[自动化系统]

基于PLC的某大型水电站闸门控制系统的开发与应用

文/张询
中国水利水电第十一工程局有限公司

针对大型水电站闸门控制系统进行可编程序逻辑控制器（PLC）控制方案开发，对水电站闸门控制技术需求分析，提出基于PLC自动化控制方法。采用西门子S7-1200系列PLC作为核心控制单元，结合人机界面系统，对闸门实时监控，实验结果表明，该系统在响应速度、控制准确度方面都优于传统控制方式，达到实时监测要求，为水电站安全运行提供保障。

水电站规模不断扩大，设备技术的复杂性也随之增加，闸门作为水电站重要组成部分，承担着调节水流、控制水位和防洪排水等多重任务，控制系统可靠性直接关系到水电站的安全运行。传统闸门控制方式多依赖于机械式或继电器式控制系统，这类系统在处理复杂控制逻辑时过于笨拙，缺乏灵活性，难以适应多变工况需求，在故障检测、数据采集等方面也存在明显不足。由于缺乏实时反馈，传统系统在面对突发事件时，响应存在延迟，增加水电站安全隐患。为解决传统系统中存在的问题，引入PLC控制系统，PLC具有高度灵活性和可编程性，能够通过软件编程实现复杂的控制逻辑，适应不同的操作需求，提高系统可调节性，且PLC系统具有良好的抗干扰能力，能够在恶劣条件下稳定工作，保证水电站安全性[1]。基于PLC控制系统能够实现对闸门实时监控，还与人机界面系统结合，提供操作界面，操作人员能够直观地了解系统状态，及时做出响应，提高系统响应速度。

大型水电站闸门控制系统的开发

1. PLC控制系统硬件组成

PLC控制系统核心是西门子S7-1200 PLC，用于执行控制算法，处理各种输入输出信号，西门子S7-1200CPU类型为S7-1214C DC/DC/DC，拥有8个数字输入和8个数字输出I/O点数，工作内存128 MB，集成128 MB存储卡，2个PROFINET通信接口，1个RS 485通信接口。

水位传感器型号为Siemens LI 500，测量范围0～5 m，准确度±0.5%；压力传感器型号Siemens PS 310，测量范围0～10 bar，准确度±0.5%；温度传感型号Siemens TM 310，测量范围-20～60 ℃，准确度±0.5℃；振动传感器型号Siemens V 310，测量范围0～200 mm/s²，准确度±5%；电动机控制型号Siemens G120C，功率范围0.09～5.5 kW，报警指示灯8个，报警器数量4个[2]。HMI界面供操作人员监控系统状态，屏幕尺寸10.4 in（1 in=0.0254 m），通信接口为以太网，传输速率100 Mbit/s，电源输入电压为AC 100～

240 V，输出电压DC 24 V，输出电流2 A，从传感器信号采集到执行机构控制的基本流程如图1所示。

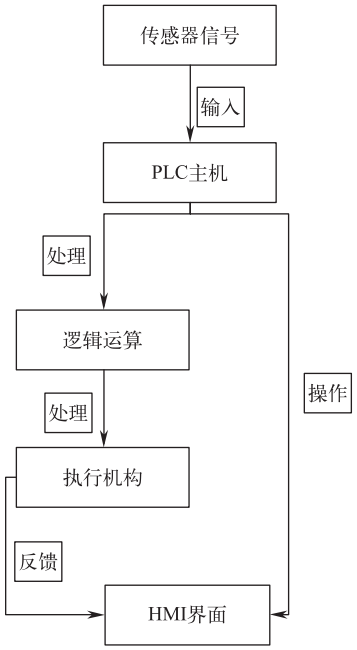

图1　系统流程展示图

2. PLC控制系统软件设计

（1）状态监测模块

状态监测模块主要通过以下几种传感器对液压启闭机、闸门进行监测，位置传感器用于检测闸门开合位置，采用编码器根据位置变化输出相应的信号；速度传感器用于监测液压启闭机运动速度，确保其在预设范围内运行；力矩传感器测量液压启闭机在开启和关闭过程中所需力矩，确保闸门在操作过程中的稳定性；压力传感器用于监测液压系统内压力变化，确保液压系统在安全范围内工作。在实时监控中，监测模块通过PLC控制程序获取上述传感器的数据，并实时更新以下参数：闸门当前状态分为打开、关闭和故障等，以百分比形式表示，0%为完全关闭，100%为完全打开，时间戳记录每次状态变化的具体时间，以便进行后续分析[3]。在实施过程中，通过以下步骤配置状态监测模块。

根据工程实际情况，在每个液压启闭机上安装相应的传感器，并确保其能准确地收集所需数据。在TIA Portal中，创建新项目，选择合适PLC型号，设定定时器，每隔1 s读取传感器数据并更新状态。人机界面以便操作员能够直观地查看闸门状态、位置、速度和力矩等信息，图2为状态监测模块基本流程图。

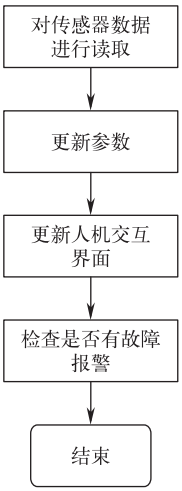

图2　监测模块流程图

为理解状态监测模块的应用，表1是监测部分数据，监测数据以时间戳为基准，展示闸门的开关状态变化及对应的位移、速度、力矩信息。

表1　状态监测数据

时间戳	开关状态（%）	位置/（m）	速度/（m/s）	力矩/Nm
2024-05-01 08:00:00	0	0	0	0
2024-05-01 08:00:05	10	0.5	0.1	1.2
2024-05-01 08:00:10	30	1.5	0.3	2.5
2024-05-01 08:00:15	50	2.5	0.5	3.6
2024-05-01 08:00:20	70	3.5	0.7	4.8
2024-05-01 08:00:25	90	4.5	0.8	5.2
2024-05-01 08:00:30	100	5.0	0.9	5.5

（2）故障报警模块

在液压启闭机和闸门运行过程中，故障报警模块收集监测数据进行实时分析处理。该模块能够快速识别故障问题，为运维人员提供有效的决策支持，从而确保设备稳定运行。故障诊断模块运用规则基础法、模型基础法和数据驱动法来定位故障[4]。

规则基础法基于历史数据和经验规则，设定特定的故障标志，如液压系统的压力P持续低于设定的安全阈值$P_{threshold}$，则可判定为故障，公式为

$$故障判定=\begin{cases}1, & 如果P<P_{threshold}\\ 0, & 否则\end{cases} \tag{1}$$

模型基础法利用数学模型建立正常运行状态的基准，实时监测当前状态，如$P_{chrront}$、$Q_{current}$和$T_{current}$，与基准进行对比，当发现异常时，系统发出警报，若当前压力低于设定的正常工作范围，则表

示为

$$异常判定=\begin{cases}警警，如果P_{current}<P_{normal}\\正常，否则\end{cases} \tag{2}$$

数据驱动法通过应用机器学习算法分析历史数据，识别出常见故障模式，如液压泄漏、机械卡滞等，在实时监测中与这些模式进行匹配，使用分类算法进行故障模式识别，公式为

$$f(x)=w^{T}x+b \tag{3}$$

式中，w为权重向量；x为特征向量；b为偏置项。

实时监测模块通过传感器收集液压系统、闸门位置等数据并实时传输至故障诊断模块，定期从数据库中收集历史数据，进行基准对比。

对实时数据进行分析，检查是否存在超出正常范围的参数，如压力、流量和位置等，使用算法对数据进行处理，检测潜在的故障[5]。

一旦检测到数据异常，系统识别故障类型，通过比较当前状态与历史正常状态，判断故障的严重程度，如液压油温度超出正常范围则标记为“液压温度过高”。

系统自动生成故障报告，内容包括故障类型、发生时间、相关参数及历史数据对比，示例见表2。

表2　故障报警模块示例

时间戳	故障类型	故障描述	参数	备注
2024-05-01 08:05	液压压力故障	液压系统压力低于安全阈值	5 bar	10 bar
2024-05-01 08:15	位置传感器故障	位置传感器未检测到闸门位置变化	0 m	1 m
2024-05-01 08:30	液压卡滞故障	液压启闭机在操作中未正常运行	状态停止	检查油缸

在故障发生时，故障报警模块实时监测到液压系统的压力降至5 bar，低于设定10 bar，触发报警。运维人员接到报警后，根据故障报告，检查液压油补充情况，发现液压油箱几乎没有油，且有明显的泄漏痕迹。通过对比历史数据，发现液压系统压力在过去几天逐渐下降，早期未被注意到，立即补充液压油，并对泄漏点进行维修。经过修复后，系统压力恢复正常，闸门顺利开启，故障处理完毕。

（2）控制逻辑模块

控制逻辑模块是PLC控制系统中的核心组成部分，负责根据实时数据和预设条件自动控制闸门的操作。该模块自动管理闸门的开启与关闭，响应水位、压力变化等操作条件，TIA Portal基于传感器输入和操作条件的逻辑判断，如当水位达到设定阈值时，自动开启闸门，根据逻辑判断生成控制命令，如启动或停止电动机，配置安全联锁条件，确保在紧急情况下能够快速停止闸门操作。

当水位传感器检测到水位高于设定阈值H_{max}，发出开启闸门的命令G_{open}；当水位低于设定阈值，则发出关闭闸门命令，公式为

$$\begin{aligned}G_{open}&=\begin{cases}1 & \text{if } H>H_{max}\\0 & \text{otherwise}\end{cases}\\G_{close}&=\begin{cases}1 & \text{if } H>H_{max}\\0 & \text{otherwise}\end{cases}\end{aligned} \tag{4}$$

压力控制逻辑是当压力传感器检测到压力差超过安全范围$\Delta P>P_{safe}$，发出停止闸门操作的命令，并触发报警，公式为

$$G_{shot}=\begin{cases}1 & \Delta P>P_{safe}\\0 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{5}$$

位置控制逻辑是当位置传感器反馈闸门未到达预定位置$P_{OStarget}$，则调整电动机速度，直至达到目标位置，公式为

$$Seed=k(P_{OStarget}-P_{OSactual}) \tag{6}$$

系统上电后，进入“等待”状态，所有传感器进行自检，若水位高于阈值，转入“开启闸门”状态，发出开启命令；若水位低于阈值转入“关闭闸门”状态，发出关闭命令。压力传感器若检测到异常压力，转入“故障处理”状态，停止闸门操作并触发报警，通过位置传感器监控闸门的实际位置，调整电动机速度，确保其按预定轨迹运动。达到目标位置后，反馈信号确认，并转入“完成”状态，等待下次水位变化。

系统测试与验证

对控制系统进行全面的测试，响应时间是评估控制系统性能的重要指标，在本次测试中对闸门的开启和关闭指令进行多次实验，记录指令发出后，闸门的实际响应时间，测试结果汇总见表3。

从表3中可以看出，实际响应时间与理论响应时间的误差均在可接受的范围内，说明系统的响应速度符合设计要求，闸门的开启响应时间为98 ms，误差仅为2%，而关闭响应时间为97 ms，误差为

3%，表明系统具备良好的响应特性。

表3　响应时间数据

测试项目	理论响应时间/ms	实测响应时间/ms	误差（%）
闸门开启	100	98	2
闸门关闭	100	97	3

结束语

控制系统涵盖控制系统硬件组成、软件设计，对PLC控制系统硬件的精心配置，确保系统具备高效性能，在复杂水电站环境中稳定运行。在软件设计方面，状态监测模块的实现为系统提供实时运行状态反馈，操作人员能够及时了解闸门的工作情况；故障报警模块增强系统安全性，通过故障提示，避免潜在的风险，经过系统测试，评估控制系统的响应速度，测试结果表明，所开发PLC控制系统在各项性能指标上均表现优异，满足大型水电站对闸门控制要求。EA

（收稿日期：2024-12-09）

参考文献

[1] 闫文峰，郑明浩，党涛，等．水电站门式启闭机电气控制系统升级改造技术的应用[J]．云南水力发电，2024，40(5)：142-145．
[2] 蒋谦．岩滩水电站机组进水口闸门控制系统改造与优化[J]．大众科技，2023，25(10)：57-60．
[3] 刘洋，林涛，曾义昌．基于水电站生态流量补充泄放的闸门自动控制系统研究[J]．水电站机电技术，2023，46(4)：85-88．
[4] 靳帅，李建清．大渡河枕头坝水电站泄洪闸门应急控制系统设计与应用[J]．水利水电快报，2021，42(4)：59-62，74．
[5] 王来印．基于PLC控制的水电站闸门泄洪应急联动系统设计[J]．水利科技与经济，2021，27(1)：85-90，94．

（上接第89页）

数据分析显示，50∶50功率分配比例的混合电池系统性能最为卓越。在此配比下，系统容量保持率为96.2%，明显高于40∶60(94.5%)和60∶40(95.8%)两种配置。内阻变化方面，50∶50配比的10.7 mΩ最接近理想状态，反映出电池单体匹配的有效性。能量效率达94.5%，较40∶60配比提升了1.7个百分点。循环寿命方面，1 620次显著优于其他两种配置，充分体现了混合系统的稳定性。

通过对比不同功率分配比例，可以得出50∶50配比能够最大程度发挥LFP电池和钠离子电池的协同优势。这一结果验证了本文提出的AB模组混合设计方案的可行性，为新能源电池系统的性能优化提供了重要理论依据。

结束语

本文研究了磷酸铁锂（LFP）电池与钠离子电池混合使用的优化设计方案，提出基于分层拓扑结构和深度强化学习的能量管理策略。实验验证表明，混合电池系统在容量保持率、能量效率和循环寿命等关键性能方面具有显著优势。通过科学设计的串并联优化与热管理策略，该方案实现了两种电池体系的高效协同。EA

（收稿日期：2024-11-27）

参考文献

[1] 杜爱勋，董澍．汉麻杆基碳材料在钠离子电池负极中的应用[J]．船电技术，2024，44(11)：34-37．
[2] 单福星，霍海波，张铮，等．钠离子电池的阶梯充电策略及优化[J/OL]．储能科学与技术，1-12[2024-11-26]．
[3] 陈强，彭成信．低温下菲醌正极材料在钠离子电池中的电化学及动力学性能研究[J]．广州化学，2024，49(5)：55-59．
[4] 王阳峰，侯佳傲，朱紫宸，等．钠离子电池硬碳闭孔结构研究进展[J/OL]．储能科学与技术，1-15[2024-11-26]．
[5] 徐国平，李海涛，钟良亮，等．储能用钠离子电池及电池模块的开发应用[J]．电源技术，2024，48(10)：2052-2057．