

浅谈智能闸门启闭控制系统在数字化灌区体系中的应用

陈钊¹ 毕燕刚²

1.天津市武清区水务局；2.爱易成技术（天津）有限公司

DOI：10.32629/jpm.v7i9.9045

[摘要] 随着水利信息化的快速发展，灌溉测控一体化闸门系统虽然已经在部分地区应用，但是大部分地区尤其是北方地区的农业灌溉闸门的应用体系还是覆盖不到。主要是因为一体化闸门要求根据监测渠道的不同而设计建设配套的闸涵（型式包括堰槽式、箱涵式、管涵式等）才能实现一体化监测，无法利用已有的闸门启闭机进行改建，导致建设成本增大而无法有效实际应用。本文介绍一种智能闸门启闭控制系统^[1]，该系统可基于原有的闸门结构进行改建，无需土建施工，可有效降低建设成本。希望通过本文的介绍，智能闸门启闭自动控制系统更能有效地应用于灌溉闸门信息化建设，为数字化灌区体系建设提供助力。

[关键词] 农业灌区；闸门；远程自动化控制

A Brief Discussion on the Application of Intelligent Gate Operation and Closure Control Systems in Digitalized Irrigation District Systems

Chen Zhao¹ Bi Yanggang²

1.Tianjin Wuqing District Water Affairs Bureau；

2.Aiyicheng Technology (Tianjin) Co., Ltd.

[Abstract] With the rapid advancement of informatization in water conservancy, integrated irrigation gate monitoring and control systems have already been deployed in some regions; however, their application in agricultural irrigation gate systems across most other regions—particularly in northern areas—remains limited. This is primarily due to the requirement that integrated gate systems necessitate the design and construction of dedicated gate culverts (including weir-type, box culvert-type, and pipe culvert-type configurations) tailored to the specific characteristics of the monitoring channels to enable integrated monitoring. Since these systems cannot be retrofitted using existing gate hoisting mechanisms, the associated construction costs increase, thereby hindering their practical implementation. This paper introduces an intelligent gate opening and closing control system^[1], which can be retrofitted based on existing gate structures without requiring additional civil engineering works, thereby effectively reducing construction costs. It is hoped that this presentation will facilitate the more effective application of intelligent gate automatic control systems within the informatization of irrigation gate systems, contributing to the development of digitalized irrigation district frameworks.

[Key words] agricultural irrigation district; sluice gate; remote automated control

水是农业的命脉，而水闸作为农业最重要的基础设施之一，在灌溉排水中发挥着极其重要的作用。随着水利信息化的快速发展，灌溉测控一体化闸门系统^[2]虽然已经在部分地区应

用，但是大部分地区尤其是北方地区的农业灌溉闸门的应用体系还是覆盖不到，基本上还是依靠配水员的手动操作和经验估算，工作效率和用水效率低，与灌区现代化管理要求有较大差

距,无法满足灌区水资源优化调度、及时制定应急减灾策略等多目标管理需求^[3]。主要是因为一体化闸门要求根据监测渠道的不同而设计建设配套的闸门(闸门一般由全铸铝合金工艺制造^[4])才能实现一体化监测,无法利用已有的闸门启闭机进行改建,导致建设成本增大而无法有效广泛应用。针对灌区中老旧闸门远程控制缺失等问题,提出一种智能闸门启闭控制系统,可以实现利旧改造升级、精准闸位监测、自动化远程控制、赋能水资源管理。

智能闸门启闭控制系统是一种针对农业灌溉闸门升降控制的远程控制系统,该控制系统专为灌区信息化管理而设计,解决农业灌溉闸门自动化控制缺失的问题,该系统采用太阳能光伏发电、4G无线通讯接入、远程视频监控,为闸门的远程、自动化控制提供了一整套解决方案。

1. 智能闸门启闭控制系统的原理

智能闸门启闭控制系统的基本原理是采用太阳能板及蓄电池供电,通过闸位监测计实时识别闸位,并将数据通过物联网上传到平台,根据设置的闸位数据、闸前闸后的水位和流量数据等预设值自动化作业或工作人员手动操作(远程/现场)发指令控制闸门启闭机转动,完成对灌区闸门的控制。

智能闸门启闭控制系统能精细化地管理闸门的启闭周期及开度,可根据水闸管理人员的指令任意操控闸门启闭,也可根据流量、水位的的监测数据自动化作业。同时配有专业的网络监控摄像机,可实时观看闸门启闭过程及闸门周边情况,能够很好地赋能国家农业节水灌溉的需求。

2. 智能闸门启闭控制系统的组成

2.1 感知模块

感知模块是系统能够实现精准控制和智慧决策的基础,负责实时采集闸门运行和周边环境的各类物理量数据,包括闸位及运行姿态监测、水位及流量数据监测以及视频监控图像。

(1) 闸位及运行姿态监测: 闸位由闸位监测计通过 RS485 接入系统。系统可兼容主流的闸位监测计,包括旋转编码器、拉绳传感器、激光闸位计等; 运行姿态监测是系统通过监测行程开关与限位开关触发状态判断最大开高位置以及最低闭闸位置的运行范围,保证闸门升降过程运行安全。

(2) 水位及流量数据监测: 水位由雷达水位计或压力水位计通过 RS485 接入系统,可获取闸前闸后的水位数据; 流量可通过系统内置的水力学算法(包括闸孔出流、堰流公式等),根据水位和闸门开度自动计算获得。

(3) 视频监控图像: 选用高清 360° 球机,可及时查看周围情况,不用到达现场即可掌握闸及周边信息。视频监控可接入系统,平台端及 APP 端可直接调用接口查看实时图像,并可进行远程控制。

2.2 控制模块

控制模块是一个集成化产物,主要集成于智能控制柜内的无线远传模块、电机控制模块以及电机调控模块^[13]。非采用 PLC 控制,而是采用 4G-IOT 设备(如图 1 所示)通过 MQTT 通信协

议与后台控制中心建立物联网长连接,接收到控制中心下发的控制命令,同时通过采集闸位监测计的闸门位置数据以及闸前闸后的水位数据、流量数据,完成闭环控制; 电机控制模块主要接收控制模块下发的控制命令,内置的智能控制 PID 算法可驱动电机正转、反转、停止转动等运作,使闸门到达相应位置。智能控制 PID 算法的两种控制逻辑: (1) 闸门升降控制算法,根据输入的最终要到达的位置指令以及当前的闸门开度数据,自动判断升降方向,驱动电机正转或反转,到达指定位置时,自动判断停止; (2) 水位联动算法: 将实际水位与目标闸水位进行比较,计算出水位偏差,根据这个偏差数值,通过算法得出需要调整的闸门开度指令,驱动电机正转或反转,直到刷新新的水位数值,完成闭环控制。

采用 4G-IOT 设备因 MQTT 通信协议为低带宽和不稳定网络环境中的物联网设备提供可靠网络服务的优势^[5]。能够保证设备长期在线,通过智能连接和数据共享,可以保证控制指令下发的即时性,实现自动化、远程控制和智能决策。还可以保护双向信息流,防止向云传输的数据泄漏,并防止来自外部的对物联网设备的未授权控制。该模块可以设定给予控制电机实现正/反转,从而达到控制闸门升降的目的。

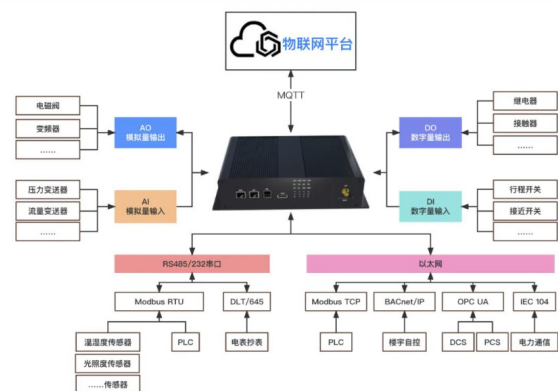


图1 4G-IOT 设备数据接入传输示意图

2.3 传动模块

传动模块选用直流电机和链轮、链条与电机控制器连接,根据闸门启闭机轴心杆的直径匹配链轮,根据链轮尺寸和电机齿轮尺寸匹配链条。当电机控制器控制电机转动后通过链条带动链轮以及轴心杆转动,如图 2 所示,从而实现控制闸门螺杆升降。

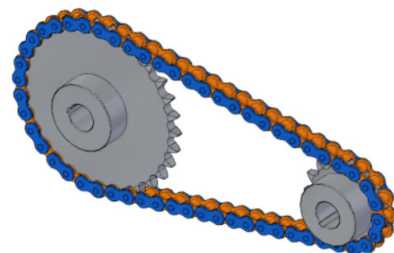


图2 传动模块链轮链条连接示意图

2.4 供电模块

供电模块采用太阳能光伏发电,经济、环保、耐用,实现能源本地化,自动化,无需人员带着发电机开车去现场连接闸门启闭机控制闸门升降,减少人为操作,降低维护成本和安全风险。太阳能供电参数:(1)单晶硅 200W;(2)48V200Ah 蓄电池;(3)充电控制器采用 PWM 充电主电路,智能化蓄电池电量指示,具有高精度温度补偿,具有过充、过放,过载保护、电子短路保护和蓄电池防反接保护等功能。

2.5 安装效果

电机以及链条、链轮保护罩采用外侧安装铁艺防护罩,控制模块、蓄电池放置在测控箱内固定于护栏一侧,如图3所示。



图3 外观安装实际效果图

2.6 软件平台^[6]

软件平台建设 IOT 云服务中心,采用微服务架构开发。后端使用 Java 语言,结合 Spring Cloud 框架实现服务治理与分布式部署;前端采用 Vue.js + Element UI 技术栈,构建友好、交互性强的用户界面。平台端控制界面下发闸门控制命令;查询界面可以查询启闭闸时的时间以及闸门开度、可以查询闸前闸后水位以及过闸流量;管理界面可以查看、修改闸门相关的属性信息、可以查询历史操作记录。

2.7 APP

APP 端界面主要包括测站列表、启闭控制、操作记录三个模块。

(1) 测站列表界面展示并列出的所有闸门启闭测站;

(2) 启闭控制界面下发目标位置,控制闸门升降,同时可开启监控查看周边情况,终止按钮可以在闸门运动过程中出现紧急情况及时停止闸门动作;

(3) 操作记录可查看对该闸门进行控制的所有用户记录。

3. 智能闸门启闭控制系统的操作模式和应用场景

3.1 操作模式

(1) 远程控制:通过手机、WEB 端或远程服务器下发指令,实现闸门远程启闭与参数调节。

(2) 现场自动:利用智能化系统设置控制逻辑,支持本地自动运行,无需依赖远程信号。

(3) 联动控制:结合水位、流量传感器实现闭环调节,根据综合工况,可自动自行控制策略,并可联动泵站运行,闸泵一体化控制。

(4) 运维模式:支持故障自检,具备电流监测、防卡滞保护、一建闭闸等多重安全措施,实时保护设备运行状态,提升管理效率、保障运行安全并降低运维成本。

3.2 典型应用场景

(1) 灌区与渠道管理:改造传统闸门,提升灌溉水利用效率,支持闸门的分散化远程监控。

(2) 小型水利设施:针对无市电、野外地区的闸门,采用太阳能供电实现低成本自动化。

(3) 老旧闸门改造:无需土建施工,直接改装传动结构,实现测控一体化升级。

4. 结束语

智能闸门启闭控制系统既支持水闸管理人员远程下发指令,灵活操控闸门启闭,也可基于流量、水位等监测数据,自动完成闸门调控作业。再结合联动视频图像,可实现“看得见、控得准、管得住”的实际运行效果,形成覆盖监测、控制、调度与应用服务的一体化智慧解决方案。通过本文的介绍,希望智能闸门启闭控制系统能够广泛普及,可有效提升老旧闸门的再利用率以及灌区调度与运行管理水平,成为落实国家农业节水灌溉政策的有力支撑,为实现数字化灌区体系建设提供强大助力。

[参考文献]

[1]陈钊,史庆生,高瑞芳,等.一种远程闸门启闭控制系统:ZL 20232 0861165.2[P].2023-11-07

[2]蘇林,李晓鹏,吕锡从,等.测控一体化闸门在灌区的应用[J].现代制造技术与装备,2019,9(55):212-213

[3]侯文涛;白美健;陈炳绅,等.测控一体化闸门及其调控技术研究分析[J].节水灌溉,2021,8:47-51

[4]姚磊.浅谈智能一体化闸门在大型灌区中的应用[J].农业开发与装备,2022,7:114-115

[5]姬广龙,孙丹,王珍珍,等.关于 MQTT 通信协议的分析与研究[J].物联网技术,2023,1(13):63-66

[6]爱易成技术(天津)有限公司.爱易成闸门启闭自动监测系统[简称:闸门启闭自动监测系统]V1.0:2024SR1909423[P].2024-11-27

一作简介:陈钊,1984年10月16日,男,天津,汉族,本科,工程师,研究方向:水利工程;

二作简介:毕燕刚,1996年5月5日,男,河北省张家口市,汉族,本科,助理工程师,研究方向:水务工程。