

绝对值编码器在水闸工程中的综合应用

王凌微, 沈金阳, 韦思源

(江苏省江都水利工程管理处, 江苏 扬州 225200)

摘要:针对水闸工程运行过程中存在的闸门位移、运行速度、启闭力无法精准监测以及传统机械保护装置精度较低或响应较慢等问题,以邵仙套闸为工程背景,利用PLC(可编程逻辑控制器)强大计算功能结合编码器高精度的特性,通过构建编码器变化值与闸门位移速度、电动机转速、钢丝绳牵引力等非电量参数之间的数学模型,衍生出软行程保护、低速/高速双重保护、荷载超限预警等系列算法,有效解决了传统热继电器与机械限位开关保护滞后、精度较差的缺陷,实现水闸运行状态的实时感知与多维度联动保护,为水闸智能化管理提供了可靠的技术支撑。

关键词:水闸; 绝对值编码器; PLC; 闸门开度

中图分类号:TV66 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2026)04-0069-0004

Comprehensive application of absolute encoders in sluice projects

WANG Lingwei, SHEN Jinyang, WEI Siyuan

(Jiangdu Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Yangzhou 225200, China)

Abstract: Aiming at the problems existing in the operation of sluice projects, such as the inability to accurately monitor gate displacement, operating speed and hoisting force, as well as low precision or slow response of traditional mechanical protection devices, the Shaoxian Compound Sluice is taken as the engineering background. By utilizing the powerful computing function of PLC (Programmable Logic Controller) combined with the high-precision characteristics of encoders, mathematical models between encoder variation values and non-electrical parameters such as gate displacement speed, motor speed and steel wire rope traction are established, and a series of algorithms including soft travel protection, dual low-speed/high-speed protection and load over-limit early warning are derived. The defects of lagging protection and poor accuracy of traditional thermal relays and mechanical limit switches are effectively solved. Real-time perception and multi-dimensional linked protection of sluice operation status are realized, providing reliable technical support for the intelligent management of sluices.

Key words: sluice; absolute encoders; PLC; gate opening

1 概 述

编码器作为工业自动化领域实现位移与角度数字化的核心部件,在水利工程中广泛应用于闸门开度测量^[1]。目前水闸工程普遍采用增量式编码器或机械式行程开关进行闸门控制,虽结构简单、成

本较低,但存在无法记忆绝对位置、断电位置丢失需重新找零、齿轮累积误差需定期校准、仅能单点保护等缺陷^[2],难以满足智慧水利的高精度、高可靠性要求。绝对值编码器凭借其无需参考点、位置信息唯一、抗干扰能力强的技术优势,逐步在关键水工设施中得到应用,但其潜力多局限于单一开度监

收稿日期: 2025-12-17

作者简介: 王凌微(1996—),女,助理工程师,硕士,主要从事水利工程管理工作。E-mail:741727271@qq.com

测,对运行速度、启闭荷载等衍生参量的深度挖掘不足,未能形成系统化的安全保护体系^[3]。

邵仙套闸作为江都水利枢纽工程的一部分,位于大运河航道支线——高水河航道上,主要承担通航运行管理功能,服务于区域航运需求,同时承担苏北地区的抗旱、防洪、排涝、灌溉等任务,其升卧式闸门采用卷扬式启闭机驱动。传统热继电器过载保护存在延时高、精度差等问题,机械限位开关仅能提供极限位置保护,无法识别闸门卡阻、飞车等复杂工况。本文充分挖掘PLC高速运算能力与绝对值编码器12位分辨率特性,通过RS485 Modbus Rtu 协议构建毫秒级数据采集系统,建立涵盖开度解算、速度微分、转矩估算的完整算法链条,开发五位一体联动保护,为水闸安全运行提供新的技术路径。

2 编码器选型与安装方案

2.1 类型与参数选择

2.1.1 编码器选择

编码器按原理不同主要分为增量编码器和绝对值编码器。

增量式编码器的核心部分是码盘,它通过旋转来产生脉冲信号。码盘上有一系列的条纹,这些条纹会依据旋转的方向,通过光电传感器产生脉冲信号。这些脉冲信号经过放大和整形后,可以输出供控制系统使用。它利用光电转换原理输出3组方波脉冲A、B和Z相,其中A、B两组脉冲相位相差90°,从而可以方便判断出旋转方向,而Z相每转1个脉冲,即可用于基准点定位。其优点在于原理构造简单,机械平均寿命可在几万小时以上,抗干扰能力强,可靠性高,适合于长距离传输。增量式编码器通常更简单、更经济,并且能够实现较高的分辨率和精度,其缺点是无法输出轴转动的绝对位置信息。

绝对值编码器与增量编码器不同,增量编码器只能提供相对运动的信息,无法独立确定物体的绝对位置。绝对值编码器通过读取特定的编码方式,为每个位置提供唯一的代码。这意味着,当系统重新上电或发生故障时,绝对值编码器能够直接反馈当前位置。绝对值编码器内部结构示意图见图1。

绝对编码器光码盘上有许多道刻线,每道刻线依次以2线、4线、8线、16线……编排。在编码器的每个位置,通过读取每道刻线,获得1组从2的零次

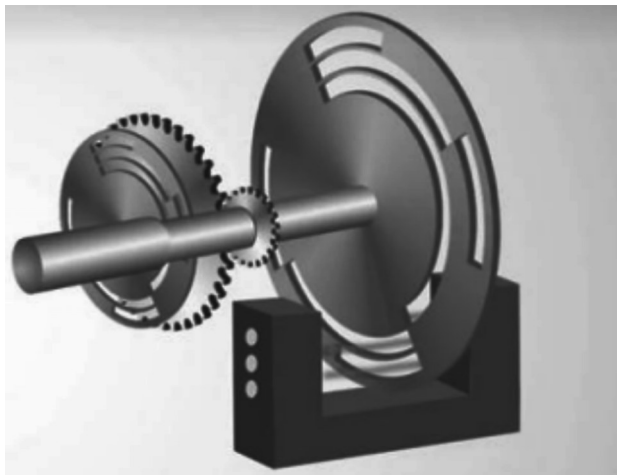


图1 绝对值编码器内部结构示意图

方到2的 $n-1$ 次方的唯一的2进制编码(格雷码),这就称为 n 位绝对编码器。这样的编码器是由码盘的机械位置所决定,不受停电、干扰的影响。绝对编码器由机械位置决定每个位置的唯一性,无需记忆,无需找参考点,而且不用一直计数,需要知道位置时即可读取它的位置。因此,编码器的抗干扰性能及数据的可靠性均得到了显著提升。

2.1.2 分辨率选择

绝对值编码器单圈分辨率主要有8bit($2^8=256$)、10bit($2^{10}=1024$)、12bit($2^{12}=4096$)、16bit($2^{16}=65536$)等。邵仙套闸选用12 bit的绝对值编码器,编码器每旋转1圈数据变化为4096。编码器角度测量分辨率可达 $\frac{360}{4096} \approx 0.09^\circ$ 。

2.1.3 数据传输方式选择

绝对值编码器数据传输方式主要有:RS485串口通讯(Modbus Rtu 协议,CANbus 协议等)、SSI信号通讯、4~20 mA模拟量信号、0~10 V模拟量信号等。考虑到RS485串口通讯具有长距离通讯可靠、抗干扰能力强、适合复杂工业环境中的多台设备连接、数据传输稳定可靠的优势,因此选用RS485串口传输方式(Modbus Rtu 协议)。

2.2 安装工艺

针对不具备开式齿轮的启闭机,建议将其安装于钢丝绳卷筒轴的端部,并借助弹簧联轴器达成与轴的同轴连接(如图2所示)。该方案直接对轴的位置进行测量,其精度完全取决于编码器自身,无需额外配置传动装置,进而减少了故障发生点,且卷筒旋转速度较慢,有利于延长编码器与联轴器的使用寿命。



图2 编码器安装示意

以邵仙套闸卷扬式启闭机为例,钢丝绳卷筒旋转1圈,实测闸门开度变化 $C=2\ 643\text{ mm}$,钢丝绳滑轮组倍率 $m=1$,则闸门开度测量分辨率可达 $2\ 643/4\ 096\approx 0.65\text{ mm}$,较传统方法提高相应数量级。

3 联动保护策略

3.1 软行程保护

常见的启闭机行程开关常闭触点串联在启闭机电气控制回路中,当闸门运行至预设限位(上极限或下极限位置)时控制继电器,实现自动断电停机。行程开关主要存在以下几个方面有待改进:一是精度低,控制误差较大;二是因齿轮传动存在累积误差,需要定期校验行程开关位置;三是仅能用于上、下极限位置的保护。

闸门开度值也可作为闸门软行程保护,工作人员通过PC上位机或人机界面HMI既可以设置闸门上、下极限位置,也可以设置闸门的预置开度。当闸门运行至预设开度或上、下极限位置时,PLC控制串联在启闭机控制回路中的继电器动作,实现自动断电停机。软行程保护和行程开关配合使用,进一步提高了控制系统的灵活性和安全性。

3.2 下滑预警

当闸门运行至某开度控制运用时,PLC将异步电动机停机那一刻的闸门开度值作为参考值。若控制运用期间因制动器制动力不足导致闸门开度值变化超过一定范围(如 1 cm),PLC则启动声光报警,提醒工作人员及时处理。

3.3 低速保护功能

当闸门实测位移速度明显低于正常运行速度时,说明闸门运行过程中存在倾斜卡阻,行走支撑装置润滑失效,启闭机滑动或滚动轴承润滑失效,机械传动配合不协调等导致荷载增大的现象。若速度低于正常运行速度的10%,则PLC会启动声光报警,提醒工作人员及时留意观察;若低于正常速度的20%,则PLC控制继电器切断电动机电源,工作人员需及时去现场处理。传统电动机过载保护采用的热继电器具有延时性、保护精度差等缺点,而PLC的低速保护则更加精准、及时、可调。该策略响应速度较热继电器缩短至十分之一,可精准识别行走支撑润滑失效、轴承卡阻等荷载异常工况。

3.4 高速保护(“飞车”保护)功能

闸门在某一开度控制运用时,极端情况下制动器或锁定装置突然失效,闸门会自由落体下降,发生所谓的“飞车”现象,造成闸门及止水、闸门预埋件、水工建筑物、启闭机械难以预料后果^[4]。一般水闸出现闸门“飞车”时,PLC立即启动声光报警提醒工作人员,并同时启动应急预案。启动异步电动机进入闸门下降模式,此时电动机处在回馈制动状态,电磁力矩与旋转方向相反,是制动力矩,闸门从快速坠落状态减至正常下降状态,待闸门运行至全关状态后工作人员及时进行检查。因升卧式闸门配有自动搁门器,故闸门发生“飞车”时,采用提升闸门的办法使闸门运行至搁门器位置锁定后断电的方法,这样可避免发生安全事故,同时也不影响工作人员检修。

3.5 荷载超限报警

钢丝绳牵引力的大小与实际大小存在一定误差,尤其在非匀速状态下,故仅有参考意义。当实测钢丝绳牵引力与正常运行时的基准值偏差较大,则PLC发出声光报警,提醒工作人员及时检查是否存在引起启闭机荷载增大的因素;当实测牵引力超过阈值时报警或断电,以防止钢丝绳拉细拉断、电动机过载导致线圈烧毁及传动系统齿轮、轴承等受损,实现机械系统的非接触式健康诊断。

4 工程应用效果

邵仙套闸自2023年11月完成算法系统改造并投运以来连续稳定运行,经统计分析改造前后的运行数据对比,系统稳定率由88.89%逐月提升至100%,人均单次作业时间由45 min缩短至18 min。实现多参量实时监测与联动保护,各项技术指标全

面达标。

采用激光测距仪与测速仪作为基准,对系统测量精度进行验证,闸门开度和速度测量效果验证分别见表1、表2。由表1、表2可知,开度测量误差由改造前最大20 mm降至 ≤ 2 mm,分辨率达0.65 mm;速度参数改造前无数据,改造后利用高精度仪器实测数据误差为1.32%~1.84%。

表1 闸门开度测量效果验证

类别	设定开高/m	改造前误差/mm	改造后读数/m	改造后误差/mm
一	1.00	20	0.998	2
二	2.00	20	2.001	1
三	3.00	10	3.002	2
四	4.00	20	4.001	1

表2 速度测量效果验证

启闭序号	运行状态	激光测速/(m/min)	系统测速/(m/min)	速度误差/%
1	下降	3.80	3.75	1.32
2	上升	3.40	3.34	1.76
3	下降	3.81	3.74	1.84
4	上升	3.39	3.33	1.77

5 结 论

本文提出的基于PLC与绝对值编码器融合的

水闸多参量监测与保护系统,在邵仙套闸的成功应用验证了其在复杂工况下的可靠性与先进性。该系统构建了PLC与绝对值编码器融合的多参量同步测量体系,将开度、速度、牵引力算法集成于单一硬件平台,简化了系统结构,提升了数据一致性。五位一体联动保护策略有效解决了传统保护响应较慢、功能单一的问题,为卷扬式启闭机提供了从行程、速度到荷载的全维度安全保障。

实践表明,该系统软、硬件配置合理,抗干扰能力强,所衍生的多维度保护策略可显著降低闸门倾斜、行走支撑失效、钢丝绳超载等运行风险,对升卧式闸门等特殊门型的“飞车”应急处置具有重要参考价值。研究成果不仅适用于新建水闸的智能化建设,也为已建工程的自动化升级改造提供了经济高效的解决方案。后续研究可进一步融合物联网技术,实现多闸站数据的云端协同与智能决策,助力数字孪生水利工程建设。

参考文献:

- [1] 李昂,刘光景,冯洋. 自动化技术在水利工程的应用[J]. 水电站机电技术,2023,46(11):112-114.
- [2] 张玉皓,顾煜炯,马晓腾,等. 广义增量编码器瞬时角速度计算的扭振在线测量[J]. 仪器仪表学报,2020,41(10):23-27.
- [3] 周勇,周雨洁,吉波,等. 基于闸门安全运行的多功能行程控制装置技术[J]. 江苏水利,2023(7):55-58.
- [4] 黄小明. 闸门自动化监控系统在水利工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技,2020,48(12):159-161.