

# 小型农田水利工程高效节水灌溉系统设计优化研究

王鲁宁

**摘要:**为增强小型农田水利工程节水功效与整体效益,本文着重于高效节水灌溉系统设计的优化,从系统核心组成优化、技术手段革新、效益评估体系搭建三个维度开展研究,明晰水源工程、输配水管道网络、灌水装置及控制设施的优化关键。提出基于农作物需水规律的灌溉制度改进、管网水力运算优化以及智能化控制技术运用的规划方案,构建包含技术、经济、生态的多维度效益评估体系,借助科学合理设计,可大幅度提高灌溉水利用系数,减少工程投入与运行费用,达成农业生产与生态保护共同发展。

**关键词:**小型乡村;水利设施;高效节水型灌溉;效益评价

## 引言

小型农田水利项目是维系农业生产的基础保障,高效节水灌溉系统的设计水平直接关乎水资源利用效率和农业生产效益,当下此类系统设计中存在水源匹配欠合理、管网损耗超标准、灌溉方式粗陋等问题,阻碍了节水效能的充分施展。本文舍弃传统研究里对背景的繁杂说明,直接着眼于设计优化的核心难题,借助拆解系统组成、革新优化手段、健全评价机制,搭建科学完备的设计优化框架,目的是为化解小型农田节水灌溉设计中的关键技术困境提供可行途径,促进工程达成“节水、高效、经济、生态”的综合目标。

## 一、高效节水灌溉系统核心构成优化

### (一) 水源工程及首部枢纽优化设计

水源工程作为节水灌溉系统的根基,其优化设计应以水源可靠性、水质适配性为关键,结合工程规模做到供需精准契合,在水源挑选之际,应先选用地表水并适度调配地下水,提倡结合再生水利用技术,经由多方案对比选定最优水源搭配,保证水量契合灌溉高峰期要求,水质契合农田灌溉水质标准<sup>[1]</sup>。就小型蓄水工程而言,要精确核算兴利库容与死库容,改良坝体结构设计,平衡蓄水功能与泄洪安稳;提水工程应当依据提水高度、设计流量挑选高效节能的泵型,科学确定装机容量,必要时配置备用机组以增强供水稳定性。

**作者简介:**王鲁宁(1993--),男,汉族,山东人,本科,工程师,现任职于新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司,研究方向:农田水利工程。

首部枢纽充当系统“中枢”,其优化关键在于设备选择与集成调配,水泵选型应借助水力计算精确匹配系统的流量与扬程,优先选用变频节能水泵来降低运行能耗;过滤系统应依据水源水质和灌水器类型进行组合式配置,砂石过滤器和叠片过滤器共同使用可高效去除悬浮物和杂质,杜绝灌水器被堵塞,增加系统使用时长,整合高效施肥设备(像文丘里施肥器、压差式施肥罐)达成水肥一体化,降低肥料损耗,提高作物的吸收效率,增配智能监测仪器,为系统精准调控提供数据依据,保障首部枢纽运转的高效性与稳定性。

### (二) 输配水管网优化布局与防渗设计

输配水管网优化的核心要点是减小输水损耗、缩减工程投资,需在布局设计、管材选定、防渗操作三方面协同开展,管网设置应依照“线路短直、分区控制”准则,干管尽量顺着等高线或地块的长边来布置,支管与干管呈垂直状态且和作物种植方向相符,减少转弯以及与建筑物交叉,降低水头消耗,面向地形复杂地域,采用分区域灌溉的模式,利用设置减压阀达成各区域压力平衡,增强灌溉的均匀性。

管材挑选应综合考量经济性与适用性,PVC管与PE管鉴于耐侵蚀、使用年限长、施工简易等特点,可应用于中小型农田灌溉系统;在压力偏大的干管区间可选用钢管,保障管道稳定运行,管径的确定应当通过细致的水力计算,将设计流量与允许流速相结合,杜绝因管径过大引起投资增多或管径过小引发水头损失过大,防渗处置是降低输水损耗的要点,土渠应当采用混凝土衬砌或者土工膜防渗办法,管道接口需落实好密封措施,着重留意阀门、分水口等附属设施的防渗规划,科学布置

排气阀、泄水阀、镇墩与支墩，增强管网运行的稳定性与安全性。

### （三）灌水器选型与灌溉方式适配优化

灌水器的挑选需整合作物类别、土壤特性以及灌溉需求，达成节水效应与灌溉质量的平衡，滴灌系统宜优先选用压力补偿型滴头，特别适合地形有较大起伏的地块，能够保证各个滴头出水量均匀；针对蔬菜、果树这类高附加值农作物，选取迷宫式滴头或者微喷头，精准输送作物根区水分，喷灌系统按照作物类别选取恰当的喷头类型，针对大田作物可选用摇臂式喷头，而温室大棚适合采用微喷头，并且结合当地的风速状况对喷头布局进行优化，降低水分漂移损耗。

灌溉方式的适配改良需依照“因地制宜、按需灌溉”原则，干旱区域推行膜下滴灌工艺，将地膜覆盖跟滴灌相融合，大幅降低土壤蒸发损失；大田作物可以采用低压管道输水联合小畦灌溉，增进灌溉效率；经济林果分布区域适宜采用微喷灌技术，兼具节水以及降温增湿功效，依照作物需水特性优化灌溉手段搭配，在作物生育的关键阶段采用滴灌精准地供水，非关键时期运用喷灌补充水分，达成节水与增收的双重目的。

## 二、节水灌溉系统设计优化技术与方法

### （一）基于作物需水规律的灌溉制度优化

优化灌溉制度是提高节水效率的关键，要依据作物需水规律，综合土壤墒情和气象条件来拟定精准灌溉方案，借助田间实验测量不同作物在各个生育阶段的需水量、需水强度，明晰临界需水时段，率先保障临界时段的水分供给，在非临界期适度削减灌水量，杜绝水资源的浪费，借助彭曼-蒙特斯公式计算参考作物的蒸发蒸腾量，整合作物系数与土壤水分胁迫系数，精确判定灌水定额与灌水周期。

鉴于小型农田地块呈分散状的特点，运用分区灌溉办法，按照不同地块的土壤质地、作物类别调整灌溉参数，鉴于砂质土壤有着渗透速度快、保水能力欠佳的情况，应当采用“少量多次”的灌溉形式；壤质土壤可以合理延长灌水时段，增进灌溉效率，构建土壤墒情动态监控机制<sup>[2]</sup>。借助布设土壤水分传感器实时采集土壤含水量数据，当含水量低于设定值时启动浇灌，高于阈值时停止灌溉作业，达成按需精准灌溉，增强灌溉水利用系数。

### （二）基于算法优化的管网水力设计改进

管网水力设计的优化需依靠先进算法达成多目标协

调，打破传统设计仅着眼单一经济性目标的局限，借助混合和谐搜索算法搭建管网多目标优化模型，将管网投资最少和节点富余水头均值极小作为核心目标，兼顾经济性与可靠性，借助算法运算明确最佳管径组合与管网布置，防止传统设计中管径选取过大造成的投资损耗，或管径偏小所引发的压力偏差状况。在水力测算流程里，精准算出沿程水头损失与局部水头损失，综合管道材质、管径、流量等参量优化运算模型，面向“梳子”形、“丰字”形等常见的管网布置样式，有针对性地改进支管与毛管的连接模式，降低水头损耗<sup>[3]</sup>。以新疆某自压滴灌工程为案例，运用该优化措施后，管网总的投资下降了9.86%，节点剩余水头平均值下降28.37%，灌溉均匀程度大幅提高，借助数值模拟手段对管网水力特征开展仿真研究，事先预估可能产生的压力短缺、水流阻滞等问题，为设计完善提供技术支持。

### （三）智能化控制技术融合与应用优化

智能化控制技术的融会是增强系统自动化水准的关键，应创建“感知-决策-执行”的闭环控制体系，安置土壤墒情传感器、气象传感器、流量传感器等仪器，实时获取土壤含水量、降雨量、蒸发量、管网流量等资料；依托物联网平台搭建灌溉决策模型，整合作物需水规律与实时监测数据，自动形成最优灌溉计划；利用智能控制器、电磁阀等设备达成灌溉系统的自动启停与灌水量的精确管控。结合小型农田的具体需求，完善智能化设备的配备方案，在减少成本的同时保障操控效果，运用分布式调控模式，把整个灌溉区域划分成多个控制单元，各个单元分别配备控制器与传感器，做到分区精准调控，促进低成本物联网模块的运用推广。利用无线通信方式达成数据传送与远程调控，让农户能够实时知悉系统运行态势，降低人力消耗，整合大数据分析技术对灌溉数据加以挖掘，完善灌溉决策模型参数，提高控制精度与节水成效。

## 三、节水灌溉系统优化设计的效益评价体系

### （一）技术效益评价指标与方法

技术效益测评聚焦于系统的节水能力与运行稳定性，主要指标包含灌溉水利用系数、灌溉均匀度、系统运行可靠性等，灌溉水利用系数按照实测灌溉用水量与作物净需水量的比值加以计算，优化后的系统相较于传统灌溉系统应提高15%以上；灌溉均匀度运用Christiansen均匀系数进行评估，滴灌系统应当不低于0.85，喷灌系统不低于0.8，系统运行可靠性依靠平均

无故障工作时间、故障修复时间这类指标来度量，保障设备长时间稳定运转。

评价手段采用对比试验法跟现场实测法相结合，选定传统灌溉系统作为对比，在相同作物与种植环境下，监测二者的灌溉参数以及作物生长指标<sup>[4]</sup>。运用数据分析厘清优化设计在节约用水、提高灌溉质量等方面的技术优点，同时整合工程运行的记录，评定系统的操作简易性、维护复杂度等，全面呈现设计优化的技术效益。

## （二）经济效益评价模型与分析

经济效益评估应统筹工程投入与长远收益，搭建包含投资成本、运营成本、增产回报的综合评估模型，投资成本包含水源工程、管网架构、设备购置、施工安装等开支；运行成本囊括了电费、水费、设备修护费、人工治理费等；增产收益依据对比优化前后作物产量与品质的变动来计算，结合农产品市场的价格予以明确，运用静态投资回收期、净现值、内部收益率等指标对工程的经济性进行评估。结合小型农田水利工程的特征，改进成本分摊与收益核算模式，在成本核算环节，将设备折旧与资金时间价值纳入考量，采用动态评价方法更贴合现实；在收益统计时，不但要算出粮食作物的增产所得，又要顾及经济作物品质优化带来的附加效益。实例研究显示，经优化的节水灌溉系统静态投资回收周期一般为3-5年，净现值皆为正值，拥有良好的经济可操作性，尤其是在水资源紧缺地区，经济成效更为明显。

## （三）生态效益评价维度与标准

生态效益评估着重考量系统对区域水生态环境所产生的作用，基于水资源节约、土壤保护、生态平衡三个层面搭建评估体系，水资源节约效益借助削减地下水开采量、削减地表水资源耗用量来衡量，测算节约的水资源总量及其对区域水资源平衡的影响；土壤保护效益主要评估灌溉方式改良对土壤侵蚀、盐碱化的遏制效果，借助监测土壤容重、含盐量等指标的变动来呈现；生态平衡效益聚焦于灌溉系统给农田生态系统带来的影响，

涵盖对土壤微生物群落与作物多样性的维护功效。

拟定体现差异的生态效益评判标准，按照不同区域的生态环境现有态势调整指标权重。在干旱半干旱的地带，主要评定水资源节约与土壤盐碱化防治功效；在山地丘陵地带，着重评估土壤侵蚀抑制成效<sup>[5]</sup>。凭借长期监测与数据汇聚，定量剖析优化设计对生态环境产生的积极作用，保障工程达成经济效益与生态效益的契合，助力农业的可持续发展。

## 总结

本文围绕系统构成、技术路径、效益测评三个核心维度，搭建了小型农田水利工程高效节水灌溉系统设计优化体系，关键结论如下：一是系统构成优化要达成水源、管网、灌水器的协同匹配，通过首部枢纽设备组合、管网防参与布局调整、灌水器精准择型，奠定节水基础；二是技术方法创新要瞄准精准化与智能化，基于作物需水特性的灌溉制度改良、混合算法助力的管网水利规划、物联网带动的智能管控，可大幅提高系统节水效能与运行效率；三是多维度效益评价体系应统筹考虑技术、经济、生态方面的效益，为设计方案的可行性核验提供科学凭据。

## 参考文献

- [1] 李娜. 农田水利工程高效节水灌溉技术的发展与应用[J]. 环球市场, 2017(2): 1.
- [2] 刘有权. 高效节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J]. 农家科技, 2025(22): 40-42.
- [3] 姜延宏. 高效节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J]. 农村科学实验, 2024(17): 74-76.
- [4] 张伟琴. 高效节水灌溉技术在甘肃农田水利工程中的应用[J]. 农村科学实验, 2025(3): 99-101.
- [5] 彦东崔. 农田水利工程高效节水灌溉发展思路探究[J]. 水电水利, 2020, 4(9): 146.