

灌区现代化改造中节水灌溉技术应用效果评价

徐志苏

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 本文在系统梳理当前主流节水灌溉技术类型及其适用条件的基础上,结合典型灌区案例,从水资源利用效率、经济效益、生态环境效益及社会接受度四个维度构建综合评价指标体系,并介绍采用层次分析法(AHP)与模糊综合评价法相结合的方式,对节水灌溉技术的应用效果进行量化评估。研究表明:喷灌、微灌等高效节水灌溉技术在提升水分生产率、降低单位面积灌溉定额方面成效显著;但其推广仍面临初期投资高、运维管理复杂、农户认知不足等现实障碍。最后,本文从政策支持、技术创新、管理机制和农民参与等方面提出优化建议,以期为我国灌区现代化高质量发展提供理论支撑与实践参考。

关键词: 灌区现代化;节水灌溉;技术应用;效果评价;水资源效率;综合评价体系

引言

我国是农业大国,农业用水占全国总用水量的60%以上。然而,传统灌溉方式普遍存在用水粗放、输配水损失大、田间利用效率低等问题,导致大量水资源浪费。据水利部统计,全国大型灌区平均灌溉水利用系数仅为0.55左右,远低于发达国家0.75以上的水平。在此背景下,推进灌区现代化改造,推广应用先进节水灌溉技术,成为缓解水资源供需矛盾、保障国家粮食安全、实现农业绿色转型的必然选择。“十四五”以来,国家相继出台《全国中型灌区续建配套与节水改造实施方案(2021—2025年)》《关于推进农业水价综合改革的指导意见》等政策文件,明确提出到2025年,全国农田灌溉水有效利用系数提高到0.57以上,新增高效节水灌溉面积1亿亩。在此政策驱动下,各地灌区纷纷开展以渠道防渗、管道输水、喷微灌系统建设为核心的现代化改造工程。然而,节水灌溉技术的实际应用效果如何?不同技术模式在不同区域、不同作物条件下的适应性与效益差异何在?现有评价体系是否科学全面?这些问题亟需通过系统研究予以回答。

1 节水灌溉技术类型及适用条件

节水灌溉技术是指在满足作物正常生长需水的前提下,通过工程、农艺、管理等手段减少无效耗水、提高水分利用效率的一系列技术措施。根据输配水方式与田间灌水方法的不同,主要可分为以下几类:

1.1 渠道防渗技术

渠道防渗作为灌区输水环节的基础性节水措施,主要通过混凝土衬砌、土工膜铺设等方式减少渠系渗漏损失。该技术特别适用于地形平缓、土质渗透性强的传统自流灌区,在我国黄河流域、长江中下游等大型灌区中

应用广泛。其优势在于施工工艺成熟、投资相对较低、维护简便,能够有效将渠系水利用系数提升15%至30%。然而,渠道防渗的节水潜力有限,难以从根本上解决田间灌溉粗放的问题,且长期运行后易出现裂缝、冻胀等结构性损坏,需定期维护,否则节水效果将大打折扣。

1.2 管道输水技术

管道输水技术以低压塑料或混凝土管道替代传统明渠,显著减少了输水过程中的蒸发与渗漏损失,整体输水效率可达95%以上。该技术在华北平原等井灌区和小型提水灌区尤为适用,尤其在地下水超采严重地区,因其占地少、管理便捷、输水快速等优点而被大力推广^[1]。尽管如此,管道输水系统对水质有一定要求,泥沙含量高易造成管口堵塞;同时,一次性建设成本高于渠道防渗,且缺乏可视化水流,农户对水量感知较弱,可能影响用水行为的调整。

1.3 喷灌技术

喷灌技术通过加压设备将水喷洒至空中,形成细小水滴均匀降落于作物冠层,模拟自然降雨过程。根据设备移动方式,可分为固定式、半固定式和移动式三种形式,适用于小麦、玉米等大田作物以及地形起伏较大的丘陵山区。喷灌不仅能节水30%至50%,还可调节田间小气候、节省劳动力,并在一定程度上抑制病虫害传播。然而,其应用效果受风速、气温等气象条件影响较大,在干旱多风地区易造成水分飘移损失;此外,喷灌系统能耗较高,设备初期投入大,对电力或柴油动力依赖较强,限制了其在偏远地区的普及。

1.4 微灌技术

微灌技术包括滴灌、微喷灌和渗灌等形式,其核心在于将水分缓慢、精准地输送至作物根区,最大限度减

少无效蒸发与深层渗漏。其中，滴灌因节水效率高（可达50%至70%）、可实现水肥一体化、适配自动化控制等优势，已成为高附加值经济作物如葡萄、蔬菜、果树等的主要灌溉方式。在新疆、甘肃等干旱区，微灌技术已与智能传感、远程控制深度融合，显著提升了资源利用效率。但该技术对水源洁净度、过滤系统和运维管理水平要求极高，一旦管理不善，极易发生滴头堵塞、管道老化等问题，且初期投资门槛高，更适合规模化、专业化经营主体，对分散小农户而言存在一定应用壁垒。

1.5 农艺与管理节水措施

除工程技术外，农艺与管理措施同样是节水灌溉体系不可或缺的组成部分。例如，通过地膜覆盖或秸秆覆盖可有效抑制土壤水分蒸发，调亏灌溉和非充分灌溉则根据作物需水关键期灵活调控供水，在保障产量的同时大幅减少用水量。近年来，随着数字农业的发展，基于土壤墒情、气象数据和作物模型的智能灌溉决策系统逐步推广，实现了从“经验灌溉”向“按需灌溉”的转变。这些措施成本低、易操作、适应性强，常与工程节水技术协同使用，形成“工程+农艺+管理”三位一体的综合节水模式，显著提升了整体节水效能。

2 节水灌溉技术应用效果评价指标体系构建

为全面、客观地评价节水灌溉技术的应用效果，本文基于“资源-经济-生态-社会”四位一体理念，构建如下综合评价指标体系（见表1）。

表1 节水灌溉技术应用效果综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层
节水灌溉技术应用效果评价	水资源利用效率	灌溉水利用系数
		单位面积灌溉定额 (m ³ /亩)
		水分生产率 (kg/m ³)
	经济效益	吨粮耗水量 (m ³ /t)
		亩均增产率 (%)
		投资回收期 (年)
		净收益增量 (元/亩)
	生态环境效益	地下水埋深变化
		土壤盐渍化程度
		氮磷流失量减少率
		碳排放强度降低率
	社会接受度	农户满意度
		技术培训覆盖率
		运维便捷性评分
		政策知晓率

2.1 水资源利用效率

该维度反映技术对水资源节约的核心贡献。灌溉水利用系数衡量从水源到田间的整体输配效率；单位面积

灌溉定额体现实际用水量；水分生产率（即单位耗水量所产出的粮食或经济作物产量）则是衡量用水效益的关键指标^[2]。

2.2 经济效益

节水技术若不能带来经济回报，则难以持续推广。本维度关注增产增收、成本节约及投资回报情况。特别强调“净收益增量”，即扣除设备折旧、运维成本后的实际收益增长。

2.3 生态环境效益

节水不仅关乎资源，更关联生态。过度开采地下水会导致地面沉降，大水漫灌易引发次生盐碱化，而精准灌溉可减少化肥淋溶，降低农业面源污染。此外，节能型灌溉（如太阳能滴灌）还可减少碳排放。

2.4 社会接受度

技术推广最终依赖农户采纳。若操作复杂、维护困难或与传统习惯冲突，即便技术先进也难落地。因此，需评估农户对技术的认知、满意度及参与意愿。

3 评价方法

科学、系统的评价方法是准确衡量节水灌溉技术应用效果的前提。鉴于节水灌溉涉及资源利用、经济收益、生态影响与社会接受等多个维度，且各指标间存在量纲差异与主观判断成分，单一评价方法难以全面反映其综合效益。因此，本文采用层次分析法（AHP）与模糊综合评价法（FCE）相结合的混合评价模型，以兼顾指标权重的客观性与评价过程的柔性处理能力。

首先，在指标体系构建基础上，运用层次分析法确定各级指标的相对重要性权重。该方法通过将复杂问题分解为目标层、准则层和指标层，并邀请相关领域专家依据1-9标度法对同层级元素进行两两比较，构造判断矩阵^[3]。随后，计算各判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量，经归一化处理后即得各指标权重。为确保判断的一致性，需进行一致性检验，当一致性比率（ConsistencyRatio,CR）小于0.1时，认为判断矩阵具有满意的一致性，所得权重可被采纳；否则需重新调整专家判断直至满足一致性要求。本研究中，准则层包括水资源利用效率、经济效益、生态环境效益和社会接受度四个维度，其权重分配充分体现了当前国家对农业节水“资源优先、效益兼顾、生态协同、以人为本”的政策导向。

其次，在权重确定的基础上，引入模糊综合评价法处理评价过程中的不确定性与模糊性。由于部分指标（如农户满意度、运维便捷性等）难以精确量化，且不同评价主体对“优”“良”“中”“差”等等级的理解

存在主观差异,传统打分法易产生偏差。模糊综合评价通过建立评语集(如{优,良,中,差})和相应的隶属度函数,将定性描述转化为定量数据。具体操作中,针对每一项末级指标,依据实地调研、文献数据或专家打分,确定其隶属于各评语等级的程度,形成单因素评价矩阵;再将该矩阵与对应权重向量进行模糊合成运算(通常采用 $M(\wedge, V)$ 或 $M(\cdot, \oplus)$ 算子),逐层向上聚合,最终得到目标层的综合评价结果。该结果可表示为各评语等级的隶属度分布,亦可通过加权平均法转化为具体得分,便于横向比较与决策支持。

值得强调的是,本方法体系在设计时充分考虑了可操作性与适应性。一方面,AHP权重赋值过程透明、逻辑清晰,便于政策制定者理解与调整;另一方面,FCE允许评价信息以区间值、语言变量等形式输入,增强了对基层数据不完整或质量不高的容忍度。此外,该模型具备良好的扩展性,未来可根据区域特点或技术演进动态增删指标,而不影响整体框架的稳定性。

4 存在问题与挑战

尽管节水灌溉技术在灌区现代化改造中取得显著进展,但在实际推广过程中仍面临多重现实挑战。首先是初期投资高企与融资机制不健全的问题。高效节水灌溉系统每亩建设成本普遍在1500至3000元之间,远高于传统灌溉方式,虽然中央财政提供一定补贴,但地方配套资金压力大,社会资本参与意愿不足,导致部分项目“重建设、轻配套”。其次是运维管理能力薄弱。许多灌区缺乏专业技术队伍,设备故障频发却得不到及时修复,过滤器堵塞、管道破裂等问题屡见不鲜,致使系统“建而不用”或“用而不优”,严重削弱了节水成效。再次是农户认知与行为惯性的影响。部分农民仍将水视为“免费资源”,缺乏节水意识;加之部分技术操作复杂,老年农户学习能力有限,导致技术采纳率偏低。最后,技术适配性不足的问题也不容忽视。一些地区盲目追求“高大上”设备,忽视本地水源条件、作物类型和经营规模,造成技术“水土不服”,不仅浪费财政资金,还挫伤了农户信心。

5 优化对策与建议

针对上述问题,本文提出以下优化路径。首先,应完善多元化投融资机制。在加大中央财政支持力度的同时,探索PPP、特许经营等模式,鼓励农业龙头企业、合作社等新型经营主体参与灌区建设与运营;同时推行

“以奖代补”“先建后补”等灵活补贴方式,提高资金使用效率。其次,强化技术适配与集成创新。建立分区分类的技术推荐目录,避免“一刀切”;针对小农户需求,研发低成本滴灌、重力自压滴灌等简化版技术;推动水肥药一体化、物联网、遥感监测等数字技术深度融合,提升系统智能化水平^[4]。第三,健全运行管护长效机制。深入推进农业水价综合改革,明晰用水权,探索水权交易机制,让节水者受益;培育专业化灌溉服务组织,提供从设计、安装到运维的全链条服务;将灌区管护纳入基层水利服务体系,配备专职技术人员,确保系统长效运行。最后,全面提升农户参与度与能力建设。通过“田间学校”、示范户带动等方式开展接地气的技术培训;优化设备人机界面,开发语音提示、图形化操作等适老化功能;将节水成效与耕地地力保护补贴、绿色认证等惠农政策挂钩,增强农户的获得感与认同感。

6 结语

灌区现代化改造是实现农业高质量发展的战略举措,而节水灌溉技术是其核心支撑。本文研究表明,喷灌、微灌等高效节水技术在提升水资源利用效率、增加农民收入、改善生态环境方面具有显著优势,尤其在高附加值作物区和规模化经营条件下综合效益突出。然而,技术推广仍受限于投资成本、运维能力、农户认知等多重因素。未来,应坚持“因地制宜、经济适用、农民可接受”的原则,构建“技术-制度-主体”协同推进机制。一方面加强技术创新与集成,降低应用门槛;另一方面深化水权水价改革,完善利益联结机制,真正实现“节水增效、农民增收、生态改善”的多赢目标。唯有如此,灌区现代化才能从“工程现代化”迈向“治理现代化”,为国家水安全与粮食安全筑牢根基。

参考文献

- [1]冯伟.关于灌区节水改造及其现代化进程的探讨[C]//河海大学,新疆维吾尔自治区水利学会,新疆农业大学,石河子大学.2024中国水资源高效利用与节水技术论坛论文集.安徽省水利厅茨淮新河工程管理局,2024:121-136.
- [2]刘慧滢.乡村灌区现代化建设与改造现状及提升策略[J].乡村科技,2025,16(11):151-154.
- [3]孟明,谭清匀,罗涛,等.河套灌区现代化升级改造的经验与发展建议[J].河南水利与南水北调,2024,53(11):56-57.
- [4]刘剑波.灌区现代化改造成效评价指标体系的研究及应用[J].小水电,2024,(04):29-33.