

以 PLC 技术为依托的水电厂辅助设备自动化控制系统研究

阳 坚

五凌电力有限公司凌津滩水电厂 湖南 常德 415720

【摘 要】：根据传统水电厂辅助设备人工操控模式可靠性差、响应慢、运维成本高、连锁保护不到位等缺点，本文主要用 PLC 技术来研究设计水电厂辅助设备自动化控制系统。在设计过程中先整理水电厂实际需求，按照可靠、经济、易扩展的原则完成系统架构、通信网络、软硬件选型和程序逻辑设计，建立分布式 PLC 控制系统。经由仿真及现场调试来证实系统的性能，此系统可以达成辅助设备的全自动运行，出现故障时能够发出报警并联动控制，从而加强设备的运行稳定性和响应速度，削减人工运维的成本，给水电厂辅助设备的智能化更新赋予可信的技术手段。

【关键词】：PLC 技术；水电厂；辅助设备自动化

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.041

水电厂辅助设备是保证发电机组安全、稳定、连续运行的关键配套系统，目前大部分传统的水电厂辅助设备仍然采用人工就地操作、人工巡检的方式进行控制，存在响应慢，失误率高，联动差等问题；伴随着工业自动化技术的更新换代，PLC 凭借抗干扰性好、运行稳定、编程方便、适应工业恶劣环境等优势，被广泛地应用到水电、电力、工业控制等各个领域。本文根据水电厂各类辅助设备运行工艺要求，设计出以 PLC 为控制核心的自动化控制系统，完成硬件和软件的搭建、程序的编写及系统的调试工作，并对系统的实际应用效果以及经济效益进行分析。

1 水电厂辅助设备系统概述

1.1 辅助设备的分类与功能

水电厂生产系统分为核心发电主设备和配套辅助设备两类，主要包含技术供水系统、排水系统、压缩空气系统、油系统、通风空调系统五大类，具体功能如下表所示。

表 1 系统功能

系统名称	核心功能
技术供水系统	为水轮机、发电机、变压器等核心设备提供冷却、润滑用水，防止高温过载与部件磨损，保障机组持续稳定运行。
排水系统	分为渗漏排水与检修排水，及时收集厂房微量渗水、排空机组检修积水，保障检修作业安全。
压缩空气系统	通过高低压供气支路，为机组制动、调相压水、闸门操作、设备吹扫提供稳定气源。
油系统	涵盖透平油与绝缘油系统，完成油品储存、过滤、输送与净化。

通风空调系统	调节厂房及机房温湿度、通风换气，排出设备余热与湿气，优化设备运行与运维作业环境。
--------	--

1.2 辅助设备控制需求分析

水电厂辅助设备需满足高可靠、强抗扰、长周期运行要求。排水、气压、供水等子系统应依据液位、压力、温度等参数自动启停与调节。系统须具备高实时性，快速响应工况与故障，支持自动保护停机及手动应急控制，保障安全。

2 控制系统总体方案设计

2.1 设计原则与目标

设计遵循可靠性、可扩展性、经济性、易维护四大原则，适配水电厂潮湿、强电磁干扰环境，推进设备管控智能化。可靠性上，选用工业级硬件，设置多级容错与连锁保护，保障长效稳定运行；可扩展性上，预留充足软硬件接口，便于后期设备增改；经济性上，在满足功能性能前提下优化选型，严控成本。

总体目标为：实现辅助设备自动化集中管控，替代人工就地操作；完成数据采集、工况自动调节、故障报警与连锁保护；搭建远程监控平台，支撑无人值守，全面提升运维智能化水平，降本增效。



2.2 控制架构选择

工业自动化领域主流架构分为集中式与分布式两类，二者在适用场景及运行性能上差异显著。集中式架构依托单一控制器统筹所有设备控制任务，虽具备结构简单、成本低廉的优势，但容错性与扩展性较差，主控单元一旦故障将导致系统全线瘫痪，仅适用于小型简易控制系统。针对水电厂辅助设备子系统多、布局分散、工况复杂且安全性要求高的特点，本次设计采用基于 PLC 的分布式控制架构。该架构将控制任务分解至各独立 PLC 控制单元，实现各子系统自治运行、故障隔离——任一模块异常均不影响整体系统运转，有效解决了传统模式下数据碎片化、处理延迟及容错能力弱等问题，能提升系统的可靠性与稳定性，更契合水电厂智能化升级需求。

2.3 通信网络设计

通信网络作为 PLC 控制系统的“神经中枢”，承担着现场设备、控制器与上位机间的数据交互重任。本次设计采用“现场总线+工业以太网”的二层网络架构：底层选用 Mod bus-btu 现场总线协议，其具备优异的兼容性、传输稳定性及抗干扰能力，完美适配水电厂潮湿、强电磁干扰的复杂工况，可满足传感器、执行机构与 PLC 间实时数据传输需求，且具有布线简洁、维护便捷、成本可控的优势。上层通过以太网构建上位机与 PLC 间的高速通信链路，实现大容量数据低延时交互：现场液位、压力、温度、流量等工况数据经 Mod bus 总线汇总至 PLC，经逻辑运算后，一方面驱动执行机构完成设备启停与工况调节，另一方面通过以太网上传至监控系统，整套网络响应迅捷、运行稳定，全面支撑实时监控、数据存储及远程操作功能落地。

3 硬件系统设计与选型

3.1 PLC 控制器选型

水电厂现场电磁环境复杂、工况波动频繁，适配性强、运行稳定且拓展灵活的 PLC 是保障辅助设备自控系统长期可靠运行的核心基础^[3]。本次选型重点考量 I/O 点数、数据处理速度、环境适应性与拓展性能四大指标。经统计，水电厂五大辅助子系统的数字量/模拟量点位需求在预留 20%余量后，S7-200 SMART 系列 PLC 表现优异：其高性能 CPU 指令执行速度快，可满足多设备并行控制需求；集成 Mod bus 及以太网通信接口，完美适配系统网络架构；模块化设计支持灵活扩展，兼顾经济性与可维护性，尤其适合中小型水电厂辅助设备控制场景，符合可靠性与可扩展性设计原则。

3.2 传感器与执行机构

传感器作为工况数据采集的前端，选用工业级高精度设备：投入式液位变送器用于排水/供水系统液位监测，抗干扰性强且稳定性高；压力传感器精准捕捉压缩空气系统及油管网的气压、油压数据；流量传感器实时监测技术供水管路流量，保障冷却用水稳定；温度传感器布设于机组冷却与通风系统，为

工况调节提供关键数据支撑。执行机构涵盖电动阀、水泵、风机及空压机等设备：电动阀响应迅捷，可实现管路通断与流量精准调节；主辅设备均配置过载保护模块，通过与 PLC 逻辑联动，完成自动启停、变频调节等功能，全面满足各子系统自动化运行工艺要求，确保控制指令的精准落地。

4 软件系统设计与实现

4.1 PLC 程序设计

本次 PLC 程序采用模块化编程思想，基于 STEP7-Micro/WIN 平台开发，将主程序与子程序解耦：主程序负责系统初始化、硬件自检、数据调度、逻辑运算及故障监测，构建闭环控制流程；各子程序独立实现供水、排水、气、油、通风空调五大辅助系统的专属控制逻辑。模块化设计层次清晰，有效降低程序耦合度，提升系统稳定性与故障排查效率。

针对子系统工艺差异定制控制策略：技术供水系统设置温度-流量联锁逻辑，设备超温或流量不足时自动启泵，管路超压时联动泄压停机；排水系统采用双泵轮换液位控制，依据高低液位阈值自动启停，均衡设备损耗；压缩空气系统实施恒压调节，根据管网压力动态启停空压机，维持气压稳定；油系统结合油压、油位参数实现输油、过滤自动化联锁；通风空调系统依据厂房温湿度自适应调节设备运行工况。

系统内置多维故障检测机制，实时监测设备过载、管路堵塞、传感器异常及通信故障等工况，在触发声光报警的同时执行联锁停机，自动保存故障代码与时间戳，为运维人员提供精准排查依据。

4.2 上位机监控系统设计

上位机监控系统基于组态软件构建，通过以太网与 PLC 实时交互，实现辅助设备远程集中管控。系统核心功能包括：①数据采集与可视化，动态展示全厂设备运行工况（液位、压力、温度、流量等），支持参数趋势曲线分析；②远程控制与参数配置，运维人员可通过界面下发启停指令，在线调整液位阈值、压力设定值等控制参数，适配不同运行工况；③历史数据管理，自动归档设备运行数据、故障记录及操作日志，支持按时间、设备类型多维度检索，生成运行报表。系统界面简洁直观，操作逻辑符合水电厂运维习惯，全面支撑“无人值守、少人值守”模式落地。

4.3 冗余与安全策略

为保障系统全天候可靠运行，设计采用双机热备冗余架构：主 PLC 执行实时控制任务，备用 PLC 同步主程序数据与运行状态，处于热待机模式。当主控制器发生硬件故障或通信中断时，系统自动无缝切换至备用控制器，切换过程零停机、无数据丢失，从根源上规避主控设备故障导致的系统瘫痪风险，提升运行连续性与安全性。

同步构建多层次安全防护体系：正常运行时默认投入自动控制模式，实现无人值守；在检修或故障处理场景下，可一键切换至手动控制模式，支持现场就地操作，兼顾灵活性与安全性；设置紧急停机按钮，触发后系统立即切断所有设备电源，防止事故扩大。冗余设计与安全策略协同作用，形成“预防—保护—应急”全流程保障机制，全方位筑牢水电厂辅助设备自动化运行安全防线。

5 系统测试与应用效果分析

5.1 仿真测试与现场调试

系统正式投入运行之前先做了实验室仿真实验以及现场安装联调，对系统的功能及稳定性进行全方位的检验。仿真测试阶段建立模拟实验平台，复现水电厂各辅助设备运行工况，保证程序逻辑准确、系统响应及时，使所有的功能都满足设计要求。

仿真测试合格之后进行现场安装和联调，完成 PLC 控制器、传感器、执行机构、触摸屏、上位机的现场布线、安装和接线工作，逐个排除硬件接线故障、通信异常问题。分模块对单系统进行调试，再对整体系统进行联调，测试各个子系统独立运行和多系统协同运行的效果，校准传感器的采集精度，优化设备启停阈值和调节参数，解决现场电磁干扰、数据偏差等各方面问题，使整个系统所有的功能都能稳定运行，满足水电厂的实际生产需求。

5.2 运行效果对比

本次系统投运之后，经过长时间的现场运行数据统计，同传统的手工控制模式展开全方位的比较，系统的优点十分明显。传统的人工控制方式需要人工巡检、判断、操作，响应时间一般在几分钟以上，存在故障识别滞后、处理不及时等问题，不能满足水电厂辅助设备安全稳定运行的要求^[6]。本次 PLC 自

动化系统可以做到毫秒级的数据采集和秒级的工况调节，故障响应时间比原来提高 90% 以上，可以及时处理设备出现的异常情况。

传统的人工操作容易造成误操作、操作滞后等问题，设备故障率高，水泵、空压机等设备的启停不准确、工况不稳定的问题时有发生；自动化系统投入使用之后，设备的启停更加精确，工况调节更加稳定，设备的故障率大大降低，经统计，辅助设备的月均故障率降低 85%，系统投运以后实现无人值守运行，只需要定期巡检维护，减少人工的投入。排水效率提高 30%，气压、供水系统工况稳定性大大提高。

5.3 经济效益分析

该 PLC 自动化控制系统应用到水电厂以后，可以取得明显的节能、降本、增效经济效益。节能上系统可以对设备进行精确的启停、变频自适应调节，全厂辅助系统年均节电、节水效益明显。

就运维成本来说，系统极大地缩减了人工值守的成本，维修费、配件费等各种费用的年均支出减少 40% 以上。从设备寿命来说，自动化控制可以有效地减少设备的磨损、老化情况，进而使各类辅助设备的使用寿命得到提升，从而削减设备更换的成本，并且可以改善电厂的安全生产水平，具有明显的经济和安全双重优势。

6 结语

本文利用成熟的 PLC 自动化技术，对水电厂辅助设备自动化控制系统进行设计，完成设备需求分析、总体方案设计、软硬件选型开发、程序编写和系统调试，实现水电厂辅助设备的全自动控制，系统稳定、响应快、运维方便，可以解决人工操作可靠性差、滞后性大的问题，降低运维成本和设备故障率，提高水电厂自动化运行水平。

参考文献：

- [1] 付万珊.基于自动化技术的水电厂电气二次设备状态检修方法[J].电气技术与经济,2026(3):406-408+411.
- [2] 陈万豪.水电厂辅助设备物联网数据采集与处理技术应用[J].通讯世界,2025,32(12):115-117.
- [3] 吴倩.国产 PLC 在水电厂快速闸门控制系统的应用[J].水电站机电技术,2025,48(9):19-21+111.
- [4] 何才强.自动化控制技术在水电厂中的应用研究[J].科技与创新,2023(6):167-169.
- [5] 唐佳庆,周文,毛哲,等.水电厂辅助设备智能诊断系统研究[J].水利水电技术(中英文),2022,53(S2):469-473.
- [6] 邹建强.PLC 在水电厂自动化系统中的适配与应用研究[C]//中国设备管理协会品牌建设与应用技术委员会.中国设备管理新趋势交流会会议文集(五),2025:52-54.