

(5) 20-22, 28

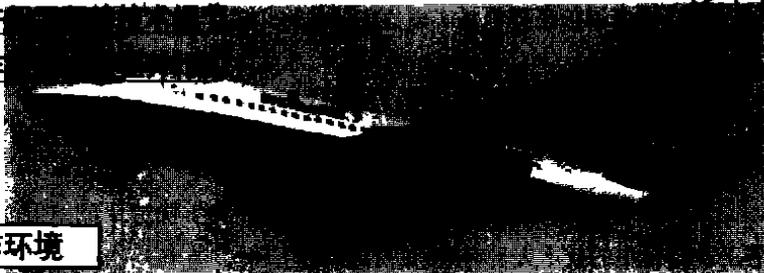
# 在并行工程环境中的 飞机结构设计

范玉青 杨旭东

飞机  
结构设计

并行工程

本文从波音B737-700水平尾翼翼肋结构设计的实例以及设计中所使用的CATIA软件,来阐述实施并行工程的问题,包括并行工程的集成工作环境,工作中结构设计的过程。



V22

## 波音 737-700 项目并行工程的工作环境

### 1. 人员构成和组织形式

并行工程包含了设计、制造、产品支援及其相关过程的一种集成的并行设计的系统方法,它主要考虑产品生命周期内的所有有关产品的因素。根据这一概念,并行工程强调的是集成的系统的工程方法,这就要求在并行工程中集成有关涉及产品寿命周期内的各个专业的专业人员,他们的工作应是以团队的形式有机的组织在一定的组织形式中。在B737-700的项目中,其并行工程的产品协同工作组称为IPT(Integrated Product Team),每一个IPT都包含所有与产品有关的专业人员,每个IPT成员都对本IPT的工作对象负责。IPT以工作对象的划分而呈宝塔形,如机翼IPT分为前缘IPT、襟副翼IPT等,下级IPT视上一级IPT为客户向其负责,上一级负责下一级IPT间的协调,这样从上到下构成了并行工程所要求的集成工作环境组织形式。

### 2. 硬件设备、人员和软件工具

并行工程要求计算机是基本的工作设备,在B737-700项目中,所有的IPT成员均使用巨型机所带的终端设备和微机,微机主要用于产生文档文件和信息交流,在水平尾翼前缘和垂直尾翼前缘IPT中,共有21台终端和4台微机,配备有14个结构设计工程师,3个工艺设计工程师和3个工装设计工程师,1个重量工程师,1个工业工程工程师,2个强度工程师,1个标准工程师,1个质

量工程师,1个材料工程师以及1个秘书等。其中,重量、质量、材料、强度等工程师同时在若干个IPT中工作,标准工程师还负责标准的贯彻,特别是建立模型标准的贯彻,因为它直接影响产品的生产,所以得到特别的重视。软件方面主要使用具有网络功能的CATIA绘图软件,APLG零件表自动生成软件等。

## 工作原则

IPT工作组是一个完整的有机结合体,其工作原则主要有:

\* IPT的成员必须具有协调合作的精神

每一个IPT成员都是本专业在IPT中的代表,需要在IPT中与其他专业人员进行协调工作,因此要求IPT成员具有很好的合作精神。

\* IPT成员同地工作

原则上IPT成员应尽可能地在同一地点工作,因为IPT成员间的协调讨论需要经常和充分地进行。

\* IPT经理对IPT成员负责

IPT经理除对IPT日常管理外,还必须有针对性地组织IPT成员对产品进行讨论以解决重要的技术问题,协调各专业间的关系,以使其能够协调的工作。

\* IPT成员对IPT经理负责

IPT成员除完成日常工作外,对产生的问题可要求IPT经理召开IPT协调会,供所有成员讨论。

### 结构件设计过程

飞机结构件的设计是一个较复杂的过程,它不是一个工程师所能单独完成的,需要不同专业的人员合作才能完成,客观上提供了实行并行工程的条件,这也就是为什么航空制造业领先实行并行工程的重要原因之一。

#### 1. 飞机结构件的初始设计

##### (1) IPT成员的初始讨论

IPT成员第一次在一起工作时,需要对工作对象(设计对象)进行充分的讨论,主要明确以下几个方面:

###### \* 明确工作对象

每一个IPT成员应对工作的对象即设计对象应有非常明确地认识,对设计对象的界限应有明确地了解,因为不同专业的人会从各自专业的角度看待同一设计对象会产生不同的概念,所以让每一个IPT成员对设计对象有全面的认识以建立相互合作的基础是至关重要的。我们的IPT经理要求每一个成员用简洁明了的语言描述设计对象(水平尾翼前缘)。

###### \* 确定工作内容

每个IPT成员在思想上应明确自己的工作内容,向全体IPT成员阐述自己的工作目标。

###### \* 确定设计对象的关键特性

对本IPT小组来说,设计对象是平尾前缘,其它IPT作为客户要求平尾前缘要保证理论外形和与平尾前梁的协调连接,这就意味着本IPT应保证理论外形和前梁协调这两个关键特性。因此在IPT的讨论中,一个很重要的内容就是要保证这两个关键特性,应明确每一个成员的设计对象的关键特性是什么,要保证它们应做些什么。例如结构设计员要认清两点:

\* 理论外形表面是关键特性之一,应以理论外形表面作为设计的基准面,不能对理论外形做任何改动,如在建立前缘模型过程中不对理论外形表面做分割操作。

\* 与前缘的协调是另一个关键特性,应以平尾前梁作为协调依据,当前梁的形状或结构发生变化时,前缘也相应的发生变化。

与此同时,工艺人员考虑应采用怎样的工艺路线和制造方法来保证制造出的前缘外形表面与理论外形的误差最小。工装设计员应考虑采用怎样的工装夹具、型架

等来保证前缘和前梁的外形和结构的协调。

###### \* 明确设计对象的工作环境

由于平尾前缘正好处于发动机的尾流中,因而工作环境较恶劣,设计时主要考虑解决发动机产生的噪音疲劳问题。针对这种情况,IPT组中的材料工程师在讨论中提出采用一种夹层板,可较好地解决噪音疲劳问题,经与强度、工艺等工程师协商确定材料牌号。

由此可见,全体IPT成员都对同一产品负责,每一个IPT的决定都由全体IPT成员做出,共同对产品负责。

##### (2) 设计结构件的标准环境及原始数据

这里的环境是指在CATIA中预置的一种标准模式,这种标准模式存在于各种种子模型(Seed Model)中,Seed Model分为多页和单页以及机加和钣金等几种。多页是指模型中预置了多页图框,而单页只有一个图框。Seed model在SPACE状态下是空的,没有任何内容,在DRAW模式下有标准图框、标题栏、图区、层表等等,在模型子库中有各种标准符号如标注箭头、局部剖视符号等等(详见波音标准BDS5000系列)。

作为平尾前缘的结构设计员,需要知道由气动方面提供的理论外形表面(即主尺寸表面MDS)模型,由总体方面提供的各种基准面和站位面(DIAGRAM)以及与之相协调装配的平尾前梁,因此结构设计员应到公共模块提取以上模型,通过CATIA的Library功能将这些模型传到已选定的seel model中。

#### 2. 结构设计的几个阶段

结构设计从初始到结束是逐步完成的,在计算机中零部件的设计模型也是分几个阶段逐步建立的,这几个阶段分为“一度”模型,“三度”模型和“五度”模型。

##### (1) “一度”模型

在该阶段中设计人员根据零件的大致轮廓尺寸,在DIAGRAM图中提供的站位面上建立实体模型,这种实体模型是十分粗糙的,如翼肋可用长方体表示。一度模型表示在飞机内部该处的空间里有一实体占据,它主要用于模型的数字化预装配(DPA)。DPA工程师将检查是否所有位置都有零件,空间分配是否合理,总体设计师将进一步考虑结构布局,结构设计员一边等待DPA的检查结果,一边开始考虑详细设计方案并提交IPT讨论。

### (2) “三度”模型

该阶段的零部件模型应有精确的外形面、准确的轮廓尺寸、应有结构件的形状。

经 IPT 讨论通过了平尾前缘的结构方案是：前缘分为可动前缘和固定前缘，固定前缘在翼根部，结构高度较大，采用机加整体肋，共有 3 个。可动前缘共有 19 个，采用普通钣金肋。

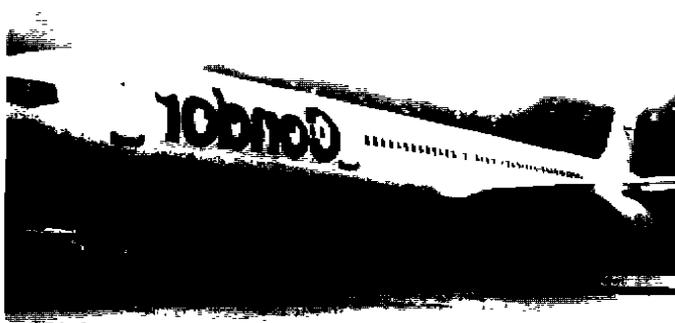
#### 1) 结构件数字模型的建立

有了结构设计方案，即可在 CATIA 中建立实体模型，建立实体的方法很多，一般采用 SOLID 模块中提供的功能直接把零件构造成实体模型。

前缘肋是带有外形表面的，且外形表面是关键特性 (KC) 面，它应取之于理论外形表面 (MDS)，而理论外形表面是整个尾翼的，是关键特性，是不允许被打断或分割的，因而为了使设计模型有尽可能少的字节数，可在 MDS 面上形成 \*FAC 元素，通过裁剪 \*FAC 元素来获取所需要的那一小块外形表面。

最终形成的实体内部不应有任何亮线、亮点或亮面，否则说明实体是不完整的，不闭合的或是有内部缺陷的。

#### 2) 基于为制造而设计 (DFM) 的方法



设计阶段考虑制造是并行工程的精髓之一，体现在结构设计上是结构设计人员在设计时应充分与工艺人员协商，取得最低制造成本的设计方案。比如，可动前缘的普通钣金肋，由于它们的结构高度较小，结构设计员决定采用整体板弯肋，经与工艺人员讨论，按照设计人员提供的形状和尺寸决定对这些板弯肋采用深拉伸

(Deep Draw) 的工艺方法。由此，设计人员明确了待设计零件的加工方法，同时也就采用深拉伸零件的设计标准进行设计，充分体现了为制造而设计的思想。

#### 3) 数字化模型预装配 (DPA) 的工作

保证结构件的协调是结构设计工作的一个主要内容，其中模型预装配是一个主要手段。模型预装配是将所有的零件集中在一个模型中，按照它们的相对位置进行协调性检查，这个工作在零部件设计过程中是经常做的。

#### 4) 体现满足客户要求第一的思想

所谓客户，是指所有该 IPT 产品的用户，当然最终用户是航空公司，上一级 IPT 是客户，下一级 IPT 也是客户。在设计过程中，设计方案是随时按客户要求而改变的。

在原来的平尾前缘的设计方案中，固定段有三个翼肋，对根肋的检查需通过固定段的端肋才能做到，后来与航空公司的讨论中，他们认为三个肋的跨度太大，对根肋的检查和维修很困难。此时整个 IPT 的设计工作已接近完成，客户突然提出的这个要求意味着原设计方案将做大的调整，但 IPT 的工作特点即在设计阶段的灵活性，有能力最大限度的满足客户的各种合理要求，由于各种原因，这种情况可以说在 IPT 的工作中经常发生，最终决定将固定肋由三个改为两个，缩短了端肋到根肋的跨度距离，方便了客户对飞机的维护，满足了客户要求。

#### 5) 信息的交流是至关重要的

信息的畅通和流动是并行工程实施的一个基础，建立一个有效的信息交流机制是必不可少的。

### (3) “五度”模型

该阶段的模型应是最终设计模型，是一个完整的结构模型，所有的结构细节如倒圆、翻边等都应该完成。该阶段同样要做 DPA，进行模型间的干涉检查，此时的工艺流程、工装设计、强度报告等都进入详细设计阶段。

#### (4) 二维图形的建立

有了三维实体模型，按照 Seed Model 提供的图框即可将三维实体投影到 DRAW 模式下形成二维图形，进行图形的标注、画剖视图等。这一工作在 (下转第 28 页)

计,对这些设计如何能够更好地满足用户要求提出反馈的建议。可见,有了PDM系统提供的最新的产品开发信息,当图样、工艺文件和材料清单最终转发到上述各部门时,由于每个部门都提前做好充分的准备,也就缩短了整个开发的周期。

### 制造和支持阶段

当整个设计工作完成后,生产和采购部门的计划人员就应根据产品材料清单(Bill of Material)和工艺汇总表发出订单,并开始生产。BOM表和工艺汇总表是PDM和MRP II这两大系统的信息交汇处。其中,制造资源规划MRP II是对制造资源进行时间和空间上的合理调度,而各种制造资源都是以信息的形式表现的,所以MRP II也就是对信

(上接第22页)IPT组中有专门熟悉波音绘图标准的绘图人员完成。

#### 3. IPT所采用工作方式

在B737-700项目中,IPT日常采用的工作方式是PDCA,即PLAN、DO、CHECK、ACT。

PLAN——指工作计划、工作讨论、工作描述,这种“计划”包含有更广泛的含义,无论哪个成员对产品有新想法或建议均可提出供全体讨论。

DO——实施达到共识的“计划”。

CHECK——对已经做了的工作进行检查。

ACT——对出现的问题进行改正。

PDCA是个经常性的工作,每个星期都做,比如,本星期结构工程

息流的调度和控制。PDM系统中则保存了满足所有配置需要的产品的全部数据,称为母模型。生产部门可以根据不同的要求,通过PDM系统按配置条件从母模型中挑选所需的数据,配置出满足用户要求的子模型,也就是BOM表,并得到相应的工艺汇总表。BOM表中描述了产品结构的配置原则和各零部件之间的关系;工艺汇总表反映了在工艺过程中配置条件选择的零部件的工装、卡具、原材料、工序和工时等数据。MRP II系统可以根据这些信息来发掘企业资源潜力,有效地组织生产。

当产品正式交付生产时,销售人员也准备着随时按照用户的具体爱好和要求来改编订单,通过PDM了解全面的产品信息,包括所有可满足的配置,依此提出任意的包装、颜色、变

师向IPT汇报做了那些工作,工艺工程师向IPT汇报所做的工作等。另外,各专业人员还要说明下周所要做的,每一项工作都可以讨论,取得共识后,各专业才可开展下周的工作,这样可使每个成员对工作内容有全面的了解。

#### 4. 最终完成的模型

设计完成的产品数字模型包含了许多内容,主要有三维实体和二维设计模型、工艺流程、工艺计划、工装模型、加工NC代码、强度报告等,这样IPT的设计概念就大大地扩展了,不局限于单纯的结构设计,而是包含了设计对象方方面面的内容,是一个数字化设计产品的全面体现。

##### (1) 结构模型的交付状态

结构模型在完成时,需要做一

型或其它配置,并将这些信息及时反馈给生产部门,根据需求编制出适当的BOM表来履行订单。一旦PDM系统记录到市场对产品提出的新要求,设计人员可以及时根据市场动态作出快速反应,设计出更有竞争力的产品。

最后,工程服务部门也需要从PDM中及时获取有关产品的某些详细信息,包括复杂组件、技术规格、合格参数等,以便为用户提供高水平、高质量的服务。例如:若某一个对用户曾经提出了终生保修承诺的产品现已停产,而此时用户提出了维修服务的要求。PDM可以提供快速准确的查询手段来了解有关的资料,安排单件生产。而且,由于工程服务部在用户的第一线,最了解产品的实际使用性能,PDM系统将及时地把第一线获得的有关产品各方面的信息汇总起来,为设计、工艺和生产各部门提供有价值的信息。

查询编号 023

系列的检查,除主要通过DPA检查外,对模型内部还要做规范化管理,检查冗余元素、清除一切不必要保留的元素,并用命令“/CLN”清理模型内部的逻辑错误,检查模型是否符合BDS标准,这些检查都完成后才能将模型发出。

并行工程的具体实施并不是一个难以实现的工作。只要能够使各专业设计员树立协同工作联合设计的思想,改变设计工作者的做法,积极建立一整套软、硬设备,(如网络系统、数据管理系统(PDM)等),注重基础工作的开展,(如Seel Model的建立,软、硬件二次开发等)。加强人员的培训就可以基本实行并行工程。

查询编号 021