

飞机移动生产线的 应用条件和环境约束

Application Condition and Environment Restriction of Aircraft Movable Production Line

南京航空航天大学机电学院 王建华 陈文亮



王建华

研究员级高级工程师,曾任西安飞机工业(集团)有限责任公司副总工艺师、技术装备公司总工程师、上海航空特种车辆有限责任公司总工程师兼总工艺师,现任上海飞机制造有限公司工装部部长。

近几年,国外飞机制造新技术、新理念呈冲击波势态向中国航空制造业扩散。如柔性制造技术、无纸化制造理念、数字装配技术、虚拟制造和装配、数字化集成技术、移动生产线等,使业内人士眼花缭乱、应接不暇。对此,专家们开展了大量的科研活动和应用研究^[1]。

为适应不同客户的日益增长的诸多构型需求,为适应用户对飞机的数量大幅增加而带来的批量管理需求,以波音公司为代表的先进飞机制造公司近 10 年来在不同机型、不同制造阶段、不同制造工位大量运用了过去只有在汽车生产线上才能见到的生产组织模式——移动工位及移动生产线工作法。

这些新技术中,对国内航空制造专家们震动尤其明显的当属飞机制造移动生产线。

传统飞机制造无论是零件生产,还是部件装配,固定站式的生产方式一直是飞机生产商们采取的基本模式,工件在固定站位上执行工序时的每一工步靠的是手工加机械的非自动动作,工件在工序间的传递靠的是人工活动,这就是所谓的静态生产思路。静态生产源于各专业的生产组织方式是孤岛式的,设备之间没有有机关联,人员之间互不来往,专业划分过细,整个飞机制造流程的运转靠管理者的语言、足迹和书面文字来维持。静态生产在飞机总装对接上的典型表现是各个参与对接的部件由行车吊运到对接现场,上架、

手工调整、对合、制孔、清理、铆接;静态生产在飞机零组件过程中的常见模式是各个半成品或零组件由各个固定工位制造出来,通过人工按照书面生产计划汇集到某个固定站位进行组合安装^[2]。

为适应不同客户的日益增长的诸多构型需求,为适应用户对飞机的数量大幅增加而带来的批量管理需求,以波音公司为代表的先进飞机制造公司近 10 年来在不同机型、不同制造阶段、不同制造工位大量运用了过去只有在汽车生产线上才能见到的生产组织模式——移动工位及移动生产线工作法^[3]。

移动工位及移动生产线工作法尽管给飞机制造带来了新的思路,但是要实现其应用,必须具备相应的环

境条件,本文就移动生产线技术在国外的应用情况和在中国的应用条件进行分析。

国外应用情况

移动生产线在飞机制造中的应用不是从波音开始,也不是从总装开始,更不是从21世纪才得到应用,早在20世纪80年代末90年代初,笔者在空客公司工作时,就体验了飞机钣金零件自动生产线和壁板移动铆接生产线的理念了。

在飞机装配方面欧洲的理念是以固定站位为基本思想,实现局部移动和单环节自动移动^[4]。如大家熟悉的天津A320总装生产线其实就是单环节移动的移动生产线,总装过程分4个固定站位,但在每一个站位并不完成一架飞机的全部总装。在第一站位,实现了机体结构对接,然后进入第二站位;在第二站位安装翼类结构及活动面;在后面两个站位进行系统安装及全机测试等。而对于空客新飞机A380和A350,侧重于固定站位为主,这与其在研制其和初批量生产的速率有关。

俄罗斯SSJ100飞机是21世纪研制的一款新飞机,在制造理念上基本舍弃了前苏联的制造传统,在数字化制造概念的大气候下,其制造方式试图向欧美先进技术水平靠拢,在研制阶段就采购了德国人设计的自动化铆接和自动对接生产设备,但从收集到的全套制造生产线资料来看^[5],基本上没有移动生产的思想。

飞机装配移动生产线的概念最初是由长滩生产波音717的波音分部提出的。波音生产部门原始想象的移动装配生产线为:7架飞机在牵引力作用下利用各自的起落架轮沿着一条直线通过厂房,每架飞机及各自的保障设备和工作站由一个动力车牵引前进。

波音公司最终在717、737、747、757、767和777飞机总装生产线上

引入丰田汽车流水线思想,采用了移动生产线。

1999年,波音开始改造737飞机生产线,将工作坞式单机固定生产模式改为不间断快速移动式节拍生产线。2001年,新生产线开始使用,月生产率28架。在生产线上同时放6架飞机,每架飞机在线时间为9~11天。

波音737飞机进入总装厂房后,分为9个Flow Day相对浮动工作站位。Flow Day 1~2为系统集成区,从供应商处来的737系列飞机机身放置在专用工具坞中开始装配必要的部件;Flow Day 3飞机机体大部件开始对接,在这个工位,左右机翼开始和机身对接,起落架安装到位,这个工位是移动生产线开始前的最后一个程序;Flow Day 4开始进入移动生产线,该时段安装的内容有:垂直尾翼、水平尾翼、货舱门、驾驶舱、地板、飞行控制系统、液压系统等;Flow Day 5安装的内容有:EDO、厕所安装架、热水处理器、电子舱开始安装,同时,内饰开始从后往前安装;Flow Day 6安装的内容有:货舱安装、电子舱继续安装、驾驶舱开始安装、厨房安装、内饰(行李架安装),开始进入测试的第一天(高压测试、低压测试)、密封、加压、气密测试、动力开

始充电、货舱加压测试、起落架收放;Flow Day 7安装的内容有:舱内装饰完毕、电子舱完成90%安装、厕所安装完成、第二班铺地板、座椅,方向舵测试、尾翼动作、机翼油箱盖关闭、整流罩合上、电气和燃油试验、所有活动面测试;Flow Day 8为移动生产线的最后一天,安装发动机、内装必要的器具(如马桶等)、照明系统安装。至此,飞机安装完毕。

2006年11月份媒体报道,波音公司改造了777装配生产线,在777飞机装配中首次使用移动装配生产线。为了使波音777装配生产线在总装中移动,波音公司使用了一个与前起落架相连的拖车向前拉动飞机。拖车有一个光纤传感器可沿车间地面上的白线前行。在装配过程中,机械人员安装如座椅、行李箱和其他飞机内部的结构件并进行各种系统的功能试验。包括系统安装、机体对接和飞机总装。这将在民用飞机制造中采用的范围最广的移动生产线。刚开始,波音777机翼与中机身连接是在前后机身部件连接以前进行的。机身部件可以在车间内移动,而机翼和机体的连接则需要使用龙门吊车,相当耗时。另外机身还有保障工人工作的重要的脚手架。一旦机体连接和机翼-机体连接完成,飞机就准



备进入移动装配线进行总装。2013年2月再次考察777移动总装线,发现波音对777移动生产线再次进行了改进,从机身段模块化装配开始,呈U形布置连续移动,进入全机对接时颠倒方向,机翼和机身对接,再次移动开始系统总装。

2002年8月19日,波音公司在其位于华盛顿州的伦顿工厂,开始在移动生产线上组装波音757飞机。757的生产周期及部件库存水平都将改善30%以上。在移动生产线上,处于总装阶段的飞机每天向前移动24英尺。

2002年11月22日,波音埃弗雷特工厂将两架767飞机调整为机头正对厂门的方向。由此,767飞机的总装工作正式采用了独特的移生产线,此前采用的是若干条“倾斜”的生产线。

洛克希德·马丁公司的F-35也采用了连续移动装配线生产,F-35装配线上有120名工人,每架飞机在装配线上将以1.22m/h的速度前移。

国内应用案例

国内开始接受飞机移动生产线思想并在实践中得到应用的首先是军机总装线。某歼击轰炸机把飞机部装和总装的分工进行了重新整合,在100m的距离上设置了5~6个不同工作内容的功能站位,通过滑轨使飞机机体在直线性方向上进行脉动行走,采用中央计算机进行整条线信号控制,实现了部装对接和系统安装及系统检测的移动生产。该机型采用移动生产线的基础条件是已经进入了批量生产。

另外,还有一些在军机上应用的例子,这里就不细谈了。

新支线是我国进入21世纪后研制的70座客机,目前已经进入小批量试投入阶段,按照年产50架份计算,每个月总装在线飞机应该有4~5架,具备了采用移动生产线技术的条

件,2009年以来,国内外先后有几家生产商为新支线制定过移动生产线的方案。从理念上讲,欧洲企业偏重于脉冲式移动,而美国企业曾经是波音公司移动线的供应商,偏重于连续移动的思想,中国企业的方案属于客户需要什么就设计什么的情况。目前,在新支线制造中,先前采用移动工位技术,离移动生产线还有距离。

大型飞机在中国目前有两个型号,一个是运输机,一个是客机。运输机的制造在总装部分没有采用移动生产线技术,而众所周知,大客机采用了由国外供应商按照国内客户需求而设计制造的总装移动生产线。该生产线目前已经完成设计,正在制造中。

实现移动线应具备的条件和环境约束

移动生产线其焦点在于移动,具有以下特点:

(1)在整个制造过程中,飞机整机或零部件始终以平稳的速度移动,便于工人们准确地把握制造流程;

(2)工人的操作对象是一个移动体;

(3)将飞机从一个工位缓慢地移至另一个工位;

(4)部件、工具和设备放在生产线的旁边,方便员工能够在需要的地

点和时间得到所需要的一切;

(5)在移动生产线的附近有支援小组为飞机整机或零部件连续移动提供支持;

(6)飞机由带导向的牵引装备拉动向前移动;

(7)中央控制室对生产线的运行进行控制;

(8)生产线的速度是根据下道工序或飞机客户的需求计划来确定的;

(9)生产线的能源输送是连续性的;

(10)飞机外围所有周边设备和操作平台都是随飞机同速运动并根据需要可以方便脱开的;

(11)飞机整机或零部件在线的所有工作都必须在线完成。

为了实现上述特点,移动生产线应该具备的条件和环境约束为:

(1)为了实现飞机整机或零部件始终以平稳的速度移动,就必须有一个速度可调并且可以以极低速度行进的AGV运输装备,而这个小车的行进稳定性、运动精确性、方向一致性、信号可控性都必须满足要求;

(2)操作工人的工作对象是一个移动体,要求工作着的操作人员始终保持清醒的头脑和高度集中注意力的精神状态,每个环节不能有任何停顿和迟缓,因此,工人要经过严格



训练并具有灵敏的反应能力；

(3) 将飞机从一个工位缓慢地移至另一个工位,要求工位间的交接界面清晰、工序保留状态可持续可控,尽管是缓慢过度,也不能有丝毫的马虎和怠慢,对工段管理和生产线调度有很高的要求；

(4) 部件、工具和设备在生产线规定的区域定置安放,方便员工能够在需要的地点和时间得到所需要的一切,这是多维的管理方式,需要高速的信息处理工具、强有力的调度指挥体系、快速机动的物流运输系统和万无一失的质量保障手段；

(5) 在移动生产线附近有支援小组为飞机整机或零部件连续移动提供支持,这个支援小组实际上就是被赋予足够处理问题权限的跨职能联合团队,由工程设计、工艺工程、工装设计、生产线维护、成本管理、生产计划调度等专业人员组成,具体在哪个工位配备哪些专业人员全凭现场实际情况而定,不是一成不变的；

(6) 移动生产线不是孤岛性的专业控制,而是成系统的连续监控,因此移动生产线必须要依靠现代化的中央控制室对其运行进行全面控制,中央控制室不只是靠图表来指挥生产线的运转,而是全方位、全视觉、全过程地对生产线进行立体操作,一旦某个环节出现问题,中央控制室会有顺序、有节奏地发出减缓速度、局部暂停或全线停车的命令,对于生产线的任何一个BUG,中央控制室都可以一票否决；

(7) 生产线的运行速度不是按照人们的愿望和理想得出的,而是根据下道工序或飞机客户的需求计划来确定的,换句话说,它的运动快慢完全取决于后续工作对其输入的结果,由市场来决定；

(8) 为保证生产线能源输送的连续性,需要设计专门的能源输送装置,在生产线运动的任何瞬间,都不能有能源的断供现象,这也是移动生



产线很有看头的一部分内容；

(9) 飞机外围所有周边设备和操作平台都是随飞机同速运动并根据需要可以方便脱开的,这就要求AGV的动力足够应付所载设施的负重,也要求所载设施与移动线之间有十分友好的接口和方便搭接和脱开的结构；

(10) 飞机整机或零部件在线的所有工作都必须在线完成。由于移动生产线走完一个流程,其经过的每个工位之间都有其密切的逻辑关系,都是和飞机的结构或系统件的逐渐完善有着不可逆的递进过程,没有任何的遗留工作可以推到后面的工序去做,因此,不能指望前个工位完不成的工作由后面工位来继续做。

上面揭示了移动生产线的内涵,回过头来看看国内的综合实力能否支持一条移动生产线进行有效运作。

移动生产线一旦移动起来,就像一张网都要动起来一样,它往往牵动了世界范围的供应商的资源调配。

公司内部资源是否受能力限制? 外部供应商的合同履约是否可靠? 市场上的物流系统能否满足飞机生产的高标准要求? 计划的管理是否能够适应生产线的运行? 飞机批量是否能够让生产线移动起来? 生产线现场的质量问题、技术问题能

否在短时间内得到正确解决? 为保障移动线的正常运转,如何科学和有效地维护这些非标设施? 这些都是希望拥有移动生产线的厂家要仔细研究的问题。

结束语

移动生产线是为解决飞机批量生产和降低管理成本而出现的庞然大物,它不是一台可以放入玻璃柜台里供人观赏的工艺品,拥有它我们就有责任用好它,我相信中国的航空工业同仁们一定能够发挥其聪明才智,应用好这个诱人的新生物,并且在“引进-消化-吸收-创新”的思路下取得中国人自己的成果。

参考文献

- [1] 孟飙. 飞机数字化对接与校准数据应用技术及系统. 北京: 北京航空航天大学, 2007.
- [2] 王建华. 探索中国飞机制造装备技术的发展道路. 航空精密制造技术, 2010(1): 2-4.
- [3] 王建华. 飞机总装对接技术. 航空制造技术, 2010(2): 32-35.
- [4] 邹冀华, 刘志存, 范玉青. 大型飞机部件数字化对接装配技术研究. 计算机集成制造系统, 2007, 13(7): 1367-1373.
- [5] 刘志存. 数字化协调体系的建立. 北京: 北京航空航天大学飞行器制造工程系, 2005.

(责编 深蓝)