

# 双吊点弧形闸门计算机监控系统

袁文波<sup>1</sup>, 刘德有<sup>2,3</sup>, 郑源<sup>4</sup>, 张健<sup>2</sup>, 温柳<sup>1</sup>

(1. 国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098;  
3. 国际小水电中心, 浙江 杭州 310000; 4. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 简要介绍了双吊点弧形闸门计算机监控系统的技术难点和要点, 对系统设计、控制流程和控制技术做了深入分析, 给出了解决双吊点弧形闸门同步和保压等技术难点以及精确启闭要点的控制技术, 提出了采用PID控制技术调节比例纠偏阀新方法, 结合湖南省洪江水电厂和碗米坡水电厂弧形闸门计算机监控系统, 对系统结构、国产监控系统软件EC2000、PLC、触摸屏、显示和操作面板、软启动器、开度传感器和多圈绝对型编码器等方面的设计进行了阐述, 对闸门控制流程以及开度处理技术、自动轮换技术、自动纠偏PID调节技术、自动回升技术、保护技术等关键控制技术进行了分析。系统在洪江水电厂和碗米坡水电厂的成功应用可为类似系统设计和应用提供借鉴。

**关键词:** 双吊点; 弧形闸门; 监控系统; EC2000; 绝对编码器; PID

**中图分类号:** TV698.1+8

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1006-7647(2012)S2-0069-03

闸门作为控制水位的重要构件广泛应用于水电厂、水库、船闸等水工建筑物, 目前中大型水电厂设有大跨度和大吨位的液压启闭弧形闸门<sup>[1]</sup>, 单吊点已经不能使其稳定可靠地工作, 需要两点起吊, 但双吊点液压启闭弧形闸门存在同步、负载和保压等技术难点, 对闸门计算机监控系统提出了新要求。一些水电厂水库为日径流调节水库, 工程以发电为主, 在大坝安全条件下少弃水多发电, 对闸门计算机监控系统提出更高要求。本文结合湖南省洪江水电厂和碗米坡水电厂闸门计算机监控系统, 对系统结构、系统设计、控制流程、控制技术方面进行研究, 并介绍了双吊点弧形闸门计算机监控系统的应用。

## 1 监控系统构成

洪江水电厂有9孔双吊点液压启闭弧形溢流闸门, 每孔闸门由两台55kW的电机驱动油压装置实现闸门的启闭, 碗米坡水电厂双吊点液压启闭弧形溢流闸门为5孔, 其油泵电机功率则为45kW。闸门计算机监控系统采用工业以太网网络结构的分层分布式计算机监控系统<sup>[2]</sup>, 集中控制层上位机采用EC2000监控系统软件, 现地控制层采用SJ-500LCU装置, 系统采用工业以太网组网, 集中控制层每台上位机和现地控制层每套LCU中的PLC均连接工业

以太网上。LCU分布布置在闸门启闭室内, LCU采用PLC作为控制核心, 还配置了触摸屏, LCU采用断路器和软启动器作为驱动电机的动力控制回路关键器件。作为主机的上位机配置2台, 互为冗余。上位机通过OPC方式与PLC通信, 实现数据采集、过程监测和控制调节; 采用MODBUS RTU协议与电站计算机监控系统实现数据通信, 传输闸门实时数据; 并采用CDT协议与电厂水情测报计算机系统实现数据交换, 传输水情测报系统实时数据; 以及采用IEC60870-5-104规约与长沙调度中心实现数据交换, 最终实现了长沙调度中心对现场闸门监测和控制。

## 2 系统设计

### 2.1 上位机监控软件设计<sup>[3,4]</sup>

EC2000监控软件遵循TCP/IP, SQL, ODBC, COM/DOOM, ActiveX, IEC-1131-3, OPC等国际标准, 具有良好的开放性和可扩展性, 系统功能齐全, 技术先进, 操作简便, 运行安全、可靠、维护量小等优点。①通过图形组态, 采用三维动画显示和动态潮流显示等可视化图形显示闸门启闭、闸门开度、上下游水位、报警、电机运行、电压电流、油压等, 形象生动反映现场设备状态, 操作员对闸门监测和控制时直观方便; ②通过历史数据库组态, 以文本、饼图、棒

图等方式显示流量、水量、水位、闸门启闭次数、报警和事故信息等日志、月、年报表统计报表,系统具备报表查询、曲线查询、一览表查询、事故追忆、历史回放等功能;③通过对象组态,将现场信号与相应闸门建立映射关系,操作员在运行画面上进行闸门开启、关闭、设置开度启闭和停门操作,监控软件根据现场运行工况自动给出允许操作和不能操作指令,减少误操作可能性,如开启、关闭、设置开度启闭操作相互闭锁,停门操作优先;④通过数据库组态,软件提供事故、故障、状态、越限、保护等事件报警和用户登录、控制操作、自诊断、自恢复、语音报警、远程诊断、自动推出事故处理等功能,还把传统模拟屏的光字显示功能以软件方式智能化集成于系统中。

## 2.2 PLC 设计

PLC 不仅配置了 CPU 模件和以太网模件,还包括开入模件、开出模件、模入模件、模出模件以及 SSI 模件或高速脉冲模件,开入模件测量闸门开关状态信号,模入模件用于测量启闭机动力电源的电压、电机的电流、油压装置液压等信号,模出模件调节闸门比例纠偏阀,开出模件控制电机、油压电磁阀等,洪江水电厂采用高速脉冲模件采集闸门开度信号,碗米坡水电厂采用 SSI 模件测量闸门开度信号,以太网模件负责与上位机通信实现数据交换。

## 2.3 触摸屏设计

触摸屏布置于 LCU 中,采用 RS485 串口方式连接 PLC 的 CPU 模件实现数据交换。作为现地自动控制人机接口单元,通过组态,画面模拟显示闸门启闭、闸门开度、上下游水位、报警、电机运行、电压电流、油压等设备状态;操作员可在运行画面上进行闸门开启、关闭、设置开度启闭和停门操作;触摸屏提供事故、故障、状态、越限、保护、控制操作等事件报警以及用户登录等功能。

## 2.4 显示和操作面板设计

全开和全关指示灯、运行指示灯、声光报警器、开度仪、电压和电流表等布置于显示面板上,为操作员提供闸门全开和全关状态、油泵运行指示、故障报警、闸门左右两侧开度、油泵电机的电压值和电流值等直观信息;操作面板布置相应旋钮、按钮实现以下功能:远方自动、现地自动和现地手动等控制方式切换;润滑油阀手动开关操作;油泵电机手动运行停止操作;油压装置建压阀手动开关操作;闸门手动开启关闭操作。

## 2.5 软启动器设计<sup>[5]</sup>

根据现场闸门液压启闭特性和负载状况,动力回路采用软启动器,软启动器的型号按油泵电机额定功率的普通负载选择,在现场运行时,按要求设置

软启动器启动和停止方式,合理控制启动过程。每台油泵电机配置一套断路器和软启动器,实现电机的软启、软停,使控制电路简化,同时减小了对电机本身的损害,有助于延长电机的使用寿命,也同时减轻对电网电压冲击,有利于周围电气设备正常运行。

## 2.6 编码器设计

弧形闸门采用双缸液压启闭机操作,两台编码器安装在弧形闸门左右两侧的支铰轴,闸门启闭同步性和电厂少弃水要求决定了选用高精度开度传感器,开度传感器采用多圈绝对型光电旋转编码器,其旋转角度以格雷码形式或脉冲量方式输出绝对位置值,在通电状态下实时输出旋转码值,提高系统的响应速度,在掉电后重新上电时都能正确读出旋转码值,适于有强电磁干扰、振动等水电厂环境下使用。弧形闸门的实际开度和编码器的码值呈非线性关系,为三角函数关系,将曲线等分成若干线段,进行逐一率定,根据编码器输出的码值,计算出弧形闸门的实际开度。

## 3 控制流程设计

操作员在上位机或触摸屏进行设置开度启闭操作,监控系统根据闸门实际开度和目标开度大小处理成开启或关闭流程。开启流程为以下过程:打开润滑油电磁阀,润滑侧轨;启动主油泵;打开建压电磁阀;若建压未成功,停止主泵,启动备泵建压;打开启门电磁阀开启闸门;闸门开启到预设位置或全开位置以及操作员执行停门操作,先关闭开门电磁阀,再关闭建压电磁阀、停止电机,最后关闭润滑油电磁阀。关闭流程为以下过程:打开润滑油电磁阀,润滑侧轨;启动主油泵;打开闭门电磁阀开启闸门;闸门关闭到预设位置或全关位置以及操作员执行停门操作,先关闭闭门电磁阀,再停止电机,最后关闭润滑油电磁阀。

## 4 控制技术

监控系统不仅涉及软启动技术,还涉及到开度处理技术、油泵自动轮换技术、自动纠偏 PID 技术和自动回升技术和保护技术。

### 4.1 开度处理技术

闸门开度作为闸门开启关闭的重用信号,其处理技术也至关重要。碗米坡水电厂使用 SSI 信号采集闸门开度,因 PLC 具有高可靠性,采用 PLC 向编码器发出时钟信号,实现 PLC 和编码器通信采集闸门开度,开度仪采用并联的方式获取闸门开度信号;在闸门开度全程范围内闸门任意位置对应编码器的码值不为该编码器的极值,若出现这种情况,在安装

前对编码器转动进行调整;闸门全关位置的开度原始码值作为计算开度的基准值,应将其存入 PLC 掉电保持数据区,防止 PLC 重新上电清除该值后造成闸门开度错误;因弧形闸门的实际开度和编码器的码值呈非线性关系,将曲线等分成多段,并将这些实际开度值和原始码值以数组方式存入 PLC 掉电保持数据区,采用线性插值方法计算实际开度;闸门开启或关闭流程结束后,将当时开度存入 PLC 掉电保持数据区。

#### 4.2 自动轮换技术<sup>[5]</sup>

PLC 根据油泵的开启次数确定泵的优先顺序,实现油泵自动轮换,当一台油泵出现故障,该泵退出轮换,另外一台油泵仍按自动轮换工作制运行。

#### 4.3 自动纠偏 PID 调节技术

由于外部或内部原因造成闸门左右两侧启闭不平衡,出现不同步现象,PLC 根据左右两侧开度差值超过同步误差允许值,采用 PID 调节方法调节,由模出模件输出 $-10V \sim 10V$  电压模拟信号至功率放大器,再由功率放大器控制油压装置的比例调节阀调整液压消除不同步。PID 由比例项、积分项和微分项组成,比例项在调节中起主导作用,PLC 根据左右两侧开度差值乘以比例系数得出一个比例调节值,PLC 根据不断累积左右两侧开度之间存在的差值乘以积分系数得出一个积分调节值,来消除差值;PLC 根据左右两侧开度之间差值的前后两次之差乘以微分系数,产生一个早期修正值有效地减小系统的超调,克服振荡,加快了启闭机同步的动态响应速度。

#### 4.4 自动回升技术

操作员启闭闸门停止后,PLC 记录闸门停止时的闸门开度,需要保持该开度进行泄流,因启闭机保压原因,闸门会出现下滑,闸门下滑 $0.2\text{ m}$ ,PLC 自动启动主油泵,将闸门开启至原来位置,若下滑达 $0.3\text{ m}$ 时,PLC 自动启动备泵,并将闸门开启至原来位置,保证了闸门安全运行。

#### 4.5 保护技术

软启动器提供过流、过载、过压、相序和缺相等保护,同时 PLC 根据软启动器提供的保护故障信号进行停泵操作;PLC 对启闭机的油路过压、失压、滤油器堵塞、高低油位以及高油温等保护信号进行滤波,进行相应停泵或停门操作;在全开和全关位置安装限位开关,为闸门操作运行提供保护,PLC 不仅根据闸门开度,还根据这些限位开关提供的全开和全关信号操作闸门;在 PLC 程序中设定定时器,根据定时器统计闸门前后两次闸门开度,计算出闸门启闭速度,当速度出现异常时,PLC 自动进行停门操

作,防止闸门进一步卡滞。

## 5 工程应用

闸门监控系统在湖南省洪江水电厂和碗米坡水电厂得到成功应用。为了使调节快速、平滑、安全、准确消除不同步现象,同时要避免闸门启闭过程中频繁调节,同步误差允许值设为 $5\text{ mm}$ 。为了提高闸门开度精度,将闸门开度关系曲线等分成 30 段进行处理。闸门监控系统经历了出厂前调试、72 h 拷机和现场调试投运以及数年安全稳定运行,实现了远方自动、现地自动、现地手动控制闸门功能,与电站计算机监控系统实现数据通信,传输泄洪系统实时数据;并与电厂水情测报计算机系统实现数据通信,传输水情测报系统实时数据,目前实现了长沙调度中心对现场闸门监测和控制,满足“无人值班”(少人值守)的水电厂运行管理要求。

## 6 结 语

闸门计算机监控系统应用使双吊点弧形闸门为水电厂安全、可靠、科学生产提供坚强保证,也使水电厂实现“无人值班”(少人值守)的运行目标。本文介绍了系统结构和国产监控系统软件 EC2000、PLC、触摸屏、显示和操作面板、软启动器、开度传感器和编码器等方面的设计,还对闸门控制流程以及开度处理技术、自动轮换技术、自动纠偏 PID 调节技术、自动回升技术、保护技术等关键控制技术进行了分析,系统在洪江水电厂和碗米坡水电厂得到了成功的应用,可为水电、水利、航运、市政等领域的防汛抗洪排涝、农业灌溉、水库和流域水资源调度、给排水系统的设计应用等方面提供参考<sup>[6]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 田勇,沈祖诒. 双吊点闸门液压启闭机同步方法与策略[J]. 液压与气动,2004(5):59-61.
- [2] 施冲,朱辰. 水电厂计算机监控技术发展趋势分析[J]. 水电自动化与大坝监测,2002,26(6):1-4.
- [3] 藤小羽,黄健. 面向对象的水电厂计算机监控软件(EC2000)[J]. 电力系统自动化,2000,24(4):67-68.
- [4] 朱辰,施冲. 基于分布对象技术的 NC2000 水电厂计算机监控系统软件[J]. 水电自动化与大坝监测,2002,26(5):10-13.
- [5] 袁文波,谢亚平. 龙羊峡水电厂渗漏排水控制系统改造设计[J]. 水电厂自动化,2003(4):61-64.
- [6] 贾桂清,谢亚平. 富春江电厂泄洪闸门监控系统改造[J]. 水电自动化与大坝监测,2003,27(1):63-65.

(收稿日期:2012-09-06 编辑:熊水斌)