

# 飞机整机装配质量数字化测量技术

贺英达

沈阳飞机工业(集团)有限公司 辽宁 沈阳 110000

**摘要:** 高质量的装配是确保飞机飞行安全、性能稳定以及使用寿命的关键因素。本文重点针对数字化测量技术,探讨其在飞机整机装配中的应用。论述数字化测量技术如何通过激光跟踪测量、结构光测量和三维扫描测量,为飞机部件的精确测量和实时监测提供有效手段。通过装配前的数字模型比对、装配过程中的实时监测和装配后的质量评估,介绍数字测量技术在机翼、机身、尾翼装配中的具体应用。

**关键词:** 飞机整机装配; 数字化测量技术; 质量控制

## 引言

飞机的装配质量直接影响飞行安全、运行效率和制造成本。随着航空航天技术的飞速发展,飞机设计日益复杂,对装配精度和质量的要求也不断提高。传统的飞机装配质量检测主要依赖于人工测量和经验判断,不仅耗时费力,而且误差较大,无法满足现代飞机制造的高精度要求。数字化测量技术的引入,为飞机整机装配质量的控制提供了新的解决方案。本文将从数字化测量技术的原理入手,探讨其在飞机整机装配中的应用。

## 1 数字化测量技术的原理

数字化测量技术,作为现代测量领域的先进手段,是基于计算机技术和传感器技术的综合应用,旨在通过高精度的测量设备和复杂的数据处理算法,实现对物体形状、尺寸及位置的精确测量。这一技术不仅极大地提高了测量的精度和效率,还为各种复杂工件的测量提供了全新的解决方案。数字化测量技术主要包括激光跟踪测量、结构光测量和三维扫描测量等几种主要技术手段,每种技术都有其独特的优势和应用场景。

### 1.1 激光跟踪测量

激光跟踪测量技术利用激光束进行空间定位和测量,其核心设备是激光跟踪仪,其工作原理主要基于光的直线传播和反射原理。当激光跟踪仪发射的激光束照射到目标点时,激光束会被目标点反射回来,并被激光跟踪仪的接收器接收。通过计算激光束的发射和接收时间差,以及激光束的传播速度,可以精确计算出目标点与激光跟踪仪之间的距离。同时,结合激光跟踪仪内部的旋转机构和角度测量装置,可以进一步确定目标点的空间位置。激光跟踪测量技术的优点在于其测量精度高、测量范围广,尤其适用于大型复杂工件的测量。在飞机整机装配过程中,激光跟踪测量可以用于精确测量飞机部件的位置和姿态,确保各个部件在装配过程中的

准确性和一致性。通过激光跟踪测量,可以及时发现装配过程中的偏差和误差,为后续的调整和优化提供精确的数据支持。

### 1.2 结构光测量

结构光测量技术是一种利用结构光投影和图像识别技术进行测量的方法。该技术通过结构光投影仪将特定的光模式投射到被测物体表面,然后利用图像传感器捕捉反射回来的光模式图像。通过对这些图像进行图像处理算法的计算,可以精确计算出被测物体表面的形状和尺寸。结构光测量技术具有测量速度快、测量精度高的特点,尤其适用于复杂曲面的测量。结构光测量技术可以用于检测飞机部件的曲面形状和尺寸。通过结构光投影仪将特定的光模式投射到飞机部件表面,并利用图像传感器捕捉反射回来的光模式图像,可以实现对飞机部件曲面形状的精确测量。通过结构光测量能够确保飞机部件在装配过程中的曲面形状和尺寸符合设计要求。同时,结构光测量技术还可以结合其他测量手段实现更全面的测量和分析。

### 1.3 三维扫描测量

三维扫描测量技术是一种利用激光或光学传感器对被测物体进行全方位扫描,生成三维点云数据的方法。该技术通过激光或光学传感器对被测物体进行扫描,将扫描得到的数据转化为三维点云数据,进而构建出被测物体的三维模型<sup>[1]</sup>。三维扫描测量技术具有非接触、高效率的特点,可以实现对复杂形状物体的快速测量。三维扫描测量技术在飞机整机装配过程中可以用于获取飞机部件的三维形状数据。通过三维扫描测量,可以快速获取飞机部件的完整三维形状信息,为后续的数字模型比对和装配误差分析提供基础数据。这种测量方式不仅避免了传统测量方法中需要接触被测物体的限制,而且提高了测量的效率和精度。

## 2 飞机整机装配中的数字化测量关键技术

### 2.1 数字化测量系统

(1) 激光跟踪测量系统。激光跟踪测量系统基于激光干涉原理,通过发射激光束并跟踪反射光来确定目标点的三维坐标。其测量精度高,可达亚毫米级甚至更高,测量范围广,可在较大空间内进行精确测量。在飞机装配中,常用于大型部件的定位和检测,如机翼与机身的对接。系统由激光跟踪仪、控制器、靶球和测量软件等组成。激光跟踪仪发射激光束,靶球作为反射目标,控制器处理反射光信号并计算靶球位置,测量软件实现数据采集、处理和分析。(2) 室内GPS测量系统。室内GPS测量系统利用类似于全球定位系统(GPS)的原理,在室内建立测量基准,通过接收多个发射器发射的信号来确定测量点的位置。该系统具有测量速度快、可同时测量多个点的优点,适用于飞机整机装配过程中的多点同时测量。其组成包括发射器、接收器、信号处理器和定位软件等。发射器发出信号,接收器接收信号并传输给信号处理器,定位软件根据信号传输时间等信息计算测量点坐标。(3) 摄影测量系统。摄影测量系统通过对物体进行多角度拍摄,利用图像匹配和三角测量原理计算目标点的三维坐标。它具有非接触、测量灵活、成本相对较低等特点,在飞机外形测量和装配姿态检测等方面有广泛应用。系统主要由相机、标定设备、图像处理软件等组成。相机对目标进行拍摄,标定设备用于确定相机参数,图像处理软件对拍摄图像进行处理和分析,提取特征点并计算其坐标。

### 2.2 测量数据处理技术

(1) 数据采集与传输。在飞机装配过程中,数字化测量系统实时采集大量测量数据。这些数据需通过有线或无线传输方式及时、准确地传输到数据处理中心。数据采集频率和传输稳定性直接影响测量结果的实时性和准确性。为确保数据质量,需采用抗干扰能力强的传输技术,如光纤传输、无线加密传输等,并对数据采集设备进行校准和优化,以保证数据的可靠性。(2) 数据滤波与配准。采集到的数据往往包含噪声和误差,需要进行滤波处理以提高数据质量。常用滤波方法有均值滤波、中值滤波、卡尔曼滤波等。均值滤波通过计算相邻数据点的平均值来平滑数据;中值滤波取数据序列的中值作为滤波结果,对脉冲噪声有较好抑制效果;卡尔曼滤波则基于状态空间模型,对动态数据进行最优估计。数据配准是将不同测量系统或不同测量时刻获取的数据统一到同一坐标系下的过程。飞机装配中,由于采用多种测量系统且部件在装配过程中位置可能发生变化,数

据配准至关重要。常用配准方法包括基于特征点的配准、迭代最近点(ICP)算法等<sup>[2]</sup>。基于特征点的配准通过识别和匹配不同数据集中的同名特征点来确定坐标变换关系;ICP算法则通过不断迭代优化使两组点云之间的距离最小,实现精确配准。(3) 数据融合。为了获取更全面、准确的飞机装配信息,需要对来自不同测量系统的数据进行融合。数据融合方法包括加权平均法、卡尔曼滤波融合法、模糊推理融合法等。加权平均法根据各测量系统的精度赋予相应权重,对数据进行加权求和;卡尔曼滤波融合法将卡尔曼滤波原理应用于多传感器数据融合,实时更新系统状态估计;模糊推理融合法利用模糊逻辑规则处理不确定信息,实现数据融合。通过数据融合,可充分发挥各测量系统的优势,提高测量结果的可靠性和完整性。

## 3 数字化测量技术在飞机整机装配中的应用

### 3.1 数字化测量技术的应用环节

数字化测量技术在飞机整机装配中的应用,涵盖了从设计到生产的各个环节,包括装配前的数字模型比对、装配过程中的实时监测和装配后的质量评估。(1) 装配前的数字模型比对。在飞机整机装配的初步阶段,数字模型的比对是至关重要的环节。这一步骤旨在确保所有飞机部件的尺寸、形状以及相互之间的配合关系严格符合设计要求,从而为后续装配工作的顺利进行奠定坚实基础。数字化测量技术在此阶段的应用主要体现在通过高精度扫描设备对被测部件进行全面扫描,生成详尽的三维点云数据。这些数据随后与设计阶段的数字模型进行精确比对,以揭示任何潜在的装配误差或偏差。数字模型比对的过程不仅仅是简单的形状匹配,它还包括了对部件尺寸、公差以及装配接口的严格校验。通过比对分析,可以识别出部件之间的不匹配、尺寸偏差或装配间隙等问题,这些问题在实体装配前得以发现并解决,有效避免了装配过程中的错误和返工,从而显著提升了装配效率和成本控制能力。此外,数字模型比对还能够为后续的工艺优化和部件改进提供宝贵的反馈信息,推动产品设计的持续优化。(2) 装配过程中的实时监测。在飞机整机装配的实际操作过程中,数字化测量技术的实时监测功能发挥着不可替代的作用。通过激光跟踪测量或结构光测量等先进技术,可以实现对飞机部件位置、姿态以及装配进度的实时监测。这种实时监测不仅限于静态参数的测量,还能够动态捕捉装配过程中的微小变化,如部件的微小移动或变形,从而确保装配过程的精确性和一致性。实时监测技术的应用,进一步促进了装配过程的自动化和智能化。结合先进的机器人

技术和自动化装配系统,数字化测量技术能够实现装配过程的自动化控制和实时监测的紧密集成<sup>[1]</sup>。这种集成不仅提高了装配效率,还显著增强了质量控制能力,使得装配过程中的任何偏差都能被及时发现并迅速调整,确保了飞机整机装配的高精度和高质量。(3)装配后的质量评估。质量评估是飞机整机装配完成后确保飞机性能和安全性的最后一道防线。数字化测量技术在此阶段的应用主要体现在通过三维扫描测量技术获取整机装配后的三维形状数据,并与设计模型进行详尽的比对分析。这一步骤旨在全面评估装配质量,包括部件之间的配合精度、装配间隙、表面平整度以及整体结构的稳定性等多个方面。质量评估的结果不仅为飞机制造商提供了关于装配质量的直观反馈,还为后续的改进和优化提供了宝贵的数据支持。通过对装配误差和偏差的深入分析,可以识别出装配过程中的薄弱环节,为后续的工艺改进和部件设计优化提供方向。此外,质量评估结果还能够为飞机的维护、修理以及升级等工作提供重要参考,确保飞机在整个生命周期内都能保持优异的性能和安全性。

### 3.2 数字化测量技术在飞机各部件装配中的应用

(1)机翼装配。机翼精度直接影响到飞机的气动性能,因而,机翼外形的测量与检测至关重要。利用摄影测量系统可以快速获取机翼表面的点云数据,并与设计模型进行对比,以检测外形偏差,包括翼型轮廓、扭转角和上反角等参数误差。此外,激光跟踪测量系统可以用于测量机翼关键部位的坐标,确保装配后的位置和姿态符合设计要求。其次,激光跟踪测量系统能够在机身与机翼的对接过程中监测机翼相对于机身的位置和姿态<sup>[4]</sup>。通过在两者安装靶球,精确测量位移和角度偏差,为调整提供数据支持。经过数据处理,确保对接精度在公差范围内,从而保障飞机结构的完整性和强度。(2)机身装配。飞机机身由多段件对接,装配精度要求高。室内GPS测量系统可以通过建立全局坐标系,实时测量各机身段位置和姿态。对接时,测量特征点坐标计算偏差并调整,能同时测量多点获取整体装配状态,提高对接效率和精度。同

时由于机身内部结构件众多,其装配质量直接影响机身强度和稳定性。激光跟踪测量系统能够深入机身内部,测量关键安装点,确保位置准确。数据融合技术整合则可以通过不同测量系统信息,全面评估装配质量,及时发现并纠正问题。(3)尾翼装配。尾翼安装位置与飞行性能切身相关。通过结合摄影测量系统结合激光跟踪测量系统,利用前者获取尾翼整体外形和姿态,而后者精确测量连接部位关键尺寸和位置,两者互补确保安装位置准确,保障飞行稳定性和操纵性。值得注意的是,装配过程中,要严格控制尾翼装配精度。数字化测量技术可以通过实时监测前缘后掠角、后缘上反角等参数。并利用公差分析和分配技术确定零部件公差,偏差超出范围及时调整,进一步确保装配满足设计要求,保障飞行安全。

### 结语

飞机整机装配质量不仅关系到飞机制造企业的竞争力和产品质量,更关乎国家航空航天产业的安全与发展。数字化测量技术的应用不仅能够显著提升飞机装配的精度和效率,还能够实现对飞机部件的精确测量和实时监测,确保装配的准确性和一致性,为飞机的质量控制和性能优化提供强有力的支持。未来,数字化测量技术将朝着更高精度、更高效率、更智能化的方向发展,为飞机制造提供更加可靠和高效的测量解决方案。

### 参考文献

- [1]钟云天,刘洋,周航.飞机装配质量数字化检测技术应用研究[J].今日制造与升级,2024,(09):124-126.
- [2]张浩.大飞机总装配质量问题分析及改进方法研究[J].中国质量监管,2023,(07):84-85.
- [3]谢贺年,闵奥成,梁少东,等.数字化组合测量辅助飞机装配质量检测技术[J].信息记录材料,2021,22(10):148-149.
- [4]隋少春,朱绪胜.飞机整机装配质量数字化测量技术[J].中国科学:技术科学,2020,50(11):1449-1460.