

文章编号:1673-887X(2026)06-0018-03

高标准农田智能灌溉系统构建路径研究

巴玉珠

(民乐县水务局,甘肃 民乐 734500)

摘要 目前,我国高标准农田建设存在着“重建设轻管理”的问题,灌溉方式仍较为粗放,机械化水平较低。针对这些问题,文章提出了“云—系统—终端”三层体系结构,详细阐述了感知层、传输层和应用层的具体实现路径,分析了异构网络融合、硬件设备选型及系统集成方法,并结合实践探讨施工与运维模式。结果表明,该系统对水肥的控制非常准确,节省了大量的劳动力,为农业信息化建设提供了一种可供参考的模式。

关键词 高标准农田;智能灌溉;物联网;系统架构;构建路径

中图分类号 S776.24+5

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.006

Research on the Construction Path of an Intelligent Irrigation System for High-standard Farmland

Ba Yuzhu

(Minle Water Conservancy Bureau, Minle 734500, Gansu, China)

Abstract: At present, there is a problem of "emphasizing construction but neglecting management" in the construction of high-standard farmland in our country. The irrigation methods are still rather simplistic, and the mechanization level is relatively low. To address these issues, this paper proposed a three-layer architecture of "cloud-system-terminal", elaborated on the specific implementation paths of the perception layer, transmission layer and application layer, analyzed the methods of heterogeneous network integration, hardware equipment selection and system integration, and discussed the construction and operation maintenance models in combination with practice. The results showed that this system could control water and fertilizer very accurately, save a lot of labor, and provide a reference model for agricultural informatization construction.

Key words: high-standard farmland; intelligent irrigation; Internet of Things; system architecture; construction path

在我国粮食安全战略实施的背景下,高标准农田建设已成为保障农业生产和提升耕地综合生产能力的重要环节^[1]。但在许多地区的农田灌溉中,还在使用手动开启和关闭阀门,而不是按照作物的实际需求来浇水,不仅浪费了资源,还导致地力透支^[2]。物联网和云计算的出现,为农业灌溉系统的智能化提供了契机。本文从高标准农田灌溉系统的要求出发,梳理智能灌溉系统的构建与实现,以期为我国农业水利信息化建设提供可行的解决方案。

1 高标准农田智能灌溉系统的需求分析与总体设计

1.1 建设需求与功能目标

在民乐县三堡镇三堡村、新庄村高标准农田建设项目基础上,实施了 139.4 hm² 高标准农田智慧灌溉节水试验示范项目,项目通过建设物联网控制中心和大

数据云管理平台,构建集设施精细化管理、土壤墒情监测、智能水肥一体化、无人化灌溉作业等功能于一体的智能灌溉系统,从而实现农作物精准灌溉。高标准农田智慧灌溉系统主要解决信息难以获取、执行难以实施等问题^[3]。功能上要做到三个方面:一是“看得全”,实时更新土壤墒情、天气状况、作物长势、管网运转等信息;二是“算得准”,依据农作物需水量模式及环境信息,自动计算出浇水时间与浇水量;三是“控得住”,通过手机或电脑,对田间的水泵、阀门、施肥设备进行遥控,从而实现节水、节肥、省力的目的。

1.2 系统总体架构设计

为实现上述功能,系统遵循“分层设计、模块配合、数据互通”的原则,构建了标准化的总体架构。从逻辑上将其划分为感知执行层(端)、网络传输层(管)和应用决策层(云),形成一个完整的物联网闭环,见图1。由图1可知,感知执行层位于底层,作为系统的“感知终

收稿日期 2025-10-10

作者简介 巴玉珠(1968-),男,甘肃民乐人,研究方向为农田水利。

端”和“执行单元”,主要包括土壤温湿度传感器、气象站、流量计、压力表,以及电磁阀、水泵控制器等设备,负责采集田间数据和执行作业;网络传输层起到连接枢纽的作用,采用LoRa、ZigBee等短距离低功耗无线技术,配合4G/5G广域网形成“异构组网”模式,保证田间海量数据稳定传输至云端;应用决策层,就是“大脑”,由云端服务器提供,由数据库、灌溉模型库、管理平台组成,对传输回来的数据进行清洗、存储、分析,并按照预先设定好的策略,下达指令。

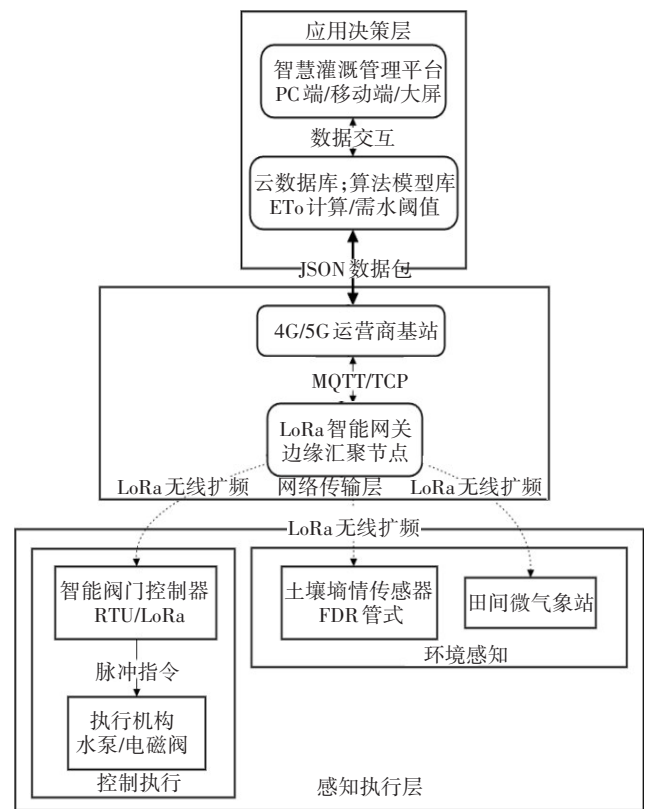


图1 智能灌溉系统“云—管—端”三层总体架构图

Fig.1 The overall architecture diagram of the intelligent irrigation system's "cloud-network-terminal" three-layer structure

2 数据感知与传输网络的构建

2.1 田间环境感知设备选型

设备选择性能稳定、防护等级高的传感器,以适应农田恶劣的气候条件^[4]。本项目采用基于频率域反射率(FDR)原理的管状土壤湿度传感器,可以同时探测10~80 cm以下的土层中的含水量,并绘制出相应的含水量分布图,为准确估算根层的湿润度提供依据。施肥的密度,要根据地块土质以及种植作物的不同进行适当网格布点,通常在2~3.33 hm²设置一个监测点。另外,还需要在典型土地上建立一个完整的气象观测系统,监测气温、湿度、光照、降水量、风速、风向等因素,计算出作物的蒸腾速率。

2.2 智能控制终端硬件集成

智能控制终端(RTU)是连接传感装置与执行器的

重要节点。整合时要考虑到野外供电难,温度、湿度变化大等情况。所需智能阀门控制器功率要小,边缘运算能力要高。在硬件上,采用“太阳能板+大容量的锂电池”,节省成本和安全性。控制器内置高精度A/D采集模块和继电器输出模块,并支持Modbus-RTU通信协议,可以直接读取传感器数据,并对电磁阀进行切换。为了防止停电而延迟灌溉,终端必须安装RTC时钟芯片,并提供本地内存,详细选型见表1。

表1 核心感知设备与控制终端技术参数选型表

Tab.1 Core perception equipment and control terminal technical parameter selection table

设备名称	核心指标	通信协议	防护等级	供电方式	关键特点
管式土壤墒情仪	量程0~100% (±3%) 5层监测 (10 cm/层)	RS485	IP68	DC 12/24 V	耐腐蚀,真空灌封
田间微气象站	降雨精度±0.2 mm 风速≤0.5 m/s	RS485/SDI-12	IP65	太阳能+蓄电池	一体化,抗12级风
智能阀控器(RTU)	4路输入/2路输出 唤醒响应<3 s	LoRa/NB-IoT	IP67	太阳能+锂电	远程OTA,断电记忆
超声波流量计	R400/2级精度 始动0.005 m ³ /h	M-Bus/RS485	IP68	锂电(>6年)	无机械部件,防堵
压力变送器	0~1.6 MPa (0.5%FS) 过载200%FS	4~20 mA/RS485	IP65	DC 24 V	需配缓冲管防冲击

2.3 异构网络通信协议的融合应用

由于高标准农田占地广、分布广、4G/5G信号分布不均,单凭一种通信模式难以实现低成本、高可靠性。因此,“LoRa自组织网络+4G/5G回传”的混合组网方式是当前最适宜的技术途径。LoRa具有低功耗、远距离传输(10 km)、抗干扰能力强等优点,尤其适用于田间分布较少的节点进行小规模的数据传输。把LoRa网关安装在农田高地上,可以接收周围数千米范围内的数百个感应器和控制器。LoRa网关类似于一个边缘汇聚点,将接收到的数据通过端口发送到云服务器中。这样的混组网络既可以节约成本,还具备很好的稳定性。

3 智能决策管理平台的开发与实现

3.1 灌溉决策算法逻辑与模型库构建

由“凭经验灌溉”为“依数据灌溉”,是智慧灌溉系统建设的关键^[5]。为达到此目的,根据水分平衡原理,将智能算法嵌入决策系统中。控制方程如下:

$$W_t=W_{t-1}+P_e+I+G-ET_c-D-R.$$
 (1)

式中: W_t 、 W_{t-1} 分别为当日和前一日本作物根系层土壤储水量; P_e 为有效降水量; I 为当日灌溉量; G 为地下水补给量; ET_c 为作物当日实际腾发量; D 为深层渗漏量; R 为地表径流量。

触发灌溉后,系统依据式(2)计算本次需水定额,

将土壤水分补充至目标上限。

$$M=10\cdot\gamma_s\cdot H\cdot(\theta_{\max}-\theta_i)\cdot\frac{1}{\eta}.$$

(2)

式中: M 为灌溉定额; γ_s 为土壤容重; H 为计划湿润层深度; $\theta_{\max}$ 、 θ_i 分别为土壤含水率上限阈值和当前实测值; η 为灌溉水利用系数。

3.2 平台功能模块划分与可视化界面

为了便于基层管理者更好地理解和使用,平台采取了B/S结构,基于Spring Cloud微服务框架开发,在用户较多的情况下,系统不会卡顿。前端采用Vue.js技术,使数据的显示更加动态和顺畅,详见图2。

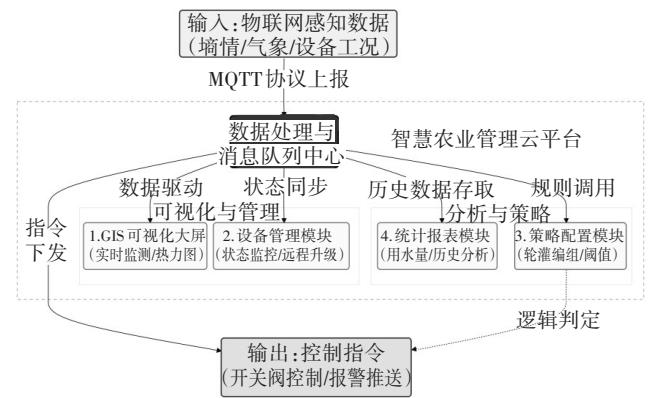


图2 智能决策管理平台功能模块运行逻辑图

Fig.2 Functional module operation logic diagram of the intelligent decision-making management platform

由图2可知:GIS可视化大屏是一幅由高精度的卫星地图绘制的地图,上面标注着设备的位置、阀门的开启、缺水的位置(热力图),让管理者一眼就能把握住全局;设备管理模块负责对水泵、阀门和传感器进行整个生命周期的监控,包括参数设定、固件远程更新;策略配置模块供使用者使用,使用者可以设定轮灌计划,设定智能联动逻辑,实现了每日和月度的自动生成;统计报告模块,用水量、用电量及历史墒情曲线等信息一目了然。

4 系统工程实施与标准化建设路径

4.1 施工工艺与安装规范

智能灌溉系统的稳定性,不仅取决于硬件和软件,还取决于项目的执行情况。地下管道和电缆的铺设一般 ≥ 80 cm,弱电控制线要用PVC阻燃管或PE管进行保护,并且与强电线之间的距离要超过30 cm,这样才能避免电磁干扰。智能化的阀门井最好采用预制的钢筋水泥井,井盖应兼具防盗与承压功能。为了确保传感器与土壤紧密接触,需要使用专用的取土钻进行钻孔。安装完毕后,还要将孔口封好,以免雨水沿管壁渗入,导致测量数据出现偏差。

4.2 运行调试与故障诊断机制

调试分为单机调试与在线调试两部分。单机调试逐一检查阀门、水泵是否听从指令、响应是否迅速,以

及传感器的数据是否正确;在线调试主要是测试轮灌组的逻辑,保证当多个阀门同时开启时管网的压力能够稳定,不会被水击损坏。

系统具备故障自检功能。当发出“开阀”指令后,若流量计读数持续为零或无变化,系统即判定为硬件故障,随即暂停当前任务并跳转至下一任务,同时向维护人员发送故障单,实现由被动维修向主动运维的转变。

4.3 建设成本与效益对比分析

为验证该技术方案实效,随机选取133.33 hm²高标准农田作为示范区,部署完整的感知、传输与控制系统,通过全生育期监测,与常规漫灌/人工管灌模式进行对比(见表2)。尽管初期投入较大,但智能灌溉系统运营成本与产出效率均更高。

表2 传统灌溉与智能灌溉系统建设成本及运行效益对比表

Tab.2 Comparison of construction costs and operational benefits of traditional irrigation systems and intelligent irrigation systems

比较指标	传统漫灌/ 人工管灌模式	智能灌溉系统 (本文)	增减幅度
初期建设成本/ [元·(667 m ²) ⁻¹]	约800~1 200	约1 800~2 500	+110%
年均灌溉用水量/ [m ³ ·(667 m ²) ⁻¹]	350~450	220~280	-37%
年均人工管理成本/ [元·(667 m ²) ⁻¹]	120(需专人开 关闸)	15(巡检为主)	-87.5%
肥料利用率/%	30~40(随水冲 施不均)	55~65(精准水 肥一体)	+25个百 分点
作物平均 增产率/%	基准值	+8~12	+10
投资回收期/年	N/A	约2.5~3.5	N/A

5 结语

本文以当前我国高标准农田为对象,围绕“感知—传输—决策”3个层次展开。以“LoRa+4G”混组网为基础,以云技术和作物需水量模型为核心,通过标准化建设保障系统品质。实践表明,此方法不仅在技术上促进了数字化改造,且在经济上实现了节水和节工。

参考文献

[1] 屈登惠.高标准农田建设中智能节水灌溉系统的设计与应用[J].南方农机,2025,56(10):123-126.
[2] 慕蓉蓉.基于物联网的智能节水灌溉系统研究与应用[J].农业与技术,2024,44(6):12-14.
[3] 王雪丽,曹树伟,张迪.基于双RTU的田间滴灌工程远程监测系统研究[J].计算机应用与软件,2024,41(2):345-349.
[4] 张玮文,李慧,张雯宁,等.一种新型智能化节水节能灌溉系统设计[J].科技创新与应用,2023,13(20):36-40.
[5] 王庆华,周晶,侯俊才.基于变论域模糊PID的水肥控制策略研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(11):144-154.