

三维设计推动飞机数字化研制技术的全面应用

Three-Dimensional Design Promotes Application of Digital Design Technology in Aircraft Development

中航工业第一飞机设计研究院 刘俊堂 张永辉



刘俊堂

毕业于西北工业大学,就职于中航工业第一飞机设计研究院信息系统研究所,主要从事飞机数字化技术应用研究工作,荣获国防科工和集团公司科技成果奖多项,现为中航工业第一飞机设计研究院一级专家,研究员。

我国飞机研制数字化技术应用,一直以来都在跟踪、研究、学习、借鉴世界先进飞机制造公司,特别是波音公司的先进经验。波音公司作为飞机数字化研制技术应用的成功代表,实现了飞机研制全生命周期的数字化。波音数字化技术应用以波音777和787的研制为代表。20世纪

纵观全球著名飞机公司的发展,全三维数字化技术在近几年各类飞机的研制中得到迅速发展和深入应用,已成为企业发展、流程优化、技术进步、核心能力提升的核心引擎。全三维设计技术推动了飞机数字化研制技术的全面应用。

90年代初期,波音在777的研制中全面应用三维设计技术;2004年启动的波音787项目在777基础上应用基于MBD技术的全三维设计,同时由于设计手段变化带来的管理模式的变化,PLM技术也得到广泛和深入的应用。1989年波音公司的工程师们就经过研究确信,利用数字化预装配将有效减少设计更改、错误和返工,使零件易于装配,减少零件间干涉、配合面不协调、孔轴线对不准等现象,将会大幅度降低产品成本,缩短研制周期,进一步提高产品质量和服务水平,并在波音777的研制中取得全面成功。在波音787研制中,波音公司进一步应用了PLM的全球协同环境(GCE),使得波音787的协同研制工作顺利进行,为波音取得了巨大的经济效益和社会效益。

与波音相比,我国三维设计的规模化应用,始于20世纪末期启动的新飞豹研制,与波音777研制三维设计技术应用相差10年。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。新飞豹全机电子样机是国内第一架全机电子样机,也是首次用电子样机替代物理样机进行协调设计,用数字量代替模拟量进行设计信息的传递。三维设计技术的规模化应用及其所带来的效果,加速了我国航空工业数字化技术推进和应用的步伐,也使上至管理人员下至设计人员亲身经历和感受数字化技术对型号研制的作用。2008年,在重点型号研制中,一飞院和行业主要飞机制造商,全面深入开展基于MBD技术的

全三维设计技术应用,同时构建了支持跨地域多厂所的重点型号协同研制环境(DCE),有力支持了重点型号的研制,与波音相差4年的全三维设计及其协同研制技术的应用大大加快了型号研制效率和质量。

所以,无论是国外还是国内,三维设计技术在推动飞机数字化研制技术的全面应用方面起到了非常重要的作用。

全三维设计技术

由于受多种条件限制,近百年来,在工程应用领域,人们一直以蓝图的形式表达设计和制造意图。随着计算机技术的发展,特别是CAD技术的发展,回归三维设计成为可能。尽管二维设计在产品设计和制造方面发挥了不可低估的作用,但在复杂产品设计中,特别是飞机产品研制中,还需要建立不同材质和不同复杂程度的物理样机,用于设计协调,增加了研制经费,延长了研制周期。这是因为二维设计既不直观,而且不能精确定义复杂形面的零件,具有信息重复转换、协调过程困难、信息传递不准确等缺点,也不利于后续数字化制造。为了解决设计协调问题,进行产品装配分析和运动机构分析,使用CAD技术建立的飞机产品几何样机大大加快了协调效率,在飞机研制中,甚至取消或部分取消了物理样机,充分展示了数字化设计技术的能力和作用。但为了支持制造,还需要把三维模型转换为二维图样提交制造使用,这带来了新的问题,主要表现在增加了设计的工作量、存在多种数据源、数据更改控制复杂,既要保持二维研制体系,又要兼顾三维模型,二维研制模式和三维研制模式时常发生冲突。

现实矛盾和冲突,使不得不考虑使用新的技术,实现设计意图表达的唯一性和一致性。实际上,1997年,美国机械工程师协会ASME就开始

了全三维设计相关标准的研究制定工作,并于2003年颁布了“Y14.41(Digital Product Definition Data Practices)”标准,该标准把三维模型和尺寸公差及制造要求统一在一个模型中表达。后来波音公司研究探讨全三维设计的工程应用问题,并在波音787的研制中得到工程化应用。在我国,为了解决二维图样和三维模型共存带来的问题,彻底改变基于模拟量传递的传统飞机研制模式,从而推动数字化技术体系全面、深入和高效的应用,以重点型号研制为载体,

模型信息(外形和尺寸)和非几何信息(属性和要求),见图3。但由于设计模式(从二维到三维)的变化和设计手段(从模拟到数字)的变化,全三维设计更应着重其体系的建设和应用,因此全三维设计不但要将产品的相关信息,包括几何模型、尺寸及公差、制造要求等,以及属性和管理等非几何信息定义在模型当中,还需要与产品管理系统集成应用,在各种设计资源和知识库的支持下,通过使能工具和手段,实现零件的快速建模,并能实现设计、工艺设计和工装

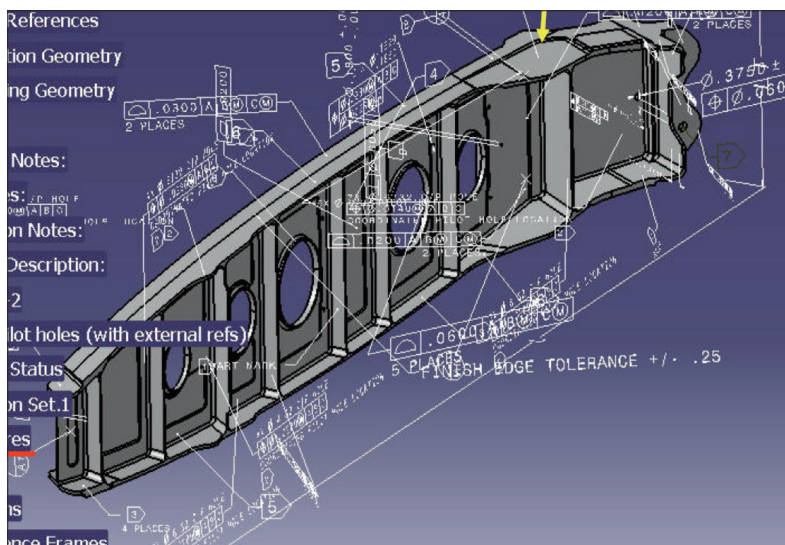


图1 全三维设计零件模型

大规模开展全三维设计技术的应用,并逐步完善建立了面向制造的全三维数字化设计技术体系(图1)。

MBD技术基于特征的定义,具有更强的表现力,能够更真实地表现设计制造特征,更好、更准确地表达设计意图,也容易进行工程信息的抽取和知识的挖掘(图2)。

通常,对全三维设计模型或MBD模型所包含的信息定义为几何

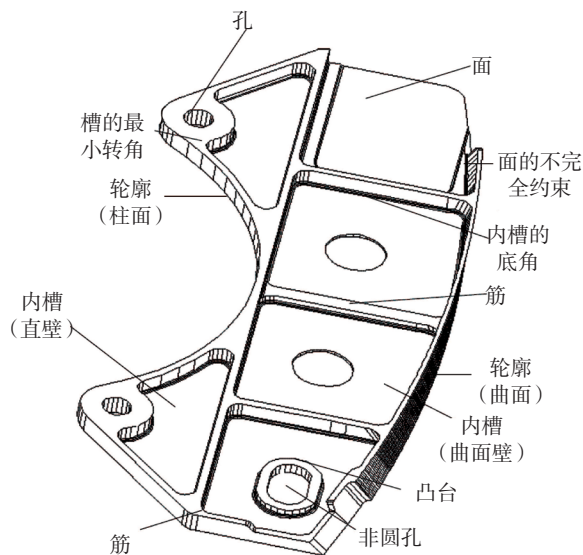


图2 零件特征定义

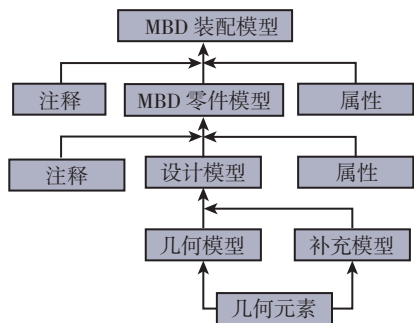


图3 MBD模型信息组成

设计等信息共享,支持飞机研制阶段的数字化制造。

全三维设计实现了飞机设计手段和模式的变革

全三维设计不但表现为设计工具的改变(三维CAD软件的使用,如CATIA V5),更重要的是要建立基于全三维设计全新的标准规范体系,因此,全三维设计是一种全新的飞机研制模式。

全三维设计技术的应用,离不开全三维设计技术应用规范。波音为了推动全三维设计的应用,首先编写了BDS-600系列规范,共计23种,专门针对全三维设计技术的应用,包括基于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。一飞院重点型号研制,建立了设计规范18份,工艺工装设计规范70多份,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。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,同时应考虑飞机研制过程中的各个环节,包括设计、工艺、检验及制造,例如尺寸和公差标注方法、剖视图生成技术方法、加工要求标注方法、特征视图捕获创建与管理技术方法、关键特征的标注方法、采用零件模型进行三维装配模型的标注技术方法等。

全三维技术实施后,原有基于两

维的工艺体系和检验体系不再适应新技术要求,必须进行相应改革。工艺设计和检验设计将不再通过二维图纸作为设计依据,而必须通过三维模型来获得。因此,必须对现有的工艺设计流程、工艺设计方法、工艺设计软件系统进行调整,同时,必须使相关部门人员(如工艺、检验、路线分工、调度计划、加工人员等)能够

参与到设计过程中。这就必然影响后期飞机的加工、制造和装配,波音的MBD应用支撑体系就可说明这一点,见图4。波音的MBD技术体系以MBD数据集为核心,借助集成产品标准管理系统(IPSM)、工艺设计管理系统、CAD系统、产品数据管理系统等,按照设计系统给出的内容组织框架实现生产、检验等。

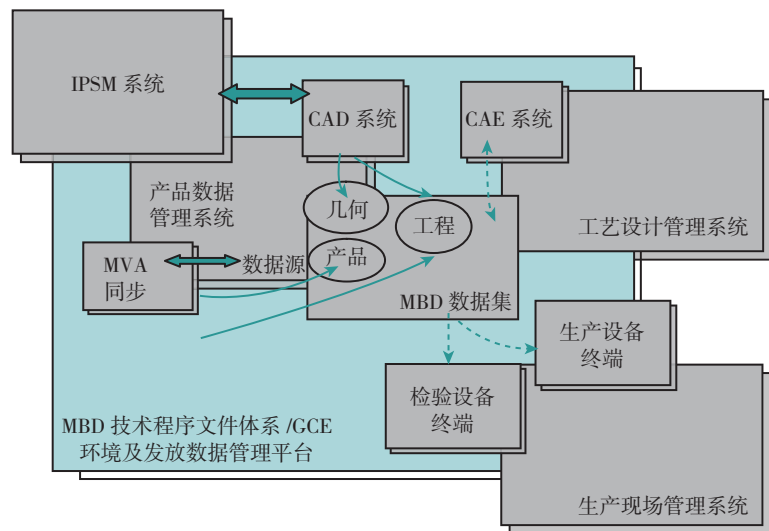


图4 波音MBD应用体系

有能力获得和使用从MBD数模中导出的信息,并确保该信息在生产流程中的一致性和正确性。同时,由于全三维数模为数字化加工提供了有利条件,更多的零部件将采用数字化的方法进行加工制造和检验,将会有更多的基于全三维的工艺指令来指导生产加工,例如装配的三维工艺过程将通过三维视频来实现等。因此全三维研制将改变现行的工艺体系、检验体系、人员组织体系及能力体系、制造加工方法等。一句话,全三维设计改变了原有的基于二维图样的飞机研制方法和模式,形成了新的研制技术体系。

全三维设计引起飞机制造模式的改变

MBD模型的建立,不仅仅是设计部门的任务,工艺、工装、检验都要

全三维设计使得下游制造仿真更加方便快捷,工艺工装设计部门可以直接利用设计模型进行制造和装配工艺仿真,生成指导工人加工装配的三维数字化指令。同时,全三维研制不仅体现在设计制造信息的载体全部以三维模型进行承载,更重要的是会带来制造装备体系的不断创新,将会有更多的数字化设备直接利用各类零部件的三维模型数据来驱动产品的零部件加工、生产用工装制造、飞机的装配等,充分体现数字化技术对技术革新的推动。由于数字化的设备直接使用数字化模型进行驱动,不再有传统的模拟量传递环节,消除了形状和尺寸的传递误差,这将极大保证飞机研制的质量,实现飞机研制的精品工程。事实也是如此,重点型号研制大量采用了数控加工及成形技术、先进装配技术、钣金

及复合材料成形技术、数字化测量技术等,取得了显著效果(图5)。



图5 数字化检验

全三维设计促进 PLM 技术的应用

在采用全三维数字化技术进行型号研制过程中,数字化应用平台的建立至关重要。可以说,它是承载全三维数字化研制体系的载体。在全三维研制模式下,所有的零部件将以三维模型进行描述,不再有可以通过手工进行工程管理的图纸出现。这就需要建立满足设计、制造过程需求的全生命周期数字化应用及管理平台,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、飞机状态控制等。同时,从设计到制造的数字化应用平台必须从业务逻辑、数据唯一性、流程控制等形成一体化的体系。这就对数字化应用平台提出了前所未有的更高要求,从设计到制造的各类数字化平台(例如数字样机设计平台、工艺设计平台、生产制造执行系统、企业资源管理系统等)必须进行一体化应用集成、数据集成和流程集成,保证型号研制各类业务的连续性和数据应用的准确性;数据的源头必

须以三维模型为唯一依据,所有的工程信息、BOM 信息均应从三维模型

中提取,并与数字化应用平台中的管理信息保持一致;飞机的全机状态、零部件的三维模型版本、各类更改、各类质量问题控制单、零部件的数控加工指令、成品及相关软件等的状态必须保持一致,状态管理已成为各类信息管理的灵魂。可以说,今天的数字化应用平台的建设,必须真正体现PLM 的概念,也只有通过采用PLM 的理念进行数字化应用平台建设,才能真正满足全三维研制的需要。

国外实力雄厚的软件系统公司一直致力于全三维设计工具及其面向全生命周期的产品研发支持集成系统的开发,比较成熟的有法国达索公司的PLM 2.0,该集成系统通过SIMULIA、CATIA、DELIMIA 等工具支持方案设计的流程控制、仿真优化、系统综合设计,零组件详细设计、制造工艺设计等,通过ENOVIA 实现全生命周期数据和流程管理、并行协同设计等。

结束语

纵观全球著名飞机公司的发展,

全三维数字化技术在近几年各类飞机的研制中得到迅速发展和深入应用,已成为企业发展、流程优化、技术进步、核心能力提升的核心引擎。全三维设计技术推动了飞机数字化研制技术的全面应用。其作用主要表现在:(1)应用效果明显,增强了企业数字化技术应用的信心。据粗略统计,在重点型号研制中全三维设计技术使得设计效率至少提高40%,在全三维设计基础上的关联设计使得设计迭代速度至少提高70%。由于采用全三维研制技术体系,使得机加零件数控加工率达到94%以上,数控弯管率达到100%,零件和工装数量之比也大大降低。可以说,如果没有数字化技术的支撑,很难保证重点型号按节点要求研制。(2)全三维设计技术的规模化应用形成了数字化技术应用的环境和文化氛围。正如波音总结的那样,在推广全三维设计技术的过程中,碰到的不仅仅是技术问题,还需要把企业从二维图纸文化中解放出来。今天航空工业集团已经把数字化建设提升到全局高度,采取了数字化达标等手段,全面提升行业数字化综合应用水平。(3)为数字化技术的深入应用提供了动力。当前在全三维研制基础之上,航空工业正在全面开展性能样机技术的知识工程技术等方面的研究和应用。(4)数字化技术应用是一个系统工程,需要技术与工程融合,在实施数字化项目过程中,需要有相应的方法论,要以型号研制为牵引,逐步推进、不断扩大应用范围、提高应用水平。

可以预计在不久的将来,在全三维设计技术带动下,涵盖飞机方案优化设计、详细设计、协同研制和用户服务的全生命周期数字化集成系统将会诞生并得到全面应用,离世界先进数字化技术应用水平的差距也会越来越小。

(责编 良辰)