

# PLC在水电站辅机控制系统中的应用

向宗勇

大唐华银张家界水电有限公司 湖南 张家界 427000

**摘要:** PLC凭借循环扫描机制、模块化设计及强抗干扰能力,在水电站辅机控制中优势显著。它能精准满足油压装置高精度控制、冷却系统水温调节、排水泵组自动启停等需求。在具体应用里,实现机组油压稳定闭环控制、冷却系统按需变频调节、排水泵组分级轮换运行等。同时,通过合理设计硬件架构、编程调试、通信协议及人机界面,保障系统稳定高效运行,有效降低故障率与能耗,提升水电站运行的安全性与经济性。

**关键词:** PLC; 水电站辅机控制系统; 应用

引言: 水电站作为重要的能源生产基地,其辅机控制系统的稳定运行关乎整体发电效率与安全。传统控制方式在应对复杂工况与高精度要求时逐渐力不从心。可编程逻辑控制器(PLC)凭借强大的逻辑处理、高可靠性和灵活性,为水电站辅机控制带来革新。它能精准实现油压调节、水温控制、设备联动等功能,有效提升系统自动化水平。深入探究PLC在水电站辅机控制中的应用,对优化水电站运行管理、降低运维成本、保障电力稳定供应具有重要意义。

## 1 PLC 技术基础与选型分析

### 1.1 PLC工作原理与核心优势

(1) 循环扫描机制与I/O刷新过程: PLC采用“输入采样-程序执行-输出刷新”的循环扫描模式,在输入采样阶段读取所有输入端子状态并存储至输入映像区;程序执行阶段按指令顺序逐句运算,结果写入输出映像区;输出刷新阶段将映像区数据同步至物理输出端子,确保控制动作精准同步,避免信号延迟导致的误操作。(2) 模块化设计带来的扩展便利性: PLC主体分为CPU模块、电源模块、I/O模块等独立单元,可根据控制规模灵活增减模块。例如水电站辅机系统扩容时,无需更换主机,仅需添加数字量/模拟量I/O模块,降低升级成本,缩短停机改造时间。(3) 抗电磁干扰能力: 符合该标准的PLC通过硬件屏蔽、软件滤波等设计,能抵御水电站高压设备产生的强电磁干扰,确保在电压波动、磁场辐射环境下稳定运行,减少因干扰导致的控制失灵问题<sup>[1]</sup>。

### 1.2 水电站辅机控制需求分析

(1) 油压装置控制精度要求: 油压装置为水轮机调速系统提供动力,需维持油压稳定在设定值 $\pm 0.15\text{MPa}$ 范围内,避免油压过高损坏设备或过低导致调速失灵,因此PLC需具备高精度模拟量采集与PID调节功能。(2) 冷却系统水温调节范围: 发电机运行产生的热量需通过

冷却系统散发,水温需控制在 $25\text{-}40^\circ\text{C}$ ,若水温超出范围会影响发电机绝缘性能,PLC需根据温度传感器信号自动调节冷却水泵转速或冷却塔风机启停。(3) 排水泵组自动启停逻辑: 水电站集水井需通过排水泵组排水,PLC根据液位传感器信号设定三级阈值,低液位时停泵、中液位时启动一台泵、高液位时启动两台泵并触发报警,防止积水淹没设备。

### 1.3 硬件选型关键参数

(1) CPU处理速度: 水电站辅机控制涉及多回路实时调节,CPU处理速度需 $\geq 0.1\mu\text{s}/\text{指令}$ ,确保快速响应油压、水温等关键信号,避免因处理延迟导致控制偏差。

(2) I/O点数冗余设计: 需根据辅机数量计算所需I/O点数,同时预留20%冗余,例如实际需80点数字量I/O,应选择100点以上模块,应对后期新增辅机或传感器的需求,避免重复更换硬件。(3) 通信接口配置: 需同时支持以太网、RS485、Profibus三种接口,以太网用于与监控中心SCADA系统通信,RS485连接本地液位、温度传感器,Profibus对接变频器等智能设备,实现数据双向传输与远程监控。

## 2 PLC在水电站辅机控制系统中的具体应用

### 2.1 机组油压装置控制

(1) 压力传感器与PLC的PID闭环控制: 油压装置的压力传感器实时采集油压信号,将模拟量数据传输至PLC模拟量输入模块。PLC内置PID调节算法,对比实际油压与设定值(如 $6.3\text{MPa}$ ),自动计算调节量,控制电液比例阀开度。当油压低于设定值时,增大阀门开度补充压力;高于设定值时,减小开度泄压,形成稳定的闭环控制回路。(2) 故障诊断逻辑设计: PLC持续监测压力传感器数据,若油压超出正常范围(如低于 $5.8\text{MPa}$ 或高于 $6.8\text{MPa}$ )持续5秒,触发压力异常报警,并切断油泵电源防止设备过载;同时通过油位传感器监测油箱油

位,当油位低于最低阈值(如油箱高度的1/3)时,立即停止油泵运行,避免空转损坏,同时发送故障信号至监控中心<sup>[2]</sup>。(3)案例:某水电站油压波动从 $\pm 0.3\text{MPa}$ 降至 $\pm 0.08\text{MPa}$ :该水电站原采用继电器控制油压装置,油压波动范围达 $\pm 0.3\text{MPa}$ ,导致调速系统不稳定。改造后采用PLC闭环控制,结合高精度压力传感器与PID算法优化,油压波动范围缩小至 $\pm 0.08\text{MPa}$ ,满足水轮机调速系统对油压稳定性的严苛要求,机组运行故障率降低60%。

## 2.2 冷却系统智能调节

(1)温度传感器网络布局:在发电机冷却系统的进水管、出水管及散热器表面分别安装温度传感器,形成三维温度监测网络。所有传感器通过RS485总线连接至PLC,实时传输各监测点温度数据,为PLC调节提供全面的温度参考依据。(2)变频器与PLC的联动控制策略:PLC根据进水口与出水口的温差(设定温差阈值为 $5^{\circ}\text{C}$ )及散热器温度,动态调整冷却水泵变频器频率。当温差小于 $3^{\circ}\text{C}$ 且散热器温度低于 $30^{\circ}\text{C}$ 时,降低变频器频率至30Hz,减少水泵转速;当温差大于 $7^{\circ}\text{C}$ 或散热器温度高于 $38^{\circ}\text{C}$ 时,提高频率至50Hz,增强冷却效果,实现按需调节。(3)节能效果:冷却水泵功耗降低28%:某中型水电站冷却系统改造前,水泵长期以额定转速(50Hz)运行,日均耗电量约800kWh。采用PLC与变频器联动控制后,水泵平均运行频率降至38Hz,日均耗电量降至576kWh,年节约电能约8万kWh,功耗降低幅度达28%。

## 2.3 排水泵组自动化控制

(1)液位传感器分级控制:在集水井内安装超声波液位传感器,PLC设定三级液位阈值:预警阈值(如集水井高度的50%)、启动阈值(70%)、停机阈值(30%)。当液位达到预警阈值时,PLC发送预警信号;达到启动阈值时,自动启动一台排水泵;若液位持续上升至80%,启动第二台泵;降至停机阈值时,依次停止水泵。(2)双泵轮换运行逻辑:PLC内置轮换控制程序,记录两台水泵的运行时长。当系统需要启动水泵时,优先启动累计运行时长较短的水泵;单泵运行超过4小时,自动切换至另一台泵运行,避免单台泵长期工作导致电机过热,延长水泵使用寿命<sup>[3]</sup>。(3)历史数据:某水电站原排水系统依赖人工启停,因液位监测不及时、水泵长期单侧运行,年故障停机次数达12次。引入PLC自动化控制后,实现液位精准监测与水泵轮换运行,设备故障率大幅下降,年故障停机次数减少至3次,保障了水电站排水系统的稳定运行。

## 2.4 辅助设备联动控制

(1)空压机与制动系统的连锁控制:PLC将空压机

压力信号与机组制动系统状态关联,当机组需要停机制动时,先检测空压机储气罐压力,若压力低于 $0.7\text{MPa}$ ,自动启动空压机补气;待压力达到 $0.8\text{MPa}$ 后,再触发制动系统动作,确保制动压力充足,避免因压力不足导致制动失效。(2)通风系统与机组温度的关联控制:PLC采集发电机定子温度数据,当定子温度高于 $65^{\circ}\text{C}$ 时,自动开启厂房通风系统的高速档;温度降至 $55^{\circ}\text{C}$ 以下时,切换至低速档;温度低于 $45^{\circ}\text{C}$ 时,关闭通风系统,实现通风系统与机组温度的协同调节,减少不必要的能耗。

(3)报警信息分层处理机制:PLC将设备故障划分为三个层级:紧急报警(如油压骤降、电机过载),立即触发声光报警并暂停相关设备运行,同时推送至运维人员手机;重要报警(如温度偏高、油位略低),仅发送系统提示,不影响设备运行;一般报警(如传感器轻微偏差),仅记录日志,无需人工干预,提高运维效率。

## 3 PLC在水电站辅机控制系统设计与实现

### 3.1 硬件系统架构

(1)主从站式网络拓扑:采用“1台主控PLC+多台分布式I/O”的主从架构,主控PLC安装于中央控制室,负责核心运算与逻辑控制;分布式I/O模块就近部署在油压装置、冷却系统等辅机设备旁,通过通信总线与主控PLC连接。这种布局减少现场布线距离,降低信号传输损耗,同时便于后期设备维护与点位扩展。(2)冗余设计:电源系统采用两路独立市电+UPS备份的双电源供电模式,当一路电源故障时,另一路可在50ms内自动切换,保障系统不间断供电;CPU采用双机热备设计,主CPU实时将数据同步至备用CPU,若主CPU故障,备用CPU立即接管控制任务,切换时间 $\leq 100\text{ms}$ ,避免因硬件故障导致系统停机。(3)抗电磁干扰措施:所有信号电缆选用带金属屏蔽层的双绞线,屏蔽层单端接地(接地电阻 $\leq 4\Omega$ );PLC柜采用独立接地极,与水电站高压设备接地网保持5m以上距离;模拟量信号电缆与动力电缆分开敷设(间距 $\geq 30\text{cm}$ ),减少电磁耦合干扰,确保信号传输稳定。

### 3.2 软件编程与调试

(1)梯形图(LD)与结构化文本(ST)混合编程:针对简单逻辑控制(如水泵启停)采用梯形图编程,直观易懂,便于现场运维人员修改;针对复杂算法(如PID调节、故障诊断)采用结构化文本编程,支持复杂数学运算与条件判断,提升程序可读性与可维护性。两种语言通过PLC编程软件无缝兼容,实现优势互补。(2)上位机监控界面开发:基于WinCC软件搭建可视化监控界面,分为设备状态区、参数监控区、报警提示区三大模

块。设备状态区以动画形式展示辅机运行状态（如水泵运行/停止、阀门开/关）；参数监控区实时显示压力、温度等关键数据，并以颜色区分正常/异常范围；报警提示区按优先级弹窗显示故障信息，支持一键查看故障详情。（3）调试流程：离线仿真→半实物仿真→现场联调：先通过编程软件进行离线仿真，验证程序逻辑正确性；再搭建半实物仿真平台，将PLC与模拟传感器、变频器连接，模拟现场工况测试控制效果；最后进行现场联调，逐步接入实际辅机设备，优化控制参数，确保系统在满负荷运行下稳定可靠<sup>[4]</sup>。

### 3.3 通信协议选择

（1）ModbusTCP/IP：采用ModbusTCP/IP协议实现PLC与上位机的数据交互，该协议基于以太网，传输速率高达100Mbps，通信距离不受限制，支持多主多从模式，可同时连接多台上位机，满足水电站中央监控系统对实时数据采集与远程控制的需求。（2）Profibus-DP：分布式I/O与主控PLC之间采用Profibus-DP协议通信，该协议传输速率最高可达12Mbps，循环周期短（ $\leq 1\text{ms}$ ），支持最多127个从站，能快速同步分布式I/O采集的现场信号与PLC发送的控制指令，保障控制动作的实时性。（3）OPCUA：为实现与水电站其他系统（如ERP系统、设备管理系统）的数据共享，采用OPCUA协议进行跨平台通信。该协议具有平台无关性、安全性高、数据语义丰富等特点，可将PLC采集的设备运行数据标准化封装，供不同系统调用，实现全电站数据一体化管理。

### 3.4 人机界面设计

（1）实时数据展示：在人机界面首页以仪表盘、数字显示、趋势曲线三种形式展示关键数据。仪表盘直观反映当前值与设定值的偏差；数字显示精确到小数点后两位（如油压6.32MPa、水温32.5℃）；趋势曲线实时刷

新近1小时数据变化，便于运维人员掌握参数波动规律。

（2）历史趋势查询：支持按设备、参数、时间范围查询历史数据，数据存储周期 $\geq 1$ 年，查询结果可以表格或曲线形式导出。运维人员可通过历史趋势分析设备运行状态变化，如对比不同季节冷却水温波动情况，优化控制策略。（3）远程操作权限分级管理：将操作权限分为管理员、运维员、观察员三个等级。管理员拥有全部操作权限（如参数修改、程序下载）；运维员仅可进行设备启停、参数查询等操作；观察员仅能查看数据，无操作权限。权限通过密码+指纹双重验证，防止误操作或非法操作，保障系统安全。

### 结束语

综上所述，PLC在水电站辅机控制系统中的应用成效显著。它凭借自身优势，精准满足油压、水温、排水等复杂控制需求，实现了辅机设备的高效、稳定运行。通过合理的硬件架构、软件编程及通信设计，极大提升了系统的自动化与智能化水平，降低了故障发生率与运维成本。随着技术的持续进步，PLC在水电站领域的应用将更加深入和广泛，有望进一步推动水电站向更加安全、节能、高效的方向发展，为我国能源事业的稳定前行提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]周检保,胡松军.水电站PLC应用不足点分析及解决措施[J].中国设备工程,2020,(16):191-192.
- [2]晏迎秋.自动化技术在水电站电气工程中的应用及展望[J].陕西水利,2021,(07):139-140.
- [3]陈怡帆.浅谈水电站电气工程自动化技术及其应用[J].数字通信世界,2020,(12):133-134.
- [4]刘超.探讨PLC在水电站辅机控制系统中的运用[J].城市周刊,2022,(06):61-63.