

电气自动化技术在机电工程中的应用现状与发展研究

田宇 130102198802121511

摘要：本文综述了电气自动化技术在机电工程中的应用现状、关键技术与核心优势，分析了互操作性、安全性与人才短缺等挑战，提出以 5G/TSN、边云协同、数字孪生与智能化为发展方向，并对标准化与国产化路径给出建议，为产业升级与工程实践提供参考。

关键词：电气自动化；机电工程；数字孪生；边云协同；5G/TSN；智能控制；系统集成；信息安全；标准化；人才培养

一、引言

机电工程作为现代工业的核心支柱，其技术升级与效率提升直接关系到产业竞争力的构建。电气自动化技术以多学科交叉融合为特征，通过整合电气工程、控制科学、计算机技术与通信技术，为机电工程提供了从感知、传输、决策到执行的全链条智能解决方案。当前，电气自动化已成为机电工程实现高效运行、安全保障与绿色发展的核心驱动力，其应用现状与发展趋势的研究对产业升级具有重要理论与实践价值。

二、电气自动化技术在机电工程中的应用现状

（一）技术体系的多维融合

电气自动化在机电工程中的应用已形成多层次、全领域的技术融合体系。底层硬件层以可编程逻辑控制器、变频驱动器、伺服电机及传感器阵列为核心，构建起机电系统的物理执行基础；中间控制层通过分布式控制系统、数据采集与监控系统及嵌入式实时操作系统，实现对设备运行的精准调控；上层信息层则依托制造执行系统、企业资源计划与工业云平台，完成生产流程的全局优化与智能决策。各层级通过工业以太网、时间敏感网络等通信架构实现数据贯通，形成“感知—传输—计算—决策—执行”的闭环控制链路，彻底突破了传统硬接线布控的空间局限与信号衰减问题。

（二）核心应用领域的技术渗透

在工业控制领域，电气自动化技术实现了从单一设备控制向全流程协同控制的跨越。通过高精度传感器网络实时采集电流、温度、压力、位移等运行参数，经信号调理与模数转换后，由边缘计算节点进行预处理，再通过标准化通信协议实现高速数据传输，支撑起毫秒级闭环调节。在能源管理方面，自动化系统通过有源电力滤波、无功功率动态补偿及负荷预测智能群控策略，显著提升了能源利用效率，降低了单位产值能耗。在安全保障领域，基于功能安全标准

的冗余设计、安全继电器与智能防撞系统构建起四维立体防护体系，实现了人员、设备、工艺与信息的全方位安全保障。

三、电气自动化技术应用的核心优势

（一）运行效率的显著提升

电气自动化技术通过流程优化与智能调控，实现了机电工程全生命周期效率的跃升。在设计阶段，借助建模仿真与数字样机验证缩短开发周期；部署阶段采用即插即用型智能模块与自动拓扑识别技术，降低现场调试工时；运维阶段通过预测性维护与远程监控，减少设备闲置时间；管理层面则通过系统深度集成实现全流程闭环管理，显著提升了生产效率与管理效能。这种全链条的效率优化，使智能产线的人均产值与传统生产线相比实现倍数增长。

（二）系统可靠性的全面增强

自动化系统的高可靠性体现在冗余设计、故障自诊断与快速响应等多个维度。通过分级分布式控制架构与安全回路设计，确保了系统在单点故障情况下的稳定运行；多源信息融合技术的应用，构建起覆盖各类故障模式的早期预警体系，大幅提升了平均故障间隔时间；毫秒级的故障响应与隔离机制，有效降低了故障扩大风险，保障了机电系统的连续稳定运行。同时，标准化的通信协议与接口设计，提升了异构设备的兼容性，进一步增强了系统的整体可靠性。

四、当前面临的主要挑战

（一）技术层面的瓶颈制约

异构系统互操作壁垒是当前面临的核心技术挑战，不同厂商设备的协议差异导致数据难以高效流通，影响了系统的整体协同效能。边缘侧 AI 算力受限制约了实时控制精度的进一步提升，在复杂场景下难以满足高实时性与高精度的控制需求。核心器件与工业软件的对外依存度较高，部分高精度传感器、功率半导体芯片及工业控制软件仍依赖进口，存在技术安全风险。此外，数字孪生模型的动态演化与虚实同步精度不足，影响了全生命周期管理的实际效果。

（二）安全与人才问题

OT/IT 融合带来的信息安全风险日益凸显，工业控制系统面临着网络攻击、数据泄露等安全威胁，而现有安全防护体系难以完全应对复杂的攻击手段。复合型人才结构性短缺问题突出，既掌握传统机电工程知识，又精通自动化控制、人工智能、网络安全等前沿技术的专业人才供给不足，制约了技术应用与创新发展。同时，现有人才培养体系与产业需求存在脱节，缺乏对新兴技术的系统性覆盖。

（三）标准化与成本问题

行业标准的不统一导致设备兼容性与系统扩展性受限，不同应用场景下的技术规范缺乏一致性，增加了系统集成与升级的难度。部分先进技术的应用成本较高，中小企业由于资金压力难以进行大规模技术改造，导致技术应用呈现不均衡态势。此外，技术更新迭代速度快，企业面临着持续的技术升级压力，如何平衡投入与产出成为重要考量。

五、未来发展趋势

（一）技术融合的深度演进

未来，电气自动化技术将朝着多技术深度融合的方向发展。5G 超可靠低时延通信与时间敏感网络的融合组网，将实现微秒级的实时控制，为柔性生产与黑灯工厂建设提供支撑；轻量化工业大模型在微控制器端的部署，将提升边缘设备的智能决策能力，推动控制算法的自适应优化；云边协同数字孪生体的动态演化技术，将实现虚实融合的全生命周期管理，进一步提升系统的运维效率与优化水平。同时，面向服务的自动化架构重构，将打破功能模块的边界限制，实现更灵活的系统配置与扩展。

（二）智能化与自主化水平提升

智能化将成为技术发展的核心主线，人工智能算法与自动化控制的深度融合，将推动机电系统从被动响应向主动预测、自主决策转型。自学习、自诊断、自修复的智能特性将进一步强化，系统能够根据运行环境的变化自动调整控制策略，实现全场景的自适应运行。自主化机器人与柔性生产线的协同作业技术将不断成熟，实现个性化定制生产的高效化与低成本化。此外，智能传感器的精度与可靠性将持续提升，为智能化控制提供更精准的数据支撑。

（三）标准化与安全体系完善

行业标准化进程将加速推进，统一的通信协议、接口规范与安全标准将逐步建立，打破异构系统的互操作壁垒。国产化替代将成为重要发展方向，核心器件、工业软件与控制系统的自主研发能力将不断提升，构建自主可控的技术体系。信息安全防护体系将向主动防御、智能防护方向发展，通过 AI 安防算法、区块链等技术，实现安全风险的实时监测与精准防控。同时，产教融合、校企合作将不断深化，构建适应产业需求的人才培养体系，缓解人才短缺问题。

六、结论

电气自动化技术在机电工程中的应用已取得显著成效，通过技术融合与创新，实现了运行效率、可靠性与绿色性的全面提升，成为产业升级的核心驱动力。当前，虽然面临着技术瓶颈、安全风险、人才短缺等多重挑战，但随着 5G、人工智能、数字孪生等新兴技术的持续渗

透，电气自动化技术将朝着更智能、更高效、更安全、更绿色的方向发展。未来，需通过技术创新突破瓶颈制约，完善标准化与安全体系，加强人才培养与产业协同，推动电气自动化技术与机电工程的深度融合，为制造业高质量发展与制造强国建设提供坚实支撑。

参考文献

[1]郭晓丽.电气及自动化在机电工程中的应用策略[J].江西电力职业技术学院学报,2021,34(10):9-10+15.

[2]白琳.机电工程自动化工程的应用与展望[J].集成电路应用,2021,38(10):291-293.DOI:10.19339/j.issn.1674-2583.2021.10.137.

[3]袁冬冬.机电一体化技术在现代工程机械中的发展运用[J].黑龙江科学,2018,9(09):46-47.