

智能测控一体化阀门的设计及其在灌区中应用

慕榕雪

河南省农村供水总站 河南郑州 450000

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12256

[摘要] 针对现代灌区管道化进程中, 存在的量、控、管等一些列问题, 聚焦于智能测控一体化阀门, 阐述其设计原理、结构组成以及在灌区水资源管理与灌溉控制中的应用实践。旨在为灌区现代化建设提供高效、精准的技术解决方案, 推动农业水利工程的智能化进程。

[关键词] 智能测控一体化阀门; 灌区; 水资源管理; 灌溉控制

1 引言

1.1 研究背景与意义

我国是一个农业大国, 近年来, 水资源短缺的问题日益严重。2023年, 全国水资源总量 25782.5 亿 m^3 , 比多年平均偏少 6.6%, 比 2022 年减少 4.8%, 其中农业用水量 3672.4 亿 m^3 , 占全国总用水量的 62.2%, 农田灌溉水有效利用系数仅为 0.576^[1]。水资源总量不足和灌溉用水效率低是目前面临的严峻挑战。近几年随着大中型灌区的续建配套和改造, 虽然大部分设施逐渐完善, 但依然以明渠为主, 明渠为永久占地, 且后期需要及时管护清理, 建设与投资成本都大于管灌, 管灌则不需要永久占地, 也不需要有人管护, 在节水、计量与管理方面明优于渠灌。随着水资源总量的逐渐紧缺, 是以迫切需要通过研究和应用新的管道化技术对灌区的输水方式进行改造和升级。

采用管道输水灌溉可以有效减少渗漏和蒸发损失, 并且节省原本土渠输水时渠道所占用的耕地面积, 可以扩大灌溉面积。原有的土渠输水容易产生淤积堵塞, 需要定期清淤管护, 消耗人力物力, 管道输水灌溉利用塑料管道, 不易损坏老化。在长度上, 管道输水比渠道输水线路短, 输水速度更快, 灌溉的时效性更高, 因此灌区管道化的输水模式已经逐渐普及。

传统灌区的管理往往依赖人工经验, 效率不高。多功能智能阀门关键技术, 以信息技术手段, 实现远程控制、自动监测、自动计费及阶梯计价, 能及时发现和解决问题, 提高灌区运行效率和管理水平, 对建设高效的现代化灌排体系具有重要意义。高效的灌溉系统是农村经济发展的重要支撑, 可以提高农业生产效益, 增加农民收入, 促进农村产业发展, 对于实现乡村振兴战略目标具有重要意义。

1.2 国内外研究现状综述

1.2.1 灌区水资源管理现状与存在问题

大中型灌区是我国重要的粮食和农副产品生产来源, 虽然近些年灌区的现代化改造进程逐渐加快, 但依然有很多灌区存在工程设施设备较为落后、灌溉用水逐年紧张、管理水平相对落后、灌溉水利用效率对比发达国家依然落后等突出问题^[2], 从一定程度上制约了我国农业经济的发展。很多科研人员对此进行了研究, 程良^[3]等针对宁夏引黄灌区水资源量不断减少、供水结构不合理、水网建设不完善、监测计量精细化监管不到位等情况, 提出了坚持以节水为中心, 改变大引大排的粗放灌溉模式, 合理开发灌区内地下水水资源用于农业灌溉、建立区域水资源监测体系等应对措施。王作渊^[4]对武威市金羊灌区存在的水资源利用问题进行了分析, 提出应改善输水方式, 利用管道输水灌溉可以节约 70% 水资源, 因地制宜选择合适的节水灌溉技术来保证灌区获得良好的经济效益, 同时引进先进灌溉技术提升灌溉的精准性, 减少水资源浪费。李素玲^[5]等以山东省金乡县万北灌区为例, 分析了中型灌区目前存在的主要问题有水源工程不足, 缺少必要的引提水工程; 渠系工程老化, 干渠出现淤积、漏损现象严重; 无量水设施, 用水无法计量, 按亩均摊, 农民节水意识不高等。这些现象也是目前国内大中型灌区的普遍问题, 只有大力发展灌区节水改造配套建设, 因地制宜, 完善灌排体系, 才能实现灌区的可持续发展。

1.2.2 国内外智能测控技术发展现状

以色列由于地理位置和气候原因, 较早就使用了自动化管理的滴灌技术, 使水的利用效率达到了 70%-80%^[6]。灌溉系统普遍采用计算机控制, 灌溉控制器能够控制十几路电磁阀, 能够根据土壤湿度、作物长势等因素进行自动浇灌, 管理平台内有多种控制程序, 能够精确控制用水量、水肥比例, 实现精确的自动化管理^[7]。

美国的智能测控技术已经达到世界先进水平, 控制系统中包括计算机、通信、以及电子设备, 可以通过计算机通信、监控、监测、和调度管理泵站、电厂的闸门和其他设备与设施^[8]。澳大利亚、法国、日本等国家在水利自动化控制系统也已经发展成熟, 在供水调配系统、防洪防涝预警、跨流域实行调水管理等方面也已经实现了自动化调度与实时监控^[9]。在尼日利亚, 基于 Arduino 平台的智能灌溉系统对灌溉水的优化利用比传统灌溉系统提高了 97%^[10]。

国内在智能测控一体化阀门技术也取得了显著进步, 在阀门的远程控制、水资源数据采集与传输、水流量自动调节等方面进行了深入的研究, 通过引入物联网技术、传感器和自动化技术, 可实现对阀门的实时监测和精准控制, 提高灌区供水系统的运行效率和管理水平。

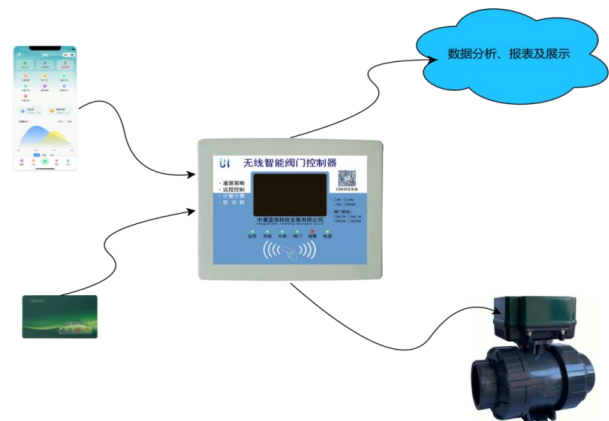


图1 系统架构示意图

2 智能测控一体化阀门的设计方案及结构组成

2.1 设计方案

测控一体化阀门系统分为 4 层分布式局部闭环结构, 分别是信息感知层、控制执行层、数据传输层、处理管理层。基于刷卡、微信小程序、云平台三控的系统架构, 配合管网流量监测终端设备进行数据采集, 将数据上传至云端服务器, 实现用水的计量与收费, 通过 4G/LoRa/Modbus/485 物联网通信能力, 可实现系统的远程设参、在线升级, 远程数据上传、分析处理的功能 (配合物联网云平台)。具有太阳能充电或市电供电多种方式, 系统支持低功耗模式, 具备节能环保的特点, 产品可工作于潮湿环境中, 具有 IP68 等防护等级。

2.2 系统结构组成

无线智能阀门控制产品的系统结构由无线智能阀门控制器、手机微信小程序 (RFID 刷卡)、云平台、测控一体化

阀门等几部分构成:

①手机微信小程序可以实现信息交互,包括设备管理(需权限)、充值、控制阀门的启闭。

②阀门的 RFID 刷卡及信息交互,包括刷卡感应区域、用户信息显示区域、设备运行及故障显示区域、运行状态语音播报、通信天线及电气连接部分。

③计量及计费(部分机型),可通过超声波、电磁及雷达流量检测、水流量计量算法及计费统计及数据存储部分。

④阀门及其驱动控制,可提供两路独立和并联驱动最大至 5A 的驱动电路,并且具有阀门卡堵、启闭到位等反馈信号和相应的设备故障检测及处理机构。除了流量以外,测控一体化阀门还可以进行供水压力的数据采集。另外,结合土壤墒情及土壤中微量元素等信息的采集与作物生长特性相结合,可以实现作物灌溉的智能控制,具体见下节的描述。

⑤数据分析、报表及展示是通过物联网云平台进行数据采集、分析和处理后再通过图形、报表及其它交互形式展示。

3智能灌溉控制算法和APP设计

3.1 基本 PID 控制

PID 控制是一种广泛应用于工业控制系统中的反馈控制技术, PID 控制器通过计算设定值与实际值之间的误差来调整控制输出,使系统的输出尽可能接近设定的目标值。

PID 控制原理:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.1)$$

其中: K_p ——比例系数

T_i ——积分时间,也称积分系数

T_d ——微分时间,也称微分系数

$e(t)$ 作为 PID 控制的输入,是设定值与实际值之差, $u(t)$ 作为 PID 控制器的输出和被控对象的输入。

(1) 比例部分: $K_p * e(t)$

在模拟 PID 控制器中,比例部分代表响应速度和稳态误差,在有偏差时控制器做出反应,控制器产生控制动作,通过减小偏差改变控制量^[11]。

(2) 积分部分: $\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$

当存在偏差时,控制效果会继续增加,直到 $e(t)=0$, 此

时积分为常数,控制效果暂停,因此积分部分作用是消除系统的偏差。

(3) 微分部分: $K_p * T_d \frac{de(t)}{dt}$

微分环节可以减少系统的超调量,保持响应的平稳性。在偏差值变大之前进行校正,偏差部分变化越快,微分部分的作用越明显^[12]。

3.2 模糊 PID 控制

模糊控制是以模糊集合理论和模糊推理为基础,可类别人完成特定的控制工作。模糊控制适用于非线性控制的方法和纯滞后的系统控制^[13]。模糊控制灌溉系统基于滴灌技术,利用土壤非线性原理形成的科学的控制系统,其不需要精准的数学模型就可以根据生长发育期间的田间湿度估算出作物的实际灌水量,大大提高了灌溉的精准度^[14]。

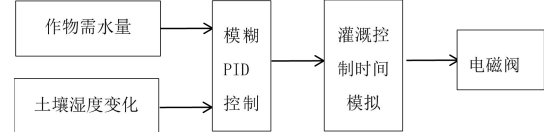


图2 模糊灌溉控制结构示意图

阀门控制器与土壤湿度传感器进行通讯,得到土壤湿度变化,与当前农作物需水量的下限进行比较,当土壤含水量低于作物需水量下限时,则系统判断需要灌溉,阀门开启;当土壤湿度大于当前作物土壤含水量时,不进行灌溉;当土壤介于当前作物需水量上下限之间时,则模糊控制系统通过调节土壤含水量来满足当前作物的需求要求。

3.3 手机 APP 设计

无限智能阀门控制器有三种用户角色,包括项目管理员(以下简称管理员)、水资源管理员(以下简称水管员)和用水户。每类角色依权限不同具有不同的操作界面和功能。对智能阀门的控制有三种方式,分别是手机微信小程序、云平台控制和刷卡控制(部分机型)。其中,水管员和用水户只有手机微信小程序和刷卡控制两种使用方式,而管理员用户除了这两种方式外还可以使用云平台控制,当然每一类用户的使用权限有所不同。不同的用户根据被赋予的权限可进行设备注册、设备管理、设备控制、策略设置、充值、数据分析及处理等操作。用水户则由管理员和水管员创建,用水户控制设备用水、查看消费订单和充值订单的权限。

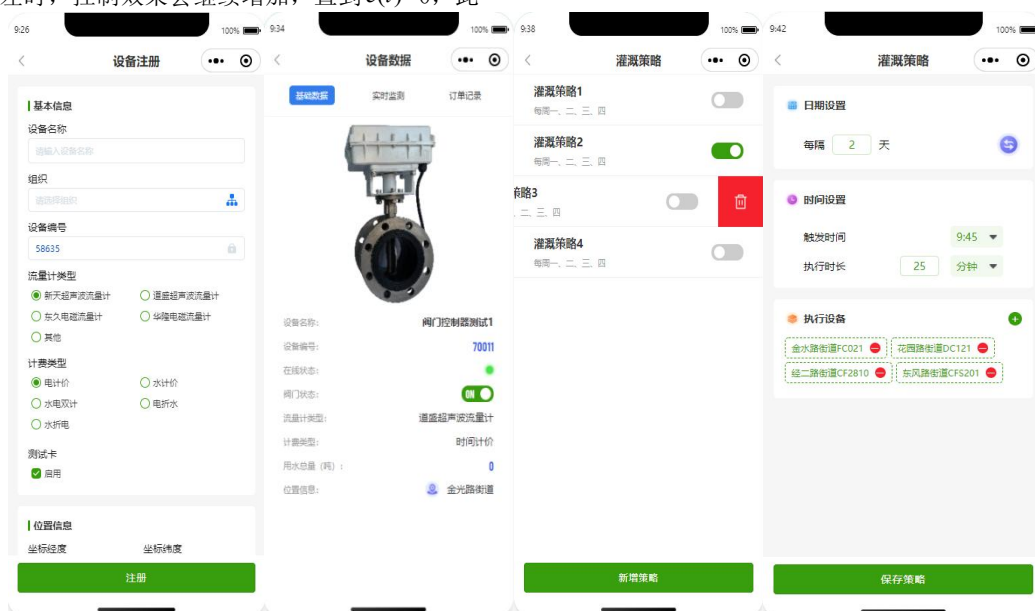


图3 智能测控阀门APP

用水户可以建立自己的灌溉策略,通过新增、删除、打开进行灌溉策略的调用。在灌溉策略管理界面,首先是策略

编辑,可以选择策略,也可以选择增、删灌溉策略。如果是选择策略即是使用某个策略进行灌溉,如果是增加策略则需点击

新增策略按钮,然后设置时段、起始时间和执行时长,时段的设置可以有按日和按周两种形式。除了设置时间参数,通常还需要从设备列表中选择使用此灌溉策略的设备。

4. 智能测控一体化阀门在灌区中的应用

4.1 实现农作物的精准灌溉

在灌区的智慧化建设中,智能测控阀可以通过对农作物的精准灌溉,有效地满足农作物不同生长阶段的水分需求。系统可以根据各类作物的生长特性和水分需求,根据不同的生长阶段,如播种期、生长期、开花期等,设定相应的灌溉策略,确保每一阶段都可以提供合适的水量。其次,系统通过土壤湿度传感器监测土壤湿度状况精确计算出所需灌溉水量。

4.2 远程监控与预警

智能测控阀门通过远程监控技术实现了对灌溉过程的实时监测与精准控制,保障了灌区的高效管理。首先,通过传感器实时采集土壤湿度、气象条件、作物生长情况等关键数据,通过网络传输到远程监控中心,通过系统的汇总与分析,可以及时做出相应调整和决策。其次,智能测控阀门可以针对异常情况进行预警,当重要参数偏离设定值时,手机APP会及时发出警报提醒,提醒管理人员注意并采取相应处理措施。同时,管理平台还可以对历史数据进行存储分析,形成历史数据的趋势图和报表,为管理人员制定灌溉决策提供参考,达到不断优化灌溉策略,提升灌溉效率的效果。

4.3 实验验证与分析

选取济源市王屋山灌区进行灌溉控制实验,对智能测控一体化阀门控制效果进行记录分析。将阀门控制器安装在灌区农田中,以玉米生长周期中土壤含水量为观察对象,与玉米生长最适合土壤含水量进行对比。

玉米在不同生长时期需水量不同,在营养生长期灌溉需水量逐渐升高,在生殖期达到最高,成熟期逐渐下降^[15]。根据该实验点往年土壤含水量的监测数据分析,玉米在营养生长期、生殖期、成熟期的最适合含水量和实验点的土壤最大含水量如图4所示。该数据可以作为玉米灌溉控制参数通过手机APP发送到阀门控制器中。

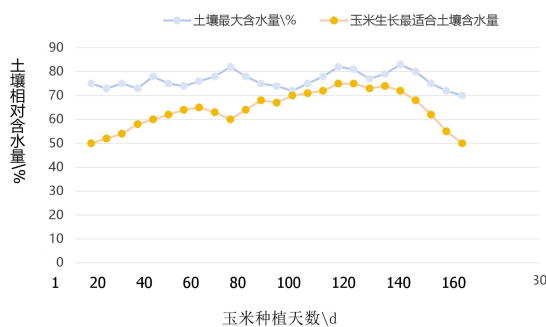


图4 玉米生长最适合含水量与土壤最大含水量

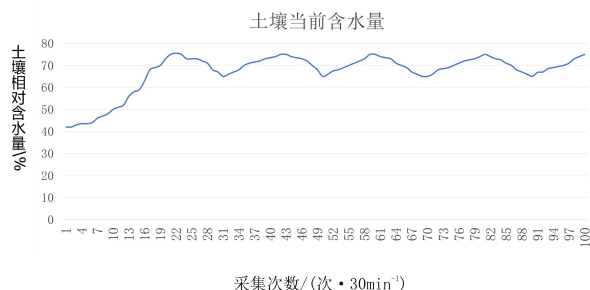


图5 土壤含水量变化曲线

设置阀门开度为20%,土壤最大含水量75%。玉米生长阶段最适合含水量为65%,当土壤含水量低于50%将影响玉米的正常生长。选取阀门控制器在48h采集到的土壤含水量进行统计分析。土壤的含水量变化如图5所示。可以看出,当一

体阀检测到土壤含水量低于玉米生长所需的最佳含水量时,阀门开启,土壤含水量开始上升,达到设定的土壤最大含水量后,阀门关闭。图4和图5的结果对比验证了智能测控一体阀在节水灌溉方面具有良好的控制效果,可以实现不同灌溉策略下对阀门的精准控制。

5. 结论

随着灌区管道化的改造实施,智能测控技术在灌区的应用也快速普及,管道灌溉提高了灌溉效率,将节水、节地、省工等优点集中起来,具有广阔的应用前景。本文结合现有灌溉系统针对性设计出以实时土壤湿度和作物生长最适合需水量为控制依据的智能测控一体化阀门,根据不同农作物,不同生长环境可定制不同灌溉策略,并且可通过远程控制平台实时监控,满足当下社会需求,为农业灌溉的高效发展提供了技术支持。

[参考文献]

- [1]中华人民共和国水利部,“2023年中国水资源公报,”北京:水利部,2023.
 - [2]龚懿婧.宿迁市平原灌区管道输水灌溉工程节水改造技术研究[D].扬州大学,2020.
 - [3]程良,张红玲,张娜,段超宇,李莉.宁夏引黄灌区水资源开发利用存在的问题及对策[J].农业科技与信息,2023,(12):122-126.
 - [4]王作渊.灌溉技术推广与灌区水资源利用率提高的对策研究——以武威市凉州区金羊灌区为例[J].南方农机,2024,55(03):177-179+183.
 - [5]李素玲,张慧琳,孔祥涛,杨冰.灌区节水改造建设现状与对策探讨——以万北灌区为例[J].灌溉排水学报,2021,40(S1):46-49.
 - [6]MegersaGirma.Irrigation system in Israel: A review[J].International Journal of Water Resources and Environmental Engineering,2015,7(3):29-37.
 - [7]Zhu Jie et al.Optimal Regulation of the Cascade Gates Group Water Diversion Project in a Flow Adjustment Period[J].Water,2021,13(20):2825-2825.
 - [8]Environmental Water Research; New Environmental Water Research Data Have Been Reported by Researchers at University of California (Hydraulics Near Unscreened Diversion Pipes In Open Channels: Large Flume Experiments) [J].Ecology Environment & Conservation,2017,:341-.
 - [9]Hongtao Liu et al.A Systematic Design Approach of a Float Type Sluice Gate for Flow Measurement Automation[J].IFAC PapersOnLine,2018,51(17):304-308.
 - [10]Oladipo, I. O., Ajewole, P. O.. A Smart Irrigation Water Application System Based on Arduino Platform[J].Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research,2024,11(2):132-140.
 - [11]王翠香,邵星.基于 Zigbee 的智能农业灌溉系统[J].电脑与电信,2023,(Z1):70-75.DOI:10.15966/j.cnki.dnydx.2023.z1.012.
 - [12]李嵩.苹果园水肥灌溉决策控制系统设计与研究[D].新疆大学,2019.
 - [13]刘振奎.基于模糊控制的节水智能灌溉系统设计[J].安徽农学通报,2021,27(23):138-140.
 - [14]杨昊.基于BP神经网络和模糊控制的智能灌溉系统设计[D].安徽理工大学,2019.
 - [15]张瑜.基于无人机多源遥感的农田玉米蒸散发及土壤含水量估算方法研究[D].中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2023.DOI:10.27558/d.cnki.gsthc.2023.000014.
- 作者简介:慕榕雪;女;汉族;1994年9月生人;籍贯:河南;硕士研究生;工程师;研究方向:农村供水。