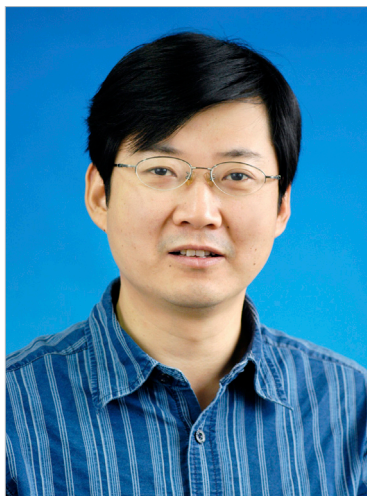


# 国际航空创建产业最优能力体系的研究\*

## Research on Building Aviation Industry Optimal Capacity System

中航工业中国航空综合技术研究所 高星海 沈洪才  
金航数码科技有限责任公司



高星海

研究员,中航工业综合技术研究所副总师,金航数码副总经理兼总工程师,曾任中航工业自控所网络信息中心主任。从事航空工程数字化应用和管理信息化工作10余年,负责企业信息化架构规划、科研/生产/运营的集成信息化体系建设,先后承担在行业10余家企业推广航空信息化最佳实践工作。曾获全国企业管理现代化创新成果一等奖。

在航空制造业向以数字模型为基础、多学科综合协同的新制造模式转型的进程中,建立支持从概念提出

\* 国防科工局科技委研究课题(GF-KJW【2011】10号)资助。

在航空制造业向以数字模型为基础、多学科综合协同的新制造模式转型的进程中,建立支持从概念提出到工程实现的航空研制集成化环境,是关系到航空自主创新和核心能力构建的关键。大型飞机的研制和生产是高端装备制造业密切合作的典范,需要强有力的产业分工体系进行全面有效的支撑。基于一定的国民经济体系和工业体系,在国家航空产业发展战略指导下,航空工业体系,包括航空科研和技术创新体系、航空制造工程体系和基础的航空工业支撑体系决定了航空产业的发展模式和发展前景。

到工程实现的航空研制集成化环境,是关系到航空自主创新和核心能力构建的关键。大型飞机的研制和生产是高端装备制造业密切合作的典范,需要强有力的产业分工体系进行全面有效的支撑。基于一定的国民经济体系和工业体系,在国家航空产业发展战略指导下,航空工业体系,包括航空科研和技术创新体系、航空制造工程体系和基础的航空工业支撑体系决定了航空产业的发展模式和发展前景。本文通过对国际航空界基于价值链建立产业最优能力体系的做法进行初步研究,分析其体系

的关键特征,希望能够抛砖引玉,促进我国航空界在推进大型飞机研制的产业布局设计方面进行更深入的宏观思考。

### 国外航空制造业专业能力体系的特点

航空飞行器研制技术及模式是衡量一个国家科技、工业水平和综合国力的重要标志之一。大型飞机的研制经历了从概念设计、初步设计、详细设计、试制生产到投入使用的漫长和复杂过程。航空客户对飞行器的使用舒适性、环境保护特性,以及

飞行器的运营管理等方面在技术、成本、交付时间上提出了日益严苛的要求<sup>[1]</sup>。

为适应航空工业的发展特点,国外航空行业依据市场的资源最优配置原则,从效率和成本两方面考虑,逐步建立了以建设专业化能力中心为主,强调高度专业分工和完整能力单元建设相结合的产业布局思路,推进在外部生态中和企业内部环境中建立一个个优异中心(也称卓越中心),形成了合理高效的产业分工体系。优异中心(Center of Excellence, COE)在国际航空航天和国防领域逐渐成为一个完整的、针对具有具体航空器等产品对象全生命周期的,综合相关能力、知识和资源,实现流程驱动的新型组织架构。由于这种类型组织的构建方式和运行机制,切合了科研和产业发展的内在需求,逐渐为世界各国航空工业的科研和工业领域所采用。

在航空科研领域,美国联邦航空管理局(FAA)构建航空运输卓

越中心,开展商用太空运输系统(COMSTAC)研究<sup>[2]</sup>。该机构(图1<sup>[3]</sup>)是唯一由联邦机构、大学和工业界研究人员联营的机构,通过共享资源、杠杆资金和汇集人才等方式改善航空业的研究状况。通过COE的方式,FAA将分布于全国的多家研究机构连接起来,发挥各自专业优势共同开展研究工作。

航空运输卓越中心的成员提供来自非联邦机构的配套资金,以巩固与FAA的合作伙伴关系,使COE成为一个独立的国家创新机构。通过这种政府、学术界和工业界的合作,能最大限度地发挥并增强各方面的科技创新能力。目前航空运输卓越中心开展了包括客舱环境、高级材料研究、飞机噪声和废气排放量控制、通用航空、适航保证、管理研究以及机场技术等方面的技术研究。

出于能力单元高度专业化的考虑,欧洲空中客车公司依据产品价值链进行对内、外供应链体系的垂直整合。根据具体业务的划分,空中客

车公司分为三大业务单元:即负责零部件制造的“运营”部门、负责飞机总装的“项目”部门以及负责采办、人力资源、工程、质量和客户服务等的“核心能力”部门<sup>[4]</sup>。

空中客车的“运营”部门过去曾拥有多达16家工厂,经过对核心业务和非核心业务进行梳理,决定剥离5家非核心业务工厂。原属机翼和吊挂COE的英国菲尔顿工厂被出售给英国GKN公司;原属航空结构COE的德国劳普海姆工厂被出售给迪尔/泰雷兹公司;原属航空结构COE的德国诺登海姆工厂和瓦雷尔工厂与原属EADS的奥格斯堡工厂合并为独立的Premium AEROTEC公司;原属航空结构COE的法国米尔特工厂和圣纳泽尔-威利工厂合并成为独立的Aerolia公司。Premium AEROTEC公司和Aerolia公司都是EADS的子公司,他们将作为重要供应商继续为空中客车生产零部件,并参与全球竞争。

空中客车内部的COE,就是“运

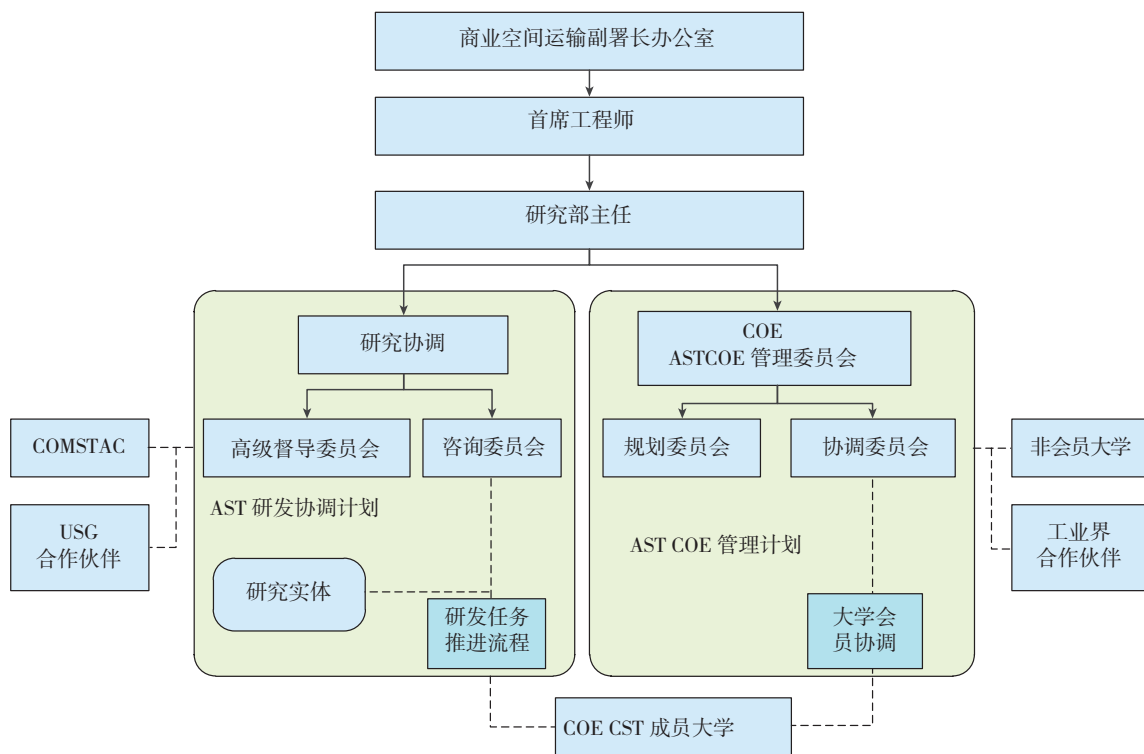


图1 COMSTAC的管理结构



图2 空中客车公司的COE配置情况

营”部门领导下的一系列专业化飞机部件生产组织,其任务是整合制造飞机部件所需的各种功能,这些功能始于零部件设计,一直延伸到质量检测。COE采用了跨国、跨功能的组织形式,这种组织形式可以充分利用空中客车各个工厂的技术、经验和人才。空中客车公司目前拥有四大COE<sup>[5]</sup>,包括机身与机舱COE、机翼与吊挂COE、后机身与尾翼COE和航空结构COE,其中前3个COE负责制造大型飞机部件,而航空结构COE则负责制造机体各部分的小型专用零件<sup>[6]</sup>。具体配置情况见图2。

空中客车COE的工作包括工程和制造两部分<sup>[6]</sup>,通过统一进行部件的细节设计,可以使制造工艺合理化,并确保一种制造技术贯穿于整个制造过程。COE的首要职能是设计和工程工作,负责各种零部件细节设计,例如壳体、框架和系统安装方式。其次COE的需要制造称为“主要部件总成”(MCA)的复杂高科技飞机部件。最后,需要把飞机部件交付给“项目”部门的飞机总装线。

在空中客车的整个产品发展和生产流程中,“运营”部门的上游是“核心工程”部门,负责飞机设计;下游是“项目”部门,负责飞机的总装。通过整合协调各个工厂的工装

和工艺,空中客车使COE管理更加简单而高效。在各个COE之间,以及COE与总装线之间,很多关键的物流运输工作,由空中客车“运营”部门——一个专设的供应链管理部门负责,主要工作包括大型部件的运输,以及通过常规运输方式(陆路和海运)从供应商向COE,或从COE向总装线运输物资。

空中客车公司的专业化中心被业界公认是世界上比较成功的飞机

零部件生产组织形式之一。经过多年调整,空中客车公司的COE架构已经发展成熟,支持了各类最先进的飞机研制和生产。

与此相类似,美国GE公司在航空发动机领域,也开展COE的核心应用。这些COE汇集了GE公司航空发动机关键技术领域最先进的能力和专业知识,依据发动机单元体的划分共设置了风扇和压气机叶片、涡轮叶片、结构件、构件燃烧室、旋转

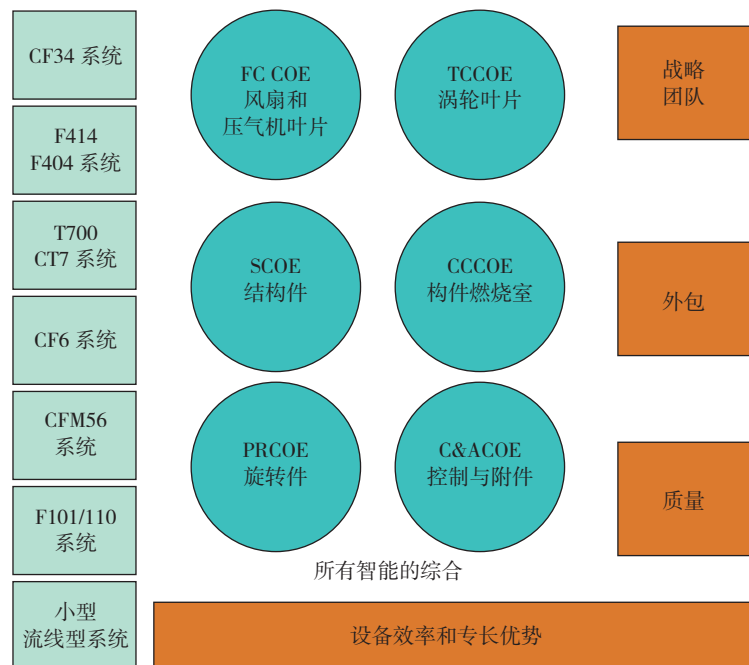


图3 GE航空的发动机产业COE配置情况

件、控制与附件等 6 类 COE, 进行智能化的综合, 以支撑所有的发动机研制项目, 见图 3。

### 先进专业能力体系的工程能力建设

COE 的工作主要包括工程和制造两部分。对于航空 COE 工程能力的提升同样得到各航空企业所在国政府的高度重视。在 COE 内部工程协同环境上, 为不断改进已有产品的性能和推出创新的产品, 需要比以往更快地应用新技术, 降低设计和开发成本, 以及缩短新产品的开发时间。

在美国, 国家航空航天局 (NASA) 在工程设计与管理领域重点推进先进工程环境 (Advanced Engineering Environments, AEE) 项目的研究<sup>[7]</sup>。AEE 旨在研究通过计算和通信系统, 构建连接研究者、技术专家、设计师、制造商、供应商和消费者的集成的虚拟/分布式环境, 保证覆盖产品和工程任务全生命周期设计工作实现自始至终的连续, 从而提高航空企业设计开发复杂新系统、新产品和新工作任务的能力, 极大地缩短产品开发周期和成本。作为协同和分布式框架, AEE 基于 Web、数据与分析的工程环境, 可提供:

(1) 为 NASA 内部提供跨所有中心的集成系统评估能力;

(2) 覆盖更大范围学科领域的工程评价和设计能力;

(3) 技术性能指标数据可追溯性的整体系统架构和技术开发路线。

NASA 又启动了智能综合环境 (Intelligent Synthesis Environment, ISE) 来开发 AEE 技术和系统。ISE 关注集合广泛分布的科学、技术和工程团队, 使其有能力快速地开发出创新的、经济上可承担的产品。ISE 主要包含: (1) 快速综合和仿真工具, 目标为发展先进设计和分析工具。 (2) 成本和风险管理技术, 目标为提

高成本管理和风险管理的能力。(3) 生命周期集成和验证, 目标为简化任务生命周期的集成。(4) 协同工程环境, 目标为在 NASA 的企业中革新工程和科学实践。(5) 彻底改变文化、培训和教育, 目标为革新工程和科学文化以增强创新过程。

在欧洲, 欧盟启动实施了 VIVACE (Value Improvement through a Virtual Aeronautical Collaborative Enterprise, 通过虚拟的航空合作提升企业价值) 项目构建航空研究虚拟的合作环境。VIVACE 是欧盟针对 2020 年航空工业的发展趋势资助的研究计划, 其宗旨是研究在先进的并行工程环境中全面推进建模和仿真方法应用, 来完善设计和优化整个设计过程, 从而构建一个虚拟的合作工

程环境以改善飞机和发动机设计工作。VIVACE 项目最终想实现的目标包括: 降低研制总费用 (从新飞机设计到市场销售) 的 5%, 缩短研制周期的 5%, 缩短飞机交付周期 30%, 以及降低新型发动机研制费用的 50%<sup>[8]</sup>。该项目包括 3 个主要子项目: 虚拟飞机、虚拟发动机和先进能力。虚拟飞机子项目由空中客车法国公司牵头; 虚拟发动机子项目由罗·罗公司牵头; 先进能力子项目由法国 CRCF 研究中心牵头。VIVACE 涉及 7 个关键领域: 设计仿真、虚拟试验、设计优化、业务和供应链建模、知识管理、决策支持以及虚拟企业。VIVACE 主要研究框架见图 4。

从上述例子可以看出, 国外航空界高度重视新型航空飞行器的创新

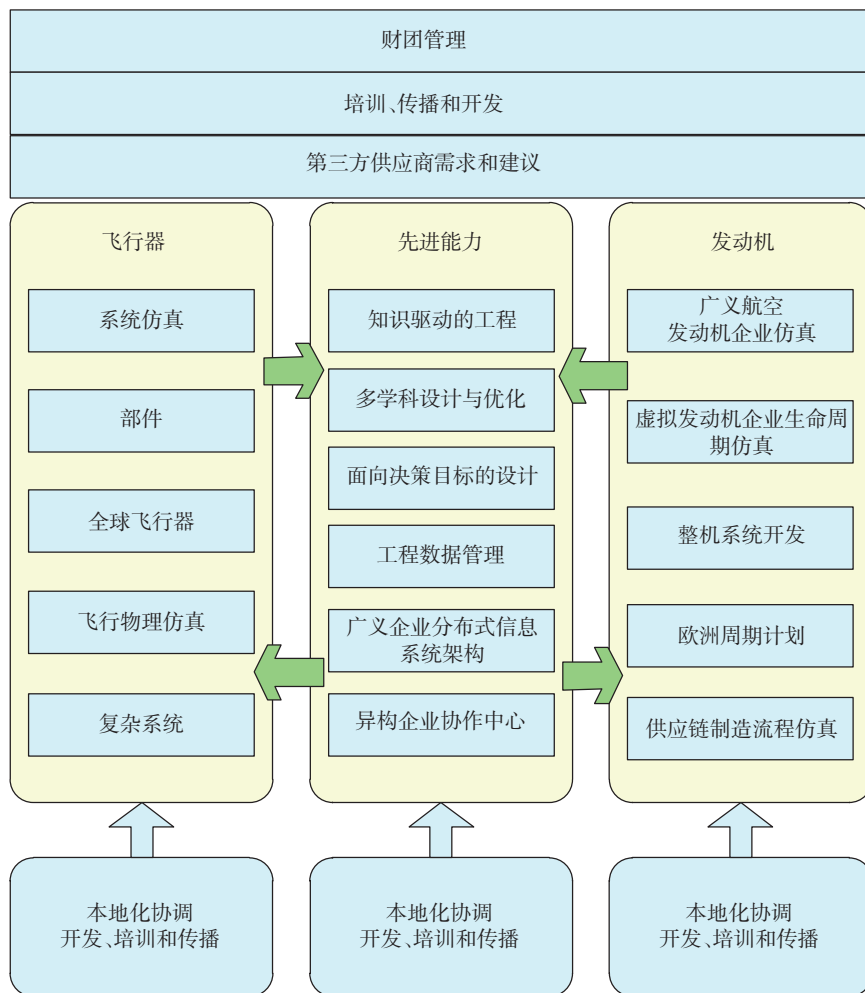


图4 VIVACE计划的航空研究项目分布

方案以及敏捷研制的要求,大力推进满足快速设计、验证和制造优异中心(COE)能力建设的模式。COE研发和工程能力建设是COE专业化发展的关键,并将重点放在虚拟产品开发和协同的环境建设方面,力争通过先进的信息技术应用,实现产品研发的技术成功和商业成功。

## 产业层面的专业能力体系集成

从航空产业宏观层面的集成方面,还可以细分为两个层次。

### 1 基于产品研发和制造的数字化工程协同

为应对复杂的航空产业链协作和工程技术的综合应用,以美国和欧洲为代表的西方航空巨头以主集成商为核心大力推进基于产品研发和制造的数字化工程协同体系建设,并在组织、机制等方面创建了新的技术研究和产品发展模式。特别体现在美国波音公司的波音787飞机和欧洲空中客车公司的A380飞机的研制及其竞争上。在以美、英为首多国联合研制的一机三型的F-35军用战机中,也充分体现了这一特点。数字化工程协同的主要特征如下。

(1)实现航空产品虚拟环境建造。国外航空制造商目前已经建立了完善的产品开发虚拟环境,从虚拟设计、虚拟测试、虚拟制造发展到了虚拟企业;从虚拟部件发展到虚拟样机。波音787项目实现了无物理样机进行产品研制的目标。在对外协同上,波音公司为波音787飞机中应用了基于PLM的全球协同环境GCE(Global Collaboration Environment),覆盖各类内外部供应链。通过GCE提供的应基础架构、门户服务和集成服务等,波音787飞机建立了单一产品数据源,使产品数据畅通而准确地由研制的上游向下游流动,保证各部门数据快速而准确地交换,实现了产品的并行协同设计与制造。

(2)基于COE实现各类数据和流程的整合。A380是空中客车与各大航空公司、机场和适航当局密切合作而共同研制的超大型客机,其具体的设计和制造工作由空中客车位于法国、英国、德国和西班牙的4家子公司共同承担,并且还包含10余家共同承担风险的合作伙伴。为了建立公共的流程和工具,形成单一的数据源,空中客车基于商用PLM平台开发了一套PRIMES(Product Related Information Management Enterprise System)系统,并专门成立了一个多达200多人的跨部门ACE(Airbus Concurrent Engineering)团队来支持PRIMES系统的实施。通过实施Primes系统,沟通了各类COE的数据和流程,实现研制周期比A340缩短25%,成本减少50%,利润增加10%,乘员增加50%的目标,确保了A380的研制成功。

(3)实现全球性协同,进行全生命周期管理。洛克希德·马丁公司主导研制的JSF项目,参与的企业地处30多个国家,跨越17个时区。通过采用了统一的PLM系统,集成了包括需求管理系统、CAD系统、产品设计仿真、可视化工具、标准件管理、制造资源规划系统、车间管理系统、工艺计划、材料管理和后勤保障等系统,保证从用户需求、详细设计、数字样机、生产计划、工艺规程、加工仿真和维修服务等产品数据存放在一个公共的数据平台上,统一管理设计BOM、制造BOM、建造BOM和维修BOM等,从而实现JSF项目降低成本、缩短研制周期、易于维修的目标。

### 2 基于国家层面的航空科研网络协同

COE作为一个科研和工程能力中心,离不开外部的协作。除了在企业层面搭建产品研制信息平台建立全球性协同环境,在国家层面,各航空企业所在国政府不遗余力地通过提供有效的社会资源来支持航

空专业能力体系发挥效用。目前主要的做法是推动航空数字化科研(e-Science)体系建设,就是为企业建立航空科研网络,以便建立航空行业COE的外部生态环境。根据美国科学基金会的定义:e-Science是一种新的科学研究环境,在这种新的研究环境中研究人员能够通过高性能的网络进行先进计算、协同工作、实现数据获取和管理的服务。

e-Science的精髓是基于网络的共享与协作。一方面实现科研设施、信息、人才等的共享,另一方面实现行业的协作,共同完成某一项研究工作。建立e-Science的关键技术包括:基于网络的资源和服务共享技术;科研数据的采集、管理、保存与分析技术;研究对象的建模和仿真技术;虚拟研究团队的组建和协同技术。其中,网格技术几乎是e-Science的代名词,正是通过网格才将e-Science所需的众多技术和资源,如分布式计算技术、网络安全技术、协同工作技术、资源管理技术等集成一体、构成并实现了e-Science。

在欧洲,陆续出现了英国国家网格、法国国家网格和德国网格等。欧洲委员会也出面资助DATAGrid和EuroGrid跨国性的网格项目,为全欧洲的研究活动和工业产品开发提供支持。其中EuroGrid中的CAE网格有效支持空中客车公司开展的飞机研制工作,为空中客车的工程师利用高性能计算设施进行飞行器研制仿真提供了大力支持<sup>[9]</sup>。

## 国外最优能力体系建设的 关键特征

从国际航空产业的探索和实践来看,国外先进的同行建立最有能力体系的主要经验如下。

### 1 基于市场体制建立有利的产业布局

本质上,建立最优能力体系不是企业的最终目标。企业的目标是在为社会创造价值的同时获取合理的

经营利润。这一本质要求决定企业,尤其是处于航空工业的龙头企业(如波音公司、空中客车公司)作为主集成商,进行整个供应链设计时完全是从市场取向的角度出发来考虑的。政府在这方面干预非常少,最多进行合规的引导。空中客车对过去多达16家工厂,根据核心业务和非核心业务的划分原则,决定剥离5家非核心业务工厂,让其与别人合并,后者单独成立独立公司的做法充分说明市场配置是企业进行供应链设计和规划的主要考量因素。包括空中客车在中国天津设立A320总装线都是基于这样的背景进行决策的。

国际航空界最优能力体系布局设计的另一个特点是飞机系统研制生产的高度专业化。飞机系统作为一个独立的商业单元,一大批的跨国公司依据自身的专业优势在提供整体的解决方案,从单纯的机载零部件制造向上游的飞机系统设计生产一体化供应商转变。

在市场体制之外,一些长期的基础研究则依赖国家和社会进行开发。但即便在这样的研究环境中,国家则主要通过国有(含军方)研究机构再次组织大学、科研机构、工业界进行联合研究。联邦航空管理局(FAA)构建航空运输卓越中心(COE)开展商用太空运输系统(COMSTAC)研究就是这种典型的模式。

## 2 基于企业发展阶段进行最优能力体系设计

在企业内部,国外航空企业逐步建立基于能力中心的专业化分工合作体系,是由企业的发展阶段确定的。在企业发展的早期,往往产品型号少、变化慢、产品交付数量不多,并且生产周期较长,企业内部主要是以传统的串行方式进行工作,按工程专业划分的车间和生产线基本能够满足企业的管理要求。

在两大航空巨头逐步占据行业高端,产品型号和数量空前增长,应

用的新材料新工艺愈加复杂的情况下,用户对产品交付质量和交付周期日益严苛的背景下,要想提高飞机制造水平,必须按产品大的部件和系统来进行产品制造体系的重新设计,通过大幅度增加研发制造设施的柔性,来实现高度专业化的制造工作分工,从而有效地提高自身的制造能力,消除能力瓶颈。

企业内部的最优能力体系设计最大的转变是研发生产的一体化,除总体的概念设计和方案设计由专业的产品研究部门来做之外,零部件的设计和试制生产则主要靠各个专业的COE来做。

## 3 最优能力体系的运行和集成,信息化至关重要

无论是在产业格局的供应链整合和设计,还是内部最优能力中心的建设,信息化的作用至关重要。在产品布局上,主集成商通过建立基于产品型号的全球性协同研制环境,有效地利用了全球性的技术资料、资本资源和人力资源,构建起虚拟企业。在内部最优能力中心(主要是COE,也包括COR)建设,大量地应用基于数字模型设计和工程仿真手段,力图实现信息流、资源流和过程流的有序流动。

为保证这种最优能力体系的运行,国外政府大力推进了基于数字化科研(e-Science)体系的航空网格体系建设,欧洲建立的网格为空中客车提供强有力的超算能力就是一个较好的证明。

## 结束语

近年来,在国际航空先进飞行器研制中无论从宏观行业层面到微观产品设计、验证和制造环节都充分体现了数字化技术的综合应用。以提升航空制造业核心竞争力和支持航空飞行器创新设计、敏捷研制为出发点,从深度和广度上研究数字化技术在航空飞行器研制过程的各个应用

层面的方向和趋势,值得我们关注的是:

(1)从产业政策层面,关注未来先进航空飞行器研发在航空产业的宏观协同和能力环境建设,制定国家层面在推进产学研一体化协作方面的政策。重点引入数字化科研网格的概念,提出构建促进航空产业创新、大幅度缩短航空产品上市时间、提高航空行业生产率的航空产业创新体系。

(2)从体制机制创新层面,建立新一代航空飞行器协同研制的模式、工具、方法和流程,提供基于国家和区域的云计算基础设施,建立协同研制COE的组织模式和协同机制。

(3)从信息化推进产业发展层面,构建完整的数字化的应用体系,提出从新型航空器的需求定义开始,直至设计、制造、交付以及运营服务全过程、全业务和全价值链完整的数字化应用环境。

## 参考文献

- [1] 范玉青,梅中义,陶剑.大型飞机数字化制造工程.北京:航空工业出版社,2011.
- [2] 党亚茹,李雯静.美国航空业科技创新体系分析.科技管理研究,2010(3):176-178.
- [3] FAA. [http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ast/advisory\\_committee/meeting\\_news/media/2011/may/Davidian.ppt](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ast/advisory_committee/meeting_news/media/2011/may/Davidian.ppt).
- [4] 马援.解读空客COE—访空客执行副总裁杰拉德·韦伯. <http://www.cnnnews.com.cn/2009/0526/1970.html>.
- [5] Proven concept in manufacturing final assembly line, multimode transport Airbus. <http://www.airbus.com/innovation/proven-concepts/in-manufacturing/>,2012.
- [6] Airbus.AviationKnowledge. <http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:airbus>.
- [7] 美国“机械工程”环境研究.机械工程学报,2004;40(8):1-6.
- [8] 欧盟Vivace研究计划之宏伟目标. <http://www.dsti.net/Information/News/45300>.
- [9] <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/rn/eurogrid-alessandrini-250303.ppt>.

(责编 良辰)