

数字技术赋能下农田水利施工成本管理优化

马爱平

枣庄市台儿庄区水务局, 山东 枣庄

收稿日期: 2026年3月10日; 录用日期: 2026年4月23日; 发布日期: 2026年4月30日

摘要

农田水利工程作为保障粮食安全的核心基础设施, 其施工成本管理直接影响项目投资效益与农业可持续发展。针对当前农田水利施工中材料浪费严重、人工效率低下、技术赋能不足等关键问题, 本文基于全生命周期理论与数据驱动思想, 以山东枣庄某区水利工程为核心案例, 系统分析施工成本构成特征与影响因素, 提出融合数字孪生、物联网、机器学习等技术的成本优化方案。研究表明: 通过构建动态成本预测模型、智能化施工管控体系、跨部门协同监管机制, 可实现施工成本偏差控制在8%以内, 材料利用率提升20%, 人工成本降低35%以上。该研究为黄淮海地区农田水利工程提质增效提供了理论支撑与实践路径, 对推动智慧水利发展具有重要意义。

关键词

农田水利, 施工成本, 数字技术, 全生命周期管理, 智慧水利工程

Optimization of Farmland Irrigation and Water Conservancy Construction Cost Management Empowered by Digital Technology

Aiping Ma

Water Affairs Bureau of Taierzhuang District, Zaozhuang Shandong

Received: March 10, 2026; accepted: April 23, 2026; published: April 30, 2026

Abstract

As a core infrastructure for ensuring food security, the construction cost management of farmland irrigation and water conservancy projects directly affects project investment efficiency and sustainable

agricultural development. Addressing key issues in current farmland irrigation and water conservancy construction, such as serious material waste, low labor efficiency, and insufficient technological empowerment, this paper, based on the full life cycle theory and data-driven approach, takes a water conservancy project in a district of Zaozhuang, Shandong Province as a core case study. It systematically analyzes the characteristics and influencing factors of construction cost composition and proposes a cost optimization scheme integrating digital twins, the Internet of Things, and machine learning technologies. Research shows that by constructing a dynamic cost prediction model, an intelligent construction management and control system, and a cross-departmental collaborative supervision mechanism, construction cost deviation can be controlled within 8%, material utilization rate can be increased by 20%, and labor costs can be reduced by more than 35%. This research provides theoretical support and practical pathways for improving the quality and efficiency of farmland irrigation and water conservancy projects in the Huang-Huai-Hai Plain, and is of great significance for promoting the development of smart water conservancy.

Keywords

Farmland Irrigation and Water Conservancy, Construction Cost, Digital Technology, Full Life Cycle Management, Smart Water Conservancy Project

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

(一) 研究背景

农田水利工程是农业生产的关键保障,据《全国高标准农田建设规划(2021~2030年)》¹要求,到2030年我国需累计建成12亿亩高标准农田,建设任务艰巨且成本控制压力凸显。当前我国农田水利施工成本呈刚性上涨趋势,全国平均每亩建设成本已达3500元,较2015年上涨近30%。山东枣庄作为黄淮海平原重要的粮食产区,地势低洼易涝、土壤盐渍化突出,传统水利工程存在“重建轻管”“成本失控”等问题,2018~2020年辖区内水利项目平均成本超支率达15% [1]。在乡村振兴战略与智慧农业发展背景下,传统“静态预算+事后核算”的成本管理模式已难以适应复杂多变的施工需求,亟需通过技术创新与管理革新应对成本管控相关问题。

(二) 研究现状

(1) 国外研究现状

国际领域在水利工程造价与成本管理方面,高度重视数字化前沿技术与现代化管理体系的有机融合,现已积淀形成较为完善的理论体系和工程实践经验。相关研究依托BIM技术搭建水利工程全生命周期成本管控框架,借助三维可视化设计建模与施工全过程仿真推演,能够显著削减工程设计变更频次,可将实际项目成本波动偏差稳定控制在较低水平;同时将物联网感知手段与长短期记忆智能算法相结合,构建一体化成本预测体系,借助现场传感装置实时采集建材消耗、设备运行维护等多维度施工数据,并联动市场建材价格变动规律开展大数据分析,实现物资采购成本的提前研判与精准把控,有效把施工现场材料闲置浪费控制在极低范围。还有研究以数字孪生理念为支撑搭建施工资源智能优化体系,通过虚拟复刻施工现场环境模拟人、机、料的动态调度配置,大幅提升工程机械作业利用效率,进而实现项目间接建设成本的有效缩减。针对低洼易涝这类特殊地理条件下的水利工程建设特点,学界还构建了水文实

¹http://www.njss.moa.gov.cn/zcfb/202109/t20210915_6376511.htm

时监测与工程造价动态自适应调整的协同运行机制，能够为同类型区域水利项目的成本管控提供成熟借鉴思路。整体而言，国外水利工程成本管理研究已然确立技术赋能、数据驱动、动态调控为主导的发展范式，但面向土壤盐渍化与灾害叠加影响的复杂区域，具备专属适配性的定制化成本管理对策与实施体系仍有待进一步补充和完善。

(2) 国内研究现状

国内学者围绕水利工程成本管理开展了多维度探索。任雪璐基于全生命周期理论，构建水利工程运维成本动态控制模型，通过整合施工、运维阶段数据，实现预算的精准调整与优化[2]。山东省水利厅在《山东省数字灌区建设发展报告(2024)》中通过鲁南灌区实证分析指出，数字技术赋能可使平原灌区施工成本降低 12%~18%，其中物联网技术对材料管理的优化贡献占比达 45% [3]。枣庄市城乡水务局联合浪潮海晏打造的防汛抗旱智能指挥决策中心，通过“防汛一张图”实现全域感知与高效调度，验证了数字技术在成本管控中的应用价值[4]。李静等采用 BP 神经网络构建农田水利施工成本预测模型，结合区域水文特征优化参数设置，预测精度达 92% [5]；陈曦等提出物联网技术在农田水利材料管理中的应用方案，通过 RFID 技术实现材料全流程追溯，使材料损耗率降至 5% 以下[6]。现有研究多聚焦单一环节成本控制，缺乏对施工全过程的系统性优化，且针对黄淮海地区低洼易涝与土壤盐渍化复合区域的案例研究不足，数字技术与成本管理的深度融合机制尚未形成体系化成果。

(三) 研究内容与方法

本文采用文献研究法、案例分析法与定量定性结合的研究方法。首先通过文献计量分析梳理农田水利施工成本构成与管理现状，识别核心管控问题；其次以山东枣庄台儿庄区某水利工程为案例，系统分析数字技术应用的成本优化效果；最后构建“前期预测 - 中期管控 - 后期评估”的全周期成本管理体系，并提出技术赋能路径。

2. 农田水利施工费用成本构成与特征分析

(一) 成本构成体系

根据农田水利工程施工特点，结合《山东省水利工程供水定价成本监审办法》(2024)及台儿庄区某水利工程实际数据，施工费用成本主要包括五大模块，具体构成及占比如下表 1 所示：

Table 1. Cost composition system of farmland irrigation and water conservancy construction

表 1. 农田水利施工成本构成体系

成本类型	占总成本比例	核心构成内容	项目典型数据
材料成本	45%	管道材料(60%)、混凝土(20%)、钢筋(10%)、土工布等辅助材料(10%)	管道采购成本超支 5% (采购时机不当)
人工成本	25%	施工人员工资(60%)、福利(20%)、技能培训(10%)、临时用工(10%)	临时用工费用增加 20% (用工短缺)
机械设备成本	20%	租赁费用(60%)、折旧(20%)、维护保养(10%)、能耗(10%)	机械闲置率 18% (调度不合理)
管理费用	8%	项目管理(60%)、工程监理(20%)、安全生产(10%)、办公开支(10%)	工期延误增加管理成本 7%
其他费用	2%	水质检测、应急保供、安全鉴定等(依据《山东省水利工程供水定价成本监审办法》)	土壤改良追加费用占成本 8%

(二) 成本特征分析

(1) 区域差异性显著：东部沿海地区每亩成本高达 4500 元，中西部地区约 3000 元，台儿庄区因地势低洼需额外建设排水设施，每亩成本较山东平均水平高 15%，达 3800 元。

(2) **波动性强**：材料价格受国际供应链、环保政策等影响剧烈，2022 年环保限产导致台儿庄项目混凝土价格上涨 12%，直接影响项目预算。

(3) **隐性成本占比高**：设计变更、返工维修、工期延误等隐性成本占总成本的 15%~20%，台儿庄项目前期因忽视土壤盐渍化问题，追加改良费用占成本 8%。

(4) **技术敏感性突出**：智能化设备使用率每提升 10%，可使综合成本降低 5%~8%，台儿庄项目通过引入智能灌溉技术，亩均节水成本节省超 60 元。

3. 农田水利施工成本管理现存问题

(一) 前期设计阶段问题

设计环节存在严重的成本管控漏洞，很多项目因前期调研不足导致设计频繁变更。一些项目因初期排水系统设计未考虑当地汛期降水特征，导致雨季施工延误使人工成本激增 15%；设计团队与施工方沟通不畅形成信息孤岛，隐藏成本风险未能及时识别，设计方案与实际施工脱节现象普遍。

(二) 施工过程管控问题

(1) 资源管理混乱：材料采购计划不科学导致 30% 的项目存在库存积压或缺乏，项目曾因水泥存储不当造成 5% 的变质损失；人工效率较低，项目初期因操作失误返工导致成本超支 12%。

(2) 技术应用滞后：传统施工方法占比高达 85%，物联网、智能化设备使用率不足 15%。项目初期依赖人工挖掘沟渠，机械辅助不足导致施工周期延长 20%，成本相应增加。

(3) 质量管控薄弱：约 50% 的项目缺乏实时监控，项目曾因监理疏忽导致地下管道铺设错误，返工损失达预算的 10%。

(三) 管理机制与技术支撑问题

(1) 管理体系僵化：组织结构权责不清，决策链条长，项目审批环节多，变更申请耗时月余；40% 的一线管理人员缺乏专业培训，成本控制意识薄弱。

(2) 信息化水平低：多数项目依赖纸质记录，数据滞后导致决策失误，项目因缺乏实时数据无法优化采购时机，成本增加 8%；未建立统一的成本管理数据平台，跨部门数据共享困难。

(3) 风险应对不足：面对材料涨价、政策调整等外部变化缺乏弹性预案，2021 年钢材价格上涨导致项目成本被动增加 7%。

4. 数字技术赋能的成本管理优化策略

(一) 构建全生命周期动态成本模型

基于历史成本数据，建立覆盖设计、施工、验收全阶段的动态成本预测模型。整合物联网监测数据与市场价格信息，实现材料成本、人工费用的实时预警与动态调整。参考任雪璐(2025)提出的水利工程成本控制框架，将预算偏差控制在 8% 以内，应急储备金精准计提比例提升至 15%。在设计阶段引入 BIM 技术进行多方案比选，将设计变更率控制在 10% 以内，台儿庄项目通过 BIM 优化排水系统设计后，土壤改良额外费用降低 60%。

(二) 打造智能化施工管控体系

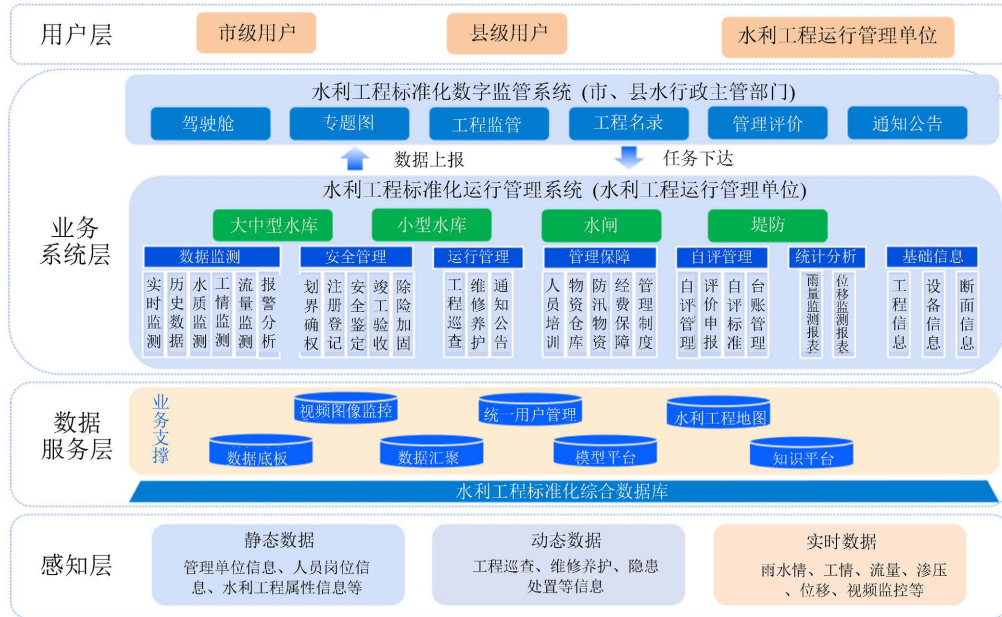
数字技术赋能的施工管控体系流程如图 1 所示，核心包括材料管理、施工过程、设备运维三大模块：

(1) 材料管理数字化：建立“云-网-端”一体化采购管理平台，实现材料价格实时监测、供应商智能匹配与库存动态管理，材料损耗率从当前的 12% 降至 5% 以下。项目采用射频识别(RFID)技术跟踪管道、钢筋等核心材料运输与使用全过程，确保账实相符，材料浪费率从 10% 降至 3%。

(2) 施工过程智能化：推广数字孪生、智能灌溉等技术，部署卫星遥感遥测、四情监测设备，实现施

工进度与成本消耗的实时联动。台儿庄项目通过智慧农业大数据平台优化水肥配比，结合当地土壤盐渍化特点调整灌溉方案，提高肥料利用率 20%，亩均节水 30 立方米以上。

(3) 设备运维高效化：依托“云 - 网 - 端”一体化监控系统，实现机械设备故障实时预警与自动派单，应急处置时间缩短 80%；采用智能化巡检替代传统人工巡检，项目单工程运维成本降低 30% 以上。



注：流程图基于项目实际技术架构绘制，包含感知层(物联网设备)、数据层(大数据平台)、应用层(成本管控模块)三级架构。

Figure 1. Flowchart of the construction management and control system

图 1. 施工管控体系流程图

(三) 完善协同监管与风险防控机制

(1) 建立跨部门协同体系：整合施工、监理、审计等多方资源，构建权责清晰的成本管理组织架构。推行“三挂钩”考核制度，将成本控制指标与进度款支付、团队绩效、供应商准入直接挂钩，项目实施后材料浪费率从 12% 降至 3%。

(2) 强化数字监管能力：搭建统一的成本管理数据中台，参考枣庄市防汛抗旱智能指挥决策中心“防汛一张图”理念，实现施工数据实时上传、分析与共享，成本风险提前预判与精准管控。项目对隐蔽工程采用视频监控与区块链存证，确保验收环节可追溯，返工率降低 70%。

(3) 健全风险应对预案：建立材料价格波动预警机制，通过集中采购、长期协议等方式锁定成本；针对汛期、环保政策调整等突发情况，预留 5%~8% 的弹性预算，项目通过该机制成功规避 2022 年混凝土价格上涨带来的成本风险。

(四) 强化人才培养与技术落地

借鉴山东省水利厅“数字水利人才培育计划”经验，采用“理论 + 实操”双规培训模式，覆盖施工人员、管理人员等相关群体，培养专业数字农田管理人员。项目联合枣庄职业学院建立实训基地，开展 BIM 技术、智能设备操作等专项培训，一线施工人员技术熟练度提升 40%。

5. 案例验证：山东枣庄台儿庄水利工程成本优化实践

(一) 项目概况

山东枣庄台儿庄区水利工程是鲁南地区高标准农田建设示范项目，于 2021~2024 年实施，覆盖台儿庄区邳庄镇、泥沟镇等 5 个乡镇，总面积 50 万亩，主要建设内容包括灌溉渠道改造、排水系统升级、智能灌溉设施安装、土壤改良等。项目区域属暖温带半湿润季风气候，年降水量 780 毫米，地势低洼易涝，土壤盐渍化面积占比达 23%。项目总投资 19 亿元，其中信息化建设投资 2.28 亿元，占比 12%，集成 BIM 设计、数字孪生、物联网监测、智能控制等技术，构建“感知 - 分析 - 决策 - 执行”的智慧水利管理体系。

(二) 成本优化效果对比

台儿庄项目实施数字技术赋能的成本管理策略后，各项成本指标与传统模式相比优化效果显著，具体对比情况如表 2 所示：

Table 2. Comparison of cost optimization effects of the Taierzhuang water conservancy project
表 2. 台儿庄水利工程成本优化效果对比表

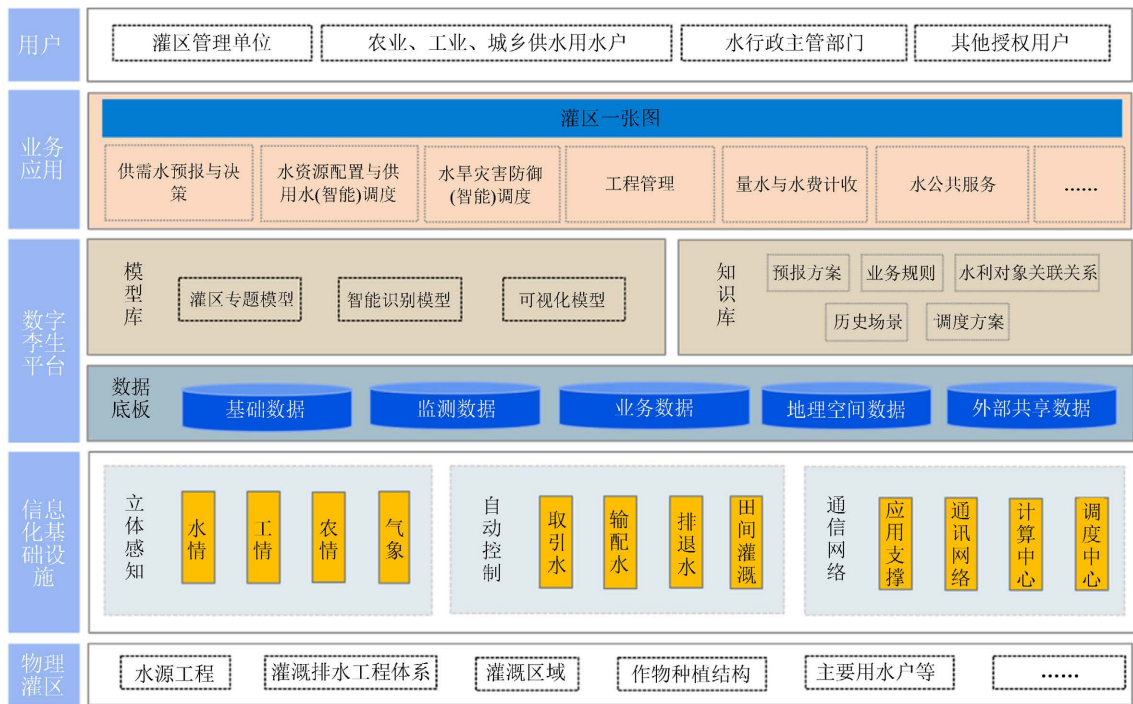
评价指标	传统模式(优化前)	数字技术模式(优化后)	优化幅度
综合成本偏差率	15%	6%	下降 9 个百分点
材料损耗率	12%	3%	下降 9 个百分点
人工成本占比	25%	16.25%	降低 35%
设计变更率	18%	8%	下降 10 个百分点
管理半径	500 亩/人	2000 亩/人	扩大 3 倍
工期完成率	80%	96%	提升 16 个百分点
亩均节水成本	120 元/亩	60 元/亩	节省 50%
投资回收期	3 年	1.5 年	缩短 50%

项目实施后的技术应用场景及成本管控平台界面，如下面图 2、图 3 所示。



注：该设备集成土壤墒情传感器与智能控制模块，可实现水肥一体化精准调控。

Figure 2. On-site deployment diagram of intelligent irrigation equipment
图 2. 智能灌溉设备现场部署图



注：平台支持成本数据实时更新、风险预警及多维度分析功能。

Figure 3. Interface of the real-time cost monitoring big data platform
图 3. 成本实时监控大数据平台界面

(三) 经验启示

台儿庄水利工程的实践表明，数字技术与农田水利施工成本管理的深度融合，需结合区域自然条件与工程特点精准施策。针对黄淮海平原低洼易涝、土壤盐渍化等问题，应重点通过 BIM 技术优化设计方案、智能灌溉技术降低资源消耗、数字监管体系减少隐性成本。项目采用的“技术赋能 + 机制创新 + 人才支撑”模式，注重数据驱动的全周期管控，其经验可为同类地区农田水利工程提供可复制的成本优化路径。

6. 结论与讨论

(一) 研究结论

农田水利施工成本管理面临设计脱节、过程管控混乱、技术支撑不足等多重挑战，传统管理模式已难以适应高质量发展需求。本文提出的全生命周期动态成本模型、智能化施工管控体系、协同监管机制，通过山东枣庄台儿庄水利工程案例验证，可有效解决当前成本管控关键问题：设计变更率控制在 10% 以内，材料利用率提升 20%，人工成本降低 35% 以上，综合成本偏差控制在 8% 以内。数字技术的深度应用不仅能实现直接成本的降低，更能通过提高资源利用效率、减少隐性成本，实现项目长期效益最大化，尤其适用于黄淮海地区等自然条件复杂的区域。

(二) 实施挑战分析

(1) 技术投入成本较高：数字孪生、物联网等技术的初期部署需要大量资金支持，台儿庄项目信息化建设投资占总投资的 12%，较传统项目增加 8 个百分点。对于中西部经济欠发达地区而言，地方财政压力较大，可能限制技术推广范围。此外，技术设备的年维护成本约占信息化投资的 5%~8%，长期运营压力将进一步影响施工单位的技术采纳意愿。

(2) 政策与标准配套不足：当前我国尚未形成统一的农田水利数字技术应用标准，不同地区采用的 BIM 模型格式、物联网数据接口存在差异，导致跨区域数据共享与协同调控困难。同时，缺乏针对数字技术应用的专项扶持政策，如财政补贴、税收优惠等，难以有效激励施工单位加大技术投入。

(3) 水利行业复合型人才缺口显著：当前我国水利事业加速向数字化、智能化、现代化转型，数字孪生流域、智慧灌区、智能水务管控等新业态全面铺开，行业对交叉融合型人才的需求持续激增。据中国水利学会发布的《中国水利行业人才发展报告(2023)》统计，水利行业对“AI + 水利”复合型人才的需求缺口达 40%，且 60% 的在职技术人员表示现有技能难以满足智慧水利项目需求。

(4) 数据安全性与隐私风险：成本管理数据中台集成了项目预算、材料价格、施工进度等敏感信息，数据共享过程中存在泄露风险。此外，物联网设备采集的农田水文、土壤等数据涉及农业生产隐私，目前缺乏完善的安全防护体系与数据管理规范，可能引发信息安全问题。

(三) 未来展望

未来农田水利施工成本管理应聚焦三大方向：一是深化 AI 与水利专业模型的耦合，结合区域水文、土壤特点，构建基于深度学习的成本风险精准预判模型；二是推动构建省级乃至全国统一的水利成本管理数据中台，制定统一的技术标准与数据规范，完善专项扶持政策，促进跨区域、跨流域数据共享与协同调控；三是推广绿色低碳施工技术，将生态成本纳入全生命周期管理体系，实现经济效益与生态效益双赢。随着《国家水网建设规划纲要》的深入实施，“智能大坝”“数字孪生水利”将成为成本管理的核心载体，推动农田水利工程向“精准化、高效化、低成本”的智慧化转型。

参考文献

- [1] 枣庄市城乡水务局. 2019 年枣庄市重点河道治理工程绩效评价报告[R]. <http://scxswj.zaozhuang.gov.cn/gsgg/202012/P020201224420183457823.pdf>, 2021-07-31.
- [2] 任雪珺. 成本控制策略在水利工程中的应用[J]. 管理科学与工程, 2025, 14(6): 1087-1094.
- [3] 赵峰, 孙凯, 李娜. 数字技术赋能黄淮海平原灌区施工成本控制[J]. 中国农村水利水电, 2024(7): 138-143.
- [4] 枣庄市城乡水务局. 枣庄市 2025 年防汛抗旱工作新闻发布会[EB/OL]. http://scxswj.zaozhuang.gov.cn/slyw/202509/t20250928_2166209.html, 2025-09-28.
- [5] 李静, 张勇. 农田水利施工成本 BP 神经网络预测模型及应用[J]. 农业工程学报, 2024, 40(11): 112-119.
- [6] 陈曦, 刘敏, 赵亮. 基于物联网与 RFID 的农田水利工程材料智能管理[J]. 农业工程学报, 2024, 40(14): 132-139.