

先进技术手段在大飞机设计中的应用及展望

Application and Prospect of Advanced Technology in Large Aircraft Design

中航工业第一飞机设计研究院 王乾平



王乾平

研究员,中航工业第一飞机设计研究院结构所所长,主要从事飞机结构设计工作。

先进设计手段是融合最新科技成果,适应当今社会需求变化,在设计过程中所应用的高水平的各种技术方法和手段的总和。

计算机技术的飞速发展和广泛应用、信息化与工业化的深度融合,深刻影响着设计生产过程,同时也改变了设计环境,促进了先进设计手段的发展。大飞机是先进设计制造技术的集中体现,反映着时代的进步。

在大飞机研制中,应用 MBD 技术带来了飞机研制方法和模式的变革;基于模块的关联设计技术提高了多专业的并行设计能力;虚拟设计技术、快速建模技术和基于 Catia 的二次开发工具包的应用,提高了设计的效率和质量。这些数字化技术促进了飞机研制模式的变革和流程不断优化,使信息化管理水平不断提升。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.04.068

随着数字化、自动化、精确化设计制造技术在大飞机中的应用和实践,以立足国内、自主设计、自主创造为宗旨的中国大飞机设计制造技术也在经历着不断的突破和进步。

MBD 技术的应用

传统的飞机设计依据二维图纸、技术条件等技术文件,通过专业的绘图反映产品的几何结构及制造要求,实现设计与制造的信息共享和传递。20 世纪末,随着数字化技术的飞速发展,CAD 已从单一的绘图功能发展到应用数字化手段进行三维产品设计,并且在虚拟环境下进行数字化三维设计和装配过程仿真,对产品的定义进行形象化表达,极大地提高了工作效率。

但由于设计、制造工程师缺乏对数字化产品非形状信息定义的统一形式化方法,使得传统的二维图纸仍然没有退出历史舞台,即便是数控机加零件,也需要将三维数模转化成二维图纸,以便将仅靠形状无法表达的非形状信息遵循传统的制图标准在二维图上示出。由于产品数据定义以二维和三维形式来共同表述,下游用户(如应力分析、工艺、工装、工人、检验、客服等)在工作之前要花大量的精力和时间认真阅读三维数模和二维图样。特别是对于较复杂的结构零组件,有时存在二维与三维不一致的问题,甚至有时个别零组件用二维图纸和文字都难以清楚描述,下游用户不得不求助于设计人员去解释。假若按照错误的理解去执行,会

造成费用和时间的巨大浪费,不能充分发挥数字化技术在设计制造中的优势。

MBD (Model Based Definition) 技术的应用是对传统飞机研制模式的一次变革,美国波音公司于 2004 年在 787 飞机研制中首先使用该技术。我国在大飞机设计中应用了 MBD 技术,它是基于三维模型的产品数字化定义,也就是常说的三维标注模型,将传统二维图纸上的信息在三维立体数模中表述,集成了三维空间尺寸、公差标注和制造要求标注在内的非几何特征信息,把设计的所有信息以三维模型的形式定义,在没有二维工程图纸的情况下,实现对产品特征的描述^[1]。在大飞机研制中,跟踪研究 MBD 技术及其实施方法,建立了相应技术标准规范,新建了技术注释库,改造了标准件库、材料库等基础数据库,开发了针对各专业设计的一系列支持工具,建立了 MBD 模型规范化检查手段,确定了 MBD 的技术方案,并在型号研制中全面应用,建立了基于 MBD 的全三维数字样机。设计工程师能够全面、清楚地表达设计意图,实现对产品特征描述;制造工程师能够在脱离了二维工程图纸的情况下,直观、形象、准确地理解执行设计意图;并且所有的产品定义以信息量的形式传递,实现对产品信息的分类管理。

大飞机确定以 MBD 模型作为制造的唯一依据,设计只发放三维 MBD 模型,不再发放二维工程图,有关设计、制造、检验等信息在 MBD 模型中表达。设计、制造、检验都依据统一的 MBD 模型实现信息共享和传递,结束了多年来以二维工程图作为制造主要依据的历史,在无纸化的情况下提高上、下游的交互式程度。制造依据的转变对现有的制造技术体系带来重大的冲击与挑战,要求工艺设计、检验规划设计和制造方式及技术进行适应性的改造,促使制造技

术体系发生历史性变革,实现了基于 MBD 的设计制造一体化,标志着中国航空制造业已开始跨入全三维设计制造新时代,具有里程碑的意义。

关联设计技术

传统的飞机设计过程首先由总体外形和布置专业给出外形和布置数模作为结构和系统的设计输入,结构专业据此开展结构设计,系统专业在结构设计过程中参照结构数据进行管线和设备的布置、系统设计等工作。上游设计的更改往往会引起下游设计的更改,特别是在初步设计阶段,更改迭代频繁,且这种影响关系通常以间接方式传递,比如协调文件、共享数模或口头告知等,并在更改实施中通过元素替换等方式实现。其缺点是多专业并行设计更改不能及时传递,更改操作麻烦,且易发生更改数据不一致问题。

关联设计技术是解决多专业并行设计非常有效的手段,在波音 787 飞机研制中,被列为 10 大创新技术体系之一。它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,通过上游设计的几何特征(如点、线、面、坐标系等)作为驱动参数,建立模型与模型之间的驱动关系,同时配套以支持关联设计的产品数据管理系统,从而实现上下游设计间的关联^[2]。关联设计的核心是基于模块划分的理论模型(也称骨架模型)和接口体系定义,接口就是下游设计参考上游设计的几何元素,把决定设计对象的具有联系的接口的集合称为设计对象的骨架,对应的数模称为骨架模型。关联设计以骨架模型和接口描述飞机全机数字样机的各级设计输入,同时对接口和骨架模型的命名、接口、引用方式等进行规范,并对产品结构进行合理的划分,形成产品骨架模型的合理层次关系;采用在线设计技术,在管理系统控制之下建立总体、结构、系统等

专业设计的 MBD 模型之间的关联关系,形成完整的关联设计体系。关联设计通过多专业模型之间几何元素的发布和引用关系,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,由此实现上游设计发生变化时,下游的设计可以自动更新。

在大飞机设计中,借助数字化技术,通过骨架模型建立、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,实现了各专业的自动化关联设计,保证了结构、系统布置设计数据的唯一性和一致性。骨架模型的几何元素与共享机制对数据共享和自顶向下的设计模式提供了强有力的技术支撑,也有效支持了飞机结构和系统从总体布置到零件设计、装配设计采用“自顶向下”的设计方式,大大提高了协同设计的效率和质量,见图 1。

该技术使得上下游专业设计数据的协调性、一致性得到保证,关联模型的更改信息得到自动传递,并在拓扑关系不改变情况下实现零部件模型的自动更改,成为驱动多专业并行设计、实现快速设计迭代和工程更改的重要技术手段。它的采用使工程设计过程中的协调与迭代时间大大减少,提高了协调效率,使得多专业飞机设计迭代效率提高 70% 以上^[3],缩短了设计周期。

虚拟设计技术

虚拟设计技术以数字化虚拟仿真环境和数字化仿真平台为代表,在大飞机研制中取得了重要成果和应用。目前,航空各主机厂、所基本在虚拟仿真环境下,通过数字样机使装配设计人员在可视化的虚拟环境下交互协同地对产品进行协调、检查及维修性、保障性、安全性等分析。这样在设计初期就可对产品所需功能/性能进行可视化的仿真及演示,可以及早发现设计存在的问题,从而及时

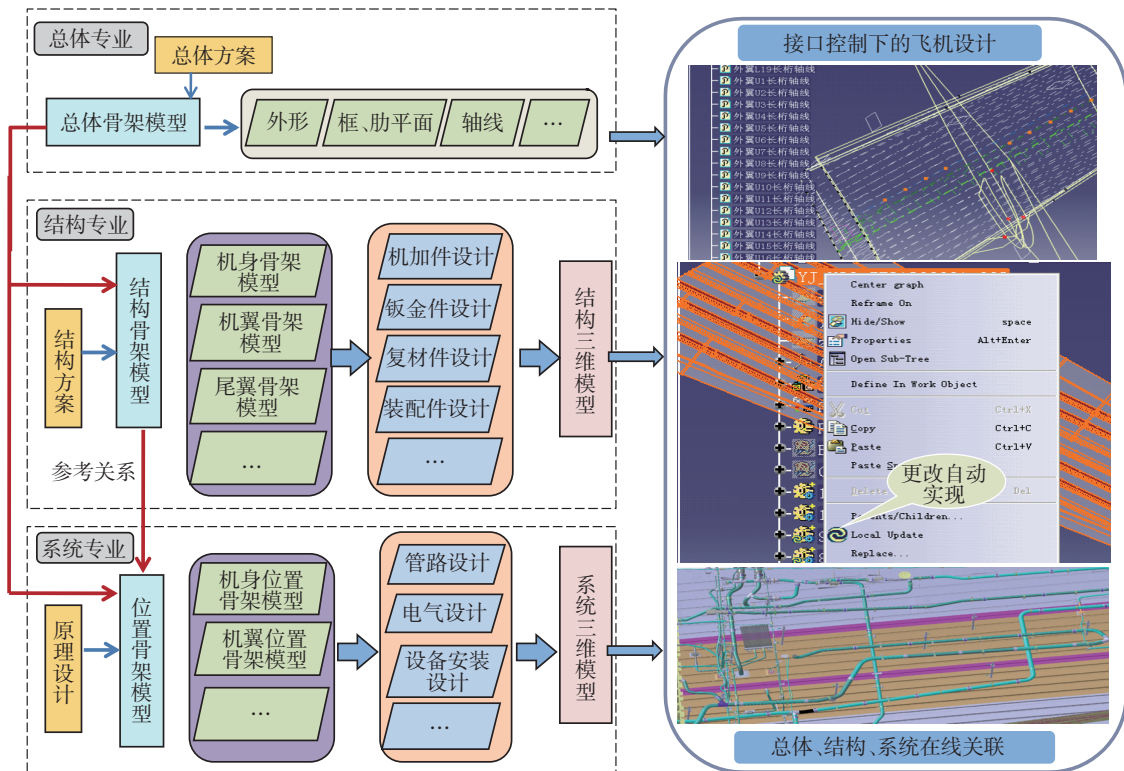


图1 多专业关联设计示意图

加以改进,使传统的基于经验的设计转为基于知识和仿真的设计,替代了过去飞机研制采用的实物样机。

同时,各主机院所开发和应用了多专业相对独立的仿真平台,如在飞机方案阶段应用总体协同仿真系统,实现了设计专业、工具、资源库的集成,满足了总体方案设计探索、反复迭代、多轮逼近、综合协调、多解寻优和逐步深化的要求,提高了总体方案设计效率;为提高强度分析效率建立了飞机强度分析自动化平台,通过强度设计流程化、计算方法标准化、强度报告自动化及其有限元模型与计算模型关联驱动,实现了全机各部位强度计算和多轮次强度设计自动优化、迭代,同时也提高了强度计算精度;通过结构综合优化设计平台,使得结构设计和分析流程化、规范化,并对飞机重量控制也起到了促进作用;此外,还建立了综合生命保障数字化仿真系统、飞机通用机电数字化仿真试验系统和飞机起落架数字化仿真试验系统等多种仿真环境。

随着飞机数字化仿真技术的发展,下一步的目标是将数字化设计、仿真分析与知识工程有机地结合起来,建立一个可实施柔性定制飞机设计流程、集成多专业分析软件和管理飞机全生命周期分析仿真数据的、开放的、可扩展的飞机研制数字化仿真平台,实现从数字样机到性能样机的飞跃。

快速建模技术

大飞机设计过程中,采用了大量整体结构。设计人员在有限的设计周期内,不仅要做好零件的参数设计与优化工作,还必须承担繁琐的三维建模任务。零部件的三维数模是直接体现产品质量的表征体,建模工作占用了设计周期内的大部分时间,这势必导致零件参数设计与优化时间缩短,影响设计的质量。为了解决人力资源与设计工作量及设计周期之间的矛盾,提高效率、减少反复,构建高质量的结构数模,应用了整体构件的快速建模技术。

以机翼的翼梁、翼肋与壁板这些主承力构件为例,尤其是翼肋,数量众多,设计过程繁杂。结构设计人员在建立翼肋三维实体模型时,针对不同肋位,需要面临大量的相同特征的重复性建模工作。然而,对于整体翼肋而言,其在一定范围内单一零件具有系列化的设计特征,一般包括上下剪切角片、上下缘条、腹板、支柱、长桁缺口等基本特征;在不同肋位处,各翼肋的基本设计特征和建模流程也大致相同。此外,在建立翼肋三维几何模型的过程中,会产生大量的设计和引用元素,这些过程和特征元素交错分布,为了在后期数模更改和参数调整时能够迅速定位,找到相关的特征,需要将这些元素和特征进行规范化命名。过去,这个过程的工作和命名均完全依赖个人操作习惯,导致建模过程的层次不够清晰、命名不够规范,为后期的参数修改和校对带来不便,影响工作效率。

通过分析各设计特征之间的几何与拓扑关系,固化各设计特征的建

模流程,将肋的典型特征进行分解并命名为剪切角片、缘条、腹板、支柱、支柱加强筋、长桁缺口等,在分析各特征的逻辑关系基础上,采用“由外向内”的建模流程,进行特征分解及生成。在此基础上,对建模过程中涉及的过程和引用元素、建模操作等进行规范化命名,并对翼肋建模过程中使用的 CATIA 各功能模块和操作进行解析,分析各类操作(如平面生成、曲面偏移、厚曲面、实体分割等)的关键控制参数,使用 VB 语言对 CATIA 进行二次开发,设计各步操作的功能模块,编程实现快速建模软件工具的开发,见图 2、图 3。

它以机翼布置骨架模型为设计输入,在 CATIA 环境下调用外部翼肋参数文件,快速建立翼肋的三维几何模型,并可以根据用户需要,协调开孔,生成补强区域。

此外,通过对 CATIA 软件进行二次开发,还实现了壁板、梁、框等整体主承力构件的快速化、规范化、自动化三维建模。

通过建立结构综合优化设计环境,开发了快速建模软件工具,使得结构设计分析与几何建模快速迭代,支持了结构快速设计优化及建模,减少了结构设计大循环周期,使得结构设计周期缩短 40% 以上。

基于 CATIA 的二次开发工具包

在传统的设计模式下,设计员将大量的精力放在二维图纸的绘制中,采用全数字化的 MBD 模型后,增加了非几何信息标识的产品模型成为唯一数据源,可以最大限度发挥计算机智能化、数字化批处理的优势。为了提高工作效率,减少人工输入产生的错误,开发了丰富的 MBD 支撑工具。通过 CATIA 软件的二次开发,建立各种类型的智能模版和特征库并进行参数化,用于辅助设计员快速完成产品定义,比如全三维设计模板创建工具,将零件分为机加、钣金、复

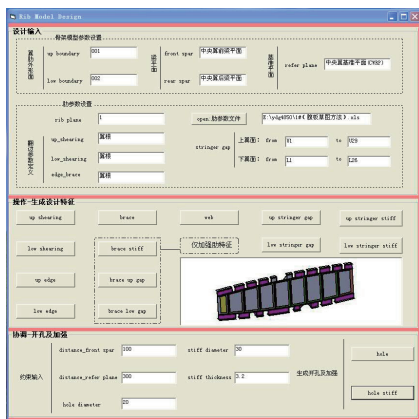


图2 翼肋快速建模软件操作界面

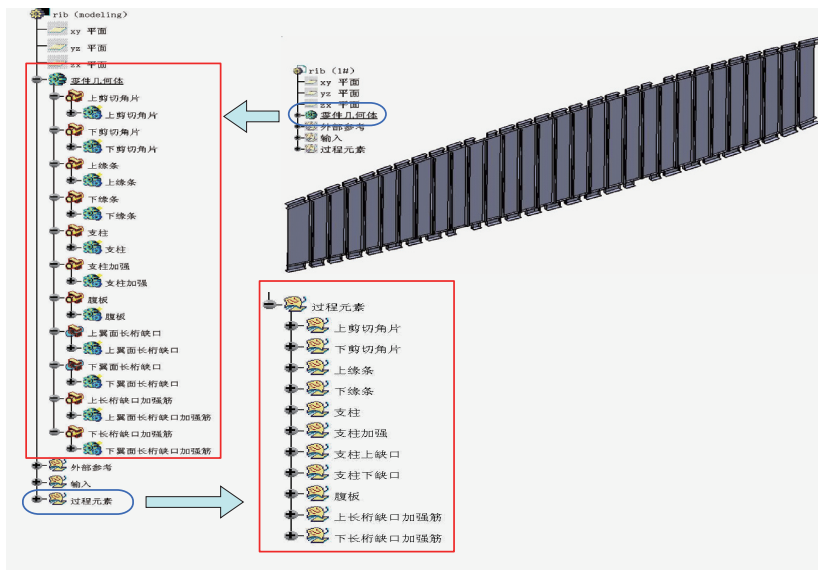


图3 翼肋快速建模结果

材、装配等类型,根据类型特点实现自动创建 CATIA 模型特征树节点,并添加相应通用的非几何信息,设计师可根据具体情况增减或修订相关内容。另外,还开发了通用附注填写工具、标准件统计工具、三维连接定义工具、MBD 模型检查工具、属性提取工具、EBOM 自动生成工具、查找替换工具、重量重心测量工具、全三维设计数模数字签名工具、工程更改文件自动生成工具等。这些工具的开发应用,都通过 MBD 相应标准规范设计流程、确定表达方式、给出操作方法,既规范了设计方法,又提高了工作的效率,使设计人员从繁重的劳动中解放出来,把更多的精力放在设计中,有效提高了飞机产品研制的

效率和质量。

结束语

在大飞机研制中,应用 MBD 技术带来了飞机研制方法和模式的变革;基于模块的关联设计技术提高了多专业的设计并行能力;虚拟设计技术、快速建模技术和基于 CATIA 的二次开发工具包的应用,提高了设计的效率和质量。这些数字化技术促进了飞机研制模式的变革和流程

不断优化,使信息化管理水平不断提升。展望未来,数字化、智能化、网络化会进一步影响和改变设计手段,先进的技术手段会减少重复劳动,提供方便。随着设计制造一体化趋势的发展和以增材制造技术为代表的颠覆传统制造理念的技术发展,设计创新的空间将会被充分释放。

参考文献

- [1] 王乾平. MBD 技术在飞机产品中的应用研究. 飞机工程, 2009(4): 1-3, 16.
- [2] 刘俊堂. 关联设计技术在飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2008(14): 45-47.
- [3] 王乾平, 范林, 吴旭辉. 异地联合研制模式下的基于全三维数字化技术的创新飞机研制体系研究. 上海: 2014 亚太航空航天学术会议论文集. 北京: 中国航空学会, 2014.

(责编 谷雨)