

# 关联设计技术在飞机研制中的应用

Application of Parallel Design Technology in Aircraft Development

中国一航第一飞机设计研究院 刘俊堂 刘看旺



刘俊堂

毕业于西北工业大学，同年分配至中国一航第一飞机设计研究院信息系统研究所工作，主要从事CAD/PDM技术研究和应用，现为信息系统研究所工程应用研究室主任、高级工程师。

飞机产品研制具有专业面广、设计更改频繁、各专业间关系密切、关联性等特点。在通过三维设计技术进行样机的设计过程中，存在着外形与结构，结构与系统等三维模型之间的相互影响、相互依赖关系；存在着结构、系统等本身内部三维模型之间的相互影响关系。如何通过数字化设计技术，建立、控制和传递这种影响关系，实现上下游设计信息的快速传递与更改驱动，加快飞机设计过

程中的更改和迭代速度，是值得研究、探讨和实践的课题。

关联设计是数字化技术应用到一定水平、数字化设计和管理相融合的结果。波音在总结 B787 飞机研制的技术成果时，把关联设计列为十大技术成果的第一位，足见关联设计技术在飞机研制数字化技术应用中的重要性。

程中的更改和迭代速度，是值得研究、探讨和实践的课题。

飞机数字化设计技术在我国进行了长期的研究和应用，特别是近 10 年来，随着飞机制造业数字化工程应用工作的开展，数字化技术在飞机研制中的应用有了长足的发展，在某些方面已经接近或赶上国际先进水平，如在数字样机设计方面，实现了 100% 的三维建模和 100% 的数字化虚拟装配，在多个飞机型号研制中，数字样机已经完全取代了物理样机。同时，我国飞机制造业数字化技术应用中，在飞机产品数据管理，异地协同设计制造等方面也进行了相当深度的研究和应用，如在具有自主知识产权的 ARJ21 飞机研制中，通过协同设计制造平台，实现了西安、上海异地在线协同设计，实现了西安、上海、沈阳、成都 4 地协同制造，并通过互联网同国外 19 家供应商进行设计信息的传递，为数字化技术的进一步应用打下了基础。

虽然我国飞机制造业数字化技

术应用水平较其他行业位于前列，但总体、综合应用水平和能力与国外大飞机公司（波音、空客等）相比还存在较大差距。这些差距包括产品数据管理控制下的构型管理技术的应用和实施，并行协同研制中的信息共享与流程控制，产品、工艺、工装的并行和协同设计，以三维模型为主的相关设计和信息描述技术（如三维标注技术）等。就产品数据管理而言，虽然设计结果得到了统一的管理，模型之间的空间位置可以通过样机技术进行干涉和协调性检查，但模型之间没有建立相互引用和参考关系，设计协调过程仍然采用传统的模式，没有发挥出数字化管理技术应有的作用。在产品数据管理技术和 CAD 设计技术支持下，建立上下游设计输入输出间的驱动和约束关系，这就是波音公司在飞机研发过程使用的关联设计技术（Relational Design）。随着我国飞机制造业数字化技术应用的不断深入，关联设计技术也开始应用于飞机设计之中。本文就关联设计

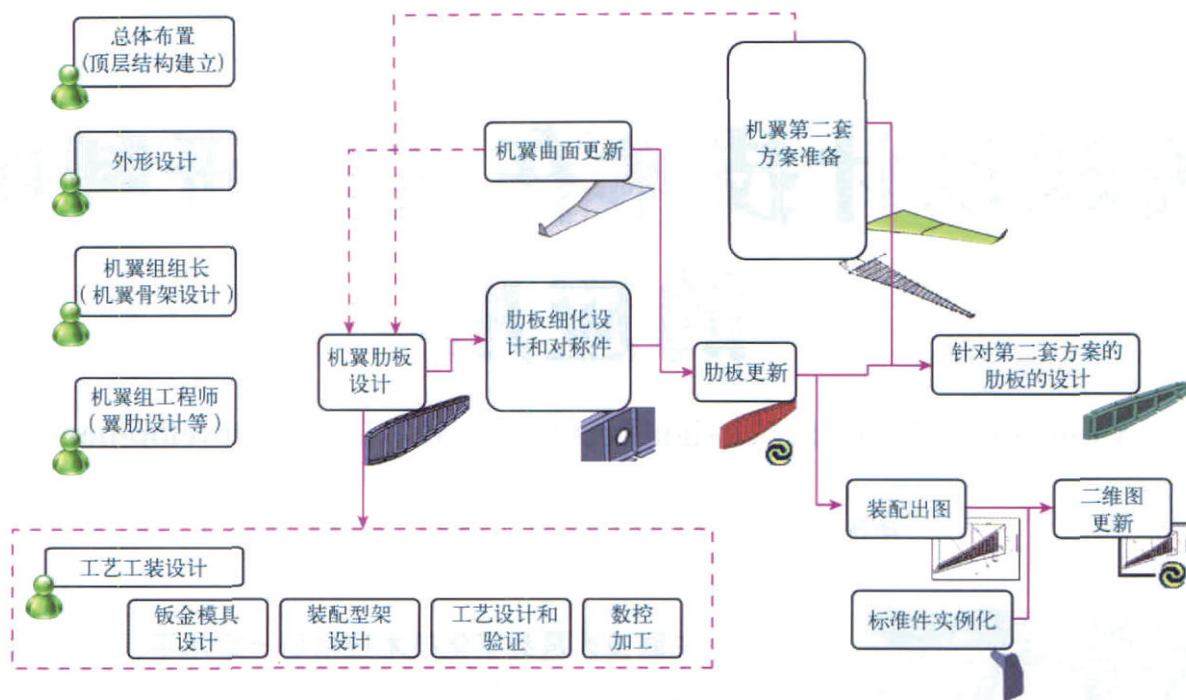


图1 机翼协同关联设计示例

技术在飞机研制中的应用进行初步探讨。

### 关联设计基本概念的介绍

飞机机体的外形、结构、系统等的设计过程可简单描述如下：首先总体外形和布置专业设计人员进行飞机外形和结构布局设计，设计结果（如机身、机翼外形、机身框、梁、长桁平面、轴线等）作为结构和系统设计的输入，从而据此进行结构设计。系统在结构设计的过程中，参照结构数据进行管路、电气成品附件、管路件、电气元器件布置、管路和电气线束设计等。飞机设计过程是一个不断更改和迭代的过程，上游设计的更改往往会引起下游设计的更改，特别是在概念和初步设计阶段，更改的频率较大，如总体布置中的机身框平面位置的更改必然引起以该平面为参考的框的位置的更改。传统设计过程中，这种上下游设计的影响关系往往通过间接的方式进行传递，如通过协调单告知，通过共享数据模型，或者用电话进行沟通 and 协调；在更改的过程中，通过元素的替换等方法实现。

这种工作方式的缺陷是明显的，主要表现为：

- 设计更改不能及时传递；
- 人工控制更改操作麻烦，且容易发生数据版本的不一致性；
- 没有充分发挥三维设计和产品数据管理的作用。

为了克服这些缺陷，就必须依赖数字化设计技术和产品数据管理技术，建立上下游设计之间的约束和控制关系，这也是关联设计要解决的主要问题。关联设计技术是在三维设计过程中，通过参数化设计技术建立模型之间的相互依赖关系，从而实现飞机研制中上下游专业设计输入与设计输出之间的影响、控制和约束关系。

关联设计是一种特殊形式的参数化设计方法，其驱动参数为上游设计的几何特征（如点、线、面、坐标系等），其表现为上游设计对下游设计的影响关系。关联设计可以抽象为公式： $y=f(x)$ ，其中， $x$  为上游设计给下游设计的输入， $y$  为建立在上游设计输入基础上的下游设计， $f$  为上下游设计间建立的关联关系。

### 关联设计的实现方法

关联设计属于参数化设计技术，从参数化设计技术本身来讲是比较成熟的技术，目前流行的 CAD 软件系统都支持模型的参数化设计，不同的是，关联设计技术要把模型的参数化设计上升为模型和模型之间的几何元素的驱动关系，另外还要有与 CAD 软件系统配套支持关联设计的产品数据管理系统。法国达索系统公司的 CATIA V5 和产品数据管理系统 ENOVIA V5 支持关联设计，而且在关联设计技术应用方面有自己独特的方法。

关联设计除了需要 CAD 和 PDM 系统支持之外，最主要的是要对设计对象进行分析，要总结和梳理出设计对象各部分之间的相互影响关系，总结出决定设计对象的主要因素。在这个过程中，要引入 2 个概念：接口和骨架。接口为下游设计参考上游设计的几何元素；骨架为决定设计对象结构的具有联系的接口的集合。

在关联设计中，对接口和骨架的

分析完成之后,就要形成相关的规范,来对接口和骨架的命名、接口和骨架的引用方式等方面进行说明和规定,避免在关联设计过程中由于关联关系的复杂性,引起产品设计过程的混乱。标准规范的制定也是实现关联设计非常重要的一个环节。

对产品结构进行合理的组织和划分,采用在线设计技术也是实现关联设计的必要条件。对产品结构进行合理划分,以形成产品骨架模型合理的层次关系,使得骨架之间的影响关系易于控制。在线设计技术是在管理系统控制之下的样机设计技术,所有设计人员在同一电子样机下进行工作。在线设计的特点是:设计人员在开始设计时,CAD系统就要和数据管理系统建立连接;在设计过程中,设计结果直接存入数据管理系统。显然只有采用了在线设计技术,才能实现下游设计对接口元素的引用。

### 关联设计在飞机研制中的应用

以下用一个简单的例子来说明关联设计技术在飞机研制中的应用,以一个简单的机翼设计为例,基本场景描述如下(见图1):

(1) 总体设计者布置建立产品的顶层结构,以便各专业在同一环境、同一样机下进行协同和关联设计工作;设计机翼零件位置布局,并在骨架模型中得到贯彻。

(2) 外形设计者进行机翼的外形设计。

(3) 机翼结构设计主管建立机翼的骨架模型。

(4) 机翼零件(如翼肋)的设计者参考和引用骨架模型中的接口进行具体零组件的设计。

(5) 在机翼零组件设计成熟度达到一定状态时,工艺和工装设计者可以参考零组件模型和骨架模型进行工艺和工装设计。

(6) 当机翼的第二套方案由总体、外形设计者完成后,机翼骨架模型设计者根据新方案对骨架模型进行升版,零组件设计者通过更新链接关系,可以很快建立新方案的机翼模型。

设计结果描述如下:

(1) 图2所示为外形设计者发布的机翼外形接口及其机翼骨架模型包含的接口元素(包括肋位置控制线,长桁轴线等)。需要特别说明的是,实际设计中翼肋的位置用翼肋平面控制,无论哪种方式都不影响关联

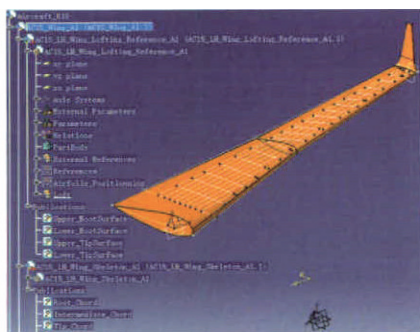


图2 关联设计中的骨架模型和接口

设计技术的应用,这里仅用示例的方式说明关联设计技术的应用。图2中AC15\_LH\_Wing\_Skeleton\_A1为骨架模型,只有发布了的元素(接口元素)才可以被下游设计引用,进行具体零组件的设计。

(2) 图3是通过关联设计技术设计的一个翼肋,翼肋的外形通过接口Upper\_TipSurface和Lower\_TipSurface控制,在翼肋AC15\_LH\_Rib07\_A1的外部参考(External References)中可以看到对接口的引用关系。

(3) 如果上游设计发生了更改,通过接口元素会把更改自动传递到

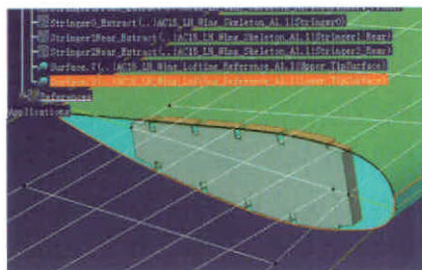


图3 关联设计环境下的翼肋设计



图4 翼肋的自动更新

下游设计,在系统的帮助下,实现设计的自动更新。如图4所示,红色零件为需要更新的翼肋,当骨架模型中的接口发生更改时,引用该接口的下游设计的零件就会自动变红,告知下游设计上游的接口发生更改,需要对零件进行更新,下游设计按系统提示,一般会很容易实现零件的更新。

### 关联设计在飞机研制中的作用

关联设计是数字化技术应用到一定水平、数字化设计和管理相融合的结果。波音在总结B787飞机研制的技术成果时,把关联设计列为十大技术成果的第一位,足见关联设计技术在飞机研制数字化技术应用中的重要性。关联设计在飞机研制中的作用大体可归纳为以下几个方面:

(1) 实现设计信息共享,加快信息传递速度。

(2) 保持设计数据的一致性,提高设计质量。

(3) 保障数据安全,保护知识产权。

(4) 为三维设计提供了定义设计输入的方法,即骨架模型的定义。

关联设计在飞机研制中的作用很大,关联设计在我国飞机设计行业仍处于初步应用阶段,关联设计的其他相关领域技术仍在研究和探索当中。希望关联设计技术能成为助推大飞机高质量、高效率研制的关键技术之一。

(责编 钟元)