

某大型水电站机组辅助设备信号采集装置的设计与应用研究

李博 饶刚 王之旺 刘少雄 陶聪

雅砻江流域水电开发有限公司，四川成都，610051；

摘要：为解决某水电站机组检修期间 LCU 断电导致顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力及油位等关键信号无法监视的问题，同时适配智能水电站建设对设备运行数据采集、传输与共享的需求，本文以某大型水电站 #1~#4 机组为研究对象，设计并应用了一套机组辅助设备信号采集装置。该装置采用硬接线采集与通信采集相结合的方式，实现了 4 台机组顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力及油位等参数信号的精准采集与可靠上送。文章详细阐述了采集装置的设计背景、硬件架构、采集原理、调试流程及应用效果，分析了装置在信号采集精度、通信稳定性、系统兼容性方面的技术特点，并验证了其在该水电站机组检修及日常运行监测中的实用价值。研究表明，该信号采集装置有效弥补了传统监控系统的短板，提升了该水电站辅助设备运行监测的智能化与可靠性，为同类水电站的设备升级与智能化改造提供了参考方案。

关键词：水电站；机组辅助设备；信号采集装置；数据传输

DOI：10.69979/3060-8767.26.04.002

1 装置设计背景与总体要求

1.1 设计背景

机组油压装置主要为支配操作继电器提供稳定、可靠的系统油压，顶盖排水控制系统主要负责控制机组导流锥内 3 台排水泵的启停，都是确保机组整体运行安全与稳定的重要辅助设备。在机组检修过程中，机组 LCU 断电导致相关机组顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力及油位等辅助设备关键信号失去监测手段，成为电站安全运行的隐患。此外，电站每月需对顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力、油位、泵启停次数及时间、补气次数及时间等信号进行状态分析，编制设备运行分析报告，相关数据只能在报表站上进行提取，比较耗费时间。

基于此，亟需设计一套专用的机组辅助设备信号采集装置，解决检修期间信号监测盲区以及提取月度分析数据问题，同时实现与电站现有监控系统的兼容对接。

1.2 总体设计要求

结合该大型水电站的实际运行需求和智能电站建设标准，机组辅助设备信号采集装置需满足以下核心要求^[6]：

采集全面性：可实现#1~#4 机组顶盖排水控制系统水位信号以及机组油压装置控制系统工作油罐、事故油罐的压力、油位信号的精准采集，同时兼顾回油箱油位、

油压装置控制系统总油量、油泵运行状态等相关信号。

采集方式适配性：针对不同设备的信号输出类型，支持硬接线模拟量采集和通信方式（网线、光缆）数字量采集，适配电站现有设备的信号接口。

传输可靠性：采集的信号可稳定上送至调速器智能综合信息管理柜内的辅助设备信号采集装置，并最终上传至电厂监控系统公用 LCU（厂前配电中心 9LCU），传输过程中抗干扰能力强、数据延迟低。

系统兼容性：与电厂现有计算机监控系统无缝对接，遵循电站网络规划和电力监控系统安全防护要求。

操作便捷性：装置调试、参数配置简单，运行过程中可实现数据的实时显示与异常反馈。

安全稳定性：满足水电站电气设备安装及运行的安全标准，可适应电站现场的工业环境，长期稳定运行。

2 装置硬件架构与采集原理

2.1 装置整体硬件架构

机组辅助设备信号采集装置集成于该大型水电站调速器智能综合信息管理柜内，整体硬件架构以信号采集模块、通信转换模块、数据处理模块为核心，配合隔离模块、光电转换器、交换机等辅助设备，实现信号的采集、转换、传输与交互。硬件组成及连接关系如下：

核心采集模块：负责模拟量、通信量信号的原始采集，其中模拟量采集模块适配 4-20mA 标准模拟信号，用于顶盖排水控制系统水位的采集；数字量通信采集模

块支持网线、光缆通信，用于油压装置控制系统多参数信号的采集。

隔离模块：在#1~#4机顶盖排水控制屏内加装1个一进二出隔离模块（7760054115 ACT20P-CI-2CO），实现顶盖排水控制系统水位模拟信号的隔离放大，防止信号干扰，保证采集精度。

通信转换模块：在#3、#4机油压装置控制系统控制屏内各新增1个光电转换器，实现电信号与光信号的相互转换，解决远距离光缆传输的信号适配问题。

网络交换模块：配置专用交换机，实现装置与油压装置控制系统控制屏、厂前配电中心LCU之间的网络通信，支持超六类屏蔽网线和光缆接入。

供电与防护模块：配备独立的24VDC直流电源为装置供电，同时装置所在信息柜设置完善的保护接地和工作接地铜母排，满足电站电气设备的接地防护要求。

装置的硬件安装遵循《电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》（GB50171）等国家标准，所有线缆敷设、接线均满足电站现场的安全技术要求，保证硬件系统的稳定性和安全性。

2.2 信号采集原理

根据采集信号的类型和设备接口差异，装置采用硬接线模拟量采集和通信方式数字量采集两种方式，分别实现顶盖排水控制系统水位和油压装置控制系统参数的采集，采集原理如下：

2.2.1 顶盖排水控制系统水位信号采集

顶盖排水控制系统水位信号为4-20mA模拟量信号，采用硬接线方式传输，具体流程为：

（1）每台机组顶盖排水系统配置有液位变送器，将实际水位高度转换为4-20mA标准模拟信号，其中4mA对应0mm水位，20mA对应2100mm水位。

（2）在顶盖排水控制屏内加装隔离模块，对液位变送器输出的模拟信号进行隔离和信号分配，一路保留至原控制屏，另一路送至机组辅助设备信号采集装置的AI采集通道。

（3）采集装置的AI采集模块将4-20mA模拟信号转换为0-10000码值，通过PLC程序进行标幺转换，还原为实际水位数值，完成信号的采集与处理。

2.2.2 油压装置控制系统信号采集

油压装置控制系统工作油罐、事故油罐的压力、油位等信号为模拟量信号，根据设备位置和通信条件，采

用网线和光缆两种通信方式采集，具体流程为^[7]：

（1）#1、#2机油压装置控制系统控制屏直接通过超六类屏蔽网线与信号采集装置的通信接口连接，将压力、油位等信号直接传输至采集装置。

（2）#3、#4机油压装置控制系统控制屏因传输距离较远，加装光电转换器，将电信号转换为光信号后，通过光缆传输至采集装置，采集装置侧再通过光电转换器将光信号还原为电信号，完成信号接收。

（3）采集装置通过PLC程序对接收的油压装置控制系统压力、油位等信号进行解析和标幺转换，提取工作油罐压力/油位、事故油罐压力/油位、回油箱油位、油压装置系统总油量、油泵运行状态等有效参数，完成信号的采集与处理。

2.3 信号传输流程

机组辅助设备信号采集装置采集的所有信号，按照“采集装置→厂前配电中心9LCU→电厂计算机监控系统”的流程进行传输，具体为：

（1）采集装置将处理后的顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力、油位等信号通过专用光缆与厂前配电中心9LCU连接，上传至电厂计算机监控系统。

（2）电厂计算机监控系统对接收的信号进行进一步处理，实现4台机组辅助设备信号的实时监视。

3 装置的安装与调试流程

3.1 安装前期准备

装置安装前需完成各项准备工作，确保施工顺利开展：

资料与工器具准备：准备施工方案、图纸、电缆清册、信号点表等技术资料，配备万用表、兆欧表、光纤熔接机、热风机、调试专用电脑等工器具，准备电缆、光缆、超六类屏蔽网线、地线等施工材料。

现场准备：将装有采集装置的盘柜安装在指定位置，完成现场工作区域布置，做好临时安全防护措施。

安全技术交底：办理工作票及动火票，对施工人员、厂家技术人员进行安全技术交底，明确施工风险点及管控措施。

3.2 硬件安装与布线

盘柜安装：将盘柜安装固定在指定位置，保证安装稳固、与其他盘柜水平对齐，完成柜内保护接地和工作接地接线，测试接地阻值满足要求（保护接地、工作接

地接入地网后阻值均 $<50\text{m}\Omega$)。

隔离模块与光电转换器安装:在#1~#4机顶盖排水控制屏内加装隔离模块,在#3、#4机油压装置控制系统控制屏内安装光电转换器,确保设备安装牢固、接线规范。

线缆敷设与接线:按电缆清册敷设顶盖排水控制系统水位采集的模拟量电缆、油压装置控制系统采集的网线/光缆、装置供电电缆等,做好电缆号牌绑扎、热缩套管防护,完成柜内线缆接线,确保接线牢固、回路编号清晰。

3.3 装置调试核心步骤

装置硬件安装完成后,需进行全面的调试与校验,确保信号采集精度、通信稳定性和系统兼容性,核心调试步骤如下:

3.3.1 上电前检查

拉开信息柜内所有电源开关,用万用表测量各开关进线、出线对地绝缘,确保绝缘良好;检查装置所有接线是否正确,接地是否可靠,光缆、网线通断是否正常,完成后填写上电前检查记录表。

3.3.2 AI 通道配置与精度校验

针对顶盖排水控制系统水位采集的AI通道,按照4-20mA对应0-2100mm水位的参数配置PLC程序;使用信号发生器在AI通道加入4mA、8mA、12mA、16mA、20mA五个标定点的模拟信号,检查PLC内部程序对应测点的显示值是否与理论值一致,确保采集精度。

3.3.3 通信配置与测试

配置采集装置CPU及NOP模块的IP地址,分别与4台机组油压装置控制系统PLC的1网、厂前配电中心9LCU的0网连接;临时断开装置与油压装置控制系统、9LCU的通信连接,避免IP冲突导致网络风暴,完成网络配置后恢复连接,测试通信通道是否畅通,数据传输是否正常;配置采集装置与9LCU的通信点表,明确信号上送的地址及量程信息,完成点位核对。

3.3.4 与厂前配电中心9LCU的联调

对9LCU的PLC程序进行修改,启用网络数据互取功能,配置通讯点数,新增与采集装置的通讯逻辑及通讯状态判断,将通讯故障点上送上位机报警;修改9LCU数据库,新增开关量、模拟量点位,对应采集装置上送的各辅助设备信号,更新监控系统画面;将修改后的数据库同步至电厂计算机监控系统的所有服务器

及操作员站,重启相关软件使配置生效。

3.3.5 信号全流程核对

完成装置与9LCU的联调后,对采集的所有信号进行全流程核对,分别记录现地控制系统示值、采集装置示值、监控系统示值,确保三者数值一致,信号传输无偏差。

4 装置的技术特点与应用效果

4.1 核心技术特点

4.1.1 多采集方式融合, 适配性强

装置结合水电站现场设备的实际情况,融合硬接线和通信方式采集,既适配了顶盖排水控制系统液位变送器的模拟信号输出,又满足了油压装置控制系统模拟量及开关量远距离传输需求,同时兼容网线、光缆两种通信介质,解决了不同机组、不同设备的信号采集适配问题,可灵活应用于不同规模的水电站改造项目^[8]。

4.1.2 信号隔离与抗干扰设计, 采集精度高

在顶盖排水控制系统水位信号采集回路中加装隔离模块,有效避免了现场电磁干扰对模拟信号的影响;油压装置控制系统信号采用超六类屏蔽网线和光缆传输,进一步提升了信号的抗干扰能力;同时装置配备完善的接地系统,保护接地和工作接地相互独立,减少了接地环流对采集模块的影响,确保了信号采集的精度和稳定性。

4.1.3 无缝对接现有系统, 实现信息共享

装置遵循电站现有网络规划和电力监控系统安全防护要求,通过标准化的通信协议和IP配置,实现了与电厂计算机监控系统的无缝对接,实现了电厂监控系统对辅助设备信号的实时监控,真正做到了信息共享。

4.1.4 完善的安全防护, 运行可靠性高

装置集成于专用的盘柜内,配备独立的供电回路和完善的绝缘、接地防护措施,满足水电站电气设备的安全运行标准;调试和运行过程中设置了通信状态判断、故障报警等功能,可及时发现并反馈通信中断、信号异常等问题,同时装置的硬件选型均为工业级产品,适应电站现场的高温、高湿、强电磁干扰等工业环境,保证了长期稳定运行。

4.1.5 模块化设计, 便于维护与扩展

装置采用模块化的硬件架构和PLC程序设计,信号采集、通信转换、数据处理等功能模块相互独立,便于现场的调试、维护和故障排查;同时装置预留了备用AI采集通道,可根据电站后续运行需求,灵活扩展采

集信号类型和数量,具备良好的扩展性。

4.2 实际应用效果

机组辅助设备信号采集装置在该大型水电站#1~#4机组调速器控制系统改造中成功应用,经现场调试和试运行验证,取得了良好的应用效果^[9]:

(1) 解决了检修期间信号监测盲区问题:在机组检修LCU断电期间,装置可通过独立的采集和传输通道,实现顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力油位等关键信号的不间断采集和上送,让运行人员实时掌握辅助设备状态,消除了检修期间的安全隐患,提升了电站检修作业的安全性。

(2) 提升了辅助设备监测的智能化水平:装置将分散的机组辅助设备信号进行集中采集和统一传输,实现了4台机组辅助设备信号的集中监视,同时采集的数据可用于设备月度分析,为顶盖排水控制系统、油压装置控制系统的故障分析、趋势分析提供了数据支撑,推动了电站辅助设备监测的智能化升级。

(3) 确保了信号采集与传输的可靠性:试运行期间,装置的信号采集精度满足预期设想,各信号采集误差较小,开关量信号传输无丢包、无延迟,装置整体通信状态稳定,未出现信号异常、元件故障等问题,有效保证了辅助设备监测数据的准确性和可靠性。

(4) 降低了电站的运维成本:装置与电站现有监控系统无缝对接,避免对现有系统进行大规模改造,减少了经济成本;同时装置高度契合实际需求的设计方式,降低了操作难度,提升了运维效率,减少了人力成本。

5 结论与展望

本文设计的机组辅助设备信号采集装置,针对该大型水电站机组检修期间信号监测盲区及提取数据偏繁琐的不足,以硬接线与通信采集相结合的方式,实现了4台机组顶盖排水控制系统水位、油压装置控制系统压力及油位等信号的精准采集、可靠传输与信息共享。通过现场安装调试,该装置满足水电站的实际运行需求,有效解决了检修期间的信号监测问题,提升了电站辅助设备运行监测的智能化和可靠性,为该大型水电站智能电站建设奠定了坚实的设备基础。

随着智能水电厂建设的不断深入,对机组辅助设备信号采集的实时性、智能化、大数据化提出了更高要求,未来可从以下方面对该信号采集装置进行优化和升级^[9]:

(1) 增加数据预处理与分析功能:在装置中增加

边缘计算模块,对采集的原始数据进行本地预处理和初步分析,实现设备运行状态的异常预警和故障诊断,提升装置的智能化水平。

(2) 构建一体化数据管理平台:将装置采集的辅助设备信号与机组调速器控制系统、水机保护系统、励磁系统等其他系统的数据进行融合,构建一体化的设备运行数据管理平台,为电站的全生命周期管理、优化运行提供更全面的大数据支撑。

未来,可将该装置的设计理念和应用经验推广至其他同类水电站的智能化改造项目中,结合不同电站的实际需求进行个性化优化,为智能水电厂的建设提供更多实用、可靠的技术方案。

参考文献

- [1] 国家能源局. DL/T1547-2021 智能水电厂技术导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 2021.
- [2] 住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. GB50171-2017 电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [3] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T36572-2018 电力监控系统网络安全防护导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [4] 水电水利规划设计总院. NB/T35076-2015 水力发电厂二次接线设计规范[S]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [5] 国家能源局. 防止电力生产事故的二十五项重点要求(2023版)[Z]. 2023.
- [6] 王玉林; 张民威; 张祥飞; 邓小刚; 万军. 基于多数据融合的水电机组全息监测系统[J]. 云南水力发电, 2024, 40(08): 149-152.
- [7] 朱力; 陈纳强; 石培; 周春; 李科; 代喜国. 大型水电站监控LCU与辅控设备通信探究[J]. 农村电工, 2019, 27(03): 45-46. DOI: 10.16642/j.cnki.ncdg.2019.03.048.
- [8] 赵呈跃. 大型水电站水轮机组状态监测与故障诊断技术研究[J]. 水上安全, 2025(05): 79-81.
- [9] 肖楚生. 水电站机电设备智能运维系统的关键技术与应用展望[J]. 小水电, 2025(04): 64-69.

作者简介: 李博(1990-), 男, 汉族, 河北沧州人, 大学本科, 高级工程师, 主要从事水电站检修工作。