

数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用与实践

崔立业

故城县农业农村局, 河北 衡水 253800

DOI: 10.61369/ETQM.12246

摘要: 本文紧扣数字化技术在农田水利精准灌溉领域的应用展开论述。研究剖析了物联网的实时感知、大数据的深度挖掘以及数字孪生的虚拟映射等技术原理, 在此基础上, 搭建起涵盖数据采集、分析决策和自动化控制的科学应用体系。以石津灌区等为代表的大量实践案例表明, 这些数字化技术通过精准调控, 显著提升了水资源的利用效率, 有力推动农业向智能化、精细化方向迈进。随着技术的持续迭代, 数字化技术在农田水利精准灌溉领域应用前景广阔, 有望引领农业生产方式的深刻变革。

关键词: 数字化技术; 农田水利; 精准灌溉; 物联网; 大数据

Application and Practice of Digital Technology in Precision Irrigation of Farmland Water Conservancy

Cui Liye

Agricultural and Rural Bureau of Gucheng County, Hengshui, Hebei 253800

Abstract: This article focuses on the application of digital technology in the field of precision irrigation for farmland water conservancy. The study analyzes technical principles such as real-time perception of the Internet of Things, deep mining of big data, and virtual mapping of digital twins. Based on this, a scientific application system covering data collection, analysis, decision-making, and automatic control is established. Numerous practical cases represented by the Shijin Irrigation District show that these digital technologies have significantly improved the efficiency of water resource utilization through precise regulation and control, effectively pushing agriculture towards intelligence and refinement. With the continuous iteration of technology, digital technology has broad application prospects in the field of precision irrigation for farmland water conservancy, and it is expected to lead to profound changes in agricultural production methods.

Keywords: digital technology; farmland water conservancy; precision irrigation; Internet of Things; big data

随着全球人口持续增长, 气候变化影响加剧, 水资源短缺已成为全球面临的严峻挑战。农业作为水资源消耗的主要领域, 提升灌溉的高效性与精准性迫在眉睫。数字化技术的迅猛发展, 为农田水利精准灌溉提供了创新解决方案。借助物联网、大数据、数字孪生等技术, 构建全面感知、智能决策的精准灌溉体系, 替代凭经验判断的传统灌溉模式。这一转变不仅显著提升了水资源利用效率, 减少了水资源浪费, 更推动农业朝着智能化、现代化的方向加速转型, 助力农业可持续发展。

一、数字化技术在农田水利精准灌溉中的关键类型及原理

在农田水利精准灌溉迈向智能化、精细化的进程中, 数字化技术发挥着不可或缺的作用。物联网、大数据、数字孪生等关键技术, 凭借各自独特的原理, 构成了精准灌溉体系的技术基石。以下将对这些数字化技术的类型与原理展开深入探讨。

(一) 物联网技术

传统的农业灌溉多数根据对作物的生长阶段特点与人工种植经验实施, 为实现精准化灌溉作业, 智能化的农业灌溉系统不断呈现, 其考虑了田间环境的空气温湿度、土壤温湿度、光照强

度、土壤含水量及电导率等因素, 令灌溉作业更加科学合理^[1]。物联网技术作为实现精准灌溉的核心支撑, 为现代农业精细化发展筑牢了根基, 对推动农业高质量发展具有深远意义。在广阔的农田里, 按照科学布局原则, 系统部署土壤湿度传感器、气象传感器等多种传感器。土壤湿度传感器凭借分层探测技术, 能够精准测量不同土层的含水量, 为判断作物根系的水分吸收情况提供可靠依据。气象传感器则利用多通道采集技术, 收集光照强度、空气温度、相对湿度以及降雨量等关键气象数据。

借助 ZigBee、LoRa 等低功耗、远距离的无线传输网络, 传感器采集的海量数据被快速稳定传输至数据中心^[2]。依托物联网技术, 农田管理者借助专业的大数据分析平台, 运用聚类分析、关

联规则挖掘等算法，对收集到的数据进行深度剖析，进而实时、全面掌握农田实际状况。在此基础上，为精准灌溉提供科学可靠的决策依据，实现水资源的高效利用，助推农业向智慧化、绿色化转型。

（二）大数据技术

大数据技术凭借强大的运算与分析能力，深度赋能精准灌溉领域，为其提供了坚实的技术支撑。在数据收集阶段，系统借助物联网设备，全面整合不同地区、不同作物的生长数据、灌溉数据以及气象数据，这些丰富多元的数据为模型搭建筑牢了根基。

以中国农业科学院新乡综合试验基地为例，该基地部署2560组传感器，对土壤湿度、养分含量、作物生长指标、光照强度、气温等土壤、作物和环境数据展开全方位收集。随后，运用数据清洗、标准化等技术对收集到的数据进行系统整合，构建起作物生长数据库。依托梯度提升树、随机森林等机器学习算法，对数据库中的数据进行深入挖掘，将作物在不同生长阶段的水肥需求规律转化为可计算、可预测的数字模型。借助这些模型，系统依据作物生长阶段、土壤墒情、气象条件的实时变化，迅速制定精准的灌溉方案，显著提升灌溉效率，实现水资源的最大化利用^[8]。

（三）数字孪生技术

数字孪生技术凭借其独特的数字化映射能力，从底层逻辑重塑了灌区管理模式，让灌区实现智能模拟与前瞻预演。在甘肃疏勒河流域，省疏勒河水资源中心创新性运用这一前沿技术，对流域地形地貌、水利设施以及水文系统展开多维度测绘与数据采集，进行全方位数字映射。在建模阶段，通过高精度传感器收集河道流量、水位变化、土壤特性等多源数据，运用先进算法，构建起高度逼真的数字孪生模型。

依托该模型，一方面利用大数据分析技术和算法模拟，对不同作物、不同生长阶段的水资源需求进行深入分析；另一方面结合气象预测模型，对降水、积雪消融等因素带来的水资源增量展开科学预测^[9]。这些精确的信息为制定合理的灌溉调度方案提供可靠依据，极大助力水资源的科学配置与高效利用，实现节水增效与农业可持续发展的双赢。

二、数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用体系

为实现农田水利精准灌溉，一套行之有效的应用体系必不可少。数字化技术融入从数据采集，到分析决策，再到灌溉执行的全过程，保障了精准灌溉的高效实施。下面，将对数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用体系展开介绍。

（一）数据采集与传输

在农田水利精准灌溉体系中，传感器作为获取关键信息的基础设备，发挥着无可替代的作用。土壤湿度传感器凭借高精度的感应元件，深入不同土层，实时、精准地监测土壤水分含量，其反馈的数据成为灌溉决策的核心依据。气象传感器则从多个维度收集温度、湿度、光照、风速、降水量等气象信息，通过对这些数据的综合分析，能够准确把握作物在不同气象条件下的需水情况。水位传感器部署于灌溉水源处，不间断地监测水位变化，保

障灌溉系统始终维持稳定的水压与供水量^[6]。借助 ZigBee、NB-IoT 等无线传输技术，各类传感器收集的海量数据被迅速、稳定地传输到数据处理中心。这些数据经过专业的算法分析与处理，为灌溉策略的制定和调整提供全方位的数据支持，确保精准灌溉的顺利实施。

（二）数据分析与决策支持

大数据技术在农业灌溉领域的应用，极大地提升了灌溉决策的科学性与精准度。借助数据挖掘算法，系统能从海量农业数据中，运用 Apriori、K-Means 等经典算法，深入挖掘数据间的潜在关联，提取出如作物需水量变化规律等有价值的信息，进而预测作物需水趋势，为灌溉决策提供前瞻性思考^[10]。人工智能模型则通过机器学习与深度学习技术，搭建灌溉决策模型。以随机森林、神经网络模型为例，这些模型通过对大量历史数据和实时数据的反复学习，构建起复杂且精准的决策逻辑。当面临不同的作物品种、生长阶段和环境条件时，模型能依据学习所得，快速给出适配的精准灌溉方案，真正实现智能化、精细化的灌溉决策，有效提升农业用水效率。

（三）灌溉系统自动化控制

基于多维度数据分析结果，精准灌溉控制系统成为实现农田水利精细化管理的核心枢纽，高效推动灌溉设备的自动化控制。在实际应用中，阀门、水泵等关键灌溉设备与控制系统紧密相连，能依据预设的灌溉方案，借助可编程逻辑控制器（PLC），精准地自动开启或关闭^[11]。系统通过对灌溉时间、流量的精确调控，实现对灌溉水量和时间的精准把控，避免水资源的浪费。同时，远程监控系统基于物联网技术，搭建了稳定的远程通信链路，操作人员无论身处何地，只需通过手机、电脑等终端设备，借助专用 APP 或网页端，便能实时获取灌溉设备的运行状态，远程控制灌溉设备，灵活调整灌溉方案。这不仅大幅提升了灌溉管理的便捷性，还能让管理人员根据实际情况，快速响应，进一步优化灌溉策略，为农业生产提供有力保障。

三、数字化技术在精准灌溉中的实践案例

（一）石津灌区概况

石津灌区作为大型灌区，覆盖范围横跨河北省多个县（市、区），肩负着保障区域农业生产用水、促进当地经济发展的重要使命^[12]。多年来，随着人口增长与农业生产规模的不断扩大，水资源供需矛盾愈发突出，传统灌溉方式粗放、水资源浪费严重等弊端逐渐暴露，不仅增加了灌溉成本，也制约了农业可持续发展。在此背景下，引入数字化技术开展精准灌溉，成为石津灌区解决水资源问题、提升灌溉效率的关键举措。

（二）数字化技术应用体系

石津灌区前瞻性地地在田间和水源地部署大量传感器，构建全方位、多层次的数据采集网络。土壤湿度传感器高灵敏度捕捉土壤水分变化，反馈不同深度土层墒情，为精细化灌溉提供土壤信息；气象传感器收集气温、降水、风速和光照等气象数据，为灌溉决策提供依据；水位传感器监测渠道和水源地水位，保障灌溉

用水供应稳定。各类传感器通过无线传输技术，将采集数据上传至数据中心，数据中心借助专业软件，对数据进行整合、存储与分析，确保数据准确可用^[9]。

基于这一数据采集系统，石津灌区搭建智能灌溉决策平台。平台集成先进数据分析算法与模型，深度分析土壤湿度、气象条件、作物需水规律等多源数据，精准计算不同区域、作物各生长阶段的最佳灌溉时间与用水量。同时，平台依据灌区水资源现状，运用优化算法动态调整灌溉方案，合理调配水资源，避免浪费。

为落实精准灌溉，石津灌区在灌溉设施中部署自动化控制设备。电动阀门根据智能决策系统指令调节开度，精准控制灌溉流量。灌溉设备远程控制系统让管理人员通过手机或电脑，就能操控灌溉设备。借助可视化操作界面，管理人员可直观掌握设备运行状态，及时调整灌溉参数，提升灌溉管理的便捷性与灵活性。

（三）实施成效

数字化精准灌溉在石津灌区的应用，取得了多维度的显著成效。在水资源利用方面，借助精准的灌溉时间和用水量调控机制，石津灌区精准匹配作物的需水节奏，有效规避了传统灌溉中常见的过度灌溉和深层渗漏现象^[10]。数据表明，与传统灌溉模式相比，石津灌区的灌溉水利用系数大幅提升，节水效果显著，极大缓解了区域水资源短缺的紧张局面，推动水资源的可持续利用。

在农业生产效益上，精准灌溉为作物营造了稳定且适宜的水分环境，刺激作物根系深入发育，显著增强了作物的抗逆性，有效减少了病虫害发生概率。这不仅促使作物产量实现稳步增长，还显著改善了农产品品质，提升了其市场竞争力。同时，自动化灌溉系统的引入，减少了人工灌溉环节的人力投入，降低了灌溉成本，减轻了农民的劳动负担，全方位实现农业生产经济效益的最大化。

在灌溉管理层面，数字化技术助力石津灌区成功迈向信息化和智能化管理阶段。依托数字化管理平台，管理人员能够实时监控灌区水资源动态，精准掌握灌溉设备的运行状态。当设备出现故障或水源调配不合理时，系统能及时发出预警，方便管理人员迅速响应，采取有效措施解决问题。这不仅大幅提高了灌溉管理的效率，还为灌溉决策提供了可靠的数据支撑，显著提升决策的科学性与精准性。

（四）经验与启示

石津灌区数字化精准灌溉的成功实践，为其他灌区提供了宝贵借鉴。在技术应用上，各灌区要结合自身地理环境、作物种植结构与水资源状况，合理选择数字化技术和设备，避免盲目投资。

人才对数字化精准灌溉发展至关重要。各灌区需加强人才培养，打造既懂农业灌溉技术，又熟悉数字化技术的复合型人才队伍，为技术发展提供智力支持，同时推进技术创新，研发适配灌区特点的新技术、新设备。

另外，灌区应加强与科研机构、企业合作，构建产学研用一体化合作机制，加速技术成果转化。通过合作，及时获取最新技

术成果，提升灌溉管理水平，实现水资源高效利用与农业可持续发展。

四、结束语

数字化技术在农田水利精准灌溉中的应用，已然成为农业现代化发展的必然趋势。借助传感器、物联网设备，数字化技术完成对土壤墒情、气象条件、作物生长状况的数据采集，运用大数据分析模型，深度挖掘数据价值，并通过自动化控制系统实现精准灌溉。这一过程不仅有效提高了水资源利用效率，降低了因不合理灌溉造成的农业生产成本，同时稳定农作物生长环境，保障国家粮食安全，缓解水资源压力，维护水安全。

尽管推广应用时，面临数据安全、技术成本等挑战，但随着技术的创新突破与政策扶持，数字化技术在精准灌溉领域应用前景将更为广阔，有望推动农业向更高水平的现代化迈进。

参考文献

- [1] 李林. 基于物联网技术的农业灌溉系统精准控制研究[J]. 农机化研究, 2022, 44(01): 227-232. DOI: 10.13427/j.cnki.njyi.2022.01.039.
- [2] 刘志龙, 张淋江, 朱富丽, 等. 基于物联网农业灌溉系统精准控制模型的研究[J]. 农机化研究, 2024, 46(04): 211-215+220. DOI: 10.13427/j.cnki.njyi.2024.04.016.
- [3] 童鸿. 瓮安县小型农田水利工程建设中存在的问题及对策[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(08): 222-224.
- [4] 张书花. 农田水利灌溉统一调度管理的应用策略[J]. 农村科学实验, 2024, (14): 118-120.
- [5] 李俊锋. 现代数字技术赋能农田水利供给体系的机理及路径[J]. 农业工程技术, 2023, 43(20): 71-72. DOI: 10.16815/j.cnki.11-5436/s.2023.20.034.
- [6] 许又川. 乡村振兴战略背景下农田水利项目绩效审计研究[D]. 西南政法大学, 2023. DOI: 10.27422/d.cnki.gxzf.2023.000190.
- [7] 王婷芳. 农田水利灌溉渠道工程运行维护及管理[J]. 农家参谋, 2022, (14): 153-155.
- [8] 徐子凯. 信息化技术在农田水利工程施工中的运用[J]. 工程技术研究, 2021, 6(18): 90-91. DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2021.18.040.
- [9] 麻勇进. 协同治理视域下小型农村水利工程治理问题研究[D]. 中共浙江省委党校, 2020. DOI: 10.27478/d.cnki.gzzjd.2020.000034.
- [10] 张艳丽. 农田水利灌溉管理统一调度的优势和运用策略[J]. 农业科技与信息, 2022, (11): 85-87. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2022.11.032.