

《中国水能及电气化》

水利水电工程建设的工法约稿（征稿）函

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

水利工程优秀质量管理小组成果约稿（征稿）函

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

单位：《中国水能及电气化》杂志社有限公司

联系地址：北京市西城区南滨河路27号 贵都国际中心B座1119室 邮政编码：100055

联系人：张洁 电话：010-63305281 投稿须知网址：<http://zgsm.cweun.org/tgxz.php>

〔期刊基本参数〕CN 11-5543/TK*2005*m*A4*70*zh*P*¥16.00*15400*12*2022-7

中国水能及电气化

CHINA WATER POWER & ELECTRIFICATION

2022年第7期（总第208期）

中华人民共和国水利部主管

ISSN 1673-8241 CN 11-5543/TK
中华人民共和国水利部 主管

中国水能 及电气化

CHINA WATER POWER
& ELECTRIFICATION



ISSN 1673-8241



2022.7
月刊 总第208期

《水利建设与管理》

征集水利工程标准化管理

相关稿件的启事

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

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

符合要求的稿件一律免费刊发，欢迎投稿。

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

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

咨询电话：010-63305239

联系人：张雪虎

《水资源开发与管理》

节水专栏约稿（征稿）函

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

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

水利乡村振兴专栏约稿（征稿）函

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

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

期刊背景

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

投稿方式

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

联系方式

联系人：杨 燕 王宁昕

电 话：010-63305216/63305236

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 编：100055

2022 7

总第 208 期 月刊

中国水能及电气化

- ◆《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊
- ◆《中文科技期刊数据库》收录期刊
- ◆《中国期刊全文数据库》收录期刊
- ◆万方数据-数字化期刊群收录期刊

主 管 中华人民共和国水利部

主 办 水利部水电局

中国水利工程协会

中国大坝工程学会

四川省地方电力局

主 编 安中仁

编辑部主任 牟 佳

责任编辑 侯博丹

编辑出版 《中国水能及电气化》杂志社有限公司

通信地址 北京市西城区南滨河路 27 号

贵都国际中心 B 座 1119 室

邮政编码 100055

联系电话 010-63305281 (发行)

010-63305250 (投稿)

010-63305209 (广告)

网 址 <http://zgsm.cweun.org>

电子信箱 wateree6346@163.com

中国标准连续出版物号 ISSN 1673-8241
CN 11-5543/TK

广告经营许可证 京西市监广登字 20170040 号

出版日期 每月 15 日

印刷装订 北京博海升彩色印刷有限公司

邮发代号 80-495

定 价 16.00 元



中国水利工程协会官方微信公众号
二维码, 欢迎扫描加关注, 随时检索
协会会刊论文发表情况。

目 录

水电站技术与研究

- 1 严寒区水电站混凝土拱坝渗流初蓄—运行期监测成果分析
李秀文 赵向波 王 建
- 7 布料机与皮带机在电站进水口混凝土施工中的应用
李培丰 赵 斌
- 12 淮安抽水一站供水系统改造分析
武春辉 朱淮明 仲子夜

施工技术

- 15 南水北调中线工程白河倒虹吸防洪加固工程分期围堰
施工方案和降排水设计实践 向德林 瞿行亮
- 21 海塘堤脚除险加固施工技术研究 宫宝军 詹杨杰
- 26 TRD 工法在洞庭湖区堤防工程中的适用性研究
宾 斌 王导勇 冯志兵
- 34 喀斯特地区旋挖钻孔桩施工技术和质量控制 刘信芳

科学与研究

- 39 富水水库大坝变形监测与安全性分析
张 峰 付 洁 陈国元
- 47 防渗墙补强加固技术在赵山渡引水工程的应用
张 伟 李渭清 刘孔英
- 52 自动化系统在北运河甘棠船闸建设工程中的应用
要倩雅 姚永宽 隗 强

建设与管理

- 60 浅析基于价值导向的玉龙水电站建设期资金管理
王辨喜

水利大讲堂

- 67 水利通信工程项目划分与示例

Contents

Hydropower Station Technology and Research

- 1
- Analysis on Monitoring Results of Seepage during Initial Impoundment and Operation Period of Concrete Arch Dam in Cold Region
- LI Xiuwen, ZHAO Xiangbo, WANG Jian
- 7
- Application of Distributor and Belt Conveyor in Concrete Construction of Power Station Water Inlet
- LI Peifeng, ZHAO Bin
- 12
- Analysis of Water Supply System Transformation in Huai'an No. 1 Pumping Station
- WU Chunhui, ZHU Huaiming, ZHONG Ziyue

Construction Technology

- 15
- Construction Scheme and Drainage Design Practice of Staged Cofferdam for Baihe Inverted Siphon Flood Control and Reinforcement Project in the Middle Route of South-To-North Water Transfer Project
- XIANG Delin, QU Xingliang
- 21
- Study on Reinforcement Construction Technology of Seawall Toe
- GONG Baojun, ZHAN Yangjie
- 26
- Research on Applicability of TRD Construction Method in Embankment Projects of Dongting Lake Area
- BIN Bin, WANG Daoyong, FENG Zhibing
- 34
- Construction Technology and Quality Control of Rotary Excavation Bored Pile in Karst Area
- LIU Xinfang

Scientific & Research

- 39
- Deformation Monitoring and Safety Analysis of Fushui Reservoir Dam
- ZHANG Feng, FU Jie, CHEN Guoyuan
- 47
- Application of Cutoff Wall Reinforcement Technology in Zhaoshandu Water Diversion Project
- ZHANG Wei, LI Weiqing, LIU Kongying
- 52
- Application of Automation System in Gantang Ship Lock Construction Project of North Canal
- YAO Qianya, YAO Yongkuan, WEI Qiang

Construction & Management

- 60
- Fund Management during Construction Period of Yulong Hydropower Station based on Value Orientation
- WANG Bianxi

Water Conservancy Lecture Hall

- 67
- Division and Examples of Water Conservancy and Communication Projects

编委会

名誉主任

胡四一

副主任

邢援越

陈大勇

贾金生

陈生水

刘恒

陈荣仲

袁江海

秘书长

夏海霞 廖文根

编委会成员(按姓氏笔画排列)

王凤翔

王东胜

王丽平

王福岭

卢平

邝明勇

冯顺新

吉生元

毕振令

回士光

刘启华

刘改元

刘肃

刘德有

许德志

孙道成

李铭芳

吴克昭

吴新黔

邱小庄

张从银

张忠孝

张桂龙

张翾

陈洪(女)

陈德亮

禹雪中

夏海霞

徐祥利

唐山松

黄文宝

阎有勇

隋欣

葛捍东

程夏蕾

傅云光

鲁锡海

廖文根

樊新生

潘晓光

水电站技术与研究

严寒区水电站混凝土拱坝渗流初蓄—运行期监测成果分析

李秀文¹ 赵向波² 王 建²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;

2. 新疆额尔齐斯河投资开发集团有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

【摘 要】 混凝土拱坝蓄水后, 在水荷载作用下, 坝体渗流安全不能处于全面受控状态。为掌握严寒区混凝土拱坝的渗流状态, 文章根据初蓄—运行期大坝渗流监测成果, 分析山口水电站坝基扬压力、坝体渗流、绕坝渗流、渗漏的变化情况。结果表明: 受严寒地区温控难度大影响, 部分测点渗压出现异常情况, 但不影响大坝整体安全运行; 帷幕后渗压折减系数符合设计要求, 坝体渗压规律基本合理, 绕坝渗流变化较小, 渗漏量远小于经验值。大坝在初蓄—运行期的渗流变化符合一般认知规律, 大坝渗流处于安全状态。

【关键词】 混凝土拱坝; 渗流; 安全监测; 分析

中图分类号: TV642.4

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-001-06

Analysis on Monitoring Results of Seepage during Initial Impoundment and Operation Period of Concrete Arch Dam in Cold Region

LI Xiuwen¹, ZHAO Xiangbo², WANG Jian²

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

2. Xinjiang Eerqisi River Investment and Development Group Co., Ltd., Urumqi 830000, China)

Abstract: The seepage safety of the dam can not be fully controlled under the action of water load after the concrete arch dam is impounded. The changes of dam foundation uplift pressure, dam body seepage, seepage around the dam and leakage are analyzed according to the dam seepage monitoring results during the initial impoundment-operation period in order to master the seepage state of the concrete arch dam in severe cold area. The results show that the seepage pressure of some monitoring points are abnormal due to large temperature control difficulty in cold area. The integral safe operation of the dam is not affected. The reduction coefficient of seepage pressure behind the curtain meets the design requirements. The seepage pressure law of the dam is basically reasonable. The change of seepage around the dam is small. The leakage is far

收稿日期: 2022-05-24

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC1501201); 新疆 2019—2021 年院士工作站合作研究项目新疆水专项 (2020. C-004)

作者简介: 李秀文 (1987—), 男, 博士, 工程师, 主要从事水利工程监测及信息化管理工作。

less than the empirical value. The seepage change of the dam during the initial storage-operation period conforms to the general cognitive law. The dam seepage is in a safe state.

Key words: concrete arch dam; seepage; safety monitoring; analysis

大坝安全问题历来受到各方的高度关注,其中渗流问题是关注的重点。为评估拱坝渗流安全情况,在工程中多通过安装渗压计等监测仪器,结合监测数据分析和现场巡视检查结果,进行综合评判。拱坝蓄水后,坝体、坝基中将广泛存在渗流现象,可能引发渗透破坏甚至对大坝整体安全产生威胁。因此,蓄水—运行期的大坝渗流状态是大坝安全运行的重要关注对象,受到各方和专家学者的重视^[1-5]。

混凝土拱坝是典型的超静定结构,巨大的库水推力主要由拱端基岩的反作用力来支承。混凝土拱坝的防渗体系主要由坝基、两岸防渗结构、坝体组成。山口水电站拱坝地处严寒地区,空气湿度低、风速大、风多、气候干燥、蒸发剧烈,并且每年都要经受高至38℃以上、低至-40℃的环境温度变化。大坝浇筑期间,为有效解决环境因素引起的混凝土表面失水问题,通过严格的温控措施^[6],科学的工序安排,保证了层间结合质量和可泵性。

工程在初蓄—运行期的渗流监测成果,可以有效反馈工程施工质量情况。山口水电站拱坝在施工期建立了较为完善的大坝安全监测体系,在施工期、初蓄—运行期积累了较为完整的安全监测资料。通过对渗流安全监测成果的时空分析、特征值分析,可以较为准确地掌握大坝渗流的变化规律和分布特征,可为大坝安全运行提供保障。

1 工程概况

山口水电站大坝为常态混凝土双曲拱坝,坝顶高程649m,最大坝高94m,建基面高程555m,拱冠梁底宽27.0m,厚高比0.287。水平拱圈采用抛物线变厚变曲率拱圈,拱冠梁上、下游面曲线均由拟合三次方程曲线组成。坝体每隔15m设置一道横缝,将大坝分为22个坝段。拱坝泄水建筑物为泄水深孔及溢流表孔。坝内分别在560m、595m、620m高程设置3层廊道。坝体混凝土25.75万m³、泄水深孔1.51万m³、

泄水表孔1.51万m³。

2 渗流监测布置

2.1 混凝土浇筑层面渗压分布

大坝9号溢流坝段、左岸岸坡6号坝段、右岸岸坡13号坝段设置监测中心断面,每个中心断面对应设3个观测截面,各观测截面安装渗压计,共计36支;深孔坝段过水孔洞段设2个观测断面,渗压计安装在观测断面孔口四周,共计4支。

2.2 坝基扬压力

为监测坝基帷幕前后纵横向的扬压力分布情况,在纵向、横向上布置安装渗压计、测压管(管内安装渗压计)。纵向:上游帷幕前仅在三个主监测坝段处布设测点,帷幕后每个坝段均设一个测点;横向:在三个主监测坝段建基面以下1.0m处,从上游到下游由密渐疏布设测点。

2.3 绕坝渗流

为监测两坝肩的渗压分布情况,左右坝肩选两个监测断面,分别在649m高程廊道及620m、590m高程两层排水洞内钻孔安装渗压计,共计安装渗压计10支。

2.4 渗漏量

为监测基础、坝体、坝肩渗漏量,依据坝体及坝肩排水和汇集抽排情况,量水堰布置在560m高程廊道及坝基集水井前。

3 渗流监测成果分析

3.1 坝基扬压力

扬压力折减系数的计算公式为^[7]:

$$\alpha_i = \frac{H_i - H_2}{H_1 - H_2} \quad (1)$$

式中 α_i ——第*i*个测压孔的扬压力折减系数;

H_1 ——上游水位, m;

H_2 ——当下游水位高于测孔对应的坝基高程时, H_2 取下游水位; 当下游水位低于测孔对应的坝基高程时, H_2 用坝基高程代替 (山口工程坝后为水垫塘, 无水垫塘水位观测, 在计算时下游水位预估为 576; 二道坝坝顶高程 575m 加 1m);

H_i ——第 i 个测压孔的实测水位, m。

3.1.1 纵向扬压力

由式 (1) 对扬压力折减系数进行计算。

左岸 3~6 号坝段扬压水位基本和基岩高程接近。

从扬压力折减系数来看, 大部分扬压力折减系数为负值, 说明扬压水位低于下游水位或坝基高程, 最大扬压力折减系数仅为 0.10, 均未超过设计允许值 (见表 1)。

表 1 纵向扬压力特征值统计

| 测点编号 | 坝段 | 安装高程/ m | 当前扬压水 位/m | 水头/ m | 对应扬压力 折减系数 |
|---------|------|------------|--------------|----------|---------------|
| Up3-1 | 3 号 | 602 | 602.96 | 0.96 | 0 |
| Up7-5 | 7 号 | 559 | 567.98 | 8.98 | -0.14 |
| Up8-6 | 8 号 | 553 | 565.68 | 12.68 | -0.17 |
| Up9-7 | 9 号 | 554 | 559.68 | 5.68 | -0.28 |
| Up11-9 | 11 号 | 554 | 555.79 | 1.79 | -0.34 |
| Up12-10 | 12 号 | 561 | 572.66 | 11.66 | -0.06 |
| Up13-11 | 13 号 | 566 | 570.37 | 4.37 | -0.10 |
| Up14-12 | 14 号 | 571 | 579.63 | 8.63 | 0.06 |
| Up15-13 | 15 号 | 576 | 578.09 | 2.09 | 0.02 |
| Up16-14 | 16 号 | 583 | 584.22 | 1.22 | 0.00 |
| Up17-15 | 17 号 | 592 | 597.32 | 5.32 | 0.10 |
| Up18-16 | 18 号 | 601.5 | 605.85 | 4.35 | 0.10 |

注 Up4-2、Up5-3、Up6-4、Up10-8 无压, 表中未列出。

3.1.2 横向扬压力

6 号和 9 号坝段横向扬压力普遍较小, 大部分水头在 1m 以下, 最大水头为 7.81m。

13 号坝段下游侧 Pj3-4 测点扬压水头最高, 为 18.94m (扬压水位 584.94m), 水位变化受库水位影响较小, 与水垫塘水位相关性较为明显 (见表 2)。

表 2 横向扬压力特征值统计

| 测点编号 | 埋设高程/ m | 目前扬压力 水位/m | 水头/m | 对应时间/ (年-月-日) |
|-------|------------|---------------|-------|------------------|
| Pj1-1 | 562 | 562.80 | 0.80 | 2019-04-25 |
| Pj1-2 | 562 | 562.47 | 0.47 | 2019-04-25 |
| Pj1-3 | 562 | 562.68 | 0.68 | 2018-06-10 |
| Pj1-4 | 562 | 569.81 | 7.81 | 2019-04-25 |
| Pj2-1 | 554 | 554.59 | 0.59 | 2019-04-25 |
| Pj2-3 | 554 | 554.19 | 0.19 | 2019-04-25 |
| Pj2-4 | 554 | 554.19 | 0.19 | 2019-04-25 |
| Pj3-2 | 566 | 567.75 | 1.75 | 2019-04-25 |
| Pj3-3 | 566 | 567.11 | 1.11 | 2019-04-25 |
| Pj3-4 | 566 | 584.94 | 18.94 | 2019-04-25 |

3.2 坝体渗压

3.2.1 6 号坝段

6 号坝段 625m 高程共布置 4 支渗压计, 设计编号和距上游面距离分别为 P1-9 (1m)、P1-10 (1.2m)、P1-11 (2m)、P1-12 (5m)。蓄水初期, 四支渗压计处于无压状态。自 2015 年 9 月 14 日起, 库水位上升至 625m 后, 渗压计 P1-9 监测水位与库水位出现同步变化, 且水位高程与库水位基本相同。其余 3 支渗压计监测数据未出现明显变化。说明该坝段迎水面至 P1-9 附近存在一定的渗漏通道, 渗漏通道在库水位达到 625m 之前就已经存在 (见图 1)。

3.2.2 9 号坝段

9 号坝段 581m 高程共布置 4 支渗压计, 设计编号和距上游面距离分别为 P2-5 (1m)、P2-6 (1.2m)、P2-7 (2m)、P2-8 (5m)。自 2015 年 8 月 15 日起, 渗压计 P2-5、P2-6 由无压状态转为有压, 监测水位随库水位上升而逐渐增大。2016 年 9 月 5 日, 库水位达到 630.84m 时, P2-5、P2-6 监测折算水位分别为 595.62m、596.24m, 达到监测最大值。此后两个测点水位逐步下降, 当前基本无水。在该过程中渗压计 P2-7、P2-8 均处于无压状态。

综合 4 支渗压计监测成果分析, 9 号坝段 581m 高程附近可能存在竖向或斜竖向裂缝。当库水位刚达到该高程附近时, 水由裂缝处渗漏; 随着水位的持续

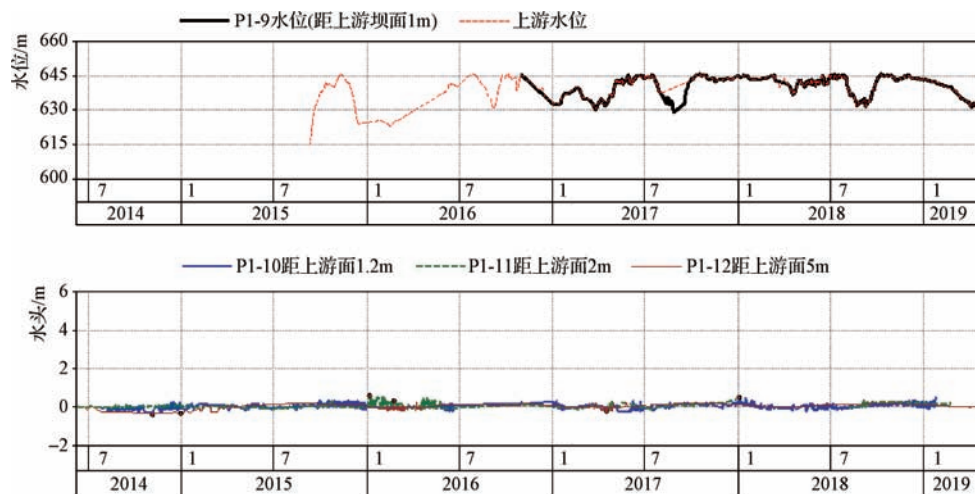


图1 6号坝段 625m 高程渗压计过程线

升高,在拱压力作用下,裂缝逐渐闭合,进而上游两个测点的渗透水位有所降低。监测成果表明,渗漏通道仅至 P2-6 (1.2m) 附近,未进一步扩展。

9号坝段 601m 高程共布置 4 支渗压计,设计编号和距上游面距离分别为 P2-9 (1m)、P2-10 (1.2m)、P2-11 (2m)、P2-12 (5m)。蓄水初期至库水位达到 641.6m 之前 (2015 年 10 月 12 日),渗压计多处于无压状态。之后上游测点 P2-9 监测水位逐渐与库水位同步变化。2016 年、2017 年测点 P2-11、P2-12 监测水位也相继上涨至库水位附近,与库水位正相关变化;测点 P2-10 变化相对较小。

通过各支渗压计的变化规律分析,蓄水初期各测点均未有明显变化,当库水位差达 40m 左右后,测点

P2-9、P2-11、P2-12 相继增大,并最终与库水位同步变化,说明渗漏通道是一个渐进发展的过程。当前水位仅测点 P2-11、P2-12 处较高,表明渗漏路径是在不断发生变化的,渗漏通道并不通畅。

9号坝段 625m 高程共布置 4 支渗压计,设计编号和距上游面距离分别为 P2-13 (1m)、P2-14 (1.2m)、P2-15 (2m)、P2-16 (5m)。测点 P2-13、P2-14 在 2015 年 9 月 19 日,库水位达到 630.18m 后出现监测水位与库水位同步变化的情况,测点 P2-15 自 2017 年 2 月起与库水位同步变化,当前 3 支渗压计监测折算水位与库水位几乎持平,测点 P2-16 水位一直处于无压状态。说明渗漏通道在蓄水过程中逐步扩展,延伸至测点 P2-15 附近后,未再继续延伸 (见图 2)。

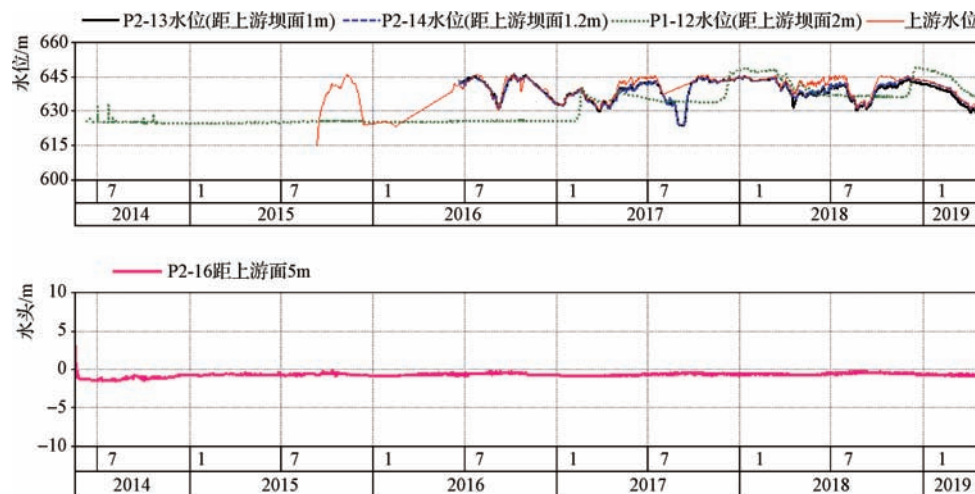


图2 9号坝段 625m 高程渗压计过程线

3.2.3 13号坝段

13号坝段581m高程共布置4支渗压计，设计编号和距上游面距离分别为P3-1（1m）、P3-2（1.2m）、P3-3（2m）、P3-4（5m）。蓄水初期，4支渗压计均处于无压状态，测点P3-1、P3-2监测水位在2015年11月7日开始突然增大，对应库水位644.67m（水头差63.67m），两测点监测最高水位分别为637.89m、635.11m（2016年11月1日）。

通过监测成果分析，13号坝段上游侧渗漏通道

存在两种情况：一是渗漏通道一直存在，但尚未扩展至渗压计安装位置，或者由于坝体重力作用，渗漏通道紧闭，当水头差较大时，在水压力作用下渗漏通道扩展开来；二是前期并无渗漏通道，在高水头作用下，坝体出现裂缝逐渐形成渗漏通道。

从过程线分析，P3-1、P3-2测点的监测水位随库水位变化有一定的滞后，说明坝体存在一定的阻渗，渗漏通道并不通畅。测点P3-3位置监测有压，而P3-4无压，说明渗漏通道未扩展至P3-4位置（见图3）。

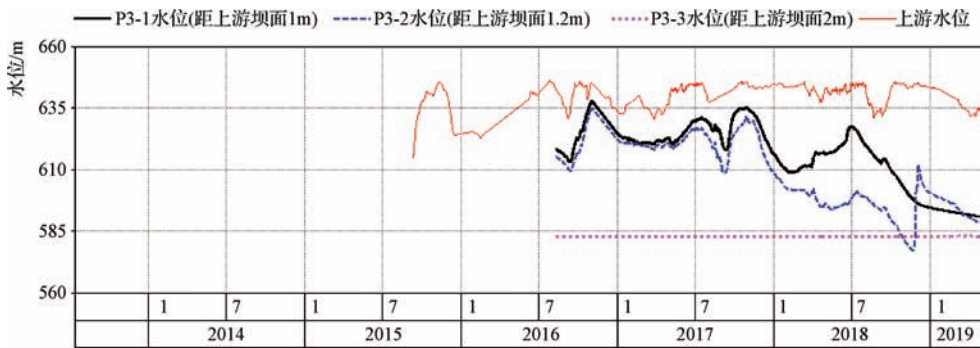


图3 13号坝段581m高程渗压计过程线

3.2.4 综合分析

对于出现渗漏通道的测点，结合附近安装的温度计、应变计组等进行综合分析^[8]，初步判断渗漏通道成因如下：该坝处于严寒地区，年最大温差达80℃，虽然采取了严格的温控措施，但渗水部位应变计组监测成果表明，渗水部位附近有历史最大拉应力超过设计指标（施工期主拉应力小于0.5MPa）的情况，虽未超过混凝土抗拉强度，但不排除上游面出现裂缝的可能性；冬季严寒致使上游侧表面温度较低，产生的拉应力引起上游面混凝土出现裂缝。

虽然个别部位渗压计监测成果出现异常，但综合来看，渗漏通道扩展深度都较小，对坝体整体安全性影响不大。

3.3 绕坝渗流

绕坝渗流监测可监控上游库水绕过坝肩渗流到下游的情况。由监测成果可知，蓄水后，绕渗水位总体变幅较小，与上游库水位并无明显的相关关系。大部分绕渗水位不高，最高水位为615.39m，发生在605m

高程右岸灌浆平洞UPR-17测点（见表3）。

表3 绕坝渗流测点特征值统计

| 测点编号 | 位 置 | 高程/ m | 水头/ m | 绕渗水 位/m | 最大水头日期/ (年-月-日) |
|--------|-----------------------|----------|----------|------------|--------------------|
| UPR-4 | 605m 高程 左岸灌浆 平洞 | 602 | 1.35 | 603.35 | 2018-01-28 |
| UPR-5 | | 602 | 0.76 | 602.76 | 2019-01-30 |
| UPR-6 | | 602 | 1.34 | 603.34 | 2017-10-30 |
| UPR-7 | 575m 高程 左岸灌浆 平洞 | 572 | 7.07 | 579.07 | 2018-07-30 |
| UPR-8 | | 572 | 16.04 | 588.04 | 2016-10-07 |
| UPR-9 | | 572 | 无压 | — | — |
| UPR-10 | 575m 高程 右岸灌浆 平洞 | 572 | 1.23 | 573.23 | 2015-12-26 |
| UPR-11 | | 572 | 2.89 | 579.67 | 2018-07-20 |
| UPR-12 | | 572 | 无压 | — | — |
| UPR-13 | | 572 | 1.59 | 573.59 | 2015-12-11 |
| UPR-14 | 605m 高程 右岸灌浆 平洞 | 572 | 9.42 | 581.42 | 2016-09-02 |
| UPR-15 | | 602 | 5.89 | 607.89 | 2015-12-13 |
| UPR-16 | | 602 | 2.50 | 604.50 | 2016-08-13 |
| UPR-17 | | 602 | 13.39 | 615.39 | 2016-10-29 |
| UPR-18 | | 602 | 2.33 | 604.33 | 2015-11-17 |
| UPR-19 | | 602 | 1.37 | 603.37 | 2018-01-30 |

3.4 渗漏量

坝体内渗漏水均汇集到了坝基位置,坝基两个量水堰 WE1 和 WE2 测得的最大渗漏量分别为 1.96L/s (右岸坝段 WE1) 和 0.90L/s (左岸坝段 WE2),最大总渗漏量为 2.29L/s (折合每米渗漏量 0.62m³/d)。

根据经验,混凝土坝每米渗漏量一般要求在 0.5m³/d,对应本工程总渗流量为 1.85L/s。从过程线可以看出,大坝总渗漏量大部分时段远低于该值,极个别时间段超出此值,且超出时间段较短。总体来看,大坝渗漏量不大(见图4)。

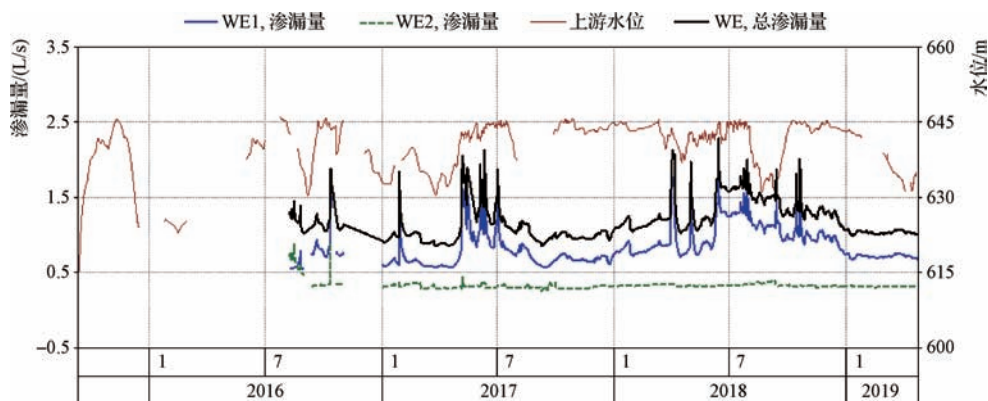


图4 坝基渗漏量与上游水位对比过程线

4 结 语

本文简要介绍了山口水电站混凝土拱坝渗流安全监测布置情况,基于渗流渗压监测资料,分别对大坝从初蓄期到运行期的坝基扬压力、坝体渗压、绕坝渗流、渗漏量情况进行分析,主要结论如下:拱坝坝基纵向扬压力折减系数均满足设计要求,横向扬压力普遍较小;部分测点出现渗流异常现象,与该坝处于严寒地区,温差大、温控难度大有关,总体不影响大坝安全运行;蓄水后,绕坝渗流水位总体变幅较小,与上游库水位无明显的相关关系;大坝总渗漏量大部分时段远低于混凝土坝单宽流量经验值。

综上所述,山口水电站混凝土拱坝渗流监测达到了设计目的,初蓄—运行期渗流特性变化符合一般规律。大坝防渗及排水体系基本运行良好,截至2019年4月25日,大坝处于渗流安全状态。▲

参考文献

[1] 胡蕾,李波,田亚岭.溪洛渡水电站初蓄—运行期大坝渗流监

测成果分析[J].大坝与安全,2017(4):30-35.

[2] 张超萍,李峰,赵振军.深厚覆盖层上心墙堆石坝坝基渗流监测分析[J].大坝与安全,2019(2):51-54.

[3] 张冲,王仁坤,汤雪娟.溪洛渡特高拱坝蓄水初期工作状态评价[J].水利学报,2016,47(1):85-93.

[4] 吴世勇,高鹏.二滩拱坝安全监测资料分析[J].水力发电学报,2009,28(4):108-113.

[5] 张斌龙,刘建刚,戴妙林,等.南欧江五级电站碾压混凝土坝渗流性态综合评价[J].三峡大学学报(自然科学版),2019,41(3):11-15.

[6] 孙立昌.仙游抽水蓄能电站上下库大坝蓄水期运行状况分析[J].中国水能及电气化,2015(2):36-39,28.

[7] 屈宝莉,薛云.浅谈土石坝建设中及初期蓄水后的渗漏分析[J].中国水能及电气化,2019(4):65-68.

[8] 罗斌.严寒干燥地区混凝土拱坝温度控制和越冬保护[J].福建水力发电,2015(2):39-42,57.

[9] 王珏.白鹤滩水电站大坝渗流场仿真与渗控方案评价[D].武汉:武汉大学,2018.

[10] 韩世栋,李新.高寒区某拱坝首蓄期坝体渗透压力异常现象分析[J].西北水电,2021(1):60-64.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.07.02

布料机与皮带机在电站进水口混凝土施工中的应用

李培丰 赵 斌

(中国水利水电建设工程咨询北京有限公司, 北京 100024)

【摘 要】 布料机+皮带机进行混凝土浇筑, 目前已广泛应用于水利水电工程大体积混凝土施工中。文章对移动式塔机+吊罐与布料机+皮带机现场实际浇筑强度进行了对比分析, 结果表明: 采用布料机与皮带机浇筑不仅强度远远高于塔机+吊罐浇筑, 而且大大节约了施工时间, 且受自然环境影响较小, 输送能力较强, 可进行任意伸缩, 也可进行360°旋转, 适用范围较广。

【关键词】 布料机; 皮带机; 混凝土; 应用

中图分类号: TV544

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-007-05

Application of Distributor and Belt Conveyor in Concrete Construction of Power Station Water Inlet

LI Peifeng, ZHAO Bin

(Beijing Co., Ltd. of China Water Resources and Hydropower Construction Engineering Consulting, Beijing 100024, China)

Abstract: Distributor + belt conveyor for concrete pouring have been widely used in mass concrete construction in water conservancy and hydropower projects. The actual pouring strength of mobile tower crane + hanging tank and distributor + belt machine is compared and analyzed in the paper. The results show that the strength of the distributor and belt machine is much higher than the tower machine + hanging tank pouring on the one hand, the construction time is greatly saved, which is less affected by the natural environment. The conveying capacity is higher, which can be arbitrarily expanded, which can also be rotated for 360°. The range of application is wide.

Key words: distributor; belt conveyor; concrete; application

1 工程概况

双江口水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州马

尔康市、金川县境内, 是大渡河流域水电梯级开发的上游控制性水库工程, 上距马尔康市约46km, 下距金川县城约45km。

收稿日期: 2022-05-26

作者简介: 李培丰 (1987—), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利水电工程管理工作。

坝址位于大渡河上源河流足木足河与绰斯甲河汇合口以下约 2km 处,控制流域面积约 39330km²,多年平均流量 502m³/s。电站的开发任务主要为发电,采用坝式开发,水库正常蓄水位 2500m,总库容 28.97 亿 m³,调节库容 19.17 亿 m³。电站装机容量 2000MW,多年平均发电量 77.07 亿 kW·h。

双江口水电站工程枢纽主要建筑物为 1 级,次要建筑物为 3 级。枢纽工程由拦河大坝、泄洪建筑物、引水发电系统等组成。引水发电系统布置于左岸,发电厂房采用地下式,厂内安装 4 台立轴混流式水轮发电机组,采用“单机单管供水”及“两机一室一洞”的布置格局,包括进水口、压力管道、主厂房、副厂房、主变室、出线场、尾水调压室、尾水隧洞及尾水塔等建筑物。

电站进水口布置在左岸岸边,人工开挖后布置 4 台机组所需的进水口,进水口为塔式结构。进水塔呈“一”字线并排布置,前缘总宽度 112.6m,塔体顺水流向长 33.7m,塔体前缘开挖高程 2397m,塔基开挖高程 2395m,进水塔底板高程 2400m,塔顶高程 2508m,塔总高 113m,内设拦污栅、检修闸门、工作闸门、通气孔,顶部设有储门槽、储栅槽、电缆沟、配电房等,闸墩之间布置有横撑 304 根、纵撑 120 根;塔身背后回填混凝土,回填高程 2420~2455m,1 号进水塔后设有一座宽 8m 的交通桥与 15 号公路相连,电站进水塔后为 20m 长的渐变段与压力管道相连。

进水塔塔身混凝土方量约 29 万 m³、背后回填约 4 万 m³,混凝土浇筑工程量总计约 33.5 万 m³,钢筋制安约 1.78 万 t,金属结构预埋约 500t,固结灌浆 2065m。

2 投标混凝土浇筑方法

投标时混凝土浇筑方法:拟布置一台 K80/115 型塔机和一台 C7050 型塔机作为进水口施工阶段垂直运输的主要设备。

2.1 混凝土浇筑施工

进水塔底板长 112.6m,宽 33.7m,厚 5.0m,按结构和永久分缝位置,分成 4 块。根据招标文件和施工规范要求,结合强弱约束区对分层高度的限制,底板分 3 层浇筑,第①、③层层高均为 1.5m,第②层层高为 2.0m。底板混凝土采用分块跳仓浇筑。在完成第②层浇筑后穿插进行底板固结灌浆。

进水塔底板采用自卸汽车配合塔机进行浇筑,进水塔底板最大单仓面积为 964m²,底板混凝土采用台阶法浇筑,分 3~4 个台阶浇筑,台阶高度为 50cm,入仓强度最低为 28.6m³/h,采用 2 台塔机共同浇筑入仓。

2.2 进水塔塔身混凝土施工

进水塔塔身高 113m,顺水流方向分为拦污栅、进水闸段和墙后回填段,按结构和永久分缝位置将进水塔和墙后回填段分成 8 块。根据招标文件和施工规范要求,进水口塔身分为 61 层,墙后回填段分为 14 层。

进水塔混凝土采用自卸汽车运输,2 台塔机吊 3~6m³ 罐垂直入仓,由于塔身高度较高,前期 2 台塔机均布置在进水口前沿的 2397m 高程平台,后期待墙后回填混凝土浇筑完成后,将一台 K80/115 塔机布置在墙后 2455m 高程回填混凝土上。

2.3 纵横撑施工

拦污栅闸和主塔体之间采用隔墙和纵撑连接,纵横撑断面尺寸较小,纵撑断面尺寸为 1.5m×1.5m,横撑断面尺寸为 0.8m×1.5m,共八排(见图 1)。纵、横撑的浇筑采用满堂脚手架支撑散装组合模板,混凝土采用塔机吊运,直接入仓。

3 实际混凝土浇筑方法

通过进水口结构分析和现场实际施工条件勘察,进水口处于左岸边坡,塔机安装后操控室及横杆高度分别位于 2455m 高程、2510m 高程,经现场实际气象资料分析,全年进水口外侧风力达 6 级以上的占比约

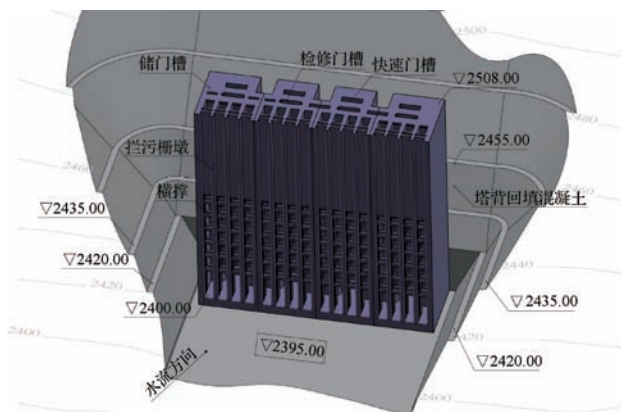


图1 进水口布置

为一半以上,根据塔机运行安全规定,当风力达到6级及以上时将自动断电,无法正常使用。同时结合已建成投运水电站施工布置和施工单位在建工程施工布置经验,经过专题讨论,同意将招标阶段的混凝土施工垂直运输机械布置调整为布料机+皮带机布置方式。

3.1 进水口上游侧布置塔机

在进水口上游侧布置1台K80/115型塔机主要负责模板、钢筋吊装和打杂等工作,同时负责2475m高程以下少量盲区混凝土浇筑和2475m高程以上布料机施工盲区的进水口混凝土浇筑。塔吊布置分两个阶段进行。

第1阶段布置在进水口拦污栅上游侧2397m高程平台上,将进水口混凝土浇筑到2455m回填混凝土设计高程。

第2阶段将塔吊拆装到进水口2455m高程回填混凝土平台上,将进水口混凝土浇筑到2508m设计高程。

由于塔吊单件重量较大,起吊高度又高,进水口结构复杂,不能从2397m高程直接拆装到进水口2455m高程回填混凝土顶面平台上,同时现场没有其他的施工道路通到进水口2455m高程回填混凝土顶面平台。通过进水口结构分析和现场施工道路情况研究分析,塔吊拆装布置方法如下:

在进水口右侧外泄洪洞竖井2475m高程平台到2440m高程平台6号水池施工道路之间修一条支路通

道至进水口右侧开挖边坡,这条支路简称塔吊拆装运输道路。

在进水口右侧开挖边坡到进水口右侧2455m高程回填混凝土平台之间的空间,布置一座承载力为30t的贝雷桥进行连接。

布置1台150t履带吊、1台25t汽车吊负责塔吊拆装,布置1台100t平板拖车负责水平运输。

在进水口底板由150t履带吊和25t汽车吊负责拆除,100t平板拖车运输路径为:进水口→25-3号路→25号路→塔吊拆装运输道路→贝雷桥→进水口2455m高程塔吊安装平台。其后,150t履带吊和25t汽车吊重新布置在进水口右侧2455m高程回填混凝土平台上进行塔吊安装。

3.2 进水口结构内布置混凝土仓面悬臂双向皮带布料机

在进水口结构内布置3台SHC25型混凝土仓面悬臂双向皮带布料机(单台布料机覆盖半径 $R=25\text{m}$)负责整个进水口4台机组混凝土浇筑垂直运输,布料机单月浇筑强度约3万 m^3 。单台布料机最大生产能力为 $120\text{m}^3/\text{h}$,结合双江口水电站进水口结构和现场实际情况布料机生产能力可在 $80\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ 。布料机为固定悬臂结构,立柱标准节 $L=12\text{m}$,随浇筑部位上升可加高立柱满足仓位上升要求。

3.3 浇筑部位外布置皮带机供料线

皮带机供料线负责为仓内布料机供料。为满足布料机供料要求和皮带机输送要求,皮带机供料线需要始终高于布料机,需要不断变换位置,分为两个阶段进行皮带机供料的布置来满足供料要求。

4 施工布置

根据进水口施工总高度,结合现场实际地形情况,布料机分3阶段供料。

4.1 第1阶段供料线布置方式

将进水口2397m高程平台3号拌和系统拌和楼出口口作为受料平台,在上游侧2397m高程布置一条从

拌和系统受料斗到进水口仓内 B2 布料机，由 3 条皮带机组成的供料线，皮带机立柱布置在 2397m 高程上（见图 2）。混凝土由 3 号拌和系统生产，直接进入在上游侧 2397m 高程布置的皮带机供料线，供料线将混

凝土从拌和系统受料斗输送到仓内 B2 皮带机，再由 B2 皮带机将混凝土转料至 B1 及 B3 布料机，完成进水塔 2395 ~ 2420m 高程混凝土浇筑施工，浇筑混凝土约 6.9 万 m³。

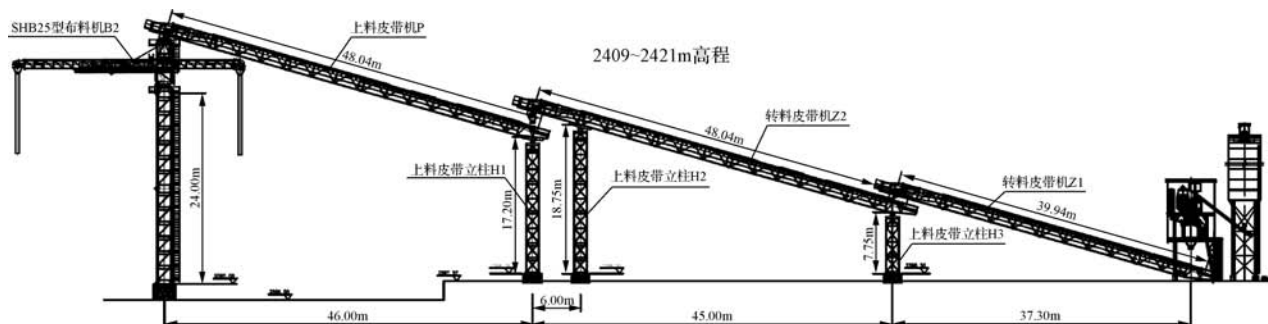


图 2 第 1 阶段布料机与皮带机布置

4.2 第 2 阶段供料线布置方式

在进水口下游 2455m 高程平台外布置受料平台，从受料平台到进水口仓内 B2 布料机受料斗布置由一

条皮带机组成的供料线。供料线立柱在进水口开挖边坡 2435m 高程的马道平台上（见图 3）。

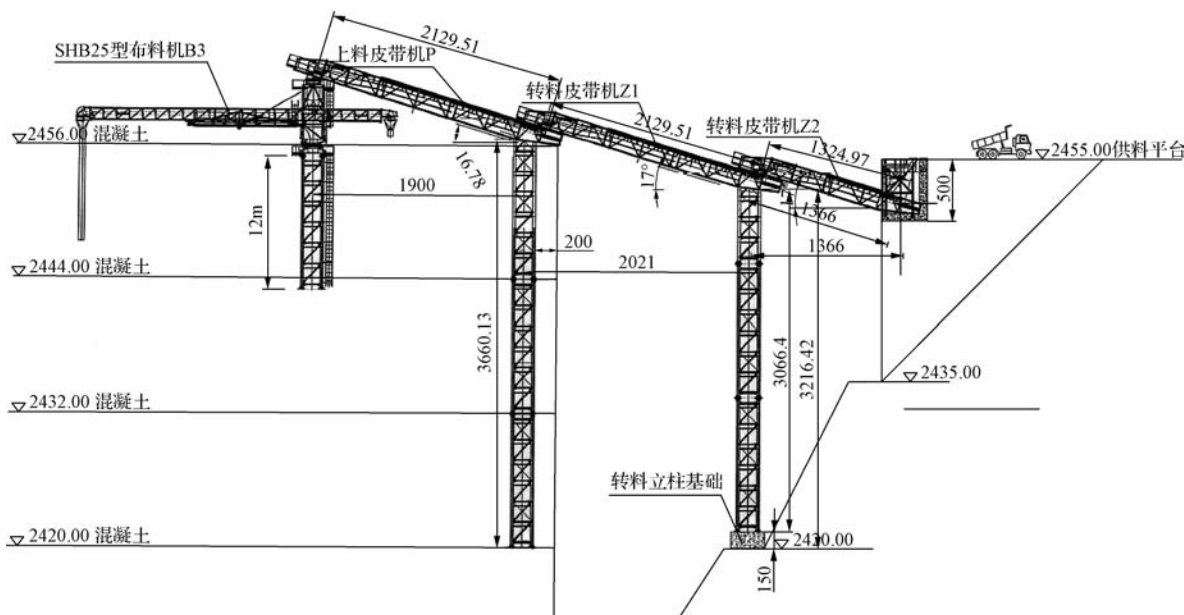


图 3 第 2 阶段布料机与皮带机布置

混凝土由 3 号拌和系统生产，配备 6 台 15t 自卸汽车（混凝土坍落度为 50 ~ 70mm）由进水口 2397m 高程平台运输至 2455m 高程受料平台（运距约 1.5km），由受料平台到进水口 B2 布料机的皮带机供料线将混凝土输送到 B2 布料机受料斗内，再由 B2 皮带机将混凝土再转料至 B1 及 B3 布料机，可完成进水

塔 2420 ~ 2456m 高程混凝土浇筑施工，浇筑混凝土约 12 万 m³（含塔背回填 2 万 m³）。

4.3 第 3 阶段供料线布置方式

在 15 号公路进水口 3 号机后边坡 2508m 高程平台外布置受料平台，从受料平台供料，由受料平台到进水口 B2 布料机的皮带机供料线将混凝土输送到 B2

布料机受料斗内,再由 B2 皮带机将混凝土转料至 B1 及 B3 布料机 (见图 4),完成 2456 ~ 2508m 高程塔身

浇筑 52m,该工况下完成进水塔混凝土浇筑约 14.6 万 m^3 。

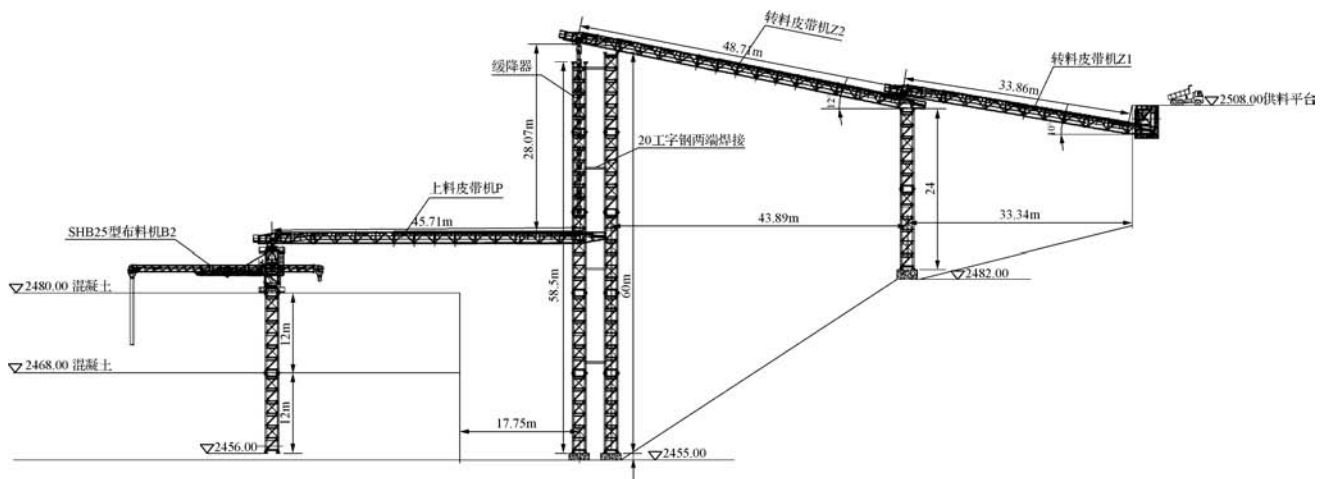


图 4 第 3 阶段布料机与皮带机布置

布料机基础断面为 $3.0\text{m} \times 3.0\text{m} \times 2\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高),皮带机立柱基础断面形式为 $3.0\text{m} \times 3.0\text{m} \times 1.5\text{m}$ (长 \times 宽 \times 高)。布料机与皮带机具体规格尺寸:长度 21 ~ 55m、宽度 650mm、带速 2.5m/s,电机功率 22 ~ 45kW;布料机与皮带机立柱尺寸分别为 $211\text{cm} \times 211\text{cm}$ 、 $186\text{cm} \times 186\text{cm}$,立柱采用方钢,每节立柱间采用高强螺栓连接。

5 对比分析

目前,进水口已浇筑至 2455m 高程,在布料机与皮带机提升阶段利用塔机 + 吊管进行混凝土浇筑,现场实际平均浇筑强度为 $25\text{m}^3/\text{h}$,与布料机 + 皮带机平均浇筑强度 $80\text{m}^3/\text{h}$ 相比严重偏低。通过现场施工总结分析,布料机混凝土施工强度较塔机高,通过已浇筑混凝土强度对比分析,采用布料机 + 皮带机施工每仓混凝土浇筑时间节约 1/3,且塔机属于特种设备,安全风险突出,使用布料机安全风险较塔机大大降低。进水口长度达到 112.6m,因此需在塔体内布置 3 个转料立柱,且转料立柱不拆除直接浇筑在塔体内部,随混凝土上升而加高,故立柱方钢使用量较大。布料机基础的具体位置应根据进水口设计图纸确定,不得侵占结构边线,并经设计代表确认同意。另

外,由于三期布料机位置在进水塔后面,其中转料立柱在进水塔塔背回填混凝土上,转料立柱 (仓外) 需单独设置,且立柱高度较高,总高度约为 60m,故需在塔体外侧单独设置的转料立柱上加设防风绳或加装与塔体间的硬连接。布料机立柱均浇筑在塔体混凝土内部,但皮带机转料立柱需在每阶段混凝土浇筑完成后及时拆除。

由于布料机和皮带机立柱需提前施工,且安装成长达 2 月之久,为保证进水口大体积混凝土能够连续浇筑,在上一阶段布料机完成工作前需提前进行下一阶段布料机的规划与安装。结合以往施工经验,布料机与皮带机立柱较高,在皮带机转料过程中,需增设缓降措施,以防止混凝土由于下料高度过高导致骨料离析,仓外转料立柱安装有钢制蛇形溜管用于混凝土垂直方向下降,但在布料机端头仓内下料则采用柔性橡胶溜筒,在保证混凝土质量的同时能够确保安全。另外由于布料机在仓内可进行 360° 旋转,只存在极小一部分盲区,对于小盲区可以临时采用塔机 + 吊罐入仓辅助措施。

由于混凝土拌和系统布置在进水口 2400m 高程平台,故混凝土运输距离大大缩短,在布料机与皮带机满足浇筑强度前提下,混凝土运输平板汽车数量及总体运输能力略大于拌和系统生产能力。(下转第 38 页)

淮安抽水一站供水系统改造分析

武春辉 朱淮明 仲子夜

(江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

【摘要】 泵站机组运行, 供水系统非常重要。淮安抽水一站供水系统改造采用了循环冷却系统, 利用轴瓦冷却器对循环水温度进行控制, 达到了机组上、下油缸降温目的, 保证了机组安全可靠运行。

【关键词】 泵站; 供水系统; 改造

中图分类号: TV674

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-012-03

Analysis of Water Supply System Transformation in Huai'an No. 1 Pumping Station

WU Chunhui, ZHU Huaiming, ZHONG Ziyue

(Jiangsu Province Main Irrigation Canal Management Agency, Huai'an 223200, China)

Abstract: Water supply system is very important for the operation of pump station units. In the renovation of the water supply system of Huai'an No. 1 Pumping Station, the circulating cooling system was adopted, and the temperature of the circulating water was controlled by the bush cooler, which achieved the purpose of cooling the upper and lower oil cylinders of the unit and ensured the safer and more reliable operation of the unit.

Key words: pumping station; water supply system; transform

1 概述

淮安抽水一站管理所位于江苏省淮安市淮安区漕运镇总渠大院内。抽水一站于1974年3月建成, 原设计流量 $60\text{m}^3/\text{s}$, 装有8台64ZLB-50型立式半调节轴流泵, 配TDL-215/31-24型立式同步电机, 总装机容量为6400kW。水泵采用肘形进水流道, 平直出水管流道。出水流道口采用拍门断流, 设有油压启闭快速事故门(检修门)。主机采用强电就地控制方式,

并设有低电压、过电流、零励磁三种主保护, 所用6kW电源由淮安抽水站变电所接引。

2001年5月22日—2002年8月1日该站进行了更新改造。主要项目为: 更换所有主电机、主水泵及相配套油、水等辅机系统设备; 更换所有高压柜、低压柜及线缆; 增加EC2000自动化监测系统; 增设强迫通风系统; 将断流方式由拍门改为快速闸门以及相关土建改造, 泵站设计扬程为4.89m, 安装8台1750ZLQ-11.2-5.3型立式全调节轴流泵, 设计总流量

收稿日期: 2022-06-09

作者简介: 武春辉(1987—), 男, 本科, 工程师, 从事工程管理工作。

为 $89.6\text{m}^3/\text{s}$ ，配套 TL1000-24/2150 型立式同步电机，总装机容量为 8000kW。工程于 2005 年 5 月通过竣工验收。

自 2001 年工程加固改造以来，管理单位对所管工程设备进行了多次维护改造。2018 年 12 月 27 日对淮安一站工程进行了安全鉴定，机电设备安全类别为三类，金属结构为二类，建筑物评为二类，综合评定为三类泵站。

2 淮安一站技术供水运行中存在的问题

淮安抽水一站供水系统改造前的供水方式是通过 2 台放置于水泵层的卧式单级离心泵（型号为 KQW150/315-30/4，一用一备），从上游河道取水，送至厂房顶的水塔，然后通过水压力差对每台机组进行供水。此种供水方式存在一定问题。

2.1 水口滤网经常堵塞

由于从上游河道取水，水塔出水口滤网经常发生堵塞或者出水不足现象，需要经常进行清理，且水塔内淤积较重，也需要定期进行清淤，这些不稳定因素对于长期运行的机组有一定的安全隐患。

2.2 油冷却器的进出水管道口经常堵塞

油冷却器的进出水管道口、弯头等经常发生堵塞，需要停机拆卸进出水管道，清理管道中的塑料带、淤泥、小木方、螺丝等杂物，但是效果并不明显，经常是疏通后隔几天后又会发生堵塞，特别是抗旱期间长期运行时，不允许经常停机检修，而且这样的方法也不能从源头上解决问题。

2.3 水压与流量达不到油缸冷却要求

淮安抽水一站立式同步电机要求上、下机架油槽油冷却器工作水压不超过 0.2MPa ，但是基本上堵塞的管道出水压力很小，几乎接近 0.02MPa ，没有足够的水流，导致管道越来越堵，最后堵死管道，使油冷却器起不到冷却降温效果。

2.4 无法控制每台机组油冷却器的进水温度

设备厂家要求进水温度不高于 28°C ，而实际情

况是夏季时，进水管道内水温普遍可达到 30°C 左右，超过规定范围，导致油冷却器达不到很好的降温效果，影响机组长期安全运行。

2.5 油冷却器铜管内壁摩擦大

由于上游河道内杂物、垃圾、泥沙较多，且水质状况较差，在对机组进行冷却供水时，由于长时间不间断的连续运行，水管内大量泥沙、杂质与油冷却器铜管内壁的摩擦不断增加，导致油缸内冷却器发生穿孔现象，造成油缸内进水或油位下降，导致机组安全事故发生，严重影响机组安全运行。淮安抽水一站两台机组都存在这种现象，油冷却器发生穿孔后，必须立即停机检修，将机组油缸进行拆卸，放掉油缸内润滑油，拆卸并更换新油冷却器，检修工作量增加，如果发现不及时，会导致烧瓦等其他机组安全运行事故发生。

3 采用水冷空调机组进行技术供水系统改造

3.1 方案的选择

采用专业的 ZWLQ-20 型轴瓦冷却器制冷冷却系统，冷却采用全封闭式系统，不受水质影响，同时进水水温根据机组运行负荷无级调节，冷却效果稳定，运行可靠性高，具有较好的经济效益。轴瓦冷却器作为一个独立的系统，可以根据电机轴承的温度（反映在“回水温度”参数上），CPU 据此及时调整制冷能力，实现闭路循环，提高自动控制水平和运行可靠性（见图 1）。

3.2 工作原理

系统主要功能是：按设备要求提供每台机组电机和上下导瓦、推力瓦等所需要冷却水量、水压并使冷却水循环使用。

首先控制柜预设（可修改）不同使用条件所需不同的用水量，由流量传感器检测水量，以此控制电动流量调节阀的开度，使流量满足控制柜设定值。

循环系统出水管网采用压力传感器向控制柜反馈信号，通过变频器控制水泵电机的频率，保证出水管

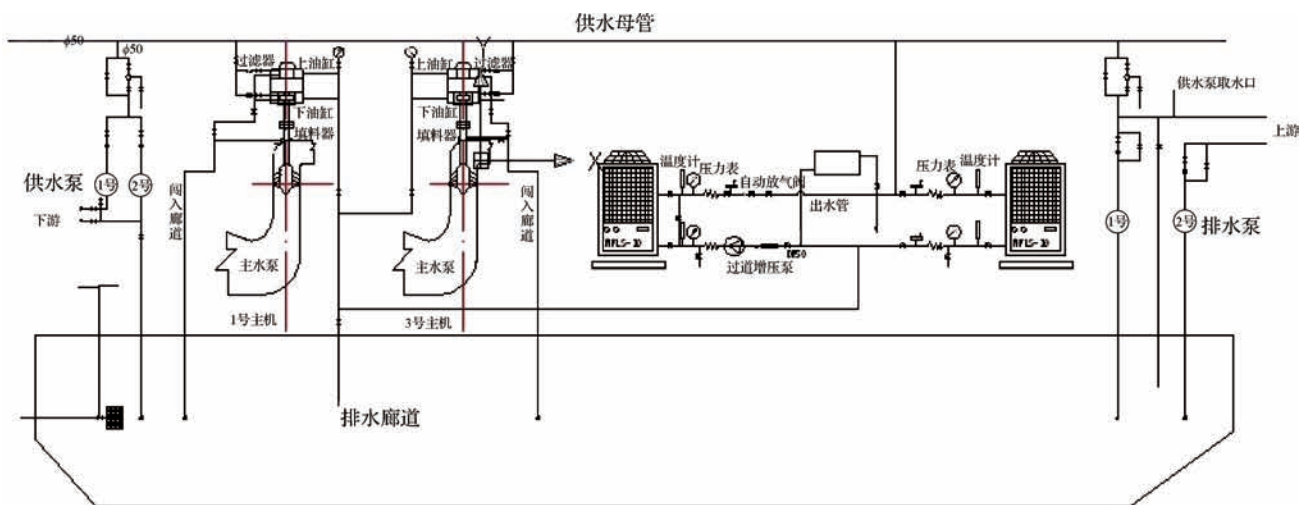


图1 改造后的冷却系统

网压力满足要求，使压力稳定、可靠。

当循环系统内部循环水渗漏或减少时，稳流罐电极低水位传感器通知控制柜打开电磁补水阀，对系统补充水量。

3.3 特点

循环冷却水由流量与压力同时控制，可同时满足使用要求，并安全可靠平稳运行；充分利用回水管网压力，出口管网压力差多少就补多少，比改造前的供水系统节能高效；该设备由全自动智能化控制器控制，根据用水量自行进行调节，根据要求对轴瓦冷却机组进行运行和温度调节；设备全封闭运行，消除水源污染、垃圾等问题；电气设备保护功能齐全，具有过载、短路、过压、欠压、缺相、过流、短路、水源缺水等自动保护功能，在异常情况下能够及时进行信号报警、自检、故障判断等；多台泵组均能可靠地实现软启动，使电网和管网免受冲击，并且轮流运转，大大延长了水泵及电机的使用寿命。

3.4 控制系统简介

冷却循环变频控制系统由2台循环水泵、1个补水箱及相应测控元件组成，与3台轴瓦冷却器以Modbus RS485通信方式进行连接，采用一套自动控制系统进行控制。该系统运行模式为单冷型，温度控制对象为总回水温度控制。

3.5 系统功能

系统管道内冷却水封闭式强制循环，冷却水循环流动的动力来自增压管道泵，主机泵冷却器经热交换流出的热水由增压管道泵送至ZWLQ-20型轴瓦冷却器，强降温后再次由管道进入主机泵冷却器，使热量进行封闭式循环。安装在增压管道泵进水口的过滤器可以滤去管路冷却系统中的杂质，杂质可以很方便地由人工操作取出。当管道中由于某些原因而导致冷却水减少时，膨胀水箱内的水由补水装置向管道自动补水。

当外界气温改变或其他原因导致管道内产生气体时，自动排气阀工作，将产生的气体从管道中排出，从而杜绝了水泵汽蚀与换热效果欠佳等情况的产生。管路进水管上安装的两个减震接头可最大限度地减少来自增压管道泵等传来的震动，有效地排除对ZWLQ-20型轴瓦冷却器产生震动而带来损害。冬天主机组停机时，可打开排水阀放尽循环水以避免由于气温下降等原因冻坏管道等元件。

ZWLQ-20型轴瓦冷却器，可使用由10个控制器组成的一个模块化网络控制系统，模块化控制器同时控制两台压缩机和一台增压管道泵，各部分均采用RS485通信接口连接。该系统选用的运行模式为单冷型，温度控制对象为总回水温度控制。

(下转第66页)

施工技术

南水北调中线工程白河倒虹吸防洪加固工程
分期围堰施工方案和降排水设计实践向德林¹ 瞿行亮²

(1. 中国南水北调集团中线有限公司渠首分公司, 河南 南阳 473000;

2. 中国南水北调集团中线有限公司河南分公司, 河南 平顶山 467000)

【摘 要】 文章对工程中的围堰施工方案、围堰降排水能力计算以及排水泵布置方法进行介绍, 通过合理的分期围堰施工和排水泵的布置, 确保了导流工程的施工进度和工程质量, 进而为白河倒虹吸防洪加固工程的顺利实施奠定了基础, 可为类似工程的围堰设计和降排水布置提供参考。

【关键词】 南水北调中线; 倒虹吸; 围堰; 方案

中图分类号: TV551.3

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-015-06

Construction Scheme and Drainage Design Practice of Staged Cofferdam for
Baihe Inverted Siphon Flood Control and Reinforcement Project in the
Middle Route of South-To-North Water Transfer ProjectXIANG Delin¹, QU Xingliang²

(1. Canalhead Branch, Middle Line of China South-To-North Water Transfer Group Co., Ltd.,

Nanyang 473000, China;

2. Henan Branch, Middle Line of China South-To-North Water Diversion Group Co., Ltd.,

Pingdingshan 467000, China)

Abstract: In this paper, the cofferdam construction scheme, the calculation of cofferdam drainage capacity and the layout method of drainage pump are introduced. The reasonable construction of cofferdam by stages and the layout of drainage pump ensure the construction progress and engineering quality of diversion project, thus laying a foundation for the smooth implementation of Baihe Inverted Siphon Flood Control and Reinforcement Project, which can provide reference for the cofferdam design and drainage layout of similar projects.

Key words: middle route of South-to-North Water Transfer Project; inverted siphon; cofferdam; plan

收稿日期: 2022-05-27

作者简介: 向德林 (1972—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利工程建设管理工作。

1 工程概况

南水北调中线干线工程白河倒虹吸防洪加固工程，位于蒲山镇蔡砦村北丰山东南侧，距南阳市区约14km，距商南高速及省道约1.5km，距焦柳铁路及南鸭公路4km。

白河倒虹吸工程建筑物长1337m，起点桩号115+190，终点桩号116+527，2021年白河倒虹吸经历2次较大洪水，导致白河倒虹吸河床段出露部分管身且河床主槽两侧护岸均出现水毁现象，迫切需要对白河倒虹吸进行防洪加固，确保工程安全。

本项目施工对南水北调白河倒虹吸管身段进行防洪加固，直接关系到南水北调中线总干渠的安全，必须在确保工程质量的前提下，严格按工期要求完成。

2 工程的重点和难点

2.1 工程的重点

在整个防护工程施工中，计划提前开始一期、二期围堰填筑施工，尽早为倒虹吸防护工程顺利开展提供条件，计划于2022年6月15日主体工程完工，具备过水条件，以便尽早恢复河道原貌，为预防突发洪水创造条件。

2.2 工程的难点

本项目施工围堰分为两期，围堰采用土石围堰，黏性土压实度不小于0.92，非黏性土相对密度不小于0.7。白河河道宽300余m，河床底部为砂层或砂砾层，开挖深度大，渗水量大，因此施工围堰内的降水成为了工程的难点，直接影响到本项目的主体工程是否能够在2022年6月15日前完工。

3 工程水文地质条件

白河倒虹吸工程区地形起伏，地势开阔，地貌形态主要由河谷及孤山组成。河谷发育不对称，右岸为孤山，发育有高低漫滩、河床及Ⅰ级阶地等。

孤山：位于右岸，地形起伏，为构造剥蚀残山，地面高程130~200m，高差较大。

高漫滩：分布在左岸，宽90~230m，地面高程130.00~131.90m。

低漫滩：略高于河床，高程为128.6~130.0m。左岸宽130~250m；右岸零星分布，宽45m左右。

河床：宽浅，地形平坦，高程为119.00~128.50m，切深为2.0~5.0m。枯水期水面宽100~150m，水深0.5~1.0m。

Ⅰ级阶地：左岸阶地高程131.60~132.50m，阶地宽500~800m，右岸阶地高程129.50~132.70m，阶地宽约500m，主要分布于蔡砦村南侧。

由于在白河倒虹吸工程施工前河床部位采砂现象严重，导致工程开工时河床部位加宽，河床高程下降，局部呈深槽状。

4 围堰设计方案介绍

根据现场地形情况、规范要求、施工图纸及工期进度要求，施工导流采用分期围堰明渠泄水方式。本工程施工导流时段为非汛期，为实现快速施工，确保工期，导流分为两期实施。

4.1 一期围堰实施

利用开挖料和附近土料场进行填筑，分四块实施。第一块从白河倒虹吸上游右岸格宾石笼防护外侧约15m处至上游右岸设计混凝土护坡内侧15m处，总长约150m。第二块利用第一块部分已填筑完成的围堰，从白河倒虹吸上游右岸设计混凝土护坡外侧至下游右岸斜坡段末端防冲槽外侧15m处，总长约410m。第三块从退水闸下游格宾石笼护坡至端部格宾石笼防护外侧15m处，总长约175m。第四块考虑到白河倒虹吸退水闸排水要求，在白河倒虹吸退水闸暂停排水时，将第二块和第三块直接通过围堰连接，形成第四块，总长约125m。

一期围堰计划于2022年2月14日开工，2022年2月28日完工。

4.2 二期围堰实施

利用附近土料场的土石方，同样分四块实施。第

一块从白河倒虹吸上游左岸格宾石笼防护外侧约 15m 处至上游左岸原混凝土岸坡内侧约 15m，总长约 200m。第二块利用第一块部分围堰，从上游左岸原混凝土岸坡内侧约 15m 处至上游管身段内侧 10m，总长约 400m。第三块从上游管身段内侧 10m 处至下游左岸格宾石笼防护外侧 20m 处，总长约 320m。第四块根据一期围堰内主体工程进度情况，计划在二期围堰右岸范围内主体工程施工完成后，拆除部分右侧一期围堰用于过水。利用二期围堰作为施工道路，将二期围堰向前延伸约 70m，延伸的区域为第四块，总长约 200m。

二期围堰前三块计划于 2022 年 2 月 18 日开工，2022 年 3 月 6 日完工，其中二期围堰第四块计划于 2022 年 5 月 1 日开工，2022 年 5 月 7 日完工。

4.3 围堰设计

围堰为均质围堰，围堰顶设计宽度为 4m，设计顶高程 126.00m，填筑高度约为 1.5~5.0m，围堰坡比为 1:2。为提高设备的使用率，每 100m 设置一处 10m×6m 错车平台。在围堰顶部以下 40cm 处每 30m 埋设一道 DN600 钢管，用于后期排水。迎水坡采用 30cm 厚编织袋护坡，下铺土工膜防渗（见图 1、图 2）。

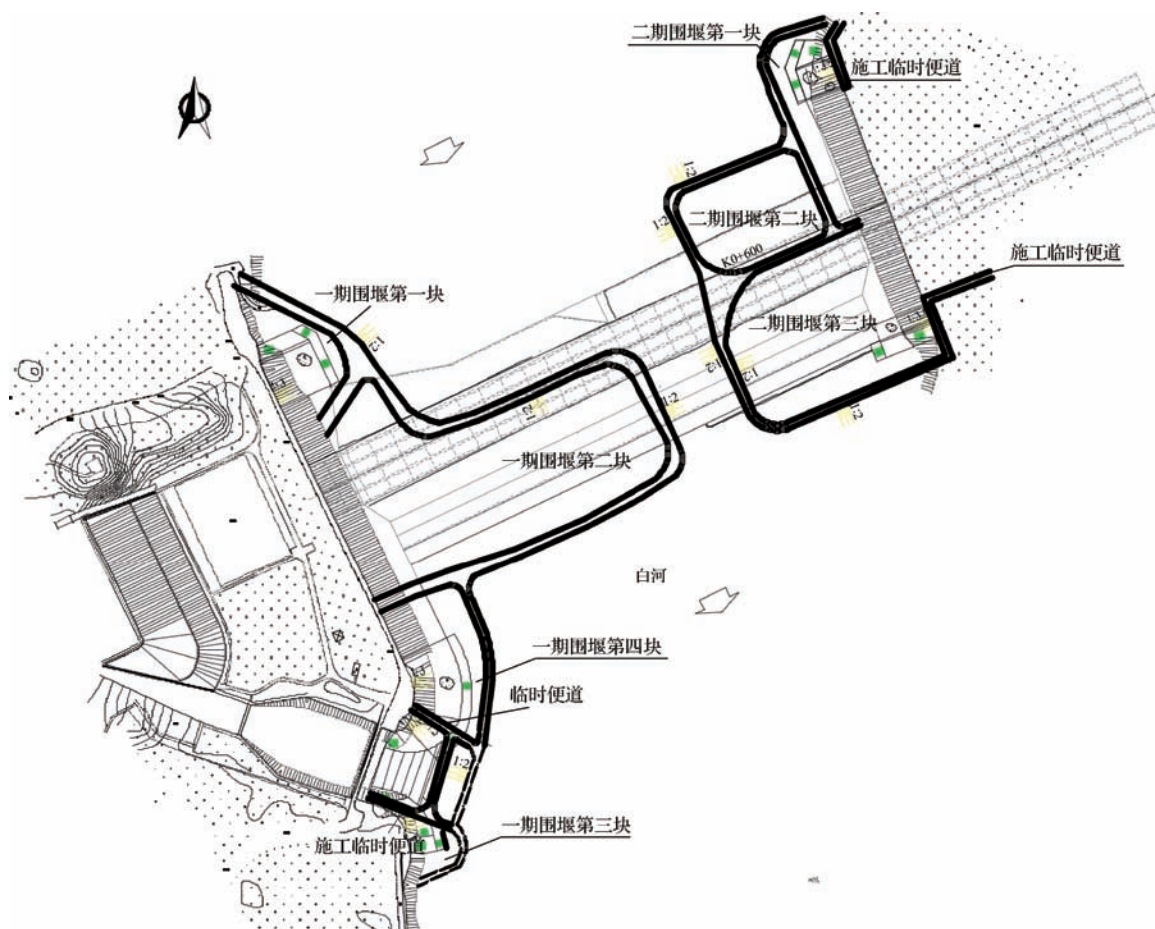


图 1 围堰施工布置

5 围堰降排水施工方法介绍

围堰合龙后，立刻开展降排水工作，以排除围堰内积水和渗水。保持基坑干燥，支持后续主体工程施工。围堰基坑降排水分为初期排水和经常性排水两类。

5.1 初期排水

5.1.1 初期排水能力计算

初期积水量：一期、二期围堰共分为 8 个部位，存水面积约为 30000m²，平均水深约为 3.0m，积水量

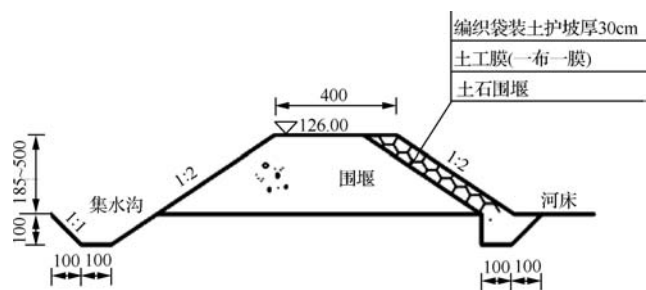


图2 围堰剖面 (尺寸单位: cm)

为90000m³。
基坑渗漏水 and 围堰渗水按200m³/h计。基坑积水三天排完, 每小时排水量 90000m³/(24h × 3) + 200m³/h = 1450m³/h。

排水能力按下式计算:

$$Q_{\text{水}} = Q_{\text{实}} / \alpha \eta \gamma = 1450 / (0.9 \times 0.8 \times 0.95) \approx 2119.88 \text{ m}^3/\text{h} \quad (1)$$

式中 $Q_{\text{水}}$ ——水泵排水能力, m³/h;
 $Q_{\text{实}}$ ——实际排水量, m³/h;
 α ——时间利用系数, 取0.9;
 η ——水泵平均效率, 取0.8;
 γ ——水泵平均泄漏系数, 0.95。

结合施工期经常性排水需求, 按需要选择水泵及布置形式 (见表1、图3)。

表1 初期排水水泵选型

| 序号 | 名称 | 型号 | 性能指标 | | 功率/kW | 数量 |
|----|-----|------------------|------------------------|------|-------|----|
| | | | 流量/(m ³ /h) | 扬程/m | | |
| 1 | 污水泵 | 100WQ80-20-7.5 | 60 | 20 | 7.5 | 15 |
| 2 | 污水泵 | 100WQ120-20-11 | 100 | 20 | 11 | 12 |
| 3 | 泥浆泵 | 150PNLD280-20-22 | 250 | 20 | 22 | 6 |

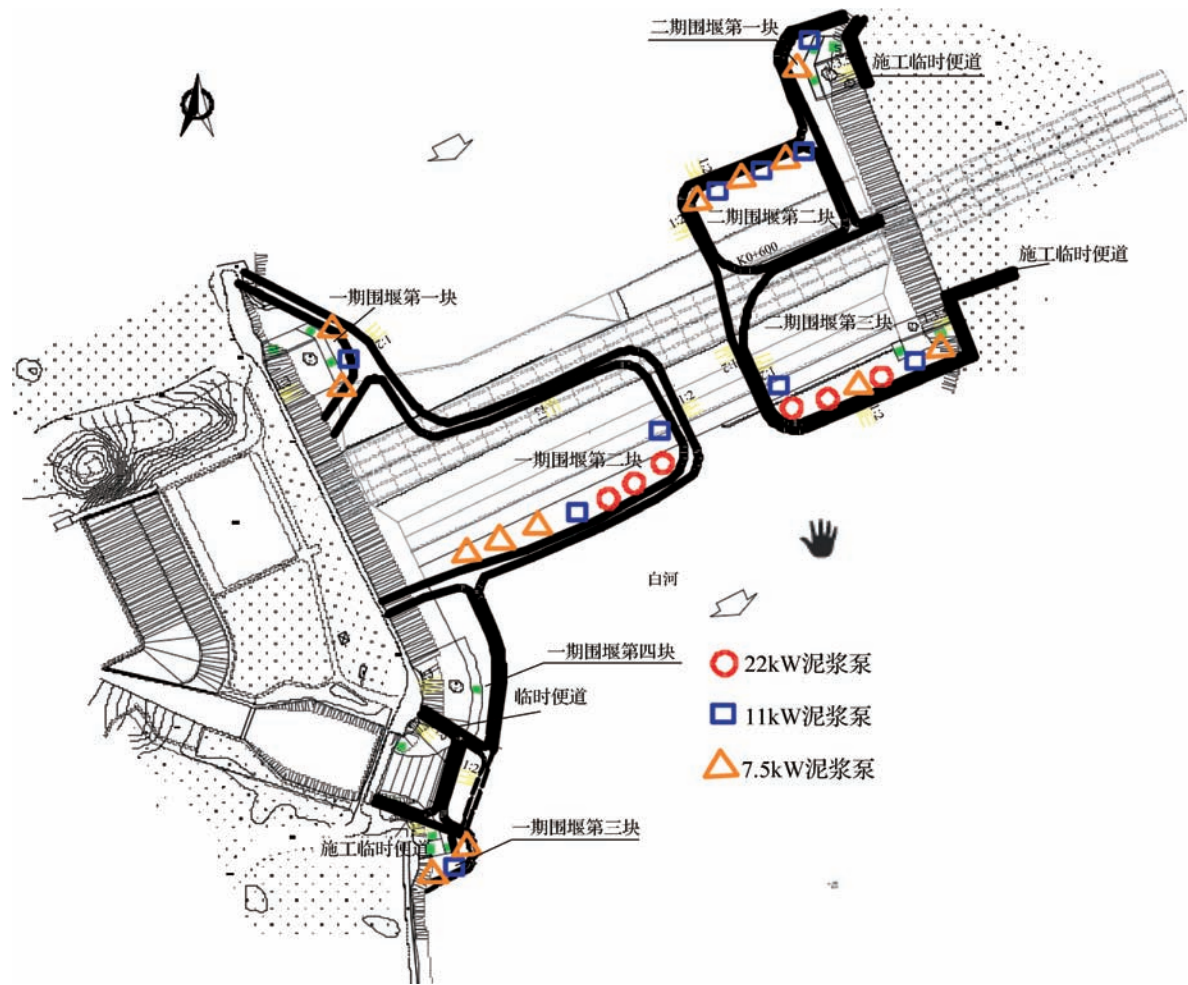


图3 初期排水泵布置

5.1.2 初期排水水泵布置

一期围堰分四块施工，第一块布置 2 台 7.5kW 污水泵和 1 台 11kW 污水泵；第二块面积大，在倒虹吸管身两侧上下游布置 3 台 22kW 泥浆泵、3 台 11kW 污水泵和 3 台 7.5kW 污水泵，22kW 泥浆泵和 11kW 污水泵间距 20m 布置 1 台，7.5kW 污水泵间距 40m 布置一台；第三块布置 2 台 7.5kW 污水泵和 1 台 11kW 污水泵，出水通过预埋在围堰顶内的钢管排入河道中。退水闸正在进行生态补水，第四块围堰暂时不能施工。

二期围堰分四块施工，第一块布置 1 台 7.5kW 污水泵和 1 台 11kW 污水泵；第二块在倒虹吸管身上游布置 3 台 11kW 污水泵和 3 台 7.5kW 污水泵；第三块在倒虹吸管身下游布置 3 台 22kW 泥浆泵、2 台 11kW 和 2 台 7.5kW 污水泵，22kW 泥浆泵和 11kW 污水泵间距 20m 布置一台，7.5kW 污水泵间距 40m 布置一台，出水通过预埋在围堰内的钢管排到河道中。一期围堰主体施工完毕后，拆除一部分围堰过水，并将二期围堰向前延伸形成第四块。在倒虹吸管身下游布置 3 台 22kW 泥浆泵、2 台 11kW 污水泵，出水通过预埋在围堰顶内的钢管排入河道中。

水泵采用人工配合挖掘机进行安装，采用发电机组供电。排水时应注意水面下降速度，如果速度过快易引起堰体失稳，威胁工程安全。排水时派专人全天候值班，发现问题立即汇报，及时采取补救措施。考虑到抽水设备长时间运行易损坏，为保证抽水工作的顺利，多余的水泵放在现场备用（见图 3）。

5.2 经常性排水能力计算

降雨汇水：一期、二期基坑集水面积约 30000m²，围堰使用期为枯水期，降雨量较小，最大日降雨量按 5mm 考虑。最大时降雨量(0.05m/24) × 30000 = 62.5m³。

基坑渗水：基坑紧邻白河，地下水位与河水位相近，加之覆盖层为砂砾石，基坑涌水量主要为临河水流及基坑上下游透水层渗水。基坑渗漏水

取 200m³/h。

施工弃水：施工弃水包括混凝土养护用水、冲洗用水、冷却用水及施工机械用水等，按 20m³/h 计。

因此，经常性排水量总量为 200m³/h + 62.5m³/h + 20m³/h = 282.5m³/h

需要的水泵排水能力根据式（1）计算为 282.5/(0.9 × 0.8 × 0.95) ≈ 413.01m³/h。

经常性排水水泵选型见表 2。

表 2 经常性排水水泵选型

| 序号 | 名称 | 规格型号 | 性能指标 | | 功率/kW | 数量 |
|----|-----|------------------|------------------------|------|-------|----|
| | | | 流量/(m ³ /h) | 扬程/m | | |
| 1 | 污水泵 | 100WQ80-20-7.5 | 60 | 20 | 7.5 | 9 |
| 2 | 污水泵 | 100WQ120-20-11 | 100 | 20 | 11 | 8 |
| 3 | 泥浆泵 | 150PNLD280-20-22 | 250 | 20 | 22 | 2 |

在倒虹吸管身段两侧沿围堰基脚处挖集水沟，集水沟设置于施工基面以下 50cm，两侧按 1:1 的坡度放坡。在集水沟内根据水位深度情况设置集水井（长 1m × 宽 1m × 深 1m），通过水泵将积水抽排出去。

一期围堰分四块施工，第一块和第二块各布置 1 台 7.5kW 污水泵和 1 台 11kW 污水泵；第三块布置 1 台 22kW 泥浆泵、2 台 11kW 污水泵水和 2 台 7.5kW 污水泵，水深处集水井每 25m 布置一眼，水浅处集水井每 50m 布置一眼；第四块暂时不施工，在此先不考虑。布置方案可根据现场实际抽水情况进行灵活调整。

二期围堰分四块施工，第一块布置 2 台 7.5kW 污水泵；第二块布置 2 台 7.5kW 污水泵和 2 台 11kW 污水泵；第三块布置 1 台 22kW 泥浆泵、2 台 11kW 污水泵水和 2 台 7.5kW 污水泵，水深处集水井每 25m 布置一个，水浅处集水井每 50m 布置一眼；第四块布置 1 台 22kW 泥浆泵、2 台 11kW 污水泵水。布置方案可根据现场实际抽水情况进行灵活调整（见图 4）。

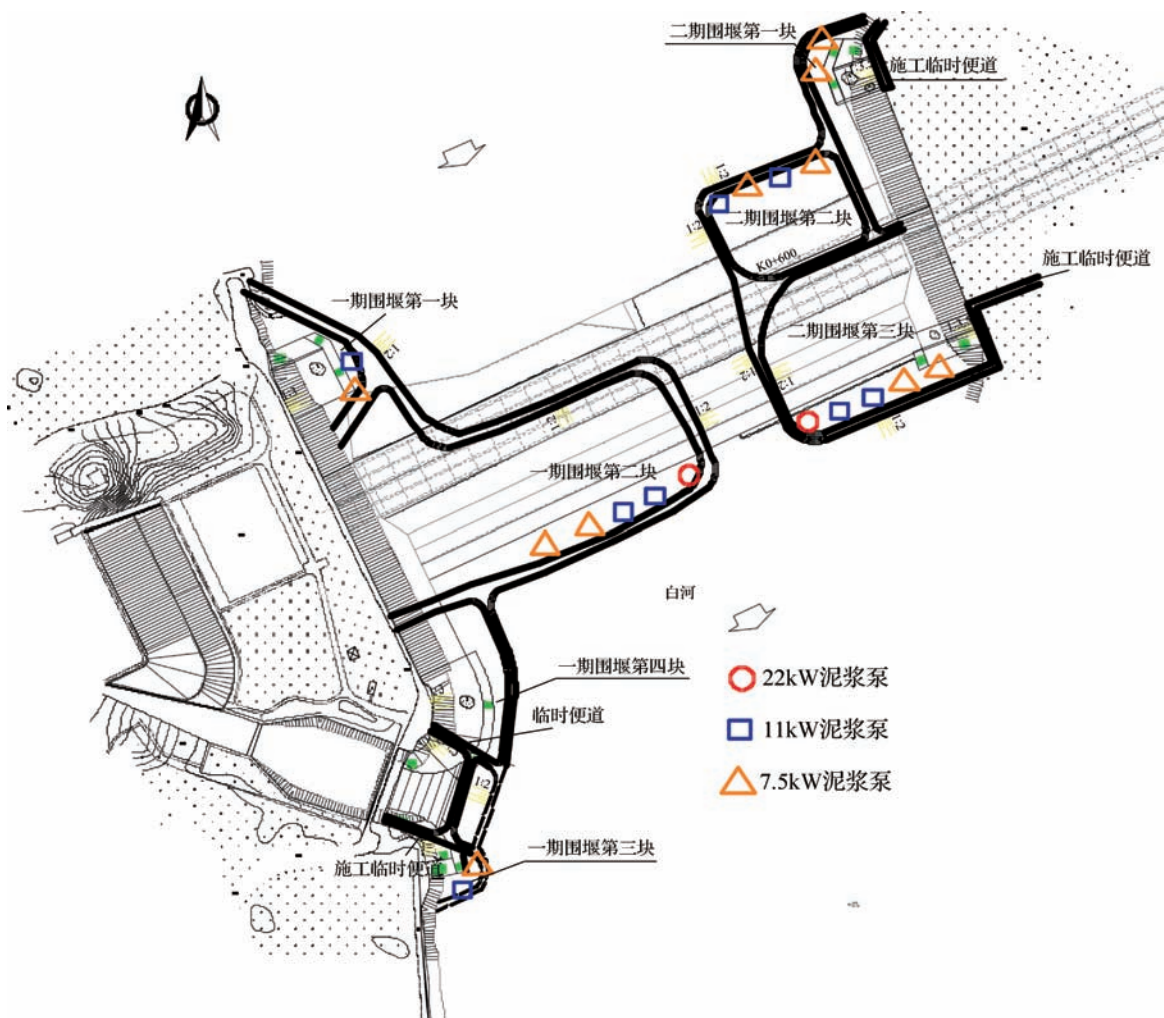


图4 经常性排水泵布置

6 结 语

围堰的合理设计是水利工程顺利实施的基础，南水北调中线干线工程白河倒虹吸防洪加固工程充分分析工程的地形地质条件，分两期共八块进行围堰施工。科学的划分和有预见性地合理安排施工顺序，优化施工组织方案，使围堰工程按期保质完成，围堰建设已于2022年5月6日全部完成。围堰内基坑排水布置考虑初期排水要求和经常性排水要求，通过排水能力计算分析，设置最优化的排水设施布置方案，提高排水效率，确保工程施工质量。倒虹吸整体防护工程已于2022年6月9日完成，较计划工期提前7天，为南水北调中线干线工程白河倒虹吸防洪加固工程后续工程顺利实施和安全度汛提供了条件。▲

参考文献

- [1] 陈长江,刘心愿,陈栋,等. 鄂北地区水资源配置工程夹河套段倒虹吸防护研究[J]. 长江科学院院报,2018,35(7):57-62.
- [2] 张赞. 强富水地层综合管廊基坑支护与降排水分析[D]. 南昌:南昌大学,2018.
- [3] 黄能,高发勇. 白河倒虹吸大体积混凝土裂缝防控研究[J]. 云南水力发电,2014,30(S1):60-62.
- [4] 刘悦强. 软土地区排水管道深基坑支护设计与施工关键技术[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [5] 董卫军,常青,张慧. 南水北调山东段平原水库围坝填筑质量控制[J]. 山东水利,2012(9):16-18.
- [6] 段武奎. 浅谈基坑降水[J]. 山西建筑,2010,36(25):133-134.
- [7] 游万敏,上官江,黄星旻. 南水北调中线一期工程白河倒虹吸工程布置设计[J]. 人民长江,2010,41(16):39-41,50.
- [8] 汪易森,杨元月. 中国南水北调工程[J]. 人民长江,2005(7):2-5,71.

海塘堤脚除险加固施工技术研究

宫宝军 詹杨杰

(浙江省第一水电建设集团股份有限公司, 浙江 杭州 310051)

【摘要】 钱塘江是举世闻名的强潮河口, 水下堤脚基础加固是海塘抵抗强潮水冲击重要而实用的措施之一, 文章通过对钱塘江西江塘闻堰段海塘堤脚加固工程的研究, 形成了一种砂肋软体排、砂袋垫层、混凝土预制铰链排、抛石以及合金钢网兜相结合的堤脚除险加固施工技术, 可为今后同类型项目提供借鉴。

【关键词】 堤脚; 砂肋软体排; 砂袋垫层; 预制铰链排; 抛石

中图分类号: TV656.31+4

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-021-05

Study on Reinforcement Construction Technology of Seawall Toe

GONG Baojun, ZHAN Yangjie

(Zhejiang First Hydro & Power Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310051, China)

Abstract: Qiantang River is a world-famous estuary with strong tide, and the reinforcement of underwater dike foundation is one of the important and practical measures for seawall to resist the impact of strong tide. Through the research of seawall upgrading and reinforcement project in Wenyan section of Xijiang Pond in Qiantang River, the author has formed a dike toe reinforcement construction technology combining sand rib soft row, sand bag cushion, concrete prefabricated hinge row, riprap and alloy steel net bag, which can provide reference for similar projects in the future.

Key words: dike toe; sand rib soft row; sand bag cushion; prefabricated hinge row; riprap

1 工程概况

钱塘江西江塘闻堰段海塘堤脚加固工程位于钱塘江南岸杭州市萧山区境内。工程任务以防洪御潮为主, 兼顾生态修复、公共服务提升、饮用水水源保护等。主要建设内容为: 堤脚加固塘身 5.56km, 加固塘脚 1.57km; 改造生态滨水岸带 5.56km, 生态修复总面积 16.87hm² (其中塘身为 11.67hm², 塘前滩地

为 5.20hm²); 建设沿塘绿道 5.56km; 新建驿站 2 处、改建驿站 1 处, 共 440m。工程等别为 I 等, 海塘建筑物级别为 1 级, 设计防洪标准为 200 年一遇, 设计防潮标准为 300 年一遇。

工程施工范围河道“弯、窄、深”, 主流剧烈顶冲, 是钱塘江强涌潮影响河段, 其下游是涌潮, 上游是洪水, 施工区域水深达 15.0m 以上堤脚防护从江中起铺。

收稿日期: 2022-04-20

作者简介: 宫宝军 (1974—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利工程管理工作。

2 工艺原理

软体排是一种利用土工织物拼接成的排布,软体排柔性好且具有承载石头的能力,在上部抛石后会自动调节形状形成良好的防护线,所以施工中一般通过在上面压重(预制混凝土铰链或者砂肋)形成防冲结构进行护岸。

堤脚采用砂肋软体排、砂袋垫层、混凝土预制铰链排、抛石以及合金钢网兜相结合的加固方法^[1],先全分区铺设砂肋软体排和砂袋垫层,再铺设混凝土铰链沉排,最后抛块石,确保了排体稳定性,削减了强潮水的冲刷,也保护了覆盖面下土粒不被水流冲走。

3 工艺流程及操作要点

3.1 施工工艺流程

地形及断面测量→调整控制点→划分区块→摊铺船定位→摊铺砂肋软体排(摊铺砂袋垫层)→摊铺混凝土铰链沉排→抛块石→安装网兜块石→复测、补抛加强。

3.2 操作要点

3.2.1 施工前准备

a. 测深仪:测深仪测量单块排体施工区域水深,控制排体到达河底长度,为船舶移船定位提供依据。

b. 流速仪:实时测量水体流速,水流流速小于 1.6m/s 时可摊铺施工,大于 1.6m/s 且小于 2.0m/s 时,采取浮筒等安全附加措施,大于 2.0m/s 时,禁止摊铺施工。

c. 测量定位仪器:将铺排平面分幅图转为 dxf2000 格式导入铺排船南方自由行系统,采用 GPS 水上定位系统定位铺排甲板边界在分幅图上的位置,船体定位后采用 RTK 测量仪器进行复核。

d. 砂肋软体排(混凝土预制铰链沉排)排布原材料检测合格后,厂家再进行加工、缝制。

e. 充填用砂为细砂,砂质要求粒径 $d > 0.075\text{mm}$ 含量大于总量的 50%,黏粒 $d < 0.005\text{mm}$ 含量小于

5%,施工前原材料送检,检测合格。

f. 充砂设备:22kW 泥浆泵,充砂主管路直径 6 英寸,两个分管直径 4 英寸;砂肋条选用 6 英寸主管路进行冲灌,砂袋垫层采用两个 4 英寸分管在两端进行冲灌。

g. 砂浆准备:根据现场充砂实际情况,用泥浆泵抽的砂水混合物灌至水桶中,经过 30min 后,沉淀固体物约占 70%。

h. 声呐检测仪器及人员准备:聘请声呐检测技术人员 2 名,他们有丰富的长江流域软体排铺排施工声呐检测经验;采用 MS1000 扫描声呐设备在施工过程中进行实时扫测,检测铺排后的搭接长度,从而控制搭接质量。

i. 指派专人实时关注钱塘江潮汐预报,铺排时段避开大潮汛期间的高潮位时间段。

3.2.2 施工测量

测深船采用 GPS 和导航软件进行定位,水下地形采用多波束测量系统进行探测。对于平面最小尺寸大于 5m 且坡度陡于 1:5 的深坑或凸点采用长臂挖掘机进行整平处理,以保证施工作业面平整。

3.2.3 砂肋软体排、砂袋垫层工程

a. 船体定位:采用配置计算机、GPS 及 GPS 定位软件的船舶定位铺排船。

b. 砂肋灌装:当铺排船定位完毕后,采用运输船运输排体到铺排船的甲板上,进行砂肋灌装。运砂船进档与软体排穿肋同步进行,将泥浆泵安置在砂肋上,先用高压水枪混合泥浆泵周围砂水,再开启泥浆泵充灌砂肋,过程中采用一头充灌、交错充灌,禁止双向对充,砂肋充盈率控制在 80% 左右即可^[2],停充时为避免堵管先充清水。

c. 铺排:软体排铺设按照沿堤身轴线方向从下游往上游推进。待砂肋充灌完成若干条后放下翻板并开启滚筒的控制电机,使排体在砂肋自重作用下沿翻板下沉,当软体排到达水底且有一定长度后移动铺排船缓慢铺放排体。排体上充填完成的砂肋完全滑至甲

板上时，刹住卷筒，继续灌装砂肋，下放排体，直至全部完成。放排过程中，测量人员及时进行纠偏和指挥^[3]。

3.2.4 混凝土铰链沉排工程

- a. 船体定位：将铺排船停放在沉排区域下游位置，从下游至上游方向施工（见图1）。
- b. 铺排布：将排布卷入卷筒时，控制排首与排头平行相对。由人工配合铺排船将排布拉至排头固定。
- c. 排体组装：混凝土板（见图2）采用运排船运输，由铺排船上的起重设备吊至铺排船。并按照设计的要求将混凝土板单元体放置在指定位置上。铺设时，将混凝土板上的预留环与排体上的筋条逐个绑

扎，相邻板则采用 U 形环连接，按要求进行组拼。

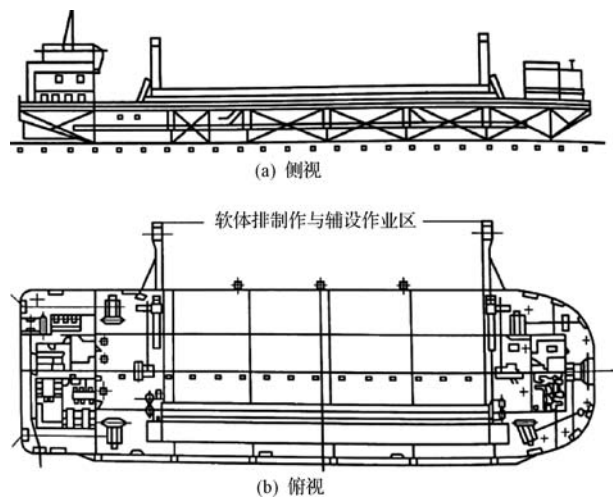


图1 软体排铺排船总布置示意图

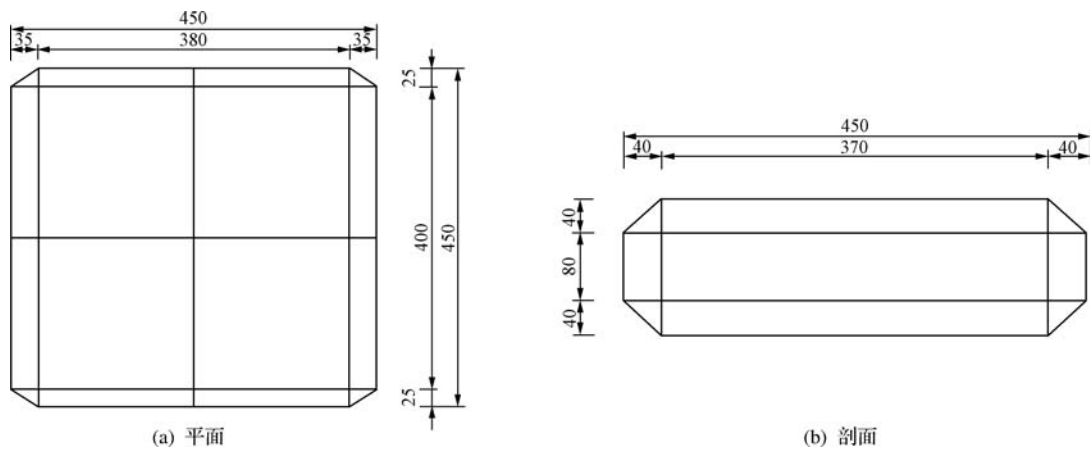


图2 混凝土铰链排体（单位：cm）

- d. 铺排：沉排时将卷筒松开，通过铺排船远离岸线，带动排体沉入河底，反复循环直至排体均下放完毕。排体入水后，立刻采用 GPS 系统动态跟踪沉排轨迹及排体搭接宽度等，并进行及时调整（见图3）。

3.2.5 抛石工程
3.2.5.1 深舱驳（即运输船）抛填施工

先下游后上游，先深泓后近岸；依次抛石，循序渐进，按步施工，分层抛投。

抛石料在料场由深舱驳装料，直接运至抛石作业区，通过定位船用挖机抛填。抛填顺序横向应从两侧向中间的方向进行，即先抛内外江侧坡底抛石，再抛坡面，以防止地基加载时出现塑性角挤出和涂面隆起。

平抛时要做到“齐”“准”。根据当时的水深、水流和波浪等自然条件对块石产生的影响，确定抛石船的驻位。要求分段均匀抛填，厚度均匀。

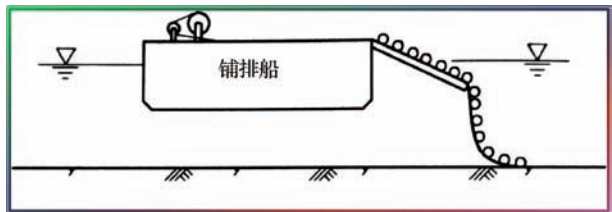


图3 混凝土板铰链沉排示意图

施工前将船抛施工区域划分网格,抛投区域现场采用专门定位船定位,定位船采用GPS定位,采用了GPS实时差分定位系统,在计算机上按设计坐标首先设定好所需抛投区域,根据定位船尺寸划分抛投网格(网格尺寸: $L \times \Delta B$),用4台锚机进行调节,使定位船与抛填图吻合。

500t级以上的深舱驳开到抛投区域,由专门的定位船定位准确后,即可开始抛投,深舱驳跟随定位船移动一次船位距离 ΔB ,抛填方量 $V = L \times \Delta B \times h$ 。定位船上停有挖机,通过定位船上的反铲挖机挖入水中(见图4)。一个船位方量石料抛投完成后,移动定位船至下个船位继续施工,直至深舱驳上的石料抛投完。

抛石作业完成后,对抛填断面进行复测,漏抛或不够的位置,进行补抛。同时,在每一层抛投完成到70%后,对抛填面进行测量检查,不足之处进行补抛,另在沉降基本稳定后再进行一次补抛。

3.2.5.2 合金钢网兜抛石

a. 块石装兜: 首先预制块石装兜的模具,把网兜放置在模具内后装石,并吊运上船。

b. 网兜装船: 网兜采用错位重叠法放置,将上下两个网兜错位15~25cm放置。为保证挂钩时吊环露在石堆外以方便人工挂钩,将网兜吊环朝向舱首放置,并在舱首预留2m距离不装石,避免网兜起吊时,滚落块石砸伤工人。

c. 网兜抛石施工: 通过在定位船上配备的GPS-RTK定位系统定位调整船的位置^[4],通过船吊上装设的6根钢缆控制船吊定位、移动。

抛石时,网兜吊环由人工挂至吊机吊钩上,专人指挥吊车起吊网兜。网兜摆放顺序由低到高(坡脚至坡顶)、逐层摆放。摆放前根据水位做好测量控制工作,确保每层网兜连接紧密(见图5)。

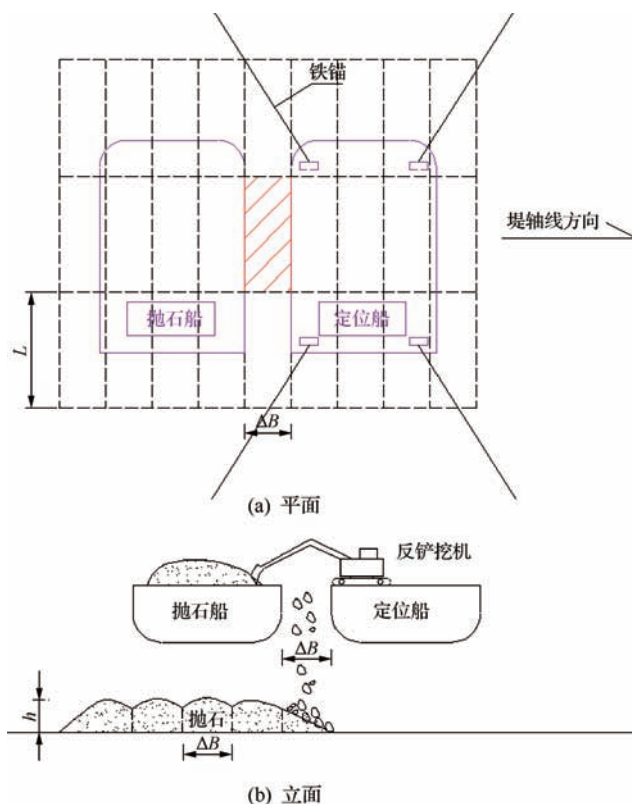


图4 抛石示意图

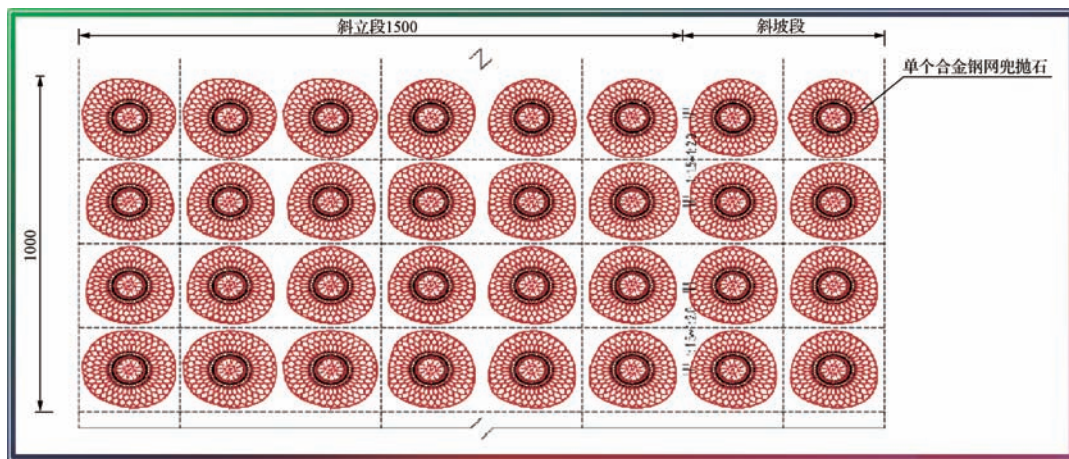


图5 合金钢网光板放平面示意图 (单位: cm)

浮吊船吊起网兜，旋转至抛石区域，并根据预先设置确定的抛投点，同时在网兜入水后卸开脱钩，让网兜沉入水底^[5]。

4 材料与设备

4.1 材料

原材料：合金钢网兜、石料、商品混凝土、土工织物等。

原材料各项物力学、化学性能指标符合规范要求。

4.2 设备

投入的施工设备情况见表1。

表1 投入的主要施工机械设备

| 序号 | 设备名称 | 用于施工部位 |
|----|-----------|--------|
| 1 | 铺排船 | 堤脚加固 |
| 2 | 运输船 | 堤脚加固 |
| 3 | 定位船 | 堤脚加固 |
| 4 | 船吊 | 堤脚加固 |
| 5 | 警戒船 | 警戒救援 |
| 6 | 泥浆泵（22kW） | 堤脚加固 |
| 7 | 挖掘机 | 定位船载 |
| 8 | 测量船 | 测量放样 |

5 技术改进措施

通过前期砂（袋）肋排、混凝土铰链排的铺设施工试验，发现了相关问题，采取了下列措施，进行改进优化。

5.1 对原材料的控制

a. 经过试验，将排布纵向隔仓设置为5m、加筋带间距调整为3.5m/道，并由设计确认。

b. 充填砂质量关系到砂袋充灌质量（充盈系数）和施工工效，为找到合适砂源，项目部进行了多地料

源考察、试验，多方比较后确定砂源。

5.2 采用的技术措施

a. 充砂过程中，为减少砂袋（砂肋软体排）排布横向收缩，在排布两端增加丙纶绳拉结，控制排布收缩量。

b. 砂袋垫层优化冲灌顺序，先冲灌两边，后冲灌中间，减少收缩量，保证排布整体形状均匀。

c. 为保证充盈度，现场试验了增加隔仓、增加排水排气竖管、尝试调增砂源、增加检查复灌等方法。

d. 排体在铺排过程中，在排头、排中、排尾，声呐适时扫侧，河床底部轮廓清晰、位置准确并进行铺排调整。

6 效益分析

经过铺设砂肋软体排、铺设砂袋垫层、铺设混凝土预制铰链排、抛石以及合金钢网兜等一系列施工工艺的紧密衔接和配合，排体稳定性好，具有良好的适应堤脚变形和防冲性能，加快了工程施工进度，提高了工程质量，节省了施工成本，经济效益与社会效益显著。▲

参考文献

- [1] 陈光裕,朱一帆. 萧山县钱塘江涌潮地区海塘除险加固的技术措施[J]. 浙江水利科技,1987(4):25-30.
- [2] 刘庆峰. 浅谈堤防除险加固技术[J]. 科技致富向导,2013(23):70,155.
- [3] 卓风波. 砂肋软体排在围堤工程施工探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版),2013(13):1-7.
- [4] 李志江,段斐,李伟林. 混凝土铰链排在长江中下游护滩工程中应用的研究与实践[J]. 水运工程,2006(4):80-81.
- [5] 俞海泉,曹端付,詹旺林. 混凝土铰链沉排技术在长江护岸工程中的应用[J]. 江西水利科技,2002,28(1):21-25.

TRD 工法在洞庭湖区堤防工程中的 适用性研究

宾 斌¹ 王导勇² 冯志兵³

- (1. 湖南宏禹工程集团有限公司, 湖南 长沙 410117;
2. 湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司, 湖南 长沙 410007;
3. 铁建重工南通有限公司, 江苏 南通 226007)

【摘 要】 渠式切割水泥土防渗墙施工工法(简称 TRD 工法)是一种适用地层广、成墙质量好、连续性强的新型隔水帷幕工法。文章经现场试验研究了 TRD 工法构建等厚水泥土连续墙在堤防工程中的适用性,通过钻孔取芯、注水试验、极限压水试验等对水泥土墙体强度、抗渗性、均匀性和整体性进行了评测。结果表明:TRD 工法可用于堤防工程防渗处理,施工后的防渗墙具有良好的均匀性和整体性,但其强度和抗渗性还有待进一步提高。

【关键词】 TRD 工法;堤防工程;防渗处理

中图分类号:TV871.1

文献标识码:B

文章编号:1673-8241 (2022) 07-026-08

Research on Applicability of TRD Construction Method in Embankment Projects of Dongting Lake Area

BIN Bin¹, WANG Daoyong², FENG Zhibing³

- (1. Hunan Hongyu Engineering Group Co., Ltd., Changsha 410117, China;
2. Hunan Water Resources and Hydropower Survey, Design, Planning and Research Co., Ltd.,
Changsha 410007, China;
3. Railway Construction Heavy Industry Nantong Co., Ltd., Nantong 226007, China)

Abstract: The trench cutting re-mixing deep wall method (TRD) belongs to a novel waterproof curtain construction method which is suitable for wide strata range, excellent wall quality and strong continuity. The applicability of equal thickness cement-soil continuous wall constructed by TRD method, etc. in embankment project is studied by field test in the paper. The strength, impermeability, uniformity and integrity of cement-soil wall are evaluated by drilling core, water injection test, ultimate water pressure test, etc. The results show that TRD construction method can be used for seepage control treatment of embankment project. The diaphragm wall after construction has excellent uniformity and integrity, but its strength and seepage resistance need to be further improved.

Key words: TRD construction method; embankment project; seepage control treatment

收稿日期: 2022-05-31

作者简介: 宾斌 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事水利水电工程施工管理工作。

湖南省有湘、资、沅、澧四大水系及洞庭湖，共有堤防 13000 多公里，大小水库 13000 多座。而目前对于堤身堤基渗漏隐患治理，主要采用高压旋喷桩、深层搅拌桩、防渗墙等施工工法。但由于各种施工工艺自身的局限性，如桩与桩间连续性不好、墙体较薄、造价高等使得每年应用于堤基处理的投资额仍然巨大，洪涝灾害依然较为频繁。

TRD 工法由于稳定性好，精度高、施工能力强，止水性强而均匀，连续墙的厚度均匀；连续墙沿深度方向密实度均匀等特点而被广泛应用于交通、市政工程中^[1-3]。赵峰等^[4]对 TRD 工法的施工机械性能、组成、成墙原理、施工程序、固化灰浆组成、施工效率、工程造价等进行了较为详细的介绍。邢政华等^[5]通过系统研究水泥混合土的渗透系数，讨论了土质因素对水泥混合土工程性能的影响，得出混合土质水泥土的防渗性能受渗透性强的土质含量占比所控制的结论。蔡双元等^[6]经过一系列室内试验和现场原位试验，研究了 TRD 工法构建等厚水泥土连续墙在青岛地区富水砂土层中的适用性，得出其具有良好的均匀性和整体性，满足围护结构强度和抗渗性要求的结论。冯师^[7]以硬 X 射线自由电子激光装置项目 4 号工作井工程为背景，介绍了超深工法 TRD 70m，为后续超深基坑工程止水帷幕施工提供了较强的参考和借鉴意义。魏巍^[8]以高架下方车站施工为依托工程，采用 TRD 工法作为围护体的止水帷幕，从而克服低净空施工的难度，而且在降水阶段消除或降低基坑降水对周围环境的影响。TRD 工法作为一种成墙均匀性好且施工能力高的基础处理方法已在深基坑工程中得到较为成熟的应用，但其在水利工程中的应用较少，有关防渗能力的研究还不足，因此，有必要开展 TRD 工法在堤防工程中的适用性探究。本文以洞庭湖良心堡三标防渗工程为依托，在 1+660~1+760 处 100m 段进行了成墙试验，探究了 TRD 工法在洞庭湖区的施工工艺及防渗效果。

1 工程概况

钱粮湖垸蓄洪工程安全建设一期工程（君山部分）位于湖南省洞庭湖区东洞庭湖西岸，北临墨山，南抵藕池河，西靠南山和华容县护城大圈，华容河从中穿过，河道蜿蜒曲折，以近南东向流入东洞庭湖。据前期地勘资料，该段堤基存在透镜体状粉细砂层，汛期外湖达到一定水位后，堤内存在渗漏隐患。在新建堤防选取典型区段使用 LSJ60-C 型 TRD 设备进行了现场试验，试验历时 14 天，共完成连续墙 50m 深墙长 23.6m，35m 深墙长 19.1m，总计成墙面积 1849m²。图 1 为试验现场鸟瞰图。



图 1 现场施工鸟瞰图

1.1 工程地质条件

钱粮湖垸工程处于河湖相冲积平原，地势平坦开阔，垸内中部层山一带高程为 30~36m，其他地面高程为 26~38m，垸内河流、古河道、水渠、水塘、湖泊众多。

通过钻孔取芯，试验区堤基地层自老至新分布如下：

中更新统冲积堆积（Q₂^{al}）：上部为低液限黏土，黄褐色—灰绿色，含较多的高岭土结核，具有明显的网纹结构，多呈硬塑状态，中等压缩性，厚度大于 10m；中部为粉细砂，灰褐色，夹泥，潮湿，中密，厚度约 10m；下部为中粗砂及卵石，密实，厚度约 14m。

全新统冲湖积堆积 (Q_4^{al+1}): 灰黑色淤泥质粉质黏土, 含有机质, 呈软—可塑状, 局部呈流塑状态, 厚度 5~8m。

人工堆积 (Q_s): 主要为堤身土, 成分为黄褐、灰黄色粉质黏土间夹少量粉细砂及碎石等, 呈可塑~硬塑状, 厚度 2.0~7.0m。

1.2 水文地质条件

区内地下水为孔隙潜水, 赋存于 Q_4^{al+1} 地层中的粉质黏土、淤泥质粉质黏土层的孔隙中, 地下水位埋深 2.5~3.0m, 含水量相对较小, 主要受大气降水补给, 与外河水呈互补关系, 动态随季节变化明显。

据场地附近水质分析结果, 工程区地下水化学类型分别为碳酸硫酸钙型水和硫酸钙型水, pH 值为 7.6~7.7, 河水对混凝土无腐蚀性。

1.3 TRD 工法施工工艺流程

TRD 施工工序分为切割箱自行打入挖掘工序、水泥土搅拌墙建造工序、切割箱拔出分解工序。

1.3.1 测量放线

施工前, 根据设计图纸和业主提供的坐标基准点, 精确计算出防渗墙中心线角点坐标, 利用测量仪器进行放样, 并进行坐标数据复核, 同时, 做好护桩, 并通知相关单位进行放线复核。

1.3.2 开挖沟槽

根据 TRD 工法设备重量, 防渗墙中心线放样后, 对施工场地采取铺设路基箱板等加固处理措施 (如施工深度超过 60m 需采用槽壁加固措施), 确保施工场地满足机械设备对地基承载力的要求, 确保桩机的稳定性。用挖掘机沿围护墙中心线平行方向开挖工作沟槽, 槽宽约 1.2~1.5m (根据成墙厚度适度调整), 沟槽深度大于 1.0m (见图 2)。

1.3.3 吊装预埋箱

用挖掘机开挖深度约 5m、长度约 2.5m、宽度约 1.5m 的预埋孔, 利用吊车并将预埋箱吊放入预埋孔内 (见图 3)。



图 2 开挖沟槽



图 3 吊装预埋箱

1.3.4 主机就位

由当班班长统一指挥主机就位, 移动前看清上、下、左、右各方向的情况, 发现有障碍物应及时清除, 移动结束后检查定位情况并及时纠正, 主机应平稳、平正 (见图 4)。



图 4 主机就位

1.3.5 切割箱与主机连接

用指定的履带式吊车将切割箱逐段吊放入预埋孔，利用支撑台固定；TRD 主机移动至预埋孔位置连接切割箱（见图 5），然后再返回预定施工位置进行切割箱自行打入挖掘。



图 5 连接切割箱与主机

1.3.6 安装测斜仪

切割箱自行打入到设计深度后，安装测斜仪。通过安装在切割箱内部的多段式测斜仪，可进行墙体的垂直精度管理，通常可确保 1/250 以内的精度。

1.3.7 TRD 工法成墙

测斜仪安装完毕后，主机与切割箱连接。进行“三步成墙法”或者“一步成墙法”施工（见图 6、图 7）。其中“三步成墙法”的施工方法为：先行挖掘、回撤挖掘、成墙搅拌，即锯链式切割箱钻至预定深度后，首先注入挖掘液先行挖掘、松动土层一段距离，然后回撤挖掘至原处，再注入固化液向前推进搅拌成墙。

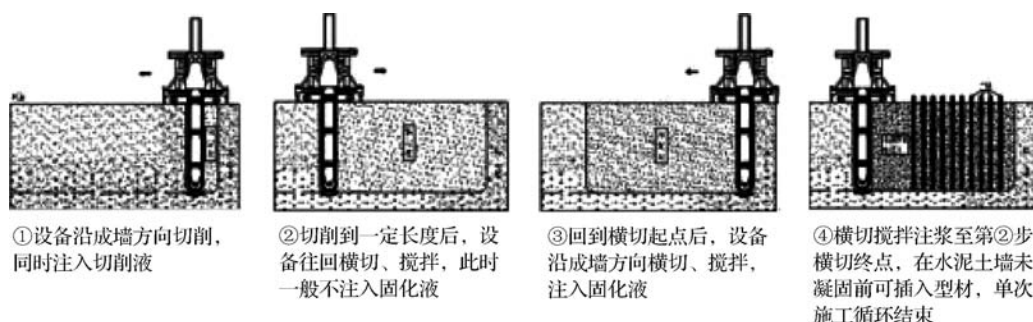


图 6 “三步成墙法”施工工艺流程

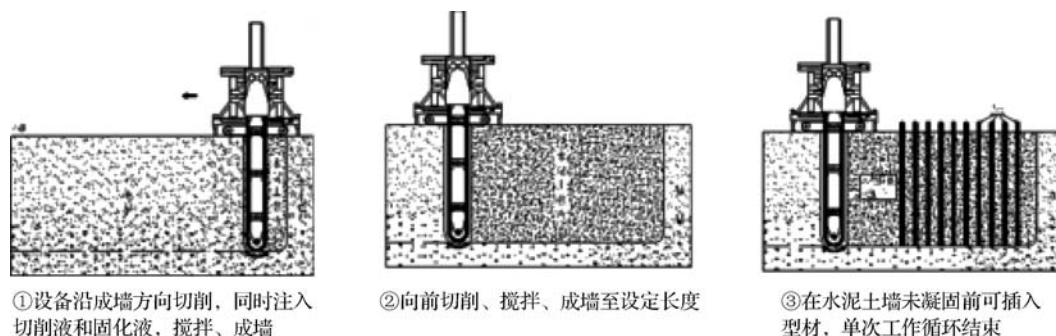


图 7 “一步成墙法”施工工艺流程

1.3.8 测试浆液流动度与切割箱拔提

通过测试混合泥浆的流动度进行成墙品质的管理

（见图 8）；将等厚度型钢水泥土搅拌墙施工过程中产生的废弃泥浆统一堆放，集中处理。一段工作面施工

结束后，利用 TRD 主机将切割箱分段拔出（见图9）。



图8 浆液流动度测试



图9 拔出切割箱

1.4 TRD 工法施工材料配合比

整个场地的试验分为 A、B、C、D、E、F、G 共 7 段进行。成墙深度为穿透第④层粉细砂层后，进入粉质黏层中。分段长度、成墙厚度及固化剂添加量见表 1。

表 1 材料配比

| 试验段 | 固化剂添加量 | 厚度/mm | 成墙深度/m | 长度/m | 施工方法 | 试验段 |
|-----|-----------------|-------|--------|------|------|-----|
| B 段 | 15% 水泥 + 水 | 550 | 35 | 5 | 三步法 | B 段 |
| C 段 | 12% 水泥 + 水 | 550 | 50 | 5 | 三步法 | C 段 |
| D 段 | 9% 水泥 + 水 | 550 | 50 | 10 | 三步法 | D 段 |
| E 段 | 6% 水泥 + 水 | 550 | 50 | 10 | 三步法 | E 段 |
| A 段 | 6% 水泥 + 水 + 固化剂 | 550 | 35 | 5 | 一步法 | D 段 |
| F 段 | 8% (水泥) + 水 | 550 | 35 | 5 | 一步法 | E 段 |
| G 段 | 10% (水泥) + 水 | 550 | 35 | 5 | 一步法 | A 段 |

2 TRD 工法连续成墙质量研究

TRD 工法连续墙质量，国内外大多数相关研究采取测试芯样强度进行评价，其效果受钻孔取芯影响较大；另一种方法是用固化液和地层充分混合后的浆液制作试块，留样养护后进行强度和抗渗性的测试。然而这两种方法均无法真实反映 TRD 工法连续墙墙体的完整性和均匀性。本文在取芯检测连续墙强度的基础上，采取钻孔内变水头压水试验、注水试验对 TRD 工法的成墙质量进行评价。

2.1 堤基土层物理力学指标

本次野外取原状土样 31 组，进行标贯试验 23 次。依据室内土工试验及野外标贯试验参数，类比已建同类工程经验，推荐力学指标见表 2。

表 2 土层物理力学指标推荐值

| 天然含水量/% | 天然密度/(g/cm ³) | | 孔隙比 | 孔隙率/% | 饱和度/% | 比重 | 液限/% | 塑限/% | 塑性指数 | 液性指数 | 渗透系数/(cm/s) | 压缩系数/MPa ⁻¹ | 压缩模量/MPa | 抗剪强度 | |
|---------|---------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------------------------|------------------------|----------|----------|---------|
| | 湿 | 干 | | | | | | | | | | | | 内摩擦角/(°) | 黏聚力/kPa |
| 27.9 | 1.92 | 1.51 | 0.817 | 44.5 | 92.1 | 2.72 | 21.2 | 34.9 | 13.8 | 0.48 | 4.85 × 10 ⁻⁵ | 0.618 | 4.84 | 16.3 | 18.6 |
| 24.2 | 1.99 | 1.60 | 0.700 | 41.0 | 93.7 | 2.71 | 18.4 | 31.4 | 13.1 | 0.46 | 6.49 × 10 ⁻⁵ | 0.408 | 4.98 | 20.2 | 19.6 |

2.2 钻孔检测分析

施工结束 28 天后，对墙体进行钻孔取芯。对芯样进行渗透系数测试和抗压强度测试。施工 5 个检查

孔，各区均布一个。结合现场实际条件，确定检查孔注水试验渗透系数（见表 3）。

表 3 TRD 试验项目检查孔注水试验渗透系数

| 孔号 | 浆液配比 | 试验部位/m | 渗透系数/(cm/s) |
|---------|-------|--------|-----------------------|
| JE | 1:0:1 | 0~5 | 1.87×10^{-6} |
| | | 5~10 | 3.8×10^{-6} |
| | | 10~15 | 1.98×10^{-5} |
| JD | 2:1:1 | 0~5 | 5.96×10^{-6} |
| | | 5~10 | 4.8×10^{-6} |
| | | 10~15 | 4.05×10^{-6} |
| JC | 2:0:1 | 0~5 | 6.3×10^{-6} |
| | | 5~10 | 6.5×10^{-6} |
| | | 10~15 | 7.53×10^{-6} |
| JB | 1:0:1 | 0~5 | 8.2×10^{-6} |
| | | 5~10 | 1.1×10^{-5} |
| | | 10~15 | 9.6×10^{-6} |
| JA | 3:0:1 | 0~5 | 1.57×10^{-6} |
| | | 5~10 | 3.04×10^{-6} |
| | | 10~15 | 3.04×10^{-6} |
| JF | 8:0:1 | 0~5 | 5.69×10^{-6} |
| | | 5~10 | 3.65×10^{-6} |
| | | 10~15 | 3.42×10^{-6} |
| JG | 5:0:1 | 0~5 | 4.46×10^{-6} |
| | | 5~10 | 3.62×10^{-6} |
| | | 10~15 | 4.07×10^{-6} |
| 三步法未注浆段 | — | 0~5 | 1.86×10^{-5} |
| | | 5~10 | 1.4×10^{-5} |
| 一步法未注浆段 | — | 0~5 | 8.68×10^{-6} |
| | | 5~10 | 1.05×10^{-5} |

结果表明：“三步成墙法”与“一步成墙法”成墙后的注水试验结果相近，除孔偏或水压破坏段，数据主要集中于 $(1 \sim 5) \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 之间。

采用“三步成墙法”与“一步成墙法”搅拌后的土体，未添加水泥，注水试验所得的数据主要集中于 $(0.8 \sim 2.0) \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 之间。相比原状土，渗透系数有所减小。且在加入水泥后，对渗透系数的降低有明显的效果。

由检查孔芯样抗压强度数据（见表 4、图 10）可知，28 天取芯抗压强度为 0.1~0.22MPa 之间，防渗墙 28 天强度偏低。水泥土在深度范围 5~15m 之间时，表观密度为 $1.537 \sim 1.68 \text{g/cm}^3$ ，上部相比下部要小；随水泥添加量增加，水泥土的平均表观密度降低，而防渗墙强度变化不明显。这是因为在提高水泥掺量过程中水泥土黏聚力增加，塑限增大，槽内浆体黏滞阻力大，为防止刀箱被沟槽抱死，需加入大量水降低浆体比重，浆体含水率高，同时产生大量的废弃浆体，废弃浆里带走了大量水泥，以至于槽内实际水泥掺量较少，水泥土的固化速度慢，自然沉积时间长，所以下部比重相比上部要大，而防渗墙整体强度较低。由此可见，在黏粒含量较高的地层很难通过增加水泥掺量达到提高防渗墙墙体强度的目的。

表 4 钻孔取芯 28 天抗压强度

| 芯样编号 | 固化剂掺量 | 龄期/d | 分段部位 | 28d 抗压强度(均值)/MPa | 表观密度(均值)/(g/cm ³) | 结石体密度(均值)/(g/cm ³) |
|------|-------|------|------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| JB 孔 | 15% | 45 | 约 5~7.5m | 0.16 | 1.533 | 1.58 |
| | | | 约 10~12m | 0.18 | 1.549 | |
| | | | 约 15~17.5m | 0.21 | 1.657 | |
| JC 孔 | 12% | 49 | 约 5~7.5m | 0.10 | 1.549 | 1.57 |
| | | | 约 10~12m | 0.13 | 1.582 | |
| | | | 约 15~17.5m | 0.16 | 1.587 | |
| JD 孔 | 9% | 51 | 约 5~7.5m | 0.09 | 1.619 | 1.64 |
| | | | 约 10~12m | 0.04 | 1.639 | |
| | | | 约 15~17.5m | 0.07 | 1.653 | |

续表

| 芯样编号 | 固化剂掺量 | 龄期/d | 分段部位 | 28d 抗压强度(均值)/MPa | 表观密度(均值)/(g/cm ³) | 结石体密度(均值)/(g/cm ³) |
|------|----------|------|--------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| JE 孔 | 6% | 54 | 约 5 ~ 7.5m | 0.15 | 1.661 | 1.68 |
| | | | 约 10 ~ 12m | 0.11 | 1.678 | |
| | | | 约 15 ~ 17.5m | 0.12 | 1.700 | |
| JA 孔 | 6% + 固化剂 | 46 | 约 5 ~ 7.5m | 0.22 | 1.606 | 1.64 |
| | | | 约 10 ~ 12m | 0.12 | 1.630 | |
| | | | 约 15 ~ 17.5m | 0.20 | 1.677 | |
| JF 孔 | 8% | 45 | 约 5 ~ 7.5m | 0.10 | 1.583 | 1.60 |
| | | | 约 10 ~ 12m | 0.11 | 1.601 | |
| | | | 约 15 ~ 17.5m | 0.12 | 1.606 | |
| JG 孔 | 10% | 43 | 约 5 ~ 7.5m | 0.11 | 1.586 | 1.57 |
| | | | 约 10 ~ 12m | 0.10 | 1.537 | |
| | | | 约 15 ~ 17.5m | 0.10 | 1.582 | |

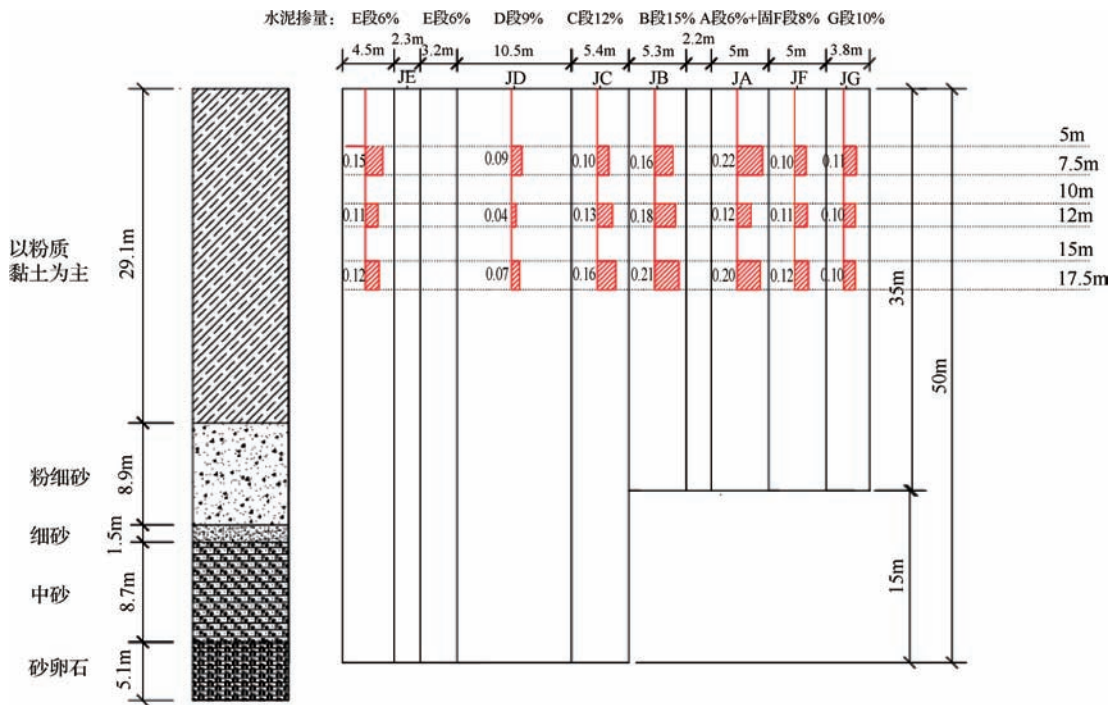


图 10 检查孔芯样抗压强度竖向分布 (单位: MPa)

3 TRD 工法在堤防工程中的适用性分析

3.1 设备适用性分析

本次试验采用 LSJ60-C 型 TRD 工法机进行, 该机有自走能力, 在场地内可通过自身动力行走, 场外需通过平板车运输。TRD 施工机安装刀具等需借助起重

机械, 且链条、刀片板、刀具箱等需分开装箱, 按件运输。其他机械或设备, 如水泥筒仓、注浆设备等, 可通过平板车运输。施工现场对场地要求较高, 需要修筑施工临时道路, 遇暗浜、低洼地等不良地质条件时, 需采取抽水、清淤、回填素土并分层夯实的手段, 确保现场道路的承载力满足桩机和起重机械平稳

行走的要求。现有 TRD 设备难以适应堤坝顶部宽度 6~8m 的场地施工,需要研制一款适用于堤坝工程的轻量化 TRD 成套设备。

3.2 工艺适用性分析

本次 TRD 工法试验,试验了 50m 和 35m 不同深度,试验了 6%~15% 水泥和固化剂不同掺量,试验了“一步成墙法”和“三步成墙法”施工工艺,其中“三步成墙法”试验深度 50m 时,试验日进尺达 8 延米;“一步成墙法”试验深度 35m 时,日(20h)进尺达 16.7 延米,日成墙面积达 580m²。在施工工效方面,达到了预期效果;在成墙均匀性方面,“一步成墙法”和“三步成墙法”均可形成完整均匀的防渗墙,但墙体强度和抗渗性有待进一步提高。

通过本次施工,验证了 TRD 工法施工的如下特点:TRD 工法成墙深度大,墙身连续无接头;原地加入切削液、固化剂,切削搅拌一次成墙,成墙施工工序较少,速度较快;成墙机械化程度高;施工过程中产生的泥浆和废浆量较大,需要提前制定泥浆处理措施;对于黏粒含量较高的地层,难以通过提高水泥掺量增加墙体的强度和抗渗性。

4 结 语

本文依托湖南省洞庭湖区钱粮湖垸蓄洪工程安全建设一期工程三标防渗工程,首次在水利堤防工程中采用 TRD 工法进行防渗加固处理试验,研究其在水利工程中防渗处理的可行性、适用性,经现场试验后得出以下结论:

TRD 工法可用于堤防工程防渗处理,成墙连续完整、均匀,深度可施工 50m 以上,厚度可达 550mm,是一种经济有效的防渗施工工艺。

水泥土连续墙芯样 28 天的无侧限抗压强度偏低,而留样测试的强度与墙体强度有较大差异,但试样的整体强度都不高。对于黏粒含量较高的地层,难以通过增加水泥掺量提高墙体强度,如何有效减少废弃浆量,提高水泥土连续墙的强度是后续需要重点解决的难题。

钻孔取芯、注水试验等检测方法能综合考虑防渗墙的强度、渗透系数、完整性、均匀性等指标,能较为全面地评价等厚地下连续墙的成墙质量,可推广应用。▲

参考文献

- [1] 张琪,侯超新,赵晓天.五里坡土石坝薄防渗墙组合防渗技术应用[J].中国水能及电气化,2022(2):65-68.
- [2] 余伟.TRD 工法在深基坑围护结构中的应用[J].建筑施工,2012,34(12):1130-1132.
- [3] 吴洁妹,张国磊.TRD 工法在软土地层深基坑工程中的几种应用形式[J].施工技术,2014,43(13):23-26.
- [4] 管锦春.深基坑止水帷幕 TRD 工法与 SMW 工法应用分析[J].施工技术,2016,45(15):90-92.
- [5] 赵峰,倪锦初,刘立新.“TRD”工法在堤防工程中的应用研究[J].人民长江,2000(6):23-24,27.
- [6] 邢政华,顾海荣,刘东华,等.土质因素对 TRD 防渗墙工作性能影响的机理分析[J].山西建筑,2018,44(36):61-62.
- [7] 察双元,周恒,栗全旺,等.TRD 工法构建等厚水泥土连续墙在富水砂土层中的适用性研究[J].湖南交通科技,2020,46(3):88-92.
- [8] 冯师.超深 TRD 工法在止水帷幕工程中的应用[J].建筑科技,2022,6(1):22-25.
- [9] 魏巍.TRD 工法在深基坑止水帷幕工程中的应用[J].建筑科技,2021,5(3):60-62.

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.07.07

喀斯特地区旋挖钻孔桩施工技术和质量控制

刘信芳

(中铁十八局集团第四工程有限公司, 天津 300350)

【摘要】 喀斯特地区旋挖桩施工, 因为特殊喀斯特地质原因, 旋挖钻孔灌注桩难以有效成孔。文章结合广西南宁市红光路工程实践, 对实际施工过程中出现的质量通病和施工问题进行了分析, 总结出了避免质量通病和解决施工问题的措施。实践证明: 针对非充填、软塑性土充填和半充填溶洞, 按照溶洞实际高度自下而上展开水泥土固化非常有效; 针对地下水位较高的溶洞, 采用“水泥浆—硅酸钠”双液注浆技术效果良好。

【关键词】 岩溶区; 旋挖钻机; 施工技术

中图分类号: TU473

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-034-05

Construction Technology and Quality Control of Rotary Excavation Bored Pile in Karst Area

LIU Xinfang

(The Fourth Engineering Co., Ltd., of China Railway 18th Bureau Group, Tianjin 300350, China)

Abstract: It is difficult for rotary excavation bored cast-in-place piles to effectively form holes during regional rotary excavation bored pile construction due to special karst geological reasons. The common quality faults and construction problems in the actual construction process are analyzed based on the practice of Hongguang Road Project in Nanning, Guangxi Province in the paper. The measures to avoid the common quality faults and solve the construction problems are summarized. The practice proves that the solidification of cement soil from bottom to top according to the actual height of the cavern is very effective for non-filled, soft plastic soil filled and semi-filled caverns. The “cement slurry - sodium silicate” double liquid grouting technology has excellent effect aiming at the cavern with high groundwater level.

Key words: karst area; rotary drilling rig; construction technology

1 概述

旋挖钻孔灌注桩以其方便换位、成孔快、施工质量好、噪声低等优点, 近年来得到了广泛的应用^[1]。

结合南宁市红光路喀斯特地区的基础工程实践, 根据不良地质不同工况, 分别采取反转复压、素混凝土挤压成孔、分段成型、钢护筒护壁阻断混凝土、定位回填水泥固化、“水泥浆—水玻璃”双液注浆^[2]等方法

收稿日期: 2021-09-14

作者简介: 刘信芳 (1976—), 男, 本科, 工程师, 主要从事房建、市政工程施工研究。

有的放矢进行施工；针对钻孔口高度、深度、直径、垂直度容易产生误差，桩底沉淀物过厚或灌浆前孔内含砂量过大，影响工程质量等弊端，采取有效举措，确保桩基优质成孔。

2 工程概况

2.1 项目简介

广西南宁市红光路是重要城市配套基础设施，道路红线设计宽 60m，设计的行车速度是 60km/h。项目南起长堙路，东至荣莱大道延长线交叉口。桩号范围为 K0+000~K4+580.000，工程全长 4580.000m。本工程桥梁钻孔桩基础 64 根，桩径分别为 1.5m、1.2m，采用旋挖钻机施工，桩基础采用 C30 混凝土。

2.2 工程地质

项目所在地横跨南宁市青秀区和永宁区，属丘陵地貌。场地复杂地形起伏较大。该项目钻孔地面标高 79.82~114.19m，最大高差达 34.37m。勘探深度范围内有第四系（q）素填土、黏土、粉土、粉砂，属

于喀斯特地质，有溶洞、孤石等。

3 技术措施比选

在喀斯特地区，旋转挖掘机因为遭遇大小溶洞、倾斜岩石等不同地质的缘故，成孔困难。为了顺利成孔，分别采用反转复压、素混凝土挤压成孔、分段成型、钢护筒护壁阻断混凝土、定位回填水泥固化、“水泥浆—水玻璃”双液注浆等方法，并进行了比选。

3.1 处理无填充体小溶洞

a. 技术措施。当遭遇无填充体小溶洞时，通过旋挖钻机先半回填，然后进行二次成孔。

b. 施工步骤。首先通过旋挖钻机钻进进行无填充成孔，然后将水泥、黏土和碎石按照 75t:3m³:1m³ 比例拌和成混合土，通过旋挖机加压法压入洞内进行半回填（不填满），然后通过挤压混合土成壁。土方回填 2~4 天后，用旋挖钻机进行二次成孔灌浆。成孔回填过程见图 1。

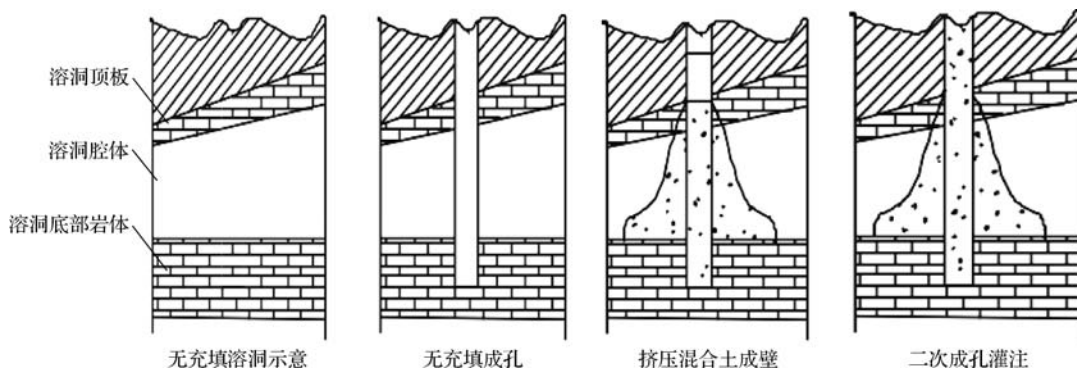


图 1 无充填溶洞回填混合土过程

c. 实施效果。孔壁不太稳定，需要借助钢护筒护壁成孔后进行混凝土灌注。

3.2 处理充填软塑性黏土溶洞

a. 技术措施。对充填软塑性黏土溶洞，如果采用片石黏土回填法旋挖钻机无法成孔时，改为素混凝土成孔、分段成型。

b. 施工步骤。先将旋挖钻钻进，然后把旋挖钻缓缓提起约 1.5m，然后采用圆筒钻将 C20 混凝土倒

灌挤入溶洞。圆筒钻里混凝土面高出溶洞顶部（或成型混凝土护壁）大约 3m。48h 以后，混凝土强度提高到 70% 左右，然后继续二次钻孔。此时，入洞的混凝土形成护壁，能避免软塑性土流出，进行二次灌注。循环进行以上步骤，最终完成钻孔^[2]。施工过程见图 2。

c. 实施效果。最初，对溶洞顶底高差小于 2m 的中小溶洞，填充低等级素混凝土，有一定效果，但混

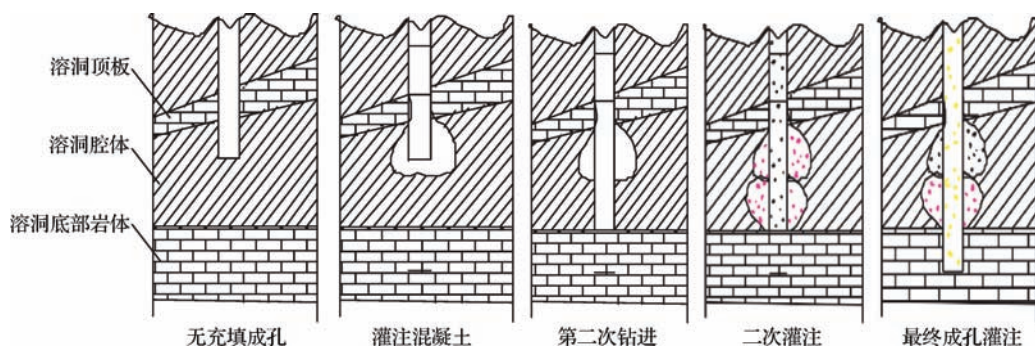


图2 溶洞充填混凝土过程

混凝土使用量偏多。一根桩基平均用量为 14.9m^3 左右。而且对于顶底高差大于 2m 的大型溶洞，效果不明显。

3.3 处理大溶洞

技术措施1：采用钢护筒护壁。

a. 施工步骤。由于溶洞体积大，进行混合土回填后，无法形成孔壁或桩基成型不好时，可以采用厚度为 11mm 的钢板制作钢护筒护壁，从而避免混凝土漏到溶洞，确保护壁效果。在钢筋笼上焊接时，上下段都长 0.5m ，护筒底部预留 0.1m 斜平台，确保护筒能便捷进入到桩孔^[1]。

b. 实施效果。钢护筒防止塌孔，保证了桩基质量，确保了施工安全和护壁效果，但是该方法工序烦琐、施工效率低、额外消耗钢材，提高了施工成本，没有广泛使用。

技术措施2：通过定位回填水泥固化。

a. 施工步骤。依据实际勘察情况，按照溶洞实际高度自下而上进行水泥土固化。溶洞底板破碎后，依据黏土的含水量把相应水泥袋装进洞里，然后用钻头将水泥压入洞底，每次处理深度大约 1m 。接着通过短螺旋钻头把水泥进行均匀搅拌后进行反转挤压。重复上述步骤数次，直至搅拌到溶洞顶板上方向约 0.5m 。48h 再次凝固后，进行桩基施工。

b. 实施效果。成功地进行了桩基处理。针对非充填、软塑性土充填和半充填溶洞也能采用此方法。

3.4 处理地下水位较高溶洞

a. 技术措施。根据溶洞的实际情况，采用“水泥浆—水玻璃（硅酸钠）”双液注浆工艺，具有速凝

功能的水玻璃（硅酸钠）能大大提高溶洞充填材料黏结性能，防止旋挖机钻进溶洞时孔壁坍塌，成孔率大大提高（见图3）。

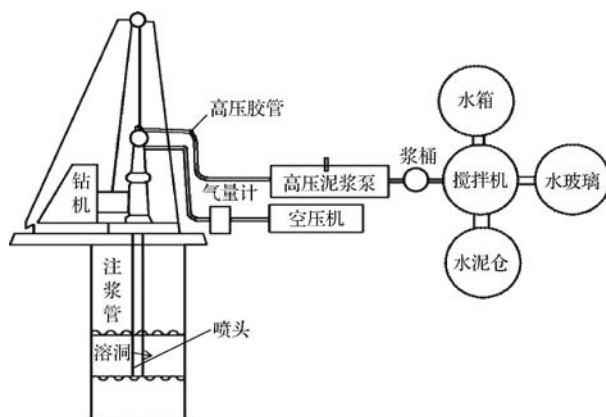


图3 溶洞处理原理

b. 施工步骤。根据超前钻资料，按技术要求和图纸进行施工，对拟加固喀斯特洞进行孔位布置，并在实验室设计好注浆参数。灌浆孔采用钻机钻孔，钻孔按 90° 钻机角度，采用倾斜尺、水准尺进行调整。钻机安装确保牢固，定位准确。钻好孔后，将直径 63.5mm 塑料单向阀管放入钻孔中，然后注入事先配置好的水泥浆和具有速凝功能的水玻璃（硅酸钠）混合浆。成孔后，马上对孔口和周边地面裂缝进行密封，防止浆液涌出。灌浆孔按一根桩一个孔进行设置。要求调制的浆液抗渗性和耐久性应符合技术要求，要求在一定时间内形成的固体具备一定强度要求^[3]。

c. 材料要求。水泥砂浆：为确保浆料的均匀性和稳定性，添加 5% 左右的膨润土，避免固体颗粒产

生沉淀。水与水泥的比率为 1 : 0.8。水玻璃（硅酸钠）：集中采购，要求符合规范要求，波美度在 35° ~ 40°Bé 之间。硅酸钠（硅酸钠）按水泥用量的 5% 进行混合后的混合料黏度不小于 35s^[4]。

d. 最终效果。“水泥浆—硅酸钠”双液注浆技术在处理喀斯特地貌特别是地下水位较高的溶洞中是非常有效的。很大程度降低了素混凝土用量，提高了施工速度和施工效率，使施工成本大大降低。

4 施工过程中的常见质量问题

4.1 孔口高程和钻孔深度误差控制措施

a. 孔口高程出现误差控制措施。误差出现原因可能是由于测量人员素质不高、业务不精导致测量数据不准，也可能是因为在进行场地平整回填渣土抬升了地面，从而影响高程测量误差。

技术措施：应对措施是认真核对原水准点和各孔口的绝对高程，开孔前对各桩孔标高进行详细复测^[5]。

b. 孔深误差控制措施。在一些工程中，因为钻探深度的误差，工程地质勘探是在场地回填平整前进行的，地面高程较低，造成孔深误差。

技术措施：测量时，高程转换务必方法相同，建议统一采取量钻杆法进行孔深量测，钻孔底部最终界面宜选取钻头长度的 2/3。不适合用测量绳对孔深进行测量。钻孔的终孔标准以桩端进入持力层的深度为宜。钻孔到达桩端持力层后，应及时取样进行鉴定。

c. 孔径误差控制措施。因为工作人员的马虎大意选用钻头规格不匹配，或因为钻头使用过频，过度磨损导致直径偏小。

技术措施：施工前，由双方技术人员核对钻头规格，符合要求后再施工。

d. 钻孔垂直度出现误差控制措施。导致钻孔垂直度不符合要求，主要原因是施工现场不够平整，而且没有进行压实，钻机运到现场组装后，导致机械不平稳，另外钻孔时，也可能出现不均匀沉降现象；有些钻杆不够笔直，钻杆接头存在不小的间隙空间；当

旋挖钻机遭遇严重倾斜岩面或者软硬不均的土质时，会导致翼板和钻头受力不太平衡，导致磨损情况不均匀。

技术措施：在旋挖钻机进场前，应该对工程所在地，通过推土机、夯实机仔细地进行场地平整和夯实。安装旋挖钻机的时候，必须认真仔细检查钻杆的钻削平整度、钻头完整性以及垂直度，如出现异常，及时调整，更换部件。施工时，必须及时、定期对钻杆垂直度进行检查，如有异常情况，要及时调整纠偏。要对旋挖钻机的钻头、钻杆、接头等所有零部件定期进行检查维修，如果发现异常马上维修或替换。在严重倾斜岩面和软硬土不均界面钻孔施工时，必须降低旋转速度，并加固钻机。出现偏孔时，马上回填，平整后再施工。如果地层复杂，应通过扶整器保证钻杆垂直度^[6]。

4.2 孔底沉渣过厚或泥浆含砂量过大控制措施

如果清孔泥浆质量差、清洗不符合设计要求，或者测量方法不当，都会产生这些现象。如果清孔初期孔口泥浆含砂量过低，粗砂无法回收，或后期孔内泥浆密度降低，孔底沉渣厚度增加较多，这表明，清孔初期泥浆的黏度和稠度较小，孔内的砂粒悬浮在泥浆中，并不能真正实现清孔要求。

技术措施：要对孔底沉渣厚度进行精准测量，必须精准测量桩的最终孔深。可以借助测量旋挖机钻杆的长度测量旋挖灌注桩孔深。通常孔深计算方法为孔内钻杆全部长度 + 2/3 钻头全部长度。如果地层富含粗砂、砾砂或卵石等粒径较大砂石颗粒，可以采取泵吸反循环方法进行清孔。当然也可以采用正循环清孔，但泥浆必须是高黏度的，清孔的时候，增加泵送功率，增加泥浆流量，这样才能把粒径较大的砂石颗粒从孔里顺利排出。孔底沉渣厚度符合规范后，把旋挖机钻孔中的泥浆密度控制在 1.1 ~ 1.2g/cm³ 范围内。

4.3 偏孔控制措施

在喀斯特地区，孤石、石笋很常见，特别是当其位于孔的侧面时，易导致偏孔。如果不注意，会破坏钻杆和钻头。

技术措施：如果孤石、石笋较硬、直径较大，可对该区域浇筑混凝土硬化来平衡探头区域的硬度，浇筑高度应高出倾斜岩石高度 20cm。当强度达到 70% (C20) 时，进行钻孔。在旋挖钻机施工中，应注意压力、扭矩等参数的匹配。可采用“减压钻进”的方法规避因压力过大产生侧滑；如果岩石坚硬，应使用筒式钻机。当桩位遇到孤石时，采用单筒钻、双筒等钻具。

4.4 扩径及缩径控制措施

当冲击频率过快时，原淤泥层会受到挤压，当孔内压力较小时，淤泥层会向孔壁膨胀或坍塌。如果浇筑速度过快，提升速度过快，孔壁上的泥浆层在护壁泥浆的作用下会形成一个稳定的整体。在浇筑过程中，因为混凝土的压力，它会向周围膨胀，如果提升速度过快，就会形成缩径。

技术措施：降低冲击频率，放慢浇筑速度和提升速度。

5 结 论

喀斯特地区桩基施工有其独特的难点。本文结合工程实际，对旋挖桩施工进行了简单介绍，对质量通病进行了分析，按照“先易后难”的原则安排施工

(上接第 11 页)

6 施工要点

施工场地面积须足够大，才能够满足布料机与皮带机布置要求，能够满足布料机与皮带机空间上旋转、伸缩要求。虽然布料机与皮带机制作使用成本较普通塔机偏高，但其适应自然环境能力较好，且输运能力强，大体积、大仓位混凝土浇筑施工使用效果显著，工期较快、浇筑强度高，入仓速度快，费用经济合理。混凝土拌和系统实际生产能力应与布料机输送能力相匹配，方可发挥布料机与皮带机高强度输送能力。

当混凝土有温控要求时，也可输送温控混凝土，混凝土从收料斗输送到仓内速度很快，在 2min 左右时间，混凝土温升不到 1℃，故对温控混凝土影响极

顺序，灵活运用“填、挤、堵”措施，对反转复压、素混凝土挤压成孔、分段成型、钢护筒护壁阻断混凝土、定位回填水泥固化、“水泥浆—水玻璃”双液注浆等方法进行了比选，并提出了解决方案。实践证明：针对非充填、软塑性土充填和半充填溶洞，按照溶洞实际高度自下而上展开水泥土固化是非常有效的，处理地下水位较高的溶洞采用“水泥浆—硅酸钠”双液注浆技术是可行的，检测结果表明，一级桩达到 99%，工效明显。▲

参考文献

- [1] 欧阳柱. 岩溶地区钻孔灌注桩施工技术研究[D]. 长春: 长春工程学院, 2018.
- [2] 李景阳. 岩溶地区钻孔灌注桩施工特点及技术措施[J]. 工程机械与维修, 2020(5): 126-128.
- [3] 刘国伟, 杨志, 张海波, 等. 岩溶地区钻孔灌注桩施工技术探究[J]. 施工技术, 2018, 47(S4): 116-119.
- [4] 薛涛. 岩溶地区旋挖钻孔灌注桩基础施工技术要点[J]. 工程技术研究, 2021, 6(3): 50-51.
- [5] 雷焱中. 大直径旋挖成孔灌注桩处理复杂岩溶地基[J]. 土工基础, 2015, 29(4): 19-22.
- [6] 李贵, 张健. 岩溶地区钻孔灌注桩施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2021(2): 173-175.

小，可忽略不计，但应考虑拌和时间延长对混凝土拌和生产能力的影响。

使用布料机与皮带机前，应在仓内提前策划好布料机与皮带机立柱位置，同时避开结构线，尽可能做到在后续混凝土浇筑过程中不调整立柱位置或不增加临时立柱，立柱在仓内直接加高即可。

雨季混凝土施工时，可在固定皮带机上安装防雨棚，在运输平板汽车上加设自动覆盖帆布装置，既能保温又兼有防雨功能。

7 结 语

采用布料机 + 皮带机方式浇筑电站进水口混凝土，施工效率高，安全风险低，不受自然环境条件制约。使用前提是现场施工场地足够大。▲

科学与研究

富水水库大坝变形监测与安全性分析

张 峰¹ 付 洁¹ 陈国元²

(1. 湖北省水利厅, 湖北 武汉 430071;
2. 湖北省富水水库管理局, 湖北 黄石 435200)

【摘 要】 富水水库为大(1)型水库, 已运行近 57 年, 为了解大坝运行情况, 分析大坝变形监测资料、评估大坝安全性是非常必要的。文章对富水水库大坝 2015—2019 年变形监测数据, 采用过程线、特征值、分布图、沉降速率等方法进行综合分析。结果表明, 大坝坝体位移受坝高影响较为明显, 表现为坝体中部位移大于两端; 各测点在库水位高时向下游变形, 库水位下降后向上游变形, 位于坝身较高的上游及坝顶测点变形量大于下游测点变形量; 垂直位移以持续下降方向变化为主, 平均沉降速率在 10^{-3} mm/d 数量级, 未出现明显不利于大坝安全的异常现象, 大坝坝态基本正常, 为富水水库大坝后期安全运行管理提供了科学参考。

【关键词】 富水水库大坝; 水平位移; 垂直位移; 沉降速率

中图分类号: TV698.1

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-039-08

Deformation Monitoring and Safety Analysis of Fushui Reservoir Dam

ZHANG Feng¹, FU Jie¹, CHEN Guoyuan²

(1. Hubei Provincial Water Resources Department, Wuhan 430071, China;
2. Hubei Fushui Reservoir Management Bureau, Huangshi 435200, China)

Abstract: Fushui Reservoir is a large (1) reservoir, which has been in operation for nearly 57 years. In order to understand the dam operation, it is necessary to analyze the dam deformation monitoring data and evaluate the dam safety. In this paper, the deformation monitoring data of Fushui Reservoir Dam from 2015 to 2019 are comprehensively analyzed by means of hydrograph, eigenvalue, distribution map and settlement rate. The results show that the displacement of the dam body is obviously affected by the dam height, which shows that the displacement in the middle of the dam body is larger than that at both ends. Each measuring point deforms to the downstream when the reservoir water level is high, and then to the upstream after the reservoir water level drops. The deformation of the measuring point located at the upper reaches of the dam body and at the top of the dam is greater than that of the downstream measuring point. The vertical displacement mainly changes in the direction of continuous decline, and the average settlement rate is in the order of 10^{-3} mm/d. There is no abnormal phenomenon that is obviously unfavorable to the dam safety, and the dam behavior is basically normal, which provides a scientific reference for the later safe operation and management of fushui reservoir dam.

Key words: Fushui Reservoir Dam; horizontal displacement; vertical displacement; sedimentation rate

收稿日期: 2021-03-10

作者简介: 张峰 (1984—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事工程测量工作。

富水水库位于长江水系富水流域中下游交界处的阳新县富水镇,集水面积 2450km^2 ,总库容 16.21亿 m^3 ,是一座以防洪、发电为主,兼有灌溉、养殖、围垦、灭螺、航运等综合利用的大(1)型水库^[13]。水库由大坝、溢洪道、发电输水管、电站和总干渠组成。富水大坝在 28m 高程以下为均质坝, 28m 以上为黏土心墙坝;上游坝壳按原设计用砂质黏土填筑,下游坝壳用溢洪道开挖的页岩填筑;大坝坝顶轴线长 941m ,宽 6.5m ,最大坝高 46.8m 。坝基为页岩,页岩上为砂卵石覆盖层,河床两边为台地。富水水库于1958年8月动工,1964年竣工,大坝最近于2003—2006年进行了除险加固,主要加固项目有坝基基础防渗处理、大坝上下游护坡局部改造、发电引水管加固、复建水库放空隧洞及大坝安全监测设施更新改造等。加固后监测以坝体和坝基渗流、绕渗和渗漏观测为主。

变形监测最能直观反映大坝运行状态,许多大坝运行状态出现异常,最初都是通过变形监测值出现异常来反映的,因此变形监测项目列为大坝安全监测的首选监测项目^[4]。在监测资料整理分析方面,国内外都进行了广泛的研究。总体上,资料分析分为正分析和反分析,在运行阶段多采用统计学模型进行分析^[56]。大坝安全监测资料整编分析的内容涵盖面大,涉及的

数据量大、种类多,整编分析专业性强,而且成果质量要求高、时效性强,目前仍主要靠人工完成^[7]。王健等通过对全国水库大坝安全监测现状的调研,指出了全国大中型水库普遍存在监测经费投入偏低、监测资料分析薄弱、专业技术力量不足等问题^[8]。富水水库大坝已运行近57年,水库也不同程度存在这些问题。针对统计学模型复杂、分析因素要求多等特点,本文根据富水水库大坝2015—2019年监测资料,探索快捷、高效、直观的方法,探究富水水库大坝变形规律,揭示大坝变形特性及安全状态。

1 大坝监测点布置

富水大坝表面变形监测包括水平位移和垂直位移监测,分别在7个横断面(桩号 $0+020$ 、 $0+231$ 、 $0+330$ 、 $0+380$ 、 $0+496$ 、 $0+666$ 、 $0+854$)、4个纵断面(分别为距坝轴线 -8.0m 、 $+4.5\text{m}$ 、 $+32.0\text{m}$ 、 $+61.0\text{m}$)上布置28个综合变形监测点,大坝南北坝端设7个工作基点,中间坝段设5个临时工作基点,测点的结构形式采用表面式。水平位移监测采用交会法,垂直位移监测采用精密水准法,一年观测两次,分别在上半年和下半年。监测点的平面布置见图1。

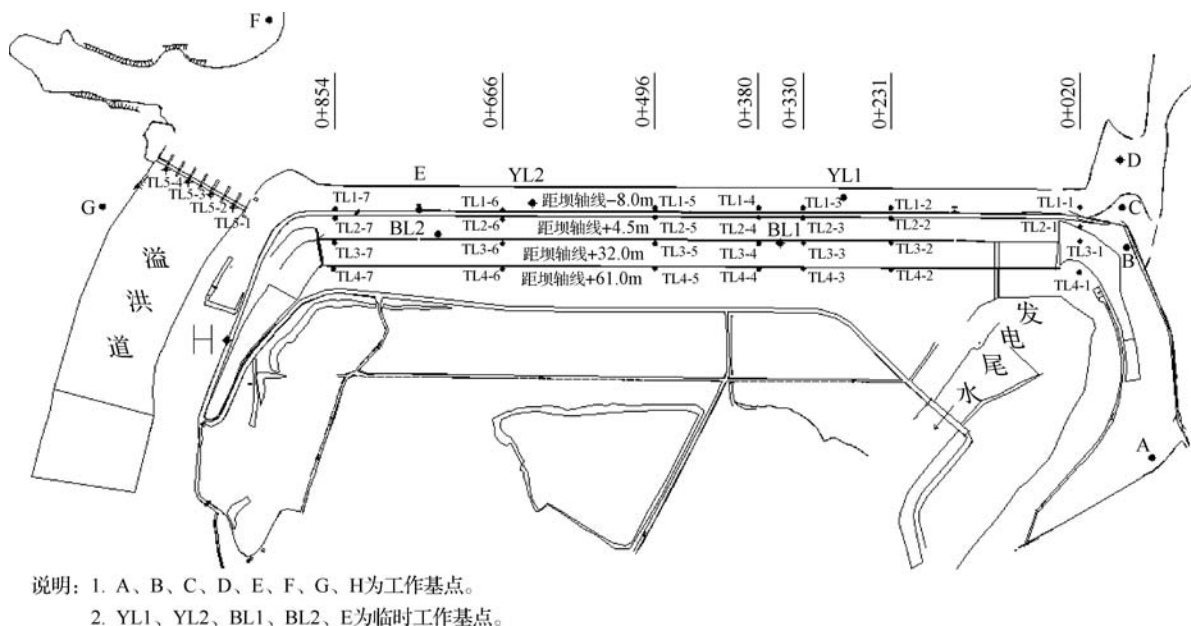


图1 富水水库大坝监测点位平面布置

2 结果与分析

2.1 水平位移监测

富水水库大坝各测点水平位移测值基本完整, 连续性较好。虽然部分测点水平位移过程线存在少量尖

点、观测值精度相对较低, 但总体规律性较好。

2.1.1 水平位移过程线

富水水库大坝 2015—2019 年 4 个纵向断面的水平位移过程线见图 2。

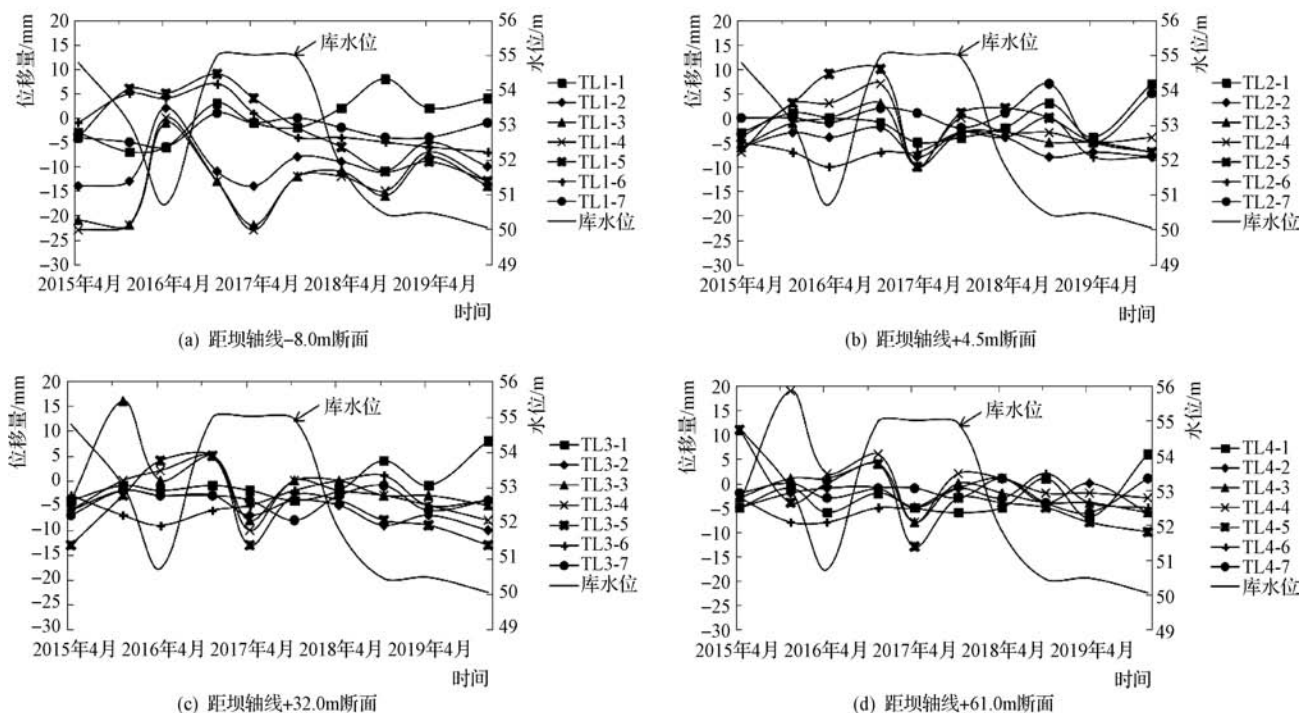


图 2 坝体不同断面水平位移过程线

由图 2 可知, TL-1、TL-7 等测点位于左右坝肩, 坝高相对较低, 且受坝肩约束, 水平位移变化较小, TL-2 ~ TL-6 等测点位于大坝中部附近, 坝身较高, 上游水深较大, 因受水压等因素作用, 测点水平位移主要向上游变化, 部分测点测值有突变, 可能是测值精度问题。

各测值总体表现为坝身越高、水平位移越大, 符合心墙土坝水平位移变化基本规律。

2.1.2 水平位移特征值

富水水库大坝 2015—2019 年 4 个纵向断面的水平位移特征值纵向分布见图 3。

由图 3 可知, 测点中向下游发生水平位移的最大值为 19mm (测点 TL4-4), 向上游发生水平位移的最

大值为 -23mm (测点 TL1-4), 两测值均出现在大坝中间 0 + 380 横断面; 水平位移变幅最大为 27mm (测点 TL4-4), 也出现在大坝中间 0 + 380 横断面, 最小为 5mm (测点 TL4-7), 出现在大坝靠近坝肩的 0 + 854 横断面; 平均值范围为 -11.5 ~ 4.0mm, 说明大部分测点向上游发生水平位移, 且变形幅度不大。

2.1.3 水平位移分布

a. 纵向分布。选择环境量和效应量监测资料相对完整、上游水位较高、测值变化较有规律的 2016 年、2017 年、2018 年为代表年份, 在上游高水位 (下半年) 和低水位 (上半年) 情况下, 对原始测值分别绘制大坝水平位移纵向分布图; 其中, 距坝轴线 +4.5m 断面各测点水平位移纵向分布见图 4。

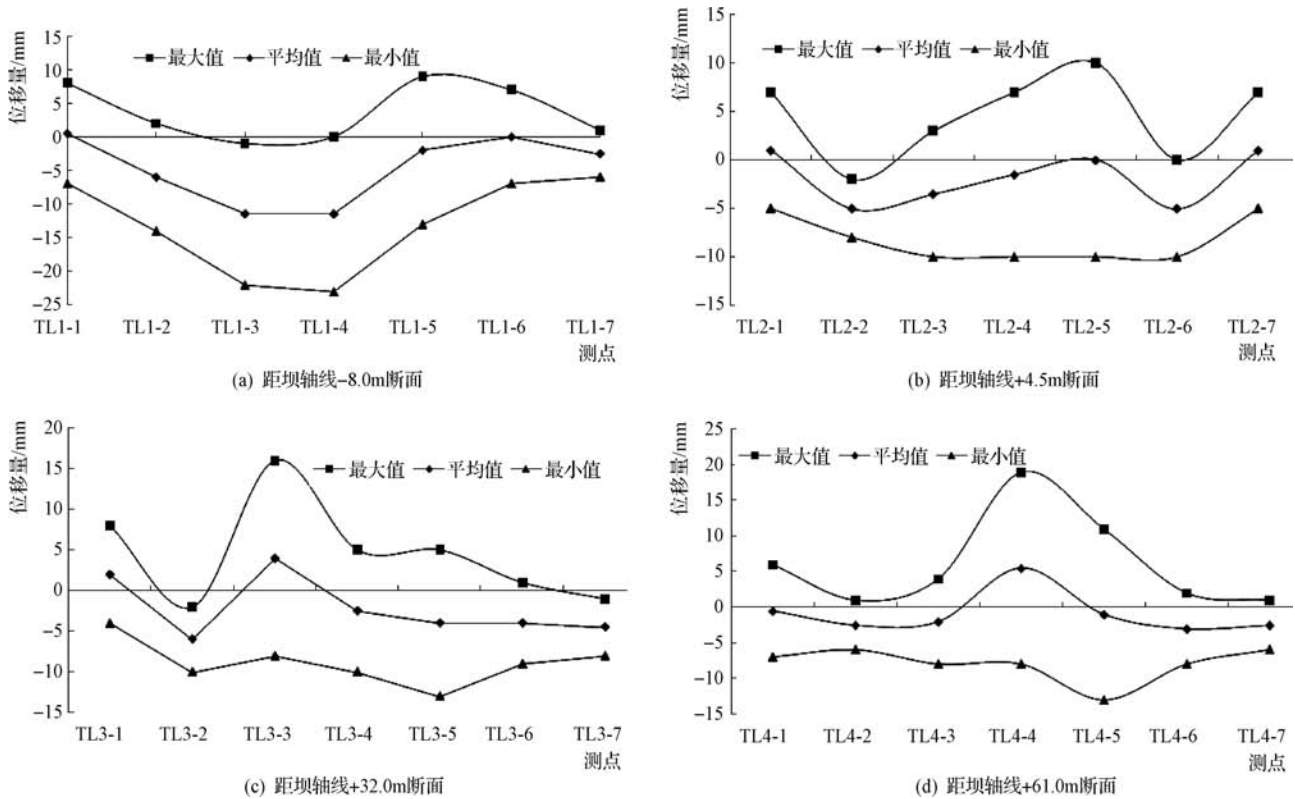


图3 坝体不同断面水平位移特征值纵向分布

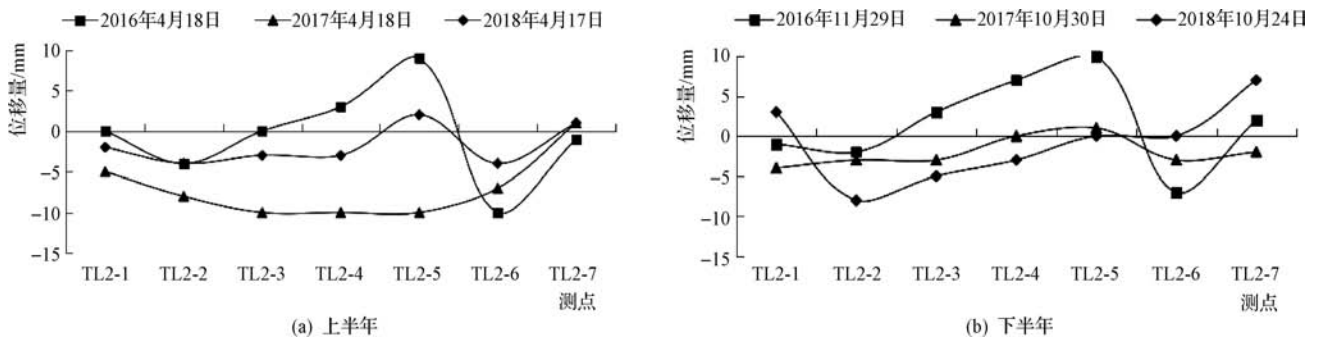


图4 距坝轴线+4.5m断面水平位移纵向分布

由图4可知,坝体水平位移受坝高影响较为明显,表现为坝体中部水平位移大于两端,各断面位移量大小和分布特点受水位影响不明显。近3年,各断面测点测值变幅和一致性均较好。

b. 横向分布。与纵向分布一致,同样选择2016

年、2017年、2018年为代表年份,在上游高水位(下半年)和低水位(上半年)情况下,分别绘制大坝水平位移横向分布图,典型横断面0+380、0+496的水平位移横向分布见图5。

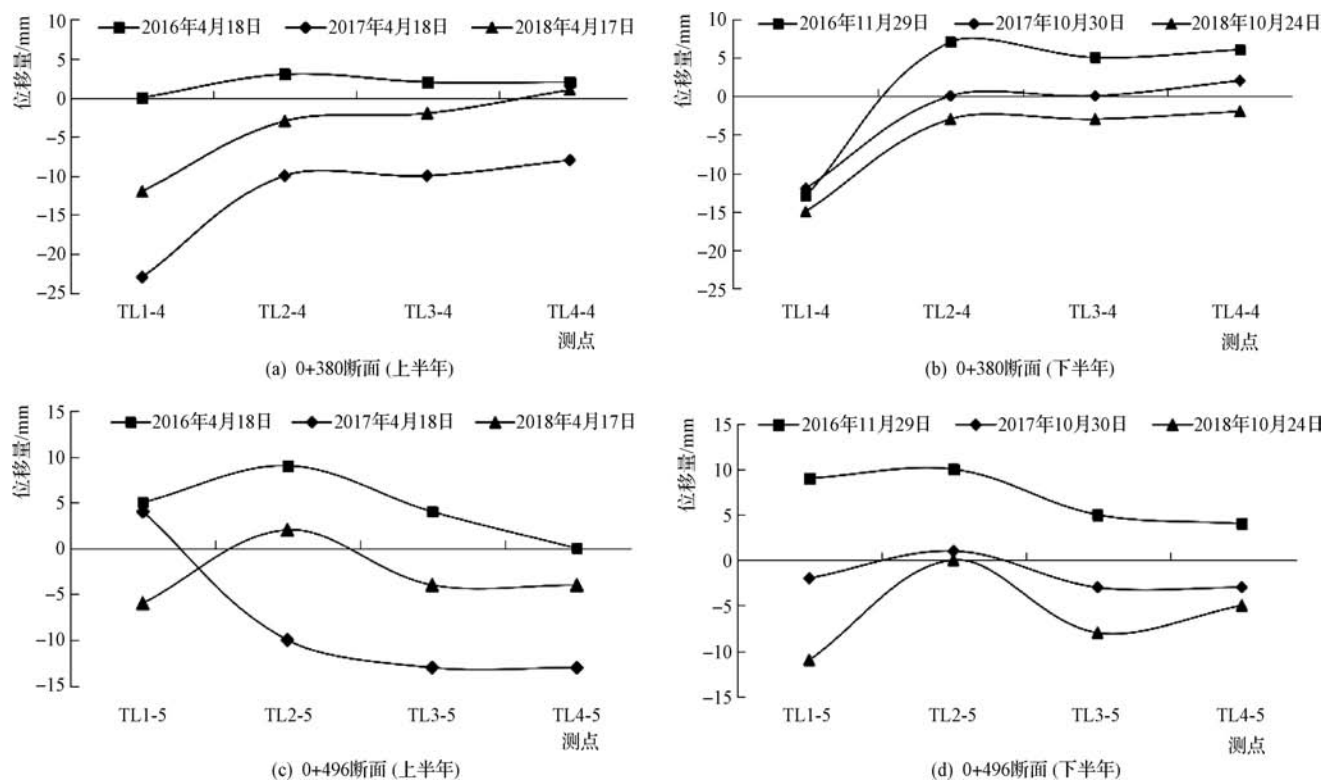


图5 坝体不同断面水平位移横向分布

由图5可以看出,同一横断面,位于上游侧的测点基本朝向上游变形,位于下游的测点基本朝向下游变形,基本符合变形的一般规律。

综合来看,富水水库大坝各测点水平位移观测值精度较低,规律性不强,其中坝顶及下游的测点水平位移规律性较好,上游大部分测点规律性较差,可能是控制网有变形或监测方法不合理,应进一步复核及优化。从实测结果来看,2017年后的测值强于前些年,资料可靠性较差。2015年以来大坝实测水平位移数值不大,未出现明显的不利于大坝安全的异常现象,大坝水平位移性态基本正常。

2.2 垂直位移监测

富水水库大坝各测点垂直位移测值基本完整,连续性较好。虽然部分测点垂直位移过程线存在少量尖点,但总体规律性较好,测值精度相对较高,数据基

本可靠。

2.2.1 垂直位移过程线

富水水库大坝2015—2019年4个纵向断面的垂直位移过程线见图6。

由图6可知,富水水库大坝除TL-1测点外,其他大部分测点垂直位移趋势上均表现为下沉方向的持续变化,变化速率逐渐趋缓。各纵断面变形值与水平位移变化规律具有一致性,表现为坝体中间坝段沉降值相对较大,坝体两端沉降值相对较小,符合坝体沉降量与坝高成正比的关系,遵循心墙土坝垂直位移的基本变化规律。

2.2.2 垂直位移特征值

富水水库大坝2015—2019年4个纵向断面的垂直位移特征值纵向分布见图7。

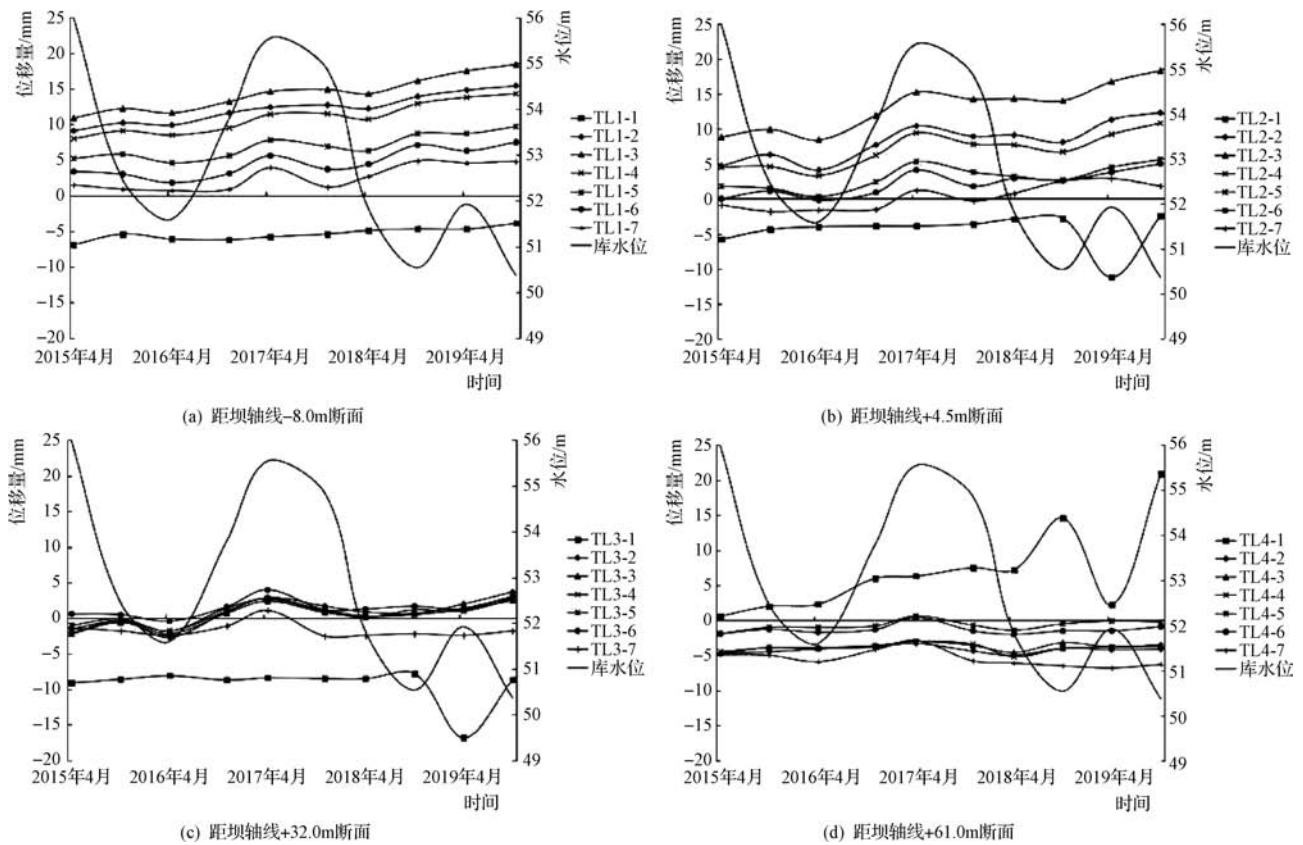


图6 坝体不同断面垂直位移过程线

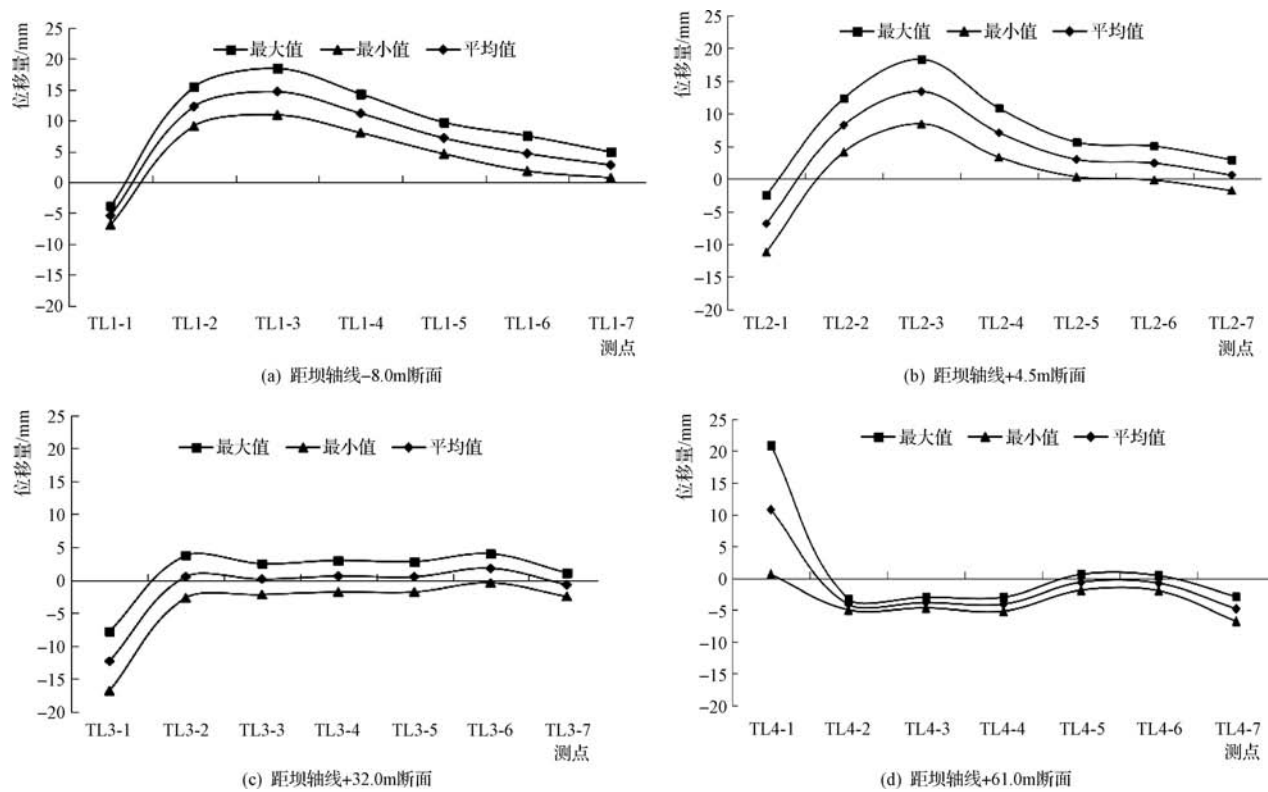


图7 坝体不同断面垂直位移特征值纵向分布

由图 7 可知,测点中最大沉降值为 20.9mm (测点 TL4-1),最小值为 -16.8mm (测点 TL3-1),变幅最大值 20.3mm,均出现在靠近坝肩断面 0+020 位置,数据异常,断面 0+020 坝高相对较低,经多年现场巡查,未发现渗漏及明显变形等异常现象,说明该断面数据可靠度不高,不予采用;另外,6 个横断面中,最大沉降值为 18.4mm (测点 TL1-3),最小值 -4.6mm (测点 TL4-3),均出现在靠近大坝中间的 0+330 横断面;变幅最大值为 9.9mm (测点 TL2-3),出现在 0+330 横断面,变幅最小值为 0.6mm (测点 TL4-6),出现在 0+666 横断面;平均值为 -5.5 ~

12.25mm,说明大部分测点发生下降位移,且变形幅度不大。综上可以看出,垂直位移变化均在合理范围之内,大坝垂直位移情况总体稳定。

2.2.3 垂直位移分布

a. 纵向分布。选择环境量和效应量监测资料相对完整、上游水位较高、测值变化较有规律的 2016 年、2017 年、2018 年为代表年份,在上游高水位(下半年)和低水位(上半年)情况下,对原始测值分别绘制大坝垂直位移纵向分布图;其中,坝顶轴线距 +4.5m 断面各测点水平位移纵向分布见图 8。

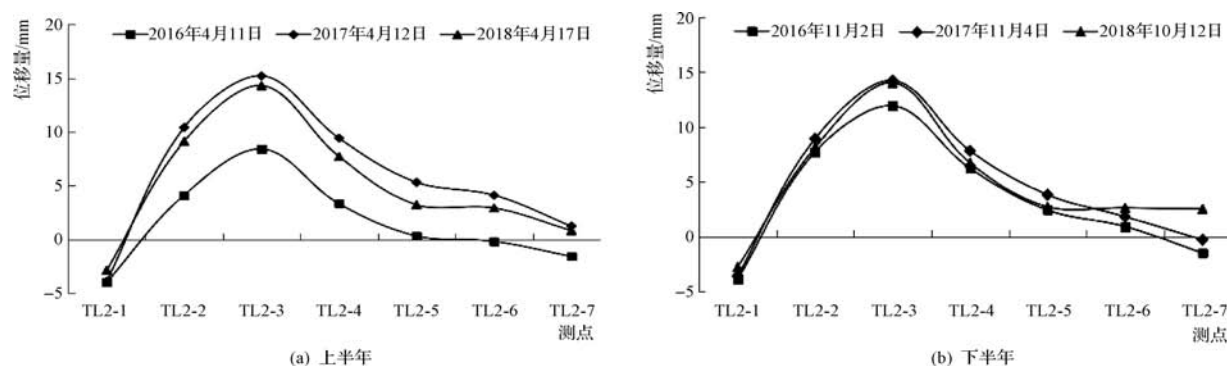


图 8 距坝轴线 +4.5m 断面垂直位移纵向分布

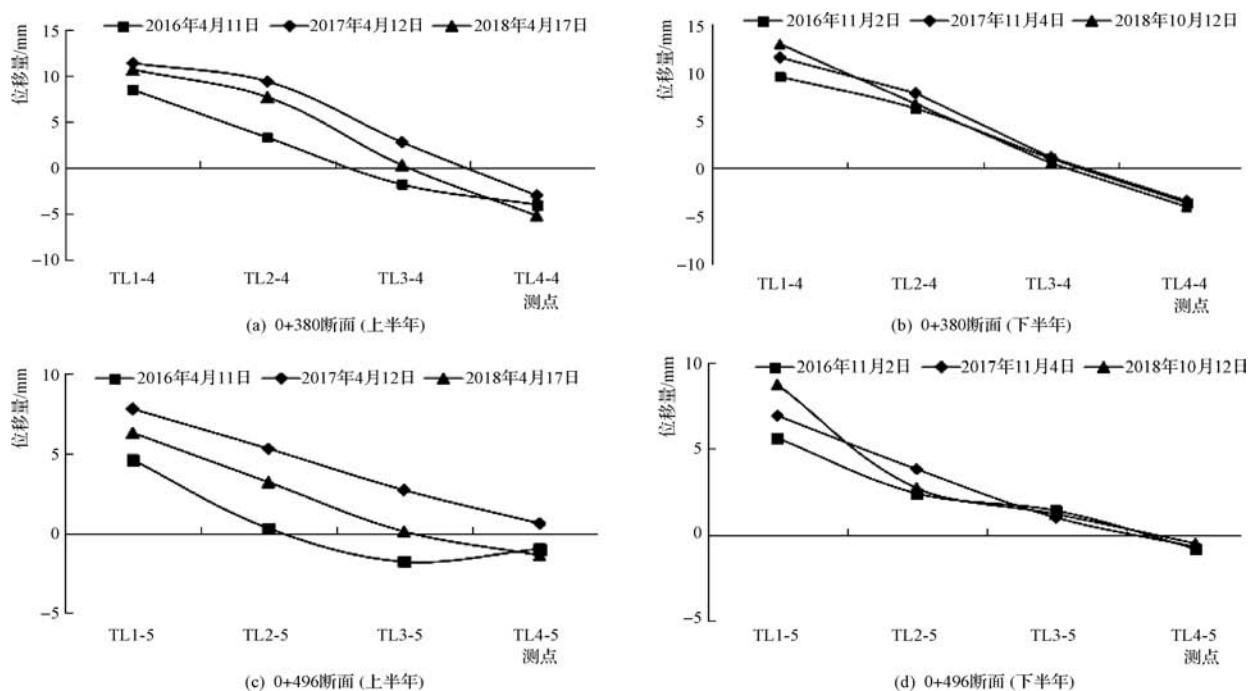


图 9 坝体不同断面垂直位移横向分布

由图 8 可知，中部测点垂直位移明显大于两端测点，这主要是由于中部坝高相对较高。上半年与下半年分布图的形状大致相似，同一测点各年份上半年、下半年垂直位移比较接近，对比图 6，测值分布规律基本一致，测值变幅明显较小。

b. 横向分布。与纵向分布一致，同样选择 2016 年、2017 年、2018 年为代表年份，在上游高水位（下半年）和低水位（上半年）情况下，分别绘制大坝垂直位移横向分布图，典型断面 0 + 380、0 + 496 垂直位移横向分布见图 9。

由图 9 可知，所有测点均表现为沉降变形，且分布规律基本表现为测点从上游至下游，沉降测值依序减小，即迎水面沉降变形最大，下游最低高程点变形最小；一方面受坝高影响，另一方面受库水位影响，基本符合土坝变形的一般规律。

2.2.4 沉降速率

富水水库大坝近 3 年（2017—2019 年）和近 5 年（2015—2019 年）各测点垂直位移平均沉降速率统计见表 1。

表 1 垂直位移平均沉降速率统计

| 测 点 | | 近 3 年 沉降量/ mm | 近 5 年 沉降量/ mm | 近 3 年 平均沉降 速率/ (10^{-3} mm/d) | 近 5 年 平均沉降 速率/ (10^{-3} mm/d) | 测 点 | | 近 3 年 沉降量/ mm | 近 5 年 沉降量/ mm | 近 3 年 平均沉降 速率/ (10^{-3} mm/d) | 近 5 年 平均沉降 速率/ (10^{-3} mm/d) |
|---------------------------|-------|---------------------|---------------------|---|---|--------------------------|-------|---------------------|---------------------|---|---|
| 距 坝 轴 线 -8m | TL1-1 | 2.3 | 2.9 | 2.1 | 1.6 | 距 坝 轴 线 +31m | TL3-1 | 0 | 0.7 | 0.0 | 0.4 |
| | TL1-2 | 3.8 | 6.4 | 3.5 | 3.5 | | TL3-2 | 2.8 | 6.1 | 2.6 | 3.3 |
| | TL1-3 | 5.2 | 7.1 | 4.7 | 3.9 | | TL3-3 | 1.8 | 5.1 | 1.6 | 2.8 |
| | TL1-4 | 4.8 | 5.5 | 4.4 | 3.0 | | TL3-4 | 2 | 5.5 | 1.8 | 3.0 |
| | TL1-5 | 4.1 | 3.8 | 3.7 | 2.1 | | TL3-5 | 1.4 | 5.5 | 1.3 | 3.0 |
| | TL1-6 | 4.4 | 3.8 | 4.0 | 2.1 | | TL3-6 | 1.5 | 5.4 | 1.4 | 3.0 |
| | TL1-7 | 3.9 | 3.2 | 3.6 | 1.8 | | TL3-7 | -0.7 | 2.4 | -0.6 | 1.3 |
| 距 坝 轴 线 +4.5m | TL2-1 | 1.4 | 3.1 | 1.3 | 1.7 | 距 坝 轴 线 +61m | TL4-1 | 14.9 | 20.9 | 13.6 | 11.5 |
| | TL2-2 | 4.6 | 9.5 | 4.2 | 5.2 | | TL4-2 | -0.3 | 2.4 | -0.3 | 1.3 |
| | TL2-3 | 6.4 | 11.9 | 5.8 | 6.5 | | TL4-3 | 0.1 | 2.7 | 0.1 | 1.5 |
| | TL2-4 | 4.6 | 8.9 | 4.2 | 4.9 | | TL4-4 | -0.1 | 2.4 | -0.1 | 1.3 |
| | TL2-5 | 3.2 | 6.4 | 2.9 | 3.5 | | TL4-5 | 0.6 | 3.6 | 0.5 | 2.0 |
| | TL2-6 | 4.1 | 6.2 | 3.7 | 3.4 | | TL4-6 | 0.4 | 3.7 | 0.4 | 2.0 |
| | TL2-7 | 3.3 | 2.9 | 3.0 | 1.6 | | TL4-7 | -2.1 | 0.5 | -1.9 | 0.3 |

由表 1 可知，近 3 年平均沉降率最大值为 5.8×10^{-3} mm/d，近 5 年沉降率最大值为 6.5×10^{-3} mm/d，且最大值均发生在大坝中间测点 TL2-3。大部分测点平均沉降速率在 10^{-3} mm/d 数量级，数值较小，除距坝轴线 -8m 纵断面外，其他 3 个纵断面近 3 年平均沉降速度低于近 5 年平均沉降速率，符合一般规律。

综合来看，富水水库大坝垂直位移精度相对较高，总体趋势以持续下降方向变化为主，前期变化较快，目前变化速率很小、基本稳定；大坝垂直位移纵

向分布基本合理，与水平位移测值分布规律具有一定的一致性，基本符合心墙土坝垂直位移的一般规律，平均沉降速率在 10^{-3} mm/d 数量级，总体未出现明显的不利于大坝安全的异常现象。

3 结 语

大坝变形监测是土石坝重要监测项目，大坝位移是大坝工作性态的综合反映，是大坝是否安全的重要判据^[10-11]。本文通过整理分析富水大（下转第 70 页）

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK. 2022.07.09

防渗墙补强加固技术在赵山渡 引水工程的应用

张 伟¹ 李渭清² 刘孔英³

- (1. 温州市水利建设管理中心, 浙江 温州 325000;
2. 杭州市河道与农村水利管理服务中心, 浙江 杭州 310014;
3. 浙江同济科技职业学院, 浙江 杭州 311231)

【摘 要】 防渗墙补强加固技术是保障水利工程安全的重要措施。文章以赵山渡引水枢纽工程为例, 分析防渗墙缺陷, 讨论加固原则, 筛选适宜的补强加固方案, 重点对灌浆材料的相关性能进行了试验研究, 并结合不同材料的特性与施工要求, 提出了适宜的灌浆材料及施工技术要求, 可为同类型水利工程的除险加固提供借鉴与参考。

【关键词】 混凝土坝; 灌浆; 除险加固; 防渗墙

中图分类号: TV543.8

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-047-05

Application of Cutoff Wall Reinforcement Technology in Zhaoshandu Water Diversion Project

ZHANG Wei¹, LI Weiqing², LIU Kongying³

- (1. Wenzhou Water Conservancy Construction Management Center, Wenzhou 325000, China;
2. Hangzhou River and Rural Water Conservancy Management Service Center, Hangzhou 310014, China;
3. Zhejiang Tongji Vocational College of Science and Technology, Hangzhou 311231, China)

Abstract: The reinforcement technology of cutoff wall is an important measure to ensure the safety of water conservancy projects. Zhaoshandu Water Diversion Project is adopted as an example. The defects of the cutoff wall are analyzed. The reinforcement principles are discussed. Appropriate reinforcement and strengthening schemes are screened. Related performance of grouting materials are mainly tested and studied. Characteristics and construction requirements of different materials are combined to propose suitable grouting materials and construction technology requirements, thereby providing reference for risk removal and reinforcement of similar water conservancy projects.

Key words: concrete dam; grouting; risk removal and reinforcement; cutoff wall

收稿日期: 2022-05-31

作者简介: 张伟 (1974—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水库大坝安全监测和防汛抢险方面的研究。

1 问题的提出

混凝土防渗墙是水利水电工程中的重要防渗措施,适用于覆盖层地基和土石坝。由于混凝土防渗墙的相关缺陷问题日益突出,混凝土防渗墙缺陷修复是水利工程管理与维护中不可避免的问题。多例渗漏引起垮坝的事件表明渗漏水库除险加固决不能轻视,渗漏水库除险加固可以消除渗漏安全隐患,保障水库安全,保护下游人民群众生命和财产安全,提高工程社会效益^[1-3]。

赵山渡引水工程位于浙江省温州市瑞安市,属于珊溪水利枢纽工程,由引水枢纽和输水渠系组成^[4-6]。建筑物主要有泄洪闸、重力坝、河床式电站厂房等。工程属Ⅱ等工程。设计洪水标准为百年一遇,校核洪水标准为千年一遇。泄洪闸采用消力池底流消能,消力池下游依次布置辅助消能工护坦、海漫和防冲槽。

自2004年12月以来,赵山渡水库大坝多个泄洪闸闸墩下游侧的结构伸缩缝出现不同程度的渗漏现象。由于水库已经投入运行,水库闸坝渗流缺陷引起的原因往往很难发现,对缺陷进行有效处理更为困难。目前对运行状态下的渗漏缺陷处理研究较少,该类工程缺陷处理有较好的技术研究与市场应用前景。

2 加固原则与设计

2.1 目标与难点

本研究中补强加固技术的目标为:在不放空赵山渡水库,保证温州地区城镇正常供水的前提下,通过对防渗墙补强加固施工,研究探索防渗墙渗漏处理方法,最终使赵山渡水库大坝泄洪闸下游墩缝漏水现象消失,基础扬压力明显下降,满足设计和现行规范要求。具体内容^[7]如下:

- a. 判定砂卵石地层中的混凝土防渗墙渗漏缺陷可能位置、范围、渗流量。
- b. 确定砂卵石地层中混凝土防渗墙不同大小、深度及渗漏强度等缺陷的处理方法。
- c. 从现有防渗补强灌浆材料中,针对混凝土防

渗墙不同大小、深度及渗漏强度等缺陷情况,选择相应的堵水、补强灌浆材料。

根据研究目标与目前技术,防渗墙补强加固的主要技术难点如下:

- a. 水库不放空的条件下,水下沙砾石地层中的钻孔成孔。
- b. 水库不放空的条件下,砂卵石地层中的混凝土防渗墙渗漏缺陷可能位置的判定。
- c. 水库不放空的条件下,混凝土防渗墙渗漏位置的封堵、加固处理。

2.2 补强加固技术分析与设计

2.2.1 渗漏缺陷位置分析

赵山渡泄洪闸防渗墙是薄壁结构^[8],主要薄弱部位有:①防渗墙每个槽段Ⅰ、Ⅱ序孔之间接缝处;②防渗墙顶部和墙体连接处施工缝;③防渗墙顶部伸缩缝之间止水结构。渗漏缺陷问题主要有:①施工时闸基地质条件引起的塌孔导致防渗墙墙体变薄的质量缺陷;②浇筑混凝土时产生混凝土骨料离析现象引起蜂窝等质量缺陷;③由于防渗墙墙体较薄,水库蓄水后防渗墙运行过程中可能产生细裂缝。

2.2.2 加固处理的原则

经过对赵山渡工程泄洪闸的水下检查、试验性修补及上游护坦和垂直止水系统的全面修复,浅滩区泄洪闸基底扬压力变化不大,闸墩下游伸缩缝漏水仍然明显,表明赵山渡泄洪闸的浅滩区防渗墙墙体内存在较大的渗漏通道。为确保赵山渡工程的安全运行,必须加固防渗墙,封堵渗漏通道,消除漏水、降低基底扬压力,使泄洪闸的渗透稳定满足现行规范的要求。根据赵山渡引水工程承担的功能任务,水库运行的实际情况,宜按照以下原则对防渗墙进行加固处理:

- a. 由于水库承担着温州地区供水功能,并且放空水库具有较长的施工工期,经济投入较大,因此在考虑技术与投资条件下,需要在保证水库正常运行状态下,采取水下作业来寻找防渗墙渗漏发生部位。
- b. 虽然无法直接判断防渗墙渗漏缺陷的具体部

位,但考虑到泄洪闸位于砂砾石之上,其基础渗漏处理需要符合渗透变形基本原理,即常用的“上堵、下排”方法。首先,封堵上游渗漏入口,切断渗漏路径,阻碍渗入。其次,考虑到砂砾石的影响,需要铺设土工布于消力池基建面之上。

对泄洪闸的基底扬压力进行监测,结合渗漏情况的分析,并参考防渗墙 CT 检测成果,确定全面灌浆范围与重点灌浆区段,先处理重点区段,后处理其他区段。

3 补强加固施工方案

赵山渡引水枢纽具有飞云江下游和温州地区的供水、灌溉、生态等功能,要求灌浆施工使用的材料本身无毒环保,且具备耐久性。由于水下渗漏处理施工工艺复杂且在水下进行,因此在进行泄洪闸防渗墙渗漏处理时,尽可能降低库水位以减少水下作业处理的范围,减小水下工作量,提高施工质量,缩短施工工期。泄洪闸现有防渗系统由原混凝土防渗墙、泄洪闸上游护坦伸缩缝和闸墩垂直伸缩缝止水系统组成,伸缩缝已经按照要求处理完毕,本文主要对泄洪闸防渗墙处理方案进行研究探讨。

3.1 备选方案 1: 防渗墙上游侧帷幕灌浆

该方案是紧靠原防渗墙上游侧新设一道防渗帷幕与原防渗墙一起形成新的防渗墙。优点是:①符合防渗系统离上游较近的原则;②对原防渗墙潜在缺陷的修补作用较强;③新设的防渗帷幕施工要求较独立的防渗帷幕可低一些。该方案缺点是:④灌浆帷幕位于上游砂砾石层,表层有近 3m 厚的抛石,成孔难度大;⑤灌浆过程中向上游侧范围较大,容易漏浆,材料使用量难控制。

3.2 备选方案 2: 直接在防渗墙墙体灌浆

该方案直接在防渗墙墙体中钻孔灌浆,对防渗墙的缺陷进行加固处理,优点是:①对工程原设计防渗体系进行补强加固,针对性强;②混凝土内钻孔不易塌孔,灌浆易控制。但由于原防渗墙厚度仅为 0.80m,在水库不放空的情况下,对在防渗墙墙身内钻深孔技

术要求较高,施工难度大,施工期较长,容易对原防渗墙产生新的破坏。

3.3 备选方案 3: 防渗墙下游侧帷幕灌浆

该方案在原防渗墙下游侧水平护坦部位钻孔灌浆,形成新的灌浆帷幕。优点是钻孔相对容易成孔,灌浆量控制相对容易。缺点是:①防渗体距上游较远;②对原防渗墙没有补强加固作用;③需要在护坦混凝土上开孔(数量较多),如封堵不密实,极易形成新的渗透通道;④灌浆后造成新的地基强度不均匀,容易引起泄洪闸不均匀沉降。

3.4 补强加固方案的确定

考虑原防渗墙结构安全及施工可行性等因素,直接在防渗墙墙体钻孔灌浆方案对防渗墙破坏明显,而且防渗墙渗漏缺陷定位难度相当大,技术上可行性较差。因此,排除直接在防渗墙墙体灌浆的方案。综合考虑剩余 2 个方案的技术与经济相关指标,选择在原防渗墙上游侧进行帷幕灌浆的补强加固处理方案,尽管该方案存在抛石层成孔难度较大、灌浆过程向上游的漏浆不易控制的缺点。

4 防渗墙加固处理中的灌浆材料研究

水下基础灌浆技术难度大,必须根据赵山渡防渗墙渗漏特点,选用满足水下动水灌浆要求的灌浆材料。对几种典型的灌浆材料的可灌性、防渗性、初凝时间、终凝时间等指标进行试验研究,包括有机灌浆材料、普通硅酸岩水泥、特种快速早强水泥、水泥-水玻璃灌浆材料等。

4.1 聚氨酯化学灌浆材料

聚氨酯化学灌浆材料属于亲水性的高分子材料,其特点是遇水乳化、分散、固结,延伸性较好,能适应活动缝的变形,尤其是遇水膨胀的性能(可达 250%)可以调节。其处理活动裂缝的原理是亲水性基团与混凝土的黏结力较强,黏结强度大于 1MPa,广泛用于各种裂缝的封闭处理^[9]。此种材料除了价格昂贵,同时需要相应的水下密封材料来达到灌浆效果。

根据施工方案特点,通过试验研究了几种常用化学灌浆材料的物理力学性能,发泡时间、止泡时间和发泡倍数与温度、催化剂含量、水温的关系,饱和面干(潮湿)黏结强度(3天),凝胶时间,催化剂对凝胶时间的影响,不同水量对凝胶时间的影响,抗压强度(含弹性恢复),抗拉强度和遇水膨胀率等指标或关系。凝胶时间实验结果(见图1)表明该类材料可以显著提高凝结效果。

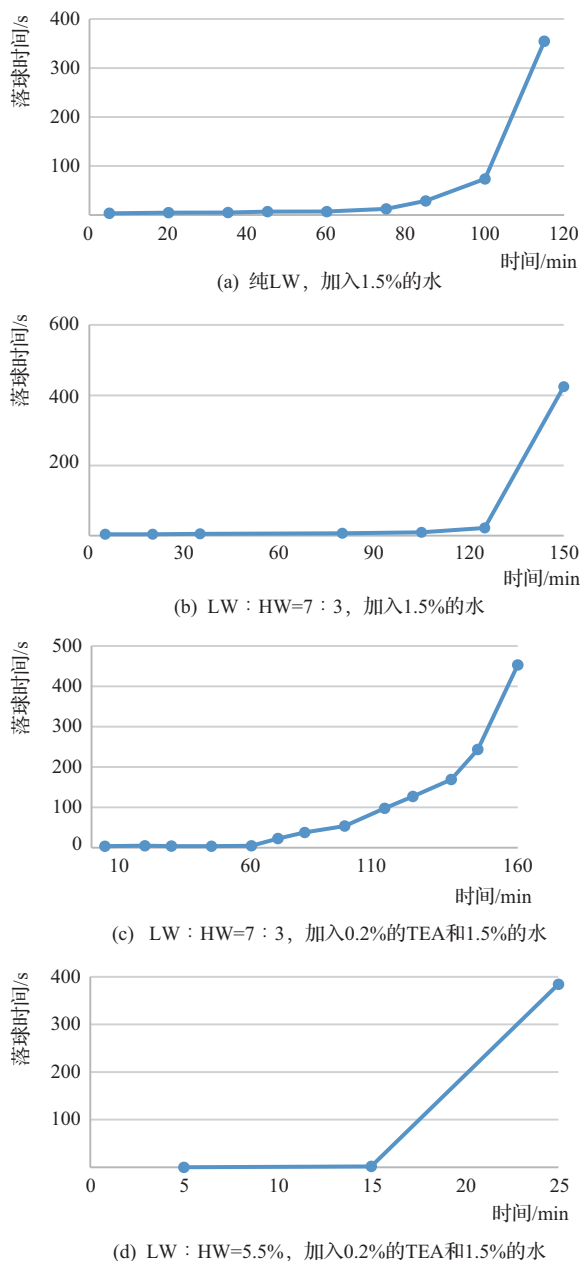


图1 凝胶试验结果

4.2 水泥-水玻璃材料

水泥-水玻璃材料作为灌浆材料,其主要成分是水玻璃,需要将两种材料按照比例,在双液混合器内充分混合,得到双浆液。该材料的特点是经济投入少、毒性小、凝结快速、强度高等,同时具有化学浆液与水泥浆液的特征^[10]。该材料的凝结时间范围广,可从几秒到几十分钟,结石率可达到100%,较纯水泥浆有明显提高。

4.2.1 凝结时间

水玻璃与水泥的相对含量、水灰比、水玻璃模数是影响该材料性能的主要因素。水玻璃含量对凝结时间影响较大,以水泥浆的体积为基准,水玻璃在25%~60%之间时,凝结速度较快,同时变化较为平缓。水泥、水玻璃双浆液试验结果(见表1)表明凝结时间具有以下规律:

- a. 水玻璃模数与二氧化硅含量、凝结时间、结石强度成正比。
- b. 水泥浆浓度提高加快了凝结时间。
- c. 在30~50°Bé范围内,水玻璃浓度与凝结时间成反比。
- d. 水玻璃与水泥的体积比在0.3:1~1:1范围内时,水玻璃用量与凝结时间成正比。

4.2.2 结石强度

该材料结石的抗压强度主要受水灰比的影响,同时也受水玻璃溶液的浓度、水玻璃与水泥浆液的比例等因素的影响。其主要规律如下:

- a. 水灰比与结石的抗压强度成反比。
- b. 当水灰比较小时,水玻璃浓度与不同龄期结石的抗压强度成正比;而当水灰比处于中间状态时,无明显规律性;当水灰比较大时,二者成反比关系。
- c. 水玻璃与水泥体积比存在一个适宜的比例范围,使得水泥与水玻璃的化学反应完全,结石强度较高。

表 1 水泥、水玻璃双浆液试验成果

| 编号 | 水玻璃浓度/ °Bé | 水玻璃与水泥 体积比 | 水灰比 | 密度/ (g/cm ³) | 流动度/ cm | 初凝时间/ min | 终凝时间/ min | 抗压强度/MPa | | | |
|----|---------------|---------------|-----|-----------------------------|------------|--------------|--------------|----------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | 1d | 2d | 3d | 4d |
| 1 | 30 | 0.5 | 0.6 | 1.56 | 38.4 | 5 | 133 | 4.48 | 19.55 | 22.00 | 23.00 |
| 2 | 30 | 0.6 | 0.6 | 1.54 | 35.9 | 2 | 60 | 0.56 | 14.05 | 21.00 | 21.00 |
| 3 | 30 | 0.8 | 0.6 | 1.04 | 34.9 | 2 | 30 | 0.64 | 7.20 | 17.00 | 20.00 |
| 4 | 30 | 10.0 | 0.6 | 1.47 | 37.0 | 3 | 23 | 0.72 | 1.00 | 20.00 | 22.00 |
| 5 | 35 | 0.5 | 0.6 | 1.53 | 36.0 | 3 | 20 | 5.28 | 6.00 | 15.00 | 12.00 |
| 6 | 35 | 0.6 | 0.8 | 1.47 | 38.0 | 3 | 96 | 0.64 | 15.00 | 20.00 | 22.00 |
| 7 | 35 | 0.8 | 0.8 | 1.44 | 37.0 | 3 | 49 | 0.88 | 1.00 | 22.50 | 21.00 |
| 8 | 35 | 1.0 | 0.8 | 1.42 | 35.0 | 4 | 43 | 1.01 | 1.00 | 17.00 | 21.00 |
| 9 | 40 | 0.5 | 1.0 | 1.44 | 39.0 | 4 | 88 | 0.67 | 0.90 | 19.60 | 18.00 |
| 10 | 40 | 0.6 | 1.0 | 1.42 | 40.0 | 8 | 136 | 0.77 | 0.80 | 7.00 | 18.00 |
| 11 | 40 | 0.8 | 0.6 | 1.55 | 29.6 | 3 | 11 | 2.29 | 2.60 | 12.00 | 13.00 |
| 12 | 40 | 1.0 | 1.0 | 1.40 | 34.0 | 8 | 16 | 1.0 | 1.50 | 2.30 | 5.50 |

4.3 快速固化水泥灌浆材料

4.3.1 材料特征

该类型材料的主要技术特点如下：

- a. 工作性好：水灰比较小时，流动性较好，填充间隙的能力较强。
- b. 早强高强：3d、28d 的抗压强度分别大于 45MPa、70MPa，安装较快。
- c. 黏结强度较高、收缩较小，可以与接触材料牢固结合。
- d. 耐久性好：属于无机灌浆材料，抗老化，基本无锈蚀。

4.3.2 使用方法

该类型材料的使用方法如下：

- a. 需要先清理干净填充空间再灌注清理干净，表面需预湿半天左右。
- b. 对于小空间二次灌注，直接加水拌和。对于大空间二次灌注，可加入 5~10mm 粒径的石子。
- c. 可用人工插捣处理较小的空隙，需要提前把气体赶跑，经 12h 后需要及时养护（浇水或湿草袋覆盖），养护期 1~2 周。

4.4 灌浆材料的选用

灌浆材料的选择需要综合考虑胶凝速度、可灌性、

结石强度等指标。由于原防渗墙上游侧有 30 多 m 厚的砂砾石层，表面有 3m 厚的抛石层，都会影响灌浆效果，因此这里采用多种灌浆材料，包括水泥、特种水泥、水泥-水玻璃、聚氨酯浆材等常规松散层灌浆浆材。而具体灌浆过程还需根据现场实际情况进行调整。所选材料指标如下：

- a. 42.5 普通硅酸盐水泥：
技术指标：抗压强度：3d 不小于 17.0MPa，28d 不小于 42.5MPa；
抗折强度：3d 不小于 3.5MPa，28d 不小于 6.5MPa；
流动度：199mm。
- b. 水玻璃：
成分组成：二氧化硅，氧化钠；
技术指标：水玻璃模数：2.4~3.4；
波美度：30~45°Bé。
- c. 特种水泥：
成分组成：还原性特制硫铝酸盐水泥，聚丙烯酰胺絮凝剂；
技术指标：形状：灰白色粉末；
密度：2.8~3.0g/cm³；
结石率：不小于 98%；

（下转第 59 页）

DOI: 10.16617/j.cnki.11-5543/TK.2022.07.10

自动化系统在北运河甘棠船闸建设工程中的应用

要倩雅 姚永宽 隗 强

(北京金河水务建设集团有限公司, 北京 102206)

【摘要】 北运河甘棠船闸定位为旅游船闸。为使船闸实现科学化的管理、调度,减少船只过闸等待时间,提升游客旅游体验,提高管理水平,便于维护,船闸自动化系统通过监控、视频广播、过闸引导等子系统与智慧管理平台互联,利用第五代移动通信网络、物联网、大数据等现代高新技术手段,实现了船闸安全、高效智能运行,以及船舶智慧运行的运营环境。

【关键词】 船闸; 自动化; 物联网; 大数据

中图分类号: U641

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-052-08

Application of Automation System in Gantang Ship Lock Construction Project of North Canal

YAO Qianya, YAO Yongkuan, WEI Qiang

(Beijing Golden River Water Resources & Hydropower Construction Group Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: The North Canal Gantang Ship Lock is positioned as a tourist lock. The ship lock automation system is interconnected with the intelligent management platform through subsystems such as monitoring, video broadcasting and navigation guidance, etc. in order to realize scientific management and scheduling of the ship lock, reduce the waiting time for ship to pass the lock, improve tourist experience, improve management level, and facilitate maintenance. Modern high-tech means such as the 5th generation mobile communication network, internet of things and big data, etc. are utilized to realize safe, efficient and intelligent operation of the ship lock as well as operation environment for the intelligent operation of the ship.

Key words: ship lock; automation; internet of things; big data

随着社会的进步和科技的发展,对船闸自动控制系统智慧程度提出了更高要求。北运河甘棠船闸自动化控制系统在第五代移动通信网络、物联网、大数据等现代高新技术手段的加持下,保障了北运河甘棠

船闸交通供给能力、安全保障能力及运行效率,实现了北运河船闸的智慧运营,提升了游客的过闸体验,为大运河文化带高质量发展提供了重要的基础保障^[1]。

收稿日期: 2022-05-30

作者简介: 要倩雅 (1985—), 女, 本科, 工程师, 主要从事水利工程施工工作。

1 工程概况

甘棠船闸工程位于北运河通州段，为单级双线船闸，是满足北运河通州段全线游船通航的重要工程。甘棠船闸航道长度为 1.1km，包括上游引航道、上闸首、闸室段、下闸首、下游引航道。船闸闸室有效长度 65m、闸室有效宽度 10m、门槛水深 2.5m。通过船闸建设，打通北关闸至杨洼闸之间水上运行通道，使船舶克服拦河闸上、下游水头差，安全、平稳、快速过闸，实现北运河北京段全线通航。甘棠船闸作为北京水务系统近年来重大水利工程之一，为使甘棠船闸实现科学化的管理、调度，减少船只过闸等待时间，提升游客旅游体验，提高管理水平，在满足船闸可靠控制、船舶安全过闸的基础上，针对旅游船闸的特点，通过监控、视频广播及过闸引导控制系统来实现船闸安全、高效智能运行，以及船舶智慧运行的运营环境。

2 监控子系统

监控子系统是船闸运行调度的总集成，视频广播子系统和过闸引导子系统辅助监控系统完成船闸的运行调度，为船闸管理者提供一站式、多维度、三维可视化的管理指挥舱，全面掌握船闸的各项数据及操作，实现船闸一键通航的智慧运营环境。

2.1 船闸监控系统组成

船闸监控系统（见图 1）由操作员工作站、工程师站、微控制单元（MCU）、集控指令 PLC 站、启闭机现地控制站组成。在工业以太环网的通信传输下，实现控制室对船闸设施的集中控制，实现上下闸首对船闸闸门、输水闸门和交通信号灯的现地控制，实现液压泵房实现对液压泵站各设备的现地电动控制，实现船闸等水工建筑物的渗压、水位监测。

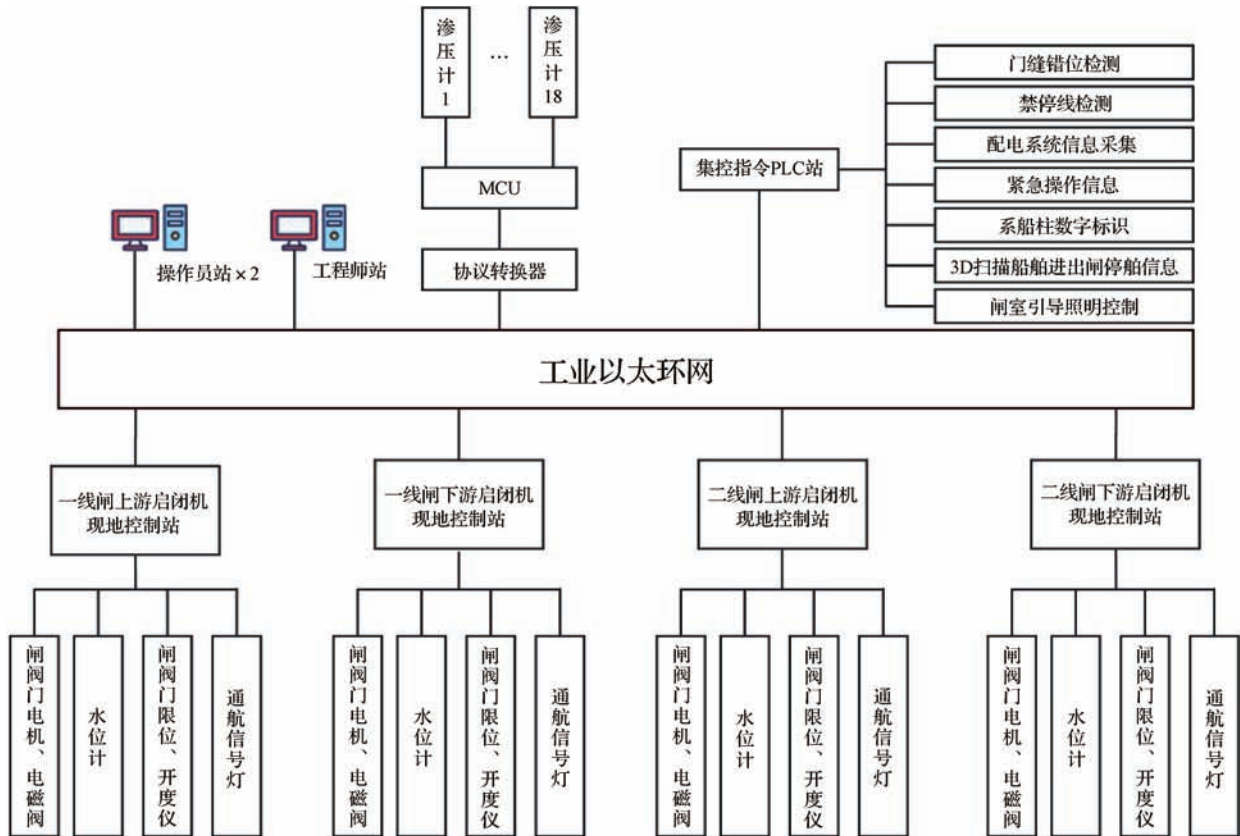


图 1 船闸监控系统

2.2 工况监测

2.2.1 闸门与液压机组工况

船闸闸门、输水闸门均安装有位移传感器，液压泵启停、压力、油温、过滤器堵塞和油位等均配套有相应传感器，这些传感器现场采集数据，通过 PLC 传至计算机。

在上闸首、闸室和下闸首三处设水位计，通过 PLC 将水位数据采集传至计算机。

2.2.2 监测系统

人字门对中视频监控：上下闸首人字闸门共配置 4 套人字门对中视频检测装置。采用视频识别、数据叠加技术，检测人字闸门对中门缝/错位信息。

水工建筑物安全监测：在闸站设置 18 处渗压计，通过渗压计专用电缆接入 MCU，这些数据接入监控系统。

2.3 工况控制

本工程的闸门监控控制系统采用以下 3 种控制方式。

2.3.1 现地常规电气控制

船闸的上下闸首、输水闸门、交通信号灯处均设有现地控制箱，可控制船闸闸门、输水闸门、交通信号灯等设备，显示闸门运行状态。常规电气控制面板

上设置现地/远程转换开关。现地控制系统独立于计算机与 PLC 工作，通过继电器控制回路实现机械互锁和现地按钮启停控制相关设备工作，即使计算机系统或 PLC 出现意外故障亦能保证设备的运转。

2.3.2 PLC 逻辑控制

通过组态软件对 PLC 编程，实现对船闸闸门、输水闸门、交通信号灯等设备的自动控制。PLC 为机架式装配，根据功能需求可扩展模块。PLC 主要配备有电源模块、CPU 模块、串口通信模块，现场总线通信模块、I/O 模块等。PLC 对水位、液压设备、闸门状态、闸门开度、交通信号灯等工况参数、供电运行参数进行采集。

2.3.3 远程控制

通过管理房内的监控工作站和操作人员使用无线手持设备远程控制船闸闸门、输水闸门、交通信号灯等设备。

2.4 系统功能

2.4.1 操作员工作站

配置 2 台操作员工作站，分别操作东西两线船闸，应急时可互为备用。安装 SCADA 组态软件运行版、船闸集中监控软件、船闸监控数据管理软件，实现双线船闸运行状态的动态显示见图 2。根据船闸运

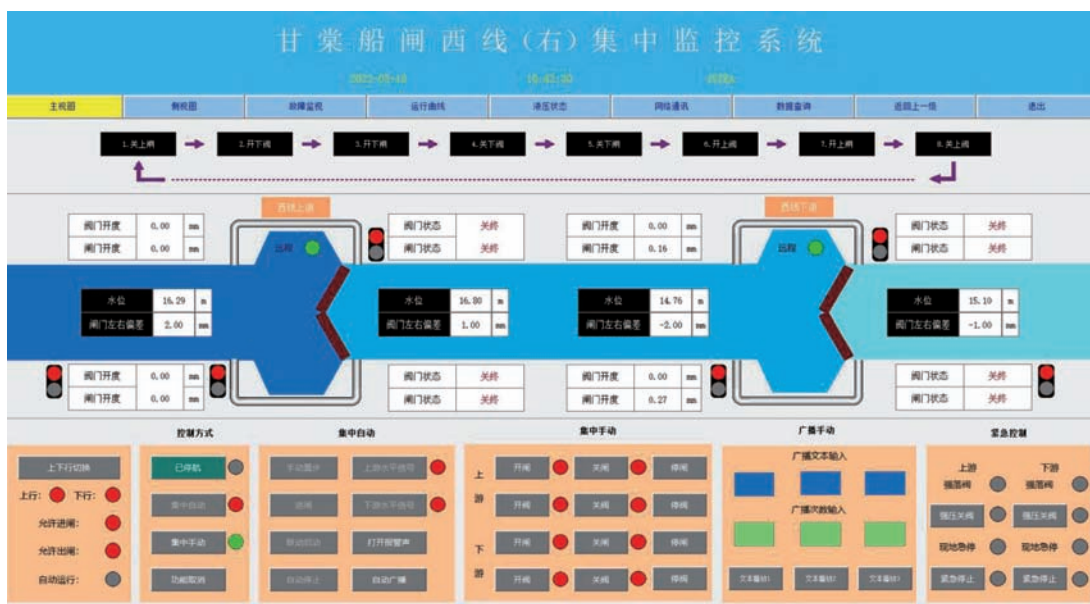


图 2 船闸集中监控系统

行流程下发集中控制指令至指令 PLC 及现地启闭机站 PLC；根据船闸运行调试成果，设置、修改、记录船闸监控运行参数；记录运行及故障实时及历史数据，向船闸运维系统提供实时及历史数据服务。

2.4.2 工程师站

配置工程师站一套，安装 PLC 编程软件、触摸屏编程软件、组态软件开发版等系统支持软件。进行 PLC 软件备份、触摸屏工程备份、组态软件工程备份。

2.4.3 微控制单元

微控制单元中测量单元设计有防浪涌保护装置，通信接口与测量单元设计有光电物理隔离，测量单元可承受 8kV 静电放电，满足《混凝土坝安全监测技术规范》（SL 601—2013）对各类仪器的测量要求^[2]。并用专用四芯屏蔽电缆将渗压传感器接入微控制单元中，将数据采集存储，通过工业以太环网，将数据集成到船闸监控子系统，实现实时监测船闸结构安全。

2.4.4 集控指令 PLC 站

配置集控指令 PLC 站一套，采集配电系统运行信息、人字门门缝对中保护信息、激光 3D 云点探测船舶进出闸信息、集中紧急操作信息、电子围栏报警信息等，实现双线船闸的上下游安全连锁保护、集中全自动指令控制、船舶出闸靠泊引导信息输出等功能。

2.4.5 启闭机现地控制站

启闭机现地控制站通过可编程逻辑控制器接收指

令，启动和关闭闸阀门电机、建立液压，通过开启相应的电磁阀去打开或关闭相应的输水门或人字门。通过在输水门或人字门上安装闸阀门限位器、开度仪，保障输水门和人字门动作到位后自动停止。在通航过程中，利用安装的水位计实时采集上游、闸室及下游水位，上行过程中让下游和闸室水位平差在 10cm 以内，控制闸阀门和通航信号灯引导游船进闸。船舶进闸后，可编程逻辑控制器控制相应的设备，让上游和闸室的水位平差在 10cm 以内，再次通过控制闸阀门和通航信号灯引导游船出闸。下行过程中的控制与上行过程相似。

3 视频广播子系统

为使工作人员能够随时了解上闸首、下闸首、上闸首停泊区、下闸首停泊区和室外管理房院内区域和机电设备的实际工作情况以及周边环境，视频联动，船闸运行过程中视频定点追踪关注部位，广播自动预告下一步动作，建立视频广播控制系统。

3.1 视频系统

视频系统由 14 套视频前端设备、2 套硬盘录像机、1 套视频工作站和 2 套大屏幕组成。工作站由高性能工作站组成，传输部分由以太网信号光端机、网线和光缆组成，视频系统见图 3。

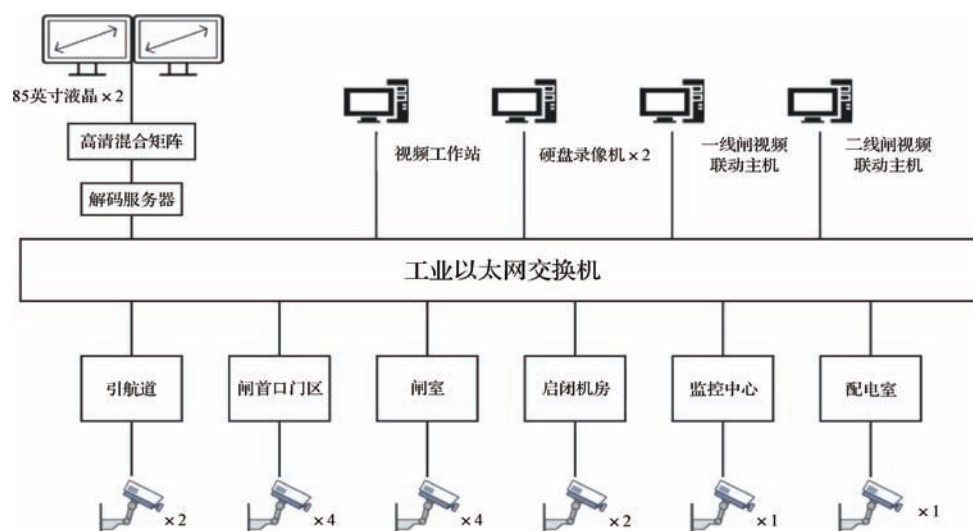


图 3 视频系统

这两线船闸各配置一套视频与控制智能联动装置，分别布置在监控中心内。视频系统与监控系统联动，实现船只过闸视频联动。当在集中控制系统对被监视设备进行操作时，视频监控画面能自动转向该设备并显示其画面，并能对重要部位设置实时监视功能，以判断船闸运转是否正常、了解现场动态，并完成船只进闸出闸操作顺序的自动随动等功能。视频子系统包括视频联动系统监控主机、网络视频录像机

NVR、4路视频解码器、高清混合矩阵等软硬件设备，可实现船只过闸视频联动，提供90天内视频回放功能。

3.2 广播系统

船闸广播系统设备包括监控主机1台、分区广播话筒1套、甚高频无线电台1套、广播14套等，广播系统见图4。

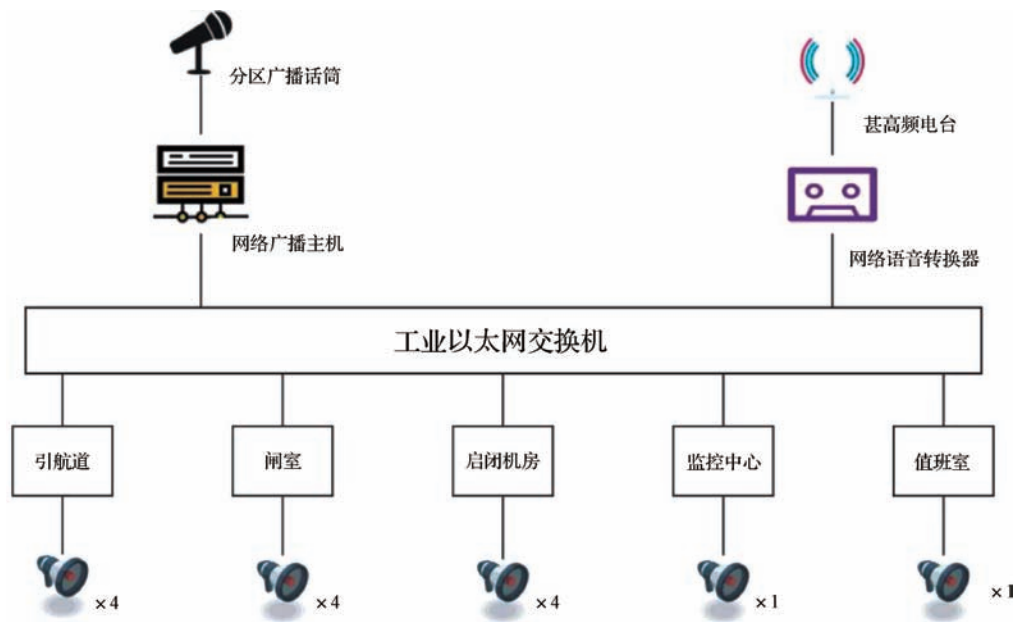


图4 广播系统

3.2.1 广播监控主机

为保证广播系统使用便捷、结构简单，协议通用性及可扩展性，在监控调度中心设置广播监控主机一套。通过视频系统的网络传输音频数据，实现对船闸的分区广播、集中广播、现地广播及紧急广播等。

3.2.2 甚高频电台

甚高频电台设置在监控中心，天线安装在监控中心楼顶，确保安全牢固及防雷。为保证船岸通信，建立管理人员与游船的甚高频无线电台通信网，实现有效区域内的即时沟通，提升船闸运行效率。电台工作频率需在当地无线电管理委员会备案并获得批准。

3.2.3 广播智能联动

根据船闸运行工艺，实现对船舶过闸引导自动分

区广播。智能调节白天及夜间广播音量。自动播报设备启动及故障报警信息。通过与甚高频无线电台通信、船舶智航终端5G通信集成，实现调度中心对船方的调度广播及对讲功能。

4 过闸引导子系统

针对旅游船闸船舶过闸等待时间短、进出闸速度快等过闸体验要求，为确保船舶快速进出闸及靠泊，采用多路径船舶过闸引导，协同配合，保障船舶过闸安全，提升过闸效率和体验。除信号灯、分区广播、甚高频无线对讲等常规引导外，过闸引导系统还采用3D激光船舶探测、进出闸智能灯光引导、靠船墩数字标识、系船柱数字标识、禁停线激光标识、LED情

报信息公告，系统构成见图 5。

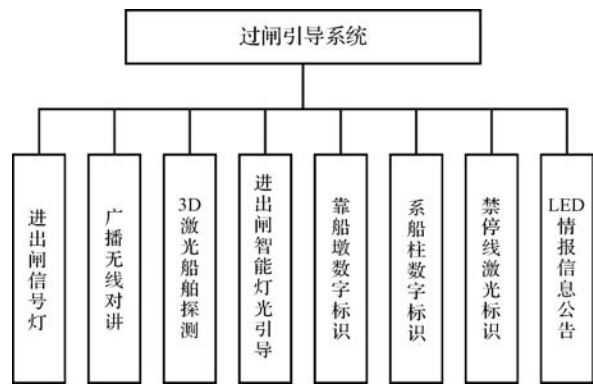


图 5 过闸引导系统

4.1 3D 激光船舶探测

在船闸上下闸口、闸室上下禁停线、中线共设置 5 套 3D 激光扫描设备，借鉴汽车无人驾驶技术，实现船舶进出闸跟踪、定位，实时动态 3D 展示船舶过闸及船闸运行过程。每线船闸配置一套 3D 激光点云专用采集处理单元，双线船闸配置 1 套船舶探测应用服务器，形成 3D 激光船闸扫描系统，系统构成见图 6。

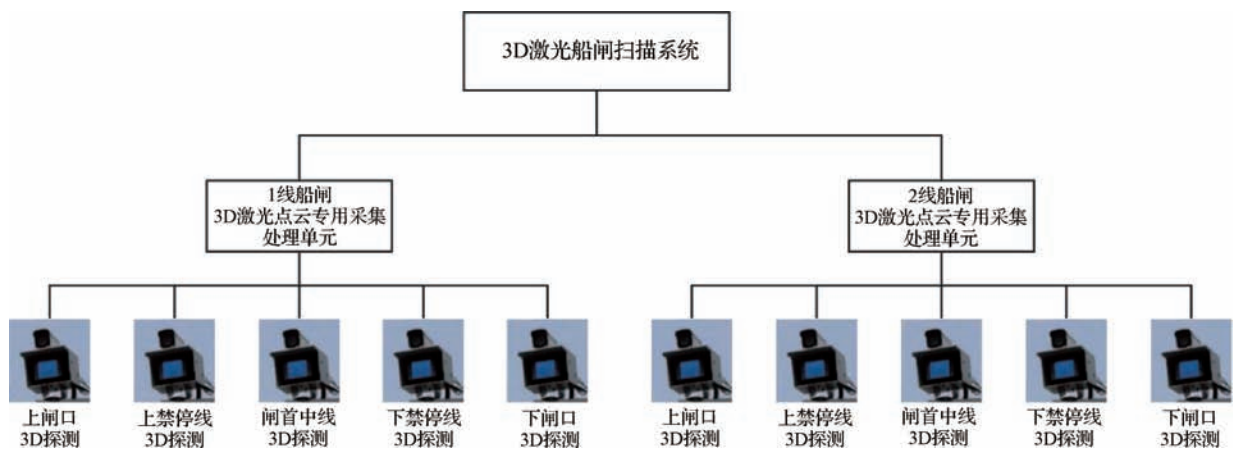


图 6 3D 激光船闸扫描系统

3D 激光船闸探测是通过激光点云技术对船闸上下游及闸室内进行多视角实时扫描，单线船闸 W 形布置的激光扫描设备，对船体进行全方位扫描，后台软件对船体进行实时高精度三维建模与渲染，还原船

只真实形状，将船只渲染后的模型等比例投放到船闸三维模型中，最终呈现于大屏数据可视化系统中，引导船舶顺利过闸，成像过程见图 7。

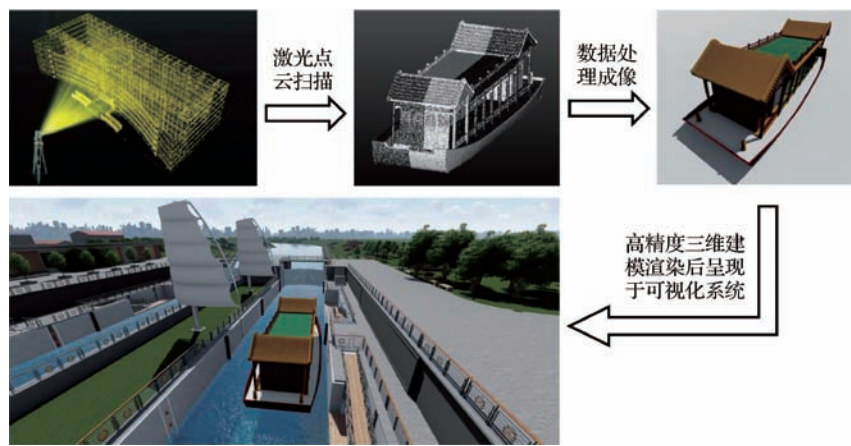


图 7 激光点云三维建模渲染

4.2 进出闸智能灯光引导

船闸水域边界设置全彩条形界限灯,单节尺寸为1000mm×50mm,材质为航空铝材、内部灌胶,钢化玻璃外罩,单节12颗LED灯珠,防护等级为IP65^[3]。通过DMX512控制总线将条形界限灯串联接入引导控制柜。船闸运行过程中,集控PLC将实施运行状态输入引导控制柜,引导控制柜根据专家预置好的灯光显示逻辑更换相应区域的灯光颜色,引导游船快速进闸、泊位、出闸,确保游船夜间安全进出船闸,见图8。



图8 智能数字标识灯光引导

4.4 禁停线激光标志

为防止游船在通行过程中被开关状态中的闸门碰撞挤压,设置肉眼可见的激光禁停线,夜间可在水面形成宽5~10mm的红色禁停线,广播系统自动提示游船头部及尾部不能越过禁停线,当游船越过禁停线时,激光禁停设备发出声光报警,船闸运行自动中止,闸门开关动作也会停止,以免发生挤压碰撞事件^[3]。

4.5 LED可变情报板

在船闸中隔墩上下游各设置一块全彩LED可变情报板,显示过闸的船舶靠船墩停靠信息、船舶进出闸次序、船舶闸室泊位信息、船闸运行信息、过闸安全提示等。

5 智慧管理平台

以第五代移动通信网络、物联网、大数据为核

4.3 靠船墩、系船钩数字标识

根据设计要求,在上下引航道两侧每个靠船墩边上设置LED数标识显示墩号,4面显示数字;规范游船有序停靠,系统通过就近的广播通知相应墩号的游船有序过闸。闸室每处系船沟边上设置系船钩数字标识^[3],游船进闸后,广播系统自动通知游船停泊在相应数字标识边上的系船沟附近并拴安全绳,确保游船准备泊位,安全过闸,提高过闸效率,增加安全保障,见图8。

心,智慧管理平台集成接入多个子系统,实现船闸运行工况全过程采集、记录、智能分析及应用。运行过程中,智慧管理平台联合调度各子系统,根据预置的船闸运行逻辑以及前端传感设备实时数据,合理输出各种运行工况,规避各种风险,实现各子系统之间的协同工作,通过工业以太网,实现局域网内的数据即时共享,全面满足船闸安全、高效智能运行,以及船舶智慧运行的运营环境。智慧管理平台见图9。

6 结论

通过监控、视频广播、过闸引导等子系统获取到大量的实时数据、控制信息、监视信息,并传输到船闸智慧管理平台,通过一体化、模块化、智能化及网络化,对船闸运行过程中进行智能化大数据分析,实现自主应对方案,为船舶、船闸、社会群体提供更细化、更精准的服务内容^[4]。北运河甘棠船闸自动化系



图9 船闸智慧管理平台

统加大船闸节能节时技术的研究力度,从技术和管理角度推动数据信息化,提高船闸管理效能,保障船闸安全高效运行。▲

参考文献

- [1] 李大可.北运河甘棠船闸建设工程初步设计报告[R].北京:北京市水利规划设计研究院,2020.

- [2] 中华人民共和国水利部.混凝土坝安全监测技术规范:SL 601—2013[S].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [3] 陈拥军,范永健.北运河甘棠与榆林庄船闸智能灯光引导系统工程应用[J].科技资讯,2022,20(3):53-55.
- [4] 张陆.智慧船闸架构模型设计[J].中国新技术新产品,2021(8):92-95.

(上接第51页)

抗压强度:1d 15MPa, 7d 30MPa;

凝结时间:20~90min 可调;

流动度:280~320mm。

5 结论与建议

用灌浆技术处理土石坝渗漏问题有许多成功经验,而用于处理类似赵山渡工程的混凝土坝体渗漏较为少见。施工过程中,进行了调整成孔工艺、在主要渗漏通道部位增加钻孔密度、改变浆液配比等一系列探索性工作,最终取得了封堵渗漏通道的成功,消除了下游结构缝的漏水,降低了闸坝的基底扬压力,满足了大坝渗流稳定要求。本研究中防渗墙的灌浆加固处理,有许多可供总结的宝贵经验,可为类似水利工程除险加固提供借鉴。▲

参考文献

- [1] 刘中伟,孙若红.抓斗混凝土防渗墙技术在水库大坝除险加固

中的运用[J].水利建设与管理,2018,38(3):19-22.

- [2] 杨峰.复杂地质结构上坝基防渗处理设计研究[J].水利建设与管理,2017,37(6):32-34,47.
- [3] 任海民,于学涛,玄鹏.水泥土防渗墙在胜利水库加固工程中的应用[J].水利建设与管理,2016,36(4):5-8.
- [4] 滕玉楠.赵山渡引水工程渡槽槽伸缩缝、细裂缝修补技术应用[J].浙江水利科技,2015,43(1):72-73.
- [5] 沈贵华.赵山渡引水工程泄洪闸防渗补强加固设计[J].水利规划与设计,2012(3):54-56.
- [6] 王育满.高喷混凝土防渗墙在复杂地层中的应用[J].浙江水利科技,2001(1):41-43,45.
- [7] 张才夫,周建.赵山渡引水工程施工阶段主要工程地质问题研究[J].水利水电技术,2001(2):16-17.
- [8] 林孝悌,郭文明.赵山渡引水枢纽工程施工综述[J].水利水电技术,2001(2):5-8.
- [9] 涂江华.油性聚氨酯化学灌浆在钢管壁间堵漏的应用研究[J].水利建设与管理,2018,38(11):63-66,75.
- [10] 王省山.隧洞淋水段施工处理措施浅析[J].水利建设与管理,2014,34(2):4-6,14.

建设与管理

浅析基于价值导向的玉龙水电站建设期 资金管理

王辨喜

(中国葛洲坝集团股份有限公司, 湖北 武汉 430000)

【摘要】 文章基于玉龙水电站建设期资金管理实践, 总结实现价值投资理念的资金管理方法, 即通过资本金出资渠道多元化, 增强项目投资价值及可融性, 市场化组建贷款银团, 降低债务资金成本, 坚持现金流滚动管理和资金预算管理, 增强投融资匹配度, 加强投资控制, 防范超概算投资风险。经过一系列举措, 玉龙水电站建设期资金管理实现了资金保障、成本控制、投资价值的统一, 为水利工程建设期资金管理提供了实践路径。

【关键词】 水电站; 特许经营; 建设期; 资金管理; 项目融资

中图分类号: F285, TV74

文献标识码: B

文章编号: 1673-8241 (2022) 07-060-07

Fund Management during Construction Period of Yulong Hydropower Station based on Value Orientation

WANG Bianxi

(China Gezhouba Group Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: The fund management method of realizing value investment idea is summarized in order to play the value creation role of fund management based on fund management practice during construction period of Yulong Hydropower Station, namely the project investment value and financing feature are enhanced through diversified capital investment channels. The cost of debt capital is decreased through market-oriented syndicated loan formation. Cash flow roll management and capital budget management are followed to enhance the matching degree of investment and financing, thereby strengthening investment control, and preventing excessive risks. Fund guarantee, cost control and investment value are unified for fund management during construction of Yulong Hydropower Station through a series of measures. Practice path is provided for fund management of water conservancy project construction period.

Key words: hydropower station; franchise; construction period; fund management; project financing

收稿日期: 2022-05-27

作者简介: 王辨喜 (1987—), 男, 本科, 会计师, 主要从事水利水电、新能源投融资及建设管理工作。

玉龙水电站位于和田地区玉龙喀什河中游河段，工程以调控生态输水、灌溉补水为主，兼顾防洪、发电等综合利用，对缓解玉龙喀什河灌区春旱缺水问题、促进南疆经济社会发展、改善下游塔里木河生态具有重要意义。玉龙水电站为Ⅱ等大（2）型工程，坝型为混凝土面板堆石坝，最大坝高233.5m，主要建筑物包括拦河坝、泄洪建筑物、水库放空冲沙建筑物、引水发电建筑物及过鱼设施等，工程建设具有高震区、高寒、高边坡、高大坝、消落深度大、河谷狭窄等“四高一深一窄”典型特征，施工总工期为96个月。根据初步设计批复结果，按照2021年一季度价格水平，玉龙水电站总投资为78.13亿元，其中建设期融资利息2.11亿元。项目采用特许经营模式实施，具体为建设—运营—移交（BOT）方式，即实施机构通过公开招标优选社会资本，由社会资本注册成立SPV公司，负责项目的投融资、设计、建设、运营维护，特许经营期满后项目设施及相关权利等无偿移交实施机构或政府指定的其他机构。

根据项目可行性研究及初步设计阶段的国民经济评价和财务评价，玉龙水电站公益属性较强，经济属性较弱，财务生存能力及还贷能力较差。对社会资本方而言，只有最大限度地发挥自身投建营一体化优势，充分利用自身的资源整合能力，获得规模优势和经验曲线，才能确保预期的投资收益目标。社会资本方的资源整合能力主要体现在设计优化能力、施工组织能力、供应链整合能力、资金管理能力等方面，这些能力角度不同、各有侧重，但目标一致，最终指向社会资本方的价值创造能力。本文从建设期资金管理的角度，采用现金流分析管理的方法，浅析玉龙水电站建设期资金管理的价值创造能力，希望对重大基础设施投资项目建设期的资金管理提供一定的实践经验。

1 融资渠道多元化

明确项目融资渠道具有重要意义。一是决定项目能否顺利并按时完成融资交割，而这往往是投资合同或者特许经营协议正式生效的条件之一；二是对项目

合规性具有决定性作用，有利于从源头上避免权益性资金出现明股实债、基金代持、结构化融资等不符合金融监管的行为，同时能够为债务融资顺利落地提供先决条件；三是能够为项目建设提供稳健的现金流，增强资金保障能力；四是为建设期资金筹集策划、现金流管理、融资成本管控奠定基础。玉龙水电站在可研阶段对融资渠道进行了初步规划，在实施方案编制阶段进一步明确了融资渠道，即中央预算内投资定额补助、社会资本方权益性资金及适量的中长期项目贷款，资金来源的多元化较好地解决了项目财务评价较差的问题，增强了项目的投资价值，为吸引社会资本参与公益性基础设施建设及减轻地方政府财政压力具有重要作用。

1.1 争取中央预算内投资定额补助

玉龙水电站所在的和田地区，地处塔克拉玛干沙漠南缘，干旱少雨，通过水利工程进行水资源优化配置是经济社会发展的刚性需求。同时，和田地区也是西部大开发的主战场及对口援疆受益区，中央投资规模较大。在玉龙水电站项目立项及可研阶段，即通过地方和兵团两个渠道积极争取中央预算内投资定额补助。鉴于项目投资规模大、公益属性强、财务评价弱，能否按计划争取到中央预算投资资金，决定着项目能否启动及建设成败。

经过多方努力，玉龙水电站项目成功争取到中央预算内投资定额补助资金，约占项目总投资的2/3，极大改善了项目的现金流及投资收益测算结果，为拓宽融资渠道、增强水利公共产品和服务供给能力奠定了坚实的基础。

1.2 中长期贷款和股东出资

在争取到中央投资专项资金后，落实剩余配套资金成为推动玉龙水电站建设面临的又一难题。解决方案包括地方政府全额配套、银行债务融资、引入社会资本等多种方式。玉龙水电站位于西部边疆地区，经济发展水平较差，地方财政对中央转移支付的依赖性较强，本级政府财务承受能力较差，无力进行资金配套。金融机构提供债务融资需要考虑本项目未来的还

款能力以及实施主体的投融资能力，玉龙水电站的收益包括发电收益和灌溉供水收益，为保证下游生产生活用水和塔里木河流域生态补水，电站采用“电调服从水调”的运行模式，金融机构全额提供配套资金面临还款保障能力低、经济评价难以过关的障碍。

为拓宽融资渠道，玉龙水电站决定采用特许经营模式引入社会资本，既解决了配套资金的问题，也增强了金融机构提供项目贷款的信心。根据投资合作协议和特许经营协议，由社会资本方负责落实配套资金，具体包括股东出资和中长期贷款，多渠道融资圆满解决了项目资金筹措难题，为项目建设提供了坚实稳定的资金保障，实现了政府、社会资本方、金融机构、受益群体的多方共赢。

1.3 创新资本金出资方式

根据中央预算内固定资产投资补助资金财务管理相关制度和基础设施项目资本金注资改革创新相关规定，玉龙水电站将项目资本金出资分为两部分，一部分是社会资本方按照不低于总投资 20% 的比例以自有资金实缴出资，另一部分是将中央预算内投资定额补助资金采用资本金注入方式予以安排，玉龙水电站资金来源构成见表 1。这种创新型组合式资本金出资方式，既满足了政府方对社会资本方出资能力的风险控制要求，也大大提高了资本金比例，对确保项目资金安全和增强融资能力发挥了重要作用。

表 1 玉龙水电站融资渠道明细

| 序 号 | 融资渠道 | 投资占比/% |
|-----|-------------|--------|
| 1 | 资本金 | 86.69 |
| 1.1 | 中央预算内投资定额补助 | 66.48 |
| 1.2 | 社会资本方直接出资 | 20.21 |
| 2 | 金融机构中长期贷款 | 13.31 |
| 合 计 | | 100 |

2 降低项目贷款成本

融资渠道落实后，合理降低债务融资成本是项目价值管理的关键。短期周转贷款具有成本低、融资速度快、条件灵活的特点，但是融资金额小、期限短、

衔接风险大。中长期项目贷款融资金额大、贷款期限长，同时具有资金成本高、融资条件苛刻、融资谈判时间长等缺点。玉龙水电站在筹建期，结合投资强度和资金需求，在稳步推进中长期项目贷款落地生效的同时，合理提取短期贷款，不仅降低了整体借款利率，也为优化长期贷款融资方案争取了时间。

2.1 合理利用短期贷款

玉龙水电站筹建期短，筹建期投资强度大，资金需求高。项目启动后，项目公司积极与金融机构沟通，争取金融机构给予重点项目前期贷款支持。经过积极推介，共有四家金融机构在规定的时间内获得短期贷款批复，最低利率报价为 LPR1Y-80BP，同项目决策利率相比大幅度降低，项目公司结合利率、抵押、置换、期限、服务等维度综合确定了合作金融机构和提款额度，为筹建期提供了坚实的资金保障。

对于合作期限较长尤其是建设期长的特许经营项目来说，利用短期贷款既不是金额越大越好，也不是期限越长越好，要结合短期贷款的特点，注重突出“合理性”。要关注金融市场的周期性，在市场利率下行或上行的动态变化中考虑短期利益和长期利益的平衡；要关注短期贷款的可置换性，部分金融机构要求长期贷款放款前需结清存量前期贷款或者限制在行内置换，可能给后期项目贷款带来一定阻碍；要重视财务风险和资金成本的平衡，短期贷款利率低、期限短，对于无现金流入的建设期项目，应统筹考虑到期还款事宜，避免财务风险和信用风险。

2.2 降低中长期贷款成本

中长期项目贷款是降低全周期融资成本最直接、最关键的因素，是合理利用财务杠杆提高投资收益的重要手段。玉龙水电站在保障资金需求、降低融资成本、确保审批时效、优化贷后服务总目标的基础上，按照介入再早一点、方案再优一点、竞争再充分一点、利率再压降一点、银企合作再充分一点的“五个一点”方法，前后利用近一年的时间，推动项目融资顺利交割，在社会资本方未提供流动性和还款担保，仅以项目自身运营收益为质押条件的情况下，取得

LPR5Y-130BP 的贷款利率和 10 年的宽限期。经测算,在其他决策边界条件不变的情况下,项目贷款利率因素可推高资本金内部收益率 1.37%,发挥了较大的价值创造作用。

2.2.1 提前介入项目融资工作

依法合规的商业模式设计是确保融资顺利交割的前提条件,如项目融资人员能在项目立项、模式合计、投资方案确定等阶段提前介入,往往能获得事半功倍的效果。在玉龙水电站特许经营项目社会资本方采购阶段,财务人员主动和属地金融机构进行推介沟通,获取多家金融机构的贷款支持函,不仅满足了投标要求,也为融资工作无缝衔接打下了基础。项目启动后,项目公司根据前期推介结果,迅速组织各大金融机构进行正式融资谈判,金融机构能够根据前期对项目的跟进情况快速启动授信审批,从而节约了大量的沟通成本和时间成本。

2.2.2 提高资本金比例,增强可融性

玉龙水电站财务评价较差的特点不利于金融机构授信评估,也给项目融资落地带来了不确定性。增强可融性的方法之一是提高权益融资额度从而降低债务融资金额,通过优化资本结构增强债权人的预期;方法之二是提高运营期的水价和电价,通过改善运行期收益增强还款保障能力。玉龙水电站作为特许经营项目,水价和电价系招标条件之一,改善空间不大。按照传统基础设施融资方式,水利项目的资本金比例为

20%,差额由银行贷款配套。玉龙水电站项目争取到部分中央预算内投资定额补助,根据国家新出台的资本金出资制度、吸引社会资本参加基础设施建设、发挥财政资金投资拉动作用等一系列鼓励制度,中央预算内投资定额补助资金可以采用资本金注入的方式进行安排。基于此,玉龙水电站将争取到的中央财政资金作为项目资本金的来源之一,配套社会资本方出资,整体资本金出资比例达到 86.69%,对金融机构投放贷款极具吸引力,扫清了项目融资障碍,增强了议价能力。

2.2.3 竞争性与公平性相统一

在基础资产优良、项目可融性强、企业融资能力强的前提下,选定项目合作金融机构是一次公开公平公正的市场行为。增强金融机构之间的竞争性,有利于项目获取较低的利率及其他融资条件。确保项目融资对各金融主体一视同仁,有利于企业牢牢把握融资主动权和维持正常市场秩序,最终有利于融资工作的顺利开展。玉龙水电站在正式启动融资工作前制定了融资工作推进方案,明确了考核维度及权重、主要时间节点、准入条件等要素,并以书面邀请函的形式发送至各金融机构,在推进过程中,严格按照融资方案执行,保证竞争性和公平性的有效统一,获得了良好的融资条件,建立了良好的银企合作关系,为建设期资金调度和管理奠定了基础。基于玉龙水电站债务融资实践的中长期项目贷款银团份额确定模型见表 2。

表 2 中长期项目贷款银团份额确定模型

| 考核维度及权重 | 流贷支持 (A) | 批复时间 (B) | 批复金额 (C) | 批复利率 (D) | 是否牵头 (E) | 措施增信 (F) | 贷后服务 (G) | 合计 (H) | 贷款需求额度 (K) |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|--------------------|
| | 10% | 5% | 20% | 30% | 5% | 10% | 20% | 100% | 份额确定结果 (M) |
| 银行 1 | A1 | B1 | C1 | D1 | E1 | F1 | G1 | H1 | $M1 = H1 \times K$ |
| 银行 2 | A2 | B2 | C2 | D2 | E2 | F2 | G2 | H2 | $M2 = H2 \times K$ |
| 银行 3 | A3 | B3 | C3 | D3 | E3 | F3 | G3 | H3 | $M3 = H3 \times K$ |
| 银行 4 | A4 | B4 | C4 | D4 | E4 | F4 | G4 | H4 | $M4 = H4 \times K$ |
| 银行 5 | A5 | B5 | C5 | D5 | E5 | F5 | G5 | H5 | $M5 = H5 \times K$ |
| 银行 6 | A6 | B6 | C6 | D6 | E6 | F6 | G6 | H6 | $M6 = H6 \times K$ |
| 合 计 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | K |

注 1. $H1 = A1 \times 10\% + B1 \times 5\% + C1 \times 20\% + D1 \times 30\% + E1 \times 5\% + F1 \times 10\% + G1 \times 20\%$, $H2$ 、 $H3$ 、 $H4$ 、 $H5$ 、 $H6$ 以此类推;

2. 表中考核维度及其权重可根据金融市场状况及融资控制目标进行动态调整。

2.2.4 利用政策机遇

政府特定时期出台的产业调控政策、区域振兴计划、财政政策和货币政策为特定时期的项目投资带来了机遇。玉龙水电站属于清洁能源项目，对促进实施“碳达峰、碳中和”战略具有重要意义，是金融机构践行国家战略、发放项目贷款的优选项目。项目地处西部偏远地区，是推进西部大开发、加快脱贫攻坚和对口援助的主战场，对投资政策、融资条件、金融机构主动性均有一定程度的倾斜，为降低融资成本提供了客观条件。为发挥投资拉动作用，构建国内国际双循环相互促进的新发展格局，一段时期内的财政政策和货币政策较为积极，利率下行预期较高，整体金融市场有利于项目融资，为玉龙水电站提供了良好的融资环境。

3 全过程现金流管理

现金流管理是项目投资管理的关键，是投资收益管理的起点和终点，即资金支出以全周期现金流预算为基础，而项目投资收益最终通过现金净流量实现。现金流管理的目标是最大限度地实现投融资匹配，减少资金沉淀，加快资金周转，充分挖掘资金使用的效率和效益。现金流管理的方法是资金预算管理，即提高预算编制的科学性、准确性，确保预算执行的刚性，增强预算考核的严肃性。

3.1 现金流滚动测算

为准确预测建设期各年度资金需求，合理安排权益资金的注资时点，明确债务资金的提款计划，在项目启动前，财务部门综合分析年度投资计划、主要合同支付计划、关键里程碑节点计划、流动资金安排计划，牵头编制了玉龙水电站建设期现金流量表，并组织工程建设、商务管理、物资管理等职能部门进行了集中研讨，通过公司治理程序予以固化，成为建设期项目管理的重要控制手段。随着建设期推进，财务部门每年度根据实际情况对现金流量表进行调整修正，形成滚动的现金流量表。现金流量表的作用体现在，形成建设期资金需求的波动曲线，资金需求高峰期、

低谷期、稳定期一目了然，为合理安排筹资提供前提条件，有利于投融资平衡，节约融资成本，实现投资收益，玉龙水电站建设期资金需求波动变化见图1。现金流量表也是建设期投资管理评价的手段之一，通过编制现金流量表能够发现项目管理的价值链，通过年度对比分析，能够发现投资管理的价值洼地，为优化管理提供发力点。

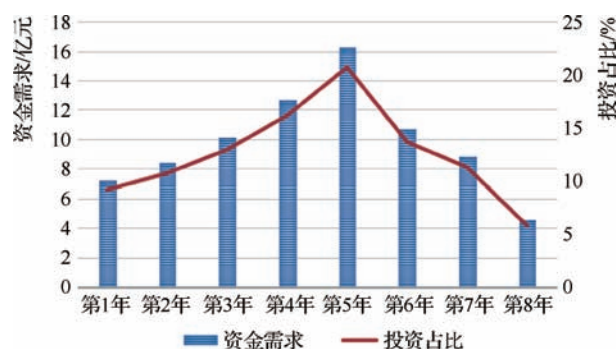


图1 玉龙水电站建设期年度资金需求

3.2 资金预算与计划

财务部门在建设期现金流量表的基础上，编制年度资金预算，形成月度资金收支计划，为年度资金管理提供依据。在年度期间内，还可根据管理需要编制具体的季度资金计划和月度资金计划。季度资金计划有利于提前规划资本金注资时点和债务资金提款时点，为履行注资和提款程序预留时间，同时能够促使业务部门在编制资金计划时更加审慎，能够有效提高资金计划的执行率，减少资金浪费。月度资金计划要体现精细化管理需要，各类支出要精确到具体的支出项目，实现“凡支出有预算、无计划不支出”的管理目标。每月末，项目公司组织召开资金管理会议，审议下期资金计划，通报上期资金计划执行情况，并根据公司的管理制度进行考核评价。通过预算控制和计划管理，玉龙水电站建设期形成了“人人重视预算，事事维护计划”的管理文化，为资金价值管理营造了良好氛围。

4 资金使用管理

优化资本结构、控制债务融资成本是项目价值管

理的基本前提,保证投融匹配、加强现金流管理是项目价值管理的基本方法,建设期资金使用是项目价值管理的基本环节。资金使用环节是确保现金流管理方法论落地见效的终极载体,是进一步降低融资成本的关键性业务活动。玉龙水电站项目公司从责任、制度、投资、监管、供应链、关键环节等方面加强建设期资金管理,实现了资金保障和成本控制的统一。

4.1 明确责任主体,健全管理制度

项目法人责任制是水利工程项目管理的基本制度之一,明确规定项目法人对工程建设质量、安全、进度和资金使用负首要责任,项目法人需负责编制、审核年度建设计划和资金预算,落实工程建设资金,完成年度建设任务和投资计划,依法依规管理和使用建设资金。玉龙水电站项目公司为依法履行资金使用管理人主体责任,组织制定了《全面预算管理办法》《项目建设资金管理办法》《工程结算管理办法》《管理经费预算及核销管理办法》等系列管理制度,明确了岗位职责、预算和计划规定、结算和支付流程、经费管理要求,形成了“主要领导负责,总会计师分管,业务领导会签,业务部门申报,会计、出纳各司其职”的资金管理制度体系,为刚性执行资金预算、依法合规办理支付确立了制度基础。

4.2 加强投资控制

投资控制管理与资金管理相辅相成,项目实际现金流是投资控制结果的具体体现,对确保投资收益、实现投资价值具有决定性作用。确保投资不超概算是投资控制的基本目标,要以概算构成为基础,细化控制目标,识别评估投资控制风险,形成投资控制总体方案和具体方案。设计是龙头,要发挥设计优化和设计变更的重要作用,在满足功能的前提下优化方案,节约投资。在控制过程中,要确保“支出必在概算内,特殊支出有来源”,即在审核投资支出时要明确概算来源,特殊支出要通过相关程序明确处理方案,如通过招标结余平衡、动用预备费等。建立投资回头看和投资分析会制度,通过月度、季度和年度投资分

析会,分析投资控制的总体态势,明确节约点、出血点和下一步工作的关键点,通过定期和随机的投资回头看方式,将投资实际情况与决策边界进行对比分析,从定性和定量的角度明确边界条件变化对投资收益的影响,及时纠偏,确保总体收益。

4.3 突出关键环节资金保障

玉龙水电站把工程截流、坝体填筑到顶、机电设备采购、机组发电作为主要节点,并针对这些关键点做了专项资金保障方案,提前筹划资金来源,严格按照合同支付条款办理工程款和设备款支付。同时对农民工工资、火工材料、交通运输等社会影响大、容易导致窝工损失的款项优先保证支付。玉龙水电站建设期间,没有发生因资金支付滞后导致的停工、窝工,为工程按计划推进发挥了巨大作用。

4.4 严格供应商资金监管

供应商资金监管是建设项目资金管理的重要方面,尤其是对施工方的资金监管更是极为必要。作为项目法人,既要保证建设资金按照合同条款及时拨付,也要防止供应商挪用资金、违规担保、恶意拖欠、投资理财等各类违规行为,确保建设资金专款专用、闭环管理。为加强供应商资金监管,项目公司在各类施工合同中明确规定,施工方要在项目所在地开立三方监管账户,签订资金监管协议,明确监管措施,要求供应商按月提供资金使用计划,编制资金流向图,严格执行民工工资代发制度和材料物资月度核销制度。同时,项目公司每季度组织开展建设资金使用专项检查,对违规情况进行通报,并采取暂停支付、代为支付等措施,将建设资金管理作为供应商履约考核的重要组成部分。通过一系列严格的监管措施,保证了建设资金的安全和有序使用,使落实资金管理筹划方案、实现融资成本控制目标成为可能。

5 有关资金管理的思考

结合玉龙水电站建设期资金管理实践,得到以下几点总结和思考。一是坚持价值导向,在保障资金需

求的基础上,重视资金的时间价值,严格控制和节约融资成本,既要考虑股东权益资金的成本,也要控制债务资金的成本,聚焦预算管理、现金流管理,助力提升投资收益率。二是注重发挥项目公司股东投融资能力和资信实力,SPV公司虽然实现了社会资本方同项目本身建设运营风险的法律隔离,但金融机构在融资过程中仍然极为关注SPV公司股东尤其是控股股东的投建能力和资信,部分项目甚至要求股东出具担保函或承诺函,项目公司要善于利用自身行业地位和资信优势,化被动为主动,争取获得优质融资方案,如利率低、担保条件好、资金使用灵活、贷后服务优等方案。三是树立全生命周期现金流管理理念,将建设期和运营期资金管理一体筹划,例如在确定长期贷款的还款计划时要结合运营期的预期收益实现情况和股东收益回收需要,在和金融机构进行融资谈判时要关注收益分配和资金管理的限制性条款。四是合理利用供应链融资降低融资成本,供应链融资具有成本低、方式多样的特点,建设期可以结合实际需求和项目特点采用融资租赁、票据、保理等方式进一步降低融资成本,在开展供应链融资过程中,需满足法律合规性要求,重点关注项目贷款融资银行关于周转贷款和同业融资的限制性条款。五是关注税收优惠对改善现金流的作用,融资建设项目建设期会出现大量的增值税进项留抵,导致资金沉淀和浪费,可结合增值

(上接第14页)

4 改造后效果分析

淮安抽水一站技术供水系统改造于2020年4月8日,调试结束后投入运行。

经过一段时间开机运行,发现推力瓦温度有明显降低,往年4月份开机运行时,推力瓦温度在45℃左右,改为空冷机循环供水后,同一台机组的推力瓦温度在37℃左右,且油缸温度、导瓦温度也有不同程度的降低,现在可控制每台机组进水压力、流量、温度,没有发生过管道堵塞等现象,循环水系统运行情

况良好,达到了良好的降温效果。淮安抽水一站技术供水系统改造后,上下油缸、轴瓦等降温效果明显,系统运行稳定,为今后泵站机组的安全运行提供了保障。▲

参考文献

- [1] 张军红.持续发力精细落实推动预算绩效在水利建设与管理中全面实施[J].水利建设与管理,2021(1):65-68.
- [2] 李琳湘.浅析水利PPP项目实施机构如何加强项目建设期风险管控[J].水利建设与管理,2021(9):71-73.
- [3] 杨宗兵.浅析水利基建项目财务管理中的问题与对策[J].中国集体经济,2019(33):138-139.
- [4] 张建萍,赵博,薄慧.水利财政预算资金绩效管理研究[J].时代金融,2016(32):171-174.
- [5] 孔蓉.提高水电厂财务管理效率的策略研究[J].营销界,2019(38):236-237.
- [6] 李香云,罗琳,王亚杰.水利项目PPP模式实施现状、问题与对策建议[J].水利经济,2019(5):27-30.
- [7] 翟伟峰,董红元,肖峰.水利工程PPP建设模式浅析[J].水利建设与管理,2017(10):77-80.
- [8] 汪钰博,王远明.水利工程特许经营项目投融资模式创[J].黑龙江水利科技,2021(5):1-4.
- [9] 马超,袁晓奇.社会资本参与水利建设的典型模式及操作要点[J].水利经济,2016(6):5-8.
- [10] 黄红寅.探讨水利项目工程建设资金管理及使用[J].纳税,2019(22):296.
- [11] 张明岗.新形势下财务体系建设和资金管理的探讨[J].国际商务财会,2021(12):33-36.

况良好,达到了良好的降温效果。淮安抽水一站技术供水系统改造后,上下油缸、轴瓦等降温效果明显,系统运行稳定,为今后泵站机组的安全运行提供了保障。▲

参考文献

- [1] 王琴.江苏某汽车厂循环冷却水系统设计[J].山西建筑,2020,46(1):113-114.
- [2] 杨海鹏,王彧斐,冯霄.采用双供水回路的循环水系统改造[J].计算机与应用化学,2018,35(4):259-268.
- [3] 袁凤友,程森.刘老涧抽水站机组冷却供水系统技术分析与改造[J].江苏水利,2009(12):36-37.

水利大讲堂

水利通信工程项目划分与示例

1 项目划分程序

- 1. 工程项目划分应由项目法人组织监理、设计及施工等单位确定。项目法人应在主体工程开工前将项目划分书面报告报工程上级主管单位核备。
- 2. 工程实施过程中，需对单位工程、分部工程的项目划分进行调整时，项目法人应将项目划分调整的书面报告重新报工程上级主管单位核备。

2 项目划分原则

- 1. 工程项目划分应根据工程设计、施工部署及施工合同要求确定，划分结果应有利于保证工程质量及工程质量管理。
- 2. 水利通信工程质量评定应将独立立项的通信工程项目划分为单位工程、分部工程、单元工程。项目划分应与施工合同相协调，每份合同工程应划分为完整的单位工程、分部工程或单元工程。
- 3. 水利工程建设中配套通信工程的项目划分可结合水利工程项目划分，根据配套通信工程组成将其划分为单位工程或分部工程。
- 4. 单位工程应按通信类别或独立应用系统划分。单位工程可分为卫星工程、微波工程、一点多址工程、短波、超短波工程、光通信工程、接入工程、固定电话交换设备工程、供电系统工程、视频监控系统工程、机房动力环境监控系统工程、视频会议系统工程、附属设施工程等。
- 5. 分部工程应根据项目特点，结合单位工程的主要组成部分及功能，按一个完整部分或一个独立施工阶段划分。

- 6. 单元工程应依据工程组成或质量考核要求划分。
- 3 项目划分示例
- 水利通信工程项目划分相关示例见 SL/T 694—2021 附录 A。

附录 A 水利通信工程项目划分示例

表 A-1 新建程控交换机（单站工程）工程项目划分

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|---------------|-----------|------|-----------|
| × × 新建程控交换机工程 | 新建程控交换机工程 | 机房改造 | 空调安装 |
| | | | 地面处理 |
| | | | 墙面处理 |
| | | | 防静电地板安装 |
| | | 机房环境 | 烟雾报警装置 |
| | | | 火警报警装置 |
| | | | 水浸报警装置 |
| | | | 图像监控 |
| | | 电缆安装 | 电缆槽道安装 |
| | | | 交流电源线安装 |
| | | | 直流电源线安装 |
| | | | 信号线安装 |
| | | | 配线架配线 |
| | | | 地线安装 |
| | | 设备安装 | 配线架安装 |
| | | | 开关电源安装 |
| | | | 蓄电池架安装 |
| | | | 蓄电池安装 |
| | | | 程控交换机机架安装 |
| | | | 设备模块安装 |
| | | | 话务台安装 |
| | | | 计费设备安装 |

续表

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|---------------|-----------|------|---------|
| × × 新建程控交换机工程 | 新建程控交换机工程 | 系统测试 | 主备用系统切换 |
| | | | 计费系统 |
| | | | 电话业务 |
| | | | 话务台 |
| | | | 告警功能 |
| | | | 操作系统 |
| | | | 维护终端 |
| | | | 线 路 |
| | | | 接地电阻 |
| | | | 蓄电池充电 |
| | | | 蓄电池放电 |

注 1：单元工程和分部工程的划分要根据本工程所涉及的项目进行划分。

注 2：× × 新建程控交换机单位工程由 5 个分部工程（机房改造、机房环境、电缆安装、设备安装和系统测试）组成。

表 A-2 新建微波通信系统（多站工程）工程项目划分

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|----------------|---------|--------------|----------|
| × × 新建微波通信系统工程 | 新建微波站 1 | 机房改造 | 空调安装 |
| | | | 地面处理 |
| | | | 墙面处理 |
| | | | 防静电地板安装 |
| | | 机房环境 | 烟雾报警装置 |
| | | | 火警报警装置 |
| | | | 水浸报警装置 |
| | | | 图像监控 |
| | | 电缆安装 | 电缆槽道安装 |
| | | | 交流电源线安装 |
| | | | 直流电源线安装 |
| | | | 信号线安装 |
| | | | 地线安装 |
| | | 天馈（波导或中频缆）安装 | 天线拼装 |
| | | | 天线起吊 |
| | | | 天线安装 |
| | | | 馈线安装 |
| | | | 馈线接地与防水 |
| | | | 设备室外单元安装 |
| | | | 室外单元接地 |
| | | 设备安装 | 开关电源安装 |
| | | | 蓄电池架安装 |

续表

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|----------------|---------|----------|------------|
| × × 新建微波通信系统工程 | 新建微波站 1 | 设备安装 | 蓄电池安装 |
| | | | 微波设备机架安装 |
| | | | 设备模块安装 |
| | | | 充气机安装 |
| | | 设备测试 | 设备切换 |
| | | | 告警功能 |
| | | | 监测功能 |
| | | | 通信接口 |
| | | | 蓄电池充电 |
| | | | 蓄电池放电 |
| | | | 驻波比 a |
| | | | 接地电阻 |
| | | 系统调测 | 天线对调 |
| | | | 接收电平 |
| | | | 发射电平 |
| | | | 系统误码率 |
| | | 铁 塔 | 基础开挖 |
| | | | 混凝土浇筑 |
| | | | 混凝土养护 |
| | | | 地脚螺栓预埋 |
| | | | 地网预埋 |
| | | | 基础回填 |
| | | | 铁塔安装 |
| | | | 削雷器或避雷针安装 |
| | | | 铁塔垂直度测试 |
| | | | 围墙基础混凝土浇筑 |
| | | | 围墙护栏安装 |
| | | | 围墙护栏门安装 |
| | | | 围墙内地的混凝土浇筑 |
| | 新建微波站 2 | 同新建微波站 1 | 同新建微波站 1 |
| | 新建微波站 N | 同新建微波站 1 | 同新建微波站 1 |

注 1：单元工程和分部工程的划分宜根据本工程所涉及的项目进行划分。

注 2：新建微波站 1 单位工程由 8 个分部工程〔机房改造、机房环境、电缆安装、天馈（波导或中频缆）安装、设备安装、设备测试、系统调测和铁塔〕组成。

注 3：× × 新建微波通信系统工程项目由若干个单位工程组成。

a：除采用中频电缆外均要进行驻波比测试。

表 A-3 水利工程建设中配套通信工程（单站工程）

工程项目划分

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|--------------------------------|-----------|-------|-----------|
| ××水利工程建设中配套通信工程新建程控交换机工程（单站工程） | 新建程控交换机工程 | 机房改造 | 空调安装 |
| | | | 地面处理 |
| | | | 墙面处理 |
| | | | 防静电地板安装 |
| | | 机房环境 | 烟雾报警装置 |
| | | | 火警报警装置 |
| | | | 水浸报警装置 |
| | | | 图像监控 |
| | | 电缆安装 | 电缆槽道安装 |
| | | | 交流电源线安装 |
| | | | 直流电源线安装 |
| | | | 信号线安装 |
| | | | 配线架配线 |
| | | | 地线安装 |
| | | 设备安装 | 配线架安装 |
| | | | 开关电源安装 |
| | | | 蓄电池架安装 |
| | | | 蓄电池安装 |
| | | | 程控交换机机架安装 |
| | | | 设备模块安装 |
| | | | 话务台安装 |
| | | | 计费设备安装 |
| | | 调试与测试 | 主备用系统切换 |
| | | | 计费系统 |
| | | | 电话业务 |
| | | | 话务台 |
| | | | 告警功能 |
| | | | 操作系统 |
| | | | 维护终端 |
| | | | 线路 |
| | | | 接地电阻 |
| | | | 蓄电池充电 |
| | | | 蓄电池放电 |

注 1：单元工程和分部工程的划分根据本工程所涉及的项目进行划分。

注 2：××新建程控交换机单位工程由 5 个分部工程（机房改造、机房环境、电缆安装、设备安装和调试与测试）组成。

注 3：新建程控交换机工程项目可作为 ××水利建设工程项目的一个单位工程。

表 A-4 水利工程建设中配套通信工程（多站工程）

工程项目划分

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|---------------------------------|---------|--------------|----------|
| ××水利工程建设中配套通信工程新建微波通信系统工程（多站工程） | 新建微波站 1 | 机房改造 | 空调安装 |
| | | | 地面处理 |
| | | | 墙面处理 |
| | | | 防静电地板安装 |
| | | 机房环境 | 烟雾报警装置 |
| | | | 火警报警装置 |
| | | | 水浸报警装置 |
| | | | 图像监控 |
| | | 电缆安装 | 电缆槽道安装 |
| | | | 交流电源线安装 |
| | | | 直流电源线安装 |
| | | | 信号线安装 |
| | | | 地线安装 |
| | | 天馈（波导或中频缆）安装 | 天线拼装 |
| | | | 天线起吊 |
| | | | 天线安装 |
| | | | 馈线安装 |
| | | | 馈线接地与防水 |
| | | | 设备室外单元安装 |
| | | | 室外单元接地 |
| | | 设备安装 | 开关电源安装 |
| | | | 蓄电池架安装 |
| | | | 蓄电池安装 |
| | | | 微波设备机架安装 |
| | | | 设备模块安装 |
| | | | 充气机安装 |
| | | 设备测试 | 设备切换 |
| | | | 告警功能 |
| | | | 监测功能 |
| | | | 通信接口 |
| | | | 蓄电池充电 |
| | | | 蓄电池放电 |
| | | | 驻波比 a |
| | | | 接地电阻 |
| | | 系统调测 | 天线对调 |
| | | | 接收电平 |
| | | | 发射电平 |
| | | | 系统误码率 |

续表

| 工程项目名称 | 单位工程 | 分部工程 | 单元工程 |
|---------------------------------|---------|----------|------------|
| ××水利工程建设中配套通信工程新建微波通信系统工程（多站工程） | 新建微波站 1 | 铁 塔 | 基础开挖 |
| | | | 混凝土浇筑 |
| | | | 混凝土养护 |
| | | | 地脚螺栓预埋 |
| | | | 地网预埋 |
| | | | 基础回填 |
| | | | 铁塔安装 |
| | | | 削雷器或避雷针安装 |
| | | | 铁塔垂直度测试 |
| | | | 围墙基础混凝土浇筑 |
| | | | 围墙护栏安装 |
| | | | 围墙护栏门安装 |
| | | | 围墙内地的混凝土浇筑 |
| | 新建微波站 2 | 同新建微波站 1 | 同新建微波站 1 |
| | ... | 同新建微波站 1 | 同新建微波站 1 |
| | 新建微波站 N | 同新建微波站 1 | 同新建微波站 1 |

注 1：单元工程和分部工程的划分根据本工程所涉及的项目进行划分。

注 2：新建微波站 1 单位工程由 8 个分部工程〔机房改造、机房环境、电缆安装、天馈（波导或中频缆）安装、设备安装、设备测试、系统调测和铁塔〕组成。

注 3：新建微波通信系统工程项目可作为××水利工程建设工程项目的单位工程。

a：除采用中频电缆外均要进行驻波比测试。

（来源：水利工程资料管理）

（上接第 46 页）坝水库 5 年的实测变形资料，通过过程线、特征值、分布图、沉降速率等简捷、直观方法，探究土坝变形规律，揭示其变形特性及安全状态，对大型水利工程具有一定借鉴意义。▲

参考文献

- [1] 湖北省富水水库管理局. 富水水库大坝安全监测整编资料 [G]. 黄石: 富水水库管理局, 2019.
- [2] 胡焕发, 庞琼, 王宏, 等. 湖北富水水库大坝渗流监测资料分析 [J]. 中国水利, 2018(14): 56-62.
- [3] 王士军, 段祥宝. 富水水库大坝渗流安全评价 [J]. 水利水电工程学报, 2002(3): 21-26.
- [4] 李红连, 黄丁发, 陈宪东. 大坝变形监测的研究现状与发展趋势 [J]. 中国农村水利水电, 2006(2): 89-93.
- [5] 赵志仁, 徐锐. 国内外大坝安全监测技术发展现状与展望 [J]. 水电自动化与大坝监测, 2010, 34(5): 52-57.
- [6] 张秀丽, 杨泽如. 水工设计手册: 水工安全监测 [M]. 北京: 水利水电出版社, 2013.
- [7] 王健, 王士军. 全国水库大坝安全监测现状调研与对策思考 [J]. 中国水利, 2018(20): 15-19.
- [8] 周启, 谭界雄, 高全, 等. 大坝安全监测资料分析报告自动生成系统 [J]. 人民长江, 2019, 50(1): 215-219.
- [9] 中华人民共和国水利部. 土石坝安全监测技术规范: SL 551—2012 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [10] 王乙春. 浅谈定期变形监测对大坝的重要性 [J]. 东华理工大学学报, 2016, 39(S1): 40-41.
- [11] 贾飞, 雷栋, 付晓敏. 大坝变形监测资料分析研究——以蜀河水电站为例 [J]. 人民长江, 51(S2): 334-336.