

机电一体化技术的系统设计及在机械设计制造中的应用方向

赵茂林

宁波宏协承汽车部件有限公司 浙江 宁波 315800

摘要：机电一体化技术作为现代机械设计制造领域的关键支撑，通过融合机械、电子、控制等多学科知识，实现系统的高度集成与智能化控制。本文系统阐述了机电一体化技术的设计原则与方法，包括机械结构设计、电子电路设计、控制系统设计及软件编程等核心环节。深入探讨了该技术在自动化生产线、智能机器人、柔性制造系统及精密加工等领域的应用方向，展示其在提升生产效率、保证产品质量、降低能耗成本等方面的显著优势，为机械设计制造的转型升级提供了有力技术支持。

关键词：机电一体化技术；系统设计；机械设计制造

1 机电一体化技术的基本概念

机电一体化技术（Mechatronics Technology）是一门综合性强、应用广泛的交叉学科技术，它有机融合了机械工程、电子工程、计算机科学、控制理论及信息技术等多学科领域的知识与方法，旨在通过系统集成与优化设计，实现机械系统与电子控制系统的高效协同工作，从而提升设备或系统的整体性能、智能化水平及自动化程度。在机电一体化技术中，机械结构作为执行与承载的基础，负责完成具体的物理动作与任务；电子技术及控制系统则如同系统的“大脑”与“神经”，负责信息的感知、处理与决策，以及精确控制机械部件的运动与操作；而计算机科学和信息技术的融入，则为系统赋予了强大的数据处理能力、智能算法支持及远程监控与交互功能，使得机电一体化系统能够适应复杂多变的工作环境，实现高效、精准、灵活的运行^[1]。简而言之，机电一体化技术是推动现代制造业向智能化、自动化转型的关键技术之一，它通过跨学科的技术融合与创新，为提升生产效率、产品质量及系统可靠性提供了强有力的技术支持，在工业机器人、智能制造、自动化生产线、智能交通、智能家居等众多领域展现出巨大的应用潜力和发展前景。

2 机电一体化技术的系统设计原则

2.1 模块化设计

模块化设计是机电一体化系统设计的基础原则，其核心思想是将复杂的系统分解为若干个独立且功能明确的模块。每个模块具有标准化的接口和明确的性能指标，便于独立设计、制造、测试与维护。模块化设计不仅能显著缩短产品开发周期，还能有效降低生产成本，

提高系统的可扩展性与可维护性。据行业报告显示，采用模块化设计的机电一体化系统，其开发周期平均可缩短30%以上，同时因模块的标准化与通用性，零部件库存成本降低约25%。例如，在工业机器人领域，通过模块化设计，用户可根据实际需求灵活配置机械臂、末端执行器、传感器等模块，快速搭建满足特定生产任务的机器人系统，极大提升了生产线的灵活性与适应性。

2.2 协同优化设计

协同优化设计强调在机电一体化系统设计中，机械、电子、控制、软件等多学科之间的深度融合与协同工作。这一原则要求设计师在系统设计初期就考虑各学科之间的相互作用与影响，通过多目标优化算法与仿真技术，实现系统性能的整体最优。协同优化设计不仅关注单一模块的性能提升，更重视模块间接口的兼容性、信息传递的准确性与实时性，以及系统整体的动态响应特性。研究表明，实施协同优化设计的机电一体化系统，其综合性能指标（如精度、效率、稳定性）平均提升15%-20%。以数控机床为例，通过机械结构与控制系统的协同优化，实现了加工精度从 $\pm 0.05\text{mm}$ 提升至 $\pm 0.02\text{mm}$ ，同时加工效率提高了20%。协同优化设计还促进了新技术的快速集成与应用，如人工智能算法在控制系统中的应用，使得系统具备自适应学习与故障预测能力，进一步提升了系统的智能化水平。

2.3 可靠性设计

可靠性设计是机电一体化系统设计中不可或缺的一环，它关注系统在长时间运行过程中的稳定性与耐久性。可靠性设计原则要求在设计阶段就充分考虑系统可能面临的各种环境因素（如温度、湿度、振动、电磁干

扰等)与工作负载,通过合理的材料选择、结构布局、冗余设计、故障诊断与容错机制等手段,确保系统能够在恶劣环境下稳定运行,减少故障率与停机时间^[2]。可靠性设计显著提高了机电一体化系统的平均无故障工作时间(MTBF)。据统计,经过可靠性优化的系统,其MTBF可提升50%以上。例如,在航空航天领域,通过采用高可靠性元器件、冗余设计以及先进的热管理技术,飞行控制系统的可靠性得到了极大提升,确保飞行安全。同时在工业自动化领域,可靠性设计也降低维护成本,提高了生产效率,为企业带来显著的经济效益。

3 机电一体化技术在机械设计制造中的应用方向

机电一体化技术作为现代制造业的核心驱动力,正深刻改变着机械设计制造的传统模式,推动着制造业向智能化、自动化、高效化方向迈进。其融合了机械工程、电子技术、计算机科学、控制理论等多学科知识,通过高度集成与协同优化,为机械设计制造领域带来前所未有的变革。

3.1 自动化生产线



机电一体化自动化生产线如图所示

自动化生产线是机电一体化技术在机械设计制造中最直接且广泛的应用之一。它通过集成传感器、执行器、控制器等机电一体化组件,实现生产过程的自动化控制与监测。自动化生产线不仅大幅提高生产效率,降低人力成本,还显著提升产品质量的一致性与稳定性。据行业报告显示,采用自动化生产线的企业,其生产效率平均提升30%以上,不良品率降低至1%以下,人力成本节约约40%。以汽车制造为例,自动化焊接生产线能够以每分钟完成多个焊点的速度工作,焊接质量通过视觉检测系统实时监控,确保了车身结构的强度与安全性。自动化装配线通过高精度定位与智能抓取技术,实现了零部件的快速准确装配,装配周期缩短至传统方式的1/3,显著提升了汽车生产的整体效能。

3.2 智能机器人

智能机器人是机电一体化技术的集大成者,它集成了先进的传感器技术、人工智能算法、精密机械结构与高效控制系统,能够在复杂多变的环境中执行高精度、高灵活性的任务。智能机器人在机械设计制造中的应用,不仅限于简单的重复劳动替代,更在于其能够处理复杂决策、适应动态变化、实现人机协作,极大地拓展了制造业的边界^[3]。智能机器人的应用使得制造业的灵活性提升了50%,特别是在多品种、小批量生产模式下,其优势更为明显。例如,在3C电子产品组装线上,智能机器人通过视觉识别与力觉反馈技术,能够精准识别微小元件并进行精细装配,装配精度达到 $\pm 0.01\text{mm}$ 级别,远超人工操作。智能机器人通过学习优化算法,能够根据生产需求自动调整工作路径与速度,生产效率相比传统自动化设备提高20%-30%。

3.3 柔性制造系统

柔性制造系统(FMS)是机电一体化技术在应对市场快速变化、满足个性化定制需求方面的重要体现。它通过集成数控机床、工业机器人、自动化物流系统及先进的信息管理系统,实现生产资源的灵活配置与高效利用。柔性制造系统能够快速响应产品设计的变更,灵活调整生产流程,适应多品种、小批量生产模式,大大缩短产品上市周期。实施柔性制造系统的企业,其产品换型时间平均缩短60%,库存周转率提高40%,市场响应速度加快50%。以服装制造业为例,通过引入柔性制造系统,企业能够实现从设计到生产的全流程数字化管理,根据订单需求自动调整生产计划,实现个性化定制与大规模生产的有机结合。这种模式下,企业的客户满意度显著提升,市场份额得到有效扩大。

3.4 能源与环保设备

随着全球对环境保护与可持续发展的重视,机电一体化技术在能源与环保设备领域的应用日益广泛。它通过优化设备设计、提高能源利用效率、减少污染物排放,为绿色制造提供强有力的技术支持。在能源设备方面,机电一体化技术促进高效电机、智能电网、储能系统等方面的发展;在环保设备方面,则推动污水处理、空气净化、固废处理等技术的创新与应用。采用机电一体化技术的能源设备,其能源转换效率平均提升10%-15%,能耗降低8%-12%。例如,高效变频电机通过精确控制电机转速与负载匹配,相比传统电机节能效果显著,广泛应用于风机、水泵等设备中。在环保领域,智能污水处理系统通过集成传感器与数据分析技术,能够实时监测水质状况,自动调节处理工艺参数,确保出水水质稳定。

达标,同时降低药剂消耗与运行成本。据统计,此类系统的应用使得污水处理厂的运营成本降低约20%,处理效率提升15%以上。

4 机电一体化技术系统设计案例分析

4.1 案例一

汽车制造业是机电一体化技术应用最为广泛的领域之一,其通过高度自动化的生产线与精密的控制系统,实现了从原材料到成品的全程高效、精准生产。以下从冲压线自动化改造与发动机装配线两个方面,具体阐述机电一体化技术的实践应用。第一、冲压线自动化改造(机器人上下料、视觉检测)在传统汽车制造中,冲压工序往往依赖大量人工进行板材的搬运与定位,不仅劳动强度大,且存在安全隐患与效率瓶颈。随着机电一体化技术的引入,冲压线实现了全面的自动化改造。通过部署多关节工业机器人,配合高精度视觉检测系统,实现了板材的自动上下料与精准定位。机器人上下料系统:采用六轴或七轴工业机器人,结合定制化的末端执行器,能够灵活适应不同尺寸、形状的板材,实现快速、稳定的抓取与放置。机器人通过预设程序与实时路径规划,在保证安全的前提下,最大化提高物料搬运效率。视觉检测系统:集成高分辨率相机与先进的图像处理算法,对板材进行全方位、高精度的尺寸测量与表面缺陷检测。视觉系统能够实时反馈检测结果至控制系统,对不合格板材进行自动剔除,确保进入下一工序的板材质量。据统计,引入视觉检测系统后,冲压件的不良率降低了约30%,显著提升了产品质量。第二、发动机装配线(伺服驱动、扭矩控制)发动机作为汽车的“心脏”,其装配精度与质量直接关系到整车的性能与可靠性。机电一体化技术在发动机装配线上的应用,主要体现在伺服驱动与扭矩控制两大方面。伺服驱动系统:采用高性能伺服电机与驱动器,结合精密减速机,实现了装配线上各运动部件的高精度、高速度、高响应控制。伺服系统能够根据预设程序,精确控制各部件的运动轨迹与速度,确保装配过程的顺畅与精准^[4]。扭矩控制系统:发动机装配过程中,螺栓的拧紧扭矩直接影响到部件的连接强度与密封性能。通过集成扭矩传感器与智能控制器,实现了对螺栓拧紧扭矩的实时监测与精确控制。系统能够根据预设的扭矩值,自动调整拧紧速度与力度,确保每个螺栓都能达到最佳的拧紧状态。据测

试,采用扭矩控制系统后,发动机的漏油率降低了约25%,显著提升产品的耐用性与安全性。

4.2 案例二

航空航天领域对零部件的加工精度与质量要求极高,传统加工方法往往难以满足其需求。机电一体化技术的应用,为航空航天领域的精密加工提供了强有力的支持。在航空航天零部件的加工过程中,五轴联动数控机床成为关键设备。该机床通过集成高精度伺服电机、直线导轨、滚珠丝杠等机械部件,以及先进的数控系统与运动控制算法,实现了对复杂曲面零件的高精度、高效率加工。五轴联动数控机床能够在一次装夹中完成零件的多个面加工,避免了多次装夹带来的定位误差,显著提高了加工精度与效率。激光跟踪测量技术在航空航天精密加工中也发挥着重要作用,该技术通过激光束对加工中的零件进行实时跟踪测量,将测量数据反馈至控制系统,对加工过程进行动态调整与优化。激光跟踪测量技术具有非接触、高精度、高效率等优点,能够实现对微小形变与尺寸偏差的精确捕捉与补偿,确保零部件的加工精度满足航空航天领域的严苛要求。

结束语

机电一体化技术作为推动机械设计制造行业变革的核心力量,其系统设计的不断创新与应用领域的持续拓展,正引领着制造业向智能化、绿色化、高效化方向迈进。通过本文的探讨,深刻认识到机电一体化技术在提升生产效率、优化资源配置、增强产品竞争力等方面的重要作用。未来,随着技术的不断进步与融合,机电一体化技术将在更多领域展现其无限潜力,为机械设计制造行业的可持续发展注入新的活力与动力。期待机电一体化技术能够持续创新,引领制造业迈向更加辉煌的明天。

参考文献

- [1]董传翠.机电一体化技术在机械设计制造中的应用[J].造纸装备及材料,2021,50(9):96-98.
- [2]吕石磊,曹其新,李想,等.机电一体化机器人关节及其驱控系统硬件设计[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2021,33(1):111-117.
- [3]单祖辉.人工智能在机械设计制造行业的应用[J].内燃机工程,2022,43(4):110-111.
- [4]董传翠.机电一体化技术在机械设计制造中的应用[J].造纸装备及材料,2021,50(9):96-98.