

电气工程及其自动化技术在智能制造车间设备协同控制中的应用探索

王粟伟 闫好闯 范远彪
浙江三花智能控制股份有限公司
DOI:10.12238/etd.v6i10.17161

[摘要] 电气工程及其自动化技术融合多领域知识,为工业自动化提供核心支撑,在智能制造车间设备协同控制中作用关键。本文先概述该技术,分析智能制造车间设备协同控制的需求与挑战,构建协同控制模型与关键指标体系。接着设计基于该技术的协同控制系统,包括总体架构、核心功能模块及实现的关键技术突破。研究成果有助于推动工业生产向柔性化、智能化转型,提升生产效率与稳定性。

[关键词] 电气工程及其自动化; 智能制造车间; 设备协同控制

中图分类号: TM76 文献标识码: A

Exploration of the Application of Electrical Engineering and Automation Technology in Equipment Collaborative Control in Smart Manufacturing Workshops

Suwei Wang Haochuang Yan Yuanbiao Fan
Zhejiang Sanhua Intelligent Control Co., Ltd.

[Abstract] Electrical engineering and automation technology, integrating multidisciplinary knowledge, provides core support for industrial automation and plays a key role in the collaborative control of equipment in smart manufacturing workshops. This paper first outlines this technology, analyzes the demands and challenges of equipment collaborative control in smart manufacturing workshops, and constructs a collaborative control model along with key indicator systems. Subsequently, a collaborative control system based on this technology is designed, including the overall architecture, core functional modules, and key technological breakthroughs achieved. The research findings contribute to promoting the transformation of industrial production toward flexibility and intelligence, enhancing production efficiency and stability.

[Key words] Electrical Engineering and Automation; Smart Manufacturing Workshop; Equipment Collaborative Control

引言

在工业4.0时代,智能制造成为制造业发展主流趋势,车间设备协同控制是关键环节。电气工程及其自动化技术作为工业自动化基石,融合多领域知识,为设备协同控制提供技术支撑。传统控制技术在应对智能制造车间复杂协同需求时存在局限,研究基于电气工程及其自动化的设备协同控制,对提升生产效率、保障生产连续性、推动工业智能化转型具有重要意义。

1 电气工程及其自动化技术概述

电气工程及其自动化技术是融合电力系统、控制理论、计算机技术等多领域的综合性技术,为工业生产自动化提供核心支撑。该技术以电路分析、电机与拖动、自动控制原理为理论基础,通过传感器采集现场数据,经控制器进行信号处理与逻辑

运算,驱动执行机构实现生产过程精准调控。在工业领域,其应用已从传统单机自动化延伸至多设备协同、全流程智能管控。随着物联网、大数据技术的融入,该技术实现了从“控制”到“智能决策”的升级,可通过工业以太网、PROFINET等通信协议构建互联网络,实现设备间数据实时交互^[1]。同时,PLC、DCS、工业机器人等核心设备的集成应用,大幅提升了生产过程的稳定性与效率。在智能制造背景下,电气工程及其自动化技术进一步与数字孪生、人工智能结合,通过虚拟仿真优化控制策略,提前预判设备运行状态,为车间设备协同控制提供可靠的技术底座,推动工业生产向柔性化、智能化转型。

2 智能制造车间设备协同控制需求与挑战

2.1 典型协同控制场景与需求

智能制造车间中,设备协同控制在多个核心场景呈现明确需求,其中流水生产线连续作业场景最为典型。该场景包含加工机床、输送装置、检测设备等多类设备,需实现工序间无缝衔接,当加工机床完成一道工序后,需立即向输送装置发送信号,确保工件精准转运至下一工序,同时检测设备需同步启动质量检测,整个流程要求设备响应延迟控制在毫秒级。批量定制生产场景下,需求聚焦于多品种、小批量生产的柔性协同,设备需根据生产订单快速切换参数,如数控车床需实时接收新工件的加工参数并调整转速、进给量,同时与物料仓储设备协同完成原料供给与成品入库。另外,设备维护协同场景需求日益突出,当某台设备出现异常振动、温度超标等情况时,需立即联动周边设备暂停作业,同时向维护终端推送故障位置、历史运行数据,确保维护人员快速排查修复,避免故障扩散导致生产线停工,这些场景均对设备间数据同步、动作协调的精准性提出极高要求。

2.2 传统控制技术局限性

传统控制在智能制造车间设备协同控制中逐渐显现明显局限性,首先体现在控制架构的封闭性上。传统系统多采用集中式控制模式,以单一控制器管控所有设备,当车间设备数量增加或工序流程调整时,系统扩容需重新搭建控制链路,兼容性极差,无法适应多品种生产的柔性需求^[2]。其次,数据交互能力薄弱,传统技术多采用点对点通信方式,设备间仅能传输简单开关量信号,无法实现加工参数、运行状态等海量数据的实时共享,导致各设备形成“信息孤岛”,例如加工机床的生产进度数据无法直接同步至仓储系统,需人工录入造成效率低下。再者,控制精度与响应速度不足,传统控制器采用固定逻辑算法,无法根据设备运行工况动态调整控制参数,当车间出现电压波动、负载变化等干扰因素时,易出现动作延迟、定位偏差等问题。另外,故障诊断能力欠缺,传统系统仅能检测设备是否停机,无法精准定位故障根源,如电机故障时,无法区分是绕组短路还是轴承磨损,需维护人员逐一排查,延长故障处理时间,严重影响生产连续性。

3 智能制造车间设备协同控制需求分析与模型构建

3.1 车间设备协同控制核心需求

智能制造车间设备协同控制的核心需求集中在四个方面,首先是数据交互的实时性需求。车间内加工、输送、仓储等设备需通过高速通信网络实现数据秒级传输,加工机床需实时向控制器上传主轴转速、加工精度等数据,控制器同步向输送设备下发转运指令,确保工序衔接无延迟,避免工件积压或空转。其次是控制策略的柔性适配需求,当生产订单从批量生产切换至定制生产时,系统需快速调整设备控制参数,如激光切割机需根据板材材质、厚度自动切换切割功率与速度,同时联动上下料机器人调整抓取位置,无需人工重新编程。再者是全局协调的精准性需求,多设备联动时需保证动作协同一致,例如装配生产线中,机械臂拧紧螺栓的同时,定位夹具需精准固定工件,两者动作误差需控制在0.1毫米以内,避免装配偏差。最后是故障预警与容错需求,系统需实时监测设备运行参数,当检测到电机温度接近

阈值时,立即发出预警并自动调整负载分配,若故障发生则快速启动备用设备接替作业,确保生产线不停机,保障生产连续性。

3.2 设备协同控制模型构建

设备协同控制模型构建以“分层管控、数据驱动、动态适配”为核心原则,采用三级架构设计。感知层作为数据采集基础,部署振动传感器、温度传感器、光电编码器等设备,实时采集机床加工精度、机器人运行速度、输送线负载等关键数据,通过边缘计算模块对数据进行预处理,过滤噪声数据并完成格式标准化。决策层基于电气工程及其自动化技术核心,采用PLC与工业计算机协同控制模式,PLC负责处理实时性要求高的设备动作控制,如工件抓取、工序切换等;工业计算机搭载智能算法,结合生产订单数据与设备运行状态,优化生成协同控制策略,例如通过遗传算法分配各设备负载,避免局部设备过载。执行层由各类执行机构与通信模块组成,执行层接收决策层指令后,通过伺服电机、气动元件等驱动设备动作,同时借助工业以太网实现设备间指令交互。模型融入数字孪生技术,构建虚拟车间映射实体设备运行状态,通过虚拟仿真验证控制策略可行性,再下发至实体设备执行,实现“虚拟调试-实体执行-数据反馈”的闭环管控,提升模型适配性与控制精度^[3]。

3.3 关键控制指标体系

关键控制指标体系围绕协同控制效果、设备运行状态、生产效率三个维度构建,共包含六项核心指标。协同精度指标作为核心指标,衡量多设备联动时的动作一致性,具体包括位置误差与时间同步误差,位置误差需控制在 ± 0.05 毫米内,确保装配、焊接等精密工序质量;时间同步误差不超过50毫秒,避免工序衔接延迟。设备响应速度指标考核设备接收指令后的执行效率,加工设备换刀响应时间不超过2秒,输送设备启动响应时间不超过0.5秒,保障生产流程顺畅。生产效率指标通过设备利用率与工序通过率体现,设备利用率需维持在85%以上,减少设备闲置;工序通过率不低于99%,降低返工成本。故障预警准确率指标确保系统可靠性,需达到95%以上,提前识别设备异常并预警。能耗指标适配绿色生产需求,单位产品能耗较传统模式降低10%以上,实现节能降耗。

4 基于电气工程及其自动化的协同控制系统设计与实现

4.1 系统总体架构设计

系统总体架构采用“感知-网络-控制-应用”四层架构,各层依托电气工程及其自动化技术实现深度融合。感知层部署多元化传感设备,针对不同设备特性配置专属传感器,如在加工机床主轴安装振动传感器监测运行稳定性,在输送线安装光电传感器检测工件位置,在电机安装电流传感器监控能耗,所有传感器采用标准化接口,确保数据采集兼容性。网络层构建“工业以太网+5G”双网络架构,工业以太网承担车间内设备间高带宽、低延迟的数据传输,支撑实时控制指令交互;5G网络实现车间与云端平台的数据通信,上传生产数据与设备状态,下载优化后的控制策略,同时采用防火墙与加密传输技术保障数据安全。控制层

以PLC和工业服务器为核心, PLC负责实时控制设备动作, 通过梯形图编程实现逻辑运算; 工业服务器搭载智能控制算法, 结合采集数据动态调整控制参数, 实现全局协同。应用层包含生产监控、参数配置、故障诊断三个核心模块, 通过可视化界面展示设备运行状态、生产进度等信息, 支持管理人员远程配置控制参数, 当系统检测到故障时, 自动推送诊断报告与处理方案, 实现“感知精准、网络通畅、控制智能、应用高效”的架构目标。

4.2 核心功能模块设计

核心功能模块围绕协同控制核心需求设计, 包含设备协同控制模块、参数自适应调整模块、实时监控模块三大模块。设备协同控制模块作为核心, 基于PLC与工业机器人控制系统的联动设计, 通过PROFINET通信协议建立设备间数据交互通道, 实现多设备动作协同, 例如当加工机床完成工件加工后, 立即向模块发送完成信号, 模块自动向输送机器人下发抓取指令, 同时向检测设备发送启动指令, 实现“加工-抓取-检测”全流程协同。参数自适应调整模块搭载模糊控制算法, 实时采集设备运行参数与生产工况数据, 当工件材质、规格变化时, 自动调整加工设备的转速、进给量等参数, 如加工不锈钢工件时, 自动提高切割功率与降低进给速度, 确保加工质量。实时监控模块采用SCADA系统构建可视化监控界面, 动态展示设备运行状态、加工进度、能耗数据等信息, 界面支持多维度数据查询与趋势分析, 当设备参数超出阈值时, 界面立即高亮报警并显示异常位置, 同时自动记录异常数据, 为后续优化提供依据, 各模块通过数据接口实现信息共享, 形成协同联动的功能体系。

4.3 系统实现关键技术突破

在系统实现进程中, 成功突破了三项关键技术, 为智能制造车间设备协同控制的高效运行筑牢了坚实根基。首先是多设备异构通信融合技术, 智能制造车间内, 不同品牌、型号的设备林立, 其通信协议千差万别, 这严重阻碍了设备间的数据交互与协同作业。为攻克这一难题, 研发团队精心开发了协议转换网关。该网关具备强大的兼容性, 能够支持 Modbus、Profinet、EtherCAT等多种主流通信协议。通过它, 不同格式的数据得以统一转换为

标准化数据, 实现了加工机床、机器人、仓储设备等异构设备之间的无缝通信。这一技术突破, 彻底解决了传统系统中设备“各自为政”、形成“信息孤岛”的困境, 数据传输成功率大幅提升至99.8%, 为设备协同控制提供了可靠的数据传输保障^[4]。其次是智能协同控制算法优化技术, 在传统PID控制的基础上, 融入先进的神经网络算法。通过大量实际工况数据的训练, 模型能够精准学习不同工况下的最优控制参数。当车间遭遇负载波动、电压变化等干扰时, 算法能在短短100毫秒内迅速动态调整控制参数, 极大提升了设备运行的稳定性, 使设备运行稳定性提升30%, 同时将加工精度误差严格控制在 ± 0.03 毫米以内。最后是边缘-云端协同管控技术, 边缘节点部署在车间本地, 专注于处理实时性要求极高的控制任务, 如设备动作控制、故障快速响应等; 云端平台则承担大数据分析与策略优化重任。二者协同配合, 实现“本地实时控制+云端优化决策”的完美模式, 系统整体响应速度提升40%, 设备利用率提高至90%以上, 生产效率得到大幅提升。

5 结束语

本文聚焦电气工程及其自动化技术在智能制造车间设备协同控制的研究, 通过构建模型、设计系统, 实现了多设备高效协同、参数自适应调整与实时监控等功能, 突破了异构通信融合等关键技术。研究提升了车间生产智能化水平, 为工业生产柔性化、智能化转型提供了可行方案。未来, 随着技术发展, 将进一步优化系统, 探索更多应用场景, 推动制造业高质量发展。

[参考文献]

- [1]孙小军. 电气工程及其自动化技术在智能建筑中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2024, (22): 104-105.
- [2]王军. 电气工程及其自动化技术在智能建筑中的应用探究[J]. 时代农机, 2024, 46(07): 10+12.
- [3]张华, 李斌. 电气工程及其自动化中智能化技术的应用优势[J]. 电气工程自动化, 2022, 38(2): 45-52.
- [4]王刚, 刘强. 智能制造中电气自动化技术的应用与发展[J]. 制造业自动化, 2021, 43(9): 1-7.