

多工况下飞机地面强度试验的协同设计

于国庆 蔡明程

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黑龙江 哈尔滨 150060

摘要: 本文探讨了多工况下飞机地面强度试验的协同设计。首先概述了多工况分类与特点、试验目的与要求,强调了协同设计的必要性。详细分析了试验设备与工装协同、测试系统协同、试验流程协同以及多学科知识协同等设计要素。并通过具体案例,阐述了协同设计在实践中的应用,包括试验规划与设计、实施与监控、数据处理与分析等关键环节。总结出一系列具有推广价值的经验,指出协同设计在保障飞机安全性能和设计优化中的重要作用,为航空工业领域提供了有益的参考。

关键词: 多工况下;飞机地面强度;协同设计

1 多工况下飞机地面强度试验简述

1.1 多工况分类与特点

飞机的运行工况复杂多样,主要可分为起飞、着陆、滑行和机动飞行等工况,每种工况都有独特的受力特点和环境条件。起飞工况下,飞机发动机全力输出,产生强大的推力使飞机加速滑跑直至起飞。此时,飞机起落架承受着巨大的垂直载荷和向前的摩擦力,机翼则受到向上的升力以及因加速产生的气动载荷。这些载荷随着飞机速度的增加而不断变化,对飞机结构的强度和稳定性是极大考验;着陆工况时,飞机以一定速度接触跑道,起落架瞬间承受巨大的冲击载荷,这要求起落架具备良好的减震性能。同时,飞机的刹车系统开始工作,机轮与跑道之间产生强烈的摩擦力,机身也会因着陆瞬间的冲击和姿态调整而承受复杂的应力;滑行工况中,飞机在跑道或滑行道上移动,起落架除了承受飞机自身重力外,还会受到地面不平整带来的颠簸力,以及转弯时产生的侧向力。这些力虽然相对起飞和着陆时较小,但长期积累也可能对飞机结构造成疲劳损伤;机动飞行工况涵盖了飞机的各种飞行姿态变化,如爬升、俯冲、盘旋、滚转等。在这些过程中,飞机结构承受着复杂的气动力和惯性力,不同部位的受力情况差异巨大,例如机翼在盘旋时会受到较大的弯矩和扭矩。

1.2 试验目的与要求

多工况下飞机地面强度试验的目的是全面验证飞机结构在不同工况下的性能。首先是验证飞机结构的强度,确保在各种载荷作用下结构不会发生破坏。其次是检验飞机的刚度,防止结构变形过大影响飞行性能。再者是评估结构的疲劳寿命,因为飞机在长期运行中会反复承受各种载荷,疲劳问题不容忽视;在试验要求方面,试验载荷的模拟必须精准^[1]。要根据飞机的实际运行

数据和设计要求,准确模拟出各种工况下的载荷大小、方向和变化规律。测试精度也至关重要,需要使用高精度的传感器和测量设备,确保采集到的数据真实可靠。此外,试验周期也需合理规划,既要保证试验的全面性,又要考虑到时间和成本的限制,在规定时间内完成各项试验任务,为飞机的设计改进和生产提供及时的数据支持。

1.3 协同设计的必要性

传统的试验设计方法在应对多工况时存在明显局限性。以往各工况试验往往独立设计,这导致资源浪费。例如,为每个工况单独配备试验设备和工装,不仅增加了设备采购和维护成本,还占用大量试验场地空间。而且独立设计无法全面考虑工况耦合效应,飞机在实际运行中,不同工况之间可能相互影响,产生复杂的耦合载荷。若试验设计中忽略这一点,试验结果就无法准确反映飞机的真实受力状态。通过协同设计,可以整合试验设备和工装资源,使其在不同工况下具有通用性和兼容性,降低试验成本。同时,协同设计能够全面考虑多工况耦合效应,通过多学科知识融合和多团队协作,运用先进的分析方法和技术手段,准确模拟出多工况下飞机结构的真实受力情况,提高试验的准确性和可靠性,为飞机的设计优化和安全性能提升提供有力保障。

2 多工况下飞机地面强度试验的协同设计要素分析

2.1 试验设备与工装协同

多工况试验需要多种试验设备与工装,如加载设备、测量设备、试验夹具等。实现它们之间的协同,能显著降低试验成本。在加载设备方面,不同工况下的载荷特性差异大,起飞时需模拟强大的推力和加速载荷,着陆时要模拟冲击载荷。因此,需设计可灵活调整输出载荷的加载设备,使其能满足不同工况需求。例如,

采用先进的电液伺服加载系统,通过精确控制液压油的流量和压力,实现对各种复杂载荷的模拟。试验夹具也需具备通用性和兼容性;针对不同的试验件和工况,设计可快速更换和调整的夹具模块,能提高试验效率。比如,使用模块化的夹具结构,通过更换不同的连接部件和定位装置,适应不同形状和尺寸的试验件,以及不同工况下的受力特点。同时,测量设备要与加载设备和试验夹具协同工作,确保在各种工况下都能准确测量试验数据。

2.2 测试系统协同

测试系统的协同设计是多工况试验的关键环节,涉及传感器选型、布置和数据采集系统的集成。在起飞工况下,需高精度的加速度传感器来测量飞机的加速过程;着陆工况时,冲击力传感器用于测量起落架的冲击载荷。同时,要合理布置传感器,确保能全面、准确地采集到试验数据;要实现多工况下数据的准确采集、传输和融合处理,需建立统一的数据采集平台。例如,采用分布式数据采集系统,将各个传感器的数据通过网络传输到中央处理单元,再利用数据融合算法对采集到的数据进行处理,消除数据误差和噪声,为试验分析提供可靠数据。这样能确保在不同工况下,都能及时、准确地获取试验数据,为试验结果的分析和评估提供有力支持^[2]。

2.3 试验流程协同

试验流程的协同设计对提高试验效率、减少试验时间和成本至关重要。在试验顺序安排上,要充分考虑不同工况之间的关联性和影响。例如,先进行静态工况试验,获取飞机结构在基本载荷下的性能数据,再进行动态工况试验,这样能更好地分析结构在复杂载荷下的响应。同时,要制定合理的工况转换过渡措施;在从起飞工况试验转换到着陆工况试验时,需对试验设备和工装进行相应调整。通过优化调整流程,缩短转换时间,减少设备和工装的损耗。还要合理安排试验人员的工作任务和时间,确保各个试验环节紧密衔接,提高试验整体效率。

2.4 多学科知识协同

多工况试验协同设计涉及多个学科领域的知识,如航空力学、材料科学、电子技术等。实现多学科知识的有机融合,能为试验设计提供全面的技术支持。在航空力学方面,通过对飞机在不同工况下的气动力和惯性力分析,确定试验所需模拟的载荷情况;材料科学则为试验件的选材和性能分析提供依据,确保试验件能准确模拟飞机实际结构的力学性能。电子技术用于测试系统的设计和数据处理,提高数据采集和分析的精度。例如,

在设计试验夹具时,需要综合考虑航空力学中的受力分析、材料科学中的材料性能以及电子技术中的传感器安装和信号传输等知识,实现夹具的优化设计。

3 多工况下飞机地面强度试验的协同设计实践

3.1 试验规划与设计

在多工况下飞机地面强度试验的协同设计实践中,试验规划与设计是首要环节,这一环节需要综合考虑多方面因素。首先,依据飞机的设计要求、运行特点以及不同工况下的受力分析结果,制定全面且细致的试验方案。明确各个工况的试验目的、预期达到的指标以及重点关注的飞机结构部位。例如,针对起飞工况,重点模拟发动机推力和升力对机翼和机身结构的影响;着陆工况则聚焦于起落架和机身下部结构承受的冲击载荷^[3]。同时,合理规划试验设备与工装的选型和布局。根据不同工况的载荷特性和试验要求,选择合适的加载设备、测量设备以及试验夹具,并对它们在试验场地中的布局进行优化,确保设备之间协同工作顺畅,便于操作和数据采集。还要规划好测试系统的搭建,确定传感器的类型、数量以及安装位置,以保证能够准确获取各个工况下飞机结构的关键数据。在试验流程设计上,精心安排各工况试验的先后顺序,充分考虑工况之间的关联性和过渡要求,制定详细的操作步骤和时间节点,为后续的试验实施奠定坚实基础。

3.2 试验实施与监控

在试验过程中,确保试验设备与工装正常运行至关重要。密切监控加载设备的载荷输出是否符合预设要求,及时调整设备参数,保证模拟的载荷准确反映飞机在实际工况下的受力情况。同时,对测量设备和试验夹具进行实时检查,确保其稳定性和可靠性;测试系统的稳定运行同样不容忽视。实时监测传感器的工作状态,确保数据采集的准确性和连续性。一旦发现数据异常,立即排查问题,可能是传感器故障、信号传输干扰或者数据采集软件出现问题,及时采取相应措施解决,如更换传感器、排查信号线路或者修复软件漏洞。此外,要对试验人员进行合理分工,明确各自职责,确保每个试验环节都有专人负责,操作规范、衔接紧密。在试验过程中,建立完善的监控机制,对试验数据进行实时分析,及时发现潜在问题并进行调整,保障试验顺利进行。

3.3 数据处理与分析

数据处理与分析是多工况下飞机地面强度试验协同设计实践的重要收尾工作,直接关系到试验结果的可靠性和有效性。首先,对采集到的海量试验数据进行预处理,去除噪声和异常值,对数据进行标准化处理,以便

后续分析。运用合适的数据处理算法,对不同工况下的数据进行分类整理和深度挖掘。例如,通过统计分析方法,计算各工况下飞机结构关键部位的应力、应变平均值和标准差,评估结构的受力稳定性;利用信号处理技术,对动态工况下的振动数据进行频谱分析,确定结构的固有频率和振动特性;在数据分析阶段,结合飞机的设计标准和理论模型,对处理后的数据进行对比分析。判断飞机结构在不同工况下的强度、刚度和稳定性是否满足设计要求,找出结构的薄弱环节和潜在风险点。通过数据可视化手段,如绘制应力应变云图、载荷-时间曲线等,直观展示试验结果,为飞机设计改进和优化提供有力依据。最后,撰写详细的数据处理与分析报告,总结试验成果,提出针对性的建议和措施,为飞机的研发和生产提供重要参考。

4 案例分析与实践应用

4.1 案例分析

以某新型民用客机的地面强度试验为例,该客机在设计阶段就充分考虑了多工况运行的需求,采用了协同设计理念进行地面强度试验。在试验规划与设计阶段,针对起飞、着陆、巡航和机动飞行等多种工况,组建了由航空工程师、结构设计师、测试技术专家等多学科团队共同参与的设计小组。通过对飞机结构进行详细的力学分析,结合飞行模拟数据,精准确定了每个工况下的试验载荷和重点测试部位^[4]。例如,在起飞工况中,考虑到发动机推力和机翼升力的协同作用,着重对机翼根部和机身连接部位的应力分布进行模拟和测试;着陆工况下,聚焦于起落架的冲击吸收能力和机身底部的抗冲击强度;在试验实施与监控阶段,协同设计的优势得到充分体现。试验设备与工装实现了高效协同,一套可调节的加载系统能够根据不同工况快速切换加载模式,满足各种复杂载荷的模拟需求。测试系统通过多传感器融合技术,对飞机关键部位的应力、应变和位移进行全面监测,数据采集稳定可靠。试验过程中,实时监控系統能够及时发现并解决设备运行中的小故障,确保试验顺利进行。在数据处理与分析阶段,运用先进的数据处理算法对海量试验数据进行深度挖掘。通过与设计指标的对比分析,发现飞机在某些工况下的结构应力分布存在局部优

化空间。例如,在机动飞行工况下,机翼某区域的应力集中较为明显,通过进一步分析提出了结构优化建议。

4.2 实践应用

通过对上述案例以及其他多个飞机型号地面强度试验的协同设计实践,总结出一系列具有广泛推广价值的经验。在航空工业领域,多工况下飞机地面强度试验的协同设计已逐渐成为保障飞机安全性能和设计优化的重要手段。在新飞机研发过程中,协同设计能够帮助设计团队提前发现结构设计中的潜在问题,优化设计方案,减少设计变更和反复试验的成本。例如,在某款新型战斗机的研制中,采用协同设计方法进行地面强度试验,提前发现了起落架在高过载着陆工况下的结构强度隐患,及时对起落架结构进行优化设计,避免后期飞行试验中可能出现的严重问题,大大缩短了研发周期。

结束语

综上所述,多工况下飞机地面强度试验的协同设计是提高试验效率、降低试验成本、保障飞机安全性能和设计优化的有效途径。通过整合试验资源、优化试验流程、融合多学科知识,实现了对不同工况下飞机结构真实受力情况的准确模拟和分析。未来,随着技术的不断进步和需求的不断变化,协同设计将在航空工业领域发挥更加重要的作用,为飞机研发和生产提供更加全面、精准的技术支持。

参考文献

- [1]陈浩宇,王彬文,宋巧治,等.飞机地面振动试验激励方案优化与工程验证[J].航空工程进展,2024,15(5):114-119,134.DOI:10.16615/j.cnki.1674-8190.2024.05.11.
- [2]顾项颖,宋晨,马铁林,等.基于飞参数据的飞机起落架地面受载状态分析[J].航空工程进展,2019,10(z1):1-5,11. DOI:10.16615/j.cnki.1674-8190.2019.S1.001.
- [3]徐浩然,贺福强,李赞,等.飞机起落架的拓扑与自由曲面形状优化[J].组合机床与自动化加工技术.2021,(4). DOI:10.13462/j.cnki.mmtamt.2021.04.032.
- [4]曹渭敏.飞机结构强度试验室安全问题及对策[J].劳动保护,2021(1):78-79.DOI:10.3969/j.issn.1000-4335.2021.01.034.