

电气自动化在水利水电工程中的应用分析

万泽辉

乐山电力股份有限公司 四川 乐山 614000

摘要: 本文围绕电气自动化在水利水电工程中的应用展开分析, 阐述核心控制、智能感知、通信与数据等核心技术基础, 探讨其在水轮发电机组、闸门泵站、大坝监测及辅助系统中的典型应用场景。针对复杂环境适配、多系统集成、网络安全三大技术挑战, 提出针对性解决方案, 并展望数字孪生与人工智能的融合发展方向。研究表明, 电气自动化技术可显著提升水利水电工程运行效率、安全性与智能化水平, 为工程高效管控提供支撑, 对推动水利水电行业数字化转型具有重要现实意义。

关键词: 电气自动化; 水利水电工程; PLC控制

引言: 随着水利水电工程规模化、智能化发展, 电气自动化技术已成为提升工程运维质量与效益的核心支撑。传统水利水电工程依赖人工管控, 存在效率低、精度不足、安全隐患突出等问题, 难以适配现代工程的复杂需求。PLC、DCS等核心控制技术与智能感知、数据通信技术的融合应用, 为工程自动化升级提供了可能。本文结合工程实际, 系统分析电气自动化技术基础与应用场景, 剖析现存技术挑战并给出解决方案, 探索技术融合方向, 为水利水电工程自动化优化提供参考, 助力行业高质量发展。

1 电气自动化技术基础

1.1 核心控制技术

核心控制技术是电气自动化在水利水电工程中应用的核心支撑, 以PLC(可编程逻辑控制器)、DCS(分布式控制系统)为核心, 实现对水利水电设备的精准调控与高效运行管理。PLC凭借高可靠性、强抗干扰能力和灵活的编程特性, 可完成水轮发电机组启停、闸门开关等逻辑控制任务, 适配水利工程复杂的现场环境。DCS则通过分布式架构, 将控制功能分散至各现场控制单元, 同时实现集中监控, 确保多设备、多流程协同运转^[1]。另外, 变频调速控制技术作为核心分支, 能根据水流变化、负荷需求动态调节设备转速, 大幅降低能耗, 提升机组运行稳定性。该技术可精准响应水利工程负荷波动, 通过闭环控制实时修正运行参数, 有效避免设备启停冲击, 为水利水电工程自动化运行提供坚实的控制保障。

1.2 智能感知技术

智能感知技术是电气自动化系统获取水利水电工程运行数据的关键, 通过各类传感器、监测终端与数据采集模块, 实现对工程关键参数的实时捕捉、精准识别与高效传输。常用设备包括液位传感器、压力传感器、振

动传感器、温度传感器等, 可全面监测水流流量、水压、机组振动、设备温度等核心指标。借助物联网技术, 感知终端将采集到的模拟信号转化为数字信号, 经预处理后上传至控制中心, 为后续调控决策提供数据支撑。该技术具备高精度、实时性、抗干扰性强的特点, 能适应水利工程露天、潮湿、多电磁干扰的复杂环境。智能感知技术可实现异常数据预警, 通过阈值设定及时发现参数偏差, 避免设备故障扩大, 为水利水电工程自动化系统的稳定运行筑牢数据采集防线。

1.3 通信与数据技术

通信与数据技术为电气自动化系统搭建起高效的数据传输与处理桥梁, 是水利水电工程多设备、多系统协同运行的重要保障。在通信层面, 结合水利工程地域分散、跨度大的特点, 采用工业以太网、光纤通信、无线物联网等多种通信方式融合的方案, 确保感知数据、控制指令的稳定传输, 兼顾传输速率与抗干扰能力。在数据处理层面, 通过数据滤波、降噪、融合算法, 对海量采集数据进行提纯处理, 剔除无效信息, 保留核心数据。同时借助数据库技术实现数据的安全存储、分类管理与快速调取, 支持历史数据追溯与趋势分析。边缘计算技术的应用可实现数据就近处理, 降低传输延迟, 确保控制指令快速响应, 为水利水电工程自动化系统的实时调控提供高效的数据支撑。

2 水利水电工程典型应用场景

2.1 水轮发电机组自动化控制

水轮发电机组作为水利水电工程的核心设备, 其自动化控制水平直接决定工程发电效率与运行安全。该场景依托电气自动化技术, 实现机组从启动、并列、带负荷运行到停机的全流程无人值守控制。通过PLC与DCS系统协同, 实时监测机组转速、电压、电流、功率因数

等关键参数,自动完成转速调节、励磁控制与负荷分配。当机组出现转速异常、过电压、过电流等故障时,系统可快速触发保护机制,自动切断关联回路,避免设备损坏。结合变频调速与励磁调节技术,确保机组输出电能质量稳定,适配电网负荷变化需求。自动化系统可记录机组运行数据,生成运维报表,为设备定期检修、状态评估提供依据,大幅提升机组运行可靠性与发电效率,降低人工运维成本。

2.2 闸门与泵站自动化系统

闸门与泵站自动化系统在水利水电工程中扮演着至关重要的角色,是实现防洪、灌溉、供水等核心功能的关键支撑。借助先进的电气自动化技术,该系统能够精准调控闸门开度,确保泵站机组高效协同运行。闸门自动化控制主要依托智能感知与核心控制技术,通过在水域关键位置安装水位、流量监测设备,实时获取准确数据。依据这些数据,系统自动调节闸门开度,实现水资源的科学合理调度,既保障了防洪安全,又满足了用水需求。同时,系统具备灵活的手动、自动切换功能,在遇到异常情况时,工作人员可迅速将系统切换至手动模式,保障运行的安全性与灵活性。泵站自动化系统通过PLC精确控制机组启停和转速调节,结合液位传感器反馈的实时数据,自动适配供水量变化,优化机组运行工况,提高能源利用效率。此外,系统能够实时监测泵站设备的振动、温度、油压等关键参数,一旦发现异常,及时发出预警信号,提醒工作人员进行检修。通过联动控制,还能实现多泵站协同运转,确保供水、排水系统稳定高效运行,有效提升了水利工程水资源调控的智能化水平,为水利事业的可持续发展提供了有力保障。

2.3 大坝安全监测自动化

大坝安全监测自动化是保障水利水电工程安全稳定运行的坚固核心防线。通过运用先进的电气自动化技术,将多类监测设备进行有机整合,构建起一个全方位、实时性的大坝监测网络,能够精准捕捉大坝结构状态和运行参数的细微变化。监测内容丰富多样,涵盖了大坝沉降、位移、渗流、应力应变、温度等关键指标,这些指标对于评估大坝的安全状况至关重要^[2]。借助智能传感器、数据采集终端与通信系统的协同工作,监测数据能够实时、准确地上传至控制中心,为管理人员提供及时、全面的信息。系统采用先进的数据融合与分析算法,对海量的监测数据进行动态解读,能够准确区分正常波动与异常隐患。当监测数据超出预设的安全阈值时,系统会自动发出声光预警,并将预警信息迅速推送至运维终端,确保相关人员能够第一时间采取应对措施。与传统的依赖

人工巡检相比,自动化监测系统不仅规避了恶劣环境下人工监测的风险与误差,还能实现24小时不间断监测。

2.4 辅助系统自动化

水利水电工程辅助系统自动化是保障核心设备正常运行的重要支撑,涵盖冷却水系统、润滑系统、消防系统、排水系统等多个分支,通过电气自动化技术实现全流程智能化管控。冷却水与润滑系统通过温度、压力传感器实时监测介质参数,自动调节流量、压力,确保核心设备处于适宜运行温度与润滑状态,避免设备因过热、磨损故障停机。消防自动化系统依托烟雾、温度传感器,实时监测火灾隐患,一旦触发报警,自动启动灭火装置、切断相关电源,控制火势蔓延。排水系统则根据积水液位数据,自动启停排水泵,保持机房、廊道等区域干燥,防止设备受潮损坏。辅助系统自动化通过与核心控制系统联动,实现故障协同处置,减少人工干预,提升系统运维效率,为水利水电工程核心设备稳定运行提供全方位保障。

3 关键技术挑战与解决方案

3.1 复杂环境适应性难题

水利水电工程多建于偏远山区、河谷等区域,高温、高湿、强电磁干扰、温差剧烈等复杂环境,给电气自动化设备带来严峻挑战,易导致设备性能衰减、故障频发,影响系统稳定性。针对此难题,首先选用耐候性强的专用设备,采用防水、防潮、抗腐蚀、抗电磁干扰的结构设计,提升设备环境适配能力。其次,通过优化安装方案,为设备搭建防护棚、配备温控装置,规避极端环境影响。同时,引入状态监测与故障预测技术,实时监测设备运行状态,提前预判性能衰减趋势,针对性开展维护。另外,采用冗余设计,关键设备与线路双重备份,当单设备故障时,系统自动切换至备用设备,确保自动化系统持续运行,有效应对复杂环境对设备的不利影响。

3.2 多系统集成与数据互通障碍

水利水电工程自动化系统由控制、监测、通信、运维等多个子系统组成,各子系统常来自不同厂商,存在接口不统一、通信协议差异大、数据格式不一致等问题,导致系统间集成困难、数据无法高效互通,形成“信息孤岛”。解决方案主要包括三个方面:一是建立统一的数据标准与通信协议,规范数据格式、接口类型,实现各子系统数据兼容;二是引入中间件技术,搭建数据交换平台,对不同格式数据进行转换、整合,实现跨系统数据实时共享;三是采用分布式集成架构,在保留各子系统独立功能的基础上,构建统一的集中监控平台,实现多系统协同管控^[3]。通过数据校验与同步机制,确保跨系

统数据一致性,打破“信息孤岛”,提升自动化系统整体运行效率。

3.3 网络安全威胁

随着电气自动化系统与互联网、物联网深度融合,水利水电工程自动化系统面临网络攻击、病毒入侵、数据泄露等安全威胁,一旦遭受攻击,可能导致设备失控、数据篡改,甚至引发工程安全事故。针对该问题,需构建全方位网络安全防护体系。首先,采用分区隔离策略,将控制网与办公网、互联网物理隔离,限制外部访问权限。其次,部署防火墙、入侵检测与防御系统,实时监测网络流量,拦截恶意攻击与异常访问。加强数据安全防护,对敏感数据进行加密存储与传输,建立数据备份与恢复机制,防止数据丢失或篡改。另外,制定网络安全管理制度,定期开展安全巡检、漏洞修复与应急演练,提升运维人员安全防护能力,构建“技术防护+管理保障”的双重安全防线。

4 技术融合方向

4.1 数字孪生技术

数字孪生技术与电气自动化技术的融合,为水利水电工程智能化升级提供新路径,通过构建与物理工程完全映射的数字模型,实现工程全生命周期的可视化、可预测、可调控。依托电气自动化系统采集的实时运行数据,数字孪生模型可动态更新,精准复刻大坝、机组、闸门等设备的运行状态与结构变化。通过模拟不同工况、极端天气下的工程运行情况,可为调度决策、故障排查、维护计划制定提供科学依据,规避实际操作风险。同时,数字孪生技术可实现自动化控制指令的模拟仿真,验证指令可行性后再下发至物理设备,提升控制精准度。结合历史数据与实时数据,数字孪生模型可预测设备老化趋势、工程安全隐患,推动水利水电工程从“被动运维”向“主动预判”转型,大幅提升工程智能化水平。

4.2 人工智能应用

人工智能与电气自动化技术的深度融合,可赋能水

利水电工程自动化系统实现自主决策、智能优化。在设备运维方面,通过机器学习算法对自动化系统采集的设备运行数据进行分析,构建故障诊断模型,精准识别设备早期故障隐患,甚至预测故障发生时间,为预防性维护提供支撑,降低设备故障率。在调度优化方面,人工智能算法可结合水文、气象、电网负荷等多源数据,自动优化水轮发电机组负荷分配、闸门调度方案,实现水资源利用效率与发电效益最大化^[4]。在安全监测方面,借助计算机视觉、深度学习技术,对大坝、边坡等结构的监测图像进行智能分析,快速识别裂缝、渗漏等隐患,提升监测效率与准确性。人工智能的应用让电气自动化系统突破“被动控制”局限,具备自主学习与决策能力,推动水利水电工程向更高层次的智能化发展。

结束语

电气自动化技术在水利水电工程中的应用,是行业智能化转型的必然趋势,其通过技术赋能实现了工程运维的高效化、精准化与安全化。本文从技术基础、应用场景、挑战对策及融合方向展开的分析,明确了电气自动化技术的核心价值与发展路径。未来,需持续推进数字孪生、人工智能与电气自动化的深度融合,攻克现存技术瓶颈,完善技术应用体系。同时,依托成熟技术经验与实践成果,推动技术标准化、规范化发展,为水利水电工程高质量建设与运维提供更强支撑,助力行业实现绿色、高效、智能的发展目标。

参考文献

- [1]高晓明,唐国平,肖权,等.电气自动化在水利水电工程中的应用分析[J].仪器仪表用户,2025,32(2):57-59.
- [2]何福泰.电气自动化在水利水电工程中的应用浅谈[J].中国设备工程,2024(24):236-238.
- [3]薛祥斌.电气自动化在水利水电工程中的应用[J].电力设备管理,2022(10):150-152.
- [4]刘莹莹.电气自动化在水利水电工程中的运用[J].科技资讯,2023,21(5):47-50.