

飞机起落架地面强度试验技术及可靠性分析

蔡明程 李黎明 赵聪聪

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黑龙江 哈尔滨 150060

摘要: 飞机起落架地面强度试验技术及可靠性分析是航空安全领域的重要课题。本文探讨了飞机起落架地面强度试验的关键技术,包括试验设计、加载方法、数据采集与分析等。同时文章深入分析了起落架的可靠性,通过故障树分析、仿真模拟等手段,评估了起落架在各种工况下的性能表现。本研究旨在为飞机起落架的设计、制造和维护提供理论依据和技术支持,以确保航空器的起降安全。

关键词: 飞机起落架; 地面强度试验技术; 可靠性分析

1 飞机起落架结构与功能概述

1.1 起落架的基本组成

飞机起落架是飞机结构中至关重要的部分,其基本组成主要包括以下几个关键部分:(1)主起落架与前起落架。主起落架通常位于飞机的机翼下方或机身下部,用于支撑飞机的大部分重量,并具备减震功能。前起落架则位于飞机的前部,除了支撑飞机前部的重量外,还具备转向功能。主起落架和前起落架都通过减震支柱与飞机机身相连;(2)减震支柱。减震支柱是起落架中的核心部件,它通常由液压或气压系统构成,用于吸收飞机在起飞、着陆以及地面滑行时产生的冲击和振动。减震支柱内部通常包含油气式减震器,通过油液和气体的相互作用来消耗和分散冲击能量;(3)轮子和刹车系统。轮子是起落架与地面接触的部分,通常由橡胶轮胎和金属轮圈组成,用于支撑飞机并减少地面运动的阻力。刹车系统则安装在轮子上,用于在飞机降落后控制其速度和制动;(4)收放机构。对于收放式起落架而言,收放机构是实现起落架收起和放下的关键部件。它通常由液压或电动系统驱动,通过一系列机械传动装置来实现起落架的收放动作;(5)其他辅助部件。起落架还可能包括前轮减摆器、转弯操纵机构、阻力支柱、承力支柱等辅助部件,这些部件共同协作,确保起落架的稳定性和安全性。

1.2 起落架的工作原理

飞机起落架的工作原理主要涉及其支撑、缓冲和刹车功能:在飞机起飞、着陆和地面滑行过程中,起落架通过其轮子和减震支柱来支撑飞机的重量。主起落架和前起落架共同协作,确保飞机在地面上的稳定性和安全性。当飞机着陆时,减震支柱会吸收和分散地面产生的冲击能量,通过油气式减震器内部的油液和气体的相互作用来减缓飞机的振动和冲击力。这一功能对于保护飞

机结构和乘客安全至关重要。在飞机降落后,刹车系统通过摩擦作用来控制飞机的速度和制动。主起落架上的刹车装置可以缩短飞机着陆的滑跑距离,并使飞机在地面上具有良好的机动性^[1]。另外,对于收放式起落架而言,其工作原理还包括起落架的收起和放下动作。在飞机起飞前,起落架需要被收起以减少空气阻力并提高飞行效率;而在飞机着陆前,起落架则需要被放下以支撑飞机并减缓着陆的冲击力。这一动作通常由飞机的操纵系统和机械系统共同完成,通过液压或电动系统驱动收放机构来实现。

2 飞机起落架在飞行安全中的重要性

飞机起落架在飞行安全中扮演着至关重要的角色。它是飞机与地面接触的唯一媒介,在起飞、着陆以及地面滑行过程中,承担着支撑飞机重量、吸收着陆冲击、确保平稳制动等多重任务。起落架的性能和可靠性直接关系到飞机的稳定性和乘客的安全。一旦起落架出现故障,如减震支柱失效、轮子脱落或刹车系统失灵,都可能导致飞机在着陆时遭受严重损伤,甚至引发空难。因此飞机起落架的设计、制造和维护都必须严格遵守最高标准,以确保其在各种极端条件下的稳定性和耐用性,从而保障每一次飞行的安全。

3 飞机起落架地面强度试验技术

3.1 试验目的与要求

飞机起落架地面强度试验是确保飞机起落架结构强度和安全性的重要环节。试验的主要目的是验证起落架在承受各种地面载荷时的强度、刚度和耐久性,确保其在实际使用中能够满足设计和安全要求。具体来说,试验需要评估起落架在静态载荷和动态载荷下的表现,包括着陆时的冲击载荷、滑行时的连续载荷以及刹车时的制动载荷等。试验要求严格模拟真实飞行条件,确保试验结果的准确性和可靠性。这包括选择合适的试验场

地和设备、制定合理的试验方案、严格控制试验条件以及准确记录和分析试验数据。试验还需要遵循相关的国际和国内标准，如适航条例等，以确保试验的合规性和有效性。

3.2 试验设备与装置

飞机起落架地面强度试验需要使用一系列专业设备和装置，以确保试验的顺利进行和结果的准确性。加载系统；加载系统是试验的核心部分，用于模拟起落架在真实使用中所承受的载荷。这通常包括液压作动筒、伺服阀、传感器等组件。液压作动筒能够提供稳定的加载力，伺服阀用于精确控制加载速度和方向，传感器则用于实时监测和记录加载过程中的应力、位移和形变等数据。夹具和支撑装置；夹具用于固定起落架，确保其在试验过程中的稳定性和准确性。支撑装置则用于支撑飞机起落架，模拟真实的地面支持条件。这些装置通常需要根据起落架的结构和尺寸进行定制设计，以确保试验的有效性和安全性。测量系统；测量系统用于实时监测和记录试验过程中的各项数据，包括应力、位移、形变等。这通常包括应变片、位移传感器、数据采集仪等设备。通过这些数据，可以评估起落架在载荷作用下的结构响应和性能表现^[2]。控制和监控系统；控制和监控系统用于对试验过程进行全面监控和管理，确保试验的顺利进行和结果的准确性。这包括试验控制台、数据采集软件、安全保护装置等组件。试验控制台用于控制加载系统的运行和参数设置，数据采集软件用于实时记录和分析试验数据，安全保护装置则用于在紧急情况下保护试验人员和设备的安全。

3.3 试验方法与步骤

飞机起落架地面强度试验通常分为静载荷试验和疲劳试验两个阶段进行。第一、静载荷试验：试件安装与调试；将起落架安装到夹具上，并进行必要的调试和校准工作。确保加载系统、测量系统和控制系统等设备连接正确、功能正常。加载与测量；根据试验方案的要求，逐步施加静态载荷到起落架上。实时监测和记录起落架的应力、位移和形变等数据。数据分析与评估；对试验数据进行处理和分析，评估起落架在静态载荷下的强度、刚度和稳定性。与设计要求进行比较，判断是否符合安全标准。第二、疲劳试验：根据起落架的实际使用情况和设计要求，设置合理的加载循环和载荷谱。这通常包括不同大小的载荷、加载速度和方向等参数。在疲劳试验机上对起落架进行循环加载。实时监测和记录起落架的应力、位移和形变等数据。随着循环次数的增加，逐渐观察起落架的疲劳损伤情况。根据试验数据和

疲劳损伤情况，评估起落架的疲劳寿命和耐久性。提出必要的维护建议和改进措施，以提高起落架的安全性能和使用寿命。

3.4 试验误差分析与控制

在飞机起落架地面强度试验中，误差分析和控制是确保试验结果准确性和可靠性的关键。主要的误差来源包括测量误差、加载误差、设备误差以及人为误差等。为了有效控制这些误差，选择合适的测量设备和传感器；确保测量设备和传感器的精度和稳定性满足试验要求。定期对测量设备进行校准和维护工作，以确保其准确性和可靠性。精确控制加载系统；加载系统需要具有高精度和稳定性，能够准确模拟真实使用中的载荷情况。通过伺服阀等组件精确控制加载速度和方向，避免加载过程中的波动和误差。优化试验方案；制定合理的试验方案，充分考虑各种可能影响试验结果的因素。通过合理的试验设计和参数设置，减少误差的影响并提高试验结果的准确性。加强试验过程监控；对试验过程进行全面监控和管理，及时发现和解决潜在的问题。确保试验人员严格按照试验规程进行操作，避免人为误差的产生。数据分析与校正；对试验数据进行仔细分析和处理，识别并校正潜在的误差来源。采用统计方法和数学模型对试验数据进行校正和修正，以提高试验结果的准确性和可靠性。

4 飞机起落架可靠性分析

4.1 可靠性评估方法

飞机起落架的可靠性评估是确保其性能稳定、保障飞行安全的关键环节。可靠性评估方法的选择直接影响到评估结果的准确性和实用性。当前，飞机起落架的可靠性评估主要采用以下几种方法：（1）故障模式与影响分析（FMEA）。这是一种系统化的分析方法，通过对起落架各组件可能发生的故障模式进行识别、分类和分析，评估其对系统整体性能的影响程度。FMEA有助于提前识别潜在的设计缺陷和制造问题，为后续的改进和优化提供依据；（2）可靠性框图分析（RBD）。RBD通过构建起落架系统的逻辑框图，分析各组件之间的逻辑关系，评估系统在不同组件失效情况下的可靠性。这种方法能够直观地展示系统各部分的相互依赖关系，为制定针对性的维护策略提供指导；（3）应力-强度干涉分析。该方法基于概率论和数理统计原理，通过比较起落架组件的应力分布和强度分布，评估其在特定载荷条件下的失效概率。这种方法能够量化组件的可靠性水平，为设计优化和材料选择提供依据^[3]；（4）马尔可夫链模型。马尔可夫链模型适用于描述起落架系统在不同状态之间

转移的概率过程。通过构建状态转移矩阵,可以评估系统在长时间运行过程中的可靠性变化趋势,为预测系统寿命和制定维护计划提供支持;(5)加速寿命试验。通过在高于正常应力水平的条件下对起落架进行加速寿命试验,可以缩短试验周期,快速评估其寿命特性和可靠性水平。这种方法需要合理设定加速因子和试验条件,以确保试验结果的准确性和可靠性。

4.2 可靠性模型建立

可靠性模型是描述系统各组件之间逻辑关系、失效概率和寿命特性的数学模型。在飞机起落架可靠性分析中,常用的模型包括串联模型、并联模型和混合模型。在串联模型中,起落架的各组件按一定的顺序连接,形成一个连续的路径。只有当所有组件都正常工作时,系统才能正常工作。串联系统的可靠性取决于其最弱组件的可靠性。在并联模型中,起落架的多个组件同时工作,形成一个冗余的路径。只要有一个组件正常工作,系统就能正常工作。并联系统的可靠性高于其单个组件的可靠性。混合模型结合了串联和并联的特点,描述了起落架系统中既有串联又有并联关系的复杂结构。通过混合模型,可以更准确地评估系统的整体可靠性水平。在建立可靠性模型时,需要考虑起落架的实际结构、工作环境和使用要求。通过合理的假设和参数设置,可以构建出符合实际情况的可靠性模型,为后续的可靠性评估和改进提供依据。

4.3 可靠性试验数据分析

可靠性试验数据是评估飞机起落架可靠性的重要依据。在可靠性试验中,需要收集起落架各组件的失效时间、失效模式、失效原因等数据。这些数据可以通过试验记录、传感器监测和专家评估等方式获得。收集到的数据需要进行整理和预处理,包括数据清洗、数据转换和数据标准化等步骤。通过数据整理,可以提高数据的质量和可用性,为后续的数据分析提供基础。数据分析是可靠性试验的核心环节。通过对试验数据的统计分析、趋势分析和关联分析等方法,可以评估起落架的可靠性水平、失效概率和寿命特性。还可以发现潜在的设计缺陷、制造问题和环境因素对可靠性的影响。为了确保数据分析结果的准确性和可靠性,需要进行结果验

证。这包括与理论预测、历史数据和专家经验的对比验证,以及通过额外的试验进行验证。

4.4 可靠性改进措施与建议

基于可靠性评估和分析的结果,可以提出针对性的可靠性改进措施和建议,以提高飞机起落架的可靠性水平。针对可靠性评估中发现的设计缺陷和问题,可以优化设计以提高组件的强度和耐久性。例如,通过优化材料选择、结构设计和制造工艺等方面,可以降低组件的失效概率和延长使用寿命^[4]。制定合理的维护计划和策略,定期对起落架进行检查、保养和维修。通过及时发现和处理潜在的问题,可以避免故障的发生和扩展,提高系统的可靠性和安全性。在关键组件上采用冗余设计,如增加备份组件或采用并联结构等,以提高系统的容错能力和可靠性水平。在冗余设计中,需要权衡成本、重量和性能等因素,以确保设计的合理性和可行性。选择具有更高强度和耐久性的材料,如高强度合金、复合材料等,以提高起落架组件的可靠性和使用寿命。同时还需要考虑材料的成本、加工性能和环保性等因素。针对起落架在不同环境条件下的使用情况,进行针对性的环境适应性改进。

结束语

通过对飞机起落架地面强度试验技术及可靠性分析的研究,深刻认识到起落架性能对飞行安全的重要性。未来,随着航空技术的不断发展,应持续关注新技术、新材料在起落架设计与制造中的应用,并不断完善试验与评估体系。同时加强人员培训,提高维护水平,共同为航空安全贡献力量。

参考文献

- [1]刘冰,王孟孟,郑建军,等.大型飞机主起落架连接区静力试验误差控制技术[J].科学技术与工程,2021,21(10):4249-4254.DOI:10.3969/j.issn.1671-1815.2021.10.056.
- [2]田佳杰,牟钊,程素华,等.大下沉速度下的起落架落震仿真与试验[J].液压与气动,2020(10):174-180.
- [3]刘可娜,王山,刘永智,等.起落架新型冷气收放系统仿真及试验研究[J].液压与气动,2020(10):167-173.
- [4]王婷婷,王陆阳.某型无人直升机滑撬式起落架受力及结构强度仿真分析研究[J].机电信息,2020(35):97-98.