

# 水电站电气一次设备智能化技术探讨

梁 栋

四川金康电力发展有限公司 四川 甘孜 626000

**【摘要】**：水电站电气一次设备智能化是能源行业技术升级的核心方向之一，其核心在于通过智能化技术与设备深度融合，提升设备运行可靠性、运维效率及能源转换效能。智能化改造可实现设备状态的实时感知、精准诊断与自主调控，突破传统设备运行监控滞后、运维依赖人工的局限。本文从智能化技术应用基础出发，探讨设备智能化升级的关键路径、核心技术落地要点及实践中的核心问题，为水电站电气一次设备智能化发展提供技术方向参考。

**【关键词】**：水电站；电气一次设备；智能化技术；状态感知；运维优化

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.094

## 引言

水电站作为清洁能源供应体系的核心枢纽，其电气一次设备的运行状态直接关系到能源供应的稳定性与安全性。传统电气一次设备依赖人工巡检与定期维护，存在状态监测不及时、故障预警滞后、运维成本偏高的问题，难以适配新能源电力系统对高效、精准运维的需求。电气一次设备智能化改造通过整合感知技术、通信技术与控制技术，实现设备全生命周期的智能化管理，成为破解传统运维困境的有效途径。深入探讨水电站电气一次设备智能化技术的应用逻辑与实践路径，厘清技术应用中的关键要点与实施方向，对推动水电站智能化升级、强化清洁能源供应保障能力具有重要意义。

## 1 水电站电气一次设备智能化发展的核心问题剖析

### 1.1 传统设备与智能化技术的适配性不足问题

传统水电站电气一次设备服役周期较长，部分设备设计之初未预留智能化改造接口，导致智能化传感器、数据采集模块等新增部件难以与原有设备精准对接。部分老旧设备的机械结构与电气回路较为复杂，加装智能化装置可能破坏原有设备的稳定性，甚至引发新的运行风险。不同厂家生产的传统设备缺乏统一的技术规范，接口类型、通信协议存在差异，给智能化改造中的系统集成带来阻碍。智能化技术与传统设备的适配不仅涉及硬件层面的兼容，还包括软件层面的数据格式转换与逻辑协同，现有改造方案往往存在针对性不足的问题，难以充分发挥智能化技术的应用效能。

### 1.2 智能化设备状态感知的精准性保障问题

状态感知是电气一次设备智能化的基础，其精准性直接决定故障诊断与运行调控的有效性。水电站运行环境复杂，高温、高湿、强电磁干扰等因素会对感知设备的测量精度产生显著影响，导致传感器采集的电压、电流、温度等数据出现偏差。部分感知设备长期运行后易出现老化、漂移等问题，若缺乏有效的校准机制，会进一步降低状态感知的可靠性<sup>[1]</sup>。电气一次设备的运行状态具有动态变化的特点，不同工况下设备的正常参数范围存在差异，现有感知系统的参数阈值设定多基于固定标

准，难以适配复杂工况下的状态判断需求，导致误判、漏判等情况时有发生。

### 1.3 智能化系统数据传输的安全性与稳定性问题

智能化系统的正常运行依赖于设备状态数据的实时、稳定传输，而水电站多处于偏远地区，外部通信环境相对恶劣，给数据传输带来挑战。部分智能化改造采用的无线通信技术易受地形、气候等因素影响，存在信号中断、传输延迟等问题，无法满足设备实时监控对数据传输时效性的要求。数据传输过程中面临着信息泄露、恶意篡改等安全风险，智能化系统连接设备数量多、数据交互频繁，扩大了安全风险的传播范围。现有数据传输安全防护措施多集中于终端层面，缺乏全链路的安全保障机制，难以有效抵御网络攻击，给水电站的安全运行带来潜在威胁。

## 2 水电站电气一次设备智能化的核心技术支撑体系

### 2.1 设备状态感知技术的架构搭建与应用要点

设备状态感知技术采用分层架构设计，主要由感知层、传输层和处理层构成。感知层通过布设高精度传感器，对电气一次设备关键运行参数进行实时采集，并依据设备类型实施差异化配置，如在变压器中设置油中溶解气体与局部放电传感器，在断路器中配置机械特性与绝缘状态传感器。传输层采用有线与无线相结合的方式，将采集数据稳定、高效地传送至处理层，其中核心设备优先采用光纤通信，辅助设备可选用工业无线技术。处理层对数据进行滤波、降噪和建模分析，实现设备运行状态的初步识别，为故障诊断提供可靠依据。

### 2.2 智能化通信网络的层级设计与兼容适配

智能化通信网络采用层级化架构，主要包括设备级、厂站级和调度级通信。设备级通信用于实现传感器与智能控制模块之间的数据交互，通常采用工业以太网和现场总线技术，以满足短距离、高频率数据传输的实时性与可靠性要求。厂站级通信负责汇集站内各类电气一次设备的运行数据，构建统一的站内通信网络，实现数据共享、集中存储及本地分析与故障预警功能<sup>[2]</sup>。调度级通信通过广域网络实现水电站与上级调度中心

的信息交互，确保运行状态与控制指令的及时传输。为提升系统兼容性，应统一通信协议与数据格式，促进多厂家设备的互联互通。

### 2.3 智能控制模块的集成设计与协同运行机制

智能控制模块的集成设计以模块化理念为核心，将数据采集单元、逻辑处理单元、执行单元与通信单元整合为一体，实现对设备运行状态的实时监控与精准调控。模块设计需充分考虑水电站的运行环境，具备耐高温、抗潮湿、抗电磁干扰的性能，同时采用冗余设计提升模块运行的可靠性。在协同运行机制方面，智能控制模块不仅要实现单设备内部各单元的协同工作，还要与站内其他设备的智能模块、站控系统形成协同联动。通过构建分布式控制架构，各智能模块可自主完成基础的运行调控，同时接受站控系统的统一调度，实现设备个体与系统整体的协同优化，确保水电站电气一次设备运行的稳定性与高效性。

## 3 水电站电气一次设备智能化改造的实施路径

### 3.1 老旧设备的智能化升级改造方案设计

老旧设备的智能化升级改造需坚持“因地制宜、分步实施”的原则，首先对老旧设备进行全面的性能评估，明确设备的服役状态、改造可行性与升级价值。针对具备改造条件的设备，制定个性化的升级方案，优先加装高精度的状态感知传感器与智能监测模块，实现对设备关键运行参数的实时采集。对于设备控制系统的升级，需在不破坏原有设备核心结构与运行逻辑的前提下，引入智能控制单元，实现与原有控制系统的平滑对接。需对升级改造后的设备进行全面的调试与试运行，验证智能化功能的有效性与运行稳定性，及时优化改造方案中的不合理之处，确保升级改造后设备能够适配水电站的运行需求。

### 3.2 新建智能化设备的选型标准与部署规范

新建智能化设备的选型需围绕设备的智能化水平、可靠性、兼容性与经济性等核心指标展开，优先选择具备成熟智能化功能、符合行业标准的设备。选型过程中需重点关注设备的状态感知精度、数据通信协议的标准化程度以及与站控系统的兼容适配能力，避免因设备选型不当导致后续系统集成困难<sup>[3]</sup>。在部署规范方面，需根据水电站的整体布局与设备运行需求，科学规划设备的安装位置与安装方式，确保传感器能够精准采集设备运行数据，智能模块能够正常发挥调控功能。需严格按照相关技术规范进行设备的接线与调试，保障设备之间的通信链路畅通，确保新建智能化设备能够快速融入水电站的整体运行体系。

### 3.3 智能化改造过程中的系统协同调试策略

智能化改造过程中的系统协同调试需分阶段开展，首先进行单设备智能化模块的单体调试，验证单个设备的感知、控制与通信功能是否正常。单体调试合格后，开展设备间的协同调

试，重点测试不同设备智能模块之间的数据交互与联动控制效果，确保设备之间能够实现协同运行。随后进行站控系统及设备群的协同调试，验证站控系统对设备群的统一调度与管理能力，测试故障预警、应急响应等功能的有效性。在调试过程中，需建立完善的调试记录机制，对调试过程中发现的问题及时进行整改，同时对调试数据进行整理分析，优化系统的运行参数与控制逻辑，确保智能化改造完成后整个系统能够稳定、高效运行。

## 4 水电站电气一次设备智能化应用的效能提升策略

### 4.1 基于智能诊断的预防性运维体系构建

基于智能诊断的预防性运维体系以设备状态感知数据为核心，结合设备运行历史数据与故障案例，构建智能化故障诊断模型。通过对实时采集的设备运行数据进行深度分析，实现对设备潜在故障的早期识别与精准定位，提前预判故障发展趋势。基于诊断结果制定个性化的运维方案，将传统的定期维护转变为基于设备实际状态的按需维护，减少不必要的运维作业，降低运维成本。构建运维数据管理平台，整合运维过程中的各类数据，实现运维流程的标准化与规范化管理，提升运维作业的效率与质量，保障设备能够长期处于稳定的运行状态。

### 4.2 智能化数据驱动的设备运行优化方法

智能化数据驱动的设备运行优化方法以大数据分析技术为支撑，整合电气一次设备的实时运行数据、历史运行数据、环境数据等多维度数据，构建设备运行优化模型。通过对数据的深度挖掘与分析，识别设备运行过程中的低效运行状态，找出影响设备运行效率的关键因素<sup>[4]</sup>。基于分析结果制定针对性的运行优化策略，如调整设备的运行参数、优化设备的启停时序等，实现设备运行效率的提升。通过实时监测设备运行状态的变化，动态调整优化策略，确保优化效果的持续性，推动水电站电气一次设备运行向精准化、高效化方向发展。

### 4.3 跨系统数据融合的综合效能提升路径

跨系统数据融合的综合效能提升路径核心在于打破不同系统之间的数据壁垒，实现电气一次设备智能化系统与水电站其他系统的数据互通与融合共享。将电气一次设备的运行数据与水轮发电机组系统、调速系统、励磁系统等其他系统的数据进行融合分析，从整体层面把握水电站的运行状态。通过跨系统数据融合，能够更精准地识别影响水电站整体运行效能的关键因素，制定全局优化策略。基于融合数据构建水电站整体运行效能评估模型，实时评估水电站的运行效能，为水电站的运营管理提供全面、准确的决策依据，推动水电站整体运行效能的提升。

## 5 水电站电气一次设备智能化发展的保障机制构建

### 5.1 智能化技术应用的标准规范完善方向

智能化技术应用的标准规范完善需围绕设备研发、工程施工、运行维护等全生命周期环节展开,明确各环节的技术要求与质量标准。在设备研发层面,制定智能化电气一次设备的技术参数标准、接口标准与通信协议标准,推动设备的标准化生产与互联互通。在工程施工层面,完善智能化改造工程的施工规范与验收标准,明确施工流程、技术要点与质量控制要求,保障改造工程的质量。在运行维护层面,制定智能化设备的运行维护规范、数据管理标准与安全防护标准,规范运维作业流程,保障设备的安全稳定运行。加强行业内的标准协同,推动不同地区、不同企业之间标准的统一,为智能化技术的广泛应用提供保障。

### 5.2 技术研发与工程实践的协同推进模式

技术研发与工程实践的协同推进模式核心在于构建“研发-试验-应用-反馈-优化”的闭环机制,推动智能化技术与工程实践的深度融合。建立企业、科研机构与高校之间的协同研发平台,聚焦水电站电气一次设备智能化发展中的关键技术难题,开展针对性的研发攻关<sup>[5]</sup>。在研发过程中,充分结合水电站的实际运行需求,将工程实践中遇到的问题融入研发环节,确保研发成果具备良好的实用性与可操作性。选择典型水电站开展

智能化技术试点应用,及时总结试点过程中的经验与教训,为技术的优化完善提供实践依据,推动智能化技术的不断成熟与广泛推广。

### 5.3 智能化运维人才培养与技术传承体系

智能化运维人才培养与技术传承体系构建需结合智能化技术的发展需求,制定多元化的人才培养方案。通过高校专业设置优化、企业内部培训、行业交流等多种途径,培养具备电气设备专业知识、智能化技术知识与实践操作能力的复合型人才。在人才培养过程中,注重实践教学环节,搭建实训平台,让人才能够直接参与到智能化设备的安装、调试、运维等实际工作中,提升实践操作能力。建立技术传承机制,发挥行业内资深专家的传帮带作用,整理总结智能化技术应用的实践经验与技术成果,形成知识库与案例库,为人才培养与技术推广提供支撑,保障智能化技术的持续应用与发展。

## 6 结语

水电站电气一次设备智能化是提升设备运行安全性、可靠性与运维效率的重要途径。通过构建完善的状态感知体系、通信网络和智能控制机制,可有效实现设备运行状态的实时监测与精准管理。未来,应在标准体系建设、关键技术研发和工程实践推广等方面持续发力,推动智能化技术与水电站运行深度融合,为清洁能源的安全稳定供应提供有力支撑。

### 参考文献:

- [1] 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(07):101-103.
- [2] 谭军.基于深度学习的水电站电气一次设备故障检修系统[J].电气技术与经济,2025,(05):199-201+204.
- [3] 王毅伟.水电站电气一次设备故障检修与处理方法[J].大众用电,2024,39(05):54-55.
- [4] 黄羽,张勋,王俊.水电站常见电气一次设备故障检修与故障处理研究[J].机械工业标准化与质量,2023,(10):37-40.
- [5] 李昂.水电站常见电气一次设备故障检修与故障处理方法[J].水电与新能源,2023,37(04):75-78.