

农田灌溉节水改造工程设计

刘洪娜

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]针对我国农业灌溉领域目前面临的诸多突出问题,如传统灌溉工程设施老化、农业灌溉用水效率低等,构建一套科学、系统的农田灌溉节水改造工程设计体系,重点对当前应用广泛、节水效果显著的各类节水技术设计要点进行阐述,进而提升农业水资源利用效率,推动农业现代化建设,为农田灌溉节水改造工程的科学规划与规范实施提供支撑。

[关键词]农田灌溉;节水改造;工程设计;节水技术;水资源利用

DOI: 10.33142/hst.v9i2.19157

中图分类号: S275

文献标识码: A

Design of Water-saving Renovation Project for Farmland Irrigation

LIU Hongna

Hebei Water Resources and Hydropower investigation, Design and Research Institute Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In response to the many prominent problems currently faced in Chinese agricultural irrigation field, such as the aging of traditional irrigation engineering facilities and low efficiency of agricultural irrigation water use, a scientific and systematic design system for water-saving transformation projects in farmland irrigation is constructed. The focus is on elaborating on the design points of various water-saving technologies that are widely used and have significant water-saving effects, in order to improve the efficiency of agricultural water resource utilization, promote agricultural modernization construction, and provide support for the scientific planning and standardized implementation of water-saving transformation projects in farmland irrigation.

Keywords: irrigation of farmland; water-saving renovation; engineering design; water-saving technology; water resources utilization

引言

我国的农业用水需求较大,传统的粗放式灌溉模式普遍存在的灌溉方式落后、设施陈旧等问题,对农业的高质量发展造成一定的制约,同时也加剧了水资源供需矛盾。因此,开展农田灌溉节水相关的设计工作,对于缓解水资源紧张、促进农业发展方式转型升级、保障国家粮食安全具有十分重要的意义。

1 工程设计总则

1.1 设计原则

(1) 节水优先原则: 严格落实国家节水行动要求, 优先采用先进适用的节水灌溉技术和设备, 优化工程设计, 最大限度提高灌溉水利用系数。

(2) 因地制宜原则: 结合工程区域的地形地貌、气候条件、水资源状况、作物布局及经济水平, 科学选择节水改造技术和方案。

(3) 生态友好原则: 避免工程施工和运行对土壤、植被、水体等生态环境造成破坏。

(4) 实用高效原则: 聚焦农业生产实际需求, 简化

不必要的繁琐环节, 兼顾技术先进性和经济合理性。

(5) 长效管护原则: 同步完善管护机制, 配套建设管护设施。

1.2 设计参数

结合工程区域实际情况和相关行业标准, 确定本次节水改造工程的核心理设计参数如下:

(1) 灌溉设计保证率: 根据作物类型和水资源状况, 确定大田作物灌溉设计保证率为 85%, 经济作物灌溉设计保证率为 90%;

(2) 设计灌溉定额: 结合当地气象资料、作物需水规律和土壤墒情, 确定大田作物设计灌溉定额为 280~320m³/亩, 经济作物设计灌溉定额为 350~400m³/亩;

(3) 输水损失: 改造后, 渠道输水损失控制在 5% 以内, 管道输水损失控制在 3% 以内;

(4) 灌溉均匀度: 喷灌系统灌溉均匀度≥85%, 滴灌、微灌系统灌溉均匀度≥90%;

(5) 设计压力: 喷灌系统设计工作压力为 0.2~0.4MPa, 微灌系统设计工作压力为 0.05~0.15MPa, 低压

管道输水系统设计工作压力为 0.02~0.05MPa;

(6) 土壤湿润层深度: 大田作物土壤湿润层深度为 0.5~0.8m, 经济作物土壤湿润层深度为 0.6~1.0m。

2 基础勘察基础勘察内容与方法

2.1 勘察内容

为确保工程设计的科学性和合理性,开展全面的基础勘察工作,主要包括:

(1) 气象勘察: 收集工程区域近 10~20 年的气象资料,包括年降水量、年蒸发量、气温、无霜期、日照时数、风速等,分析气候条件对农田灌溉和节水改造工程的影响;

(2) 水文勘察: 查明工程区域的灌溉水源类型、水源总量、水质状况、水位变化规律等,评估水源的可利用量和供水可靠性;

(3) 地质勘察: 查明工程区域的地形地貌、土壤类型、土壤质地、岩土性质等;

(4) 作物勘察: 调查工程区域内的主要作物类型、种植面积、种植模式、需水规律、生育期等,确定不同作物的灌溉需求和节水改造适配方案;

(5) 现有灌溉设施勘察: 全面调查现有灌溉渠道、管道、泵站、闸门、量水设施等的建设年代、规格尺寸、运行状况、损坏程度、输水效率等,明确现有灌溉系统存在的问题。

2.2 勘察方法

采用实地测量、采样检测等多种方法相结合的方式开展。

3 农田灌溉节水改造核心技术设计

3.1 喷灌系统设计

喷灌系统适用于地形起伏较大、作物种植面积集中的区域,主要由水源工程、首部枢纽、输配水管网、喷头及控制设施组成。

在设备选型方面:

(1) 水泵: 根据喷灌系统的设计流量和设计压力,选用离心式水泵,水泵流量根据灌溉面积、设计灌溉定额和灌溉周期计算确定,扬程根据输水距离、管道阻力和喷头工作压力确定。

(2) 过滤器: 选用砂石过滤器和网式过滤器组合,砂石过滤器用于去除水中的泥沙、杂质,网式过滤器用于去除水中的细小颗粒,防止喷头堵塞,过滤器的过滤精度根据喷头类型确定,确保过滤效果满足喷灌要求。

(3) 喷头: 根据作物类型和种植密度,选用旋转式喷头,喷头的流量、射程和喷洒角度根据灌溉面积和作物需水需求确定,对于大田作物,选用射程为 15~20m 的

喷头,喷洒角度为 $180^{\circ} \sim 360^{\circ}$; 对于经济作物,选用射程为 8~12m 的喷头,喷洒角度可根据种植布局调整。

(4) 输配水管网: 干管和支管选用 PVC 管,毛管选用 PE 管,管道直径根据设计流量和水流速度确定,干管水流速度控制在 1.0~1.5m/s,支管水流速度控制在 0.8~1.2m/s,毛管水流速度控制在 0.5~0.8m/s,确保管道输水效率高、阻力小、不易破损。管道埋设深度不小于 0.8m,避免地面机械作业损坏和冬季冻害影响。

控制设施设计: 在首部枢纽设置总控制阀和压力表、流量计,用于控制喷灌系统的启停和监测灌溉流量、压力;在支管和毛管上设置分区控制阀,实现分区灌溉,根据作物需水规律和土壤墒情,灵活调整灌溉区域和灌水量;采用手动控制与自动控制相结合的方式,条件允许情况下,可接入物联网系统,实现远程控制和精准灌溉。

3.2 滴灌系统设计

滴灌系统是一种精密的局部灌溉方法,适用于干旱缺水地区和高价值经济作物,主要由水源工程、首部枢纽、输配水管网、滴头及控制设施组成。

设备选型:

(1) 水泵: 选用小型离心式水泵或潜水泵,根据滴灌系统的设计流量和设计压力选型,确保水泵扬程满足管道阻力和滴头工作压力要求,流量适配灌溉面积和灌溉定额。

(3) 滴头: 选用压力补偿式滴头,流量稳定,不受管道压力变化的影响,滴头流量根据作物类型和土壤质地确定,一般为 1.0~2.0L/h,确保水分能够缓慢、均匀地渗入作物根部土壤,形成稳定的湿润带。滴头间距根据作物种植密度确定,一般为 30~50cm,确保每株作物都能得到充足的水分供应。

(4) 输配水管网: 干管和支管选用 PVC 管,毛管选用 PE 滴灌带,管道直径根据设计流量和水流速度确定,干管水流速度控制在 0.8~1.2m/s,支管水流速度控制在 0.6~1.0m/s,毛管水流速度控制在 0.3~0.5m/s。毛管铺设在作物行间,距离作物根部 10~15cm,避免损伤作物根系。

滴灌系统管网采用树枝状布置,干管沿灌溉区域边缘布置,支管垂直于干管布置,毛管平行于作物种植方向布置,确保毛管覆盖所有作物种植区域,滴头间距和布置方式适配作物种植密度。管网布置应避免出现死角,确保灌溉均匀度 $\geq 90\%$ 。

3.3 微灌系统设计

微灌系统是在滴灌技术基础上发展起来的精细化局部灌溉技术,包括微喷灌、涌泉灌和小管出流等形式,适

用于温室大棚、果树园艺作物和苗木花卉培育等，本次主要应用于设施农业和精品果蔬种植区域的灌溉改造。

设备选型方面，根据作物类型选择合适的灌水器，微喷灌选用微喷头，将水流分散成细小雾状或扇形水流，灌溉范围介于滴灌和喷灌之间，适用于温室大棚作物和果树；涌泉灌选用涌泉器，将水流以小股水流形式涌出，在作物根部附近形成小水洼后渗入土壤，适用于深根系作物；小管出流选用口径为1~3mm的小塑料管，流量稳定可控，抗堵塞性能良好，适用于果树和苗木灌溉。

水泵、过滤器、输配水管网等设备的选型原则与滴灌系统一致，根据微灌系统的设计流量、设计压力和灌溉面积确定，确保系统运行稳定、节水高效。微灌系统的设计工作压力控制在0.05~0.15MPa，比传统喷灌压力更低，能耗相对较小。

管网布置：微灌系统管网采用树枝状布置，干管和支管的布置与滴灌系统一致，毛管根据灌水器类型和作物种植布局调整，微喷头间距根据喷洒范围确定，涌泉器和小管出流装置间距根据作物种植密度确定，确保灌溉均匀度≥90%，满足作物精准灌溉需求。

3.4 渠道防渗改造设计

对于现有土渠，采用渠道防渗改造技术，减少输水过程中的渗漏损失，提高输水效率，本次主要对主干渠和支渠进行防渗改造，斗渠和农渠结合低压管道输水改造进行优化。

防渗材料选择：主干渠采用混凝土衬砌防渗，支渠采用土工膜防渗。

防渗施工设计：混凝土衬砌施工前，对渠道基础进行平整、夯实，浇筑后及时进行养护。土工膜铺设搭接宽度不小于10cm，在表面铺设5~10cm厚的保护层。

附属设施设计：设置伸缩缝、排水孔等附属设施。伸缩缝间距为5~8m，采用沥青麻絮填充，排水孔设置在渠道底部和边坡，间距为10~15m。

3.5 低压管道输水改造设计

低压管道输水灌溉技术通过埋设在地下的管道网络，在相对较低的工作压力下将水源输送到田间，有效消除明渠输水过程中的蒸发和渗漏损失，输水效率可达95%以上，比传统土质渠道节水40%~50%，本次主要应用于平原地区的斗渠、农渠改造。

设备选型：

(1) 加压设备：选用小型离心式水泵，设计工作压力控制在0.02~0.05MPa，根据输水距离和管道阻力确定水泵扬程，确保管道内水流压力稳定，满足田间灌溉需求。

(2) 田间出水口：选用快速接头式出水口，配备闸

阀，便于农民根据需要开启和关闭，出水口间距根据作物种类和种植密度确定，通常为20~50m，确保灌溉范围覆盖整个田间区域。

管网布置：低压管道输水系统管网采用树枝状布置，干管沿田间道路或田埂布置，支管垂直于干管布置，毛管平行于作物种植方向布置，管道埋设深度为0.8~1.2m，既能避免地面机械作业的损坏，又可防止冬季冻害影响。管网布置应尽量缩短管道长度，减少输水阻力和投资成本，确保输水效率。

施工设计：管道施工前，进行现场放线，确定管道敷设位置和深度；对管道基础进行平整、夯实；管道连接采用承插式连接或热熔连接，确保连接严密、不漏水；管道敷设完成后，进行水压试验，试验压力为设计压力的1.5倍，稳压30min，无渗漏为合格；水压试验合格后，进行回填土，回填土分层夯实。

针对不同区域的地形条件、作物类型选择合适的节水改造技术，如表1所示：

表1 节水改造技术对比与选型

节水技术类型	核心优势	适用区域	节水率	投资成本
喷灌系统	灌溉均匀度高、不受地形限制、适配大田作物	地形起伏较大、大田作物种植区	20%~30%	中等
滴灌系统	节水效果极佳、灌溉精准、可实现水肥一体化	干旱缺水地区、经济作物种植区	30%~50%	较高
微灌系统	精细化灌溉、能耗低、适配设施农业	温室大棚、精品果蔬种植区	25%~40%	较高
渠道防渗改造	施工简便、成本适中、输水效率高	现有土渠区域、主干渠和支渠	15%~25%	中等
低压管道输水改造	输水损失小、管理便利、适配平原地区	平原地区、斗渠和农渠	40%~50%	中等

4 配套设施设计

4.1 量水设施设计

量水设施是实现灌溉用水精准计量、科学管理的关键，首部枢纽和干管选用电磁流量计，支管选用涡轮流量计，田间出水口选用量水堰或量水杯。

4.2 排水设施设计

排水设施用于排出农田内的多余水分，保护作物生长，结合灌溉系统改造，同步设计田间排水设施和渠道排水设施。

田间排水设施:明沟排水用于排出田间表面积水,沟宽 30~50cm、深 40~60cm,间距 50~100m;暗管排水用于排出土壤深层积水,直径 100~150mm,埋深 0.8~1.0m,间距 10~20m。

渠道排水设施:在渠道防渗改造过程中,同步设置排水孔和排水沟,排水孔设置在渠道边坡和底部,间距为 10~15m,直径为 50~80mm;排水沟布置在渠道两侧,与渠道平行,沟宽为 50~80cm,沟深为 60~80cm,将渠道渗水和农田积水排出至附近水系。

4.3 管护设施设计

为确保工程建成后能够得到有效管护,设计配套的管护设施,包括检修通道和防护设施等。

检修通道:沿输配水管网和渠道,修建检修通道,宽度为 1.0~1.2m,采用砂石铺设或混凝土浇筑,确保管护人员能够便捷地对灌溉设施进行检修和维护。检修通道应避开作物种植区域,减少对农业生产的影响。

防护设施:在泵站、过滤器、控制阀等关键设备周围,设置防护栏,高度为 1.2~1.5m,防止人员意外受伤;在管道埋设区域设置警示标识,标注管道位置,防止施工和机械作业损坏管道;在渠道边坡设置防护网,防止边坡坍塌和人员坠落。

4.4 信息化监测设施设计

为实现灌溉系统的精细化、智能化管理,结合物联网和 PLC 技术监测灌溉系统的运行参数、土壤参数、作物参数、气象参数,通过 Zigbee 协同开关设置节水灌溉程序,实现远程网格节水控制。搭建远程监控平台,管护人员可通过电脑、手机等终端,实时查看灌溉系统运行状态

和监测数据,远程控制灌溉系统的启停和参数调整,提高远程网格节水控制准确度。

5 结论

本文构建了一套农田灌溉节水改造工程设计体系,得出以下结论:

(1)本次工程设计充分围绕工程区域的水资源状况,自然条件以及植物的分布情况,合理选择节水改造技术,能够有效解决现有灌溉系统存在的问题。

(2)通过核心技术设计、配套设施设计的协同推进,确保工程建设质量和运行稳定性,提高灌溉水利用系数。

(3)工程建成后可以缓解水资源供需,保障粮食安全以及农田的生态环境。

[参考文献]

- [1]于兴华.中小型农田水利灌溉工程设计及节水技术研究[J].农村实用技术,2024(8):121-122.
- [2]王润凤.浅析中小型农田水利灌溉工程设计与节水技术[J].南方农机,2022,53(11):86-89.
- [3]姜殿斌.中小型农田水利灌溉工程设计及节水技术探析[J].水利科学与寒区工程,2022,5(2):67-68.
- [4]肖强.农田水利节水灌溉工程设计研究[J].乡村科技,2019,0(9):122-123.
- [5]杨亚娣.基于高效节水理念的农田水利灌溉工程建设[J].农业科技与信息,2020(22):100-101.

作者简介:刘洪娜(1985.12—),毕业院校:华北水利水电学院,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司,职务:职员,职称级别:高级工程师。