

飞机数字化柔性装配中的 数字测量技术

Digital Measurement of Aircraft Digital Flexible Assembly

北京航空航天大学机械工程及自动化学院 梅中义 朱三山 杨鹏



梅中义

北京航空航天大学机械工程及自动化学院副教授, 博士, 毕业于北京航空航天大学航空宇航制造工程专业, 主要从事飞机数字化装配与测量技术、飞机数字化设计与制造技术等方面的研究与开发工作。

飞机装配是一项技术难度大、涉及学科领域多的综合性集成技术, 在很大程度上决定了飞机的最终质量、制造成本和周期, 是整个飞机制造过程的关键和核心技术^[1], 飞机装配劳动量占整个飞机制造劳动量的 50% 以上。飞机装配过程就是将大量的

采用基于数字化测量技术的飞机数字化装配测量系统不仅可以大幅度提升现代飞机数字化装配的质量和效率, 而且更能适应上层的飞机数字化设计。从而打通从设计、制造到装配的数字化、一体化流程, 改变传统的模拟量传递模式。同时, 它将带动我国飞机生产模式的深刻变革, 有利于实现飞机的先进数字化柔性装配, 增强我国航空制造业国际竞争力, 必将为我国新一代飞机制造技术赶超国际先进水平做好重要的铺垫。

飞机零件按图纸、技术要求等进行组合、连接的过程, 大致可分为零件、组合件、段件间的部装以及各部件间的总装。

近年来, 飞机生产制造行业对飞机装配技术提出了高质量、高速度、低成本并能适应多品种产品的生产要求。为了实现这一目标, 国内外航空企业和研究单位开始投入大量人力物力研究飞机柔性装配技术。先进国家的航空企业已经开发并应用了飞机柔性装配技术于多种飞机的研制生产中, 并取得了显著成效。

数字化柔性装配技术

飞机柔性装配是指一套装配工

装(装配型架)能够完成 2 个或 2 个以上产品装配作用的制造技术, 它以数字化和自动化为依托, 能更好更快地实现产品的装配任务, 提高产品装配的质量, 缩短产品工装的设计和制造周期^[2]。计算机技术和各种新的装配工艺技术的飞跃发展使得飞机数字化柔性装配的实现具备了必要的技术基础。

飞机数字化柔性装配技术是建立在计算机数字信息处理平台上, 融合飞机的全数字量协调体系下, 应用计算机信息技术、数字控制技术, 采用各种的数控装配工具, 进行数控控制孔、铆接, 完成部件的连接。能适应飞机部件品种规格、批量、装配工艺、

场地和时间的变化要求^[3]。在有限的场地内快速完成装配任务,大大减少了装配工装的使用,简化了型架。

数字化装配技术广泛采用数字量传递信息,是一项庞大、复杂的系统工程,需要集成多种先进的技术成果。其关键技术包括飞机数字化设计及制造技术、装配工装定位柔性化技术、数字测量技术、CAD/CAM/CAE技术、多轴系统控制技术、自动钻孔技术、自动铆接技术等。

数字测量技术

基于数字量协调的数字化柔性装配技术离不开数字化的测量技术。数字测量技术为实现数字化精确装配提供了基础保障。

数字测量系统(DMS)工作的主要核心硬件是计算机辅助测量设备,它们在飞机装配线中主要用来测量和定位各种工艺装备,或直接用来定位被装配产品,是飞机数字化装配系

统的重要组成部分。

通过近 20 年的飞速发展,传统的型架装配正逐渐被国外先进的飞机制造公司淘汰,数字化柔性装配逐渐成为飞机装配的主流。在飞机数字化柔性装配中运用较为广泛的先进数字化测量仪器主要有电子经纬仪、电子全站仪、数字照相测量系统、室内 GPS 测量系统、激光跟踪仪。

图 1 列举了各测量系统。表 1 对各种测量系统的相关参数及优缺点

表 1 各种数字测量系统对比

数字测量系统	使用条件	测量精度	优缺点
电子经纬仪	2 台或 2 台以上,需要基准尺定标,需要操作人员人眼瞄准	20m 内: 角度精度 0.5'; 测量精确度 0.05mm	转站时需要重新定标; 在中、短距离内具有极高的测量精度; 测距通过测角计算得到
电子全站仪	可单台工作; 开机后输入温度和气压,仪器自动校正距离	测程 0.9~1800m; 测量精度: $\pm(3+2 \times 10^{-6})$ mm。	不能完全代替水准仪; 对点时稳定性和安全性更好; 对于高精度测距能力不足
激光跟踪仪	可单台工作; 开机 30min 预热; 一次性初始校准,转站无需定标	绝对精度: 非运动目标 5×10^{-6} ; 运动目标 10×10^{-6} 。	高精度的大尺寸测量; 自动跟踪,实时测量,携带方便; 需手持靶球,对工人技能要求较高
数字照相测量	测量前需要定标,贴片; 多角度多次照相	2000×3000 像素; 精度小于 0.05mm	携带方便,环境适应力强; 多点跟踪; 转站容易; 技术要求高、价格高,对目标光源有一定要求
室内 GPS 测量	合理布置被测目标周围空间的脉冲发射器(数量/位置)	最高精度可达 0.2mm	超大尺寸测量,无需转站; 支持多用户,不受温度影响; 测量精度不高

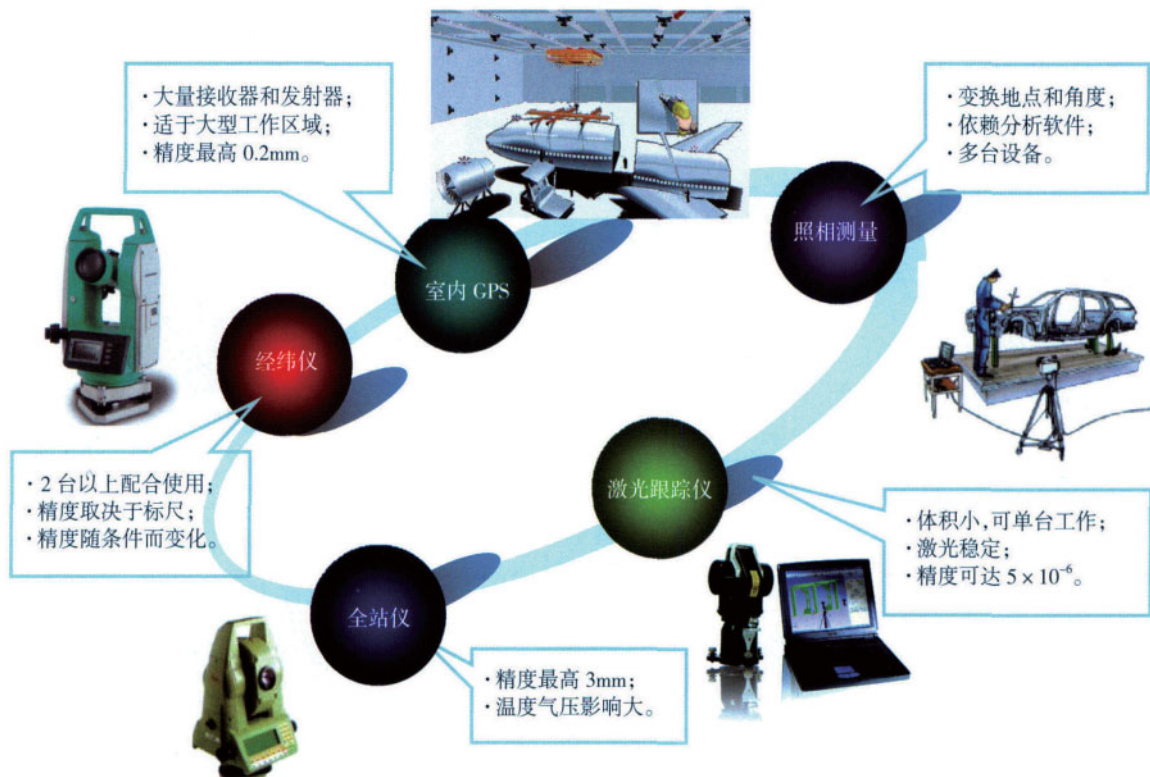


图 1 几种常用的先进数字化测量设备

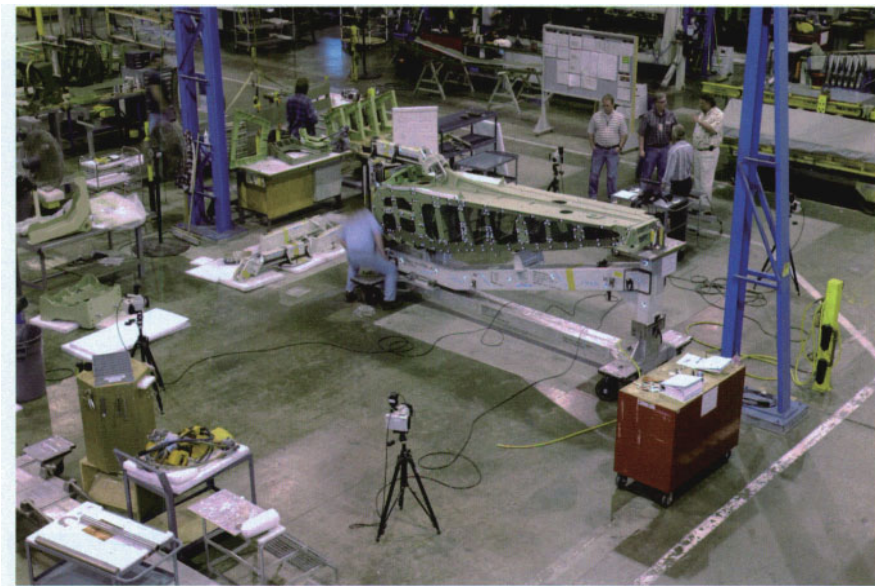


图2 利用DPS装配F-18的部件

点做了比较。

以上5种测量系统中,电子经纬仪使用比较麻烦,测量范围有限;电子全站仪测量精度有限,对高精度测距能力不足,因此目前两者很少用于飞机柔性装配中。下面着重阐述数字照相测量、室内GPS测量、激光跟踪仪3种测量系统。

1 数字照相测量系统

数字照相测量系统(Digital Photogrammetry Systems, DPS)测量方法为:对目标从不同的观察方向进行拍照,获得影像后,用强大的图像处理软件处理所得数字图像,并且对每一个测量点,由摄像测量包的三角测量提供它们的三维坐标和统计信息。在短时间内,利用综合分析软件的接口及界面,用户便可获得名义数值或其他几何信息的误差。

其优点是功能强、易操作、高精度、智能化,且易于携带和移动,抗振动性能好,非接触式操作,并且可以进行高度自动化评价、动态测量,具有计算机辅助设计和分析软件的界面、快速出结果,受温度影响小。适用于在温度变化较大的环境中,对具有复杂外形的产品进行测量。图2是采用数字照相测量系统辅助装配F-18飞机某部件。

2 室内GPS测量系统

室内GPS测量系统(Indoor GPS, iGPS),工作原理是^[4]:发射器产生2个激光平面并在工作区域旋

转。每个发射器有特定的旋转频率,转速约为3000r/min。根据接收器所能接收到的激光,它能够对水平角及垂直角进行测量。通过几个不同发射器的组合,可以计算测量点的XYZ坐标点。测量1个点所需要的最少发射器数量是2个。发射器越多,测量越精确。为了提高测量精度。建议1个测量点至少能接收到4个发射器的信号。

iGPS测量系统适合于非常大的被测物的定位调整装配。iGPS的出现为大尺寸的精密测量提供了一种新的方法。随着iGPS系统测量精度的不断提高,已经有诸如波音等大的航空制造企业将iGPS系统运用于飞机的部件总装对接中。图3是美国波音公司装配车间使用iGPS进行动态定位、对接模拟图。

3 激光跟踪测量系统



图3 iGPS动态定位和对接装配模拟图

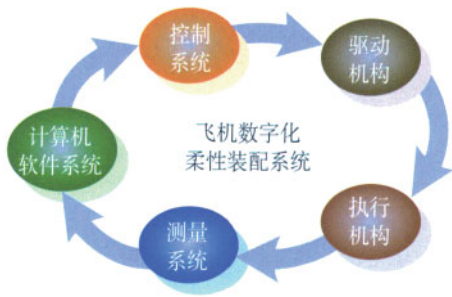


图4 飞机数字化柔性装配系统组成

激光跟踪测量系统 (DATS) 工作原理是: 激光束由光源出发, 经过带有 2 个角度编码器的旋转镜, 投向反射器。经

反射器反射回来的光一部分与参考光相干涉测出反射镜的相对位移; 另一部分反射光则投向光电位置感应器, 将差动信号输出至伺服马达, 马达控制旋转镜的转角, 使激光束始终指向反射镜中心, 2 个角度编码器则分别指示出旋转镜的旋转角度。

激光跟踪测量仪起初是为汽车装配设计的, 由于它优越的性能, 立即得到航空制造工程师的青睐。激光跟踪仪在大尺寸空间坐标测量表现也非常好, 测量精度非常高, 可达到 5×10^{-6} 的精度。

目前市场上有多家激光跟踪测量仪生产厂家, 主要有瑞士 LEICA、美国 API、美国 FARO 等。

4 数字测量技术在装配中的应用

基于数字测量系统的飞机数字化柔性装配平台, 其系统组成如图 4 所示。数字化柔性装配系统由计算机软件系统、控制系统、驱动机构、执行机构以及测量系统五大部分组成, 构成了一个闭环控制系统。

(1) 计算机软件系统。

用于将获得的测量数据或理论数据进行汇总、整理、分析、处理和传递及发送控制指令等, 其作用是测量系统和控制系统的桥梁与平台。同时, 软件系统还需负责处理工程项目管理、产品数据集集成、实时装配场景仿真、实时装配误差反馈等任务。

(2) 控制系统。

主要接收由计算机软件发出的控制指令, 带动相应的电机伺服驱动机构或液压驱动机构, 实现执行机构的调整与定位, 并采用图形交互界面控制位置测量、目标移动。

(3) 驱动机构。

驱动机构是控制系统与执行机构的桥梁, 用于将控制系统的指令进行译码, 并驱动执行机构执行相应动作。同时, 驱动机构通过测载元件连续地测量定位件触压飞机构件的载荷大小, 并传给控制系统, 以控制定位件对飞机构件的压力, 防止产生过压。

(4) 执行机构。

一般由机械随动定位装置构成, 除了支撑对接部位外, 还要靠驱动机构带动运动, 可以完成位置定位、调整、固定、夹紧等活动。其机械结构主要由各种定位件构成,

帕莱克 刀具预调仪



帕莱克刀具预调仪为您提供全方位的刀具测量与检测解决方案, 我们的设备实现了刀具精确, 简便, 快速的测量, 并达到微米级的可靠精度, 是您提高生产效率、降低生产成本、改善产品质量的保证, 无论现在还是将来, 都能帮助您在市场竞争中更胜一筹!

- 先进的刀具测量与检测技术, 保证可靠的微米级精度!
- 强大的刀具管理与通讯软件, 降低您的刀具库存成本。
- 模块化设计, 便于升级维护, 提高工作效率!
- 广泛的应用范围, 强大的技术支持以及全球的服务网络。

广告索引号 11-100

帕莱克机械(南京)有限公司

南京·上海·广州·天津·成都·西安·沈阳·无锡

传真: 025-87113180 电话: 025-87113188



可以沿几个自由度方向运动。

(5) 测量系统。

测量系统主要组成部分是数字测量系统,可是照相测量系统、iGPS 或者激光跟踪仪等。主要负责实现装配过程中数据采集与位置监测,目的是提高测量的精度和装配的准确度。测得的结果反馈回计算机,通过软件系统进行各种运算操作。

对比 3 种测量系统(即照相测量、iGPS 测量、激光跟踪测量),激光跟踪测量系统较其他系统有着许多优势,如高精度的大尺寸测量、自动跟踪、实时测量、携带方便、可单台工作、转站无需定标等。因此激光跟踪测量系统在飞机数字化柔性装配系统中得到广泛的应用。

激光跟踪测量仪自带的通用测量软件大多局限于测量方面,不适应飞机数字化柔性装配环境。因此利用激光跟踪测量仪提供的 API 接口,开发适用于数字化柔性装配专用软件,如飞机数字化装配测量系统。

飞机数字化装配测量系统

飞机数字化装配测量系统的工作原理^[5]是:使用机械随动定位装置来支撑和夹持飞机装配件,并在装

配件的定位基准点上安装光学靶球,通过激光跟踪测量系统测量装配件上的光学目标点位置,获得定位基准点位置信息,在数据处理系统里将该位置信息与产品工程数据集给出的基准点目标位置进行比对处理,得到装配件装配位置的修正值,将修正值传递给运动控制系统,驱动多个机械随动定位装置协调调整装配件的位姿,直到装配件的位姿达到公差允许范围内,从而实现装配件间的精确定位。同时数据处理系统会将数模动态信息传递给实时运动仿真系统,在显示终端上进行运动仿真,为工作人员提供友好、真实的装配感受。

飞机数字化装配测量系统总体上分为 3 个子系统,即激光跟踪测量系统、数据处理系统、实时动态仿真系统。图 5 即为飞机数字化装配测量系统总体结构。

1 激光跟踪测量系统

激光跟踪测量系统是飞机数字化装配测量系统的重要组成部分,其主要功能是负责激光跟踪仪与计算机之间的通信,激光跟踪测量仪初始化,激光跟踪测量仪回鸟巢,静、动态数据采集,前视、后视检查等。

该子系统是基于 API 激光跟踪

测量仪进行开发的。该激光跟踪测量仪与计算机之间的通信采用串口通信。为方便对激光跟踪测量仪进行二次开发,API 公司封装了一个名为 CTracker 类。该类实现了诸如激光跟踪测量仪初始化、静、动态测量等 API 应用程序接口函数。通过调用这些 API 函数可实现相应功能。

2 数据处理系统

数据处理系统是飞机数字化装配测量系统最重要的子系统,系统大部分的计算工作在这里完成。其主要功能是将激光跟踪测量系统测量的基准点信息转化为模型的位姿信息,并与产品数据集的数字模型进行比对,求出位姿误差,并给出装配件当前的位姿以及装配件的位姿调整方向。在各种位姿转换的过程中,坐标转换是重要的内容。因此,坐标转换是数据处理系统的基础功能。

数据处理系统实现了如下功能:产品数模的读取与模型重构、坐标转换矩阵求解算法、跟踪仪坐标系与装配坐标系拟合、装配件坐标系与装配坐标系拟合、目标实际位置与理论位置偏差、测量数据的导出等。

3 实时运动仿真系统

实时运动仿真系统的主要功能是在计算机中建立装配件、激光跟踪测量仪和机械随动定位装置的三维模型,通过显示终端为用户提供三维装配场景模拟,并显示装配过程的关键参数,让用户更为直观地了解装配进程。

实时运动仿真系统是基于 CAD 图形软件包进行的二次开发。该图形软件包由一系列的 C++ 对象库组成,这些库为用户提供了各种 CAD 几何功能相关的 API 函数,如几何体建模、文件读取、数学运算、渲染等操作。实时运动仿真系统实现了如下功能:实时三维运动场景渲染,实时显示各参考点与理论坐标的偏差、六视图显示模式、视图变换(缩放、平移、旋转)、拓扑数据结构的访问、基

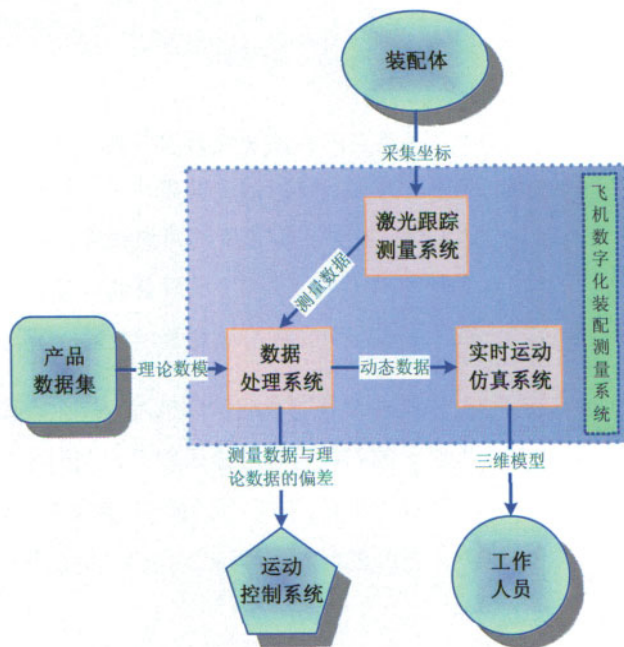


图5 飞机数字化装配测量系统总体结构

准点拾取、三维模型拾取等。

4 飞机数字化装配测量系统特色

该系统不仅实现了数字化装配系统基本的目标动态测量、产品装配等功能,同时,系统具有多项特色:

- (1)能够完成基于一台跟踪仪的静态装配任务;
- (2)能够完成基于三台跟踪仪的动态装配任务;
- (3)可实现同时多视角仿真装配场景,方便用户实时查看装配情况,即时发现装配问题;
- (4)可完成有固定端装配和无固定端装配。

图6即为飞机数字化装配测量系统软件运行界面。软件平台左侧信息栏实时显示装配时的各项参数,中间的

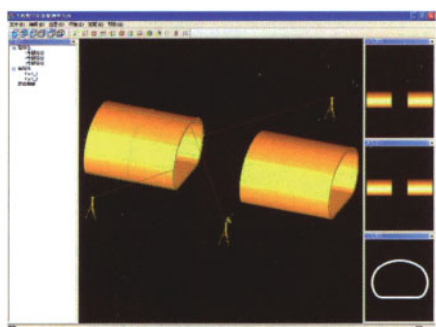


图6 飞机数字化装配测量系统软件平台界面

大图显示的是飞机装配场景。右侧3个视图分别为主视图、左视图、俯视图视图,此处用户可以自定义显示视图的数量和种类,备选项有主视图、左视图、俯视图、后视图、右视图、仰视图。

结束语

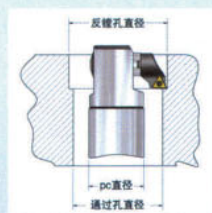
数字化测量技术在飞机数字化柔性装配中的作用越来越重要,地位越来越凸显。采用基于数字化测量技术的飞机数字化装配测量系统不仅可以大幅度提升现代飞机数字化装配的质量和效率,而且更能适应上层的飞机数字化设计。从而打通从设计、制造到装配的数字化、一体化流程,改变传统的模拟量传递模式。同时,它将带动我国飞机生产模式的深刻变革,有利于实现飞机的先进数字化柔性装配,增强我国航空制造业国际竞争力,必将为我国新一代飞机制造技术赶超国际先进水平做好重要的铺垫。

参考文献

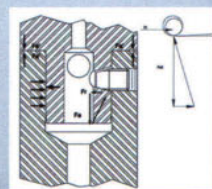
- [1] 邹冀华,刘志存,范玉青.大型飞机部件数字化对接装配技术研究.计算机集成制造系统,2007,13(7):1367-1373.
- [2] 秦政琪,范振伟.飞机薄壁组件数字化柔性装配研究.沈阳航空工业学院学报,2009,26(3):1-4.
- [3] 邹方.飞机制造中数字化柔性装配技术的发展.制造业自动化,2005,27:263-270.
- [4] 吴晓峰,张国雄.室内GPS系统及其在飞机装配中的应用.航空精密制造技术,2006,42(5):1-5.
- [5] Williams G, Chalupa E, Rahhal S. Automated positioning and alignment systems. Society of Automotive Engineers, Inc. 2000-01-3014.
- [6] 梅中义,范玉青.基于激光跟踪定位的部件对接柔性装配技术.北京航空航天大学学报,2009,35(1):65-69. (责编 良辰)

NEW

新镗刀带来 新优势



■ 轻松实现反镗加工



■ 可与Big镗刀接口完全互换



■ 模块化设计



■ 方便调整动平衡 25000转/分时, 动平衡达到G2.5

帕莱克为精密镗削 工业建立新的标准!

帕莱克新型镗刀系统提供了全新增强的特性,包括全范围的镗削能力,精密的模块化设计以及 μ 级的重复精度,帮助您降低刀具库存成本,改善镗削加工品质,提升您的生产竞争力!

创新的冷却传递 直接到达切削刃



广告索引号 11-100

帕莱克机械(南京)有限公司

南京·上海·广州·天津·成都·西安·沈阳·无锡
传真: 025-87113180 电话: 025-87113188