

飞机总装移动生产线技术

Movable Production Line Technology for Aircraft Assembly

北京航空制造工程研究所 许国康



许国康

硕士,北京航空制造工程研究所数字化与柔性装配技术研究室高级工程师。主要研究方向为飞机柔性装配技术、先进泄漏检测技术和磁脉冲加工技术。

飞机总装移动生产线技术源于丰田生产方式和精益生产理论,该技术能够实现飞机高质量、低成本和快速响应的制造,已成为波音、空客等西方航空业巨头提高企业核心竞争力的手段之一。

移动生产线技术概述及其理论渊源

要准确把握飞机总装移动生产线技术,就需要对其实质和理论渊源

飞机总装移动生产线技术源于丰田生产方式和精益生产理论,该技术能够实现飞机高质量、低成本和快速响应的制造,已成为波音、空客等西方航空业巨头提高企业核心竞争力的手段之一。

进行分析和了解。

飞机总装移动生产线技术起源于丰田生产方式(Toyota Production System/TPS)。丰田公司对它的定义是“为实现企业对员工、社会和产品负责为目的,以彻底杜绝浪费的思想为目标,在连续改善的基础上,采用准时化与自动化方式与方法,追求制造产品合理性的一种生产方式”,其代表作是大野耐一于1978著的《丰田生产方式》一书。图1所示为丰田生产方式的体系框架。

丰田生产方式的实质是彻底消除浪费,包括:过量制造、等待、运送的浪费、加工本身的浪费、库存、多余的动作、制造次品等,从而实现高质量、低成本和快速响应制造。其中减少库存是非常关键的,如图2所示,最大的浪费往往是由库存过剩造成的。

“自动化”和“准时化”是丰田生产方式的两大支柱。“自动化”不是单纯的机械“自动化”,而是包括人

的因素的“自动化”,其中包括自动化设备具有故障自动停机功能、人工生产线出现问题时,操作人员也可以停止生产线。“准时化”,就是使需要的零部件按需要的数量、在需要的时刻到达生产线需要的地方。“自动化”和“准时化”的关系,就如一支排球队,“准时化”是发挥球队队员间相互配合的协作精神,“自动化”则是提高每一个队员的个人技术。只有团队协作与个人技术二者很好地相结合,才能构成一个球队的核心竞争力。同样,“准时化”和“自动化”并存的生产模式,比其他生产模式都更具优势。

丰田式生产方法采用拉动式生产管理技术,其管理工具是建立在流水作业基础上的看板方式,看板则是拉动式计划与控制系统的信号传递工具。拉动式生产管理与传统的大批量生产的推动式生产方式不同,它是基于按需生产的理念,按客户要求需要在需要的时间按需要的数量生产产品,根据生产流程终点的客户需求拉动

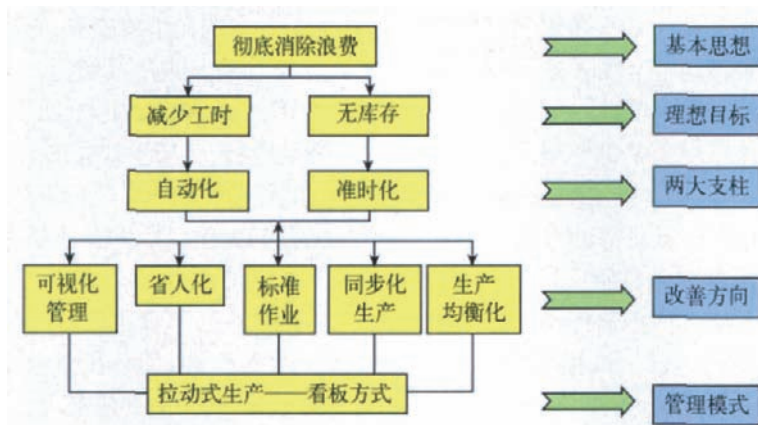


图1 丰田生产方式体系框架

生产：以生产工序的最后一道总装配线为起点，开始给装配线提出生产计划，前一道工序不是按照预先确定的生产计划生产，而是根据后一道工序的需求，在需要的时刻按需要的数量生产出需要的东西，并由后一道工序按需领取。

拉动式生产具有降低库存、提高物流的顺畅性、防止过量生产、对现场生产操作进行控制、实现流程的目视管理、提高适应需求变化的灵活性(柔性化)生产、降低库存报废的危险、有助于供应链管理等优点。

而精益生产方式(Lean Production)是麻省理工学院的研究小组在全面研究以丰田生产方式为代表的日本式生产方式在西方发达国家以及发展中国家应用的基础上，所提出的一种完整的生产经营管理理论。“精”即完美、周密、高品质，“益”则含有利益增加和“精益求精”的双重含义。

20世纪90年代开始，美国对丰田生产方式/精益生产方式进行了一系列的研究和实践，其中包括美国政府实施的“国防制造企业战略”、“精益航空计划(Lean Aerospace Initiative)”等活动，除了汽车行业外，包括波音公司、洛克希德·马丁公司等航空企业也投入到实施精益生产和制造的大潮中来，最终促使了飞机总装移动生产线这种新生事物的出现，并成为这些西方航空业巨头

追求的企业核心竞争力。

飞机总装移动生产线其实质是丰田生产方式/精益生产理论在飞机制造业的应用，即生产线上的飞机从一个工作站缓慢移动到下一个，在整个装配过程中，飞机始终以平稳的速度移动，故形象地称之为移动生产线。一般来说，移动生产线具有如下优势：

(1) 移动生产线是识别和取消生产系统中浪费的最强大工具。由于移动生产线能够使生产中的问题可见，并且产生紧迫感，因而能够从

根本上解决生产质量和效率问题；

(2) 减少工作过程中使用的部件的库存；

(3) 节省装配空间，保证交货进度(快速响应需求)。

移动生产线在飞机制造中的应用现状

为了满足飞机的快速生产需求，降低装配成本，目前，波音、洛克希德·马丁、空客等飞机制造公司分别在波音系列民机、F-35及A380等飞机的总装生产线中，吸取了汽车行业流水线生产线的理念，进行了生产线流程再造，并采用精益制造模式，将传统的批量装配生产方式变革为单件流拉动式生产方式，在总装中采用了移动生产方式，从而大大缩短了飞机总装时间，降低了飞机制造的成本，提高了装配质量。如B737在1999年建成移动生产线后，总装时间由原来的22天减少到11天，工作流程产品存货降低50%，储备存货降低59%，该生产线以每分钟2英寸(50.8mm)的稳定速度前行，最终将

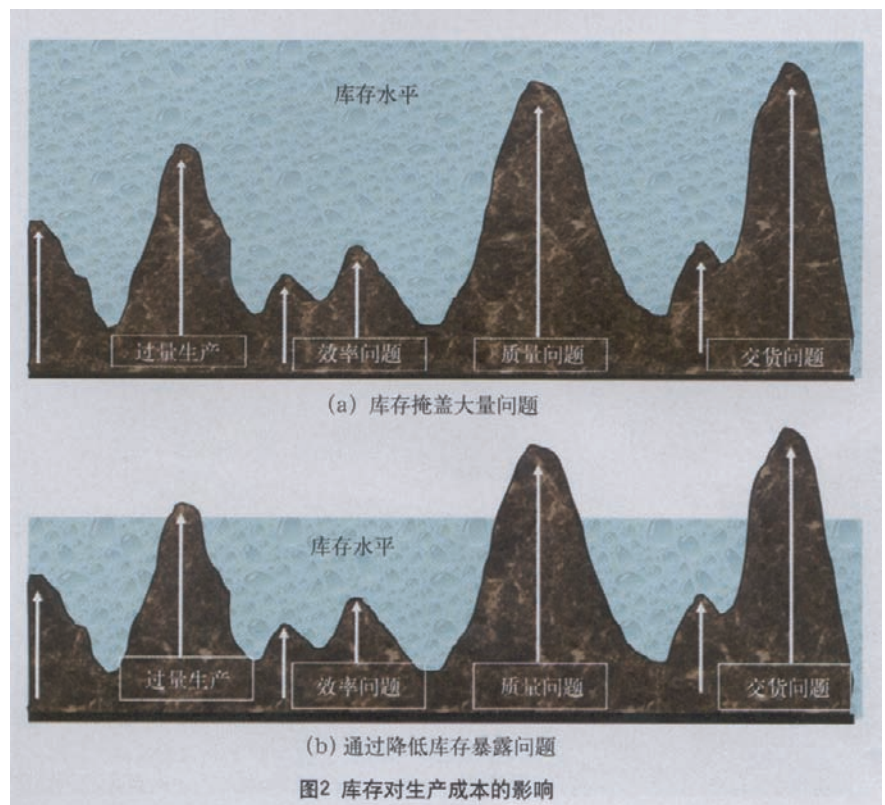


图2 库存对生产成本的影响

飞机装配时间减少到 8 天。

目前, B717、B737、B747、B757、B767 和 B777 飞机已全部采用了这一先进的制造技术,并在提高产品质量、降低成本的同时,缩短向客户交付飞机的时间。波音公司的总装移动生产线具有如下的特点:

(1) 一条连续移动的总装生产线将飞机从一个总装小组缓慢地移至另一个总装小组;

(2) 在整个装配过程中,飞机始终以平稳的速度移动,便于工人们准确地把握制造流程;

(3) 生产线的速度是根据客户的需求来确定的;

(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连续移动提供支持;

(6) 飞机由带导向的牵引车拉动向前移动。

B757、B767 的总装移动生产线都是在 2002 年建成投入使用的。波音公司副总裁兼 B767 飞机项目总经理约翰·奎恩利翁认为, B767 飞机总装移动生产线可帮助找出并且

减少生产系统中的大量浪费。B757 飞机总装移动生产线以每天 24 英尺(7.31m)的速度前进,可改善生产周期及部件库存水平 30% 以上。

2006 年 11 月,经过 3 年的研究,位于西雅图北部的波音公司宽体客机总部埃弗雷特工厂的大型双发 B777 客机的复杂移动装配生产线已经开始运转。该移动装配生产线的建设分阶段进行。第一阶段,生产线以每分钟 1.6 英寸(41mm)前进,而且只有经过机体连接完成和起落架安装后才进入移动装配生产线。因此,移动装配生产线主要是进行系统安装,不进行主要结构件的对接。第二阶段,到 2008 年完成移动装配生产线,包括系统安装、最后的机体连接和总装。波音公司 777 项目经理认为,移动生产线是识别和取消生产系统中浪费的最强大的工具,由于能够使问题容易发现并督促快速解决发生问题的根本原因,所以效率得到极大提高,重要的是生产线是移动的。波音 777 机长 242 英尺(73.76m),翼展 213 英尺(64.9m)。该机在生产线上移动是通过连接在前起落架的一条绳索前进的。该绳

索带有可导向的光学传感器,能够使飞机沿着地板上的白线前行。图 3 所示为 B737 总装移动生产线。

洛克希德·马丁公司的 F-35 采用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。采用移动生产线不仅可以提高生产率,节省装配空间,而且在整个项目寿命期内估计将节省 3 亿美元。

A380 飞机为了解决进度和重量问题,其总装线还在不断向移动生产线的方向改进。空中客车英国公司将机翼生产线改进成脉动式移动生产线,节省了单通道飞机 10% 的时间和成本。其方法是:机翼慢慢移动通过全过程的 14 个工作站,每 14h 移动一次,每次移动 7min,代替工人在厂区内移动。在每个工作站有一个多功能小组进行燃油、电子、液压系统及可动面的安装和测试,包括所有工具和零件在内的“工具包”直接交付给装配线上的功能小组,确保功能小组专心装配工作。在每个工作站上还有交通灯(红、黄、绿)用于跟踪机翼进程。在整个生产线移动前,每个灯必须都是绿的。工作组长可以电话报告一些情况,在工厂的房顶上悬挂有一个电子广告板可以显示生产线还有多长时间将移动。

移动生产线的关键技术

飞机总装制造中基于丰田生产方式和精益制造理论来构建移动生产线,需要突破如下主要关键技术:总装生产价值流分析、移动生产线总体布局及仿真技术、拉动式生产看板可视化管理技术、单元化生产技术、生产线节拍设计技术、生产线移动及定位技术、物料准时化配送技术、基于 ERP 系统的移动生产线信息化管理技术。

而要保证高质量、高效率 and 快速反应的总装先进装配技术的应用,则



图3 B737总装移动生产线

需要突破大部件自动对接技术、大容积座舱、整体油箱、管路系统先进泄漏检测技术、整机线缆和系统集成检测技术、对接自动制孔技术、数字化水平测量技术、电磁铆接技术等。

移动生产线技术在国内飞机制造业中的应用

采用飞机总装移动生产线技术可以实现飞机产品的低成本、高质量和快速响应制造,对于我国新一代军民机,特别是新支线客机和大型客机的研制和生产有着重要的意义。以下是对我国总装移动生产线实施步骤的建议:

(1) 创建现场一流环境: 意识生产管理的变革,寻找和识别浪费;总装移动生产线的创建要以通过全员5S(整理、整顿、清洁、规范、素养)/6S(5S+安全)/7S(5S+安全+节约)活动创建一流环境为基础;

(2) 价值流分析: 识别价值流,按照最终用户的观点全面考察价值流,发现和消除浪费;

(3) 现场改造——单元化生产: 追求单件流,使创造价值的各活动不间断流动起来,实现生产线的移动;

(4) 进度控制——拉动式生产: 按客户需求设计投入和产出,满足适时、准时供货需求;

(5) 提高生产线的柔性: 实现在最短的时间完成产品或生产线的切换;

(6) 持续改善: 正确应用IE(Industrial Engineering,即工业工程)方法,重点改善物流;

(7) 全员生产保障(TPM): 保证设备、工装、信息系统等完好,随时可用;

(8) 采用全面质量改善方法(TQM): 用各种先进技术和管理等手段,不断提高产品质量。

综上所述,基于精益生产方式构建飞机总装移动生产线,就是要以创建一流环境为基础,采用单元生产、

TQM全面质量管理、持续改进、拉动式生产、持续改进、全面生产保障、生产均衡化、生产快速切换等手段,达到准时交货、低成本和高质量生产的目的,图4、图5分别显示了飞机总

技术、综合保障设备等,对工人进行多能化技术培训和规范化操作,实施可视化控制和故障停线制度等,保证飞机装配质量;

(4) 提高生产管理信息化水平。

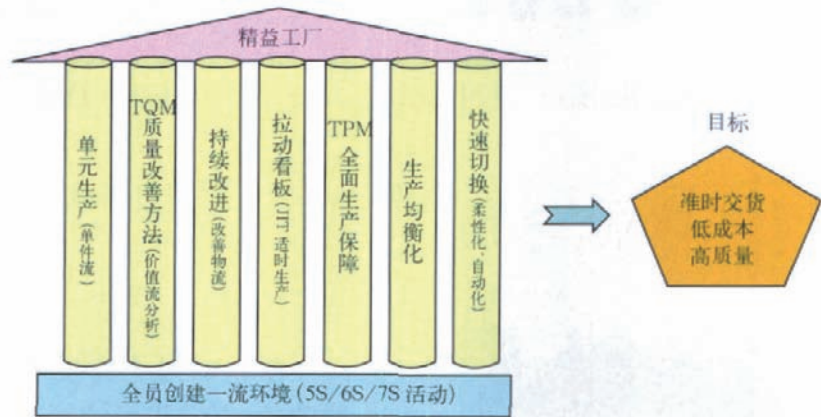


图4 飞机总装移动生产线的精益生产体系

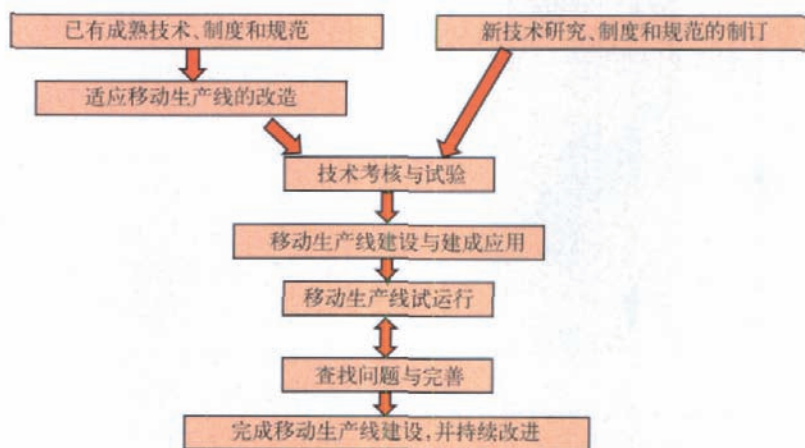


图5 飞机总装移动生产线的实施途径

装移动生产线的精益生产体系和实施途径。

根据我国飞机制造主机厂的技术基础和生产特点,建设飞机总装移动生产线还要考虑到如下几个方面:

(1) 统一认识,即管理层和基层都必须充分理解和认同创建移动生产线的目的和意义。

(2) 优化装配流程,消除浪费环节,按装配流程将总装流程优化组合成合理的站位数,实现总装单件流水式生产;

(3) 提高装配质量。采用先进的检漏技术、自动检测技术、自动对接

对生产流程再造,实现生产均衡化和信息管理信息化,变目前的调度管理为拉动式看板管理方式,实现可视化管理、配送管理和工时统计自动化,提升飞机总装生产管理及其信息化水平、减少浪费、降低装配成本;

(5) 认识到总装移动生产线建设的艰巨性和长期性,充分运用工业工程理论,根据中国文化和管理特征,创造性的应用丰田生产方式和精益思想,构建有中国特色的飞机总装移动生产线,综合实现国产军民机产品制造的“多、快、好、省”。

(责编 微凉)