

飞机数字化柔性装配生产线 关键技术

Key Technology of Aircraft Digital Flexible Assembly Line

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 郭洪杰



郭洪杰

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3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。

传统的飞机装配采用刚性工装定位、手工制孔连接、基于模拟量传递的互换协调检验方法和分散的手工作坊式生产。自20世纪80年代以来,随着计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)技术、计算机信息技术、自动化技术和网络技术的发展,数字化技术在现代飞机制造中得到了广

由数字化的柔性可重构工装、自动化的数控连接设备、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。

泛的应用,飞机制造进入了数字化时代^[1]。

在数字化技术的推动下,飞机装配技术快速发展,形成了现代飞机的数字化柔性装配模式^[2]。数字化柔性装配模式具体表现为:在飞机装配中,以数字化柔性工装为装配定位与夹紧平台,以先进数控钻铆系统为自动连接设备,以激光跟踪仪等数字化测量装置为在线检测工具,在数字化装配数据及数控程序的协同驱动下,在集成的数字化柔性装配生产线上完成飞机产品的自动化装配。

由数字化的柔性可重构工装、自动化的数控连接设备、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。

飞机数字化柔性装配生产线

1 飞机装配生产线特点

一般机械制造中的装配线是指

人和机器的有效组合,通过将生产中的输送系统、随行夹具和在线专机、检测设备等进行有机组合,从而满足多品种产品的装配要求,充分体现了设备灵活性。装配生产线的应用,提高了生产效率缩短了制造周期,但自动化生产线的成本较高,主要用于批量生产,如在汽车行业。

但飞机产品型号多、批量少的特点使得飞机装配生产线需要在具有一般机械产品装配生产线的特点基础上,还应具有一定的柔性功能,这样同一生产线既能用于同型号同批次,又能适用于同型号改进改型系列机型的飞机产品装配,从而满足了装配生产线对产品产量的要求,可充分发挥其优势,实现现代飞机产品的精益制造。

2 国内外应用现状

(1) 国外现状。

以美国为首的发达国家在整个飞机数字化制造技术上发展早、起步

快,这也促进了柔性装配生产线的发展应用。柔性装配生产线最早出现在民机产品的装配中,波音公司借鉴汽车工业中的洗车概念,建立了第一条飞机柔性装配生产线^[3]。柔性装配生产线的应用使得飞机制造发生了革命性变化,提高了生产效率和产品质量,缩短了飞机交付的周期。目前,波音公司已经在柔性装配生产线上建造了波音 717、新一代波音 737、波音 747、波音 757 以及波音 787 等单通道飞机。

在军机方面,在美国 F22 的装配中,柔性装配生产线已较成熟,通过采用一种 U 型装配生产线,使装配周期由 16 个月缩短为 12 个月^[4-5]。而在 F35 的制造中,其装配生产线的自动化程度较 F22 更进一步,如图 1 所示。F35 的装配生产线在 F/A22 装配生产线基础上,对传送系统及工作台进行了改进,生产线自动化程度更高、工装更少,装配线上减少了传统的高架吊车的使用,使用串行的通用轨道夹具 SURF (Sequential Universal Rail Fixture) 来代替传统的大型夹具, SURF 夹具能够沿滑轨向前移动,可以在各装配工作站之间运送零部件,保证了每架飞机在装配线上以 1.22m/h 的速度向前移动。为了保证装配质量,生产线上配备有质量检测系统,实时检测各装配步骤的装配质量。而且大部分的喷漆工作和隐身涂料的喷涂都由机器人来完成,降低了工人工作强度,提高了喷涂质量。

通过将 F35 的 3 种机型包括 CTOL (着陆性)、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。

(2) 国内应用现状。

国内经过多年的努力,在飞机数字化装配技术方面已经有所突破。

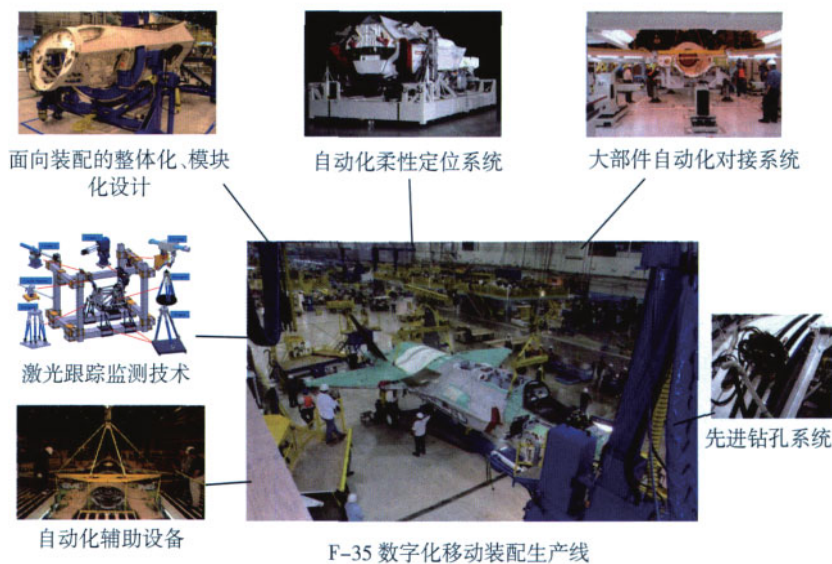


图1 F-35数字化移动装配生产线

“十一五”期间,在柔性夹持、自动制孔、电磁铆接、组件级装配及部件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。

但是,受到飞机结构特点、零件及工装制造精度、装配工艺水平、检测手段、研制周期和经费等诸多因素影响,国内几大主机制造企业目前都只是在某些点或线上形成突破,车间的布局规划分散,未形成全局的概念,难以形成自动化柔性装配生产线的规模,相关配套软硬件设施也不能适应现代飞机生产自动化柔性装配的需求,无法满足高新武器装备高质量、长寿命的要求。

与国外发达国家相比,我国现代飞机柔性装配生产线技术无论在研究层面还是应用实践层面都存在较大的差距,主要表现在:

a. 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,不适应柔性装配生产线的发展要求。

b. 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,不能满足柔性装配生产线可视化装配、无图制造的发展要求。

c. 数字化检测技术严重滞后。大量采用专用工装、标准量具等模拟量设备进行产品的测量与检验,测量效率低、精度差,不能满足柔性装配生产线快速精确测量、在线质量控制的需求。

d. 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,另外配套设备也比较缺乏,尚未建成柔性装配生产线。

数字化柔性装配生产线内容及关键技术

通过研究国外数字化装配技术的发展状况,结合飞机装配及其生产线的特点,可得出构建新一代飞机数字化柔性装配生产线必须包括以下内容及关键技术:

(1) 面向装配的数字化产品并行设计,为实现柔性装配、敏捷制造提供前提和基础;

(2) 数字化三维装配工艺设计与仿真系统,实现整个装配过程中数字量传递;

(3) 数字化柔性工装系统,实现工装快速响应、快速重构以及数字化定位;

(4) 先进的连接设备及技术(包括柔性制孔技术、自动钻铆技术、电磁铆接技术等),保证装配质量和效率,实现装配过程的自动化;

(5) 数字化测量检验系统,实现装配过程中的精确测量和协调装配,装配完成后的精确检验;

(6) 数字化装配生产线辅助装备及管理,建立数字化柔性装配生产线集成管理系统,如图2所示,实现从产品设计、工艺、装配、检验和现场管理各装配生产环节信息的高度集成和移动生产线的自动配送物流管理。

上述各项内容在实际应用中互相联系、互相支撑,通过将其整合和集成,可构建现代飞机的数字化柔性装配生产线,实现现代飞机产品的数字化、柔性化、自动化装配。如图3

所示。

面向装配的数字化产品并行设计是建立柔性装配生产线的前提条件,通过将三维制造信息 PMI (3D Product Manufacturing Information) 与三维设计信息共同定义到产品的三维数字化模型中,使 CAD 和 CAM(加工、装配、测量、检验)等实现真正的高度集成,从而为后续实现数字化的工艺设计、装配及检测提供基础和依据。

数字化三维装配工艺设计与仿真系统是实现飞机数字化装配模式、构建飞机数字化装配生产线的软件基础^[6],现代飞机整个装配过程都是建立在数字化工艺设计的基础之上的,只有采用基于单一产品三维数字量模型的数字化工艺设计方式,为整个装配过程从源头上提供数字量数据基础,基于数字化装配的柔性装配生产线才有可能真正实现。

数字化柔性工装系统、先进连接设备及技术、数字化测量检验系统是实现数字化柔性装配生产线的硬件基础。通过数字化装配工艺设计仿

真系统得到的数字量数据必须由数字化的工装及设备来执行,才能保证整个装配过程的全数字量传递,从而实现整个装配生产线的数字量协调。另外,数字化的柔性工装实现了装配中飞机零部件的数字化定位,而其柔性可重构功能又使得数字化装配生产线可以用于多个飞机型号,从而降低了生产线的成本;先进的数控自动连接设备则实现了装配过程中的数字化、自动化连接,保证了整个装配生产线的自动、高效运行;而数字化测量设备则实现了飞机装配过程中及装配完成后的数字化测量和检验。

数字化柔性装配生产线集成管理系统是支撑数字化柔性装配生产线运行管理的核心,其不仅可实现对柔性工装、数字化测量检测设备、制孔和移动运输设备的信息集成管理,而且能够实现对飞机的整个装配过程的实时动态控制。

结论与展望

当前国内军机产品的数字化设

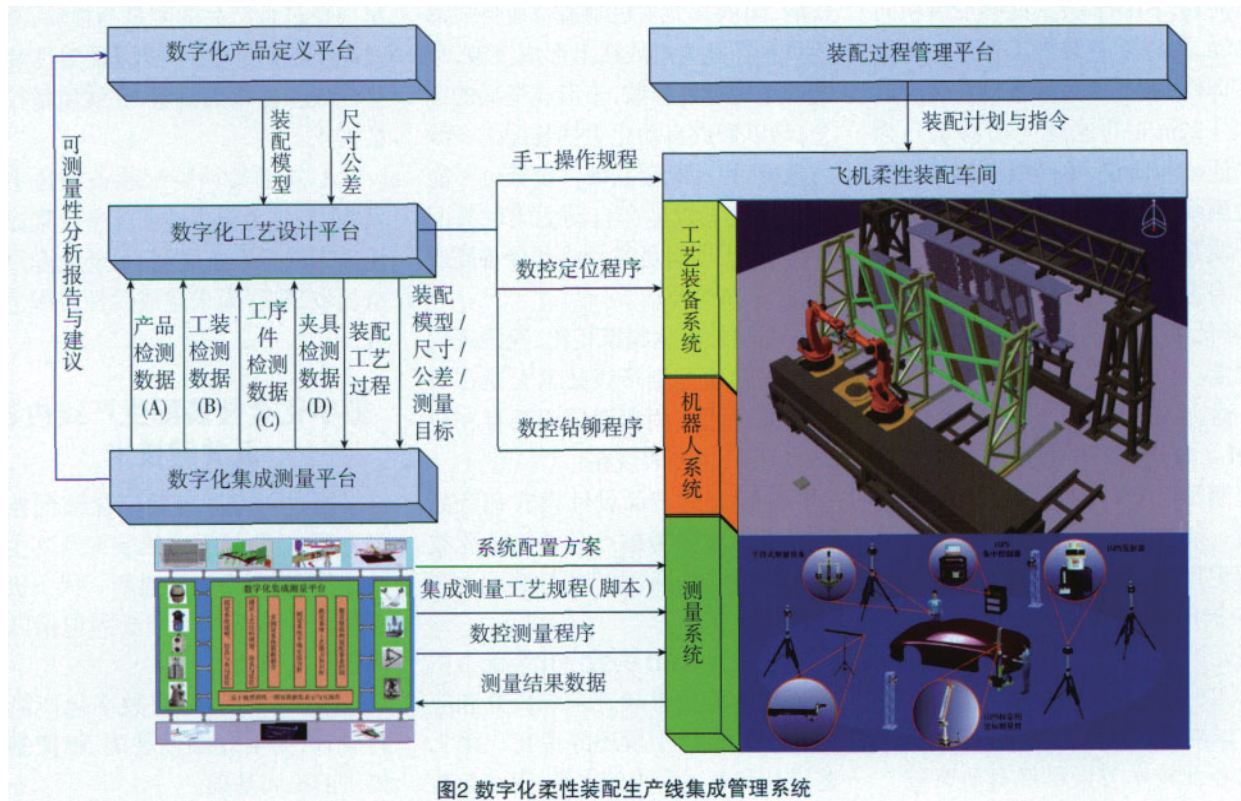


图2 数字化柔性装配生产线集成管理系统

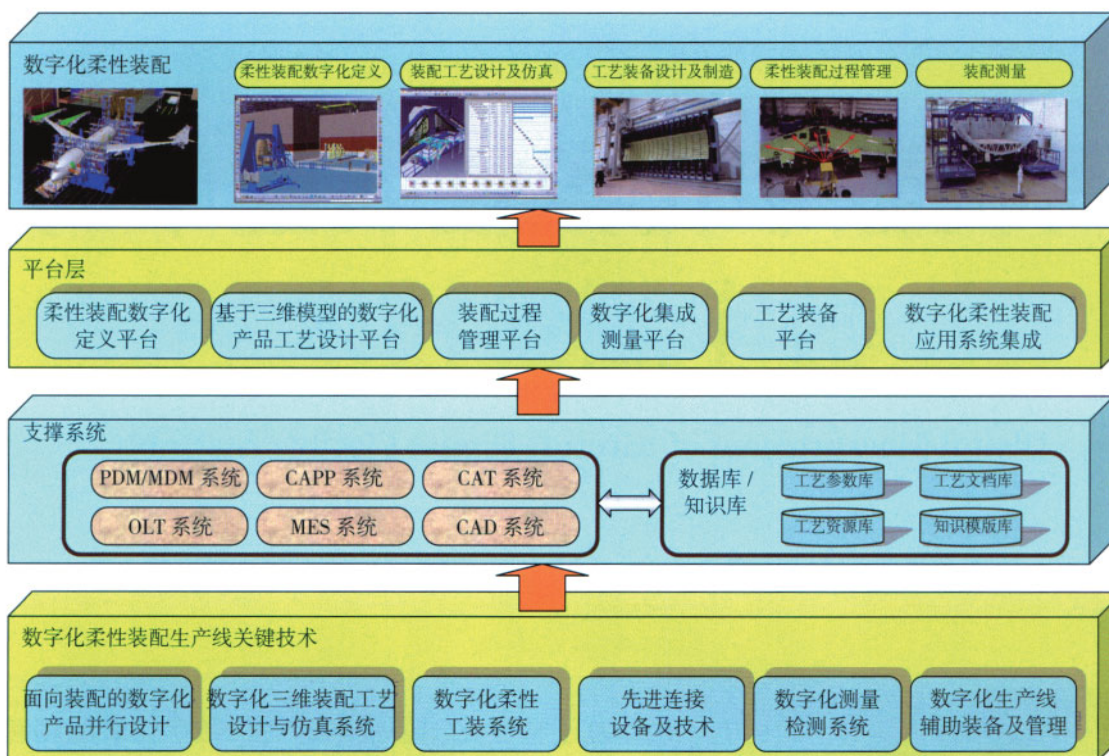


图3 数字化柔性装配生产线关键技术架构

计与零件制造技术发展迅速,但是装配技术作为飞机制造的关键还停留在二、三代机的制造水平,与其他军机制造技术相比严重滞后,已成为军机型号快速研制和生产的瓶颈。数字化产品定义取代二维工程图样已成为必然趋势,零件精准制造技术的快速发展为实现飞机柔性装配提供了必要的前提,新一代飞机长寿命、隐身、高可靠性、低成本快速研制的需求对数字化柔性装配生产线的应用提出了迫切要求。

(1)发展应用柔性装配生产线是现代飞机制造业大势所趋,通过发展应用柔性装配生产线,可大幅度提高产品装配质量和效率,是现代飞机产品制造的显著特点。

(2)通过发展柔性装配生产线,可促进数字化柔性装配技术的发展和应用,从而解决现有装配技术难以满足新一代飞机长寿命、隐身和高可靠性等要求的瓶颈问题。

(3)通过发展柔性装配生产线,可建立飞机柔性装配多系统异构测

量平台和集成检测系统,形成数字化装配模式下的新质保体系和产品检测机制,从而解决现有模式下测量手段简单、无法实现空间大尺寸动态测量,测量数据手工记录,与产品设计和工艺规划系统脱节,难以保证装配的高精度与产品及工艺的完整性等关键技术难题。

(4)通过发展柔性装配生产线,以柔性装配需求为牵引,大力推进信息化平台建设,可消除企业内“信息孤岛”现象,实现从产品设计、工艺、装配、检验和现场管理各装配生产环节信息的高度集成,从而实现对全部流程的支持和监控,使物流、信息流、资金流通畅运行,提高企业信息化管理水平。

(5)通过发展柔性装配生产线,建立新机快速试制柔性装配平台,可形成企业核心竞争力,满足我国高新武器装备升级换代的快速响应需求。从而可缩短产品的生产准备周期,降低生产成本,在企业有限的资源基础上增强生产能力。

综上所述,在国内发展应用数字化柔性装配生产线势在必行,但应充分利用前期研究工作基础,围绕数字化装配技术的发展趋势和生产线的迫切需求,根本上改造传统的设计体系、制造体系、技术体系和管理体系,实现流程再造、资源整合和生产组织调整,从而构建现代飞机数字化柔性装配生产线。

参考文献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术(修订本). 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [2] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9): 28-32.
- [3] 任晓华. 新型飞机自动化装配技术. 航空制造技术, 2005(12): 32-35.
- [4] 任晓华. JSF 制造技术综述. 航空制造技术, 2002(2): 43-48.
- [5] 任晓华. 洛克希德·马丁公司的F-22 战斗机装配生产线. 航空制造技术, 2006(8): 36-38.
- [6] 郭洪杰. 装配仿真技术在产品并行设计阶段的应用研究. 航空制造技术, 2009(24): 65-71.

(责编 泰山)