

# 基于PLC的水电站自动化控制系统设计

任百灵

长安大学电子与控制工程学院 陕西 西安 710018

**摘要:** 水电站自动化控制通过技术手段实现智能化管理, PLC作为核心, 具备逻辑控制、数据采集等功能, 适配水电站复杂工况。系统设计需满足机组启停、负荷调节等需求, 遵循可靠性、实时性等原则。本文阐述系统总体架构、核心功能模块及关键技术设计, 涵盖层级划分、网络拓扑、机组运行控制、抗干扰设计等内容, 为水电站自动化控制提供全面的设计与技术方案。

**关键词:** 水电站自动化; PLC; 系统架构; 功能模块; 抗干扰技术

引言: 水电站作为重要能源设施, 其运行效率与安全性至关重要。传统水电站控制依赖人工, 存在响应慢、误差大等问题。随着技术发展, 自动化控制成为趋势。PLC凭借强抗干扰、灵活编程等优势, 成为水电站自动化控制的核心。合理设计基于PLC的自动化控制系统, 可实现设备智能监控、工况精准调节, 提升发电效益, 保障水电站稳定运行, 对能源供应与行业发展意义重大。

## 1 基于PLC的水电站自动化控制系统基础认知

### 1.1 核心概念界定

水电站自动化控制借助技术手段, 对水电站设备与运行过程开展智能化管理, 核心目标包含设备运行监控、工况调节、安全保护与效率提升。设备运行监控需实时追踪关键设备状态, 及时察觉异常; 工况调节依据电网负荷与水文条件, 动态调整机组参数; 安全保护在设备超限或故障时自动触发保护机制; 效率提升通过优化流程与参数, 减少能耗浪费, 提升发电效益。PLC(可编程逻辑控制器)是系统控制核心, 功能涵盖逻辑控制、数据采集、指令执行, 且具备较强抗干扰能力<sup>[1]</sup>。逻辑控制按预设程序完成设备启停、动作联动, 满足多设备协同需求; 数据采集实时获取传感器信号, 为控制决策提供依据; 指令执行快速响应需求, 驱动执行器调节; 抗干扰能力使其在复杂环境中稳定运行, 减少环境对控制精度的影响。PLC与水电站自动化控制适配性显著, 实时响应可满足工况快速变化需求, 确保调节及时; 灵活编程支持按机组特性调整逻辑, 无需改动硬件; 能适配复杂工况, 应对水文、负荷变化; 可兼容多设备, 实现与传感器、执行器无缝连接, 构建完整控制体系。

### 1.2 系统设计的核心需求与原则

系统设计需满足多方面核心需求, 机组启停控制实现自动化, 减少人工干预, 确保过程平稳; 负荷调节根据电网指令与机组状态, 精准调整功率, 保障供电质

量; 故障预警实时监测参数, 提前识别风险并预警; 数据监测采集运行数据, 为分析与优化提供支撑; 远程操控支持异地监控操作, 提升管理效率。设计需遵循多项原则, 可靠性优先通过优质硬件选型、软件优化, 保障系统长期稳定, 避免故障影响机组安全; 实时性保障快速响应工况与指令, 缩短延迟, 确保调节有效; 灵活性适配考虑机组特性差异, 兼容多种机型, 降低适配成本; 可扩展性支持预留接口与空间, 便于后期新增功能, 延长系统寿命。

## 2 基于PLC的水电站自动化控制系统总体架构设计

### 2.1 系统层级划分

现场设备层是系统数据采集与指令执行的基础, 需合理选型传感器与执行器并明确功能定位。传感器涵盖液位、压力、温度等类型, 分别监测关键液位、压力及机组温度数据, 为监控提供原始信息; 执行器包括阀门、闸门、调速器等, 负责控制水流、调节转速, 完成系统物理调节动作。PLC控制层是系统核心控制中枢, 需科学配置PLC主机与扩展模块。PLC主机承担数据处理与逻辑运算任务, 接收现场信号并分析; 扩展模块含模拟量与数字量输入/输出模块, 分别处理连续变化信号与开关量信号, 通过主机与模块协同, 实现数据采集、运算及指令下发, 保障系统响应及时、控制精准。监控管理层面面向人员操作与数据管理, 需完善人机交互界面、数据存储单元与远程监控终端功能。人机交互界面展示工况、状态及参数, 支持查看实时数据与故障信息; 数据存储单元保存运行数据与操作记录, 为故障追溯提供支撑; 远程监控终端允许异地监控, 实现参数设置与历史数据查询, 提升管理灵活性。

### 2.2 系统网络拓扑设计

通信网络选型需结合不同层级数据传输需求, 遵循适配逻辑选择网络类型。以太网适用于监控管理层与PLC

控制层间大数据量传输,满足实时与历史数据传输需求;Profibus总线适合PLC控制层与现场设备层近距离通信,实现快速信号交互;Modbus协议适用于简单设备数据传输,确保各层级数据传输高效稳定。网络结构布局需注重设计要点,选择星型或总线型结构,保障传输稳定、延迟低且避免单点故障。星型结构以PLC控制层为中心,现场与监控层设备直接连接,便于故障定位,单个节点故障不影响整体;总线型结构通过主干线路连接节点,布线简单,需在关键位置设置冗余节点,防止主干故障导致网络瘫痪,确保系统网络可靠工作。

### 3 基于PLC的水电站自动化控制系统核心功能模块设计

#### 3.1 机组运行控制模块

机组启停控制通过PLC逻辑编程设计完整流程,实现平稳启停。开机前自检流程中,PLC依次检测辅助设备运行状态、润滑系统油压、冷却系统水温等关键条件,所有条件达标才允许进入开机程序;任一条件不满足则触发报警并暂停开机,故障排除后重新自检。停机顺序按先减负荷、再断励磁、后关导叶执行,PLC逐步降低机组出力,避免负荷骤减引发电网波动,同时监测转速下降曲线,确保转速平稳降至零,防止机械冲击损坏设备<sup>[2]</sup>。负荷调节控制中,PLC依据电网负荷需求信号与水电站出力特性,动态调整水轮机导叶开度与发电机励磁电流。电网需增负荷时,PLC增大导叶开度提升进水量,同步调节励磁电流增加发电机无功功率,推动机组出力提升;电网负荷降低时,减小导叶开度并调整励磁电流,避免出力过剩导致转速异常。调节过程中,PLC实时采集机组转速、电压、电流等参数,通过闭环控制算法修正调节量,保障出力稳定在目标值附近,减少波动。

#### 3.2 工况监测与数据采集模块

关键参数采集环节,PLC需设计针对性的采集逻辑,覆盖机组转速(0-120%额定转速)、进出口压力(0-8MPa)、水温(0-80℃)、油位(0-100%)、电压(0-120%额定电压)、电流(0-120%额定电流)等核心参数。对于转速、电压、电流等动态变化较快的参数,PLC设置采样频率为100ms/次,确保捕捉参数瞬时变化;对于水温、油位等变化缓慢的参数,设置采样频率为5s/次,以减少数据冗余。数据处理方面,PLC对采集到的原始信号进行卡尔曼滤波处理,去除电磁干扰导致的杂波,再将模拟量信号转换为16位数字量,便于后续运算与传输,同时对超出3倍标准差的异常数据进行标记,异常数据识别率 $\geq 99\%$ ,避免无效数据影响工况判断。工况状态判断依赖PLC预设的阈值与逻辑算法。PLC将实时

采集的参数与预设的正常范围阈值对比,若所有参数均在阈值内,判定机组处于正常运行状态,状态判断延迟 $\leq 100\text{ms}$ ;若某一参数超出阈值但未达故障标准(如水温超出40℃但 $\leq 45\text{℃}$ ),判定为异常状态,PLC发出预警信号提醒操作人员关注;若参数严重超出阈值(如转速 $\geq 115\%$ 额定值)或出现逻辑冲突(如导叶开度为0但机组仍有出力),判定为故障状态,立即触发安全保护程序。整个判断过程由PLC自动完成,无需人工干预,为后续控制与预警提供快速、准确的依据。

#### 3.3 安全保护与故障处理模块

安全保护逻辑针对过流、过压、超速、液位异常等常见故障,制定联锁保护程序。检测到过流故障(电流 $\geq 120\%$ 额定值)时,PLC 0.5s内切断发电机与电网连接,同步减小导叶开度降负荷;过压故障(电压 $\geq 110\%$ 额定值)时,控制励磁系统降电压(调节时间 $\leq 2\text{s}$ )直至恢复;超速故障(转速 $\geq 115\%$ 额定值)时,1s内触发紧急停机,关闭导叶并启动机械制动;液位异常时,依情况启动补油泵(油位 $\leq 20\%$ )或开启闸门(水位 $\geq 90\%$ ),防设备损坏或水库溢水。故障处理机制中,PLC先100ms内识别故障信号,通过参数对比与逻辑分析确定类型;再结合设备连接关系与信号路径,定位故障至具体I/O模块或传感器;最后自动记录故障时间、类型、当时参数并存储(保存周期 $\geq 3\text{年}$ )。这些记录为排查提供线索,PLC还按故障等级给出恢复建议,使一般故障处理 $\leq 30\text{min}$ 、重大故障 $\leq 2\text{h}$ ,辅助快速恢复系统运行。

#### 3.4 辅助系统控制模块

水工建筑物控制方面,PLC实现对闸门、拦污栅、启闭机的远程控制与状态监测。依水位调节需求,控制闸门启闭幅度与速度(水位控制精度 $\pm 5\text{cm}$ ),确保水库水位维持在死水位与正常蓄水位之间,兼顾发电与防洪;每24小时控制拦污栅清污(单次 $\leq 10\text{min}$ ),防止杂物堵塞进水口;实时监测启闭机运行电流(0-100A)、提升高度(0-50m),超限报警响应 $\leq 500\text{ms}$ ,避免设备过载或超程<sup>[3]</sup>。辅助设备控制涵盖油泵、水泵、冷却系统等,PLC按机组运行需求控制其启停与状态。机组启动前10min,启动油泵建立0.2-0.4MPa油压,保障润滑系统正常;运行中根据油温(30-50℃)、水温(20-40℃)变化,控制水泵与冷却系统启停(温度控制精度 $\pm 2\text{℃}$ ),维持运行环境稳定;停机后延迟30min关闭辅助设备,待机组冷却至室温 $\pm 5\text{℃}$ 或油压降至 $\leq 0.1\text{MPa}$ 再停止,避免设备因温差过大或润滑不足受损。

### 4 基于PLC的水电站自动化控制系统关键技术设计

#### 4.1 PLC程序设计

PLC程序设计注重架构合理性,常采用模块化编程或结构化编程方式,提升程序可读性与维护性。模块化编程将整体控制功能拆分为机组控制、安全保护、辅助系统等独立模块,每个模块对应专属子程序,模块间通过预设接口传递数据,后期修改或升级某一功能时,仅需调整对应模块,无需改动整体程序;结构化编程按逻辑功能划分程序结构,明确主程序、中断程序、功能块分工,主程序统筹调用各功能块,中断程序响应故障报警等紧急事件,使程序逻辑清晰,便于排查与维护。核心控制算法需适配水电站控制需求。PID调节算法用于负荷稳定控制,PLC采集实际出力与目标出力的偏差,通过比例、积分、微分环节计算调节量,动态修正导叶开度或励磁电流,逐步缩小偏差,确保负荷稳定在设定值;逻辑联锁算法用于安全保护,将设备状态、参数阈值等转化为逻辑判断语句,如“转速超限且励磁电流异常”时触发紧急停机,通过联锁关系避免单一条件误判,提升保护动作准确性,保障机组安全。

#### 4.2 人机交互界面(HMI)设计

人机交互界面设计遵循操作便捷性原则,合理规划功能布局,包含工况显示区、参数设置区、报警区、历史数据查询区。工况显示区集中呈现机组转速、电压、电流等关键实时数据,以醒目数字或图形展示,方便操作人员快速掌握系统状态;参数设置区提供负荷目标值、保护阈值等参数调整入口,设置权限验证机制防误操作;报警区实时弹窗显示故障类型与发生时间,用不同颜色区分故障等级;历史数据查询区支持按时间或参数类型检索过往数据,为工况分析提供依据,各功能区布局紧凑、边界清晰,减少界面切换频次。数据可视化呈现需直观反映系统运行状态,常用趋势图、柱状图、状态指示灯等方式。趋势图动态展示参数随时间变化曲线,便于观察波动规律;柱状图对比不同时段出力数据,清晰呈现机组运行效率;状态指示灯用不同颜色标识设备状态,操作人员通过指示灯可快速判断设备是否正常,无需逐一查看数据,提升操作效率。

#### 4.3 抗干扰技术设计

硬件抗干扰设计重点优化PLC与外部设备的接地设计及屏蔽措施,减少电磁干扰影响。接地设计采用单独接地方式,PLC系统接地、传感器接地、动力设备接地分别连接至独立接地极,避免不同设备接地电流相互干扰;屏蔽措施针对信号线缆与动力线缆,信号线缆采用屏蔽线且外层屏蔽层单端接地,动力线缆与信号线缆分开敷设并保持安全距离,防止动力线缆电磁场干扰信号传输,保障采集信号准确性。软件抗干扰设计通过数据滤波、冗余判断、故障自恢复设计提升系统稳定性。数据滤波对连续多次采集的同一参数取平均值或剔除异常值,减少电磁干扰导致的瞬时波动;冗余判断通过重复采集或交叉验证确认参数真实性,如同时采集两个不同传感器的转速信号,对比一致后作为有效数据;故障自恢复设计针对瞬时通信中断等轻微故障,PLC自动尝试重启模块或重新建立连接,无需人工干预即可恢复系统运行,降低故障对生产的影响。

#### 结束语

基于PLC的水电站自动化控制系统设计,从基础认知到架构搭建,再到核心功能与关键技术设计,形成完整方案。该系统满足水电站多样化需求,提升运行可靠性与效率,降低人力成本。未来,随着技术进步,系统可进一步融合智能算法,实现更精准的控制与预测性维护,推动水电站自动化控制向更高水平发展,为能源领域持续贡献力量。

#### 参考文献

- [1]李锐.基于PLC的水电站自动化控制系统设计[J].自动化应用,2025,66(3):44-46.
- [2]朱海晨,宋璇,张轩,等.基于PLC技术的水电站电气自动化控制系统设计与验证[J].电气技术与经济,2025(7):205-207.
- [3]孔令超,尚云飞,陈赞.基于PLC的自动排污巡检控制系统设计与研究[J].电力设备管理,2022(z1):53-56.