

# 波音 747 口框装配夹具数字化改造

王君元, 吕家兴

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110034)

**[摘要]** 为节省样板制造、更改依据保存及样板实物长期保存和维护带来的高额费用,实现装配夹具的全面数字化管理,迫切需要完成样板装配夹具数字化。以波音 747 口框装配夹具为例,给出了已有工具球孔但无孔位数据的定位器数字化改造方法以及无工具球孔的定位器数字化改造方法;创新运用功能性测量和实测反推理论值的方法,给出了整套夹具各个定位器的理论工具球数值。装配夹具的数字化改造精简掉工装定检和维修过程中样板的借用和搬运,尤其适用于样板尺寸大、不易搬运和使用不便的样板装配夹具,缩短了工装定检和维修周期,节省了成本,提高了经济效率。

**关键词:** 装配夹具; 功能性测量; 数字化改造

## Digital Reconstruction of B747 Templet Assembly Jig

WANG Junyuan, LU Jiaying

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110034, China)

**[ABSTRACT]** To save the high cost of storing templet manufacture and alteration base and the cost of safekeeping and maintaining the templet entity and to achieve the comprehensive digital management of assembly jig, it is urgent to accomplish the digital reconstruction of templet assembly jig. Boeing 747 buccal frame assembly jig exemplifies the digital reconstruction method of locators with no-data tooling ball holes and locators without tooling ball holes; according to creatively utilizing functional measurement and the way of adopting measured data to obtain theoretical data, give theoretical data of each locator of the whole jig. Digital reconstruction of templet assembly jig pass out the templets borrowing and transporting in tooling schedule check and non-routine maintainance, especially applied to templet assembly jig with large templets which are not easy to remove and not convenient to apply. The period of the tooling schedule check and non-routine maintainance is shortened, the cost is saved and the commercial efficiency is enhanced.

**Keywords:** Assembly jig; Functional measurement; Digital reconstruction

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2016.1/2.136

波音 747 口框装配夹具最初是按样板装配的,现在样板和样板制造依据及更改说明部分缺失。工装厂也试图对其进行粗略数字化改造,对一部分定位器打出了工具球孔给出了数据,但经过分析,部分数据偏差较大。为了摆脱样板装配带来的限制,需要对其进行数字化改造,即提供一套可靠的工具球理论数据,作为定检、维修依据<sup>[1-3]</sup>。

通过功能性测量和分析,一部分定位器的位置是准确的,可以选取适当位置打工具球孔并留值<sup>[4-5]</sup>。位置不准确的定位器是本文论述的重点,按定位功能将这些定位器分为两类:第一,用面定位的定位器(又分已制工具球孔和未制工具球孔两类)。第二,用孔和面定位的定位器。为了方便表述,以下分别简称为贴面定位器和

插孔贴面定位器。

## 1 波音 747 口框装配夹具简介及定位器分类

波音 747 口框装配夹具分为上部口框装配夹具和下部口框装配夹具两部分,它们的定位装配方式是相同的。都由大型方钢框架和定位于其上的卡板、蒙皮端头及条带定位器、框定位器、框 K 孔定位器、加强肋定位器等各类定位器组成。用来将框板、长桁、蒙皮及各种零组件定位并装配成整体的口框部件。如图 1 所示。

图中,卡板、蒙皮端头及条带定位器、框定位器和加强肋定位器属于贴面定位器;框板 K 孔定位器属于插孔贴面定位器。

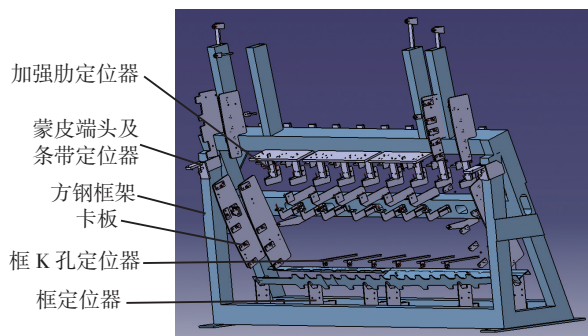


图1 波音747口框装配夹具结构简图  
Fig.1 Schematic diagram of Boeing 747 buccal frame assembly jig

## 2 贴面定位器的数字化改造

### 2.1 已制工具球孔的贴面定位器数字化改造

已制工具球孔的贴面定位器无数据(或数据不准确)是由于之前的错误的数字化方法造成的。此方法是将各个定位器按样板装好之后,随意选取位置打工具球孔测量此状态下的实测值作为理论值。首先由于样板本身存在制造误差和使用多年的变形以及装配误差等各种误差积累使得按样板装好的工装误差较大。其次随意选取位置打工具球孔,造成了工具球孔位相对于所在工装定位器的不确定性,也就无法通过正常的建模方式来确定工具球孔理论值。因此,下文将论述新的数字化改造方法来解决之前数字化改造的遗留问题。

#### 2.1.1 具体步骤

此类定位器工具球孔坐标理论值确定步骤如图2所示。

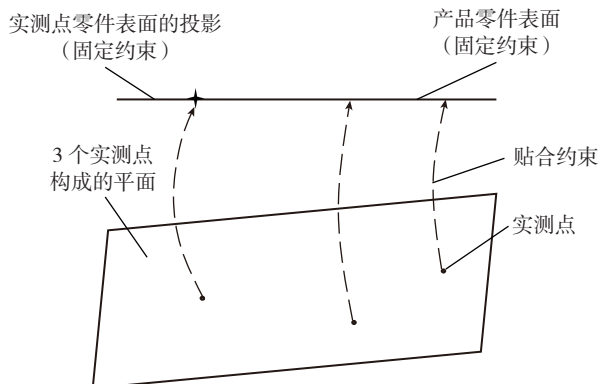


图2 理论坐标值确定过程(一)  
Fig.2 Obtaining of theoretical coordinate value (一)

首先,用激光跟踪仪测量3个工具球孔的实际坐标值,并在CATIA<sup>[6]</sup>里新建product<sup>[7]</sup>,将3个点实测值输入,根据3个点创建一个平面。

其次,在要定位的产品零件表面上做3点中某一点的投影。将产品固定<sup>[1]</sup>,并建立两个约束:用新建

product中的平面去贴合要定位产品零件表面,投影点与相应的投影贴合。这样就实现了调整距离较小的情况下相把定位器的定位面移动到了正确位置。

最后,在数模中测量约束后的3个点坐标值,即为理论坐标值。

#### 2.1.2 原理分析

此类定位器虽然有工具球孔,但是相对于定位器本身的位置是未知的,所以无法建出带有准确工具球孔位置的定位器数模。但是3个工具球孔的相对位置是可知,通过测量可得到3个球孔的实际位置。只需将3个工具球孔移动到理论位置,则定位器也处于理论位置。此方法是通过在数模中绘制零件3个工具球孔的实际位置,构建出实际零件定位面所在平面,在保证工具球孔位变化不大的情况下,将实际零件定位面移动到理论位置,即要定位零件贴合面位置。要保证工具球孔位移较小,通过在理论面做其中一点的投影,使得贴合过程中投影点与投影相合,测量此理论位置的工具球孔值,即为此类定位器工具球孔理论值。

### 2.2 未制工具球孔的贴面定位器数字化改造

这类问题的特征是新制的工具球孔相对于定位器本身的位置是确定的,这就使问题得到简化。省略了测量定位器原来位置的工具球值和根据实测值建立定位面并贴合的过程。虽然增加了非定位面测量步骤,但不影响此方案的简洁性和可操作性。

#### 2.2.1 具体步骤

此类定位器工具球孔坐标理论值确定步骤如图3所示。

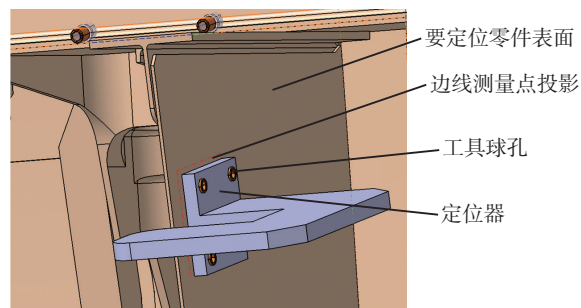


图3 理论坐标值确定过程(二)  
Fig.3 Obtaining of theoretical coordinate value (二)

首先,对定位器原有边线位置进行测量,将测量值输入产品数模,连成线段,在要定位的零件表面做投影。

其次,给定位器建模(建出定位面即可),合理选取工具球孔的位置,把产品固定后,将定位器的定位面与要定位零件表面贴合,此时定位器位置已能实现定位作用。

最后,将定位器边线与用边线测量点投影虚线贴

合,此时原有定位器与工装框架连接位置不需要移动很大的距离,为维修提供了可操作性。

### 2.2.2 原理分析

此类定位器可新制工具球孔,工具球孔相对于定位器自身的位置是可知的,因此可为定位器建带有工具球孔的模型。定位器需要与要定位零件贴合,因此在垂直定位面方向的坐标值是确定的<sup>[8]</sup>。为了保证维修方便,在确定定位器理论位置时,需要使其位置和原有位置尽量贴近,因此使其边线与原实际位置边缘投影相合。

## 3 插孔贴面定位器的数字化改造

此类定位器定位的插孔都压有衬套,通过产品K孔用销钉、精制螺栓等定位产品零件位置。既保证了定位面的和零件表面贴合,又保证了定位面孔心位置正确。

### 3.1 具体步骤

此类定位器工具球孔坐标理论值确定步骤如,如图4所示。

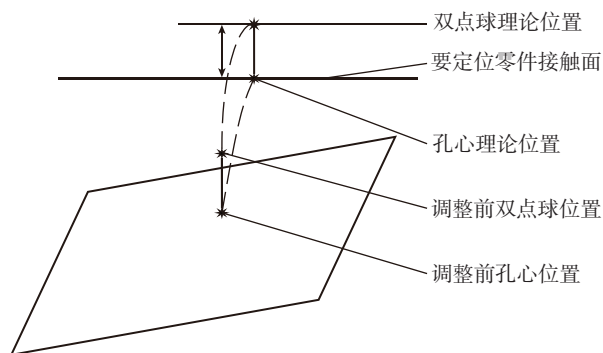


图4 理论坐标值确定过程(三)

Fig.4 Obtaining of theoretical coordinate value (三)

首先,在产品数模内新建一个线段,一个端点为零件孔心,另一个端点为沿垂直于零件定位面方向延伸25.4mm的点。

然后,记录线段两个端点的坐标值,即为此定位器的工具球理论值。

最后,将定位器的孔心调到零件孔心理论值位置,并用通用25.4mm的双点球座将双点球值调到理论位置。

### 3.2 原理分析

此方法不需要新制工具球孔,更适用于定位器定位面面积较小,新制工具球孔会使定位孔孔壁过薄的情况。单点球值可以保证定位面上孔心位置正确,双点球值可以保证定位面位置正确,且定位孔方向正确。

而对于孔和面都有定位作用且定位面面积较大的

定位器,25.4mm的双点球杆距离可能不足以保证定位面位置和定位孔方向的精确度,仍需要新制工具球孔,按照2.1节所述方法操作。

## 4 结论

数字化方法概述:通过功能性测量和分析筛选出需要重新确定理论值的定位器,再根据定位器特点进行分类,采用不同方法对其进行数字化改造<sup>[9]</sup>。

大型样板装配工装的数字化改造具有重大的实际意义,是十分必要的。大型样板装配夹具的数字化改造相比新制一套数字化工装节省了50%以上的费用。大型装配夹具的数字化改造相比原有状态节省了保存样板的较大空间、运输的费用和时间,精简了保存样板制造依据、更改依据的过程。大大缩短了工装定检和维修的周期,提高了夹具的定位精确度<sup>[10]</sup>。

### 参考文献

- [1] 范玉青. 飞机数字化装配技术综述[J]. 航空制造技术, 2006(10):42-48.  
FAN Yuqing. Overview of aircraft digital assembly technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(10):42-48.
- [2] 张平. 基于CATIA的装配工装数字化设计制造技术[J]. 航空标准化与质量, 2003(6):16-20.  
ZHANG Ping. Digital design and manufacturing technology of assembly fixture based on CATIA[J]. Aviation Standardization and Quality, 2003(6):16-20.
- [3] 王巍, 黄宇, 庄建平. 激光跟踪仪在飞机装配工装制造中的应用[J]. 航空制造技术, 2004(12):81-84.  
WANG Wei, HUANG Yu, ZHUANG Jianping. Application of laser tracker in assembly jig manufacturing for airplane[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2004(12):81-84.
- [4] 周锦坤, 马灯英, 梁武根. 坐标测量技术及激光跟踪仪在飞机工装、零部件数控测量中的应用[C]. 昆明: 2003年航空实验技术学术交流会, 2003.  
ZHOU Jinkun, MA Dengying, LIANG Wugen. Application of the coordinate measuring technique and laser tracking system in the aircraft tool sets numeric control machining[C]. Kunming: 2003 Academic exchange conference of aviation experiment technology, 2003.
- [5] 郭洪杰. 浅谈数字化测量技术在飞机装配中的应用[J]. 航空制造技术, 2011(21):26-29.  
GUO Hongjie. Development of digital measurement technology based on aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(21):26-29.
- [6] 鲁熙达. CATIA V5 机械设计教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.  
LU Xida. CATIA V5 mechanical design course[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [7] 张松青. CATIA V5 三维机械设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007.  
ZHANG Songqing. CATIA V5 3D mechanical design[M]. Beijing:

(下转第142页)

随焊接速度增加, SiC 颗粒受到的机械作用减弱, 单位长度焊接热输入也降低, 使 SiC 颗粒尺寸增加, 且在搭接区与复合材料母材相邻处易产生裂纹。

### 2.4 焊接速度对焊缝强度的影响

图 7 为焊接速度与接头抗剪强度的关系。可以看出, 随焊接速度增加, 接头抗剪强度有所降低。在焊接速度为 10mm/min 时, 接头强度较高, 为 81.8MPa。这说明, 焊接速度对焊缝抗剪强度有一定影响, 并存在一个较佳的焊接速度区间, 在 10mm/min 左右。结合图 5, 图 6 可对该现象进行如下解释。当焊接速度为 10mm/min 时, 焊缝未产生缺陷, 同时 SiC 颗粒细小、分布均匀, 铝合金焊缝中几乎没有大尺寸 SiC 颗粒, 搭接区起到了良好的过渡作用, 使焊缝强度较高。当焊接速度为 40mm/min 时, 焊缝中也没有缺陷产生, 但 SiC 颗粒较大, 不利于载荷的传递; 同时, 由大尺寸 SiC 颗粒进入铝合金焊缝, 使搭接区的梯度过渡作用减弱, 焊缝强度有一定程度降低。当焊接速度为 80mm/min 时, 焊缝中产生裂纹, 同时有过多的 SiC 颗粒进入铝合金焊缝中, 使焊缝强度降低程度更大, 因而出现图 7 中的接头强度规律。

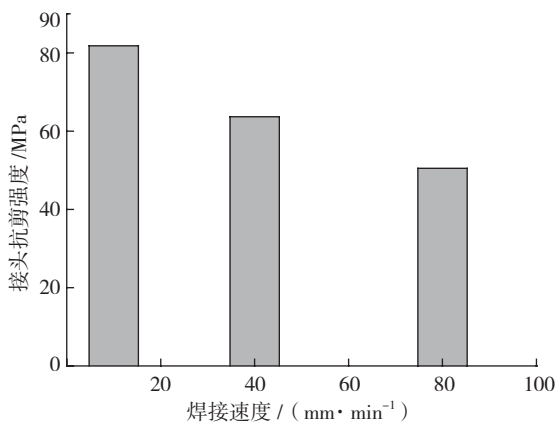


图7 焊接速度与接头抗剪强度的关系

Fig.7 Relation-curve of the welding speed and the joint strength

### 3 结论

(1) 采用 FSW 对 SiCp/Al6061 复合材料和 2024 铝合金进行搭接, 在适当的工艺参数下, 可以获得表面成形良好、内部没有缺陷的焊缝;

(2) 搭接区 SiC 颗粒细小, 分布均匀, 由搭接区下部到上部, 形成了 SiC 颗粒尺寸和含量的梯度过渡, 在前进侧和后退侧则有大量铝合金混入;

(3) 随焊接速度增加, 搭接区上方 SiC 颗粒尺寸有所增加, 在搭接区与复合材料母材相邻处有裂纹产生, 是焊接线能量降低、材料塑性变差及搅拌针推挤作用增强的结果;

(4) 随焊接速度增加, 焊缝强度有所降低, 在焊接速度为 10mm/min 时, 获得了较高的焊缝强度, 为 81.8MPa。

### 参考文献

[1] MIRACLE D B. Metal matrix composites—from science to technological significance[J]. Composites Science and Technology, 2005, 65(15):2526–2540.

[2] 王廷, 刘会杰, 冯吉才. 铝合金搅拌摩擦焊研究现状 [J]. 航空制造技术, 2009(20):62–65.

WANG Ting, LIU Huijie, FENG Jicai. Research status about friction stir welding of aluminum alloy[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(20):62–65.

[3] THOMAS W M, NICHOLAS E D, NEEDHAM J C, et al. Friction stir butt welding: International patent application number PCT/GB92/02203 and GB patent application 9125978.8[P].1991–12–06.

[4] STORJOHANN D, BARABASH O M, BABU S S, et al. Fusion and friction stir welding of aluminum metal matrix composites[J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2005, 36(11):3237–3247.

[5] XIAO B L, WANG D, BI J, et al. Friction stir welding of SiCp/Al composite and 2024 Al alloy[J]. Materials Science Forum, 2010, 638–642: 1500–1505.

[6] CESHINI L, MORRI A, ROTUNDO F, et al. A study on similar and dissimilar linear friction welds of 2024 Al alloy and 2124Al/SiCp composite[J]. Advanced Materials Research, 2010, 89:461–466.

[7] FENG A H, XIAO B L, MA Z Y. Effect of microstructural evolution on mechanical properties of friction stir welded AA2009/SiCp composite[J]. Composite Science and Technology, 2008, 68:2141–2148.

[8] 张磊. 薄壁铝合金搅拌摩擦焊接头组织及性能 [J]. 航空制造技术, 2011(4):88–91.

ZHANG Lei. Microstructure and mechanical property for joint of friction stir welded thin aluminum alloy sheet[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(4): 88–91.

(责编 宁宁)

(上接第 138 页)

Beijing Institute of Technology University Press, 2007.

[8] 陈立德. 工装设计 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999.

CHEN Lide. Tooling design[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1999.

[9] 王强, 万世明, 唐实. 飞机工装数字化设计制造技术的研究与应用 [J]. 航空与航天, 2008(3):1–8.

WANG Qiang, WANG Shiming, TANG Shi. Research and application of digital design and manufacturing technology for aircraft tooling[J]. Aviation and Space, 2008(3):1–8.

[10] 魏法杰, 周艳, 邢军. 航空企业工装管理分层计划方法研究 [J]. 航空学报, 2001(1):78–82.

WEI Fajie, ZHOU Yan, XING Jun. Research in multi-level planning of tooling management in airplane manufacture firms[J]. Journal of Aviation, 2001(1):78–82.

(责编 宁宁)