

飞机翼面结构自顶向下关联设计

唐家鹏¹ 席平² 张德宇³

1. 中北大学, 太原, 030051 2. 北京航空航天大学, 北京, 100191

3. 沈阳飞机设计研究所, 沈阳, 110035

摘要:介绍了面向关联设计的飞机翼面结构多层次骨架模型,实现了设计意图自顶向下的传递;为进行骨架模型与下游零件间的关联的控制和管理,采用了新的元素发布方式,并开发了元素发布管理工具,提高了设计的效率和质量;结合自顶向下的建模思想和关联设计自动更新的特点,提出了基于骨架模型的飞机翼面结构自顶向下关联设计方法,通过选择飞机翼面结构骨架模型的设计基准和上下翼面约束曲面,输出的结构件以绝对坐标系装配在父部件下,无需进行再次装配,并基于骨架模型与结构件间的关联,实现对飞机翼面结构件的实时自动更新和快速重建。最后,以机翼盒段翼肋为例验证了方法的可行性和有效性。

关键词:飞机翼面结构;自顶向下;关联设计;骨架模型;元素发布

中图分类号:V221

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2015.20.004

Top-down Associated Design of Aircraft Wing Structure

Tang Jiapeng¹ Xi Ping² Zhang Deyu³

1. North University of China, Taiyuan, 030051

2. Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100191

3. Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Shenyang, 110035

Abstract: Multi-level skeleton model of an aircraft wing structure oriented associated design was introduced and a top-down transmission of design intent was achieved. In order to control and manage skeleton model and the downstream parts, a new element publication mode was used and an element publication tool was developed, which improved the efficiency and quality. Combining top-down modeling idea and automatic update feature of associated design, a top-down associated design method of aircraft wing structure was put forward based on skeleton model. By selecting design datum of skeleton model and the upper and lower constraining surface of aircraft wing structure, the output structural part was assembled at the parent component in the absolute coordinate system without the needs for re-assembly. Based on the association between skeleton model and the structural part, real-time automatic update and fast reconstruction of the wing aircraft structural part was achieved. Rib of aircraft wing box was taken as an example to verify the feasibility and effectiveness of this method.

Key words: aircraft wing structure; top-down; associated design; skeleton model; element publication

0 引言

在产品结构的观念和初步设计阶段,多专业、多学科人员参与协同,他们从自身专业考虑设计问题以及评估设计方案,为实现一个多方普遍满意的结果,需要进行反复的讨论和更改^[1]。

与其他机械产品相比,飞机结构是一个极其复杂的系统,虽然零件种类较少,但零件之间高度关联,彼此相互影响,设计过程中变型和更改频繁^[2]。在现有的飞机结构设计中,往往由于飞机结构零部件模型间没有建立有效的关联,设计人员无法识别相互之间的变更,上下游零件之间的影响关系一般是通过发协调单或打电话等人工通知的方式进行传递,在变更的过程中,结构设计人员大多通过元素替换、手动修改关联零件等交互

手段来实现。这种设计方式存在很多不足:①由于飞机结构的复杂性以及结构设计人员的经验限制,无法有效通知下游更改;②通知过程为人工协调方式,飞机结构设计变更往往不能及时传递到下游零件;③人工进行变更操作繁琐,更新缓慢,并且容易产生上下游零件数据不一致的情形。

为解决上述问题,本文结合自顶向下的建模思想和关联设计自动更新的特点,提出了基于骨架模型的自顶向下关联设计方法。不同于传统的通过零件间的约束来实现产品的装配的模式,自顶向下关联设计通过骨架模型及其驱动模型数据的关联性使得装配位置和精度得到严格的保证,当骨架模型发生变更和修改,相关组件、零件及总体装配快速自动更新。

收稿日期:2014-11-15

基金项目:总装备部资助项目

1 产品设计模式

产品设计包括了自底向上和自顶向下两种模式。自底向上的产品建模过程首先生成最基本零件^[3],然后基于零件之间的贴合、定位或者对齐等方式生成组件。自底向上的零件-组件-产品(product)的构建,这种设计方法思路简单,建模过程直观,容易理解和接受,但由于装配前缺乏整体的装配信息,零件间参数不匹配而无法装配的现象经常发生,难以支持产品的并行设计。

自顶向下的建模方式,把产品看成一个多层次结构,处于装配最底层的是零件,处于最顶层的是产品^[4]。这种方式在设计初期就考虑了装配体中零件之间的关联、约束和定位关系,生成产品的布局体系。产品部件、零件中继承了上层布局信息,以这些布局信息作为设计基准,使产品中各零部件在整个设计过程中,始终拥有设计意图所规定的信息。

自顶向下设计在完成产品的整体设计之后,再实现组件及单个零件的详细设计。通常在概念设计阶段不用考虑过于仔细,详细设计便可同时展开,使不同部门间进行产品设计的协同及并行设计实施得以实现。

2 飞机翼面结构骨架模型

2.1 翼面结构

飞机部件虽然外形复杂、数量及种类众多,但通过分析发现,飞机部件大致可以分为两类:翼面结构和非翼面结构。飞机翼面结构包括机翼固定前缘、机翼盒段、机翼固定后缘、平尾盒段、升降舵、垂尾盒段、方向舵、副翼、襟翼、扰流板等部件。这类飞机结构具有相似的特征,归纳起来包括以下几点:①由若干控制面决定飞机结构的外形;②所有控制面外形均可以通过唯一的名称来确定控制面数据,而数据定义的形状则就是翼面的翼型;③所有控制面都与飞机对称轴平行,或者绕垂直于飞机对称轴线的某一条直线旋转一定角度后与对称轴平行。

满足上述特点的结构均可以定义为飞机翼面结构。根据结构的共同特点,可以得到适用于所有飞机翼面结构统一的建模方法。

2.2 骨架模型

骨架模型是飞机翼面结构功能要求及设计意图的表征,它定义了整个飞机翼面部件的总体框架、零部件的基本空间定位及各零件之间的装配关系,但并不涉及零部件的具体尺寸和细节。在

飞机结构完成初步设计后,能够得到飞机翼面结构初步的构件布置方案,如图1所示。它是一个具有多层次的装配级设计模型,由一些标准的点、线、面等各类基准组成。

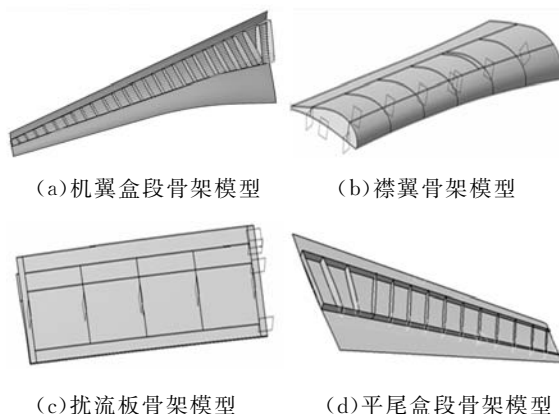


图1 飞机翼面结构骨架模型

2.3 骨架模型元素发布

发布是在进行飞机翼面结构协同设计时为更好地控制所创建的外部参考或外部参数而进行的操作^[5]。如果骨架模型中元素被其他零件引用,则需要通过发布机制将该元素进行发布,使其在整个工作域内可见。用于发布的元素包括基准点、基准线及基准面等,也可以是几何或非几何参数(如材料)等。

实现骨架模型与下游零件间的关联的控制和管理时,若直接将首次生成的元素直接发布,容易造成发布的元素在处于未激活状态;其他基准和零件无法使用。因此,对于首次生成的元素,本文采用新的元素发布方式,即通过“带链接的粘贴”的方式复制到一个单独的“待发布元素”几何图形集中,归类后再进行发布,这样就可以通过对这些中间元素的“激活/非激活”命令控制编辑过程是否向下游零件传递,如图2所示。该方式适用于骨架模型内基准元素的发布而无法对参数进行发布。

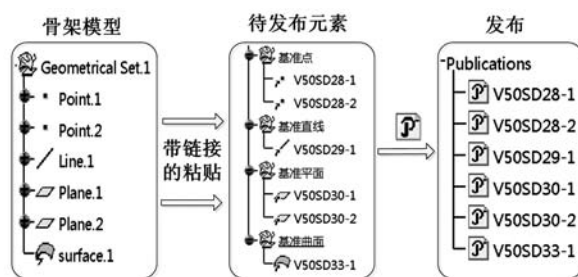


图2 元素发布

飞机翼面结构骨架模型发布元素数量庞大,而且发布过程重复性工作较多。为实现元素发布的自动化,提高结构设计的效率和质量,基于VB

语言开发了“元素发布管理”工具软件,如图 3 所示。



图 3 元素发布管理工具

通过自定义元素的名称,避免了发布名称的重复操作。工具软件可以在“待发布元素”几何图形集下自动生成基准点、基准直线、基准曲线、基准平面和基准曲面等几何图形集,并能够自动识别元素的类别,存放于相应的几何图形集下。元素拾取功能支持元素的多选,实现所有被拾取元素一次性快速发布。

3 飞机翼面结构自顶向下关联设计

3.1 关联设计

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 软件系统都支持零件的参数化设计^[6-7],不同的是,关联设计把零件的参数化设计上升到零件与零件之间的层面,即表现为零件中几何元素间的驱动。

关联设计技术是指在产品设计过程中,通过参数化设计技术建立零件之间的驱动关系,从而实现产品研制中上游设计输入对下游设计输出之间的影响、控制和约束^[8]。

CATIA 作为航空企业进行结构设计最常用的建模软件和工具,CATIA 在整个产品周期内的方便的修改能力、所有模块的相关性和并行的设计环境使得它能支持从概念设计到产品实现的全过程^[9]。CATIA V5 通过发布机制、带链接的粘贴、外部引用等功能从一定程度上支持了产品的关联设计,保证零件间的链接。

3.2 面向关联设计的多层级骨架模型

与产品的组成结构一致,飞机结构骨架模型具有多层级的特点,除了顶层主骨架模型(main-skeleton)外,还存在多个子骨架模型(sub-skeleton),如图 4 所示。飞机结构骨架模型类似一个树状结构,其中根节点代表顶层主骨架、枝节点代表子骨架、叶子节点代表底层骨架,不同层次的骨架模型或特征要素对应不同层次的设计信息。

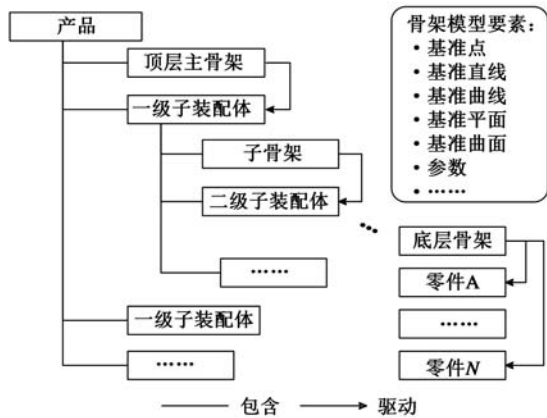


图 4 飞机结构多层级骨架模型

多层级骨架模型定义为: $MSK = \{SK_i, i=1, 2, \dots, m\}$,其中 MSK 为骨架模型集合,由若干骨架模型组成; SK_i 为其中的骨架模型, m 为骨架模型的个数。

飞机结构设计过程中,结构骨架模型一般包括四级骨架模型:总体骨架模型、接口骨架模型、部件骨架模型和部段骨架模型,如图 5 所示。其中,部件骨架是部件结构进行设计的基准,它引用了顶层总体骨架和接口骨架的基准元素和重要参数,并驱动下游装配体快速接收变更通知并进行自动更新;部段骨架为最底层骨架模型,继承了上层部件骨架,并引用了部件骨架的基准元素和重要参数,它是下游零件设计的基准并驱动下游零件自动更新。在四级骨架模型中,总体骨架模型、接口骨架模型及部件骨架模型一般用于不同级别的协调,只有部段骨架模型直接用于具体零件的设计。

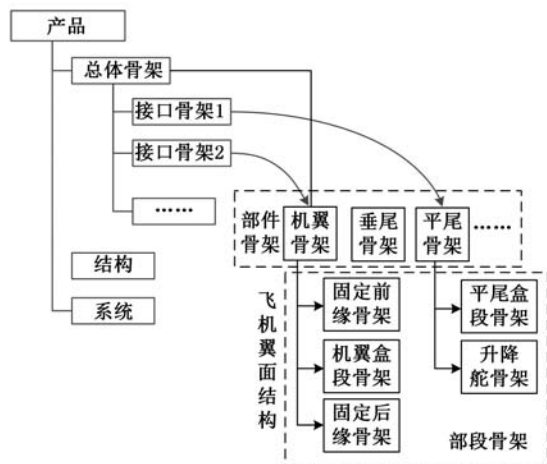


图 5 飞机结构骨架模型分类

在多层级的飞机翼面结构自顶向下关联设计中,骨架模型存储了设计中重要的基准。图 5 所示的飞机翼面结构部段骨架模型,引用了上层部件骨架模型中的基准元素和参数,在飞机翼面结构件建模时,它作为产品或装配体的第一个零件,

是传递关联的载体,其他零件通过“带链接的粘贴”的方式从部段骨架模型中复制所需基准元素和参数进行建模,设计完成后由部段骨架模型驱动其他零件。其中设计信息和数据只能从部段骨架模型中传递给其他的零件,而零件中的设计信息和数据不能传递到部段骨架模型中。

基于骨架模型的自顶向下关联设计方法能够支持飞机翼面结构的变更设计,实现设计变更更高层次的管理,使设计变更在整个翼面结构中自上而下传递。如果顶层骨架模型中设计内容发生变更,则更改会自动传递到部件骨架模型,再传递到部段骨架模型,然后通过部段骨架模型与各零件间的关联关系,驱动所有关联零件自动更新,实现飞机翼面结构上下游零件的信息及影响关系的有效传递。另外,由于零件设计中,所有关联都指向部段骨架模型一个方向,因此,可以很好地避免设计中的循环更新。

3.3 自顶向下关联实施过程

在飞机翼面结构件建模时,采用基于骨架模型的自顶向下关联设计方法。在设计之前,需要对飞机翼面结构的布局、零件布置方式有详细的了解和认识,然后进行骨架模型的定义和建模,具体实施过程如下:

(1)进行飞机翼面结构总体规划,定义设计内容并建立翼面结构装配结构树,首先构建第一级装配结构树,并分析各部件的功能、组成,然后构建结构树的下一层,以此类推,直至各单个零件。

(2)设计产品控制结构,建立产品及各级装配体结构的骨架模型。骨架模型是在装配结构树中构建的相互关联的特征,这些特征是从飞机翼面结构设计规律中抽象出来的,可依装配树的顺序层层向下传递,也可在不同层次之间传递。

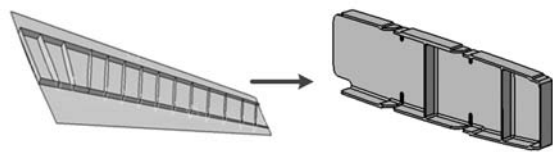
(3)基于CATIA的发布机制,将部段骨架模型中基准点、基准线、基准面及重要参数进行发布,飞机翼面结构零件创建中选择性地引用,这时各零件具备了从骨架模型继承过来的并受其驱动的特征。

(4)将骨架模型中的已发布的几何元素及参数通过“带链接的粘贴”的方式复制到飞机翼面结构零件中,然后进行详细的飞机翼面结构件建模。

4 设计实例

根据自顶向下关联实施过程,建立飞机翼面结构部段骨架模型,如图6a所示,将所有用于机翼盒段结构件建模的元素进行发布,而其中用于创建翼肋结构件的发布元素包括上下翼面蒙皮内

型面、翼肋站位面、翼肋起始和终止站位面、所有穿过该翼肋的长桁站位面及基准线。将这些发布元素通过“带链接的粘贴”的方式复制到翼肋结构件中,并以这些元素为建模基准进行翼肋结构件的创建,如图6b所示。



(a)机翼盒段骨架模型 (b)机加翼肋

图6 上游骨架模型及翼肋

根据飞机翼面结构设计变更流程(图7),当上游骨架模型中某个元素发生变更,如翼肋站位面的位置改变,则下游翼肋结构件会自动变色,表明需要更新,如图8所示,点击“更新”后,翼肋结构件能够实现自动更新,并始终保持翼肋上的长桁缺口与长桁站位面位置的一致以及缘条表面与蒙皮内型面的紧密贴合。

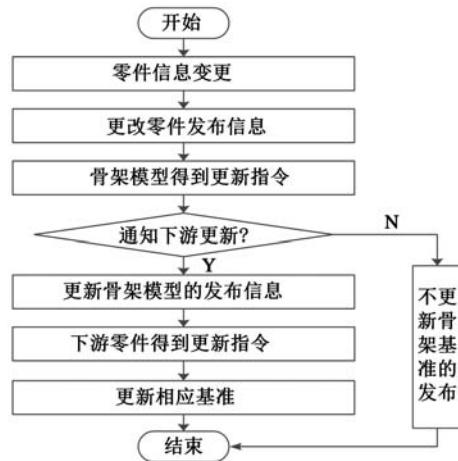


图7 设计变更流程

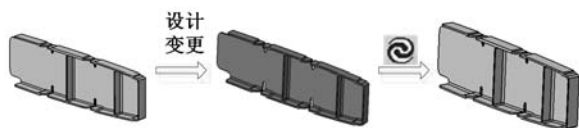


图8 翼肋自动更新

在飞机翼面结构详细设计阶段,随着关联关系的复杂,数据量越来越大,计算机的性能也会变差,在详细设计后期,如果翼肋结构件设计达到一定成熟度,版本已经发布或设计趋于稳定,结构件的位置以及与其他零部件之间的关联关系已确定,这时设计变化往往只是结构件内部形状,应该在提交审签之前断开结构件与骨架模型间的关联,以减少计算机的负担,同时避免设计更改引起不必要的下游结构件的变更。

5 结论

为实现飞机翼面结构件的实时自动更新和快速设计,提出了基于骨架模型的自顶向下关联设计方法。该方法通过自顶而下地建立飞机翼面结构骨架模型的整体线框,并将相关几何元素关联性复制到组件和零件,通过上下游设计之间的关联关系,控制飞机翼面结构的设计及其变更,实现飞机翼面结构变型的快速修改。当飞机翼面结构骨架模型设计发生变更时,结构设计人员不需进行干预,下游设计数据能够自动收到提示并实现关联更新,保证了设计数据的一致性,同时避免了重新设计或手动修改的繁琐过程、更新缓慢和可能引起的设计数据混乱等问题,从而使得飞机翼面结构设计过程高度并行,大幅加快设计迭代周期,提高设计效率和质量。自顶向下关联设计不仅适用于飞机翼面结构的快速设计和变型设计,其通用的建模方法和装配模式也适用于其他复杂产品。

参考文献:

- [1] 陈阳平. 基于数字样机的直升机协同设计研究与应用[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [2] Alemanni M, Destefanis F E. Model-based Definition Design in the Product Lifecycle Management Scenario [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009;1-14.
- [3] Aleixos N, Company P. Integrated Modeling with Top-down Approach in Subsidiary Industries [J]. Computers in Industry, 2004, 6(12): 97-116.
- [4] Chen Xiang, Gao Shuming. Multi-level Assembly Model for Top-down Design of Mechanical Products [J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(10): 1033-1048.
- [5] Gerhard F K T. Design of Automotive Body Assemblies with Distributed Tasks under Support of Parametric Associated Design [D]. Hamburg: University of Hertfordshire, 2010.
- [6] 李畅,李建军. 基于UG的关联设计技术及其在级进模CAD系统中的应用[J]. 中国机械工程, 2002, 13(22): 1967-1970.
Li Chang, Li Jianjun. UG-based Associated Design Methods and Their Applications in the CAD for Progressive Die [J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(22): 1967-1970.
- [7] 李平平. 航空发动机典型结构件参数化设计研究与应用[D]. 北京:北京航空航天大学,2012.
- [8] 刘俊堂. 关联设计技术在飞机研制中的应用[J]. 航空制造技术, 2008, 14: 45-48.
Liu Juntang. The Application of Associated Design

Technology in Aircraft Development [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(14): 45-48.

- [9] 胡毕富. 飞机机翼结构快速设计与有限元建模技术研究与应用[D]. 北京:北京航空航天大学,2010.

(编辑 郭伟)

作者简介:唐家鹏,男,1979年生。中北大学机电工程学院讲师。研究方向为飞机结构快速设计、CAD/CAM。发表论文8篇。
席平,女,1954年生。北京航空航天大学机械工程及自动化学学院教授。
张德宇,男,1981年生。沈阳飞机设计研究所工程师。

(上接第2715页)

- [6] 邹英永,温建民,于广滨. 径向力和弯矩联合作用下滚子轴承的刚度计算[J]. 中国机械工程, 2006, 17(15): 1572-1575.
Zou Yingyong, Wen Jianmin, Yu Guangbin. Stiffness Calculation of Roller Bearing with Radial Force and Moment Loads [J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(15): 1572-1575.
- [7] 李伟建,潘存云,王荣吉. 空心圆柱滚子轴承刚度分析[J]. 中国机械工程, 2009, 20(7): 795-798.
Li Weijian, Pan Cunyun, Wang Rongji. Stiffness Analysis of Hollow Cylindrical Roller Bearings [J]. China Mechanical Engineering, 2009, 20(7): 795-798.
- [8] An Zijun, Gao Fei. Engagement Rigidity Analysis of Swing-Rod Movable Teeth Transmission [J]. Machinery, 2007, 45(5): 3-5.
- [9] 傅则绍. 微分几何与齿轮啮合原理[M]. 山东:石油大学出版社,1999.
- [10] 程光仁,施祖康,张超鹏. 滚珠螺旋传动设计基础[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- [11] An Zijun, Gao Fei. Torsion Vibration Analysis and Modeling Research on Swing-Rod Movable Teeth Transmission [J]. Machine Design and Research, 2007, 23(3): 79-81.
- [12] 邵忍平. 机械系统动力学[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [13] Liang Shangming, Zhang Junfu, Xu Liju, et al. Dynamic Model of Swing Movable Teeth Transmission System Vibration [J]. Journal of Vibration Engineering, 2003, 16(3): 31-35.

(编辑 苏卫国)

作者简介:周恩柱,男,1963年生。长江大学机械结构强度与振动研究所教授、博士研究生导师。主要研究方向为机械结构强度与振动。获省级科技进步一等奖1项、二等奖4项、三等奖2项,中国石油与化工科技进步奖4项,中国机械工业科学技术二等奖1项。发表论文150余篇。
曾运运,男,1988年生。长江大学机械结构强度与振动研究所硕士研究生。
袁新梅,女,1979年生。长江大学机械工程学院博士研究生。