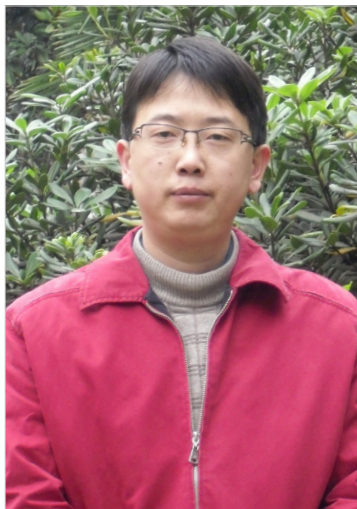


# 大型飞机自动化装配技术的应用与发展

## Application and Development of Automatic Assembly Technology for Large Aircraft

中航飞机股份有限公司汉中飞机分公司 季青松 陈 军 范 斌 孙技伟



季青松

中航飞机股份有限公司汉中飞机分公司质量管理部高级工程师,从事飞机装配技术相关工作。

飞机自动化装配技术涉及数控柔性定位技术、数控制孔技术、数字化测量技术和计算机软件等众多先进技术和装备,是机械、电子、控制、计算机等多学科交叉融合的高新技术。

的重点和难点。以波音公司和空客公司等为代表的航空制造企业基于数字化设计与制造技术,通过在大型民机及军机上大量采用自动化装配技术,实现了大幅提高装配质量,缩短装配周期之目的,真正使大型飞机的自动化装配技术成为当今飞机装配领域发展的主流趋势。

### 飞机自动化装配关键技术

经过近 20 年的研究和发展,欧美等发达国家在飞机自动化装配技术方面已日趋成熟。飞机自动化装配技术涉及数控柔性定位技术、数控制孔技术、数字化测量技术和计算机软件等众多先进技术和装备,是机械、电子、控制、计算机等多学

科交叉融合的高新技术。飞机装配与数字化、信息技术相结合,将传统模拟量传递模式转变为数字量传递模式,实现飞机装配数字化、柔性化、模块化、自动化和信息化,从而成为飞机数字化装配技术领域的中间力量。

### 国内外飞机自动化装配技术 在各装配阶段应用现状

#### 1 国外自动化装配技术在组件、部件、总装中现状

飞机组件数量众多、结构形式多样,对自动化柔性装配的需求也较为迫切。组件装配由于结构开敞性好,广泛采用自动钻铆系统、数字化柔性工装系统、数字化测量定位系统等,有效地实现了装配过程的高效化、精密

飞机制造是一项技术难度大、过程极其复杂的系统工程,而随着用户对大型军用和民用飞机的安全性、舒适性、实用性等要求越来越高,以及其结构尺寸大、零件数量及种类繁多、协调关系复杂,必然导致大型飞机的产品越来越复杂。大型飞机装配技术已成为当前飞机生产过程中

化。国外在飞机机翼壁板、机身壁板、翼梁、水平安定面等装配过程中已经广泛采用自动化、柔性化的装配技术,并取得了较大的经济效益。如波音、英宇航、空客西班牙公司、EADS(德国)等公司的军民用飞机的机身和机翼壁板、翼梁、升降舵的装配,图1显示了一种翼梁用自动化装配工装系统。

部件阶段的主要工作范围是机身段装配、机翼装配和尾翼装配等。部件的自动化装配难度最大,使用的主要工艺装备有柔性定位器、自动制孔设备、测量设备、自动托架、柔性工装等。在某些场合,柔性工装与自动托架是合二为一的,此外还有车间内地面运输车,空中吊装运输系统等设备。

飞机总装配主要工作范围有机身段的对接、机翼与机身的对接、水平和垂直尾翼与机身的对接、起落架的安装、发动机的安装及系统安装等。飞机总装配过程中使用的主要工艺装备有柔性定位器、激光跟踪仪(或iGPS)、自动钻孔设备、车间内地面运输车、空中吊装运输系统等设备以及集成控制系统。

20世纪中期,一些航空制造业巨头如波音、空客等花大力气,投入

巨资研究了大量采用自动化装配技术的飞机移动总装配生产线<sup>[1]</sup>。英国《防务新闻》在2006年11月9日报道,波音公司的波音777飞机装配中首次采用了移动装配线,该移动装配线主要在总装阶段使用,在生产过程中,以每分钟1.6英寸(4.1cm)稳定速度前行。

目前波音公司正在建设的波音717、757、737等单通道飞机的连续移动生产线,使得民用飞机的制造方法发生了革命性的变化,这种制造技术可以提高飞机的生产效率和产品质量,缩短飞机交付客户的时间。

## 2 国内自动化装配技术在组件、部件、总装中应用现状

近几年,我国航空企业结合新机研制需求开展了壁板自动钻铆技术、部件数字化检测技术、大部件装配等关键技术及装备的研究和应用,在部件自动化装配方面开展了有益的尝试和试验。

在国内民用航空制造领域,上飞公司通过与国外先进制造企业合作,开始C919飞机部件数字化装配生产线的设计和建设。而在某型运输机的研制方面,通过厂、所、高校等多家合作,成功研制了数字化装配系统应用于前机身、中机身、后机身、平垂尾

等部件的装配,已初步探索出一个飞机部件自动化装配模式。由此可见,国内航空企业飞机部件自动化装配技术已有了巨大飞跃。

国内目前在新型号飞机牵引下对飞机总装配的自动化装配技术,如大部件对接、全机检测技术等关键技术进行了攻关,应用了柔性定位器、激光跟踪仪、自动钻孔设备、车间内地面运输车、空中吊装运输系统等设备。

通过对国内外自动化装配技术应用现状对比和分析,我国飞机自动化装配技术的应用面已经从组件装配拓宽到复杂的部件装配以及大部件对接过程中,并对飞机自动化总装配中部分关键技术进行了攻关,但亟待自动化总装配生产线方面实现整体突破,打造一个完整的飞机自动化装配线。

## 大飞机总装配自动化发展方向

大型飞机的总装配无论从管理还是从技术角度看都是一个极其复杂的难题<sup>[2]</sup>,从飞机制造的全局考虑,按照目前飞机总装生产线的发展趋势,不管是移动生产线还是脉动生产线,都是从生产布局和生产模式方面的改变,主要用于提升飞机总装生产效率,缩短飞机总装生产周期。因此,如何提高飞机总装生产过程的协调性,提升装配质量,达到高精度、智能化,从而使生产过程更加稳定流畅,成为自动化总装配生产线技术改进与提升的难点。

根据国内外大型飞机先进的自动化装配技术发展与应用情况,未来大飞机自动化总装生产线应从飞机总装协调技术、数字化装配和测量技术、工艺装备和自动化技术等方面进行重点分析与研究,并逐步深入推广与发展应用。

### 1 总装自动化对接平台

飞机总装对接是飞机制造中的一个关键环节,前期的零件制造、部



图1 自动化装配工装系统

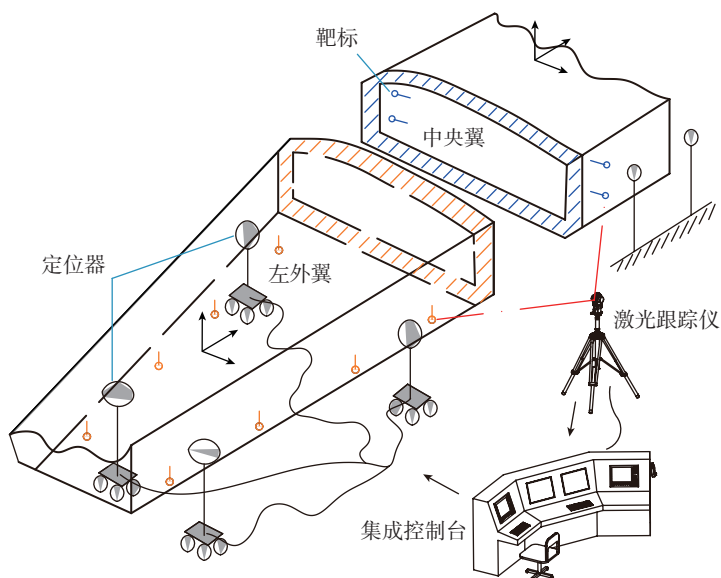


图2 机翼自动化对接平台



图3 波音787的机身段自动对接

件装配都是为这个阶段做积累<sup>[3]</sup>。飞机总装配主要工作范围有机身段对接、机翼与机身对接、水平和垂直尾翼与机身的对接、起落架的安装、发动机的安装等(图2和3)<sup>[4]</sup>。总装使用的主要工艺装备有柔性定位器、激光跟踪仪(或iGPS)、自动钻孔设备、车间内地面运输车、空中吊装运输系统等设备以及整体控制系统。

先进联合技术公司(AIT)与飞机制造公司一同开始设计大部件对接自动化平台。该系统主要由测量系统与机械传动系统集成,依靠自动化定位控制系统,同时协调多个机械传动装置的运动,以预定的方式准确

平稳地操纵飞机部件。使用激光测量子系统来确定部件位置并控制飞机几何形状。机械传动装置用来支撑飞机分装配件在X、Y方向的直线移动以及Z向俯仰,实际上每个机械传动装置是3轴机床,通过带有旋转分解器反馈的伺服电机来完成精确运动。

而波音公司使用的自动定位与校准系统主要包括机械传动装置、离散点扫描系统、激光雷达探测表面力分布系统、集成分析控制系统,并为离散点扫描技术和激光探测表面力分布技术用于飞机总装申请了专利。

## 2 激光跟踪仪的应用

在国外飞机装配中,激光跟踪仪以其先进的技术性能,正在发挥着其他测量仪器设备不可替代的作用,如空客公司在英国利用激光跟踪仪进行无型架机翼的装配;在德国利用激光跟踪仪实现大部件对接的自动精确调整定位。

在国内飞机装配中,洪都集团、上飞公司、西飞公司均已采用了激光跟踪仪测量设备,并逐步开发和应用其潜在的卓越性能,尤其在国内外某公司总装厂,激光跟踪仪已经取代了传统的全机水平测量方法,不仅数据精确,而且经济效益非常显著。同时,激光跟踪仪也正应用于研究和开发大部件的智能调整和精确对接工作。

## 3 电缆整机自动测试系统

波音 MESA 公司一共有 29 台各种型号的电缆测试仪,广泛应用于各种型号的飞机和武器装备系统测试,型号包括 9500 系列和 2500 系列,测量点数在 500~4000 点之间。其中,DITMCO 柔性自动电缆测试仪为波音公司航空产品的研制生产提供了良好的质量保证,APACHE 项目在使用了自动测量后,测试时间由 78h 缩短到 10h,DITMCO 柔性自动电缆测试仪和波音公司的计算机网络配合工作,可以直接读取设计数据,编辑测试程序,上传测试结果,供质量控制人员分析;测试站之间资源共享,提高了工作效率。在大量使用 DITMCO 软件可进一步提高效率,1 个 4000 条线的线束,过去需要 20h 的准备、测试、排故,现在只需要 3~4h 即可完成。

西科斯基公司全系列直升机如 RAH-66、S-92、V-22、H-60、S-76 等,使用 3 台大型 9500 系列对直升机装配的全机线束进行测试,使用 2 台 9500 测试航电装配中的航电设备和仪表。测试项目包括导通、绝缘、高压及航电功能,在数据库中有 6000 多个测试程序可供应用。格鲁门公司有 5 台 9500 系列测试仪在工作,

测试机型为 F-14、EA-6B、E-2C 等。

可见,电缆测试已经是飞机质量保证的重要环节。纵观同行业,在国内飞机的线缆自动测试系统已经成为各个主机厂的标准配置,沈飞、西飞、成飞、洪都公司等主机厂都引进了美国 DIT-MCO 公司先进的电缆自动测试系统。其中,沈飞在 1990 年国家 MD-90 项目中就应用自动测试系统完成了整机飞机电缆测试,目前仍然使用自动测试仪进行 ARJ 项目的飞机线缆测试。

#### 4 飞机的移动系统

采用飞机总装移动生产线技术可实现飞机产品的低成本、高质量和快速响应制造,这对我国新一代大中型飞机的研制和批生产有着重要意义<sup>[5]</sup>。飞机的移动系统包括飞机整机移动(正常站位移动、正常应急站位转换)、部件移动技术,主要包括气垫运输技术、AGV 小车运输技术、激光跟踪仪测量定位技术。一种应用于飞机装配的移动生产线见图 4。

波音公司采用的移动装配生产线技术将飞机放在由传送链移动的轮车生产线上,使飞机沿生产线移动装配。通过射频信号实时传送来实现对飞机移动装配生产线的远程控

制,并监控飞机移动的情况。

大中型飞机的设计空机重量都在 40t 以上,其中仅机身重量也都超过 20t。对如此庞然大物的移动问题,考虑安全性,仅靠一般的牵引是很难完成的。大飞机的生产线按脉动式的生产模式进行,因此对飞机在各站位(正常、应急)的移动就是必须考虑的问题,并且要兼顾移动的安全性、灵活性和方便性,结合大部件平台建设与激光测量系统,构建数字化部件移动机身研究就显得很关键。

因此,需采用 AGV 小车和气垫悬浮移动等技术进行全机和大部件的运输。AGV 小车行程无限制,可自动定位和转向,采用气垫悬浮移动技术,车上安装柔性装配托架(以适应不同的部件外形),使用激光跟踪仪测量定位系统进行移动定位引导,这样可用于整机的运输和大部件的运输。

将机身各段、机翼等专用承托工装与标准模块承载系统组合形成部件托架,在飞机装配站位工作时,利用部件移动技术,实现飞机或部件的平稳移动和飞机在装配站位工装的快速、安全摆放到位和飞机移动时整体工装的简捷撤离。

在航空航天领域,大量采用气垫运输技术与先进的测量定位技术(iGPS),结合数控技术,实现大型部件的运输和装配,大幅度提高装配的工作效率和装配质量。

#### 结束语

随着科技水平的不断提升,以及新型技术的成熟并广泛应用,大型飞机自动化装配技术在组件、部件、总装中已发挥了其重要作用,经济和社会效益非常显著,尤其是飞机总装配阶段先进技术的应用。如波音 737 机型的总装配线是连续移动式装配线,在飞机装配中可以算是最高水平了;而波音 787 是脉动式总装配线,并采用了模块式的总装配。这在我国研制大型飞机中是值得借鉴的<sup>[6]</sup>。

目前,我国已通过厂、所、高校等多家合作,在部分型号飞机的组件、部件装配中实现了自动化装配,并取得了显著成效。而总装生产线的建设正借鉴国外先进成功经验,研究探索脉动生产线,并在技术上取得了较大进展。因此,未来随着技术发展和不断应用,相信能够创建适合于我国大飞机特点的自动化装配系统,并最终实现提高飞机生产效率和产品质量目的。

#### 参考文献

- [1] 李洋,桑龙.浅谈飞机总装自动化装配生产线.装备制造技术,2011(10):132-134.
- [2] 范玉青.大型飞机总装配总的若干问题.航空制造技术,2012(1):78-80.
- [3] 王建华.飞机总装对接技术.航空制造技术,2012(2):32-35.
- [4] 蒋倩,侯志霞,梁雪梅,等.大型飞机大部件数字化对接计算机仿真技术.航空制造技术,2013(22):87-89.
- [5] 许国康.飞机总装移动生产线技术.航空制造技术,2008(20):40-43.
- [6] 范玉青.波音 787 飞机总装配线及其特点.航空制造技术,2011(23):38-42.

(责编 良辰)

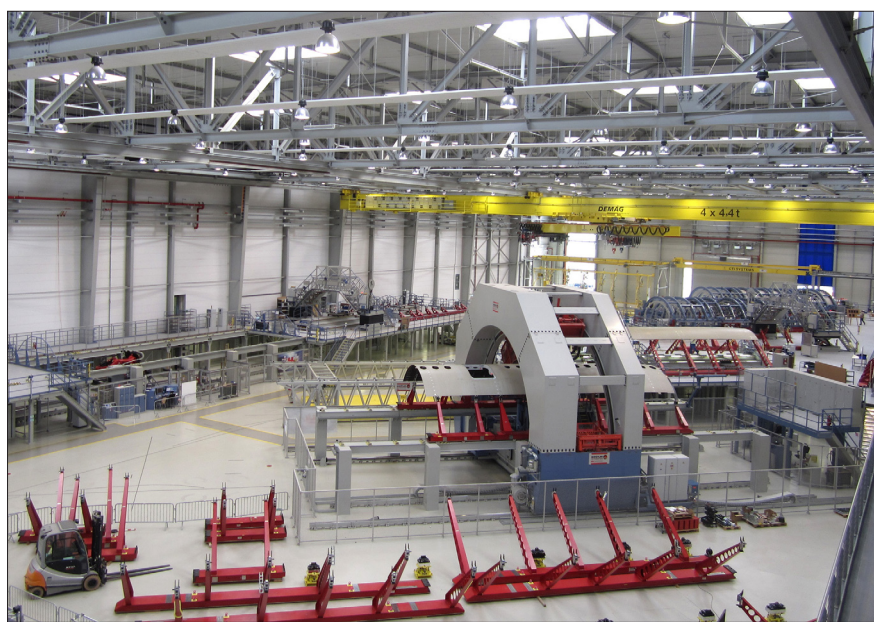


图4 脉冲移动生产线