

# 河套灌区节水改造工程设计与优化研究

武剑<sup>1</sup> 张倩<sup>2</sup>

1.河南省水务规划设计研究有限公司内蒙古分公司 内蒙古 呼和浩特 010010

2.内蒙古恒源水利工程有限公司 内蒙古 呼和浩特 010010

**【摘要】**：河套灌区是我国重要的农业灌溉区，水资源供需矛盾、渠系渗漏损失、灌溉效率偏低等问题制约了区域农业高质量发展。围绕节水改造工程设计与优化展开研究，重点分析灌区水资源利用现状、工程改造需求及节水技术路径，提出渠道防渗、管网配套、智能监测、精准调度等优化措施。研究表明，科学推进节水改造能够有效降低输配水损失，提高灌溉水利用系数，改善农田水利条件，促进农业生产方式转型，为河套灌区水资源可持续配置与现代灌区建设提供参考。

**【关键词】**：河套灌区；节水改造；工程设计；水资源优化；灌溉效率

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.047

## 引言

河套灌区承担着保障区域粮食生产和维系生态安全的重要功能，但长期灌溉过程中存在水资源利用粗放、渠道渗漏严重、工程设施老化、管理调度效率不足等问题。水资源约束日益加剧的背景下，推进节水改造已成为提升灌区运行效益和农业可持续发展能力的重要途径。围绕河套灌区节水改造工程设计与优化进行分析，有助于明确工程建设重点，完善节水技术体系，提高水资源配置效率，推动传统灌区向现代化、精细化方向发展。

## 1 河套灌区节水改造的运行基础

### 1.1 灌区水资源配置格局

河套灌区水资源配置以黄河引水为主体，农业灌溉、生态补水、城乡生活及工业用水共同构成区域用水结构，其中农业灌溉占据较大比例。该灌区地处内蒙古西部干旱半干旱地区，天然降水量有限，年内降水分布不均，作物生长期对外部供水依赖程度较高，黄河来水条件直接影响灌区农业生产稳定性。受区域水量分配指标、引水时段、作物种植结构和渠系输配能力等因素影响，灌区水资源配置呈现出季节性强、调控压力大、供需匹配难度高等特征。春灌、夏灌和秋浇阶段用水需求集中，特别是在小麦、玉米、向日葵等主要作物需水关键期，田间灌溉水量需求与黄河水量调度之间需要保持较高协调度。灌区内部不同片区的取水条件、地势高差、渠道等级和农田分布存在差异，造成水资源在空间配置上具有一定不均衡性。靠近干渠、支渠的区域供水相对便利，末级渠系控制范围内的农田则容易受到输水距离、渠道渗漏、调度精度等因素影响。节水改造工程设计需要立足这一配置格局，将水源调配、骨干渠系输水、田间工程衔接和用水计量管理纳入统一系统，提高输配水效率和优化水量分配方式，增强有限水资源对农业生产和生态环境的支撑能力。

### 1.2 渠系工程运行条件

河套灌区渠系工程长期承担大范围农田输配水任务，整体

工程体系由总干渠、干渠、分干渠、支渠、斗渠及农渠等多级渠道组成，形成了覆盖范围广、输水距离长、控制面积大的灌溉网络。由于灌区建设历史较长，部分渠道运行年限较久，工程材料老化、渠坡冲刷、渠底淤积、局部坍塌等情况在不同程度上影响输水能力<sup>[1]</sup>。土渠和半衬砌渠道在实际运行中容易产生渗漏损失，尤其在长距离输水过程中，渠道水量沿程递减现象较为明显，增加了水资源配置的不确定性。部分末级渠系配套程度不足，田间进水口、量水设施、控制闸门等工程单元标准化水平不高，导致供水调节精度受限。渠系运行还受到泥沙沉积、冻融破坏和季节性维护不足等因素影响，灌溉高峰期容易出现局部过水能力下降、调水不及时、供水稳定性不足等问题。节水改造工程设计需要充分考虑骨干工程与田间工程之间的衔接关系，不能仅停留在单一渠道防渗处理层面，还需结合渠道等级、输水任务、控制面积和运行损耗确定改造重点。对于骨干渠道，应强化衬砌防渗、边坡稳定、渠系清淤和闸控设施更新；对于末级渠系，应完善计量设施、田间配水口和小型控制建筑物，提高输水末端的可控性和均衡性，使渠系运行由粗放输配逐步转向稳定、高效和可计量的运行状态。

### 1.3 农业灌溉用水特征

河套灌区农业灌溉用水具有作物类型多、用水周期集中、田间耗水差异明显等特征。区域内主要种植小麦、玉米、向日葵、瓜菜及饲草等作物，不同作物在苗期、拔节期、开花期、灌浆期等阶段需水规律存在差别，传统灌溉方式难以完全匹配作物生长过程中的动态需水变化。长期以来，灌区部分农田仍以地面灌溉和畦灌为主，灌水定额偏大、灌水均匀度不足、田间深层渗漏和无效蒸发较多，造成农业用水效率提升空间较大。受土地平整度、田块规模、土壤质地和排水条件影响，同一灌区内部不同农田的灌溉效果差异明显，局部地区容易出现高水位、盐分累积和土壤次生盐渍化风险。河套灌区土壤蒸发强度较高，农田灌溉关系作物产量，也直接影响地下水位变化和盐分运移过程，因此节水改造不能简单理解为减少供水量，而应优化灌水制度、控制灌水定额、改善田间配水条件和完善

排水系统实现水盐协调调控。农业灌溉用水管理还需要与种植结构调整相结合,根据作物需水强度和区域水资源承载能力合理安排灌溉计划。推广测墒灌溉、精准配水、低压管灌、滴灌及自动化计量等措施,可减少无效耗水,提高根区水分利用率,使农业灌溉从经验型供水向依据作物需水、土壤含水量和渠道调度信息协同决策的方向转变。

## 2 河套灌区节水改造的制约因素

### 2.1 输配水损失控制不足

河套灌区输配水环节涉及干渠、分干渠、支渠、斗渠及田间末级渠系,输水路径长、控制层级多,水量在不同渠段传输过程中容易受到渗漏、蒸发、跑冒、淤积阻水等因素影响。部分渠道仍存在衬砌标准不统一、接缝老化、渠底裂缝、边坡破损等情况,水流通过破损部位向渠基及周边土体渗入,造成有效到田水量减少。未完成防渗处理的土质渠道受土壤孔隙、地下水埋深和长期冲刷影响,渗漏损失更为明显,特别是在灌溉高峰期,高水位运行时间延长,渠道沿程水量损耗随之增加。部分小型配水建筑物密封性不足,闸门启闭不灵活,量水设施缺失或精度偏低,导致渠首引水量与田间实收水量之间难以形成准确对应关系。输配水损失控制不足还表现为末级渠系管理薄弱,部分农渠、毛渠维护频次偏低,杂草、泥沙和坍塌物影响过水断面,增加水流阻力,使配水过程出现滞后与浪费。由于水量计量体系不完善,实际损失量难以及时识别,节水改造设计中容易出现重骨干、轻末端的倾向,影响整体节水效益释放。

### 2.2 灌排设施协同性偏弱

河套灌区节水改造依赖灌溉系统提升输水效率,还需要排水系统与灌溉工程保持协调运行。区域内农业生产受黄河引水、地下水位、土壤盐分和蒸发强度共同影响,若灌溉设施得到改善而排水能力未同步增强,田间水分滞留、地下水位抬升和盐分上移等问题仍可能持续存在。部分区域排沟淤积、边坡塌落、杂物阻塞现象较为突出,排水通道不畅降低了农田水盐调控能力。节水工程中渠道防渗、管道输水等措施能够减少输水渗漏,但也会改变原有地下水补给关系,对区域水盐平衡产生影响<sup>[2]</sup>。若缺乏灌排联动分析,局部农田可能出现灌水减少后洗盐不足,或排水不畅造成盐分累积的情况。部分田间工程更重视进水设施配置,对退水沟、暗管排水、排盐通道和控制性排水设施关注不足,导致灌溉水进入农田后的利用、排泄和盐分迁移过程缺乏系统管理。灌排设施协同性偏弱还体现在运行管理层面,灌水计划、排水调控、农田墒情监测和地下水位控制之间缺少稳定的信息联动,难以根据作物需水、土壤含盐量和地下水变化及时调整工程运行方式。

### 2.3 精细化调度能力不足

河套灌区灌溉调度涉及水源引入、干支渠分配、斗农渠配

水和田间用水安排,调度链条较长,管理对象分散,传统运行方式对经验依赖较强。部分渠段仍以人工巡查、人工记录和阶段性报送为主,水位、流量、闸门开度、用水需求等信息采集不够连续,难以及时反映灌区内部水量变化。作物种植结构复杂,不同片区在同一时期的灌溉需求并不一致,若调度方案主要依据固定轮灌制度或历史用水习惯制定,容易出现局部供水偏多、末端供水不足、灌溉时段错配等问题。信息化设施覆盖不足也是制约精细化调度的重要因素,部分量测站点自动化水平较低,数据传输稳定性和共享程度有限,影响调度决策的实时性。水资源总量控制要求不断提高后,灌区运行需要在限定水量内完成作物供水、生态用水和排盐需求的平衡,单纯依靠人工调度难以实现全过程精确控制。精细化调度能力不足还会影响节水改造工程成效评价,若缺少连续监测数据,难以准确判断不同渠段、不同片区、不同作物类型的节水贡献,工程优化方向也难以根据实际运行反馈及时调整。

## 3 河套灌区节水改造的优化路径

### 3.1 渠道防渗与管网配套优化

渠道防渗与管网配套优化应围绕河套灌区长距离输水、分级配水和田间末端用水衔接展开,重点提升水流输送过程的稳定性与可控性。骨干渠道可结合渠段渗漏程度、过水流量、地基条件和运行年限,采用混凝土衬砌、复合土工膜防渗、砌石护坡等方式进行分类改造,减少渠底和渠坡渗漏,提高渠道抗冲刷能力。对于冻融破坏较明显的渠段,应加强伸缩缝处理、边坡防护和排水反滤设计,避免季节性温差造成衬砌开裂。支渠、斗渠和农渠改造可根据控制面积与田块分布,合理布置低压输水管道、田间配水口、调压井和出水栓,使明渠输水与管道输水形成配套体系。管网设计中应控制管径、坡度、压力和节点间距,保证不同田块获得稳定水量,减少末端输水过程中的渗漏与无序漫流。渠道防渗不能只追求单段工程硬化,还应与渠系清淤、闸门更新、量水建筑物建设和田间道路布置同步推进,使输水、分水、计量和检修具备连续运行条件。通过骨干渠道稳流、末级管网控水、田间设施精准配水的组合方式,可使河套灌区节水改造由单一工程修补转向系统化配套建设。

### 3.2 智能监测与精准调度融合

智能监测与精准调度融合需要建立覆盖水源、渠首、干支渠、田间节点和排水出口的连续感知体系,使灌区运行从人工经验判断转向数据支撑决策。关键渠段可布设水位计、流量计、闸门开度传感器、视频监控设备和自动采集终端,对引水量、输水过程、分水比例和渠段运行状态进行实时记录。田间层面可结合土壤墒情监测、气象数据、作物生育期需水参数和地下水位变化,形成灌溉需求动态识别机制,避免固定轮灌造成的水量错配。调度平台应整合渠系流量、作物面积、灌溉计划、工程运行状态和用水指标,按照不同片区水量需求生成分时

段、分渠段、分田块的配水方案<sup>[3-5]</sup>。闸门自动控制系统可根据水位与流量反馈调整开度,提高水量分配精度,减少人工调闸带来的滞后误差。对于用水高峰期,应通过预报模型判断供需变化,提前安排分区轮灌顺序,保障主要作物关键需水期供水稳定。智能监测还可用于识别异常漏损、渠道堵塞、闸门失灵和末端供水不足等运行问题,为维护管理提供依据。精准调度的核心不在于单纯增加设备数量,而在于把监测数据转化为配水指令、灌溉制度和工程维护方案,使河套灌区有限水量能够按照作物需求和渠系承载能力进行高效配置。

### 3.3 节水成效评价与推广完善

节水成效评价与推广完善应建立工程运行、农业生产、生态调控和管理效益相结合的综合评价体系,避免仅以渠道硬化长度或管网铺设规模判断改造效果。评价指标可从灌溉水利用系数、渠系水利用率、单位面积用水量、作物产量稳定性、田间灌水均匀度、地下水位变化和土壤盐分控制等方面展开,反映节水改造对输配水效率、农业产出和水盐平衡的实际影响。数据采集应覆盖改造前后不同灌季,结合典型渠段、典型田块和典型作物开展对比分析,避免单一时段数据造成判断偏差。

### 参考文献:

- [1] 熊瑶琪.灌区续建配套与节水改造项目的主要施工方法[J].湖南水利水电,2025,(05):14-16+23.
- [2] 黄杰莹.中型农业灌区续配套与节水改造加固实践[J].云南水力发电,2025,41(09):13-17.
- [3] 胡芳.东港灌区续建配套与现代化改造设计[J].水利技术监督,2024,(11):75-78.
- [4] 王博.河套灌区暗管排水排盐对盐渍化土壤改良效果及有效性评价[D].内蒙古农业大学,2022.
- [5] 刘少博.面向生态的灌区节水改造综合效益评价方法研究[D].华北水利水电大学,2022.

对于渠道防渗、低压管灌、智能闸控、测墒灌溉等措施,应分别核算投入成本、节水量、维护费用和农户接受程度,明确不同技术在不同片区的适用条件。推广过程中可选择渠系条件较好、种植结构稳定、管理基础较强的区域建设示范单元,通过工程运行记录和作物生产数据展示节水效果。对地势复杂、盐渍化风险较高或末端供水薄弱的区域,应采取分步推进方式,结合排水完善、土地平整和用水计量同步实施。推广完善还需重视后期管护机制,明确渠道巡检、设备维护、数据更新和农户用水协同责任,使节水工程在长期运行中保持稳定效果。

### 4 结语

河套灌区节水改造工程设计与优化,应立足水资源约束、渠系运行条件和农业灌溉需求,统筹推进渠道防渗、管网配套、灌排协同、智能监测与精准调度。完善输配水体系、提升末端控制能力、强化水盐调控和建立节水成效评价机制,可有效降低输配水损失,提高灌溉水利用效率,改善农田水利基础条件。后续建设需持续加强工程管护、数据支撑和技术推广,推动河套灌区向高效节水、稳定运行和可持续发展的现代化灌区转型。