

电气自动化在工业生产线中的应用与优化

田 帅

内蒙古华能库布齐能源有限公司 内蒙古自治区 呼和浩特 010020

摘要: 本文围绕电气自动化在工业生产线中的应用与优化展开研究,阐述了电气自动化核心技术、组成及发展趋势,分析其在自动化装配线、智能物流仓储等场景的典型应用,最后提出系统架构、控制算法等多维度优化策略。结合工业大数据、AI等技术,探讨电气自动化如何提升生产效率、保障质量安全、降低能耗成本。因此,电气自动化技术的深度应用与科学优化是工业数字化转型的核心路径,可为企业提质增效提供支撑,契合双碳目标与工业4.0发展需求,具有重要实践价值。

关键词: 电气自动化; 工业生产线; 优化策略

引言: 随着工业4.0推进与双碳目标落地,工业生产线对自动化、智能化、绿色化的需求日益迫切,电气自动化技术成为转型升级的关键支撑。传统生产线人工依赖度高、效率低、管控精度不足,已难以适配现代工业发展节奏。电气自动化通过多技术融合实现生产全流程自主调控,在各行业应用广泛。本文基于现有研究成果,系统梳理电气自动化技术基础,分析典型应用场景,探索优化策略,为工业企业依托电气自动化技术提升核心竞争力、实现高质量发展提供参考。

1 电气自动化技术基础

1.1 核心技术与组成

电气自动化技术的核心是通过电气设备、控制系统与信息技术的融合,实现工业生产的自主运行与精准调控,其组成体系兼具系统性与专业性。核心技术涵盖电力电子技术、电机拖动技术、自动控制技术及工业通信技术四大板块,电力电子技术为设备提供稳定高效的电能转换,电机拖动技术保障执行机构的动力输出,自动控制技术通过PLC、单片机等核心部件实现逻辑运算与指令下发,工业通信技术则构建起设备间的数据交互桥梁^[1]。系统组成主要包括控制层、执行层与感知层,控制层以PLC、DCS系统为核心,负责数据处理与控制指令生成;执行层由变频器、伺服电机、电磁阀等设备构成,执行控制层下达的操作指令;感知层通过传感器、编码器等器件采集温度、压力、位置等生产数据,为控制决策提供依据。各部分协同运作,打破传统人工操作的局限,实现生产过程的自动化、精准化管控,是现代工业生产的核心支撑。

1.2 关键技术趋势

当前电气自动化技术正朝着智能化、集成化、网络化与绿色化方向快速迭代,呈现出多技术融合发展的鲜

明趋势。智能化方面,AI与机器学习技术与自动化系统深度融合,实现设备故障预判、自适应调节等功能,摆脱传统固定程序控制的束缚,提升系统自主决策能力。集成化趋势凸显为软硬件的高度整合,控制系统与工业软件、物联网平台无缝对接,打破设备与系统间的信息孤岛,实现全流程数据贯通。网络化层面,5G、工业以太网技术的应用,推动分布式控制向远程集中管控升级,支持跨地域、跨车间的协同生产,大幅提升生产调度效率。绿色化则聚焦能效提升,通过优化电能转换技术、采用节能型电气设备,降低生产过程中的能耗与污染物排放,契合双碳目标下的工业发展需求。同时边缘计算技术的普及,实现数据就近处理,减少传输延迟,为高实时性生产场景提供保障,推动电气自动化技术在各工业领域的深度应用。

2 电气自动化在工业生产线中的典型应用

2.1 自动化装配线

自动化装配线是电气自动化技术在离散制造业中的核心应用场景,广泛适用于汽车、电子、机械等行业,通过标准化、自动化的操作流程,大幅提升装配效率与产品一致性。整条装配线以PLC为控制核心,搭配伺服系统、机器人、传送带及专用工装夹具,实现零部件的自动上料、定位、装配、紧固、检测等全流程作业。例如在汽车零部件装配中,自动化系统可精准控制机器人完成发动机缸体与活塞的装配,通过传感器实时检测装配精度,若出现偏差立即触发调整指令,避免不合格产品流出。相较于传统人工装配,自动化装配线不仅将生产效率提升3-5倍,还能有效降低人工操作误差,使产品合格率稳定在99%以上。同时,系统支持柔性化生产,通过修改控制程序即可适配不同规格产品的装配需求,无需大规模改造设备,满足现代工业多品种、小批量的生产

需求,为企业降低生产成本、提升市场竞争力提供有力支撑。

2.2 智能物流与仓储

电气自动化技术为智能物流与仓储系统提供核心动力,实现物料存储、搬运、分拣、配送的全流程自动化管控,大幅提升物流效率与仓储空间利用率。在仓储环节,自动化立体仓库通过PLC控制系统联动堆垛机、传送带、货架等设备,实现物料的自动出入库、分类存储与库存盘点,无需人工干预即可完成物流流转,仓储空间利用率较传统仓库提升2-3倍。在物流搬运环节,AGV小车通过激光导航、视觉导航技术,自主规划行驶路径,完成车间内物料的点对点运输,搭配RFID射频识别技术,可实时追踪物料位置与状态。分拣环节,自动化分拣设备通过传感器识别物料规格、型号,快速完成物料分类与分流,分拣效率可达每秒2-3件,且误差率极低。

2.3 过程控制与质量检测

在化工、食品、冶金等连续生产行业,电气自动化技术在过程控制与质量检测中发挥着关键作用,确保生产过程稳定可控、产品质量达标。过程控制方面,通过DCS分布式控制系统、PID控制算法,对生产过程中的温度、压力、流量、浓度等关键参数进行实时采集与精准调控,使参数始终维持在设定范围内,避免因参数波动导致生产事故或产品质量问题^[2]。质量检测环节,融合机器视觉、无损检测等技术,实现产品质量的自动化、非接触式检测。机器视觉系统通过高清摄像头捕捉产品图像,经图像处理算法分析产品外观、尺寸、瑕疵等指标,快速区分合格与不合格产品;无损检测技术则可穿透产品表层,检测内部缺陷,不损伤产品性能。该应用不仅替代了传统人工检测,提升了检测效率与准确性,还能实现质量数据的实时记录与追溯,为生产优化提供数据支撑。

2.4 能源管理与优化

电气自动化技术在工业生产线能源管理与优化中,通过精准监测、智能调控,实现能源高效利用与能耗降低,契合工业绿色低碳发展理念。系统以能源管理平台为核心,搭配智能电表、水表、燃气表、能耗传感器等设备,实时采集生产线各环节的电能、水资源、燃气等能源消耗数据,通过数据分析模型挖掘能耗痛点,生成能耗统计报表与优化建议。在电能优化方面,通过变频器调节电机转速,根据生产负荷动态调整输出功率,避免电机空转或满负荷运行造成的能耗浪费;同时,优化无功补偿装置,提升电能利用率,降低电网损耗。在能源调度方面,系统可根据生产计划与能源供应情况,智能调配各设

备的能源使用优先级,平衡能源供需关系。另外,系统还能对能源消耗异常情况实时报警,及时排查设备故障或违规用能问题。

2.5 安全与应急系统

电气自动化安全与应急系统是工业生产线稳定运行的重要保障,通过自动化监测、预警与处置机制,防范电气事故、设备故障等安全风险,最大限度降低损失。系统主要由安全监测模块、预警模块、应急处置模块组成,安全监测模块通过漏电保护器、温度传感器、烟雾报警器、红外探测器等设备,实时监测电气设备运行状态、车间环境安全及人员操作规范,及时捕捉漏电、过载、火灾、人员误入危险区域等安全隐患。预警模块在检测到隐患后,立即通过声光报警、系统弹窗等方式发出预警信号,并同步将信息推送至管理人员终端。应急处置模块则根据隐患类型自动启动对应预案,如发生漏电时自动切断电源,发生火灾时联动消防喷淋设备,设备故障时触发紧急停机程序,避免事故扩大。同时,系统可记录安全事件与应急处置过程,为后续安全隐患排查、应急预案优化提供数据支持,构建起全方位、立体化的安全防护体系,保障生产人员生命安全与设备财产安全。

3 工业生产线电气自动化系统的优化策略

3.1 系统架构优化

工业生产线电气自动化系统架构优化的核心的是重构控制层级、简化冗余环节、提升系统兼容性与扩展性,适配现代工业柔性生产与智能化升级需求。传统架构多采用层级繁琐的集中式控制模式,响应速度慢、容错能力弱,优化后多转向“分布式控制+集中管控”的混合架构,将控制权限适度下放至现场终端,减少核心控制器的负载,提升系统响应速度与故障冗余能力^[3]。同时,淘汰老旧、兼容性差的硬件设备,选用标准化、模块化的PLC、传感器、通信模块,降低设备对接难度与维护成本。在软件层面,优化系统通信协议,采用Profinet、EtherNet/IP等通用工业以太网协议,实现控制层、执行层、感知层及管理层的无缝交互。预留架构扩展接口,支持新增设备、功能模块的灵活接入,满足企业后续生产线扩容、技术升级的需求。通过架构优化,可使系统运行稳定性提升30%以上,故障排查时间缩短50%,大幅提升生产连续性。

3.2 控制算法优化

控制算法是电气自动化系统精准调控的核心,优化控制算法可提升系统控制精度、响应速度与稳定性,适配复杂工业生产场景的管控需求。传统控制算法多采用

PID算法,在非线性、大滞后、多变量耦合的生产场景中,控制精度与适应性不足,优化过程中需结合生产场景特性,引入改进型算法与智能算法。在多设备协同控制场景中,采用模型预测控制算法,通过建立生产过程数学模型,预判参数变化趋势,提前优化控制指令,避免参数波动过大。同时,针对特定生产环节的需求,优化算法逻辑,简化冗余运算,提升算法运行效率,减少控制延迟。控制算法优化后,可使生产参数控制精度提升至 $\pm 0.1\%$,设备运行稳定性显著增强,有效降低因控制偏差导致的产品质量问题与设备损耗。

3.3 数据驱动优化方法

数据驱动的优化方法以工业大数据技术为核心,通过对生产线电气自动化系统产生的海量数据进行采集、分析、挖掘,为系统优化提供精准决策依据,实现从“经验优化”向“数据优化”的转变。首先,构建全流程数据采集体系,扩大数据采集范围,涵盖设备运行数据、生产工艺数据、质量检测数据、能耗数据等,确保数据的完整性与实时性。其次,搭建数据处理平台,采用云计算、边缘计算技术,对采集的数据进行清洗、筛选、整合,剔除无效数据,提升数据质量;通过大数据分析模型与机器学习算法,挖掘数据背后的关联规律,识别系统运行瓶颈、设备潜在故障、工艺优化空间。例如,通过分析设备运行参数与故障记录,建立故障预判模型,提前预警设备故障,避免非计划停机;通过分析工艺参数与产品质量数据,优化工艺参数组合,提升产品合格率。基于数据反馈动态调整优化策略,形成“数据采集-分析-优化-反馈”的闭环体系,持续提升系统运行效率与生产效益。

3.4 能效与成本优化

能效与成本优化是工业生产线电气自动化系统优化的核心目标之一,通过技术手段降低能源消耗、减少设备损耗、优化资源配置,实现经济效益最大化。能效优化方面,除了采用变频调速、无功补偿等技术降低电能消

耗,还可通过优化生产调度,合理安排设备运行时间,避免设备空转、满负荷冲击运行;引入新能源供电模块,如光伏、储能设备,替代部分传统电网供电,降低用电成本。成本优化方面,通过设备状态监测与预判性维护,提前排查设备潜在故障,减少非计划停机损失与维修成本,延长设备使用寿命;优化物料配比与生产工艺,减少物料浪费,提升资源利用率^[4]。建立能效与成本核算体系,实时统计各环节能耗、物料消耗、设备维护等成本数据,通过数据分析识别成本管控痛点,制定针对性优化措施。淘汰高能耗、高损耗的老旧设备,替换为节能型、高效型设备,虽然初期投入增加,但长期可显著降低运行成本。通过多维度优化,可实现生产线综合成本降低15%~25%,能效提升10%~20%,提升企业核心竞争力。

结束语

电气自动化技术为工业生产线注入强劲动力,其应用与优化是工业领域持续探索的重要课题。本文从技术基础、典型应用到优化策略的研究,展现了该技术在提质增效、绿色节能等方面的核心价值。未来,需进一步推动电气自动化与新兴技术深度融合,突破技术瓶颈。企业应结合自身需求落地优化方案,强化技术应用与人才培养。相信随着技术迭代,电气自动化将助力工业生产线实现更高效、智能、低碳的发展,赋能制造业高质量转型。

参考文献

- [1]朱林福.电气自动化在工业生产线上优化[J].中国科技信息,2025(6):66-68.
- [2]陈刚,孙涛.工业生产线电气自动化系统节能运行与优化研究[J].电气与能效管理技术,2022,44(2):68-73.
- [3]郑志海.工业4.0背景下电气自动化与机电一体化的融合应用[J].大众标准化,2025,(10):175-177.
- [4]金锋.工业生产线的数字化转型自动化流程优化与信息化集成[J].中国新通信,2023,25(24):27-29+32.