

# 基于骨架模型的复合材料结构设计研究

## Composites Structure Design Research Based on Master Geometry

中航通飞研究院有限公司 陈娟 王咏梅 田宪伟



陈娟

毕业于南昌航空大学,现就职于中航通飞研究院有限公司,主要从事复合材料结构设计研究和综合标准研究。

复合材料因其具有比强度高、比刚度高、可设计性强、抗疲劳性好、耐腐蚀等独特优点,在航空航天领域应用日益广泛。国外现代飞机复合材料结构设计在 CAD/CAM 和系统工程管理支持下,形成了综合考虑全寿命周期中设计、生产、使用和保障等各阶段要素的基于全寿命分析的并行工程关联设计方法。国内的复合材料结构设计目前普遍采用的二维

通过对国外复合材料数字化关联设计技术的借鉴与研究以及国内复合材料结构设计技术的现状分析,本文将通过对作为关联设计纽带的骨架模型的研究,探讨如何进行基于骨架模型实现复合材料结构的关联设计。

图纸和三维数模结合方式,但由于三维数模与二维图纸转化的中间环节,工作中难免出现错误。随着国内数字化设计技术的不断深入发展,已逐步实现将二维图纸中信息都通过三维模型表达出来。这种全三维的复合材料结构关联设计不但保证了数据的唯一性,更提高了设计信息的表达和传递速度,是国内外重点研究和应用的核心技术之一。

关联设计是指在三维设计过程中,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<sup>[1]</sup>。在关联设计中,将 CAD 系统与产品数据管理系统建立连接,合理的组织和划分产品结构,以形成产品骨架模型为纽带的层次关系,并通过骨架模型理顺模型之间的从属关系,有效驱动零部件的设计和控制。在飞机设计过程中,因为设计更改频繁、各专

业间关系密切,关联性强等特点<sup>[1]</sup>,若模型之间没有建立相互引用和参考关系,上游的设计信息不能及时传递到下游,往往会影响研制周期,降低工作效率,甚至降低飞机设计质量。波音在总结 787 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<sup>[1]</sup>。

通过对国外复合材料数字化关联设计技术的借鉴与研究以及国内复合材料结构设计技术的现状分析,本文将通过对作为关联设计纽带的骨架模型的研究,探讨如何进行基于骨架模型实现复合材料结构的关联设计。

### 骨架模型的概述

#### 1 骨架模型的定义

骨架模型一般由点、线、面、坐标系及各类基准等组成,是整个模型的

设计思路的表达。骨架模型规划了飞机的总体结构、零部件的基本空间定位,以及各零件之间的装配关系。在建立骨架模型的同时,完成产品向具体的装配结构模型的转换。骨架模型在设计阶段初期为零部件设计建立形状、协调基准,在后期则能为产品装配建立装配基准<sup>[2]</sup>。

骨架模型必须是可控的,用于支撑整个模型,是模型设计的脊梁柱。骨架模型存放并发布所有的设计基准,管理基础数据和控制设计输入,下游的零件设计只能对骨架模型发布的元素进行引用,不能引用发布以外的元素,这样就保证数据来源的唯一性。又因为下游的零件设计引用骨架模型元素时,采用的是保持链接的关联设计,因此当上游设计数据发生更改时,下游可以及时获取信息并做出相应的调整。可见基于骨架模型的结构建模不仅能够实时地观察到整个产品的设计意图及设计进度,灵活地构建上下游零部件,而且能够实现整体产品的关联设计与联动修改。

## 2 骨架模型的分类

骨架模型从上至下共分为4种:总体骨架、接口骨架、部段骨架、部件骨架。总体骨架是其他骨架的基础,包含总体外形和整机布置站位两个部分,创建后发布供下游建立接口骨架和部段骨架引用。接口骨架由两个或多个部段对接协调的公用元素组成,用于两个或多个部段之间对接协调区域的协调,接口骨架内的元素仅为各部段之间协调的元素。接口骨架可使部段之间的协调数据唯一、协调依据统一。部段骨架是整个部段关联设计的基准,包含从总体骨架中引用的元素、从接口骨架中引用的各部段的协调元素、各部段细化的元素3部分内容。部段骨架中从总体引用的外形需要根据部段下游部件的特点进行适当的拆分,以便于后期部段骨架更新时可以减少影响面,部

段骨架驱动下游零部件快速接收更改通知并能够进行下游的自动更新,同时保证不受影响的零件不需更新。总体骨架、接口骨架、部段骨架仅用于不同级别的协调,不得直接用于零件设计。部件骨架是下游部件内零件关联设计的基准,部件骨架由上层骨架拆分而来,是上层骨架局部的细化表达,部件骨架的数据量和发布元素减少,提高了设计效率,有利于关联设计的展开及管理,设计员只能使用部件骨架进行零件的设计。

## 3 骨架模型的变更和版本控制

骨架模型更改时,先升版,并在最新版本下更改,达到设计相对稳定的状态再同步。而不是稍有一点修改就升版并同步。因为升版的操作不当会导致所有参照骨架模型的零件都要更新。而每一次骨架模型的更改,都会影响到受影响的下游零件的更新。如总骨架模型发生变更,则部件骨架模型需要及时更新,以保证设计数据最新,将部件骨架模型及总骨架模型同时打开;将总骨架模型及部件骨架模型都进入设计模式,查看部件模型更新状态;若部件模型显示为红颜色或外部参考几何集中元素提示需要更新,则说明总骨架发布元素已发生变更,将部件骨架模型进入零件设计模块,对模型进行更新,并通知相关设计人员进行下游关联设计零件更新。

## 基于骨架模型的 复合材料结构设计

通过骨架模型反映出产品的功能要求和设计意图。此时的骨架模型是一个全局化的模型,既是总体设计的结果,又是零件设计的起点,详细设计阶段的工作是通过这些基准特征信息完成各个零件的实体建模,完成由装配概念模型到产品实体模型的映射<sup>[2]</sup>。复合材料结构有别于金属结构设计突出特点主要有:金属为各项同性材料,复合材料为各向

异性材料,所以复合材料结构设计要充分利用复合材料与纤维方向相关的优异性能,通过选择适当的纤维取向、铺层比例和铺层顺序,即通过剪裁材料来满足设计要求,以实现结构优化设计。可见复合材料结构设计要特别注重铺层设计。

复合材料不同部位的载荷条件和结构形式不相同,需设计的铺层厚度、铺层比例和铺层顺序不一致。同时,也需要有良好的复合材料铺层过渡设计,调节整个结构的铺层厚度和铺层顺序,使得不同位置的复合材料铺层设计协调。合理的复合材料铺层设计和过渡设计将带来良好的减重效果和较高的结构效率,否则适得其反<sup>[3]</sup>。复合材料层合板结构铺层设计要考虑结构有效传力,保证结构能最有效、最直接地传递给定方向外载荷,提高承载能力、结构稳定性和抗冲击损伤能力。如以受拉压为主的构件,应以 $0^\circ$ 铺层居多;以受剪为主的构件,应以 $\pm 45^\circ$ 铺层居多;考虑到稳定性和耐冲击,层合板外表面选用 $\pm 45^\circ$ 铺层;在可能受到低能冲击部位,外表面宜选用织物铺层,可增加 $\pm 45^\circ$ 铺层的比例,或采用由碳-芳纶、碳-玻璃纤维构成的混杂结构。复合材料零件中宜同时包含4种铺层,一般在 $0^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ 层合板中必须有6%~10%的 $90^\circ$ 铺层,构成正交各项异性板。除特殊需要外,应采用均衡对称层合板,以避免固化时或受载后因耦合效应引起的翘曲。

## 基于骨架模型的复合材料 结构设计应用

以某型飞机复合材料方向舵右侧蒙皮的设计为例,来说明基于骨架模型的复合材料结构设计情况。基本场景描述如下:

(1) 总体设计外形、坐标系、整机主要布置、大部件对接接口等的发布,并作为设计依据。

(2) 尾翼负责人根据总体发布

的外形及布置,建立尾翼骨架模型,并完成尾翼主要的布置元素及接口元素并发布其参数。

(3)复合材料方向舵负责人根据尾翼的骨架模型,建立方向舵骨架模型,并完成方向舵的主要布置元素(梁、肋站位等)以及接口元素,并发布其参数。方向舵骨架模型如图1所示。

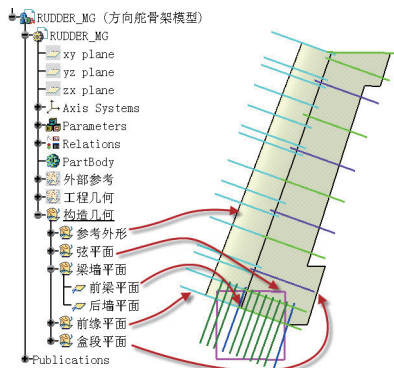


图1 方向舵骨架模型

(4)方向舵零部件设计人员参考和引用方向舵骨架模型中的元素进行具体的零部件设计。应用CATIA V5 复合材料设计模块进行复合材料结构设计前,首先要收集强度的输入数据,强度需根据不同部位的受力情况进行分析,计算出不同位置的初步铺层角度和铺层比例,并按照铺层设计要求排列出满足条件的铺层顺序。然后,根据两两相邻区域的铺层顺序进行铺层递减工作。图2为方向舵右侧蒙皮的强度输入模型。

由图2可知,根据骨架模型的站位面定义网格区域边界,网格区域的铺层根据分配的节点载荷而变化的。当骨架模型的布置(梁、肋站位等)发生更改时,需将更新的骨架模型再次提交强度,重新分配节点载荷,重新定义网格区域铺层信息,再告知方向舵结构设计人员对方向舵零部件进行更新。图3为根据强度结算结果作出的复合材料方向舵右侧蒙皮模型。方向舵右侧蒙皮的结构设计结果不是完全按照强度输入进行的,强度输入的铺层厚度为最小厚度,结构设计人员可以根据结构设计要求,整合部分铺层厚度,还要特别注意连接区的铺层厚度要求,一般情况连接区厚度高于非连接区厚度。

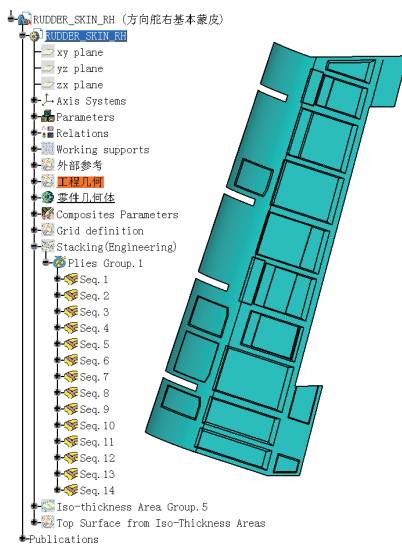


图3 方向舵右蒙皮结构模型

Patran 2010 64-Bit 15-Apr-13 14:23:00  
Thickness Scalar Plot



图2 方向舵强度输入结果

(5)当总体外形发生更改时或涉及到其它层级的骨架模型发生更改时,该层级骨架模型的负责人应该将更改及时反映在该层的骨架模型中,并告知下游的设计人员进行更改。如尾翼骨架模型的设计人员更改后告知方向舵的骨架模型设计人员,方向舵骨架模型设计人员可以根据新方案对骨架模型进行更新,零部件设计人员通过更新链接关系,实现零部件的更新。

### 结束语

本文通过对骨架模型定义、分类和变更版本控制的研究,分析了如何基于骨架模型进行复合结构设计,以及基于骨架模型复合材料结构设计意义。通过建立骨架模型,实现了自上而下的设计理念:不仅能为三维设计提供设计输入,实现设计信息共享,而且实现了上下游设计信息的快速传递和驱动,加快了飞机设计过程中的更改和迭代速度。同时结合型号研制中的实际应用,可知基于骨架模型的结构设计不仅能清晰地表示上下游的数据,还着重强调产品模型各部分之间的联系,以及产品模型建模与修改的方便性。尤其对复合材料结构设计而言,骨架模型数据不仅为复合材料结构划分了不同的受载区域,还便于不同区域铺层边界的快速更改。因此,基于骨架模型的复合材料结构设计将为飞机研制周期的缩短、研制质量的提高和工作效率的提高创造必要的条件。

### 参考文献

- [1] 刘俊堂,刘看旺. 关联设计在飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2008(14): 45-47.
- [2] 赵海超,王强,刘敏. 基于VPM的教练机三维协同设计技术应用研究. 教练机, 2011(3): 23-27.
- [3] 卢秉贤,李萍. 基于Hypersizer的复合材料结构的铺层设计和铺层过渡设计. 科学技术与工程, 2011,11(22): 5482-5485.

(责编 深蓝)