

机械电子工程在航空航天领域的应用

高亦彤 盛 健

中国兵器工业集团第214研究所 安徽 蚌埠 233000

摘 要: 在航空航天这一充满挑战与机遇的领域,机械电子工程正发挥着举足轻重的作用。本文首先概述了机械电子工程,详细阐述其在航空航天中的传感器、控制系统、电子系统设计集成及机器人技术等关键技术,接着分析在飞行器、卫星等设备从设计到制造的应用情况,包括设计考虑与先进制造技术,以及导航通信系统的优化创新。最后展望未来,机械电子工程将朝着智能化、微型化、高性能、网络化方向发展,持续推动航空航天领域技术进步,提升航空航天设备性能与可靠性,为人类探索宇宙提供更强大的技术支持。

关键词: 机械; 电子工程; 航空航天领域; 应用

引言: 航空航天领域作为人类科技发展的前沿阵地,对技术的要求极高且不断演进。机械电子工程作为一门融合机械、电子、计算机等多学科知识的综合性技术领域,在航空航天中发挥着不可或缺的作用。从飞行器的精密制造到卫星的稳定运行,从导航系统的精准定位到通信系统的高效传输,机械电子工程技术贯穿其中。随着航空航天任务的日益复杂和多样化,如深空探测、载人航天等,对机械电子工程技术的需求也愈发迫切。其应用不仅提高了航空航天设备的性能和可靠性,还为实现更高效、更智能、更安全的太空探索和航空运输奠定了坚实基础,开启了航空航天技术发展的新篇章。

1 机械电子工程概述

机械电子工程是一门融合了机械工程、电子工程、计算机技术、控制理论以及信息技术等多学科知识的交叉学科领域。它致力于将机械系统与电子系统有机结合,实现产品和系统的智能化、自动化控制以及高性能运行。在机械电子工程中,机械部分负责执行物理动作和承载负荷,电子部分则负责信号处理、数据采集、控制指令的生成与传输等功能。通过传感器感知环境信息和系统状态,经电子控制单元分析处理后,驱动执行器对机械部件进行精确控制,从而使整个系统能够快速、准确地响应各种任务需求。这种融合使得机械电子系统具备了更高的精度、更快的响应速度、更强的适应性以及更好的可靠性,广泛应用于工业生产、汽车制造、医疗器械、航空航天等众多领域,为现代科技的发展提供了关键支撑,推动着各行业朝着智能化、高效化方向不断迈进。

2 机械电子工程在航空航天领域的关键技术

2.1 传感器技术

在航空航天领域,传感器技术至关重要。各类高精

度传感器被广泛应用,如用于测量飞行器姿态的陀螺仪、加速度计,能精确感知飞行器的角速率和线性加速度,为飞行控制系统提供关键数据,确保飞行姿态的稳定。压力传感器可监测发动机进气压力、舱内压力等,保障飞行安全与设备正常运行。温度传感器对航空发动机、电子设备等的温度进行实时监控,防止过热引发故障。此外,光学传感器在卫星遥感中发挥着重要作用,通过探测不同波段的光信号,获取地球表面及大气的丰富信息。这些传感器具备高灵敏度、高可靠性和适应极端环境的特性,能在高温、低温、强辐射等恶劣条件下稳定工作,为航空航天系统的精确控制、状态监测和科学探测提供了不可或缺的数据基础,是机械电子工程在该领域应用的关键环节之一^[1]。

2.2 控制系统技术

控制系统技术是航空航天机械电子工程的核心技术之一。飞行控制系统运用先进的控制算法,对飞行器的飞行轨迹、姿态、速度等进行精确控制。例如,电传操纵系统通过电子信号传输指令,取代传统的机械连杆操纵,极大提高了操纵精度和响应速度,使飞行员能更精准地操控飞行器,同时减轻了飞行器重量。航空发动机控制系统根据传感器采集的温度、压力、转速等参数,实时调整燃油供给、进气量等,保证发动机在不同工况下稳定高效运行,提高燃油效率并降低排放。卫星控制系统则负责卫星的姿态稳定和轨道调整,采用动量轮、磁力矩器等执行机构,结合精确的控制算法,使卫星准确指向目标,完成通信、遥感等任务。

2.3 电子系统设计与集成

航空航天设备需要高度集成且性能卓越的电子系统来满足复杂任务需求。在设计方面,需考虑高可靠性、抗辐射、低功耗等因素。例如,采用冗余设计理念,确

保关键电子部件在出现故障时仍能维持系统正常运行,提高系统的容错能力。通过优化电路布局 and 选择高性能电子元件,降低电磁干扰,提高信号传输的稳定性和准确性。在集成过程中,将飞行控制、导航、通信、数据处理等多个功能模块紧密结合,实现信息的快速交互与协同工作,统的运算速度和数据处理能力。

2.4 机器人技术与自动化

在航天器的制造与装配过程中,自动化机器人能够精确地完成零部件的搬运、定位和连接等任务,提高生产效率和装配质量,降低人为因素导致的误差和风险。例如,国际空间站的建设就大量运用了自动化装配机器人。在太空探索中,空间机器人可代替宇航员执行危险和复杂的任务,如月球车、火星车等能够在恶劣的外星环境下进行地质探测、样本采集等工作,拓展人类的探索范围。此外,无人机在航空航天领域也有广泛应用,可用于航空测绘、气象监测、军事侦察等任务,其具备自主飞行、智能避障等功能,通过自动化的飞行控制系统和数据传输系统,实现远程操控和实时数据回传。

3 机械电子工程在航空航天设备中的应用

3.1 飞行器的设计与制造

3.1.1 设计考虑因素

飞行器设计中,机械电子工程的应用需综合多方面因素。首先是飞行性能优化,利用先进的空气动力学模拟软件结合电子控制技术,设计出更符合空气动力学的外形,同时通过电子系统精确控制飞行姿态,提升机动性与稳定性。其次是系统集成与轻量化,要将机械结构与电子设备、传感器等高度集成,减少部件数量与重量,采用轻质高强度材料,如碳纤维复合材料,并通过电子监测确保其结构完整性。再者是可靠性与安全性,设计冗余的电子控制系统,配备多重备份电源和关键部件,利用传感器实时监测飞行器状态,确保在各种工况下安全飞行,满足航空航天对飞行器高性能、高可靠性的严苛要求。

3.1.2 制造技术应用

在飞行器制造环节,机械电子技术大显身手。数控加工技术精确制造复杂形状的零部件,保证高精度的尺寸公差和表面质量,满足飞行器严格的装配要求。激光切割与焊接技术用于连接金属部件,焊缝质量高、热影响区小,确保结构强度。自动化装配系统利用机械手臂和智能定位装置,精确安装零部件,提高装配效率与质量一致性。增材制造技术可制造具有复杂内部结构的零件,减少材料浪费,缩短制造周期。在制造过程中,通过电子检测设备对每个部件进行严格质量检测,

确保符合设计标准,保障飞行器的整体性能与安全性,推动飞行器制造向高效、精密、智能方向发展^[2]。

3.2 卫星与空间探测器的设计与制造

3.2.1 极端环境适应性设计

卫星与空间探测器需应对太空极端环境。在材料选择上,采用耐高温、低温且抗辐射的特殊合金及复合材料,如碳化硅增强铝基复合材料,确保结构强度与稳定性。热控系统设计精妙,运用多层隔热材料、热管和可变热导热管等,调节设备温度,防止过热或过冷损坏。电子元件经抗辐射加固处理,如采用特殊的封装技术和冗余设计,抵御宇宙射线和太阳风粒子冲击,保障系统稳定运行。

3.2.2 制造中的精密技术

卫星与空间探测器制造依赖精密技术。高精度数控加工用于制造复杂形状的零部件,如卫星的抛物面天线和探测器的光学镜片,保证形面精度达到微米级,满足精确信号传输和探测需求。微机电系统(MEMS)技术制造微小且精密的传感器和执行器,如用于姿态控制的微陀螺和微推进器,实现精确控制与高效运行。激光焊接和电子束焊接技术确保部件连接的高精度和高强度,避免焊接缺陷影响整体性能。

3.3 导航与通信系统的设计与优化

3.3.1 卫星导航增强技术

地面设置多个参考站,实时监测卫星信号,运用差分技术消除电离层、对流层等误差因素,通过数据链将修正信息传输给飞行器上的接收机,使定位精度从米级提升至分米甚至厘米级,满足飞行器精密进场着陆、航天器交会对接等高精度需求。采用多星座融合技术,综合利用不同卫星导航系统(如GPS、北斗、伽利略等)的信号,增强卫星可见数量和几何分布,提高导航系统的稳定性与抗干扰能力,确保在复杂环境下飞行器导航信息的持续精准,保障飞行安全与任务顺利执行。

3.3.2 深空通信技术的机电一体化创新

深空通信面临超长距离导致的信号衰减与传输延迟难题。机电一体化创新成果显著,在通信天线方面,采用可变形结构,由智能机电驱动系统依据通信需求实时调整天线形状、指向与增益,确保对微弱深空信号的高效捕捉与发射,如基于形状记忆合金的自适应天线结构。同时,热控与能源管理系统紧密配合,利用微机电泵驱动冷却液循环带走设备热量,并通过智能控制单元优化太阳能电池板指向与能量存储分配,保障通信设备在恶劣深空环境下稳定运行,实现远距离、高可靠的数据传输,为深空探测任务提供坚实通信支撑。

4 机械电子工程在航空航天领域的未来发展趋势

4.1 智能化与自主化

未来,机械电子工程在航空航天领域将迈向更高的智能化与自主化水平。人工智能算法将深度融入飞行控制系统,使飞行器具备自主决策能力,能根据复杂多变的飞行环境和任务目标实时优化飞行路径和姿态,减少对人工操控的依赖,如无人机群在复杂空域的自主编队飞行执行任务。智能传感器可实现自我诊断和自适应调整,自动补偿环境变化对测量精度的影响,并及时反馈设备健康状况,为预防性维护提供依据。自主机器人将在太空探索中承担更多关键任务,能够独立完成样本采集、设备维修等复杂操作,利用机器学习不断提升自身应对未知情况的能力,极大地拓展人类探索宇宙的边界和效率,推动航空航天活动向更加自主、智能的方向发展。

4.2 微型化与集成化

随着微机电系统(MEMS)和纳机电系统(NEMS)技术的进步,机械电子工程将朝着微型化与集成化方向发展。航空航天设备中的传感器、执行器和电子元件将进一步缩小尺寸,如微纳卫星中的核心部件可集成在微小的芯片级模块内,降低功耗和资源消耗,同时提高系统的便携性和部署灵活性。多功能芯片将集成多种功能,如数据处理、通信、控制等,减少系统间的连接和体积重量,提高信号传输速度和可靠性,实现设备的高度紧凑化设计。在制造工艺上,采用三维集成技术和微纳加工技术,制造出结构更复杂、性能更优越的微型器件,并通过系统级封装将不同功能的微型部件整合成一个完整的功能单元,满足航空航天对设备小型化、轻量化以及高性能的综合需求,促进航空航天技术的革新。

4.3 高性能与高可靠性

在材料科学领域,新型高性能复合材料和智能材料将广泛应用,如具有自修复能力的金属基复合材料用于飞行器结构,可在遭受微小损伤时自动修复,确保结构完整性和安全性,同时减轻重量提高燃油效率。电子系统将采用更先进的芯片技术和高速数据传输技术,提升运算速度和数据处理能力,满足复杂算法和实时控制的

需求,例如应用量子芯片技术实现超高速的信息处理。在设计层面,采用冗余设计和容错技术,对关键系统和部件进行多重备份,配合智能故障诊断与自愈系统,实时监测和修复潜在故障,确保在极端条件下系统仍能可靠运行,保障航空航天任务的顺利进行和人员设备安全,为航天探索和航空运输提供坚实的技术保障。

4.4 网络化与协同化

未来航空航天领域将呈现高度网络化与协同化的趋势。不同飞行器、卫星以及地面控制中心之间将构建高速、稳定的通信网络,实现海量数据的实时共享和交互,如全球卫星星座网络可为飞机提供实时的气象、导航等信息,优化飞行航线和提高飞行安全性。多飞行器之间能够进行协同作业,如无人机群在搜索救援任务中通过网络化协同,实现任务分配、信息融合和协同行动,提高任务执行效率和覆盖范围。航空航天设备与地面设施的协同将更加紧密,地面控制人员可远程实时监控和操控太空设备,进行设备维护和任务调整,而太空设备也能将探测数据快速回传地面进行分析处理,形成天地一体化的协同工作模式,促进航空航天资源的高效利用和任务的协同完成,推动航空航天产业向更加高效、协同的方向发展^[1]。

结束语

综上所述,机械电子工程在航空航天领域的应用已取得了辉煌成就,并展现出广阔的发展前景。从飞行器的设计制造到卫星和空间探测器的深空探索,从精准的导航通信到高效的测试维护,其关键技术贯穿始终,有力推动了航空航天事业的蓬勃发展。

参考文献

- [1]王林霞,郭陈旭.机械电子工程在航空航天领域的应用[J].信息记录材料,2021,22(07):181-182.
- [2]肖宁.机械电子工程在航空航天领域的应用[J].中国设备工程,2021(06):23-24.
- [3]牛伟明.机械电子工程在航空航天领域的应用[J].电子元件与信息技术,2021,5(02):52-53.