

# 飞机总装数字化脉动 生产线技术

李西宁<sup>1</sup>, 支劭伟<sup>1</sup>, 蒋博<sup>1</sup>, 王守川<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学机电学院现代设计与集成制造教育部重点实验室, 西安 710072;

2. 中航飞机西安飞机分公司工装设计所, 西安 710089)

**[摘要]** 飞机总装生产线作为新型生产组织模式,对提高飞机装配效率和质量,满足飞机批量生产要求具有重要作用。在分析总结国内外典型飞机总装生产线及其应用情况的基础上,对飞机数字化总装脉动生产线涉及的大部件数字化对接技术、数字化检测技术、精准移动技术、集成装配平台技术、物料精益配送技术等关键技术进行了探讨,为构建适合我国飞机总装配的脉动生产线提供思路。

**关键词:** 总装; 脉动生产线; 数字化检测; 精准移动; 集成装配平台

**DOI:** 10.16080/j.issn1671-833x.2016.10.048



李西宁

副教授, 博士。研究方向为装配与连接技术、板料成形技术。主持和参加“863”计划、国防基础科研、科技支撑计划等项目 20 余项。

飞机总装生产线是提高飞机装配效率和质量,满足飞机批量生产要求的重要手段。作为飞机制造过程中的最后环节和最为重要的环节之一,飞机的总装涉及翼身、尾翼对接,发动机安装,导管、线缆敷设与对接,线缆、系统检测,全机总检,全机水平测量等内容,具有生产节奏强、作业种类多、工作量大,装配精度和质量要求严格等特点。

借鉴制造业的流水线作业方式,飞机总装脉动生产线是按节拍移动的一种装配线,运用精益制造思想,对装配过程进行流程再设计、优化和平衡,实现按设定节拍的站式装配作业,达到缩短装配周期、满足客户要求的装配生产形式。总装脉动生产线是介于固定站位装配与连续移动装配之间的一种装配生产线形式,其典型特征是产品移动时不进行装配作业,装配作业进行时产品不移

动。波音公司典型的脉动式总装配线如图 1 所示。

脉动生产线将技术创新和管理创新相结合,是一种有效地实现飞机批量生产的新型生产组织模式,在波音、空客等飞机制造企业中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。

波音、空客等航空巨头正是牢牢掌握了飞机的总装与试飞这样的高价值环节,才使得众多航空制造企业成为它们的下游供应商,而使自己以龙头企业的身份稳稳占据价值链的顶端,其中波音公司采用的移动式 and 脉动式总装生产线技术,已经成为改变飞机生产模式、提高质量和效率的突出样板。反观国内航空企业,仅取得了数字化装配技术与关键装备“点”的突破,还没有形成精细化的总装现场控制能力,装配生产能力分析、生产任务分配和作业资源调度过程仍按传统方式运作,导致计划与



图1 波音脉动式总装配线

Fig.1 Pulsation production line of Boeing final assembly

实际生产进度脱节、作业任务失衡和产能无法满足需求等状况时有发生。我国飞机制造企业的脉动式生产线正处于起步阶段,很多技术和管理方法都并未形成统一的体系。这就要求我国飞机制造企业积极学习外国先进技术,结合自身现有条件,研制出适合中国飞机制造的脉动式生产线。

本文分析总结了国内外典型飞机总装生产线及其应用情况,并对飞机数字化总装生产线涉及的大部件数字化对接技术、数字化检测技术、精准移动技术、集成装配平台技术、物料精益配送技术等关键技术进行了探讨。

### 国外飞机总装生产线及其应用

作为飞机制造技术发展的引领者,波音公司在其新一代梦幻客机787的工作区域划分和总装流程设

置等诸多方面进行了大胆革新。波音公司基于并行工程的思想,按照总装配的工作内容等将787的总装生产线划分为零号工作区、一号工作区、二号工作区、三号工作区、四号工作区等5个工作区<sup>[2]</sup>,如图2所示。

零号工作区完成机翼部件(如襟翼、副翼等)的安装及其运动测试等工作,形成整体部件。

一号工作区进行飞机的前机身、中机身、后机身、左右机翼和尾段6大部件以及管路、线缆及各功能系统的安装,如图3所示。

二号工作区安装主起落架(图4)以及地板、绝缘毯、次结构件等。

三号工作区装饰飞机内部,安装辅助动力装置并对其进行初步试验。而液压系统、起落架收放测试及航空电子试验、飞行控制试验等在四号工作区完成。

总装生产线在波音公司的成功

应用,不仅为其他航空企业树立了榜样,而且坚定了企业实施总装生产线的信心。洛克希德·马丁公司在建成F-35脉动总装生产线,取得巨大经济效益的基础上,正在构建模块化的大部件生产线,将显著提高飞机装配效率;其他航空公司,如意大利的



(a) 前机身、中机身、后机身对接



(b) 机身与机翼对接



(c) 连接及其他安装

图3 大部件安装

Fig.3 Automated assembly of aircraft large parts

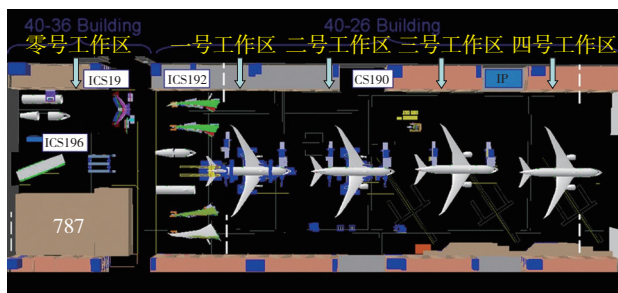


图2 波音787总装生产线

Fig.2 Product line of Boeing 787 aircraft final assembly



图4 主起落架安装

Fig.4 Main landing gear installation

阿古斯特维斯特兰公司、加拿大庞巴迪公司也都建立了与飞机型号相适应的脉动式装配线<sup>[3-7]</sup>。

为了适应飞机总装生产线需要,波音、空客等公司对机翼等大部件进行了模块化设计制造,即在进行总装之前,完成各部件上的线缆、管路等的安装,形成大部件的模块化结构。这样既可减少原来安装线缆、管路所需的传统工装,也为脉动式生产线的构建、物料自动配送系统的实施等提供了条件。

### 国内飞机总装生产线及其应用

国内飞机总装配传统上通常采用以飞机为中心,工装、设备等围绕飞机布局,装配人员再根据总装工作内容,在飞机不同位置完成装配工作的固定站位装配方式。总装配过程以人工为主,检测设备和测试手段落后,排障困难,劳动强度大,严重影响生产效率和装配质量,导致生产进度滞后<sup>[8]</sup>。

随着飞机装配生产线技术在国外的应用与发展,国内航空企业在借鉴国外先进装配技术的同时,努力钻研,自主创新,逐步推进飞机总装生产模式由传统装配方式向脉动生产线装配方式转变。

中航工业西飞公司为了提高飞机总装配技术水平和装配质量,结合了“飞豹”飞机总装特点,在突破了多自由度调姿定位技术、大部件自动化对接技术、数字化测量技术和轨道移动等关键技术的基础上,建立了国内首条总装脉动生产线,为飞机脉动式生产线在国内的应用树立了典范<sup>[9]</sup>。

随着大飞机的成功研制以及新一代涡桨支线飞机 MA700 的立项,中航工业西飞结合型号正在进行数字化总装脉动生产线的规划与建设;国内其他航空公司(如洪都公司、成飞公司等)也开展了飞机装配脉动生产线的工程项目。

### 飞机数字化总装脉动生产线关键技术分析

飞机总装脉动生产线是全面提升总装产品质量和装配效率的有效途径。近年来,随着大量飞机型号进入批量生产阶段,飞机总装脉动生产线作为国内新型生产组织模式,其相关技术研究尤为迫切。飞机数字化总装脉动生产线关键技术包括:大部件数字化对接技术、数字化检测技术、精准移动技术、集成装配平台技术、物料精益配送技术等。

#### (1) 大部件数字化对接技术。

大部件对接技术是实现机翼与机身等的装配。数字化对接是利用数字化测量技术、计算机控制技术等实现飞机部件的自动对接。20世纪80年代以来,随着数字化装配技术的发展,自动对接逐渐广泛应用在西方的飞机制造业中<sup>[10]</sup>。波音公司在787等飞机研制过程中,采用激光跟踪仪、iGPS等数字化测量设备对飞机部件上的控制点、交点孔等位置进行检测,协助飞机部件直接对接<sup>[11]</sup>。

国内通过自动化对接平台实现大部件对接。根据飞机部件(机身、机翼等)的结构特点,工装可采用柔性多点支撑阵列形式,满足不同部件的支撑要求<sup>[12]</sup>。

#### (2) 数字化检测技术。

飞机数字化检测包括飞机线缆和系统功能等检测。随着计算机控制技术和自动检测技术的飞速发展,数字化在线检测技术成为航空检测领域的发展趋势。国外波音、空客等航空公司在波音757、F-35、A380、A320等飞机装配中,已将模块化在线检测技术应用在航电、液压、动力、火控等系统装配、系统试验等方面,实现了飞机线缆、系统的在线检测、故障隔离。在国内,对飞机总装生产现场的故障诊断、故障隔离以及线路检查缺乏有效手段和相应的检测设备。为了实现数字化检测,需要突破

线缆和系统一体化在线检测技术、全机在线检测等技术,并构建飞机总装配快速、高效在线检测平台。

#### (3) 精准移动技术。

精准移动技术实现了飞机在脉动式生产线上的移动、装配所需物料的配送以及路径的选择,国内外航空企业非常重视这方面的研究,并且研制开发了一些实用和新颖的移动设备。在飞机总装脉动式生产线上主要应用有飞机牵引车、自主引导搬运车(AGV)、气垫运输系统、嵌入式轨道移动系统等。

精准移动设备的使用要依据具体工作内容进行确定,如在波音公司的脉动式生产线上,飞机在二号工作区安装好主起落架后,可依靠自身起落架支撑飞机,采用飞机牵引车拖动飞机在飞机总装脉动式生产线上移动;负责物料的配送运输可采用AGV等。牵引设备精确移动定位与集成控制技术,移动设备优化设计技术等是实现精准移动的关键。

#### (4) 集成装配平台技术。

在飞机总装脉动生产线中,为减少总装线上的工装,以方便数字化生产线的管理,工装不仅要具备移动性特点,而且需要工装具有多功能性,形成集成装配平台。集成装配平台需要综合考虑各个集成模块的预置布局区域、物料放置区域、工装工具放置区域、线路管路的铺设区域以及操作人员的工作空间等因素,对工作平台划分相应的功能区域,保证系统运行、维护以及操作人员的工作条件。因此飞机总装集成装配平台具有大负载、大尺寸、高集成的特点,需要重点研究集成装配平台移动技术、集成装配平台优化设计技术、系统模块化集成技术等。

#### (5) 物料精益配送技术。

物料的准时化配送是实现飞机总装脉动生产线的重要条件。为达到这一目标,飞机制造厂商需要与飞机零部件供应商分享其生产信息,

并共同开发包含生产计划、仓储信息、生产进度、在途信息等内容的物料配送管理系统,实现对物料入库及出库信息的公开化,提高物流效率,减少物流仓储成本,为精益化生产提供保障。

## 结束语

国内飞机数字化装配技术发展迅速,已突破大型飞机组件、部件数字化装配技术,并研制了相应的数字化关键装备,但飞机总装基本上仍然采用传统装配方式,与波音、空客等飞机模块化装配、总装脉动生产、系统集成检测等数字化总装技术存在巨大差距,已成为制约飞机生产能力提升的瓶颈环节。通过深入研究飞机总装生产线技术,建立适合我国飞机装配的脉动生产线,对于提升飞机制造水平和生产管理,实现大飞机等型号的批量生产具有重要意义。

## 参考文献

[1] 李金龙,杜宝瑞,王碧玲,等.脉动装配生产线的应用与发展[J].航空制造技术,2013(17):58-60.  
LI Jinlong, DU Baorui, WANG Biling, et al. Application and development of pulse assembly line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology,

2013(17):58-60.

[2] 范玉青.波音787:“全球制造”下的总装革新[J].大飞机,2014(1):40-43.

FAN Yuqing. Assembly innovation in "Global Manufacturing" of Boeing 787[J]. Jetliner, 2014(1):40-43.

[3] 任晓华.洛克希德·马丁公司的F-22战斗机装配生产线[J].航空制造技术,2006(8):36-38.

REN Xiaohua. The F-22 aircraft assembly line of Lockheed Martin space systems company[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(8):36-38.

[4] 许国康.飞机总装移动生产线技术[J].航空制造技术,2008(20):40-43.

XU Guokang. Movable production line technology for aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(20):40-43.

[5] 陈绍文,王舸,孙珞珈.精益制造和飞机移动式装配线[J].航空制造技术,2011(16):34-37.

CHEN Shaowen, WANG Ge, SUN Luojia. Lean manufacturing and aircraft mobile assembly line[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2011(16):34-37.

[6] 袁立.现代飞机数字化柔性装配生产线[J].航空科学技术,2011(5):1-4.

YUAN Li. Digital flexible assembly line of modern aircraft[J]. Aviation Science and Technology, 2011(5):1-4.

[7] 陈绍文.航空产品移动式装配的动向和对策[N].中国航空报,2013-1-10(T03).

CHEN Shaowen. The trend and

countermeasure of mobile aviation assembly[N]. China Aviation News, 2013-1-10(T03).

[8] 李洋,桑龙.浅谈飞机总装自动化装配生产线[J].装备制造技术,2011(10):132-134.

LI Yang, SANG Long. The automatic aircraft assembly line[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2011(10):132-134.

[9] 彭明富.抢占航空制造技术制高点[N].中国航空报,2013-4-20(003).

PENG Mingfu. Seize the commanding heights of aviation manufacturing technology[N]. China Aviation News, 2013-4-20(003).

[10] 金庆勉,金加奇.飞机机身自动对接技术研究[J].航空制造技术,2014(19):72-75.

JIN Qingmian, JIN Jiaqi. Study on aircraft fuselage automatic joining technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(19):72-75.

[11] 李旭龙.飞机翼身对接中的自动定位技术研究 with 系统开发[D].南京:南京航空航天大学,2011.

LI Xulong. Research on the technology of automatic location for wing fuselage connection and developing of the control system software[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.

[12] 李西宁,胡匡植,李维亮,等.飞机数字化柔性装配工装技术[J].航空制造技术,2013(12):40-43.

LI Xining, HU Kuangzhi, LI Weiliang, et al. Aircraft digital flexible assembly tooling technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013(12):40-43.

# Digital Pulsation Production Line for Aircraft Final Assembly

LI Xining<sup>1</sup>, ZHI Shaowei<sup>1</sup>, JIANG Bo<sup>1</sup>, WANG Shouchuan<sup>2</sup>

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;  
2. AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Company Ltd., Xi'an 710089, China)

**[ABSTRACT]** As a new mode of production organization, the assembly line of aircraft is an important part to improve the assembly efficiency and quality, and to meet the requirement of mass production. On the basis of summarizing the typical aircraft assembly production line and its application at home and abroad, the key technologies involved in the final assembly pulsation production line are discussed. They include the digital alignment technology of aircraft large parts, digital detection technology, precision mobile technology, integrated assembly platform technology, material lean distribution technology, etc. So an idea is provided for constructing digital pulsation production line which is suitable for our country's aircraft assembly.

**Keywords:** Final assembly; Pulsation production line; Digital detection; Precise movement; Integrated assembly platform

(责编 李丹)