

高标准农田建设中滴灌管网优化配置与节水效益研究

王子鹏

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司, 新疆乌鲁木齐, 830000;

摘要: 高标准农田建设中, 滴灌管网的优化配置对于实现农业高效节水至关重要。该研究构建了融合经济成本与水力性能的多目标优化模型, 提出基于田间条件适配、智能算法求解及全生命周期管理的系统化配置路径。结果表明, 在优化后的滴灌管网条件下, 灌溉水有效利用率提高, 并且降低系统的能耗, 有利于推进高标准农田建设节水增效工作。

关键词: 高标准农田; 滴灌; 管网优化; 水力计算; 节水效益; 经济效益

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.046

引言

在全球水资源短缺以及保障粮食生产安全的压力下, 发展高效节水灌溉是高标准农田建设的重要工作之一, 虽然在我国推广普及滴灌技术取得了一定成绩, 但是滴灌技术的节水效果很大程度上取决于管网的合理规划设计。而在实际应用过程中, 由于缺乏科学指导, 导致管网规划盲目, 造成浪费严重, 成本较高, 灌溉均匀性差等问题, 影响滴灌节水效果发挥。所以对滴灌管网优化配置研究, 明确其节水作用对于提高高标准农田建设水平及推进农业水资源节约利用有着十分重要的实践价值。

1 滴灌系统组成与工作原理

滴灌是精准的局部灌溉方式, 主要包括水源工程、首部枢纽、输配水管网和田间灌水器四个部分。水源一般来自机井、水库或渠道, 通过首部枢纽加压、过滤和施肥等操作。首部枢纽是整个灌溉系统的核心, 一般包括水泵、过滤器、施肥罐、压力和流量控制设备及控制系统等, 保证后续的管网能获得干净、稳定的、有营养的水。加压后的水输送到输配水管网, 这就像人体的“血管”, 一般是地下主干管、分干管、地面或浅埋支管和毛管组成的管网体系, 逐级把水输送到田间每行作物附近。毛管上均匀排列着许多滴头, 也就是灌水器, 是系统最末部分。滴头依靠自身较细通孔或是迷宫状结构, 用较小压力就可以把水以较小量、较慢速度滴到作物根部附近土壤中。当整个系统运行时, 水只润湿那些有较多作物根须区域的土壤, 尽量避免水分从地表流失、向下渗透而造成浪费, 以及杂草生长消耗水分。它的工作原理是采用小流量、长周期、频次高浇水方法, 把水和

肥料直接输送到作物根部, 使得作物正常生长同时极大地提高水利用率。这样一种精确定量供给方式不但省水, 而且能保持作物根部适宜的水分、养分、空气及温度等条件, 有利于提高作物产量品质^[1]。

2 高标准农田建设中滴灌管网优化配置路径

2.1 基于多目标协同的规划设计优化路径

在高标准农田建设中, 滴灌管网优化配置的一条主要途径是做好设计与规划工作。这条途径主要是克服以往单纯追求成本最小化设计理念, 而是在保证经济效益的同时兼顾水利性和土地适应性的设计思路。设计不是单独进行, 要根据实际项目区域环境条件和农业用水要求来开展。这就要求全面掌握并分析地形高程、土壤类型及其入渗性、作物种类及其用水量、水源条件等信息。在此基础上优化设计要达到三个目的: 第一是经济效益, 即在整个设计过程中对水管价格、施工费用以及后期的养护管理成本做到心中有数; 第二是水力性能目标, 即保证整个灌溉系统的压力平衡、流量均匀, 具有较高的灌水均匀系数, 且尽量减少系统的运行费用; 第三是工程适配目标, 即使管网布置符合高标准农田的田块大小、道路、林网、电力线路等条件, 方便机械作业以及后续的维护工作。为了更好地达到这些目标, 可以使用数学规划方法或者智能算法来解决此问题, 比如用 GIS 的空间分析功能找到最经济的管道路径; 用遗传算法等多目标优化的方法找出在投资、运行费用和灌水均匀系数受约束的情况下, 管径尺寸及压力区划分的最优帕累托前沿。规划人员要在这批非劣解中, 结合自身实际情况、节能需求以及管理水平挑选最合适的推荐方案。这样可以保证管网系统在设计之初就具有技术先进、经济合理、

运行可靠并且与高标准农田有机融合的特点,从而有利于以后高效节水工作开展^[2]。

2.2 依托水力仿真与智能算法的技术参数优化路径

管网系统技术参数的选择是实现优化配置的第二条途径,这就需要进行精确的水力分析以及借助先进的智能化工具。滴灌管网是复杂水力系统,其内部水流、压力影响着灌溉质量和耗电量,优化配置就需要对管径、管长、滴头选择、工作压力等具体技术参数进行准确设定。首先需要建立一个精确的管网水力模型,根据设计流量和地形情况,用水力计算公式或者用专业的软件计算出各种不同管径组合下管网中总的沿程水头损失、局部水头损失以及各个节点的压力大小。通过模拟可以提前发现系统内容容易产生过高或过低压力的位置、容易形成水流堵塞的地方,以便采取相应措施。比如在具有较大高差的地块上,利用模拟就可以准确判断是否需要设置减压装置或者划分减压区来防止出现水压太小导致滴头不出水或者是水压太大造成管道破裂等问题。另外,仅凭经验和估算很难解决多个因素相互影响下的最优化问题,这时就需要用到智能化寻优方法来帮助我们找到最优方案。这个方法可以把建管成本(管径函数)、水泵耗电量(压力函数)及灌溉均匀性(压力偏差函数)等作为目标或限制条件,在成百上千种可能的管径及其排列方式中找出最优答案。这样不仅可以大大提高设计质量和速度,还可以找到一些人们不容易想到的有效布置方式,如非等径布置,在流量大的主干管段使用大管径降低损耗,在末端的小毛管处使用便宜小管径降低成本等。这条技术参数优化路线,把水力学知识和计算智能结合起来,保证整个管网内的水力状态可调控并且最优化,是实现节水、节能、均匀灌溉的重要保证。

2.3 全生命周期成本管控与长效运行维护的优化路径

滴灌管网优化配置的第三个重要途径,就是树立全寿命期的成本观念并建立相应的管理机制。优化不仅是节约建设成本的问题,更重要的是要降低整个滴灌系统的使用年限(一般为10年或更长时间)内的总体成本并使这种成本尽可能保持稳定。全寿命期的成本包括建设成本、运行中的电费等能耗成本、维修或更换成本以及最后的回收处置成本。进行优化配置需要在设计的时候就考虑到这些成本问题。比如采用价格相对较高但是具有较好耐腐蚀性、抗老化性的管道(如优质聚乙烯管

道),虽然增加了一部分投资,但是由于减少了因漏水而频繁修复工作量和农田里频繁更换管道的工作负担,从长远来看还是更划算的。同样,合理布置自动化控制阀门以及压力调节装置虽然需要花费更多资金但是却能够使得灌溉更加精确按需供水从而节省大量的人力财力以及电费其投资回收期也较短。这要把运维便利性作为一个很重要的优化目标。管道布置要便于巡检、维护及局部更换,重要位置要有检修阀和泄洪阀等。由于高标准农田面积较大因此优化思路还要考虑到分区分时灌溉的需求,通过合理布设阀门来达到灵活划分区域进行灌溉的目的满足不同的作物或者不同生长时期的需水量。另外,优化配置要与明确的维护方案一起考虑,方便以后管理,比如做好完整的管网电子档案,明确重要设备位置等,这也是一种“管理优化”。

3 高标准农田建设中滴灌管网节水效益

3.1 直接节水效益与水资源利用率提升

高标准农田建设中应用优化配置的滴灌管网,其最大且最能体现优势的是节省水量和提高水资源利用率。并不是单纯地用水量少,而是一个系统工程,通过对灌溉进行合理、有效管理,从根本上解决了以往大水漫灌造成的浪费问题。

从技术原理上讲,改进后的滴灌管网可以做到“定点”灌溉。通过对管网进行合理的布置以及对管网水力参数进行精心的设计,可以使水以恒定而微小的流量输送到作物根部最密集的地方。这样就不会造成水分在田间的大面积浪费,在很大程度上减少了传统灌溉方式所带来的田间排水和深层渗漏。尤其是对于那些渗透性较好的土壤来说,其节水量更大。

管网优化配置带来的水流均匀性也是提高灌溉效果的一个非常重要的方面。通过合理的管径搭配以及压力划分,可以使各处的作物得到基本相同数量的水分。这也就是所谓的水流均匀性带来的好处,即提高了灌溉水的有效利用率。传统的地面灌溉有效利用率为0.4-0.5,而经过水力优化的滴灌可以达到0.85-0.95的有效利用率,也就是说每立方米灌溉水中有接近一半为有效利用的水资源,大大减少了水资源的浪费。

管网系统智能化进一步提高节水效果。现代滴灌管网一般会结合土壤墒情监测、气象站数据、作物需水模型等,构成完善的精准灌溉系统。系统可以依据作物实际需水情况以及土壤含水量来判断是否需要灌溉

以及灌溉量的大小,不再像以前那样凭经验灌溉造成浪费。这是以数据为基础作出决策,使灌溉从“定时”到“定量”,在作物需水时期及时供水而在不需要供水期间减少供水,从而节省用水^[3]。

3.2 耦合水肥一体化带来的协同增效

滴灌管网优化配置的节水效益不仅在于节水量,更重要的是由于水肥一体化带来的资源协调增效,即在节水的同时,也能节省水、肥、电等多种资源,“一优多效”。

改进之后的管网系统是实施精细施肥的良好条件。管网良好水力性能使得肥料溶液可以均匀地分配到各个灌水点上,而不会出现由于水与肥不同步而导致的养分损失或者分布不均问题。合理的施肥设备和混合肥料器可以根据作物在不同生长期对养分的要求进行合理调配氮、磷、钾以及微量元素的比列,做到少量化肥多次施用。这样养分会集中供应给根系活跃区域,从而大幅提升肥料利用效率。

科学合理的管网管理可以大大降低氮素淋失量。传统的大量水灌溉施肥法会使大量的硝态氮等溶解性氮素随水一起渗入地下,造成浪费的同时也会对地下水产生污染。改良后的滴灌系统根据需要调节水量以及湿润面积,使水分和养分局限在作物根系密集层内,大大减少氮素淋失的概率。这样既可以节省肥料又可以避免环境污染,符合可持续发展的思想。

水肥协同管理使作物表现出更大程度节约水资源的反应。如果水和养分的时间以及空间利用最优化结合在一起,则作物根系更发达,对养分的需求更低。这有利于作物生长发育,也有利于提高产量潜力。而在生产中,降低总用水量和施用量的前提下,合理灌溉可以保证甚至超过原来产量。这就是所谓的“减量增效”策略,从本质上讲是资源节约。

3.3 系统节能与生态服务的扩展效益

滴灌管网优化配置产生的节水效益在能源节约以及拓展生态服务能力上也具有很大意义。这种效益是超出常规意义上的节水效果,是全方位、系统的,对农业可持续性发展起到有力推动作用^[4]。

节约能源是优化管网系统带来的一个非常直接的效果。管网系统的能量消耗主要是由泵站提水以及管网中保持一定压力所造成的。如果根据需要合理选择管径并且布置管网,就可以大大减少管网中水流的沿程水头

损失和局部水头损失。理论上以及实验表明,经过合理的水力学设计之后,相比起粗犷的设计方式,一个单位灌溉用水的耗电量可以节省约20%—35%。而在灌溉时间较长、提水扬程较高的地方更加明显,这是可以省下一笔不小的电费或者油费开支。而且由于系统改进之后一般都可使用较小的水泵或者是缩短水泵运转时间,所以对于使用者来说,不但省下了购买设备的钱还可以少做些维护的工作。

管网系统精准灌溉有利于改善农田生态环境。相比于传统灌溉方法,滴灌只湿润作物根部附近一小部分土壤,而田间大部分地方是干燥的。这样一种水分分布情况可以抑制杂草种子萌发、生长,从而减少田间杂草的数量。这又进一步带来了以下好处:节省除草剂以及除草的人力费用;减少农药对农田的影响,保护农田生物多样性;此外,干燥的地面也减少了土壤水分的蒸发,改善田间的小气候,从而降低病虫害在高湿环境中出现的概率。

4 结论

滴灌管网优化配置是高标准农田实现节水内涵式发展的重要抓手。研究表明,在此基础上进行多目标联合优化设计、水力精确控制和水肥一体化管理,能够从整体上提高水资源利用水平并带来节本增效、环保等多种效益。后期要充分利用优化模型和智能化管理技术相结合的方式进一步加强对节水效果的长期跟踪和评价工作,促进高标准农田建设的良性循环以及现代农业的发展。

参考文献

- [1] 芮文睿. 节水灌溉技术在甘肃省高标准农田中的应用研究[J]. 现代农业科技, 2025(21): 165-167.
- [2] 吕彦东. 高标准农田建设中喷灌与滴灌技术的综合应用及实践效果研究[J]. 种子世界, 2025(5).
- [3] 吕彦东. 高标准农田建设中喷灌与滴灌技术的综合应用及实践效果研究[J]. 2025.
- [4] 禹建国. 高标准农田建设中节水灌溉技术的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)农业科学, 2023.

作者简介: 王子鹏(1996.12-), 男, 汉族, 河南省上蔡县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 高标准农田、滴灌管网, 土地平整, 灌区农田规划等。