

飞机装配工装复合材料结构设计技术研究

张智 杜铨浩 刘佳 李杨 贺增力
陕西飞机工业集团有限公司 陕西 汉中 723000

摘要: 飞机装配工装复合材料结构设计技术研究旨在提升飞机制造精度与装配质量。通过精细的制造工艺与严格的质量控制,确保复合材料工装具备优异的性能与可靠性。包括连接设计与装配技术的优化,确保工装结构稳固、符合设计要求。本文对于提高飞机生产效率、降低成本具有重要意义,推动航空制造业向更高水平发展。

关键词: 飞机; 装配工装; 复合材料; 结构设计技术

引言: 随着航空工业的快速发展,飞机装配工装的设计与制造面临更高要求。复合材料因其轻质高强、耐腐蚀等特性,在飞机装配工装中得到广泛应用。通过探讨飞机装配工装复合材料结构设计技术,旨在如何优化结构设计、提升制造工艺与质量控制水平,以满足现代飞机制造的高精度、高效率需求,推动航空制造技术的进步与发展。

1 飞机装配工装概述

飞机装配工装是飞机制造和装配过程中不可或缺的重要工具,它们在提高生产效率、保证装配质量和精度方面发挥着关键作用。第一,飞机装配工装,简称工装,是指用于辅助飞机制造和装配的各类模具、夹具、量具等工具。这些工装能够帮助工人们固定零件位置、进行定位、测量和加工等操作,从而大大提高工作效率和装配质量。根据用途和形状,装配飞机工装可以分为多种类型,如夹具、型材、定位器、检测治具、安装治具、支持治具、拆装工装、加工工装等。第二,装配飞机工装能够消除不必要的操作步骤,缩短制造周期,加速装配进程,从而显著提高生产效率。工装能够对零件进行精确定位和固定,确保装配过程中零件之间的间隙和几何形状与设计要求一致,从而保证装配的精度和质量。大量使用装配飞机工装能够降低半成品、废品和返工率,从而间接降低制造成本。第三,飞机装配工装的设计与制造是一个复杂而精细的过程,通常包括以下几个步骤:根据飞机的设计和工艺要求,确定需要哪些装配工装,并规划每个工装的设计和加工要求^[1]。依据设计和工艺要求,通过计算、仿真和实验等方式设计出工装的形状、尺寸和材料。根据工装设计方案,进行零件加工、装配和调试,制造出符合要求的工装。对制造出来的工装进行验证和测试,包括工装质量、功能和适用性的验证。在飞机制造和装配的过程中,工人们需要根据工艺流程使用相应的工装,并对工装进行定期检验和维

护,以保证其正常使用和延长使用寿命。

2 复合材料在飞机装配工装中的应用

2.1 复合材料构件的成型与装配

复合材料构件,如碳纤维增强塑料(CFRP)或玻璃纤维增强塑料(GFRP)等,因其轻质、高强度、耐腐蚀及良好的抗疲劳性能,在飞机制造中得到了广泛应用。在飞机装配工装的支持下,这些复合材料构件的成型与装配过程实现了高度的精确性和效率。复合材料的成型通常涉及复杂的热压罐工艺或树脂传递模塑(RTM)等技术。在此过程中,工装不仅作为支撑结构,还需精确控制温度、压力和树脂流动,以确保复合材料层合板能够按照设计要求进行固化。工装的设计需充分考虑复合材料的热膨胀系数和固化特性,以避免在成型过程中产生翘曲、变形或内部应力。装配阶段,复合材料构件的精确对接和固定至关重要。工装通过精密的夹具和定位装置,确保每个构件都能准确放置并固定在预定位置。这些工装通常采用模块化设计,便于快速调整以适应不同型号和尺寸的构件。此外,工装还需具备足够的刚性和稳定性,以承受装配过程中的各种力和力矩,保证装配质量。随着数字化和智能化技术的发展,复合材料构件的成型与装配过程也在不断升级。例如,通过采用激光扫描和三维打印技术,可以实现工装的快速制造和定制化生产;利用机器人和自动化设备进行装配作业,可以进一步提高装配精度和效率。

2.2 模具与工装技术

在飞机装配工装中,复合材料的应用极大地推动了模具与工装技术的发展。

2.2.1 模具设计与制造

复合材料模具通常采用高性能的树脂基复合材料,如碳纤维或玻璃纤维增强树脂,这些材料具有轻质、高强度和良好的热稳定性,能够满足飞机装配过程中高温、高压环境的需求。模具设计需充分考虑复合材料的

热膨胀系数和固化特性,以确保成型精度和表面质量。复合材料模具的结构设计注重刚性和稳定性的平衡,采用模块化或参数化设计以提高制造效率和精度。框架式模具和整体式模具是常见的结构形式,前者通过隔栅结构增强局部和整体刚度,后者则适用于较小尺寸的制件^[2]。复合材料模具的制造工艺包括层压、热压罐固化等步骤,需要精确控制温度、压力和树脂流动,以确保模具的成型质量。数字化设计技术和仿真分析在模具制造过程中发挥着重要作用,能够提前发现并解决潜在问题。

2.2.2 工装设计与应用

工装设计中,定位器和夹具是关键部件,它们用于精确定复合材料的构件在模具上的位置和姿态,并将其牢固夹紧。工装设计需考虑复合材料的特殊性能,如热膨胀系数和表面敏感性,以避免对构件造成损伤。随着数字化技术的发展,数字化工装技术已成为趋势。该技术集成了计算机技术、数字建模技术和精密加工技术,能够实现工装的快速制造和精确控制。数字化工装技术在提高生产效率、降低成本和缩短交付周期方面表现出色。针对复合材料构件的特殊需求,还发展出了如真空袋技术、热压罐技术等特殊工装技术。这些技术能够在复杂环境下为复合材料构件提供稳定的成型条件,确保构件的成型质量和精度。

2.3 环保与可持续性

在飞机装配工装中,复合材料的应用不仅提升了生产效率与装配质量,更在环保与可持续性方面展现出了显著优势。

2.3.1 材料本身的环保特性

复合材料,尤其是碳纤维等高性能复合材料,具有优异的物理和化学性能,如轻质、高强度、耐腐蚀等。这些特性使得复合材料在飞机制造中能够显著减轻重量,从而减少燃油消耗和温室气体排放。此外,复合材料在制造过程中产生的废弃物相对较少,且部分废弃物可通过回收再利用技术进行处理,降低了对环境的负面影响。

2.3.2 生产工艺的环保性

随着技术的不断进步,复合材料的生产工艺也在向更加环保的方向发展。例如,采用低温固化技术可以减少能源消耗和减少有害气体的排放;通过优化树脂配方和固化工艺,可以降低生产过程中的挥发性有机化合物(VOCs)排放。此外,数字化设计和智能制造技术的应用,也提高了生产效率和材料利用率,进一步降低了环境影响。

2.3.3 长寿命与低维护成本

复合材料具有优异的抗疲劳和耐腐蚀性能,使得飞机部件在长期使用过程中能够保持良好的性能状态。这不仅延长了飞机的使用寿命,还降低了因维修和更换部件而产生的成本和环境负担。例如,碳纤维复合材料制造的飞机部件相比传统金属材料部件具有更长的维护周期和更低的维护成本。

3 飞机装配工装复合材料结构设计技术

3.1 材料选择与性能优化

飞机装配工装复合材料的选择需综合考虑多方面因素,包括材料的力学性能、热稳定性、耐腐蚀性、加工性能以及成本等。目前,常用的复合材料主要包括碳纤维增强塑料(CFRP)、玻璃纤维增强塑料(GFRP)以及芳纶纤维等高性能纤维增强的树脂基复合材料。(1)碳纤维复合材料:以其高强度、高模量和低密度等优异性能在飞机制造中得到广泛应用。在装配工装中,碳纤维复合材料能够显著提升工装的承载能力和刚度,同时减轻重量,提高生产效率。(2)玻璃纤维复合材料:虽然其性能略逊于碳纤维复合材料,但成本更低,易于加工,因此在某些对性能要求不是极高的场合下也有应用。(3)芳纶纤维复合材料:具有优异的耐高温性能和抗冲击性能,适用于需要承受高温或高冲击载荷的工装部件。(4)结构设计优化:通过合理的结构设计,如采用层压结构、夹层结构或蜂窝结构等,可以充分发挥复合材料的性能优势,提高工装的整体性能。例如,在受力较大的区域增加铺层厚度或采用高强度的纤维材料,以提高工装的承载能力和刚度。(5)材料性能匹配:在选择复合材料时,需要考虑其各组分之间的性能匹配问题。例如,树脂基体应具有良好的流动性和固化性能,以确保复合材料在成型过程中能够充分浸润纤维并形成良好的界面结合;纤维材料则应具有优异的力学性能和热稳定性,以满足工装的使用要求。(6)工艺优化:复合材料的成型和加工过程对最终产品的性能有着重要影响。因此,需要通过优化工艺参数(如温度、压力、固化时间等)和采用先进的制造工艺(如热压罐固化、树脂传递模塑等)来提高复合材料的成型质量和性能稳定性。(7)性能评估与验证:在材料选择和性能优化过程中,需要进行充分的性能评估和验证工作。通过试验测试和数值模拟等手段,评估复合材料的力学性能、热稳定性、耐腐蚀性等关键指标,确保所选材料能够满足工装的使用要求。

3.2 结构与仿真分析

在飞机装配工装复合材料结构设计技术中,结构与仿真分析是紧密相连、相辅相成的两个关键环节。

在结构设计阶段,设计师不仅需要依据工装的受力特点、工作环境及装配要求来构思整体布局,还需深入考虑复合材料的特性,如各向异性、层间强度差异等,以优化铺层设计、连接布局及传力路径。此时,仿真分析便成为了一个不可或缺的辅助工具。通过构建精确的三维模型,并运用先进的有限元分析(FEA)技术,设计师能够模拟出工装在不同工况下的应力分布、变形情况乃至潜在的损伤模式,从而提前发现并解决设计中的问题。另外,仿真分析的结果不仅为结构设计提供了数据支持,还直接指导了设计优化的方向。例如,若发现某区域应力集中,设计师可调整铺层方向或增加铺层厚度以增强该区域的承载能力;若连接部位出现应力传递不畅,则可优化连接设计或引入新的连接方式以改善传力效率。这种基于仿真分析的迭代设计方法,使得结构设计更加科学、合理,同时也大大提高了设计效率和准确性。

3.3 制造工艺与质量控制

制造工艺的精细执行直接关系到复合材料的成型质量、结构完整性和性能表现,而严格的质量控制则是保障每一步骤均符合设计标准与行业标准的关键。制造工艺方面,需精确控制原材料的预处理、裁剪、铺叠、成型及固化等各个环节。特别是铺叠过程,需严格遵循设计要求的铺层顺序、方向及角度,确保纤维排列整齐、张力均匀,避免产生褶皱、空隙等缺陷。成型固化阶段,则需精确调控温度、压力、时间等工艺参数,以保证树脂充分渗透纤维、形成均匀的固化结构,同时避免热应力、残余应力对结构性能的不利影响。另外,质量控制则贯穿于整个制造流程之中,从原材料进厂检验到成品出厂检测,无一不体现其重要性。通过建立完善的质量管理体系,采用先进的检测技术和设备,对每一道工序、每一个部件进行严格的检验和测试^[3]。特别是对于复合材料特有的性能参数,如层间剪切强度、抗疲劳性能等,需采用专门的检测方法进行评估,还应注重数据收集与分析,通过持续监控工艺参数、质量指标等关键数据,及时发现并纠正制造过程中的偏差,确保产品质量稳定可靠。

3.4 连接设计与装配技术

连接设计方面,由于复合材料具有各向异性、层间

强度低等特点,其连接设计相比金属结构更为复杂。在飞机装配工装中,常见的连接方式包括机械连接(如铆接、螺栓连接)、胶接以及混合连接(即机械连接与胶接的结合)。设计时需充分考虑复合材料的特性,选择合适的连接方式和参数,以确保连接的强度和耐久性。铆接和螺栓连接在复合材料工装中均有应用,但需注意控制制孔过程中的损伤,避免纤维断裂和分层。同时,合理的干涉配合设计能够提高连接强度和疲劳寿命,但需谨慎选择干涉量,避免对复合材料造成过大损伤。胶接技术能够提供更好的应力分布和减轻重量,但在复合材料中应用时需注意胶接面的处理和胶接剂的选择,以确保胶接强度和耐久性。此外,胶接工艺的控制也至关重要,包括温度、压力和时间等参数的精确控制。混合连接结合了机械连接和胶接的优点,能够提供更好的连接性能和减重效果。在设计时需综合考虑两种连接方式的优缺点,进行合理的布局和参数设计^[4]。装配技术方面,复合材料工装的装配过程需要精细操作和高度的质量控制。装配前需对工装进行严格的检查,确保各部件的尺寸、形状和性能符合设计要求。装配过程中需采用合适的工装夹具和定位装置,确保各部件之间的相对位置和角度准确无误。同时,需严格控制装配过程中的力度和速度,避免对复合材料造成不必要的损伤。

结语

总之,通过有效的设计优化与制造工艺改进方案。这些成果不仅提升了飞机装配工装的性能与可靠性,还促进了复合材料在航空制造领域的广泛应用。未来,随着技术的不断进步与创新,相信飞机装配工装复合材料结构设计技术将迎来更加广阔的发展前景。

参考文献

- [1]张鹏宇.复合材料在民用产品上应用浅析.中国高新技术企业,2019(21):99-102.
- [2]陈绍杰.复合材料技术发展及其对我国航空工业的挑战.高科技纤维与应用,2019,35(1):1-7
- [3]王华.飞机先进复合材料结构装配协调技术研究现状与发展趋势[J].航空制造技术,2020,61(7):26-33.
- [4]耿育科.飞机装配工装复合材料结构设计技术研究[J].中国设备工程,2020(24):133-134.