

飞机中机身壁板预定位柔性工装技术研究*

Pre-Position Flexible Tooling Technology for Aircraft Fuselage Panel

西北工业大学机电学院 胡智元 李西宁 梁青霄 王仲奇 胡匡植

[摘要] 经过对数字化柔性装配工装技术内涵及柔性工装定位方式深入研究,结合某型飞机中机身壁板装配需求,设计了一套壁板组件预定位柔性工装,开发了基于现场总线的多轴控制系统,通过仿真完善了工装设计。工装能与现有自动钻铆机相配合,形成数字化柔性预定位、钻铆生产线,为提高中机身装配质量及效率,缩短生产准备周期,构建飞机数字化柔性装配生产线提供了一个良好范例。

关键词: 柔性工装 预定位 装配生产线

[ABSTRACT] This paper is inclined to make a deep research on flexible tooling technology and positioning method for digital assembly of aircraft panel component, design a set of flexible tooling for aircraft panel component pre-position, develop a multi-axis control system based on field bus, and improve the tooling through simulation. The flexible tooling can be compatible with existing automatic drilling and riveting machine to form a digital flexible positioning, drilling and riveting production line, which provides a good example to improve the quality and efficiency in the fuselage assembly and shorten the production preparation cycle.

Keywords: Flexible tooling Pre-position Assembly production lines

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.01/02.122

飞机产品具有结构尺寸大、零件形状复杂且种类繁多、壁板刚度小、气动外形要求严格及加工精度高等特点,装配工作量约占飞机制造的50%~60%,而且难度极大^[1],因而在飞机的整个制造过程中,飞机装配技术是一项技术难度大、涉及学科领域多的综合性集成技术,在很大程度上决定了飞机的最终质量、制造成本和周期^[2-3]。

为了保证飞机装配符合设计技术要求,需要大量制造专用装配型架来进行装配,而装配型架属于刚性工装,一套型架只能用于一个装配对象,这就造成了飞机装配工装数量众多、存放占用空间大,客观上延长了飞

机生产准备周期,增加了飞机生产研制成本。随着国内航空工业的快速发展,新型号逐渐增多,工装需要能够适应多品种及小批量的生产方式以便飞机制造企业快速响应市场需求,而传统刚性工装的刚性特点已不能满足这一生产需要。为了有效改善传统刚性工装的缺点,“十一五”及“十二五”期间,国内已经开展了大量关于飞机柔性装配关键技术的研究工作,在部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并有所突破^[4-5],而针对飞机中机身壁板预装配柔性工装的研究与应用还比较少。

数字化样机在国内飞机设计中的应用,为数字化柔性装配技术的深入研究及新一代飞机数字化装配生产线的构建创造了先决条件。因此开展针对飞机组件级装配柔性工装研究,打通飞机数字化装配各个环节,实现国内飞机生产过程中的全数字化装配具备了必要条件。本文以某型飞机中机身壁板装配为应用研究对象,设计具有可适应较大尺寸范围的预定位柔性工装,并与自动钻铆机相结合形成数字化装配生产线。

1 数字化柔性装配工装技术

1.1 柔性装配工装技术定义

柔性装配工装是为免除设计和制造各种产品(如飞机壁板、翼梁等)装配专用的传统装配型架/夹具,降低工装制造成本,缩短工装准备周期,同时大幅度提高装配生产效率而采取的一种基于产品数字量的尺寸协调体系,可重组的模块化、自动化装配工装系统^[6]。

在数字化柔性装配工装应用中,按照工装内部结构功能可以将其划分为静态框架和动态模块^[7]。静态框架是模块化的框架,由标准零件和连接件组合而成,一般是整个工装的支撑结构部分。动态模块依据飞机产品的不同需要而设计,它具有多个自由度,通过可调转接器依附于静态框架上,根据不同产品的特征重组以适应装配需求。工装的柔性程度取决于动态模块的结构和自由度。以飞机壁板类零件为例,数字化柔性装配工装各功能模块分解如图1所示。

1.2 数字化柔性装配工装定位方式

数字化柔性装配工装与传统工装区别在于其对工件的定位不像刚性工装那样采用模拟量传递及固定定

* 国家科技支撑计划项目(2011BAF13B07)资助。

位器来实现,而是通过增加数字量传递的方式来控制定位装置精确定位与调整。定位装置的运动控制信息实质是飞机模型的数字化信息及装配工艺信息的转化,通过定位装置的运动最终将壁板类零件组装成与数字模型相等的部件。数字化柔性装配工装信息转化及控制流程如图2所示。

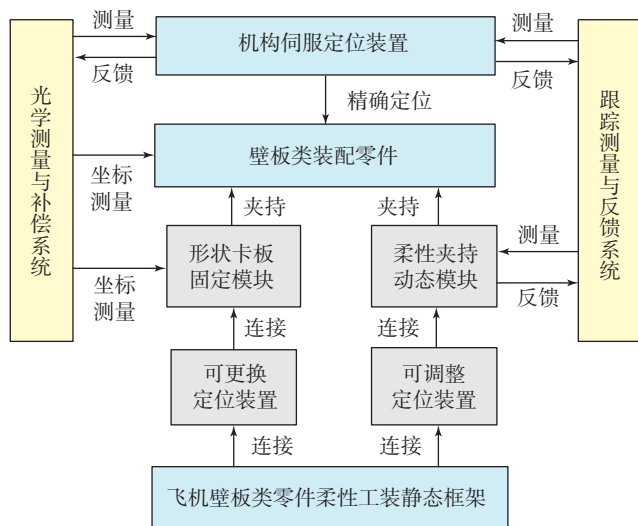


图1 数字化柔性装配工装构成

Fig.1 Structure of digital flexible assembly tooling

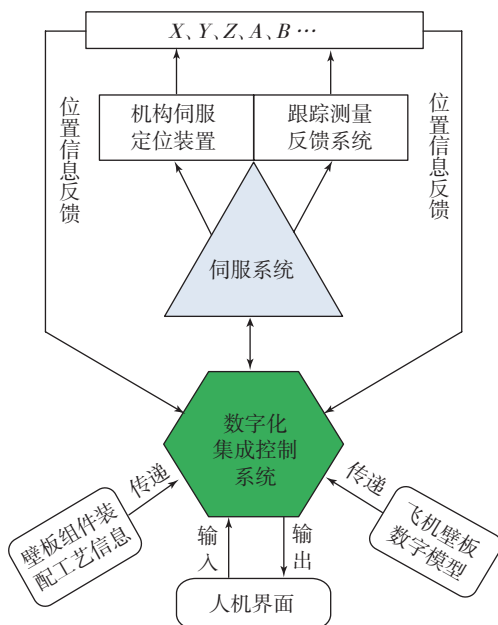


图2 柔性装配工装信息转化及控制流程

Fig.2 Flexible assembly tooling information transformation and control flow

2 壁板预定位要求及柔性工装整体方案

2.1 壁板特点及预定位要求

某种飞机机身壁板组件由蒙皮、长桁、剪切片、框组

成,外形整体呈单曲面。组件中蒙皮和长桁、蒙皮和剪切片、剪切片和长桁、框和剪切片需要进行预连接。其框为浮框,只和剪切片进行连接。剪切片位置可通过长桁、蒙皮、框3者所确定的空间来确定,如图3所示。预定位要求为对蒙皮、长桁、剪切片、框进行定位,并保证组件间相对精确位置关系,进行预连接后能够采用自动钻铆机对壁板进行自动钻铆。

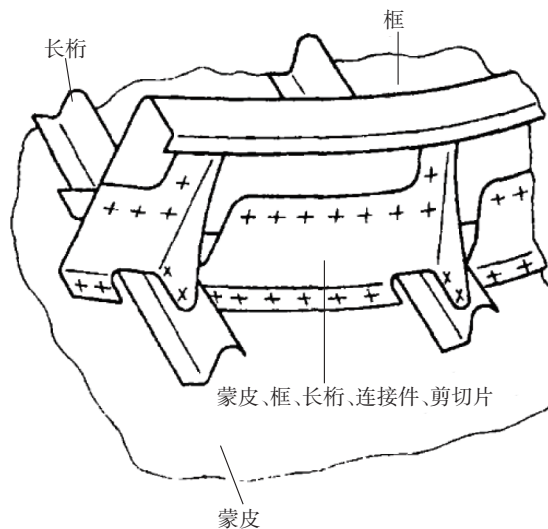


图3 壁板组件间相互位置关系

Fig.3 Mutual position relation of the panel modules

2.2 壁板组件定位方法

传统上飞机产品装配定位包括以骨架为基准或以蒙皮为基准2种方式,在飞机某些部位,如机翼部分气动外形要求较为严格,必须采用以骨架为基准,其余部位多采用以蒙皮为基准进行装配。通过分析柔性预定位工装对象壁板特点及工装功能要求,决定采用以蒙皮内形为基准,并通过内型卡板作为假件来代替浮框保证蒙皮外形这一途径来实现,采用柔性夹持定位装置来保证长桁在蒙皮上的相对位置,最终保证剪切片的安装位置。采用这种定位方式的原因是:

(1)蒙皮作为薄壁弱刚性体,要首先保证其外形精度;(2)长桁、剪切片的结构尺寸较小,具备快速夹持及移动的特点;(3)预定位需要确定长桁及剪切片与蒙皮的相对位置关系,而长桁、剪切片数量较多且分布零散,不便于作为基准。

按照上述分析,壁板组件预定位柔性工装确定了对蒙皮内形精度的保证及长桁、剪切片、蒙皮相对位置的定位方法。

2.3 柔性工装整体方案

依据壁板与定位要求及定位方法分析研究,壁板组件预定位柔性工装采取以蒙皮为定位基准,对长桁进行柔性夹持器夹持,通过控制柔性夹持器运动,使得长桁

与蒙皮贴合。按照这一思路,设计完成了图 4 所示的壁板组件预定位柔性工装。工装动态模块采用柱式结构,总共 4 根立柱,每根立柱上分布有 8 个长桁夹持器,总共 32 个长桁夹持器,单个夹持器具备在 X、Y、Z 3 个轴向上的运动及绕 X 轴方向的转动功能,可以适应不同蒙皮的曲率外形。

工装在工作时,通过小围框固定蒙皮以确定壁板的外形面,立柱上的长桁夹持器在控制系统及伺服系统驱动下夹持长桁并向前伸缩直至长桁和蒙皮贴合,通过力传感器控制贴合松紧程度,以防止蒙皮变形,从而实现长桁的数字化精确定位。当壁板产品发生变化时可以通过更换小围框上的内型卡板来保证壁板外形,长桁的定位通过长桁夹持器布局调整后,重新形成壁板骨架的包络面并与蒙皮重合。卡板的更换可以通过快装快卸结构来实现。使得工装可以适应较大尺寸范围的壁板预定位,具备一定的柔性。

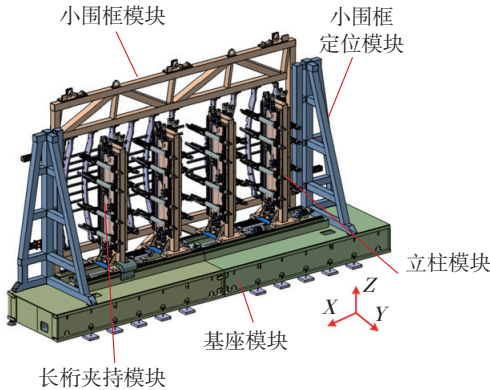


图4 壁板组件预定位柔性工装三维模型

Fig.4 Three-dimensional model of pre-position flexible tooling for panel modules

3 壁板组件预定位柔性工装设计

壁板组件预定位柔性工装作为一个复杂自动化工艺装备,由硬件部分和软件部分组成,硬件部分主要包括机械结构及伺服系统相关硬件,软件部分主要指控制系统。只有通过软硬件系统相结合,才能实现工装柔性定位功能。因此需要对工装结构部分及控制部分进行设计,以使得工装达到预装配功能,并且具备柔性。

3.1 机械部分设计

对壁板组件预定位柔性工装而言,基座模块、立柱本体、小围框、三角架均可视为静态框架,长桁夹持模块及小围框上内型卡板可视为动态模块。动态模块通过伺服系统及其他结构与静态框架连接。

静态框架中的小围框及三角架采用方管焊接而成,整体呈桁架式,具有很好的结构稳定性。三角架主要用来固定小围框,小围框主要用来安装内型卡板对蒙皮外

形进行定位,在对壁板预定位完成后能够整体吊装到自动钻铆机上。基座模块及立柱模块采用钢板拼接后焊接而成,如图 5 所示。作为整个装备的支撑模块,基座需要保证其他模块安装后不会发生变形,立柱安装在基座上后能够沿着 X 向运动,其上安装有长桁夹持模块,因而立柱具备一定的运动能力,且在安装动态模块后保证动态模块有足够的运动空间,结构需要紧凑实用。

动态模块中的长桁夹持模块作为柔性工装的主要执行部分,采用模块化设计并安装在立柱上成点阵式布局,多根立柱上的动态模块形成柔性夹持阵列,保证对长桁的夹持。

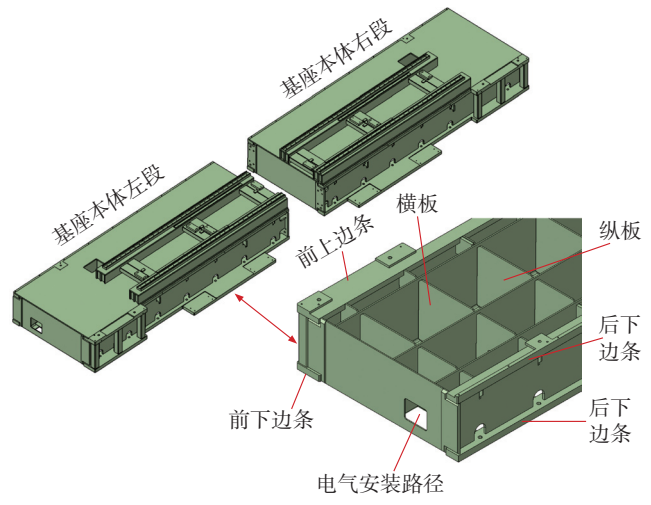


图5 基座模块焊接结构

Fig.5 Base module welding structure

作为连接动态模块及静态框架的运动伺服机构,是实现工装动态模块运动的关键,主要包括 X、Y、Z 3 个方向的运动。其中 X 轴方向上的运动主要通过丝杠带动立柱沿着 X 向导轨运动来实现,每个立柱对应一套丝杠,立柱运动的同时也就带动了立柱上的长桁夹持模块在 X 向的运动。立柱在 X 向运动传动如图 6 所示。单个长桁夹持模块在立柱上具备 Z 向运动,每个长桁夹持模块在 Z 向上各对应一套丝杠及电机,传动原理与 X 向相同,如图 6 所示。

长桁夹持模块主体由一个电动缸及夹持头组成,自身具备在 Y 向伸缩的能力。夹持头可以绕着与电缸安装部位的销轴转动,也就是绕 X 轴转动,结构及运动原

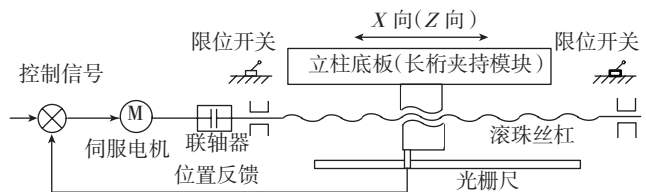


图6 单个立柱模块X向传动原理

Fig.6 Single pillar module transmission principle at X direction

理如图 7、图 8 所示。转动的控制主要通过导轨上的轮廓槽线来实现,因为夹持头沿着 Y 向向前运动时通过伸入轮廓槽中的销轴沿轮廓线实现一定角度的转动,以在夹持长桁后适应蒙皮外形曲率,可更换导板能够快装快卸并减少了伺服电机的数量。

3.2 控制系统设计

根据壁板组件预定位柔性工装各轴运动需要,控制系统需要实现 X、Y、Z 方向上总共 68 个电机运动控制及气缸、接近开关等开关量的控制,并且存在夹持同一根长桁的不同夹持器的同步运动控制,因此控制系统需要具备单点控制及部分联动控制功能。为了实现这一目标采用基于以太网和 Profibus 现场总线技术集成的控制系统,控制系统结构如图 9 所示。

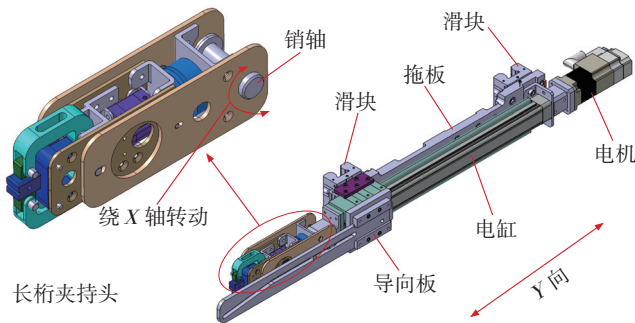


图7 长桁架夹持模块结构

Fig.7 Structure of stringer clamping module

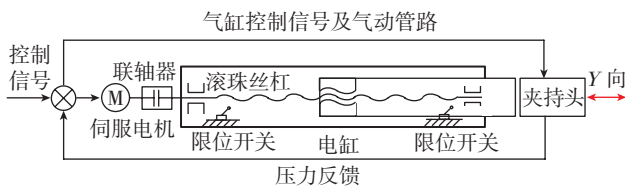


图8 长桁架夹持模块运动原理

Fig.8 Movement principle of stringer clamping module

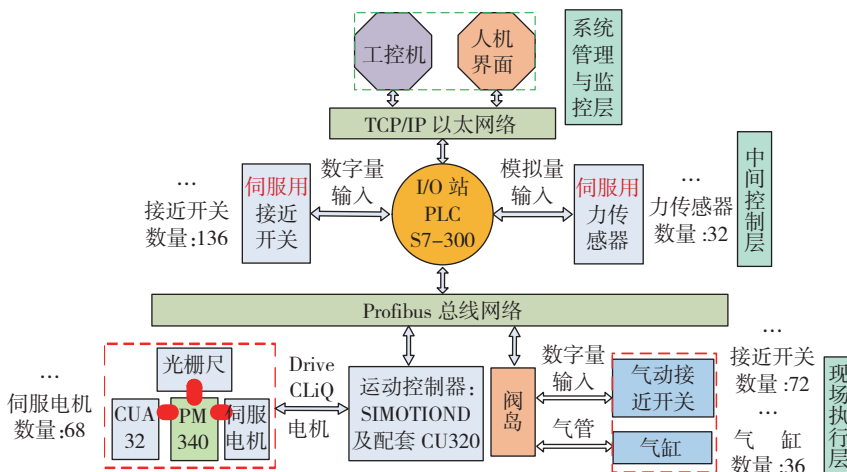


图9 控制系统结构

Fig.9 Structure of control system

采用这种控制系统拥有诸多优点:接线简单,在一条通信电缆上通常可挂接多种数字化设备,大量减少了电缆、端子的使用,精度高、误差小,提高系统工作可靠性的同时降低了安装和维护难度;同时,当前专用的运动控制器品种繁多,为控制系统省去了大量的硬件研制工作,缩短了开发周期。开发人员只需要选择带有标准接口、总线的运动控制器及其相应功能模块正确组态即可。控制系统界面如图 10 所示。

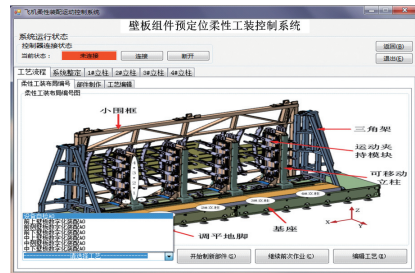


图10 柔性工装控制系统界面

Fig.10 Control system interface of flexible tooling

4 结束语

通过数字化柔性装配工装技术研究及柔性装配定位方式分析,结合中机身壁板组件的结构及预定位需求,设计开发了一套针对某型飞机中机身壁板的预定位柔性工装系统,使壁板组件在预定位完成后进入自动钻铆机完成壁板的自动钻铆,形成针对壁板组件装配的数字化生产线,以期提高装配壁板组件的装配精度和效率。

经过工装的调试,各轴定位精度初步达到了设计要求,更详细的性能将通过试验件来进行检验测试。

参考文献

- [1] 王巍,贺平,万良辉.飞机柔性装配技术研究.机械设计与制造,2006(11):88-90.
- [2] 王云渤,张关康,冯宗律.飞机装配工艺学.北京:国防工业出版社,1990:1-5.
- [3] 范玉青.现代飞机制造技术.北京:北京航空航天大学出版社,2001:3-10.
- [4] 郭红杰.大型飞机装配技术.航空制造技术,2010(18):52-54.
- [5] 潘志毅,黄翔,李迎光.飞机制造大型工装布局设计方法研究与实现.航空学报,2008(3):757-762.
- [6] 郭恩明.国外飞机柔性装配技术.航空制造技术,2005(9):28-32.
- [7] 肖庆东,王仲奇,马强,等.大型飞机数字化装配技术研究.中国制造业信息化,2007,36(3):26-29.

(责编 亿霖)