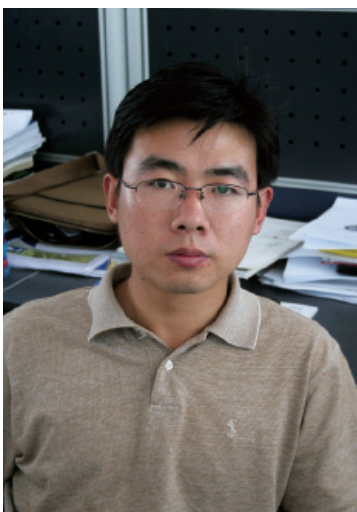


# 航空工业数字化协同 现状与发展

Current Status and Development of Digital Collaboration in Aviation Industry

北京航空制造工程研究所 王永栓 王晓丽 向颖 梁雪梅



王永栓

燕山大学系统结构专业硕士,现工作于北京航空制造工程研究所数控制造技术航空科技重点研究室,主要从事系统集成制造、企业信息化方面研究。

在航空工业领域,飞机的设计制造往往需要几百个单位参与论证、设计、制造、试验、使用、保障及其管理等各项工作,并且制造过程中气动外形要求严格,内部结构复杂,涉及专业面广,设计更改频繁,零件数量巨大,系统布置密集,所以飞机研制是一项技术难度大、研制周期长、协作面广、费用昂贵、管理复杂的系统工程。

随着我国航空事业的发展及大飞机项目的立项,飞机制造业必将由原来一厂一所一型号的研制模式向多厂所异地协同的研制模式方向改变,原有旧的业务流程的梳理以及新业务流程的快速搭建,面向设计、分析、试验、生产、交付、服务、维修以及所有相关管理过程中数字化资源的整合都需要一个贯穿整个行业的数字化协同系统,这将成为今后几年飞机制造业信息数字化的重点。

程。并且在长达 10 年左右的研制周期和几十年的使用周期内,所有合作伙伴需要按照合同、协议或其他管理办法有序、安全、可控、便捷的传递信息、工作成果和产品或半成品,实现有秩序的分工协作,出现问题的时候相关单位也能够沟通交流,协商协调,实现协同工作。正是基于现代飞机研制的这些特点,它迫切需要数字化协同技术从根本上改变传统飞机产品的研制模式、方法和过程,大幅度的提高飞机的研制质量、缩短研制周期和降低成本。

## 国外航空工业 数字化协同现状

进入 20 世纪 90 年代以来,世界

航空工业正在形成设计、生产和市场的全球化数字化协同,特别体现在美国波音公司的 787 飞机和欧洲空客公司的 A380 飞机的研制过程中。

### 1 波音公司

20 世纪 90 年代,波音 777 客机首开全数字化设计与制造的先河,把人类对无纸化生产的憧憬变成了现实,在这个巨大成功的背后是前所未有的数字化协同工作环境,它使 8000 多人组成的 238 个独立团队高效、并行、协调的工作,完成对 10 万余个零部件的数字化定义,实现整机的数字化预装配。数字化协同不仅获得了技术上的进步,更重要的是为波音公司带来了丰厚的回报:研发周期缩短 40%,工程返工减少 50%,

设计更改减少 93%，设计费用减少 94%，装配出现的问题减少 50%~80%，并使波音 777 提前投入市场，创造了航空制造史上的奇迹<sup>[1]</sup>。

波音 787 是波音 767 的换代产品，它的性能要求包括速度更快、飞行距离更远、更省油、更环保、更舒适、更易维护等方面。作为波音公司具有划时代意义的梦幻飞机，波音 787 的全球供应商包括 Alenia 航空公司、Fuji 重工有限公司、Spirit 航空系统公司等 40 多家。波音 787 飞机的部分全球化生产网络如图 1 所示。这些合作伙伴不但分担自己所负责波音 787 部件的风险和设计工作，还加入到一个数字的研发世界中，飞机各个方面的制造过程在进入实际生产之前，就是在这个虚拟世界中通过数字方式进行设计、制造和测试的。波音公司也努力地创造这样一个世界，让所有相距遥远的合作伙伴有一个通用的开发环境和一套通用的设计程序，这是波音 787 飞机设计策略的一个重要环节，也是减少资料转换依赖的另一个途径。从一开始波音公司的团队就意识到，这样一个规模宏大的项目需要一个通用的开发环境，主要因为：

(1) 这样可以在不同的 CAD 工具之间交换信息时避免困难和错误的出现；(2) 这是保证全球合作伙伴团队看到同样的产品定义资料和能够在世界各地以 24/7 方式(每天 24 小时，每周 7 天)有效协作的唯一办法。

正是基于以上原因的考虑，波音公司与其长期软件开发合作伙伴 Dassault 公司开发了基于 PLM(Product Life Management) 的全球协同环境 GCE(Global Collaboration Environment)。GCE 的驻留环境就是 Dassault 公司的产品生命周期管理套装软件：用

于 CAD 设计的 CATIA V5、用于模拟零件和元件在工厂制造过程的 Delmia 数字制造包和用于维护关于波音 787 飞机所有信息主资料库的 Envoia。与 GCE 一起使用的还有一个通用矩阵，也就是一套与开发相关的商务流程文件要点描述标准、100 多种电脑应用和培训文档的功能规格书，所有这些对于合作伙伴来说通过网络接口都可以获取。正是由于全球协同环境 GCE 的应用，波音公司实现了 135 个工作地点、180 个供应商的数字化协同。正是在产品所有阶段使用同一 3D 产品定义模型，通过统一的数字化平台、统一的方法和统一的流程、全球的协作与合作伙伴开展数字化方式设计、制造和测试零部件与飞机装配过程，才会有 2007 年 7 月 8 日以复合材料为主

中涉及到的企业分布在世界各地，Airbus 总部需要对各个分支机构及相关企业的构型管理和协同工作进行管理；其次，各个分支机构已经建立了各种遗留的工作组级 PDM 系统，例如 Airbus 德国实施了 VPM 系统，Airbus 英国实施了 Opetgra 系统，如何实施异构系统的集成和数据的统一管理成了难题。

为了紧密整合这些遗留系统，建立公共的流程和工具，形成单一的数据源，Airbus 基于 Windchill 开发了一套 PRIMES(Product Related Information Management Enterprise System) 系统，并成立了专门的部门 ACE(Airbus Concurrent Engineering) 来支持 PRIMES 的实施。PRIMES 系统承担的主要功能为：

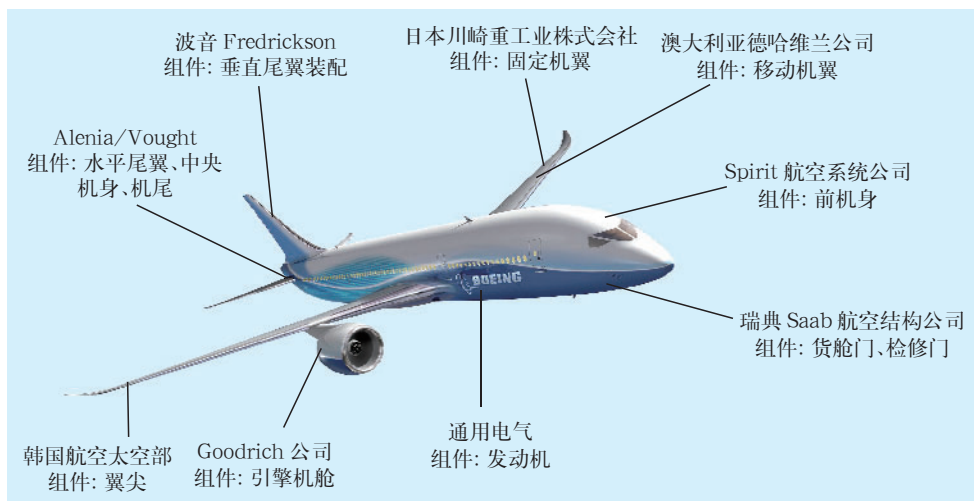


图1 波音787全球化生产网络

结构的波音 787 梦想飞机的精彩下线。

## 2 空客公司

空客公司(Airbus)的 A380 客机是各大航空公司、机场和适航当局密切合作、共同研制的超大型客机，其具体的设计和制造工作由 Airbus 位于法国、英国、德国和西班牙的 4 家子公司共同承担，并且还包括 10 余家共同承担风险的合作伙伴。整个 A380 型号的研制过程面临以下几个方面的挑战：首先，研制过程

(1) 使全机构的信息得以整合、存储与管理，为 A380 型号的研制提供一个统一、完整的构型知识库；

(2) DMU 数字化样机管理，有效整合来自不同 CAD 设计工具(如 CADDs、CATIA)产生的三维设计模型，实现了数字化样机的干涉检查及虚拟仿真；

(3) 自动维护 Airbus 总部和分支机构服务器间的构型数据同步与复制，保证了数据源的一致性和准确性；

(4) 实现与 A380 研制过程上、下游主干系统(如 SAP/客户关系管理/维护服务等)的信息集成,保证研制数据在 A380 型号整个研制过程的自动、准确流转。

正是由于数字化集成系统 PRIMES 的成功实施,空客公司实现了 A380 的研制周期比 A340 的缩短 25%、成本减少 50%、利润增加 10%、乘员增加 50% 的目标,确保了空中巨无霸 A380 顺利地于 2005 年 4 月 27 日首飞成功<sup>[2]</sup>。

波音与空客的案例,充分证明了数字化协同已成为研制飞机最重要

较早,应用水平较其他行业位于前列,但数字化协同技术的研究与应用起源于 20 世纪 90 年代末,经过多年的预研,中国的一些设计院所在数字化协同设计与制造方面已经取得了积极的进展。

近年来在中航工业的领导下,中航商飞组织第一飞机设计研究院、西飞公司、沈飞公司、成飞公司、上飞公司开始了 ARJ21 的研制工作。一飞院基于多年数字化的基础,首先在国内大型工程项目中采用异地协同设计,全国 4 个地区的协同制造、国外 19 家供应商的协同研制模式,

ARJ21 数据中心为核心,实现产品设计 BOM 和制造 BOM 的管理与控制;实现型号数据的分布式管理。ARJ21 项目为国内各个航空院所进行异地数字化协同设计的研制提供了一次非常有价值的实战演练。

此外,成都飞机工业(集团)公司在超七“枭龙”飞机研制中,也全面应用了数字化协同设计制造技术。超七飞机是根据国际市场需求,由成都飞机工业(集团)公司和成都飞机设计所共同设计与研制的新一代外贸后继机,装有先进的电子系统,能够实现超视距攻击和对地攻击,是全天候、多用途的轻型战斗机。传统的飞机研制方式由于研制流程是串行模拟量的信息传递,因而设计时间长、更改大、平行作业差、研制周期长、完全不能适应超七飞机研制的需求。因此,在超七飞机的研制过程中,以产品协同并行设计模式取代传统的串行设计模式,在分布式网络应用环境的支持下,产品设计数据 100% 采用计算机建立,应用产品数据管理软件实现飞机总体设计、结构设计、结构分析、系统设计、工装设计、工艺程序设计、工艺准备、数控编程等多项工作的协同并行。在仅仅半年的时间里,各项工作基本同步完成,超七结构图纸发出仅一个多月时间,大量零件已经交付,相对过去新机型号的研制,设计周期缩短了 50% 以上<sup>[5]</sup>。

数字化技术在中国航空制造业中的应用有了长足的发展,在某些方面已经接近或赶上国际先进水平,如在数字样机设计方面,实现了 100% 三维建模和 100% 的数字化虚拟装配,在多个飞机型号研制中,数字样机已经完全取代了物理样机。同时,我国飞机制造业数字化技术在飞机产品的数据管理、异地协同设计等方面也进行了深度的研究和应用,但总体、综合应用水平和数字化协同方面与国外大飞机公司(如波音、空客)相比还存在较大差距。

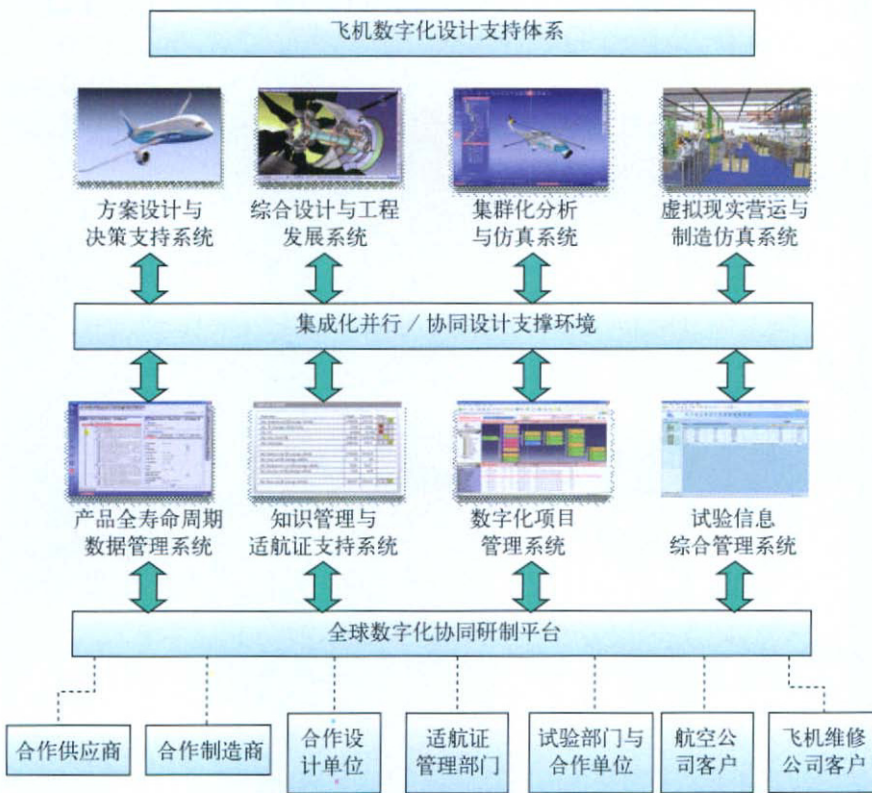


图2 飞机数字化设计支持体系的整体框架

的技术手段,成为现代航空制造业的共同选择。中国要参与国际航空制造业的竞争,要在国际航空市场上占领一席之地,必须紧紧抓住数字化协同这一立身之本。

### 中国航空制造业数字化协同技术的发展及应用

中国飞机数字化技术应用起步

实现了分散在国内外不同地域的分包商和配套商的协同工作。ARJ21 的贡献是建立基于广域网的数字化协同商务集成平台,实现项目公司对研产单位的项目研制计划、进度、经费、质量和过程的管理与监控;具有异地产品数据的检索、查询、传递和管理的功能,实现异地、异构环境下的虚拟装配、浏览和协同工作;以

## 数字化协同的发展方向

在新型飞机的研制中,需要充分发挥中国已经具备的数字化设计能力,借鉴国外的先进做法与技术,通过理念创新和技术创新,逐步建立和完善飞机数字化设计支持体系,保证设计质量,加快研制周期,提升产品的综合性能和竞争力。图2为飞机数字化设计支持体系的整体框架,包括飞机方案设计与决策支持系统、飞机综合设计与工程发展系统、集群化性能分析与仿真系统、试验信息综合管理系统、虚拟现实营运与制造仿真系统、知识管理与适航取证支持系统、数字化项目管理系统、产品全生命周期数据管理系统、集成化并行/协同设计支撑环境和全球数字化协同研制平台10个主要部分。其中集成化并行/协同设计支撑环境和全球数字化协同研制平台是实现数字化协同工程的重要组成部分,为整个系统提供信息和数据主干线,是系统顺利进行的关键。数字化协同工程的实施是一项庞大而复杂的工程,综合国外实施数字化协同方面的经验,国内航空制造业在实施过程中应该注意以下几个方面的内容:

(1) 要营造一个和谐的数字化环境。和谐的数字化环境能够通过网络有序、安全、可控、便捷地存储和传递数字化技术信息,使得有关人员和合作伙伴在需要的时候可以按照规定的管理办法获得授权所允许的信息数据,是推进基于网络的异地协同工作的先决条件。

(2) 建立一个稳定、安全、可靠的全球协同环境GCE。全球协同环境GCE使飞机设计的主体单位能够与合作供货商、合作制造商、合作设计单位、适航当局、合作试验单位、航空公司客户、飞机维修公司等形成紧密联系的一体化网络。这使飞机的设计、制造与管理有了单一的数据源,产品的数据能够准确的由研制的

上游向下游流动,各个部门之间数据快速而准确的交换,使它真正成为飞机数字化设计支持系统与外界数据和信息交流的纽带。全球协同环境的建立也为主承制商与合作商之间开启了全新的工作模式,实现了全球虚拟工作环境,在地理上跨越了不同的时区,避免了时差可全天24h不间断工作。在全球系统环境中要求合作伙伴在技术上应用统一的软件(同一版本),并对研制的协同过程、软件和数据管理有着一套非常严格的模式、制度、方法和规范,所有的合作伙伴都要严格地遵循这些制度规范。

(3) 保障支援的数字化协同。数字化协同不仅要包含设计、制造与管理的协同,还要包含后勤保障、维修服务后续方面的协同。波音、空客等行业巨头无一例外的将数字化体系扩展到维修服务,空客公司在设计之初就对A380的可维修性给予了高度重视,采用统一的设计BOM、工艺BOM、制造BOM、维修BOM实现维修成本最低是常规的33%,维修支持时间减少50%。我国航空业在支援的数字化协同方面已经进行了不少的探索,不断推进CALS(Computer Aided Acquisition and Logistic Support)体系的研究,在此基础上我国还应该继续推进与设计体系、制造体系的数字化协同,提供更加高效、快捷的后勤支援能力。

(4) 建立、控制和传递飞机研制过程中总体、结构及系统之间的相互影响、相互依赖的关系,实现上下游设计信息的快速传递和更改驱动,以达到加快飞机产品数字化设计过程中的更改和迭代速度的目标。在传统设计过程中,上下游设计的影响关系往往通过间接的方式进行传递,如通过协调单告知,通过共享数据模型或者用电话进行沟通和协调。在更改的过程中,通过元素的替换等方法

实现,并没有发挥出数字化管理技术应有的作用,没有建立上下游设计输入输出间的驱动和约束关系,因此在实施数字化协同工程时要注重对并行关联协同方面的考虑,实现设计信息的真正共享,加快信息的传递速度。

## 结束语

随着我国航空事业的发展及大飞机项目的立项,飞机制造业必将由原来一厂一所一型号的研制模式向多厂所、异地协同的研制模式方向上改变,原有旧的业务流程的梳理以及新业务流程的快速搭建,面向设计、分析、试验、生产、交付、服务、维修以及所有相关管理过程中数字化资源的整合都需要一个贯穿整个行业的数字化协同系统,这将成为今后几年飞机制造业信息数字化的重点。中国航空工业数字化进程虽然较国外要晚,但确实已经踏踏实实地走在数字化成长之路上,目前中航一飞院全面实现了整机的数字化设计,这意味着中国航空数字化步入了一个全新的层面,实现了与国际飞机设计研发手段的接轨,为我国航空工业由传统的飞机研制模式向飞机数字化设计制造的现代化研制模式的转变奠定了坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 黄迪生. 数字化协同与大飞机工程. 中国制造业信息化, 2008(18):13-15.
- [2] 宁振波. 飞机制造业信息化技术应用与发展. 航空精密制造技术, 2009(1):16-19.
- [3] 吴光辉, 刘虎. 大型客机数字化设计支持体系框架. 航空学报, 2008(29):1386-1394.
- [4] 范平, 范玉青. 突破技术趋势, 波音再现竞争优势——对大型飞机研制技术的战略性分析. 航空学报, 2008(3):708-715.
- [5] 徐光明. 数字化技术在超七飞机研制中的应用. 中国制造业信息化, 2003(6):53-54.

(责编 岩石)