

基于 BIM 与万物智联技术的农业灌溉管道智能化系统研究

方 鑫, 王光达, 江杰霖, 朱圣煜, 韦 芳*

苏州工学院商学院 江苏常熟

【摘要】随着智慧农业的快速发展,传统农业灌溉系统在水资源利用率低、响应滞后及管理粗放等方面的弊端愈发显著。为响应国家《“十四五”全国农业农村信息化发展规划》等政策对智能灌溉的倡导,本研究提出一种基于 BIM(建筑信息模型)、物联网(IoT)与人工智能(AI)技术深度融合的农业灌溉管道智能化系统,实现“数据采集—传输—分析—决策”的全流程闭环管理,提高系统节水率,缩短故障检索时间,为智慧农业和节水型农业建设提供技术支撑。

【关键词】BIM; 物联网(IoT); 人工技术(AI); 智能灌溉

【基金项目】2024 年度江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(项目编号:202410333035Y)

【收稿日期】2025 年 5 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 6 月 17 日 **【DOI】**10.12208/j.jafs.20250002

Research on intelligent system of agricultural irrigation pipeline based on BIM and IoT technology

*Xin Fang, Guangda Wang, Jielin Jiang, Shengyu Zhu, Fang Wei**

Business School, Suzhou University of Technology, Changshu, Jiangsu

【Abstract】With the rapid development of smart agriculture, the drawbacks of traditional agricultural irrigation systems in terms of low water resource utilization, lagging response, and extensive management have become increasingly prominent. In response to the national policies such as the "14th Five Year Plan for the Development of Agricultural and Rural Informatization" advocating for intelligent irrigation, this study proposes an intelligent agricultural irrigation pipeline system based on the deep integration of BIM (Building Information Modeling), Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI) technologies, which realizes the full process closed-loop management of "data collection transmission analysis decision-making", improves the water-saving rate of the system, shortens the fault retrieval time, and provides technical support for the construction of smart agriculture and water-saving agriculture.

【Keywords】BIM; Internet of Things (IoT); Artificial Intelligence (AI); Intelligent irrigation

1 背景研究

2022 年中央网信办等十部门印发《数字乡村发展行动计划(2022-2025 年)》,提出整合利用各类农业园区、基地的物联网数据采集设施,逐步推动数据汇集。2023 年 2 月,水利办公厅发文《水利部办公厅关于印发 2023 年水利系统节约用水工作要点的通知》中提到要全面建设节水型社会。2025 年 2 月,新华社发布《中共中央 国务院关于进一步深化农村改革扎实推进乡村全面振兴的意见》中提出

要推进农业科技力量协同攻关,支持发展智慧农业,拓展人工智能、数据、低空等技术应用场景。2025 年 3 月,江苏省发布《中共江苏省委江苏省人民政府关于进一步深化农村改革推进乡村全面振兴加快高水平农业强省建设的实施意见》中提出加强农业智慧装备研发应用,加快现代化农业“智改数转网联”,推进标准化、智慧化农业设施改造。

据北京青年报官网发文,2019 年初,宁夏贺兰通过智能化赋能,借助各种传感器监测酿酒葡萄的

第一作者简介:方鑫(2003-)男,汉族,江苏徐州人,苏州工学院本科工程管理在读学生,研究方向为工程管理;

*通讯作者:韦芳(1979-)女,汉族,江苏常熟人,苏州工学院工程管理系副教授、全国一级注册建造师、造价工程师、监理工程师,华东理工大学硕士,主要从事智能建造、工程造价研究。

生长状态,实现精准灌溉,从而高效节约黄河水。据介绍,目前银川市酿酒葡萄种植基地基本实现高效节水全覆盖,葡萄园智慧灌溉系统可以实现节水约30%。

2 农业灌溉管道智能化系统的关键技术

2.1 BIM 技术搭建三维数据模型

在传统农业管道灌溉系统中,管道设立往往是施工人员依据现场环境进行测量,设计师根据工人的数据进行二维图纸设计,而工人则根据设计师的二维图纸进行管坑的挖掘、安装。在这过程中若农户有对实地效果不满意,项目方案更改的需求,工人会消耗几天甚至数十天的时间进行施工范围内的调整。这不仅对工程造成了工期延误的后果,影响承包公司的承包下一个项目,还对农户的经济、时间造成了浪费,甚至会影响农业作物的最佳种植时间。

BIM 技术具有可视化、可优化、可出图的特点。运用 BIM 技术将工人实地环境测量数据包括坡度、高度、地形等要素与设计师的图纸进行结合后通过 Revit 平台进行数字建模,将农业环境模拟在电脑中形成三维数据模型。不仅可以为农户带来直观立体的视觉效果,设计师可以根据农户的需求与管道碰撞数据进行调整更改,减少实地更改项目带来的工时、人力财力的浪费,更为农业灌溉管道智能化系统搭建了多端数据承载的载体。

2.2 IoT 技术监测管道具体数据

在农业灌溉管道智能化系统中,IoT 技术主要支持管道内部、土壤环境和空气环境等多类型传感器数据的收集、传输与汇总。传感器作为前端感知单元,承担着实时、精准监测管道、土壤状态的职责。

管道压力传感器能够精确测量管道中空气压力值,为管道气密性检测提供依据,也可以根据管道内部水压变化判断流体流速,确保区域农业的灌溉水量。土壤传感器可以收集土壤的含水量、温度等,通过不同测量原理,如电容式,电感式等将土壤信息转化为电信号,为灌溉决策提供最基础的数据依据。同时,工程师也可以搭建气象传感器,实时监测土壤上方光照时间、风速、温度、降水等数据,如过度光照带来的土壤水分流失、极端降水带来过度灌溉、土壤流失等情况反馈给系统。

2.3 AI 技术辅助灌溉系统动态管理

当下 AI 技术惠及大众群体,如利用开源 deepseek AI 大模型,我们可将农业灌溉管道系统的智能化程度。搭载 AI 技术的系统可以根据物联网传感器采集的管道、土壤、气象数据等整合,构建多维度数据集,形成灌溉需求预测模型,结合历史数据与实时环境参数,动态预测灌溉时间与时间窗口。基于作物实时状态,及时调整灌溉系统灌溉方案,调整阀门开度,水泵功率,避免造成农业损失。将 AI 技术嵌入到管道三维数据模型中,还可以帮助设计者快速匹配故障位置,提供维修策略。

3 农业灌溉管道智能化系统设计与方法

3.1 系统设计思路

以“可视立体、数据驱动、周期管理、智慧决策”为核心目标,整合 BIM 技术的空间建模能力与 IoT 的实时感知能力,形成“模型—数据—决策”的智慧决策生态模型,如图 1。将区域数据模块化设计解析,分层解耦感知、传输、应用功能,便于系统扩展与维护,同时系统能够基于环境与作物需求变化,实现灌溉策略自适应调整。

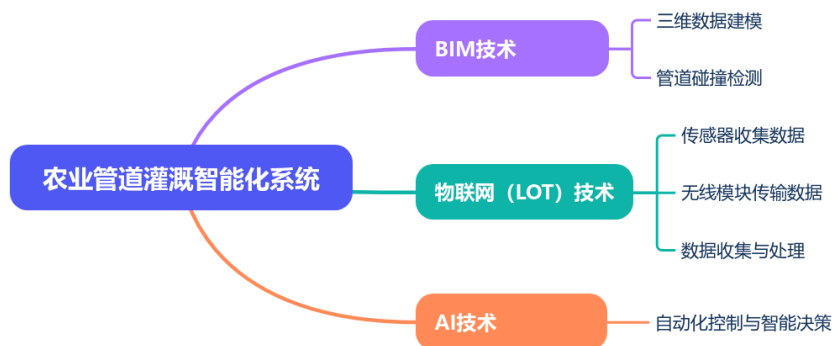


图 1 农业管道智能化系统设计

3.2 系统架构组成

农业灌溉管道智能化系统由设备层、基础层、感知层、传输层、数据层和决策层组成, 见图 2。各层协同实现“数据采集—传输—分析—决策”的全流程闭环管理。其中, 由三维数据模型构成基础层, 感知层由土壤传感器、管道压力传感器、气象传感器等传感器组成, 主要负责对土壤状况、管道运行状态、气象环境进行数据采集, 通过精密传感器确保农业环境精准采集, 实时监控。传输层主要由传感器当中搭载

的 WIFI 模块、场地无线 AP 设备与移动平台, 支持用户实时查看数据及远程控制阀门。数据层是基于云平台搭建农业灌溉数据库, 不仅存储三维数据模型, 还能够将存储传感器实时采集的土壤、管道等动态数据, 便于云平台部署的 AI 模型库能够集成灌溉需求预测模型、故障诊断模型。决策层主要依托 AI 算法, 结合实时数据与历史规律生成灌溉时间、水量及阀门开度控制指令, 同时通过移动端向农户展示三维管网状态、灌溉计划和预警信息等。

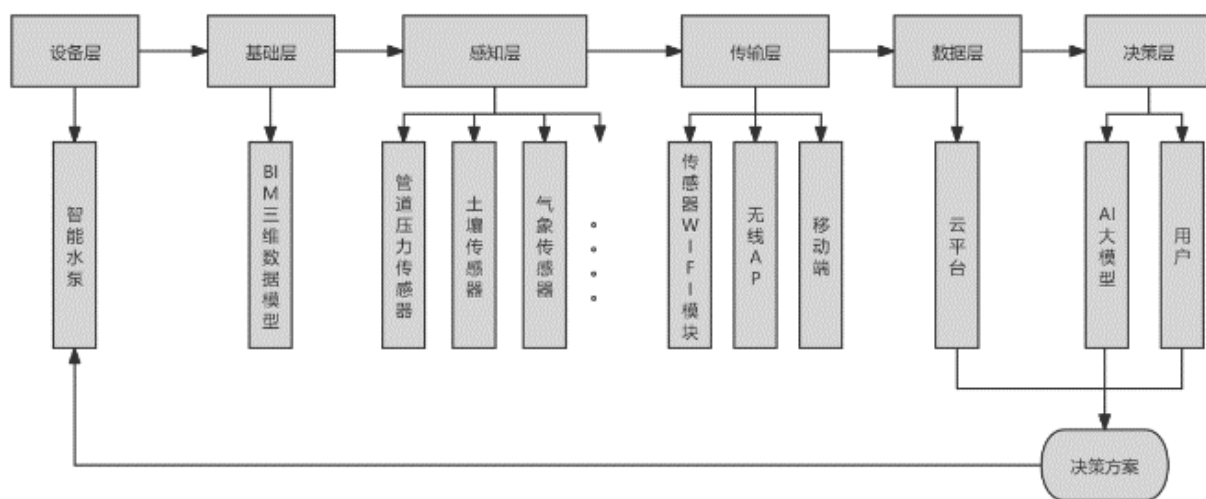


图 2 农业灌溉管道智能化系统架构

3.3 数据智能处理

系统部署 AI 智能大模型, 通过多源数据整合、智能算法驱动与实时反馈机制, 针对原始数据进行灌溉方案决策。

AI 基于三维数据模型的空间坐标, 将土壤传感器数据、气象数据与管网布局进行地理配准, 同时提取多维度特征, 如土壤含水量的梯度变化、管道压力的周期性波动规律、气象趋势与作物生长阶段的关联性, 构建系统数据集。采用卷积神经网络分析管道压力时序数据, 识别渗漏、堵塞等异常情况, 并通过三维数据模型定位故障点, 提供维修建议。系统能够结合历史灌溉记录、实时环境参数及作物生长周期, 对灌溉策略进行动态优化, 同时将优化后灌溉策略通过传输层下发至执行设备。

4 技术融合优势

4.1 自主调控

农业灌溉管道智能化系统能够针对灌溉策略进

行自主化动态调控。三维数据模型作为基础层, 它提供了相对精准但不完全的数据支持, 这些与 IoT 传感器获取的实时数据, 包括管道内压力、当前土壤湿度以及气候因素等被整合成一个多维的数据集合。一旦碰到一场大雨的时候, 在云端搭载的 AI 系统就能迅速地识别异常数据, 根据往期农作物用水量分析, 适当暂停灌溉行为, 又或者在干旱环境下增加浇水的分配, 以减少决策上的人工参与从而达到最佳用水效率。同时, AI 支撑着的故障检测模块能够快速识别管道泄漏或者堵塞等问题, 并且能够借助先前提到的三维数据模型制定出一条可供维修的路径规划, 从而大幅缩短相关响应时间, 使得农业经济损失得到降低。

4.2 实时监测

系统依托高密度传感器网络与物联网通信技术, 实现了对农业灌溉环境的全天候、全要素监测。其中, 管道压力传感器能够实时观察水压及流速,

以此计算出灌溉管道出水量。与此同时, 土壤传感器每十分钟播放一次更新, 监测土壤湿度、温度等数据, 气象传感器同步获取光照水平、温湿度以及降雨数据, 这些信息被传感器上传到云端后, 集成响应体制, 以应对灌溉需求与灾害预警。通过移动端界面, 农户可实时查看三维管网健康状态、土壤湿度热力图及气象趋势曲线。例如, 在连续高温天气中, 系统可自动触发滴灌模式以减少水分蒸发损失, 并通过预警推送提醒农户调整作物种植策略, 确保灌溉效率与作物健康。

4.3 全周期管理

BIM 技术在农业灌溉管道智能化系统从设计、施工、运维一直到最终报废, 都发挥了重要作用。在设计阶段, 利用 BIM 的三位数字模型能够迅速生成多种替代方案进行比对, 优化管网布局及设备选择, 减少施工返工率; 另外, 在施工期间, 通过三维数据模型以及施工进度的相互连接, 可以实时掌控工程推进的情况。进入运维阶段后, 这个三维的数据模型里已经集合了设备维护相关记录、事故历史数据及备件库存信息, 这就是为制定预防性维修计划提供支持。就好比说, 根据水泵已运行时间来预测其寿命衰减, 并且先行规划更换调度, 从而避免那些出人意料的停机状况发生。而一旦到了报废和回收阶段, 借助于三维数据模型里的材料列表和生命周期评估, 可以指导管道与设备的环保拆解与资源循环利用, 降低碳排放。

5 结语

综上所述, BIM、IoT 与 AI 技术的深度融合为农业灌溉系统的智能化升级提供了创新路径。本研究通过 BIM 技术实现管网三维可视化设计与动态优化, 结合 IoT 传感器实时采集土壤墒情、管道压力及气象数据, 并依托 AI 算法动态生成精准灌溉策略与故障诊断方案, 构建闭环管理系统, 从而有效的实现灌溉一体化, 极大的提高了水资源的利用率以及灌溉效率。然而, 研究在传感器数据传输协议标

准化、多作物灌溉模型泛化能力及极端环境适应性等方面仍需进一步探索。未来, 该系统框架可搭载 5G 通信技术, 扩展至温室种植、城市园林灌溉及水利设施管理等领域, 为智慧农业与绿色基础设施建设提供技术参考。

参考文献

- [1] 张梅霞. 基于物联网的智能灌溉系统设计与实现[J]. 中国农机装备, 2025, (02): 115-117.
- [2] 张力, 汤浩. 现代农田水利灌溉系统智能化设计与实施策略研究[J]. 南方农机, 2024, 55(24): 162-164.
- [3] 毛玉洁. 智能化农业灌溉排水工程技术的发展趋势与实践探索[J]. 农村实用技术, 2024, (12): 91-92.
- [4] 赵彦琳, 张宇峰, 张敬博. 基于物联网技术的农业智能灌溉系统探究[J]. 现代农村科技, 2024, (12): 73-74.
- [5] 陈彦达. 基于物联网技术的智能灌溉系统设计与实现[J]. 粮油与饲料科技, 2024, (09): 167-169.
- [6] 刘江燕. 智能农田灌溉系统设计研究[J]. 农业技术与装备, 2024, (09): 34-35+38.
- [7] 余慧婷, 戴曲顺. 物联网技术在果园水肥管理的应用研究[J]. 农业开发与装备, 2024, (12): 169-171.
- [8] 李振江, 谷少委, 王耀, 等. 基于物联网的智能灌溉系统组成及发展研究[J]. 江苏农机化, 2024, (06): 29-31.
- [9] 黄非娜. 基于物联网技术的水稻大田智能灌溉系统设计[J]. 华东科技, 2024, (07): 85-87.
- [10] 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(05): 46-48.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS