

电气工程自动化在机电设备中的集成应用研究

田宇 130102198802121511

摘要：本文系统综述了电气工程自动化在机电设备中的集成架构、关键技术与典型应用，分析了异构兼容、成本与安全等主要挑战，提出以 5G/TSN、边云协同、数字孪生与模块化标准化为路径的优化建议，为设备智能化升级与工程实践提供参考。

关键词：电气自动化;机电设备集成;分层架构;边云协同;数字孪生;5G/TSN;模块化;标准化;信息安全;预测性维护

一、引言

机电设备作为工业生产、工程建设与社会服务的核心载体，其运行效能直接决定了行业生产力水平与服务质量。当前，电气工程自动化与机电设备的集成程度已成为衡量设备智能化水平的核心指标，其应用研究对推动制造业升级、提升工程效率、降低资源消耗具有重要理论与实践意义。

二、电气工程自动化与机电设备的集成架构

（一）分层级集成体系构建

电气工程自动化与机电设备的集成形成了清晰的三级架构体系。底层为硬件集成层，以可编程逻辑控制器、伺服驱动器、高精度传感器与执行机构为核心，通过标准化接口实现电气元件与机械结构的物理互联，构建设备运行的物理基础；中间层为控制集成层，依托嵌入式控制系统、分布式控制单元与实时操作系统，实现对设备运行参数的动态采集、分析与调控，达成电气控制与机械动作的精准协同；上层为信息集成层，借助工业物联网平台、数据管理系统与远程监控软件，实现设备运行数据的全局共享、趋势分析与智能决策，支撑跨设备、跨场景的协同作业。三级架构通过工业以太网、OPCUA 等通信协议实现数据贯通，打破了传统机电设备的功能边界与信息孤岛。

（二）核心集成技术应用

在硬件集成层面，模块化设计成为关键支撑技术。通过将电气控制单元、动力驱动模块与传感检测组件进行标准化封装，实现与机电设备机械结构的即插即用式对接，大幅降低了集成难度与维护成本。在控制集成层面，闭环控制算法与自适应调节技术广泛应用，通过实时采集设备运行中的位置、速度、力矩等参数，动态优化控制策略，确保设备在复杂工况下的运行精度与稳定性。在信息集成层面，边缘计算与云计算协同技术有效解决了设备数据处理的实时性与全局性矛盾，边缘节点负责本地数据快速处理与即时响应，云端平台承担数据存储、深度分析与全局优化，形成高效的分级处理模式。

（三）集成应用的核心特征

电气工程自动化与机电设备的集成应用呈现出显著的系统性特征。其一，协同性，通过电气控制与机械动作的实时联动，实现设备功能的协同优化，提升整体运行效能；其二，智能化，依托嵌入式 AI 算法与大数据分析，设备具备故障自诊断、运行参数自优化与环境自适应能力；其三，模块化，标准化的集成接口与功能模块支持设备的快速重构与功能扩展，适应多场景应用需求；其四，安全性，通过安全继电器、冗余设计与故障隔离技术，构建电气与机械双重安全防护体系，保障设备运行与人身安全。这些特征共同构成了集成应用的核心价值基础。

三、电气工程自动化在机电设备中的核心应用场景

（一）运行控制的精准化升级

在设备运行控制领域，电气工程自动化技术实现了从开环控制向闭环精准控制的跨越。通过位移、压力、温度等多维度传感器实时采集设备运行数据，经信号调理与模数转换后，由控制器依据预设算法与动态反馈信息进行精准调控，使设备运行误差控制在微米级范围。变频调速技术与伺服控制技术的集成应用，实现了设备运行速度与负载的动态匹配，既满足了不同工况下的作业需求，又避免了无效能耗。

（二）状态监测与运维智能化

电气工程自动化技术为机电设备运维提供了全生命周期智能化解决方案。通过在设备关键部位部署振动、温度、电流等监测传感器，实时捕捉设备运行异常信号，结合故障诊断算法实现早期预警与精准定位。远程监控系统通过整合设备运行数据、历史故障记录与维护手册，为运维人员提供可视化操作界面与智能维护建议，实现跨地域、跨时间的远程运维管理。预测性维护技术的应用，基于设备运行数据趋势分析，提前预判潜在故障风险，将传统“事后维修”“定期维修”转变为“按需维修”，大幅降低了停机损失与维护成本。

四、集成应用面临的主要问题

（一）技术层面的适配难题

异构系统兼容性问题成为集成应用的核心瓶颈。不同厂商生产的电气元件与机电设备在接口标准、通信协议上存在差异，导致硬件对接与数据交互困难，影响集成效率与系统稳定性。核心技术对外依存度较高，部分高精度传感器、专用控制芯片与工业软件仍依赖进口，不仅增加了集成成本，还存在技术安全风险。此外，复杂工况下的环境适应性不足，高温、高湿、强电磁干扰等场景易导致传感器失效、控制信号失真，影响集成系统的运行可靠性。

（二）集成成本与标准化问题

集成应用的高成本制约了其广泛推广。硬件升级、软件开发与系统调试需要大量资金投入，中小企业受限于资金压力难以开展全面集成改造。行业标准化体系不完善，缺乏统一的接口规范、通信协议与安全标准，导致不同品牌、不同类型设备的集成难度增加，系统扩展性与可维护性降低。同时，技术更新迭代速度快，已集成设备的升级与兼容成本较高，部分企业面临“集成即落后”的困境，影响了集成应用的积极性。

五、集成应用的未来发展趋势

（一）技术融合深度升级

未来，电气工程自动化与机电设备的集成将朝着多技术融合方向演进。5G 超可靠低时延通信技术的应用，将实现设备间微秒级数据传输，支撑高动态、高精度的协同作业；数字孪生技术与集成系统的深度融合，通过构建设备虚拟映射模型，实现运行状态的实时模拟、故障预判与优化调试；轻量化工业大模型的嵌入，将赋予设备更强的自主决策能力，实现控制策略的自学习与自优化，推动集成系统从“被动响应”向“主动预判”转型。

（二）模块化与标准化发展

模块化集成将成为主流方向，通过构建标准化的功能模块与接口规范，实现电气元件与机电设备的快速对接与灵活组合，降低集成难度与成本。行业标准化进程将加速推进，统一的通信协议、接口标准与安全规范将逐步建立，打破异构系统的兼容壁垒，促进跨企业、跨行业的设备协同。同时，模块化设计将支持设备的个性化定制与功能扩展，满足多场景、多需求的应用诉求，提升集成系统的灵活性与适应性。

（三）绿色化与安全化强化

绿色低碳将成为集成应用的核心导向，通过优化能源管理算法、采用高效节能电气元件、融合可再生能源供电系统，进一步降低机电设备的能耗水平，实现全生命周期的绿色运行。安全防护体系将全面升级，通过 AI 安防算法、区块链技术与冗余设计，构建“主动防御-实时监测-快速响应”的全链条安全防护系统，保障设备运行与数据传输的安全性。

六、结论

电气工程自动化与机电设备的集成应用已成为推动设备智能化升级的核心路径，通过分层级架构构建、多技术深度融合，实现了设备运行控制精准化、运维管理智能化与能源利用高效化的显著提升。未来，需通过技术创新突破适配瓶颈，完善行业标准化体系，加强复合型人才培养，推动电气工程自动化与机电设备的深度集成，为制造业高质量发展、工程建设效率提升与社会服务升级提供坚实技术支撑。

参考文献

[1]魏小燕.人工智能技术在机电设备电气自动化控制中的应用研究[J].造纸装备及材料,2023,52(12):112-114.

[2]袁酉亮.PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用研究[J].软件,2019,40(12):97-99.

[3]刘心驰.浅谈电气工程及其自动化的发展现状与展望[J].玻璃,2014,41(06):17-19.