

# 数字化装配工艺方案设计

## Design of Digital Assembly Process

中航工业庆安集团有限公司 张敏涛 许峰 马军伟

**[摘要]** 从传统的装配工艺设计到数字化装配工艺验证,再到装配工艺方案设计进行探究。通过甘特图优化产品流程,利用网络图计算产品周期,结合六西格玛管理方法对整个装配工艺方案的全寿命周期进行优化设计。

**关键词:** 装配流程图 工艺分离面 甘特图 网络图 脉动式生产线

**[ABSTRACT]** In this paper, the designs from the traditional assembly technology to digital assembly process validation, to the assembly process are studied. Through Gantt charts and network diagrams, combining with Six Sigma management approach, the whole life cycle of the assembly process solutions are optimized.

**Keywords:** Assembly flow chart Process separation surface Gantt chart Network chart Pulsation production line

近年来,航空产品出现多样化、复杂化、系统化的特点,数字化装配工艺验证的需求日益迫切,合理的装配工艺方案设计就显得格外重要。目前,大部分航空制造企业的装配工艺文件以二维图纸为依据进行设计,主要体现在参照产品二维图纸,按照固有的设计定额进行编制,对实际装配流程关注较少。设计理念仍停留在过去的装配模式中,凭经验、靠摸索,局限性较大,导致工艺文件在实际执行过程中多有问题发生。本文以某型航空产品为例,对数字化装配工艺方案进行分析设计。

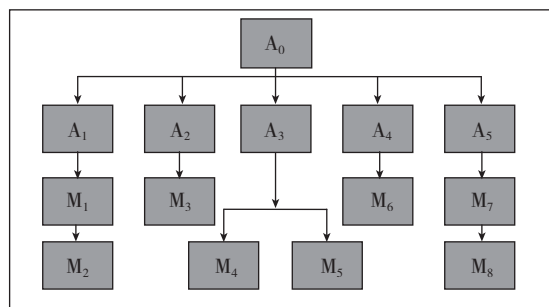
### 1 梳理产品装配工艺流程

现有的装配工艺基本上按照产品图样进行编制,参照设计对产品结构的划分进行工艺文件的编制。

产品图样中的设计定额将产品划分为5个功能部件,工艺文件一般也为5个组件,工艺文件涉及的产品结构、工艺定额与二维图纸基本保持一致(图1)。此方法在编制简单产品的工艺文件时比较有效,但是针对复杂的产品这就需要技术人员对整个装配流程进行优化设计。

如图2所示,通过CATIA、DELMIA等软件对产品装配流程加以梳理,结合生产实际情况对整个产品装配

基于设计定额 EBOM 进行梳理

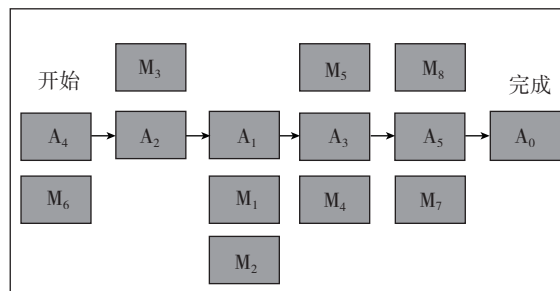


按照设计定额,梳理产品装配结构

图1 产品设计结构图

Fig.1 Structure diagram of product design

基于产品装配流程,构建工艺定额 PBOM



梳理产品装配作业流程,确定产品装配顺序

图2 产品装配流程

Fig.2 Product assembly processes

流程进行优化。通过绘制装配工艺流程图,反映出整个产品的装配过程,有效避免装配过程中的反复拆装、逻辑性差、装配周期长等问题的发生。由于产品各个阶段的装配内容清楚、逻辑关系明确,最后在执行的过程中也可以此为依据进行控制和监督,力争以最合理、最简洁、最有效的工艺文件指导实际生产。

### 2 划分产品装配工艺组件

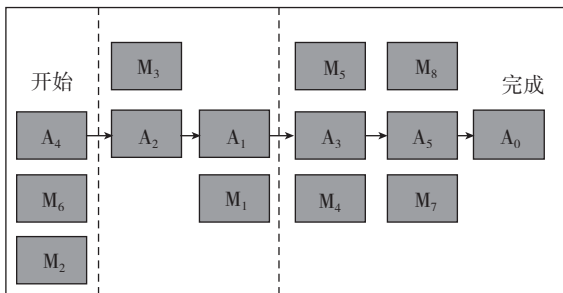
以设计好的装配工艺流程为基础,利用装配流程图对整个装配过程进行重新组合,在产品原有功能组件的基础上以专业性、逻辑合理性以及操作便捷性为指导确定工艺分离面,创建工艺组件。例如对配钻、修配、铆接、组合加工等内容,可将产品中所有组件的类似内容进行

提取,单独创建工艺组件。

图3为划分产品工艺分离面示意图。工艺分离面的划分主要有以下4点原则:(1)有利于提高生产效率和产品质量的应尽量划分出来,多采用分散装配;(2)便于提高钻孔、镗窝及连接机械化程度的最好单独设计;(3)尽可能使部件在总装内的装配周期缩短到最低;(4)便于建立装配流水线。

为保证装配实施过程的合理性,可根据提前规划好的装配流程,在总装生产线的基础上,参照流水作业模式的要求,对现有部件装配内容提前进行拆分、组合,以便形成便于生产的工艺流程(图4)。

根据产品装配内容,确立工艺分离面

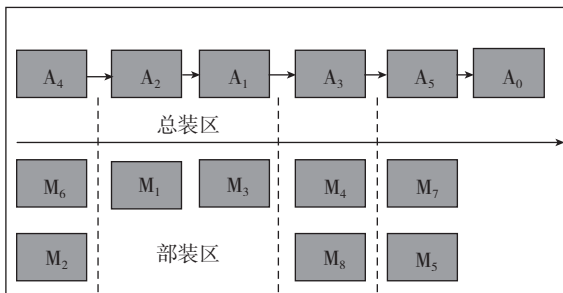


以专业性、逻辑合理性等为依据,建立工艺分离面

图3 产品工艺分离面的划分

Fig.3 Division of product process separation surfaces

根据装配作业流程,创建装配工艺组件



对部件装配流程进行调整,构建等节奏流水作业模式

图4 产品工艺组件的创建

Fig.4 Creation of product process components

### 3 梳理装配流程逻辑关系

根据划分好的产品工艺组件,明确产品工艺定额,编制工艺规程,同时对装配工艺组件工序间的逻辑关系、装配内容、装配时间进行分析,确定工序逻辑顺序,明确紧前工作、紧后工作,并估算大概实施时间(表1)。

根据产品装配顺序逻辑图,绘制出相关工序的并行、串行关系,并找出所有逻辑关系中最为关键的装配流水线。合理的装配流程可以实现单件、脉动式生产,汇总出来的时间可以作为产品的理论装配周期,根据梳

表1 产品装配逻辑关系图

装配工序	5	10	15	20	25	30	35	40	45
代号	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>	B <sub>9</sub>
持续时间/天	0.5	0.5	1.5	6	0.5	3	0.5	0.5	1.5
紧前工作	—	B <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>2</sub> 、B <sub>3</sub>	B <sub>5</sub> 、B <sub>6</sub>	B <sub>7</sub>	B <sub>8</sub>

理出来的产品装配流程编制工艺文件,建立合理的生产线,不仅可以节约生产成本,而且还可以提高生产效率。

根据产品装配逻辑关系图,绘制产品网络关系图,进而对所有工序之间的逻辑关系进行梳理,梳理出来的网络图主要有以下4个特点:(1)通过对网络图的绘制可以全面反映各个装配阶段的逻辑关系;(2)通过对时间参数的计算,能够找到关键装配过程和关键路线,以便管理者抓住主要矛盾;(3)通过对时间参数的优化,可以实时调整网络计划;(4)能够从诸多可行方案中选取最优方案,通过计算机绘图及调整、优化网络图,实现计划管理的科学化,如图5所示。

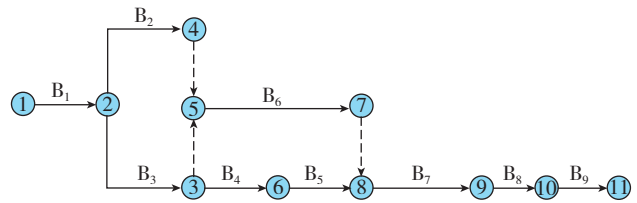


图5 产品装配工序网络图

Fig.5 Network diagram of product assembly process

### 4 计算产品装配周期

计算产品周期首先要明确以下6要素:(1)ES:最早开始时间,指各项紧前工作全部完成后,本工作最有可能开始的时间;(2)EF:最早完成时间,指各项紧前工作全部完成后,本工作有可能完成的最早时刻;(3)LF:最迟完成时间,不影响整个网络计划周期完成的前提下,本工作的最迟完成时间;(4)LS:最迟开始时间,指不影响整个网络计划周期的前提下,本工作的最迟开始时间;(5)FF:自由时差,不影响紧后工作最早开始的前提下,本工作可利用的机动时间;(6)TF:总时差,指不影响计划周期的前提下,本工作可利用的机动时间。

通过时间参数的计算,对网络计划进行调整和优化,从诸多可行方案中选取最优方案,计算所有可能装配流水线路的生产周期(图6):

- (1) B<sub>1</sub> → B<sub>2</sub> → B<sub>6</sub> → B<sub>7</sub> → B<sub>8</sub> → B<sub>9</sub>,周期 6.5 天;
- (2) B<sub>1</sub> → B<sub>2</sub> → B<sub>6</sub> → B<sub>7</sub> → B<sub>8</sub> → B<sub>9</sub>,周期 7.5 天;
- (3) B<sub>1</sub> → B<sub>3</sub> → B<sub>4</sub> → B<sub>5</sub> → B<sub>7</sub> → B<sub>8</sub> → B<sub>9</sub>,周期 11 天。

周期最长的路线为关键路线,根据上述3种路线,可以确定关键工作、关键路线及装配周期。后续可以根

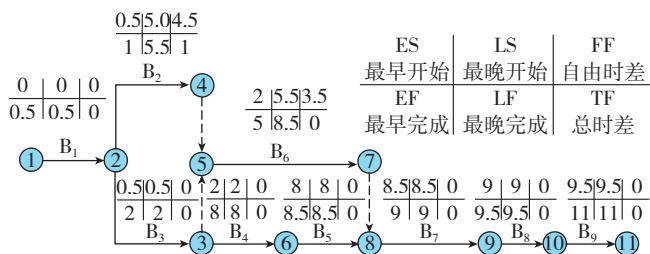


图6 网络图时间周期  
Fig.6 Time period of network diagram

据生产节拍的需求,通过增加设备、人员等对整个产品的装配周期进行调整。

如果按照装配内容串行递进关系进行装配,累计需要时间为 14.5 天,梳理后的装配周期缩短了 3.5 天。

### 5 明确工序逻辑关系

现有工艺文件的编制大多以串行关系进行,依次推进,逐层深入,逻辑关系不明确,即使有可以并行的工序,也很难逾越工序先后顺序的限制。目前主要通过技术人员下发临时技术文件进行工序调整,如果能够梳理工序间的逻辑关系则可以大大避免类似问题的发生。

利用甘特图<sup>[1]</sup>、网络图等方法梳理装配工艺逻辑关系,不仅涵盖了原有工艺文件的内容,更加直观地表达了工序之间的逻辑关系。

利用甘特图<sup>[2]</sup>对某型产品工艺文件进行逻辑关系梳理之后的结果,简单来说就是利用类似 5W1H 的问题分析方法,对工序内容、工序顺序、时间、设备等内容运用取消、合并、重排和简化的技巧进行分析,例如图 7 就是对现有工艺文件一个很好的补充。

### 6 建立流水线装配工位

根据数字化装配工艺验证的结果,结合流水作业、工位化模式,以专业性、合理性、便捷性为指导,对整个装配流程进行划分,编制基于工位模式的串行工艺文件,确定工艺方案实施具体内容,如图 8 所示。

装配流程的控制是动态控制的过程,在实际装配过程中要对工序和流程进行优化。当装配节点不能满足计划要求时,必须通过压缩关键路线上的关键工作来满足周期需求,如寻找新工艺、新方法,增加资源配置,改善生产组织以满足等节奏流水作业模式的要求(图 9)。

### 7 结束语

总的来说,数字化装配工艺方案设计就是将具有一定成熟度的产品数模通过 PLM 发放到下游的技术人员手中,使技术人员可以在 DELMIA 中提前进行工艺方案设计。利用甘特图、网络图从零件到产品、从工位到流



图7 某型航空产品装配工艺甘特图  
Fig.7 Gantt chart of product assembly process

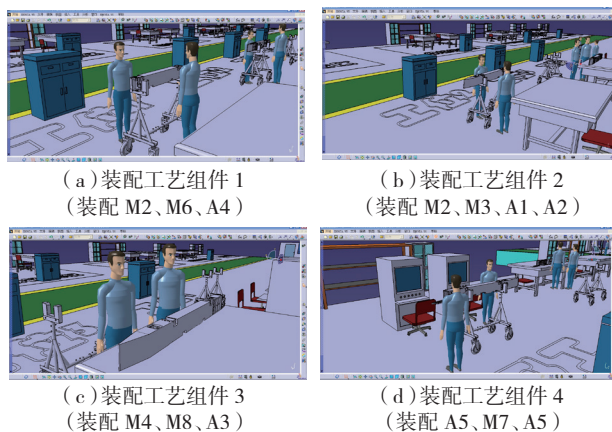


图8 流水工位设置<sup>[3]</sup>  
Fig.8 Set of assembly line workstation

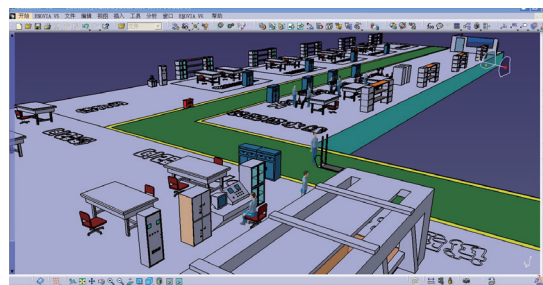


图9 产品装配工位效果图  
Fig.9 Effects diagram of product assembly stations

水线,对产品的可操作性、可达性、可拆卸性、可制造性进行工艺规划、仿真和验证,并及早发现问题,尽可能在工艺设计阶段消除设计与工艺的不协调,从而减少后期制造阶段的更改与返工,进而缩短实物制造的周期,降低生产成本。

### 参考文献

[1] 白思俊. 现代项目管理. 北京: 机械工业出版社, 2003: 266-267.  
[2] 李海泳. 基于 MBD 技术的航空制造数字化工艺实施应用. 航空制造技术, 2013(13): 40-42.  
[3] 李景新, 郑国磊. DELMIA 系统在飞机装配模拟中的应用研究. 航空制造技术, 2008(8): 90-93.

(责编 亿霖)