

# 基于模块的飞机装配工艺 技术研究\*

赵一伋<sup>1</sup>, 邱 晞<sup>2</sup>, 沈 波<sup>1</sup>, 王锋涛<sup>1</sup>

(1. 航空工业信息技术中心, 北京 100028;

2. 航空工业西安飞机工业(集团)有限责任公司, 西安 710089)

**[摘要]** 飞机装配作为飞机研制的关键环节,具有多学科领域、协调准确度要求高、劳动强度大等特点,先进的飞机装配技术能够提高飞机装配效率、缩短研制周期和降低生产成本。目前国内多数航空企业还采用非模块化的装配方式,未形成高效、整洁、重复利用率高的装配模式。对非模块化飞机装配方式进行分析,提出了先进的模块化飞机装配理念,重点描述了模块化设计、装配模块定义、构建装配结构树、装配指令库管理、基于构型配置匹配装配指令这5个关键技术。

**关键词:** 非模块化装配;模块化装配;装配结构树;装配指令库;匹配

**DOI:**10.16080/j.issn1671-833x.2018.13.063



赵一伋

工程师,从事航空飞行器制造领域设计制造并行协同、数字化三维装配工艺设计、装配仿真技术研究。

数量庞大的零件及连接件、复杂的产品结构及外形、大量的互换协调关系使大型飞机装配工作困难重重,装配占据整个飞机制造过程中大部分的工作量,是一门涉及多学科领域的高难度综合性技术。同时,随着行业竞争日益激烈与客户需求日趋多元化,航空企业在民航市场面临巨大的挑战,传统的制造理念和模式已经不能满足市场需求。为了满足现代企业的发展需求,国内外大型民用飞机产品设计已率先采用模块化设计、构型管理等新方法,飞机制造环节需要先进的模块化装配工艺技术以提升企业数字化制造水平。

针对上述情况,本文将主要阐述工厂在产品模块化设计、产品数据按构型配置发放的模式下如何开展基于模块的飞机模块化装配工艺技术研发。

## 飞机装配工艺技术

现代民机研制中“设计一个产品”的思想是不能满足市场需求的,而是要建立起模块化产品的架构,通过控制产品构型和加快速度开发新产品来达成产品系列化和多样化的目标。面向零部件的设计已不能满足现代民机系列化研制的需要,模块化的零部件设计技术得到全面发展,并且在一些型号研制中得到大规模的应用<sup>[1]</sup>。

### 1 非模块装配工艺技术

飞机传统的生产活动中,产品设计和装配工艺还没有模块化的概念,传统的非模块化装配工艺由于产品设计对部组件的定义与工厂实际装配工艺过程的装配工位划分不对应,需要部装车间将多个零件进行有序、合理的分配,进而形成物理的部组件,然后交付总装装配。某些部件在

\* 基金项目: 国家科技支撑计划课题(2015BAF17B01)。

进入总装之前还需要先与其他部件和零件组合装配成更大的部件,部件与部件之间的依赖性比较大,且在飞机进入总装后,还有大部分零件是以单件的形式装配到飞机上的,造成装配站位多、协调关系复杂、生产线长,使得飞机装配过程复杂、无序,易造成大量的返工和成本损耗,飞机的产品质量和研制周期将受到严重影响。

## 2 模块化装配工艺设计技术

模块化装配工艺相比传统装配工艺(图1),区别在于工艺设计人员根据装配要求提前参与设计人员的产品设计工作,协助设计人员进行面向装配工艺流程的产品模块划分,使实物的部组件构成与设计部组件定义保持一致,遵循装配模块定义原则定义整机装配模块,依据工艺总方案仿真验证装配模块之间的交付关系,最终构建装配结构树。在装配结构树中定义每个装配模块实际生产活动所需的产品设计模块、工装、工具/设备、装配关系、人员、生产周期、质量要求等信息,使装配结构树成为企业开展生产组织、成本管理、项目管理、质量管理活动的支撑平台。且装配模块是生产结构中相对独立的单元,能够独立装配,可以通过更新迭代自身性能来升级产品整体性能,而不会影响到产品其他模块。装配模块还

拥有一些相同的几何连接口以及输入、输出端口,相同属性的模块在产品系列中可以重用和互换<sup>[2-3]</sup>。装配模块的这些特性使得以装配模块为单位进行工艺设计活动生成的装配指令也具备独立、通用的特性,针对这些特性提出装配指令库管理的应用思路。飞机设计构型管理人员根据客户需求创建构型配置,再依据装配指令与其生产对象之间的关联关系,在装配指令库中用程序匹配出与构型配置相匹配的装配指令用于生产。模块化装配可以减少大量的零散零件,可以变串行装配为并行装配,使飞机装配过程朝整洁、系统化发展,提高飞机装配效率,减少协调关系,最终提升产品质量,缩短研制周期。

多元化的客户需求,导致飞机产品存在大量的改进和改型,甚至出现同型号飞机不同架次都有可能不同,进而衍生出系列化产品。以飞机众多生产活动中的工艺准备工作举例,当飞机构型配置发生变化时,采用非模块装配工艺技术,需要完全重新针对新构型产品数据进行一整套的飞机改型装配工艺设计,涉及装配站位的重构,甚至有可能会重新研制一套装配工装、工具;采用模块化装配工艺技术,只需要针对新的产品设计模

块进行工艺设计,产生新的装配模块,根据构型配置复用未发生变化的装配模块,从而进行装配站位调整,最终完成新型号飞机的装配工艺设计工作。

## 模块化装配工艺技术关键点

在某型号飞机研制过程中,飞机产品设计成熟度阶段,工艺设计人员提前参与设计人员的模块化产品设计工作。产品数据发布后,工艺设计人员制定工艺总方案,规划整机装配需要的站位,定义装配模块,依据装配模块之间的交付关系构建装配结构树,在装配结构树上以装配模块为单位开展模块化装配工艺设计工作,在此过程中探索和总结了开展模块化装配工艺技术的5个关键点。

### 1 模块化设计

飞机制造行业为了快速响应客户提出的多元化需求推出系列化产品,需要实现产品结构扁平化,提高产品数据重用性,因而采用了先进的模块化、扁平化设计理念。在飞机研发及生产环节,将设计模块作为最小操作单元而非单一零件,简化设计、工艺、生产等环节的管理复杂度,提高协同效率。设计模块由 CI/CS/DM 组成,其中构型项(Configuration Item, CI)表示飞机结构或功能的一个单元;构型方案(Configuration Solution, CS)表示 CI 的一种设计状态,存储 CI 上所分配的设计需求和方案;设计模块(Design Module, DM)是飞机设计模块的技术包管理节点,挂载飞机三维设计数模。这样的产品模块设计是模块化装配的前提和基础。

### 2 定义装配模块

工艺设计人员提前参与产品设计工作,协助设计人员进行面向装配工艺流程的产品模块划分,使实物的

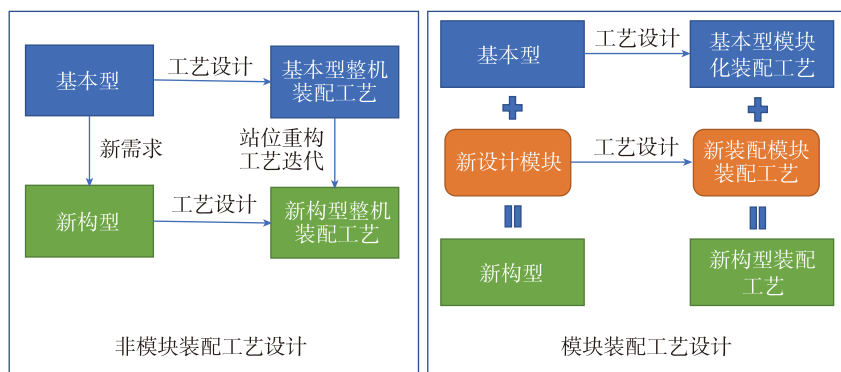


图1 非模块装配工艺设计与模块装配工艺设计对比

Fig.1 Comparison between non-modular assembly process design and modular assembly process design

部组件构成与设计的部组件定义保持一致,产品数据模型设计到一定成熟度阶段后,制造企业进行工艺总方案的制定,规划整机装配需要的站位。根据装配流程及其工作内容,将对应确定的装配站位所需的资源定义为装配模块,装配站位是实际存在的物理站位,一个装配模块对应一个装配站位。装配模块反映对应装配站位中所有的制造资源和数据,定义对前一级装配模块或零件的需求以及满足后一级装配模块的需求。装配模块是一个独立的生产单元,是开展技术、质量、成本、生产等工作的基本单位。

装配模块定义至少要遵循以下原则,主要包括:

(1) 满足产品的生产纲领,考虑工艺成本、运输便利性,平衡生产节拍。

(2) 符合产品制造流程,适应企业已有的制造资源,便于实现加工、装配和测量。

(3) 保证产品设计模块的完整性即装配模块集合必须涵盖设计模块集合,且不能将一个设计模块内的零件划分到多个装配模块中。

(4) 能够独立进行工艺设计、管理、制造、更改等环节。

(5) 考虑装配模块之间的协调关系及装配工作量前移的原则。

(6) 考虑跨系列产品的生产过程中装配模块的通用性要求。

(7) 装配模块作为制造构型的基本单元,必须能够对生产组织、成本管理、项目管理、质量管理提供支持。

这些原则和要求既是定义装配模块的依据,同时也是划分结果的评判标准<sup>[2,4,6]</sup>。同时,可在装配模块上定义工作周期、单位等信息,装配模块通过审批后,发布至 ERP 系统,ERP 系统可依据装配模块之间的交付关系及装配模块上定义的工作周期、单位信息,快速定义单架次飞机

的生产计划任务。

### 3 构建装配结构树

装配模块定义完成后,需构建装配结构树,它是反映全构型状态下装配站位的扁平化结构树(装配模块对应的是装配站位,实际存在的物理站位,所以是扁平化的结构,每个装配模块可展开仅表达当前装配模块所需要的资源)。装配结构树中按装配模块定义所有模块全构型状态下参与装配的设计数据、制造资源和制造过程,是生产组织的唯一数据源。装配结构树也可表达装配模块之间的交付关系(平行开工、并行开工),构建装配结构树的前提是将装配站位模块化,要求装配站位内装配的 DM 是完整的,并且一个设计模块不能拆分到多个装配模块进行组装<sup>[7]</sup>。这需要制造工艺部门按装配模块定义原则与设计部门的设计规划工作同步开展工艺规划工作,在考虑分工/配套的前提下更科学地规划产品结构与设计/制造分工;制造工艺部门需要真正参与到设计工作中,早期参与 CI 的定义,以避免后期造成制造环节产品模块的重构,可以基于产品构型项模块化地组织生产过程。CI 与 DM 之间的关系是:一个 CI 下可以有多个 DM,一个 DM 只能对应一个 CI。

通过自顶而下的消耗式分配方式,确定装配结构树上每个站位、装配指令中进行装配的对象,进行装配结构树构建,如图 2 所示。构建装配结构树有 4 个关键点需要注意。

(1) 根据目标装配模块的职能,将其所需 CI (一个或多个)分配到目标装配模块,系统在装配模块节点上记录其关联的 CI 信息,建立装配模块与 CI 之间的映射关系。

(2) 装配模块下创建装配指令清单(Assembly Order List, AOL),可以有多个 AOL 节点来管理不同构型

配置的装配指令(Assembly Order, AO)。依据构型配置单, AOL 上分配其父级装配模块上关联 CI 的 DM 及装配过程所需要的制造资源(工装、工具、设备),系统在 AOL 节点上记录其关联的 DM 信息,建立 AOL 与 DM 的映射关系。

(3) 在 AOL 节点下创建 AO,将 AOL 下关联 DM 的零组件分配至对应 AO,系统在 AO 节点上记录零组件所属 DM 顶图号信息,建立 AO 与 DM 顶图号的映射关系。

(4) 在 AO 节点下创建工步,将 AO 下关联的零组件及标准件分配至对应工步,系统在工步节点上记录零组件及标准件信息,建立工步与零组件及标准件的映射关系。

需要在工艺设计系统中建立一个表空间,用来存储对象之间的映射关系,此处存储的映射关系将作为依据构型配置单匹配装配指令的匹配条件。装配结构树是工艺设计活动的载体,工艺设计人员依托装配结构树开展装配工艺设计工作,包括:定义工艺路线和分工路线、申请工装夹具、申请工艺数模和装配模块内工艺规划、详细工艺设计、工艺仿真验证等内容。

### 4 装配工艺指令库管理

现阶段飞机制造企业的装配指令管理方式还是按有效性加版本进行管理,发生设计更改时,工艺人员需要新编工艺指令或发更改单、补充指令来进行更改贯彻,导致工艺设计人员工作强度高,容易出现工作遗漏,造成质量问题。模块化装配工艺技术采用装配工艺指令库来管理装配指令,以飞机机型为大类、AOL 为单位、映射关系为脉络存储装配指令,装配指令在库内无架次有效性,最新版本有效,适用于全构型状态。在模块化的设计模式下,遵循“零件换号其所属 DM 换号”的原则,DM 不存在有效性设置,以构型配置单为基准组织生产活动。当进行构型匹

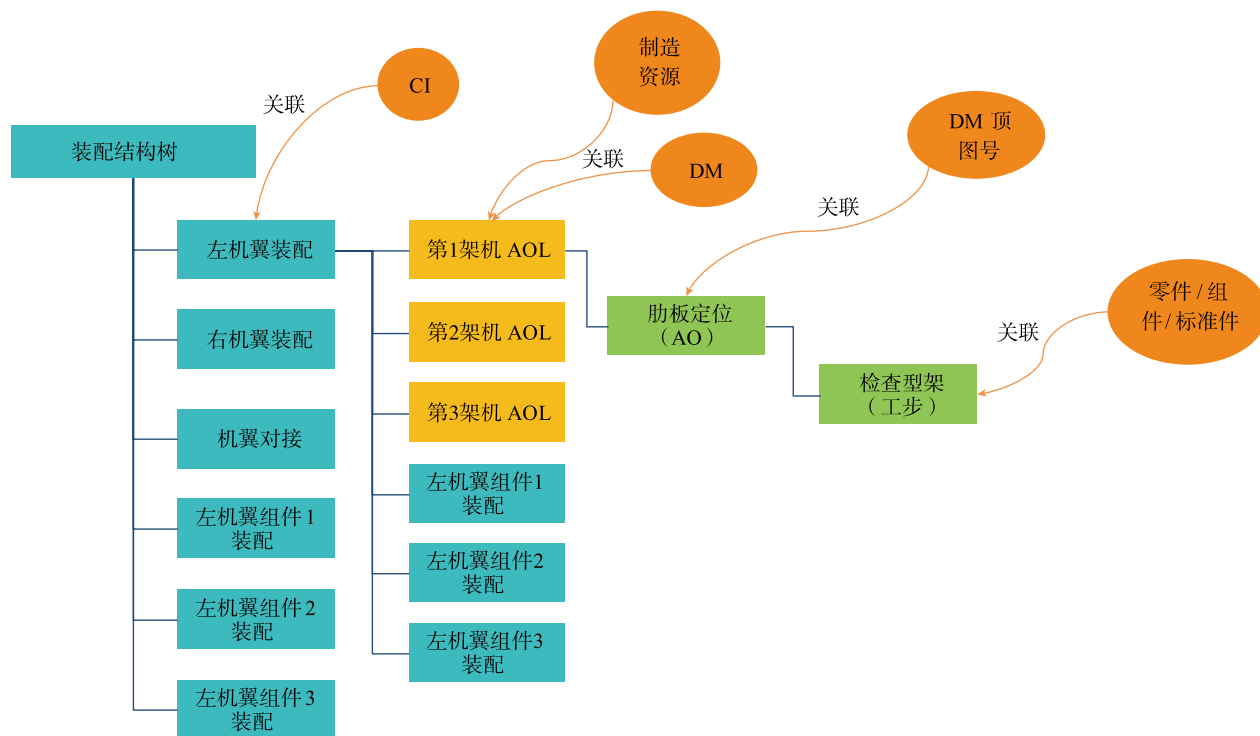


图2 装配结构树中的元素关系

Fig.2 Element relationship in assembly structure tree

配时,选中的DM在构型配置单规定的有效性内生效。当发生设计更改时,工艺人员通过在AOL节点下新建AO或升版AO的方式贯彻设计更改,新建AO要与更改零件或组件建立映射关系。装配指令库仅录入已发布状态的AO。

首架机研制期时,工艺设计人员在装配结构树上进行各个CA的装配工艺详细设计,生成AOL及AO,启动AO审批,AO审批流程触发AO入库动作,当AOL下所有的AO通过审批后,AOL封闭,以AOL为单位录入装配指令库。在生产过程中由于设计更改或质量问题引起的工艺文件变更时,工艺人员通过在AOL节点下新建AO或升版AO的方式贯彻设计更改,新建AO要与更改零件或组件建立映射关系,新AO或新版AO审批通过后存入装配指令库。

第2架机或后续架机时,以产品构型配置中的CI和DM为匹配条

件,在装配指令库中选取完全匹配或最佳匹配的AOL,形成适用于特定架次的装配指令。

### 5 基于构型配置匹配装配指令

前面提到工艺设计人员在编制装配指令时,需要将装配模块与CI、AOL与DM,AO与DM顶图号建立映射关系,这个映射关系就是基于构型配置在装配指令库中匹配装配指令的关键。当设计部门发放单架次构型配置时,工艺部门收到构型配置单后,系统首先依据构型配置中的CI精确定位装配模块,然后再依据DM和DM顶图号在装配指令库中进行AO比对,完全匹配或部分匹配出与当前构型配置单所囊括DM对应的AOL,最终生成单架次使用的工艺文件。部分匹配时,工艺设计人员要对当前构型配置单中新的设计模块进行工艺设计工作,生成的装配指令入库管理,如图3所示。

制造环节所有的流程设计和分

析模块都基于一个PPR(Product Process Resource)数据模型开展工作,这样可以在包含企业及供应链在内的不同地方、部门、专业间共享数据。通过定义、分析、完善补充各个装配模块制造流程的各种备选方案,方便组织和浏览相关工艺计划数据,过滤特定的单架次产品构型配置,完全适配或部分适配于单架次产品配置的制造方案,工艺设计人员只需要针对装配模块中发生变化的产品设计模块数据进行工艺设计活动,大大提高了工艺设计环节的工作效率。最终根据特定的单架次的产品构型配置,在装配结构树中进行匹配,选配出适用于特定的单架次制造方案、BOM清单和装机清册用于组织生产活动。

### 结论

综上所述,采用先进的模块化装配工艺技术改变传统生产模式,以装配模块为基本单位开展技术、质量、

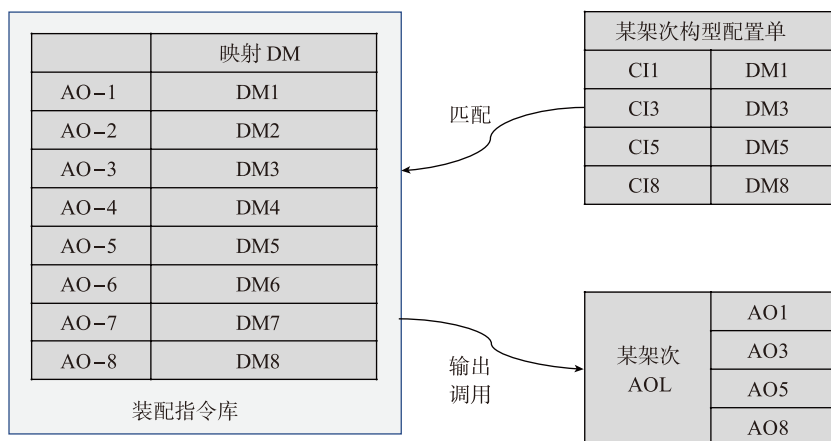


图3 基于构型配置匹配装配指令

Fig.3 Matching assembly order based on configuration list

成本、生产等工作,按模块化的工作包组织生产,可以使企业快速适应市场多样化的需求,简化协调关系,便于多地协同制造模式的展开;实现企业对工艺数据的重用,增加知识积累;实现工艺结构、生产结构扁平化,提高企业管理、技术管理和生产管理的精准性。

### 参考文献

- [1] 吕潇超. 基于模块的民机全面构型管理研究及应用[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18): 98-101.  
LÜ Xiaochao. Research and application

of comprehensive configuration management based on module for civil aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(18): 98-101.

- [2] 杨军伟. 模块化装配生产在汽车总装生产工艺中的运用[J]. 硅谷, 2013(17): 11, 13.

YANG Junwei. Application of modular assembly production in automobile assembly production process[J]. Silicon Valley, 2013(17): 11, 13.

- [3] 田润心. 模块化装配生产在汽车总装生产工艺中的运用[J]. 机械制造, 2012(1): 68-69.

TIAN Runxin. Application of modular assembly production in automobile assembly

production process[J]. Machinery, 2012(1): 68-69.

- [4] 王自军. 基于飞机三维模型的装配单元快速划分方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(12): 1495-1498.

WANG Zijun. Quick division method of assembly unit based on aircraft 3D model[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35(12): 1495-1498.

- [5] 姚任远, 蔡青. 飞机装配技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

YAO Renyuan, CAI Qing. Aircraft assembly technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1993.

- [6] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册: 飞机装配[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993.

Editorial Board of Aeronautical Manufacturing Engineering Manual. Aviation manufacturing engineering manual: aircraft assembly[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1993.

- [7] 蒋力诚. 模块化装配在飞机装配中运用[J]. 军民两用技术与产品, 2015(12): 7-8.

JIANG Licheng. Modular assembly in aircraft assembly[J]. Dual-use Technologies and Products, 2015(12): 7-8.

通讯作者: 赵一极, E-mail: zhaoyiji@163.com。

## Research on Aircraft Assembly Process Technology Based on Module

ZHAO Yiji<sup>1</sup>, QIU Xi<sup>2</sup>, SHEN Bo<sup>1</sup>, WANG Fengtao<sup>1</sup>

(1. AVIC Digital Center, Beijing 100028, China;

2. AVIC Xi'an Aircraft Industry (Group) Co., Ltd., Xi'an 710089, China)

**[ABSTRACT]** As the key link of aircraft development, aircraft assembly has many characteristics, multi-disciplinary field, high accuracy of coordination, high labor intensity and so on. The advanced aircraft assembly technology can improve efficiency of aircraft assembly, shorten development cycle, and lower the production cost. Now most domestic aviation companies still use non-modular assembly. They don't form a high efficient, neat and more utilizable assembly schema. To analyze non-modular aircraft assembly way, advanced modular aircraft assembly concept is proposed, The focus is to describe several key technology, modular design, the definition of assembly module, the construction of the assembly structure tree, the management of the assembly order library, based on product configuration matching assembly order.

**Keywords:** Non-modular assembly; Modular assembly; Assembly structure tree; Assembly order library; Matching

(责编 铃兰)