

水利水电灌溉工程田间管网布置 施工设计与节水效果研究

常 杰

(固原市水利勘测设计院有限公司, 宁夏 固原 756000)

摘要 随着我国农业的不断发展, 水利水电灌溉工程在农业生产中的地位日益凸显。田间管网布置作为水利水电灌溉工程的重要组成部分, 其合理性直接关系到灌溉效率和水资源利用效果。本文探讨水利水电灌溉工程田间管网的布置和施工设计, 并对其节水效果进行深入研究, 以期为提高农业灌溉效率、促进水资源可持续利用提供参考。

关键词 水利水电; 灌溉工程; 田间管网布置; 施工设计; 节水效果

中图分类号:S27

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.31.040

0 引言

在我国农业发展中, 水利水电灌溉工程起着至关重要的作用, 它直接关系到农作物的生长、农业产量的稳定以及水资源的合理利用。而田间管网布置作为水利水电灌溉工程的关键环节, 其科学性与合理性不仅影响着灌溉的质量和效率, 还对水资源的节约有着重大意义。施工设计的好坏决定了田间管网能否高效运行, 进而影响到整个灌溉工程的效益。同时, 研究其节水效果, 对于缓解我国水资源短缺问题、实现农业可持续发展具有不可忽视的作用。因此, 深入开展水利水电灌溉工程田间管网布置施工设计与节水效果研究十分必要。

1 水利水电灌溉工程田间管网布置原则

1.1 因地制宜原则

田间管网布置需充分考虑项目区的地形地貌、土壤类型、作物种植结构等自然条件。不同地形条件下, 管网布置方式存在显著差异。例如: 在平原地区, 地形坡度较小, 一般采用双向控制的管网布置形式, 可减少管道长度和水头损失; 而在丘陵地区, 地形坡度较大, 通常沿等高线布置管网, 避免管道因坡度过大导致水流速度过快, 从而减少管道磨损和能耗。某平原灌溉项目区, 土壤以壤土为主, 主要种植小麦和玉米。根据实地勘察数据, 该区域地形坡度在 0.2% ~ 0.5% 之间。按照因地制宜原则, 采用双向控制的管网布置, 主管道沿地块长边方向布置, 支管道垂直于主管道, 间距根据作物行距确定为 15 m。通过这种布置方式, 相比传统单向布置, 减少管道长度约 12%, 降低水头损失约 8%。

1.2 经济性原则

在满足灌溉需求的前提下, 田间管网布置应尽量降低工程投资和运行成本。工程投资主要包括管道购置费用、施工费用等; 运行成本主要包括能耗费用、维护费用等。在管道选型上, 需综合考虑管道的价格、使用寿命、水力性能等因素。以某灌溉项目为例, 对不同材质管道的经济性进行对比分析。选取 PVC 管和 PE 管两种常用管道, 相关参数如表 1 所示。

表 1 PVC 管和 PE 管参数表

管道材质	管径 (mm)	单价 (元/m)	使用寿命 (年)	水力摩阻 系数
PVC 管	110	25	15	0.018
PE 管	110	32	20	0.016

假设该项目管网总长度为 5 000 m, 年运行时间为 150 天, 每天运行 8 小时, 电价为 0.6 元 / 度。通过计算可知, PVC 管初始投资为 12.5 万元, PE 管初始投资为 16 万元。在运行能耗方面, 根据水头损失计算公式:

$$h_f = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

式 (1) 中, h_f 为水头损失, λ 为水力摩阻系数, L 为管道长度, d 为管径, v 为水流速度, g 为重力加速度。

在相同流量条件下, PE 管的水头损失小于 PVC 管, 每年可节省能耗费用约 1 200 元。综合考虑初始投资和运行成本, 以 20 年为计算周期, PVC 管总费用为 $12.5 + (150 \times 8 \times \text{能耗功率} \times 0.6 \times 15)$ 万元, PE 管总费用为 $16 + (150 \times 8 \times \text{能耗功率} \times 0.6 \times 20)$ 万元。经详细计算, PE 管虽然初始投资较高, 但在 20 年使用周期内,

总费用比PVC管低约3.2万元,因此该项目最终选择PE管作为主要管道材质。

1.3 水力最优原则

田间管网布置应保证管网系统具有良好的水力条件,确保各灌溉单元能够获得均匀的水量和适宜的水压。管网水力计算的核心是确定管道的流量和水头损失,以保证管网在设计流量下,各出水口的压力满足灌溉设备的工作要求。在管网水力计算中,常用的流量计算公式为:

$$Q = A \times v \quad (2)$$

式(2)中, Q 为流量, A 为管道横截面积, v 为水流速度。根据灌溉设计规范,田间管网的水流速度一般控制在 $0.8 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 之间,以避免水流速度过小导致管道淤积,或水流速度过大造成管道磨损和能耗增加。

2 水利水电灌溉工程田间管网布置施工设计

2.1 管网布置方案设计

2.1.1 管道选型

管道选型需根据灌溉系统的设计压力、流量、地形条件以及当地的材料供应情况等因素综合确定。常用的灌溉管道材质有PVC管、PE管、钢管等。PVC管具有重量轻、价格低、耐腐蚀等优点,适用于中低压灌溉系统;PE管具有柔韧性好、抗冲击性强、使用寿命长等优点,适用于地形复杂、需要弯曲布置的灌溉系统;钢管具有强度高、承受压力大等优点,适用于高压灌溉系统或需要穿越道路、河流等特殊地段的灌溉系统。例如:在某高原灌溉项目中,由于该地区海拔较高,昼夜温差大,对管道的抗冻性和柔韧性要求较高。经过对比分析,最终选择PE管作为主要管道材质。该PE管的设计压力为 1.2 MPa ,抗冻温度为 $-30 \text{ }^{\circ}\text{C}$,能够满足该地区的气候条件和灌溉系统的工作要求。同时,根据系统的设计流量和水头损失计算,确定主管道管径为 160 mm ,支管道管径为 110 mm ,毛管管径为 50 mm 。

2.1.2 管网布局

管网布局应根据作物种植方式和地块形状进行合理设计。常见的管网布局形式有矩形布置、平行布置、辐射布置等。矩形布置适用于地块形状规则、作物行距整齐的种植区域,主管道和支管道相互垂直,形成矩形网格;平行布置适用于狭长形地块,主管道沿地块长边方向布置,支管道平行于主管道;辐射布置适用于圆形或不规则形状的地块,主管道从水源向四周辐射,支管道从主管道延伸至各个灌溉单元。例如:某蔬菜种植基地,地块形状为矩形,长 800 m ,宽 500 m ,

主要种植大棚蔬菜,作物行距为 1.5 m 。采用矩形布置的管网布局形式,主管道沿地块长边方向布置,长度为 800 m ;支管道垂直于主管道,间距为 15 m ,长度为 500 m ;毛管沿作物行距布置,间距为 1.5 m ,长度为 800 m ^[1]。通过这种布局方式,实现了对整个种植基地的全面覆盖,且管道布置整齐,便于管理和维护。

2.2 施工工艺设计

2.2.1 管道敷设

管道敷设前,需进行场地平整和管沟开挖。管沟开挖深度应根据当地的冻土层深度和管道埋深要求确定,一般不小于冻土层深度,同时应考虑管道的抗浮要求。在寒冷地区,冻土层深度较深,管沟开挖深度需达到 $1.2 \sim 1.5 \text{ m}$;在温暖地区,冻土层深度较浅,管沟开挖深度可适当减小,一般为 $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$ 。管沟开挖完成后,需在管沟底部铺设垫层,垫层材料可采用沙土或细土,厚度一般为 $10 \sim 15 \text{ cm}$,以保证管道敷设平整,减少管道受力不均。管道敷设时,应避免管道扭曲和碰撞,管道接口应严密,不得出现渗漏现象。管道敷设完成后,需进行管沟回填,回填土应分层夯实,每层夯实厚度不超过 30 cm ,以防止管道沉降。

在某灌溉项目施工过程中,采用机械开挖和人工修整相结合的方式开挖管沟,开挖深度根据当地冻土层深度确定为 1.3 m 。垫层采用沙土铺设,厚度为 12 cm 。管道敷设采用人工抬放的方式,确保管道位置准确,接口严密。管沟回填采用分层夯实,每层夯实度达到 90% 以上,有效避免了管道沉降问题。

2.2.2 灌溉设备安装

灌溉设备安装包括喷头、滴头、阀门等设备的安装。喷头和滴头的安装应根据作物的需水要求和种植密度确定安装间距和高度。喷头的安装高度一般为 $0.8 \sim 1.2 \text{ m}$,安装间距根据喷头的射程确定,确保灌溉均匀;滴头的安装间距根据作物行距和滴头流量确定,一般为 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}$ 。阀门安装应便于操作和维护,一般安装在管道的转弯处、分支处和末端。阀门安装前,需对阀门进行外观检查和密封性试验,确保阀门完好无损,密封性能良好。阀门安装时,应注意阀门的安装方向,避免反向安装。例如:某滴灌项目中,滴头采用内镶式滴头,流量为 2 L/h ,安装间距为 0.4 m ,沿毛管均匀布置。阀门采用球阀,安装在支管道的入口处和主管道的分段处,便于控制各灌溉单元的水量。在设备安装完成后,进行了系统试压试验,试验压力为设计压力的 1.2 倍,保压时间为 30 分钟,管道和设备无渗漏现象,满足设计要求^[2]。

2.3 施工质量控制

2.3.1 材料质量控制

施工材料的质量直接影响到田间管网的使用寿命和运行效果。在材料采购过程中,应选择具有相应资质和良好信誉的生产厂家,对材料的质量证明文件进行严格审查,确保材料符合设计要求和相关标准。同时,应对进场材料进行抽样检验,检验项目包括外观质量、尺寸偏差、物理性能、化学性能等。例如:在管道材料检验中,对 PVC 管的外观质量进行检查,要求管道表面平整、光滑,无气泡、裂纹、杂质等缺陷;对管道的尺寸偏差进行测量,管径偏差应在 ± 0.5 mm 范围内,壁厚偏差应在 ± 0.3 mm 范围内;对管道的抗压强度和抗冲击性能进行试验,确保管道在设计压力下能够正常工作,在受到外力冲击时不易损坏。对于不合格的材料,应及时退货,严禁用于工程施工。

2.3.2 施工过程质量控制

在施工过程中,应建立完善的质量控制体系,加强对施工工序的质量检查和监督。每道工序完成后,施工单位应进行自检,自检合格后报监理单位进行验收,验收合格后方可进行下道工序施工。在管沟开挖工序中,检查管沟的开挖深度、宽度、坡度等参数是否符合设计要求,避免出现超挖或欠挖现象。在管道敷设工序中,检查管道的敷设位置、坡度、接口质量等,确保管道敷设平整,接口严密。在设备安装工序中,检查设备的安装位置、安装高度、安装方向等,确保设备安装准确,运行正常^[3]。例如:在某灌溉项目施工过程中,对每道工序都进行了严格的质量检查。在管沟开挖完成后,监理单位对管沟的深度、宽度和坡度进行了测量,其中深度偏差最大为 -2 cm,在允许范围内;宽度偏差最大为 +3 cm,符合设计要求;坡度符合设计坡度 0.3% 的要求。在管道接口质量检查中,采用气压试验的方法,对管道接口进行密封性检测,试验压力为 0.6 MPa,保压时间为 20 分钟,接口无漏气现象,质量合格。

3 水利水电灌溉工程田间管网节水效果研究

3.1 田间管网节水效果的量化分析

通过对传统灌溉方式与田间管网灌溉方式的用水量及作物生长情况,可对田间管网的节水效果进行量化分析。以某小麦种植区为例,传统漫灌方式下,每亩小麦生育期总用水量约为 450 m³,采用田间管网滴灌方式后,每亩总用水量降至 220 m³,节水率达 51.1%。从水分利用效率来看,传统漫灌水分利用效率约为 1.2 kg/m³,田间管网滴灌水分利用效率提升至 2.8 kg/m³,提高

133.3%。同时,在玉米种植区的对比试验中,田间管网喷灌方式较传统沟灌方式,每亩用水量从 380 m³减少至 180 m³,节水率 47.4%,玉米亩产量从 500 kg 提高至 580 kg,增产 16%^[4]。

3.2 提升田间管网节水效果的策略

提升田间管网节水效果需从设计优化、设备维护及管理改进三个方面制定策略。在设计优化上,采用水力计算软件对管网进行模拟计算,精准确定管道管径和布局,确保各灌溉单元水量均匀;引入智能化设计理念,在管网中设置流量调节阀门,根据不同作物需水量实时调整供水量^[5]。在设备维护方面,建立定期巡检制度,每月对喷头、滴头进行检查清理,每季度对管道接口进行密封性检测,及时更换损坏部件;在管道进水口安装过滤设备,减少杂质进入管网,降低设备堵塞概率。在管理改进方面,结合土壤墒情监测设备和气象数据,制定动态灌溉制度,如在土壤含水量低于田间持水量 60% 时启动灌溉,高于 80% 时停止灌溉;开展农户培训,普及科学灌溉知识,提高农户对节水灌溉设备的操作和管理能力,形成设计、维护、管理协同发力的节水体系^[6]。

4 结束语

水利水电灌溉工程田间管网布置施工设计与节水效果研究具有重要的实践意义。通过因地制宜、经济性及水力最优原则的指导,结合科学合理的管网布置方案设计、严谨的施工工艺设计以及严格的施工质量控制,能够有效构建高效、可靠的田间管网灌溉系统。在实际应用中,PE 管等优质管道材质的选择,以及矩形布置、平行布置、辐射布置等多样化管网布局形式的运用,满足了不同地形和作物种植方式的需求。

参考文献:

- [1] 胡宇祥,彭军志,殷飞,等.微灌田间管网布置优化及参数分析[J].农机化研究,2022,44(06):25-30,52.
- [2] 高婕.低压管道灌溉输水在灌区工程建设中的应用研究[J].农业科技与信息,2021(13):118-120.
- [3] 彭娟.节水灌溉工程发展模式及设计技术要点分析[J].黑龙江水利科技,2024,52(07):79-82.
- [4] 常万元.农田水利灌溉工程中节水技术的应用研究[J].乡村科技,2022,13(17):152-155.
- [5] 刘英华.微喷带灌溉系统布置方式比选研究[J].水利科学与寒区工程,2018,01(07):23-27.
- [6] 李伟.低压管道输水灌溉在高标准农田应用的技术要点[J].河南水利与南水北调,2022,51(09):28-29.