

# 飞机副翼的数字化柔性装配技术研究

李 杨 张虎利 陈治宏 韩文奇 尤元林  
陕西飞机工业集团有限公司 陕西 汉中 723007

**摘 要：**飞机副翼的数字化柔性装配技术已经在国内外航空制造业得到了广泛应用，并取得了显著成效。本文开头对飞机副翼数字化柔性装配技术的重要性进行了探讨，接着分析了飞机副翼数字化柔性装配技术复杂性与实施难度、数据管理与安全性、工人技能与培训等方面面临的挑战，最后本文针对这些挑战难题提出了一系列相关优化措施，旨在为成功实现副翼的柔性化装配及装配过程全数字化传递力量，得到合格的副翼产品。

**关键词：**飞机副翼；数字化；柔性装配技术

## 引言

传统飞机副翼装配技术面临着手工操作依赖度高、装配精度难以保证、装配效率低下以及难以适应复杂多变的装配需求等局限性。所以，迫切需要引入新的技术和方法来解决这些问题，提高飞机副翼的装配质量和效率。数字化柔性装配技术作为一种先进的技术手段，具有高度的灵活性和适应性，能够实现对副翼装配过程的精确控制和自动化操作，有望解决传统装配技术存在的问题，推动飞机制造行业的快速发展。

### 1 飞机副翼数字化柔性装配技术的重要性

第一，提升装配精度与产品质量。在飞机制造中，副翼的装配精度对于整个飞机的飞行性能和安全性具有决定性影响，数字化柔性装配技术通过引入先进的数字化测量、定位和控制系统，实现了对副翼装配过程的精确控制。这些系统能够实时监测和调整装配过程中的各项参数，确保副翼与机翼之间的连接点、角度、间隙等参数达到设计要求，从而大幅度提升了装配精度和产品质量。第二，提高装配效率与降低成本。数字化柔性装配技术通过引入自动化和智能化设备，实现了装配过程的自动化和智能化控制，这些设备能够自动完成装配过程中的各项任务，如定位、夹紧、连接等，大幅度提高了装配效率。第三，推动技术创新与产业升级。数字化柔性装配技术是飞机制造领域的一项先进技术，它的应用和发展推动了技术创新和产业升级。通过引入数字化技术、自动化设备和智能化控制系统，数字化柔性装配技术实现了对飞机制造过程的全面优化和升级。这不仅提高了制造效率和质量，还降低了制造成本和能源消耗。第四，适应复杂多变的装配需求。随着飞机设计的不断创新和发展，副翼的形状、尺寸、材料等方面也在不断变化<sup>[1]</sup>。传统的装配技术往往难以适应这种复杂多变的装配需求。数字化柔性装配技术具有高度的灵活性和

适应性，能够根据不同的装配需求快速调整装配工装和工艺参数。这使得数字化柔性装配技术能够更好地适应现代飞机制造的需求，为飞机制造业的发展提供了有力支持。

### 2 飞机副翼数字化柔性装配的关键技术面临的挑战

#### 2.1 技术复杂性与实施难度

飞机副翼数字化柔性装配技术不仅融合了现代航空制造技术的精髓，还集成了多个领域的前沿科技，如数字化设计、自动化控制、机器人技术和传感器技术等。这些技术的复杂性和高度集成性，使得企业在技术实施和运营管理上需要克服一系列难题。第一，数字化设计。它要求企业具备先进的数字化设计软件和工具，能够精确模拟和预测飞机副翼的装配过程。然而，这些软件工具往往操作复杂，需要专业的技术人员进行操作和维护。对于许多企业来说，缺乏这样的技术人才和经验，使得数字化设计的应用变得困难重重。第二，自动化控制和机器人技术。这些技术能够实现装配过程的自动化和智能化，提高装配精度和效率，但是，自动化控制和机器人系统的构建和运行需要复杂的编程和调试，要求企业具备较高的自动化水平和技术实力。对于一些中小企业来说，缺乏自动化技术的积累和实力，导致无法有效地应用这些技术来提高装配效率和质量。第三，传感器技术。传感器能够实时监测装配过程中的各项参数，为装配质量的控制和改进提供数据支持<sup>[2]</sup>。然而，传感器的选择和布置需要考虑到装配过程中的各种因素，如温度、湿度、振动等，以确保数据的准确性和可靠性，这对于企业来说是一个巨大的挑战，需要投入大量的时间和精力进行研究和试验。第四，运营管理。在实际操作中，不同部门之间往往存在信息壁垒和沟通障碍，导致技术实施难以顺利进行。

#### 2.2 数据管理与安全性

飞机副翼的装配过程已经离不开大量的数据支持,这些数据包括设计数据、工艺数据、测量数据等,它们共同构成了数字化装配的基石。但如何有效地管理和保护这些数据,确保数据的准确性、完整性和安全性,防止数据泄露和丢失,成为了企业面临的一大挑战。第一,数据的准确性。在装配过程中,任何微小的数据误差都可能导致装配精度的降低,甚至引发严重的质量问题。因而,企业需要建立完善的数据校验和审核机制,确保数据的准确性,通过引入先进的数字化测量设备和技术,可以实时获取装配过程中的各项数据,为装配质量的控制和改进提供有力支持。第二,数据的完整性。在装配过程中,数据可能来自不同的部门和系统,包括设计部门、工艺部门、生产部门等。如何将 these 数据进行整合和共享,形成一个完整的数据链条,是数字化装配面临的又一难题。第三,数据的安全性。由于数据涉及到企业的核心机密和知识产权,一旦发生泄露或丢失,将给企业带来巨大的损失。因此,企业需要建立完善的数据安全保护体系,包括数据加密、访问控制、备份恢复等措施。通过这些措施,可以确保数据在传输、存储和使用过程中的安全性,防止数据被非法获取或篡改。

### 2.3 工人技能与培训

传统的装配工人往往缺乏与数字化柔性装配技术相匹配的技能和知识,如数字化设计、自动化控制、机器人操作等方面的专业技能,这种技能短缺的问题成为了企业实施数字化柔性装配技术时的一大挑战。(1)数字化设计是数字化柔性装配技术的重要组成部分,它要求工人具备使用专业设计软件的能力,能够理解和解读复杂的三维模型,并能够将设计数据转化为实际的生产指令。但对于许多传统装配工人来说,他们可能缺乏这方面的专业知识和技能,需要花费大量的时间和精力进行学习和培训。(2)自动化控制和机器人操作是数字化柔性装配技术的核心,这些技术能够大幅度提高装配的自动化水平和效率,但同时也要求工人具备相应的操作技能和维护能力。由于这些技术涉及到多个学科的知识,如机械、电子、计算机等,对于传统装配工人来说,掌握这些技能并不是一件容易的事情。他们需要学习新的理论知识,熟悉新的操作界面和流程,并具备处理突发情况的能力<sup>[3]</sup>。(3)数字化柔性装配技术的实施还需要工人具备跨学科的知识 and 技能,在装配过程中,工人可能需要与设计、工艺、质量等多个部门进行沟通和协作,以确保装配的顺利进行。这要求工人不仅具备本专业的知识和技能,还需要了解其他相关领域的知识,以便更好地理解 and 满足装配要求。

## 3 飞机副翼数字化柔性装配的关键技术优化

### 3.1 数字化设计优化

第一,引入先进的数字化设计软件。传统的飞机副翼设计往往依赖于手工绘图和物理模型,这种方法不仅效率低下,而且难以保证设计的精确性和可靠性。而引入先进的数字化设计软件,如CAD(计算机辅助设计)和CAE(计算机辅助工程)软件,可以极大地提高设计效率和精度。数字化设计软件具有强大的建模、分析和仿真功能,能够快速生成精确的三维模型,并进行各种复杂的分析和仿真。这不仅可以帮助设计师更好地理解设计对象,还可以在 design 阶段就预测和避免可能出现的问题,从而大大减少设计迭代和修改的次数。第二,加强设计数据的管理和共享。设计数据是飞机副翼设计的核心资源,其管理和共享对于提高设计效率和准确性具有重要意义。在数字化设计过程中,应该通过建立一个统一的数据管理平台,可以将所有设计数据集中存储和管理,实现数据的快速检索和共享,这不仅可以提高数据的使用效率,还可以确保数据的一致性和准确性;在数据管理平台中,制定统一的数据交换标准和规范,以确保不同部门、不同软件之间的数据能够顺利流通和交换,这可以避免因数据格式不一致而导致的数据错误和丢失问题;对于设计数据的管理和共享,应该根据实际需要设置不同的数据权限。只有经过授权的人员才能访问和使用相关数据,以确保数据的安全性和保密性;为了防止数据丢失或损坏,应该定期备份设计数据,并进行恢复测试,这可以确保在发生意外情况时能够迅速恢复数据,保障设计的正常进行。第三,优化设计流程。优化设计流程是提高设计效率和准确性的重要手段。在设计开始前,应该明确设计目标和要求,确保设计师能够准确理解设计需求,避免在设计过程中出现方向性错误;将设计任务细化到具体的子任务和时间节点上,确保每个设计师都清楚自己的任务和时间要求,提高设计的计划性和执行效率;设计过程中涉及到多个部门和专业的协作,应该加强部门间的沟通和协作,确保设计过程中的信息畅通和及时反馈。

### 3.2 数据管理与安全性优化

在飞机副翼装配的复杂过程中,数据是核心驱动力,它贯穿于设计、制造、装配、测试等各个环节。因此,建立完善的数据管理系统、加强数据的安全保护,以及确保数据的完整性和可恢复性,对于飞机副翼装配的高效进行至关重要。第一,建立完善的数据管理系统。飞机副翼装配涉及的数据类型繁多,包括设计图纸、工程文档、工艺参数、测试数据等。这些数据需要

被妥善地管理,以便在需要时能够迅速、准确地被检索和使用,通过建立数据管理系统,可以实现数据的集中存储,避免数据的分散和冗余。第二,加强数据的安全保护。在飞机副翼装配过程中,数据的安全性直接关系到产品的质量和企业的利益,可以通过数据加密技术来确保数据在传输和存储过程中的安全性,加密技术可以将数据转换为一种只有授权用户才能解读的格式,防止数据被非法获取和泄露;通过设定不同的访问权限和角色,可以限制用户对数据的访问和操作,防止数据被非法修改或删除。此外,还可以采取定期更换密码、限制远程访问等措施来进一步加强数据的安全保护。第三,定期对数据进行备份和恢复测试。在飞机副翼装配过程中,由于各种原因可能导致数据丢失或损坏,为了应对这种情况,必须定期对数据进行备份,并将备份数据存储在安全可靠的地方<sup>[4]</sup>。而且,还需要定期进行数据恢复测试,以确保在需要时能够迅速恢复数据,通过备份和恢复测试,可以确保数据的完整性和可恢复性,减少因数据丢失或损坏带来的损失。

### 3.3 工人技能与培训优化

在飞机副翼装配这一高精度、高要求的制造领域中,工人的技能水平直接影响到产品的质量和生产效率。因此,对工人技能与培训的优化显得尤为重要。通过制定详细的培训计划、选择专业的培训机构和讲师,以及加强对工人技能提升的激励和奖励,可以显著提高工人的技能水平,进而提升飞机副翼装配的整体质量和效率。(1)制定详细的培训计划。这一计划应该基于企业当前的生产需求、工人的技能现状以及未来的发展目标,要明确培训的目标,即希望通过培训使工人达到什么样的技能水平;根据目标确定具体的培训内容,包括理论知识、操作技能、安全知识等方面;要合理的时间安排,确保培训能够在不影响正常生产的情况下进行;培训计划应该包括培训方式的选择,如线上学习、线下实操、集中授课等,以满足不同工人的学习需求。

(2)选择专业的培训机构和讲师。选择具有丰富经验和良好口碑的培训机构,这些机构通常拥有专业的师资队伍和完善的培训体系,能够提供高质量的培训服务;选择具有丰富实践经验和专业知识的讲师,他们能够根据工人的实际情况制定针对性的培训计划,并通过生动有趣的授课方式激发工人的学习兴趣。在选择培训机构和讲师时,可以通过查看其历史培训案例、学员评价等方式进行评估和比较。(3)加强对工人技能提升的激励和奖励。可以设立技能等级制度,根据工人的技能水平给予不同的待遇和晋升机会,这样可以让工人明确自己的职业发展方向和提升空间,从而更加努力地学习和提升技能;可以设立技能竞赛和奖励机制,鼓励工人参加各种技能比赛和认证考试,并给予一定的奖励和荣誉,这不仅可以提高工人的技能水平,还可以增强企业的凝聚力和向心力;还可以将技能提升与绩效考核挂钩,将技能水平作为评价工人绩效的重要指标之一。

### 结语

飞机副翼作为飞机的重要部件之一,其装配精度和效率直接影响到飞机的整体性能和安全性。本文通过对飞机副翼的数字化柔性装配技术的研究与探讨,从而认识到数字化技术对飞机副翼柔性装配的重要性。未来,随着数字化技术的不断发展和应用,飞机副翼的数字化柔性装配技术将会得到更广泛的应用和推广,为航空制造业的持续发展注入新的动力。

### 参考文献

- [1]樊虎.数据驱动下的飞机智能化装配工艺设计技术[J].航空精密制造技术,2021,57(06):34-37.
- [2]任向阳.变频控制技术在飞机装配起重机上的应用分析[J].现代制造技术与装备,2021,58(02):184-186.
- [3]赵建国.飞机装配大尺寸多系统测量场构建及应用[J].航空制造技术,2021,65(05):63-67
- [4]王明明.飞机柔性装配方法在飞机装配中的应用研究[J].科学技术创新,2020(18):17-19.