

# 飞机柔性装配方法在飞机装配中的应用

熊文嘉 赵先广 张 斌

陕西飞机工业有限责任公司 陕西 汉中 723000

**摘要:** 飞机柔性装配方法在飞机制造领域应用广泛且意义重大。该方法具备提升生产效率、缩短周期、降低制造成本与资源消耗、增强多品种适应性与快速响应能力以及保障装配质量与提升可靠性等核心优势。其关键技术涵盖数字化设计与仿真、柔性工装、自动化装配以及高精度测量等方面。展望未来,飞机柔性装配方法将朝着智能化与自主化、绿色化与可持续化以及虚拟现实(VR)与增强现实(AR)应用等方向发展,为飞机制造带来新的变革与提升。

**关键词:** 飞机柔性; 装配方法; 飞机装配; 应用

引言: 在航空工业竞争日益激烈的当下,飞机制造面临着提升效率、降低成本、提高质量等多重挑战。传统飞机装配方法在应对复杂多变的飞机型号以及快速变化的市场需求时,逐渐显现出局限性。而飞机柔性装配方法作为一种先进的制造理念和技术体系,凭借其高度的灵活性和适应性,成为解决当前飞机装配难题的关键途径。它不仅能够满足不同型号飞机的装配需求,还能有效提高生产效率、降低制造成本,为飞机制造业的可持续发展注入新的活力,因此深入研究其在飞机装配中的应用具有重要的现实意义。

## 1 飞机柔性装配方法的核心优势

### 1.1 提升生产效率与缩短周期

飞机柔性装配方法通过数字化流程管控与高度自动化操作,显著提升了生产效率并缩短了装配周期。数字化系统能实时统筹各装配环节,精准规划工序衔接,实现多工位并行作业,减少工序间的等待时间。自动化设备具备高速精准的操作能力,可快速完成定位、连接等关键步骤,大幅提升单位时间内的装配量。同时,柔性工装的快速调整特性,避免了传统工装更换的繁琐流程,减少了停机时间。各环节紧密配合、高效运转,使得整个飞机装配流程更加紧凑流畅,有效缩短了从零部件到整机的交付周期,提高了生产效率。

### 1.2 降低制造成本与资源消耗

飞机柔性装配方法在降低制造成本与资源消耗方面成效显著。柔性工装可重复使用且能快速适配不同机型,减少了专用工装的定制数量,降低了工装采购与存储成本。自动化装配减少了人工干预,降低了人力成本,同时因操作精准度高,减少了因人为失误导致的废品率和返工率,节约了原材料成本。数字化管理系统能优化生产计划与资源调配,避免资源闲置与浪费,提高能源利用效

率。通过全方位的成本控制与资源高效利用,飞机柔性装配方法有效降低了飞机制造的整体成本。

### 1.3 增强多品种适应性与快速响应能力

面对航空市场飞机型号多样、需求变化快的特点,飞机柔性装配方法展现出强大的多品种适应性与快速响应能力。其数字化设计平台可根据不同机型快速生成个性化的装配工艺方案,满足多样化的设计需求。柔性工装系统具备高度的可调节性,能迅速变换结构以适应各种复杂形状的零部件装配。当市场需求发生变化或接到紧急订单时,柔性装配生产线可快速调整生产计划,灵活切换生产不同型号的飞机,无需进行大规模的生产线改造,大大缩短了产品换型时间,增强了企业在市场中的应变能力。

### 1.4 保障装配质量与提升可靠性

飞机柔性装配方法为保障装配质量与提升飞机可靠性提供了坚实保障。数字化仿真技术可在装配前对工艺过程进行虚拟模拟,提前发现并解决潜在的质量问题,优化装配方案。高精度测量设备实时监测装配过程中的尺寸精度、形位公差等关键参数,确保各部件精准对接。自动化装配设备严格按照预设程序操作,避免了人工操作的不稳定性和误差,保证了装配质量的一致性。同时,完善的质量追溯系统记录了装配过程的每一个细节,一旦出现质量问题可快速定位原因并采取措施,从而全方位提升飞机的装配质量与可靠性<sup>[1]</sup>。

## 2 飞机柔性装配方法的关键技术

### 2.1 数字化设计与仿真技术

数字化设计与仿真技术是飞机柔性装配方法的关键支撑,贯穿飞机装配的全生命周期。(1)在设计阶段,数字化设计技术借助先进的计算机辅助设计(CAD)软件,构建飞机的三维数字化模型。设计师能够在虚拟环

境中对飞机的结构、布局进行精细设计与优化,提前发现设计中的干涉、不合理结构等问题,减少物理样机的制作,大幅缩短设计周期,降低设计成本。同时,该技术还能实现设计数据的共享与协同,不同专业的设计人员可基于同一数字化模型开展工作,提高设计效率与质量。(2)在装配工艺规划方面,数字化仿真技术发挥着重要作用。通过对装配过程的虚拟模拟,能够直观呈现各零部件的装配顺序、路径以及装配过程中的运动状态。技术人员可以据此分析装配工艺的可行性,优化装配流程,避免在实际装配中出现碰撞、卡滞等问题,确保装配过程的顺畅进行。(3)数字化设计与仿真技术有助于实现装配质量的精准控制。在仿真过程中,可对装配过程中的应力、变形等关键参数进行分析预测,提前采取相应的措施进行调整和改进,保证装配后的飞机结构强度和性能符合设计要求。而且,基于数字化模型的质量追溯系统能够记录装配过程中的所有数据,为质量问题的排查与解决提供有力依据。

## 2.2 柔性工装技术

柔性工装技术作为飞机柔性装配方法的核心要素,为飞机制造的高效与精准提供了坚实支撑。(1)从结构适应性上看,柔性工装突破了传统工装的局限。它采用先进的材料与独特的结构设计,具备出色的柔韧性和可变形能力。能够根据不同飞机部件复杂多变的形状特征,如曲面、弯折结构等,进行自适应调整。通过内部的机械传动、液压或气动系统,工装的各个部分可以独立或协同运动,精准贴合部件轮廓,为部件提供稳定且贴合的支撑与定位,确保装配过程中部件的位置精度和姿态稳定性。(2)在快速重构方面,柔性工装展现出强大的优势。面对飞机型号的快速更新和多样化需求,它能够在短时间内完成工装状态的转换。借助数字化控制系统,操作人员只需输入新机型的参数,工装便可自动调整至适配状态,无需进行繁琐的手工改造和长时间调试。这种快速重构能力极大地缩短了生产准备周期,提高了生产线的灵活性和响应速度,使企业能够迅速适应市场变化,满足不同客户的订单需求。(3)柔性工装还具有良好的耐用性和可维护性。其优质的材料和精湛的制造工艺保证了工装在长期使用过程中不易损坏,降低了维修成本和停机时间。同时,模块化的设计也方便了工装的维护和升级,进一步提升了其使用寿命和综合性能。

## 2.3 自动化装配技术

自动化装配技术是飞机柔性装配方法得以高效实施的关键驱动力,为飞机制造带来了前所未有的变革。

(1)在装配精度控制上,自动化装配技术展现出卓越性能。它借助高精度的传感器、伺服控制系统以及先进的算法,能够实现对飞机零部件装配位置的毫米级甚至微米级精准定位。在连接过程中,自动化设备可精确控制连接力度、角度等参数,确保每一个连接点都符合严格的设计标准,有效避免了人工操作可能出现的误差,极大地提升了飞机装配的整体精度,保障了飞机的飞行安全与性能稳定。(2)从装配效率层面而言,自动化装配技术实现了装配流程的加速与优化。自动化设备能够不知疲倦地连续工作,且操作速度远超人工。多台自动化设备还可协同作业,并行完成多个装配任务,大幅缩短了装配周期。例如,在飞机机身的对接装配中,自动化搬运、定位和连接设备紧密配合,快速而准确地完成对接工作,显著提高了生产效率,满足了飞机大规模生产的需求。(3)自动化装配技术还具备良好的柔性和适应性。通过编程和模块化设计,自动化设备能够快速调整装配程序和工艺参数,以适应不同型号飞机的装配要求,轻松应对飞机制造中多品种、小批量的生产特点,为飞机制造业的灵活发展提供了有力支持。

## 2.4 高精度测量技术

高精度测量技术是飞机柔性装配方法中不可或缺的关键环节,对保障飞机装配质量起着决定性作用。(1)在装配前,高精度测量技术能够为零部件提供精确的初始数据。通过先进的测量设备,如激光跟踪仪、三坐标测量机等,可对零部件的尺寸、形状和位置精度进行全面检测。这些精确的数据为后续的装配工艺规划提供了可靠依据,确保装配过程能够按照设计要求精准进行,从源头上避免因零部件误差导致的装配问题。(2)在装配过程中,高精度测量技术实现了实时监控与动态调整。测量系统能够持续获取零部件的装配位置和姿态信息,并将其与预设的理论值进行对比分析。一旦发现偏差,系统会立即发出警报,并指导自动化装配设备进行及时调整,保证装配的准确性和一致性。这种实时的反馈机制有效提高了装配过程的可控性,减少了装配误差的累积。(3)装配完成后,高精度测量技术再次发挥重要作用。它对整机进行全面的质量检测,验证装配结果是否满足设计标准和飞行安全要求。通过高精度的测量数据,可以对飞机的整体性能进行评估和预测,为飞机的维护和改进提供有力支持。同时,完整准确的测量数据还为质量追溯提供了可靠保障,有助于快速定位和解决质量问题。

## 2.5 多系统集成控制技术

多系统集成控制技术是飞机柔性装配方法的核心保

障,能实现各系统的协同高效运作。(1)它实现了设计与制造系统的集成。在飞机柔性装配中,数字化设计产生的三维模型、工艺信息等数据,通过多系统集成控制技术无缝传输至制造系统。制造系统依据这些数据精准安排生产计划、调配资源,确保从设计到制造的顺畅过渡,避免因信息传递不畅导致的误差与延误,提升整体生产效率。(2)该技术促进了装配设备系统的集成。飞机装配涉及众多自动化设备,如机器人、柔性工装、高精度测量仪器等。多系统集成控制技术如同“大脑”,统一指挥这些设备协同工作。它能根据装配任务实时调整各设备的运行参数,使它们在时间、空间上紧密配合,实现高效、精准的装配作业,提升装配质量与一致性。(3)多系统集成控制技术完成了质量监控与生产管理系统的集成。质量监控系统实时采集装配过程中的各项数据,通过集成控制技术反馈至生产管理系统。生产管理系统依据这些数据及时调整生产策略,对质量问题进行快速响应与处理。同时,还能对生产进度、资源利用等进行全面监控与优化,保障飞机柔性装配过程的高效、稳定、可控<sup>[2]</sup>。

### 3 飞机柔性装配方法的未来发展趋势

#### 3.1 智能化与自主化

未来飞机柔性装配将朝着智能化与自主化深度发展的方向迈进。智能化方面,借助人工智能算法,装配系统能自我学习、优化装配工艺参数。通过对大量历史装配数据的分析,系统可自动调整设备运行状态,以适应不同零部件的装配需求,提升装配精度与效率。自主化层面,机器人将具备更强的环境感知与决策能力。利用先进的传感器技术,机器人能实时感知周围环境变化,自主规划装配路径,完成复杂的装配任务,减少人工干预。

#### 3.2 绿色化与可持续化

随着环保意识的增强,飞机柔性装配方法的绿色化与可持续化将成为重要趋势。在材料使用上,将更多地采用可回收、可降解的环保材料,减少对环境的污染。装配过程中,通过优化工艺流程,降低能源消耗。例如,采用更高效的加热、冷却技术,减少能源浪费。同时,加强对废弃物的分类处理与回收利用,提高资源利用率。此外,绿色化装配还注重减少噪音、粉尘等污染

物的排放,改善工作环境。

#### 3.3 数字孪生技术深入应用

数字孪生技术将在飞机柔性装配中得到更深入的应用。通过构建飞机装配过程的数字孪生模型,可实现对物理装配过程的实时映射与精准模拟。在装配前,利用数字孪生模型进行虚拟装配调试,提前发现并解决潜在的干涉、装配顺序不合理等问题,优化装配工艺方案。装配过程中,数字孪生模型能实时采集物理装配数据,与预设模型进行对比分析,及时调整装配参数,确保装配质量。同时,数字孪生技术还可用于预测装配设备的故障,提前进行维护保养,提高设备的可靠性与使用寿命。

#### 3.4 虚拟现实(VR)与增强现实(AR)应用

虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术在飞机柔性装配中的应用前景广阔。VR技术可创建沉浸式的虚拟装配环境,让操作人员在虚拟空间中进行装配训练,熟悉装配流程与操作规范,提高培训效果与效率,降低培训成本。AR技术则能将虚拟信息与实际装配场景相结合,为操作人员提供实时的装配指导。通过AR眼镜等设备,操作人员可获取零部件的装配位置、操作步骤等提示信息,减少人为失误,提高装配精度与速度<sup>[1]</sup>。

#### 结束语

飞机柔性装配方法在飞机装配中的应用,无疑是一场具有深远意义的变革。它凭借数字化、自动化、智能化等先进技术,突破了传统装配模式的局限,显著提升了装配精度、效率与质量,增强了飞机制造企业应对多品种、小批量生产需求的能力,有力推动了飞机制造业的转型升级。展望未来,随着科技的不断进步,飞机柔性装配方法将持续创新与完善,在智能化、绿色化等方面取得更大突破。

#### 参考文献

- [1]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.
- [2]郑鹏宇.飞机柔性装配方法在飞机装配中的应用[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2021(02):167-168.
- [3]刘博锋.飞机数字柔性装配关键技术及其发展[J].内燃机与配件,2022(22):244-245.