

# 工程力学在飞机结构修理中的运用研究

蔡睿广 张宋佳

凌云科技集团有限责任公司 湖北 当阳 444100

**摘要:** 工程力学在飞机结构修理中有着至关重要的作用。本文先是概述了工程力学相关内容, 阐述其在飞机结构修理方面体现出的重要性, 包括提高修理质量与可靠性、降低成本和时间以及推动航空航天技术发展等。接着分析了飞机结构存在的力学问题, 如强度与稳定性、疲劳与损伤、振动与噪声等。重点探讨了工程力学在飞机结构修理中的运用, 涵盖建立修理模型, 以及机翼、机身修理中的受力分析与常见问题、修理措施等, 旨在为飞机结构修理工作提供理论与实践参考。

**关键词:** 工程力学; 在飞机结构; 修理运用; 研究

引言: 在航空领域, 飞机结构修理是保障飞行安全与飞机持续正常服役的关键环节。随着航空事业的不断发展, 对飞机结构修理的要求日益提高。工程力学作为一门基础且应用广泛的学科, 为飞机结构修理提供了坚实的理论支撑。它能够帮助技术人员深入理解飞机结构在不同工况下的力学特性, 准确分析结构存在的问题, 进而科学合理地制定修理方案, 提升修理效果, 对整个航空产业的稳定发展意义重大, 本文将对其运用展开深入研究。

## 1 工程力学概述

工程力学是一门综合性的学科, 它融合了理论力学和材料力学的核心知识体系。理论力学主要聚焦于物体的机械运动规律, 通过对力、力矩、平衡等概念的深入研究, 揭示物体在不同受力状态下的运动状态变化。例如, 在分析飞机起飞阶段的运动轨迹时, 理论力学可精确计算出各种力的相互作用对飞机加速度、速度及位移的影响。而材料力学则着重探讨材料在受力时的力学性能, 诸如材料的强度、刚度、韧性等特性, 以及在不同载荷形式(拉伸、压缩、弯曲、扭转等)作用下的变形规律与失效准则。以飞机机翼为例, 材料力学能够确定在飞行过程中机翼承受的应力分布, 评估其是否会因应力过大而发生材料破坏或过度变形, 从而为机翼材料的选择与结构设计提供关键依据。工程力学为解决复杂工程问题提供了不可或缺的理论基石与分析方法<sup>[1]</sup>。

## 2 工程力学在飞机结构修理中的重要性

### 2.1 提高修理质量和可靠性

工程力学在飞机结构修理中对提高修理质量和可靠性起着决定性作用。在修理前, 通过工程力学的精确分析, 能够全面深入地了解飞机结构在受损前的受力状况, 包括各种飞行姿态、工况下的应力分布、载荷传递

路径等。这使得维修人员在制定修理方案时可以精确定位损伤部位的关键力学参数, 有针对性地选择合适的修理材料与工艺。例如, 在修复飞机机翼的损伤时, 依据工程力学原理确定的最佳修理方案, 能够确保修复后的机翼在强度、刚度等关键力学性能上与原设计标准高度匹配, 有效避免因修理不当而引发的二次故障。从而在最大程度上保障飞机结构修理后的整体质量, 增强飞机在后续飞行过程中的可靠性与安全性, 减少因结构问题导致的飞行事故风险。

### 2.2 降低修理成本和时间

工程力学为降低飞机结构修理成本和时间提供了有力支持。基于工程力学的分析, 可以对飞机结构损伤进行精准评估, 确定损伤的程度和范围, 避免不必要的过度修理。例如, 准确判断一处结构损伤是只需局部修复还是需要整体更换部件, 从而减少了材料和人力的浪费。在修理过程中, 工程力学原理能够指导选择最优化的修理工艺和方法, 提高修理效率。比如, 根据结构受力特点采用特定的连接方式或加固手段, 既能保证修理效果又能缩短修理时间。通过合理安排修理顺序, 依据力学分析确定哪些部位先修、哪些后修, 使修理工作有条不紊地进行, 进一步减少停机时间, 精确的力学计算还可避免因反复试验和错误操作而增加的成本, 让飞机能够更快地重返蓝天, 降低航空公司因飞机维修造成的运营损失。

### 2.3 推动航空航天技术的发展

工程力学在飞机结构修理中的应用对航空航天技术的发展有着深远的推动作用。在修理实践中积累的大量关于飞机结构力学性能的数据与经验, 为新型飞机的设计与研发提供了宝贵的参考依据。通过对飞机结构在实际使用中出现的力学问题的深入研究, 可以发现原有

设计的不足,进而在新机型设计时进行优化与改进。例如,根据修理中发现的疲劳破坏问题,在设计阶段采用更合理的结构布局和抗疲劳材料,提高飞机的耐久性和可靠性,工程力学在修理中的创新应用也促进了航空维修技术的革新,如新型的无损检测技术、智能修复材料与工艺的研发等,这些技术的发展不仅提升了飞机维修的水平,也为航空航天领域的其他方面,如航天器的制造与维护等提供了有益的借鉴,从而带动整个航空航天技术不断向前迈进<sup>[2]</sup>。

### 3 飞机结构中的力学问题

#### 3.1 结构强度与稳定性问题

飞机在飞行过程中会承受多种复杂的载荷,如空气动力、重力、发动机推力等,这些载荷对飞机结构强度提出了极高要求。在起飞、降落阶段,飞机起落架需承受巨大的冲击力;飞行时,机翼要承受空气的升力、阻力以及机身传来的载荷。结构强度不足可能导致局部变形甚至断裂,飞机结构的稳定性也至关重要。例如,细长的机翼结构在特定载荷作用下可能出现失稳现象,像受压的机翼梁可能发生侧向弯曲或扭转失稳,这会严重影响飞机的飞行性能与安全。而且,飞机在复杂的飞行环境中,如遭遇强气流、机动飞行时,结构受力情况瞬息万变,确保整个结构体系在各种工况下都能保持足够的强度与稳定性是极为关键的挑战。

#### 3.2 疲劳与损伤问题

飞机结构在长期的使用过程中,由于反复承受交变载荷,极易产生疲劳问题。例如,飞机每次飞行时,机翼上下表面的压力差不断变化,这种交变应力循环作用无数次后,会使机翼结构材料内部产生微小裂纹。即使这些裂纹在初始阶段非常细微,但随着飞行次数的增加,裂纹会逐渐扩展。在机身连接部位,如铆钉连接、焊接处等,因应力集中效应,疲劳问题更为突出。此外,飞机在飞行中还可能遭受意外的损伤,如鸟击、冰雹撞击、跑道异物撞击等。这些外部冲击可能直接导致飞机结构表面凹陷、破损,或者在内部引发隐性损伤,如复合材料内部纤维断裂等,严重威胁飞机结构的完整性与安全性,并且疲劳与损伤往往相互作用,加速结构的失效进程。

#### 3.3 振动与噪声问题

飞机结构面临着多种振动源的影响。发动机运转时产生的不平衡力会引发机身的振动,尤其是在发动机安装部位及其附近结构。飞行过程中,空气气流的不稳定流动,如湍流,会使机翼、尾翼等结构产生振动。而且,飞机的旋转部件,如螺旋桨、旋翼等,在高速转动

时也会带来周期性的激励力,导致相关结构振动。这些振动不仅会影响乘客的舒适性,更重要的是长期的振动可能导致结构连接松动、部件磨损加剧,甚至引发结构疲劳破坏,飞机在高速飞行时产生的强烈噪声也是一个重要问题。噪声主要来源于发动机喷气噪声、空气与飞机表面摩擦噪声等。过高的噪声不仅会对机场周边环境造成污染,还可能对飞机内部的航空电子设备产生干扰,影响其正常运行,进而间接威胁飞机的飞行安全与可靠性。

### 4 工程力学在飞机结构修理中的运用

#### 4.1 基于工程力学建立飞机修理模型

在飞机结构修理中,基于工程力学建立精确的修理模型是关键环节。首先,需要依据飞机的类型、型号以及具体的损伤部位与状况收集相关数据,包括飞机的几何结构参数、材料特性、原始设计载荷信息等。利用理论力学原理,对飞机在不同飞行状态下的受力情况进行详细分析,确定损伤区域在未受损时所承受的力的大小、方向和分布形式,如机翼在巡航飞行时的升力分布、机身在机动飞行时的扭矩传递等。然后,根据材料力学知识,将飞机结构材料的本构关系纳入模型,考虑材料在受损后的力学性能变化,如强度降低、弹性模量改变等。通过有限元分析等方法,将飞机结构离散为多个单元,模拟损伤部位及其周边结构在实际受力时的应力、应变状态,预测不同修理方案下结构的力学响应。例如,在模拟机翼蒙皮损伤修理时,模型可分析不同补片材料、尺寸和连接方式对机翼整体强度和刚度恢复情况的影响,从而筛选出最优的修理方案,使修理后的飞机结构能够最大程度地恢复到原有设计的力学性能水平,保障飞机的飞行安全与可靠性,同时为修理工作提供科学、精确的指导,减少修理过程中的盲目性和不确定性<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 飞机结构修理中机翼处理

##### 4.2.1 机翼受力分析

机翼是飞机产生升力的关键部件,其受力情况极为复杂。在飞行时,机翼主要承受升力、阻力、重力以及发动机产生的推力在机翼上的分布力等。升力垂直于机翼平面,使飞机在空中保持飞行高度,其大小与飞机速度、机翼形状、迎角等因素密切相关。阻力则与飞机的飞行方向相反,包括空气摩擦阻力、压差阻力和诱导阻力等,会阻碍飞机的前进运动。重力通过机身传递到机翼,使机翼承受向下的载荷。同时,在飞机机动飞行过程中,如盘旋、俯冲、拉起等动作时,机翼还会承受额外的惯性力和扭矩。例如在盘旋时,机翼外侧会承受较

大的离心力,内侧则承受较小离心力,从而产生扭矩。此外,阵风等不稳定气流也会使机翼瞬间承受变化的气动载荷,这些复杂且多变的受力情况要求机翼具备足够的强度、刚度和稳定性,以确保飞机在各种飞行条件下的安全。

#### 4.2.2 常见机翼问题及修理措施

常见的机翼问题包括金属疲劳裂纹、复合材料分层与脱胶、撞击损伤等。金属机翼在长期交变载荷作用下,易在应力集中部位产生疲劳裂纹,如机翼根部、铆钉孔周围等。修理时,对于较小的裂纹可采用钻孔止裂、补焊或胶接金属补片等方法。复合材料机翼由于其特殊的结构特性,可能出现分层与脱胶现象,这往往是由于制造缺陷、湿热环境或局部撞击所致。修理措施包括去除受损区域的疏松层,采用真空辅助树脂灌注或预浸料铺贴等工艺进行修复,并使用紧固件或胶接进行加强。撞击损伤如鸟击或跑道异物撞击可能导致机翼蒙皮凹陷、破损甚至内部结构损坏。对于蒙皮损伤,若损伤较轻可通过整形修复,严重时则需切除受损部分并更换新的蒙皮,同时对内部结构进行检查与修复,如加强肋、桁条的修复或更换,确保机翼结构完整性与力学性能恢复。

### 4.3 飞机结构修理中机身修理

#### 4.3.1 机身受力分析

机身作为飞机的主体结构,承受着来自多个方向和多种形式的力。在飞行过程中,机身首先要承受飞机的重力,确保飞机整体在空中的平衡与稳定。同时,机翼产生的升力通过机翼与机身的连接结构传递到机身,使机身承受向上的拉力。发动机的推力也会在机身结构上产生相应的轴向力,推动飞机前进。在飞行姿态变化时,如俯仰、偏航和滚转机动,机身会承受由于惯性产生的扭矩和弯曲力矩。例如,在飞机急剧俯仰时,机身前部和后部会因惯性产生相反方向的力,形成弯曲力矩。此外,机身还会受到空气动力的作用,包括空气的压力分布和摩擦力,特别是在机身表面不平整处或其他部件连接处,气流的变化会导致局部压力集中。机身内部的各种设备、乘客和货物的重量分布也会对机身结

构产生复杂的载荷作用,这就要求机身结构在设计和修理时必须考虑到这些力的综合影响,以保证足够的强度和稳定性。

#### 4.3.2 常见机身问题及修理措施

常见的机身问题有结构变形、连接部位松动和腐蚀等。机身结构变形可能由于长期承受重载、意外撞击或极端飞行条件引起。例如,飞机在遭遇强气流冲击后,机身可能出现局部凹陷或弯曲变形。对于轻微变形,可以采用机械矫正方法,利用专门的工具和设备施加反向力来恢复原状;对于较严重的变形,则可能需要切割变形部分并重新焊接或铆接新的结构件。连接部位如铆钉、螺栓连接处在飞机长期振动和载荷作用下容易松动,这会影响到机身结构的整体性和稳定性。修理时需检查并紧固松动的连接件,对于损坏的连接件则需更换,并确保连接的预紧力符合设计要求。机身腐蚀问题多因环境因素导致,如在潮湿、盐分高的环境中飞行。对于腐蚀部位,首先要去除腐蚀产物,然后根据腐蚀程度采用补焊、更换受损部件或进行防腐涂层处理等措施,防止腐蚀进一步恶化,保障机身结构的耐久性。

#### 结束语

在飞机结构修理领域,工程力学无疑是基石般的存在。通过深入剖析飞机结构中的各类力学问题,并运用工程力学原理建立精准修理模型,我们能有效处理机翼、机身等关键部位的损伤状况。这不仅极大地提升了修理工作的质量与效率,降低了成本与时间耗费,还为航空航天技术的持续进步提供了强劲动力。展望未来,随着工程力学不断发展以及与新兴技术的深度融合,必将在飞机结构修理方面开启更为高效、智能、安全的新局面,持续推动航空事业迈向新的高峰。

#### 参考文献

- [1]娜,段尔鹏.工程力学在飞机结构修理中的运用研究[J].科学与信息化,2020(20):112-113
- [2]付博,谢胜泽.工程力学在飞机结构修理中的运用分析[J].军民两用技术与产品,2017(10):144-145
- [3]焦良,张建华.飞机整体壁板战伤修理研究[J].航空学报,2019,21(1):64-66.