

# 灌区水利工程改造技术研究

徐进健

江苏力恒工程咨询有限公司 江苏 南京 210000

**摘要：**水资源短缺与农业现代化发展需求，使灌区水利工程改造成为保障粮食安全、推动绿色农业的关键。本文围绕灌区水利工程改造技术展开研究，分析了改造必要性，剖析了现存设施退化、用水效率低、管理适配弱等突出问题；随后系统阐述渠道防渗、节水灌溉、信息化管理、工程修复与加固四类关键技术，详解各技术的应用形式与要点；最后提出改造效果评估技术，从指标构建、数据处理、效益判定三方面建立评估体系。研究表明，科学应用改造技术可提升灌区工程性能、水资源利用率与综合效益，为灌区可持续发展提供技术支撑。

**关键词：**灌区；水利工程；改造关键技术

引言：我国多数灌区建成时间久，设施老化、用水粗放等问题凸显，不仅制约农业产能提升，还加剧生态环境压力。当前虽有部分改造实践，但技术应用缺乏系统性，效果评估体系不完善。因此开展灌区水利工程改造技术研究，梳理关键技术类型、明确应用要点与评估方法，对解决灌区现存问题、提升工程综合效益具有重要现实意义，也为后续改造工程提供理论与实践参考。

## 1 灌区水利工程改造的必要性

灌区水利工程作为农业生产的“命脉”，其改造工作具有以下必要性：（1）从工程设施现状来看，我国多数灌区建成于上世纪中后期，历经数十年运行，普遍存在设施老化、功能退化问题。部分渠道出现裂缝、渗漏，泵站设备锈蚀严重，不仅导致工程运行效率大幅下降，更存在溃堤、设备故障等安全隐患，直接威胁灌区生产安全，亟需通过改造恢复工程基础功能。（2）在水资源利用层面，传统灌区水利工程节水能力薄弱，渠道渗漏率普遍超过20%，加之灌溉方式粗放，水资源浪费现象突出。当前我国水资源供需矛盾日益加剧，农业用水占比虽高但利用效率低，改造工程通过应用防渗技术、节水灌溉设备，可将水资源利用效率提升15%-20%，对缓解水资源短缺压力具有关键作用。（3）从农业发展需求来看，现有灌区工程难以适配现代化农业生产。随着规模化种植、经济作物种植面积扩大，传统工程的灌溉均匀性、供水及时性不足，常出现“旱时无水灌、涝时排不畅”的问题，制约农业产量提升与品质优化。改造工程能优化灌排体系，满足现代化农业对精准灌溉、高效排水的需求，为保障国家粮食安全提供支撑。（4）从生态环境角度出发，传统灌区工程建设忽视生态保护，部分渠道硬化破坏土壤渗透性，灌溉尾水无序排放污染周边水体。改造工程融入生态理念，通过生态护坡、尾

水回收利用等措施，可减少工程对生态环境的破坏，实现灌区生产与生态保护的协同发展，契合绿色农业发展要求<sup>[1]</sup>。

## 2 灌区水利现存突出问题

设施老化与功能退化问题普遍存在。多数灌区建成时间早，受限于建设期技术与经济条件，加之长期运行损耗，部分渠道及渠系建筑物设计标准偏低，坝体、干渠存在渗漏隐患，灌排泵站等设备老化失修，导致蓄水输水功能下降，供水成本攀升。水资源利用效率仍有短板。部分骨干渠道为土渠运行，防渗能力不足，渠系水利用系数偏低，同时粗放灌溉模式尚未完全转变，水资源浪费现象依然存在，与水资源短缺的现实形成突出矛盾。管理与适配能力有待提升。传统管理模式难以适配现代化农业需求，部分灌区缺乏数字化监测与调度手段，对极端天气的响应能力薄弱，且工程建设与产业结构调整、生态保护的协同性不足，影响综合效益发挥<sup>[2]</sup>。

## 3 灌区水利工程改造的关键技术

### 3.1 渠道防渗技术

渠道防渗通过物理、化学或生物手段阻断渠道水体下渗，主要包括以下几类：（1）刚性防渗技术。以混凝土衬砌为代表，分为现浇混凝土和预制混凝土板两种形式。现浇混凝土适用于土质较好、渠道断面规则的区域，施工时需按设计厚度浇筑，同时设置伸缩缝防止温度应力导致开裂；预制混凝土板则便于标准化生产和快速铺设，适用于地形复杂或工期紧张的场景，铺设前需对渠床进行平整压实，板间缝隙采用水泥砂浆填充密封。浆砌石防渗也属于刚性技术范畴，利用块石与水泥砂浆砌筑形成防渗层，适用于石料资源丰富的灌区，具有耐久性强、抗冲刷能力好的特点。（2）柔性防渗技术。主要依赖土工合成材料，常见的有土工膜、复合土

工膜等。土工膜分为高密度聚乙烯膜、聚氯乙烯膜等类型,铺设时需确保膜体完整无破损,接头采用热熔焊接或黏结剂密封,同时在膜体上下铺设保护层,防止尖锐物体刺穿;复合土工膜结合了土工膜的防渗性和土工布的抗拉性,可适应渠床的微小变形,减少膜体破损风险,适用于土质松软或沉降较大的渠道段。(3)化学防渗技术。通过向渠道土壤中注入化学材料,改变土壤颗粒结构,形成防渗层。常见的有水泥土防渗和化学浆液防渗,水泥土防渗是将水泥与渠道原土按比例混合搅拌,碾压压实后形成防渗层,适用于黏土或壤土渠道;化学浆液防渗则是将丙烯酰胺类、聚氨酯类等浆液通过注浆设备注入土壤孔隙,浆液固化后堵塞渗水通道,适用于砂性土壤或裂隙发育的岩石渠道,施工时需严格控制浆液浓度和注入压力,避免浆液扩散范围过大。(4)生物防渗技术。利用植物或微生物的特性实现防渗,主要包括植被防渗和生物膜防渗。植被防渗通过在渠坡种植根系发达的草本植物(如狗牙根、紫花苜蓿),其根系可固定土壤,减少雨水冲刷和土壤下渗,同时植被覆盖可降低渠道蒸发损耗;生物膜防渗则是在渠底和渠坡培育微生物膜,微生物代谢产物可填充土壤孔隙,形成天然防渗层,适用于流速较慢、水质较好的小型渠道,具有生态环保、成本较低的特点。

### 3.2 节水灌溉技术

节水灌溉技术通过优化灌溉方式,精准控制灌溉水量,提升水资源利用效率,主要涵盖以下类型:(1)喷灌技术。利用管道将水输送至喷头,通过喷头将水雾化后均匀喷洒在作物表面,分为固定式、半固定式和移动式三种系统。固定式喷灌系统的管道和喷头固定安装,无需频繁移动,适用于种植周期长、地形平坦的作物,但前期投资较高;半固定式喷灌系统的主干管固定,支管和喷头可移动,兼顾了固定式的便捷性和移动式的灵活性,适用于大田作物;移动式喷灌系统(如卷盘式喷灌机、轻小型喷灌机组)可整体移动,设备利用率高,适用于地块分散、灌溉面积较小的区域,不过需要人工操作移动设备。(2)滴灌技术。通过滴头将水以滴状缓慢输送至作物根系附近土壤,实现局部精准灌溉,主要包括地面滴灌和地下滴灌。地面滴灌的滴灌带或滴灌管铺设在地表,直接向作物根系供水,安装和维护简便,适用于多数作物,但滴头易受土壤颗粒、杂草根系堵塞;地下滴灌将滴灌管埋设在土壤浅层,水分直接渗透至根系区,可减少地表蒸发和杂草生长,不过管道铺设和检修难度较大,对滴灌管的抗老化和抗堵塞性能要求更高。(3)微喷灌技术。结合了喷灌和滴灌的特点,

通过微喷头将水以细雾状喷洒,分为倒挂微喷和地插微喷。倒挂微喷安装在作物上方的支架或管道上,适用于温室大棚内的蔬菜、花卉,可同时调节空气湿度;地插微喷直接插入作物行间土壤,适用于大田作物和果园,喷洒范围可根据作物行距调整,避免水资源浪费。(4)低压管道输水灌溉技术。以低压管道替代传统土渠输水,减少输水过程中的渗漏和蒸发损耗,主要由水源工程、管道系统、出水口和田间灌溉设备组成。管道材质多采用聚乙烯管、聚氯乙烯管或混凝土管,根据输水压力和流量选择不同管径;出水口设置在田间,可连接软管、喷头等设备实现田间灌溉,适用于平原地区的大田作物,具有投资适中、运行成本低的特点<sup>[1]</sup>。

### 3.3 信息化管理技术

信息化管理技术通过数据采集、传输、分析和决策,实现灌区水利工程的智能化管理,提升运行效率和管理精度,主要包括以下技术:(1)数据采集技术。通过各类传感器实时获取灌区关键数据,包括水位传感器、流量传感器、土壤墒情传感器、气象传感器等。水位传感器安装在渠道、水库、泵站等关键位置,监测水位变化;流量传感器安装在管道或渠道内,测量输水流量;土壤墒情传感器埋设在作物根系层土壤中,监测土壤含水量、温度等指标;气象传感器则采集降雨量、风速、温度、湿度等气象数据,为灌溉决策提供依据。(2)数据传输技术。将采集到的数据传输至管理平台,主要采用无线传输和有线传输两种方式。无线传输包括GPRS/4G/5G、LoRa、NB-IoT等,适用于灌区范围广、地形复杂的场景,无需铺设大量线缆,灵活性高;有线传输则通过光纤、以太网等方式,传输速率快、稳定性强,适用于泵站、管理站等固定设施的数据传输。部分灌区采用“无线+有线”混合传输模式,核心区域用有线传输保障稳定性,偏远区域用无线传输覆盖,确保数据无死角传输。(3)数据处理与分析技术。利用云计算、大数据技术对采集的海量数据进行处理和分析,包括数据清洗、存储、建模和可视化。数据清洗去除异常值和冗余数据,确保数据准确性;数据存储采用分布式数据库,满足大量数据的长期存储需求。(4)远程控制与智能决策技术。基于数据处理结果,实现对灌区水利设施的远程控制和智能决策。远程控制通过控制终端对泵站、闸门、灌溉设备进行远程操作,管理人员可在管理平台上一键启动或关闭设备,无需现场值守;智能决策系统则根据实时数据和历史数据,自动生成灌溉方案、水量调配方案,当出现水位异常、设备故障等情况时,系统可自动发出预警信号,并提出应急处理建议,提升

灌区管理的及时性和科学性。

### 3.4 工程修复与加固技术

工程修复与加固技术通过结构修复、基础加固及设备更新,恢复并提升工程承载能力与运行安全性,主要包括:(1)结构修复技术。针对渠道、渡槽、涵洞等混凝土结构的裂缝、剥落、渗漏问题,采用裂缝修补、表面防护等手段处理。裂缝修补根据裂缝宽度选择压力注浆或表面封闭法,宽度大于0.3毫米的裂缝采用环氧树脂、水泥浆等材料压力注浆,填充裂缝内部;宽度较小的裂缝采用聚合物砂浆表面封闭,阻止水分侵入。表面防护则通过涂刷混凝土保护剂、粘贴碳纤维布,增强结构抗风化、抗腐蚀能力,延长使用寿命。(2)基础加固技术。针对坝体、渠堤等基础沉降、渗漏问题,采用防渗墙、高压喷射注浆等技术加固。防渗墙通过深层搅拌、冲击钻造孔等工艺,在基础中形成连续防渗墙体,阻断渗水通道;高压喷射注浆则利用高压水流或浆液切割土层,与土体混合固化后形成柱状加固体,适用于砂性土、黏性土基础,可提升基础承载力并减少沉降量<sup>[4]</sup>。

### 4 灌区水利工程改造效果评估技术

灌区水利工程改造效果评估技术通过科学量化与综合分析,判断改造工程是否达到预期目标,主要包括:(1)评估指标构建技术。从工程性能、资源利用、经济收益、生态影响四个维度搭建指标体系。工程性能维度涵盖渠道渗漏率、泵站运行效率、闸门启闭响应速度等指标;资源利用维度以渠系水利用系数、灌溉水利用系数为核心;经济收益维度包含单位面积作物增产率、灌溉成本降低率;生态影响维度则选取土壤含水率变化、水体水质达标率、生物多样性指数等,确保指标全面覆盖改造核心目标。(2)评估数据采集与分析技术。结合改造前后的实测数据对比分析,工程性能数据通过专

业检测设备现场采集;资源利用与经济数据依托灌区管理台账、农户调研问卷获取;生态数据联合环境监测机构,采用土壤采样、水质检测等方式收集。利用统计学方法处理数据,消除偶然因素干扰,确保评估结果客观准确。(3)综合效益判定技术。采用层次分析法确定各评估指标权重,结合模糊综合评价法对改造效果进行等级划分。若工程性能指标提升20%以上、灌溉水利用系数提高至0.65以上,且经济收益增长15%、生态指标达标,则判定改造效果优秀;反之,若核心指标未达设计标准,则需反向推导技术应用问题,为后续改造方案优化提供依据。

结束语:本文系统研究了灌区水利工程改造技术,明确改造必要性与现存问题,详细阐述四类关键技术及效果评估方法,形成完整的技术研究框架。研究成果可直接指导灌区改造实践,助力解决设施老化、用水低效等难题。未来可进一步结合各地气候、土壤与作物特点,优化技术方案,同时加强智能化技术与改造工程的深度融合,推动灌区水利工程向更高质量、更可持续方向发展。

### 参考文献

- [1]任龙堂.浅谈水利工程灌区节水技术的改造[J].区域治理,2025(16):0072-0074.
- [2]胡思.灌区节水改造工程中渠道防渗技术研究[J].中国科技期刊数据库工业A,2025(3):092-095.
- [3]马向梅,姬平.现代生态水利工程灌区节水改造技术探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(12):149-152.
- [4]陈强.水利工程灌区渠系施工改造对水资源利用效率的影响研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(9):0013-0016.