

灌区农田水利工程节水改造的技术路径与成效分析

曹 山

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:我国人均水资源量匮乏,农业用水占比高,部分灌区存在工程老化、水资源浪费、生态扰动等问题,制约农业高质量发展。本文以灌区农田水利工程节水改造为研究对象,先阐述节水改造的核心理论基础与实施必要性,再系统梳理输水环节、田间灌溉及辅助技术三大类节水改造路径,构建涵盖水资源利用效率、工程运行状态、综合效益的成效评价体系并说明其应用方法。研究表明,科学的技术路径搭配完善的评价体系,可有效提升灌区水资源利用效率、弥补工程短板。本文研究成果为灌区农田水利工程节水改造实践提供技术参考与理论支撑,助力农业绿色可持续发展与粮食安全保障。

关键词:灌区;农田;节水改造;技术路径;成效评价体系

引言:灌区作为农业生产核心载体,其水利工程节水改造是缓解水资源供需矛盾、推动农业绿色转型的关键举措。基于此,本文结合节水改造理论基础与现实需求,系统分析核心技术路径,构建适配实际的成效评价体系,旨在破解灌区节水改造痛点,为优化改造方案、提升工程实效提供依据,契合国家节水优先与农业可持续发展战略。

1 灌区农田水利工程节水改造核心理论基础

1.1 农田水利工程节水概念界定

农田水利工程节水基于灌区水资源供需矛盾,通过工程、技术与管理手段,实现灌溉水资源在输水、配水、田间灌溉全流程高效利用,核心内涵涵盖节水效率与节水效益。前者聚焦量化降低水资源损耗,包括输水渗漏控制、田间灌溉定额精准调控;后者强调整节水与农业生产、生态保护的协同,规避单纯追求节水率而忽视作物生长需求的问题。灌区节水改造有别于常规水利工程维修,本质是通过技术迭代与系统重构,推动工程功能从“输水灌溉”向“精准高效用水”转变,核心目标是提升灌溉水利用系数、降低单方水粮食生产成本。

1.2 灌区水资源优化配置理论

该理论是节水改造的核心技术依据,核心原理是以水资源承载力为约束,通过多目标优化模型实现地表水、地下水、再生水等多水源的时空耦合调配。其核心逻辑包括三层:一是依据灌区水文循环规律,明确不同水源可利用量与开发阈值;二是结合作物需水规律及灌溉制度,确定差异化用水优先级;三是通过工程与非工程措施,构建“水源-输水-田间”一体化配置体系,实现灌区尺度水资源供需平衡。

1.3 节水改造与农业可持续发展关联性

二者存在双向驱动关联机制,节水改造是农业可持续发展的关键支撑。资源维度上,可提升水资源利用效率,缓解短缺压力,保障农业用水供给稳定,为耕地可持续利用奠定基础;经济维度上,可降低灌溉成本,依托配套技术提升作物产量与品质,增强农业经济效益和市场竞争能力;生态维度上,可减少地下水超采与农田面源污染,改善灌区水生态环境,实现农业生产与生态保护协同^[1]。

2 灌区农田水利工程节水改造必要性

灌区是我国农业生产核心载体,农田水利工程关乎粮食安全与农业稳定,节水改造并非单纯工程升级,而是适配国情、破解发展瓶颈的必然选择,核心必要性体现在四方面:(1)缓解水资源供需矛盾。我国人均水资源量远低于世界平均水平,农业用水占比高,部分灌区存在地表水不足、地下水超采问题。节水改造可减少输水与灌溉环节损耗,提升水资源利用效率,实现有限水资源最大化利用,缓解区域用水紧张。(2)弥补工程短板。多数老旧灌区水利工程建成时间久,存在渠道渗漏、设施老化、配套不完善等问题,导致灌溉水利用系数偏低,影响灌溉保障能力。节水改造可针对性修复缺陷,优化工程运行状态,筑牢农业水利保障根基。(3)推动农业绿色转型。传统粗放灌溉易引发土壤次生盐渍化、水生态破坏等问题,节水改造结合高效灌溉技术,可减少农业面源污染与生态扰动,助力农业向集约型、绿色化转型,契合可持续发展理念。(4)保障国家粮食安全。面对耕地约束与粮食增产需求,节水改造能提升灌区抗灾保灌能力,稳定作物灌溉供给,为粮食产能提升提供坚实保障,凸显水利工程在国家粮食安全战略中的基础作用^[2]。

3 灌区农田水利工程节水改造的技术路径

3.1 输水环节节水技术

输水环节是灌区水资源损耗的主要环节,节水改造核心在于通过技术优化减少渗漏、提升输水效率,实现从水源到田间的高效输水,具体技术路径如下:(1)渠道防渗改造技术。针对不同灌区地质条件与工程现状,采用差异化防渗方案,从根源降低渠道渗漏损耗。硬化防渗技术适用于土质疏松、渗漏严重的主干渠道,通过混凝土现浇、浆砌石砌筑加固渠壁,形成致密防渗层阻断水分下渗;衬砌防渗技术可结合生态需求,选用土工膜、复合土工布、膨润土防水毯等材料,兼具防渗效果与施工便捷性,适配中支渠道改造且成本可控;生态防渗技术聚焦生态敏感型灌区,采用生态混凝土、植草砖、植被缓冲带等材料,在保障防渗性能的同时维持渠道生态完整性,兼顾节水与生态保护。改造中需同步处理渠道边坡稳定性问题,避免防渗层因边坡塌陷受损,提升工程耐久性。(2)管道输水替代技术。逐步替代传统土渠、砌石渠,构建无渗漏、低损耗的高效管道输水体系。低压管道输水技术适用于平原及中小型灌区,选用PE管、PVC管等耐腐蚀抗压管材,结合作物分布与地形布设管网,控制输水压力在合理范围,减少管道破损与能耗;滴灌管网布设侧重田间末端输水,与田间灌溉技术衔接,按作物行距与灌溉均匀性要求,采用支管、毛管分级布设,确保水流精准送达作物根系区域。管道铺设需做好接口密封处理,预留检修口,便于后期维护,保障系统运行稳定性。(3)输水系统智能化调控技术应用。依托信息化技术优化输水管理,实现精准调控。在主干渠道、支渠及管道关键节点布设流量、压力传感器,实时采集数据并构建监测网络;以监测数据为依据,用智能调控设备替代人工操作,实现闸阀开度自动调节、流量动态分配,按需供给水量避免浪费;搭建智能管理平台,整合监测数据、调控指令与运行状态信息,实现输水过程可视化、数字化管理,及时排查故障,保障输水效率与稳定性^[3]。

3.2 田间灌溉节水技术

田间灌溉环节直接影响水资源利用效率与作物生长,节水改造以精准适配作物需水、减少无效耗水为核心,结合作物类型与灌溉条件优化技术方案,具体路径如下:(1)精准灌溉技术。根据作物需水特性、土壤墒情及气候条件,选用适配的精准灌溉模式替代传统粗放式灌溉。滴灌技术适用于经济作物及大田密植作物,通过毛管滴水器将水分缓慢滴入根系土壤,精准供给且减少蒸发与深层渗漏,可按作物生长阶段调节滴水量与频率;喷灌技术分

为固定、半固定、移动式三种,适配不同地形与作物布局,通过喷头雾化洒水模拟自然降雨,兼顾灌溉与降温,大幅减少用水量,适用于大面积大田作物;微灌技术含微喷灌、渗灌等,微喷灌通过细孔喷头形成水雾,适配温室大棚与经济作物,渗灌通过地下渗水管将水分输送至根系深层,进一步降低蒸发损耗,适配缺水区域。各类技术需优化设备选型与布局,保障灌溉均匀性。(2)水肥一体化节水配套技术。将灌溉与施肥协同结合,在提升施肥效果的同时减少水资源消耗。采用可溶性肥料与灌溉水混合配比,通过灌溉管网将水肥混合液精准输送至作物根系,避免传统施肥后单独灌溉的水分浪费,提升肥料利用率并减少面源污染。结合作物生长需求与土壤肥力,精准调控水肥配比、灌溉量与施肥时间,实现“按需供给”,兼顾作物生长与资源保护。配套设备选用耐腐蚀、不易堵塞材质,定期清洗维护,建立水肥管理台账,为方案优化提供依据。(3)田间灌溉制度优化技术。基于作物需水规律与气象数据,科学调整灌溉时间、定额与周期,构建适配区域条件的优化灌溉制度。通过土壤墒情监测与作物需水量计算,确定合理灌溉阈值,避免盲目灌溉;按作物不同生长阶段差异化设定灌溉定额,苗期少灌、生殖生长期按需增灌;结合区域降水规律优化灌溉周期,充分利用自然降水减少人工灌溉量。针对沙质土壤保水性差的特点,采用小水量、高频次灌溉;黏质土壤透水性差,则适当增加单次灌溉量、延长周期,避免积水与深层渗漏。

3.3 辅助技术路径

辅助技术为核心节水技术提供支撑,聚焦工程配套、资源循环与智能管控,补齐改造短板,提升整体效果,具体如下:(1)工程配套设施升级技术。针对泵站、闸阀等设施老化低效问题开展改造,泵站通过更换高效节能水泵、优化电机与传动系统提升效率、降低能耗,同步修复构筑物增强稳定性;闸阀改造选用密封性好、调节精度高的智能闸阀,完善控制装置,实现与输水系统智能调控协同联动,保障水量精准分配。(2)水资源循环利用技术。挖掘区域水资源潜力,构建循环利用体系补充灌溉水源。雨水集蓄技术通过修建集雨池、蓄水池收集雨水,经沉淀过滤后用于灌溉,适配降水集中但分布不均区域;尾水回收技术对农田排水、养殖尾水进行处理,去除污染物、调节水质后复用,减少对常规水源的依赖,降低生态影响。信息化监测与智能管控技术。搭建全域监测网络,在田间布设墒情、作物长势监测设备,结合气象数据精准预判需水需求,为灌溉优化提供依据。通过智能平台整合数据,实现灌溉、输水、水肥管理一体化调控,远程操控设备减少人工干

预,依托数据溯源分析优化技术方案,稳定节水成效^[4]。

4 灌区农田水利工程节水改造的成效评价体系构建与应用

4.1 节水改造成效评价体系构建

成效评价体系构建以科学量化、贴合实际为核心,兼顾系统性与可操作性,覆盖核心维度并设定对应评价指标,形成完整评价框架。评价体系核心维度包括以下三大类:(1)水资源利用效率维度聚焦节水核心目标,核心指标包括灌溉水利用系数、单位面积灌溉用水量、水资源损耗率。灌溉水利用系数反映从水源到田间的整体用水效率,直接体现输水与灌溉环节节水改造效果;单位面积灌溉用水量以区域作物类型为基准,衡量田间灌溉的节水程度;水资源损耗率重点核算输水环节渗漏、田间蒸发等无效损耗占比,精准定位节水改造关键节点成效。(2)工程运行状态维度侧重改造后工程的稳定性与适配性,指标包括工程完好率、设备运行效率、系统调控精度。工程完好率涵盖渠道、管道、泵站等核心设施的完好情况,反映改造工程的耐久性;设备运行效率针对智能调控设备、灌溉设备等,衡量设备节能与运行稳定性;系统调控精度体现智能化改造效果,量化闸阀调节、流量分配的精准程度。(3)综合效益维度兼顾多重价值,选取农业生产适配性、生态影响程度两个核心指标。农业生产适配性衡量改造工程对作物生长需求的满足程度,规避单纯追求节水而影响生产的问题;生态影响程度聚焦改造对区域水生态、土壤环境的影响,确保节水与生态保护协同。各指标均明确计算标准与数据获取路径,适配灌区实际监测条件,保障评价体系的实用性。

4.2 节水改造成效评价体系的实际应用

评价体系应用要遵循标准化流程,结合灌区改造实际优化实施步骤,确保评价结果精准可靠,为后续改造优化提供依据。(1)应用前期要做好基础准备工作,明确评价范围与周期,范围覆盖改造涉及的输水、灌溉及辅助系统,周期结合工程运行特点设定为年度常态化

评价与阶段性综合评价相结合。(2)数据采集环节依托灌区现有监测网络,整合信息化监测数据与实地核查数据,保障数据真实性与完整性。水资源利用效率相关指标数据通过流量传感器、墒情监测设备自动采集,结合人工复核校准;工程运行状态数据源于设备运行台账、定期检修记录,同步核查设备实际运行参数;综合效益指标数据通过土壤监测、生态调查及生产适配性调研获取,避免数据片面性。(3)评价实施过程中采用定量为主、定性补充的方式,按指标权重计算综合得分,明确各维度成效等级。权重分配结合灌区改造核心目标调整,水资源短缺区域适当提高水资源利用效率指标权重,生态敏感区域强化生态影响程度指标占比。评价结果需形成专项报告,精准分析各技术路径的成效差异,定位改造薄弱环节。(4)评价结果应用聚焦改造优化与长效管理,针对评价发现的短板,调整技术路径与运行方案,如输水损耗偏高则强化防渗或管道改造,调控精度不足则优化智能管控系统。同时建立评价结果反馈机制,将评价结论融入后续改造规划,形成“改造-评价-优化”的闭环管理,保障节水改造成效持续发挥。

结束语:灌区农田水利工程节水改造是一项系统性工程,需兼顾技术适配性、工程稳定性与综合效益。本文梳理的技术路径与评价体系,为实践提供了可操作的框架。未来改造需结合区域差异优化技术组合,强化评价结果的反馈应用,形成闭环管理。持续完善技术推广与长效运维机制,破解实施中的各类难题。

参考文献

- [1]孙姣,钱润竞.水利工程灌区节水改造的技术创新路径研究[J].行车指南,2025(3):0048-0050.
- [2]林志彦.中小型农田水利灌溉工程设计及节水技术探析[J].农业机械,2025(8):146-148.
- [3]方凤朝.农田水利工程节水灌溉技术的改造探究[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(3):025-027.
- [4]马晓娟.农田水利工程高效节水灌溉技术发展与应用分析[J].葡萄酒,2022(24):0072-0073.