

# 飞机大部件对接柔性支撑定位装置的研究及应用

## Research and Application of Aircraft Butt of Flexible Supporting and Locating Device

中航通飞华南飞机工业有限公司 王彬 付景丽

**[摘要]** 本文探讨柔性支撑定位装置在飞机大部件对接领域的应用,讨论了先进数字柔性定位工装发展的前景及现状,重点介绍了新技术应用于传统工装结构中发展起来的柔性支撑定位装置的设计技术、结构形式和应用方法。

**关键词:** 大部件对接 定位器 柔性支撑定位装置

**[ABSTRACT]** The application of flexible support positioning device in the butt of large aircraft components is explored, and the prospect of advanced digital flexible positioning fixture development is discussed, the design, structure and application method of the flexible support positioning device developed by new technology applied to traditional tooling structure is specially introduced.

**Keywords:** Major component butt Locator Flexible support positioning device

传统的飞机大部件对接主要靠工装和工艺补偿来保证大部件的协调<sup>[1]</sup>,在对接部位留有余量,采用吊装和牵引的方式进行对接,然后进行精加工,这种对接方法精度低、可靠性差、极易出现超差问题,致使造成无法逆转的水平测量参数。

现代柔性工装已不单单是简单的刚性结构工装,而是集成了数字化控制、现代设计方法学、先进测量、结构优化与仿真等各类技术的综合型工装。柔性工装技术是基于产品数字量尺寸的协调体系,利用可重组的模块化、数字化、自动化工装系统,可以免除或减少设计和制造各种零部件装配的专用固定型架、夹具。因此,通过应用柔性工装可以缩短飞机装配的制造时间,以提高质量,并减少工装数目,实现“一型多用”的制造模式。

### 1 数字化柔性技术在航空领域的应用

飞机工艺装备作为保证飞机制造和装配准确度要求的专用设备,在飞机生产中占有举足轻重的作用。传统的工艺装备大量采用刚性结构,设计制造周期长、研制成本高、开敞性差、应用单一,难以满足飞机多品种、小批量生产模式下的研制需求。因此,如何缩短工装的准备周期,

并以较小的生产成本满足飞机零部件的结构变化,从而快速响应飞机装配工艺过程,实现飞机装配制造的柔性化和快速化,成为飞机制造企业研究的热点。

随着科技的发展,飞机装配技术的提高,数字化柔性技术在航空航天领域,得到了广泛的应用,极大地提高了飞机装配技术水平,柔性定位装置的设计也呈现多种样式,数字化柔性的程度也越来越高,受到了行业内的高度重视。

但是,先进的数字化柔性定位装置价格昂贵,对于小批量的生产线来说,无疑是难以承受,因此也很少采用,但是对于飞机比较大,如果采用传统的装配技术,精度难以保证,但是批量又不是太大,所以多半会采用半自动化的柔性支撑定位装置,因此柔性定位装置得到了广泛的延伸发展。

### 2 基于飞机装配支撑定位器的发展进程

国内大部分制造厂在飞机装配过程中仍广泛采用传统的刚性结构专用工装(见图1)。在飞机装配生产线上,由于飞机外形的复杂性,不同机型或同一机型不同批次架次结构的工艺装备必然有所不同,采用传统支撑工装形式,工装数目多,成本高,研制周期长。同时,采用模拟量传输模式协调飞机装配,自动化程度低,数字化水平弱,飞机装配的精度和效率难以保证。

近年来,许多大型生产制造企业、研究所及科研院校在组件、部件装配方面的柔性工装上做了大量研究,飞机

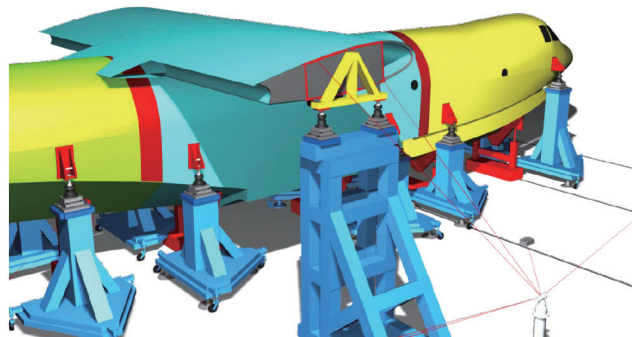


图1 刚性结构专用工装

Fig.1 Special tooling of rigid structure

装配技术也不断地发展,从原来的手动调节支撑装置,不断地添加新的元素,发展到液压调节装置,再发展到数字柔性支撑定位装置(见图2)、全自动大部件对接调整装置等先进的柔性工艺应用技术注入到成熟装备技术行列,例如,采用了高级激光测量技术、承重显示技术、超载报警技术、同步电机升级等先进技术,实现不同柔性等级技术应用到不同对接要求的技术方案中。



图2 数字柔性支撑定位装置  
Fig.2 Digital flexible support positioning device

### 3 目前较为先进的总装柔性对接技术

在总装阶段,由于柔性装配技术的发展,传统的固定对接平台/精加工平台已逐渐被由数控千斤顶(或定位器)、跟踪定位系统(激光跟踪仪)、计算机控制系统等组成的柔性对接平台所取代。柔性对接平台具有定位精度高的特点,采用后可大幅提高飞机装配质量、缩短装配周期、节省装配费用。

这种柔性对接平台现已在波音、空客等大型飞机制造商的飞机装配中广泛应用<sup>[2]</sup>。主要分为3种定位机构形式:(1)柱式结构的自动定位器形式。其外形特征类似柱子,支撑和驱动飞机部件。每台定位器可由伺服电机驱动在X、Y、Z轴3个方向上移动,由3~4台或更多这样的定位器就可以支撑、调整、定位一个飞机大部件。(2)塔式结构的自动定位器形式。其特征是结构形体较大,具有像伸缩臂一样的运动调整部分,从侧面支撑和驱动部件,且承载重量较大。(3)混联结构的自动定位器形式。波音787总装中采用的是一种混联形式的自动定位机构(见图2),定位器不直接与部件相连,采用托架与部件相连,通过驱动托架对机体部件进行位姿调整。

### 4 基于飞机大部件对接装配方案

本文介绍的柔性支撑定位装置所用于的飞机布局,机身总长为36360mm,最大宽度3400mm,最大高度4715mm。

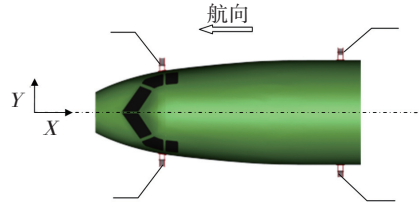


图3 机头工艺接头  
Fig.3 Nose technology joint

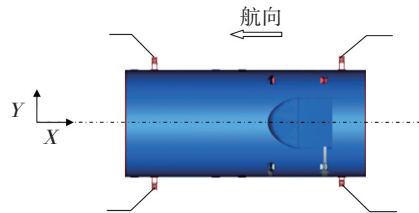


图4 中机身工艺接头  
Fig.4 Fuselage process joint

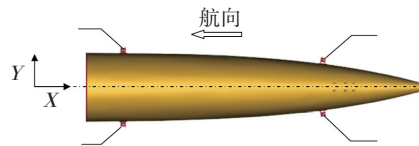


图5 后机身工艺接头  
Fig.5 Rear fuselage process joint

全飞机身部段共分为机头、中机身、后机身,柔性支撑定位装置主要是用于完成机身三大部段和中央翼的对接工作。三大部段和中央翼上分别设置4个工艺接头,用于和柔性支撑定位装置相连接。

(1)机头工艺接头(见图3)。

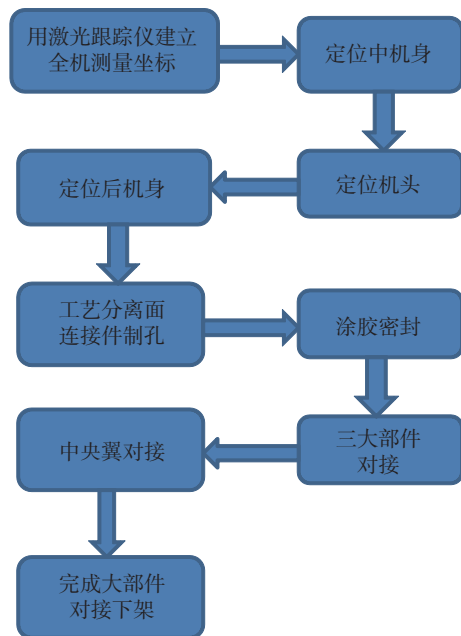


图6 对接装配顺序示意图  
Fig.6 Butt assembly sequence

- (2) 中机身工艺接头(见图4)。
- (3) 后机身工艺接头(见图5)。
- (4) 中央翼盒的工艺接头在与外翼对接的端头,一端两个。
- (5) 对接装配顺序示意(见图6)。

## 5 柔性支撑定位装置的技术要求

本装配生产线是用于在研制机型,且将来批产量不会太大,研制经费需要有效控制,但是飞机吨位在 60 t,又属于大飞机的范畴,如果采用传统的对接方法,不利于容差的分配,装配精度得不到保证。因此采用半自动化的柔性支撑定位装置对接系统。

本文所述的与 16 个工艺接头相连的 16 个柔性支撑定位器,结构是完全相同的,根据各部段在对接装配中的要求和功能,设计成不同的底座结构,总体组成一个柔性支撑定位装置。

### 5.1 柔性支撑定位器的设计技术

柔性支撑定位器共设置为 16 个,结构形式完全相同(见图7),上端设置与工艺接头相连接的结构,包括有重力传感器、显示屏、微调丝杠,导轨、减速器等,可以实现 X、Y、Z 3 个方向的移动,其中, X/Y 方向的调节范围是  $\pm 100\text{mm}$ , 轴 Z 方向的调节范围是  $\pm 300\text{mm}$ 。机身各部段的定位、姿态调整均是通过柔性支撑定位器调节来实现的。

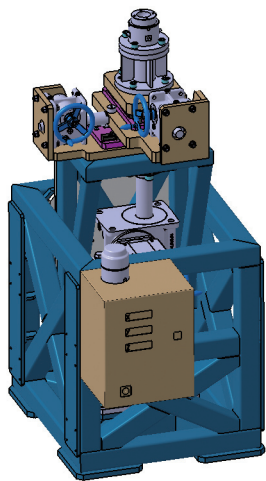


图7 柔性支撑定位器  
Fig.7 Flexible support locator

重力传感器可以测量各部段机体作用于承重传感器上 X、Y、Z 轴 3 个方向的重量,承重传感器和显示器相连,可以显示 X、Y、Z 轴 3 个方向的重量,当出现了超出预设的最大载荷的时候发出警报。

为了保证 Z 向运动的协调性,直线导轨的安装需要精准定位,以确保 Z 向调整的顺畅、安全。

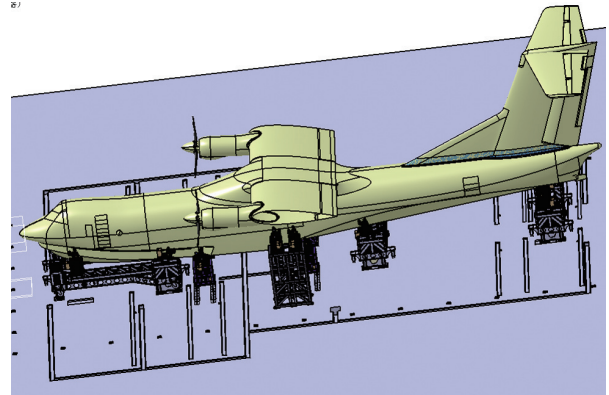


图8 整个柔性支撑定位装置  
Fig.8 Flexible support positioning device

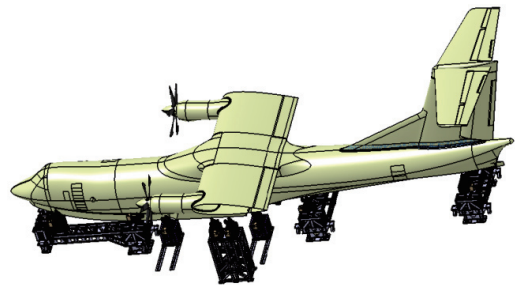


图9 支撑飞机结构示意图  
Fig.9 Diagram of supporting aircraft structure

### 5.2 柔性支撑定位装置的结构形式

本文介绍的柔性支撑装置是在不同结构的底座上,安装结构相同的柔性支撑定位器,组成大部件对接的整个柔性支撑定位装置,整个结构示意图见图8。图9整个柔性支撑定位装置

#### 5.2.1 机头柔性支撑定位装置

由于飞机机头舱段长 10.7m、宽 3.4m、高 4.6m,所以用于固定柔性支撑定位器的小车结构分成左右两部分。小车的底部与地面采用杯椎的结构形式连接,小车的底部制成椎型结构,与之相配合的杯体结构与地基改造时预埋的钢板相连接,在安装时实现自定位的功能,小车还带有轮子,对接工作完成后,整个装置沿 Z 向下

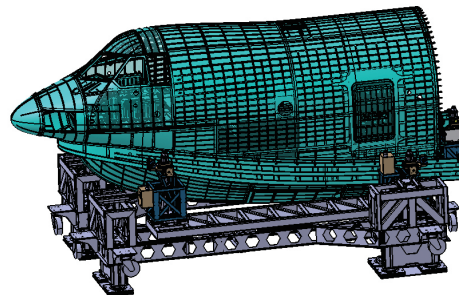


图10 机头柔性支撑定位器工作状态  
Fig.10 Working state of nose flexible support locator

降,轮子与地面接触,可采用牵引的方式移动小车。小车为两层结构,中间采用轨道实现上部支撑部件做整体移动,而小车的底部保持位置不变,另外通过设置一个主控制软件系统,实现机头部段下的两个结构小车能够同步升降和同时前后移动,实现机头部段与中机身部段对接时机头段的整体后移和复位工作。

机头柔性支撑定位器工作状态(见图 10)。

机头由两个小车组成,每个小车可以自动化上下移动和水平移动。竖直移动由 4 组(电机+丝杠+闸+编码器)实现,行程调节量设置 650mm,水平移动由 2 组(电机+丝杠+闸+编码器)实现,行程调节量设置 450mm。

### 5.2.2 中机身柔性支撑定位装置

中机身柔性支撑定位器工作状态见图 11。

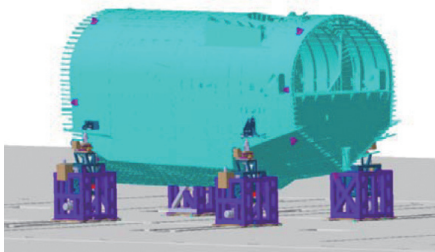


图 11 中机身柔性支撑定位器工作状态

Fig.11 Working state of flexible support locator for middle fuselage

中机身由 4 个可以竖直移动的塔式结构底座组成,上端柔性支撑定位器结构都相同,4 个塔式结构与固定在地面上的轨道螺栓连接,保证轨道的平整度和平行度,此处考虑采用轨道是考虑飞机出站的时候能够快速的滑开柔性支撑定位装置。每个塔可以实现自动上下移动,共 4 组(电机+丝杠+闸+编码器),行程调节量设置 175mm;水平移动是手动调节的。

### 5.2.3 后机身柔性支撑定位装置

后机身柔性支撑定位器工作状态见图 12。

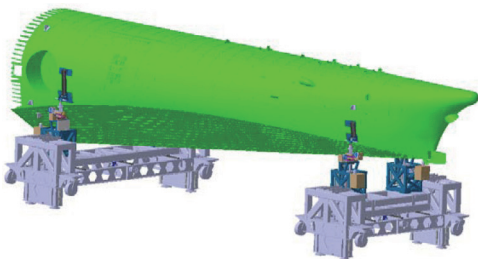


图 12 后机身柔性支撑定位器工作状态

Fig.12 Working state of flexible support locator for rear fuselage

后机身结构底座与机头的结构相似,分成了左右结构的两个小车,功能原理和移动方式和调节量完全相同。

### 5.2.4 中央翼柔性支撑定位装置

中央翼是三大部段对接好以后吊装安装的,因为中央翼两侧的两个工艺接头距离较近,只有 1.2m,所以中央翼上的 4 个柔性支撑定位器,分成左右两个底座,一个底座固定两个柔性支撑定位器,底座与地面固定连接。

两个底座都可以实现上下移动,共需要 2 组(电机+丝杠+闸+编码器),行程调节量设置 175mm。

## 6 柔性支撑定位器的应用

根据工装设计要求制造整个柔性支撑定位装置,按照地基改造要求改造好地基,协调此处工作平台和整个柔性支撑定位装置的安装。

用吊车通过中机身上工艺接头将中机身组件吊至中机身柔性支撑定位器上,用建立好的全机测量系统,测量工艺接头上测量点的数据,以供应商测量的中机身上测量点的实测值作为目标数据,按照图 10 的调整要求,调整柔性支撑定位器的定位球座。先调整中机身右前侧定位球位,使右前侧工艺接头处的测量点的 X、Y、Z 数据与目标数据吻合;然后调整左前侧定位球座,使左前侧工艺接头处的测量点的 X、Z 数据与目标数据吻合;之后调节右后侧定位球座,使右后侧工艺接头处测量点的 Y、Z 数据与目标数据吻合,最后调整左后侧定位球座 Z 方向,锁死。中机身架上初定位完成。然后根据对接测量靶标接头要求,通过柔性支撑定位器上的微调丝杠做精确调整。

用同样的方法完成机头和后机身的初定为和精确调姿,此时机头与中机身,中机身与后机身相距 500mm,利用机头处的左右两个小车和后机身前后两个小车的分层结构,通过操纵主控制系统,将机头、后机身部件分别归位,目视检查分离面处各零组件对接情况,无问题后进行工艺分离面连接工作——制孔,然后同上原理分开机头和后机身,用定位销连接过渡蒙皮,修配过渡蒙皮余量,工人进行去毛刺、清洁和涂密封胶等工作后,再次操作主控制系统,实现机头、后机身部件分别归位,开始机身各段的连接工作,直至三大部件对接完成(见 13 图)。

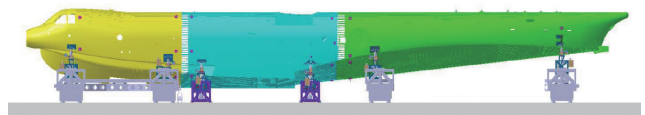


图 13 三大部件对接工作图

Fig.13 Working drawing of three parts butt

起吊中央翼到柔性支撑定位器上,按照调节视图完成初定位,通过测量翼身对接接头,通过柔性支撑定位器上的微调丝杠做精确调姿,完成对接安装工作。再完成安装起落架一些列工作等用主控制系统的同步电机,实现整个机身的同步下降,完成该站位的机身下架工作。

整个对接调整过程中,柔性支撑定位装置的柔性等到

了充分的体现,在对接过程机头、后机身前后移动,柔性支撑定位装置不用再做二次调整,就可以通过自动控制软件终端按钮实现,也是该装置柔性的表现。装配要求、精度的不断提高,全自动柔性对接成本的居高不下,本装置应运而生,可谓两者综合,两头兼顾,特别适合于批量不大的大飞机的装配生产线。

## 7 柔性支撑定位装置的前景

大型飞机的柔性装配技术是我国航空企业重点研究方向之一,我国在柔性夹持、自动制孔、组件级装配和飞机自动对接技术等方面进行了较为系统的研究,在多个单项技术上实现了突破。

结合目前国内技术发展现状<sup>[3]</sup>,我国大飞机柔性装配技术将会呈现以下趋势:

(1)大型飞机的柔性装配将会建立在面向装配的全数字化产品定义基础上,逐步实现飞机的整体化模块化设计。

(2)飞机数字化三维装配工艺规划和管理技术相结合的过渡性装配工艺设计表达模式,有效地解决现有装配技术瓶颈问题。

(3)在飞机装配车间,建立全局或局部测量网,实现大空间范围内的高精度测量。

(4)建立半自动化/自动化飞机柔性装配系统,结合飞机结构特点和装配工艺水平,在需求与发展中开拓创新,为我国航空制造技术做出新的贡献。

(5)以分步单点突破、集点成线的思路,逐步建立柔性装配技术体系,使国内飞机装配技术向数字化、自动化、柔性化、虚拟化、集成化和网络化方向发展。

## 8 结束语

飞机大部件对接装配的数字化和自动化可以有效降低部件对接误差,提高飞机大部件对接装配精度和效率,是飞机大部件对接的发展趋势。今后,其发展重点是开展柔性定位装置的设计研究,考虑不同层次的自动要求;其次是要实现大部件对接装配的系统化、标准化、模块化等整体规划设计,构建大飞机柔性装配生产线。数字化柔性装配技术是一个值得深入研究的课题。

### 参考文献

[1] 王仲奇,康永刚,王辉坪,等.飞机部件级数字化柔性工装设计.航空制造技术,2011(22):101-104.  
 [2] 王亮,李东升,刘凤贵,等.飞机壁板类组件数字化装配柔性工装技术及应用.航空制造技术,2010(10):58-61.  
 [3] 郭洪杰.大型飞机柔性装配技术.航空制造技术,2010(18):52-54.

(责编 小城)

(上接第 132 页)

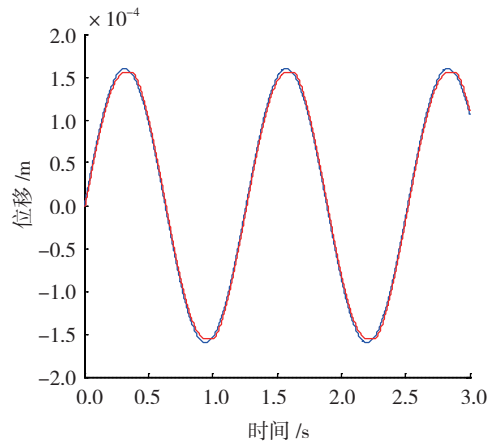


图9 间隙特性正弦信号位移曲线

Fig.9 Sine wave response curve with gap

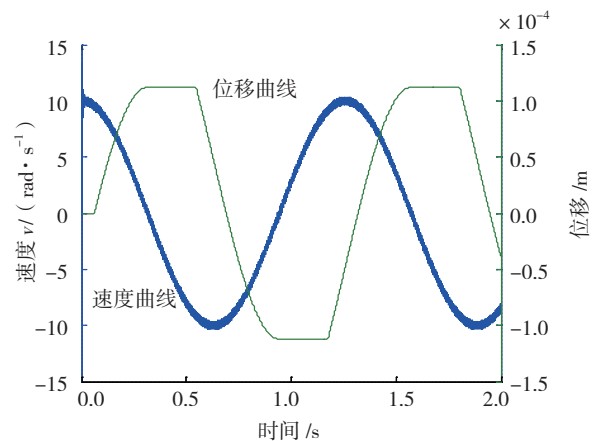


图10 加入间隙与摩擦后的速度与位移曲线

Fig.10 Velocity and distance curves with gap and friction

人的实际控制奠定了技术基础。

(2)研究了间隙及摩擦等非线性因素对系统性能的影响,为进一步提高系统性能提出了相应解决方案。

(3)该系统及控制方法已应用到安检蛇形臂机器人的实际控制中,获得了良好的控制效果。本文的建模与仿真方法也为类似伺服系统提供了借鉴与参考。

### 参考文献

[1] 魏志强,牛国臣,张小磊.反操纵大扭矩电动加载系统设计与应用.机械与电子,2013(8):58-62.  
 [2] 郑向周,李文斌.基于BLDCM的数控进给传动系统建模与仿真.机械工程与自动化,2010(4):85-87.  
 [3] 董玉红,邵俊鹏,周室仁.CK7815数控机床进给伺服系统的建模及仿真.哈尔滨理工大学学报,2005,10(3):25-27.  
 [4] 舒志兵,刘峻泉,林锦国,等.闭环伺服系统的数学模型研究.系统仿真学报,2002,14(12):1611-1613  
 [5] 刘胜,彭侠夫,叶瑰均.现代伺服系统设计.哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2001:179-184.

(责编 小城)