

Discussion on the Key Points of Composite Material Structure Design in Aircraft Assembly

Yu Liu

Jiangsu Xinyang New Material Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

Under the background of modern social development, the requirements for manufacturing accuracy and assembly quality of aircraft products are becoming increasingly high. Aircraft manufacturing enterprises need to further improve product assembly accuracy in order to meet the quality requirements of aircraft manufacturing. The positioning accuracy of assembly fixtures is closely related to high-precision product assembly. Composite materials have high specific strength and modulus, excellent fatigue strength, low specific weight, and good safety performance, playing an important role in the production of aircraft components. The paper mainly analyzes the key points of composite material structure design for aircraft assembly fixtures, aiming to further improve the accuracy of aircraft assembly fixtures and the quality of aircraft manufacturing.

Keywords

aircraft; assembly fixtures; compound material; structural design

浅谈飞机装配中复合材料结构设计要点

刘煜

江苏新扬新材料股份有限公司, 中国·江苏·扬州 225000

摘要

现代化社会发展背景下,飞机产品制造精度和装配质量要求越来越高,飞机制造企业需要进一步提升产品装配精度,才能满足飞机制造质量需求。其中装配工装的定位精度与高精度产品装配息息相关。复合材料的比强度、比模量较高,且具有优良的疲劳强度,比重量较低,安全性能较好,在飞机零部件制作中发挥了重要作用。论文主要对飞机装配工装复合材料结构设计要点进行分析,旨在进一步提升飞机装配工装的精度和飞机制造质量。

关键词

飞机; 装配工装; 复合材料; 结构设计

1 引言

在飞机制造中往往需要运用若干成套工艺装备,工装设计制造过程较为复杂,需要投入较多的人工和时间成本。当前,飞机装配工装作业中,占地面积较大,周期长,为了避免出现装配结构变形问题,保障定位精准性,需要采用刚性结构进行装配工装制作,一套工装只能用于一个对象的装配,飞机生产中需要不同部件如机翼、尾翼、机身(前、中、后)等多套装配型架工装。

2 飞机复合材料特性

随着科学技术的发展,复合材料在飞机结构部件制造中发挥着越来越重要的作用。复合材料具有较强的可设计性,可以通过不同铺层角度、比例的设计,获得某项性能较

强的零件,如主受力方向的刚度和扭转特性等,可以对单一材料的弱点进行有效性平衡,同时还可以获得单个材料不具备的优越特性。复合材料的比刚度、强度较高,且疲劳强度较高,阻尼强大,结构与材料的强设计性较好,积分形式较为简单的特点。在现代化飞机制造中,需要具有轻量化的结构,同时对结构的保障性、可靠性提出了更高的要求,使用寿命的要求对复合材料性能要求更为严苛。其中复合材料的特性体现为:①在对飞机材料承载能力进行测量时,主要的衡量指标就是比强度和比刚度。两个数值越大,说明材料重量越轻,相对强度和刚度也就越高。在拉伸强度一样的情况下,先进复合材料的密度不超过钛合金密度的1/3。在飞机制造中引入复合材料,可以在一定程度上减少飞机机身的总体重量,提升航程,并把运营成本控制在合理范围内^[1]。②抗疲劳性能较好。飞机在滚转、起落的过程中,往往需要承受循环荷载,其荷载量始终处于持续变化的状态中,材料对该类疲劳荷载的承受能力可以对材料的抗疲劳能力进行有效性反映。其中,纤维增强树脂复合材料的抗疲劳性能尤为

【作者简介】刘煜(1992-),男,中国宁夏中卫人,硕士,工程师,从事复合材料、无人机结构设计及分析研究。

突出。通过复合材料中的纤维，能够对零件表面的裂缝进行有效性桥接，避免裂缝面积继续扩大。对于寿命为30年的民用飞机，复合材料几乎对疲劳不敏感。^③成形简单，纤维增强复合材料在整体形状制作中比较适用，可以进一步控制零件、部件的使用数量，并降低设计、计算工作量，保障计算精度的提高。复合材料在大型飞机零部件制作中，可以引入整体成形方法，从而有效降低零件、紧固件、模具的数量，并控制装配接头、工艺的数量。通过这种方式可以从根本上减少飞机复合结构的总体重量，控制运营成本。

3 复合材料结构制造装配的关键技术

3.1 基础工艺规范

复合结构的质量保证较为复杂，需要引入综合系统的工艺规范，才能促进复合结构制造质量的提升。结合当前复合材料的发展需求，以及飞机复合材料的应用特点，我国引入了新型复合材料，尤其是加大了对T700系列复合结构的装配制造的研究深度，但是当前还缺乏针对性的工艺规范。基于此，需要结合新型复合材料的应用特点，编制针对性的工艺规范，保障新型复合材料能够在新型飞机研制中发挥重要作用，同时要把这些工艺规范融入零件制造、加工、装配的各个环节中^[2]。

3.2 翼面结构自动化装配技术

在我国新型飞机开发过程中，为了进一步提高复合结构装配效果，需要对自动化装配技术进行优化应用，在具体操作中，需要对复合材料结构构件的自动装配技术进行深入研究，其中涉及精密自动制孔、自动铆钉等技术。

4 复合材料装配工艺高质量、高效率要求

复合材料属于结构性材料，比强度、比模量较高，各向异性，具有较高的可设计性，耐腐蚀性和抗疲劳性较强，层间强度低。随着飞机产品大量使用复合材料，零件的外形精度、尺寸精度要求越来越高，且工装使用的金属材料与产品使用的复合材料的热膨胀系数存在很大差异，导致工装结构在不同温度下与产品结构产生变形量差异，影响产品的定位精度。在飞机装配技术高速发展的背景下，新的生产装配方案要求装配工装在生产过程中转站移动，更加需要对复合材料进行科学研究，使其成为装配工装主体材料，这样才能减少工装总重量，降低移动难度，保障移动安全。在科学技术发展背景下，脉动装配生产线在飞机复合材料装配工艺中发挥了重要作用。脉动装配生产线是连续移动装配生产线的过渡阶段对生产节拍要求不高，一旦某个生产环节出现问题，整个生产线可以不移动，或留给下个站位去解决，当完成全部的飞机装配工作后，生产线就脉动一次。脉动装配生产线的应用，改变了传统飞机装配模式，可以对整条生产线细致、明确分工，且工作量单一重复，有效提升了生产效率；生产线上装配专业自动化设备和先进供给线，自动化生产较高；装配线过程流畅，不会产生挤压、脱节等问题。由此可

见，现代化飞机复合材料装配模式的创新应用，对复合材料装配、结构设计质量、效率提出了更高的要求，在实际工作中，需要结合实际情况，对复合材料结构设计要点进行精准把控，避免出现装配问题，保障复合材料装配工作的高质量运用^[3]。

5 飞机装配工装复合材料结构设计注意事项

5.1 复合材料装配偏差建模

为了保障复合材料装配的协调性，需要对以下要素进行综合考量，如构件自身的尺寸偏差、形状偏差、定位误差、夹持方法、连接工艺等，同时还需要对几何外形、材质差异、定位与夹紧等因素进行全面描述，为复合材料构件偏差建模、公差设计创造良好的条件。在具体操作中，需要结合复合材料构件的制造的具体情况，对基础数据进行积累，以便掌握复合材料构件制造偏差的分布情况，其中偏差信息内容涉及复材梁、板壁等构件的尺寸、形状、厚度等。同全尺寸复合材料构件制造偏差数据的有效性积累，可以进一步保障复合材料构件装配偏差预测结果的准确性。针对复材构件不同铺层、纤维材料与树脂性能波动以及工艺参数波动造成的板料厚度、机械性能等参数的变化，研究复材构件材质性能参数的统计特性，定义复材构件材质误差的描述向量来表达复材构件材质误差，实现形状协调的同时也满足装配性能的要求^[4]。

5.2 装配应力的工艺方法

复合材料装配型架在飞机制造中发挥重要作用，可以保障飞机装配准确度，同时强化装配协调性，也是复合材料装配的重要依据，装配任务需要在型架上完成。为了进一步强化结构装配协调性，需要对定位方法进行适当优化，对装配复合材料的应力进行充分考量，并对构件装配偏差进行合理控制，对位置、形状、内应力定位等进行精准把控，既要保障装配协调性，同时还需要优化内应力场，通过这种方式有效提升复合材料结构的疲劳性能。通过科学的方式对复合材料构件进行有效性约束，在该环节中，构件内应力场需要在下架过程中随着应力变化出现变化，从而确保复合材料结构能够形成受力整体，减少局部损伤。

5.3 复合材料增韧性方法

树脂增韧技术的应用，可以有效提升复合材料的韧性、层间特性等，为后续复合材料的制孔、装配作业的顺利开展创建良好条件。当前，短纤维增韧已经在复合材料制孔工作中发挥了重要作用。通过复合材料韧性的改进，可以有效控制脆性断裂问题的出现概率。在尺寸效应以及树脂增韧的协同作用下，能够进一步提高复合材料结构的变形能力，保障装配协调性，不需要使用加垫补偿。由此可见，在飞机装配中需要对复合材料设计材料进行优化选择，尤其要对其拉伸模量、拉伸强度、密度和热膨胀线性系数进行科学对比分析，从而选择最佳性能的材料，保障复合材料结构设计质量的提

高。①拉伸模量，拉伸模量是材料受力后抵抗弹性变形的力学性能，其数值高低对结构承载后的变形量存在很大影响，材料拉伸模量对装配工装结构稳定性具有重要影响。如表1所示，T300预浸料的拉伸模量为130GPa，综合成本因素，可以将其作为装配工装结构主体材料，但是在对Q235钢材复合材料进行替换设计时，需要适当加大结构壁厚。②拉伸强度，拉伸模量是材料抵抗断裂和过度变形的力学性能，与

结构承载的最大拉伸应力存在紧密联系，因此，需要对材料的拉伸强度进行合理对比，选择最大的材料设计方案。③密度和热膨胀线性系数，表1可知，T300预浸料和某型玻璃纤维预浸料密度在Q235钢材、2A12铝材之下，可以减轻装配工装结构的总重量，且T300预浸料的热膨胀线性系数较低，热稳定性较好。

表1 材料力学性能与物理性能

材料种类	拉伸模量(刚性) GPa	拉伸强度(强度) MPa	密度/(g/cm ³)	热膨胀线性系数
Q235	210	410	7.8	12.2x10 ⁻⁶ /m/°C
2A12	72	420	2.7	24x ⁻⁶ /m/°C
INVAR 合金	140	450	8.2	1.5x ⁻⁶ /m/°C
某型玻璃纤维预浸料	54	700	2.0	7x ⁻⁶ /m/°C
T300 预浸料	130	1760	1.6	3x ⁻⁶ /m/°C
T700 预浸料	130	2100	1.6	3x ⁻⁶ /m/°C
T800 预浸料	154	2950	1.6	3x ⁻⁶ /m/°C

5.4 其他方面

①铺层设计，在对铺向角、铺层顺序、层数比等参数进行确定时，需要结合层压板所承受的外载荷、所用铺层性能等为参考。一般情况下，0°铺层承受轴向载荷，+45°主要承受剪切载荷，90°铺层承受横向载荷和控制层压板的泊桑比。在设计中，需要确保铺层的均衡性和对称性，防止各向异性材料耦合效应引起变形问题；尽量使纤维方向和主受力方向保持一致性；要对+45°铺层与0°、90°铺层交错铺层，这样可以降低相应铺层间的夹角，降低层间应力；在一些情况下，如在屈曲下，建议把定位离对称平面尽可能远；在这些层压板中，设计者不得不评估这是否与先前的损伤容限准则相符合以及选择最佳方案。为了减少层压板中微裂纹的形成，相同方向铺层的层片数量应该加以限制。从设计实践中可知，推荐使用的最大数量为三层。

②许用值问题，一般情况下，复合材料结构许用值需要以许用应变给出，并利用载荷进行设计。复合材料受到环境暴露、重复荷载作用，材料性能逐渐拓华，且材料机械性能分散性较大，所以在复合材料结构设计中需要对许用值进行科学考量。其中许用值选取与以下要素息息相关：材料体

系、铺层设计、工艺方法、使用条件等。

6 结语

综上所述，随着科学技术的发展，复合材料在飞机制造中的应用力度加大，主要是因为复合材料的比强度、比模量较高，具有较强的耐疲劳性和热稳定性，与现代化航空制造业的高效率、高质量、低成本追求相适应。因此，需要加大对飞机装配过程中复合材料结构设计要点进行深入研究，拓展复合材料应用范围，保障飞机工装结构设计技术水平的提升。

参考文献

- [1] 郭飞燕,肖世宏,肖庆东,等.面向性能保障的新一代飞机结构装配质量控制技术[J/OL].机械工程学报:1-17[2023-08-04]
- [2] 李东升,杨应科,翟雨农等.民用飞机复合材料机身壁板装配协调形性调控技术研究[J].复合材料学报,2022,39(9):4310-4318.
- [3] 杨浩然,安鲁陵,黎雪婷.飞机结构中柔性件装配偏差分析与控制研究进展[J].航空制造技术,2021,64(4):30-37.
- [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.