

电气自动化技术在机械制造中的应用与优化研究

杨超原

内蒙古大中矿业股份有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 014010

摘要：制造业是实体经济的核心支柱，也是衡量国家工业化水平与综合制造能力的关键领域。随着现代机械加工工艺不断精密化、生产节奏持续高速化，传统依靠人工干预、粗放管控的老旧生产模式，已难以适配现代化智能制造的产能标准与质量要求，普遍存在加工精度不稳定、人为操作误差大、能耗浪费严重、工序衔接松散、故障排查滞后等诸多短板，制约了企业生产效率与智能化升级进程。电气自动化技术凭借PLC可编程控制、变频调速驱动、高精度传感采集、闭环动态反馈及智能逻辑运算等核心技术模块，全面渗透于机械加工、设备驱动、过程监测与生产管控全流程，能够有效替代重复性人工操作，实现设备自动化启停、工艺精准调控、生产数据实时采集与故障智能预警，从根本上弥补老式生产线的技术缺陷。本文立足于当前中小制造企业自动化改造现状，结合车间实际生产工况，系统梳理电气自动化技术在机械加工领域的主流应用模式，深入剖析设备组网混乱、抗干扰能力弱、系统集成度低、运维体系不完善等现存共性问题。从硬件防护升级、控制程序优化、通信协议统一、产线系统集成、常态化运维机制、专业人才培养等多个维度，提出科学可行的针对性优化策略，助力企业完成机电一体化技术迭代，推动传统制造生产线向高精度、低能耗、数字化、智能化方向长效升级发展。

关键词：电气自动化；机械制造；PLC控制；变频技术；系统优化

引言：工业化迭代进程持续提速，市场对于机械零部件加工精度、生产交付效率、成品合格率提出更为严苛标准。传统机械加工依靠人工操作机械设备，人为因素极易引发尺寸偏差、工序遗漏，且老旧定频驱动设备能耗损耗居高不下，设备突发故障缺少预警机制，停机检修会直接打乱整体生产排班节奏。电气自动化属于机电交叉融合技术体系，融合电子信息技术、自动控制理论、传感检测与电机驱动技术，能够替代重复性人工操作，对切削、锻造、装配、分拣、质检全流程实现程序化管控。近些年国内制造企业陆续完成自动化生产线改造，但中小型工厂改造普遍存在设备兼容性差、控制程序老旧、抗干扰能力薄弱、智能化拓展空间不足等问题。只有厘清技术应用逻辑，补齐运行体系漏洞，因地制宜优化控制策略，才能最大化释放电气自动化技术赋能价值，夯实机械制造行业智能化转型根基^[1]。

1 电气自动化核心技术在机械制造领域应用解析

1.1 PLC可编程逻辑控制器应用

PLC是整条自动化生产线的控制中枢，凭借极强环境适应能力、灵活编程逻辑、便捷后期调试优势，广泛搭载于数控机床、流水线输送设备、冲压机组与物料分拣装置之中。相较于早期继电器逻辑控制，PLC采用梯形图模块化编程，可根据生产工艺调整时序逻辑，统筹多台机械设备协同运转。在零部件批量加工生产线内部，PLC接收光电传感器、位置传感器采集的实时信号，自主完

成工件进给、刀具启停、夹具锁紧、废料排出整套工序联动。一旦出现工件卡位、行程超限等异常工况，系统立刻触发自锁保护并上传故障代码，规避设备过载损坏与安全生产隐患^[2]。目前多数机械加工厂将PLC作为底层控制核心，串联上游加工设备与下游检测装置，缩短工序间隔空余时间，大幅压缩人为值守成本。

1.2 变频调速控制技术应用

异步电动机是机械制造车间主要耗能设备，传统运行模式下电机长期工频恒速运转，负载负荷波动阶段会产生大量无效电能消耗。变频调速技术依托变频器改变电源输出频率，依照设备实时负载动态调节电机转速，实现负荷与功率精准匹配。风机、冷却泵、输送滚筒、主轴驱动系统改造之后，软启动模式能够弱化电机启动瞬间冲击电流，降低线路负荷与机械结构磨损。加工工况低负荷运行时下调运转频率，高峰期提升输出功率，实测数据表明，成套生产线引入变频改造后，综合耗电量可下降18%~35%，设备零部件使用寿命同步延长，运维更换成本得到合理管控。

1.3 传感检测与闭环反馈控制技术

高精度传感元件是自动化系统的数据感知触角，包含温度、压力、位移、红外、视觉图像传感器几大类别，主要负责采集加工过程动态参数，并将模拟信号转化为数字信号传输至控制系统，形成闭环调节机制。数控机床加工阶段，温度传感器实时监测主轴温升变化，

高温环境下系统自动降低切削转速,补偿热形变带来的加工误差;视觉传感器用于成品外观与尺寸检测,快速筛选裂纹、形变、孔径偏差等不合格产品,替代人工肉眼质检,提升检测精度与分拣速度。闭环控制模式打破开环控制局限性,系统可以根据工况参数变化自主修正运行参数,保障长期加工精度稳定性^[3]。

1.4 人机交互HMI与总线通信技术

现代化自动化生产线搭配HMI触摸屏人机界面,工作人员无需改动底层程序,即可在界面完成运行参数设定、运行数据调取、故障记录查询、运行模式切换。借助Profinet、Modbus工业总线通信协议,分散布局的加工单元、控制单元、监测单元构建数据互通网络,摆脱单机设备独立运行的数据孤岛问题,为后期数字化车间搭建预留拓展条件。

2 现阶段电气自动化技术应用现存问题

2.1 系统抗干扰能力薄弱,运行稳定性不足

机械生产车间工况环境复杂,大功率电机启停、电焊机高频作业、线路排布杂乱都会产生电磁谐波干扰。部分中小企业自动化改造投入有限,线路缺少屏蔽防护、信号端未加装隔离滤波器,传感器传输信号极易出现失真漂移,进而引发PLC误动作、主轴定位偏移、流水线路程序紊乱等故障。同时老旧控制程序逻辑较为简化,仅满足基础工序执行,缺少容错缓冲程序,偶遇瞬时电压波动、信号中断就会直接停机,生产线连续性难以保障,无形中拉低整体设备综合利用率。

2.2 设备品牌繁杂,系统集成兼容性较差

很多制造企业生产线为分批迭代改造,不同时期采购的机械设备分属不同厂家,硬件接口规格、内部通信协议互不统一。老旧设备难以接入新型总线网络,新增自动化装置无法和原有PLC控制系统联动搭配。企业被迫保留多套独立控制体系,数据无法汇总统筹管理,不仅增加日常操作难度,也制约MES生产管理系统后续落地搭建^[4]。

2.3 控制智能化程度偏低,能耗精细化管控欠缺

大量生产线依旧停留在程序化自动作业层面,仅能够依照固定流程重复加工,不具备自适应调节、数据分析、故障预判能力。控制算法偏向传统定值控制,无法结合原材料硬度、环境温湿度、刀具磨损程度动态优化切削参数。能耗管控模式较为粗放,变频功能未能深度开发,多数设备仅完成基础调速改造,没有搭载分时负荷调控模块,峰谷用电时段无法自主调配设备运行计划,节能潜力未能充分挖掘。

2.4 运维管理体系不完善,复合型技术人才缺口较大

电气自动化设备兼具机械结构、电气线路、控制程序多层技术架构,设备后期检修维护门槛较高。多数企业运维人员仅掌握简单故障排查,对于PLC程序改写、变频器参数整定、通信故障调试、传感校准等深层技术能力储备不足。高端设备核心维修技术依附设备原厂,售后周期长、维修费用高昂。行业内部同时精通机械加工工艺、电气线路、自动化编程的复合型技术人员供给短缺,企业内部常态化技能培训体系缺失,难以适配生产线持续迭代升级需求^[5]。

3 机械制造领域电气自动化技术优化改进策略

3.1 强化硬件防护设计,增强系统抗干扰性能

结合生产车间电磁工况复杂、强弱电交叉布设密集的现场特点,为解决控制系统信号漂移、数据失真及设备误动作等常见故障,针对性实施硬件抗干扰优化改造。项目重新规划车间线缆敷设方案,严格实现动力供电电缆与信号控制电缆分槽、分层独立布设,有效阻隔强电交变磁场对弱电采集信号的耦合干扰。现场测控回路统一更换双层屏蔽阻燃线缆,大幅提升信号传输过程中的抗扰动能力。在变频器、精密传感装置等易受谐波影响的设备输入端,配套安装电源滤波器与信号隔离模块,有效滤除电网杂波、脉冲干扰与高频谐波,保障现场采集数据稳定精准。结合现场运行工况优化PLC控制程序逻辑,增设信号延时甄别、异常容错过滤及断电参数保存功能,有效剔除瞬时干扰产生的虚假信号,杜绝系统误触发故障。通过统一设备接地规范、优化接地点位,消除静电堆积与电位不稳问题,切实提升自动化控制系统长期连续运行的稳定性与可靠性。

3.2 统一通信标准,分步完成生产线系统集成

针对厂区原有生产设备型号杂乱、通信协议不统一、各工段数据独立封闭的问题,建立设备标准化升级改造机制。后期新增及替换设备均选用接口开放、协议通用、兼容性强的智能化机型,逐步替代传统封闭式老旧单体设备。依托工业总线技术对现有生产线进行数字化整合升级,统一全线通信传输标准,打通PLC控制系统、变频驱动设备、现场采集终端与人机界面的数据交互通道,实现设备状态参数、生产工艺数据的实时互通共享。依托MES制造执行系统完成生产数据集中管控,自动汇总设备运行时长、产能产出、故障台账及物料消耗等核心数据,构建生产指令下发、过程动态监控、数据溯源分析的全流程闭环管理体系,有效破除各生产单元信息孤岛,全面提升生产线协同运行效率与智能化精细化管理水平。

3.3 升级智能控制算法,深挖节能优化空间

摒弃传统定值控制逻辑,引入模糊控制、自适应PID优化算法嵌入控制系统。数控机床依托实时采集的刀具磨损、环境温度、切削负载参数,自动优化进给速度与主轴转速,在保障加工品质的前提下,延长刀具使用寿命,优化加工节奏。完善变频控制系统精细化设置,依据生产排班制定负荷调控方案,用电高峰时段调低非核心辅助设备运行功率,低谷时段统筹设备集中运转。引入能耗分项计量模块,单独统计单台设备水电能耗消耗,精准定位能耗浪费点位,实现节能改造靶向优化^[6]。

3.4 引入预测性维护模式,健全设备运维机制

转变传统故障后抢修运维模式,利用传感元件持续采集设备振动幅值、电机温升、线路电流、油压参数等运行数据,依托运行数据变化趋势预判零部件老化故障风险,提前安排停机保养,将被动维修转变为主动预防性维护,减少突发停机造成的产能损失。建立设备分级运维台账,记录设备调试参数、故障历史、配件更换信息,形成完整运维档案^[7]。对内搭建常态化技能培训机制,分阶段开展PLC编程、变频调试、传感器校准、电路检修实操培训,培养企业自有技术运维团队;对外加强校企人才合作,定向引进机电一体化专业技术人员,补齐复合型人才短板^[8]。

3.5 推动电气自动化与数字技术深度融合

顺应智能制造发展趋势,逐步引入数字孪生技术,构建设备虚拟数字模型,在虚拟场景完成工艺模拟、程序调试、故障推演,规避实体生产线调试过程中的试错成本。融合物联网远程监控技术,管理人员可远程调取生产线运行状态,远程处理简易参数调试问题,进一步提升现代化工厂管理效率。

结束语

电气自动化作为现代机械制造转型升级的核心技术

载体,凭借PLC控制、变频调速、闭环传感反馈、工业通信多项技术融合应用,有效改善传统加工模式效率低下、精度不足、能耗偏高、人工依赖度强等诸多弊端。现阶段行业自动化改造进程中,仍旧面临电磁干扰隐患、设备集成度低、智能化层级有限、运维能力薄弱、专业人才紧缺一系列现实阻碍。制造企业应当结合自身生产规模与工艺特点,从硬件防护改造、控制算法迭代、生产线系统集成、运维体系重构、人才梯队培养多个维度循序渐进优化升级。合理挖掘电气自动化技术应用潜力,推动机械加工生产模式由半自动程序化运行,稳步向数字化、智能化、绿色节能方向转型,持续优化产品加工质量与企业核心生产竞争力,助力国内机械制造产业稳步迈向高质量发展新阶段。

参考文献

- [1]王建国.工业PLC控制技术应用与优化[J].机械工程学报,2021,57(08):123-131.
- [2]张燕宾.变频器应用技术(第5版)[M].北京:机械工业出版社,2023.
- [3]王兆安,刘进军.电力电子技术(第六版)[M].北京:机械工业出版社,2022.
- [4]李红梅.机械电气自动化中传感器检测技术应用研究[J].传感器技术学报,2020,33(05):789-796.
- [5]赵伟.制造业生产线机械电气自动化控制设计探析[J].制造业自动化,2019,41(11):56-62.
- [6]宋卓钰.电气自动化技术在现代机械工程中的应用剖析[J].模具制造,2025,25(04):195-197.
- [7]刘健,史磊.电气自动化在机械设计制造行业的运用研究[J].大众汽车,2025(09):19-21.
- [8]李强.电气自动化设备运维难点及优化对策[J].科技视界,2023(04):82-85.