

全三维研制技术推动飞机研制体系变革

Promote Aircraft Research System Reform With Full 3D Technology

中航工业第一飞机设计研究院 刘看旺



刘看旺

毕业于西安电子科技大学计算机工程专业,先后参加过航空CIMS工程、全数字化飞机设计技术研究等课题。获得中航工业及国防科工局多项课题研究奖项,现任中航工业第一飞机设计研究院研究员。

纵观全球飞机研制,数字化技术已成为各大飞机公司提升企业研发效能,优化企业研制流程,提高企业创新能力的有效工具。近年来,国际著名航空公司在大型军民飞机的研制中,充分利用数字化技术创新研制模式来改变飞机研制方法,并把数字化技术的应用贯穿于飞机研制的

全三维数字化技术在近几年各类飞机的研制中得到了迅速发展和深入应用,已成为企业发展、流程优化、技术进步、能力提升的核心引擎。我国数字化技术的应用在多年的发展中已经取得了巨大成绩,推动了各个型号研制快速发展。但是,我国数字化技术应用水平与国际先进企业相比仍有一定差距,主要表现在体系化、系统化程度不高,标准规范体系仍不完善,基本理论和方法研究不够,不足以用于指导工程应用等。

全生命周期中,这在空客 A380 客机和波音 787 客机的研制中体现得尤为突出。数字化技术的应用能力已成为企业的核心竞争力,是企业产品创新发展的最有力工具。我国航空工业在多年的数字化技术应用发展方面一直紧追国际著名航空标杆企业,逐步形成了适合我国飞机数字化研制的应用体系,在多个重点型号研制中发挥了重要作用,有效提升了飞机研制的效率和质量。

中航工业第一飞机设计研究院(以下简称一飞院)是我国航空工业大型飞机的研究单位,在多年的发展中一直把数字化技术作为优化研究院业务流程、提升研究院核心竞争力

的有力工具。在多个型号研制中,紧贴型号研制需求,不断进行技术创新,按照“一个型号上一个台阶”的发展思路,确定每一个型号的数字化技术应用目标,不断发展与飞机设计过程相融合的飞机研制数字化平台,通过技术手段的创新,推动各重点型号的快速研制。一飞院的数字化应用技术走过了全机数字样机、产品数据管理、跨地域并行设计、基于MBD的全三维关联设计及并行协同研制的4个阶段,实现了甩图版、甩图纸和全三维关联设计的3个技术跨越,确保所承担的每一个重点型号研制任务按节点高质量完成。目前,基于MBD的全三维研制技术、关联

设计技术、并行协同研制技术等已在型号中得到全面应用,推动了所承担飞机型号的快速研制。

全三维研制技术

三维技术在十几年前就已经出现并且得到应用,但真正能贯穿全生命周期的全三维技术则在近几年刚刚开始并在国内得到规模化应用,其典型特征是基于模型的定义技术(Model Based Definition, MBD)。

在传统的三维技术中,由于受技术的限制,工程技术人员所建立的产品数字模型仅是三维几何模型,而尺寸和公差标注、表面处理方法、热处理方法等工艺信息还在二维图纸上标识,制造工艺设计人员也无法依据三维模型描述工艺过程、装配过程、检验过程及制造过程所需的信息。这就使得在制造环节仍要以二维图纸作为制造依据,虽然大量的数控件可直接通过三维模型驱动数控设备进行加工,但整体的制造体系仍为传统的基于二维的体系,研制方式并没有从根本上发生变化,也未真正建立和形成全三维的研制体系。三维设计技术在这一阶段主要在设计部门得到规模化应用,但并没有真正贯穿飞机研制的全生命周期。

1997年,美国机械工程师协会开始进行有关MBD标准的研究和制定工作,并于2003年形成了美国国家标准“Y14.41 DIGITALPRODUCT DEFINITION DATAPRACTICES”(数字化产品定义数据实施)。此后,在此标准基础上,波音公司研究制定了基于MBD技术的应用规范(BDS-600系列),并且在波音787项目研制中得到了很好的应用。同时,各软件供应商也在相应软件中增加了用于三维标注的相关模块,这才使得有可能在产品研制全过程中应用全三维设计技术,形成全三维研制体系。

近几年,国内航空厂所已开始紧密结合型号研制进行全三维研制技

术的研究和应用。其典型代表为一飞院与国内主要的6家机体研制单位共同进行的MBD技术研究与推动项目。该项目从2007年底开始启动,在集团公司组织下,以某型号研制为牵引,全面开展全三维研制技术的研究、体系构建及应用推动,并于2009年形成了基于MBD的基本满足设计制造的规范体系。该体系已在型号研制中得到一飞院及6家工厂的应用验证,成为型号研制的标准规范。同时,根据型号研制需求和技术发展需求,建立了支持全三维研制的多厂所并行协同研制数字化应用系统。各工厂也根据全三维技术的发展,构建了适宜全三维研制的工程制造体系。这些标准规范及相应的数字化平台和工程制造体系共同构成了全三维研制的体系。可以说,这是国内首次体系化、规模化并且与型号紧密结合的全三维技术研究与应用,发出的标准规范也是国内首套基于MBD的全三维技术标准规范。

计算机辅助设计技术从二维辅助设计、三维辅助设计到今天的全三维设计已发生了巨大变化。今天的全三维数字化研制技术将改变百年来基于二维的研制体系,带来一场产品研制方式的革命,在飞机设计、工艺、制造到检验的各个环节引起巨大变革;它将牵引飞机制造过程中各类工艺技术和装备的快速发展,有利于推动先进工艺工装设计技术、先进加工装配制造技术、先进检验质量控制技术的应用,推动工业基础技术水平的快速提升,形成全三维研制模式下的数字化制造体系和装备体系,极大提高生产效率和产品质量,这也为我们缩短与国外的技术差距提供了有力的工具和途径,将整体提升我们的理念和方法,进一步推动并行工程的实施力度和拓展实施途径。

全三维研制技术关键

为了实现全三维研制技术的全

面应用,必须进行相关关键技术的研究和突破。当今国际著名航空公司的应用历程和应用经验已经表明,要在产品研制全过程中实现全三维研制技术,必须解决如下关键问题。

(1)必须研究形成基于MBD技术的产品定义标准和规范。

基于MBD技术的产品定义标准和规范是实现全三维研制技术在设计制造各个环节落地的基础。建立飞机产品研制过程中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,必须充分考虑产品研制过程中各个环节的要求。这些标准规范必须涵盖飞机设计的各类零部件,例如机加、钣金、复材、管路、电气等的零部件,同时应考虑飞机研制过程中的各个环节,包括设计、工艺、制造及检验,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。

(2)必须建立基于全三维技术的工艺体系及检验体系。

全三维技术实施后,原有基于二维的工艺体系和检验体系将不再完全适应,必须根据技术的发展进行改革。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、工艺设计手段进行调整,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)能够有能力获得和使用从MBD数模中得到的信息,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通过数字仿真,并通过视频动画等

方式指导工人操作等。因此全三维研制将改变现行的工艺体系、检验体系、人员组织体系及制造加工方法,最终形成能力体系等,建立基于全三维技术的工艺体系及检验体系也就成为实施全三维研制的工厂首先要解决的技术问题。

(3)必须建立全三维模式下制造装备体系。

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发展创新,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,进行产品的零部件加工、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,消除了模拟量传递引起的形状和尺寸的传递误差,这将极大地保证飞机研制的质量,实现飞机研制的精品工程。今天我们仍未实现全数字化方式下的飞机装备体系化建设,但已经成为我们未来发展的方向,它也将彻底改变现行飞机加工制造方式,极大提高飞机研制的生产力。正如洛克希德·马丁公司指出的那样,数字化主线驱动着 JSF 任务的关键工程和检验技术。

(4)必须实现全三维技术与先进制造技术及理念的集成。

全三维数字化技术的采用,大幅提高了飞机研制的技术水平,加快了飞机研制的整体效率,提高了飞机的整体质量。同时,由于数字化技术的发展,数控加工及成型技术、先进装配技术、钣金及复合材料成型技术、数字化测量技术等也得到不断发展,并行工程、精益生产等先进理念的诞生和应用,使飞机的研制模式处于不断的变革之中。这就需要研究全三维技术如何与先进制造技术和先进研制理念进行集成,使它们相互融合以发挥先进技术的整体效益,这样才

能充分发挥全三维数字化技术在飞机研制中的真正作用。另一方面,也正因为三维数字化技术的应用,才推动了精确数控加工技术、数字化测量技术、数字化装配技术等先进技术的快速发展和应用。可见,三维数字化设计与三维数字化制造两者相辅相成、互相推进。

(5)必须建立全三维模式下数字化应用支撑平台。

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、飞机状态控制等需求。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。

全三维研制技术在型号研制中的应用

一飞院在某飞机型号研制过程中,为推进全三维研制技术的应用,在中航工业领导下,成立了由航空 6 家工厂共同参与的全三维研制技术攻关团队。经过近几年的研究和型号应用,已形成全三维研制标准规范和相应的数字化应用平台,有力推动了型号任务的完成。

1 编制全三维研制体系化标准规范

通过研究分析国外的相关标准和规范,并结合型号的研制需求,形成了基于 MBD 的设计、工艺、制造及检验的相关配套标准规范,目前该套标准规范共计有 27 份。同时,各相关工厂也根据自身的资源及环境,在顶层标准规范的基础上,制订了相应的厂级应用规范,共同形成了全三维研制的规范体系。这些标准和规范将在共同承担的项目中得到全面贯彻和应用,将为全三维研制技术的推广应用打下坚实的基础,也推动了全三维技术在航空工业的推广和技术进步。

2 构建支持全三维并行设计的关联设计系统

关联设计系统为总体、结构、系统等专业的设计工程师提供了统一的全三维设计环境,使总体、结构、系统专业间的设计实现快速迭代。在这种设计环境中,每位工程师均以全三维的方式进行飞机的设计,任何时候,每位工程师的设计结果均会实时反映到全三维的数字样机中,以供其他专业使用。在设计过程中,总体、结构及系统专业通过构建骨架模型分别向下游专业或专业内部发布以三维方式描述的设计输入,下游专业或设计通过使用上游专业发布的接口或元素与上游专业的设计模型进行关联,这样,当上游专业的设计发生变化时,在拓扑结构不变的前提

下,下游专业的设计可以实现 100% 的设计更改,从而实现全三维设计模式下的关联设计(图 1)。在这种环境中,各种设计资源和知识得到最大共享,各类零部件的设计和标注将非常方便,同时,关联设计提供了各专业设计快速迭代的机制,将极大地保证设计质量和产品设计的一致性。

目前,尽管关联设计技术本身比较成熟,但在具有几百万零部件的飞机研制中整体应用,仍然不是一件容易的事情,它需要梳理飞机设计流程、构建骨架模型建立规范,定义产品设计结构,定义多专业间的关联准则。一飞院在某型飞机的研制中,通过技术攻关,建立了关联设计技术体系,把关联设计技术成功应用于总体、结构和系统的设计,取得显著成果。

3 构建支持多厂所的数字化协同研制环境

构建的数字化协同研制环境(Digital Collaboration Environment, DCE)连接了国内 6 家主要机体研制单位,为实现跨企业、跨地域、基于全三维技术的并行协同研制提供了

有力工具,使研制过程中的管理协同、工程协同和沟通协同成为可能。协同研制环境主要实现工程研制过程中的数据管理、跨企业更改流程控制、基于模块化的全机电子数据状态管理、基于模型的跨企业工作协同、基于成熟度控制的并行工程实施、基于可配置数字样机的工程协同等功能。协同研制环境提供与各工厂内部应用系统进行集成的标准接口,各工厂通过标准接口实现与各自内部应用系统的集成,进而实现数据集成、流程集成和业务集成。协同研制环境对上提供与关联设计系统的无缝对接,满足过程管理的版本信息、有效性信息、更改信息等的统一控制(图 2)。

4 构建并行工程应用实施体系

由于有数字化平台的支持,在飞机研制中并行工程的实施将更加切合实际。可以通过多种方式实现飞机研制过程中的并行机制,主要采用 3 种并行的模式,分别为基于 IPT 团队的并行机制、基于成熟度的并行机制和基于关联设计的并行机制。

基于 IPT 团队的并行机制是一

种传统实施并行工程的方法。它通过建立 IPT 团队形成并行工作的组织机构,在组织内部吸收各专业相关技术人员,通过现场(或基于网络虚拟现场)共同工作和协调,形成并行工作机制,提高产品研制效率和质量。这种方式已在各类型号工程研制中普遍采用。基于成熟度的并行机制通过把每个设计对象成熟过程分为多个具有标志性的技术成熟状态,使得每个成熟状态可以明确作为下游并行开展工作的依据,从而使得上游设计在完成每个成熟状态时,下游专业就可以开展工作,从而实现基于成熟度的并行。这种方式可用于飞机研制的各个阶段,它需要构建成熟度体系,并可通过建立相应的 IT 系统进行支持。基于关联设计的并行机制通过建立上下游专业设计对象之间、专业内部设计对象之间的关联关系,实现在上游设计发生变化时,下游设计可以自动更新,从而大幅加快设计迭代周期,提高设计效率和质量,使得设计过程高度并行,这需要构建关联设计体系,并必须通过相应的 IT 系统支持才可实施。

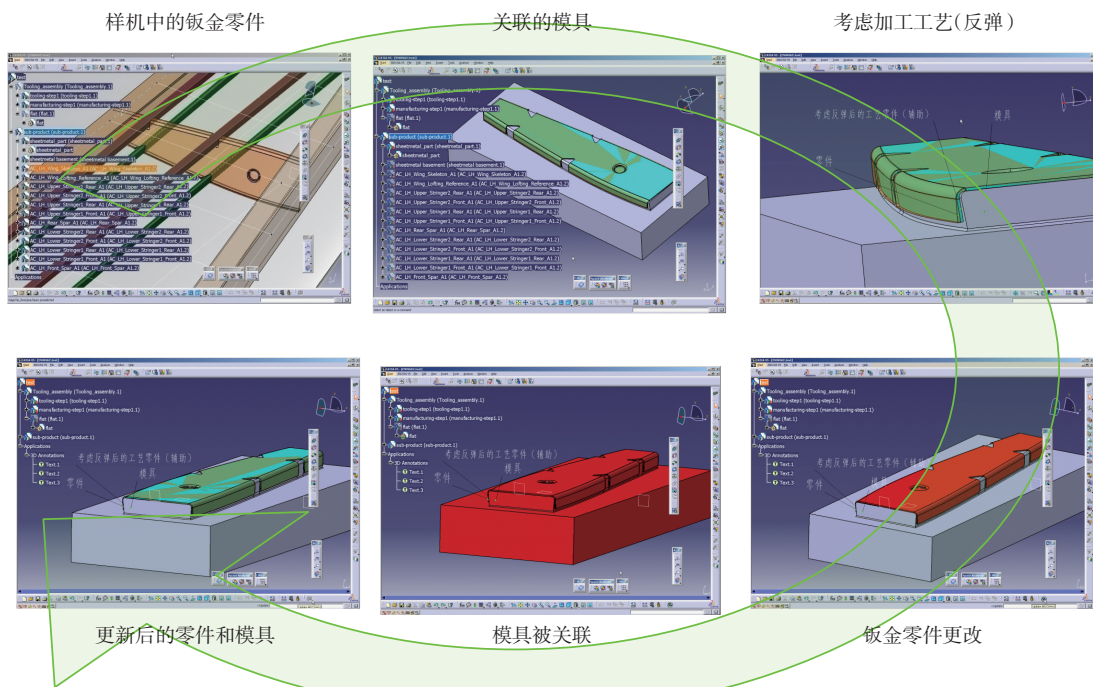


图1 工装与零部件的关联设计示意图

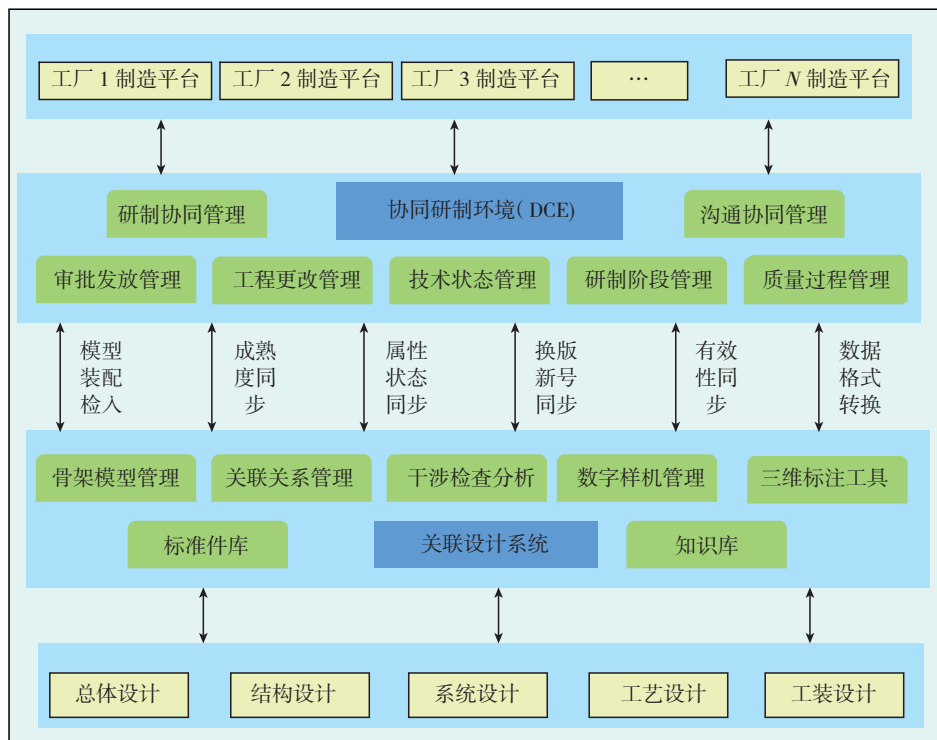


图2 协同研制环境集成关系

全三维研制技术目前仍存在的问题

全三维数字化技术的应用使得基于三维模型定义产品研制过程中的所有数据成为可能,使得零部件数据能在整个研制过程的各个环节有效利用,可以驱动研制过程中的所有数字化装备,大幅提高飞机研制质量。可以说这种变化将引起生产过程的彻底革命。尽管目前全三维研制技术在航空领域得到了应用,但相比国外同类企业的应用水平,仍有很多问题需要克服。这些问题主要表现在以下方面。

(1) 对实施全三维技术的难度和深度仍认识不足。

实施全三维研制技术,面临的是对传统研制体系的改革,并非是MBD技术的简单应用。需要从研制方法和研制体系上不断进行创新和实践。应进一步提高对实施全三维研制技术的认识,高度重视实施过程中的难度,要从系统工程的角度去看

待全三维数字化技术的应用实施。

(2) 全三维研制工程体系仍不完善。

全三维数字化研制将冲击现有的设计体系、工艺体系、检验体系及制造体系,将在很多方面引起流程和方法的变革。要深入推广全三维研制技术的应用,就必须针对研制现状进行分析研究,构建满足工程研制需求的全三维工程研制体系。今天,全三维研制技术虽已得到应用,但真正进行体系化应用的仍主要是设计部门,而制造部门内部的全三维工程研制体系仍需做大量工作,需针对产品研制全生命周期的不同特点建立上下贯通的一体化工程应用体系。

(3) 全三维研制的技术水平和能力仍不够。

要实现全三维数字化研制就需要设计人员、工艺人员、检验人员及技术工人掌握基本的三维数字化知识,了解相关的概念和原理,操作相关的软件和系统。这就对他们的技术水平和能力提出了相应要求。目

前,实施全三维研制体系建设的重点在于各制造厂研制体系的建立,而重要的一环就是人员能力和水平的提高,这已经成为推动全三维研制迫切需要解决的问题。

(4) 全三维研制的基础设施和装备能力仍有差距。

我国数字化技术的研究一直紧跟国际先进步伐,但基于全三维的制造能力主要取决于飞机研制的现代工业基础和能力的。近几年,随着重点型号任务的不断牵引和技术改造,我国在制造能力方面有了很大进步,但在基于全三维研制的总体能力方面与国外仍有很大差距,这制约了全三维技术的整体应用水平。

结束语

飞机研制是一项复杂的系统工程,特别是国家大型飞机的研制将更体现一个国家的能力和水平,同时,大型飞机的研制也将牵引和拉动我国飞机研制各项技术水平和基础能力的大幅提升。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了迅速发展和深入应用,已成为企业发展、流程优化、技术进步、能力提升的核心引擎。我国数字化技术的应用在多年的发展中已经取得了巨大成绩,推动了各个型号研制快速发展。但是,我国数字化技术应用水平与国际先进企业相比仍有一定差距,主要表现在体系化、系统化程度不高,标准规范体系仍不完善,基本理论和方法研究不够,不足以用于指导工程应用等。相信随着各种工程型号研制过程中全三维数字化技术的不断应用和发展,我国的数字化应用水平一定会有更大的发展,会成为飞机研制企业发展有力抓手,推动我国的研制水平更上台阶。 (责编 良辰)