

Discussion on Application and Prospect of Mechatronics Technology in Intelligent Manufacturing Systems

Wei Wu

Jinshan Environmental Protection Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311000, China

Abstract

With intelligent manufacturing becoming the core direction of global manufacturing transformation, mechatronics technology, as a fundamental technology supporting its development, is shifting from the control of single equipment to the integration and optimization of the whole system. This paper discusses the application of mechatronics in intelligent manufacturing systems. Combined with typical scenarios such as the machining of pump and valve housings, winding and assembly of membrane modules, welding of pressure vessels, general assembly and testing of water treatment equipment, and intelligent calibration of water quality instruments, it systematically expounds the practical role of this technology in improving automation level, ensuring machining accuracy and realizing flexible production. The paper further prospects the future development trends of mechatronics technology from four dimensions: intelligent upgrading, lightweight design, technology integration and green transformation, emphasizing its key position in building an efficient, flexible and sustainable manufacturing system.

Keywords

Intelligent Manufacturing; Mechatronics; Industrial Robot; Flexible Manufacturing; Artificial Intelligence

漫谈智能制造系统中机电一体化技术的应用展望

吴巍

金山环保集团有限公司, 中国·浙江 杭州 311000

摘要

随着智能制造成为全球制造业转型的核心方向, 机电一体化技术作为支撑其发展的基础性技术, 正从单一设备的控制走向全系统的集成与优化。本文围绕智能制造系统中机电一体化的应用展开探讨, 结合水泵阀门壳体加工、膜组件卷绕装配、压力容器焊接、水处理设备总装测试及水质仪表智能校准等典型场景, 系统阐述了该技术在提升自动化水平、保障加工精度、实现柔性生产等方面的实际作用。文章进一步从智能化升级、轻量化设计、技术融合与绿色转型四个维度展望了机电一体化技术的未来发展趋势, 强调其在构建高效、灵活、可持续制造体系中的关键地位。

关键词

智能制造; 机电一体化; 工业机器人; 柔性制造; 人工智能

1 引言

近年来, 以智能制造为主导的第四次工业革命在全球范围内兴起, 促使制造业从传统的规模化生产向柔性化、个性化、服务化发展。在这个过程中, 机电一体化技术起着非常关键的作用, 该技术把机械工程、电子技术、计算机控制和信息技术整合起来, 以实现系统功能的协同和优化, 为智能制造提供了可靠的技术支撑。目前机电一体化已经从单一设备控制延伸到整个生产系统的集成和调度, 成为连接物理制造和数字空间的关键环节。本文旨在梳理机电一体化技术

在智能制造里的实际应用情况, 并且对其未来发展趋势展开分析和探讨, 希望能够帮助相关行业实现技术升级和系统创新。

2 智能制造系统中机电一体化技术的应用

2.1 水泵阀门壳体柔性加工生产线

水泵阀门类精密零部件制造环节, 多数企业已经引入符合机电一体化理念的柔性加工生产线^[1]。以阀体柔性加工线为例, 生产线一般包括多台五轴联动加工中心, 搭配高精度数控磨床, 还有专用夹具系统, 所有设备接受中央控制系统统一调度。这类生产环境中, 机电一体化技术先体现在加工设备的内部协同: 主轴高速旋转, 工作台做精密分度动作, 切削液流量控制, 全部由内置传感器完成实时监测与反馈调节, 可将阀体复杂流道和密封面的加工公差控制在微米级范围。生产线末端一般集成自动清洗和无气喷涂装置, 超声波

【作者简介】吴巍(1992—), 男, 中国浙江义乌人, 本科, 从事水厂刮泥机, 吸泥机, 阀门等到机械结构, 还包括机电自控系统集成研究。

清洗技术可与自动化输送机构衔接,保证完成机加工的壳体进入下一工序前达到清洁度标准。毛坯上料到成品下线,全部流程由可编程逻辑控制器统一协调,可在多品种小批量生产模式下完成快速换型,维持连续作业,破解传统单机加工依赖人工上下料、工序间周转效率偏低的困境。

2.2 膜组件自动化卷绕装配流水线

膜法水处理核心组件制造环节,机电一体化技术可应用于高精度卷绕与装配流水线的自动化运行。膜组件是水处理系统的关键部件,卷绕工艺直接决定过滤效率和使用寿命。自动化卷绕装配线中,机电一体化系统靠伺服电机驱动多轴卷绕机构,搭配张力传感器实时调整膜片和格网的卷绕松紧度,保证膜层分布均匀,不存在褶皱。装配环节,机器人搭配视觉引导系统完成中心管的自动上料和定位,之后专用的涂胶和固化单元会密封处理膜元件端部。整条流水线整合工业机器人和自动导引搬运车,无人化转运可覆盖卷绕工序到固化立库的全过程。机电一体化系统的集成优势清晰呈现:运动控制模块规划机械臂的运行轨迹,机器视觉系统在线补偿位置偏差,制造执行系统下发生产配方,追溯工艺参数,三者共同构成一个拥有高度柔性和重复定位精度的自动化制造单元。

2.3 压力容器筒体机器人焊接工位

压力容器制造领域,焊接质量一致性控制的挑战长期存在,筒体和接管连接位置的马鞍形焊缝作业,是这类挑战的典型场景,机电一体化技术进入这一领域后,焊接工艺出现改进。筒体机器人焊接工位,一般配置可多自由度运动的焊接机器人,作业过程搭配外部轴驱动的变位机,焊接工位运行,依靠机械结构和智能传感技术的结合^[2]。焊接开始前,激光视觉传感器完成坡口轮廓扫描,自动识别焊缝起始点和坡口尺寸,采集到的数据反馈至上位机,生成焊接路径。焊接进行过程中,电弧传感器安装在焊枪上,实时追踪焊缝偏差,控制系统结合偏差量,动态调整机器人姿态和摆动参数,保证焊丝始终对准坡口中心。大直径厚壁筒体加工中,机电一体化系统需要处理多层多道焊的工艺规划问题,系统建立熔池视觉和电信号的多模态感知模型,可实时判断熔透状态,自适应调节热输入,规避未熔合或烧穿缺陷。这种作业模式融合机械运动、过程传感和实时控制,降低生产过程对焊工操作经验的依赖,提高压力容器焊缝的射线探伤合格率。

2.4 水处理成套设备总装测试线

水处理成套设备完成总装后进入测试环节,流水线运行状态和测试精度直接影响产品出厂质量。机电一体化技术落地总装测试线,覆盖两项核心内容,一是装配过程的自动化控制,二是测试数据的数字化管理。装配工位中,机械臂依托自适应夹爪抓取水泵阀门管路部件,借力觉传感器管控装配力度,可完成精密过盈配合作业,也可实现法兰对中。进入测试区后,待检设备接入测试平台,平台由变频柜、压

力变送器、流量计搭建而成,可自动完成启停增压保压等全部测试流程。各类传感器采集扬程、效率振动烈度等参数,数据经采集模块处理后,上传至质量管控中心,和预设标准曲线比对后,自动判定产品合格与否,机电一体化系统在这里承担检测中枢的功能。整条测试线通过工业以太网和生产管理系统连接,测试数据可实现全流程追溯,人工记录环节易出现的错漏篡改风险,也可得到规避。



图1 水处理设备

2.5 水质在线监测仪表智能校准装置

水质在线监测仪表的运行可靠性,离不开传感器长期工作状态的稳定,机电一体化技术,可为这类仪表的智能校准开辟可行技术路径^[3]。户外环境存在多种污染源,藻类、微生物、悬浮粒子会贴附在传感器的感测膜表面,最终让感测信号出现误差,传统处理方式,依靠人工定期前往现场清洗探头,校正信号,耗费时间与人力。智能校准装置的设计过程中,设计者把微流控机构融入自动化控制技术,搭建出一套可直接在原有安装位置完成清洗标定的自动化系统。该装置依靠蠕动泵或者微型注射泵抽取标准缓冲液或清洁液,依托多通阀组精准控制流路切换,让校准液按照预设程序流过pH电极或溶氧电极表面。机电一体化控制器依照预设的时间间隔或远程传输的指令,驱动执行机构完成探头清洗、零点标定、斜率标定等一系列动作。单次清洁校正,消耗的校正液体积约为0.6毫升,整个过程耗时约5分钟,检测发现仪表输出信号漂移超出设定阈值,系统可自行启动校准流程,还可通过云端开启校正程序,全程不需要人工到场操作。这项应用拉长传感器的现场维护周期,还能维持监测数据的连续性和溯源性,支撑水处理工艺实现精准调控。

3 智能制造系统中机电一体化技术应用的未来展望

机电一体化技术逐步推动着工业机器人从“替代人工”向“人机协作”的深度升级,促使着价值链条和生产模式进一步重构与优化,这一转变不仅体现在技术层面的融合创新,更深刻影响着制造业的柔性化、智能化与可持续发展。

3.1 向智能化升级

目前系统大多依赖预设程序和固定逻辑，未来的机电一体化设备会把人工智能技术深度融合进去，机器学习和深度学习算法，让设备有更强的感知、分析和自主决策能力。生产线上的机械臂或者加工中心能实时识别工件状态的细微变化，自主对加工参数和运动轨迹进行调整；若是设备监测到自身振动异常或者刀具磨损，系统可以自行诊断出故障根源，还可以预测剩余使用寿命，主动对维护资源进行调度，把被动响应变为主动优化。这种智能的嵌入，会让制造单元从“自动执行”变成“自主决策”，提升生产过程的柔性以及应对复杂局面的能力。

3.2 向轻量化发展

生产模式朝精细化、分布式方向转变，机电一体化设备的轻量化发展就会成为必然选择。这里说的轻量化，不单单是指用碳纤维复合材料降低物理重量，还是设计哲学上的精简和集成。未来的设备会更紧凑、更模块化，把驱动、控制和执行单元高度集成起来，去掉那些笨重又多余的结构^[4]。试想半导体芯片封装或者生物细胞操作这样极端精密的场景中，我们需要的是反应灵敏、运动像手一样精准的微型化设备。轻量化设计让机电系统惯性变小，动态响应变快，能耗也降低，这些设备能像积木一样容易地部署在空间有限的灵活产线或者移动工作平台上，为打造小型化、个性化的制造单元提供硬件基础^[5]。

3.3 向融合化推进

智能灵活的设备不会成为信息孤岛，机电一体化技术的未来必然是深度融合的，它会成为连接物理世界和数字世界的桥梁，与物联网、大数据以及云计算实现无缝衔接。每一台设备都是网络里的一个智能节点，会持续不断地产生并交换数据。借助无处不在的传感网络，小到一颗螺丝的拧紧扭矩，大到整条装配线的能耗曲线，所有这些数据都会被实时采集，然后汇聚到云端或者边缘计算平台。制造商可以利用这些数据构建整个工厂的“数字孪生”，在虚拟空间中同步映射、仿真并优化物理生产过程。这就如同给制造系统装上了极度敏感的“神经系统”，让从订单下发、物料配送到生产执行、质量追溯的全流程可实现前所未有的协同和透明，真正实现端到端的集成优化。

3.4 向绿色化转型

未来的技术进步要把环境友好和能源效率摆在关键位置。这意味着从设计源头起就去考虑怎样降低能耗，例如广泛采用高效率的永磁同步电机和智能变频驱动，在设备减速或下放重物的时候进行能量回收^[6]。更关键的是，用先进的算法对设备群组的运行做智能调度，避免空载待机，让整个生产节奏跟能源供给，如有波动的可再生能源，更匹配。易于拆解维修和回收再利用的模块化设计可延长设备生命周期，减少工业废弃物。绿色化不只是企业社会责任的体现，也依靠降低长期运营成本，为智能制造赋予强劲的经济内生动力。

4 结语

总之，机电一体化技术融合机械、电子、控制、信息处理等多个领域的内容，是智能制造系统运行离不开的基础支撑。本文结合实际应用场景，梳理该技术在各类制造环节发挥的作用，覆盖柔性加工、精密装配、智能焊接、自动测试、远程校准等多个方向，生产效率、产品质量、系统响应能力均得到提高。未来发展阶段，机电一体化会沿着智能化、轻量化、融合化、绿色化的路径延伸，和人工智能、物联网、大数据等新兴技术协同发展，推动制造业完成从自动执行到自主决策的转变。本文梳理相关内容，可供领域内技术开发与系统整合工作参考，也可作为智能制造模式的优化调整梳理可行方向。

参考文献

- [1] 王栋. 智能制造背景下机电一体化技术在机械制造工程中的应用策略研究[J]. 中国设备工程, 2025, (16): 50-52.
- [2] 郭宜君, 黄清玲. 机械制图在智能机电一体化汽车控制系统设计中的应用[J]. 汽车测试报告, 2025, (11): 13-15.
- [3] 林锋. 科技赋能: 机电一体化技术在智能制造中的应用[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2025, (06): 49-53.
- [4] 马岳. 基于数字孪生技术的机电一体化平台虚拟生产线与虚拟调试系统设计研究[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (11): 115-117.
- [5] 王迅. 智能制造背景下机电一体化技术在机械制造工程中的应用策略研究[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (06): 79-81.
- [6] 岑曦. 提质培优视域下机电一体化技术在智能制造中的应用策略研究[J]. 中国设备工程, 2023, (19): 34-36.