

文章编号:1674-8190(2013)01-134-05

飞机大部件数字化自动对接装配技术研究

王彬

(中航通飞华南飞机工业有限公司 制造工程部,珠海 519040)

摘要:传统飞机大部件对接装配多采用刚性工装对接,该技术精度低、可靠性差、误差补偿难。针对这一问题,介绍飞机大部件数字化对接系统的功能和组成,分析数字化对接系统的四个关键技术。从测量场的构建、对接系统初始位置的标定、对接路径的规划、测量误差的补偿四个方面对某型飞机外翼与中央翼的对接进行研究,实现对接系统的调姿和误差测量与控制,完成外翼与中央翼的精确对接。应用结果表明:采用数字化自动对接装配技术,可有效降低对接误差,提高对接装配的精度和效率。

关键词:自动对接;数字化装配;飞机大部件;误差控制

中图分类号:V262.4

文献标识码:A

Research on Digital Automatic Docking Assembly Technology of Aircraft Structural Parts

Wang Bin

(Manufacturing Engineering Department, AVIC General Aviation Huanan Aircraft Industry Corporation, Ltd., Zhuhai 519040, China)

Abstract: Traditional docking assembly technology of aircraft structural parts is the rigidity tooling docking. The shortcomings of this technology are as follows: low accuracy, poor reliability and difficult error compensation. Aiming at this problem, the functions and composition of the aircraft structural parts digital assembly system are introduced, and then the four key technologies of digital assembly system are analyzed. The assembly of the outer and the central wing is studied from four aspects: the measurement field construction, initial position calibration of the assembly system, assembly path planning, and measurement error compensation. The posture alignment and error measurement for the assembly system are realized and the precise assembly of the outer and the central wing is completed. The application shows that by using digital automatic docking assembly technology, the error of docking assembly can be reduced, and accuracy and efficiency of the assembly are improved.

Key words: automatic assembly; digital assembly; aircraft structural parts; error control

0 引言

飞机装配是一项技术难度大、涉及多学科领域的综合性集成技术,它在很大程度上决定了飞机的制造成本、生产周期和装配质量,是整个飞机制造过程中的关键和核心技术^[1]。

传统的飞机大部件对接主要采用刚性工装对

接,靠工装和工艺补偿来保证大部件之间的协调,在部件对接处留余量,进行精加工后,采用吊车进行对接^[2]。这种对接方式精度低、可靠性差、很容易造成超差问题,并且无法实现装配过程中误差的实时测量与位姿调整,导致飞机水平测量参数无法逆转的问题,严重影响了飞机的整体质量。

近年来,随着科学技术地快速发展、制造业水平地不断提高,飞机生产制造业对飞机大部件对接装配技术提出了更高质量、更高效率、更低成本及更好通用性的要求。国内外投入大量人力、物力研究飞机数字化柔性装配技术,尤其是飞机大部件数

收稿日期:2012-11-20; 修回日期:2013-01-01

通信作者:王彬,binbinyong0328@163.com

数字化自动对接装配技术在先进国家的航空企业已经得到开发应用并取得了显著成效。

本文以飞机外翼与中央翼对接为研究对象,从测量场的构建、对接系统初始位置的标定、对接路径的规划、测量误差的补偿四方面入手,分析数字化对接工艺及其准确度控制技术,对机翼数字化自动对接装配中的数控定位、激光测量、集成控制等技术进行研究,以期提高飞机装配效率和装配准确度,并证明数字化自动对接装配技术满足机翼对接装配的要求。

1 数字化自动对接装配的关键技术

数字化自动对接系统主要由数控定位器、激光测量系统和集成控制系统组成,如图 1 所示。

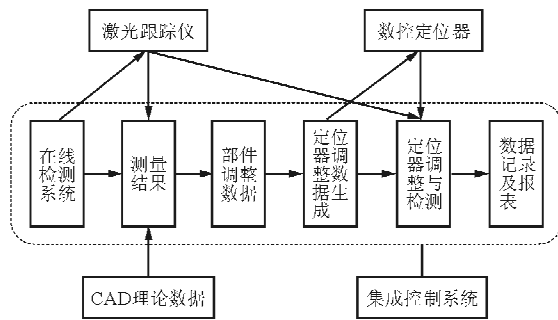


图 1 数字化自动对接系统基本组成及功能

Fig. 1 Basic composition and function of digital automatic docking system

目前,飞机大部件数字化自动对接系统主要有两种类型:

(1) 分散式对接系统。在此类对接系统中,数控定位器采用分散式布局,定位器可采用向上支撑及驱动的千斤顶式定位器。每个定位器与机体部件采用工艺支撑进行连接,依靠伺服电动机进行驱动,从而实现在 x 、 y 、 z 三个坐标方向上的移动,依靠 3~4 台或者更多定位器之间的相互协调联动来实现对飞机大部件的支撑、调整、定位,从而完成飞机大部件自动化对接装配。

(2) 整体托架式对接系统。此类对接系统,定位器不直接与飞机机体相连,而是通过托架与部件相连,通过伺服电机驱动托架从而实现对机体部件的位姿调整。其优点有:调整时,飞机部件受力条件好、受力均匀、变形小、调整灵活、对产品设计有利、便于生产线移动等。

对于尺寸较大,结构刚性较好的大型飞机,普

遍采用分散式对接系统。该系统不仅利用了大部件本身的结构刚性,并且以飞机结构本身的基准点作为姿态数据输入条件,减少了转接误差和整体托架带来的重量载荷。在大型飞机机翼与中央翼对接时,一般以中机身或中央翼为对接基准,调整外翼的位姿,通过集成有激光跟踪数字化测量系统的自动对接平台完成机翼的对接工作。

以数控定位器的柔性定位技术、激光测量技术和集成控制技术为基础,模拟仿真技术、激光扫描技术为辅助的数字化自动对接系统的关键技术包括测量场的构建、对接系统初始位置的标定、对接路径的规化和测量误差的补偿四个方面。

1.1 大尺度数字化测量场构建

与其他测量不同,飞机大部件的空间位置测量具有测量对象尺寸大、测量精度要求高和测量难度大等特点。要实现大部件的准确对接,首先必须解决测量场(测量系统根据测量仪器设备所能覆盖的测量范围)的布置这一问题,这对整个测量系统的数据采集和传递、提高测量精度、顺利实现装配都大有益处。

首先,需要获得装配大地坐标系和飞机装配坐标系的拟合以及大部件间准确的相对位置关系,即部件空间位置的准确测量,也即获得现场装配坐标系,整个对接过程都在此坐标系下完成^[2-3]。

飞机数字化自动对接装配过程中,将厂房地面的地标点作为对接装配的基准。首先测量各个地标点的实际值,得到实际点数据点集;然后从飞机三维数模中得到相应的理论点数据点集;通过两个数据点集的比对配准,得到三维模型与装配现场实际数据间的坐标转换矩阵,作为进行后续工作的基础。

1.2 伺服定位系统初始位置标定

部件对接之前需要对定位器的初始位置进行标定:通过测量定位器上的光学目标点,拟合出定位器支撑点的实际坐标;调整伺服系统,确保其支撑点的初始位置在定位器自身坐标系的原点。部件对接过程中的定位精度由对接系统本身的精度保证。

但是定位器和飞机支撑点之间并非直接接触,而是通过工艺接头进行连接。工艺接头是定位器与飞机部件位姿关系调整的中间环节,要获得定位

器相对飞机部件的准确位姿就需对工艺接头的位姿进行计算,并将计算结果附加到定位器位姿关系矩阵中^[4](工艺接头位姿计算方法:在定位器工艺接头上布置三个测量点,利用测量点坐标值求解各工艺接头的位姿)。

1.3 飞机部件对接装配路径规划

飞机部件对接装配路径规划是保证部件空间位姿调整和部件准确对接的关键。采用激光测量系统进行部件对接测量场中的目标点测量,并辅助以激光扫描技术进行对接面的扫描;根据测量数据构建出对接实际模型;采用模拟仿真规划出最佳的对接路径;依据规划好的路径,设置定位器驱动参数,进行部件对接。

1.4 测量误差补偿

飞机对接装配的测量误差主要包括:零部件制造误差、测量场标定误差、测量设备自身的测量误差等。飞机零部件制造误差可通过装配测量辅助软件的制造质量分析功能给予补偿^[5];测量场标定误差产生于坐标系统构建过程中固定点的安装误差,可通过坐标系统自校正的方法加以修正;测量设备自身的测量误差,一般由生产厂商在比较理想的实验室条件下测试后提供。

2 数字化自动对接装配技术的应用

某型飞机具有尺寸大、结构复杂、零部件数量多等特点。为提高飞机装配质量和生产效率、降低制造成本、缩短制造周期,采用自动化对接装配技术完成该机大部件的对接装配。

2.1 对接工艺分析

外翼与中央翼对接时,以中央翼为对接基准,调整外翼的位姿。外翼用四个数控定位器进行支撑,通过集成有激光跟踪数字化测量系统的自动对接系统完成机翼的对接工作。中央翼由辅助托架固定,不进行姿态调整,由激光跟踪仪对基准点进行测量,确定中央翼在绝对坐标系中的位姿。系统采用一套辅助定位器用于机翼对接制孔时进行辅助支撑,辅助定位器用手推式气垫车进行移动和位置微调。外翼每侧各配置两台激光跟踪仪,用于关键点测量。采用一套12轴联动的数控系统进行数

字化集成控制。

2.2 对接系统总体框架与布局

外翼与中央翼数字化自动对接系统由数控定位器、激光测量系统(激光跟踪仪等数字化测量设备和软件)、集成控制系统等组成,外翼与中央翼数字化对接系统总体体系结构如图2所示。外翼数控定位器分别布置在内支撑肋与前梁交点(WP1.1)、内支撑肋与后梁交点(WP1.2)、外支撑肋与前梁交点(WP1.4)、外支撑肋与后梁交点(WP1.3)处。采用一套12轴联动的数控系统进行集成控制。左右外翼一侧各布置两台激光跟踪仪,用于关键点测量。

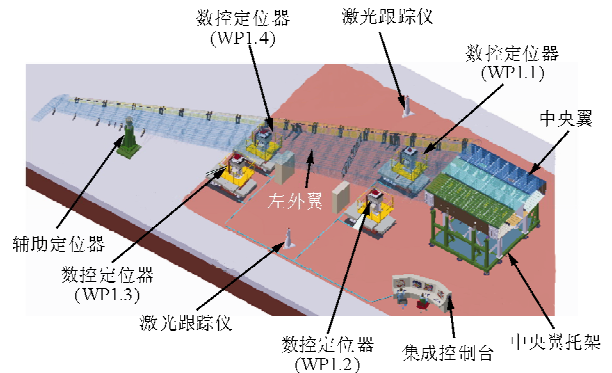


图2 外翼与中央翼数字化自动对接系统总体布局

Fig. 2 Overall layout of digital automatic docking system between outer and central wing

2.3 对接路径规划

外翼与中央翼空间位置的校准由数控定位器系统完成,通过各个支撑柱 x 、 y 、 z 向的调整,实现外翼和中央翼 x 、 y 、 z 向以及 α 、 β 、 γ 角的调整,保证外翼和中央翼在对接前的姿态。对接流程如图3所示。

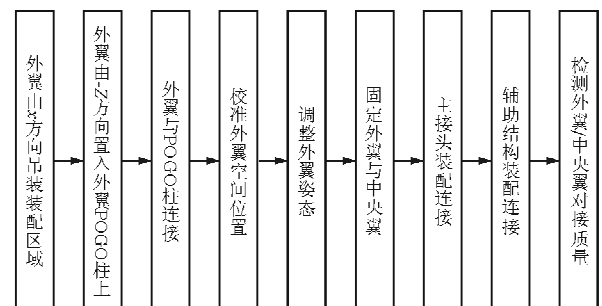


图3 外翼与中央翼数字化自动对接流程

Fig. 3 Procedure of digital automatic docking between outer and central wing

2.4 部件对接过程

整个机翼对接过程步骤如下:

- ①外翼、中央翼上架;
- ②分别测量机翼上各对接基准点和工艺接头测量点的坐标值;
- ③依据机翼对接基准点的坐标值,进行机翼初始位姿标定;
- ④依据测量点的坐标值,进行工艺接头初始位

姿标定;

⑤机翼姿态调整及对接。其中,基准点的测量和机翼初始位置的标定对整个对接工作的准确开展起着关键性作用。首先根据在厂房及飞机部件上所设测量点确立测量坐标系,然后测量各个目标数据点的坐标值,再进行与飞机理论坐标的比较,继而进行后续四步操作。

各种类型的测量点及其布置位置如表 1 所示。

表 1 各种类测量点及布置
Table 1 Various measuring point and layout

序号	类型	测量点布置位置	个数	功用
1	地标点 T/B	厂房地面上	13 个	建立现场装配坐标系
2	装配产品部段和工装上的测量点 PT	外翼上和中央翼盒上的制造准确的孔位(定位孔)	外翼前后梁上 12 个;中央翼盒上 4 个	用于将机翼局部坐标系与实测数据关联一致起来,作为对接装配的测量基准数据
		定位器上预先制出的孔位	每个定位器底座上 8 个;球座上 8 个	用于定位器位置标定和检定
3	对接面上的测量点	外翼与中央翼对接区域,左外翼和中央翼盒对接区附近	扫描(点云)	进行仿真模拟确定外翼对接面形位误差及合格性判断

数字化自动对接调姿过程如图 4 所示。外翼与中央翼对接分成两步:

- ①由初始位姿通过轨迹算法运动到中间位姿,对准目标位姿;
- ②自动控制平移实现最终对接。

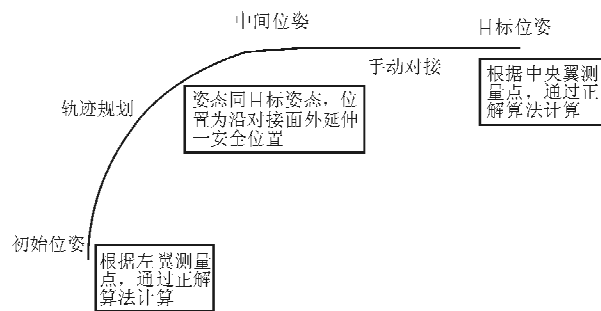


图 4 数字化自动对接调姿过程示意图
Fig. 4 Posture alignment procedure of digital automatic docking

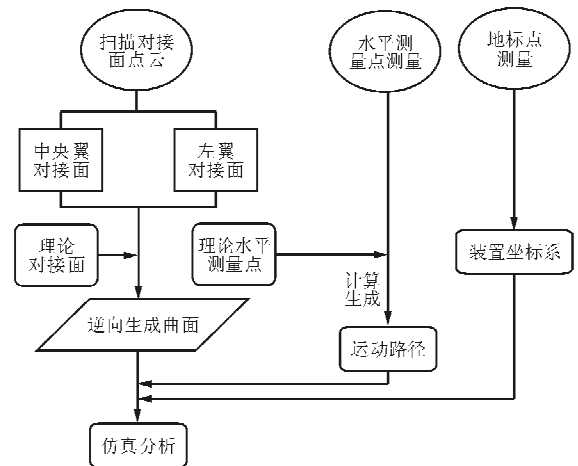


图 5 误差测量与控制的数据处理流程图
Fig. 5 Data processing procedure of error measurement and control

2.5 对接系统误差测量

采用激光测量系统进行对接面误差测量,将误差测量数据与理论数据进行对比分析与仿真,实现误差的测量与控制,其数据处理流程如图 5 所示。

通过对扫描点的处理,将生成的曲面(NURBS 模型)输出至 IGES 模型;将初始扫描点云文件和曲面 IGES 文件都输入模拟仿真软件;再将理论数据与实测拟合数据进行比较(即数据与参考),得到偏差的色差图如图 6 所示。

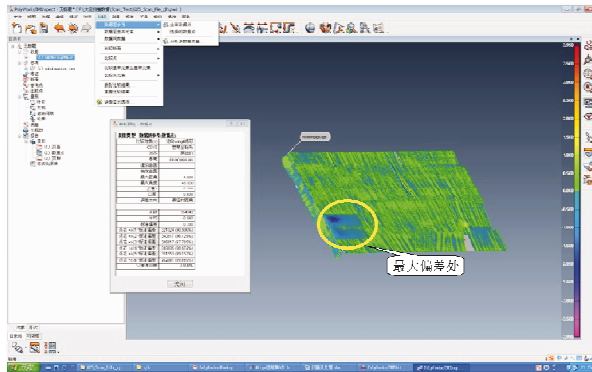


图6 理论数据与实测数据对比分析

Fig. 6 Comparative analysis of theoretical and measured data

从图6可以看出,逆向建模后的最大偏差在图中画圈区域。最大误差值约为1~2 mm; 97.765%的点云偏差在1 mm(3σ)之内,其中90%的点在标准偏差 $\sigma=0.33$ mm之内,6%的点在0.33~0.66 mm之内,1.6%的点在0.66~0.99 mm之内。因此,画圈区域的最大误差点云数量在2%以内,根据实际需要可忽略。通过定制色差图和报表形式,做到测量误差的及时准确反馈。

3 结束语

通过对数字化自动对接装配技术中关键支撑技术的分析,阐述了其在某型飞机外翼与中央翼对接过程的应用。应用结果表明:实现飞机大部件对接装配的数字化和自动化,可有效降低对接误差,提高对接装配的精度和效率,该技术将成为飞机大部件对接装配的发展趋势。

飞机大部件数字化自动对接装配技术的推广应用,还需要从飞机结构设计的刚度、强度,工艺支撑接头的刚度、强度,数控定位系统的刚度,重复定

位精度及测量场的稳定性布置等方面深入探索,将现有的经验通过更多地应用和验证,逐步形成行业内飞机自动化装配的规范、标准,从而形成航空制造业数字化制造标准体系。

参考文献

- [1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术[J]. 航空学报, 2008, 29(3): 734-740.
Xu Guokang. Automatic assembly technology for large aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3): 734-740. (in Chinese)
- [2] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
Fan Yuqing. Modern aircraft manufacturing technology [M]. Beijing: Beihang University Press, 2001. (in Chinese)
- [3] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术[J]. 航空制造技术, 2005 (9): 28-32.
Guo Enming. Flexible assembly technology for foreign aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2005 (9): 28-32. (in Chinese)
- [4] Williams G, Chalupa E, Rahhal S. Automated positioning and alignment systems[R]. USA: Society of Automotive Engineers, Inc., 2000.
- [5] 黄翔, 李龙泉, 陈磊, 等. 民用飞机大部件数字化对接关键技术[J]. 航空制造技术, 2010(3): 54-56.
Huang Xiang, Li Longquan, Chen Lei, et al. Key technologies of digital final assembly for civil aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(3): 54-56. (in Chinese)

作者简介:

王彬(1975-),女,硕士,副高级工程师。主要研究方向:飞机部件装配及互换协调技术、新机研制技术组织与协调、飞机自动化装配技术。

(编辑:马文静)