

现代生态水利工程灌区节水改造技术

王 婷

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘 要：针对现代生态水利工程灌区节水改造的现实需求，立足生态优先、节水高效、可持续发展的核心理念，系统阐述生态水利灌区的建设内涵与节水改造理论基础，重点研究生态水利工程设计核心要点、工程节水、农艺生物节水及管理节水四大核心技术体系，结合洛阳地区灌区工程实践，提出生态友好型灌区节水改造优化路径。研究表明，以生态理念引领水利工程设计、多技术深度融合与智能化管理协同发力，可显著提升灌溉水利用效率，实现灌区水资源高效利用与水生态保护协同发展，为豫西地区同类生态水利灌区改造提供理论与技术支撑。

关键词：生态水利工程；灌区；节水改造；工程设计；智能灌溉

引言

水资源短缺与生态环境退化已成为制约灌区农业可持续发展的关键瓶颈，现代生态水利工程灌区节水改造是破解这一难题、保障粮食安全与水生态安全的重要举措。传统灌区节水改造普遍存在重工程、轻生态，重供水、轻管控，技术适配性差、系统集成度低等问题，导致节水效率偏低、生态效益不足，难以满足新时代水利高质量发展要求。现代生态水利灌区以水资源高效利用与生态系统健康为双重目标，将生态理念贯穿于工程设计、建设与运行全过程，是当前灌区现代化改造的主流方向。基于此，本文结合洛阳水利勘测设计实践，全面剔除土壤采样相关内容，聚焦生态水利工程设计与灌区节水改造核心技术，构建适配区域特点的节水技术体系，为提升灌区水资源利用效率、推动生态水利建设提供实践参考。

1 现代生态水利工程灌区节水改造理论基础

1.1 现代生态水利工程核心内涵

现代生态水利工程以生态优先、节水高效、因地制宜、协同共生为核心原则，彻底打破传统水利工程仅注重灌溉供水的单一功能定位，实现水资源利用、农业生产、生态保护、景观提升的多重价值统一。其核心内涵体现在三个方面：一是工程设计生态化，在渠道、泵站、闸坝等水利设施设计中充分考虑水生态系统需求，采用生态护坡、柔性防渗、鱼类通道等友好型设计，避免工程对水体、岸线、生物栖息地造成破坏；二是水资源利用高效化，通过工程、农艺、管理综合措施降低输水与灌溉损耗，提高水利用系数，缓解区域水资源供需矛盾；三是系统运行可持续化，构建“水源-输配水-灌溉-排水-回用”闭环系统，实现水量、水质、水生态协同管控。

在灌区建设中，现代生态水利工程强调将节水改造

与生态修复有机结合，依托水利工程结构优化与技术升级，打造节水型、生态型、智慧型灌区，为区域农业现代化与生态文明建设提供坚实水利支撑^[1]。同时，生态水利工程设计更注重工程的环境协调性，要求在满足水利功能的同时，维护河道蜿蜒性、保留浅滩深潭结构，保护水生生物栖息地，实现水利工程从“改造自然”向“适应自然、修复自然”的转型。

1.2 生态水利与灌区节水的内在关联

生态水利是灌区节水改造的顶层设计指引，灌区节水是生态水利工程落地的核心载体，二者高度耦合、相辅相成。一方面，生态水利理念要求灌区节水改造不能以牺牲生态环境为代价，必须在减少水资源浪费的同时，保护灌区水体、土壤、植被与生物多样性，实现工程效益与生态效益双赢；另一方面，灌区节水改造通过减少输水渗漏、降低灌溉定额、优化用水结构，可有效遏制地下水超采、河道断流、水体污染等生态问题，为生态水利工程长效运行提供保障。

2 生态水利灌区工程设计核心要点

2.1 灌区总体布局与水源工程设计

灌区总体布局是节水改造的基础，需结合区域水文条件、灌溉面积、作物结构与生态保护目标，进行系统化规划设计。水源工程设计优先依托现有水库、河道、塘坝等天然水源，优化取水口、引水闸、沉沙池布局，保证取水可靠性与水质安全性。对于地下水超采区，严格控制地下水开采量，采用地表水与地下水联合调度方案，通过水利工程调控实现采补平衡。在水源工程设计中，还需考虑生态流量泄放设施建设，确保河道生态需水，这是生态水利工程设计的核心要求之一^[2]。

2.2 输配水系统生态化设计

输配水系统是灌区水利工程的核心骨架，其生态化

与节水化设计直接决定改造成效。渠道防渗摒弃传统单一硬质衬砌模式,采用柔性防渗+生态护坡组合方案:主干渠采用混凝土衬砌保证结构稳定,支渠、斗渠采用HDPE土工膜、现浇混凝土等经济型防渗措施,田间渠系优先采用生态砖、石笼、植草护坡等生态型结构,兼顾防渗效果与生态功能。生态护坡设计需结合区域气候与植被特点,选择乡土植物,如洛阳地区可选用狗牙根、结缕草、荆条等,提高护坡植物的成活率与抗逆性,同时为昆虫、小型动物提供栖息场所。

2.3 灌溉设施精准化设计

灌溉设施设计以精准、高效、生态为目标,根据灌区作物类型、地形条件与水源保障程度,差异化选择灌溉技术模式。平原区大田作物优先推广低压管道输水灌溉与喷灌技术,丘陵区经济作物、果蔬种植区重点设计滴灌、渗灌等微灌系统,配套水肥一体化设备,实现水、肥同步精准供给。滴灌系统设计需考虑作物根系分布特点,优化滴头间距与流量,确保水分均匀渗透至根区,减少蒸发与淋失;喷灌系统设计需结合作物生育期与气象条件,优化喷灌强度与均匀度,避免叶面冲刷与水资源浪费。

3 现代生态水利灌区节水改造核心技术

3.1 工程节水技术

工程节水是灌区节水改造的核心支撑,通过水利工程结构优化与材料升级,最大限度减少输水、配水、灌水全过程的损耗。渠道防渗技术是应用最广泛的工程节水措施,混凝土衬砌防渗效率可达80%-90%,土工膜防渗适应性强、造价适中,生态型防渗兼顾节水与生态修复,可根据灌区等级与生态需求灵活选用。在渠道设计中,还可优化渠道比降,结合地形特点采用变比降设计,降低工程开挖量与生态破坏;对于易冲刷渠段,采用生态砖+植物根系的复合护坡结构,提升渠道抗冲刷能力与生态性。

管道输水灌溉技术节水效果更为显著,较传统土渠输水减少渗漏蒸发损失90%以上,灌溉水利用系数可提升至0.85以上,是现代化灌区首选工程形式。智能闸阀、量水堰、流量计等配套设备的集成设计,可实现输配水流量自动监测与调控,提升工程运行管控水平。此外,田间工程改造通过平整土地、优化格田布局、建设田间道路与林网,进一步提升灌溉均匀度与节水效果,为生态灌区建设奠定工程基础^[3]。针对丘陵区灌区,可结合梯田改造配套建设蓄水池、滴灌管网,实现雨水收集与精准灌溉结合,提升水资源利用效率。

3.2 农艺与生物节水技术

农艺与生物节水技术是生态水利灌区节水体系的重

要组成部分,与工程技术协同发力提升水分利用效率。耕作保墒技术通过深松、免耕、秸秆覆盖等措施,改善田间土壤结构,增加土壤孔隙度与有机质含量,提升降水入渗与保水能力,减少地表径流与无效蒸发。深松耕作深度需结合区域土壤条件,一般控制在30-40厘米,打破犁底层而不破坏原有土壤层结构;秸秆覆盖需选择适宜的覆盖量与覆盖方式,避免影响作物播种与出苗。

耐旱作物品种选育与种植结构优化,从源头降低灌溉需水量,在缺水区域压缩高耗水作物,推广抗旱高产作物,实现“以种节水、以种增效”。结合洛阳地区作物种植特点,可在丘陵区推广耐旱玉米、谷子品种,在平原区优化小麦-玉米轮作模式,选用节水高产品种,实现作物种植与水资源条件的适配。生物节水技术依托绿肥种植、有机肥施用、作物根系调控等措施,提升作物自身抗旱性与水分利用效率,同时改善农田生态环境,减少化肥农药面源污染。绿肥种植可选择紫云英、紫花苜蓿等,既能培肥土壤,又能减少化肥施用,提升土壤保水能力。

3.3 管理节水技术

管理节水是提升生态水利灌区运行效能的关键手段,以数字化、智能化技术为支撑,构建现代化用水管理体系。推广智能用水计量设施,实现灌区用水量实时监测、数据远程传输与精准核算,落实总量控制与定额管理制度,利用阶梯水价、水权交易等经济手段激励节水行为。智能计量设备需覆盖干支渠、支渠、斗渠乃至田间首部,实现全流程水量计量,为水权分配与交易提供精准数据支撑;水权交易需结合区域水资源禀赋,建立规范的交易平台与机制,促进节水效益转化。

基于物联网、大数据、GIS技术建设灌区智慧管控平台,集成气象、水文、土壤墒情、作物需水等多源信息,实现灌溉计划智能生成、水量自动调配、设备远程控制。平台需具备数据可视化、预警预测、远程控制等功能,为灌区管理提供决策支持;针对极端气象事件,平台需具备洪水、干旱等灾害预警功能,及时调整灌溉调度方案,降低灾害影响。数字孪生灌区技术的应用,可模拟灌区水流运动与生态演变过程,为节水改造方案优化、应急调度、生态保护提供决策支持,推动灌区管理从人工经验型向智能精准型转型。

4 生态水利灌区节水改造优化实践路径

4.1 坚持生态优先,优化工程设计方案

灌区节水改造必须将生态水利理念贯穿工程设计全流程,优先选用生态友好型工程结构与材料,保护灌区自然水系与生态敏感区。合理确定渠道生态化比例,在河道、湿地、林地周边渠段全部采用生态护坡,恢复岸

线植被与水体连通性,营造水生动植物栖息地,实现水利工程与生态系统和谐共生。在工程设计中,需开展生态影响评价,明确生态保护红线与管控要求,对可能影响生态的工程环节进行优化,如调整渠道走向避开鸟类栖息地、预留鱼类洄游通道等。同时,结合生态水利工程设计规范,完善灌区生态配套工程,如在渠道交汇处建设生态跌水,降低水流流速、减少水体扰动;在灌区末端建设人工湿地,净化退水水质,实现水资源循环利用与生态修复双赢。

4.2 推动技术融合,构建综合节水体系

打破单一技术应用局限,推进工程节水、农艺节水、管理节水一体化布局。以输配水工程改造为骨架,以精准灌溉设施为节点,以农艺措施为基础,以智慧管理为保障,形成多技术融合、多环节联动的综合节水体系,全面提升灌溉水利用效率与灌区综合效益。例如,在滴灌工程改造中,同步配套水肥一体化设备与农艺节水措施,实现“工程节水+农艺节水”协同发力;在灌区管理中,结合数字孪生平台集成各类节水技术运行数据,实现技术与管理的深度融合。

针对不同类型灌区,构建差异化的综合节水模式:丘陵区灌区采用“蓄水池+滴灌+绿肥种植”模式,平原区灌区采用“管道输水+喷灌+作物轮作”模式,确保技术适配性与协同性。同时,加强不同区域灌区的技术交流与经验共享,推广成熟的综合节水模式,提升生态水利灌区整体改造水平。

4.3 强化智能管控,提升工程运行效能

加快灌区数字化、智能化升级,完善监测、传输、决策、执行全链条智能设施,实现水源调度、灌溉供水、生态保护一体化管控。建立动态评估机制,定期监测节水改造效果与生态环境状况,根据运行反馈及时优化工程参数与技术方案,保障生态水利灌区长效稳定运行。智能管控体系需实现硬件设备、软件平台、数据资源的协同联动,确保信息共享与指令高效传递;针对灌区运行中的突发问题,如渠道渗漏、设备故障等,建立快速响应机制,提升运行管控的及时性与有效性。

此外,加强灌区管理人才培养,打造兼具水利工程技术、生态保护理念与智能化管理能力的专业团队,为智能管控体系落地运行提供人才支撑。建立灌区运行管理考核机制,将节水效率、生态效益纳入考核指标,激励管理团队优化运行方案,提升工程运行效能。

4.4 统筹多方效益,实现可持续发展

灌区节水改造统筹兼顾节水效益、经济效益、生态效益与社会效益,在保障农业灌溉与粮食安全的基础上,提升水生态质量,改善农村人居环境,助力乡村振兴。通过生态水利工程建设,实现水资源可持续利用、生态环境持续改善、经济社会高质量发展的多赢目标。例如,结合灌区生态廊道建设,打造集灌溉、生态、景观于一体的水利风景区,带动乡村旅游发展,提升灌区综合效益;通过生态护坡、湿地建设等措施,改善灌区植被覆盖与水体质量,提升农村生态环境品质。

同时,建立灌区长效运行管理机制,明确管理主体与责任,完善工程维护制度,保障生态水利灌区长期稳定发挥效益。加强生态水利宣传,提高农户的节水意识与生态保护意识,引导农户参与灌区节水改造与生态保护,形成“政府主导、农户参与、技术支撑”的良好格局。

结束语

本文聚焦现代生态水利工程灌区节水改造核心领域,全面剔除土壤采样相关内容,以生态水利工程设计为重点,系统阐述了灌区节水改造的理论基础、工程设计要点、四大核心节水技术体系与实践优化路径。研究表明,以生态理念引领水利工程设计、多技术深度融合提升节水效能、智能化手段强化运行管理、统筹多方效益实现可持续发展,是现代生态水利灌区节水改造的必然方向。

参考文献

- [1]王波,杨静芸.谈现代生态水利工程灌区节水改造技术[J].中国科技期刊数据库工业A,2022(2):112-115.
- [2]李新三.水利水电工程中灌区节水改造技术研究[J].水上安全,2025(18):91-93.
- [3]吴志海.灌区续建配套与节水改造工程施工技术研究[J].区域治理,2025(29):0110-0112.