

# 虚拟飞机姿态评价系统在数字化装配中的应用

## Application of Virtual Aircraft Position Estimation System in Digital Assembly

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 熊钦林 徐 菁

**[摘要]** 目前飞机大部件数字化调姿、定位技术在飞机制造业得到了推广及应用,但在飞机大部件调姿、定位过程中,不同测量点的选择可能造成不同的飞机姿态;零件制造、部件装配、测量设备等各环节引入的误差积累也会导致飞机位姿状态与飞机理论模型的偏差,飞机状态无法与理论位置最佳匹配。为最小化飞机姿态误差,提高飞机调姿、定位效率,提出一种用于飞机大部件数字化装配系统的飞机虚拟调姿姿态评价子系统,通过对系统在现场应用所得到的测量数据进行分析,本系统能实际应用于飞机大部件数字化调姿、定位。

**关键词:** 数字化 调姿 定位 误差积累 姿态评价

**[ABSTRACT]** Digital posture adjustment and assembly positioning technology of large parts of the aircraft is widely used, some application systems is used in the assembly worksites. However, during the course of the aircraft assembly positioning, the different choice of the measuring points will cause different aircraft state. Parts machining, assembly, measuring equipment, etc. will also bring error, that makes deviation between the state of the practical position and the theoretical state of the aircraft, and the aircraft can not be positioned right for the next operation. To minimize the error of the aircraft positioning and improve the efficiency, a kind of virtual aircraft position estimation system using on digital assembly is applied, from the analysis of the measuring data during the aircraft poisoning, this virtual aircraft position estimation system can be practically used during the positioning of the aircraft.

**Keywords:** Digitization Posture adjustment Positioning Error accumulation Position estimation

为实现数字化精确装配,现代飞机制造中大量使用数字化定义模型和光学测量定位技术<sup>[1]</sup>,结合计算机信息处理技术,最终满足飞机装配的高精度、高效率、低成本要求。

飞机大部件的调姿、定位是飞机装配过程中的关键

步骤,目前大多采用测量点位数据,并遵循点匹配算法计算飞机状态及调姿路径。但是,由于飞机在制造过程中的各个环节均存在误差积累,即使通过点匹配算法进行飞机状态的最佳拟合,还是可能存在误差过大的问题。所以在飞机调姿过程中,应选择合理的测量点、抛弃部分测量点,将带入调姿系统的飞机各类误差均匀分配来进行计算并调姿,这样能节约飞机部件调姿时间,节约生产成本,提高飞机装配效率,保证飞机装配质量。

## 1 飞机大部件数字化调姿、定位系统

### 1.1 系统简介

飞机大部件数字化调姿、定位系统决定了飞机定位精度,从而决定了飞机装配的整体质量。

传统刚性定位系统是将飞机部件定位在固定型架上,采用孔系定位基准、外形定位基准等刚性工艺装备,这样在刚性定位基准下,部件被定位后不能自由移动,即使定位有误差也不能进行分配、调整;有时候为了保证定位装置与飞机结构的连接,经常造成部件的过载,造成飞机部件结构变形;同时定位、装配依赖于多个操作人员、刚性装置,不能形成有效的集成系统<sup>[2]</sup>。

现阶段飞机产品设计采用全数字化定义,且大部分产品数据、零件制造都依赖数字化软件及设备。在现代飞机大尺寸、高精度情况下,飞机部件的定位精度决定了飞机外形、整体气动性,这些都要求装配过程中需要采用新的工艺方法和技术来协调数字化制造的要求。

飞机部件数字化调姿、定位系统就是为了应对上述情况,通过数字量来实现制造、装配过程中的数据传递,满足数字化设计、制造一体化需求,不仅减少工装数量,降低研制成本,减少占地面积,缩短生产准备周期,减少外部工装与产品结构的接触,进一步保证装配质量。

### 1.2 系统原理

飞机部件数字化调姿、定位系统采用的是测量辅助装配法(Measuring Aided Assembly, MAA)<sup>[3]</sup>,其原理是依靠测量系统来辅助部件定位,测量系统基于飞机结构对象,同时在定位整个过程中对飞机结构对象进行实时测量,由获得的数字量坐标信息来指导控制系统完成部件的调姿和定位,保证部件定位精度。

测量辅助装配工艺与刚性定位工装基准体系完全不同,刚性定位工艺方法下,飞机部件置于专用托架中,托架上有定位器、固定夹具等,通过手摇曲臂等方式来实现部件及工装的连续驱动,以实现部件定位;而测量辅助装配工艺方法下,柔性工装及测量设备之间以数字量传递、协调,飞机部件的定位、移动都是依赖外部控制系统,在调姿、定位、移动过程中,飞机部件不会受到外力压迫,并能得到更好的稳定性及定位精度。

测量辅助装配工艺的具体原理为:通过先进的坐标测量设备构建虚拟的基准虚拟坐标体系,该坐标系可以与飞机理论坐标系相互转换;部件调姿、定位过程中,测量设备实时测量飞机结构上的坐标点,得出其位置信息;利用点匹配算法使目标点的测量坐标与理论坐标进行比对,然后计算各个柔性定位器调整的参考值,最后发送指令给柔性定位器进行姿态调整。

## 2 虚拟调姿姿态评价系统

飞机部件数字化调姿、定位过程中,由于制造、装配、测量设备等各环节都可能引入误差,不同测量点的选择也会造成相应不同的飞机调姿效果,各类误差因素都可能造成测量数据与理论模型存在偏差,测量点无法与理论模型最佳匹配<sup>[4]</sup>。

为了在调姿过程中尽可能地一次性调姿成功,提高生产效率,最小化飞机姿态误差,在调姿前需要建立虚拟姿态评价系统,以实现在实际调姿过程中的误差估计,目标点选择并最优化调姿路径。虚拟姿态评价系统应用如图1所示。

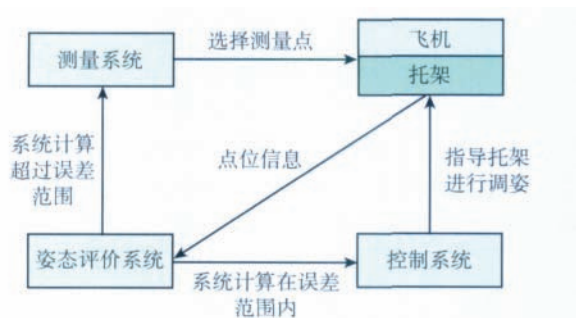


图1 虚拟姿态评价系统应用  
Fig.1 Application of virtual position estimation system

### 2.1 虚拟调姿姿态评价系统应用分析

在飞机部件数字化定位、调姿前的测量过程中,通过对靶标孔、定位孔、交点孔等目标点的测量来拟合飞机当前的姿态,然后将这些数据传递给数字化调姿控制系统。这些靶标孔、定位孔、交点孔能拟合飞机当前外形、飞机整体骨架状态、交点孔位置,并根据其当前数据

与理论数据比对,从而得到飞机的姿态误差。通过这些测量点的坐标进行点匹配计算,然后指导控制系统调整托架以调整飞机姿态<sup>[5]</sup>。

在虚拟调姿姿态评价系统中的误差数据包括飞机产品制造、产品装配及测量设备等各类误差,各个测量点的点位误差也是这些误差的积累,所以合理选择测量目标点尤其重要。

表1~3为某机身段(只考虑机身的单独调姿要求,不考虑后续飞机对接交点孔)选择不同的测量点进行调姿的姿态评价数据。

靶标孔分布在机身段外形,是在其单独定位、装配的刚性工装下测量得到的坐标信息作为其理论数据;结构装配孔是机身段在其单独定位、装配的刚性工装下所用的定位孔,定位孔理论数据按照其产品数模定义。通过对表1~3的数据分析,可得以下结论。

(1)根据不同的测量目标点选择,飞机相对于理论位置的调姿评价数据不同,即根据拟合计算后,飞机调姿参考姿态不同。

(2)选取飞机结构外形的靶标孔作为调姿基准进行调姿,通过姿态评价系统分析,其预测的飞机姿态与理论位置最佳拟合。

(3)通过表2显示飞机的调姿评价误差较大,可能由于零件制造误差或飞机刚性工装强制定位造成的飞机结构变形。

(4)通过虚拟调姿的姿态评价系统能够在飞机调姿前得到飞机实际调姿结论的参考数据,更方便工艺人员对飞机状态进行分析,减少实际调姿次数,选择飞机当前状态下的最佳调姿测量目标点,提高生产效率。

表1 飞机姿态评价数据(关键点选择1)

测量点名称	是否选取	姿态评价		
		dX	dY	dZ
结构工艺孔-1	是	0.227	-1.310	0.395
结构工艺孔-2	是	-0.106	-0.510	0.261
结构工艺孔-3	是	0.046	-0.930	-0.146
结构工艺孔-4	是	-0.160	-0.697	-0.028
结构外形靶标孔-1	是	0.301	0.363	0.342
结构外形靶标孔-2	是	-0.259	0.597	0.211
结构外形靶标孔-3	是	-0.243	-0.613	0.051
结构外形靶标孔-4	是	0.285	0.715	-0.077
结构外形靶标孔-5	是	-0.326	0.558	0.692
结构外形靶标孔-6	是	0.168	0.774	0.450

表2 飞机姿态评价数据(关键点选择2)

测量点名称	是否选取	姿态评价		
		dX	dY	dZ
结构工艺孔-1	是	0.245	-1.322	0.407
结构工艺孔-2	是	-0.176	0.552	0.225
结构工艺孔-3	是	0.234	-0.931	-0.123
结构工艺孔-4	是	-0.153	-0.689	0.022
结构外形靶标孔-1		0.071	0.288	0.312
结构外形靶标孔-2		-0.148	0.307	-0.635
结构外形靶标孔-3		-0.001	0.513	-0.681
结构外形靶标孔-4		0.208	0.429	0.737
结构外形靶标孔-5		-0.136	0.537	0.092
结构外形靶标孔-6		0.154	0.642	0.393

表3 飞机姿态评价数据(关键点选择3)

测量点名称	是否选取	姿态评价		
		dX	dY	dZ
结构工艺孔-1		0.355	-1.384	0.245
结构工艺孔-2		-0.196	-0.528	-0.176
结构工艺孔-3		0.023	-0.903	0.234
结构工艺孔-4		-0.903	-0.676	-0.153
结构外形靶标孔-1	是	0.201	0.063	0.042
结构外形靶标孔-2	是	-0.247	0.097	-0.011
结构外形靶标孔-3	是	-0.240	-0.113	0.091
结构外形靶标孔-4	是	0.183	0.115	-0.070
结构外形靶标孔-5	是	-0.161	-0.013	-0.085
结构外形靶标孔-6	是	0.305	-0.050	0.036

## 2.2 姿态评价系统的误差分析

综合分析飞机调姿前、后的目标点测量数据,对比姿态评价系统的飞机误差估算值与实际调姿后的飞机姿态误差,能够得出本姿态评价系统的精确度,如表4及表5所示。对表4~5进行数据分析,可得以下结论。

(1) 部件的姿态误差主要由产品对合前的产品制造、产品装配、测量设备的误差造成。

(2) 姿态评价系统得出的参考数据与实际调姿后所测得的数据误差很小,此虚拟姿态评价系统完全可以作为飞机部件姿态调整前的虚拟仿真平台,根据姿态评估的误差数据对飞机实际调姿提供参考,避免重复的调姿测量,提高部件调姿、定位效率。

表4 飞机姿态评价误差与姿态实际误差(关键点)

测量点	姿态评价误差			姿态实际误差		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
工艺孔-1	0.355	-1.384	0.245	0.345	-1.322	0.407
工艺孔-2	-0.196	-0.528	-0.176	-0.178	-0.552	-0.225
工艺孔-3	0.023	-0.903	0.234	0.034	-0.932	0.123
工艺孔-4	-0.903	-0.676	-0.153	-0.916	-0.689	-0.022

表5 飞机姿态评价系统误差

测量点名称	系统误差		
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$
结构工艺孔-1	0.01	-0.062	-0.162
结构工艺孔-2	-0.018	0.024	0.049
结构工艺孔-3	-0.011	0.029	0.111
结构工艺孔-4	0.013	0.013	-0.131

## 3 结束语

当前新一代军民飞机的研制和生产都开始逐步实现数字化和自动化。本文介绍了一种用于飞机部件数字化调姿、定位系统的飞机虚拟调姿姿态评价系统的应用,通过提取现场应用所得到的测量数据,得出该虚拟调姿姿态评价系统的应用结论及误差分析。飞机部件调姿前可通过本系统进行分析,得出飞机实际调姿的参考误差和调姿路径,有助于工艺人员分析、解决问题,优化飞机部件调姿的测量目标点选择,避免重复调姿、测量,提高部件调姿、定位效率。

在这里首先要感谢飞机部件数字化调姿、定位系统项目的各位研发、管理人员;其次是辛勤工作在飞机装配现场的各位劳动者,因为你们的配合、协作、努力,飞机部件数字化调姿、定位系统成功在现场得到了实际应用,并极大的提高了装配质量,提高了生产效率。

## 参考文献

- [1] Pasupathy T, Zhao Xiaoping, Wilhelm R. Flexible tools for specifying design variation[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2006, 28: 659-664.
- [2] 孟颀. 基于激光跟踪的数字化装配系统研究. 航空工业学院学报, 2009, 26(1): 34-37.
- [3] 陈昌伟, 胡国清, 张冬至. 飞机数字化柔性工装技术研究. 中国制造业信息化, 2009, 38(9): 21-28.
- [4] 余锋杰, 王青, 李江雄, 等. 飞机自动化装配过程数据集成与实现. 浙江大学学报(工学版), 2009(2): 207-212.
- [5] 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.

(责编 晓立)