

船舶工业应借鉴航空工业全三维设计经验

冷文军, 章叶川, 陈刚, 赵俊涛, 施红旗, 王世忠

武汉第二船舶设计研究所, 武汉 430205

摘要 介绍了航空工业应用三维设计的发展历程, 分析了三维设计的巨大优势, 总结了三维设计在航空工业的实现方式, 探讨了其对船舶工业的启示, 概括了在船舶工业推广三维设计的意义。结合中国船舶工业的现状, 提出了船舶工业推广三维设计所需解决的关键问题。

关键词 三维设计; 航空工业; 船舶工业

随着计算机技术特别是计算机三维辅助设计技术的发展, 三维设计技术在工程研发制造中得到全面应用。从20世纪60年代开始, 三维设计从最初满足工业设计中的曲面造型问题而诞生, 发展到实体造型设计和虚拟样机技术, 再到与各种CAE软件和数据管理软件一体化发展, 已经成为一种集数字化、智能化优势为一体的设计平台^[1]。目前, 得到广泛应用的三维设计软件, 如CATIA、Pro/E等, 因其高效、直观的设计和制造优势, 在欧美、日本等发达国家的航空、航天、汽车、船舶等领域已得到广泛应用。虽然国内制造业应用三维设计技术起步较晚, 但随着国家信息化战略决策的制定和愈加复杂的工程设计需求, 三维设计在中国的各大设计领域得到迅速发展, 航空领域的一些整机研发制造企业已能够基本达到全三维设计, 其效果非常显著, 得到了航空设计、制造及其他行业的一致认可。与之相比, 中国的船舶行业尤其是军用船只的设计与制造中, 三维设计的应用水平还存在相当差距, 应当借鉴国内外先进的三维设计技术和经验, 建立更加先进高效的船舶三维设计平台。

1 三维设计在航空工业的应用

目前, 三维设计技术已经在航空工业领域得到普遍应用, 这不仅改变了原有的飞机设计方法, 而且建立了一整套新的、高效的飞机设计体系。

1.1 三维设计在航空工业的发展历程

三维设计技术起始于20世纪60年代, 并得到快速发展, 逐步代替传统的二维设计方法, 从而使得工程师可以直接在计算机上进行零件设计和产品装配, 产品的制作过程几乎与真实的产品制造没有差别, 极大地提高了设计工作效率和经济效益。航空工业作为人类生产制造中的高端产业, 具有高技术和高投入的特点, 是引领着各种高新技术变革的一面旗帜, 三维设计也是在航空工业中最先得到应用和普及。

波音公司是世界上最早应用CAD二维设计的飞机制造商, 但是在整个设计和制造过程中, 存在着大量的设计变更和返工现象, 使得飞机研制成本和生产周期无法达到预定目标。20世纪90年代初期, 波音公司在波音737机型上首次尝试应用三维设计后就确信, 利用

收稿日期: 2018-06-07; 修回日期: 2019-02-27

作者简介: 冷文军, 博士研究生, 研究方向为船舶系统的非金属污染源释放规律, 电子信箱: 244174287@qq.com

引用格式: 冷文军, 章叶川, 陈刚, 等. 船舶工业应借鉴航空工业全三维设计经验[J]. 科技导报, 2019, 37(14): 6-10; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.14.001

三维设计将有效减少设计更改和返工,能够大幅度降低产品成本,缩短研制周期。于是波音公司在波音 777 的研制中开始全面应用三维设计技术,其结果是,设计更改造成的返工减少 50%,研制周期缩短 25%以上,制造精度提高一个数量级。2004 年启动的波音 787 项目在波音 777 基础上应用基于模型定义的全三维设计技术,同时由于设计方法变革带来的管理模式变化,全生命周期数字化管理技术(PDM)得到广泛和深入的应用,使得波音 787 的全球协同研制工作顺利进行,为波音公司取得巨大的经济效益和社会效益^[2-4]。

中国航空工业的三维设计技术一直以来都在学习和借鉴世界先进飞机制造公司的先进经验,三维设计的规模化应用始于 20 世纪末启动的新飞豹研制。新飞豹设计全面采用三维设计技术,进行零组件的三维建模、全机电子样机的构建、空间和位置协调、干涉和协调性检查。三维设计的规模化应用及其带来的效果,加速了中国航空工业从传统二维设计到全数字化三维设计的步伐^[5]。2008 年,C919 大型民用客机项目启动,中国商飞在 ARJ21 支线客机二维和三维设计方法结合的基础上,全面采用三维设计技术研发 C919 飞机,并深入应用 PDM 技术,协同上百家国内外机体及机载设备供应商进行联合设计,使得 C919 飞机在设计、制造和装配过程中,均是无纸化运行,三维设计贯穿于整个研制和制造过程,极大地降低了协同设计的难度,减少了制造和装配过程中的返工现象。C919 飞机的成功研制,标志着中国航空工业的三维设计技术已经位于世界先进行列。

1.2 三维设计在航空工业中的优势

传统的工程设计方法、二维 CAD 都是设计师在大脑中构思三维产品,再通过对三维模型在二维三视图上的投影进行推理想象,进而把产品表现在二维图样上。这种表达造成信息极不完整,例如无法对曲面度进行准确描述、无法对系统间的相对位置进行精确定位等,而且设计师会耗费大量精力在三维实体和二维图样的转换上。如果直接以三维设计,可以更加直观、准确地表达设计的全部几何特征,整个设计过程可完全在三维设计平台上进行,完成强度分析、气动计算、数控编程、装配检查、运动模拟、人机工程等二维设计无法完成的功能。

航空工业在设计制造时,对产品精度、可靠性、空间布置等方面要求很高,随着技术的不断发展,竞争更加激烈,航空产品的复杂度不断提高,更新换代速度加

速,只有通过三维设计技术的应用,才能在设计 and 制造上达到新的要求。

在飞机的三维设计阶段,工程师不再需要将三维实体和二维图纸在脑中进行相互转换,可以把所有的精力都集中在提高模型的几何精度和三维工程标注上,增加了有效设计时间,三维信息模型的完整性将有极大地提高;三维模型数据包,通过 PDM 系统传输和管理,可保证数据源的唯一有效性,使工程更改和贯彻能迅速正确地实施,极大地缩短了飞机设计和更改的周期;通过三维模型数字样机的建立,可有效减少干涉等系统间配合问题,还可将其直接导入后续仿真软件进行计算分析,提高分析建模工作效率,减少数据转化量;三维设计还可以支持参数化设计,解决零件建模的自动化问题,例如标准件系列建模,给定不同的参数编号,就会得到同一类型不同规格的标准件,大大提高了工程师的工作效率。

在飞机的工程制造阶段,由于三维模型是高度面向制造的信息模型,直接应用三维信息模型,工人不必花费大量时间解读零件的几何形状、装配关系等制造信息,直接应用三维信息模型和相关文档便可展开相关工作,可节约 90% 以上的时间,大幅度提高劳动生产率,缩短制造周期;在装配之前,工人可通过数字样机进行电子预装配,提高熟练程度,并及时发现问题;对于可利用数控机床加工的产品,可直接利用三维数模进行加工和检测,尤其是一些曲面的产品,必须通过三维模型数据和三坐标测量检测三维空间外形;同时,由于省略了打图、晒印、分发等环节,工厂将大幅度降低制造成本^[6]。

1.3 三维设计在航空工业领域的实现方式

相对传统的二维设计,三维设计具有非常明显的优势,但是从二维设计转变为三维设计,完全实现三维设计的过程并非只是设计师设计工具的改变,而是整个设计体系和应用的改变,这需要建立科学高效的研制模式、完整严谨的设计规范,以及功能丰富、高度集成的设计管理平台,从而全面实现飞机设计手段和模式的根本变革。

1) 三维设计研制模式。三维设计可实现产品数据的充分共享和再利用、数据的关联管理、数字化审签、技术状态精细化管理等功能,使得三维设计已不再像二维设计那样,从设计—制造—装配自上而下的串行研制模式,而是在设计完成之前,就将一定成熟度的设计数据,通过管理平台发布给相关业务部门,从而使得

相关的业务部门能并行地开展相关工作,同时对设计开展相应的审查工作,及早发现存在问题,实现设计制造的并行工程(图1)。由于设计数据可实现共享和并行设计制造,可基于产品功能的基础上,成立包括设计、工艺、检验、采购、试验等业务部门的集成产品协同研发团队(IPT),实行团队的统一管理和调度,防止业务部门各自为战,相互推诿的现象出现,大大提高协同设计的效率和质量。

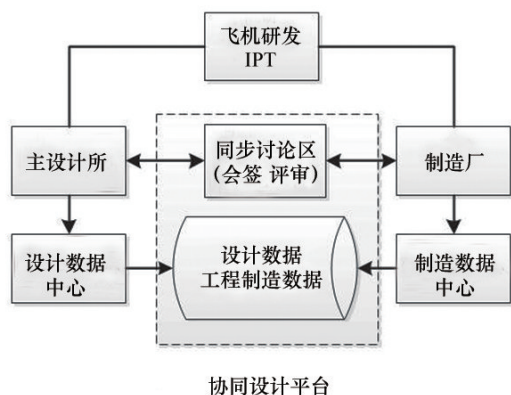


图1 协同设计平台

Fig. 1 Platform of coordinated design

2) 三维设计工具。三维设计工具较多,常见的有Pro/E、SolidWorks和CATIA等,其中以达索公司的CATIA最具代表性,是波音和中国航空工业使用的主流三维设计软件。在设计时,要在CATIA软件中生成零件的三维实体模型、零件结构的尺寸和公差标注等(图2)。除以上基本信息外,还应标注一些关键特征、零件的注释说明、加工工艺要求和装配连接定义等。在建模方面,CATIA提供了通用机械零件设计模块,航空钣金零件设计模块、复合材料设计模块、管路设计模块及

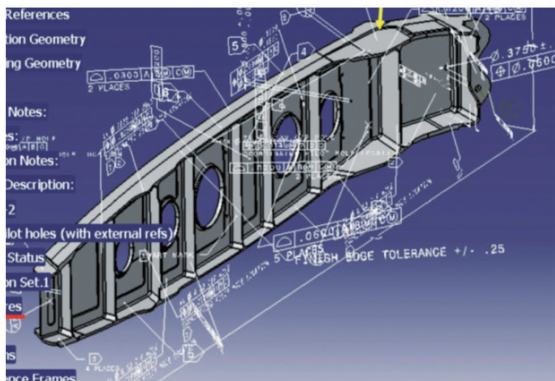


图2 三维设计模型

Fig. 2 Model of 3D design

电气系统设计模块等。

3) 三维设计规范。三维设计技术的应用,离不开三维设计技术应用规范的支撑,也正是三维设计技术应用规范不健全,导致了三维设计推广应用的难度。波音公司专门针对三维设计技术的应用,编写了23种BDS-600系列规范,涵盖了模型的定义总体要求、模型的标识要求、机械零件加工要求、复合材料建模要求等。国内航空企业根据目前的加工制造水平,充分考虑产品研制过程中各个环节的要求,形成基于三维模型定义设计信息、工艺信息、检验信息、制造信息等融为一体的标准体系,编制了完整的模型设计定义规范。这些标准规范涵盖飞机设计的各类零部件,包括机加、钣金、复材、管路、电气等零部件的三维建模要求,以及包括飞机研制过程中的设计、工艺、检验及制造等各个环节,例如尺寸和公差标注方法、加工制造标注方法、三维装配模型的标注技术方法等。

4) 三维设计数据化管理。应用三维设计技术进行飞机研制,数据管理技术至关重要。在全三维研制模式下,所有零部件将以三维模型进行描述,不再有通过手工进行管理的图纸出现。这既要建立满足设计、制造过程需求的全生命周期数字化管理技术,以支持零部件数据的管理、版本的控制、更改的控制、设计过程控制、生产过程控制等,同时,从设计到制造的数字化管理必须从业务逻辑、数据唯一性、流程控制等形成一体化的体系,例如对数字样机设计平台、工艺设计平台、生产制造执行系统、企业资源管理系统等进行一体化集成,保证各类业务的连续性和数据应用的准确性、有效性和唯一性。

2 三维设计在船舶工业中的推广

2.1 船舶工业进行三维设计推广的意义

船舶与飞机具有很多相似之处,本质上都是运行在流体介质中的航行器,都具有流线型外形,有限的舱室空间,相似的设计手段和制造工艺等,而且飞机在精度、可靠性、空间布置和结构设计等方面要求更高^[7],因此,既然三维设计可以在航空工业得到普及应用,那么说明船舶工业同样可以应用三维设计技术,并借助三维设计的巨大优势,使中国的船舶设计与制造能力得到最大限度的提升。

中国的船舶行业三维设计起步于20世纪60年代,

基本与航空工业的三维设计起步时间相同,但是由于中国早期设计制造的民用船舶主要是低附加值的散装货船,其设计和制造技术要求不高,而军用船只的设计制造受到国外的技术封锁,长期以来比较封闭,这些因素导致了船舶三维设计技术的成熟度相对于航空工业具有明显的滞后^[7]。随着计算机技术的发展和三维设计软件的日益成熟,三维设计在航空^[8]、汽车等领域得到普及应用,极大地提高了工作效率和经济效益,而船舶工业也面临着产品设计日益复杂,国内外竞争越加激烈,船东或军方对产品质量要求不断提高的局面,必须要推进战略转型,改变船舶设计制造方法,才能保持竞争力,因此在船舶工业全面推广三维设计技术就迫在眉睫。

近年来,国内的大型船舶设计院和制造厂都在积极推进三维设计技术,通过三维建模,数字化管理平台等先进的建模技术和信息管理传递技术,不仅将传统的垂直、串行的设计方法逐渐改变为设计和制造协同并行进行,减少了设计更改,而且利用三维设计的数字化模型,对总体、系统配置和布置优化设计进行仿真分析,应用各类CAE软件,开展力学、运动学、热工、流体、噪声振动、电磁兼容、过程模拟、可靠性维修性人因工程等各种不同类型的计算与分析,提高设计成熟度,减少实验试制,缩短设计周期,获得巨大的经济效益。另外,科研管理部门通过可视化三维设计平台,对产品设计状态,方案优化,设计规范和标准等进行实时的监督控制,有利于提高产品的设计质量和进度。

2.2 船舶工业进行三维设计推广的关键问题

尽管船舶工业的三维设计技术取得了很大的发展成就,但是很多船舶设计院和制造厂,仍然没有推行全面三维设计,主要将三维设计用于技术设计中后期和施工设计前期的总体平衡校核,与航空工业的三维设计成熟度还存在着巨大的差距,这种差距不能简单地归咎为思想意识的差异性,而是船舶工业也存在着一些特有的客观因素,制约着三维设计的推广应用,解决这些客观因素的制约,是在船舶工业全面推行三维设计的关键问题。

1) 总体规划问题。目前,船舶行业虽然在大力推行三维设计技术,但缺少总体规划,各船舶研究所、制造厂都在独立建设三维设计平台,所采用的核心软件、标准存在较大差异,导致各单位间的模型无法准确识别与共享,还需通过纸质文件或电子文档进行相关的数据传递和意见反馈,严重制约着三维设计的时效性,

而且无法保证数据的唯一性,极有可能造成制造和设计不相符的结果。相比而言,航空工业从集团层面对各单位三维设计平台的核心软件、版本进行了统一,建立了相应的数据交换标准,将设计与制造,包括供应商紧密地连接在一起,实现了基于模型的数据传递与共享,使得整个协同设计的迭代过程更加高效便捷。

2) 产品三维设计成熟度问题。三维设计的一个巨大特点就是并行协同设计,设计的各专业之间、设计与制造之间、船东或军方与设计制造之间存在着协同设计、意见相互迭代的过程,这就存在设计定型问题,正如数学迭代计算,需要设置残差值一样,当设计达到一定程度,就要正式发图,工厂接受图纸进行生产制造。飞机设计一般在初步设计时,就会发布协调数模或者ICD(interface control document)文件,进行各专业之间的协同设计,定义结构承力件的尺寸模型,对飞机结构和系统接口进行协调确定等;在装配设计阶段,发布预发放三维数模和装配样机,进行干涉检查等一系列问题解决后,确定最终的系统和结构的接口定义;在详细设计阶段,经设计和制造部门对全部零件载荷、工艺、工装设计确定后,冻结产品数据库和最终零件清单,发放正式的三维数模。尽管船舶设计与飞机设计有很多相似之处,但是船舶系统,尤其是军用船舶的舰载设备数量和结构体积要远多于飞机,如何协调如此之多的设备之间的协同设计,最终达到定型设计投入生产,该问题要比飞机设计要复杂的多,如何确定各设计阶段的技术成熟度,成为各设计专业和技术管理部门的关键问题。

3) 标准化数据库问题。三维设计要求所有模型都实例化,以便进行干涉检查,同时可保证所有零件的完整性和准确性,但是对于大型装备制造业,大量的标准件和通用零件会耗费设计师大量的制图时间,增加了设计师的工作负担。航空工业通过多年的三维设计应用,各大主机制造公司都建立了完备的三维模型数据库,设计师可直接调用数据库中的通用标准三维模型,这样既避免了大量的重复制图,又保证了通用零件的唯一性和规范性。个别主机制造商还通过对三维软件进行二次开发,设计师只需对通用零件定位,输入零件固有的标识号,就可以自动生成三维零件模型,极大地提高了设计师的设计效率。相对于飞机的设计制造,船舶系统的通用标准零件数量更大,种类更加繁多,如阀件、接头、管路、型材、电缆等,再加上船舶工业的三维设计仍然处在推广阶段,技术储备有限,虽然个别舰

船总体设计所和系统所的标准件三维数据库已经能够基本满足设计需求,但是总体来说,整个船舶行业的三维数据库严重缺失,大大增加了设计师的工作负担。

4) 数据库共享问题。三维设计对数据的管理传输技术要求很高,如果要全面推进三维设计,发挥出三维设计特有的技术优势,就必须建立统一的数据库管理平台。近年来,国内的航空工业通过公司重组和结构调整,各自成立了以设计院和总装厂为核心的飞机制造公司,在整个公司内部,建立统一的数据管理和传输平台,并向机载设备供应商开放相应的数据传输接口,将设计与制造,包括供应商紧密地连接在一起,使得整个协同设计的迭代过程更加高效便捷,同时也可以保证三维数模和相关数据的唯一性。对于目前的船舶工业,很多船舶设计院和总装厂还是相对独立的个体,无法建立统一的数据管理和传输平台,只能通过纸质文件或电子文档,进行相关的数据传递和意见反馈,严重制约着三维设计的时效性,而且无法保证数据的唯一性,极有可能造成制造和设计不相符的结果。

5) 下游总装厂数字化制造基础薄弱。作为现代造船模式的核心,数字化制造是一种全新的制造技术体系,从产品设计到建造全过程中采用数字化信息传递,在优化的数字化工业引导、快捷的数字化执行系统驱动下,实现了产品建造质量的提高和周期的缩短。目前,船舶行业的现状是各总装建造厂数字化应用开发能力不强、基础设备不配套、数字化技术应用标准规范不健全,未打通从设计到制造的数据流和过程流,导致在制造过程中仍以二维图纸作为指导生产的主要依

据,无法与全数字化三维设计进行完整对接,直接导致构型管理不统一,三维设计与制造不一致。

3 结论

三维设计不仅是设计工具的改变,更是整个设计体系的变革,只有打破传统设计习惯,结合船舶工业的自身特点,不断完善管理机制和相关规范标准的制定,勇于技术创新和管理创新,才能在船舶工业全面实行三维设计,使中国的船舶设计制造水平产生质的飞越。

参考文献(References)

- [1] 许超, 汤文成, 唐寅. 计算机辅助机械设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1997.
- [2] Proctor Pall, Wash Everett. Boeing rolls out 777 to tentative market[J]. Aviation Week & Space Technology, 1994, 140(15): 36-39.
- [3] 周建华, 范玉青. 产品三维数字化定义在波音飞机公司的应用[J]. 航空工艺技术, 1996(2): 7-10.
- [4] Glende Wolf. The Boeing 777: A look back[Z]. NASA, 1998.
- [5] 刘俊堂, 刘看旺. 关联设计技术在飞机研制中的应用[J]. 航空制造技术, 2008(14): 45-47.
- [6] 尹海军, 杜宝瑞, 范民. 无图设计制造技术在飞机研制中的应用[J]. 现代设计与先进制造技术, 2009, 38(4): 35-37.
- [7] 熊鸣镝. 新技术带来的挑战——有感于波音 777 飞机的无图纸设计/制造[J]. 船舶, 1996(6): 7-10.
- [8] 刘俊堂. 三维设计推动飞机数字化研制技术的全面应用[J]. 航空制造技术, 2012(6): 38-41.

The application of 3D design technology of aviation industry in shipbuilding industry

LENG Wenjun, ZHANG Yechuan, CHEN Gang, ZHAO Juntao, SHI Hongqi, WANG Shizhong

Second Ship Design Institute of Wuhan, Wuhan 430205, China

Abstract The application of 3D design technology in aviation industry is reviewed. From the development of 3D design in aviation industry, the great advantage of 3D design is evident. The realization of 3D design in aviation industry shows that the three-dimensional design can be applied in the shipbuilding industry. According to the present situation of China's shipbuilding industry, some key problems to be solved in the promotion of three-dimensional design are discussed.

Keywords 3D design; aviation industry; shipbuilding industry ●



(责任编辑 陈广仁)