

大型飞机柔性装配技术

Flexible Assembly Technology for Large Commercial Aircraft

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰



郭洪杰

主管工程师,主要从事可视化虚拟装配仿真技术、无图制造技术和飞机大部件柔性装配与装备集成应用制造技术等方面的研究工作。获国家专利 2 项、集团科技进步一等奖 1 项。

大型飞机通常是指起飞总重量超过 100t 的运输类飞机,包括军用、民用大型运输机,也包括 150 座以上的干线客机。与小型飞机相比,大型飞机在尺寸、巡航速度、航载能力、可靠性等一些基本指标上均有更高的要求。

世界航空工业发展近百年来,各项技术取得了突飞猛进的发展,尤其在飞机装配与制造领域不断突破新的技术创新。近 10 余年来,以波音

柔性装配技术是一种能适应快速研制和生产及低成本制造要求、模块化可重组的先进装配技术,它具有自动化、数字化、集成化的特点,是当代飞机装配技术发展的一个新领域。

777、波音 787、A340、A380 为代表的大飞机集中反映了飞机先进装配技术的现状和发展趋势。采用基于单一产品数据源的数字量尺寸协调体系,通过装配仿真和虚拟现实技术等虚拟制造技术和并行工程实现装配过程优化,应用柔性装配系统进行机体结构的自动化装配,实现了飞机结构高质量、高效率装配,以满足飞机长寿命、高可靠性、低成本和高效率制造的要求。与国外先进的飞机装配技术相比,国内航空业仍采用手工装配、半机械化与机械化装配相结合的传统装配方式,应用大量较复杂的专用型架定位和夹紧的非精益化装配方法。

飞机柔性装配技术概述

柔性装配技术是一种能适应快速研制和生产及低成本制造要求、模块化可重组的先进装配技术,它具有自动化、数字化、集成化的特点,是当

代飞机装配技术发展的一个新领域。

传统飞机装配是刚性、固定、基于手工化的,而柔性装配则向自动化、可移动、数字化的方向转变。表 1 为飞机传统装配方法与柔性装配方法的比较。

国外发展现状

1 数字化装配设计技术

数字化装配设计技术的发展历程始于波音公司(见图 1),在研制波音 777 的过程中,第一次实现了“无纸设计”,全面采用数字化技术,实现了三维数字化定义、三维数字化预装配和并行工程,建立了全机的数字样机,取消了全尺寸实物样机,使工程设计水平和飞机研制效率得到了很大的提高,制造成本降低了 30%~40%,产品开发周期缩短了 40%~60%,用户交货期从 18 个月缩短到 12 个月。自此,数字化装配设计技术在国外的航空企业得到

表1 飞机传统装配方法与柔性装配方法的比较

特性	传统飞机装配	飞机柔性装配
特点及经济性	专用刚性装配型架固定。数量多、制造成本高、存储占地面积大、运输成本高	柔性装配型架,可移动。数量少,降低了研制成本,减少了占地面积,缩短了生产周期,实现了快速研制
操作方式	基于手工操作,装配速度慢,量产时装配效率不高	基于计算机柔性控制系统,装配速度快,量产时形成自动化装配效率高
精度	误差较大,精度一般	误差较小,比传统装配精度提高30%~60%
互换协调方式	实物模拟量协调工装	实现数字量协调,数字化设计、数字化制造一体化
质量管理方法	传统的工程方法,依靠经验	采用工程方法与全面质量管理相结合控制误差,提高精度,保证质量

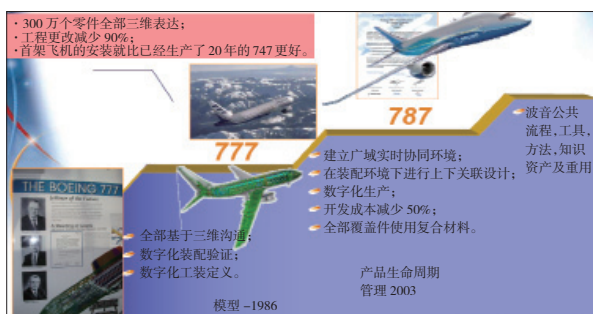


图1 数字化装配技术在波音公司的发展和应用

了广泛和深入的应用。

2 大部件柔性装配技术

世界航空发达国家的飞机部件柔性装配技术,已向由自动化装配工装、模块化加工单元、数字化定位和检测系统、复杂多轴数控系统和离线编程与仿真软件等组成的自动化装配系统发展。

分散式机身结构环形装配工装、基于激光跟踪定位和CNC控制技术替代了传统大型装配型架,实现了装配的自动化和柔性化,具有结构简单、开敞性好、占地面积小、可重组等优点,现已广泛应用于大型飞机机身的装配制造。其典型技术包括:行列式柔性装配工装、多点阵成形真空吸附式柔性工装、分散式机身柔性工装等。

3 飞机装配柔性定位和制孔技术

自定位技术是近年来国外飞机研制采用的一种新技术,利用梁、框、

肋等主要结构件建立装配自定位特征(如装配孔、槽、突耳等),或者在结构件上适当安装光学目标件,在实际装配中借助激光跟踪仪等测量设备形成定位和支撑,减少专用型架的使用或钻孔连接。这种自定位技术可以减少大量工

装。

不过,自定位技术需要采用精密测量设备配合定位,因此更适于机型的研发阶段,机型量产则需要效率高、周期短、精度高的装配定位技术。装配孔定位是重要的定位技术之一,当前国外航空行业广泛采用柔性制孔技术,包括自动化制孔技术、便携式柔性制孔技术、机器人制孔技术等。

自动化制孔技术适用于批量生产的大型结构件,其特点是效率高、质量高,现代飞机结构大量采用复合材料、钛合金等难加工材料,大型飞机对大尺寸孔的制备精度提出了更高的要求,因此普遍采用了自动化柔性制孔技术,以满足结构的长寿命、隐身、互换性的要求。波音公司在波音747的机舱地板、空客在A380的机翼壁板上都采用了自动化制孔技

术。

4 总装柔性对接技术

在总装阶段,由于柔性装配技术的发展,传统的固定对接平台/精加工平台已逐渐被由数控千斤顶(或定位器)、跟踪定位系统(激光跟踪仪或iGPS系统)、计算机控制系统等组成的柔性对接平台所取代。柔性对接平台具有定位精度高、可自动控制 and 通用性强(能够适应不同尺寸的机身机翼结构)的特点,采用后可大幅提高飞机装配质量、缩短装配周期、节省装配费用。

这种柔性对接平台现已在波音、空客等大型飞机制造商的飞机装配中广泛应用。主要分为3种定位机构形式。

(1)柱式结构的自动定位器形式。其外形特征类似Pogo柱,向上支撑和驱动飞机部件。每台定位器可由伺服电机驱动在X、Y、Z3个方向上移动,由3~4台或更多这样的定位器就可以支撑、调整、定位一段飞机大部件。

(2)塔式结构的自动定位器形式。其特征是结构形体较大,具有像伸缩臂一样的运动调整部分,从侧面支撑和驱动部件,且承载重量较大。

(3)混联结构的自动定位器形式。波音787总装中采用的是一种混联形式的自动定位机构(见图2),定位器不直接与部件相连,采用托架与部件相连,通过驱动托架对机体部件进行位姿调整。其优点是部件调整受力条件更好、调整更灵活、对产品设计更有利、更适用于大型结构和复合材料部件等。

5 数字化检测技术

在自动化对接中都要采用数字化测量系统来辅助定位和移动,目前国外采用了激光跟踪测量和室内GPS测量2种系统。

激光跟踪测量系统(LTS)特点是测量范围大、精度高、非接触、动态测量、机动性强。根据跟踪头数量的



图2 波音787的混联结构定位

不同,激光跟踪系统分为单站球坐标法、双站三角法和多站距离交会法3种。如波音公司利用4台Zeiss激光跟踪仪对部件进行空间定位,来完成大部件装配工作。

室内GPS(Indoor GPS, iGPS)系统,主要用于解决大尺寸空间的精确测量和定位问题。iGPS系统能够建立一个大尺寸的空间坐标系,并且一旦建立后,所有的测量任务(如坐标测量、跟踪测量、准直定位、监视装配等)都能够在整个坐标系下完成。该系统已应用于从波音747到F/A18、波音777等飞机整机的总装配生产线中,以解决对大尺寸构件的测量问题,特别适合于在大尺寸工件的装配、检查和准直方面的应用。

国内存在的主要问题

国内经过多年的努力,飞机产品的数字化设计与零件数字化制造技术发展迅速,但是作为飞机制造的关键——装配技术,还停留在二、三代机的水平。与国外发达国家相比,我国在飞机柔性装配技术方面,无论在研究层面还是应用实践上都存在较大的差距,主要表现在以下几方面。

(1) 现有的产品设计模式和产

品特征没有充分考虑产品柔性装配技术的应用需求,不适应现代飞机制造技术的发展要求。

(2) 基于MBD的数字化装配工艺规划与管理技术缺乏系统研究和应用。工艺设计手段还停留在二维工艺设计和表述为主的水平,存在与数字化产品设计不衔接、设计周期长、返工量大、需要实物验证和示教性差等诸多问题,大量制造依据信息以工艺文件形式分离存在,管理混乱,不能满足数字化设计、无图制造的发展要求。

(3) 数字化检测技术严重滞后。大量采用工装、标准量具等模拟量设备进行产品的测量与检验,效率低、精度差。

(4) 缺乏柔性装配装备的自主研发能力,对大型柔性装配平台集成应用技术缺乏系统研究,配套设备缺乏,尚未建成柔性装配生产线。无法满足高新武器对装备高质量、长寿命的要求。

建议和展望

大型飞机的柔性装配技术是我国航空企业重点研究方向之一,“十一五”期间,我国在柔性夹持、自

动制孔、电磁铆接、组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,在多个单项技术上实现了突破。结合目前国内技术发展现状,对我国大飞机柔性装配技术发展提出如下建议和展望。

(1) 大型飞机的柔性装配应建立在面向装配的全数字化产品定义基础上,综合考虑国内现有零件制造技术水平,逐步实现飞机的整体化、模块化设计。建立统一的数字化建模和设计标准、规范是发展柔性装配技术的当务之急。建立设计制造一体化全数字样机对航空制造技术整体水平提高具有重大意义。

(2) 飞机数字化三维装配工艺规划和管理技术应用研究需求迫切,如何实现二维装配工艺向三维无图装配的转换已成为国内航空企业关注的热点。立足国情建立三维仿真动画、立体模型图与二维工艺草图、简要文字说明相结合的过渡性装配工艺设计表达模式,可以有效地解决现有装配技术瓶颈问题。

(3) 大飞机装配对大尺寸空间测量能力的要求愈来愈高。在飞机装配车间,建立全局或局部测量网,并提出安全、可靠的测量网标定算法,实现大空间范围内的高精度测量需求迫切。

(4) 建立半自动化/自动化飞机柔性装配系统,应结合现有零件制造精度、飞机结构特点和装配工艺水平,切忌盲目照搬国外工装结构形式。在需求与发展中开拓创新,稳扎稳打,为我国航空制造技术做出新的贡献。

(5) 构建大飞机柔性装配生产线应本着全面整体规划,以分步单点突破、集点成线的思路,逐步建立柔性装配技术体系,实现大飞机高质、高效、低成本快速研制,使国内飞机装配技术向数字化、自动化、柔性化、虚拟化、集成化和网络化方向发展。

(责编 小颖)