

基于虚拟仿真的飞机机翼装配过程优化

郭文娟

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要：随着航空技术的不断进步，飞机机翼的装配精度和效率对飞机性能起着至关重要的作用。虚拟仿真技术作为一种高效、低成本的方法，被广泛应用于飞机机翼装配过程的优化中。本文深入探讨了虚拟仿真在飞机机翼装配优化中的应用，并对其原理、方法和技术进行了详细分析。

关键词：虚拟仿真、飞机机翼装配、过程优化

引言

飞机机翼装配是飞机制造中的核心环节，其质量和效率直接关系到飞机的整体性能。传统的装配方法往往受到多种因素的限制，如时间、成本和精度等。而虚拟仿真技术的出现为机翼装配过程的优化提供了新的思路。

1 虚拟仿真技术的基本原理

1.1 虚拟仿真的定义与特点

虚拟仿真技术，作为现代计算机技术的杰出代表，是通过构建高度精细化的数字模型，全方位模拟真实系统的运行行为和性能表现。它不仅能够准确反映复杂系统的动态特性，还能预测系统在特定条件下的响应。这种技术的核心在于其高度逼真性，它能够通过先进的算法和详尽的数据，呈现出与现实世界极为接近的模拟效果。此外，虚拟仿真还具有出色的可重复性，科研人员可以根据研究需要，反复进行模拟实验，以获得更为精确和全面的数据。最重要的是，相较于传统的实物实验，虚拟仿真技术显著降低了实验成本，同时提高了研究效率。

1.2 虚拟仿真在机翼装配中的应用原理

在机翼装配领域，虚拟仿真技术的应用原理主要体现在构建一个与真实装配环境高度相似的数字模型。这一模型不仅涵盖了机翼的各个部件和组件，还精确模拟了装配过程中的各种物理、化学和机械特性。通过输入各种装配参数和条件，如温度、湿度、装配力度、装配顺序等，虚拟仿真系统能够全面模拟装配过程中的每一步操作。这使得研究人员能够在计算机环境中对装配流程进行全面而深入的分析，发现潜在的问题和瓶颈，进而对装配过程进行优化。这种优化可能涉及装配序列的调整、工艺参数的改进，甚至是装配工具或方法的创新。

2 机翼装配过程的虚拟仿真优化方法

2.1 装配序列优化

机翼装配序列的优化是提高装配效率和精度的关键

环节。在传统的机翼装配过程中，装配序列的确定往往依赖于工程师的经验和实地试验，这不仅耗时耗力，而且难以保证得到最优的装配顺序。然而，通过引入虚拟仿真技术，可以对这一过程进行精细化管理和优化。虚拟仿真技术允许在计算机环境中模拟和评估不同的装配序列。具体来说，可以根据机翼的各个部件和组件的特点，以及装配过程中的各种约束条件，生成多种可能的装配序列。然后，利用虚拟仿真软件对这些序列进行模拟装配，观察并记录每一步装配过程中的时间、成本、精度等关键指标。在模拟装配过程中，可以发现某些装配序列可能存在干涉、碰撞或装配困难等问题。这些问题在实际装配中可能会导致返工、修改甚至重新设计，从而大大增加装配成本和时间。而通过虚拟仿真，可以在设计阶段就发现并解决这些问题，确保装配序列的可行性和高效性^[1]。此外，通过对比不同装配序列的模拟结果，可以选择出最优的装配顺序。这个最优顺序可能是在时间、成本和精度等多个方面达到最佳平衡的序列。在实际装配中采用这个最优序列，可以显著提高装配效率和精度，降低生产成本和风险。值得注意的是，装配序列的优化并不是一次性的工作。随着机翼设计的改进和装配工艺的发展，需要不断地利用虚拟仿真技术对装配序列进行更新和优化。这种持续优化的过程可以确保我们的装配过程始终保持高效和精确。

2.2 装配工艺参数优化

在机翼装配过程中，装配工艺参数的优化是提高装配质量和稳定性的关键环节。通过虚拟仿真技术，可以对装配力度、装配角度等关键工艺参数进行精细化调整和优化，以达到最佳的装配效果。具体包括：（1）装配力度优化：利用虚拟仿真软件，模拟不同装配力度下机翼部件的应力分布和变形情况。通过对比分析，可以确定一个既能保证装配紧密性，又能避免过度应力导致的材料损伤的装配力度范围。在仿真分析的基础上，可以

进行实际的装配实验，以验证仿真结果的准确性，并根据实验结果对装配力度进行微调。（2）装配角度优化：根据机翼部件的几何形状和装配要求，初步确定一个装配角度范围。在虚拟环境中，对不同装配角度下的装配过程进行模拟，观察装配过程中的干涉、碰撞以及装配后的位置精度。根据模拟结果，对装配角度进行微调，以找到最佳的装配角度，确保机翼部件能够顺利、精确地装配到一起。（3）多参数综合优化：针对装配力度、装配角度等多个关键工艺参数，设定合理的参数范围。采用正交实验设计方法，在设定的参数范围内进行多组模拟实验，以全面考察各参数对装配质量和稳定性的影响。对实验结果进行统计分析，确定各参数对装配质量和稳定性的影响程度，并找到最优的参数组合。（4）异常情况模拟与应对：在虚拟环境中模拟温度波动、材料特性变化等异常情况下的装配过程，观察并记录装配结果。根据模拟结果，分析异常情况对装配质量和稳定性的影响，并制定相应的应对措施，如调整装配工艺参数、改进装配工具等^[2]。通过以上，可以充分利用虚拟仿真技术的优势，对机翼装配过程中的关键工艺参数进行精细化调整和优化，从而提高装配质量和稳定性。

2.3 装配干涉检测与优化

在机翼装配过程中，装配干涉是一个需要高度关注的问题。干涉不仅可能导致装配失败，还可能对机翼部件造成损坏，进而增加返工和修改的成本。为了避免这种情况，可以借助虚拟仿真技术进行装配干涉的检测和优化。首先，虚拟仿真技术允许在计算机中构建一个与真实装配环境高度相似的模型。在这个模型中，可以精确地模拟机翼的各个部件在装配过程中的位置和姿态。通过设定各种装配条件和参数，如部件的尺寸、形状和装配顺序等，可以对装配过程进行全面的模拟。在模拟装配过程中，虚拟仿真软件能够实时检测并记录任何可能发生的干涉情况。这些干涉可能包括部件之间的物理碰撞、重叠或间隙过小等问题。一旦检测到干涉，软件会立即提供详细的干涉报告，包括干涉的位置、类型和严重程度等信息。有了这些干涉数据，可以对装配设计进行优化。这可能涉及到调整部件的尺寸、形状或装配顺序，以确保装配过程的顺利进行。此外，还可以利用这些数据对装配工具和方法进行改进，以减少干涉的发生。通过虚拟仿真技术进行装配干涉检测和优化，可以在设计阶段就发现并解决潜在的干涉问题，从而确保实际装配过程中的顺利进行。这不仅可以避免因干涉导致的返工和修改成本，还可以提高装配效率和质量。

3 虚拟仿真技术的实施步骤

3.1 建立机翼装配的数字模型

在机翼装配的虚拟仿真过程中，首要步骤是根据机翼的几何形状、材料属性和装配要求，建立一个精确的数字模型。这一步骤至关重要，因为它为后续所有的仿真分析提供了基础数据和信息。首先，机翼的几何形状是数字模型构建的核心部分。这包括机翼的长度、宽度、高度以及各个部件的详细尺寸和形状。为了获取这些数据，我们可以使用高精度的测量设备对真实机翼进行三维扫描，或者根据设计图纸进行精确建模。确保模型的几何精度是后续仿真分析准确性的关键。其次，材料属性也是数字模型中不可或缺的一部分。机翼的材料属性，如弹性模量、泊松比、密度以及屈服强度等，都会对装配过程和最终的性能产生重要影响。因此，在建立数字模型时，需要详细考虑并准确输入这些材料属性。最后，装配要求也是数字模型必须考虑的因素。这包括机翼部件之间的装配顺序、装配精度要求、装配过程中的约束条件等。这些要求将直接影响仿真过程中装配步骤的设定和装配结果的评判。在建立了包含几何形状、材料属性和装配要求的数字模型后，可以利用专业的仿真软件对其进行进一步的精细化处理，如网格划分、边界条件设定等，以确保模型能够更好地反映真实机翼的装配过程。

3.2 设定仿真条件和参数

在建立了机翼装配的数字模型之后，接下来的关键步骤是根据实际需求，细致地设定仿真过程中的各种条件和参数。这些条件和参数的设定对于确保仿真结果的准确性和有效性至关重要。（1）装配工具的选择和设定是一个重要的环节。不同的装配工具会对装配过程产生不同的影响，因此在仿真中需要准确地模拟这些工具的使用。例如，选择不同类型的夹具、定位器或拧紧设备，都会对装配的精度和效率产生直接影响。通过设定合适的装配工具，并模拟其在装配过程中的具体作用，我们可以更准确地评估装配的可行性和效率。（2）装配环境的模拟也是必不可少的。这包括温度、湿度、清洁度等多个方面。机翼装配往往需要在特定的环境条件下进行，而这些环境条件可能会对装配过程和结果产生影响。例如，高温环境可能会导致材料膨胀，进而影响装配精度；而潮湿的环境则可能会对材料的性能产生不利影响。因此，在仿真中设定合适的环境条件，有助于更真实地模拟实际装配过程中的各种挑战。（3）装配顺序的设定也是至关重要的。不同的装配顺序可能会对装配质量和效率产生显著影响。通过设定不同的装配顺序，并在仿真中进行对比和分析，我们可以找到最优的装配

流程,从而提高生产效率和产品质量^[3]。除了上述条件和参数外,还可以根据实际需求设定其他相关参数,如装配过程中的力度、速度、时间等。这些参数的设定将有助于更全面地模拟实际装配过程,从而为后续的优化和改进提供有力支持。

3.3 进行仿真模拟与分析

在完成了数字模型的构建和仿真条件、参数的设定之后,便进入了关键的仿真模拟与分析阶段。这一阶段的核心目标是利用专业的虚拟仿真软件,对机翼装配过程进行全面的模拟,并从中获取装配过程中的各种数据和信息,以便进行深入的分析 and 优化。首先,选择合适的虚拟仿真软件是至关重要的。这类软件需要具备高度的专业性和精确性,能够准确地模拟机翼装配过程中的物理现象,如力学行为、热学行为等。同时,软件还应具备强大的数据分析功能,以便对仿真结果进行深入挖掘。在仿真模拟过程中,软件将根据之前设定的条件和参数,对机翼装配过程进行逐步模拟。这包括各个部件的对接、紧固件的安装、装配工具的使用等各个环节。通过模拟,我们可以观察到装配过程中的每一个细节,从而更深入地理解装配过程的动态特性和潜在问题。仿真模拟完成后,软件将生成大量的数据和信息,如装配过程中的应力分布、变形情况、装配精度等。这些数据和信息是后续分析的基础。通过对这些数据的仔细分析,我们可以评估装配过程的质量和效率,发现可能存在的问题和风险,如装配干涉、应力集中等。此外,通过对比不同装配方案或参数的仿真结果,我们还可以找到装配过程的优化方向。例如,调整装配顺序、改进装配工具或优化装配环境等,都可能带来装配质量和效率的提升。

3.4 优化装配过程与参数

在完成仿真模拟与分析后,进入了一个至关重要的环节:根据所获得的仿真结果,对装配过程和关键参数进行优化调整。这一步骤对于提高装配效率和精度,确保机翼的最终性能和质量具有举足轻重的作用。首先,要仔细分析仿真结果中揭示的问题和瓶颈。可能是某些

装配步骤过于复杂,导致时间过长;或者是某些关键参数的设置不合理,引发了装配干涉或应力集中等问题。针对这些问题,需要逐一提出改进方案。对于装配过程的优化,可以考虑调整装配顺序,使得装配流程更加顺畅,减少不必要的重复步骤^[4]。同时,还可以引入更高效的装配工具和方法,提升装配的自动化水平,从而减少人为因素导致的误差。在关键参数的优化方面,可以根据仿真结果中的数据分析,对装配力度、角度、温度等参数进行微调。例如,如果发现装配过程中出现了应力集中的问题,可以尝试减小装配力度或调整装配角度,以降低应力水平。同时,也可以考虑对材料属性进行优化,如选择具有更好机械性能的材料,以提高装配的稳定性和耐久性。除了上述优化措施外,还可以引入先进的控制算法和智能传感技术,对装配过程进行实时监控和调整。这样不仅可以及时发现并纠正装配过程中的问题,还可以确保装配结果的一致性和可追溯性。

结语

本文通过对虚拟仿真在飞机机翼装配过程优化中的应用进行深入研究,得出了以下结论:虚拟仿真技术为飞机机翼装配过程的优化提供了有力的工具和方法,可以显著提高装配效率和精度。未来随着技术的不断发展,虚拟仿真将在飞机制造领域发挥更大的作用,推动航空工业的持续进步。此外,未来的研究还可以进一步探索虚拟仿真技术与其他先进技术的结合应用,如人工智能、大数据分析等,共同推动飞机机翼装配技术的创新发展。

参考文献

- [1]赵熹,陈凯,郭拉风,等.飞行器制造工程机翼装配虚拟仿真试验[J].教育教学论坛,2021,(12):65-68.
- [2]张鹏.基于DELMIA的飞机数字化装配仿真技术应用研究[J].装备制造技术,2020,(10):172-175+197.
- [3]郝龙,刘涵予,黄翔,等.基于实测数据的飞机虚拟预装配技术发展综述[J].航空制造技术,2024,67(06):65-77.
- [4]辛朝阳.基于飞机数字化装配工艺的仿真技术研究[J].科技创新与应用,2023,13(19):114-117.