

# 水电站现地控制单元 (LCU) 监控方案设计

郑志波

中国大唐集团四川公司四川川汇水电投资有限责任公司 四川 成都 610091

**【摘要】**：现地控制单元 (LCU) 作为水电站计算机监控系统的核心现地级设备，承担着现场设备数据采集、实时控制、运行监视与故障报警等关键职能，其性能直接决定水电站运行的安全性、稳定性与自动化水平。本文结合中小型水电站运行特点，遵循“分散控制、集中管理、冗余可靠、经济适用”的设计原则，从系统总体架构、硬件配置、软件设计、网络通信、功能实现、抗干扰与可靠性设计等方面，构建一套完整适用的水电站 LCU 监控方案，并通过现场测试验证方案可行性与应用效果。该方案可实现水轮发电机组、开关站、厂用设备、闸门等现场设备全流程自动化监控，满足无人值守、少人维护的运行需求，有效提升电站运行效率、降低运维成本，可为同类水电站 LCU 监控系统设计与升级改造提供参考。

**【关键词】**：水电站；现地控制单元；LCU；监控方案；自动化控制；可靠性设计

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.013

## 引言

近年来，我国水利水电行业持续向智能化、自动化方向转型，传统依靠人工巡检、就地操作的运行模式已难以满足现代水电站安全、高效、经济运行的要求。现地控制单元 (Local Control Unit, LCU) 部署于生产现场，是连接现场一次、二次设备与上位机监控系统的关键枢纽，主要完成对水轮发电机组、调速器、励磁系统、开关站、厂用电及泄洪设施等设备的实时监控与闭环控制。与传统集中式控制相比，基于 LCU 的分布式控制具有响应快、可靠性高、故障范围小、便于维护等优势，已成为中小型及以上水电站监控系统的主流配置。

当前，国内部分老旧水电站普遍存在 LCU 硬件老化、通信协议不统一、监控功能不完善、抗干扰能力不足等问题，导致系统故障率高、自动化程度偏低、运维压力大。而新建电站对 LCU 的实时性、可靠性、冗余能力及远程管控能力提出了更高要求，不仅需要完成基本的数据采集与控制，还应具备故障自诊断、远程联动、数据远传与智能报警等扩展功能。在此背景下，本文结合水电站现场工况与实际管控需求，设计一套结构合理、性能稳定、经济实用的 LCU 监控方案，通过优化架构配置、强化冗余设计、完善软件逻辑，提升系统在复杂工业环境下的连续运行能力，推动水电站向无人值守、智能管控方向发展。

## 1 系统设计原则与功能需求

### 1.1 设计原则

本次 LCU 监控方案设计紧密结合中小型水电站建设规模、运行环境与投资特点，在满足安全规范与技术标准的前提下，坚持以下设计原则：

一是可靠性优先原则。系统核心部件采用冗余配置，具备完善的故障自诊断、声光报警与冗余切换功能，能够适应水电站潮湿、多尘、强电磁干扰等恶劣工况，保证长期不间断稳定运行。二是实时性高效原则。优化数据采集周期与控制逻辑，

缩短信号采集、传输及指令执行时间，满足机组快速调节、事故紧急停机对实时性的严格要求。三是分布式管控原则。采用“现地分散控制、中控室集中管理”架构，按监控对象划分独立 LCU 单元，单个单元故障不影响其他区域运行，提高系统整体抗风险能力。四是兼容性与扩展性原则。支持 Modbus、IEC 60870-5-104 等主流规约，兼容不同厂家智能仪表、保护装置与执行机构，同时预留硬件接口与软件模块，便于后期设备扩容与功能升级。五是经济实用性原则。合理选用工业级硬件，简化操作界面与维护流程，在保证功能完备的前提下控制投资成本，满足少人值守、远程运维的实际需求。

### 1.2 功能需求

根据水电站运行管理实际，LCU 监控系统应具备完整的数据采集、控制操作、状态监视、故障保护、通信远传及事件记录等功能。

系统需实时采集温度、压力、水位、电压、电流、功率等模拟量，以及设备启停、断路器位置、阀门状态、故障信号等开关量，并完成数据滤波、校准、越限判断与存储。控制层面支持现地手动与远程自动两种模式，可实现机组开停机、开关设备分合闸、闸门升降、厂用电切换等操作，并配置完善的电气闭锁与逻辑闭锁，防止误操作。运行状态通过现地触摸屏与上位机界面集中展示，直观反映工艺流程与实时参数。当出现超温、超压、过载、断线及通信异常时，系统立即报警并记录故障信息，必要时联动保护动作。同时，LCU 应具备与上位机、调速器、励磁系统、继电保护装置的数据交互能力，实现数据上传与指令下发。核心部件支持冗余切换与自诊断，可对硬件、软件及通信状态实时监测。此外，系统需完整记录操作、故障、启停等事件，统计运行时长、发电量等指标，为设备维护与管理决策提供数据支撑。

## 2 系统总体架构设计

本文设计的 LCU 监控系统采用分层分布式结构，整体划

分为现地控制层、网络通信层和上位机监控层，层级清晰、分工明确，兼顾分布式控制可靠性与集中管理便捷性。

现地控制层是整个系统的核心执行层，根据监控对象不同分为机组 LCU、开关站 LCU、厂用设备 LCU 和闸门 LCU。各单元相互独立、互不干扰。机组 LCU 布置于发电机层，主要监控水轮发电机组、调速器、励磁系统及油、水、气辅助系统，保障机组安全稳定运行。开关站 LCU 设于高压开关站区域，负责断路器、隔离开关、母线及继电保护装置的状态监测与控制。厂用设备 LCU 监控厂用变压器、备用电源、空压机、水泵等辅助设备，确保厂用电系统可靠供电。闸门 LCU 布置于大坝及进水口附近，实现进水口闸门、泄洪闸门的开度控制与上下游水位监测。

网络通信层采用工业以太网与现场总线相结合的双网架构。工业以太网用于 LCU 与上位机之间的高速数据传输，采用星型拓扑与双网冗余配置，保证通信链路可靠。现场总线以 RS485 为主体，采用 Modbus-RTU 协议，实现 LCU 与现场智能仪表、保护装置、执行机构的近距离通信。系统上层通信采用 IEC 60870-5-104 规约，具备传输效率高、稳定性强、便于远程接入的特点。

上位机监控层设于电站中控室，由监控主机、操作员站、大屏显示、打印机等设备组成，负责集中监视、远程控制、数据查询、报表生成与故障报警。上位机系统支持远程访问功能，运维人员可通过远程终端或移动设备实时查看工况、下达指令，真正实现少人值守乃至无人值守运行。

### 3 LCU 硬件系统设计

硬件系统是 LCU 稳定工作的基础，整体以高性能可编程逻辑控制器（PLC）为核心，配套 I/O 模块、通信模块、触摸屏、冗余电源、信号隔离与防雷器件，全部选用工业级产品，适应  $-10^{\circ}\text{C}\sim 55^{\circ}\text{C}$  工作环境，具备较强的抗潮湿、抗粉尘、抗电磁干扰能力。

PLC 控制器采用国产高性能中小型机型，配置双 CPU 冗余模块，主备 CPU 实时数据同步，故障情况下可在 50ms 内完成无扰切换，确保控制功能不中断。I/O 模块根据现场测点规模配置模拟量输入、模拟量输出、开关量输入、开关量输出模块，所有模块均采用光电隔离设计，模拟量支持 4-20mA、0-10V、PT100 等多种信号接入，满足温度、压力、液位、电参量等采集需求。现地配置 10.4 英寸工业触摸屏，安装于柜体面板，支持中文人机界面，可实现参数监视、现地控制、参数设定与故障查询。

电源系统采用双路冗余设计，一路取自厂用交流电源，一路由直流 UPS 供电，两路电源自动切换，切换时间小于 10ms，保证断电情况下系统连续工作。为进一步提升可靠性，在信号输入输出回路配置信号隔离器与防雷浪涌保护器，有效抑制雷

击、强电串入与电磁干扰对控制设备的冲击。

LCU 柜体采用立式不锈钢结构，防护等级不低于 IP54，具备良好的防尘、防水、防潮能力。柜内强弱电分开布线，减少电磁干扰；配置散热风扇与温湿度控制器，自动调节柜内环境；设置专用接地端子，接地电阻小于  $4\Omega$ ，满足防雷与安全接地要求，同时预留扩展空间，便于后期扩容。

### 4 LCU 软件系统设计

LCU 软件系统采用模块化设计，分为 PLC 控制程序和触摸屏监控程序两部分，编程简洁、逻辑清晰、便于调试维护，整体采用中文界面，易于现场运维人员操作。

PLC 程序采用梯形图与功能块结合的方式编写，按功能划分为数据采集、逻辑控制、通信交互、故障报警和冗余切换五大模块。数据采集模块定时采集现场模拟量与开关量信号，经数字滤波、量程转换、越限比较后存入寄存器，为控制与监视提供可靠数据。逻辑控制模块按照水电站工艺流程编写自动开停机、断路器分合闸、闸门控制、备自投等逻辑，并设置完善的电气闭锁和工艺闭锁，从源头上避免带负荷拉隔离开关、机组未停机合励磁等误操作。通信模块配置以太网及 RS485 参数，适配 104 规约与 Modbus 规约，实现数据上传与指令接收解析。故障报警模块实时监测设备状态与系统工况，对越限、故障、通信中断等事件及时触发报警并记录信息。冗余切换模块实时监测主 CPU 运行状态，一旦检测到故障立即自动切至备用 CPU，并记录切换事件。

触摸屏监控程序基于组态软件开发，设置设备监视、参数设置、手动控制、故障查询、事件记录等界面。设备监视界面以工艺流程画面形式展示实时参数与设备状态，用不同颜色区分运行、停机、故障工况。参数设置界面支持限值设定、控制参数整定与通信参数配置，并设置权限管理，防止非授权修改。手动控制界面提供就地操作按钮，关键操作需二次确认，避免误触。故障查询与事件记录界面可存储历史信息，支持按时间、类型检索，便于故障追溯与运行分析。

### 5 网络通信与冗余可靠性设计

为保证数据传输稳定可靠，系统采用多重冗余与抗干扰设计，全面提升在复杂工业环境下的连续运行能力。

网络通信采用双以太网冗余结构，LCU 与上位机均配置双网口，任一网络故障时自动切换至备用网络，不影响数据传输。现场层采用 RS485 总线，布线简单、抗干扰能力强，可满足分散设备多点通信需求。通信规约标准化程度高，兼容性强，便于与第三方设备接入及上级调度系统对接。

在冗余配置方面，系统实现了多层次冗余保障：PLC 双 CPU 冗余，保证控制核心不间断；双路电源冗余，确保供电连续不中断；双以太网冗余，避免通信单点故障；重要模拟量与控制信号采用双通道冗余，进一步提升关键回路可靠性。上述

冗余设计均支持故障自动切换与事件记录,切换过程无扰动,可满足水电站长期连续运行要求。

针对水电站强电磁干扰、潮湿、雷击等问题,系统从硬件、布线、软件多方面进行抗干扰设计。I/O回路采用光电隔离,信号电缆采用屏蔽电缆并规范接地,柜内强弱电分离布线,减少电磁耦合。软件层面采用数字滤波、看门狗定时复位等措施,提高程序运行稳定性。柜体采用高防护等级并配置温湿度控制装置,提升环境适应能力。同时,系统具备完善的自诊断功能,可实时监测硬件故障、通信异常、模块故障等,快速定位并报警,降低运维难度。

## 6 方案可行性与应用效果分析

为验证本 LCU 监控方案的实用性与可靠性,在某中小型水电站开展现场试运行与性能测试。测试内容包括数据采集精度、控制响应时间、冗余切换性能、抗干扰能力及长期运行稳定性。结果表明,系统模拟量、开关量采集误差满足工程精度要求,控制指令响应迅速,冗余切换时间短,在电磁干扰环境下运行稳定,无数据丢失、误动误报现象,整体性能达到设计预期。

该方案投入实际应用后,电站自动化水平显著提升,实现了主要设备全程自动监控与远程操作,运维人员数量大幅减

少,人工成本明显降低。系统故障报警及时、保护动作可靠,有效避免了设备事故与人为误操作,机组可用率与运行效率得到提升。同时,完善的事件记录与数据统计功能为设备检修、经济运行分析提供了数据支撑,整体运维工作量与维护成本显著下降,经济效益与安全效益突出。

## 7 结论

本文设计的水电站现地控制单元(LCU)监控方案,采用分层分布式架构,以工业级 PLC 为核心,通过合理的硬件配置、模块化软件设计、多重冗余与抗干扰措施,构建了一套可靠性高、实时性强、扩展灵活、经济适用的现地监控系统。方案能够全面满足中小型水电站对机组、开关站、厂用电及闸门的监控需求,实现无人值守、少人维护目标,有效解决传统电站监控系统自动化程度低、故障率高、维护不便等问题,具有较强的工程推广价值。

未来研究可在现有方案基础上进一步融合物联网、大数据及人工智能技术,拓展设备状态智能诊断、能耗优化分析、云端集中监控等功能,提升系统智能化水平。同时可进一步优化冗余策略与通信架构,使其更好适应大型水电站、梯级电站群集中管控需求,为水利水电行业绿色低碳、安全高效、智能升级提供技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 许劲松.中小型水电站计算机监控系统设计[J].水电自动化与大坝监测,2020,44(03):56-59.
- [2] 王德宽,王桂平.水电站现地控制单元(LCU)国产化设计与应用[J].水电能源科学,2021,39(07):145-148.
- [3] 水力发电厂计算机监控系统设计规范 GB/T 50965-2014[S].北京:中国计划出版社,2014
- [4] 李刚.基于 PLC 的水电站机组 LCU 监控系统改造设计[J].水电站机电技术,2022,45(11):78-81.
- [5] 李雪强.抽水蓄能电站现地控制单元冗余设计与实现[J].电力自动化设备,2021,41(05):189-193.
- [6] 李聪.小型水电站 LCU 监控系统的设计与现场调试[J].水利科技与经济,2023,29(02):112-115.