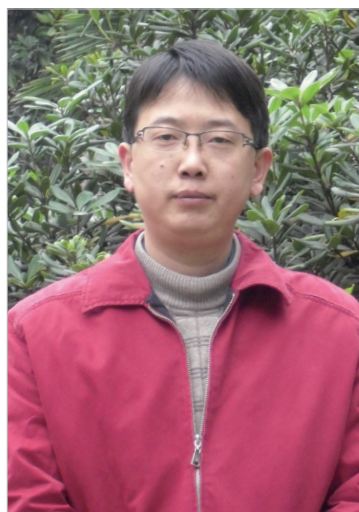


# 面向大飞机总装自动化生产的 数字化测量系统应用

## Application of Digital Measurement System for Large Aircraft Assembly Automation Production

中航工业陕西飞机工业(集团)有限公司 季青松 牛润军 王 梅



季青松

中航工业陕西飞机工业(集团)有限公司工程技术部高级工程师,主要从事飞机总装技术相关工作。

飞机总装就是把已制成的飞机结构部件进行对接,在机身上进行各种功能装置和功能系统的安装、调整、试验及检测,使飞机成为具有飞行功能和使用功能的完成的整体。迄今为止,飞机总装生产经历了手工作业、半机械/半自动化、机械/自动

迄今为止,飞机总装生产经历了手工作业、半机械/半自动化、机械/自动化的发展历程。尤其是以波音、空客、洛·马为代表的先进航空制造企业,将自动化技术与丰田生产方式和精益生产理论结合,形成了以移动生产线和脉动生产线为代表的2种典型模式,极大地提升了飞机总装生产效率和质量。

化的发展历程。尤其是以波音、空客、洛·马为代表的先进航空制造企业,将自动化技术与丰田生产方式和精益生产理论结合,形成了以移动生产线和脉动生产线为代表的2种典型模式,极大地提升了飞机总装生产效率和质量。

飞机总装自动化主要是通过先进数字化技术来实现其精准装配,如AGV大部件移动、大部件数控定位调姿对接、数控自动钻铆、装配后数控精加工等。而在飞机总装自动化装配技术体系中,数字化测量系统已经成为其重要的组成部分,它能够对定位机构、目标产品等进行监控,

并采集装配对象的必要位姿信息,处理、传递数据信息给中央控制台和控制系统,以帮助自动定位机构的调姿运动<sup>[1]</sup>。

### 数字化测量系统特点

数字化测量系统是以测量检测软件为核心,以数字化测量设备为实施工具,能够对待测对象实施快速、精确、自动化的测量,获取其准确的空间形状或位姿信息,并能够对测量结果进行分析评估的一整套测量系统。在飞机装配领域,相对于传统测量系统,数字化测量系统主要特征包括:

(1) 测量范围大、精度高。数字化测量设备通常采用有着极好的定向性和相干性的激光发射/接收系统作为其测量单元,在满足飞机装配精度的前提下,测量设备能够实现大空间测量。

(2) 测量过程可通过编程控制。数字化测量设备采用机电伺服控制结构,结合其开放的可编程二次开发接口,能够实现对测量工作的数字化控制。

(3) 测量数据数字化、可读性好。测量结果以数字量进行表征,可以直接显示、加工和处理。

(4) 测量数据具有良好共享性。数字化测量设备采用标准的以太网 TCP/IP 接口,因此测量设备能够很容易地实现与其他系统之间的数据通信,对组建柔性化的数字化装配平台有不可估量的积极意义。

## 数字化测量系统构成

测量系统在硬件方面应包括一套新型的光学测量跟踪仪器及轻便的坐标测量设备。目前,大尺寸空间测量设备主要包括激光跟踪仪、iGPS 测量系统、激光雷达、摄影测量设备等。数字光学测量仪器应具有实时跟踪测量、检验、校准等功能,通常 1 台仪器不一定能够实现飞机数字化柔性装配需求,因此,可通过多台或多种设备组合来完成。在软件方面可开发专用程序,以求解出最佳匹配运算方法。通过两步算法计算出最佳位置:第 1 步是将所有点的定位从它们自身的坐标系转换为统一的装配坐标系;第 2 步算法则用于计算将装配部件运动到所需位置(如对接目标位置)的运动量,即平移距离和转动角度等,还应考虑到操作者所用的装配惯例。当确定装配对象间的位置关系后,在中央计算机内部可将处理的数据信息传递给控制系统,或编制出 1 份完整的报告,该报告为操作者提供调整定位器位姿所需要的各

种信息。

## 常用数字化测量设备简介

### 1 激光跟踪仪

激光跟踪仪是一台以激光为测距手段并配以反射标靶的仪器,它同时配有绕两个轴转动的测角机构,形成一个完整球坐标测量系统,可以用来测量静止目标,跟踪和测量移动目标或它们的组合。其原理是利用激光来跟踪目标反射器,通过自身的测角系统和激光绝对测距系统来确定空间点的坐标。其组成有:激光跟踪头、控制器、反射器(靶镜)、用户计算机及测量附件。

### 2 iGPS

iGPS 的英文全称是 indoor GPS,因此也被称为室内 GPS。根据 GPS 的测量原理,人们提出了基于区域 GPS 技术的三维测量理念,进而开发出了一种具有高精度、高可靠性和高效率的 iGPS 系统。其原理是通过激光发射器(基站)产生两个激光平面在工作区域旋转,每个发射器有特定的旋转频率,转速通常约为 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,可以计算测量点的三维坐标。测量一个点最少需要 2 个发射器,发射器越多,测量越精确。iGPS 系统组成包括激光发射器、测量探测器、传感器(3D 智能靶镜)和接收处理器系统软件。

### 3 激光雷达

激光雷达是一种球坐标系的光学测量设备,可以进行全自动化的高精度非接触式测量。其测量区域大,能够快速采集数据。激光雷达的其测量原理是使雷达的工作波段扩展到光波波段,以激光束代替微波,投向被测目标,依据目标上大量的反射光线获得被测目标的空间坐标及位置。激光雷达基本构成包括:激光发射器、光电探测器、接收望远镜、滤光器、发射望远镜、信号处理单元和数据输出单元。

## 面向飞机总装脉动生产线的应用分析

### 1 部件自动化对接

部件自动化对接如图 1 所示,测量系统与部件顶撑调姿定位器、平尾

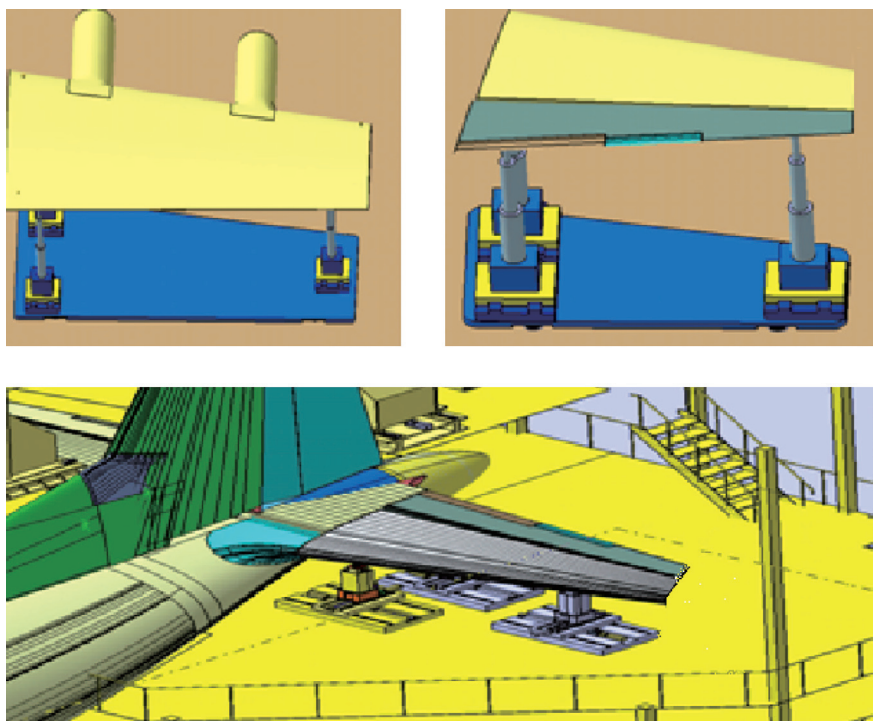


图1 部件自动化对接示意图

外翼对接平台、发动机安装车、集成控制系统集成,形成部件对接综合检测系统组成,从而完成飞机中外翼与中央翼对接、外翼与中外翼对接、平尾与机身对接、发动机安装、垂尾与机身自动化对接。

## 2 整机移动

大飞机的设计空机重量 40 多 t,其中机身重量 20t。考虑安全性,如此庞然大物的移动问题,仅靠一般的牵引是很难完成的。尤其是在脉动式的生产模式下,飞机在各站位(正常、应急)的移动就是必须考虑的问题。可采用数字化测量系统辅助 AGV 系统方案,将几个 AGV 小车部署为定向的一个车群,保证有效无差错地行驶。这对一个固定导轨系统来说,改变运输路径或新的路径,实现起来很困难;因此需要智能导航技术提供先进柔性精准的方法。iGPS 室内定位系统就是这样一个导航系统,通过中央控制系统进行交通控制和传输路径规划,控制停泊位置和电池充电站。iGPS 处理控制单元作为运输处理的一部分,其中的交通指导控制单元保证了交通规则可视化,尤其在过道和交汇处,其作用显得特别重要。运输路径分为块区,在任一时刻只能被一辆车占用,要避免进入保留区域和死锁区。

## 3 全机水平测量

整机装配完成后,可采用数字化测量系统替代传统水准仪、光学经纬仪、钢卷尺等测量工具,测量机身相对位置,机翼、尾翼相对机身的位置,发动机短舱、发动机、起落架的安装位置以及操纵面的偏转角度等。

陈登海等<sup>[2]</sup>应用结果表明,用激光雷达进行飞机水平测量是一种高效率、高精度的新方法。测量时间见表 1 所示。

从表 1 中可以看出激光雷达所需要的测量时间为 2h 左右,测量效率比传统的测量方法提高了 50%。激光雷达在 24m 的测量范围内单点

测量精度为 0.24mm,能够保障飞机水平测量的精度<sup>[3]</sup>。

采用数字化测量技术,可解决传统测量方法的不足,具有传统测量方法不可比拟的优越性,主要包括:

(1)精度高。提高了单点测量的精度,减少了人为因素引入的误差。

(2)速度快。对于操作熟练的工人在 2h 之内就能够完成一架飞机水平测量工作。

(3)自动化程度高。可编写自动测量程序完成任务量较大的测量任务,并生成相应的测量报告。

(4)劳动强度低。采集的数据由计算机自动计算,1 人即可完成测量并显示结果。

## 用于飞机总装的典型测量流程

以飞机部件对接实际过程为例,

从部件放置在 POGO 顶升装置上到最后对接定位、准备连接时,整个过程的测量控制调整采用基于激光跟踪仪的数字化测量系统上,测量系统辅助流程如图 2 所示<sup>[4]</sup>。

(1)建立基准坐标系:通过激光跟踪仪与地面上的基准测量点建立对接装配坐标系,并与 POGO 顶升装置、对接部件上的特征点、测量点建立关系。通过激光跟踪仪自身的坐标系,将地面基准测量点、POGO 顶升装置、对接部件上的特征点、部件的空间姿态与飞机理论坐标系相互联系起来,从而可以在对接过程中确定出各个待测对象的位置,以便进行接下来的仿真分析、后置处理和伺服控制调整。

(2)测量各对接部件的特征点:用激光跟踪仪测量各对接部件的特征点,确定出该部件在装配坐标系中

表 1 测量时间表

测量步骤	准备工作	建立坐标系	测量关键点	设备转站	继续测量	数据处理
时间 /min	30	10	10	10	10	30

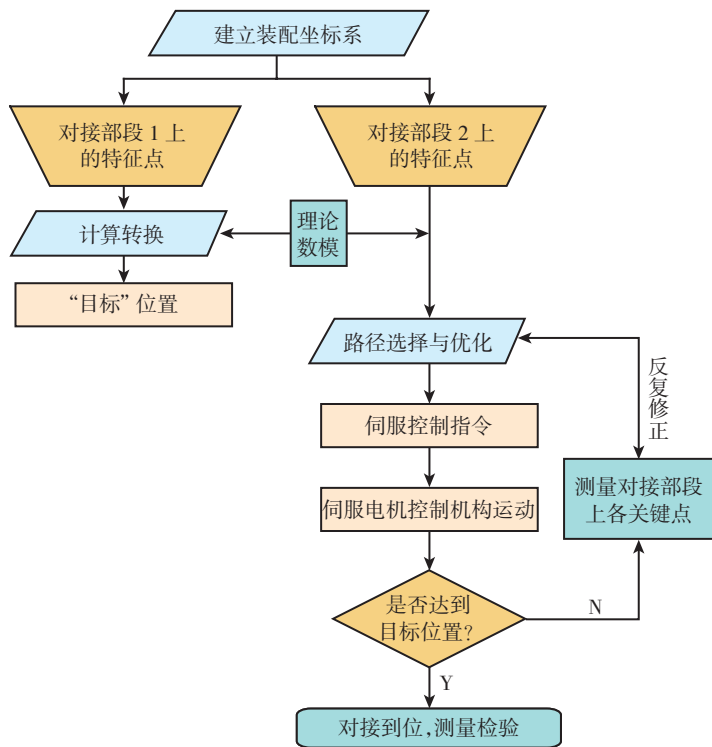


图 2 面向飞机总装对接的测量系统工作流程图

的位置。

(3) 确定对接移动目标: 根据实际空间位置, 与飞机理论位置进行比较, 推算出该对接部件在对接状态下应处于的位置, 作为部件移动目标。

(4) 根据目标进行调姿: 根据部件在 POGO 顶升装置上的初始位置和应移动目标, 设计优化部件对接移动的路径, 输入到伺服控制系统中, 驱动调姿机构运动; POGO 顶升装置在进行调姿运动过程中, 实时监控和测量部件上的各关键点, 计算出实时位置, 并及时修正运动路线, 直至最终对接到位。

## 面向飞机总装的数字化方案设计

如图 3 所示, 数字化测量场包含布站方案设计、数字测量场坐标系构建方案设计和测量方法方案设计。其中, 数字测量场布站主要完成数字测量设备的空间架构方案设计, 是整个测量场构建的实施基础。数字测量场坐标系构建主要完成测量场中各测量对象与设计坐标系的绝对关系及各测量对象的相互关系的方案设计, 是后续自动化对接轨迹规划与定位控制实施的数据链基础。测

量方法设计主要是对测量方式(手动或自动)进行规划和评估。

### 1 数字化测量场布站

如图 4 所示, 数字化测量场布站方案设计主要包括 2 个方面。其一是布站方案设计: 设计基于激光跟踪仪的数字化测量场布站方案和基于室内 GPS 的数字化测量场布站方案, 并对误差进行分析; 其二是测量夹具设计: 测量过程中, 需设计相关测量夹具, 以实现对被遮挡的测量点或者虚拟数据点进行测量。

### 2 数字化测量场内坐标系构建

工程设计中有机身、中央翼、外翼、平尾等坐标系, 相对于大部件的对接, 工艺装备的设计、制造、安装都以机身坐标系为基准, 整个翼身对接的工装虽属两大架, 但都是以机身坐标系设计、安装定位, 实现产品、工装基准一致, 保证了工装、产品的相互协调, 因此, 飞机总装测量方案的坐标系按机身坐标系构建。

### 3 测量方法选择

测量方法分为两种实施方案, 其一是手动目标测量, 其二是自动目标测量。手动测量是采用人工的方式引光和固定靶球, 且引光的过程中容易出现掉光的现象, 受人为因素的影

响较大, 但是使用该方案, 对设备和软件系统要求较低, 相对较易实施。自动测量仅需要利用预览镜头将测量激光定位到靶球球心所在的大致位置, 激光跟踪仪便能利用 ADM 技术自动搜索靶球中心进行测量, 返回测量值。与手动测量相比, 自动测量具有测量效率高, 人为因素影响小的特点, 但是该方案的实施需要将测量激光定位到 ADM 技术能够进行自动搜索的区域内, 否则将无法锁定靶球球心。如果使用原有激光跟踪仪, 需要添加额外的控制器, 并对测量算法的编制提出更高的要求, 实施起来存在一定的困难。因此实际操作过程中, 综合考虑两种方法的优缺点, 可先期采用手动测量方法, 即整个过程采用“手动测量—数据处理—自动定位控制—手动测量”往复脉动的方式进行实施。

## 结束语

近些年, 国内在飞机总装脉动生产线研究应用上处于快速发展阶段, 并形成了以西飞公司某型机总装脉动生产线为代表的一些典型示范基地。在目前国内各航空制造厂家应借助大飞机的生产建设良机, 通过与国内高等院校和科研院所合作, 重点研究以数字化测量为代表的关键核心技术, 以缩小与国际先进水平的差距, 提高国际竞争能力和在国际合作项目中的参与地位。

## 参考文献

- [1] 于勇, 陶剑, 范玉青. 波音 787 装配技术及其装配过程. 航空制造技术, 2009(14): 44-47.
- [2] 陈登海, 秦龙刚, 黄翔. 基于激光雷达的飞机水平测量. 中国制造业信息化, 2009, 38(5): 78-80.
- [3] Metris Inc. Laser Radar [EB/OL]. [2008-04-13]. <http://www.metris.com/large-volume-metrology/laser-radar/>.
- [4] 王建华. 飞机总装对接技术. 航空制造技术, 2010(2): 32-35.

(责编 深蓝)

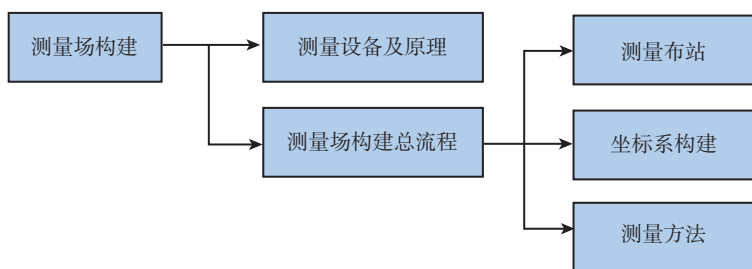


图3 数字化测量场构建总框图

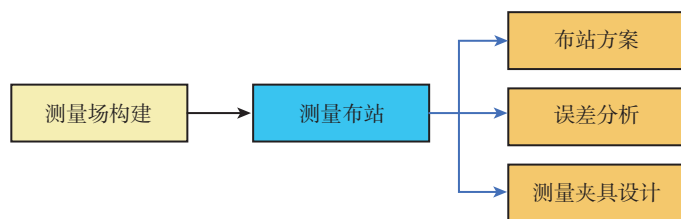


图4 数字化测量场布站方案设计框图