



北京航空制造工程研究所 许国康



许国康

1990年毕业于北京航空航天大学飞行器制造工程专业,现为北京航空制造工程研究所高级工程师,管理学硕士;主要研究方向为飞机数字化柔性装配技术、先进检漏技术和飞机先进机械连接技术等。先后发表论文或著作20余篇。

42 航空制造技术·2009年第24期

飞机大部件对接数字化装配技术能适应快速研制和生产及低成本制造的要求,是数字化技术在飞机设计制造过程中更深层次的应用及延伸,实现了飞机总装过程中的数字化、柔性化、信息化、模块化和自动化。

飞机的装配是飞机制造过程的重要环节。飞机装配过程是根据尺寸协调原则,采用装配工装和设备将飞机零件或组件按照设计图纸和技术要求进行组合、连接形成更高一级的装配件或整机的过程。社会需求、市场竞争及相关技术的不断发展,推动着飞机装配技术不断地向更高水平演进。飞机装配技术涉及到面向装配的产品设计、装配工艺设计、装配装备设计制造、装配工艺技术、装配检测与试验、装配管理等方面,其

内容贯穿了飞机的整个设计/制造过程。

### 飞机大部件对接数字化装配技术的内涵与范围

飞机装配大致可以分为组合件装配、部件装配和总装3个阶段。

大部件对接是飞机总装阶段的主要工作内容。飞机大部件是指由多个相邻组件或部件连接形成的飞机大型结构件。根据不同飞机的结构特点,飞机大部件又可分为机身

舱段(机头、前机身、中机身、后机身及其组合件等)、中央翼、外翼和尾翼(平尾、垂尾)等。

根据装配技术之间的逻辑关系,飞机大部件对接数字化装配技术从体系层次可分为技术基础层、装配工艺技术层、使能层和集成应用层4个层次。

(1) 基础层。它是数字化对接装配技术体系的基础部分,包括数字化对接设计要求、对接数据库、工艺标准和规范等。

(2) 装配工艺技术层。包括对接装配数字化工艺设计技术、自动化定位工艺、自动连接工艺(制孔、铆接等)和数字化检测工艺等。

(3) 使能层。包括软件平台和硬件2部分,软件平台包括用于工艺、工装、工具、设备与系统设计和制造的CAD/CAPP/CAM/CAE等软件、集成控制软件、测量软件等,硬件包括工装(如装配工作平台)、工具、设备(自动制孔设备、电磁铆接设备等连接设备、试验与检测设备)和自动对接系统等。

(4) 集成应用层。根据大部件的不同特点,将相关数字化对接装配技术的集成应用于飞机总装制造,装配出合格的飞机产品。

飞机大部件对接数字化装配技术能适应快速研制和生产及低成本制造的要求,是数字化技术在飞机设计制造过程中更深层次的应用及延伸,实现了飞机总装过程中的数字化、柔性化、信息化、模块化和自动化。

它将传统的依靠手工或专用型架夹具的装配方式转变为数字化的自动对接装配方式;将传统装配模式下的模拟量传递模式转变为数字量传递模式。它还使得数字化研制技术真正完全地集成为一体,使数字化产品的数据从研制工作的上游畅通地向下游传递,充分发挥了数字化制造技术的优点。

## 飞机大部件数字化对接技术应用的目的与需求

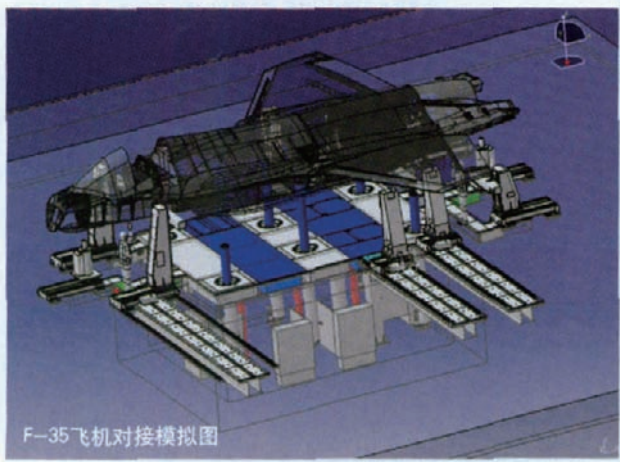
20世纪90年代以后,随着军民民用飞机的升级换代及制造水平的提高,对军民民用飞机装配技术提出了更高质量、更高效率、更低成本的要求并能适应多品种产品的生产需要,其中对飞机大部件对接数字化装配技术的需求也越来越强烈,而各种新的装配工艺技术与计算机技术的飞跃发展使得飞机数字化、自动化装配的实现具备了必要的技术基础。

新一代军民民用机对于轻质、高效、经济性、安全性、长寿命的要求已经使飞机的对接结构形式、材料及制造质量较传统飞机发生了重大变化。现代军民民用飞机的总装配技术在数字化产品设计的支持下,全面采用大部件对接数字化装配技术以保证飞机长寿命、高可靠性和市场快速反应的能力,同时大部件的对接装配已难以采用传统的人工吊装、调试和修配的方式完成。采用大部件对接数字化装配技术方法,可以大幅减少飞机装配所需的标准工装和生产工装,对降低新机研制成本、缩短研制周期起到了难以估量的作用;并且还将大

幅度地提高产品的装配质量。大部件对接数字化装配技术已不单单是提高产品质量、生产效率的手段,而是新一代军民民用机制造不可缺少的必备技术,没有大部件对接数字化装配技术,就难以制造出先进的飞机。先进国家的航空企业已经开发并应用了飞机数字化、自动化装配技术于多种军民民用飞机的研制生产中,取得了显著成效。

新一代军民民用飞机将采用全数字量协调,对飞机装配工艺设计、定位、装夹和安装技术提出了很高的要求。战斗机的隐身性要求需要实现大部件对接精确装配,因此大量采用钛合金和复合材料,从而解决对接时大部件之间连接的金属/复合材料结构自动制孔和精确化定位问题;大型飞机的大部件对接要借助数字化、自动化的装备来实现高质量、高效率的装配;大型客机、支线客机等民机的长寿命、高生产效率、高可靠性要求及产品竞争力在很大程度上取决于是否采用数字化和自动化的装配技术,包括数字化的大部件对接装配技术。因此,新一代军民民用飞机研制对国内飞机总装大部件对接装配的数字化、自动化和柔性化有着现





F-35飞机对接模拟图

实、急迫的需求。

### 大部件数字化对接技术的国外发展现状和趋势

数字化装配技术的发展历程始于波音公司。自上世纪90年代初波音公司在发展波音777飞机过程中全面实施飞机数字化设计以来,波音、空客系列飞机都采用了相应的数字化技术,以波音777、波音787、A340、A380、F-22、F-35等为代表

的新型军民用机集中反映了国外飞机制造技术的现状和发展趋势。在装配技术上,基于单一产品数据源的数字量尺寸协调体系,采用数字化装配设计技术,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技术实

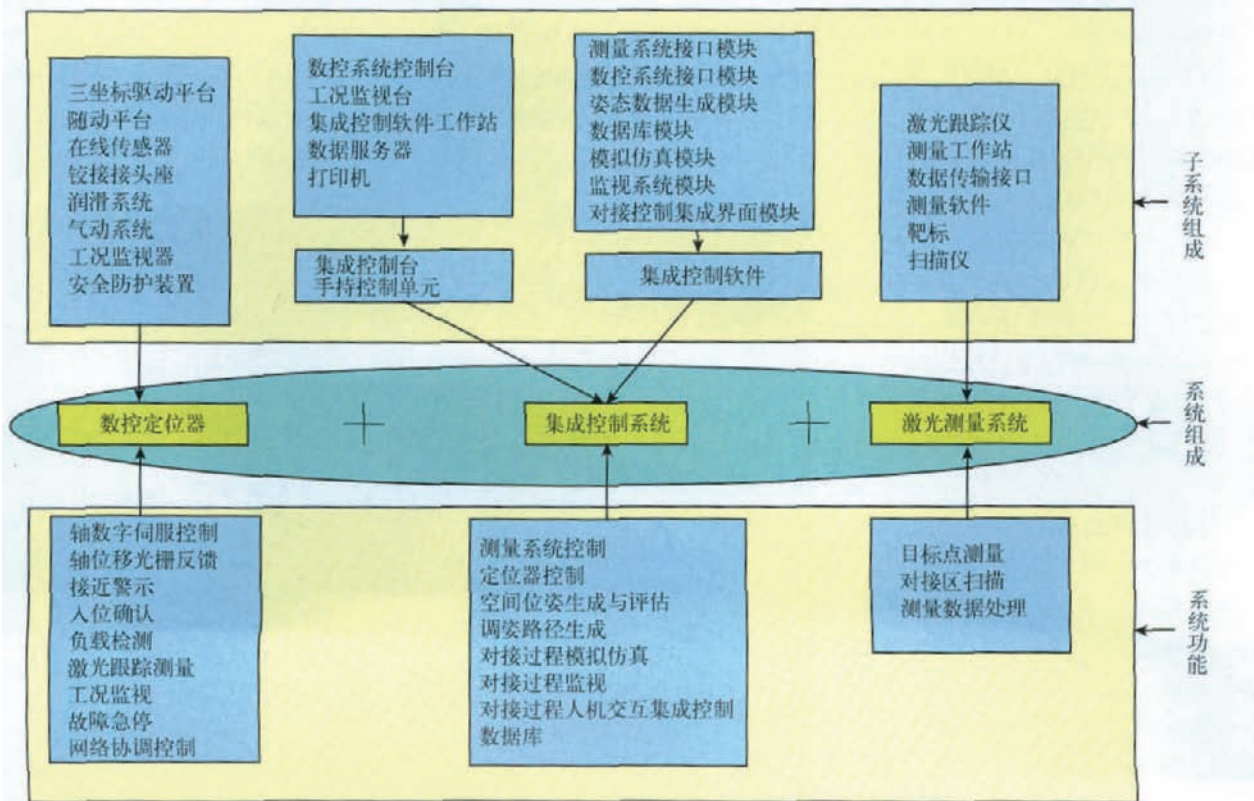
现装配过程优化,应用由柔性装配工装、模块化加工和检测单元、数控定位系统(包括机器人)、自动送料系统、数字化检测系统、数字化移动系统、离线编程和仿真软件等组成的自动化装配系统进行机体结构的自动化装配,大量采用了长寿命连接技术,实现了长寿命飞机结构的高质量、高效率装配。F-22、F-35、波音737-800、A380、A400M、波音787、A350等新一代军民机的研制实现了

大部件对接数字化装配设计技术的普遍应用。

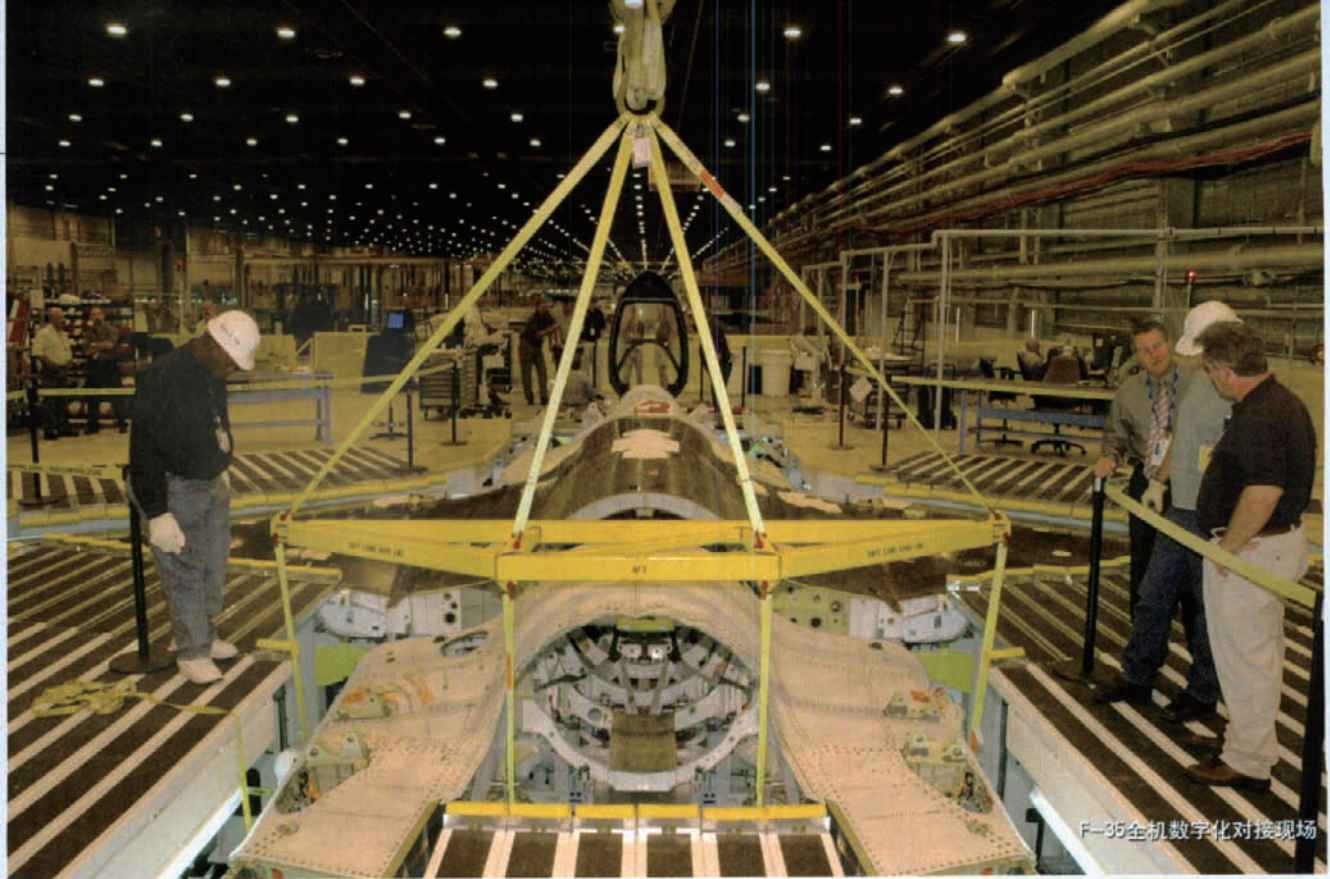
数字化对接系统主要由数控定位器、激光测量系统(激光跟踪仪、激光雷达、iGPS系统等)和集成控制系统组成。采用数字化对接系统大幅度提高了机体装配质量,并且能够适应不同尺寸的机身机翼结构,通用性强,可节省大量装配工装,实现柔性装配。

目前,飞机大部件数字化对接系统主要分为2种类型:

(1)分布式的对接系统。对接系统中定位器采用分布式布局,定位器可采用向上支撑和驱动的柱式结构,或从侧面支撑和驱动飞机部件的塔式结构。每台定位与机体部件单独相连,由伺服电机驱动在X、Y、Z三个方向上移动,由3~4台或更多这样的定位器就可以支撑、调整、定位飞机大部件。分布式对接系统的优点是系统占地较小,定位器结构相对简单,缺点是定位器系统调姿要考虑



一种数字化对接系统的基本组成及其功能



对大部件的变形影响,不协调时会损伤产品,同时产品设计要考虑增强定位器支撑点的结构,生产线不便于移动。

(2) 整体托架式对接系统。以波音 787 数字化对接系统为例,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、更适于复合材料部件,便于生产线移动等。

从测量系统上看,除采用激光跟踪仪外,随着 iGPS (室内全局定位系统) 定位精度的提高,国外的数字化对接系统也有转向用 iGPS 系统,以增大测量场并降低测量系统的成本。如美国波音飞机制造公司从 1998 年开始研究 iGPS 测量技术,并已应用于从波音 747 到 F/A18 飞机整机的装配线中,波音 787 的数字化对接同时还结合移动生产线技术进行应用。

目前,飞机大部件数字化对接技术在波音和空客等先进飞机上获得了成功的应用,并取得了显著的功效,集成化的飞机总装配技术已成为

技术先进的标志和一个闪亮的市场卖点。

### 飞机大部件数字化对接技术发展策略建议

作为飞机数字化柔性装配技术体系的关键组成部分,大部件数字化对接技术对保证我国新一代军民机的高效率、高质量快速研制和生产有着不可替代的作用。同时,由于大部件对接技术是飞机机体平台集成的战略技术,必须自主掌握。因此,对国内飞机大部件数字化对接技术的发展战略提出以下建议:

(1) 关键技术坚持以自主创新和集成创新为主、辅助以技术引进和消化思路进行突破。

(2) 数字化对接系统的开发应该走专业化发展的道路,集中优质资源,保证装备的高质量、高可靠性、工程适用性和产品全寿命周期的技术支持。飞机大部件数字化系统是一系列综合先进装配工艺、软件开发、数控技术、光电机一体化、仿真技术和数字化测量技术等高技术的综合体,需要开发单位具备雄厚的软硬件技术基础、技术支持与保障能力。

(3) 注重形成从基础研究、应用研究、技术验证到工程推广的一套数字化对接技术研发体系,研发范围涵盖从规范、数据库、单项技术到装配生产线集成的成套解决方案,为装配技术的系统性、可持续性发展提供保障。

(4) 基础研究和型号项目牵引并重,加大关键技术和装备开发的力度和密度,以尽快缩小与国际先进水平的差距,满足新一代军民机研制和生产的急迫需求。

(5) 在新一代军民机研制中坚持设计/制造一体化的思想,以并行工程的方法来实现数字化装配,其中包括数字化对接方法的产品数字化定义。

(6) 数字化对接系统的设计应与生产线,特别是移动生产线的规划相结合。注重技术的前瞻性与现实性的有机结合。

(7) 关键技术和软硬件单元的开发要尽量模块化和标准化,以保证满足知识重用和快速研制的要求。

(8) 创建数字化柔性装配技术论坛,加强技术交流和相互学习。

(责编 金卯)