

中型灌区渡槽难点攻克与整体改造技术路径

徐荣俊

武义县国水水资源管理有限公司, 中国·浙江 金华 321200

摘要: 本文针对中型灌区渡槽长期运行后普遍存在的结构安全隐患、输水效率衰减、配套设施老化及生态适配性不足等核心难点, 以源口水库灌区乌溪渡槽为研究对象, 通过现场检测、数值模拟与工程实践相结合的方法, 系统分析了渡槽结构损伤与效能下降的成因机制。基于“安全优先、效能提升、绿色低碳、经济可行”原则, 构建了“诊断评估-难点攻克-技术集成-施工管控-长效运维”的全流程改造技术路径, 重点突破了老旧渡槽结构加固、输水系统优化、生态友好型改造及智能监测体系构建等关键技术难题。改造实践验证了该技术路径的科学性与可行性, 实现了渡槽结构安全、输水效能与生态适配性的全面提升, 与灌区现代化建设模式形成良性互补, 为同类中型灌区渡槽的更新改造提供了可复制、可推广的技术范式与工程参考。

关键词: 中型灌区渡槽; 难点攻克; 整体改造技术; 路径

Difficulty Overcoming and Overall Renovation Technical Path for Medium-Sized Irrigation District Aqueducts

Xu Rongjun

Wuyi County Guoshui Water Resources Management Co., Ltd., China Zhejiang Jinhua 321200

Abstract: Aiming at the core difficulties commonly existing in medium-sized irrigation district aqueducts after long-term operation, such as structural safety hazards, water conveyance efficiency attenuation, aging supporting facilities, and insufficient ecological adaptability, this paper takes the Wuxi Aqueduct of Yuankou Reservoir Irrigation District as the research object. By combining on-site inspection, numerical simulation, and engineering practice, it systematically analyzes the causal mechanism of aqueduct structural damage and performance degradation. Based on the principles of "safety first, efficiency improvement, green and low-carbon, and economic feasibility", a full-process renovation technical path of "diagnostic evaluation - difficulty overcoming - technology integration - construction control - long-term operation and maintenance" is constructed. Key technical problems such as structural reinforcement of old aqueducts, optimization of water conveyance systems, ecologically friendly transformation, and construction of intelligent monitoring systems are mainly solved. The renovation practice verifies the scientificity and feasibility of this technical path, realizing the comprehensive improvement of aqueduct structural safety, water conveyance efficiency, and ecological adaptability. It forms a positive complement to the modernization construction mode of irrigation districts and provides a replicable and promotable technical paradigm and engineering reference for the renewal and transformation of aqueducts in similar medium-sized irrigation districts.

Keywords: Medium-sized irrigation district aqueducts; Difficulty overcoming; Overall renovation technology; Path

0 引言

中型灌区是农业灌溉、水资源调配的重要基础设施, 渡槽是灌区输水系统的关键性建筑物, 具有跨沟谷、道路、洼地输水的功能, 它的运行状况直接影响到灌区的灌溉保证率、水资源利用率和区域农业生产安全。源口水库灌区属于南方典型的中型灌区, 设计灌溉面积达到中型灌区标准, 是武义县农业生产的关键水利设施, 被列为第一批省

级深化农业水价综合改革推进现代化灌区建设试点。始建于20世纪70年代的乌溪、车园渡槽是灌区骨干输水建筑物, 是灌区东西部水资源调配的“咽喉工程”。经过长期运行, 渡槽逐渐出现结构损伤、输水效率降低、运维困难等问题, 不能满足当前灌区高质量发展和现代化建设的要求。在中型灌区渡槽上类似我国的问题很普遍, 不及时改造会对灌区的灌溉保证率造成严重影响, 甚至发生结构安全事

故发生。因此,在以该渡槽为研究对象的基础上,系统地解决中型灌区渡槽改造过程中的主要技术难题,并建立科学合理、行之有效的整体改造技术路径,对中型灌区可持续发展、水资源高效利用、区域农业生产稳定具有重大的现实意义和工程价值。

1 乌溪渡槽现状与核心技术难点分析

1.1 工程现状

乌溪渡槽位于源口水库灌区南部,始建于1975年,1978年投入使用,钢筋混凝土U型渡槽,排架式支墩,是灌区东西部灌溉区的输水要道。经由全面检测得知,渡槽主要存有四大类问题,第一是结构安全方面,混凝土碳化严重,槽身侧壁和底板存在许多纵向和横向裂缝,有些裂缝贯穿始终,钢筋锈蚀致使混凝土保护层剥落,支墩出现不均匀沉降,结构整体刚度变差,二是输水效能方面,槽内壁混凝土老化起砂,水力损失明显增大,存在诸多渗漏点,集中渗漏区域大多出现在槽身接缝处和裂缝处,三是配套设施方面,伸缩缝止水带老化破损,金属构件锈蚀严重,原有监测设施缺失,不能实时掌握渡槽运行状况,检修通道狭窄,运维安全性差,四是生态适配方面,渡槽周边缺少生态缓冲带,输水时水体与周边生态系统没有物质能量交换,渡槽下方耕地灌溉取水不便,影响区域生态与农业协调发展。

1.2 核心技术难点

乌溪渡槽混凝土强度不足现行政策标准,碳化和钢筋锈蚀互相推动,结构损坏表现出“多处发生,逐步深入”的特点,怎样在不打乱灌区灌溉时间的基础上,完成结构损坏的精确修补并加强整体结构,恰当安排加固成效和工程成本关系,防止加固时对已有的结构产生二次损害,是第一项技术难题;槽内壁糙率变大和渗漏破损是造成输水效率降低的主要原因,必须一同处理“减阻”和“防渗”两个问题,而且改造技术要符合长期输水工况下的稳定状态需求,防止防渗层剥落或者减阻涂层失效引发二次维修;渡槽改造既要保证输水功能又要考虑生态保护需求,怎样在保障输水安全的前提下搭建生态缓冲带,改良水体交换路径,解决渡槽下方耕地灌溉取水难题,达成工程改造和生态修复的协同发展,缺少成熟的技术方案参照;原有渡槽缺少系统的监测和运维体系,改造之后要创建涵盖结构安全,输水情况,生态指标的智能监测体系,达成隐患的早期警报和精确运维,但是中型灌区的运维资金比较紧张,怎样规划出经济实惠,操作简单的监测和运维方案,是保证改造成果长久稳定的重点。

2 乌溪渡槽改造技术路径构建与难点攻克

2.1 前期诊断评估技术

为了精准掌握渡槽长期使用后所造成的损伤情况,避免结构安全风险的发生,构建起“现场检测、数值模拟、综合评价”一体化诊断体系,从而完成从数据采集到方案制定的全过程科学化分析。现场检测阶段综合运用多种技术手段开展立体勘查,借助超声波检测技术对混凝土的关键部位实施无损检测,依靠声波的传播速度来精确判定混凝土的强度及内部缺陷的散布情况,采取电磁感应法对钢筋密集区域展开扫描,按照电磁信号的变化来量化评估钢筋锈蚀的程度及其范围,展开渗透试验观测渡槽底板,侧壁接缝处的渗漏情形,记录渗流量以及渗漏点所在之处,借助无人机航拍取得渡槽整体外观损伤影像,利用三维激光扫描技术收集毫米级精度的结构变形数据,从而掌握渡槽几何形态的变动情况^[1]。数值模拟环节,借助ANSYS、ABAQUS等专业有限元软件,以现场检测数据为基础搭建渡槽精细结构力学模型,模拟正常输水、满负荷输水、紧急停水等不同工况下结构应力应变分布规律,准确找到支座、槽身转角、接缝等容易产生应力集中的薄弱地方。综合评估阶段严格依照《水利工程建筑物检测与评估规程》等规范,从结构安全(含强度、稳定性、耐久性)、输水效能(输水能力、水头损失)、生态适配(周边生态影响、水资源利用效率)、运维条件(检修便捷性、监测可行性)四个方面,建立包含20个分项指标的评估体系,利用层次分析法结合专家打分确定各指标权重,用加权法计算得到渡槽综合损伤等级,明确裂缝修补、钢筋防锈、渗漏治理、结构加固等核心改造内容,为后续有针对性地制定安全、经济、高效的改造方案奠定坚实科学的基础。

2.2 结构加固技术与难点攻克

对结构损伤问题,用局部修复、整体加固的技术方案。对混凝土碳化、钢筋锈蚀处,凿除破损保护层,清除锈蚀钢筋表面锈迹,采用专业防腐材料处理后,用聚合物修补砂浆恢复保护层厚度;对结构性裂缝,采用压力注浆法注入专用浆液,保证裂缝被充分填充;对结构整体刚度不足处,采用外包碳纤维布加固法,利用碳纤维布与原结构的协同受力,提高结构抗弯、抗剪能力^[2]。为解决加固和灌溉周期的矛盾,采用分段施工、错峰改造的方式,将渡槽分成若干施工段,在灌区非灌溉期完成主要的加固施工,灌溉期只做局部的修补和监测,保证改造期间灌区的灌溉供水不受影响,最终达到结构安全性能明显提高的目的,满足现行规范的要求。

2.3 输水系统优化技术与难点攻克

为了解决输水效率降低的问题,将防渗和减阻两项技术进行集成。防渗,在槽身内壁涂刷专用防水涂料,覆盖槽身内壁及接缝处,并更换老化伸缩缝止水带,采用组合式止水结构,提高接缝防渗性;减阻,在防水涂料表面涂刷高性能弹性体涂层,利用其光滑表面降低糙率系数,减少水力损失。利用水力模型试验来优化涂层施工工艺,控制涂层平整度,防止涂层表面不平整造成局部涡流,保证防渗减阻技术的长期稳定运行,全面提高渡槽输水效率。

2.4 生态友好型配套改造技术与难点攻克

围绕生态适配性不足的问题来建立渡槽、周边和灌区三者协同的生态改造方案。在渡槽两侧设生态缓冲带,种植乡土水生植物、固土植物,构建乔灌草复合植被系统,提高区域水土保持能力、生物多样性;在渡槽下设置生态取水口,配套小型提水设施,解决下方耕地灌溉取水问题,实现水资源就近利用;对渡槽周边排水系统进行优化,设雨水集蓄设施,雨水导入灌溉系统,提高水资源循环利用率^[3]。该方案用最小干预的原则,在保证渡槽输水安全的基础上实现了工程改造和生态修复的有机结合,克服了传统改造重功能、轻生态的技术缺陷,为同类工程生态化升级提供兼具实操性与环保性的参考方向,助力灌区构建可持续生态水利体系。

2.5 智能监测与长效运维技术体系

为保证渡槽在长期输水过程中结构稳定和运行可靠,建立“智能监测+精准运维”的长效管理机制,实现从感知到处置的全过程管控。监测环节科学布置结构监测、水力监测、环境监测三类主要的传感器网络,在渡槽槽身的关键受力部位、支座处安装高精度的应变计、位移计,实时捕捉结构的应力变化、沉降、位移数据,在进水口、出水口、槽身中段设置流量传感器、水位传感器,实时监测输水流量、水位变化,保证输水效率和安全,在渡槽周边土壤、沿线环境设置温湿度传感器、土壤墒情传感器,实时掌握温度、湿度变化、土壤含水率,分析环境因素对结构的影响,所有监测数据通过5G无线传输模块实时上传至灌区智慧运维管理平台,平台具备数据实时显示、异常标记、历史查询等功能,实现运行状态24小时不间断监测、动态可视化管理^[4]。运维环节,依靠平台积累的监测数据,用机器学习算法创建故障预警模型,当应变、位移、流量等指标越过安全阈值的时候,系统便会自动发出分级预警(蓝、黄、橙、红),经由短信、平台推送等途径告知运维人员,而且会把预警位置,异常数据以及初步处置

建议一同推送过去,引领人员展开有针对性的检修,依照渡槽运行年限,历史故障记录,制订年度巡检计划,每3年1次的定期专项检测方案,划定巡检路线,检测项目,检修流程,各岗位责任范围,杜绝运维盲区。该体系依靠智能化监测削减人工巡查频次,很大程度上削减了运维工作量和人力成本,而且凭借预警模型和标准流程改进故障处理速度,较好地防止结构损伤蔓延,给渡槽长时间安全稳定运作赋予了有力的技术支撑^[5]。

3 改造效果与工程验证

乌溪渡槽改造工程竣工投入使用后,经过18个月的长期运行监测和多方面效果评估,改造成效显著,各项指标均达到或超过预期目标:从结构安全角度出发,利用高精度全站仪和应变监测系统对渡槽槽身进行持续跟踪,渡槽槽身最大沉降量控制在3mm以内,水平位移不超过2mm,比改造前减少了85%以上,槽身混凝土表面没有出现新的裂缝,原有渗漏部位采用高分子密封材料封堵后,渗流量小于 $0.02\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,远低于规范要求值,结构强度、稳定性和耐久性保持稳定状态,能够满足未来30年的长期安全运行需求;从输水能力来看,经过流场模拟优化和槽身内壁光滑处理之后,实际输水能力达到了 $3.2\text{m}^3/\text{s}$,完全符合设计标准,输水沿程损失由原来的 $0.8\text{m}/\text{km}$ 下降到现在的 $0.3\text{m}/\text{km}$,降幅高达62.5%,灌区灌溉保证率也从原来的75%提高到了92%,很好地解决了旱季下游3万亩耕地灌溉缺水问题,从生态效益上看,渡槽沿线20米宽生态缓冲带植被覆盖率由改造前的35%提高到82%,区域土壤侵蚀模数降低60%,槽下湿地鸟类种类增加12种,通过优化输水调度,耕地灌溉取水效率提高25%,实现了生态保护和农业生产共同发展,从经济效益上看,改造工程每年节约水资源 $80\text{万}\text{m}^3$,减少灌溉成本支出约60万元,由于灌溉保障能力的提高,灌区粮食年产量增加约150万kg,直接经济效益达120万元,投资回收期控制在8年以内,经济社会效益显著。

4 结语

综上所述,本文针对中型灌区渡槽普遍存在的结构安全隐患、输水效率衰减、生态适配性不足及运维体系不完善等核心难点,以源口水库灌区乌溪渡槽为案例,通过系统的诊断评估、技术集成与工程实践,构建了“诊断-加固-优化-配套-运维”的全流程改造技术路径,成功攻克了结构加固与灌溉周期协调、防渗减阻一体化、生态协同改造及智能运维等关键技术难题。改造后,乌溪渡槽的结构安全性、输水效能、生态适配性及运维水平得到全面

提升,实现了安全保障、效能提升与生态保护的有机统一。该技术路径立足工程实际,遵循经济可行、技术成熟的原则,其核心技术与施工经验对我国同类中型灌区渡槽的更新改造具有重要的推广应用价值,可为中型灌区基础设施提质升级、保障国家粮食安全与水资源可持续利用提供有力支撑。

参考文献:

[1] 苏相梅. 洪潮江水库灌区渡槽结构型式与跨度方案的比选[J]. 广西水利水电, 2025,(04):69-71.

[2] 张雨新, 彭兴楠. 渡槽槽身结构与施工工艺要点分析[J]. 水利水电工程设计, 2025,44(01):29-33.

[3] 郭仲敏, 郭江涛. 宁夏固海扬水灌区渡槽槽壳预制施工质量控制[J]. 山西水利科技, 2024,(04):7-9+38.

[4] 李志强. 丹西中型灌区节水配套改造项目设计[J]. 河南水利与南水北调, 2022,51(11):19-20.

[5] 盛德民. 中型灌区节水配套改造项目设计综述[J]. 黑龙江水利科技, 2021,49(12):118-120+242.