

柔性脉动装配单元在航空机电产品中的应用

Application of Flexible Pulse Assembly Unit in Aviation of Electromechanical Product

庆安集团有限公司 唐 竞

[摘要] 航空机电产品具有小批、多种的特点,传统固定式装配生产已难以满足现实需求。移动式装配由于其生产效率高,在大规模生产中得到了广泛应用。通过标准化、模块化设计,建立柔性脉动式装配单元,可提升企业的生产能力。

关键词: 模块化 脉动 装配单元 仿真

[ABSTRACT] Aviation electromechanical products have characteristic of multi-varieties and small-batch for complex assembly system. Traditional fixed assembly lines can't meet the requirements of practical production. Mobile assembly is applied to mass-production by high production efficiency. It will help to enhance enterprise's production capacity by creating flexible pulse assembly unit, with standardized and modularized planning.

Keywords: Modularization Pulsation Assembly unit Simulation

在当今经济全球化的背景下,国际航空制造业的竞争日益白热化,在民机市场上,国内航空制造企业将与国际一流的航空制造企业同台竞技,直接面临来自国际市场竞争的巨大压力,因此,只有不断提升企业核心制造能力、融入国际航空产业链,才能实现企业的可持续性发展。

航空机电产品是指利用机、电、气、液等各种二次能源,采取一定的作功方式,完成飞行器的各种飞行保障功能的功能部件,是飞行器重要的组成部分。航空机电产品具有小批量和多品种的特点,因此相对于航空主机制造企业,航空机电产品制造企业的生产流程更为离散,生产组织更加复杂,要实现产品的快速产出是航空机电产品制造企业面临的共同难题。

1 航空机电产品装配生产现状

国内航空机电产品的装配生产大多采用基于手工的传统固定式装配生产线,其主要特点如下:

(1) 产品种类众多,制造技术专业复杂。航空机电产品种类繁多,同一机型上不同子系统下的机电类产品都具有复杂的分类,不同类别产品的结构和制造工艺差

异巨大,生产线规划和组织困难。

(2) 产品转换频繁,生产管控困难。航空机电产品每年都有多个机型上千种机电产品的生产配套要求,各产品交付节点不同,且随着国际环境的变化,新机型科研任务的陆续上马,产品生产周期变得越来越短,给企业制造计划的制订、制造资源的分配以及生产组织管控提出了严峻的挑战。

(3) 采用固定式装配模式,生产效率较低。传统的装配生产中,产品在固定的工位完成所有装配工作,装配项目和过程繁杂,对生产资源的占用较高,而生产效率较低。

(4) 过度依赖工人技能,质量保证水平低。由单人或同一班组完成所有工序的装配工作,对装配人员要求较高,由于不同操作人员对产品装配过程的理解存在差异,操作技能水平参差不齐,造成产品的装配流程不稳定,致使产品装配质量不稳定。

鉴于上述现实问题,传统的固定式装配生产模式已经难以满足日益增长的科研生产的需要,亟需进行变革。

2 先进的装配生产模式在航空制造业的应用

众所周知,传统的大规模生产的移动式装配生产线是不适合构形变化多端的飞机生产的,通过采用精益制造原则和方法,将装配作业均衡地分解到适当规模的数个站位上完成,并采用柔性化和大规模定制生产方式和生产设备的方法,使飞机装配动起来,脉动式装配生产线应运而生。

波音 787 客机总装线是典型的模块化脉动式装配生产线,其主要特点为:

(1) 脉动式生产。与波音 747 客机固定式总装线不同,波音 787 客机总装线采用脉动式生产,总装线设置了 4 个离散的工作区,每脉动一次,则完成一定装配工作;

(2) 模块化装配。波音在总装波音 787 飞机时,它接收到的是完整的机翼、机身等部件,相当于“成品”,即在其部件内不仅结构完整,而且相关的管路、电缆、黑匣子、绝缘毯、地板和座椅轨道等都已安装好,是典型的模

块化装配。

(3)精益制造。生产线按精益生产原则布置,目标是使零部件、工艺装备、材料和人员都精确到达生产线所需要的使用地点。

(4)数字化仿真技术在生产线规划中发挥重要作用。在整个飞机装配工作过程中,通过两种方式进行全机装配过程的数字化模拟仿真。一是建立“虚拟实验室”,供设计人员在虚拟空间中来操作和控制实际飞机的装配过程,评估是否在装配中有影响可达性的情况,以及将来飞机进入航线后的可维护性问题;二是通过人机工程的数字仿真,找出装配过程不安全和不方便的地方^[1-3]。

模块化脉动式生产线的应用使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。波音公司宣称,当进入批量生产后,787客机脉动式总装线每隔3天便能将一架飞机送入天空。

3 柔性脉动装配单元在机电产品生产中的应用规划

通过梳理企业现行装配生产过程,对人、机、料、法、环、测等要素进行分析,查找制约企业装配能力提升的关键要素,学习波音787总装配生产线的成功经验,综合应用模块化、脉动式及精益生产的方法解决现有装配生产线效率低、周期长和质量不稳定的问题,构建符合小批多种特点的航空机电产品模块化脉动式柔性精益装配生产线,提升企业装配生产能力。

3.1 产品成组

运用成组技术对产品进行分类,使原本离散的生产过程通过相似的工艺流程实现“重复生产”,是实现产品单元化生产的基础^[4]。通过梳理流程,形成了以产品装配工艺流程特点为基础的产品成组分类方式,实现了企业产品成组分类,确立了装配单元建设目标。

3.2 单元化柔性精益布局

根据航空机电产品的装配工艺特点,将企业所有产品根据工艺相同或相似的原则划分为若干个装配生产单元。生产单元实现柔性化装配生产,由于工艺的相似性,可以实现产品快速转换;生产单元实施U型的生产布局,按物流距离最短的原则,结合现有厂房的特点进行生产布局;每个生产单元装备通用的工艺装备,专用工艺装备采取系列化、模块化和通用化设计。

3.3 模块化部装与脉动式总装线

将传统的固定式装配生产线划分为部件装配和总成装配生产线两大部分,其结构如图1所示,部件装配为总装线提供合格的部件,两者是供货关系,总装线的高效运行要求部件装配模块能保证按时配套。

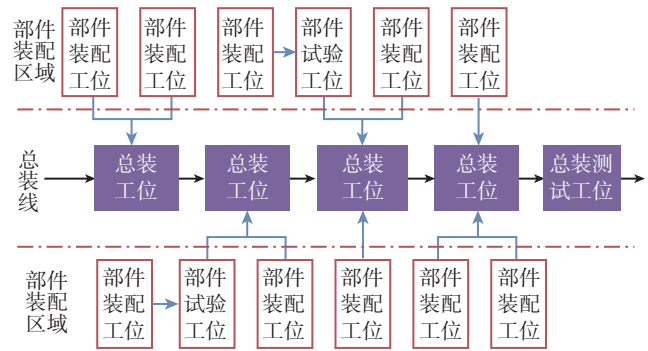


图1 航空机电产品模块化脉动式生产线

Fig.1 Modularized pulse assembly line in aviation of electromechanical products

(1)模块化部装。细分产品功能部件,并根据成组原理进行工艺成组,构建功能部件模块化装配单元。根据实现功能的最小零件构成,细分产品功能部件,并成组分类;针对功能部件的试验在部件装配过程中完成,形成符合产品功能要求的部件;部装线为总装线供货,要求是准时齐套,以保证生产线的顺利运行。

(2)脉动式总装线。企业产品总装线采用脉动式的移动装配模式。根据产品装配工艺规划的工艺分离面,结合生产线平衡分析,划分多个装配工位;总装配线不负责功能部件的装配;总装配线上只进行产品级的试验,不做针对功能部件的工艺试验。

3.4 基于仿真技术的生产线规划

随着计算机图形学和运动仿真学的迅速发展,在机械制造领域,出现了以DELMIA为代表的“数字工厂”虚拟现实系统,并得到了广泛的应用。通过“数字工厂”,进行产品的装配过程仿真,验证详细装配工艺规程,分析生产线平衡情况,能解决传统装配工艺设计与生产线规划中的现实问题。通过以工艺为中心,针对关键性生产工艺,利用数字化产品模型完成产品工艺的规划和验证,形成从设计到产品输出形成一套完整数字化制造流程,完成装配工艺规划、装配工艺详细设计、装配过程仿真与验证、装配生产线仿真和线平衡分析等工作^[5]。

3.4.1 装配过程规划与详细设计

(1)工艺分离面的划分。完成产品的装配过程总体规划,划分产品装配工艺分离面,并根据装配过程的特点划分装配工位。

(2)详细工艺设计。在工位划分基础上,依据零件装配工艺模型进行详细的装配工艺过程设计,定义该过程所需要的标准件,在三维数字化环境下确定该装配工艺过程零组件、标准件、成品等装配顺序,明确装配工艺方法、装配步骤,并选定该装配过程所需要的工装、夹具、工具、辅助材料等一系列的制造资源,形成指导生产的装配工艺规程。

3.4.2 装配工艺仿真与校验

(1) 工艺过程仿真与校验。在虚拟的生产环境下按照设计好的工艺流程分别在不同的工位上对产品涉及的所有零、组件进行移动、夹紧和装配等操作,对产品装配顺序、装配路径、工艺装备等装配过程进行场景再现,进行零件与零件、零件与工装干涉检查及空间分析,分析装配过程的合理性、正确性、可达性。

(2) 人机工程仿真。通过虚拟的人体模型对装配过程中操作人员的动作、操作空间、操作难易程度进行分析,提前预知实际装配过程中操作者的可操作性、舒适性,以达到预期的装配效果。

3.4.3 装配生产线仿真与分析

在虚拟现实环境下,构建装配生产线,分析并调整生产线平衡。

(1) 装配生产线仿真。在虚拟环境下,建立厂房、地面、起吊设备等三维制造资源模型,将已经建立的某产品各装配工艺模型和装配型架、工作平台、夹具等制造资源三维模型导入厂房中,并将操作工人的人机模型加入厂房,按照确定的装配流程进行全面的工艺布局设计。三维工艺布局比传统的二维工艺布局更直观,帮助工艺人员直观的查看各类工装、工具及设备的位置是否合理,有利于工厂平面布局工作。

(2) 生产线平衡分析。根据移动生产线的工作原理,进行生产线平衡分析时,需要计算各工位的作业时间与生产线节拍(TAKT Time)的关系,利用仿真平台的GANT图功能,能自动统计各个装配工步、工序的工作总时间,形成各工位的工作时间统计表,根据各工位的工作时间长短,可以直观的查看各工位工时与生产线节拍的关系,工时过长代表能力不足,工时过短代表能力过剩,节省了手工计算和分析生产线平衡的大量操作。

(3) 生产线的平衡调整。根据移动式生产线的特点,生产节拍由最长的工序时间决定,必须要通过调节来实现生产线平衡。通过利用ECRS法则进行生产线平衡调整,即排除(Eliminate)不

必要的工序,合并(Combine)多个工序或同时进行多个工序,重排(Rearrange)工序次序,及简化(Simplify)工序内容来调节生产线的平衡。在DELMIA系统中,通过重新设计工艺过程,或调整各工序、工步的逻辑关系来调整生产线平衡。首先通过对工步或动作的并行/串行控制,来实现工作时间的调节;其次考虑生产线人员的安排,能力过高的可以适当减少操作人员,能力不足的可以适当增加操作人员;最后还可以通过工序的合理划分,顺序调节各工位的工作量,从而最大程度实现生产线平衡。

4 柔性脉动装配单元在机电产品生产中的应用

我公司生产的某产品是某型飞机的重要部件,在试制过程中采用传统的固定式装配生产线,单件产品的生产周期达到26天,严重影响了产品的交付。为解决该问题,公司组织对该生产线进行改造,规划建立模块化的脉动式生产单元。

一是通过分析该产品的装配工艺过程,改固定式装配为脉动式装配生产模式,并根据厂房的生产面积和各种资源配备的情况,划分产品工艺分离面,将总装过程分成了五个工位。

二是在虚拟现实环境下完成产品装配工艺详细设计,并通过工艺过程仿真与校验工作,排除了装配过程中干涉、碰撞等问题,保证了工艺过程的可行性。

三是进行装配生产线规划,实现生产线全面工艺布

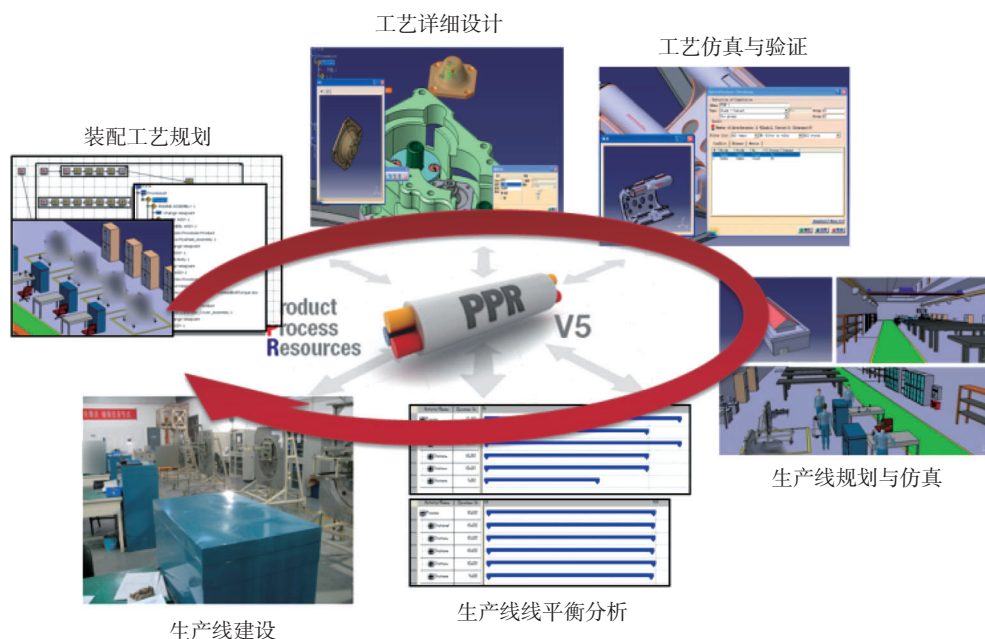


图2 某产品脉动式装配生产单元规划过程
Fig.2 Process planning of pulse assembly unit of a certain product

(下转第 127 页)

的办法从根本上还是要加强对供应商的控制,通过供应链来跟踪供应商的进度。

成品配送管理系统还可与企业的成品采购管理系统集成,从而打通成品的供应链,为加强供应商控制,解决成品供应提供重要的手段。

为保证成品的及时供应,准时配送,必须在系统中建立成品库存系统。成品库存系统包含了库房、库位的建立、成品入库登帐、成品的配套出库、成品的查询与统计等。

在成品库存建立的基础上,根据 AO 装配计划生成的成品配套需求计划,来提前进行成品配套,根据配套情况,可以提前发现成品的缺件,使得管理人员尽快解决成品供应,避免到装配时才发现问题而导致生产线停产,最终保证成品按时配套齐全。配送人员每天将配套好的成品根据装配需求按时配送到现场。

3.4 零件配送管理信息系统

由于零件缺件影响了整架飞机交付进度的现象同样经常发生,特别是长周期的关键件。而在脉动生产线中,这种状况将同样不允许存在,会影响所有飞机的交付。而解决零件缺件问题的根本办法还要从零件生产着手,通过零件配送管理系统与零件生产计划系统集成,采用推拉结合的模式来解决零件计划的准时交付问题。所谓推拉结合,即在零件生产计划管理系统中对零件生产计划进行管理,以配送管理系统的 MBOM 中 AO 的零件配套需求对零件生产计划管理系统的投产计划进行补充和完善,保证生产计划管理的顺利进行。

为保证零件的及时供应,准时配送,必须在系统中建立零件库存系统。零件库存系统包含了库房、库位的建立、零件入库登帐、零件的配套出库、零件的库存查询与统计等。

在零件库存建立的基础上,根据 AO 装配计划生成的零件配套需求计划,来提前进行零件配套,根据配套情况,可以提前发现零件的缺件,使得管理人员尽快解决零件配套,避免到装配时才发现问题而导致生产线停产,最终保证按时零件配套齐全。配送人员每天将配套好的零件根据装配需求按时配送到现场。

3.5 工装工具配送管理信息系统

在装配中,特别是在研制生产中的装配,以型架为代表的工装对于装配的进度影响非常大,目前国内装配的工装基本上都是自制,而基于脉动生产线的配套设备领域实际上产生了很多专业装配工装和生产线制造厂商。因此如果是自制,工装工具配送系统需要和工装工具的研制生产系统集成,如果是从专业厂商进行采购,需要和采购系统集成,最终为工装工具的配送提供有力的工具和手段。

工装工具配送管理系统和零件成品的配送系统大同小异,这里不再细述。

4 结论

脉动生产线所包含的各种尖端技术,管理理念等内容非常多,本文仅以精益思想为理念的配送管理信息系统进行分析研究,通过分析,我们能导出 2 个结论:(1)精益思想是现代飞机制造过程管理的理论依托,不断地深入理解和实践精益思想,将会不断地提升飞机制造的管理水平,保持管理理念的先进性;(2)在飞机制造行业,信息技术已完成融入到飞机制造的每一个环节,先进的脉动生产线模式需要有蕴涵先进管理理念的配送系统作为支撑,才能发挥出强大的威力。

(责编 小城)

(上接第 123 页)

局设计与生产线运行仿真。

四是进行生产线平衡分析。通过查看各工位的 GANT 图,发现该产品的二工位工作时间较其他工位要长,即二工位是该生产线的生产瓶颈,生产线不平衡;通过在虚拟环境下调整各工位的工作内容,并反复进行生产线平衡分析,将各工位工作时间调整到平衡状态。

最后形成相对平衡的生产线规划方案,并根据该方案构建了真实的脉动式装配生产单元。

该脉动式装配生产单元在生产运行中,产品的生产周期缩短到 10 天,生产效率提升了 61.5%,保障了产品的按时交付。

5 结论

采用柔性的脉动式生产模式,综合运用成组技术、单元生产和模块化装配方法,通过柔性化设计和精益生产布局,能提升装配生产效率,缩短生产周期,满足小批多种特点的航空机电产品的装配生产需求,是提升航空企业装配生产能力,进而打造企业核心制造能力的必由之路。

参考文献

- [1] 范玉青. 波音 787 飞机总装配线及其特点. 航空制造技术, 2011(23):38-42.
- [2] 于勇,陶剑,范玉青. 波音 787 飞机装配技术及其装配过程. 航空制造技术, 2009(14):44-47.
- [3] 许国康. 飞机总装移动生产线技术. 航空制造技术, 2008(20): 40-43.
- [4] 赵彤,王先奎,郝胜强. 离散型生产线组织方式的分析. 机械制造, 1998(12):40-42.
- [5] 范玉青,梅中义,陶剑. 大型飞机数字化制造工程. 北京: 航空工业出版社, 2010:545-547.

(责编 亿霖)