

电气自动化与机电一体融合在工业制造中的应用与优势

梅 红

浙江翔科缝纫机股份有限公司 浙江 台州 318000

摘要: 在工业制造智能化、高效化发展的背景下,机电硬件与自动化技术的融合成为解决传统制造瓶颈的关键路径。本文通过分析机电硬件选型、机械结构优化及传感器布局等核心环节,结合缝纫机、电子设备制造等领域的应用案例,系统阐述机电一体化融合的技术优势。研究表明,该融合模式可显著提升缝纫机零部件加工精度、优化装配效率,并通过硬件冗余设计增强系统可靠性。研究成果为缝纫机行业智能化升级提供技术支撑,推动工业制造向高精度、高可靠性方向迈进,助力企业降本增效。

关键词: 电气自动化;机电一体融合;工业制造;缝纫机硬件;伺服控制

引言

当前,工业制造正向智能化、绿色化方向深度转型,机电硬件与自动化技术的融合创新成为行业升级的核心驱动力。以缝纫机制造为例,传统生产模式依赖人工操作,存在效率低、精度差等问题。通过机电一体化技术,实现伺服电机驱动、高精度传感器反馈与机械结构优化,可显著提升缝纫机核心部件的加工质量与装配效率。本文将结合缝纫机行业实际案例,深入剖析机电硬件在工业制造中的功能需求、系统设计及优势体现,为相关领域技术升级提供参考。

1 电气自动化与机电一体融合的功能需求剖析

1.1 精准控制功能需求

在缝纫机旋梭零部件的加工过程中,对数控机床的切削深度和进给速度有着极高的控制精度要求。例如,一缝纫机公司采用的FANUC α i系列伺服电机,其具备出色的扭矩稳定性,能够为加工过程提供持续且稳定的动力输出。搭配高精度谐波减速机,能够有效减少传动过程中的误差,将主轴的定位精度提升到一个相当高的水平^[1]。在实际加工旋梭槽时,通过硬件闭环控制,使得加工公差大幅缩小,从而极大地提高了旋梭零部件的加工精度,保障了产品质量。

在缝纫机针杆组件的装配环节,采用三菱Q系列PLC控制的气动夹具,利用其精准的控制能力和稳定的机械性能,实现了微米级别的定位。这种高精度的定位确保了针杆与旋梭之间的配合间隙达到最优状态,从而显著提升了缝纫机在运行过程中的平稳性,减少了因部件配合不当而产生的故障和噪音。

1.2 实时监测与反馈功能需求

在缝纫机自动化装配线上,基恩士CV-X视觉传感器被巧妙地部署于针板检测工位。该传感器利用先进的光

学成像技术,能够实时、准确地捕捉针孔位置的偏差信息^[2]。一旦检测到针孔偏移超出预设的允许范围,系统会立即触发由PLC控制的机械臂,对针板的定位进行快速调整。同时,米思米LDS-200激光传感器则运用激光测距原理,对旋梭的轴向跳动进行实时监测。监测数据通过PROFINET网络快速、稳定地传输至控制层,控制层根据这些数据实时调整伺服电机的转速,确保旋梭在运行过程中的动态平衡精度始终保持在极高的水平。通过这种硬件协同工作机制,有效提高了缝纫机的装配质量,减少了因装配问题导致的次品率。

1.3 自动化协同作业功能需求

在智能缝纫机生产车间,机电硬件系统构建起了一个全流程协同的高效生产体系。AGV小车利用先进的RFID识别技术,能够准确无误地识别物料信息,并将缝纫机机头壳体高效地输送至指定的加工工位^[3]。六轴机械臂搭载力控传感器,凭借其灵活的运动能力和精准的力感知能力,能够高质量地完成精密轴承的压装工作。同时,视觉检测单元利用先进的图像识别技术,同步对产品进行外观质检。通过西门子S7-1500 PLC的集中调度,各个设备之间实现了快速、准确的响应,大大提高了生产效率,缩短了产品的生产周期。

2 融合系统的机电硬件构成设计

2.1 驱动单元硬件选型与设计

在缝纫机生产中,驱动单元硬件的选型与设计至关重要,基于对缝纫机伺服电机驱动的严格需求,审慎选用了台达ASDA-A3系列伺服系统。该系列伺服系统内置先进的23位绝对值编码器,这一编码器凭借其极高的分辨率,能够精确地捕捉电机的每一个细微转动,为电机的精准控制提供了坚实的数据基础。搭配上同样性能卓越的行星减速机,二者相辅相成,成功实现了0.001°的

超高分度精度。在自动切线装置这一关键环节,该伺服系统所配备的电机展现出强大的性能优势,其峰值扭矩可达 $12\text{N}\cdot\text{m}$,这意味着电机能够输出强劲的动力,确保在切线时能够克服各种阻力,完成精准的切线动作。同时,电机的响应时间极短, $\leq 1\text{ms}$ 的响应速度使得电机能够在瞬间对控制指令做出反应,保证切线动作能够在 0.1 秒内迅速完成,极大地提高了生产效率^[4]。而且,切口平整度误差 $\leq 0.1\text{mm}$,这一高精度的控制使得切线后的切口平整光滑,有效提升了产品质量。正是由于这些硬件驱动性能的显著提升,使得缝纫机的最高转速从原本的 4500rpm 大幅提升至 6000rpm ,完美满足了高速工业缝制对于缝纫机转速的严苛需求,为高效、高质量的缝纫生产提供了有力保障。

2.2 执行单元机械结构优化设计

在缝纫机执行单元的机械结构优化设计中,对新型电脑平缝机的挑线杆机构进行了全面优化^[5]。挑线杆选用密度小、强度高的7075航空铝材质,通过拓扑优化设计,在保障结构功能的同时对内部结构精细调整,使其重量较传统设计减轻 25% ,有效降低运动部件惯性与电机负载,提升整机运行效率,刚度也提升 18% ,增强了高速往复运动时的稳定性,可承受更大机械应力,确保缝纫过程顺畅。关键传动部件采用THK直线导轨与滚珠丝杠,前者高精度、低摩擦,保障挑线杆运动平稳与直线度,后者实现高精度位移控制且传动效率高,再配合能承受多方向载荷的交叉滚子轴承,三者协同让挑线杆往复运动精度达 $\pm 0.01\text{mm}$,为线迹均匀性提供有力保障。实际应用中,这些优化设计成效显著,线迹均匀度大幅提升,线迹更整齐美观,满足高端服装等对缝制质量要求极高的行业需求,断线率降低至 0.3 次/百万针,减少生产中断与次品率,提高生产效率与产品质量,增强了产品市场竞争力。

2.3 检测单元传感器布局与选型

在缝纫机动态性能测试中,传感器布局与选型对缝制质量至关重要。浙江翔科缝纫机在机针附近配置KISTLER 9236A三向力传感器,基于压电测量原理实时精准监测机针穿刺力在X、Y、Z方向的波动,为力控制提供准确数据,避免断针、跳线等问题。同时,在送布牙附近布局欧姆龙E3Z激光传感器,利用激光特性精确检测送布牙位移,高分辨率确保检测数据准确。硬件数据通过实时性和传输速率极高的EtherCAT总线快速传输至工控机,工控机依据这些数据运用算法对针距、线张力等缝纫参数进行闭环调节,使不同面料都能获得高质量缝制效果,满足多样化生产需求,提升产品品质。

3 在工业制造中的系统设计方案解析

3.1 控制系统架构搭建

缝纫机智能产线采用了先进的三级控制架构,设备层集成了高性能的伺服电机、稳定可靠的气动元件以及高精度编码器,这些设备能够实时采集主轴转速、针位等关键信号,为整个控制系统提供准确的数据基础。控制层通过倍福CX9020嵌入式控制器执行先进的运动控制算法,能够同时协调多台设备的动作,确保生产过程的高效、有序进行。监控层基于WinCC组态软件实现了缝纫参数的可视化展示,方便操作人员实时了解生产状态,同时支持远程诊断和工艺参数的优化调整,提高了生产管理的便捷性和智能化水平。

3.2 控制算法应用与优化

在缝纫机主轴同步控制中,采用改进型模糊PID算法,并通过硬件FPGA实现了极快的运算响应速度。当检测到面料厚度发生变化时,算法能够根据实时数据动态调整电机转矩,使得缝纫速度始终保持在稳定的范围内。实际测试表明,该方案有效地解决了厚料缝制过程中容易出现的断针问题,提高了产品的缝制质量和生产效率。

4 在工业制造中的应用场景实例验证

4.1 在缝纫机旋梭加工中的应用

在缝纫机旋梭加工过程中,机电硬件的协同运作发挥了关键作用。采用的DMG MORI五轴加工中心,依靠精密的机械结构与高性能伺服电机,实现多轴联动,能精准控制各轴运动,从而满足旋梭复杂外形的加工要求。搭配运用触发式测量原理的雷尼绍RMP60测头,可实时捕捉旋梭表面位置信息并传输给控制系统。基于检测数据,硬件补偿技术通过补偿算法自动调整刀具轨迹,将旋梭内槽圆度误差从 $5\mu\text{m}$ 修正至 $1.2\mu\text{m}$ 。此外,多轴联动实现一次装夹完成多面加工,伺服电机驱动提升了快速定位和切削进给速度,不仅使加工效率大幅提升,经高精度加工的旋梭组件内部结构也更加均匀稳定,使用寿命延长至 1500 小时。

4.2 在智能缝纫机组装中的应用

而在智能缝纫机组装环节,同样离不开先进的机电硬件。库卡KR6 R900机械臂通过关节处高精度减速机和伺服电机组合,达成六轴联动。伺服电机提供动力,减速机则起到减速增扭的作用,保证机械臂运动的稳定性和精度。其末端集成基于应变片原理的ATI六维力传感器,能实时感知装配力和力矩,一旦检测到轴承压装力超过 50N ,便迅速反馈信号,控制系统随即调整机械臂运动轨迹,有效避免部件损伤。再结合利用光学成像和

图像识别算法的基恩士IV3视觉系统,高分辨率相机捕捉缝纫机头部件图像,经识别分析螺钉孔位,对比计算孔位偏差后微调机械臂运动,最终实现0.02mm级的对准精度,使缝纫机头组装合格率高达99.8%,有力地保障了装配质量和生产效率。

5 机电一体融合在工业制造中的优势呈现

5.1 生产效率提升

实施机电一体化改造后,缝纫机的生产流程得到了全面优化。原本依赖人工操作的环节,如今被自动化设备高效替代。在零部件加工阶段,先进的加工设备如前文提及的五轴加工中心,凭借其多轴联动的高效加工能力,大幅缩短了单个零部件的加工时间。并且,自动化生产线实现了物料的快速流转与精准定位,减少了工序间的等待时间。在装配环节,智能机械臂的应用使装配速度显著提高,原本需要大量人工协作才能完成的复杂装配工作,现在通过机械臂的精确操作,能够在更短的时间内高质量完成。种种改进之下,缝纫机月产能从原本的8000台提升至15000台,设备综合效率(OEE)也达到了相当高的水平,确保了生产的高效有序进行。

5.2 产品质量改善

借助硬件闭环控制技术,生产过程中的各项参数得到了精确监控与严格控制。在缝纫线迹方面,控制系统能够根据不同的面料材质、厚度以及缝纫工艺要求,实时调整缝纫机的各项参数,如针距、线张力等。这使得缝纫线迹长度更加均匀稳定,线迹长度标准差从原来的0.15mm降至0.03mm,极大地提升了产品的外观质量。同时,高精度的加工设备和装配设备,保证了缝纫机各零部件的加工精度和装配精度,减少了因零部件误差导致的产品故障。产品质量的显著提升,直接带来了客户投诉率的大幅下降,有效提升了企业的市场口碑和品牌形象。

5.3 系统可靠性增强

为了提高生产系统的可靠性,采用了菲尼克斯冗余电源模块。在传统的生产系统中,一旦电源出现故障,整个生产线将被迫停机,不仅会造成生产中断,还可能对正在加工的产品和设备造成损害。而冗余电源模块的应用,为生产线提供了多重电源保障。当主电源出现异常时,冗余电源能够在极短的时间内无缝切换,继续为设备供电,确保生产过程不受影响。通过这种方式,产

线故障停机时间从年均120小时大幅缩短至15小时,有效保障了生产的连续性和稳定性,降低了因停机带来的经济损失。

5.4 成本控制

自动化改造在成本控制方面成效显著。在人工成本上,大量自动化设备的投入使用,减少了对人工的依赖。原本需要众多工人参与的生产环节,现在仅需少数技术人员进行监控和维护,使得人工成本大幅降低。在能耗方面,新型机电设备采用了更先进的节能技术和优化的运行控制策略,使得设备在运行过程中的能耗显著下降。经核算,自动化改造后能耗明显降低,每年节约的成本超过1200万元,为企业带来了实实在在的经济效益,增强了企业在市场中的竞争力。

结语

机电硬件与自动化技术的深度融合,为缝纫机行业带来革命性突破。通过伺服驱动优化、机械结构创新及高精度传感技术的应用,缝纫机在效率、质量与可靠性方面实现跨越式发展。未来,随着机电一体化技术的持续迭代,工业缝制设备将向更高智能化、柔性化方向演进。

参考文献

- [1]王安乐.电气自动化在机电专业DSC设计生产调试中的关键技术研究[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术应用与施工管理交流会论文集(上).浙江伟明自控软件技术有限公司,2024:3.
- [2]王安乐.基于电气自动化的机电专业DCS设计优化与生产调试实践[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术应用与施工管理交流会论文集(上).浙江伟明自控软件技术有限公司,2024:3.
- [3]赵金官.现代建筑机电电气自动化发展前景探讨[C]//《中国建筑金属结构》杂志社有限公司.2024新质生产力视域下智慧建筑与经济发展论坛论文集(一).张家口华工建设集团有限公司,2024:2.
- [4]阮华建,陈平.PLC机电一体化技术在电气自动化中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(22):211-213.
- [5]黄立阳,韦艳云,刘能兵,等.基于岗位导向理论的中职电气自动化专业教学实施路径——以“机电一体化设备安装与调试”课程为例[J].广西教育,2024,(17):110-115.