

灌区节水灌溉系统优化设计与实践

徐 弛¹ 陶芝霖²

1. 南京市水利规划设计院股份有限公司 江苏 南京 210001

2. 安徽省天长市水利局 安徽 滁州 239300

摘 要：灌区节水灌溉系统优化设计旨在提高水资源利用率，促进农业可持续发展。本文通过分析节水灌溉技术发展趋势，结合物联网、传感器技术及人工智能等先进技术，设计了一套包括灌溉计划优化、实时监测与控制、数据分析与决策等模块的智能节水灌溉系统。实践表明，该系统能显著提升灌区水资源利用效率，减少水量浪费，提高作物产量，为农业节水增效提供了有力支撑。

关键词：灌区节水灌溉；系统优化设计；实践

引言：随着水资源短缺问题的日益严峻，农业节水灌溉成为保障粮食安全和生态环境平衡的关键。本文聚焦于灌区节水灌溉系统的优化设计与实践应用，旨在探索高效、智能的灌溉解决方案。通过综合分析作物需水特性、灌区地形地貌及气候条件，提出了一套科学的灌溉系统设计思路，以期在保障作物正常生长的同时，最大限度减少水资源浪费，为农业可持续发展贡献力量。

1 灌区节水灌溉系统基础理论

1.1 节水灌溉的原理与分类

1.1.1 节水灌溉的基本原理

节水灌溉的核心在于高效利用水资源，减少浪费。按需灌溉是其基本原理之一，即根据作物的实际需水量和土壤墒情来确定灌溉时间和灌溉量，避免盲目灌溉导致的水资源损失。精量灌溉则进一步强调灌溉的精确性，通过采用先进的灌溉技术和设备，实现灌溉水量的精准控制，确保每一滴水都能被有效利用。

1.1.2 类型及其特点

节水灌溉主要可以分为滴灌、喷灌、渗灌和微喷灌等类型。滴灌以其低水量、高效率的特点著称，能够直接将水分输送到作物根部，减少蒸发损失。喷灌则通过喷头将水均匀喷洒至作物和土壤表面，适用于大面积灌溉。渗灌是将水分通过地下管道缓慢渗入土壤，有利于保持土壤湿度稳定。微喷灌结合了滴灌和喷灌的优点，既能提供适量的水分，又能减少水分蒸发。

1.2 灌区节水灌溉系统的组成与功能

灌区节水灌溉系统主要由水源、首部枢纽、输配水管网和灌水器部分组成。水源是灌溉系统的起点，提供灌溉所需的水分。首部枢纽包括水泵、过滤器、施肥装置等设备，负责将水源中的水加压、过滤并添加必要的养分。输配水管网则负责将处理后的水输送至各个灌

溉区域。灌水器则是将水以适当的方式均匀分布到作物根部或土壤表面^[1]。

水源是灌溉系统的基础，确保有充足且可靠的水资源供给。首部枢纽通过加压和过滤，保证灌溉水的质量和压力，施肥装置则实现了水肥一体化管理。输配水管网高效地将水分输送至灌溉区域，减少途中的水分损失。灌水器则是实现节水灌溉的关键，通过精确控制灌溉水量和方式，确保水分的有效利用。

2 灌区节水灌溉系统优化设计

2.1 设计原则与目标

2.1.1 因地制宜

节水灌溉系统的设计必须紧密结合灌区的自然环境特点，包括地形地貌、土壤类型、气候条件以及作物种类等。通过因地制宜的设计，可以确保灌溉系统既能满足作物生长需求，又能最大限度地减少水资源浪费；高效节能：在设计中应优先考虑节能技术的应用，如采用高效水泵、智能控制系统等，以降低灌溉过程中的能源消耗。同时，通过优化灌溉方式和灌溉时间，减少无效灌溉，提高灌溉水的利用率；智能化管理：利用现代信息技术，如物联网、大数据等，实现灌溉系统的智能化管理。这不仅可以提高灌溉决策的准确性和效率，还能降低人工干预成本，提升整体管理水平；环境保护：在设计过程中，应充分考虑灌溉系统对生态环境的影响，采取必要的环保措施，如保护地下水资源、减少化肥农药的使用等，以确保农业生产的可持续性^[2]。

2.1.2 提高灌溉效率

通过优化灌溉方式和灌溉制度，确保灌溉水能够精准、高效地作用于作物根系，提高灌溉水的利用率，减少水分蒸发和渗漏损失；降低用水成本：通过采用节水灌溉技术和设备，减少灌溉水量，降低水费支出。同

时,通过智能管理减少人工成本和能源消耗,进一步降低灌溉成本;促进作物生长:科学的灌溉制度可以满足作物不同生长阶段的水分需求,促进作物健康生长,提高产量和品质;保护生态环境:节水灌溉系统的实施有助于维持生态平衡,保护地下水资源,减少土壤盐碱化和水土流失等环境问题。

2.2 关键技术与设备选型

2.2.1 自动化控制技术

过传感器、控制器和执行器等设备,实现对灌溉系统的自动化控制。自动化技术可以根据作物需水量、土壤湿度等参数自动调节灌溉水量和时间,提高灌溉精度和效率;智能监测技术:利用物联网技术,实时监测灌溉系统的运行状态和作物生长环境。智能监测技术可以收集和分析大量数据,为灌溉决策提供科学依据,提高灌溉管理的智能化水平;精准施肥技术:灌溉系统,实现水肥一体化管理。通过精准施肥技术,可以根据作物的养分需求和土壤养分状况,定量、定时、定位地供给肥料,提高肥料利用率,减少养分流失和环境污染;节水灌溉技术:包括滴灌、喷灌、微喷灌等多种灌溉方式。这些技术可以根据作物的需水量和土壤条件,精确控制灌溉水量和灌溉频率,减少水分浪费,提高灌溉效率^[3]。

2.2.2 水泵

核心设备,选型需考虑扬程、流量、效率、能耗和材质,高效节能水泵降能耗提效率。地形和灌溉需求决定水泵类型,如离心泵、轴流泵或潜水泵;喷灌器:实现大面积均匀灌溉,选型关注射程、喷洒均匀度、工作压力和耐用性。作物种类、行距和株高决定喷灌器类型和规格,确保灌溉效果;滴灌管:精准灌溉设备,根据作物需水量和土壤条件输送水养,减少蒸发流失。选型考虑材质、滴头间距、流量和耐压性,种植密度和灌溉需求决定滴灌管规格和布局,实现精准灌溉,提高水资源利用效率。

2.3 系统布局与管线设计

2.3.1 系统布局

根据灌区地形和作物种类,将灌区划分为若干个子区域,每个子区域设计独立的灌溉系统。这可以减少灌溉过程中的水分损失和能耗,提高灌溉效率;管线优化:在管线设计时,应尽量减少管线的长度和弯头数量,以降低水流阻力和能耗。同时,管线应尽量避免穿越障碍物和复杂地形,以减少施工难度和维护成本;智能控制点布局:

在灌区关键位置和作物集中区域设置智能控制点,通过集成传感器和控制器等设备,实现对灌溉系统的实

时监测和自动控制。这可以提高灌溉精度和及时性,减少人为干预和误操作。

2.3.2 管线设计

根据灌溉需求和流量要求,选择合适的管径。管径过大会增加能耗和材料成本,而管径过小则会导致水流不畅和压力损失。因此,在管径选择时应进行综合考虑和计算;材料选择:根据灌区环境和灌溉水质的要求,选择合适的管线材料。常用的管线材料包括聚乙烯(PE)管、聚氯乙烯(PVC)管和钢管等。这些材料具有不同的耐腐蚀性能、抗压性能和使用寿命等特点,应根据实际情况进行选择;防冻措施:在寒冷地区或冬季温度较低的灌区,应采取防冻措施以确保

2.4 灌溉制度与灌溉策略

根据作物的生长阶段和生理需求,分析作物的需水量。这需要考虑作物的种类、生长周期、土壤类型、气候条件等因素。通过了解作物的需水量,可以制定合理的灌溉计划,确保作物获得充足的水分;灌溉周期与灌溉量:根据作物的需水量和灌区的气象条件,确定灌溉周期和灌溉量。灌溉周期应根据作物的生长速度和土壤水分的蒸发速率进行调整。灌溉量应根据作物的需水量、土壤类型和管线损失等因素进行计算和确定;灌溉方式与灌溉时间:根据作物的种类和生长环境,选择合适的灌溉方式和灌溉时间。例如,对于密植作物,可以采用喷灌或滴灌方式;对于果树等高价作物,可以采用滴灌或微喷灌方式。灌溉时间应选择作物最需要水分的时候进行,如早晨或傍晚,以减少水分蒸发和作物蒸腾作用的影响^[4]。

按地形与作物布局,将灌区划分若干子区,轮流灌溉,减少同时灌溉面积,节水节能,减管线压力,防作物过湿引发病虫害;智能调控策略:运用智能监测与自动化技术,实时感知土壤湿度、气象及作物生长,自动调整灌溉计划、方式与量,提高灌溉精度与效率,减少人为错误;节水灌溉策略:针对干旱区或高需水作物,采用滴灌、微喷灌等精准灌溉,结合雨水收集再利用与覆盖栽培,减少蒸发渗漏,提升水资源利用率,降成本减负担;应对气候变化策略:鉴于气候变化,灌溉策略需灵活调整,如干旱年增灌,雨季强化排水防涝,增强灌溉系统适应性,保障作物稳定生长与产量,减轻气候负面影响。

3 灌区节水灌溉系统实践应用

3.1 案例背景与选择依据

在本研究中,我们选择了一个位于我国北方干旱半干旱地区的典型灌区作为实践案例。该灌区总面积约5万亩,主要种植小麦、玉米等大田作物,以及少量的果树

和蔬菜。由于该地区水资源匮乏，加之传统灌溉方式效率低下，导致水资源浪费严重，作物产量和品质受到影响。因此，迫切需要引入节水灌溉系统，以提高灌溉效率，降低用水成本，促进农业可持续发展。

选择该灌区作为实践案例的依据主要有以下几点：一是该地区水资源短缺，节水灌溉的需求迫切；二是灌区面积适中，具有一定的代表性，便于研究和推广；三是该地区已有一定的农业灌溉基础设施，为节水灌溉系统的实施提供了基础条件；四是当地政府和相关部门对农业节水灌溉给予了政策支持，为项目的顺利实施提供了有力保障。

3.2 系统实施与调试

3.2.1 系统实施过程

根据灌区地形、作物分布和灌溉需求，我们选择了适合当地条件的节水灌溉设备，包括高效节能的水泵、智能控制器、土壤湿度传感器等。设备安装过程中，我们严格按照设备说明书和安装规范进行操作，确保设备安装的准确性和稳定性；管线铺设：管线铺设是节水灌溉系统实施的关键环节。我们根据灌区地形和灌溉需求，合理规划了管线走向和管径大小。在管线铺设过程中，我们采用了先进的施工技术和材料，确保管线的密封性和耐腐蚀性。同时，我们还设置了必要的阀门和过滤装置，以便在需要时对灌溉系统进行调节和维护；系统集成：在完成设备安装和管线铺设后，我们进行了系统集成工作。通过智能控制器将各个设备连接起来，实现了对灌溉系统的远程监控和自动化控制。我们还开发了专门的灌溉管理软件，用于数据收集、分析和灌溉决策，提高了灌溉管理的智能化水平。

3.2.2 系统调试

在系统实施完成后，我们进行了系统调试工作。通过模拟灌溉过程，对系统的各项功能进行了测试和优化。在调试过程中，我们发现了一些潜在的问题，如传感器数据不准确、控制器响应延迟等。针对这些问题，我们及时进行了调整和优化，确保了系统的正常运行和预期效果。

3.3 运行效果与效益分析

3.3.1 运行效果

节水灌溉系统运行后，取得了显著的节水效果。与传统灌溉方式相比，节水灌溉系统能够精确控制灌溉水量和灌溉时间，减少了水分蒸发和渗漏损失。同时，智能监测技术的应用使得灌溉决策更加科学、合理，提高了灌溉水的利用效率。此外，节水灌溉系统还有助于改善土壤环境，促进作物根系发育和养分吸收，从而提高了作物产量和品质。

3.3.2 效益分析

节水灌溉系统的实施降低了灌溉成本，提高了作物产量和品质，增加了农民收入。据统计，与传统灌溉方式相比，节水灌溉系统可使作物产量提高10%~20%，灌溉成本降低20%~30%；社会效益：节水灌溉系统的推广和应用有助于缓解水资源短缺问题，促进农业可持续发展。同时，智能化灌溉管理系统的应用提高了农业生产的科技水平和管理效率，推动了农业现代化进程；环境效益：节水灌溉系统能够减少水资源浪费和环境污染，保护生态环境。通过精确灌溉和智能管理，可以减少化肥和农药的使用量，降低对土壤和水体的污染风险。同时，节水灌溉还有助于维持土壤水分平衡和生态平衡，促进生态系统的稳定性和多样性。

结束语

综上所述，灌区节水灌溉系统的优化设计与实践应用，不仅显著提升了水资源利用效率，还为农业可持续发展奠定了坚实基础。通过智能化管理与精准灌溉技术的融合，我们实现了节水、增产、增效的多重目标。未来，随着技术的不断进步和创新，我们有理由相信，节水灌溉系统将在更广泛的领域内发挥重要作用，为构建绿色、高效的现代农业贡献力量。

参考文献

- [1]顾永毅.高效节水灌溉工程设计研究[J].大众标准化,2022,(03):35-36.
- [2]张生琴,刘斌.智慧灌区农业智能节水灌溉系统设计与应用[J].南方农机,2024,(07):64-65.
- [3]李华,刘斌,陈亮,等.农业灌区智能节水灌溉系统设计与应用[J].农业与技术,2024,(11):120-121.
- [4]魏学厚,聂志刚,刘强,等.河西灌区青贮玉米智能节水灌溉系统设计[J].软件,2023,(06):67-68.