

新一代飞机自动化智能化 装配装备技术

New-Generation Automatic and Intelligent Assembly Equipment for Aircraft

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰



郭洪杰

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司飞机装配专业技术专家,主要研究领域为虚拟装配仿真与无图制造技术,数字化柔性装配技术;拥有11项国家专利,现场可视化装配技术研究成果获得国防科技进步奖二等奖。

数字化技术的应用是飞机制造业的一次革命性的变革,它将从根本上改变了传统的飞机装配技术^[1]。在现代飞机装配中,装配模式已从基

飞机装配已进入了数字化、自动化、柔性化、智能化装配时代。而航空专用装配装备技术发展成为推动飞机装配技术进步的引擎。

于模拟量传递的刚性装配方式发展成为基于全三维数字量传递,以柔性工装为装配定位与夹紧平台,以数控柔性制孔单元和自动钻铆系统为自动化加工设备,以激光跟踪仪等数字化测量装置为在线检测工具,在装配数据及数控程序的协同驱动下,完成飞机部件的自动化装配过程的柔性装配模式,飞机装配已进入了数字化、自动化、柔性化、智能化装配时代。而航空专用装配装备技术发展成为推动飞机装配技术进步的引擎。

数字化装配技术始于波音公司,波音公司最先尝试并探讨了改变传统装配方法的途径,首先在工装设计中采用基于DA决定性装配技术的共用孔定位减少工装,之后广泛采用

自动化装配系统,实现柔性化装配,最终形成移动生产线,使飞机的装配技术发生了革命性的变化。

近年来,随着数字化技术应用的不断深入,国内飞机装配装备技术已经有了很大的进步,在大部件自动对接、壁板类组件自动制孔、自动化电磁铆接等单点技术上已取得突破,初步实现工程化应用。但装配工装结构复杂,功能专用、单一,仍是一个工装对应一个产品的“一对一”模式,缺乏柔性,更换一个机型就需要生产制造大量工装,生产准备周期长,工装存储占地面积大,制造成本高,而且其结构形式不利于实现自动化装配,成为制约飞机装配技术的发展关键瓶颈问题之一。

国外技术发展现状

由数字化的柔性可重构工装、自动化的数控钻铆设备、数字化的测量检验设备和信息化的集成管理平台构成的飞机数字化柔性装配生产线,是现代飞机装配的典型特征^[2]。波音、空客等航空制造企业在新一代飞机如:波音 747、波音 757、波音 787、Q400M、A350、A380、F35、F22 等机型的研制中全面应用数字化柔性装配生产线。F35 的 3 种机型包括 CTOL (着陆型)、STOVL (短距离垂直起落型)、CV (舰载型)的装配放在同一条装配线上进行,不仅提高了装配生产率,节省了装配空间,而且在整个 F35 项目寿命期内节省了 3 亿美元^[3]。

西班牙 ARITEX / EMTE 研发的 F5/ EFA 机翼装配生产线属于典型的机翼类部件柔性装配生产线。由骨架和壁板蒙皮柔性定位系统(见图 1)自动钻铆系统、自动升降移动辅助工作平台、智能移动运输 AGV 车、高精度直线导轨和集成控制系统组成。生产线主要优势是高精度、高效率,并通过合理的生产线布局和节拍控制满足不同产品在同一生产线上不同产量的变化需求,提高高端装备设备利用率,降低生产成本。

针对不同的飞机组、部件结构特点采用对应的自动化、智能化装备组建数字化柔性装配生产线。其中比

较典型的柔性装配装备包括:翼面壁板装配用行列式柔性装配系统、机身超级壁板自动装配系统、飞机大部件自动对接装配系统等。

1 翼面壁板装配用行列式柔性装配系统

行列式柔性装配系统由行列式柔性工装、自动钻铆设备和集成控制平台组成,主要用于大型飞机的机翼翼梁和机翼翼板装配。行列式柔性工装由若干模块化立柱单元连续摆放构成,依据产品对象确定立柱单元使用数量,立柱单元可通过调整实现装配件的三维定位,工装结构开敞性好;配套的自动钻铆设备以龙门式结构为主;集成控制平台依据产品信息和在线测量数据驱动工装和制孔设备实现自动化装配。

2 机身超级壁板自动装配系统

机身超级壁板自动装配系统主要由壁板装配柔性工装、自动钻铆单元和辅助运输设备构成。在机身壁板装配中,多采用以蒙皮外形为基准的装配方法,因此,工装常采用多点阵真空吸盘式的柔性工装。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,吸盘可由程序控制三维移动到空间任何位置定位,生成与装配件曲面符合并均匀分布的吸附点阵,能精确和牢固地夹持壁板等装配件,当产品外形曲率发生变化时,工装外形和布局自动进行调整,可以适应不同的装配件

外形。自 20 世纪 90 年代初开始,已广泛应用于波音、麦道、格鲁门、英宇航、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。

德国 BRÖTJE 公司开发的机身集成装配系统采用了基于模块化的 POGO 柱单元的柔性工装、自动钻铆和环铆设备,并在波音 737、C-17、A380、波音 787 等飞机机身壁板装配上得到了应用。

3 机身大部件自动对接装配系统

机身大部件自动对接装配系统在国外飞机研制中应用已十分广泛。根据工装的结构特点可把当前的大部件对接系统分为 3 种形式:柱式结构(一般称为 POGO 柱或千斤顶)、塔式结构和塔柱混联式结构。

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,采用的 AIT 公司的 EMAS 系统(Electronic Mate and Assembly System)就是一个柱式结构平台。塔式结构具有像伸缩臂一样的运动调整部分,可以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 的对接中。混联式结构平台吸收了上述两种平台结构的优点,将柱式结构的定位工装通过连接托架两两相连,用连接托架支撑部件,通过调整托架来调整部件的空间位置,受力条件好、调整灵活,在波音公司最新的波音 787 和空客公司最新的 A350 的部件对接中都采用了这种混联式结构的对接平台。



图1 F5/ EFA机翼骨架和壁板蒙皮柔性定位系统

新一代飞机自动化智能化 装配装备关键技术

1 数字化柔性装配生产线规划技术

我国柔性装配工艺装备技术应用仍停留在单项技术研究应用阶段,没有形成系统的集成应用能力,未形成针对整体飞机产品数字化柔性装配生产线的规划布局能力。数字化

柔性装配生产线不是单纯地将自动化智能化装配装备做加法,其规划是一项复杂的系统工程,应依据产品特点、供货周期、产量需求、质量要求、自动化程度、资源情况和未来发展进行全局规划,合理利用现有资源设置工作站位和生产节拍,按照精益制造的原则设计生产线布局,最大限度提高高端装备(自动制孔铆接设备、大型高精度测量设备)的利用率,满足产品自动化精准装配需求。生产线规划的主要内容包括:对目标产品的尺寸范围和装配特征综合分析;柔性装配生产线建模和装配仿真优化;生产节拍规划和生产线平衡优化仿真分析;自动制孔铆接设备的配置和选型(工业机器人、五坐标数控设备、自动钻铆机);工序周转运输方案设计等。

2 基于MBD的设计制造一体化集成应用技术

装配工艺装备与飞机的结构特点和装配顺序是密不可分的,没有面向柔性精确装配的产品数字化定义作技术支撑,就难以实现飞机的自动化、智能化装配。基于MBD的设计制造一体化集成应用技术就是要实现面向设计、面向制造、面向装配、面向测量的产品定义。将以往用工装保证或标示的制造信息提前在产品设计中综合考虑和定义,充分利用产品本身的结构特征进行装配,简化工装结构。在零部件设计中尽量采用整体化设计,减少装配定位;在零件中预置定位基准孔,实现基于骨架定位和基准孔定位,取代原有的基于外形和卡板的装配定位方式;尽量采用刚度好、精度高、便于夹持定位的机加件取代刚度差、精度差的钣金零件;在产品便于测量的位置上建立关键特征点作为测量基准,作为装配过程控制和产品终检依据,取消工装作为检测依据的需求。基于MBD的设计制造一体化集成应用技术使得装配工艺装备结构简化,利于

实现自动化柔性装配。

3 柔性装配工艺装备设计制造技术

柔性工装的特点主要通过可自动调整的模块化结构单元来体现,自动重构要依靠在线测量数据和控制技术来完成。柔性工装的控制系统具有与普通数控机械的许多不同之处,表现在控制轴数多,传输数据量大;轴管理参数复杂,难度较大;物理地址复杂,逻辑映射关系复杂;电机行走,布线困难。这些特性增加了系统的设计难度和施工难度,此外工装控制系统要具有开放性,模块化单元数量增减不会对控制系统造成影响。柔性工装设计制造涉及到的关键点包括:模块化结构单元设计制造;先进的控制技术;装配仿真分析;工装驱动数据生成;传感检测;数字化测量和系统集成。

4 自动制孔连接技术

在飞机装配中,紧固件连接质量直接影响飞机结构抗疲劳性能与可靠性,采用先进的制孔连接技术是飞机装配技术发展的必然趋势。发展自动制孔连接技术包含设备研制和工程化应用工艺技术研究两方面内容。自动制孔设备研制关键技术包括孔位找正技术、法向找正技术、镗窝深度控制技术、制孔表面质量控制技术和多系统集成控制技术。自动制孔工程化应用工艺技术研究的主

要内容包括针对不同夹层材料不同厚度的制孔工艺参数选择与优化、制孔刀具的设计制造、设备工艺知识库的构建和配套数控托架设计制造等。

5 数字化测量技术

数字化测量技术是自动化智能化装配装备发展的技术基础和关键,测量系统直接为设备提供位置信息,可有效避免设备定位误差对系统定位精度的影响。如机器人钻孔或者焊接,在操作前按测量系统确认每一个位置,精度不受机器人磨损、温度变化以及负载变化的影响。现代飞机制造领域常见的数字化测量技术与系统主要包括激光跟踪仪、电子经纬仪、电子全站仪、室内GPS(iGPS)、自动制孔系统中的孔位找正与法向找正、工业近景摄影测量、激光雷达等。主要研究内容包括:测量方案的策划、测量数据分析与处理、测量设备与其他制造设备或工艺装备的集成。

新一代飞机自动化、智能化 装配装备应用

1 大部件自动对接装配系统

目前,国内飞机大部件柔性对接系统已逐步实现工程化应用,如浙江大学为成飞设计的大部件对接工装,特点是将定位器(POGO柱)成组置于可移动的小车上,满足大范围移动要求,每个定位器可进行三自由度微

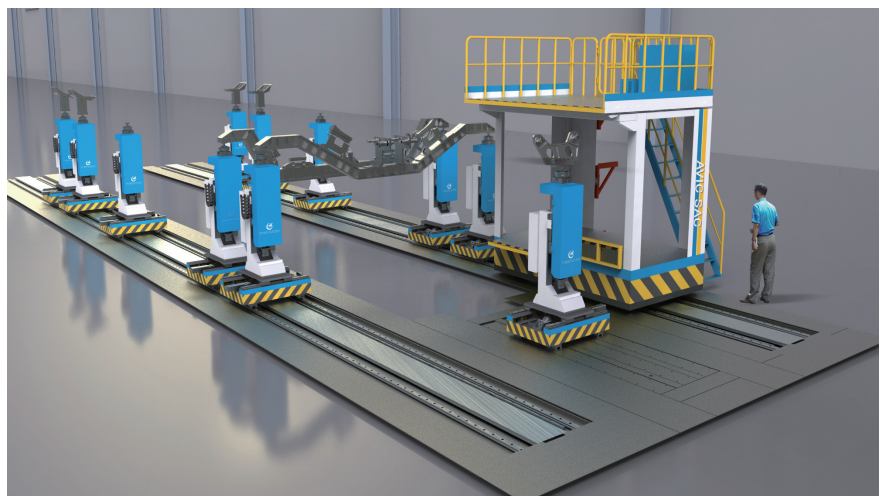


图2 沈飞飞机大部件柔性对接系统

调,飞机通过托架与定位器相连,进而实现了飞机的六自由度调姿,但工装结构复杂、体积庞大、开敞性较差。大连四达和沈飞公司联合研制的大部件对接系统(见图2),该系统也采用了定位器(POGO柱)技术,特点是沿X向平行放置3组导轨,定位器则置于导轨上方,可大范围移动,而且每个定位器可沿Y、Z方向小范围调整,在闭环控制下实现了飞机的六自由度精确调姿,不仅满足了多机型共用的实际需求,而且工装结构大为简化,开敞性好,同时配套2台AGV辅助工作平台,可实现无转弯半径任意方向移动,并具有成品上下自动运输功能,使工人操作更方便,有效地降低了技术风险和控制难度。

2 机身部件柔性装配系统

机身部件的柔性装配系统与飞机大部件自动对接装配系统相比,技术复杂程度更高,工程化应用更困难。首先,没有国外相关技术资料可参考借鉴;其次,部件装配工艺复杂,协调关系多,定位点多,布局分散,工装结构设计困难;第三,系统集成控制难度大。目前,国内真正实现飞机机身部件柔性装配工程化应用的仅有沈飞公司的后机身部件柔性装配系统,见图3。该柔性工装为桥架式结构,上下各五组横梁,每个横梁上

有若干组可沿X、Y、Z方向调整的数控定位器组成,可根据产品实际需求实现空间任意位置的快速重组。

3 机身部件自动制孔系统

国内自动制孔技术已经有一定的研究基础,主要集中在组件壁板类的自动钻铆和机翼类组件的自动制孔方面,对于结构曲面比较复杂的机身部件自动制孔还未有应用,沈飞公司在“十一五”技术研究的基础上,研发了机身部件自动制孔系统,见图4。该系统由数控托架和工业机器人自动制孔设备组成。数控托架上设计标准通用接口,实现尺寸 $5\text{m} \times 5\text{m} \times 2\text{m}$ 范围内不同部件的夹持和定位,满足制孔、铆接和多余物清理等操作要求,数控托架能实现Y向调整和A轴 360° 任意姿态的锁定,人机功能友好。

建议与展望

数字化柔性装配生产线在航空制造领域的应用是飞机装配技术发展趋势,自动化、智能化航空专用装配工艺装备是组建生产线的技术基础和关键。数字化柔性装配装备的工程化应用颠覆了传统的飞机制造管理模式,必然会带来一系列技术和管理的问

题。前,沈飞公司已初步建成适应新机科研模式的柔性装配生产线,并取得了显著的工程应用效果,但在工程应用过程中也遇见许多问题。如科研成果工程化应用的组织实施模式;新技术应用的风险规避、工装设备化后管理和维护在现有公司管理模式下的制度缺失的问题等等。美国奇点大学教授瓦德瓦2012年1月11日在《华盛顿邮报》提出:“当人工智能、机器人和数字化制造技术相结合,将会发生一场制造业的革命。”因此,要彻底改变传统的设计、制造、试验和管理的模式、方法、手段、流程和生产

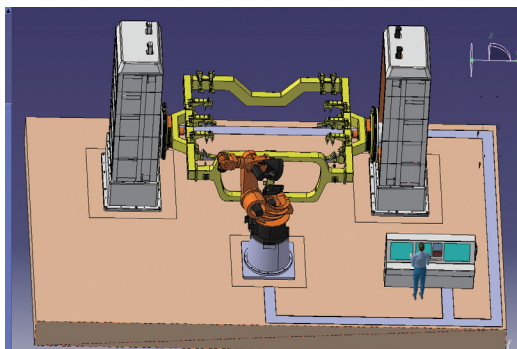


图4 机身部件自动制孔系统

组织,围绕先进技术发展趋势和型号生产迫切需求,立足未来发展,统一规划,逐点突破,分步实施。在技术上,采取“补点”、“连线”、“构面”的思路;在管理上,进行新机科研体制机制创新,积极推进投资主体多元化,建立风险共担、利益共享的新体制,变革运行机制,理顺内部关系,适应市场需求,快速响应,探索新机科研体制机制的新路。

参考文献

- [1] 范玉青. 飞机数字化装配技术综述. 航空制造技术, 2006(10): 32-35.
- [2] 袁立. 现代飞机数字化柔性装配生产线. 航空科学技术, 2011(5): 1-4.
- [3] Fort Worth, T X. Lockheed martin F-35 joint strike fighter automated electronic mate and assembly system. [2012-08-27]. <http://www.aint.com/JSFProject.html>.

(责编 良辰)

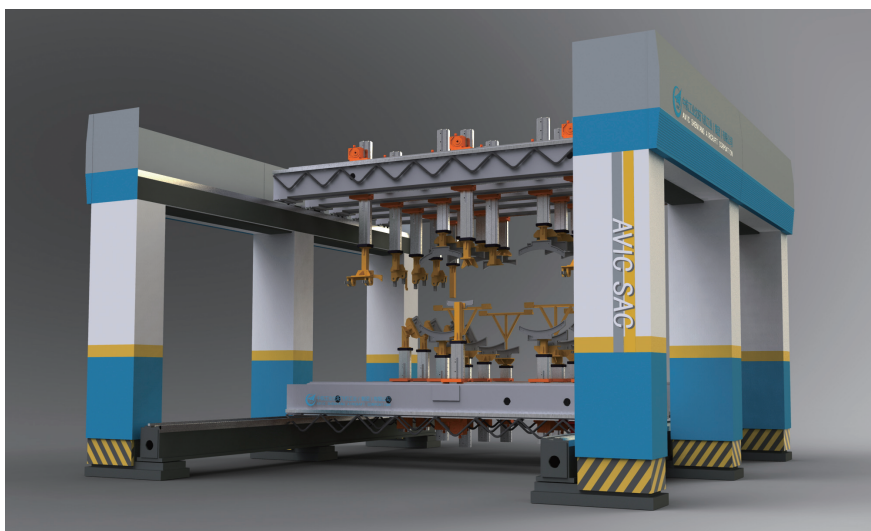


图3 沈飞公司的后机身部件柔性装配系统