

飞机部件装配数字化柔性工装技术研究

Research on Flexible Tooling Technology for Digital Assembly of Aircraft Fuselage

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰 康晓峰
北京航空航天大学机械工程及自动化学院 王亮
中航工业北京航空制造工程研究所 张书生 刘华东

[摘要] 面向新一代飞机机身部件数字化、柔性化装配需求,基于柔性工装技术,设计了飞机机身部件数字化柔性装配工装系统。通过研究数字化柔性装配工装及其相关技术,详细设计了柔性工装的机械系统,建立了基于现场总线技术的工装运动多轴控制系统,开发了柔性工装系统专用的装配数据生成软件。飞机部件装配数字化柔性工装的设计,为在国内推广应用柔性装配工装技术,构建数字化柔性装配生产线,实现新一代飞机的全数字化装配奠定了基础,具有重要的现实意义。

关键词: 机身部件 柔性工装 柔性装配生产线

[ABSTRACT] The system of digital flexible assembly tooling to the fuselage for requirement of flexible assembly of next-generation aircraft is designed based on flexible tooling. By studying on digital flexible assembly tooling and its related technologies, mechanical system of the flexible tooling is designed, multi-axis motion control system for tooling based on field bus technology is established, and flexible tooling system specific to the generating software of assembly data is developed. By the design of digital flexible assembly tooling for aircraft fuselage, it has important practical significance that promotes application of flexible assembly tooling, to build flexible assembly line and achieve full digital assembly which lays the foundation for next-generation aircraft.

Keywords: Fuselage Flexible tooling Flexible assembly product line

飞机部件装配过程是将大量的飞机零件按照数模、相关技术要求等进行组合、连接,实现从零件到组件,再到段件,最终形成部件的过程^[1]。由于飞机产品的独特特点(零件数量多、刚性低、外形复杂、装配精度要求高),使得在飞机装配过程中,需要应用大量装配工装。工装在飞机装配中占有重要地位。

在传统飞机装配模式下,主要采用刚性专用工装,工装数量多、占地面积大、生产周期长、制造成本高。随着国内新机型号的逐渐增多,传统的刚性专用工装已经不能实现现代飞机多品种、小批量生产的需要,已经成

为制约国内飞机装配技术发展的主要因素之一。国内在“十一五”期间,对飞机壁板类组件级装配柔性工装以及大部件对接装配柔性工装方面进行了研究,取得了部分成果^[2-4]。但在飞机机身部件级装配方面,柔性工装的研究应用还是空白。

机身部件装配工装的落后,制约了数字化柔性装配技术的深入应用,阻碍了新一代飞机数字化柔性装配生产线的构建。因此,迫切需要开展针对飞机部件级装配柔性工装的研究,以打通飞机数字化装配各个环节,实现国内飞机产品的全数字化制造装配。

基于上述需要,面向新一代飞机数字化、柔性化装配需求,本文以某系列飞机机身部件为应用对象,设计完成了用于该类型结构特点机身部件装配的数字化柔性工装。机身部件柔性装配工装的设计,为国内开展飞机部件柔性装配的工程应用提供了条件,对深入研究应用飞机数字化柔性装配技术,具有重要推动作用。

1 飞机数字化装配柔性工装技术

1.1 数字化柔性工装的定义和构成

飞机数字化装配柔性工装是指在飞机装配中为了提高工装快速响应产品变化能力,缩短工装准备周期,降低工装制造成本,而采用的一种基于产品数字量尺寸协调体系的模块化、可自动调整重构的装配工装。柔性工装技术是指围绕柔性装配工装的设计、制造、应用而形成一系列技术的总称^[5-6]。

柔性工装系统的构成,按功能划分可分为静态框架和动态模块,其中静态框架模块是已经模块化的框架,主要由标准件与连接件组装而成,是整个工装系统的结构基础;而动态模块则是根据具体产品的具体需求而设计的,其存在多个自由度,通过可调整连接装置依附在静态框架上,并根据产品特征不同配置与之对应动态模块;动态模块可以通过调整自由度或连接装置来改变模块状态,达到适应同类相似产品需求。

以飞机壁板类装配柔性工装为例,数字化柔性装配工装按其功能模块可分解为图1所示的构成。

1.2 数字化柔性工装的定位

与传统工装固定的定位器相比,数字化柔性工装的

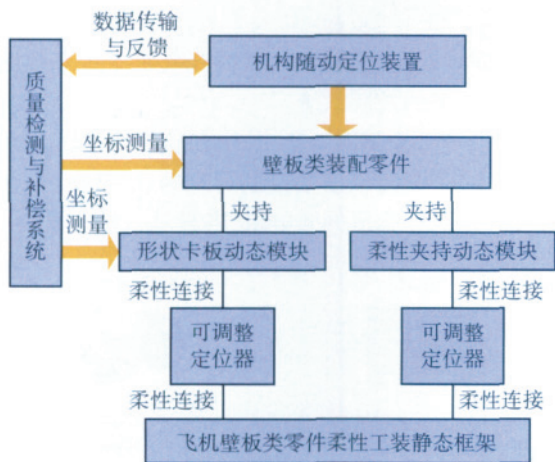


图1 数字化柔性装配工装的构成

Fig.1 Composition of digital flexible assembly tooling

定位依靠控制系统控制实现。工装定位数据由控制系统来传递执行,具体过程为:首先定位数据以数字量形式传递给控制系统,柔性控制系统把定位数据以数字量形式传递给定位执行机,最后由定位执行元件数字运动实现定位,从而实现了整个过程的全数字量传递。

柔性工装的定位执行机构也称为随动定位装置,是一个高精度的数字化自动控制装置;其伺服驱动机构带动自动化定位机构对装配件进行调整和运动,完成装配零件的定位。柔性工装的定位过程也就是随动定位装置的调整控制过程,一般柔性工装定位随动装置的控制调整策略如图2所示。

2 部件装配柔性工装的结构与原理

2.1 飞机部件的定位方法研究

飞机部件产品装配和定位有以骨架为基准和以蒙皮为基准两种典型模式,翼面类部件多以蒙皮为基准,

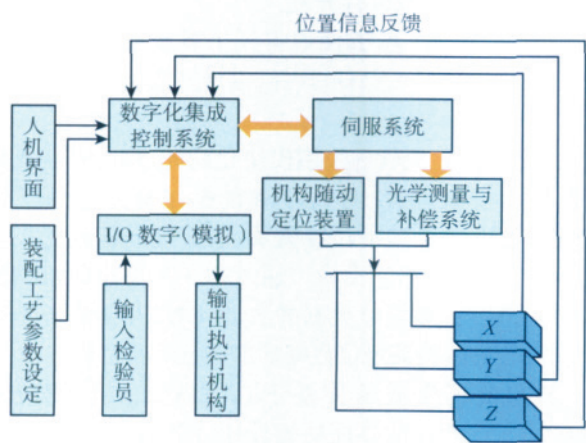


图2 数字化柔性装配工装的控制策略图

Fig.2 Strategy map of control for digital flexible assembly tooling

机身部件多以骨架为基准实现装配。因此,针对本项目面向机身部件装配的特点,工装定位方式将以骨架为基准定位为主。定位主要特点如下:

(1)飞机机身部件骨架结构主要由框梁类结构组成,对整个飞机部件起到支撑定位作用。

(2)机身部件装配的主要定位交点多集中于加强框和重要的梁等主承力构件上,其他弱刚性零件主要以主承力构件为定位基准。

根据上述定位特点可知,面向机身部件装配的柔性工装的主要功能需要完成对机身主承力构件和重要结合交点的装配定位,在本项目中主要实现对机身加强框和交点的定位。

2.2 柔性工装的整体结构和原理

根据上述定位方法的分析,机身装配柔性工装主要用于定位机身上的加强框,而加强框的定位主要以孔定位为主。因此,按照上述要求,设计完成了图3所示的机身部件装配柔性工装。

该柔性工装为桥架式结构,上下各5组横梁,每个横梁上有4组定位器(设计最多可安装6组定位器),每个定位器具有在空间3个运动自由度的运动功能,定位器动作的X、Y、Z方向分别如图3中所示。

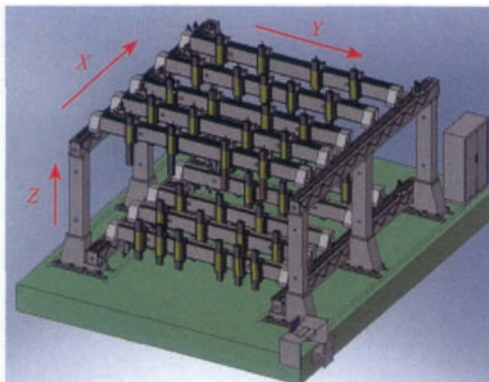


图3 总体方案三维模型简图

Fig.3 Diagram of overall program for three-dimensional model

工装在应用中,通过上下横梁上的定位器的数字控制运动调整来定位机身部件结构中的各个加强框,实现工装的数字化定位;而当飞机产品型号变化时,通过将定位器调整重构来实现不同产品的装配,针对不同机型或部件的结构特点,特殊需求的定位部分采用局部专用可拆卸结构,从而实现工装的柔性功能,使其满足“一架多用”的需要。

3 机身部件装配柔性工装设计

机械系统是柔性工装的基础,根据柔性工装的原理可知,其在结构上主要由静态框架和动态定位器组成,

通过控制动态定位器在静态框架上的精确运动,从而实现柔性工装的柔性定位功能。因此,静态框架、动态定位器是柔性工装机械系统设计中的关键。

由于工装中定位器数量众多,要完成多个定位器的精确控制,就对柔性工装的控制系统提出了更高的要求,因此,控制系统设计是柔性工装系统设计的重要组成部分。

工装系统定位器的运动数据需要根据产品的数模得到,为了方便地获得工装的运动调整数据,同时为装配过程提供参考数据,专用的装配数据生成软件必不可少。因此,装配数据生成软件的设计开发也是整个工装系统设计的重要任务之一。

3.1 机械系统设计

机械系统设计的关键是静态框架和动态定位器的设计,而静态框架和运动定位器通过传动结构有机的结合在一起。

柔性工装的静态框架,主要采用桁梁式结构,由标准的型材钢管焊接构成,结构刚度好,开敞性佳。

动态定位器是实现工装系统柔性功能的关键,根据后机身部件结构不同的定位需求,定位器采用分布式和成组协同式布局方式。定位器设计采用模块化方法设计,其结构紧凑简易。

传动机构是工装机械系统设计的重点,其主要包括3个方向的传动结构设计,具体如下:

X向横梁运动机构设计是典型的“直线导轨+齿轮齿条”传动机构,齿条和直线导轨平行布置,固定在横梁上,双边伺服电机通过齿轮驱动横梁两侧辅助调整滑板,进而带动横梁移动,实现横梁上定位器的X向调整功能。

为了提高工装系统的可靠性,降低工装的制造成本和技术风险,工装系统中的电机使用数量应尽量少,因此,工装设计中在X向传动上采用了专用的调整滑板,其装有传感器,可对5个横梁进行辨识,调整滑板和横梁进行结合的同时,小车锁紧机构,可对横梁X向位置夹紧,等待接受电控系统命令,完成X向的动作指令。调整滑板的应用,可使工装在X向的调整减少8个电机。

Y向与Z向横梁分别了设计运动传动机构,这两个方向的传动与X向传动机构类似,都是通过“直线导轨+齿轮齿条”的传动机构实现的。

同样,为了控制伺服电机数量,为了节省空间,在Y向和Z向的传动均采用了专用移动装置。

3.2 控制系统设计

根据部件装配柔性工装系统原理,工装控制系统需要完成对40个定位器的运动控制,而每个定位器包含3个方向的运动控制,因此,其运动控制属于超多轴控

制范畴。

为了实现对工装系统的精确控制,基于现场总线技术,设计了如下的控制系统。

控制系统结构如图4所示,主要包括HMI(人机交互界面)、主机服务器、多轴控制管理器、手持单元、数字智能伺服控制器、交流伺服电机,各种输入输出开关等。

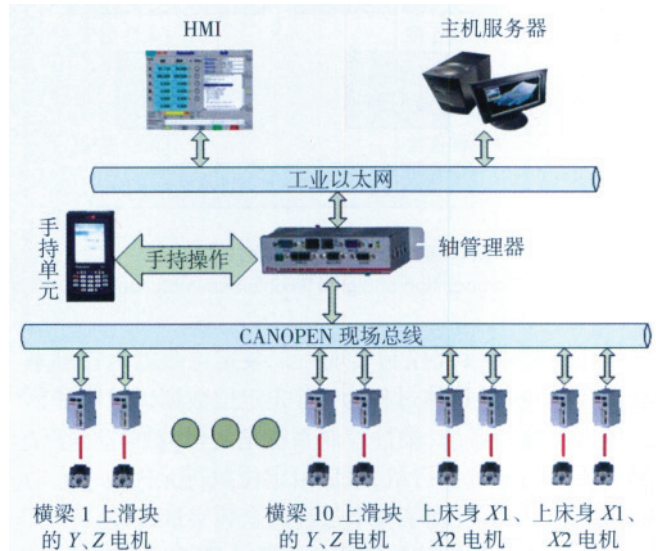


图4 控制系统组成

Fig.4 Composition of control system

制系统工作过程中,以智能数字伺服驱动器作为终端,实现电机控制、I/O信号输入输出以及压力传感信号处理,依靠多轴管理器通过CANOPEN现场总线控制网络进行协调管理,多轴管理器通过以太网与HMI通讯实现人机交互,接收控制数据。主机服务器通过工业以太网与HMI以及轴管理器通信,实现数据保存和备份。

3.3 装配数据生成软件开发

为了准确、快速、方便地得到工装运动数据以及装配基准数据,基于CATIA软件,设计开发了工装运动生成软件。

装配数据生成软件采用模块化功能设计,其构成如图5所示,主要包括:对CATIA的操作模块、装配关键点操作模块、工装运动仿真模块、装配现场可视化模块以及装配基础数据库模块。通过这5个模块的协调配合,可实现对工装定位数据的自动计算,并能完成工装运动的仿真,以验证定位数据的准确性和可靠性。

装配数据生成软件基于CATIA二次开发技术VBA,完成了软件的界面功能设计,同时在工装运动仿真中利用了CAA技术,充分利用了两种开发技术的优势,实现了软件的功能需求。图6所示为软件的主界面。

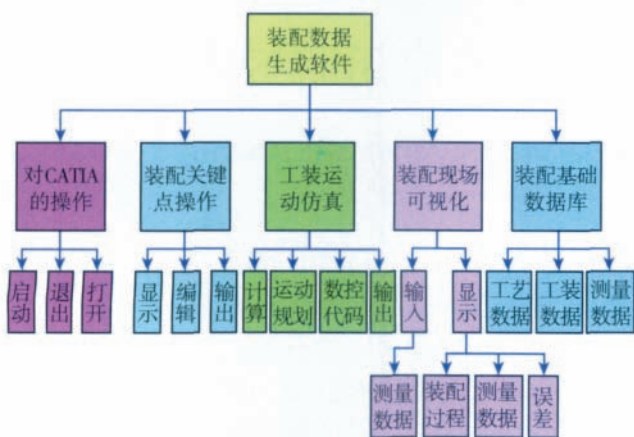


图5 装配数据生成软件设计
Fig.5 Design of generative software for assembly data

4 结论与展望

通过研究飞机装配数字化柔性工装的原理和构成,面向新一代飞机机身部件数字化装配需求,设计了一套数字化柔性装配工装。



图6 装配数据生成软件主界面
Fig.6 Main interface of generative software for assembly data

(1) 该工装主体结构尺寸、定位器数量和调整行程可涵盖最少7个机型机身部件装配。

(2) 通过采用桁梁式静态框架结构,结构紧凑的运动定位器,依靠“直线导轨+滚珠丝杠”传动机构,实现了工装的柔性功能。

(3) 基于现场总线技术,建立了用于定位器运动控制的超多轴控制系统,基于CATIA二次开发技术,开发了专用装配数据生成软件,实现了整个工装调形定位过程的数字量传递。

机身部件装配数字化柔性工装的设计研制应用,对提高国内柔性装配的技术水平,形成企业快速响应能力,促进我国飞机制造装备研制能力的发展具有重要意义。

参考文献

[1] 何胜强. 飞机数字化装配技术体系. 航空制造技术, 2010(23):32-37.
 [2] 邹方, 薛汉杰, 周万勇, 等. 飞机数字化柔性装配关键技术及其发展. 航空制造技术, 2006(9):30-35.
 [3] 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.
 [4] 荆道艳, 许国康, 王姮, 等. 大部件对接的数控定位器技术研究. 航空制造技术. 2010, (23):117-120.
 [5] 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.
 [6] 李原. 大飞机部件数字化柔性装配若干关键技术. 航空制造技术, 2009(14):48-51. (责编 小城)

(上接第59页)

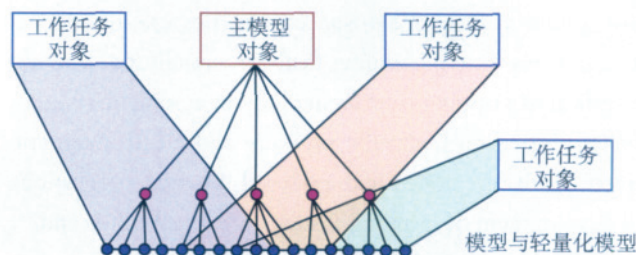


图4 基于主模型的轻量化管理
Fig.4 Light weight management based on main model

制造过程中,轻量化模型主要支持制造过程的可视化与自动化集成作业。其特点是当前有效性,即操作者现场所见即当前有效。其有效性与源数据的变化密切相关,当更改发生时,自动触发轻量化模型的失效,并重新发布轻量化模型,失效的模型视企业管理模式进行不同程度的处理。借助轻量化模型,设计与制造数据可轻易实现异地共享和交流,支持在企业内部建立不同部门之间的异地产品开发的基础和机制,提供信息共享、同步和协同作业环境。

4 结束语

全三维技术可保证数据源的唯一可控、上下游数据畅通、关联关系明确、现场可视化程度高、可操作性强和响应快速变更,是飞机数字化研制的基础。深化应用全三维技术,必将实现快速研发新产品、提高产品质量、缩短产品研制时间,为飞机快速研制提供技术支撑。

参考文献

[1] 于勇, 陶剑, 范玉青. 大型飞机数字化设计制造技术, 应用综述. 航空制造技术, 2009(11):56-60.
 [2] 陈蓬. 应用CATIA V5实现无图制造. CAD/CAM与制造业信息化, 2003, 8:52-53. (责编 三丰)