

基于协同环境的大型飞机 研制流程

Research Flowchart Based on Collaborative Environment for Large Aircraft

北京航空航天大学 陶 剑 范玉青



陶 剑

北京航空航天大学博士研究生,主要从事飞机数字化协同研制技术、数据集成及产品全生命周期管理的研究。

随着全球经济一体化进程的不断加快,市场竞争日趋激烈,数字化、网络化、信息化技术飞速发展,企业竞争的重点不再仅仅是产品本身,而是已经转移到企业组织结构、运营机制等流程上来,因此飞机研制方式也正在从以产品为中心向以过程为中心的模式转变。由于大型飞机的研制具有集成性、分布性、异构性和协同性等特点,是一个复杂程度高、协

同难度大的系统工程,所以建立协同工作环境就成为航空制造企业的必然选择。

同难度大的系统工程,所以建立协同工作环境就成为航空制造企业的必然选择。如何在协同环境下对飞机的研制流程进行有效管理和协调,如何改进研制流程才能充分发挥协同环境的优势,是航空制造企业亟需解决的问题。当前国内企业基本都是对产品的设计、制造、仿真中某个单项流程而不是飞机一体化研制流程进行分析和优化。本文依据波音公司全球协同环境(GCE)和空客公司多场所协同工作方法(COSITE)的思想,提出协同环境下大型飞机研制一体化流程的概念,并对协同环境与一体化流程的相互关系进行了深入研究。

协同环境

数字化、网络化和信息化加快了产业变革的步伐。集成化、智能化、全球化、网络化、虚拟化和绿色化是

未来制造业的主要发展方向。建立异构条件下的协同工作环境,使得异地的专家知识和资源在协同环境中能够交互和共享,才能保证研制任务的顺利完成。

1 定义

信息化社会中工作的特点是群体性、交互性、分布性和协作性。20世纪60年代,德国理论物理学家赫尔曼·哈肯发表《协同学导论》一书,正式建立了协同学的理论框架。同时,网络技术的发展,给协同科学的研究和应用提供了有力的支持。

协同环境指在网络环境(包括Internet、Intranet和Extranet)中,在时间和空间异步或同步的情况下,能有效地支持跨学科的专家群组的协同工作,实现不同领域的数据、信息和知识能实时、准确的共享和交互的一个虚拟工作空间。其特点如下:(1)多主体性,活动是由同/异时空

的 2 个或 2 个以上不同领域知识的专家群组协同完成；(2) 协同性，利用网络通信和冲突检测等技术保证所需信息的可交互性、一致性和并行性；(3) 可变性，活动涉及的专家、专业领域和结构模式都是灵活的、动态的。

2 结构的模式

大型飞机研制需要分布在不同地域或部门的具有不同领域知识的专家群组协同完成，构建一个有利于企业内部和企业间协同的工作环境，使分布在异构时空上的各种资源能得到实时协调和交互是一个关键问题。协同环境的结构模式将直接影响协同工作的能力、效率，以及可管理性。

协同环境的结构模式，如图 1 所示，可以分为以下几类：一是集中式，它是一种集中控制的体系结构，资源的共享和交互由一个实际的或虚拟的集中控制系统完成，当前国内大多航空制造企业都采用这种结构。二是离散式，参与业务活动的主体不分主次，并且主体之间都存在信息通道，信息分布在各个活动主体之内，没有集中的数据与知识库；三是分布集成式，是波音公司采用的一种集

中式与离散式相结合的先进模式，由主要专家或专家组组成分布式的体系结构，而专家组所属专家采用集中式的体系结构，通过对主要专家或专家组的控制完成资源的共享和交互。

波音公司从 1995 年就开始使

型、工艺计划、生产制造和服务支持的全过程。其实现的是全面的产品数据管理。从 2004 年开始，波音公司准备在新一代商用飞机 B787 研制中建立分布集成式的全球协同网络环境。它是波音公司和达索公司的

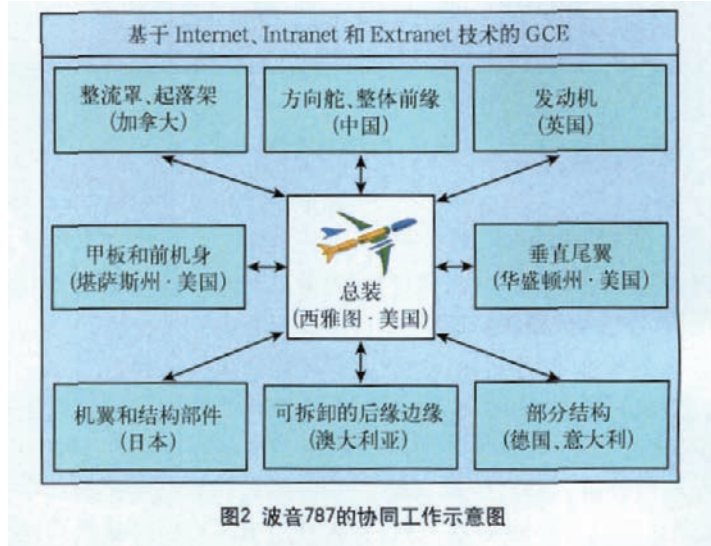


图2 波音787的协同工作示意图

用 10 年时间并花费 10 亿美元来建立其覆盖全球的产品数字化网络系统 (DCAC/MRM 系统)。飞机构型定义、控制和制造资源管理 (DCAC/MRM) 系统是以 PDM 技术为支撑，以单一产品数据源 SSPD 为基础，以精简作业流 TBS 为主线来组织和管理整个波音飞机公司的飞机设计构

共同创建的一个称之为全球协同环境 (GCE) 的虚拟工作平台，它和大型飞机研制流程密切相关。分布于世界各地的分包商在这个平台下协同地对 B787 进行设计和制造，如图 2 所示，它执行的是一个由波音公司和分包商联合对分解为 13 ~ 17 个大模块的 B787 飞机进行概念和初步设计，再由分包商对各模块进行单独的详细设计和制造，最后分包商将这 13 ~ 17 个大部件交付波音公司进行总装的过程。通过数字化、网络化改造后的大型飞机研制周期从原来平均的 12 年 (协和号 20 年，A380 是 15 年) 缩短为 8 ~ 10 年，可见 GCE 的出现将使大型飞机的研制进入一个新时代。

当前我国航空制造企业的设计或制造基本都是在单位内完成，要想高效地设计、制造出大型飞机，建立覆盖全国 / 全球的分布集成式协同环境来发挥各合作单位的优势，这是我国自主开发大型飞机的必然选择，也是世界航空制造业的发展方向。

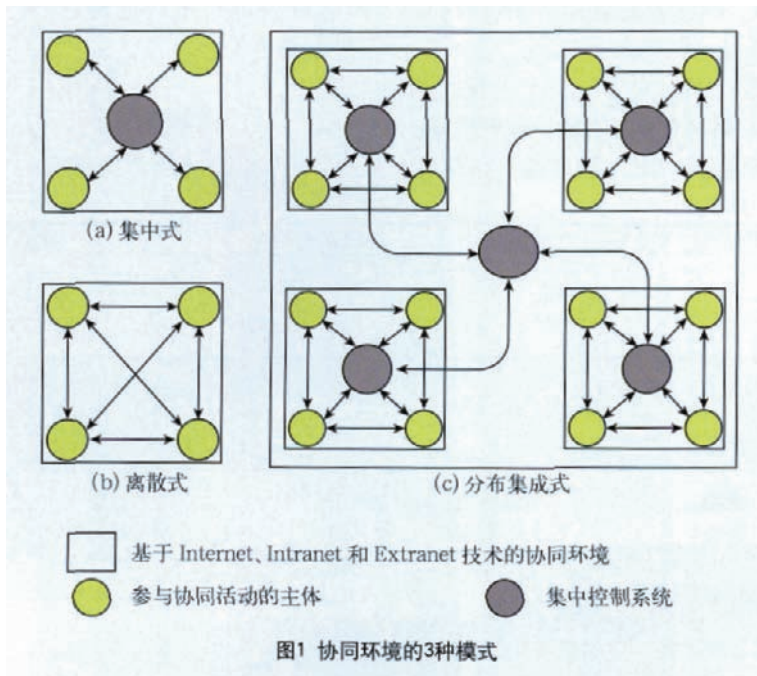


图1 协同环境的3种模式

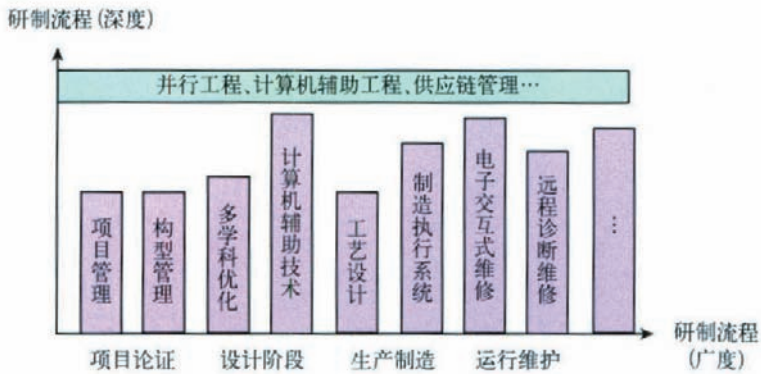


图3 飞机研制流程的分解

研制流程

任何企业的存在,都是为顾客提供有价值的产品或服务。企业为此所进行的各种有序活动,就构成了流程。信息技术的发展,协同环境的建立,促使飞机制造业必须对现有流程进行理解、分析、诊断和改造,淘汰或重新设计不适合现代化研制要求的流程,提高飞机的研制效率和质量。

1 理解流程

理解流程就是对现有流程有一个高着眼点的总览,其主要任务是对数字化协同环境中进行的新机研制过程有透彻的分析和理解。分析流程的详细结构;研究现有流程是为何种需求而建。为此我们将飞机研制流程从广度和深度进行分解,如图3所示。它主要包括:以飞机研制过程为主的业务流程(广度)、以及项目、数据管理和构型控制和计算机

辅助工程技术流程(深度)等。图4所示的就是从飞机研制广度的角度对业务流程的详细分解以及在流程中相应的里程碑的划分。

2 流程诊断和分析

流程诊断和分析是介于理解流程和改造流程之间的一种工作,流程诊断的目的就是要把流程中的里程碑找出来。里程碑是对研制流程中一定阶段内所要达到的重要事件、措施进行控制,并将研制流程和产品数字模型成熟度结合在一起的一个中间对象,只有符合里程碑要求的数字模型才能进入下一流程,以此来保证研制流程的有效性和畅通性。里程碑的判断标准就是它的变动能否大幅提高企业的生产效率和经济效益,如果是,则它就是流程的里程碑,反之则不是。

里程碑分为2种:(1)宏观的角度上一体化研制流程中的里程碑。它们大都属于产品数字模型成熟度

阶段性控制审查的关键点。如图4中的M0~M14。(2)微观角度上具体零部件设计、制造流程中的里程碑。它们属于对具体零部件设计、制造和维护等流程中零部件成熟度情况的审查控制的关键点。里程碑的划分和作用是会随着技术条件和流程本身的发展而不断变化。在全球协同环境建立前,初步设计和详细设计基本都在一处完成,M6只是作为检查评审里程碑。而在全球网络协同环境下,由于在M6处要将初步设计等一系列方案提交给分布在全球各地的分包商并授权项目启动,所以M6就成为一个飞机研制一体化流程的关键性里程碑。

对现有流程的分析能使设计者对流程的各个方面都有一个非常详细的了解,无论新流程是在现有流程基础上建立与否,它都是建立一体化流程的一个重要步骤,但是它也会产生2方面的问题:一是需要花费大量的时间对现有流程进行分析。二是在流程分析中会产生大量的文档、报告等资料。同时对于现有流程的过度分析,也会使自己难以跳出原有的流程模式。这就要求我们在流程分析中对所花时间和整理的资料进行适当控制,做到有主有次,适可而止。

流程改造

流程改造就是考虑现有的技术

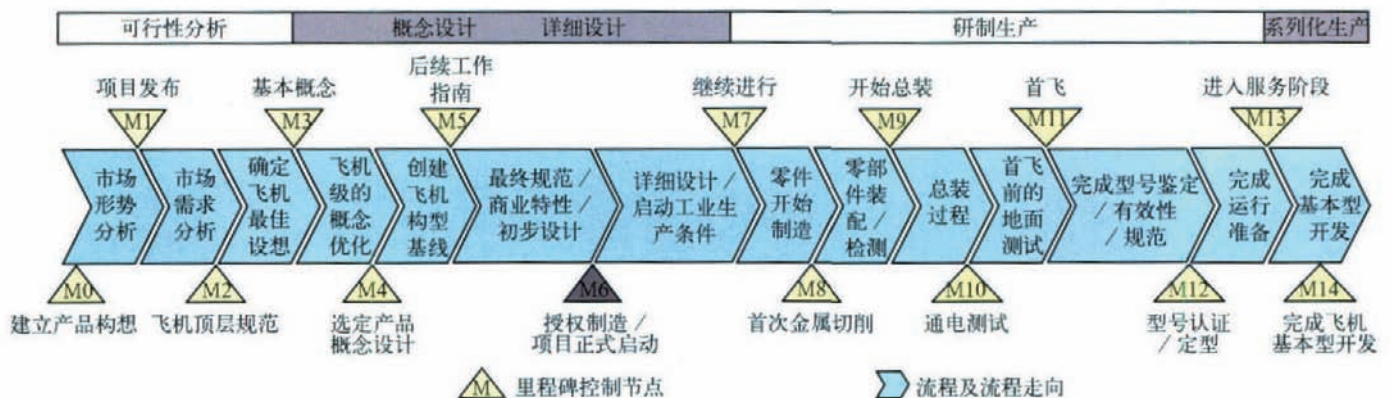


图4 业务流程(广度)中的关键点和里程碑

水平以及现代化设计、制造理念与模式,以提高绩效为目的,对现有流程进行重新规划。它分为渐进式和重组式,渐进式是在现有流程基础上创建新流程;重组式是不以现有流程为起点,重新创建新的流程。渐进式的优点是风险低,对企业正常运作影响小,缺点是仍以现有流程为基础,难以达到预期的效果;重组式的优点是抛开现有流程羁绊,效果显著,缺点是要对组织进行彻底变革,风险高,对企业正常运作影响大。

1 协同环境建设

协同环境是人们协同工作的一个虚拟的数字化平台,它的建立首先是要实现组织职能方式的转变。传统的组织模式都面向职能,而现代企业的组织模式要求面向流程,流程的变化造成员工工作方式、地位和管理模式的变化。这是一个只能在强有力的领导带领下,建立一群以各专业专家为主的、可以动态变化的集成工作团队,经过对企业组织模式和职能划分进行坚持不懈的努力改造,才有可能实现。组织职能方式能否转变是决定流程改造成败的最主要因素。

其次,协同环境也要依靠网络和数字化技术,依据流程所要完成的任务选择相应的、能够实现流程功能的数字化技术,并使这些单项技术朝着飞机研制过程、企业业务流程集成的一体化方向发展,实现概念设计、初步设计、详细设计、工程分析、制造、生产和测试等流程信息在不同的软件平台上的存储、处理、传递,最终将分布于世界各地,存储于不同地域服务器的一体化流程信息集成为一个有机的整体,从而达到系统有序组织飞机研制流程的目的。在全球协同工作环境中对一体化研制中核心的构型、功能分析、建模、制造和装配流程分别使用适合这些流程任务特点的数字化产品,并通过建立逻辑相关

的单一产品数据源和支撑集成的系统模式(计算机网络、数据库、集成平台/框架和协同等子系统)来保证全球协同环境内的工作流、物流和信息流的通顺流畅和相互联系。

2 理念与模式

数字化和网络技术发展速度的加快,技术成果扩展的加速,迫使企业进行流程改造的时候必须从设计、制造的理念和模式方面进行革新,从而提高企业的研发和创新能力。当前对流程改造有重要影响的理念和模式包括:计算机集成制造、并行工程、精益生产、敏捷制造、大批量定制和虚拟的动态企业联盟。它们都是在市场竞争的需求中不断发展和演变而来的,正确地理解和合理地使用这些理念和模式对于提高流程改造的质量和效率,都具有重要影响。根据波音公司的一项统计,全部飞机研制总成本的80%在设计阶段就已经被决定了,所以在早期的设计阶段增加少量(1%~2%)的投入,可以大幅降低研制总成本(超过25%)。并行工程正是针对这种需求在产品研制领域提出的解决方案。美国国防分析研究所的定义是:“并行工程是对产品及其相关过程(包括制造过程和支持过程)进行并行、一体化设计的一种系统化的工作模式。这种模式使开发者从一开始就考虑到产品全生命周期(从概念形成到产品报废)中所有因素,包括质量、成本、进度和顾客需求。”它具有如下特点:

- 产品研制各阶段并行的工作;
- 通过建立产品协同设计组(IPT)形成集中式的产品协同设计过程;
- 客户和供应商都参加到产品设计过程中。

并行工程的具体实施就是设计员工作开展到一定程度后,将完成的阶段设计提交给制造工程师和相关的工作组,开始协同设计。相关的IPT或AIPT人员根据需要,对设计

进行质疑、审查,并在模型上进行标记,向相关设计员反馈意见。通过并行工程使得流程的信息在协同环境下得到交互并实现协同工作。在某项目中通过实施并行工程并对飞机研制流程进行改造,可使得飞机研制流程的周期缩短30%,成本降低50%。

现有层次式的管理结构和厂所分离的飞机研制模式是我国航空制造企业建立协同工作环境和进行流程改造的最大障碍,不实现设计所与制造厂之间,以及厂所与合作单位之间真正意义上的全面协同工作模式,就不可能真正实现现代化的大型飞机研制流程,所以建立协同工作环境和对现有飞机研制流程改造是航空工业面临的一个急迫问题。没有一个良好的协同工作环境,就不可能有真正的大型飞机研制一体化流程;反之,没有现代化理念与模式的一体化流程,协同工作环境也无法发挥其优点。

流程改造实例

1 应用案例

图5和图6分别是传统模式下结构分析和设计的流程和现在的基于多学科协同优化的现代设计流程,所谓多学科设计优化(MDO)方法是一个概念设计的系统方法,它通过研究复杂工程系统和子系统交互影响协同的作用,运用数值计算来进行多学科问题的分析、综合权衡和求解选优的方法。其实质就是系统综合分析、设计优化方法和数字化技术相结合。在协同环境下进行的多学科优化的现代自动设计流程从根本上改变传统结构分析和设计流程结构,主要表现在:

- 组建包含供应商在内的多学科集成工作团队;
- 建立协同工作平台(集成的数字化环境,和分布式门户网络系统),实现数据、信息的及时、准确地传递

与共享;

• 将串行的开发方式改为由多学科团队并行进行设计的方式,并设立相应的里程碑;

• 建立飞机结构的数字化设计模型/评估模型,并且参数都可以在模型与模型之间交换;

• 由多学科团队来对模型进行多学科的数字化仿真和有限元分析(而不是由供应商单独进行);

• 对分析和仿真的结果进行计算机辅助优化(CAO)计算,直接提交给供应商最优的设计。

多学科设计优化方法在国外已经有10年以上的应用历史,并已经取得了显著的成果。GE公司的GE90涡扇发动机在设计中应用该方法后,每台发动机减轻重量90~112.5kg,节约材料和制造费用约25万美元。

2 评估方法

飞机结构与分析流程是一个非常复杂的过程,对复杂、动态业务过程的描述和仿真一直是研制过程建模的重点和难点,而Petri网则是解决这个问题的有效工具。

基于Petri的模型主要从3方面简化结构和分析流程:(1)层次性。

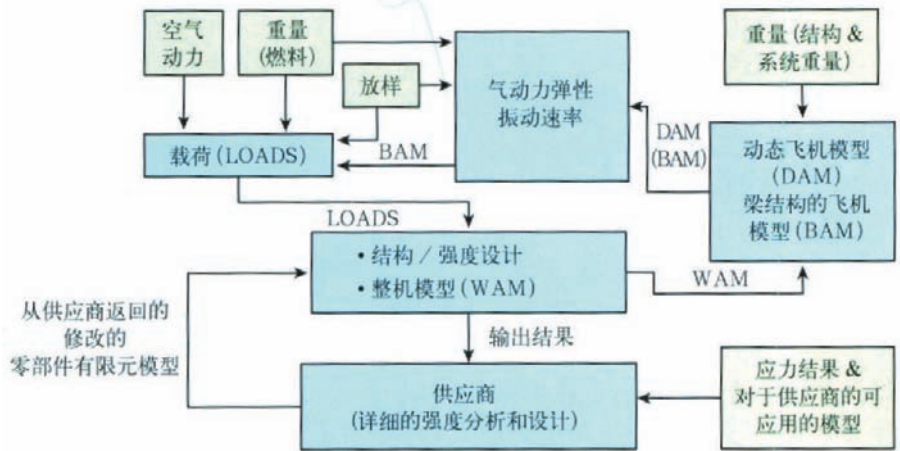


图5 传统的结构分析和设计流程

按照总体最优原则,先提取研制过程中的核心流程,构成顶层Petri模型,然后逐一分析顶层模型,展开相应子模型。层次化可使产品研制过程并发、交互地进行,消除设计中不合理的部分。(2)并行性。集成协同开发的主要特征就是并发,实质都是通过增加小循环(并行)次数来减少大循环(出错返工)次数,尽早发现和解决问题,提高产品的开发效率。(3)状态控制。包括2方面控制,一个是宏观的研制全生命周期各个基线的控制,一个是微观的构型项的各个具体状态的相关信息控制。其目的是从总体上把握大型复杂产品的

数字模型完成情况,为控制基线的制定提供依据;建立构型管理和控制规则,确保能够获得数字模型的完整技术描述。

建立良好的研制模型是提高结构与分析效率和质量的关键。利用Petri网对复杂过程关系表达的能力,将人员、工具、时间、费用等有关研制效率和经济效益的资源信息引入到模型中进行量化工作,进一步增强过程模型的分析与优化的支持能力。

结束语

工业经济向知识经济转变是当今世界经济发展的主流,信息化浪潮更是以巨大的力量改变着当今的人类社会。企业只有及时学习和吸收新的理念和模式并调整工作方式,才能适应新的经济形势发展要求。数字化、网络化技术为实现全球协同环境下大型飞机研制的一体化流程提供了坚实的技术基础,但在实际使用中仍然面临诸多问题。因此,仍然需要对协同环境和一体化流程关系进行进一步研究,并结合实际工作不断加以完善,随着《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的发布和自行研制大型飞机项目的实施,中国自己的协同环境下大型飞机研制一体化的流程体系终将实现。

(责编 钟元 依然)

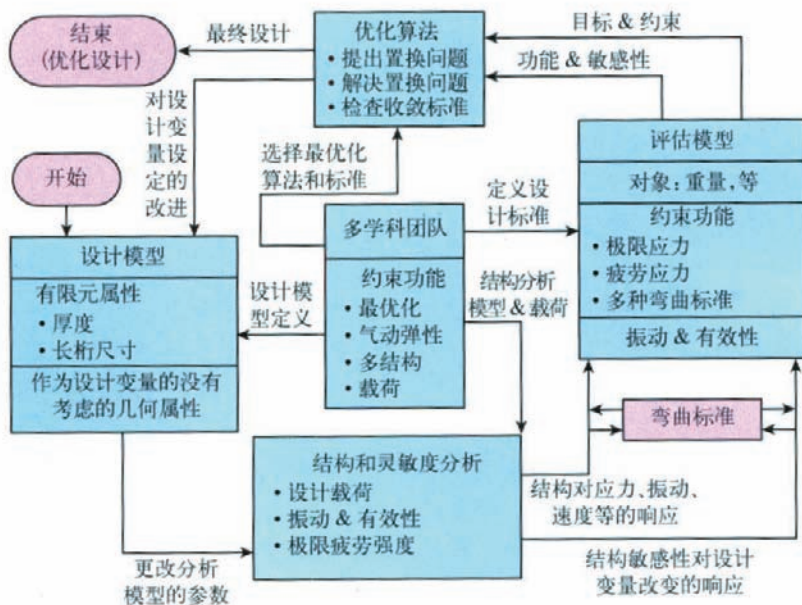


图6 基于多学科协同优化的现代设计流程