

## 民用航空发动机脉动装配浅析

### Introduction of Pulse Line for Commercial Aeroengine Assembly

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 辛彦秋 吴斌 苏丹 张贺

[摘要] GE等民用航空发动机公司正在推广以上部吊装水平装配系统为主体的脉动装配线,在水平吊装状态下将风扇、核心机、低压涡轮和附件机匣以脉动方式进入后续工位,逐步装配成发动机主体,再安装控制系统和外部件完成整机装配。这种装配线提高生产效率,适合大批量生产。

关键词: 航空发动机 水平装配 脉动装配线

[ABSTRACT] Pulse line for commercial aeroengine assembly is widely used by international engine manufacturer such as GE. This type of assembly line is characterized by a suspended overhead handling system, which moves engine in installation from station to station, in “pulsed” fashion. Engines are built horizontally from module level, typically starting from fan module, then core module, followed by low pressure turbine and accessory gearbox, finally, installation of control system and external equipment. Generally, pulse line considerably improves productivity, and is appropriate for mass-producing.

Keywords: Aeroengine Horizontal assembly Pulse assembly line

航空发动机水平脉动装配线理念的来源是汽车行业流水生产线,缩短了发动机的装配周期,提高了生产效率。最早使用水平脉动装配线的是美国GE公司,近年来法国斯奈克玛公司、美国普惠公司、英国罗·罗公司和德国汉莎公司都相继启动了这种装配线。这种装配线在世界各大航空发动机公司的推广使用足以说明其先进性。

国外民用大涵道比涡轮风扇航空发动机使用水平脉动装配线,主要工作内容指完成单元体装配后,将风扇、核心机、低压涡轮装配成发动机主体,再完成外部整机装配。

### 1 传统装配

国外民用大涵道比涡轮风扇航空发动机在风扇、核心机、低压涡轮装配成主机以及外部装配过程中,传统装配有固定在龙门架下的立式装配,有在装配车架上的水平装配(图1),也有固定在4或6根独立装配

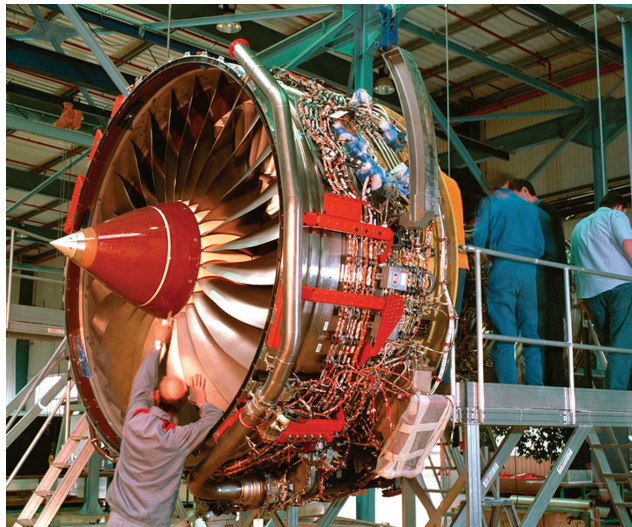


图1 在专用装配架装配发动机  
Fig.1 Engine assembled on a built access stand

支柱上的水平装配(图2)。这些传统装配方法,占用空间小,建线成本低,适合小批量生产;缺点是装配区域有限,效率低,无法通过增加人手加快装配,不适合大批量生产。

### 2 水平脉动装配线

水平脉动装配线是在上部轨道水平吊装系统上,将风扇、核心机、低压涡轮单元体组装成主机和进行外部总装(包括安装附件机匣),采用多个工位组装(斯奈克

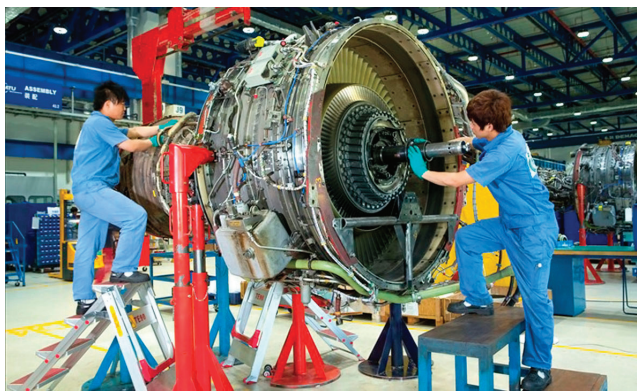


图2 6根支柱上装配发动机  
Fig.2 Engine assembled on 6 pillars

玛公司的 Clemessy 装配线是 5 个工位),每个工位包含了装配工艺的不同工步。装配线的最末端完成发动机的装配,掌控着整条线的进展,指挥其他发动机依次移动到下一个工位。

脉动线的有效性取决于装配线的时序性或节拍(“脉动率”)的精准性。建线之前需要做大量的工作,通过在所有工位之间平衡工作负荷,来保持同步运行以装配整机。

发动机行业内最著名的脉动装配线是 GE 航空和斯奈克玛的以上部吊装水平装配系统为主体的装配线。

### 2.1 GE 航空 WESTMONT 脉动装配线

美国 GE 航空脉动装配线主体为 WESTMONT 公司建造,GE 在分散的装配工位装配出核心机部件,然后在一个垂直装配站装配出一个完整的核心机,由风险共担合作伙伴提供装配好的低压涡轮和附件机匣。而 WESTMONT 水平脉动装配线首先是以水平吊装的风扇机匣为基础,进行风扇单元体装配,然后将核心机水平装到风扇模块上,再将低压涡轮轴水平穿过核心机与风扇相连,将低压涡轮装配到主机,再进行外部总装水平装配,最后是终检(图 3)。

### 2.2 斯奈克玛公司 Clemessy 水平脉动装配线

与 GE 航空 WESTMONT 水平脉动装配线相似,斯奈克玛公司的 Clemessy 水平脉动装配线也是将风扇单元体、核心机、低压涡轮和附件机匣装配到一起,再进行总装配(图 4)。

发动机吊装在轨道挂架下面,挂架滚轮安装在轨道上,可沿两条装配线从后往前顺序移动,装配完的发动机可以存储在装配线前部的缓冲区,也可以直接送往试车台,卸下发动机的挂架可以通过两条装配线中间的轨道,回到装配线后部,从第一装配工位重新开始,进行风扇和核心机的装配。

装配线分左右两条,可同时进行装配。装配好的风



图3 WESTMONT水平脉动装配线  
Fig.3 WESTMONT horizontal pulse assembly line

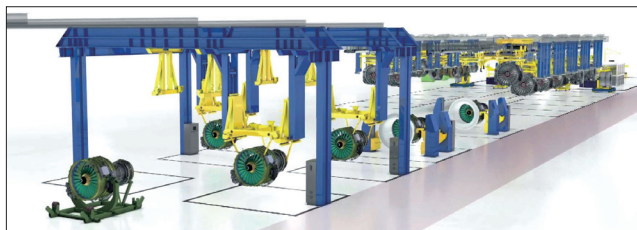


图4 斯奈克玛公司水平脉动装配线  
Fig.4 SNECMA horizontal pulse assembly line

扇、核心机、低压涡轮和附件机匣单元体按时配套到位,每条装配线分如下 5 个工位(图 5)<sup>[1]</sup>:

- (1) 风扇和核心机装配工位;
- (2) 低压涡轮装配工位;



图5 最后工位的工作  
Fig.5 Work on the last workstation

- (3) 附件机匣装配工位;
- (4) 控制系统装配工位;
- (5) 外部设备装配工位。

### 3 脉动装配线优点

水平脉动装配线提高了生产效率,缩短了发动机的装配周期,斯奈克玛公司采用 Clemessy 水平脉动装配线使发动机装配周期缩短了 30% 以上。同时改善了工人的工作环境,减少操作者需要掌握的技能 and 劳动强度,提高工作熟练度,从而提高了装配质量,促进了工作效率的提升。通过对装配过程的拆解,对装配内容的专业化分工和管理起到了促进作用,因此脉动装配适合大批量发动机生产。

### 4 脉动装配线局限性

水平脉动装配线,顾名思义要水平装配,主要指低压涡轮转子水平装配,尤其是需要低压涡轮轴水平穿过核心机进行装配。

水平脉动装配线不包括核心机(高压压气机转子、燃烧室、高压涡轮)装配,也不包括低压涡轮、附件机匣等部件装配。

脉动装配线对生产要求计划性较强,如国外的水平脉动装配线需要风扇、核心机、低压涡轮、附件机匣和总装机件配套按时到位。

水平脉动装配线投资大,不适宜小批量生产。这种装配线对轨道、支撑和地基都有特殊要求,需新设计厂房统筹考虑,不建议改造现有厂房。

### 5 借鉴建议

可以根据具体情况选择直接建线或借用理念。

#### (1) 建立水平脉动装配线。

对于低压涡轮转子能够水平装配且未来生产批量大的发动机型号可以考虑建立水平脉动装配线。

相应提升生产管理;及时配套;平衡各工位之间工作负荷。

#### (2) 现有条件借鉴脉动理念。

借鉴脉动理念,以现有硬件为基础,通过细化人员分工、脉动阶梯排产来实现脉动装配。

建立操作者流动起来的装配线,细化分工,生产计划精确排产,操作者根据需要在不同发动机装配自己负责的零件。

### 参考文献

[1] Martins M. Aircraft engine assembly: Rapid pulse rate. Safran Magazine, 2011(11): 30-31.

(责编 良辰)

(上接第 117 页)

(3) 空空导弹性能测试工艺规程;

(4) 空空导弹包装工艺规程。

#### 3.2.5 现场管理机制重塑

空空导弹总装实行脉动式生产,需要对现有生产现场管理模式进行重塑,改变现有的全过程管控,实行站式管理,站位内操作内容全封闭,经过检查合格后实施转站。站式管理可以使专业划分更细致,操作人员专注于所在站位内负责的工序,其熟练程度有助于产品质量的改善和稳定;以后一站作业的完成拉动前一站生产进程,前一站产品即为后一站的配套,有助于提高生产效率。

在一个计划周期内,利用产品计划生产数量和产品节拍确定每组产品的数量,生产过程中站位间成组移动,组内顺序生产。

#### 3.2.6 设备、工装设计

在多品种、少批量的生产需求下,脉动式生产线所用设备、工装的设计应遵循以下原则:

(1) 按照节拍,将最慢工序作为平衡工时,确定设备、工装的需求量。

(2) 设备、工装的设计尽量体现柔性化,力争做到生产线更换产品时,设备、工装不需更换或更换不大。

#### 3.2.7 人员配置

采用站式管理的空空导弹总装生产线人员配置,应遵循以下原则:

(1) 按照节拍,将最慢工序作为平衡工时,确定各站位所需工位数量;

(2) 按照各站位工位数量,依据最复杂产品的单台所需时间配置操作人员;

(3) 充分考虑准备、周转、物资配送等所需人员。

### 4 结束语

脉动式生产线通过流程再造、站式管理等,可以提高生产效率,降低生产周期。但与所有流水线模式一样,具有明显的节奏性和较高的连续性,一旦某个关键环节出现卡滞,整个生产将无法进行。除此之外,其在空空导弹总装生产中的应用尚处在探索阶段,目前我院按照脉动式生产线设计的空空导弹总装生产线正在建设中,很多问题尚不可预料,需要在后续工作中逐步摸索和解决。

### 参考文献

[1] 周根然. 生产运作与管理. 北京: 科学出版社, 2010.  
[2] 林宏. 流水生产线研究与实例分析 [EB/OL]. [2011-05-28].  
www.doc88.com/p-30989275525.html.

(责编 深蓝)