

航天电子信息产品工艺设计分析

孙喆 郑江怀 郭嘉

航天规划设计集团有限公司 北京 100000

摘要: 航天电子信息产品工艺设计分析聚焦于提升产品性能、可靠性与生产效率的关键环节。本文深入探讨了工艺设计的基本概念、核心要素及面临的挑战,包括高精度制造、环境适应性、热管理等关键技术难题。通过技术创新、人才培养与国际化合作等优化策略,旨在实现工艺设计的精细化、智能化与高效化。研究对于推动航天电子信息产品工艺设计的进步,满足航天领域对高性能、高可靠性产品的迫切需求具有重要意义。

关键词: 航天电子; 信息产品; 设计分析

1 航天电子信息产品工艺设计概述

1.1 工艺设计基本概念

工艺设计是指在产品生产过程中,根据产品设计要求,结合生产条件、技术水平和经济因素,对产品的制造方法、工艺流程、工艺参数及工艺装备等进行系统规划和设计的过程。其核心目标是确保产品能够按照设计要求顺利生产,同时满足质量、成本、交期等多方面的要求。在航天电子信息产品领域,工艺设计具有其特殊性。由于航天产品的极端工作环境(如高温、低温、强辐射、高真空等)和极高的可靠性要求,工艺设计必须充分考虑这些因素,确保产品在各种恶劣条件下仍能稳定工作。航天电子信息产品往往涉及高度机密和敏感信息,因此工艺设计还需严格遵守国家相关保密法规和标准。

1.2 航天电子信息产品特点

航天电子信息产品具有以下显著特点:第一,航天产品一旦发射升空,就无法进行维修或更换,因此必须确保其在整个生命周期内都能稳定可靠地工作。这要求工艺设计在材料选择、结构设计、制造工艺等方面都要采取严格的质量控制措施。第二,航天电子信息产品需要满足复杂的空间探测、通信、导航等任务需求,因此必须具备高性能的电子元件和先进的信号处理技术。这要求工艺设计在电路布局、信号传输、热管理等方面都要进行优化设计^[1]。第三,为了降低发射成本和提高航天器的有效载荷比,航天电子信息产品需要不断追求小型化和轻量化。这要求工艺设计在材料选择、结构设计、制造工艺等方面都要采用先进的技术和工艺手段。第四,航天产品需要适应极端的空间环境,如高温、低温、强辐射、高真空等。这要求工艺设计在材料选择、表面处理、封装技术等方面都要充分考虑环境因素的影响。

1.3 工艺设计流程

航天电子信息产品工艺设计流程通常包括几个阶

段:(1)明确产品设计要求、生产条件、技术水平和经济因素等,为工艺设计提供基础数据和依据。(2)根据需求分析结果,制定工艺路线和工艺流程,确定关键环节和工艺参数。(3)进行详细的工艺设计,包括工艺装备设计、工艺文件编制等。工艺装备设计要确保能够满足生产需求,提高生产效率和产品质量;工艺文件编制要详细、准确,为生产操作提供明确的指导。(4)组织专家对工艺设计进行评审,确保工艺设计的合理性和可行性。评审内容通常包括工艺流程的合理性、工艺参数的准确性、工艺装备的可靠性等。(5)通过试制、试验等方式对工艺设计进行验证,确保产品能够满足设计要求。工艺验证是工艺设计流程中不可或缺的一环,它能够有效发现工艺设计中存在的问题和不足,为后续的工艺改进提供依据。(6)根据工艺验证结果和生产过程中的实际情况,对工艺设计进行持续改进和优化。工艺改进是提高产品质量和生产效率的重要手段,也是航天电子信息产品工艺设计不断发展的重要动力。

2 航天电子信息产品工艺设计关键技术分析

航天电子信息产品的工艺设计是确保产品性能、可靠性和稳定性的关键环节。在航天领域,由于产品需要在极端环境下工作,因此对工艺设计的要求尤为严格。

2.1 印制电路板(PCB)设计技术

印制电路板(PCB)作为航天电子信息产品的核心载体,其设计技术直接关系到产品的性能、可靠性和成本。随着航天电子设备的集成度不断提高,PCB需要实现更高密度的互连,以满足复杂的电路设计要求。这要求PCB设计采用更细的线宽、更小的过孔和更紧凑的布局,同时确保信号完整性和电源完整性。航天电子设备常处于高温环境中,因此PCB材料需要具备良好的高温耐受性。目前,聚酰亚胺(PI)和聚四氟乙烯(PTFE)等高性能聚合物材料被广泛应用于航天PCB中,以满足高温环

境下的使用要求。航空航天器对重量有严格要求，PCB设计需要尽可能轻量化，以降低飞行器的整体重量。这要求PCB设计在满足性能要求的前提下，采用更轻薄的基材和更紧凑的布局。航天器可能面临各种极端环境，如高辐射、强振动等。PCB设计需要充分考虑这些环境因素，采用合适的材料和结构设计，确保PCB在恶劣环境下仍能稳定工作。

2.2 元器件封装与布局技术

元器件的封装与布局是航天电子信息产品工艺设计中的另一个关键环节。封装技术是将芯片等电子元器件封装成具有特定功能的模块或组件的过程。在航天领域，封装技术需要满足高温、高辐射等极端环境下的使用要求。布局技术是指将元器件合理布置在PCB上的过程^[2]。合理的布局能够减少信号传输路径、降低电磁干扰，并提高散热效率。在航天电子信息产品中，元器件的布局需要充分考虑信号完整性、电源完整性和热管理等方面的要求。

2.3 装联与调试技术

装联与调试技术是航天电子信息产品工艺设计中的最后一道工序，也是确保产品性能和质量的关键环节。装联技术包括元器件的焊接、插装、粘接等工艺过程，而调试技术则是对装联后的产品进行性能测试和功能验证的过程。在航天领域，装联技术需要满足高可靠性、高质量的要求。还需要对装联过程进行严格的质量控制和检测，以确保装联质量符合设计要求。调试技术是对装联后的产品进行性能测试和功能验证的过程。在航天电子信息产品中，调试技术需要覆盖产品的所有性能指标和功能要求，确保产品在实际使用中能够稳定可靠地工作。调试过程还需要对发现的问题进行及时反馈和处理，以确保产品的最终质量。

2.4 热设计与散热技术

在航天电子信息产品中，热设计与散热技术是保证产品长期稳定工作的重要环节。由于航天电子设备在工作过程中会产生大量的热量，如果无法及时有效地散热，将会导致元器件温度升高、性能下降甚至失效。热设计技术是在产品设计阶段就考虑散热问题的过程。通过合理的热设计，可以确保产品在正常工作时产生的热量能够及时有效地散发出去。热设计技术包括热传导、热辐射、热对流等多种散热方式的组合应用，以及散热材料的选择和散热结构的设计等。散热技术是在产品制造和使用过程中实际应用的散热手段。在航天电子信息产品中，常用的散热技术包括散热片散热、热管散热、相变散热等。这些散热技术能够根据不同的散热需求和产品特点进行选择 and 组合应用，以确保产品在不同工况

下都能保持稳定的温度范围。

3 航天电子信息产品工艺设计标准与规范

3.1 工艺设计标准体系

工艺设计标准体系是航天电子信息产品工艺设计的基础框架，它涵盖了从产品设计、材料选择、加工制造到装配调试的全过程。作为最基础的标准，它们规定了航天电子信息产品工艺设计的基本原则、通用要求和技术指标，如电子元器件的选用标准、电路板的制造工艺标准等。这些标准确保了产品在不同厂家、不同批次间的一致性和互换性。在遵循国家标准和行业标准的基础上，航天企业还会根据自身技术特点、生产能力和管理需求，制定更为具体、细致的企业标准。这些标准往往涉及特定的工艺方法、操作流程、质量控制点等，是指导企业内部工艺设计活动的重要依据。针对特定航天项目或产品，还会制定项目专用标准，以满足项目独特的性能要求、环境适应性要求或进度要求。这些标准通常是在项目启动初期，由项目团队根据任务需求和技术方案共同制定的。

3.2 工艺设计质量控制

工艺设计质量控制是确保航天电子信息产品工艺设计满足规定要求的关键环节。它贯穿于工艺设计的全过程，包括设计输入、设计过程、设计输出等各个阶段。在设计初期，应对设计输入进行严格的评审和确认，确保设计任务书、技术协议等文件完整、准确、可行。应充分考虑产品的使用环境、性能要求、可靠性指标等因素，为后续的工艺设计提供坚实的基础。在设计过程中，应建立有效的质量控制机制，对设计方案的可行性、工艺路线的合理性、工艺参数的准确性等进行持续监控和评估。通过定期的设计评审、技术交底等活动，及时发现并纠正设计中的问题，确保设计质量。设计完成后，应对设计输出进行严格的审核和验证，确保工艺文件、图纸、清单等输出物完整、准确、规范。应组织相关人员进行工艺试制，通过实际生产验证工艺设计的可行性和有效性。

3.3 工艺设计文件编制

工艺设计文件是航天电子信息产品工艺设计的重要成果，也是指导产品制造和装配的重要依据。工艺方案文件；包括工艺总方案、工艺路线卡等，用于概述产品的工艺设计思路、工艺路线和关键工艺环节。这些文件应简洁明了地表达工艺设计的整体框架和主要要求^[3]。工艺规程文件；如装配工艺规程、调试工艺规程等，用于详细描述各工艺环节的具体操作步骤、技术要求、质量控制点等。这些文件应具有高度的可操作性和指导性，

确保生产人员能够准确、规范地执行工艺操作。工艺支持文件；包括工艺图纸、工艺清单、工艺参数表等，用于提供工艺设计所需的详细数据和资料。这些文件应准确、完整地反映工艺设计的要求和细节，为生产过程中的质量控制和追溯提供有力支持。工艺设计文件的编制应遵循统一的标准和规范，确保文件的格式、内容、语言等符合规定要求。应加强对工艺设计文件的审核和管理，确保其准确性和有效性。通过高质量的工艺设计文件，能够显著提高产品的制造效率和装配质量，为航天电子信息产品的成功研制提供有力保障。

4 航天电子信息产品工艺设计优化策略

4.1 技术创新与优化

技术创新是推动航天电子信息产品工艺设计优化的核心动力。引入先进制造技术；如增材制造（3D打印）、精密加工、微纳制造等，这些技术能够实现复杂结构的高精度制造，减少加工工序，提高材料利用率，从而降低成本并提升产品性能。利用人工智能、大数据、物联网等智能化技术，实现工艺设计的自动化、智能化和精准化。研发具有更高性能、更低成本的新材料，如高温合金、复合材料等，以满足航天电子信息产品对材料性能的特殊要求。探索新材料在工艺设计中的应用，如新型封装材料、散热材料等，提升产品的整体性能。技术创新与优化不仅要求企业加大研发投入，还需要建立与高校、科研机构的紧密合作关系，共同推动航天电子信息产品工艺设计的技术进步。

4.2 人才培养与团队建设

人才是航天电子信息产品工艺设计优化的关键要素。培养一支高素质、专业化的工艺设计团队，对于提升企业的核心竞争力和创新能力至关重要。在高校和职业院校中开设航天电子信息产品工艺设计相关专业，培养具备扎实理论基础和实践能力的专业人才。鼓励企业开展内部培训，提升现有员工的技能水平和创新能力。积极引进国内外航天电子信息领域的顶尖人才和专家，为企业的工艺设计优化提供智力支持。通过高端人才的引领和示范，带动整个团队的技术水平提升。建立跨部门、跨领域的协作机制，促进工艺设计团队与其他部门（如研发、生产、质量等）之间的紧密合作。通过团队

建设和激励机制，激发团队成员的积极性和创造力，形成高效、协同的工作氛围。

4.3 国际化合作与交流

在全球化背景下，国际化合作与交流是航天电子信息产品工艺设计优化的重要途径。通过与国际先进企业和科研机构的合作，可以引进先进技术和管理经验，提升企业的国际竞争力。与国际知名企业和科研机构建立合作关系，共同开展航天电子信息产品工艺设计的研发项目。通过合作项目的实施，学习借鉴国际先进技术和管理经验，提升企业的自主创新能力^[4]。积极参与国际航天电子信息产品工艺设计标准的制定工作，争取在国际标准中体现我国企业的技术优势和特色。通过参与国际标准制定，提升企业在国际航天领域的话语权和影响力。组织企业人员参加国际航天电子信息领域的学术会议、研讨会等活动，了解国际最新技术动态和发展趋势。邀请国际专家来企业讲学、指导，提升企业的技术水平和创新能力。国际化合作与交流需要企业具备开放的心态和全球化的视野，积极寻求与国际先进企业和科研机构的合作机会，共同推动航天电子信息产品工艺设计的优化和发展。

结束语

航天电子信息产品工艺设计作为航天技术发展的重要支撑，其优化与创新对于提升我国航天事业的竞争力至关重要。面对未来航天任务的复杂性与多样性，需持续深化工艺设计研究，加强技术创新与人才培养，拓宽国际化合作与交流渠道。通过不懈努力，推动航天电子信息产品工艺设计迈向新高度，为我国航天事业的蓬勃发展贡献坚实力量，共同开创航天技术的新篇章。

参考文献

- [1]刘云峰,仝伟,焦亮,等.航天电子信息产品电子元器件的质量控制[J].航天标准化,2022(03):30-35.
- [2]武文娟.航天电子产品中电子元器件的质量控制[J].探索与观察,2020(1):75-76.
- [3]田蕊.浅谈航天电子产品中电子元器件的质量控制分析[J].电子世界,2020(13):77-78.
- [4]武文娟.航天电子产品中电子元器件的质量控制[J].电子世界,2020(01):75-76.