

电气自动化新技术在生产管理中的应用

曹 辉

中电科建设发展有限公司 河北 石家庄 050000

摘 要: 电气自动化技术正经历从传统集中式控制向智能化、网络化、数据驱动方向的深刻变革。以工业物联网、边缘计算、数字孪生、人工智能和大数据为代表的新技术集群,为生产管理提供了前所未有的感知深度、决策速度和调控精度。本文系统梳理了上述关键技术的基本原理及其在生产计划调度、设备运维管理、质量追溯控制、能源优化配置和安全管理等核心管理环节中的赋能逻辑,分析了新技术应用带来的管理范式转变,包括从经验驱动向数据驱动、从被动响应向主动预测、从静态优化向动态闭环的演进趋势。同时,本文正视了当前推广过程中面临的数据治理、标准兼容、组织适应性等现实挑战。研究表明,电气自动化新技术的深层价值不仅在于提升生产效率,更在于重构生产管理的认知框架与决策体系,为企业数字化转型提供坚实的技术底座。

关键词: 电气自动化; 生产管理; 工业物联网; 数字孪生; 人工智能

引言

生产管理作为企业运营的核心职能,其有效性直接决定了资源利用效率、产品质量水平和市场响应速度。传统生产管理高度依赖人工经验、静态制度流程和局部自动化设备,在面对多品种、小批量、强波动的现代制造环境时,逐渐暴露出响应迟缓、信息孤岛严重、决策依据碎片化等结构性缺陷。与此同时,电气自动化技术经历了从继电器逻辑到可编程控制器、从现场总线到工业以太网、从单机控制到系统集成的多次跃迁,目前已进入以“感知-连接-计算-执行”深度融合为特征的新阶段。近年来,工业物联网、边缘计算、数字孪生、人工智能等新技术在电气自动化领域的渗透,正在重塑生产管理的基本范式。这些技术并非简单的工具叠加,而是通过改变信息的获取方式、知识的生成路径和决策的执行机制,使生产管理从“管结果”转向“管过程”,从“事后补救”转向“事前预防”。然而,当前许多企业在引入新技术时仍存在“重硬件轻软件、重采集轻分析、重局部轻全局”的倾向,未能充分释放新技术的管理效能。因此,系统审视电气自动化新技术在生产管理各环节中的价值逻辑与应用路径,具有重要的理论意义和实践价值。

1 电气自动化新技术体系的核心特征

1.1 工业物联网与泛在感知

工业物联网通过部署各类智能传感器、射频识别装置和智能仪表,实现生产现场物理状态的实时采集与互联互通。与传统自动化中的点对点信号传输不同,工业物联网强调“万物互联”的架构理念,使得电压、电流、温度、振动、流量等电气参数不再孤立存在,而是

与设备状态、工艺参数、环境条件形成多维度数据关联。这种泛在感知能力为生产管理提供了前所未有的细粒度数据基础,使管理者能够“看见”生产过程的每一个微观环节。

1.2 边缘计算与实时决策

边缘计算将数据处理能力下沉至靠近数据源头的网络边缘,解决了传统云计算在工业场景中面临的高延迟、带宽不足和数据安全问题。在电气自动化系统中,边缘节点可实时执行数据清洗、特征提取、异常检测和本地控制逻辑,无需将所有原始数据上传至云端。这对于需要毫秒级响应的生产管理场景——如设备异常停机预警、电能质量波动调节——尤为关键^[1]。边缘计算使得“数据就地转化为决策”成为可能,极大压缩了从感知到行动的时间链路。

1.3 数字孪生与虚拟镜像

数字孪生技术通过构建物理生产系统的高保真虚拟模型,实现物理世界与信息世界的双向映射。在电气自动化领域,数字孪生不仅复现设备的几何外观和运动学特性,更关键的是模拟电气回路、能量流、信号传递等动态行为。借助数字孪生,生产管理者可以在虚拟空间中进行工艺参数调整、排产方案验证和故障模拟推演,从而“以虚控实”“以虚预实”,显著降低试错成本和管理风险。

1.4 人工智能与数据驱动认知

人工智能技术,尤其是机器学习、深度学习和强化学习,赋予了电气自动化系统从历史数据中提取规律、建立预测模型和自主优化决策的能力。在生产管理中,AI不再局限于图像识别或语音交互等辅助功能,而是

深度嵌入负荷预测、质量诊断、故障根因分析、自适应控制等高阶认知任务。与传统的基于规则的控制策略相比, AI能够处理高维非线性问题, 发现人类专家难以察觉的隐含关联, 从而为管理决策提供更丰富、更精准的知识支撑。

2 新技术在生产管理关键环节的应用路径

2.1 生产计划与动态调度

生产计划的核心难题在于如何在订单波动、设备状态、物料供应等多重约束下寻求最优排产方案。传统方法依靠经验公式和静态产能核算, 难以应对突发设备故障或紧急插单等扰动。引入基于工业物联网的实时设备状态监测后, 计划系统可以动态获取每台设备的可用性、加工速度和能耗效率, 从而生成“状态敏感型”生产计划。同时, 结合人工智能的预测性算法, 可对订单交付风险进行前瞻性评估, 自动生成备选调度方案。数字孪生则为计划人员提供了可视化推演平台, 在虚拟环境中模拟不同排产策略的产出效果, 辅助管理者在不确定性中做出更稳健的决策。

2.2 设备全生命周期运维管理

设备管理是生产管理的重要组成部分, 其目标从“保障设备不坏”逐步升级为“优化设备全生命周期的综合效益”。新技术的核心贡献在于将设备维护从定期的预防性检修转变为基于实际状态的预测性维护。通过在关键电气设备(如变压器、电动机、变频器)上部署振动、温度、局部放电等传感器, 结合边缘计算进行实时特征提取, 再利用机器学习模型对退化趋势进行拟合和外推, 可以提前若干时间点发出维护预警, 并给出建议的维护窗口期和备件清单^[2]。这一转变不仅减少了非计划停机时间, 还延长了设备有效寿命, 降低了过度维护带来的资源浪费。此外, 数字孪生模型可记录设备从出厂到报废的全部运行履历, 形成完整的数字资产, 为设备选型和更新换代提供数据支撑。

2.3 生产过程质量追溯与控制

质量管理的传统模式依赖末道检验和统计抽样, 存在滞后性和漏检风险。电气自动化新技术打通了从原材料进厂到成品出库的全链路数据采集通道, 将质量管控关口前移至每一道工序。借助高精度的电气参数监测(如焊接电流、加热温度曲线、电机扭矩波动), 系统可以实时评估工艺稳定性, 一旦发现参数偏离正常包络, 立即触发预警并自动执行补偿调节。更进一步的, 基于历史良品与不良品的数据对比, 人工智能可构建质量预测模型, 在加工过程中预判最终质量等级, 从而实现“边加工、边判定、边调整”。这种实时闭环质量追

溯机制, 大大缩短了质量问题从发生到被发现的时间差, 降低了废品率和返工成本。

2.4 能源管理与碳排放优化

随着“双碳”目标对制造业形成刚性约束, 能源管理已成为生产管理中不可或缺的维度。电气自动化新技术为能源精细化管理提供了技术抓手。通过智能电表、功率分析仪和能源管理平台, 企业可以实时监测每条产线、每台设备甚至每道工序的电力消耗、功率因数和负荷曲线。结合生产排程数据, 系统可识别出高耗能的瓶颈环节和非生产性空耗时段, 进而给出优化建议——例如调整高耗能工序的运行时段以利用峰谷电价、优化多台设备的启停顺序以避免峰值功率叠加。在更宏观的层面, 基于大数据分析的能源预测模型能够根据产量计划预估未来能耗总量和碳排放量, 为企业的碳配额管理和绿色生产决策提供量化依据。

2.5 安全生产与风险主动防控

安全生产是生产管理的底线要求。传统安全防护主要依靠物理隔离、警示标识和定期巡检, 对隐性风险(如电气线路老化、绝缘性能下降、接地异常)缺乏动态感知手段。电气自动化新技术将安全监控从“人防”转向“技防”。持续监测漏电流、绝缘电阻、温升速率等特征参量, 利用异常检测算法识别早期故障征兆, 可以在电气火灾或设备爆炸事故发生前数小时甚至数天发出警报^[3]。同时, 边缘计算节点可联动执行紧急停机或切换备用回路等保护动作, 将响应时间压缩至毫秒级。数字孪生还可用于模拟事故扩散路径和演练应急疏散方案, 提升安全管理的前瞻性和系统性。

3 新技术驱动下的生产管理范式转变

3.1 从经验驱动到数据驱动的决策机制

传统生产管理高度依赖管理者的个人经验、直觉和有限的报表数据, 决策质量容易受到认知偏差和信息不完整的影响。新技术通过构建覆盖全生产流程的实时数据网络, 使得每一项管理决策——无论是排产调整、维护计划还是工艺修改——都能获得量化数据的支撑。数据驱动的本质不是完全取代人的判断, 而是将隐性知识显性化、将定性分析定量化, 使管理者从“拍脑袋”转变为“看数据、析关联、定策略”。这种转变也促使企业建立更规范的数据治理体系, 确保数据的准确性、完整性和时效性。

3.2 从被动响应到主动预测的管理节奏

在旧有模式下, 生产管理往往扮演“救火队”角色——设备坏了才修、质量出了才查、能耗超了才管。新技术的预测性能力从根本上改变了这一节奏。通过趋

势分析、模式识别和剩余寿命预测,管理者能够提前获知未来可能发生的异常事件,并主动安排预防措施。这意味着管理工作的重心从“事后处置”前移至“事前规划”,管理的周期从“月/周”压缩到“日/小时”甚至实时^[4]。这种节奏的转变不仅提高了生产稳定性和资源利用率,也降低了管理者的应急压力,使团队能够将更多精力投入持续改进和创新活动。

3.3 从静态优化到动态闭环的调控模式

传统生产管理中的优化工作多是静态的、阶段性的——比如每年进行一次工艺参数标定,每季度修订一次排产规则。然而,实际生产工况处于持续变化之中,设备磨损、来料批次差异、环境温湿度波动等因素都会使原有的最优参数逐渐失效。新技术支持的动态闭环调控,通过“感知-分析-决策-执行”的循环链路,使优化行为实时跟随工况变化。例如,自适应控制算法可以根据实时负荷调整电机转速,智能排产系统根据设备健康状况动态调整任务分配。这种闭环模式将优化从“一次性项目”转变为“常态化机制”,使生产系统始终运行在动态最优区间。

4 实施挑战与应对策略

4.1 数据治理与信息孤岛问题

新技术应用的前提是高质量、高可用的数据环境。但许多企业的自动化系统历史积累深厚,不同时期、不同厂商的设备采用不同的通信协议和数据格式,导致数据互通困难。即便实现了物理连接,数据的语义一致性、时间戳对齐和采样频率匹配等问题仍然突出。应对策略包括:制定统一的数据采集标准和信息模型规范,采用OPCUA、MQTT等开放式通信协议,逐步建立企业级数据中台,实现多源数据的汇聚、清洗和融合。

4.2 技术选型与系统兼容性

电气自动化新技术迭代迅速,企业在选型时容易陷入“追新”误区,忽视与现有控制系统、管理信息系统(如MES、ERP)的集成可行性。不兼容的系统架构会导致“自动化岛”与“信息化岛”并存,新技术价值难以

释放。建议企业采用“模块化、可扩展”的引入原则,优先选择支持标准接口和开放API的技术方案,并做好整体的系统架构规划,避免零散式、割裂式部署。

4.3 组织能力和人才梯队适配

新技术的深度应用不仅需要技术人员的技能升级,更要求生产管理人员具备数据素养和跨界思维能力。现实中,懂电气自动化的人未必懂数据分析,懂管理的人未必理解技术边界,这种能力断层成为关键瓶颈。企业应通过内部培训、跨职能项目组和外部合作等方式,培养“技术+管理”复合型人才,同时调整组织架构,设立数据管理或智能制造推进部门,赋予其跨域协调的职权。

5 结语

电气自动化新技术并非孤立的技术升级,而是生产管理理念、方法和模式系统性重构的催化剂。本文从工业物联网、边缘计算、数字孪生和人工智能四项核心技术出发,系统分析了它们在生产计划、设备管理、质量管控、能源优化和安防防控等关键环节的具体应用逻辑,进而提炼出数据驱动决策、预测性管理和动态闭环调控三大范式转变,同时客观审视了数据治理、系统兼容、人才适配等现实障碍。研究表明,新技术的最大价值不在于“自动”本身,而在于“赋能”——赋予管理者更强的洞察力、更快的响应力和更精准的执行力。未来的生产管理将是技术理性与管理智慧的深度融合,唯有在技术落地的同时推动管理认知的同步革新,才能真正释放电气自动化新技术的全部潜能。

参考文献

- [1]刘建伟,张宏科.工业物联网环境下智能生产调度技术研究综述[J].电工技术学报,2023,38(12):3245-3258.
- [2]王飞跃,陈俊龙.数字孪生驱动的制造系统管理架构与关键技术[J].自动化学报,2022,48(7):1689-1705.
- [3]赵振东,李智.基于边缘计算的工业设备预测性维护方法[J].电气自动化,2024,46(2):1-7.
- [4]陈明,周祖德.人工智能在电能质量管理中的应用现状与展望[J].电力系统自动化,2023,47(19):78-89.