返一次。调速器改造后的静态特性试验数据见表 1。

表 1 静态特性试验数据汇总

Hz	48.5	48.8	49.1	49.4	49.7	50.0	50.3	50.6	50.9	51.2	51.5
A 机阀 1						ix(导叶) = 0.0012%					
导开/%	99.56	90.02	80.00	70.00	60.01	50.00	40.00	30.00	20.00	10.00	0.26
导关/%	99.56	90.00	80.00	70.01	60.01	50.00	40.00	30.02	20.01	10.00	0.24
A 机阀 2						ix(导叶) = 0.0084%					
导开/%	99.56	89.87	79.94	69.94	59.94	49.95	39.96	29.95	19.93	9.94	0.26
导关/%	99.56	90.01	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	30.01	20.00	10.00	0.24
B 机阀 1						ix(导叶) = 0.0024%					
导开%	99.56	89.96	80.00	70.00	59.97	50.00	40.00	29.98	20.00	9.97	0.26
导关%	99.56	90.00	80.00	70.00	59.99	50.01	39.99	30.01	20.00	9.97	0.24
B 机阀 2						ix(导叶) = 0.0084%					
导开%	99.56	89.87	79.99	69.98	60.01	49.97	39.98	29.98	19.99	10.01	0.26
导关%	99.56	90.01	80.00	70.01	60.00	50.01	40.01	29.99	19.99	10.00	0.24

注 大型调速器 ix 不超过 0.02%;中型调速器 ix 不超过 0.06%;小型调速器 ix 不超过 0.1%。

4.2 动态试验

4.2.1 空载摆动试验

空载摆动试验是指机组在没有带负荷的空载工况下运行,记录 180s 内机组转速波动最大值,用来检验

水轮发电机组在空载工况下运转的稳定性和可靠性。根据调速器功能特点,此次空载摆动试验分为手动工况试验和自动工况试验。触摸屏具备专用试验画面支持数据记录和曲线录取,空载摆动试验相关数据见表 2。

表 2 空载摆动试验(单次测试时间 180s)

项 目	手动空载摆动			自动空载摆动		
次序	第一次	第二次	第三次	第一次	第二次	第三次
调节参数	$K_p = 3$	$K_i = 0.15$	$K_d = 1$	$K_p = 3$	$K_i = 0.15$	$K_d = 1$
最大值	50.21	50.18	50.09	50.06	50.08	50.03
最小值	49.87	49.94	49.93	49.95	49.96	50.01
差 值	0.34	0.24	0.16	0.11	0.12	0.02
平均值	0.246(±0.123)			0.083(±0.041)		

注 依规程要求待转速稳定后记录转速摆动相对值,大型调速器不超过 ±0.15%;中小型调速器不超过 ±0.25%;特小型调速器不超过 ±0.3%,如果机组手动空载摆动相对值大于规定值要求,其自动空载摆动相对值不大于手动空载摆动相对值。



4.2.2 空载扰动试验

空载扰动试验是在机组空载工况下人为向调速系统输入阶跃扰动信号,观测不同调节参数的动态品质,进一步确定机组运行最佳调节参数。在机组并网前,机组频率达到额定 50Hz,通过对调节器施加扰动频率,上扰 2Hz、下扰 2Hz。实际通过频率发生器外加频率为上扰 52Hz、下扰 48Hz。调速器改造后的空载扰动试验数据见表 3。

表 3 空载扰动试验

项 目	扰动量/ Hz	扰前频率/ Hz	扰后频率/ Hz	最大超调量 /%
调节参数	$K_p = 3$	$K_i = 0.15$	$K_d = 1$	
上扰	48→52	48.01	52.66	16.5
下扰	52→48	52.02	47.19	20.25

注 空载扰动试验过程转速最大超调量不应超过转速扰动量的 30%,且超调次数不超过两次,从扰动开始到不超过机组转速摆动规定值为止的调节时间符合设计规定^[4]。

4.2.3 甩负荷试验

水轮机组甩负荷试验目的是校验水轮机调节系统动态特性品质,考核机组已选定的空载运行参数在大波动调节过程中的稳定性和速动性,根据甩负荷时测得的机组转速上升率、转速最大值、接力器不动时间及调节时间等,检查系统在极端工况下的动态调节过程是否满足规程要求。调速器改造后的甩 100% 负荷动态特性试验数据见表 4。

表 4 甩负荷试验

甩 100% 负荷试验			
运行水头	27.84m	甩前有功	91.8MW
甩前机组频率	49.99Hz	甩后机频极大值	64.88Hz
甩前导叶开度	95.40%	甩前桨叶开度	87.89%
机组速率上升	29.76%	接力器不动时间	0.18s
超 3% Ne 波峰次数	1 次	稳定时间	20s

注 1. 由于试验期间库区水位限制,有效水头低于额定水头,无法达到额定功率 100MW。
2. 依《水轮机控制系统技术条件》(GB/T 9652.1—2007)要求,调速系统接力器不动时间 $T_q < 0.2s$,甩 100% 负荷后,在转速变化过程中,超过稳态转速 3% 额定转速以上的波峰不超过两次,稳定时间不大于 40s^[5]。

5 结 论

系统原有问题在此次改造中全部得到解决,一段时间的机组试运行实践证明,新改造的调速器控制系统运行稳定、可靠,人机界面友好,操作方便,各项功能试验符合现行规程要求,应用效果较为理想,为后续机组相关改造奠定了良好基础。◆

参考文献

- [1] 王建鹏. 水电站电气设备常见故障与处理措施[J]. 黑龙江水利科技, 2012, 40(7): 119-120.
- [2] 赵远新, 赵喜波, 宋洋洋. 水电站调速器典型电气故障分析及处理方法[J]. 内蒙古电力技术, 2018, 36(6): 66-70.
- [3] 潘熙和, 黄业华, 王丽娟, 等. 水轮机调速系统、同步电机励磁装置与电站其他自动化设备用户技术培训教程[M]. 武汉: 武汉长江控制设备研究所, 2018: 14-15.
- [4] 水轮发电机组启动试验规程: DL/T 507—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [5] 水轮机调速系统技术条件: GB/T 9652.1—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [6] 水轮机控制系统技术条件: GB/T 9652.1—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

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

(盐城市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 盐城 224002)

【摘要】 泵站多台水泵同时并联运行时,水泵实际效率通常会低于水泵设计效率,实际电机功率也会提高。本文根据东台新抽水站实际运行时的流量及电动机功率,计算分析泵站在不同运行工况下的水泵运行效率。通过与模型泵装置性能对比,发现泵站在多台水泵同时运行时,水泵效率显著降低。水泵并联运行时造成的水流紊乱及额外水力损失并未在水机设计选型时得到体现,但实际运行中却不能忽视。本文的分析结果可为其他类似工程在水机设计选型或是工程运行管理时提供参考。

【关键词】 多泵运行;水泵效率;潜水贯流泵

中图分类号: TV34

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-073-05

Actual performance analysis of water pumps in Dongtaixin Pump Station during multi-pump operation

LI Yue, LI Liancheng, TAO Shengye

(Yancheng Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Yancheng 224002, China)

Abstract: When many water pumps in a pump station run in parallel at the same time, the actual pump efficiency is usually lower than the designed efficiency of the pumps, and the actual motor power will also be improved. The water pump operation efficiency of the pump stations under different operation stations is calculated and analyzed based on the flow and motor power of Dongtaixin Pump Station during actual operation, the water pump operation efficiency of the pump station under different operation conditions is calculated and analyzed in the paper. Compared with the performance of the model pump device, it is found that the pump efficiency is decreased significantly when many pumps are operated at the same time. Water flow disturbance and extra hydraulic loss caused by parallel operation of water pumps are not reflected in the design and selection of water pumps, but these problems can not be ignored in practical operation. The analysis results of the paper can provide reference for other similar projects in the design and selection of water dispenser or project operation management.

Keywords: multi-pump operation; pump efficiency; submersible cross flow pump

收稿日期: 2021-07-19

作者简介: 李悦(1989—),女,硕士,主要从事水利工程规划设计工作。



1 引言

堤东灌区为国有大型灌区,位于江苏省东台市东部,总耕地面积 122.41 万亩。东台新抽水站为东台市堤东灌区续建配套与节水改造工程项目之一,工程为灌溉泵站,自通榆河抽水供堤东灌区用水。东台新抽水站投入使用后,与其他项目分年度实施,最终共同发挥效益,改善灌溉面积 44 万亩,改善排涝面积 122.41 万亩,新增粮食生产能力 632 万 kg,新增农业产值 1200.93 万元,实现年节水 100 万 m^3 ,投资效益明显。

东台新抽水站设计使用 3 台潜水贯流泵,单泵设计流量 $8.0\text{m}^3/\text{s}$,总设计流量 $24\text{m}^3/\text{s}$ 。东台新抽水站的高效、稳定运行,给灌区用水提供了重要保障。但工程实际运行中,尤其是 3 台水泵同时运行时,单机流量略有降低,电机功率有所增大。考虑到本市城市防洪泵站工程使用的水泵型式与泵站布置方式均与此工程类似,本文以此工程为例,以水泵运行时的实测数据为依据,分析探索此类泵站在多泵运行时的功率、装置效率等方面的规律,验证原设计和实验数据,为进一步提高设计、施工水平积累资料,也为类似工程的水机选型提供参考和依据。

2 水泵性能参数

东台新抽水站设计流量 $24\text{m}^3/\text{s}$,泵站净扬程在 $0\text{m} \sim 2.60\text{m}$ 之间,为超低扬程泵站,宜选用轴流泵,根据水泵轴放置型式可分为立式轴流泵、贯流泵及斜轴泵。根据本工程设计流量,初步选定 3 台水泵,单机流量 $8\text{m}^3/\text{s}$ 。由于斜轴泵泵轴受力复杂,材质要求较高,贯流泵中的竖井式和灯泡式主要适用于大型泵站。将立式轴流泵方案与潜水贯流泵方案进行方案比选。两种方案工程投资相差不大,贯流泵土建结构相对简单,底板埋深相对较浅,施工开挖面小、占地小,配套电机功率小,效率高,同时辅机设备少,运行管理方便。在突破了潜水电机密封等难题后,潜水贯流泵在我国得到了大力推广,目前在我市城市防洪泵站工程上普遍使用且运行情况良好。本工程设计使用潜水贯流泵机组。

经过对部分国内水力模型进行初步比选,工程水泵模型拟将 GL-2008-03 和 JGZM-3 两种水力模型进行原型泵比选,两种水泵模型在低扬程贯流泵站工程建设中均应用广泛。水泵流量和转速的一次方、直径的三次方成比例,参考国内外建设低扬程泵站的经验,本设计选取低转速大直径的水泵。两种模型泵装置性能曲线详见图 1~图 2,真机性能曲线详见图 3~图 4。

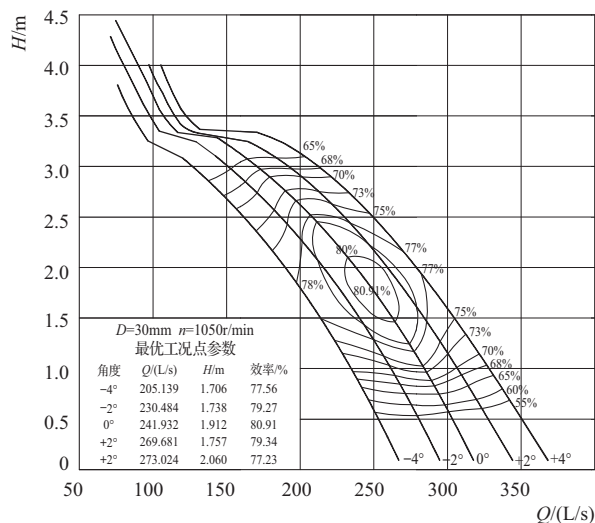


图 1 GL-2008-03 模型泵装置性能曲线

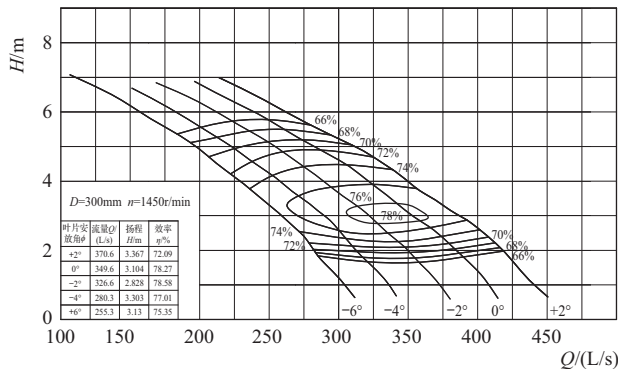


图 2 JGZM-3 模型泵装置性能曲线

表 1 东台新抽水站工程真机性能对比

模 型	单 位	GL-2008-03 模型	JGZM-3 模型
设计点流量	m^3/s	8.662	8.613
最大轴功率	kW	199.4	207.0
装置效率	%	80.9	77.5

从以上图表比较可以看出,采用 GL-2008-03 水力模型的真机水泵装置效率略高于 JGZM-3 水力模型,轴

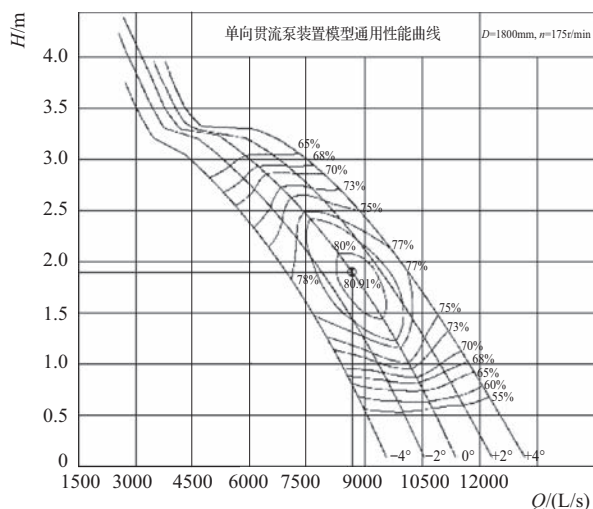


图3 GL-2008-03 潜水贯流泵真机性能曲线

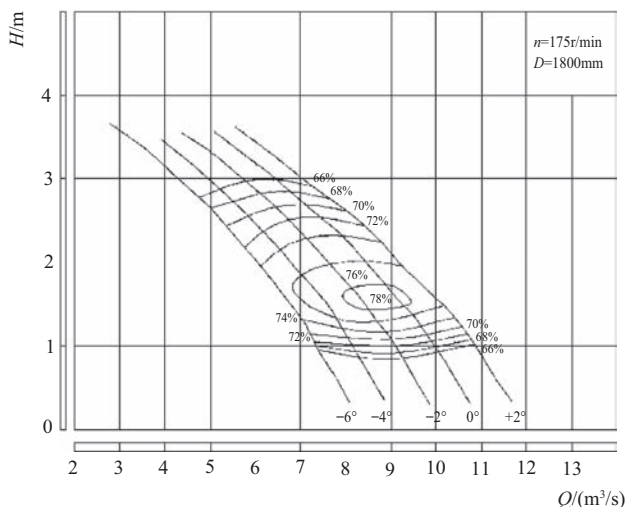


图4 JGZM-3 潜水贯流泵真机性能曲线

功率也略小一些,两种模型装置真机各工况流量均满足设计要求。综合比较,本工程选用 GL-2008-03 水力模型。

东台新抽水站工程采用 2000GZBW-8.6/1.90 潜水贯流泵机组,共 3 台套。叶轮直径 1800mm,转速 175r/min,叶片安放角 0°;水泵采用齿轮箱与电动机连接。单机功率 330kW,总装机功率 990kW。工程设计水位组合为:进水侧水位 0.90m,出水侧水位 2.50m,此工况下水泵设计总扬程 2.10m,对应设计流量 8.6m³/s。

3 现场实测成果

为及时了解灌区工程设施的工程动态、内部和外部的运行状态,以及变化规律,需对泵站运行情况进行检查与观测。通过观测结果发现问题并及时采取措施,以确保工程的安全运行以及充分发挥工程效益。另外还可通过对观测结果进行分析,来验证原设计和实验数据。

测量方法:测验按照《水文测验手册》中有关水位、流量测验的方法施行。根据河道水流特性等实际情况,采用流速仪法进行流量测验。该方法精度较高,同时对水流特性较为复杂、水质情况较为恶劣等不良条件适应性强,适用于本次流量测验任务。经实地查勘,并综合东台新抽水站单机设计流量,测验期间上、下游水位等因素,最终拟定在抽水站进水池西侧交通桥位置布设测验断面。该测验断面等距布设 4 根测速垂线,分别用于施测 0.2、0.8 相对水深处的流速。

流量测量使用 LS68A 型旋杯式流速仪测量,流速测量范围为 0.08 ~ 3.50m/s,该仪器已于 2018 年 3 月在南京东部水文仪器检测中心进行了校准率定。

具体测量时,泵站先后按单机分别开机、单机组组合开机等 7 种工况运行。流量测验则在每次开机工况变动后,再间隔 20min 左右,待泵站上、下游引河水流稳定后施测。

由于流量测验断面在起点距 5.0 ~ 10.0m 间、15.0 ~ 20.0m 间,紧邻上游各有一处桥桩阻水,因此表 2 中“水面宽”均为剔除桥墩阻水影响因素后的实际过水宽度。

测量结果显示,水泵单机开机时,流量均能满足设计要求,各水泵的电机功率也接近。但 3 台水泵同时开机时,单机平均流量为 7.57m³/s,平均功率为 241kW,流量较单机运行时降低了 8.2%,功率较单机运行时提高了 13.3%。下面根据上述测量结果,对水泵不同运行工况下的流量、效率进行对比分析。



表2 本次泵站流量测量成果统计

测次	开机工况	断面流量/ (m ³ /s)	断面面积/ m ²	平均流速/ (m/s)	水面宽/m	平均水深/ m	站上位水/ m	站下水位/ m	功率/kW
1	2号机	8.26	41.5	0.20	22.0	1.89	1.16	2.52	210
2	1号机	8.25	41.5	0.20	22.0	1.89	1.16	2.48	212
3	3号机	8.22	41.2	0.20	22.0	1.87	1.15	2.48	218
4	1、3号机	15.9	40.3	0.39	21.8	1.85	1.11	2.57	448
5	1、2、3号机	22.7	39.7	0.57	21.6	1.84	1.08	2.68	724
6	1、2号机	16.1	40.6	0.40	21.8	1.86	1.12	2.59	471
7	2、3号机	16.3	39.9	0.41	21.8	1.83	1.08	2.59	472

4 性能对比分析

根据《泵站现场测试与安全检测规程》(SL 548—2012),水泵效率应按以下公式计算:

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{1000 P} \times 100\%$$

式中: η 为装置效率; ρ 为水的密度,kg/m³;g为重力加速度,m/s²;Q为出水管流量,m³/s;H为装置扬程,m;

P为主电机输入功率,kW。

泵的有效功率为泵在单位时间内对流体所做的功,等于泵的扬程和质量流量及重力加速度的乘积,计算公式如下:

$$P_e = \rho g Q H$$

水泵效率计算结果见表3。

表3 水泵有效功率、效率计算

测次	开机工况	断面流量/(m ³ /s)	单机流量/(m ³ /s)	扬程/m	功率/kW	有效功率/kW	水泵效率/%
1	2号机	8.26	8.26	1.36	210	110	52.42
2	1号机	8.25	8.25	1.32	212	107	50.34
3	3号机	8.22	8.22	1.33	218	107	49.14
4	1、3号机	15.9	7.95	1.46	448	227	50.78
5	1、2、3号机	22.7	7.57	1.6	724	356	49.23
6	1、2号机	16.1	8.05	1.47	471	232	49.24
7	2、3号机	16.3	8.15	1.51	472	241	51.10

由于流量测验断面在起点距5.0~10.0m、15.0~20.0m间,通过此结果计算出来的水泵效率并未考虑

清污机桥、安全格栅、门槽等部位的水头损失。对设计运行水位组合时的水力损失估算见表4。

表4 东台新抽水站水力损失估算

名称	防撞桩	进水引河	清污机桥	进口安全格栅	流道进口	出口淹没	出口门槽	合计
流速/(m/s)		0.50	0.51	0.76	0.76	0.88	0.88	
局部阻力系数			0.09	0.10	0.20	1.00	0.10	
水力损失/m		0.080	0.001	0.003	0.006	0.040	0.004	0.500
备注	取用0.05	取用0.10	取用0.20	取用0.10				

经估算,灌溉工况下,设计运行水位组合时,装置水力损失取用0.5m。

计算考虑水头损失及装置传动效率后的水泵效

率,对上述计算结果进行修正与进一步对比,具体见表5。表中装置效率为对应流量与扬程下通过真机性能曲线查得的装置效率。

表5 水泵效率修正

测次	开机工况	水泵效率/%	均值偏差/%	考虑水力损失的水泵效率/%	装置效率/%	效率偏差/%
1	2号机	52.42	4.19	75.54	74	2.16
2	1号机	50.34	0.05	73.13	74	-1.24
3	3号机	49.14	-2.32	71.25	74	-4.06
4	1、3号机	50.78	0.93	71.85	75	-4.65
5	1、2、3号机	49.23	-2.29	67.99	77	-13.95
6	1、2号机	49.24	-2.13	69.53	75	-8.27
7	2、3号机	51.10	1.57	71.68	75	-4.88
平均值		50.31		71.57		

由计算结果可知,水泵效率平均值为 50.31%,水泵实际运行效率较为稳定,实测流量偏差均在 5% 以内,大部分在 2.5% 以内。校正后的水泵效率与设计装置效率偏差较小。

在单机流量相近的情况下,当同时运行 1 号、3 号机时,单机平均功率为 224kW,而同时运行开 1 号、2 号机或者 2 号、3 号机时,单机平均功率达 236kW。相邻水泵同时开机的不利影响大于间隔水泵机组同时开机。当 3 台水泵同时开机时,单机平均功率为 241kW,水泵功率为几种工况下最高,3 台水泵同时开机时的水泵效率也明显降低,较装置效率降低 13.95%。

测量结果显示,3 台水泵同时运行时站上水位最低,站下水位最高,净扬程最大。多泵同时运行时水泵抢水造成站上水位下降,站下大流量排水造成壅水使水位抬高,水泵设计扬程随之增大。而水机选型时通常只按照单机运行工况进行设计,并未考虑多泵运行造成的额外水力损失。但实际运行中这种影响不容忽视,水泵效率明显降低,甚至不在水泵的运行高效区。

多台水泵机组同时开机时,还会影响水流流态,进水池可能会形成旋涡,如果产生进气漏斗旋涡,空气会进入水泵,降低水泵效率,机组还会产生振动和噪声。

5 结 语

当多台水泵同时开机时,不可避免地造成各泵进出水流之间的干扰,使得各水泵进流速度分布不均匀甚至紊乱。各泵之间的干扰形成的影响是不利的,这种不利干扰导致泵的效率下降,功率消耗增加,特别是相邻泵之间的干扰更为明显,且水泵同时运行台数越多,不利影响越大。多泵运行时的泵间干扰对水泵水力性能有重要影响,但运行台数与流量、功率之间的影响数值关系,还需更多的资料积累进一步分析确定。

据此,在泵站运行期间可以优化运行方式,如无须运行全部机组时,可选择运行相间隔的水泵机组。类似工程在水机选型时,应考虑多台水泵同时运行时的不利因素的影响,计算多泵运行时额外的水力损失,适当增大水泵的设计总扬程;亦可完善前池和进水池设计,以降低水流紊乱的影响,保证不同工况下水泵的高效运行;当闸站结合布置时,还可优化布置形式,采用自排孔中孔布置的对称结构来降低不利影响。◆

参考文献

- [1] 戚兰英. 惠南庄泵站水泵结构特点与性能分析[J]. 水利水电技术, 2014, 45(11): 111.
- [2] 赵水洎, 张前进, 潘卫峰. 南水北调东线工程泗阳泵站主水泵选型设计[J]. 水泵技术, 2013(5): 27-32.
- [3] 李百齐. 水泵站在多泵运行时水泵性能的分析[J]. 船舶力学, 2008(4): 588-591.
- [4] 朱春婷, 程中朋. 水泵性能曲线的使用方法和水泵性能调节技术[J]. 黑龙江水利科技, 2009(4): 302-303.
- [5] 彭勇. 大变幅扬程多机组泵站并联运行水泵性能分析[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2010, 10(1): 67-70.
- [6] 水利电力部水利司. 水文测验手册: 第三册 资料整编和审查[M]. 北京: 水利电力出版社, 1975.
- [7] 泵站现场测试与安全检测规程: SL 548—2012[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.



浅析安全生产责任保险的推广情况

潘 玲 王海燕

(中国水利工程协会,北京 100055)

【摘 要】 安全生产责任保险制度作为安全生产领域一项重要的改革内容,有助于发挥保险的社会管理价值。近年来各地区结合实际情况稳步推行安全生产责任保险,建立健全规章制度,规范事故预防服务,建立安保互动机制等。本文通过查阅大量文件、文献,对部分省市安全生产责任保险实施情况进行调研分析,并对北京、山东、湖南、嘉兴、佛山模式进行剖析,为安责险的全面推行提供参考。

【关键词】 安全生产责任保险;应用情况;特色模式

中图分类号: F842.6

文献标志码: B

文章编号: 2097-0528(2022)07-078-05

Brief analysis on promotion of safety production liability insurance

PAN Ling, WANG Haiyan

(China Water Engineering Association, Beijing 100055, China)

Abstract: Work safety liability insurance system is regarded as an important reform content in the field of work safety, which is helpful to play the social management value of insurance. The work safety liability insurance is steadily carried out in various regions in recent years according to the actual situation. Regulations and systems are established and improved, accident prevention services are standardized, and safety interaction system is established, etc. The implementation of the safety production liability insurance in some provinces and cities are investigated and analyzed through consulting a large number of documents and literature in the paper. The modes in Beijing, Shandong, Hunan, Jiaxing and Foshan are analyzed, thereby providing reference for the comprehensive implementation of work safety liability insurance. Keyword

Keywords: work safety liability insurance; application; characteristic pattern

安全生产责任保险(以下简称“安责险”)是指以被保险生产经营单位对因生产安全事故或相关事故导致的人员伤亡,依法应负的赔偿责任为保险标的的责任保险。安全生产责任保险是一种带有公益性质的强制性商业保险,在安全生产领域中发挥事前风险预防、事中隐患排查和事后损失补偿等多重作用,可帮助企业把好安全生产关。

1 安责险的政策背景

2006年9月,原国家安全监管和银保监会联合印发《关于大力推进安全生产领域责任保险,健全安全生产保障体系的意见》,首次提出安责险。

2014年12月,第二次修正的《中华人民共和国安全生产法》施行,第四十八条规定“国家鼓励生产经营单位投保安全生产责任保险”,安责险首次被写入法律。

收稿日期: 2022-06-07

作者简介: 潘玲(1990—)女,研究生,主要从事水利行业管理。

2016年12月,《中共中央 国务院关于推进安全生产领域改革发展的意见》发布实施,要求建立健全安责险制度,在八大高危行业领域强制实施。

2017年12月,原国家安全监管总局、保监会和财政部联合印发《安全生产责任保险实施办法》,安责险推行工作正式在全国拉开序幕。

2021年9月1日,第三次修正的《中华人民共和国安全生产法》正式施行,第五十一条规定:“国家鼓励生产经营单位投保安全生产责任保险;属于国家规定的高危行业、领域的生产经营单位,应当投保安全生产责任保险。”安责险成为高危行业、领域的强制性保险被写入法律。

2 安责险的意义

安责险作为工伤保险的重要补充,具有社会保障功能,能够维护伤亡人员的合法权益,完善企业的经济保障机制,有助于减轻政府负担、维护社会稳定;且安责险较其他商业保险,除事故经济损失赔偿服务外,还可兼顾事故预防服务,利用保险的风险防控功能,帮助企业及时有效防范、化解风险,提高安全生产管理水平。

安责险制度作为安全生产领域的一项重要改革,充分发挥了市场机制和社会力量提升安全生产治理水平,建立政府、企业、保险机构和从业人员多方互动的激励约束机制,实现安全生产多元共治。

3 安责险的整体应用情况

在中央政策支持下,全国34个省、自治区、直辖市基本建立了安责险制度,取得了积极进展。有关数据显示,全国高危行业、领域约322.5万家企业,2021年安责险保费规模已超80亿,2020年保费规模约64.34亿,投保率不断提高,有效消减了社会风险。

3.1 制度建设

建立多方合作交流机制,各省多采用联席会议制,多部门协作配合,强化制度建设;充分发挥价格杠杆作用,实行差别费率和浮动费率,运用保费费率浮动激励约束机制转变企业安全意识;强化考核机制,将安责险推行情况作为政府工作考核指标,企业

投保情况纳入安全生产监督检查,同时对承保机构服务进行考评考核;运作模式上以“共保体”承保模式居多。

3.2 保险产品

安责险相关保险产品的实施范围、保障对象和责任范围基本一致,而赔偿限额、保险费率和事故预防费用则有所差异。

实施范围多数重点围绕高危行业领域;保障范围均要求覆盖全体从业人员,包括企业员工和第三方人员;保险责任包括从业人员人身伤亡赔偿、第三者人身伤亡和财产损失赔偿、事故抢险救援、医疗救护、事故鉴定和法律诉讼等费用。

赔偿限额方面以每人伤亡不低于30万元为基准,各省市有所区别,如上海市涉及从业人员和第三者死亡的保险责任限额每人不低于80万;北京市企业雇员死亡、伤残赔偿金不低于70万元,第三者人员的死亡、伤残赔偿金不低于165万元。保险费率基本实行差别费率和浮动费率机制,各省参考依据有所不同,涵盖行业属性、规模大小、安全风险程度、安全管理水平、生产安全事故情况、隐患排查治理情况、安全生产标准化达标情况、社会信用情况等方面。事故预防费用方面,多数省市均要求提取一定比例保费作为事故预防费用,通常为10%~50%,如苏州市要求提取30%~50%,嘉兴市为30%,北京市为29%。

4 安责险推行特色模式

安责险具有保险+服务双重作用,最显著的特点是可提供生产安全事故预防服务,在这方面,各省探索形成了各具特色模式,如财政补贴推动的山东模式、实现行业领域全覆盖的北京模式、“安责险+科技+服务”的浙江嘉兴模式、为企业提供第三方贴心技术服务的广东佛山模式、政府组织实施的湖南模式。

4.1 财政补贴推动的山东模式

4.1.1 模式简介

2007年,山东省在济南、淄博和潍坊开展“安责险”试点工作;2017年,在全国首次以省政府文件推动



安责险工作,在高危行业强制实施。山东省采用保险机构各自展业、企业自行选择的运作模式,有效激励保险机构自主开发服务,比如“齐鲁安监云”风控平台、“整套式辅导”模式;同时启用“山东省安全生产责任保险监督管理云平台”,加强了数据融合和评价监督;开展“安责险+双重预防体系建设”,即安全风险分级管控和隐患排查治理,实现前置安全服务、风险减量管理和损失补偿协同服务。

安责险财政奖补政策自2017年11月开始实施,保费补贴标准一般不超过企业首次投保保费的60%,补贴实行退坡机制,比例逐步降低,2017年不超过60%,2018年不超过50%,2019年不超过40%,2020年(含)以后不再补贴。2020年调整政策,健全费率动态调节和激励机制,将安全生产、风险防控和隐患排查等工作作为激励指标,费率降幅最高可达30%;同时要求承保机构提取不少于保费总额15%的保费资金用于开展安全生产培训等预防工作,不少于保费总额10%的保费资金为企业免费提供“安责险+双重预防体系建设”服务,不少于保费总额5%的保费资金为其他人员提供理论培训和取证考试服务。

为促进建筑施工行业推行安责险已出台系列政策,如2021年发布《建筑施工安全生产责任保险事故预防服务导则》《建筑施工行业安全生产责任保险风险等级评价标准》等规范标准,2022年将安责险列入工程造价,在安全施工费中增加安责险内容,在工程概算、招标投标和合同签订时暂以0.15%的费率计算,工程竣工后根据实际购买保险金额结算。

4.1.2 成效分析

2017年政府推动政策落实发挥了实效,2018年以前参保企业数量每年约9000家,2018年达到34522家,2021年为4.36万家,参保率显著提高,并有效降低了生产安全事故总量和死亡人数。2021年安责险在金属冶炼行业覆盖率最高,达87.13%,但建筑施工行业参保企业1624家,在行业中投保率占比不到5%。

山东省自2018年11月起在建筑施工行业试点安责险,推广度较其他行业进展较慢;在费率上,目前尚

未根据行业特点细化服务准则和调整费率标准,在保险机构竞争模式下,如无明确要求,可能存在恶性竞争。

4.2 实现行业领域全覆盖的北京模式

4.2.1 模式简介

北京市从2011年7月在烟花爆竹、危险化学品、建筑施工等行业试点安全生产责任险;2017年开始全面推行安全生产责任保险制度,在矿山、危险化学品、烟花爆竹、交通运输、建筑施工、民用爆炸物品、金属冶炼等高危行业领域强制实施;在渔业捕捞生产领域、大型群众性活动、人员密集场所以及涉及水、电、气、热等城市运行领域重点推行;在其他行业全面推行。

北京市开发了“北京安责险”平台,实现线上统一投保,并公开各保险机构信息,供企业自行选择;以区为单位,通过组织召开事故预防专题宣传会或企业走访宣传会推广宣传;提升事故预防费比例至29%,其中,13%用于提供事故预防专项服务,13%用于提供隐患排查专项服务,3%则用于安责险事故预防宣传工作。

4.2.2 成效分析

北京市安责险推行工作成效显著,其覆盖面不断扩大,已覆盖至小微企业,包括17个行业领域,100余个行业,参保率逐年提升。2021年,北京市参保企业为104596家,参保率49.08%,保险费规模2.33亿元,为101837家企业开展隐患排查服务,较2020年参保企业58460家、参保率27.97%、保险费收入1.11亿元有了大幅提升。

北京隐患排查数据显示,2021年提供排查服务10万余家(次),帮助3500余家企业完成隐患整改。从2021年综合投保企业数量和服务次数来看,平均一家企业一次排查,难以全面、深入追查隐患,还需建立常态化服务机制,细化服务标准;隐患排查服务机构以区域划分,未根据行业特点进行区分,专业性匹配度将影响服务质量。

4.3 “安责险+科技+服务”的浙江嘉兴模式

4.3.1 模式简介

嘉兴市自2012年起在危化品行业实施安责险,

2017 年开始在高危行业 and 重点领域实行安责险制度,形成了“安责险+科技+服务”模式。2020 年,明确提出承保需通过招标投标形式选定共保体,要求承保机构每年提取不少于 30% 的保费用于事故预防服务,每年为投保企业提供不少于 4 次服务。

嘉兴市以科技服务保险为亮点,通过“一平台、三体系、四用户”(即市安全生产责任保险风险管理平台,专家服务标准体系、专家工作考评体系和安全风险评估方法体系,保险、安监、企业和机构),建立政府、企业、机构和保险的多方良性互动的激励约束机制。同时保险机构整合第三方服务机构,组建安全生产专家团队,可根据企业需求匹配相应安全生产服务专家,并通过统一管控的方式进行服务调度安排。专家深入企业现场“问诊”,形成问题隐患清单,提供线上线下风控服务,协助企业整改,实现了安责险“隐患整改闭环管理”和“专家服务闭环管理”;同时把安全隐患排查报告导入平台,并为政府和企业提供可视化、数据化的综合风险信息。

4.3.2 成效分析

嘉兴市尚未公布安责险具体投保情况,2021 年 4 月的有关资料显示,投保企业 2032 家,保费约 4318 万元,投保率偏低,反映出企业参与意愿不足。同时在建筑施工领域起步较晚,于 2022 年 1 月才开始强制推行安责险。

嘉兴市政府文件未明确说明保险费率和赔偿限额,投保率或与政策宣传、制度上缺乏具体要求和指导有关;由于其共保体承保形式,企业缺乏议价能力和自主选择权,一定程度上限制了市场自由竞争。

4.4 企业提供第三方贴心技术服务的广东佛山模式

4.4.1 模式简介

2015 年 11 月,佛山市开始探索以安责险为纽带的安责治理模式,坚持边运行、边优化的理念,从最初“政策引导加政府推动”1.0 版本逐步升级为“政策+服务+市场+数据”四轮驱动的“分散推动、集中管理”3.0 版本。立足四个特性打造佛山模式:

一是政策性上,做好顶层设计,建设了“一平台、一中心、六制度”(即安责险信息管理平台,第三方服务运营中心,安责险工作指引、深化实施意见、宣传推广意见、联席会议机制、专项资金管理办法和风险防范服务标准);建立“五统一”模式(统一保险方案、统一服务标准、统一投保平台、统一数据标准、统一保险标识)。

二是公益性上,政府设立 1.2 亿元的专项资金补贴保费,最高补贴 50%,同时为投保企业提供 40 亿元额度贷款。

三是市场性上,坚持“保本微利”原则,同等保障范围和额度,比普通商业保险成本降低约 25%。

四是服务性上,建立互联网+安责险+风控服务模式,同时提取不低于 15% 的保费用于聘请专业机构,为投保企业提供更精准的事故预防服务。

佛山的管理模式在逐步优化,由共保制过渡到分散制,引入保险经纪公司作为第三方顾问机构,建立安责险数据库,将服务数据、业务数据与企业数据融合运用等,具有一定借鉴作用。

4.4.2 成效分析

广东佛山模式推广以来,佛山市累计有 36373 家企业投保,保费 7.31 亿元,为 19160 家(次)企业提供事故预防风控服务;其中 2021 年共 15044 家企业投保,同比上升 62.67%。

佛山市有近百万市场主体,目前覆盖面相对不高,同时安责险在保险方案、管理和服务上有一定差异;佛山安全生产责任保险平台公布的保险产品险种单一,未充分结合行业特点;现行公开的专家委员会成员较少,未涉及领域全覆盖,在安全事故预防对策的专业性上仍需更多的专业性人才队伍支撑。

4.5 政府组织实施的湖南模式

4.5.1 模式简介

湖南省 2008 年提出以安全生产责任保险替代安全生产风险抵押金的设想,探索将商业保险机制引入安全生产重点行业(领域)的方式和途径,并在长沙市开展试点工作。从试点到推广到改革完善,现已将安责险保障领域由高危行业推广至住建、交通、水利、特



种设备和农机等领域;在发挥政府政策推动主导作用方面,建立联席会议制度,由安监局为召集方,人社厅、住建厅、交通厅、水利厅等10个行业主管部门共同参与。

2019年4月,湖南省水利厅印发《湖南省水利建设工程安全生产责任保险实施意见》(以下简称“实施意见”),是全国首个推行水利建设工程安全生产责任保险的省份。事故预防费用未明确规定,以“预算管理、专款专用”为原则,根据上一年事故赔付和事故预防工作进行调整,约为保费的20%;保费的计算采用工程造价 \times 基准费率 \times 浮动费率,结合水利工程实际风险情况,分为高风险工程和一般风险工程,实行差别费率。根据工程造价明确了基准费率的保障范围和浮动费率的调整因子,同时保费支出列入工程安全生产成本;建立双重考核机制,即将推行水利安全生产责任保险列为年度安全生产综合考核的重要内容和保险机构(共保体)业绩考核机制。

4.5.2 成效分析

湖南省采用自上而下统筹推进模式,并已根据行业特点建立费率标准,根据风险情况实行差别费率,并对调整机制进行明确规定;同时简化理赔程序,缩短赔付时限,一定程度上规范了保险机构行为。

实施意见中侧重补偿,关于事故预防服务方面涉及较少,仅发挥了风险经济保障作用,在安全管理方面作用未凸显,仍需规范引导保险机构开展预防技术服务工作;水利建设工程安责险信息平台尚未建立,数据信息整合、统计、分析工作需提升;湖南省采用共保体运作模式,导致中小保险公司参与度不足,企业缺乏自主选择权,不利于市场竞争。

5 结语

安责险是双向强制保险,不仅可提供事故理赔,更

重要是提供隐患排查等事故预防服务,如能有效利用,可在安全生产风险管理中发挥显著作用。目前虽已全面推行,但整体进展较为缓慢,包括实施细则不明确,缺乏严格监管政策;各地区发展不平衡,安责险预防服务功能没能很好发挥,专业技术力量储备不足,在风险评估和隐患排查方面盲点较多,不知如何开展,或停留在形式上;安责险数据库有效利用度不高,风险预测模型有待开发等。因此,建议借鉴吸纳成功经验,完善制度体系,细化风控服务规范,强化数据应用,保障落地见效,实现多方共赢。◆

参考文献

- [1] 陈慧. 保险+服务两条腿走路[N]. 中国应急管理报, 2022-04-18(3).
- [2] 张晔. 国家强制安全生产责任险实施方案之解[J]. 中国保险, 2022(5): 39-43.
- [3] 梅淙燃. 我国安全生产责任保险的问题及对策研究[J]. 青春岁月, 2021(2): 366-369.
- [4] 刘寅. 关于强制实施安全生产责任保险的思考: 以山东省为例[J]. 行政事业资产与财务, 2018(12): 43-44.
- [5] 刘华莉. 安全生产责任保险制度的推行: 以北京为例[J]. 安全, 2017, 38(12): 31-32.
- [6] 周朝宏. 建筑施工企业推行安责险的问题及对策[J]. 安全, 2021, 42(5): 76-80.
- [7] 丁霄霄, 巢志红. 交通行业安全生产责任保险制度推进研究[J]. 交通与港航, 2022, 2(1): 69-72.
- [8] 胡妍. 佛山: 构建应急管理“新模式”[J]. 小康, 2021(12): 136-139.
- [9] 孔维林. 建筑施工安全生产责任保险机制研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2020.
- [10] 孙铭晨. 我国安全生产责任保险发展研究: 以江苏响水特大爆炸事故为例[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2021.
- [11] 李雪松. 建筑施工领域推行安全生产责任保险研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(34): 978-979.

编者按

近年来,水利部黄河水利委员会(以下简称黄委)、水利部淮河水利委员会、水利部太湖流域管理局等流域管理机构,江苏、浙江、安徽、江西、山东、广东等地结合管理实际,积极探索水利工程标准化管理,在加强顶层设计、分类指导实施、完善标准体系、强化绩效考评等方面形成了一批可借鉴的水利工程标准化管理有效做法和好经验,在推动保障工程安全、增强管理能力、提高管理水平方面取得了明显成效。

本期我们刊登黄河水利委员会的经验做法。

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

黄河下游标准化堤防

黄委认真贯彻水利部水利工程标准化管理工作部署,按照“全面规划、试点先行、以点带面、稳步推进”的原则,提出“三册一表一台账”管理模式,初步实现了数字赋能、管理升级,水利工程标准化管理效果取得初步成效。

做好顶层设计,明确工作目标

2020年5月印发《黄委水利工程标准化管理实施方案》,明确了工作目标、工作任务、实施计划和具体要求,提出用3年时间全部实现水利工程标准化管理,即2020年选择9个水管单位先行先试,2021年50%的水管单位实现标准化管理,2022年直属水管单位全部实现标准化管理,组织开展标准化管理评价;“十四五”未形成较为系统完善的具有黄河特色的工程标准化管理体系。

选好典型试点,探索形成“三册一表 一台账”模式

2020年选择9个试点单位,借鉴先进经验并结合各自实际,探索工程管理标准化模式和方法。2021

年,黄委多次组织省、市、县局集中研讨,总结试点单位好的做法和经验,结合水管单位工作实际,讨论提出堤防(河道整治)、水闸工程标准化管理示范文本,形成了黄委水利工程标准化管理“三册一表一台账”模式。即管理手册、制度手册、操作手册、“部门—岗位—人员—管理事项”对照表和管理台账。以管理手册明确管理组织、职责和管理事项,以制度手册明确管理办法、标准和考核要求,以操作手册明确工作内容、流程和作业方法,以对照表将各管理事项细化落实到人,以管理台账记录管理过程。

抓住关键环节,不断改进提升

在推进过程中,不断总结试点工作经验,完善相关管理制度。按照先行先试的要求,紧紧抓住水利工程检查观测这个关键环节,2020年9月印发《黄河堤防(河道整治)工程检查观测工作指南》和《黄河水闸工程检查观测工作指南》。结合黄河特点和实际,增加堤防、水闸工程检查和巡查频次,明确当水位达到河道警戒水位后,按照各省防指巡堤查险办法执行;对运行管理和防汛工作记录表格进行优化整合、统一规范。2021年提出堤防、水闸工程运行管理标准化手册示范



文本,2022年编制了《黄委水利工程标准化管理工作手册编制指南》《黄委水利工程标准化管理评价办法》及其评价标准。

创新驱动,抓好信息化平台建设

以信息化管理为突破点,黄河下游56个水管单位全部应用工程巡查APP,推进“无纸化”办公,实现巡查记录的自动生成,有效减轻了基层巡查人员负担。不断丰富工程巡查手段,充分利用无人机、视频监控、单兵设备等现代化手段,完成了人员巡查、视频巡查、无人机巡查的有机结合,并将三种巡查整合到水管单位信息化平台中,提高了巡查效率。通过信息化平台,打通了各级管理单位之间的监管壁垒,上级主管单位每天可对巡查情况、发现问题进行实时监督,实现了对一线巡查人员的在线监管,为水利工程运行管理标准化提供了新的发展方向。

以标准化管理为抓手,提升工程运行管理水平

组织汛前工程安全普查,及时整改各类问题隐患,维护工程完整和安全运行。加强水库、堤防、水闸工程值守巡查和维护,做好水雨毁工程修复,消除工程隐患,及时发现工程险情,做到“抢早、抢小、抢住”。推进水库水闸安全鉴定和除险加固,加强堤防险工险段整治,争取76处险工险段列入“十四五”规划。完成直管水利工程管理与保护范围划定工作。31个水管单位通过水利部水利工程管理考核验收。战胜了2021年以来最严峻的黄河秋汛洪水考验,实现了“不伤亡、不漫滩、不跑坝”的目标。

(来源:中国水利微信公众号,网址:<https://mp.weixin.qq.com/s/57z8HSUhclT5CBk7xaxJOw>,日期:2022年6月16日)

(上接第53页)升越明显;单纯的水泥改良土样,遇水即发生崩解,当采用聚氨酯处理后,水稳定性、抗冻性和抗渗性有明显提升;当聚氨酯浓度较低时,为避免水泥对聚氨酯改良土既有结构的破坏,应采用低掺量水泥,或者为了提升改良土早期强度特性而使用高掺量水泥时,也应该将聚氨酯浓度对应提升。

c. 聚氨酯与水反应后生成薄而坚韧的聚合物膜包裹在土颗粒周围,这层薄膜具有较强的黏结性,使得土样胶结呈一个整体,同时水泥水化产物填充在空隙中,使得土样内部形成密实的三维交联网络结构,因而强度、水稳性、抗冻性、抗渗性均得到明显提升。

d. 在实际注浆施工过程中,聚氨酯材料的使用不可避免会导致水泥浆体流动性能降低,如若配合比设置不当,可能会造成注浆管道堵塞,从而影响施工效果和施工效率,因此,在注浆施工开始前,必须对聚氨酯注浆材料配比进行试验确认。◆

参考文献

[1] 杨秀海. 龙河口水库库区工程地质条件分析[J]. 广西水利水电,2019(6):12-15.

- [2] 汪智. 龙河口水库东大坝坝下渗流监测水位的重新确定[J]. 水利建设与管理,2014,34(1):65-67.
- [3] 尹立志. 安徽省龙河口水库主副坝白蚁综合防治技术[J]. 江淮水利科技,2016(6):4-5,16.
- [4] 周亭,刘青,王斌斌,等. 无卤聚氨酯注浆加固材料的性能研究[J]. 煤炭技术,2021,40(6):14-17.
- [5] 柳山,罗光洪,张家泉,等. 新型聚氨酯材料对砂土的加固效果及环境效应[J]. 湖北理工学院学报,2021,37(3):10-13.
- [6] 张曦君,王超杰,田晗,等. 深水大坝裂缝修复型聚氨酯注浆材料的性能研究[J]. 中国建筑防水,2021(3):47-51,61.
- [7] 王彪东. 龙王庙卧虎水库工程库底封堵方案与施工方法[J]. 东北水利水电,2021,39(3):21-23.
- [8] 张义敏. 水泥基-水玻璃劈裂注浆在大坝坝脚防渗中的现场试验研究[J]. 吉林水利,2020(3):25-28.
- [9] 聂亮亮. 软弱坝基上平原水库坝体坝基渗漏分析及施工措施研究[J]. 水利技术监督,2020(2):261-264.
- [10] 刘少辉,计保权,孙力. 浅谈碱厂水库除险加固工程大坝凝浆技术[J]. 水利建设与管理,2013,33(1):80-81,60.