

大型客机机身对接技术研究

王 巍,王诚鑫

(沈阳航空航天大学航空航天工程学部,沈阳 110136)

[摘要] 为解决当前国内大型客机机身对接准确度较低的问题,对某大型客机机身的对接方法进行了研究。首先,对机身的对接基准和机身对接工装进行了选择和设计。在机身对接过程中,先使用激光准直仪,通过人工调整使激光准直仪光线聚合,直到数显表上显示需要的数据为止,从而对机身位置进行调整。再应用激光跟踪仪对机身装配基准点的实际坐标值进行测量,在线测量控制系统根据测量的实际坐标值数据对中前机身进行微调以满足机身对接的位置要求。最后,根据机身微调后测量出的基准点的实际坐标值与理论坐标值的距离平方和的根来判断机身对接是否达到标准。该机身对接的方法可以合理地将机身对接的偏差控制在容差范围内。通过对大型客机机身对接技术的研究,得出以激光跟踪仪、激光准直仪、在线测量软件和伺服传动装置为主要机构的在线测量控制系统,可以大幅度提高大型客机机身对接的准确度。

关键词: 对接基准;对接工装;激光跟踪仪;激光准直仪;在线测量控制系统;对接准确度

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.13.038



王 巍

教授,主要研究方向为数字化飞机制造技术和飞机装配工装的通用性及模块化设计。

交货周期短是国际转包生产的普遍特点,国外将测量技术引入到飞机部件装配过程,单独应用完成产品的质量检测或集成,应用搭建闭环装配系统,在提高飞机产品质量控制、缩短生产周期方面都取得了良好的效果,这对我国飞机装配技术的发展具有一定的借鉴与指引作用。

在飞机装配技术中,飞机机身对接是飞机装配技术的重要环节,前期飞机机身零件、组件以及部件的生产与装配都是为了这一阶段做准备。因此,飞机机身装配过程中,对接方式的确定、对接基准的选择、对接工装的设计以及对接的测量方法的应用就显得尤为重要。目前,国内在飞机制造领域已经采用数字化制造技术,其中包括数字化工装设计、数字化工程仿真、数字化测量技术等。但是,如何高效地将各项数字化制造技术结合应用的研究甚少。本文将激光跟踪仪和激光准直仪相结合的数字化在线测量技术、数字化工装设计

以及数字化装配仿真相结合对某大型客机中机身与中前机身进行装配对接。

对接基准的选择

为了保证中机身与中前机身装配对接时的装配精度与质量,在机身对接前,提前在飞机的中前机身侧壁板的长桁上加工出基准圆孔作为装配基准。如图1所示为中前机身侧壁板长桁前部与后部上4个基准圆孔的位置,这4个基准圆孔分别为基准点测量时的TP1、TP2、TP3和TP4测量基准点,以预置基准圆孔作为装配基准,不仅能提高中机身与中前机身的装配精度,还能使激光跟踪仪对基准点的测量更准确方便。

机身对接工装的设计

在机身对接过程中,中机身的位置是保持不动的^[1],如图1所示。通过4个工艺接头对中机身进行定位与夹紧,然后将4个工艺接头固定在

20世纪以来,我国飞机制造业取得了长足发展,在民用飞机方面逐步成为波音、空客、庞巴迪等世界知名飞机制造企业的合作伙伴与供应商,越来越多地承担民用飞机国际转包生产工作。任务量大、质量要求高、

4个定位器上,从而保证中机身位置的准确性,如图2所示。其中4个定位器可以通过调节器和支座来改变高度。工艺接头与定位器连接,机身固定在工艺接头上,工艺接头对机身起到定位和装夹的作用。

图3所示为中前机身工装结构,该工装结构对X、Y、Z3个方向的距离均可以进行调节,X和Y方向使用滑轨进行调节,且为了使工装的位置调整的稳定性有所提高,均使用了图4所示的双滑轨结构^[2]。Z方向则使用定位调节器对Z方向的位置进行调整,且4个定位调节器还起到定位以及连接工艺接头的作用。此外,该工装还装有图5所示

的伺服传动装置,可以根据在线测量软件传递来的信息对机身位置进行微调。

机身对接测量方法

图6所示为该飞机机身装配测量过程,主要应用激光准直仪和在线测量控制系统,其中,在线测量控制系统主要由激光跟踪仪、激光准直仪、在线测量软件、伺服系统以及反

馈系统组成。首先,应用激光准直仪通过人工调整使激光准直仪光线聚合,直到数显表上显示需要的数据为止,从而对机身位置进行调整。然后利用激光跟踪仪对中机身上的测量基准点的坐标值进行测量,并将测量的数据信息传递给在线测量软件,在线测量软件对基准点实际坐标值与理论坐标值位置关系进行分析与数据处理,根据处理后的信息向伺服装置发出指令,对中前机身在X、Y和Z方向进行微调。然后激光跟踪仪对调整后的基准点进行测量,并通过在线测量软件对测量后的数据进行分析是否达到偏差标准。如果没有达到容差标准,则基准点的坐标值进入反馈系统,反馈系统将数据传递给在线测量软件,在线测量软件会对数据进行分析和处理,并向伺服装置发出调姿命令,伺服装置收到调姿命令后,会驱打工装在X、Y、Z方向进行微调,以这种方式对机身位置进行反复修正,直到符合容差要求为止。

图7所示为激光跟踪仪球坐标系模型,测量点的坐标值计算公式为:

$$\begin{cases} X = L \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \\ Y = L \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha \\ Z = L \cdot \cos \beta \end{cases} \quad (1)$$

式中,(Z Y Z)为反射器中心点P的坐标,L为反射器中心点P到跟踪头O的距离, α 为OP在平面内投影与

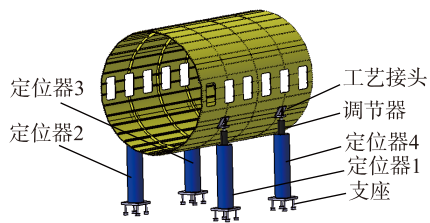


图1 中机身定位器
Fig.1 Fuselage locator

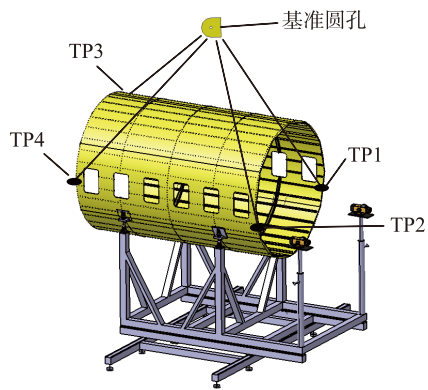


图2 装配基准点
Fig.2 Assembly reference point

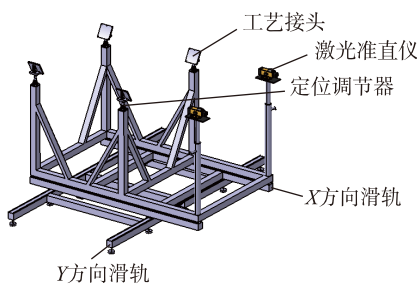


图3 中前机身装配工装
Fig.3 Front fuselage assembly tooling

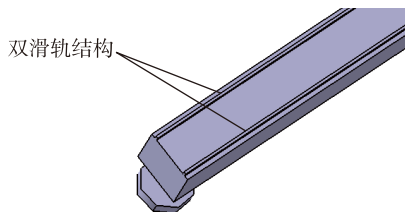


图4 双滑轨结构
Fig.4 Double slide rail structure

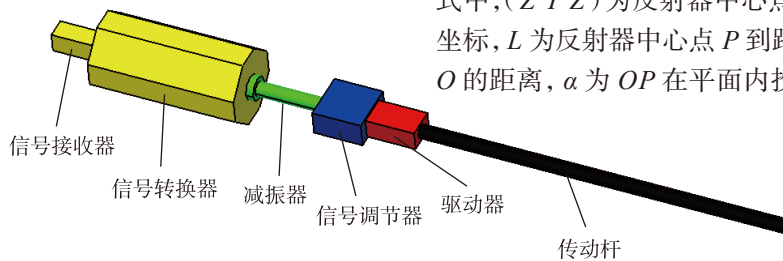


图5 伺服传动装置
Fig.5 Servo drive device

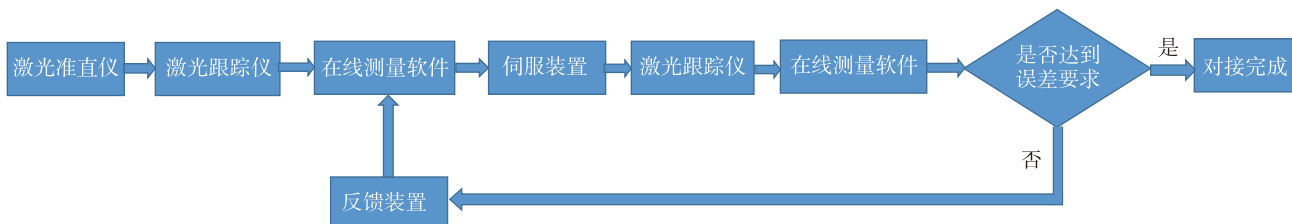


图6 测量过程图解
Fig.6 Diagram of measurement process

X轴的夹角, β 为 OP 与 Z 轴的夹角。

以基准点 TP1 为例, 设 L_1 为基准点 TP1 到跟踪头 O 的距离, α_1 为 L_1 在平面内投影与 X 轴的夹角, β_1 为 L_1 与 Z 轴的夹角。

则 TP1 点的坐标值计算公式为:

$$\begin{cases} X_1=L_1 \sin \beta_1 \cos \alpha_1 \\ Y_1=L_1 \sin \beta_1 \sin \alpha_1 \\ Z_1=L_1 \cos \beta_1 \end{cases} \quad (2)$$

图 8 为激光跟踪仪参数测量的原理图^[3]。在激光跟踪仪对中前机身基准点进行测量前需要建立坐标系, 本文以中机身定位时的坐标系为激光跟踪仪测量的坐标系, 当在线测量控制系统对中前机身基准点位置

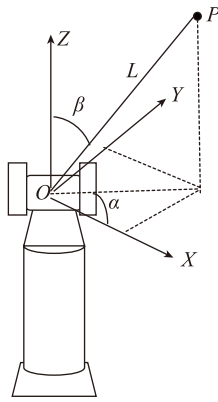


图7 球坐标系
Fig.7 Spherical coordinates

进行测量和调整时, 均以该坐标系为参考。在该坐标系中, 中机身位置不变, 中前机身相对中机身不断调整位置以满足对接的位置要求。

图 9 所示为激光跟踪仪在机身对接过程中的站位情况, 设置两个站位分别对中前机身的侧壁板长桁上的 4 个基准点进行测量。

图 10 所示为站位 1 激光跟踪仪对中前机身上 TP1 基准点和 TP3 基准点进行测量, 站位 2 的激光跟踪仪对中前机身上的 TP2 基准点和 TP4 基准点进行测量。

为使站位 1 和站位 2 的激光跟踪仪建立统一坐标系, 在地面上建立地标, 作为统一的坐标系公共点^[4], 如图 10 所示。

其中, 设置两个站位对 4 个测量基准点进行测量的目的是防止转站带来的坐标转换引起的误差^[5]。因为激光跟踪仪在转站求解旋转矩阵及平移矩阵的过程中总是存在着误差, 关系如下:

$$e = \|P_{TP}^T - (RP_{TP}^M + T)\| \quad (3)$$

其中, e 表示误差, 参数 R 表示旋转变换, 参数 T 表示平移变换, P_{TP}^T 表示

理论坐标值, P_{TP}^M 表示实际测量坐标值。其实, 激光跟踪仪坐标系转换的过程就是寻找一组最佳参数组合的过程, 最佳参数组合为 $(R T)$, 将该组合带入式 (2) 中, 使 e 最小。

因此, 该机身对接采用两个站位进行中前机身基准点的测量, 以保证较高的装配精度与装配效率。

机身对接完成的判断标准

飞机总装对接是飞机制造中的一个关键环节, 前期的零件制造和部件装配都是为这个阶段的装配积累基础。在总装对接技术中, 对接部位的确定、对接基准的选择、测量方法的应用都是需要注意的地方。由于在机身的实际装配过程中, 存在着零件制造误差、工装机构调整误差以及测量系统的测量误差等, 使机身装配的实际位置与理论位置存在偏差。因此飞机机身在装配完成后需要判断装配偏差是否在容差允许范围内, 如果机身装配偏差在容差范围内, 则完成机身对接工作; 如果没有达到容差标准, 则基准点的坐标值进入反馈系统, 反馈系统将数据传递给在线测量软件, 在线测量软件会对数

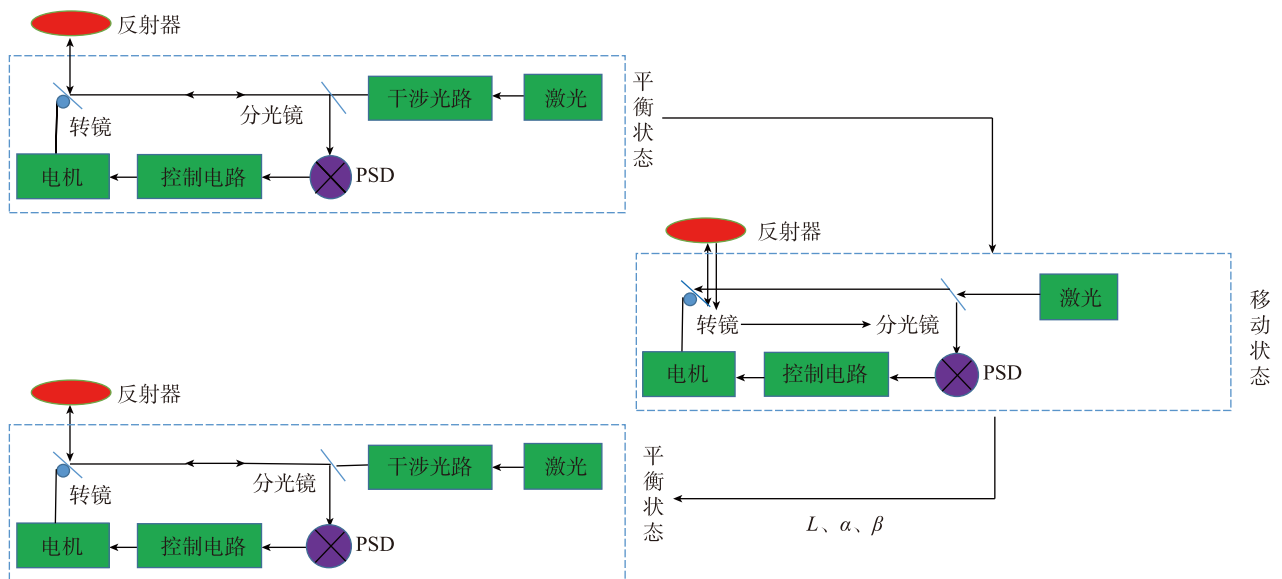


图8 参数测量原理
Fig.8 Parameter measurement principle

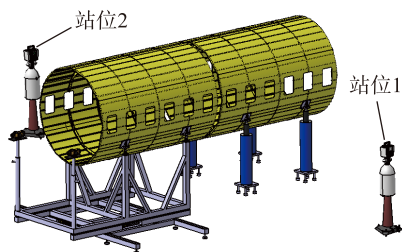


图9 测量过程仿真
Fig.9 Simulation of measurement process

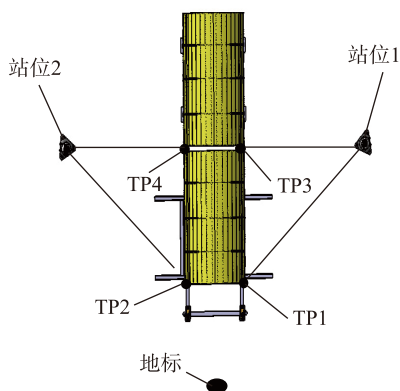


图10 测量站位图解
Fig.10 Measurement station diagram

据进行分析和处理,并向伺服装置发出调姿命令,伺服装置收到调姿命令后,会驱动工装在 X、Y、Z 方向进行微调,以这种方式反复进行调整,直到符合容差要求为止。

利用装配基准点的实际坐标点与理论坐标点距离的平方和的根 S 作为装配质量的判断标准^[6],如式(4):

$$S = \sqrt{\sum |S_i|^2} \quad (4)$$

其中,设 X_i 、 Y_i 、 Z_i 为基准点的理论坐标值, X'_i 、 Y'_i 、 Z'_i 为基准点的实际坐标值,则装配质量的判断标准 S_i 的

计算可依照以下过程。

X 方向偏差 ΔX :
 $|X_i - X'_i| = \Delta X \quad (5)$

Y 方向偏差 ΔY :
 $|Y_i - Y'_i| = \Delta Y \quad (6)$

Z 方向偏差 ΔZ :
 $|Z_i - Z'_i| = \Delta Z \quad (7)$

间隙 S:

$$S_i = \sqrt{|X_i - X'_i|^2 + |Y_i - Y'_i|^2 + |Z_i - Z'_i|^2} \quad (8)$$

$$= \sqrt{|\Delta X|^2 + |\Delta Y|^2 + |\Delta Z|^2}$$

该机型的容差要求为 $S \in (0.09, 1.65)$, 由表 1 可知, $S_1=0.0303$, $S_2=0.07$, $S_3=0.0446$, $S_4=0.0431$ 。

计算如下:

$$S = \sqrt{\sum |S_i|^2}$$

$$= \sqrt{0.0303^2 + 0.07^2 + 0.0446^2 + 0.0431^2}$$

$$= 0.09831$$

因为 $S=0.09831$, 由装配质量判断标准, $0.09831 \in (0.09, 1.65)$, 所以, 该机身装配满足容差要求。

结论

本文在中前机身与中机身的装配基准上以基准圆孔作为装配基准, 并应用激光跟踪仪和激光准直仪对装配基准点进行测量, 很好地保证了测量精度与效率。在工装设计上采用双滑轨以及伺服传动系统, 对中前机身位置进行实时调整, 以保证机身对接时位置的准确。

目前国内采用的数字化飞机装配方式, 尽管较传统装配方式在工人工作量、精确度、装配效率、装配安全

性等方面有了很大提高, 但仍有许多环节需要完善, 有待于设计出包括飞机测量系统、控制系统、驱动系统在内的飞机数字化装配生产线。

参考文献

[1] 田欢欢. 飞机工装典型结构的快速设计[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
 TIAN Huanhuan. Rapid design of typical structure of aircraft construction[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.

[2] 高雪松. 基于某型飞机机身装配的技术研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2017.
 GAO Xuesong. Research of the fuselage assembly technology based on a certain type of aircraft[D]. Shenyang: Shenyang Aerospace University, 2017.

[3] 尹寿宝. 总装精测提高激光跟踪仪转站精度的方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
 YIN Shoubao. Research on the method of improving the accuracy of laser tracking device by the final assembly precision[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.

[4] 王巍, 穆志国, 张莹莹, 等. 基于测量数据的机身分段虚拟装配技术研究[J]. 航空制造技术, 2017, 60(20): 84-89, 94.
 WANG Wei, MU Zhiguo, ZHANG Yingying, et al. Research on fuselage segments virtual assembly based on measurement data[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(20): 84-89, 94.

[5] 金正琪. 提高激光跟踪仪转站测量精度的技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
 JIN Zhengqi. Technical study on improving measurement accuracy of laser tracking device[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.

表1 理论坐标值与实际坐标值

mm

基准点编号	理论坐标值			实际坐标值			偏差			S_i
	X_i	Y_i	Z_i	X'_i	Y'_i	Z'_i	ΔX	ΔY	ΔZ	
TP1	14927.291	1750.989	4512.995	14927.32	1750.955	4512.96	0.0237	-0.0119	-0.015	0.0303
TP2	14924.979	781.581	5998.211	14927.32	781.635	5998.25	-0.0291	0.052	0.0367	0.07
TP3	11687.43	1718.534	4508.873	11687.4	1718.502	4508.84	-0.0332	-0.0285	0.0089	0.0446
TP4	11719.309	774.583	5965.328	11719.34	774.593	5965.31	0.0418	-0.0099	0.0034	0.0431

(下转第 53 页)

Development of Portable Spiral Trajectory Drilling Device

ZHANG Yunzhi¹, LIU Huadong¹, LIU Jiandong¹, CHEN Lei², FANG Wei²

(1. Aeronautical Key Laboratory for Digital Manufacturing Technologies, AVIC Manufacturing Technology Institute, Beijing 100024, China;

2. Institute of Aeronautics Manufacturing Technologies, COMAC Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

[ABSTRACT] It is widely acknowledged that some special drilling areas exist in aircraft assembly. For example, the wing root and the vertical tail. Not only are they narrow in space but also require certain height, which makes it difficult to fully harness the advantages, especially in the usual automatic drilling device and robot drilling system. Hence, a portable helical trajectory drilling device was designed in order to solve the problems. This device is compact, portable and could set process parameters according to the program, besides, it may be applied in drilling of aeronautical materials. Moreover, tool feed speed can be changed automatically for multilayer material. In this paper, the authors applied the developed spiral trajectory drilling device to examine the drilling of 7075-T7351 multilayer Al alloy material. It is showed that the accuracy of this device reached the expectation and the rationality of the design and control methods of the new type drilling device was verified.

Keywords: Aircraft assembly; Spiral trajectory drilling; Spindle motor; End effector; Integrated control

(责编 铃兰)

(上接第 41 页)

2013.

[6] 金庆勉, 金加奇. 飞机机身自动对接技术研究[J]. 航空制造技术, 2014, 57(19): 72-75.

JIN Qingmian, JIN Jiaqi. Study on aircraft fuselage automatic joining technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014,

57(19): 72-75.

通讯作者: 王巍, E-mail: wwsh595@163.com。

Research on Docking Technology of Large Aircraft Fuselage

WANG Wei, WANG Chengxin

(Aerospace Engineering College, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

[ABSTRACT] In order to solve the problem of low accuracy of the fuselage of large aircraft in China, this paper studies the docking method on the fuselage of a large aircraft. First of all, this paper selects and designs the docking datum of the fuselage and the docking station of the fuselage. Later, in the process of the fuselage docking, using a laser collimator, make the laser collimator light polymerization through artificial adjustment, and the desired data displayed on the digital display table, so as to adjust the body of the aeroplane. Again measuring actual coordinates of fuselage assembly datum using laser tracker, online measurement control system trims fuselage according to the actual coordinates measurement data to meet the requirements of the position of the fuselage and docking. Finally, according to the fine-tuning of the fuselage, the actual sitting value of the measured reference point and the square root of the sum of distance squares of the theoretical coordinates are used to determine whether the fuselage butt meets the standard. The method of fuselage docking in this paper can reasonably control the deviation at the tolerance range. Through the study of large aircraft fuselage docking technology, laser tracker, laser collimator, online measurement software and servo drive device as the main body of online measurement control system, can greatly improve the accuracy of large aircraft fuselage docking.

Keywords: Docking datum Docking equipment; Laser tracker; Laser collimator; Online measurement control system; Docking accuracy

(责编 铃兰)