

飞机总装自动化校准对接系统

Automatic Alignment & Butt System for Aircraft Final Assembly

中国一航北京航空制造工程研究所 邹方 张书生



邹方

工学硕士,自然科学研究员,计算机数字控制专业,在北京航空制造工程研究所工作。多年从事数控系统研制和应用工作。曾获部级科学技术进步二、三等奖;主持开发了我国首台具有完全自主知识产权的“柔性多点拉形模具”,并申请国防发明专利2项;目前承担了多项“飞机数字化与柔性装配技术”基础预研课题,开展该领域的系统控制与集成技术的研究。

飞机的总装是一个既复杂又费时的装配过程,传统的装配工艺采用了大量的固定工装和脚手架,装配周期长,工人劳动强度大,装配质量低且不稳定。飞机的总装按对接部件

飞机对接系统必须具有几大功能:高可靠的支撑、高精度位置姿态调整和部件交接面对接误差最小。传统的飞机结构件对接操作是最复杂、需要工时最长的工序,为了缩短装配时间,提高装配质量,飞机的对接广泛采用了辅助装配、高负荷精确定位和电气伺服控制等技术。

来分,可分为机身与机身的对接,机身与机翼的对接。对接的质量好坏直接影响飞机的飞行安全。就大飞机而言,部件是大尺寸、大质量,对接面的交点多,移动调整不方便。这些特点对对接系统的性能指标提出了更高的要求,表现在对接系统控制精度、支撑强度、可靠性、安全性、快速

协调性等方面。为了实现飞机的快速柔性总装要求,对飞机总装结构件的制造精度水平也提出了更高的标准。自动化飞机对接系统一般由以下几个部分组成(见图1):定位器,激光测量跟踪和传感系统,电气系统及其控制软件。

归纳起来,飞机对接系统必须具

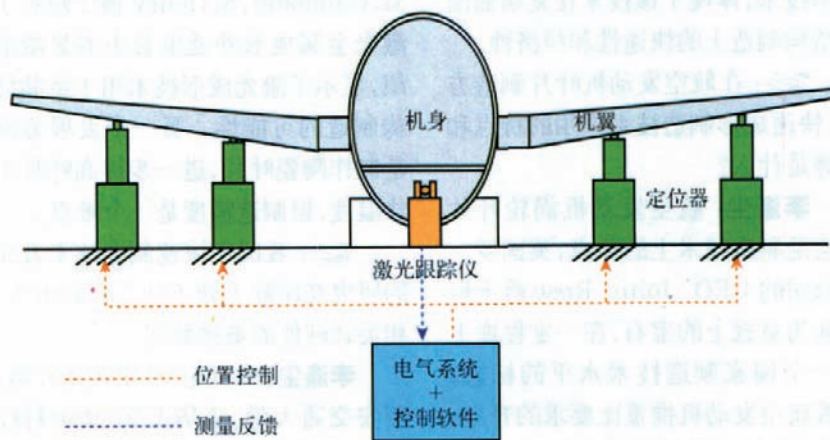


图1 机身段自动化校准对接系统

有几大功能: 高可靠的支撑、高精度位置姿态调整和部件交接面对接误差最小。传统的飞机结构件对接操作是最复杂、需要工时最长的工序, 为了缩短装配时间, 提高装配质量, 大飞机的对接广泛采用了激光测量

工装是为单一或少数几个规格产品来设计和制造的, 因此, 对于其他系列的飞机来说, 重构装配线几乎不可能。

激光跟踪与测量辅助装配

1 激光跟踪测量仪

激光跟踪测量仪是一种高速、高精度的三维空间测量装置, 它将水平和垂直方向的角度测量与距离测量结合在一起, 建立了采点反射镜的 3D 坐标系, 该坐标可以转换到任意工装或零件的坐标系统; 高速马达实现了完全自动的测量,

位置探测器保证仪器的高速跟踪能力。当操作者移动反射镜时, 激光跟踪仪会实时“跟踪”并以三维坐标的形式报告反射镜的准确位置。其三维激光干涉和角度编码器保证了每秒 1000 个测量点参数的高速传输, 以及直径为 70m 的大空间区域测量。

三维激光测量系统对于飞机对接工作来说是必不可少的, 激光测量

数据的采集、处理和控制在数字化装配工序中, 首先建立飞机部件的 CAD 三维模型; 在此基础上, 利用激光跟踪仪测量、监视装配部件和相关工装卡具的实际位置数据。激光跟踪仪已经广泛用于机身校准和对接过程中的精确测量, 考虑到激光测量设备对温度、湿度、压力非常敏感, 因此在一个装配系统中配备两套激光跟踪设备。通过计算机的模拟和仿真, 两台跟踪仪中至少有一台可以全方位跟踪到每个目标, 保证在校准和连接的各个阶段很容易测量到机身各个部分的尺寸。

2 测量辅助装配 (MAA)

在飞机的对接过程中采用激光跟踪系统进行辅助装配(图 2), 使之参与到飞机总装的全过程中。它在下面两个方面有别于传统的装配:

(1) 需要一个测量系统(激光跟踪仪, 局部 GPS 系统等), 在装配站上进行部件定位, 测量系统可以识别参与装配过程的所有曲面的精确 3D 几何信息。

(2) 配备必要的处理软件(测量辅助装配优化), 计算部件的最佳位置, 考虑所有装配部件的实际几何信息、尺寸公差和理论外形。确定装配部件最佳对接位置, 即时与 CAD 模型比较, 确定超差点, 通过定位器(千斤顶)进行适当的调整。

机身与机翼的对接作为飞机总装配线的一部分(图 3), 是技术含量最多、最为复杂的部分, 对测量辅助装配提出了更高的要求。机身-机翼对接测量辅助装配的特点是:

(1) 对合面的形状测量更为复杂, 标识面是三维的自由曲面, 尺寸大, 但公差要求很小;

(2) 机翼和机身对接的几何结构特性造成了对接尺寸公差的特殊性, 公差带是一种考虑对接时的平移及偏转两种误差的菱形包络线;

(3) 辅助测量处理必须考虑 3 个部件, 即中身段、左机翼和右机翼。

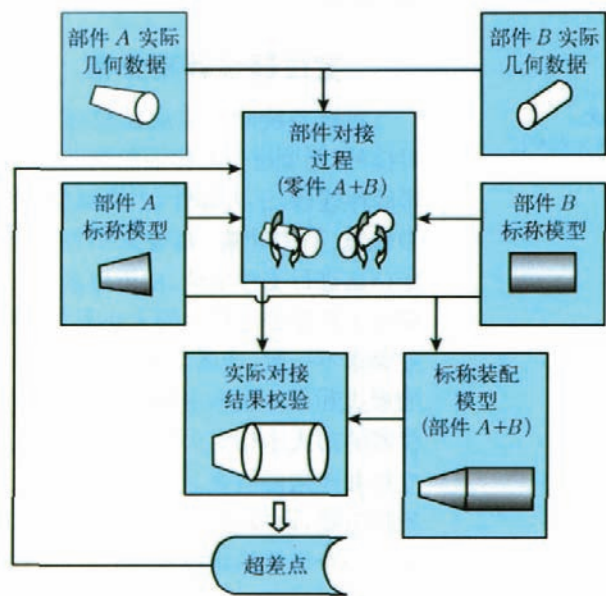


图2 测量辅助装配 (MAA)

跟踪系统, 这些系统对装配厂房环境要求苛刻, 对制造工人也提出更高要求。常规装配过程采用了大型的固定型架, 以保证每个部件(机身、机翼等)在装配站上的准确定位。

装配连接质量建立在工装质量的基础之上。这些工装必须进行定期检验以保证满足装配要求。这种周期性校验既费时又费钱, 并且这些

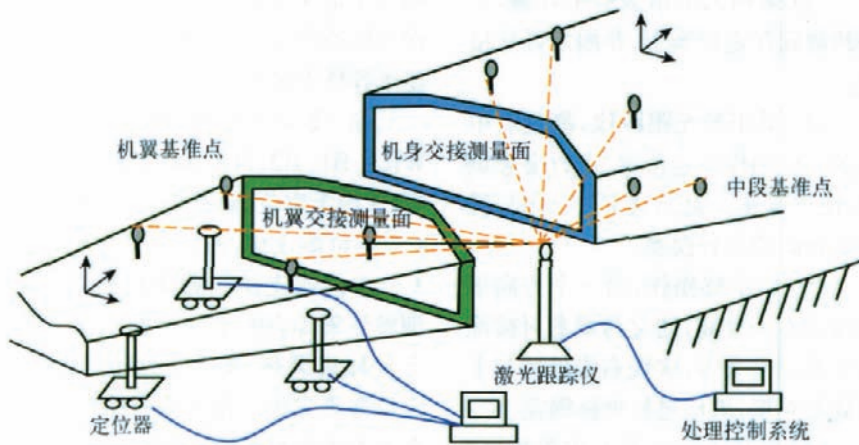


图3 机身与机翼对接的测量与控制

与传统的装配工艺相比,采用测量辅助装配(MAA)设备可以带来许多好处:

(1) 大幅度减少工装型架的费用;

右中外翼的尺寸为长×宽×高=12 m×12m×1m;重量为5000kg(附加燃油20000kg)。

对接过程如下:

(1) 采用天车吊装中央翼盒,并

的操作。

(7) 进行翼盒与机翼对接面制孔。左右移动梁伸出与辅助支撑柱搭接,上部制孔单元进行坐标回原点操作,处于工作准备状态;下部制孔单元也进行同样的操作。进行对合面的制孔。

定位器设计及分布

对接系统除了完成装配部件的对接外,还要进行对接面的制孔以及紧固件连接,三大部件(中央翼盒、左中外翼、右中外翼)都要采用若干个定位器进行支撑定位,由于翼盒和机翼与定位器的连接点的大小形状、强度要求不一致,造成了它们连接交点的形式和尺寸也不尽相同,从而使定位器的形式多样化。定位器由底座、立柱和连接器组成,一般包括X、Y、Z向驱动,以及水平和仰角的调整。设计一个合格的定位器,必须注意以下两点:

(1) 弄清楚飞机机身的各个接触界面的外部形状;

(2) 高的安全设计标准,以保证操作人员免遭伤害和飞机不受损坏。

定位器是对接系统的基本单元,要根据飞机装配部件的尺寸、重量以及装配精度和公差要求,提出其相应的设计指标,包括结构类型、连接器形式、底座尺寸、坐标行程、支撑重量、定位精度、安全保证等。为了有效安全地支撑机身部件,定位器要根据部件的尺寸大小、质量分布和强度要求等特点进行分布安排。

如图4(图中WR1、WR2、WR3、B1、B2、B3、B4、WL1、WL2、WL3均为定位器)所示,中央翼盒由4个定位器支撑,左右中外翼分别由3个定位器支撑。翼盒和外翼都有调整位置姿态的主定位器,它通过四个坐标来调整,属于主动驱动,通过定位器来完成对接部件的摆平找正。在左右中外翼旁边,安放了激光三维测量跟踪仪,便于关键点测量。其中

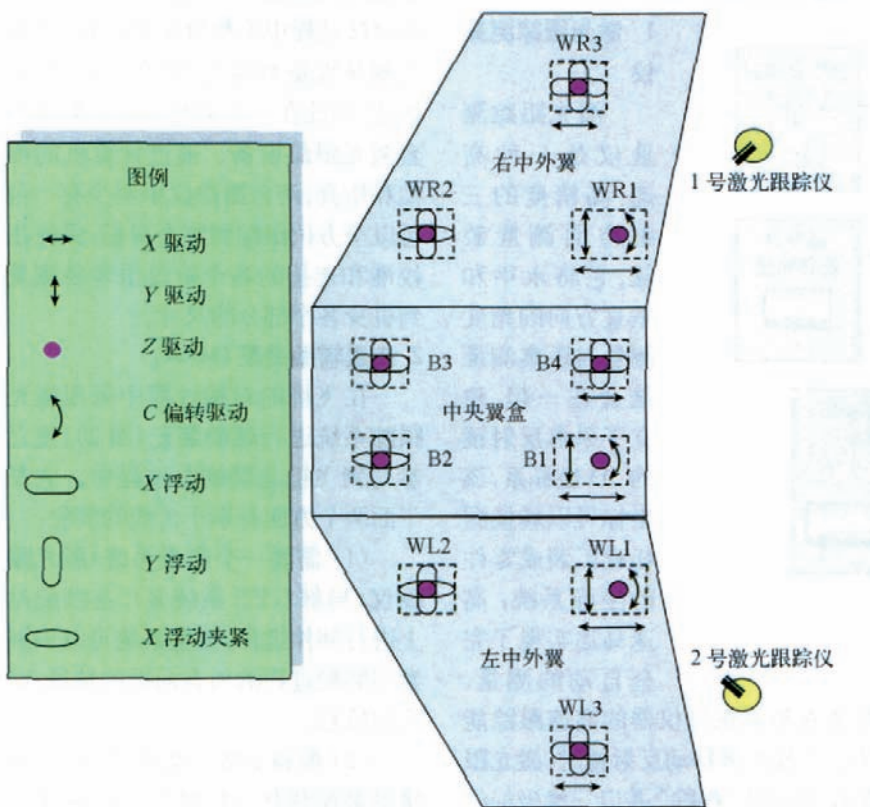


图4 定位器分布

(2) 可进行多次重复性的装配对接;

(3) 改善装配公差,全面提高飞机装配质量;

(4) 容许大尺寸装配站进行柔性装配;

(5) 减少了部件装配工序的工时,包括减少工装准备和部件定位时间,同时避免了移动部件的反复性。

装配部件和对接过程的描述

下面以大飞机的中央翼盒和中外翼的对接系统为例,对装配部件特性和装配工艺过程进行描述和分析。

中央翼盒的尺寸为长×宽×高=12m×12m×2m;重量为5000kg(附加燃油20000kg)。左

将其放置在定位器上。

(2) 采用激光跟踪仪,测量中央翼盒的基准点,并进行姿态调整,使之找平摆正。

(3) 采用天车吊装右中外翼,并将其放置在定位器上,并固定好交接点。

(4) 采用激光跟踪仪,测量右中外翼。自动操作定位器,进行姿态调整,使之摆正。显示XYZ三向与翼盒对合面的位置误差。

(5) 作平移操作,沿一个方向平行移动右中外翼,使之与翼盒对接面的位置误差为零,实现右中外翼与中央翼盒对接,最后进行坐标锁定。

(6) 采用天车吊装左中外翼,完成与右中外翼相同的(3)~(5)项

具有浮动特性的定位器,在 X、Y 平面上随动,不会使定位器受力并造成部件的损坏。

制孔单元的设计

部件对接完成后,就要对翼盒和机翼连接部位进行制孔,以便使用螺栓连接。由于机翼上下都要制孔,所以机翼的上方与下方都要安装置孔单元。上方制孔单元吊挂在移动横梁上,下方的制孔单元埋藏在地下。本系统采用高架移动梁形式,布置了两两相对的并联制孔单元,左右各有两套制孔单元。

制孔单元的指标涉及主轴功率、孔径范围、坐标行程、定位精度等。制孔系统共有 9 个坐标,其中上制孔单元有 4 个: X1、J1、J2、J3; 下制孔单元有 5 个: X2、Y2、K1、K2、K3。

电气控制系统

电气控制系统建立了 TCP/IP 和 CANOPEN 两种网络。通过以太网 TCP/IP 集线器在信息数据交换层上将三维激光跟踪仪、工业 PC 机、多轴管理器、PC 触摸屏连接起来。对接控制系统包括了定位器驱动、制孔单元驱动和输入输出采集,都连接在 CANOPEN 总线上。工业 PC 机作为对接系统的中央控制系统,完成中央翼盒、左右中外翼的摆平找正。电气控制系统(图 5)对来自各部件的激光跟踪位置数据进行处理,计算部件的实时姿态还原成部件的实际几何外形模型,并与部件的理论对接模型进行比较,得出部件的位置姿态误差,从而计算出部件各个定位器所需的移动指令值,发送给定位器进行姿态调整,使部件实现精密对合。其控制原理见图 6。

人机操作及图形界面设计

对接系统共有 3 个主定位器,各配置了 1 个触摸屏,便于对对接件定位器进行手动操作。每个定位器配

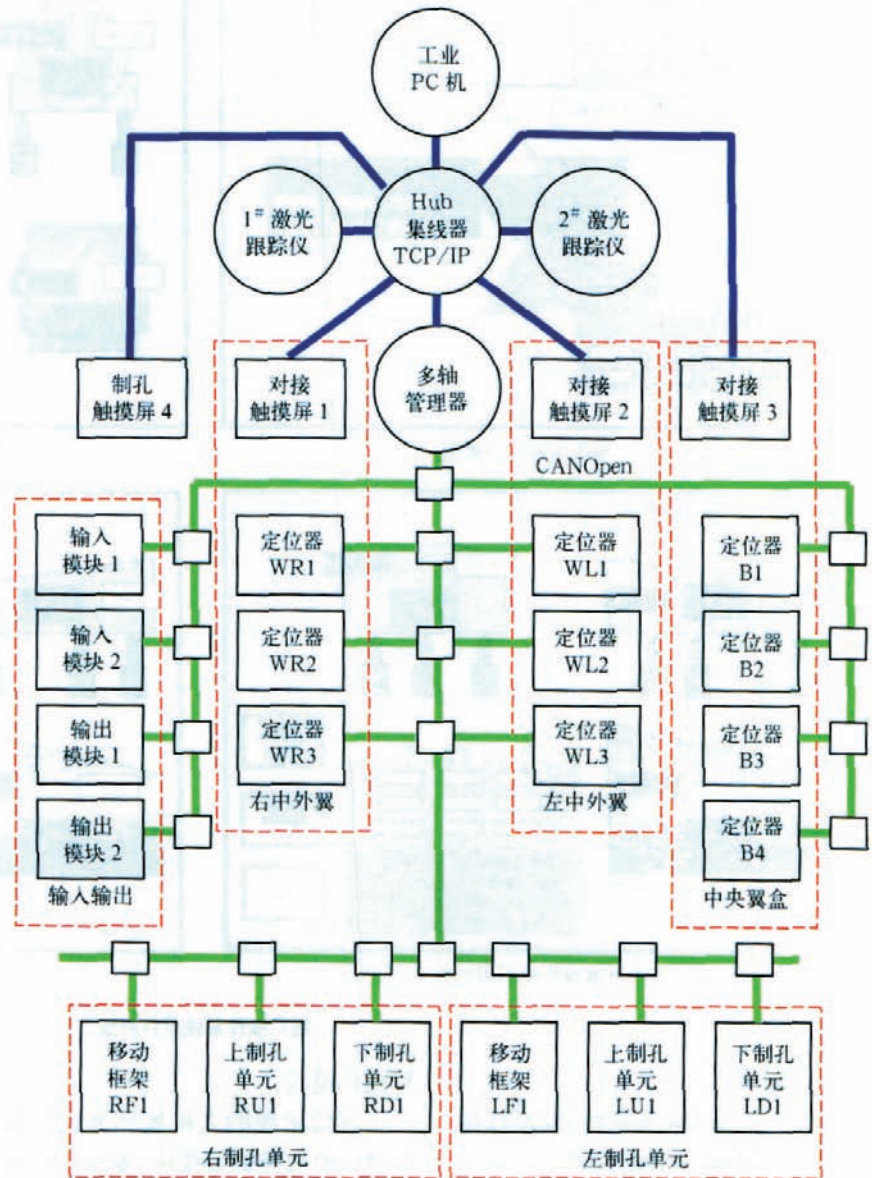


图5 电气控制系统

有手持式操作杆,所有的测量跟踪结果以及传感数据都将显示在一个屏幕上,它能够大量的过程和状态监测数据。在校准和连接过程中所产生的所有信息都被存储在数据库

中。带触摸屏控制的图形用户界面(图7),具有如下特点:

(1) 数据表达更清晰,提供尽可能简化的工具图片。

(2) 全面反映设备及部件的结

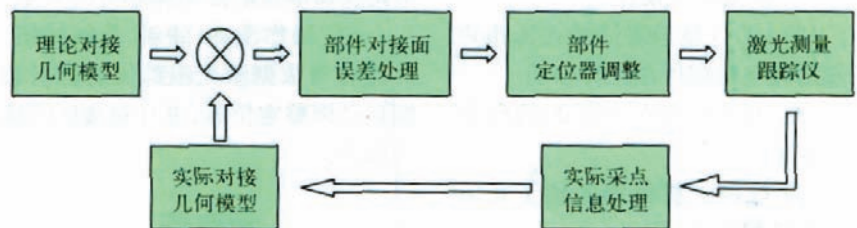


图6 电气控制调整原理

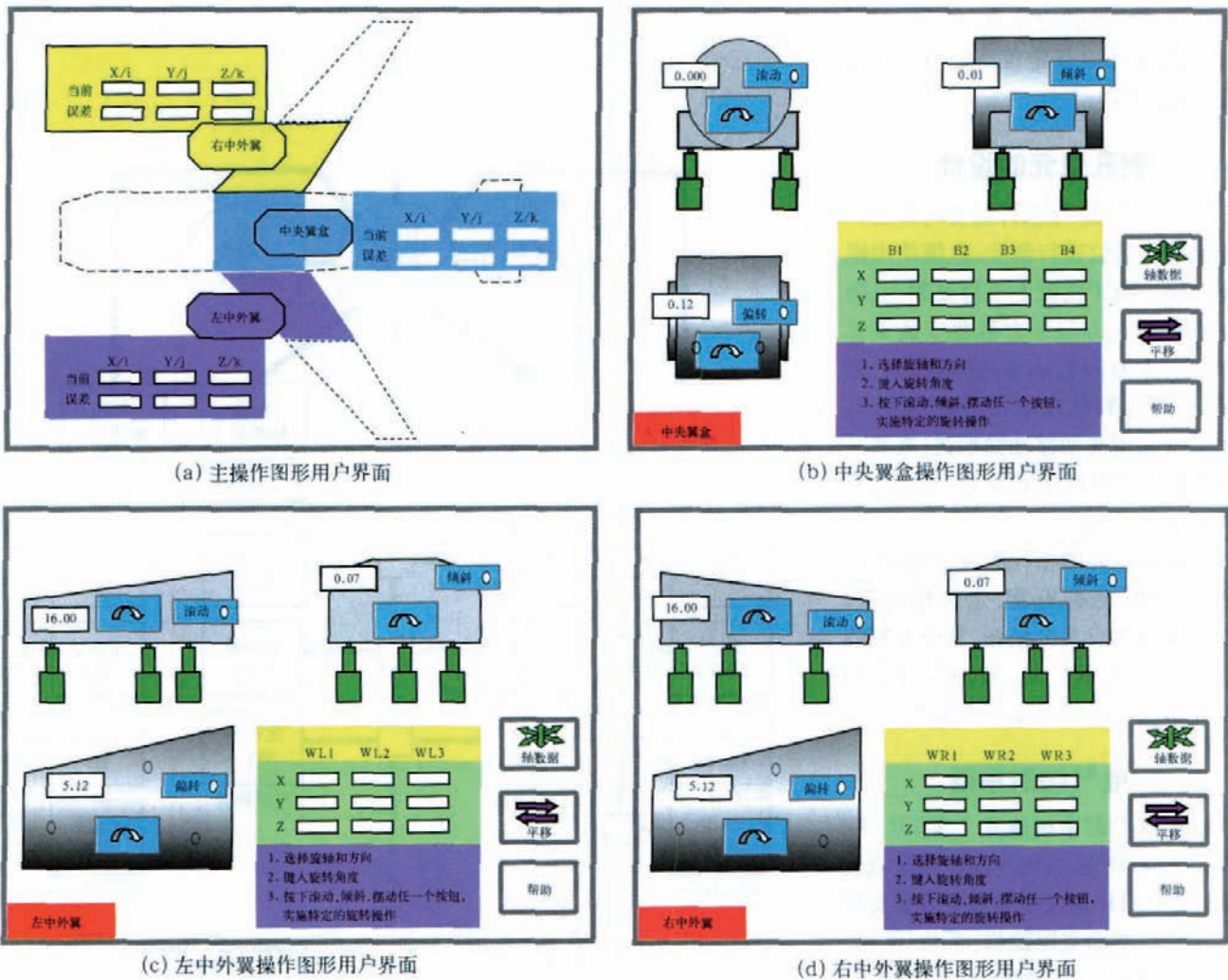


图7 操作系统用户界面

构和状态。

(3) 显示详细的帮助,易操作使用,最大限度减少装配误差。

(4) 容许同时监视数据和实时的装配情况。

作为图形用户界面的补充,可以添置若干个手持式操纵杆。当飞机进行装配时,操纵杆适于近距离观察装配部件的干涉和校准情况,其优点是:

(1) 轻量紧凑设计。

(2) LCD显示屏清楚告诉用户所选择的飞机部件在怎样移动。

(3) 引导部件在空间的装配实现可视化。

(4) 触模式按钮操作便于几何外形的装配对合。

(5) 具有平移、旋转、点动等多

种操作模式。

对接系统的人机操作界面驻留在PC中央控制系统中,要求操作简便、快捷、可靠。界面分主操作页面和分操作页面,分别对应中央翼盒、右中外翼和左中外翼。其特点和功用是:

(1) 显示各个定位器的坐标位置。

(2) 姿态调整显示,分别显示各对接件基准点的点坐标和方向矢量。

(3) 操作滚动、倾斜、偏转按钮,对接件将依据激光跟踪仪的测量数据自动调整定位器,进行对接件的调平找正。

结束语

飞机对接系统已经广泛应用在

飞机的总装生产线上,在波音和空客两大航空制造公司生产的系列飞机B737/B787、A320/A380上,不论是机身与机身的对接,还是机翼与机身的对接,都实现了高度自动化的校准和对接。在总装过程中无一例外地采用全数字化样机进行协调,综合运用了激光测量跟踪技术,测量辅助装配技术和对接误差分析技术。飞机自动校准对接系统结合动态的空间测量和自动控制技术,实现了飞机装配部件位置姿态的精确控制。随着数字化制造技术的进步,面向飞机装配的设计技术DFA(Design For Assembly)也将进一步完善成熟,飞机对接系统正朝着高速化、高精度、网络化、数字化等方向发展。

(责编 侧卫)