

水利水电工程中灌区节水改造技术研究

陈亚飞

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：灌区作为水利水电工程的核心组成部分，是保障农业粮食安全、优化区域水资源配置的关键载体。本文界定灌区节水改造相关概念，分析当前我国灌区节水改造的现状、问题及理论基础，重点研究渠道防渗、田间节水、智慧节水及配套设施改造等核心技术，提出针对性技术优化策略与工程、管理、政策资金保障措施，为提升灌溉水利效率、破解灌区节水困境、推动灌区高质量发展提供理论支撑与实践参考。

关键词：水利水电工程；灌区节水；改造技术

引言：水资源短缺已成为制约我国农业可持续发展的重要瓶颈，灌区作为农业用水的主要消耗载体，节水改造是实现水资源集约利用、保障粮食安全的必然选择。当前我国灌区普遍存在设施老化、技术落后、管理不规范等问题，导致水资源浪费严重。基于此，本文聚焦水利水电工程中灌区节水改造技术，系统研究相关技术要点与优化路径，助力破解灌区节水难题，践行“节水优先”治水思路，推动农业绿色可持续发展。

1 水利水电工程灌区节水改造相关理论与现状分析

1.1 相关概念界定

(1) 水利水电工程灌区：指通过水利水电设施，对一定区域农田实施灌溉供水的系统，按规模分为大中小型灌区，核心功能是保障农业灌溉、调节区域水资源，支撑粮食安全与农业发展。(2) 灌区节水改造：内涵是通过工程、技术和管理优化，减少灌溉水资源损耗，核心目标是提高灌溉水利用效率，改造范围涵盖灌区渠道、泵站、计量设施等核心工程及配套系统。(3) 节水改造技术：分为工程类、农艺类和管理类，工程类侧重防渗与管网优化，农艺类聚焦田间节水，管理类依托智能化调控，核心特征是高效、适配、节能。

1.2 灌区节水改造的理论基础

(1) 水资源优化配置理论：核心是结合区域水资源总量与供需格局，合理分配农业灌溉用水，协调农业、生态、生活用水关系，实现水资源时空分布优化，为节水改造提供宏观指导。(2) 灌溉水利用效率理论：以减少输水、配水、田间灌溉等各环节损耗为核心，通过技术创新与管理提升，量化灌溉水利用水平，为节水改造效果评估提供科学依据。(3) 工程经济学理论：作为改造效益分析的核心基础，通过核算节水改造的前期投入、运营成本与长期收益，综合评估工程的节水效益、经济效益和社会效益，为改造方案优化与决策提供支撑。

1.3 我国水利水电工程灌区节水改造现状

(1) 现有灌区节水改造工程分布与规模：我国已完成大量大中型灌区节水改造工程，分布覆盖东中西部主要农业产区，形成了较为完备的蓄、引、提、输、排灌溉工程网络，累计改造骨干渠道数千公里、泵站数百座，有效改善了灌区灌溉条件。(2) 当前节水改造技术应用概况：渠道防渗、管道输水等基础节水工程技术已广泛普及，部分重点灌区引入了智能化管控、精准灌溉等先进技术，但高效节水技术在中小型灌区的推广力度仍显不足，应用范围有待扩大。

1.4 灌区节水改造面临的问题与挑战

(1) 工程层面：部分老旧灌区设施建成年限久、破损严重，多处于“带病”运行状态，渠道防渗效果不佳导致水资源渗漏损耗突出，部分灌区配套设施不完善，未能形成完整的节水体系，影响整体节水效能。(2) 技术层面：先进节水技术推广力度不足，技术推广机制不完善，且部分先进技术与区域自然条件、农业生产模式、经济水平适配性差，难以充分发挥节水潜力。(3) 管理层面：灌区管护机制不健全，缺乏专业的管护队伍与稳定的管护资金；用水计量设施不完善，精准计量难以实现，水资源浪费现象难以有效管控；水价机制不合理，未能充分发挥价格杠杆作用，难以引导用户主动节水。

2 水利水电工程灌区节水改造核心技术研究

2.1 渠道防渗节水改造技术

(1) 刚性防渗技术：核心包括混凝土衬砌和浆砌石衬砌两种，技术要点为混凝土衬砌需严格控制配合比、浇筑厚度及伸缩缝处理，采用分层浇筑、振捣密实工艺，避免后期产生裂缝导致渗漏；浆砌石衬砌需选用强度达标石材，保证砌体密实、灰缝饱满，做好勾缝防渗处理。应用条件方面，二者均适用于土质较差、渗漏严重的骨干渠道，其中混凝土衬砌更适用于流量大、坡度

较缓、对防渗要求高的渠道，浆砌石衬砌适配山区、石材资源丰富的区域，施工便捷且成本相对较低^[1]。（2）柔性防渗技术：以HDPE膜、复合土工膜防渗为主，施工工艺需先清理渠道基底，去除杂物、平整压实，确保基底承载力达标，再铺设防渗膜，严格把控膜体搭接宽度、边缘固定及保护层铺设，防止膜体被尖锐杂物破损。应用效果显著，可将渠道渗漏损失控制在5%以内，且具有施工效率高、适应性强、造价适中的优势，适用于中小型渠道及土质松软、易沉降、施工空间有限的区域。（3）新型防渗材料与技术的应用前景：自修复混凝土作为新型防渗材料，可通过自身组分的化学反应或物理作用，自动修复衬砌表面及内部裂缝，减少渗漏隐患，降低后期管护成本，适用于长期运行、裂缝易产生的大型渠道及重点防渗区域。此外，高分子防渗涂料、纳米防渗材料等也逐步在灌区推广应用，未来将朝着环保、耐用、低成本、易施工的方向迭代升级，进一步提升渠道防渗效能，助力灌区节水改造提质增效。

2.2 田间节水灌溉改造技术

（1）喷灌技术：分为固定式和移动式喷灌系统，固定式喷灌系统设计需结合灌区地形、作物类型，合理布置喷头、管道及泵站，确保灌溉均匀度达标，适用于大面积连片农田、经济作物种植区，运行稳定且节水效果好，但前期投入较高；移动式喷灌系统可灵活移动，适配零散地块、地形复杂区域，投入成本低、便于推广，核心应用要点是控制喷灌强度和均匀度，避免水资源浪费，适配不同作物的需水需求。（2）微灌技术：涵盖滴灌、微喷灌两种，技术优势突出，较传统灌溉节水30%-50%，可根据作物生育期需水量按需供水，精准输送至作物根部，减少田间蒸发和深层渗漏，同时降低病虫害发生概率。适用场景方面，滴灌适用于果树、蔬菜、中药材等经济作物，可精准控制水量；微喷灌适用于大田作物、草坪及设施农业，尤其适配水资源短缺、地形复杂、地块零散的灌区，应用范围不断扩大^[2]。（3）畦灌、沟灌优化技术：针对传统灌溉方式的节水改造，核心要点为合理划分畦田尺寸、调整沟灌间距，采用激光平地技术修整田间地形，使田间坡度均匀，减少田间积水和渗漏损失；同时配套改进放水方式，采用小流量、匀速放水，延长放水时间，提高灌溉均匀度。该技术无需大规模投入，改造难度低，可实现10%-20%的节水效果，适用于传统灌区的低成本、规模化节水改造。

2.3 智慧节水改造技术

（1）智能监测技术：核心是构建土壤墒情、水位流量实时监测系统，通过在田间和渠道关键节点布置墒情

传感器、水位流量监测仪，实时采集田间土壤含水量、渠道水位、流量等核心数据，经无线传输模块发送至控制终端，为灌溉调度提供精准的数据支撑。监测系统需具备抗干扰、精度高、续航久、易维护的特点，适配不同灌区的气候、地形及作物类型。（2）精准调控技术：基于物联网技术，整合监测数据、气象数据、作物需水模型数据，构建智能化灌溉调度模型，实现灌溉时间、灌溉水量、灌溉区域的精准调控，可远程控制泵站、阀门的启停，避免盲目灌溉和水资源浪费。该技术可显著提升灌溉水利用效率，适用于大中型灌区，是智慧灌区建设的核心技术之一，可实现灌区灌溉的精细化、智能化管理。（3）数字孪生灌区技术的应用探索：通过构建灌区数字孪生模型，精准模拟灌区水流运动、作物生长、水资源调配、设施运行等全过程，实现灌区运行状态的可视化监控、风险预警及优化调度。目前该技术仍处于探索应用阶段，未来将结合大数据、人工智能、云计算技术，实现灌区全生命周期的智慧管理，进一步提升节水改造的科学性、高效性和智能化水平^[3]。

2.4 配套设施节水改造技术

（1）灌溉计量设施改造：重点推广智能量水计、超声波量水仪的应用，智能量水计可实时采集灌溉用水量，实现数据远程传输、存储和精准统计，适配中小型渠道及田间灌溉单元；超声波量水仪适用于大流量渠道，测量精度高、抗干扰能力强，不受水质、泥沙含量影响，可实现连续监测。改造后可实现用水精准计量，为水价核算、节水考核、水资源优化配置提供可靠依据，引导用户树立节水意识、合理用水。（2）渠系建筑物改造：针对渡槽、倒虹吸、闸阀等核心渠系建筑物，重点优化其结构设计，修复破损、老化部位，减少输水过程中的渗漏和水头损失。例如，渡槽内壁采用防渗衬砌改造，增强防渗性能；倒虹吸优化进出口结构、减少水流阻力，提升输水效率；闸阀更换为节水型阀门，提升启闭灵活性和防渗性能，确保渠系输水高效、稳定，助力整体节水改造目标实现。

3 水利水电工程灌区节水改造技术优化策略与保障措施

3.1 技术优化策略

（1）不同类型灌区节水技术适配优化：大中型灌区聚焦规模化、智能化改造，推广渠道刚性防渗、智慧灌溉与精准调控技术协同应用，配套智能计量系统，兼顾节水与灌溉效率；小型灌区结合资金有限、地块零散特点，采用低成本、易操作的柔性防渗及畦灌沟灌优化技术，优先解决渗漏和配套不足问题，实现差异化改造。

(2) 核心技术集成优化: 整合渠道防渗、智慧灌溉、配套设施三大核心技术, 构建协同体系。通过防渗技术减少输水损耗, 智慧灌溉实现按需供水, 配套设施保障输水稳定与计量精准, 打破技术碎片化局限, 联动提升灌区整体节水效果, 推动改造向综合系统优化转变。(3) 新技术、新材料推广路径: 建立“科研-试点-推广”三级路径, 在重点灌区试点应用自修复混凝土、纳米防渗材料及数字孪生、智能调控等新技术, 总结经验优化适配方案; 通过技术培训提升人员能力, 出台激励政策, 引导灌区主动采用新技术新材料, 加快转化落地^[4]。

3.2 工程保障措施

(1) 施工质量管控体系完善: 严格落实“三检制”(自检、互检、专检), 明确各环节质量责任主体, 对渠道衬砌、防渗膜铺设、计量设施安装等关键工序进行全程监督, 建立质量追溯机制, 及时整改施工中出现的质量问题; 加强施工人员专业培训, 规范施工工艺, 确保节水改造工程质量达标, 延长工程使用寿命。(2) 老旧设施更新与配套完善: 聚焦灌溉“最后一公里”问题, 对老化破损、渗漏严重的田间渠道、小型泵站等设施进行全面排查与更新, 补齐配套短板; 重点完善田间灌溉管网、量水设施等配套工程, 实现骨干渠道与田间设施的无缝衔接, 解决小型灌区“卡脖子”输水问题, 确保节水技术充分发挥效能。

3.3 管理保障措施

(1) 管护机制健全: 明确灌区管护主体, 区分政府、企业、用水户的管护责任, 建立“谁受益、谁管护”的责任机制; 落实专项管护经费, 将管护资金纳入财政预算, 保障管护工作常态化开展, 配备专业管护队伍, 开展常态化巡查、维修与保养, 避免工程“重建轻管护”。(2) 用水计量与水价机制改革: 全面推进灌溉用水精准计量, 普及智能量水设施, 实现“一户一表、按方收费”; 完善水价形成机制, 合理制定阶梯水价, 对超定额用水实行加价, 对节水成效显著的用户给予奖励, 充分发挥价格杠杆作用, 引导用水户主动节水。(3) 用水户参与管理: 加快建设用水户协会, 明确

协会职责, 引导用水户参与灌区规划、建设、管护与用水调度, 鼓励用水户监督工程质量和用水情况, 畅通用水户反馈渠道, 形成“政府引导、协会组织、用水户参与”的共治模式, 提升灌区管理的科学性与实效性。

3.4 政策与资金保障措施

(1) 政策支持: 完善灌区节水改造相关扶持政策, 出台财政补贴、税收减免等激励政策, 引导社会资本参与改造; 健全技术标准规范, 明确不同类型灌区节水改造的技术要求、质量标准与验收规范, 为改造工作提供政策指引和技术依据, 确保改造工作规范化、标准化推进。(2) 资金保障: 构建“政府主导、社会参与、市场运作”的多元化资金投入机制, 加大中央和地方财政投入力度, 重点支持大中型灌区改造和贫困地区灌区升级; 鼓励企业、社会组织参与投资, 探索节水改造项目市场化运营模式, 拓宽资金来源渠道, 保障节水改造工程顺利实施。

结束语

本文围绕水利水电工程灌区节水改造技术展开全面研究, 明确了核心技术要点、现存问题及优化保障措施, 构建了“技术研究-策略优化-保障支撑”的完整体系。灌区节水改造是一项长期系统工程, 需兼顾技术适配性、工程可行性与管理科学性。未来需持续推动新技术新材料落地, 完善管护与水价机制, 强化政策资金支撑, 助力灌区实现节水增效、生态友好、可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 谢丹峰. 水利水电工程中灌区节水改造技术浅析[J]. 建筑工程技术与设计, 2020, 7(2): 23-25.
- [2] 张雷. 水利水电工程中灌区节水改造技术简述[J]. 建筑工程技术与设计, 2020, 23(6): 267-270.
- [3] 刘伟. 灌区节水灌溉工程优化设计与效益分析[J]. 中国农村水利水电, 2023, 15(4): 112-116.
- [4] 王红梅. 基于智能控制的灌区节水灌溉系统设计[J]. 水利技术监督, 2022, 9(6): 89-92.