

飞机数字化柔性装配 工装技术*

Aircraft Digital Flexible Assembly Tooling Technology

西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室 李西宁 胡匡植 李维亮 徐 健
中航飞机股份有限公司汉中飞机分公司 杨汉荣



李西宁

副教授, 博士。研究方向为装配与连接技术、板料成形技术。主持和参加“863”计划、国防基础科研、科技支撑计划等项目 10 余项。

飞机柔性装配工装技术作为先进数字化装配技术的重要组成部分,在国内外航空企业得到了广泛关注和应用。迄今为止,飞机装配技术已经历了从手工装配、半自动化装配、自动化装配到柔性装配的发展历程^[1-2]。近年来,为了缩短飞机生产

本文在总结国内外典型柔性工装及其应用情况的基础上,对飞机数字化柔性装配工装涉及的柔性工装快速设计技术、柔性工装仿真技术、柔性工装集成控制技术、柔性工装数字化安装技术以及柔性工装评价方法等关键技术进行了分析探讨。

准备周期,开始向飞机产品的工艺装备提出了“柔性”的要求;另外同型号飞机的不同组件、部件或同类型飞机的对应组件、部件的工装很多具备基本相同或相似的特征,也为实现产品工装的“柔性”提供了可能,所以飞机柔性装配工装开始越来越多地应用到实践中。

柔性工装技术是基于产品数字量尺寸协调体系的可重组的模块化、自动化装配工装技术,其目的是免除设计和制造各种零部件装配的专用固定型架、夹具,可降低工装制造成本、缩短工装准备周期、减少生产用地,同时大幅度提高装配生产率。柔性工装一般具有柔性化、数字化、模块化和自动化的特点。柔性化表现在工装具有快速重构调整的能力,从而一套工装可以用于多个产品的装配,这是柔性工装的最根本特点;数

字化特点体现在其从设计、制造、安装到应用均广泛采用数字量传递方式,是一种数字化的工装^[3];模块化体现在柔性工装在硬件上主要由具有模块化结构特点的单元组成,模块化结构单元的重构实现了工装的柔性;各模块化单元可自动调整重构,体现了柔性工装自动化的特点。

本文在总结国内外典型柔性工装及其应用情况的基础上,对飞机数字化柔性装配工装涉及的柔性工装快速设计技术、柔性工装仿真技术、柔性工装集成控制技术、柔性工装数字化安装技术以及柔性工装评价方法等关键技术进行了分析探讨。

国外柔性工装及其应用

国外航空制造企业大力发展柔性装配技术,普遍采用柔性工装,取得了非常显著效果。国外飞机柔性

* 国家科技支撑计划课题(2011BAF13B01和2011BAF13B07)资助。

装配工装主要包括多点阵成形真空吸附柔性工装、行列式高速柱阵柔性装配工装、自动化对接平台等^[4-7]。

1 多点阵真空吸盘柔性工装

多点阵真空吸盘式柔性工装的模块化单元为带真空吸盘的立柱式单元,其在空间具有3个方向的运动自由度,通过控制立柱式单元生成与壁板组件曲面外形一致并均匀分布的吸附点阵,利用真空吸盘的吸附力,能精确和牢固地夹持壁板以便完成钻孔、铆接和铣切等装配工作。当壁板外形发生变化时,工装外形和布局自动调整,通过改变定位和夹紧位置,可适应不同零部件结构和定位夹装要求,从而降低了综合成本,也缩短了工装准备周期和产品的研发周期。

多点阵真空吸盘式柔性工装可分为立式、卧式和环式3种结构形式,在机身壁板类组件的装配中,主要应用立式和环式结构的工装;卧式结构工装则在一些复材结构的水平尾翼和垂直尾翼的装配中有应用。

自20世纪90年代初开始,这种基于多点阵成形真空吸盘式柔性装配工装技术已广泛应用于戴姆勒-奔驰宇航、波音、麦道、格鲁门、英宇航、CASA、EADS/空客、庞巴迪宇航等公司军、民用飞机的柔性装配和生产中。

2 行列式结构柔性装配工装

行列式结构柔性工装是一种由多个行列式排列的立柱单元构成的工装,各立柱单元为模块化结构,独立分散排列,每个立柱单元上装有夹持单元,夹持单元一般具有3自由度的运动调整能力,从而可通过调整各立柱单元上多个夹持单元排列分布,来实现对不同飞机零件的装配。行列式柔性工装结构如图1所示。

行列式工装结构开敞性好,多与自动钻铆机配合使用。主要用于大型飞机的机翼壁板和翼梁装配。行列式柔性工装已广泛用于空客系列飞机的机翼壁板和波音公司大型军民飞机翼梁的柔性装配生



图1 行列式高速柱柔性工装

产中。在空客系列飞机机翼壁板柔性装配工装上可完成A330/340、A319/320/321、A300等系列飞机机翼壁板的装配。

3 自动化对接平台

自动化对接平台是一个集成了工装、测量系统、控制系统和计算机软件的综合系统。工装驱动采用优化的驱动数据,在控制系统的控制下,工装完成定位位置的调整、固定。根据飞机部件(前机身,中机身、后机身、机翼等)的结构特点,柔性多点支撑阵列有三角式、四点式、六点式等布局,具体布局方式取决于飞机部件结构特征。当被支撑飞机部件改变时,柔性支撑装置作为基本单元,不需重新设计。只是通过改变各柔性支撑装置的相对位置、增减柔性支撑装置数量,迅速重构组成新的柔性多点支撑阵列的方式,实现多机型共用同一支撑工装,从而满足新部件支撑要求。与传统的对接平台相比,自动化对接平台能够提高机体装配质量和效率,缩短周期,通用性强,适应不同尺寸的机身机翼结构。

根据工装的结构特点可把当前的大部件对接平台分为3种形式:柱式结构工装平台、塔式结构工装平台和塔柱混联式结构的工装平台。

柱式结构平台结构简单、开敞性好,但其承载重量相对较小,多用于支线客机或军机等中小型飞机的装配中。在F35的部件对接中,采用AIT公司的EMAS系统,就是一个典型的柱式结构平台。塔式结构平

台形体较大,具有像伸缩臂一样的运动调整部分,可从侧面支撑和驱动部件,承载重量大,但结构复杂,多用于大型客机如空客A380的对接。

国内柔性工装及其应用

针对飞机型号研制需求,国内航空企业联合相关高校、研究所,加大了先进数字化装配技术研究工作,开发了面向组件、部件和大部件对接的柔性工装系统,并得到了实际应用。

其中浙江大学与中航工业西飞公司研制的某型飞机大部件对接柔性工装系统,针对飞机数字化装配中大部件调姿与对接问题,设计了一种三坐标POGO柱,在此基础上提出了一种基于三坐标POGO柱三点支撑的姿态调整方法^[8]。

西北工业大学与中航工业西飞公司基于壁板组件预装配、壁板组件自动钻铆和壁板拼接的集成思想,研制了用于某型飞机壁板组件预装配柔性工装^[9-10],如图2所示。壁板组件预装配柔性工装的长桁夹持机构可实现三个方向的运动以及绕X轴的转动,其中绕X轴的转动是通过长桁夹持机构导轨上的导向槽实现的(如图3所示),从而使长桁与不同曲率蒙皮贴合,完成某型飞机蒙皮、长桁、剪切片的预装配,提高了装配质量,减少了占地面积。

飞机数字化柔性工装关键技术分析

随着先进数字化装配技术的发展,以及型号研制的迫切需求,对柔性工装技术提出了更高的要求。现代的柔性工装已经不再像传统的刚性工装是一个单纯的机械装置,而发展演变成为一个集成了工装结构部分、测量部分、控制部分和其他部分(润滑、工作梯等)的综合系统。目前,柔性工装涉及的关键技术有以下几种。

1 柔性工装快速设计技术

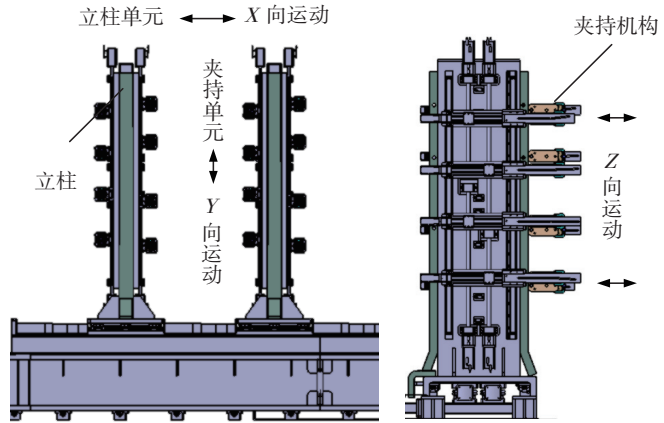


图2 壁板组件预装配柔性工装

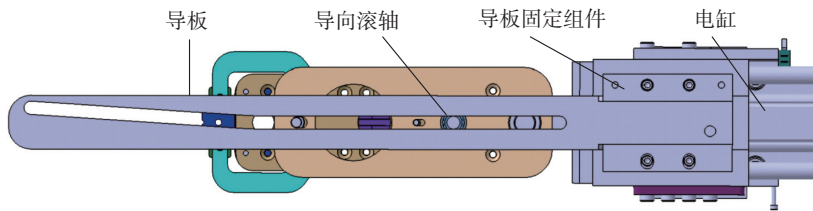


图3 转动导向部分示意图

国外飞机制造企业一直在探索研究飞机柔性装配工装设计技术,如将模块化设计技术应用于飞机柔性装配工装的设计中,如在 A380 的工装研制中,采用了标准立柱、标准液压定位模块、夹紧模块、数字化定位模块等,使飞机工装的结构发生了根本的变化,提高了飞机装配型架的设计制造效率,同时对装配质量的提高起到了极大的作用^[11-12];AIT 公司建立了标准的工装模块,广泛应用于多个型号的工装设计中,支撑飞机部件完成多机型飞机部件自动定位支撑和对接安装,取得了良好的效益;洛克希德·马丁公司在 JSF 原型机 X-35 的研制中采用了先进的模块化柔性装配工艺和系统,缩短飞机装配制造周期三分之二,由单机 15 个月缩短至 5 个月,工艺装备由 350 件减少到 19 件,制造成本降低一半^[13]。

虽然国内柔性工装使用日益广泛,但对柔性工装快速设计技术的研究较少,与国外有较大的差距。主要体现在设计方法、使能工具等方面。由于飞机数字化柔性装配工装具有

典型的模块化特征,因此基于产品平台的可变形快速设计可以缩短工装设计周期,是实现柔性工装快速设计的有效途径。

2 柔性工装仿真技术

柔性装配工装设计完成之后,通常对结构部分进行力学仿真分析,以校核其强度、刚度。但由于柔性工装定位夹紧等机构的零件众多,且其位置随产品而变,因此仿真时的结构简化、加载方式等地选择是实现柔性工装精确仿真的困难之处。

另外,人机功效也是仿真分析的重要方面。通过人机功效分析以检查工装、产品零部件之间的装配关系,包括可达性、顺序性、方向性、干涉情况等,帮助设计人员及早发现产品设计中的缺陷。由于飞机产品结构复杂、要求高、关键部位多,装配关系复杂,其数字化工装及操作平台结构更为复杂,包含数字化定位器等运动机构,大量的数据和结构关系、机构等导致计算机运行速度和仿真效率的严重低下,甚至无法进行。通过对数字化装配工装、操作平台及工具

等结构特点进行分析,实现工装结构的轻量化,建立相关的运动机构和机制,并保证仿真结果的正确性是仿真分析的重要课题。

3 柔性工装集成控制技术

数字化柔性工装中的精确定位,通常是由控制系统通过驱动伺服电机实现定位点的运动来完成的,因此伺服控制系统是实现飞机柔性装配技术重要的一环。随着飞机产品复杂程度的增加,保证飞机装配过程中所需各种运动部件的精确定位,实现工装系统对飞机部件的可靠固定,提高装配效率,这些都对柔性工装的控制系统提出了更高的要求。

目前伺服控制系统在向网络化、系统化、自动化、柔性化以及高鲁棒性和高精度的方向发展。通过飞机装配特性,以及数字化控制系统的特征分析,研究柔性工装集成控制技术是实现柔性工装高精度定位的有效途径。

4 柔性工装数字化安装技术

能否保证飞机装配的质量在很大程度上取决于飞机装配工装的准确度,而且主要是工装的安装准确度。为保证飞机装配工装的安装质量,工装安装方法从传统的使用通用测量工具安装(如使用拉线、吊线方法安装工装)、使用标准样件安装工装、使用工装装配机安装工装等,发展到使用数字化方法安装飞机

装配工装^[4]。国外先进的飞机制造商在装配工装安装时普遍采用数字化安装方法,如波音 737、777、C-17 等飞机翼梁的装配工装的安装就采用了激光跟踪仪实时测量来装配工装。

虽然国内飞机制造企业在 M600、ARJ21 等装配过程中同样使用激光跟踪仪来保证装配工装的准确度,相对而言,国内在飞机装配工装安装时虽然已普遍应用激光跟踪仪,但相关基础理论仍然缺乏,如坐标系的建立(ERS 构建及 OTP 点设置以经验为主)、误差分析与补偿等,同时室内 GPS 等其他数字化技术还在发展中。

5 柔性工装评价方法

目前,对于柔性工装及其技术尚没有统一的评判标准。通过评价方法研究,建立数字化柔性工装及其技术的评价模型,可以为企业分析自身在行业中的地位与水平、制定合理的装备发展规划、进一步提高装备技术

水平指明方向并为实施柔性工装提供决策参考。

整体性,各种技术有机结合而发挥作用,技术评价具有整体性;层次性,一个国家的生产活动由各地区、各行业和各部门的生产活动构成,而行业、部门的生产活动又可以继续细分,即技术评价具有层次性;动态性,技术总是处于不断的发展中,不会长期停留在一个水平,对技术评价应考虑技术的发展潜力和未来发展趋势,即对技术进行动态评价;相对性,技术评价需要有一个“参照物”,评价结果是相对的,不是绝对的;环境适应性,技术系统是一个开放的体系,任何技术的产生和发展都离不开一定的环境,因此,进行技术评价时需考虑环境因素。”

对于飞机柔性工装及其技术的评价,首先应该考虑整体性、层次性、动态性、相对性和环境等因素,提出构建评价指标集的原则;综合考虑技术水平、装备可靠性、装配柔性、

经济效益等方面因素,建立评价指标集;根据拟定的评价流程,构建合理的柔性工装的评价模型,准确评估柔性工装其技术实施效能。

结束语

近年来我国的柔性装配工装技术虽然发展迅速,但与国外先进飞机装配技术相比较,仍然存在差距,有些方面甚至还处于空白,制约了飞机研制生产水平的提高。分析柔性工装技术存在的问题和发展方向,深入研究和应用柔性工装设计技术,突破我国柔性工装技术中的薄弱环节,推动柔性工装技术在飞机制造的全面、协调、有效发展和应用,对于促进使我国飞机数字化装配技术尽快达到国外先进水平,实现行业的跨越式发展具有重要意义。

本文共有参考文献 14 篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 小城)

- WSUT-P 是五森研制新一代超声波专用探伤设备,设计先进,选材精良,精工细作的制造工艺。
- 用于航空航天、核电电力、石油石化等重要产品的管、棒材超声波检测。
- 高精度的主机检测系统,采用国际先进的电容耦合技术,旋转头、三辊定心驱动装置集成在同一升降检测平台上,保证探伤区域同心度及产品检测稳定可靠。
- WSUT-P 配置计算机控制系统,提供人机交互界面、动画显示、数据存储、报表打印、通讯等功能。



上海五森检测设备研制有限公司

地址: 上海市宝山区大康路325号A-4 邮箱: wusenjiance@163.com

电话: 021-56484445 56484442 网站: www.wusenjiance.com

广告索引号 13-064