

智能化节能控制在农业灌溉系统中的应用研究

俞 洁

浙江度维科技有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：聚焦智能化节能控制在农业灌溉系统中的应用研究。在水资源日益紧张与农业现代化发展需求下，阐述研究背景与意义，点明旨在构建高效节能灌溉系统，实现水资源合理利用，提升农业生产效益的目标。深入剖析智能化节能控制技术原理与农业灌溉系统构成及运行机制，论证两者融合的理论依据与可行性。经系统设计、软硬件实现、性能评估与优化，成功打造智能化节能农业灌溉系统。研究成果对推动农业灌溉智能化转型、提高水资源利用效率具有重要价值，为农业可持续发展提供技术支撑。

关键词：智能化节能控制；农业灌溉系统；水资源利用；控制策略；系统设计

1 引言

在全球水资源日益紧缺和农业现代化进程加速的当下，传统农业灌溉方式暴露出诸多弊端。大水漫灌、定时定量灌溉等方式不仅造成水资源的大量浪费，还难以精准满足农作物不同生长阶段的需水要求，制约着农业生产效率和质量的提升。智能化节能控制技术的兴起为农业灌溉带来新契机。将其应用于农业灌溉系统，能够借助传感器实时监测土壤墒情、气象条件和作物生长状态，通过精准算法自动调控灌溉时间、水量和频率，实现按需灌溉。这不仅能大幅提高水资源利用效率，还能降低能耗、减少人力成本，助力农业绿色、高效发展。本研究旨在深入探索智能化节能控制在农业灌溉系统中的应用，为农业灌溉领域的变革提供理论与实践支撑。

2 智能化节能控制及农业灌溉系统理论基础

2.1 智能化节能控制技术原理

智能化节能控制技术融合了自动化、传感器、通信和智能算法等多领域技术。通过各类传感器，像温湿度传感器、压力传感器等，实时采集环境与设备运行数据。例如在农业灌溉中，土壤湿度传感器能精确感知土壤含水量，为灌溉决策提供依据。

通信技术则负责将传感器采集的数据传输到控制中心，常见的有无线传输技术，如LoRa、NB-IoT等，保障数据传输的稳定性与及时性^[1]。

智能算法是核心，以模糊控制算法为例，它依据预先设定的规则和大量历史数据，对传感器数据进行分析处理。当土壤湿度低于设定下限，算法就会发出指令，启动灌溉设备；湿度达到上限则停止，实现精准、智能的灌溉控制，在满足需求的同时最大程度节约能源和资源。

2.2 农业灌溉系统构成与运行机制

农业灌溉系统主要由水源、首部枢纽、输配水管网

和灌溉终端组成。水源可以是江河、湖泊、地下水等。首部枢纽包含水泵、过滤器、施肥装置等，水泵负责从水源抽水加压，过滤器去除水中杂质，防止管网和喷头堵塞，施肥装置则实现水肥一体化。

输配水管网将首部枢纽处理后的水输送到田间各个区域，通过干管、支管和毛管等不同管径管道，依据地形和灌溉需求合理布局。

灌溉终端有喷头、滴头等，喷头将水喷射到空中雾化后洒向作物，滴头则将水滴缓慢滴入作物根部。运行时，根据作物需水信息，首部枢纽启动相应设备，水经管网送至灌溉终端，完成灌溉作业，整个过程依据作物生长阶段和环境变化调整运行参数。

2.3 两者融合的理论依据与可行性分析

从理论依据看，作物生长对水分需求有特定规律，智能化节能控制技术能通过实时监测土壤湿度、气象条件等，精准匹配作物需水和灌溉供水，符合作物生长的生理需求。

从技术可行性来讲，如今传感器精度高、成本低，通信技术成熟稳定，智能算法不断优化，为两者融合提供技术支撑。经济可行性上，虽然前期建设智能化灌溉系统成本较高，但长期来看，因节水、节能和增产带来的效益远超投入。

政策可行性层面，政府大力支持农业节水和智能化发展，出台多项补贴和扶持政策，推动智能化节能控制在农业灌溉系统中的应用，助力农业可持续发展。

3 智能化节能控制在农业灌溉系统的设计思路

3.1 系统总体设计目标与架构

系统总体设计目标是打造一个高度智能化、节能高效且稳定可靠的农业灌溉系统。在智能化方面，实现对灌溉全过程的自动监测与精准调控，无需过多人工干

预。节能高效体现在根据作物实际需求供水,避免水资源浪费和能源损耗,最大化利用资源。稳定可靠则要求系统能在复杂的自然环境中长期稳定运行,保障灌溉作业顺利进行。

架构上采用分层分布式设计。感知层由各类传感器组成,负责收集土壤湿度、气象数据等信息。网络层运用无线传输技术,将感知层数据传输至控制层。控制层是核心,运行智能算法,依据接收数据做出灌溉决策。执行层包含灌溉设备,根据控制层指令进行灌溉作业。这种架构设计使系统各部分分工明确,便于维护与功能扩展,能灵活适应不同规模和地形的农田灌溉需求^[2]。

3.2 传感器选型与布局设计

传感器选型需综合考虑精度、稳定性、耐久性和成本。土壤湿度传感器可选用电容式传感器,精度高、响应快,能准确测量土壤水分含量。气象传感器选择能测量温度、湿度、光照、风速等参数的多合一传感器,减少设备数量和成本。

布局设计要兼顾农田面积、地形和作物分布。在大面积农田,按网格状均匀分布传感器,保证数据采集全面。对于地形复杂区域,在地势低洼、高处等特殊位置增设传感器,以获取更准确的局部环境数据。针对不同作物种植区,根据作物需水特性调整传感器密度,确保能精准感知作物生长环境,为智能灌溉提供可靠的数据支持。

3.3 控制策略与算法设计

控制策略采用基于作物需水模型的动态控制。根据作物不同生长阶段的需水规律,结合实时监测的土壤湿度、气象数据,动态调整灌溉时间、水量和频率。例如在作物苗期,需水量少,控制策略则减少灌溉量和频率;在生长旺盛期,增加灌溉量以满足作物需求。

算法设计选用自适应模糊控制算法。该算法依据预先设定的模糊规则和大量历史数据,对传感器数据进行模糊化处理,通过模糊推理得出灌溉控制量。它能自动适应环境变化,无需精确的数学模型,有效解决农业灌溉中环境复杂、难以精确建模的问题,实现精准、智能的灌溉控制,提高水资源利用效率^[3]。

4 系统硬件与软件实现方案

4.1 硬件设备的选型与搭建

硬件设备是智能化农业灌溉系统的基础。水泵作为核心供水设备,依据农田面积、灌溉需求及水源条件选型。大面积农田可选大功率离心泵,确保充足供水;小型农田则可用节能型潜水泵。

传感器方面,除前文提到的土壤湿度、气象传感

器,还需配备水位传感器监测水源水位,流量传感器监测灌溉水流量。这些传感器要具备高精度、抗干扰能力,适应野外复杂环境。

灌溉设备如喷头和滴灌带,根据作物种类、种植模式选择。大田作物适合喷头,经济作物常用滴灌带,以实现精准灌溉。

搭建时,合理布局各设备。首部枢纽集中安装水泵、过滤器、施肥装置等,便于管理维护;传感器按预先设计的布局方案安装在田间;输配水管网依据地形和灌溉区域规划铺设,确保水流畅通,连接稳固。

4.2 软件系统的功能模块开发

软件系统功能模块围绕数据采集、处理、控制和用户交互展开。数据采集模块负责实时获取传感器数据,通过通信接口将数据传输至系统。数据处理模块对采集的数据进行清洗、分析,去除异常值,提取关键信息,为控制决策提供依据。

控制模块运行智能算法,根据数据处理结果生成灌溉控制指令,控制灌溉设备的启停、流量调节。用户交互模块为用户提供操作界面,可设置灌溉参数、查看实时数据和历史记录,实现远程监控与管理。另外,还开发报警模块,当系统出现故障、传感器数据异常时及时通知用户,保障系统正常运行。各模块协同工作,实现智能化灌溉系统的高效运行^[4]。

4.3 硬件与软件的集成与调试

硬件与软件集成是将开发好的软件系统与搭建完成的硬件设备连接,使其协同工作。先进行硬件设备的电气连接和通信线路铺设,确保硬件间通信正常。再将软件系统安装到控制终端,配置通信参数,建立软件与硬件设备的数据传输通道。

调试过程分单元调试和整体调试。单元调试针对单个硬件设备和软件模块,检查其功能是否正常。如测试传感器数据采集准确性,调试灌溉设备的启停控制。整体调试模拟真实运行场景,检验整个系统的稳定性和可靠性。观察系统在不同环境条件下的运行状态,检查数据传输、控制指令执行是否准确无误,对出现的问题及时排查解决,确保系统能稳定、高效地投入使用。

5 系统性能评估与优化策略

5.1 性能评估指标与方法

性能评估指标从多个维度衡量智能化农业灌溉系统的运行效果。水资源利用效率是关键指标,通过计算实际灌溉用水量与作物需水量的比值来评估,比值越接近1,表明水资源浪费越少。这一指标直观反映了系统对水资源的利用水平,关乎农业灌溉的可持续性。能耗指标

用于衡量系统运行过程中的能源消耗,统计水泵、传感器等设备的耗电量,评估节能效果,在能源成本日益增长的背景下,能耗控制对农业生产经济效益影响显著。灌溉均匀度反映灌溉水在田间的分布情况,通过在不同位置测量土壤含水量,计算其变异系数进行评估,变异系数越小,灌溉均匀度越高,这直接关系到作物生长的一致性和产量的稳定性。系统稳定性则考察系统在长时间运行和不同环境条件下的可靠性,记录故障发生次数和持续时间,确保系统稳定是保障农业灌溉正常进行的基础。

评估方法上,采用实地监测与数据分析相结合。在田间布置多个监测点,定期采集土壤湿度、水位、流量等数据,运用专业软件对数据进行统计分析。同时,利用模拟实验,设置不同工况,模拟干旱、暴雨等特殊天气,测试系统应对复杂环境的能力。为保证评估全面,还可引入专家评价,综合考量系统实际应用效果。此外,收集农户的使用反馈,从实际操作体验角度完善评估体系,使评估结果更贴合真实应用场景。

5.2 基于评估结果的问题分析

基于性能评估结果,可能出现多种问题。若水资源利用效率低,可能是灌溉设备存在漏水现象,或者控制算法未能精准匹配作物需水,导致灌溉量过多或过少。比如传感器故障提供错误的土壤湿度数据,使控制算法做出错误决策。在实际灌溉中,控制算法的偏差可能导致水资源的极大浪费,影响农田的生态平衡。能耗过高可能源于水泵选型不合理,功率过大或运行效率低;也可能是系统频繁启停,增加额外能耗。不合理的水泵选型不仅增加能耗成本,还会缩短设备使用寿命。灌溉均匀度差,可能是喷头或滴灌带的布局不合理,部分区域供水过多,部分过少;或者输配水管网存在压力损失,导致远端供水不足。不均匀的灌溉会使作物生长差异明显,影响整体产量和质量^[5]。

系统稳定性问题,可能是硬件设备质量不过关,在恶劣环境下容易损坏;软件系统存在漏洞,导致数据传输错误或控制指令异常,影响系统正常运行。此外,设备的老化、通信信号的不稳定也可能引发各类性能问题,需要全面排查。设备老化后,性能下降,故障频发,而通信信号不稳定则会造成数据传输中断,使系统无法实时响应和调控。

5.3 针对性优化策略与措施

针对水资源利用效率低的问题,定期检查灌溉设备,修复漏水点;优化控制算法,增加数据校验环节,确保传感器数据准确,提高灌溉决策的精准性。引入

先进的检测技术,如红外热成像检测灌溉管道的漏水隐患,运用机器学习算法持续优化控制模型,进一步提升水资源利用效率。为降低能耗,重新评估水泵选型,更换合适功率的水泵,优化水泵运行曲线;采用智能启停控制策略,减少不必要的启停次数。同时,利用变频技术根据实际灌溉需求动态调整水泵转速,实现节能增效。改善灌溉均匀度,重新规划喷头和滴灌带布局,根据地形和作物需求调整间距;对输配水管网进行压力监测,增设调压设备,保证各区域供水压力均衡。结合地理信息系统(GIS)技术,精准规划灌溉设备布局,提高灌溉均匀性。

提升系统稳定性,选用质量可靠的硬件设备,做好设备防护措施;定期对软件系统进行漏洞扫描和更新,优化数据传输和处理流程,确保系统稳定运行,保障智能化农业灌溉系统高效、可靠地服务农业生产。还可建立备用方案,当主系统出现故障时,能迅速切换,维持灌溉作业。构建冗余通信链路,防止信号中断,设置多套应急电源,保障系统在突发情况下持续运行。

6 结语

本研究成功实现智能化节能控制在农业灌溉系统中的应用,构建起能依据土壤墒情、气象数据精准调控的灌溉系统,显著提升水资源利用效率,降低能耗与人力成本,为农业节水与高效生产提供有效方案。然而研究仍存不足,如对复杂地形和特殊作物的适配性有待加强,部分传感器的稳定性和寿命还需提升。未来,应进一步优化算法,使其更好适应多样环境和作物需求,研发更可靠、耐用的传感器。此外,还需加强推广应用,让更多农户受益,推动农业灌溉全面迈向智能化、绿色化,促进农业可持续发展,助力乡村振兴战略实施。

参考文献

- [1]刘雪梅,刘英涛,党信凯.人工智能技术与设施农业智能化管理的融合在智能灌溉系统中的实践与应用[J].农业工程技术,2024,44(23):34-35.
- [2]章万静.一种农业自动化灌溉系统的高效能设计研究[J].农机化研究,2025,47(1):130-134.
- [3]张诚诚.基于智能控制的农业精准灌溉系统设计研究[J].农业与技术,2024,44(5):46-48.
- [4]张瑞茹.现代化技术在农业智能灌溉系统中的应用[J].南方农机,2024,55(16):141-143.
- [5]刘均满.智能控制系统在农田水利灌溉中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(11):066-069.