

水资源优化配置下灌区节水改造工程效益分析

王 皓

建基工程咨询有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：为破解北方灌区水资源短缺、地下水超采、灌溉效率低下等难题，本文以水资源优化配置理论为支撑，结合区域灌区实际工程条件，构建经济、社会、生态三维效益评价体系。通过测算渠道防渗、管道输水等节水改造工程的多维效益，明确工程实施的正向价值。研究发现改造工程综合效益显著，但存在田间设施薄弱、调度粗放等短板，据此提出优化配水方案、强化运维管理等对策，为灌区节水改造长效提质提供参考。

关键词：水资源；优化配置；灌区节水；改造工程效益

引言：北方粮食主产区灌区长期面临水资源供需失衡、渠系工程老化、灌溉模式粗放等问题，地下水超采、用水浪费等现象突出，严重制约农业可持续发展与粮食安全。水资源优化配置与节水改造是破解灌区水土资源矛盾的核心举措。基于此，本文结合灌区工程现状，依托相关水利理论开展效益测算与分析，精准识别工程实施痛点，针对性提出优化策略，助力灌区实现水资源高效利用、农业稳产增收与生态持续改善的发展目标。

1 相关理论与工程基础概况

1.1 核心概念界定

(1) 水资源优化配置：在区域水资源总量约束下，依公平、高效、可持续原则，运用工程与非工程手段合理分配水资源。本研究侧重农业灌区，统筹干支渠来水、地下水与田间需水，实现时空最优匹配。(2) 灌区节水改造工程：对原有灌溉系统进行现代化升级，涵盖渠道防渗衬砌、低压管道输水、田间喷灌/微灌设备更新及管网拓扑优化，系统性降低从水源到田间的全链条输配水损耗。(3) 工程综合效益：节水改造后产生的多维正向效应，包括经济效益（增产增收与成本节约）、社会效益（粮食安全与用水公平）及生态效益（地下水位恢复与面源污染消减），构成三维一体评价体系。

1.2 相关基础理论

(1) 水资源优化配置理论：涵盖水资源供需平衡理论，强调来水过程与需水过程的动态响应匹配；区域水资源统筹配置理论，协调上下游、左右岸及各用水部门间的权益关系；高效节水利用理论，指导非充分灌溉制度的制定与有限水量的高效转化。(2) 水利工程效益评价理论：包括成本收益分析理论，量化投入产出的经

济可行性；综合效益评价理论，处理多目标多维度效益的权重归并；可持续发展理论，确保改造方案兼顾当前效益与代际公平，不牺牲长远生态健康为代价^[1]。(3) 灌区水土资源耦合理论：重点分析灌区水资源与土地资源、农业生产之间的耦合适配关系，揭示土壤质地、作物布局与水源供给的互馈机制，通过调整种植结构与灌溉定额，寻求水—土—粮系统的最优适配阈值。

1.3 研究灌区工程概况

(1) 灌区基础条件：研究区位于北方典型粮食主产区，属温带半干旱大陆性气候，年均降水量450~550mm且集中于夏季，蒸发强烈。灌区土壤以粉砂壤土为主，保水保肥能力中等。现状种植结构以冬小麦—夏玉米一年两熟为主，复种指数较高。多年平均水资源总量不足，地下水超采严重，供需缺口常年存在。(2) 原有灌区工程短板：骨干渠道衬砌率不足40%，土渠输水渗漏与蒸发损失严重，渠系水利用系数仅0.52左右；渠系建筑物老化失修，闸门启闭不灵，跑冒滴漏普遍；田间工程配套率低，大水漫灌仍为主要灌水方式，灌溉水利用系数远低于先进水平；水资源调配缺乏定量依据，用水计划执行率偏低。(3) 节水改造工程实施方案：改造范围覆盖灌区核心耕地面积15.6万亩。重点实施骨干渠道防渗防冻胀处理32.5km、末级渠系低压管道化改造28.7km，配套田间滴灌系统3000亩，安装智能量测水设施86处。同步优化渠系配水调度方案，构建地表地下水联合供水网络，设计灌溉保证率由现状52%提升至75%。

2 水资源优化配置下灌区节水改造工程效益测算

2.1 效益评价指标体系构建

(1) 指标构建原则：遵循科学性，确保指标物理意

义明确、理论基础扎实；坚持系统性，涵盖经济、社会、生态及资源配置多维层面；突出针对性，紧扣灌区节水改造与水资源优化配置的核心目标；强调可量化性，指标数据可获取、可测度；恪守真实性，指标反映客观实际，避免主观臆断，为效益测算提供可靠标尺。（2）多维度指标选取：经济效益指标包括灌溉水利用率提升率、亩均增产效益、节水价值、能耗节约额等；社会效益指标涵盖灌溉保证率、农户灌溉成本降幅、粮食产能贡献度等；生态效益指标涉及地下水采补平衡度、渠道渗漏削减率、灌区植被覆盖度变化等；水资源配置优化指标则从渠系水利用系数、联合供水比例、配水调度响应时滞等方面刻画配置效率提升^[2]。（3）指标权重确定：采用层次分析法构建梯阶层次结构，依托专家打分构造判断矩阵，确定主观权重；同时引入熵权法，基于各指标实测数据的变异程度计算客观权重。通过乘法归一化将主客观权重进行组合赋权，兼顾决策者偏好与数据内在信息，确保权重分配客观、均衡，为后续综合效益的准确归集奠定基础。

2.2 工程经济效益测算

（1）节水增收效益：依据改造前后渠系水利用系数与田间水利用率的差值，计算灌区单位面积年均节水量，并按照当地农业供水成本或水权交易价格折算水资源节约的经济价值。同时，基于作物水分响应模型，量化灌溉保证率提升后主栽作物（如小麦、玉米）的亩均增产量与籽粒品质改善所带来的价格溢价，将节水价值与增产增收汇总为年度节水增收总效益。（2）成本节约效益：对比改造前后泵站提水扬程与输配水系统能耗差异，按实际运行电费单价折算年节约能耗支出；渠道防渗及管道化改造后，衬砌维护、清淤除草、闸阀检修等年度运维频次显著降低，依据运行管理台账定额核算年运维成本降幅；因地表水替代部分地下水开采，所减少的水资源费缴纳额度一并计入开采成本节约效益^[3]。（3）土地利用效益：灌区边缘地带因原有灌溉条件不足而撂荒或低产的边际土地，节水改造后恢复有效灌溉，按实际复耕面积与当地土地流转收益标准计算土地盘活增益。此外，灌溉可控性增强后，农户可依据市场行情适度调减高耗水低效益的大田作物面积，增加经济作物种植比例，由此产生的亩均产值差额归入种植结构优化带来的土地利用效益。

2.3 工程社会效益测算

（1）农业生产保障效益：以改造前后灌溉保证率由现状实测值提升至设计保证率（如75%）为量化基础，计算旱涝保收面积扩展规模及对应稳产产能增量。结合

区域粮食自给率缺口与储备应急需求，评估灌区在极端水文年份的抗灾保产能力提升幅度，量化其对国家粮食安全战略的底层支撑贡献程度。（2）民生改善效益：核算改造后亩均灌溉水费支出减少额以及灌水劳动工时节省量，按灌区受益农户总数汇总年度总减负额度。同时，由于供水及时性与可靠性的显著提升，农户间因争水抢水引发的纠纷事件大幅减少，农业生产便利性的系统性改善对乡村产业稳定发展和农户持续增收形成持久正向助推。（3）社会资源优化效益：定量分析节水改造所释放的水量在不同用水部门间的再分配结构与比例，测算农业节水量转用于城镇生活、工业及生态的替代供水价值。通过城乡用水矛盾缓解程度与水利公共服务均等化水平的综合提升，全面表征水资源配置格局优化所产生的社会资源优化效益。

2.4 工程生态效益测算

（1）水土保持效益：渠道防渗改造后，单位长度输水渗漏损失量大幅削减，有效控制因灌溉渗漏补给过度导致的地下水位抬升及由此引发的次生盐渍化风险。管道输水替代土渠明流后，田间径流冲刷侵蚀作用显著减弱，结合区域土壤侵蚀模数前后监测数据的变化，估算年土壤流失量减少额度及土壤有机质保有量的相应增益。（2）生态补水效益：以节水总量扣除回归水重复利用部分后的净节水量为基准，测算可回归河道维持生态基流或用于地下水人工回灌的水量规模。依据灌区地下水动态监测网络长序列数据，推算地下水位回升速率及地下水漏斗区面积缩减幅度，综合评估对区域地下水超采态势的根本性扭转与持续改善效果^[4]。（3）生态环境改善效益：通过优化灌溉制度与科学控制灌水定额，有效削减农田尾水中氮磷营养盐的排放通量，结合灌区下游接纳水体水质断面监测数据，估算农业面源污染负荷的整体消减率。灌区蒸散发条件的改变对局地温湿度变幅形成正向调节，其综合效应纳入灌区生态承载力评价框架，形成对区域生境质量整体改善的定量化生态效益表达。

3 水资源优化配置下灌区节水改造工程效益综合分析与优化对策

3.1 工程综合效益整体评价

（1）单项效益对比分析：经济效益方面，节水增收与成本节约成效显著，灌溉水利用率提升带来可观的直接经济回报，能耗与运维支出同步下降，短期效益释放较为充分；社会效益方面，灌溉保障率提高增强了区域粮食产能稳定性，农户灌溉成本降低与用水纠纷减少，民生改善效果明显；生态效益方面，渠道渗漏削

减与地下水补给的增加,初步遏制了生态退化趋势,但生态效益的显现具有时滞性,短期内弱于经济与社会效益。(2)综合效益耦合分析:水资源优化配置为节水改造提供了水量调配的顶层框架,节水改造工程则为配置方案的落地提供了物理载体,二者形成互为支撑的协同关系。工程实施后,地表地下水联合调度能力增强,灌区水—土—粮系统整体运行效率提升,综合效益呈现“经济见效快、社会普惠广、生态后劲足”的梯度释放特征,工程整体实施价值显著。(3)效益实现短板分析:部分改造片区存在重骨干轻末级现象,田间配水设施不完善制约了整体节水效果向终端效益的充分转化;水资源调度仍偏粗放,动态响应能力不足,导致优化配置方案与实际需水过程存在偏差;效益监测体系尚不健全,部分生态指标缺乏长期连续观测数据,影响效益评估的完整性与精准度。

3.2 效益影响因素分析

(1)技术因素:节水改造技术的区域适配性直接影响工程效果,不同土壤质地与作物类型对滴灌、喷灌等技术的适用性存在差异;施工质量把控不严会导致渠道防渗效果不达标、管道接口渗漏等问题;智能化设备运维水平参差不齐,部分灌区信息化监测设备闲置率高,制约了精细化调度能力的发挥。(2)管理因素:灌区水资源调度管理制度的执行刚性不足,用水计划与实际配水之间常存在脱节;水管控机制中计量设施覆盖率低,难以实现按方收费与总量控制;基层运维管理模式多依赖行政推动,专业化、市场化管护机制尚未建立,工程长效运行缺乏制度保障。(3)自然与人为因素:气候变化导致降水时空分布不确定性增加,对既定调度方案形成持续扰动;农业种植结构中高耗水作物占比偏高,与节水模式下的水量供给能力存在错配;农户节水意识参差不齐,大水漫灌习惯短期内难以根本扭转,人为因素对工程效益的持续释放构成隐性制约。

3.3 提升灌区节水改造工程效益的优化对策

(1)优化水资源配置方案:基于区域来水条件的季节性与年际变化规律,构建“预测—调度—反馈”一体化的动态配水模型。将气象预报与土壤墒情监测数据纳入调度决策,实现不同水文年型下的差异化配水;同时,完善地表水与地下水的联合调度机制,明确不同水源的启用次序与置换比例,提升水资源配置的精准度与灵

活度。(2)强化工程运维管理:建立“骨干工程专业管护、田间工程群众参与”的分级管护责任体系,落实定期巡检、维修保养与报废更新制度。加快节水灌溉智能化升级,推广远程计量控制与工况在线监测设备,实现运行故障的早期预警与快速处置。探索政府购买服务或第三方托管模式,引入专业化运维力量,保障工程长期高效运行^[5]。(3)完善配套保障体系:健全农业节水激励政策,实行阶梯水价与节水奖励并行的制度设计,使农户从节水行为中获得直接经济回报。加大农户节水技术培训力度,通过示范田现场教学与典型案例推广,强化农户节水意识和操作技能。引导灌区种植结构向适水型方向调整,压缩高耗水作物种植比例,发展旱作农业与节水型经济作物,从需水侧适配水资源供给能力,形成工程节水与农艺节水的协同增效格局。

结束语

本文系统分析了水资源优化配置下灌区节水改造工程的综合效益,证实工程可有效提升灌溉效率、保障粮食生产、修复区域生态,具备显著的实施价值。同时明确了技术适配、运维管理、种植结构等制约效益释放的关键因素。未来需持续优化动态配水模式、健全工程管护机制、推进农艺与工程节水融合,全方位激活灌区水土资源潜力,实现灌区经济、社会与生态效益协同长效发展。

参考文献

- [1] 王宁,李毅,张钰.基于三层递阶结构模型的干旱区灌区水资源优化配置与节水效益评估[J].干旱区资源与环境,2025,39(12):18-25.
- [2] 刘鹏,王泊远.地下水压采约束下灌区水土资源联合优化配置与节水改造效益分析[J].中国农村水利水电,2024,12(10):49-54.
- [3] 康绍忠.新时代中国农业节水与灌区现代化改造发展战略研究[J].农业工程学报,2021,37(12):280-291.
- [4] 张建军,李娟.中小型灌区节水改造工程关键技术应用及综合效益评价[J].水利水电技术,2023,54(08):112-120.
- [5] 周振民,王浩宇.水资源刚性约束下灌区节水改造工程多目标效益评估体系构建[J].灌溉排水学报,2022,41(09):78-85.