

飞机柔性装配工装关键技术及发展趋势

Key Technology and Development of Flexible Assembly Tool for Aircraft

南京航空航天大学机电学院 王建华 欧阳佳 陈文亮



王建华

研究员级高级工程师,曾任西安飞机工业(集团)有限责任公司副总工程师、技术装备公司总工程师、上海航空特种车辆有限责任公司总工程师兼总工程师,现任上海飞机制造有限公司工装部部长。

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

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。

工艺过程,实现飞机装配制造的柔性化和快速化,成为飞机制造企业面临的技术瓶颈和研究热点。

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^[1]。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。

国内外现状及存在的问题

1 国外现状

国外飞机装配技术发展迅速,大部分航空企业已经着手开发并应用了柔性技术,以波音和空客两大国际民用飞机制造公司为代表,均已广泛采用柔性工艺工装。国外柔性工装

典型结构主要有以下3种形式。

(1)多点阵真空吸盘式柔性工装。

多点阵真空吸盘式柔性工装是由带真空吸盘的立柱模块单元阵列排布组成的工装结构。立柱单元由伺服电机驱动,可沿空间3个方向运动到任意位置。通过立柱单元的控制移动和真空吸盘的自适应倾斜调节,可生成与任意产品曲面相符合的均匀分布的吸附点阵。通过真空吸盘的吸附夹持作用,将产品装夹紧固。当产品外形发生改变时,吸附点阵的外形和整体布局自动调整,以适应不同的产品结构和定位要求,从而降低了综合成本和缩短了工装研制周期,提高了产品制造精准度。

根据产品装配方式的不同,多点阵真空吸盘式柔性工装可分为卧式、立式和环式结构。立式和环式结构

工装主要用于机身壁板类组件的装配,卧式结构则用于一些复合材料的水平尾翼和垂直尾翼的装配。根据不同的运动调整需求,多点阵真空吸盘式柔性工装又可分为多轴式和单轴式结构。图1为多点阵真空吸盘式柔性工装。

(2) 行列式结构柔性装配工装。

行列式结构柔性工装适用于飞机壁板类和翼梁的装配,如图2所示,美国 Electroimpact 公司研制的高速铆接系统柔性装配型架,已经在 A330/340, A319/320/321 和 A300 飞机机翼壁板的装配中得到成功应用。行列式结构柔性工装是由模块化结构单元——立柱组成的,以行列式独立排列分布。立柱单元上装有可三维移动调整的夹持单元,通过调节夹持单元的位置来完成不同产品组件、部件的装配。

由于行列式结构柔性装配工装独立排列分布、开敞性好,便于与自动钻铆机集成使用,组成自动化柔性装配平台。

(3) 自动化对接装配系统。

自动化对接系统主要由数控定位器、激光测量系统、集成控制系统和计算机软件组成。控制系统的控制指令和测量系统的反馈信息进行比较和控制调节,驱使伺服电机控制

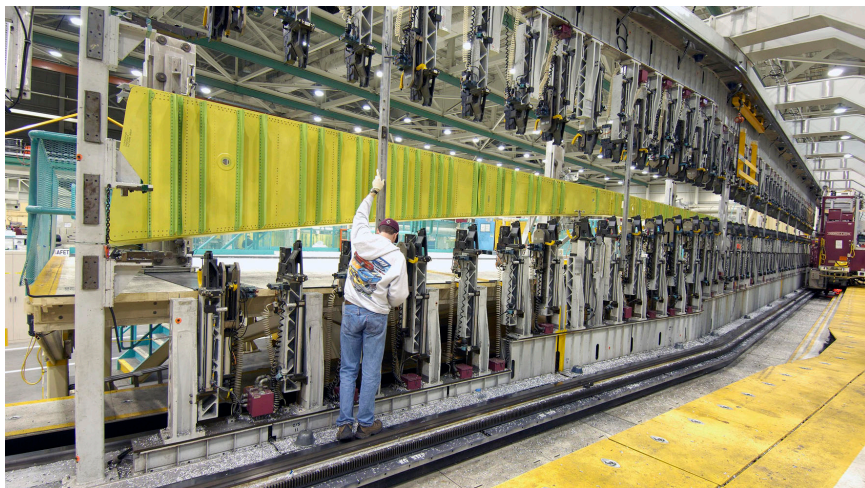


图2 行列式结构柔性装配工装

定位器按要求运动到理论位置。这种自动化对接平台定位精度高,自动化控制能力强,能够适应不同尺寸的飞机部件产品的装配。

根据定位结构的不同,将自动化对接系统分为3种类型:

(1) 柱式结构的自动对接系统。其工装布局分散,开敞性好,定位器向上支撑,调整和定位飞机部件产品。定位器与飞机部件产品采用工艺支撑连接,由伺服电机驱动实现 X、Y、Z 3 个方向的运动。工装结构无需重新设计,依靠3个或者多个同类型的定位器之间协调联动来完成飞机部件的支撑、调整和定位。但由于其承载重量小,多用于军用飞机等

中小型结构飞机的装配。

(2) 塔式结构的自动对接系统。其结构形体较大,具有像伸缩臂一样的运动调整部分,可从侧面支撑和驱动飞机部件,承载重量较大^[2]。

(3) 混联结构的自动对接系统。其定位器不直接与飞机部件相连,而是通过托架连接,并由伺服电机驱动托架,实现飞机部件的位姿调整,从而完成飞机装配。托架结构受力条件好、变形小,可应用于大型飞机的装配,如波音 787 总装中采用的工装设备(图3)。

2 国内现状及存在问题

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。在飞机生产线上,由于飞机外形的复杂性,不同机型或同一机型不同结构的工艺装备必然有所不同,采用传统工装形式,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,如沈飞公司研究并工程化的翼身整体结构后段数字化柔性装配系统,该柔性工装平台采用分体式结构,通过改变支撑骨架高度或增加、更换辅



图1 多点阵真空吸盘式柔性工装



图3 波音787总装

助骨架梁等形式可重构定位单元,实现同族机型设计和改型产品的装配要求^[3]。西北工业大学设计的一套部件级数字化柔性工装系统则利用模块化的柱式结构,在伺服电机的驱动下,完成了X、Y、Z 3个方向的运动,实现了某机型4种型号襟翼产品的定位^[4]。北京航空航天大学 and 沈飞公司合作,设计了一种可重构调形单元,并在此基础上提出了数控柔性多点装配型架的柔性工艺装备,如图4所示^[1]。西北工业大学研制了一套机身壁板类组件装配工装,设计了相关承载立柱,采用真空吸盘定位和专用定位器夹持,通过伺服电机控制调整,完成了多种壁板的装配^[5]。从现有技术成果来看,国内柔性工装技术水平与国外技术相比差距还很大,缺乏自主研发能力,工装结构单一,大部分仅实现局部柔性化,数字化程度低,尚难满足柔性化生产的需要。



图4 数控柔性多点装配型架

柔性工装关键技术

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。柔性工装关键技术的攻关已成为飞机工装领域的重要研究内容,主要包括:

(1) 柔性工装模块化技术。柔性工装是由一系列可重构的模块化单元构成的工艺装备,每个模块化单元都对应工装的特定功能,每个模块又可单独设计模块集,根据实际装配情况,从装配集中选出所需模块单元,来实现工装的快速可重构设计,进而实现工装的柔性化。因此,柔性工装模块化设计技术是柔性工装设计的关键技术之一。模块单元可单独设计或组合使用。对于结构相似的产品,工装功能结构相同,只需着重

设计专用模块单元,结合通用的模块组,完成工装的设计。对于结构不同的产品,不同功能的模块可组合实现工装所需的功能。

(2) 柔性工装夹紧定位技术。工装的柔性化既体现在其能快速响应产品变化,也体现在夹紧定位机构的应变能力。面对不同的装配对象夹紧方式和夹紧结构不同,柔性工装夹紧定位方案直接决定柔性装配技术能否得以实现。

(3) 柔性工装结构优化设计技术。

柔性工装与一般刚性工装相比,结构较为复杂。合理的结构设计能够保证其有足够的结构强度、结构刚度和稳定性,从而完成飞机的装配。优化设计技术,在能够保证装配要求的前提下,提出合理可行的工装结构方案。因此,柔性工装结构优化设计技术是柔性工装关键技术中的重要一环。

(4) 柔性工装仿真测试技术。柔性工装结构复杂、数目多,柔性工装设计完成后,通常对结构部件进行力学仿真分析,以校核其强度,刚度。同时,结合轻量化技术,分析装配工装、操作平台及工具等结构特点,简化柔性工装结构,实现柔性工装精确快速仿真。仿真的另一目的是模拟柔性工装与产品的装配过程,检测两者装配是否存在干涉,装配顺序是否正确,产品的进出方式是否合理等装配关系。

(5) 柔性工装先进控制技术。柔性工装自动调整到精确位置是通过数控系统控制实现。利用数控系统的控制指令和测量系统的反馈信息进行比较和控制调节,驱使伺服电机控制重构单元按要求运动,其中,重构单元位置的精准度取决于数控系统的控制精度。因此,先进数字化控制技术是实现工装柔性化的一个重要关键技术。国外先进控制技术正朝着高效率化、高精度化、高速化、智能

化、网络化和模块化的方向发展。

(6) 柔性工装集成技术。单一的机械工装无法实现飞机的柔性装配, 需要结合测量系统、控制系统、仿真分析系统、夹紧定位系统等综合使用, 高效地完成飞机零部件的装配。只有各项关键技术的有效集成, 才能发挥柔性工装的技术优势。

(7) 柔性工装快速装配技术。快速装配技术是近年来行业内高度关注的技术焦点。无论是从战略需要考虑, 还是从市场需求出发, 飞机制造厂对于飞机的研制周期一再压缩, 为此, 提出柔性工装快速装配的技术需求。柔性工装快速装配不但要借助机电液一体化和计算机控制手段, 而且也对飞机装配工艺设计和工艺装备设计思路提出了更高的要求。3D 仿真技术、工装 MBD 技术、工程—工艺—工装 IPT 技术等要在柔性工装快速装配技术上充分显现出其积极的作用。

柔性工艺装备发展趋势

柔性工艺装备因其适应性、可重构性、短周期性、易活动性等特点必定会在航空制造行业内得到越来越普遍的应用。但其结构复杂性、技术复合性、专业继承性、操作高难度性、成本难控性以及研发艰难性等固有的特点又限制了其快速发展。因此, 为了充分发挥柔性工艺装备的优势, 尽量回避其不足, 在未来的发展中, 应该在以下几方面做出努力。

(1) 柔性工艺装备分级别分层次发展。对于不同的产品制造过程, 选用不同级别、不同层次的柔性工艺装备。例如, 相对简单的产品, 可以采用低成本、低技术含量的柔性工艺装备, 对于复杂的和影响产品最终效果的产品零部件, 可以采用高成本、高技术含量的柔性工艺装备。因此, 柔性工艺装备分级别分层次发展应该成为一个趋势。

(2) 柔性工艺装备分阶段发展。

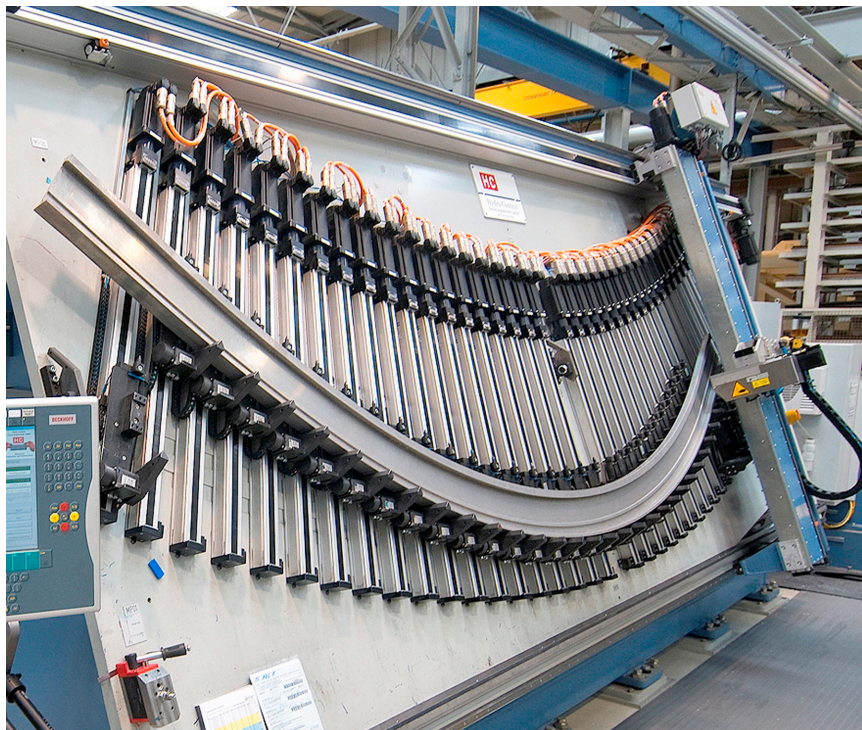


图5 柔性工装标准化

分阶段发展指的是根据产品的生产阶段特征对柔性工艺装备提出不同的需求。产品在研发期, 尽量在较少的部位采用简易的柔性工艺装备, 在产品进入小批量生产时, 可以考虑采用少量的柔性工艺装备, 在产品进行大批量生产时, 就要考虑大量采用技术含量高的柔性工艺装备。

(3) 柔性工艺装备设计和制造向标准化方向发展, 要形成行业标准、企业标准等, 培育为柔性工艺装备配套的零部件生产供应商, 大幅度降低研发成本(图5)。

(4) 柔性工艺装备应用先进技术和成熟技术并行, 比如采用机器人、高级激光测量技术、iGPS 技术等为目前的先进技术。也可以采用常规测量技术、常规液压技术、通用电器加部分刚性工艺装备等。

(5) 柔性工艺装备实现 MBD 研发平台。目前飞机工程设计采用了 MBD 技术, 延伸到工艺设计和工艺装备设计也有必要研究采用相关的 MBD 技术, 只有工程设计、工艺设计、工艺装备设计在共同的平台上开

展研发工作, 才会使柔性工艺装备的应用更早使用。

(6) 在工程设计过程中, 全面考虑柔性工艺装备设计。这也是国外飞机制造厂商近些年来逐渐建立的研发模式。即在工程方案设计阶段, 采用并行工作法, 或由工程设计人员兼顾工程设计和工艺装备设计, 融工艺装备设计于工程数据之中, 这为全面采用柔性工艺装备奠定了较有利的基础。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 郭洪杰. 大型飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2010(18):52-54.
- [3] 袁立, 郭洪杰. 一代飞机一代技术. 航空制造技术, 2012(23/24):38-41.
- [4] 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.
- [5] 王仲奇, 王赢, 康永刚, 等. 壁板组件柔性装配工装技术. 航空制造技术, 2013(12):44-47.

(责编 深蓝)