

电气自动化在水利水电工程中的应用分析

汤均裕

(英德市水利工程建设事务中心, 广东 英德 513000)

摘要 为明确水利水电工程中电气自动化的应用及优化策略, 本文概述了技术定义与发展历程及国内应用状况, 结合工程经验, 探讨了当前水利水电工程中电气自动化应用存在的问题, 并提出了提高系统集成度消除设备标准与协议不兼容障碍、强化技术可靠性应对极端环境干扰、优化人才储备解决复合型人才短缺等优化策略, 以期构建智能高效水利体系提供有益参考。

关键词 电气自动化; 水利水电工程; 系统集成度; 人才储备

中图分类号: TM76; TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.008

0 引言

水利水电工程承担着水资源调控、防洪减灾与清洁能源供应的使命, 是实现国家水安全与能源可持续发展的重要基础设施。此类工程通常规模宏大、系统复杂且地理环境特殊, 对运行的安全稳定性要求极高^[1]。当前, 随着工程规模扩大与功能需求提升, 传统运行管理模式在信息监测实时性、决策精准性及应急响应速度等方面愈发显得力不从心, 整体信息化与智能化水平亟待加强^[2]。当前, 电气自动化技术已实现控制技术、计算机科学和信息技术的融合, 呈现出向智能化、网络化、集成化方向发展的趋势^[3], 尤其在工业过程控制与管理优化中展现出极强的效果, 为破解水利水电工程长期存在的运行效率与管理精度瓶颈提供了强大的技术支撑^[4]。

基于此, 本文分析电气自动化技术在水利水电工程中的具体应用形态、集成路径, 探寻其提升工程运行效率、保障系统安全可靠、推动绿色低碳发展的实施路径, 可为构建智能高效的水利体系提供理论支撑。

1 电气自动化概述

1.1 电气自动化技术

电气自动化技术是一种基于电气工程、控制理论和计算机科学的综合性学科体系, 核心目标在于通过自动化手段实现机械设备的智能运行和管理, 从而提升工业系统的效率和可靠性^[5]。该技术结合了传感器、执行器、控制系统和人机界面等核心组件, 形成一套完整的自优化体系。电气自动化技术在功能设计上强调实时监测与反馈机制, 确保系统能在毫秒级响应内完成自我调节, 这种能力极大地降低了人为操作误差的风险, 同时信息技术的深度集成使自动化系统具备

数据分析和决策支持能力, 也进一步推动了生产过程的精细化控制^[6]。

1.2 电气自动化发展历程

电气自动化的发展历程可追溯至 19 世纪末的工业革命初期, 当时机械化的蒸汽动力系统奠定了自动控制的基础雏形, 电气驱动技术的发展标志着控制方式从纯机械向电信号转换的关键过渡阶段^[7]。

20 世纪中叶, 随着半导体和微处理器的出现, 电气自动化迎来首次重大飞跃, 可编程逻辑控制器 (PLC) 的诞生替代了继电器控制系统, 大幅提升了控制精度和灵活性。此后, 计算机技术的普及引发了分布式控制系统 (DCS) 的广泛应用, 实现了从局部控制到全局协调的跨越, 工业现场的实时数据采集与处理能力得到增强^[8]。

1980 年至 1990 年, 网络通信技术的引入使自动化系统逐步迈入联网时代, 各种协议如 Modbus 和 Profibus 的出现促进了设备间的互联互通。2000 年后, 互联网革命推动自动化向智能化演变, 嵌入式系统和人机界面的改进使设备具备自我学习和自适应能力^[9]。

国内改革开放后, 借鉴国际经验促进本土自动化产业起步, 但 21 世纪以来, 国家战略的深化推动了技术创新。总体来看, 电气自动化发展表现为一条连续的技术进化路径, 从初步机械化到高度智能化, 其未来趋势将持续以信息化和绿色化为导向。

1.3 当前国内电气自动化应用状况

当前, 电气自动化在国内的应用状况呈现出政策驱动与技术融合的发展格局, 国家层面制定了“中国制造 2025”和“互联网+”等一系列行动计划, 大力倡导自动化技术作为产业升级的工具。在工业领域,

目前自动化系统已广泛应用于制造业、能源和水利电力等行业，水利水电工程中如大型水电站的机组运行控制系统通过实时监测和优化调度模块提升发电效率^[10]。

应用深度方面的技术不仅覆盖设备监控层，还融合了人工智能算法，支持预测性维护和能源管理功能，实现了从被动响应向主动决策的转变。目前，国内在技术标准统一性方面依旧存在一定的问题，常见问题如行业间协议不兼容导致系统集成困难，高技能人才短缺制约了创新步伐，高校课程与实际需求脱节限制了复合型人才培养，初始投资成本高昂成为中小企业广泛采纳的障碍，部分企业面临技术升级资金缺口等，此类问题都会从不同程度上影响电气自动化应用效果。

2 水利水电工程中电气自动化技术应用存在的问题

2.1 系统集成度不足与兼容性挑战

水利水电工程在推进电气自动化技术落地过程中也面临大量问题，其中系统集成度不足以及由此衍生出的复杂兼容性问题是影响最深远且效果最直观的问题，这也制约了自动化系统应有的效能^[11]。已建或在建的大型水利枢纽工程因其建设周期漫长，不同时期的自动化设备采购自国内外众多供应商，这些设备往往基于互不兼容的技术标准与通信协议开发而成，导致设备间的数据交换与指令传输存在障碍。设备物理接口规范的不统一使得现场布线工程异常复杂且容易出错，不仅大幅延长了建设工期，更在后期维护阶段埋下了难以排查的隐性故障风险。在软件层面，水电站原有的监控系统、机组控制系统、闸门启闭管理系统等多个独立运行的软件平台难以通过统一的数据总线实现无缝整合，各个系统都成为事实上的信息孤岛。此外，在需要对老旧设备进行现代化升级改造时，由于原始技术文档缺失且供应商支持能力有限，新购置的先进自动化装置时常无法与原系统建立稳定连接，迫使工程管理人员不得不采取耗时费力的人工数据中转方式，这显然背离了自动化技术追求高效精准的目标，不仅阻碍了水情、机组状态、电网调度指令等关键运行参数的实时共享与智能分析，也削弱了水电工程整体调度决策水平。

2.2 技术可靠性与环境适应性缺陷

水利水电工程所处特殊的运行环境对电气自动化系统的可靠性与环境适应能力提出了极为严格的要求，但目前自动化设备在极端工况下的性能表现仍然存在一些隐患。水电站现场普遍具有高湿度、温度剧烈波动、强电磁干扰以及机械振动等问题，在此条件下常规工

业级自动化元器件很容易发生误动作，尤其是暴露在水轮机层或廊道中的传感器与执行机构故障率明显偏高。复杂的水文与地质条件使自动化控制系统时刻面临突发干扰风险，汛期强降雨引发的山洪可能瞬间改变电站进水口水流形态，若流量计与水位计抗冲击能力不足则会导致监测数据失真，触发控制系统错误调节指令。现有系统冗余机制设计不足的问题同样突出，机组调速装置或励磁控制器等控制单元通常采用单回路控制模式，在通信链路发生单点故障时容易引发整套机组非计划停运事故。部分偏远地区的大型水电站受到地理位置限制，自动化设备长期暴露于高海拔低温或盐雾腐蚀环境中，加速了电子元器件的老化进程，而定期专业维护又受制于交通条件难以保障，使得系统整体稳定性逐年下降，影响水电站发电效率与调峰能力的经济效益产出，更可能在极端条件下诱发保护系统误动或拒动，对电网安全稳定运行构成潜在威胁。

2.3 专业化人才储备与运维体系薄弱

现阶段，同时精通水利工程专业特性与电气自动化先进技术的复合型人才供给存在巨大缺口，基层水电站运维人员知识结构普遍偏向传统机械维护领域，对于变频控制、智能传感器网络等新技术缺乏系统性认知与实操能力，难以准确诊断日益复杂的控制系统故障。现有工程人员培训体系呈现出明显的碎片化特征，培训内容与现场设备更新迭代存在严重滞后性，导致新技术设备安装后常因操作失误而长期处于半闲置状态。同时，众多工程现场仍沿用早期设备分类管理模式，对高度集成的自动化系统未建立跨专业协作维修流程，当控制系统与机械部件出现耦合故障时易出现部门间责任推诿现象。当前，多数水电站虽配置了先进的数据采集与监控系统，但累积的海量运行参数因缺乏专业人才支撑，未能转化为设备状态评估与预防性维护决策的依据，不仅阻碍了现有自动化设备潜能挖掘，更使得新建系统的规划设计难以获得充分的本土化技术论证支持。

3 水利水电工程中电气自动化技术应用优化策略

3.1 提高系统集成度

水利水电工程自动化系统的集成化程度直接决定了资源调配效率，当前多数工程存在控制系统分散化的问题，安全监测、水轮机组调控、变电站管理等模块各自独立运行，导致数据传递延迟，也进一步致使决策被迫只能碎片化开展。深度集成需遵循“横向融合、纵向贯通”原则，横向打通水文监测、电力调度、设

备管理等业务系统边界,纵向构建从现场传感器到云端数据中心的数据通道。技术实施层面应优先采用 OPC UA、Modbus TCP 等工业通信协议建立统一数据规范,消除不同厂商设备间的传输壁垒。算法层的构造上需部署机器学习模型,通过对历史水文数据的训练实现降雨量预测与发电负荷的联动优化。

3.2 强化技术可靠性

自动化系统的可靠性是水利水电工程安全运行的基石,当前环境下,设备故障、网络攻击风险、软硬件兼容问题是系统运行的主要威胁。要解决这一问题,需从硬件冗余设计切入,对关键控制节点实施双环网架构部署,当主通信链路中断时毫秒级切换至备用光纤通道。在环境适应性方面应强化户外设备的防护等级,为坝体位移传感器加装防雷击浪涌保护器,将涡轮流量计的材质升级为耐腐蚀哈氏合金。软件系统设置时则需在控制层部署工业防火墙过滤异常指令,在监控层采用动态加密技术防止数据篡改,并定期开展渗透测试验证系统健壮性。针对高寒、高湿等极端工况的效率则需开发自适应温控算法,通过实时监测电路板温度自动调节散热风扇转速,避免电子元件因结露引发短路。同时应建立设备全生命周期健康档案,利用振动频谱分析、红外热成像等技术预判电机轴承磨损、绝缘老化等隐性故障,其关键在于设定多级预警阈值——当设备状态参数偏离基准值时发出检修提示,偏离严重时则可以自动启动备用机组,实体设备操作前还需进行全过程仿真验证,最大限度规避人为误操作风险。

3.3 优化人才储备

要实现技术高效高质量落地,关键在于复合型人才的支持。目前,相关工作人员自动化知识与水利专业知识割裂的现象屡见不鲜,针对此类问题,可以在传统课程模式的基础上,构建机电工程配合水文水利共同开展教育的双核心课程体系,推进复合型人才培养,并在教学实践中重点加强 PLC 编程与水力计算的交叉应用训练。可以开展高校合作,推动校企共建实验室,在仿真平台上还原水电站真实场景,使学生掌握水轮机调速系统 PID 参数整定与库容调度联动等实操技能。在对外合作的同时也需要开展高质量的企业内训,需建立阶梯式认证机制,初级工程师侧重设备维护标准化流程,高级人才则培养其故障诊断专家系统开发能力。在具体应用中,要设置专项基金支持人员学习智能传感、边缘计算等新兴技术,定期组织专

家解读水电自动化标准。水利工程结构庞大,涉及人员众多,而人员相互配合工作就必须要考虑团队协作内容,具体而言,需打破专业壁垒,要求电气工程师参与水文勘测作业,通过定期岗位轮等措施换促成知识融合。人力资源策略需建立动态能力评估模型,将设备故障率下降幅度、系统能效提升指数等量化指标纳入绩效考核,同时完善技术晋升通道,避免人才流失。

4 结束语

本文结合技术应用、发展历程及国内应用状况等内容概述电气自动化的内容及内涵,并结合工程经验,分析水利水电工程中存在的系统集成度不足、技术可靠性缺陷、人才储备薄弱等方面的问题,针对现存问题提出针对性的优化策略。后续电气自动化技术将持续以信息化、智能化和绿色化为导向,在水利水电工程中深化应用,重点克服技术壁垒、推动标准化建设和人才培养,实现可再生能源融合与全面智能化升级,为工程运行优化和绿色低碳发展创造广阔前景。

参考文献:

- [1] 廖宗迪. 水利水电工程中的电气安全保护措施[J]. 广西水利水电, 2025(03):106-108.
- [2] 尹磊磊. 水利泵站运行中电气自动化系统运用研究[J]. 新疆钢铁, 2025(02):237-239.
- [3] 李孟兰. 初探电气自动化技术在水利工程中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2024,52(07):96-99.
- [4] 王志朋. 水利工程电气节能设计问题与对策研究[J]. 科技资讯, 2024,22(09):186-188.
- [5] 王浩宇, 戴莹, 伏杰, 等. 水利工程电气设备故障自动检测方法设计[J]. 电工技术, 2024(06):103-105.
- [6] 刘飞. 水利水电工程中的电气节能设计分析[J]. 技术与市场, 2019,26(12):169,171.
- [7] 彭小江. 水利水电工程设计中的节能技术探究[J]. 居舍, 2019(33):96.
- [8] 陆生鲜. 水利水电工程中电气火灾与安全用电研究: 评《水安全与水利水电可持续发展》[J]. 人民长江, 2019,50(10):235.
- [9] 张小伟. 水电厂电控制设备的可靠性研究[J]. 工程技术研究, 2019,04(18):127,135.
- [10] 董鹏, 马亚峰, 种可, 等. 水利水电工程电气设计在泵站更新改造工程中的应用[J]. 地下水, 2019,41(05):276-278.
- [11] 马淑倩. 电气自动化在水利水电工程中的应用[J]. 智能城市, 2019,05(17):181-182.