电气二次设备在水电站自动化中的应用与优化

陶俊宏
贵州北源电力股份有限公司　贵州　遵义　563400

摘　要：随着水电站自动化水平持续提升，电气二次设备的运行性能与管控质量直接关系电站安全高效生产。本文围绕电气二次设备在水电站自动化中的应用与优化展开研究，阐述二次设备在监控、保护、控制调节及通信系统中的具体应用，分析设备兼容不足、可靠性偏低、运维管理不完善等现实问题，从设备选型配置、技术创新升级、运维体系优化、人员能力提升四个方面提出优化对策，旨在提升电气二次设备运行稳定性，改善水电站自动化管控水平，保障水电系统安全高效运行。

关键词：电气二次设备；水电站自动化；应用；优化

引言

水电作为清洁可再生能源，自动化系统是水电站安全高效运行的核心载体，电气二次设备承担监测、保护、调控与通信等关键任务，其性能直接决定电站自动化水平。伴随水电智能化改造持续推进，复杂现场工况下二次设备兼容、抗干扰、运维管理等问题逐步凸显。本文围绕电气二次设备在水电站自动化场景的应用展开研究，梳理设备应用场景与现实短板，提出对应的优化措施，为水电站自动化系统稳定运行提供参考。

1 电气二次设备在水电站自动化中的应用分析

1.1 水电站自动化对电气二次设备的需求

一是高可靠性需求，水电站现场运行条件复杂，多种环境因素会干扰电气设备工作状态。电气二次设备属于重要配套装置，若出现故障，将直接打乱电站运行流程，造成设备停机、工况异常，极端情况下诱发安全事件。因此设备需要拥有稳定工作能力，适应恶劣现场环境，能够长时间连续运行，从硬件层面减少故障风险，保障水电站持续安全生产。二是快速响应需求，水电站运行工况动态变化，切换操作较为频繁，要求电气二次设备实时采集系统运行信号，迅速执行监测、保护、控制与调节任务，准确执行各项操作指令，保障工况转换过程平稳，规避各类运行隐患。三是智能化需求，随着大数据、人工智能技术广泛落地，水电站自动化体系持续升级，对电气二次设备智能水平提出更高要求。具备智能能力的二次设备可自主开展状态监测、故障研判，辅助运行决策，提升电站管理效率，减少人力运维投入。四是兼容性需求，水电站自动化系统集成不同型号、不同厂商的二次设备，各类装置须具备良好互通能力，实现跨设备数据交互与信息共享，支撑整套监控平台协同运转。

1.2 电气二次设备在监控系统中的应用

（1）数据采集与传输：电气二次设备借助配套传感器持续采集电站设备工况与厂区环境参数，完成数据归集、处理与上传，将实时信息推送至监控中心，为系统分析、运行判断提供可靠数据基础，保障监控业务正常运转[1]。（2）状态监测与故障预警：设备可全天候监测水电站电气装置运行状态，结合监控系统的数据比对分析，及时识别运行异常，提前排查潜在故障，在故障恶化前发出预警信号，提示运维人员开展处置，防止故障扩大，降低设备损坏与运行风险。（3）远程监控与操作：依托可靠通信链路，电气二次设备搭建起监控中心和现场设备之间的交互通道，工作人员可在监控端查看设备实时状态并实施远程调控，减少现场值守人员，推动电站实现少人或无人值守模式，提升电气系统管理效率与智能化程度。

1.3 电气二次设备在保护系统中的应用

一是继电保护应用，继电保护装置是故障防护的核心设备，具备选择性、速动性、灵敏性与可靠性四大特性，可在水电站电气设备出现短路、过载等故障时，快速精准切除故障区域，有效遏制故障扩散，规避大面积设备损坏、停电等问题，保障整套水电设备的稳定运转。二是安全自动装置应用，这类装置包含备用电源自动投入、自动重合闸等核心设备，可实现供电系统自动化稳压运维。当工作电源出现故障断电时，备用电源装置可自动投运，保障供电不中断；线路发生瞬时故障跳闸后，自动重合闸装置可自主完成断路器合闸，快速恢复供电，提升供电稳定性。三是故障录波与数据分析应用，故障录波装置可全程采集、记录设备故障瞬间的各类电气量波形数据，工作人员通过分析录波数据，可精准判定故障位置、故障类型及核心诱因，为设备检修、

故障整改、日常运维优化提供精准的数据支撑。

1.4 电气二次设备在控制与调节系统中的应用

第一，实现机组自动化启停控制。电气二次设备可根据水电站实际运行工况，依托精准的智能控制程序，完成发电机组全自动启停操作。全程把控机组运行状态，缓冲启停阶段的设备负荷波动，规避瞬时冲击损耗，保障机组启停过程平稳、安全，有效延长设备使用寿命。第二，完成机组有功功率调节。该设备可实时对接电网负荷变化需求，通过精准调控水轮机导叶的开合角度，调整过机水流流量与动力输出，进而改变发电机组的有功功率输出，实现发电功率与电网负荷的精准匹配，保障电网供电平衡[2]。第三，稳定电网电压的无功功率调节。设备可实时监测电网电压、无功功率运行参数，通过自动调节发电机组励磁电流，改变机组无功功率输出，优化电网无功功率分配，有效抵消电网电压波动，持续维持电网电压稳定，保障电力系统平稳可靠运行。

1.5 电气二次设备在通信系统中的应用

电气二次设备是水电站通信系统的核心构件，依靠内外双向通信机制支撑电站自动化运行、远程调度以及电网协同管控，是保障电站高效稳定运行的重要基础。在内部通信方面，二次设备打通站内各类装置的数据传输链路，实现监测与控制设备之间的信息交互，构建一体化自动化监控体系。设备实时采集机组与电气设备工况数据，经由内部通信网络上传至监控中心，并接收、执行中心下发的调控指令，完成站内电气设备智能监测与自主管控，提升电站自动化能力。在外部通信方面，二次设备负责电站和上级调度、电力协作单位的数据交互。借助外部通信网络，向电网调度中心上传发电数据、设备状态、并网参数等信息，同时接收负荷调整、机组启停等调度指令，协调电站发电与电网供电，保障水电站与区域电网协同安全运行，维持电力系统可靠供电。

2 电气二次设备在水电站自动化应用中存在的问题

2.1 设备兼容性问题

水电站自动化系统往往集成多个厂商生产的电气二次装置，不同品牌产品的底层通信规约、数据编码格式不统一，造成装置间数据交互受阻，难以实现跨设备信息互通与数据共享，直接制约自动化系统整体协同运行能力。同时，水电站改造升级过程中还面临新旧设备兼容难题。随着自动化技术迭代更新，新增二次设备采用新一代通信标准与功能架构，原有老旧设备硬件与软件版本滞后，无法适配新设备的通信需求，难以对接新增功能模块。新旧装置之间存在数据传输断层，新增设备的监测、控制等功能无法完整落地，硬件资源与软件能力得不到充分释放，不仅降低自动化改造成效，还增加现场调试与运维难度。

2.2 设备可靠性问题

元器件品质差异会直接影响电气二次设备运行可靠性。部分设备选用的元器件性能指标偏低，在水电站现场长期运行时故障风险偏高。电容、电阻这类基础元件，在电站高温、高湿的特殊工况下极易发生老化失效，造成设备异常。与此同时，电气二次设备普遍面临较强的电磁干扰环境，电站高压一次设备产生的电磁辐射、雷电冲击等都会持续作用于二次回路。若设备电磁防护设计不足，抗干扰性能达不到现场要求，容易引发采样数据失真、控制指令误动作或丢失等现象。这类故障隐蔽性较强，不易提前排查，一旦发生会直接扰乱自动化控制系统工作状态，威胁水电站机组与电力系统的稳定、安全运行，增加现场运维压力与安全管控风险。

2.3 设备维护管理问题

电气二次设备运维工作对作业人员专业能力有着较高要求，当前部分水电站运维人员技术储备不足，对二次设备内部原理、硬件架构掌握不够透彻，在现场故障处置过程中难以快速识别故障根源并有效开展检修工作[3]。同时，不少水电站编制的设备维护方案缺乏科学性，运维周期与检修项目设置不符合设备实际运行工况，容易出现维护方案失衡现象。过度维护会造成人力、物资资源浪费，抬高整体运维成本；维护频次不足则会使设备潜在缺陷无法及时排查消除，长期积累形成安全隐患，降低设备运行稳定性，缩短设备服役年限。不合理的运维安排还会打乱自动化系统持续运行状态，提升电站安全管控压力，不利于二次设备长期稳定可靠运行。

3 电气二次设备在水电站自动化中的优化策略

3.1 设备选型与配置优化

为有效解决水电站自动化系统设备兼容差、配置不合理等问题，需从源头做好电气二次设备的选型与配置优化工作。在设备采购选型阶段，应摒弃随意选型的模式，优先筛选通信协议统一、适配性强、通用性高的优质设备。尽量优先选用同品牌、同系列的成套二次设备，若需搭配不同品牌设备，需提前核验设备的数据格式、通信标准，确保各设备之间能够顺畅实现数据交互与信息共享，从根本上规避设备兼容冲突问题，保障自动化系统稳定联动运行。同时，设备功能配置需遵循因地制宜、按需适配的原则，结合水电站装机规模、运行工况、自动化管控需求进行科学规划。严格规避设备功

能冗余、功能缺失等不合理配置问题，精准匹配电站实际运维需求。针对小型水电站运行模式简单、管控需求基础的特点，可适度简化监控、测控系统的冗余功能，精简设备配置；大中型水电站则按需配齐智能调控功能，以此全面提升设备利用率与性价比，有效控制电站设备采购与运维成本。

3.2 技术创新与升级

为助力电气二次设备行业高质量发展，满足电力系统智能化、安全稳定运行要求，行业需持续开展技术创新与性能迭代，围绕智能化改造、电磁抗扰优化两大方向提升设备整体运行能力。智能化升级上，企业应强化核心技术攻关，将人工智能、大数据、物联网等数字技术融入电气二次设备研发，打破传统设备被动监测、依赖人工运维的短板[4]。构建数字化监测体系，借助智能算法采集、解析设备工况与参数变化，提前识别潜在缺陷，完成故障预警、精准诊断和自动化处置，减少故障风险，提升运维智能化程度。抗干扰优化方面，针对现场复杂电磁环境，在设计与制造阶段采用新型屏蔽材料、高频滤波工艺，从源头抑制电磁干扰。同步搭建环境动态监测机制，持续管控温湿度、电磁强度等参数，改善设备运行条件，保障电气二次设备长期可靠运行。

3.3 维护管理优化

为提升电气二次设备运维质效，需搭建规范化、精细化的维护管理体系，制定科学合理的维护方案。结合电气二次设备运行特性与历史故障统计规律，摒弃传统定期检修模式，引入设备状态监测与预测性维护手段，依托实时采集的运行数据研判设备健康程度，按需确定检修时机与作业项目，做到按需运维、精准施策，有效减少不必要检修作业，提升运维工作效率，控制运维投入成本。同步完善运维人员能力建设机制，常态化开展专业技能培训。培训内容覆盖设备工作原理、内部构造、故障识别、异常处置等核心板块，夯实运维人员理论基础与实操能力，使其能够独立完成电气二次设备巡检、检修及故障排查工作。此外，搭建内部技术交流平台，鼓励运维人员分享现场处置经验，积极探索运维技术革新思路，持续优化运维管理流程，全面提升电气二次设备维护管理整体水平。

3.4 人员培训与素质提升

结合水电站自动化发展方向以及电气二次设备的技术特性，构建靶向化培训体系，开设针对性培训课程。培训内容兼顾实操与理论，除电气二次设备日常操作、检修维护相关实操技能外，同步覆盖自动化控制基础理论、通信技术等专业知识模块，拓宽运行人员知识边界，全面提升人员综合业务素养，使其适配电站自动化系统运维工作要求。配套搭建健全的激励管理制度，充分调动运行人员自主学习的主观能动性，引导人员主动钻研新技术、新工艺[5]。针对在设备性能优化、现场运行管理等工作中取得良好成效的人员予以相应表彰奖励，持续激发一线人员工作热情与创新潜力。通过培训赋能与正向激励相结合的方式，持续夯实电站人才队伍基础，为水电站自动化系统稳定运行与技术迭代提供可靠的人才保障。

结语

综上所述，水电能源的智能化升级离不开电气二次设备的支撑，二次设备的稳定运行直接关系水电站自动化系统的安全可靠。当前设备在兼容性、抗干扰能力与运维管理方面仍存在短板，制约电站自动化效能发挥。通过科学选型配置、推进技术迭代、优化运维体系、强化人才培养，能够改善设备运行状态，降低故障风险。相关优化思路可为水电站自动化改造提供参考，助力水电行业持续向着安全、智能、高效的方向发展。

参考文献

[1]刘一繁.水电站电气系统自动化调试技术应用分析[J].四川建材,2026,52(8):234-236.

[2]郑雨晨.水电站电气二次设备的技术改造对策[J].水利电力技术与应用,2024,6(1):30.

[3]董刘名.PLC技术在电气工程自动化控制及二次供水中的应用研究[J].大众科学,2025,46(2):28-30.

[4]欧阳兵.水电站电气二次设备安装与调试技术研究[J].通讯世界,2026,33(7):145-147.

[5]周奇.水电站电气二次设备智能化平台设计研究[J].仪器仪表用户,2025,32(7):101-103.