

机翼柔性装配试验系统设计

Flexible Assembly System Design of Aircraft Wing

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 张 俐 吕景佳 苗新刚



张 俐

北京航空航天大学高级工程师。长期从事飞机装配及工装测量技术、发动机叶片及传动系统加工测量和工作性能评价技术研究。主持和参加航空基金、国家重大项目多项。研究方向：飞机装配检测技术，动力系统复杂曲面精密检测及性能评价技术。

数字化装配技术是现代飞机装配技术重要的发展方向之一。数字化柔性装配技术从根本上改变了传统装配过程中依靠模拟量传递控制装配误差的方法^[1]，不但可以大幅度提高零部件的装配质量、改进装配过程、大大提高装配工作效率，而且由于柔性装配系统所具有的通用性和灵活性，可以适用于不同型号产品或部件的装配、大幅度减少刚性专用

数字化柔性装配技术从根本上改变了传统装配过程中依靠模拟量传递控制装配误差的方法^[1]，不但可以大幅度提高零部件的装配质量、改进装配过程、大大提高装配工作效率，而且由于柔性装配系统所具有的通用性和灵活性，可以适用于不同型号产品或部件的装配、大幅度减少刚性专用工装数量和工装的场地占用，进而达到缩短产品制造周期、降低生产成本的目的。

工装数量和工装的场地占用，进而达到缩短产品制造周期、降低生产成本的目的。本课题针对机翼类部件设计的数字化柔性装配试验系统采用激光测量技术和自动化技术作为实现数字化装配与数字化检测的有效手段，实现了装配过程中的数字量传递，达到了减少专用工装的目的。

系统总体方案

基于激光测量的机翼柔性装配系统是一个集成了软件、硬件的数字化和自动化的装配系统，包括数控装配平台、激光测量系统、伺服控制系统和集成化数据处理中心4个主要组成部分。该机翼装配试验系统可以实现机翼零件的自动化装配定位及空间位置的调整，并且在装配过程

中对零部件的装配定位精度进行数字化的测量、误差计算和补偿分析，以及在部件装配结束后对部件外形特征进行数字化检测和装配最终误差结果分析。

机翼部件柔性装配试验系统的数字化是通过采用激光测量系统来实现的。在装配系统的工作过程中和部件装配完成后，零件的关键装配定位特征数据和外形数据采用激光跟踪测量仪和激光扫描仪获得，测量数据通过数据处理中心进行计算分析和可视化。装配系统的工作流程如图1所示。

柔性装配系统平台如图2所示。机翼数字化自动装配系统在机翼部件进行零件装配之前进行制定完成装配工艺的可行性仿真验证。在确

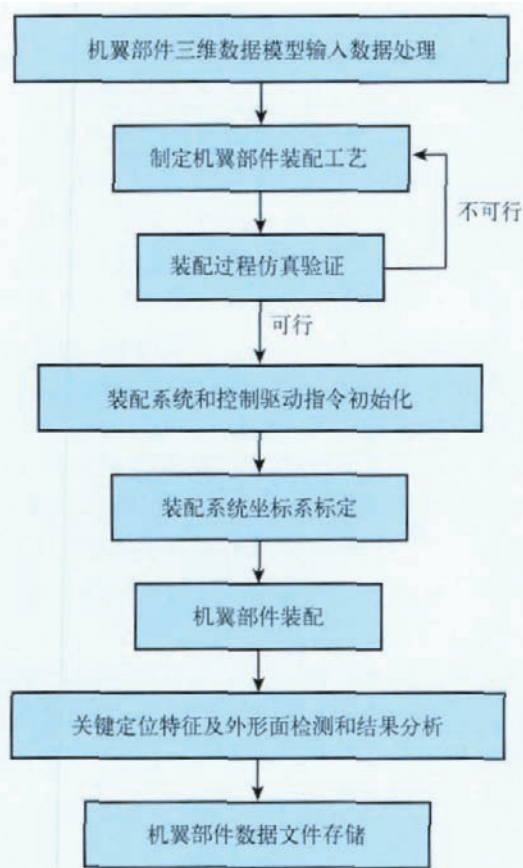


图1 装配系统工作流程

定装配工艺切实可行之后,进行装配系统的初始化以及坐标系的标定等装配前准备工作。在零件装配过程中,采用激光跟踪测量系统对零部件的关键定位特征进行测量,并将测量结果传输到数据处理中心进行分析,得出零件的空间位置误差以及空间位置补偿量,并根据得出的结果生成控制指令,反馈给装配平台的数控装配单元,驱动装配单元进行位置调整,最终完成零件的精确定位。机翼部件装配完成后,进行部件外形特征的激光扫描检测,将扫描数据传输到数据处理中心进行装配最终误差的计算及分析,并将该部件的数据进行分类存储。

装配平台结构设计

数控柔性装配平台取代了传统的机翼装配的专用型架,具有更好的通用性,将装配平台上用于零部件固定及位姿调整的部分设计成装配单元的形式,能够通过更换装配单元的

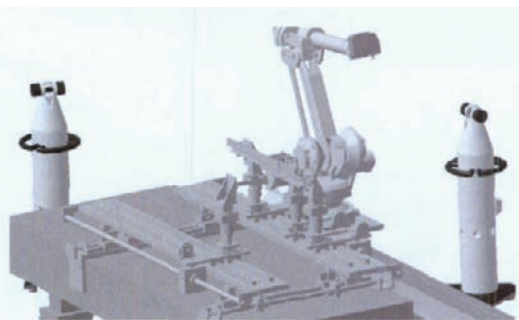


图2 柔性装配系统

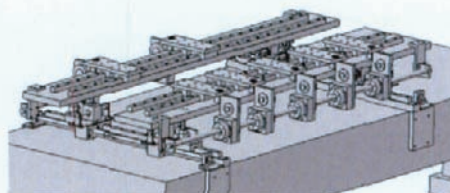


图3 装配平台滑动导轨结构

整体或其关键部件而快速适应具有不同尺寸和装配特征的装配对象。数控柔性装配工作平台在伺服控制系统的驱动下,可以快速响应并进行6个自由度的空间位姿调整,并根据激光测量系统的

测量结果将装配平台的真实空间位姿数据反馈给数控系统,完成装配平台的闭环控制,进而实现对装配对象的快速、准确定位。数控柔性装配平台机构包括固定工作台、滑动导轨以及多个装配单元。工作台固定在水平地面上,上面安装装配平台组件。滑动导轨是装配单元在水平面上移动的轨道,分为横向和纵向,直接固定在工作台上,如图3所示。装配单元安装在滑动导轨上,每个装配单元分为空间位置调整部分和夹具部分。空间位置调整部分用于机翼零件的装配定位和六自由度微调,其定位和调整的动作由伺服系统进行控制。夹具部分针对不同的定位特征设计了具有通用性的结构。

激光测量系统

激光测量系统完成装配过程中及装配产品的所有几何量测量工作,包括激光测量部分和辅助机器人,如图4所示。激光测量部分采用激光

跟踪测量仪和激光扫描仪进行空间的点、线、平面和曲面的精确测量。辅助机器人在该系统中实现机翼零件外形面的自动化扫描测量,辅助机器人安装在滑动导轨上,其工具末端安装激光扫描仪,辅助机器人在伺服控制系统的控制下可以在导轨上运动并且自动完成扫描动作。

对于不同的装配定位特征的几何量测量,激光测量系统采用不同的测量方法。对于各轴线类的装配定位特征及各定位面类的装配定位特征,基本上采用激光跟踪仪测量关键特征点的方法。对于外形曲面的装配,采用激光扫描仪,对外形曲面进行逐行扫描的测量方法。

本装配试验系统采用的 Leica 激光跟踪测量仪和激光扫描仪本身附带有专用的测量软件,但是该测量软件不能满足系统的要求,在数据处理中心的功能模块中开发了与该测量软件进行数据交换的接口,将该测量软件中的测量数据输入到数据处理中心进行分析处理。

伺服控制系统

伺服系统分为装配平台伺服系统和激光测量系统辅助机器人平台伺服系统2部分,伺服系统原理如图5所示。伺服控制系统用工控机 IPC 加 PMAC 控制卡的开放式结构,即直接把 PMAC 插入工控机 PCI 总线形成上下位机控制系统。工控机中的 CPU 与 PMAC 的 CPU 构成主从式双微处理器结构,2个 CPU 实现各功能,其中工控机则主要实现系统的控制管理功能,PMAC 主要完成工作台上 X、Y 轴的联合运动。通过调节

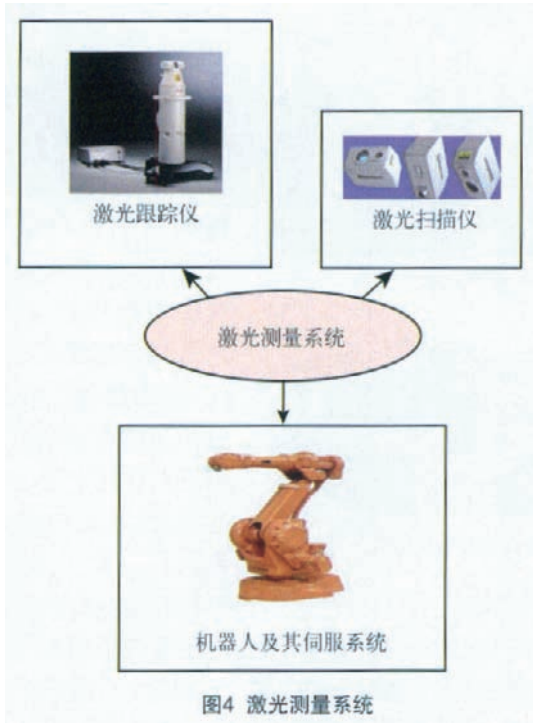


图4 激光测量系统

PID 参数和修改 PLC 代码来实现对装配平台运动机构的多轴运动控制,利用 PComm32 通信驱动程序来实现 PMAC 运动控制器与工控机的通信和数据交换。交流伺服驱动系统包括交流伺服驱动器和交流伺服电机,交流伺服驱动器将 P M A C 运动控

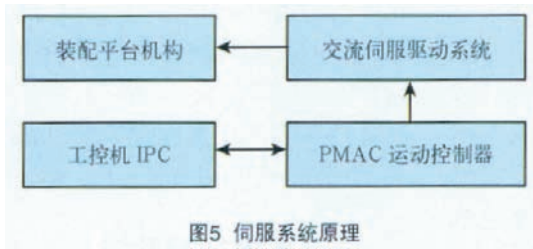


图5 伺服系统原理

制器的运动驱动指令转化为变频控制信号驱动交流伺服电机,进而控制装配平台的运动机构完成相应的运动。

数据处理中心

装配系统的数据处理中心的硬件系统由多台高性能的工作站组成,各工作站之间通过局域网完成数据传输交换。数据处理中心的软件系统集成了商业软件和自行开发的功能模块(如图 6 所示),主要完成硬件设备的数据采集和交换、伺服系统运动控制、测量数据的处理分析、装配系统的建模和仿真、各功能模

块之间的数据传输以及各数据文件的存储管理等工作。

数字化集成数据处理中心的主要功能模块有:三维可视化数字建模和仿真模块、数据采集模块、数据处理模块、控制模块、通信模块、存储模块。各功能模块主要采用以下开发工具开发:面向对象开发工具 Visual Studio C++、二次开发工具 CATIA CAA 数据库工具 Access 等。三维可视化数字建模和仿真模块主要进行装配试验系统的建模和装配过程的

仿真,该模块采用软件 CATIA V5,在 CATIA V5 软件中完成了装配系统数字样机的建模和系统工作过程的模拟仿真;数据采集模块:数据采集的对象是激光跟踪仪和激光扫描仪,将激光跟踪仪和激光扫描仪的测量数据以标准的格式从其附带测量软件中采集到数据处理中心;数据处理模块:完成装配过程中的测量数据的分类和提取、坐标转换、误差的计算分析、零件位置补偿量计算和外形面检测的路径规划和结果分析等;控制模块:利用数据处理模块的结果数据生成伺服控制系统的控制指令的 PLC 代码;通信模块:将各功能模块之间的数据进行传输和交换;存储模块:保存采集数据以及处理分析后的数据,并将建立机翼部件的档案文件。

结束语

本课题在对基于激光测量的飞机机翼的数字化柔性装配关键技术进行研究的基础上,设计了机翼的数字化柔性装配试验系统,能够初步实现机翼部件的数字化柔性装配,减少了专用工装的数量,达到了装配过程中全数字量传递的目标。该装配试验系统应用的激光测量技术、自动控制技术、机器人技术、数字化技术都是目前飞机制造领域的先进技术,并且该装配试验系统经过逐步发展和完善可以适应飞机制造领域实际生产的需要。

参考文献

- [1] 王云渤. 飞机装配工艺学. 北京:国防工业出版社,1990.
- [2] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术,2005 (9):28 -32.
- [3] Soe Naing.Feature Based Design for Jigless Assembly[D].England : Cranfield University, 2004.
- [4] John Hartmann.Automated wing panel Assembly for the A340-600. SAE Technical Paper, 2003-01-3015. (责编 小颖)

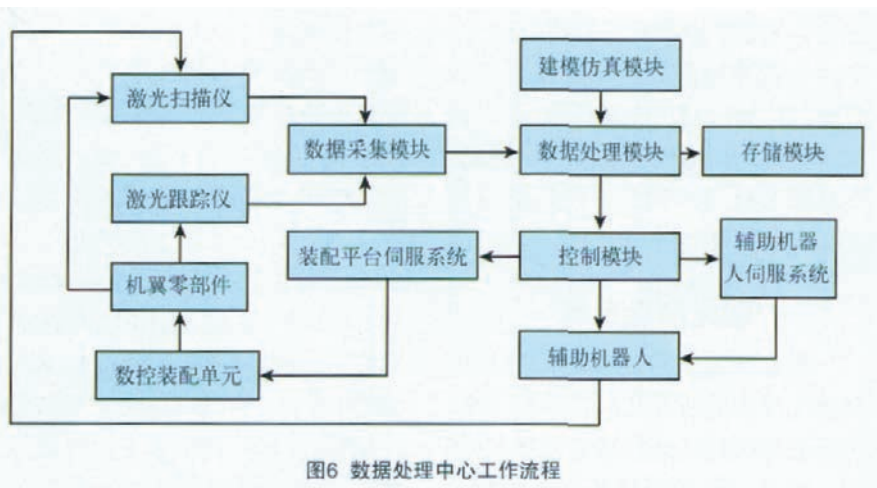


图6 数据处理中心工作流程