

基于物联网技术的农田水利精准灌溉系统优化与应用研究

王 涛

梁山县寿张集镇农业综合服务中心 山东 济宁 272600

【摘要】：随着全球农业生产对资源效率和环境可持续性的要求不断提高，传统灌溉方式因水资源浪费、能耗高、管理粗放等问题逐渐难以满足现代农业的需求。物联网技术的发展为农田水利系统提供了新的解决方案，通过传感器、大数据、无线通信、智能控制等技术实现灌溉精细化管理，提高水利用效率与作物产量。本文以物联网技术在农田水利精准灌溉中的应用为核心，系统分析现阶段精准灌溉系统的构建模式，提出优化路径与关键技术支撑，探讨数据驱动的调度策略、水资源智能分配机制以及基于云平台的系统集成方式。研究表明，基于物联网的精准灌溉系统能够实现对土壤墒情、气象环境及作物需水特征的实时监测，并通过智能决策模型优化灌溉方案，有效提升灌溉效率并减少水资源浪费。

【关键词】：物联网技术；精准灌溉；农田水利；智能控制；数据驱动

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.050

引言

水资源是农业生产的核心要素之一，在干旱半干旱地区尤其显得尤为关键。传统灌溉多依靠经验调度，存在水分供应过量或不足的情况，不仅浪费有限的水资源，还可能导致土壤盐渍化、营养流失等次生问题。随着信息技术的飞速发展，物联网技术逐渐成为农业智能化升级的重要组成部分。物联网技术融合了传感器、通信网络、云计算、大数据分析等多种技术手段，为农田水利系统的智能感知、精准调度和协同管理提供了技术基础。将物联网技术应用于农田灌溉，不仅可以提高灌溉过程的透明度，还可以基于实时数据开展动态控制，实现水资源的精细化利用，从而推动农业生产效率与生态环境目标的双重达成。本文围绕物联网驱动的精准灌溉系统，从技术架构、智能调度机制与系统优化策略入手，提出可行的实施路径，并通过实践案例分析验证研究成果，为推动农田水利现代化提供理论支撑。

1 物联网技术在精准灌溉系统中的关键支撑技术

(1) 传感器与数据采集技术

传感器是实现农田水利智能感知的核心硬件组件。精准灌溉系统需采集土壤湿度、温度、气象因素（如降水量、风速、蒸发量）以及作物生长参数等多维度信息。高精度传感器布设在各类土壤层级，使系统能够随时掌握田间水分动态。采集设备通过低功耗广域网络或无线传输模块实现与云端平台的连接，确保数据的实时性和完整性。传感器布设密度应结合农田规模、地形差异和作物需水特性进行优化设计，使采集数据既具有代表性又符合成本约束。

精准灌溉系统中传感器存在环境适应性和稳定性挑战。因此，在部署过程中应优先选择具备环境保护等级认证的传感设备，并做好定期校准与维护。多源数据融合机制可以将传感器数据与无人机遥感、地面气象站数据进行关联，提升环境信息获取的准确度，从而为系统决策层提供更可靠的数据支撑。

(2) 无线通信与网络体系

无线通信网络是物联网灌溉系统的重要支撑，常见的通信方式包括 LoRa、NB-IoT、4G/5G 以及 Wi-Fi 等。农田区域通常具有覆盖难度大、功耗要求高等特点，因此需根据具体情况选择适合的通信技术。LoRa 因其低功耗、远距离传输的特性在大规模农田场景中表现出较强优势，而 NB-IoT 和 5G 则在高带宽、低延迟的应用场景中能够满足更复杂的数据传输需求。

为了保障网络的可靠性和数据传输的稳定性，灌溉系统设计时需评估网络覆盖情况和冗余链路设置。同时应建立网络状态监测与故障自动恢复机制，避免因通信中断导致灌溉信息丢失或控制命令延误。此外，对于边远地区的农田，可考虑采用载波传输、微基站等补充方式提高网络覆盖能力，从而保障精准灌溉系统的有效运行。

(3) 云平台与边缘计算协同处理

云平台是灌溉系统的数据存储和智能分析中心。物联网采集的大量数据需集中在云端进行存储、处理和建模。云平台通过数据清洗、特征提取和模型训练形成智能决策规则，并根据分析结果下发控制策略。此外，为应对传输延迟和网络带宽限制，边缘计算节点可以实现本地数据预处理、异常检测、实时响应等功能，从而优化系统性能。

边缘与云的协同处理使得系统在面对突发水分变化时能够快速响应，同时将复杂计算任务转移到云端实现长周期优化。合理配置边缘计算资源不仅提升了系统灵活性，还减少了对核心网络的依赖，提高了整体系统的容错能力。

2 精准灌溉系统的智能调度策略

(1) 水分需水模型构建

精准灌溉系统的核心是合理确定作物需水量。需水模型以实时监测的数据为基础，通过数学方法与作物生长模型建立水分需求函数。需水模型可基于蒸散发量计算、作物生长阶段权

重分配、土壤水分动态变化等多因素构建。通过对不同生长期需水规律的分析,系统能够合理安排灌溉时间和水量,使灌溉方案更加贴合作物生长需求。

需水模型的构建需充分考虑区域水资源条件和作物类型差异,不同作物的根系分布、蒸散发差异以及生长周期均须纳入模型参数。通过长期的数据积累与模型验证,可逐步形成针对本地农业生产的精准需水模型,从而提高灌溉调度的科学性。

(2) 智能调度算法设计

基于采集数据与需水模型,智能调度算法是灌溉控制决策的核心。调度算法常采用机器学习、模糊控制、遗传算法等方法,使系统能够在复杂环境下实现优化决策。算法需考虑实时土壤墒情、未来天气预报、作物需水曲线等因素,并在不同约束下进行综合计算,输出最优灌溉方案。

智能调度系统还需具备自学习能力,可根据历史灌溉执行效果调整策略权重,使算法在迭代中不断提升调度精度。通过对多维数据的模型训练与优化搜索,智能调度系统能够减少人为经验误差,使灌溉更科学、高效。

3 系统集成优化与运行维护机制

(1) 设备兼容性与标准化设计

精准灌溉系统通常涉及多类传感器、控制终端、阀门执行器以及管理软件平台等组件,其设备兼容性和标准化水平直接决定了系统的稳定性、可扩展性与长期维护成本。在多厂家、多型号设备共存的情况下,如果缺乏统一的标准,容易导致数据传输不一致、接口不匹配或信息孤岛问题,影响系统整体运行效率。为此,应制定统一的数据格式、通信协议及接口标准,实现设备间的无缝对接,保证不同类型传感器、控制单元和软件平台可以互联互通,形成完整的数据闭环。

在系统设计与设备采购阶段,应优先选用符合国家或行业标准的传感器和控制设备,例如具备统一 Modbus、LoRaWAN、NB-IoT 等通信协议的产品。同时,系统架构应采取模块化设计,将传感器、控制器、数据网关和软件平台功能进行模块化划分。模块化设计不仅便于系统组件的替换和升级,还能够根据不同农业场景进行灵活部署,例如在小型农田或大型农场快速扩展系统功能。模块化和标准化设计还可降低维护难度,减少培训成本,提高设备互换性和系统整体通用性,使精准灌溉技术能够适应未来技术升级和不同作物种植模式的需求。

(2) 数据安全与隐私保护

精准灌溉系统在运行过程中会产生大量实时数据,包括土壤湿度、气象信息、作物生长状态及灌溉决策模型等,这些数据对于农田管理和水资源优化具有重要价值,同时也可能涉及商业机密。因此,数据安全与隐私保护是系统设计的重要环节。

首先,应建立严格的数据访问权限管理机制,对不同角色用户设置分级权限,确保只有授权人员才能访问敏感数据。其次,数据传输过程中需采用加密措施,如 TLS/SSL 协议或端到端加密,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。

在数据存储方面,可采取分级存储策略,对高频访问的数据和关键决策数据进行实时备份,并将历史数据存储在冷存储环境中,以防止意外丢失。同时,建立日志审计体系,对数据访问、修改和下载记录进行全程追踪,以便在出现安全事件时能够快速定位问题。针对涉及商业价值的种植方案、灌溉策略或经营数据,应遵循最小权限原则,仅授予必要访问权限,确保生产者信息不被泄露。在云平台或第三方服务器托管情况下,还应评估服务提供商的数据安全能力,签署数据保护协议,以降低潜在法律与经济风险。

(3) 运行维护与故障预警机制

精准灌溉系统在长期运行中可能出现设备故障、传感器漂移或数据异常,因此建立完善的运行维护与故障预警机制至关重要。系统应具备自检功能和运行指标监测能力,实时检测传感器数据合理性、控制单元状态及通信链路完整性,一旦异常及时反馈至管理平台,并通过短信、邮件或 APP 通知维护人员,确保快速响应。

远程诊断功能可让技术人员查看设备状态、数据日志和故障原因,减少现场维护频次与成本。系统还应具备故障预警与应急处理机制,当监测数据异常或通信中断时,可自动触发报警,并启用备用方案,如切换至手动控制或启用备份阀门,保障灌溉不中断。

长期运行中应建立设备维护档案,记录采购信息、安装日期、维修记录及性能参数,结合数据趋势分析与机器学习算法预测潜在故障,提前安排维护,实现预防性维护。

通过完善的维护与预警机制,精准灌溉系统可保障稳定运行、延长设备寿命,提高灌溉管理可靠性与效率。同时,配合设备兼容性、标准化设计及数据安全措施,实现系统全方位优化,为不同农业环境下的智能灌溉推广及农业现代化提供坚实技术支撑。

4 试点应用与效果评估

(1) 试点部署背景与实施过程

在某干旱半干旱农业区开展物联网精准灌溉试点,选取典型农田作为灌溉系统应用区域,以验证智能灌溉技术在水资源紧缺环境下的实用性与效率提升潜力。试点部署的基础设施包括土壤湿度传感器、气象站设备、灌溉阀门控制单元和数据网关,并通过物联网技术接入云平台,实现对土壤湿度、气温、降水量、风速等环境数据的实时采集与汇聚。系统通过大数据分析算法模型,自动生成灌溉方案并执行精准灌溉操作。

试点实施过程分为五个阶段：首先进行需求调研，分析作物种类、土壤类型、水源条件及农户管理习惯，为系统设计提供依据；其次完成设备选型与安装，包括传感器埋设、阀门控制单元布设及网络接入；第三步进行数据联调，确保各类传感器与控制单元正常采集、传输与接收数据；第四步进行算法训练，通过历史气象与灌溉数据优化灌溉策略，实现土壤水分精确调控；最后阶段为系统上线运行，并在一季灌溉周期内对系统性能进行观察，同时与传统人工灌溉方法进行对比评估。

(2) 灌溉效率与水资源利用成效

试点运行数据显示，物联网精准灌溉系统在灌溉次数、水量控制和灌溉时段安排上均表现出明显优势。与传统灌溉相比，水资源利用效率提高约20%以上，土壤水分波动范围得到有效控制，作物生长更加均衡与健康。系统能够根据实时土壤湿度和气象数据自动调整灌溉策略，减少过量或不足灌溉的情况，显著降低水资源浪费。此外，实时调度与智能控制减少了

人工巡检频次，降低了人为操作失误风险，提高了整体水利管理效率。通过数据分析，管理人员可对灌溉效果进行可视化监控，实现精细化管理，为未来大规模推广提供了可靠参考。系统的应用还增强了农户对灌溉决策的科学性认知，有助于推动智能农业技术在干旱地区的可持续发展。

5 结语

基于物联网技术的农田水利精准灌溉系统通过对多源数据的实时采集、智能调度算法以及云边协同处理机制，实现了对灌溉过程的精细化管理。该系统不仅提高了水资源利用效率，还优化了灌溉方案，为现代农业的可持续发展提供了技术支撑。尽管试点应用已取得显著成效，但系统在大规模推广过程中仍需解决设备可靠性、标准化推进以及跨区域数据协同等问题。未来，可结合人工智能预测模型、遥感技术以及农业大数据生态，进一步提升系统智能化水平，使精准灌溉成为推动农业生产升级的重要引擎。

参考文献：

- [1] 付弯弯,李效禹.农田水利工程水资源管理优化策略分析[J].农业科技创新,2025,(34):63-65.
- [2] 官玉兰.农田水利灌溉技术智能化发展方向与节水增效效果研究[J].水上安全,2025,(21):68-70.
- [3] 顾蓉萍.智能化管理系统在农田水利灌溉中的应用分析[J].安徽农学通报,2025,31(17):119-121.
- [4] 王慧,张五昌.智能灌溉系统在现代农田水利工程中的应用效果分析[J].农业科技创新,2025,(25):42-44.
- [5] 孙小双.探析物联网精准灌溉技术在农田水利中的应用[J].河南农业,2025,(16):76-78.
- [6] 张盘英.新时代基层农田水利灌溉管理措施分析[J].河南农业,2025,(14):67-69.