

面优化和边界层控制降低空化敏感性。进口段应采用平顺过渡设计,控制收缩比在1.2以内,减少流速突增带来的压力骤降。弯道半径需合理放大,使局部压力最低点保持在饱和蒸汽压以上,避免形成大面积低压区。通过在关键部位布设导流肋和减压槽,可将局部空化数提升0.05至0.08,显著降低气泡生成概率。调控措施上,可在枯水期采用分段运行方式,降低平均流速至25米每秒以下,缓解高流速诱发的强烈空化。水力模型试验表明,当隧洞进口安装缓释装置后,压力波动幅度下降约30%,有效抑制了局部紊流。通过精细化设计与运行调控相结合,能够提升隧洞整体水力稳定性,为空化防控提供基础保障。

5.2 耐空蚀材料与衬砌结构的应用策略

衬砌材料的耐空蚀性能直接决定隧洞使用寿命。在新疆高寒条件下,常规C30混凝土空蚀寿命不足10年,而采用高强度C60纤维混凝土可延长至18年以上。钢纤维与聚丙烯纤维的协同作用,使材料韧性提高约45%,抗裂性能增强约50%。在关键部位可采用高分子聚合物涂层,其厚度控制在2至3毫米,可将表面硬度提升至7级以上,空化剥蚀速率下降约60%。衬砌结构设计上,应在高风险部位采用双层衬砌,内层厚度增加至50厘米,并在迎水面配置耐磨板材。对弯道及扩散段可采用钢板衬砌,厚度8至10毫米,抗蚀寿命显著提高。通过材料性能提升与结构优化的复合措施,可有效增强隧洞抵御空化冲击的能力。

5.3 监测预警与运行管理的系统化建设

在高寒隧洞运行中,建立动态监测与预警体系至关重要。通过布设声发射传感器和压力传感器,可实时监测气泡坍塌产生的高频信号,判定空化强度。监测数据表明,当声发射信号频率达到30千赫以上时,空化程度显著增强,需要采取降流措施。预警系统应与调度平台联动,自动调节闸门开度,将流速降低2至3米每秒,缓解空化风险。运行管理方面,应加强低温期的巡检频次,每月开展一次壁面扫描,利用三维激光测量空蚀坑形态,精度可达0.1毫米。长期运行中,可通过对比数据趋势,提前预测衬砌寿命,并制定分区修复计划。通过监测、预警和管理的系统化融合,能够实现隧洞空化风险的实时掌控与主动防控,确保工程安全稳定运行^[4]。

5.4 运行期修复加固与长期防护管理措施

隧洞在长期运行中不可避免会出现不同程度的空蚀破坏,高寒环境下冻融循环和高速水流的共同作用会加速衬砌表面的劣化,因此运行期的修复加固与长期防护管理显得尤为重要。常规方法包括表面灌浆修复、环氧树脂涂层覆盖及

局部钢板嵌补,这些措施能够在短时间内恢复结构强度,但若缺乏系统化管理,其效果难以长期维持。近年来,采用新型复合聚合物涂层技术已显示出良好的耐空蚀性能,涂层厚度控制在2至4毫米之间,可将空化剥蚀速率降低50%以上。对于剥蚀严重的断面,可采取高压喷射混凝土加固,强度等级提升至C60以上,并在迎水面增加纤维材料,提高韧性和抗裂性。修复过程需结合在线监测数据,明确劣化位置和发展趋势,实施分区分段治理,避免大面积停运带来的供水风险。长期防护方面,应建立定期检测和维修机制,运行初期每三年进行一次全面检测,十年后应缩短至每两年一次,确保隐患能够及时发现并处理。通过动态维护与长效防护相结合,不仅可以有效延缓隧洞空蚀演化进程,还能够显著延长工程整体寿命,为新疆地区水利工程的可持续运行提供有力保障。

6 结语

新疆高寒地区隧洞工程在高速水流作用下表现出典型的空化空蚀风险,其形成机理与演化特征受到低温环境、水力条件与地质构造的共同影响。研究表明,低温下水体物理性质的变化使空化核更易生成,高速流态与复杂断面加剧了气泡坍塌的能量集中,进而导致衬砌表面剥蚀与结构疲劳累积。长期运行中,空蚀坑逐步扩展并在冻融循环作用下加速演化,对隧洞安全构成持续威胁。针对这一问题,通过优化水力设计、采用耐蚀材料与完善监测预警体系,可有效降低空化风险,延长工程寿命。深入探索高寒条件下空化空蚀机理与防控路径,不仅有助于新疆隧洞工程的安全运行,也为我国高寒地区水利工程的建设与维护提供了理论支撑与实践参考。

参考文献

- [1] 丹增,刘杉,冯云龙,达娃索朗.高寒高海拔地区软岩长引水隧洞变形塌方处理技术——以西藏拉洛水利枢纽工程德罗引水隧洞为例[J].水利水电快报,2022,43(11):44-47+53.
- [2] 杨金华,马江飞,王黎.高寒高海拔地区软岩长引水隧洞施工降效原因分析及应对措施[J].水利水电快报,2022,43(11):62-66.
- [3] 孙兴伟,韦志远,王敬勇.高寒高海拔地区冰水堆积物工程地质特性与隧洞开挖及支护模拟研究[A].第十四届全国边坡工程技术大会论文集[C].中国建筑学会工程勘察分会、中国水利学会勘测专业委员会、中国铁道学会工务委员会、西藏自治区水力发电工程学会、北京华森启达企业管理咨询有限公司.2022:21-28.
- [4] 力巷措.高寒地区灌溉工程中软岩隧洞支护施工技术[J].水利技术监督,2022,(08):243-247.

Research on Innovative Operation and Maintenance Models for High-Standard Farmland Water Conservancy Facilities in the Shandong Plain

Zhongfang Ren

Agricultural Service Center, Maji Town, Economic Development Zone, Jining, Shandong, 272414, China

Abstract

The Shandong Plain plays a key role in the national grain security strategy. High-standard farmland water conservancy facilities can operate stably and effectively over the long term, which is crucial for achieving modernization in agriculture. Currently, the management and maintenance of these facilities face three practical challenges: traditional operation and maintenance models place significant financial pressure on the government; the coverage of intelligent upgrades is not extensive; and cross-regional coordination mechanisms are not yet well-established. It is worth exploring an innovative approach that integrates 'government guidance, market operations, and farmer participation.' By leveraging digital monitoring to support facility management, establishing differentiated investment mechanisms, and cultivating specialized management entities, practical solutions can be provided to operational challenges and enhance agriculture's risk resilience.

Keywords

Shandong Plain; water conservancy facilities; operation and maintenance model

山东平原区高标准农田水利设施运维模式创新研究

任仲防

山东省济宁市经济开发区马集镇农业服务中心, 中国·山东 济宁 272414

摘要

山东平原区在国家粮食安全战略中占据关键地位。高标准农田水利设施可长期稳定运行并发挥作用,这是农业实现现代化的关键所在。当下,这些设施的管护工作面临着三个方面的实际险阻:传统的运维模式给财政给予了较大压力;智能化改造的覆盖范围不够广泛;跨区域协同机制还不够完善。尝试探寻一条融合“政府引导、市场运作以及农户参与”的创新之路,借助数字化监测为设施管护提供支持,构建差异化投入机制,培育专业化管护主体,对于解决运维难题、提高农业抵御风险的能力有实际意义。

关键词

山东平原区; 水利设施; 运维模式

1 引言

山东平原区作为我国重要粮食生产基地,高标准农田水利设施是农业稳产增效的核心支撑。当前区域设施运维差异显著:鲁西北引黄灌区设施老化突出,鲁西南依赖合作社,胶东平原初步推广智能化技术。

现有运维以政府主导为主,市场化与自治型为辅,但存在财政依赖高、技术支撑弱、量化标准不统一等问题,导致运维效能欠佳。因此,探索契合区域特征的运维创新模式,对突破管护瓶颈、保障设施可持续运行具有关键现实意义。

2 山东平原区高标准农田水利设施运维模式现状

山东平原区高标准农田水利设施运维以“建设与管护协同”为基础,区域差异与模式多元并存。受自然条件和农业发展路径影响,鲁西北引黄灌区依赖传统泵站渠道,设施老化明显;鲁西南井灌河灌结合区依托合作社,农户管护积极性高;胶东平原推广高效节水技术,初步应用智能化监测设备。

当前运维以政府主导型为主,市场化与自治型为补充。政府主导模式由县乡农业农村或水利部门管理,靠财政拨款保障,覆盖广但管护较粗放;市场化模式通过政府购买服务委托专业企业,专业化程度高,却难覆盖偏远区域;合作社/农户自治模式在传统农业区占比不小,村集体牵头分摊成

【作者简介】任仲防(1973-),本科,农经师,从事乡镇农田水利建设。

本、农户参与度高,技术能力却薄弱;多元协同模式尚处探索阶段,因权责不清导致协同效率低。

运维保障机制存在财政依赖高、技术支撑弱的问题。资金主要靠财政投入,市场化融资和农户自筹占比低;多数县区已出台管护办法,但量化标准不统一;基础信息化监测初步覆盖,智能化控制应用有限;专职管护人员专业背景不足,整体运维效能待提升。

3 山东平原区高标准农田水利设施运维模式创新对策

3.1 创新运维主体协同模式,构建多元共治体系

3.1.1 明确主体权责边界

构建多元共治体系的关键之处在于明确政府、市场主体以及合作社或农户之间的权责关系,打造出各自履行职责、协同合作且相互联动的治理局面。在政府层面,要着重关注宏观调控以及公共服务保障方面,主要承担政策制定、监管考核以及偏远区域兜底保障等职能,借助完善法规制度为运维工作给予框架性的指引。市场主体应当发挥自身专业化的优势,专注于设备维修、智能化改造等技术密集型服务领域,促使运维流程实现标准化,服务达到专业化水平。合作社或农户作为基层管护主体,负责开展日常巡查、处理小型故障等基础性工作,并且依靠参与管护方案的制定来提高主体意识,最终形成“政府引导、市场赋能、群众参与”这样一种权责闭环^[1]。

3.1.2 推广“政府引导+市场化运作+合作社落地”协同模式

根据山东平原区农业生产实际情况,可推广“政府引导+市场化运作+合作社落地”的三级协同模式。在实施路径方面,政府借助“以奖代补”政策引导专业企业与村级合作社签订技术服务协议,清晰明确服务内容、质量标准以及付费机制。合作社作为中间纽带,组织农户依据耕地面积缴纳基础管护费用,全面统筹归集运维需求。财政部门按照合作社服务覆盖范围与管护成效,给予50%-70%的运营补贴,在降低农户负担的同时保障合作社可持续运作。在试点层面,建议优先于鲁西南、鲁西北挑选10个典型县区展开为期2年的实践探索,着重破解利益分配机制难题,依靠构建“企业盈利、合作社增效、农户减负”的三方共赢模式,为全省范围内推广该模式提供可复制的经验。

3.2 创新资金保障机制,拓宽多元融资渠道

3.2.1 强化财政资金精准支持

财政资金可精准投放是保障运维可以持续的基础所在。要构建差异化的补助体系,建立“高标准农田运维专项转移支付”制度,按照耕地面积以及设施类型来实施分档补助:在引黄灌区着重于基础维护保障方面,在高效节水区则强化技术升级的支持力度,借助分类施策的方式来提升资金的匹配程度。推行“管护效果付费”机制,把财政资金的拨付和

运维绩效紧密联系在一起,将设施完好率、灌溉效率、农户满意度当作核心指标,按照季度开展量化考核,并且动态调整拨付比例,形成“干得多就能多得、干得差就只能少得”的激励约束,促使财政投入从“重视投入”朝着“重视效益”的方向转变^[2]。

3.2.2 引入市场化融资工具

市场化机制是破解资金瓶颈的关键,可推广“PPP+特许经营”模式。对大型泵站、骨干渠道等公益性强、投资回收期长的设施,通过特许经营协议明确企业运维责任与收益权,允许企业靠水费分成获合理回报,收益缺口由政府补。东营黄河三角洲农业高新区实践已验证该模式能平衡公益与市场效益。同时设立“农田水利运维基金”,省级财政牵头注资,吸引银行、保险机构及农业龙头企业参与,为中小运维主体提供低息贷款,缓解其资金周转压力。

3.2.3 健全农户付费与激励机制

农户积极参与是长效机制的内在动力,需推行“基本管护费+阶梯付费”制度:农户按耕地面积缴基础管护费,稳固运维资金基础;超额用水部分收管护附加费,既促节水,又增资金来源,形成“使用付费、超额担责”的共担机制。此外,试点“管护积分兑换”制度,将农户参与设施巡查、渠道清理等工作转化为积分,可兑换农业生产资料或现金补贴,通过物质激励与价值认同引导,提升农户主动参与度,筑牢运维群众基础。

3.3 推动技术与管理数字化创新,提升运维效能

3.3.1 加快设施智能化改造

设施智能化是提高运维效能的关键所在。要着重关注区域存在的不足,实施分类推进策略:鲁西北引黄灌区以及鲁西南井灌区被当作改造的重点区域,针对泵站老化以及人工调度效率较低等问题,推进关键节点的智能化升级工作。在2025年至2027年期间,重点达成泵站远程控制以及渠道水位自动监测的广泛覆盖,构建起“感知-传输-决策”的闭环体系。在技术实施方面,要全面统筹部署土壤墒情、设备运行状态等物联网传感器,达成对灌溉用水、设备工况的实时采集;同时搭建省级“高标准农田水利运维云平台”,整合区域监测数据,开发故障预警、调度优化等功能模块,促使运维从“被动响应”向“主动预判”转变,强化跨区域协同调度能力。

3.3.2 培育专业化运维人才队伍

构建人才支撑体系要同时考虑专业技术人员与基层农户能力的提升。实施“农田水利工匠”计划,加强与山东农业大学、省水利职业学院等院校的合作,定向培养具有机电维修、信息化操作复合能力的技术人才,借助学费减免和基层就业补贴政策引导毕业生到县域工作,充实专业管护力量。针对农户参与度高但技能欠缺的情况,依托“新型职业农民培育工程”开展分层培训,主要围绕设施日常巡查、简易故障排除等实用技能,每年组织系统培训,提高农户自主