

# 飞机柔性装配工装关键技术及发展趋势

薛天存

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

**摘要：**飞机柔性装配工装关键技术正引领着现代航空制造业的革新。该技术基于模块化、数字化和智能化设计，能够快速适应不同型号的飞机装配需求，极大提升了装配的效率和精度。随着科技的不断进步，柔性装配工装将向更高级别的数字化、信息化和智能化发展，实现装配过程的精确控制、实时监测与智能优化。这些技术创新不仅将推动飞机制造技术的革新，也将为整个航空产业带来深远影响。

**关键词：**飞机柔性装配；工装关键技术；发展趋势

**引言：**随着航空工业的飞速发展，飞机柔性装配工装作为现代飞机制造的关键技术，已成为提升装配效率和保证装配质量的重要工具。该技术通过模块化设计，实现了工装的快速配置和灵活调整，能够迅速适应不同型号飞机的装配需求。展望未来，随着数字化、信息化和智能化技术的深入应用，飞机柔性装配工装将迎来更广阔的发展空间，为航空制造业的持续发展提供强大支撑。

## 1 飞机柔性装配工装概述

### 1.1 定义飞机柔性装配工装

飞机柔性装配工装是一种专为现代飞机制造过程设计的装配工具系统。随着航空工业的快速发展，飞机的设计和生产已经朝着高性能、高质量和高效益的方向发展，对飞机制造中的装配过程提出了更高的要求。在这样的背景下，传统的固定式装配工装由于其单一的功能和较高的更换成本已经逐渐难以满足需求。而柔性装配工装以其高度的灵活性和适应性，成为了现代飞机制造中不可或缺的一部分。飞机柔性装配工装通常包括一系列可调整、可更换的模块和组件，这些模块和组件可以根据不同的飞机型号、不同的装配需求进行快速配置和更换。通过精确的测量和控制系统，柔性装配工装能够在保持装配精度的同时，实现快速、高效的装配作业。

### 1.2 飞机柔性装配工装的功能与特点

飞机柔性装配工装的功能主要包括以下几个方面：

(1) 适应性强：柔性装配工装能够适应不同型号、不同尺寸飞机的装配需求，只需对部分模块或组件进行调整或更换即可，大大降低了生产准备时间和成本。(2) 精度高：柔性装配工装采用先进的测量和控制系统，能够确保装配过程中的精度和稳定性，提高飞机的整体性能和质量。(3) 操作简便：柔性装配工装采用模块化设计，使得操作更加简便、直观。同时，其友好的人机交互界面也使得操作人员能够轻松掌握操作技能。(4)

维护方便：柔性装配工装的模块化设计使得维护更加方便。当某个模块或组件出现故障时，只需更换故障部分即可，无需对整个工装进行大修<sup>[1]</sup>。除了上述功能外，飞机柔性装配工装还具有以下特点：(1) 高度集成化：柔性装配工装将多个功能模块集成在一个系统中，实现了功能的集中和优化。(2) 智能化程度高：柔性装配工装采用先进的计算机技术和人工智能技术，实现了对装配过程的智能控制和优化。(3) 可扩展性强：柔性装配工装可以根据需要进行扩展和升级，以适应未来飞机制造的需求变化。

### 1.3 柔性装配工装与传统装配模式的对比分析

与传统的固定式装配工装相比，柔性装配工装具有显著的优势：(1) 传统的固定式装配工装是根据特定型号飞机设计制造的，无法适应其他型号的装配需求。而柔性装配工装采用模块化设计，能够快速适应不同型号飞机的装配需求。(2) 传统固定式装配工装在更换时需要耗费大量时间和成本，而柔性装配工装只需对部分模块或组件进行调整或更换即可，大大提高了生产效率和降低了成本。(3) 传统固定式装配工装的精度和稳定性往往受到人为因素的影响较大，而柔性装配工装采用先进的测量和控制系统，能够实现精确的装配定位和控制。

## 2 飞机柔性装配工装关键技术分析

### 2.1 飞机数字化设计及制造技术

(1) 数字化设计在飞机柔性装配中的应用。数字化设计在飞机柔性装配中扮演着至关重要的角色。通过三维建模软件，设计师能够精确创建飞机的虚拟模型，从而在实际制造和装配之前进行模拟和分析。在柔性装配过程中，数字化设计提供了数据基础，支持了工装设计、装配路径规划以及零部件之间的配合关系。这种设计方法使得工装能够快速响应不同型号的飞机装配需求，实现柔性化装配<sup>[2]</sup>。(2) 制造技术的数字化转型对

柔性装配的影响。制造技术的数字化转型是飞机柔性装配得以实施的关键因素之一。传统的制造技术受到设备和工艺的限制，难以适应频繁变化的装配需求。数字化转型通过引入先进的数字控制系统、自动化生产线和智能制造技术，使制造过程更加灵活和高效。在柔性装配中，数字化转型允许工装设备根据装配需求进行快速切换和配置，从而提高了装配的适应性和效率。

## 2.2 装配工装定位柔性化技术

(1) 定位柔性化的原理与实现。定位柔性化技术允许工装设备根据装配需求进行快速定位和调整。其原理在于利用可调节的定位机构和精确的定位系统，确保工装与零部件之间的准确配合。在实际应用中，通过调整定位机构的参数或使用可更换的定位组件，工装能够快速适应不同型号飞机的装配需求。此外，利用先进的测量技术和传感器，定位系统能够实时监控装配过程中的位置变化，确保装配的精度和可靠性。(2) 定位柔性化技术在装配过程中的应用。定位柔性化技术在飞机柔性装配过程中发挥着重要作用。通过快速、准确的定位，工装能够确保零部件在装配过程中的位置和姿态符合要求。在复杂的装配过程中，定位柔性化技术能够减少人为干预和调整时间，提高装配的自动化水平和效率<sup>[3]</sup>。此外，该技术还能够减少因定位误差导致的装配质量问题，提高产品的整体质量水平。

## 2.3 装配工装装夹柔性化技术

(1) 装夹柔性化的技术原理。装夹柔性化技术是一种允许工装设备根据零部件的形状、尺寸和重量进行自适应夹持的技术。其原理在于利用可调节的夹持机构和先进的夹持系统，实现对不同零部件的快速、可靠夹持。在实际应用中，通过调整夹持机构的参数或使用可更换的夹持组件，工装能够快速适应不同零部件的夹持需求。此外，利用先进的传感和控制系统，工装能够实时监测夹持状态并自动调整夹持力，确保零部件在装配过程中的稳定性和安全性。(2) 装夹柔性化技术在提升装配效率中的作用。装夹柔性化技术对于提高飞机装配效率具有重要作用。通过自适应夹持系统，工装能够快速、准确地夹持不同零部件，减少了装夹调整和更换时间。此外，该技术还能够提高夹持的稳定性和可靠性，减少因夹持不当导致的装配问题和质量风险。因此，装夹柔性化技术有助于提高装配的自动化水平、降低人工成本并提高整体装配效率<sup>[4]</sup>。

## 2.4 柔性化结构设计技术

(1) 柔性化结构设计的创新方法。柔性化结构设计是飞机柔性装配工装设计中的关键创新点。为了实现工

装的柔性化，设计师需要采用先进的设计方法和技术。例如，模块化设计将工装划分为多个独立的功能模块，便于快速更换和重新配置；可重构设计允许工装通过改变结构形态和连接方式实现功能的变化；拓扑优化则通过优化材料分布和结构形式提高工装的性能和效率。这些创新方法使得工装能够更好地适应不同型号飞机的装配需求并实现柔性化装配。(2) 结构设计技术对装配工装的影响。柔性化结构设计技术对装配工装具有重要影响。通过优化工装的结构和性能，结构设计技术能够提高工装的适应性和可靠性。同时，柔性化结构设计还能够减少工装的重量和复杂性降低制造成本和维护难度。这些改进使得装配工装更加高效、灵活并能够满足不同型号飞机的装配需求。

## 2.5 数字识别技术、计算机编程技术与多轴系统控制技术

在飞机柔性装配工装中，数字识别技术、计算机编程技术与多轴系统控制技术协同作用，形成了一个高度集成的智能制造系统。这些技术对于提升装配精度和效率、增强装配工装的柔性化至关重要。(1) 这些技术在柔性装配中的应用价值。数字识别技术，如条形码和RFID，能够迅速识别零部件的关键信息，实现装配过程的信息化管理，提高装配精度和减少人为错误。计算机编程技术则通过预设程序实现工装设备的自动化控制和操作，从而提高了装配过程的自动化水平和生产效率。多轴系统控制技术则通过精准控制多个运动轴，确保工装设备实现复杂动作，保证零部件的精确装配。技术集成则将这些技术有机结合，形成一个高效、灵活的制造系统<sup>[5]</sup>。(2) 技术集成在提升装配精度和效率中的作用。技术集成不仅提升了装配的精度，通过精确的规划和控制，确保零部件的准确装配；同时也提高了装配效率，实现了快速、高效的装配过程；更重要的是，它增强了装配工装的柔性化，通过调整模块或参数，能够迅速适应不同型号的飞机装配需求，满足市场的多变需求。这些技术的集成应用为飞机柔性装配工装的发展提供了强大的技术支撑。

## 3 飞机柔性装配工装发展趋势

### 3.1 数字化与信息化发展趋势

(1) 数字化、信息化对柔性装配工装的影响。数字化和信息化为飞机柔性装配工装带来了革命性的变化。首先，数字化设计使得工装设计更加精确和高效，通过三维建模和仿真技术，可以在虚拟环境中进行装配模拟，提前发现和解决潜在问题。其次，信息化技术的应用使得装配过程中的数据能够实时收集、处理和分析，

实现装配过程的可视化和追溯,提高了装配精度和产品质量。(2)未来发展趋势预测。未来,数字化和信息化在飞机柔性装配工装中的应用将更加广泛和深入。一方面,随着云计算、大数据等技术的不断发展,装配过程中的数据处理和分析能力将得到极大提升,实现更加智能化的装配决策。另一方面,数字化和信息化将与物联网技术相结合,实现工装设备、零部件和装配环境之间的无缝连接,进一步提高装配过程的自动化水平和效率。

### 3.2 智能化发展趋势

(1)人工智能、机器学习在柔性装配工装中的应用。人工智能和机器学习技术为飞机柔性装配工装带来了智能化的发展机遇。通过引入智能算法和模型,可以实现对装配过程的智能规划、调度和优化,提高装配效率和降低成本。同时,智能传感器和监测系统的应用可以实时监测装配过程中的各种参数和状态,实现对装配质量的实时控制和调整。(2)智能化技术对未来装配工装的改造。智能化技术将深刻改变未来装配工装的形态和功能。首先,智能工装将具备更加灵活和可配置的能力,可以根据不同的装配需求进行快速调整和切换。其次,智能工装将具备自我学习和自我优化的能力,通过不断学习和积累装配数据,逐渐优化自身的装配策略和效果。最后,智能工装将实现与人的更加紧密的协作和互动,通过人机交互界面和智能语音助手等方式,为工人提供更加便捷和高效的操作体验。

### 3.3 柔性化技术的集成与创新

(1)柔性化技术与其他先进技术的融合。柔性化技术作为飞机装配工装的核心技术之一,正与其他先进技术不断融合和集成。一方面,柔性化技术与数字化、信息化技术相结合,实现了装配过程的数字化管理和信息化控制;另一方面,柔性化技术与智能化技术相结合,实现了装配过程的智能化规划和优化。此外,柔性化技

术还与新材料技术、新工艺技术等相结合,推动了飞机装配技术的不断创新和发展。(2)技术创新对飞机装配产业的推动作用。技术创新是推动飞机装配产业发展的重要动力。通过柔性化技术的集成与创新,可以实现对装配过程的精准控制和优化管理,提高装配效率和产品质量;通过智能化技术的应用和推广,可以实现装配过程的自动化和智能化水平提升,降低人工成本和提高生产效率;通过新材料技术和新工艺技术的应用和推广,可以实现飞机零部件的轻量化、高性能化和环保化设计制造。这些技术创新不仅为飞机装配产业带来了巨大的经济效益和社会效益,也为整个制造业的转型升级和可持续发展提供了有力支撑。

### 结束语

飞机柔性装配工装的发展,标志着航空制造业向高效率、更高精度迈进的坚实步伐。展望未来,随着科技的不断进步,柔性装配工装将继续深化数字化、信息化和智能化的融合,推动装配过程更加智能、高效。我们有理由相信,柔性装配工装技术将持续创新,为航空制造业带来革命性的变革,助力航空工业实现更高水平的腾飞,为全球航空事业的发展贡献智慧和力量。

### 参考文献

- [1]李维亮,杨京京,周良明.基于模块化设计的柔性装配工装关键技术研究[J].机床与液压,2019,(4):32-33.
- [2]王瑜.飞机数字化柔性装配关键技术及其发展研究[J].科技尚品,2019,(8):71-72.
- [3]沙丽娜,徐星洁.飞机数字化柔性装配关键技术及其发展解析[J].军民两用技术与产品,2019,(12):113-114.
- [4]聂永福.飞机柔性装配工装关键技术研究[J].黑龙江科技信息,2020(10):96-97.
- [5]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,2019(22):189-190.