

飞机研制协同设计与敏捷管理 内涵研究及实践

Study on Connotation and Application of Cooperative Design and Agile Management in Aircraft Development

中航工业第一飞机设计研究院 董亮 刘看旺 刘俊堂



董亮

博士,工程师。现就职于中航工业第一飞机设计研究院,主要从事系统工程、需求管理、数字化设计与制造等技术的研究。

在竞争全球化、科学技术飞速发展的背景下,现代飞机研制面临着前所未有的挑战,如研制周期更短、效益更高、功能更全、性能更优等,而实际上每个新型飞机的问世都是技术和管理进步的综合体现。为应对这种挑战,越来越多的航空制造单位把协同设计、敏捷管理理念应用于飞机研制中,并由此衍生了大量的使能技

术,使得飞机研发从人员组织方式、研发环境、设计手段等各方面得到了极大的创新和发展。如在人员组织上,洛克希德·马丁的“鼯鼠工程队”、波音的集成产品开发团队(IPT),空客的飞机部件管理团队(Aircraft Component Management Team, ACMT)等;而在研制环境上,波音构建了用于支持波音787飞机研制的全球协同环境(GCE),空客构建了用于支持飞机研制的空客并行研制环境(ACE),国内在某大型飞机研制中构建了数字化协同环境(DCE),在不同层次满足了协同设计、敏捷管理的要求,而大量的数字化研制技术也围

绕协同、敏捷理念的应用而生,如全三维设计、关联设计、模块化设计、构型管理、成熟度定义等,但这些研究集中于单点技术的突破和实践,尚未形成完整的技术体系,而对于协同设计与敏捷管理的内涵缺少深入研究。为了更好地研究协同设计和敏捷管理技术体系,本文研究了该技术的内涵,并介绍了其实践情况。

协同及敏捷的概念

1 协同与协同设计

协同是协调2个或2个以上的不同资源或个体,以协作模式完成某一目标的过程或能力。1971年德国

科学家哈肯首先提出协同思想,认为自然界和人类社会的各种事物普遍存在有序、无序的现象,一定的条件下,有序和无序之间会相互转化,无序是混沌,有序是协同。

协同设计是为了完成某一设计目标,由2个或2个以上设计主体通过一定的信息交换和相互协同机制,分别以完成不同设计任务的形式共同完成同一设计目标^[1],其特性有以下几点^[2]:

(1)群体性:针对某一设计任务,通常由2个或2个以上的设计人员组成一个设计群体,群体中的各参与人员通常处于不同的地理位置,并且他们各自具有完成一定任务的能力;

(2)共同性:协同设计参与人员具有共同的总设计目标,他们在网络化协同设计环境下完成各自的设计任务;

(3)动态性:协同设计参与人员可以随设计任务的完成情况动态地参与或退出设计活动,协同设计的组织形式是灵活可变的;

(4)分布性:协同设计是在计算机网络的支持下分布地进行的,可以充分利用各种资源;

(5)交互性:协同设计各参与人员需要进行信息、资源、操作等交互,交互的方式有同步和异步2种;

(6)协同性:协同设计具有一种使各参与人员协同完成共同设计目标的机制,包括通信协议、通信结构、冲突检测、冲突仲裁等。

2 并行的概念

并行常和协同并列使用。通常并行指并行工程,它的定义最早出现在1988年美国国防分析研究所的R-338报告中:并行工程是集成、并行设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程和支持过程)的系统化方法。该方法要求产品开发人员在设计开始就考虑产品整个生命周期的所有因素,包括质量、成本、进度计

划和用户要求。因此并行工程的核心是围绕全生命周期产品模型的协同设计。

3 敏捷与敏捷管理

敏捷性是成功地影响、应对和/或利用各种情况变化的能力,其目的在于成功地保持目标对象在状态空间中的地位或保持令人满意的性能,敏捷管理具有以下特性^[3]:

(1)响应性:按响应模式分为主动敏捷性与被动敏捷性。主动敏捷性指主体能够及时响应和/或进行预测,并在发生变化前采取措施。被动敏捷性指目标对象在有限的变化范围内,不做任何事情而保持其本身的稳定状态;

(2)多能性:也称鲁棒性,目标对象在完成新的或有重大变化任务时,其性能或效能达到可接受水平的能力,即目标对象保持状态稳定的能力;

(3)灵活性:目标对象为完成规定任务提供了多种途径,当某种响应措施无效时,使目标对象能够采取另一种相应措施,而非死守一种无效的、不可行的响应措施;或者抢先采取响应措施;

(4)弹性:为目标对象提供一种能力,使其在遭受破坏或面对混乱的环境时,能够部分地修复、更换、修补或重构丧失的能力或性能。如冗余组件、超额容量、容错设计等;

(5)创新性:当目标对象面临新的情况,没有现成的、适当的相应措施时,能够生成完成某项任务的新手段或新途径;

(6)适应性:当目标对象面临新使命时,其自身性质或其确立的组织或过程不足以担负这种使命,目标对象能够改变自身的结构、组织或过程,从而变得更适应于这种挑战。

敏捷在产品研制中既是一种能力也是一种特性,而对于企业层面而言,敏捷性指企业可重构(Reconfigurable)、可重用(Reusable)、

可扩充(Scalable)地响应市场变化的能力,即RRS特性^[4]。敏捷管理是从企业管理、产品研制的角度体现敏捷特性,其主要内容如下^[5]:

(1)集成的产品与过程管理:对产品和过程进行管理,为企业管理层决策提供支持,使企业设计、订货、生产计划与动态管理、制造和供应链的动态建立,成为有机整体;

(2)决策支持:对产品研制过程实现全自动化决策支持;

(3)模型与仿真技术:敏捷制造系统是离散事件动态系统,而且是大系统,多目标,难以获得最优解,因此,模型与仿真技术是重要的决策支持与管理技术;

(4)敏捷组织管理:对技术策略联盟、虚拟组织等动态分析与建模,组织建立与管理等;

(5)敏捷合作关系管理:对资源、风险/利润管理等;

(6)经营业务过程重组:对企业的业务流程适应敏捷化的调整技术;

(7)成组技术:对相似资源的聚类分析和统筹管理调配技术。

4 三者之间的关系

协同设计、并行设计及敏捷管理是根据协同、并行及敏捷等概念对围绕产品研制提出的不同技术手段和方法论,他们的关系见图1,可描述为:并行设计是一种协同,协同设计和敏捷管理统属敏捷制造(广义制造概念,含设计、加工、装配、试验、服务等)。

(1)并行设计是一种协同。

并行设计是相对串行设计而言的,是集成化、并行地设计产品及其

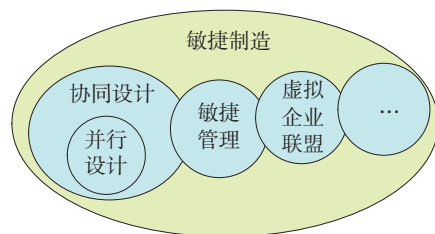


图1 并行设计、协同设计及敏捷管理的关系

相关过程的系统化方法。其本质是通过组建由多学科多专业人员组成的集成开发团队(IPT)、并改进与重组产品设计过程来取得产品的“时间—质量—成本—服务—环境”(TQCSE)综合效益的方法。

并行设计在产品设计阶段尽早考虑产品寿命周期中各种因素的影响,全面评价产品设计,以达到设计中的最优化,最大限度消除隐患,因此涉及产品整个生命周期的各个不同部门的专家必须协同工作。其实施的背后是流程的重构,也是不同设计主体及其活动之间的协同,设计主体之间仍存在上下游之分。因此,并行设计本质上是一种协同,是产品研制周期内的多学科的集成、也是多学科的协同。

(2) 协同设计与敏捷管理同属敏捷制造。

敏捷制造^[5-7]是“敏捷性”综合体现的制造概念,以快速满足客户的需求、实现客户利益为目标,以共同获利和合作双赢(Win-Win)为理念,它利用计算机网络和远程通信技术把分散在不同地理位置和不同能力的企业结合在虚拟组织中,并把虚拟组织先进的柔性生产技术和高素质的人员进行全面集成,从而使企业能够从从容应对持续多变的市场环境,以获得预期的经济效益。它是一种以提高企业敏捷竞争力为核心的产品研制模式。

协同设计是实现敏捷化产品研制的重要方法和手段。敏捷化产品开发的工作方式是计算机支持下的群体协同工作^[8-9],敏捷化产品开发与计算机支持的协同产品开发是相互包容的^[10]。通过协同设计,实现产品设计质量的最优、设计周期的最短、设计所需资源配置的最优,这些都是敏捷特性的体现。

产品研制组成要素的维度

产品研制是协同设计与敏捷管

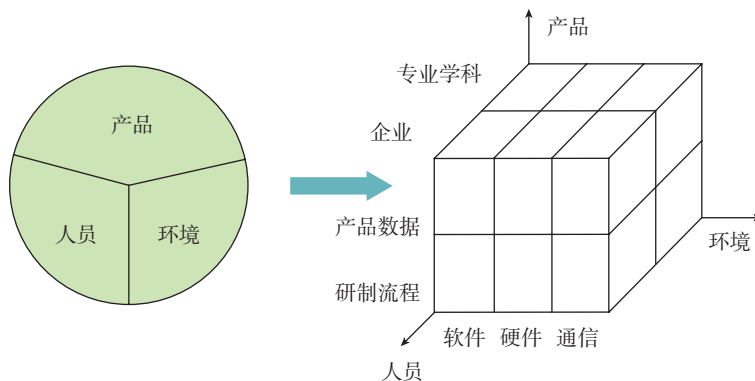


图2 产品研制的维度及元素组成

理的服务目标。组成产品研制要素可以分为3个维度^[11]:产品、人员、环境,每个维度包含不同的组成元素,见图2。

人员是产品研制各项活动的执行者。人员维度包含专业学科、企业2个元素。专业学科对应产品研制不同专业的人员组织机构。企业要素对应不同的产品研制主体,通常由不同的专业学科组成。对于飞机来说,通常由不同企业、不同专业学科协作完成研制。

环境是产品与人员之间发生联系的中介,环境维度包含:软件、硬件和通信3个元素。软件和硬件是支持产品研制流程中各类研制活动的工具,通信是实现软硬件间、各项研制活动间、人员间等交流的手段。

产品是最终目标交付物,人员、环境元素都围绕产品展开,产品维度包含产品数据和研制流程2个元素。产品数据是飞机研制过程形成的各种数据,包含图样数据、技术文件数据、设计资源数据等。研制流程是飞机设计过程应遵循的流程约束,如设计流程、管理流程等。

飞机协同设计与敏捷管理

在全三维研制模式下,协同设计和敏捷管理在各种数字化平台和先进技术的支撑下,以分布资源(如设计者的知识、经验和技巧,各种设备、制造数据库等)为基础,围绕自顶向

下的研制流程,在组织上利用集成产品开发团队进行产品快速研制的技术。

1 飞机协同设计

1.1 飞机协同设计的定义

在全三维数字化环境下,飞机协同设计利用计算机技术、多媒体技术和网络通信技术,支持集成产品开发团队的协同工作、交互协商、分工合作、共同完成飞机设计流程。它支持异地异步、工作相互依赖的协同成员的协同工作。横向表现为多学科之间的协同,以实现研究过程中的阶段性任务;纵向表现为产品全生命周期内各个阶段的协同。

1.2 按产品研制组成要素划分协同

根据协同的对象,将协同设计从产品研制组成要素的维度可以分为产品维度的协同、人员维度的协同、环境维度的协同3个方面。

1.2.1 产品维度的协同

(1) 产品设计数据协同。

在协同设计中,所有设计者面对的是同一产品的信息模型。由于同一信息源在不同的设计环境中描述不尽相同,不同的设计成员出于不同的需要,对信息的使用方式也有差别,因此,存在不同设计者之间的设计信息的协同。主要的设计信息类型有:

①图样数据,指二维图样、三维模型、产品结构、EBOM/明细表等描述零组件几何特征及相关信息的数

据;

②技术文件数据,指技术/管理类数据文件;

③设计资源数据,设计资源数据为型号设计提供基础数据和辅助信息,标准件数据、成品附件数据;其他设计资源数据,如金属和非金属材料属性数据等;

④其他工程数据,数据库数据、计算机程序数据及多媒体数据等。

(2) 产品设计过程协同。

将一完整的、复杂的任务分解成完全独立的子任务是不现实的,也是不必要的事情。设计者所承担的子任务间存在的关联性决定了设计活动必须按一定的顺序协调一致地进行。飞机研制中的常见的流程有工作流程、数据审批/发放过程、工程更改流程等。流程可传递、记录、跟踪与控制工作过程信息。

1.2.2 人员维度的协同

人员组织协同程度反映了协同的规模,这种协同的最大难点在于管理水平不高和职工各方面的素质不平衡,这些主要由企业通过文化、制度等建设来加强。

(1) 专业学科间协同。

专业学科间协同是一种纵向协同,体现了并行工程的原理。这种工作模式使得开发者从一开始就考虑到产品生命周期中的所有因素,尽可能保证产品设计、工艺设计、制造的一次成功,从而缩短产品开发周期,提高质量和降低成本。根据并行工程原理,通过计算机网络将产品寿命周期各个方面的专家,甚至包括潜在的用户都集中在一个工作环境下协同工作。

(2) 企业间协同。

企业间协同是一种横向协同,体现了敏捷制造原理下的企业间动态联盟。它适应了现代企业向专业化方向发展的趋势。这种协同方式的应用难点在于企业间没有找到很好的合作模式,靠电话和邮件的协同已

经不能满足效率、管理和质量控制的要求。同时,企业的核心数据不能展现给对方,这就要解决企业间的安全互相认证问题,或者通过企业间各自模型的关联关系来达到协同研发的目的。

通常人员组织协同的横向、纵向在具体设计过程中没有严格区分,常常是相互交织在一起,即动态设计联盟采用并行的设计过程,设计团队是企业内外专业人员的组合。

1.2.3 环境维度的协同

协同设计是跨部门、甚至跨企业的活动行为。不同部门、不同企业的设计环节存在差异,并且这种异构的设计环境随着设计的进程是动态变化的。所以,异构设计环境的集成是协同设计系统的另一重要内容。产品研制环境是协同实现的基础,分为3个方面。

(1) 软件工具协同。

不同设计者所使用的设计工具不完全一样,同一设计者也可能使用多种设计工具。协同设计应提供这些设计工具的管理方法。应用软件间的协同程度体现在它们在平台上的集成度,相互之间的数据管理和关联关系,如数据、模型快速转换和管理等。

在系统结构上同步协同比异步协同技术复杂得多^[12],主要难点是软件系统在网络环境下的互操作,因此目前传统的CAD和PLM系统主要支持异步协同,在同步协同方面存在不足。而协同设计一般以异步协同为主、同步协同为辅。

由于航空产品研制涉及企业多、地域分布广、产品特点丰富多样,不同企业有不同的信息化建设要求,而企业信息化建设的不均衡形成了协同设计时的同构和异构系统。系统协同有3种情况^[11]:

①单一企业同地同构环境:设计制造协同环境属同地同构设计,设计协同均在企业内的协同平台上完

成;

②多企业异地同构环境:在产品研制流程、数据共享、单一数据源上按照协同规范约束实现系统支持下的设计业务协同;

③多企业异地异构环境:一般支持松散的协同方式。

通过异构系统的专用接口或中性接口,在模型共享、分系统接口间的提供协同支持,但是难以实现互操作,也无法实现同步协同。

(2) 硬件环境协同。

硬件的协同,难点在于各企业的硬件都是各自为政,有的满负荷运行,有的空闲,需要有强大的调度机制实现硬件间的协同,以解决硬件资源的合理分配。随着云制造技术的进步,借助云制造服务平台,可实现各类硬件资源的协同共享。

(3) 通信手段协同。

异构环境下设计者之间的通信是包含知识处理机制的通信。通信过程的协同包含对不同的知识理解以及表达方式之间的转换等协调工作。实现信息系统各维度不同的组成元素间的协同有各自相应的通信方式和手段,而这些通信手段也有一定程度上的协同要求。通信协同的手段有私下协商、纸质文件传递、电话、邮件、视频会议、实时聊天、数据推送、协同组织工作规范等。

1.3 按照飞机研制阶段划分协同

飞机研制是一项复杂的系统工程,现代飞机研制要求周期更短、性能更优、功能更全、效益更高,这意味这在飞机研制全过程都需要充分实现协同,才能充分发挥各个参与主体的优势,减少飞机研制中的各种风险。因此,围绕飞机研制过程的特点,分为以下“六大协同”:

(1) 工程项目管控协同:支持对各参研单位及项目管理要素集中统一管理,包含项目管控、设计管控和制造管控等;

(2) 方案优化设计协同:以飞机

方案创新设计为目的,通过流程协同、工具协同、数据协同和人员协同等手段,实现飞机总体、强度、结构、系统等专业方案的多轮迭代和多学科快速优化,实现飞机方案整体最优化;

(3)关联设计协同:以飞机电子样机的快速设计为目的,通过总体、结构、系统等专业间的全三维关联设计及可配置数字样机的有效管理等,这是飞机详细设计各专业间的协同;

(4)设计制造协同:以飞机的快速研制为目的,通过全面实施覆盖全研制的工程协同、管理协同、沟通协同,这是以设计制造一体化为特征的企业间协同;

(5)试验试飞验证协同:以飞机设计、试飞验证的同步进行为目的,通过设计数据与试飞数据的共享管

理,实现了设计工作与测试改装、空台改装的并行,实现对机上关键系统、设备试飞数据的实时监控,实现了设计、试验试飞的企业间协同;

(6)综合保障服务协同:以飞机平台、使用维护知识、维修保障资源等协调互动为目的,通过四性设计、仿真分析、管理协调支持的集成,为飞机使用、训练和维修等提供统一、规范、全面的支持服务,这是研制方与使用方的企业间协同。

这些协同围绕飞机研制阶段的推进是一种面向飞机研制全过程的、基于数字化技术、多厂所、多层次一体化协同研制模式。

2 飞机敏捷管理

2.1 飞机敏捷管理的定义

飞机敏捷管理是在保证传递数据准确性和一致性的前提下,实现

各个研制阶段的流程快速定义、各级成熟度数据的管理及快速发放、各设计阶段数据的敏捷更改和设计数据的重用和共享,从而达到研制过程中各个业务管理的敏捷化。敏捷管理的成效体现在时间上,以尽可能短的时间和尽可能高的效率来完成研制任务,目标是缩短型号的研制周期。

2.2 按产品研制组成要素划分的敏捷管理

飞机研制中的敏捷管理是以飞机协同设计为前提的,也是为了实现更高效、更灵敏的研制模式,敏捷管理的对象是飞机研制中的产品数据、研制流程、专业学科、企业、软件环境、硬件环境、通信等研制要素。

(1)产品研制协同的敏捷。

产品研制协同程度反映了协同

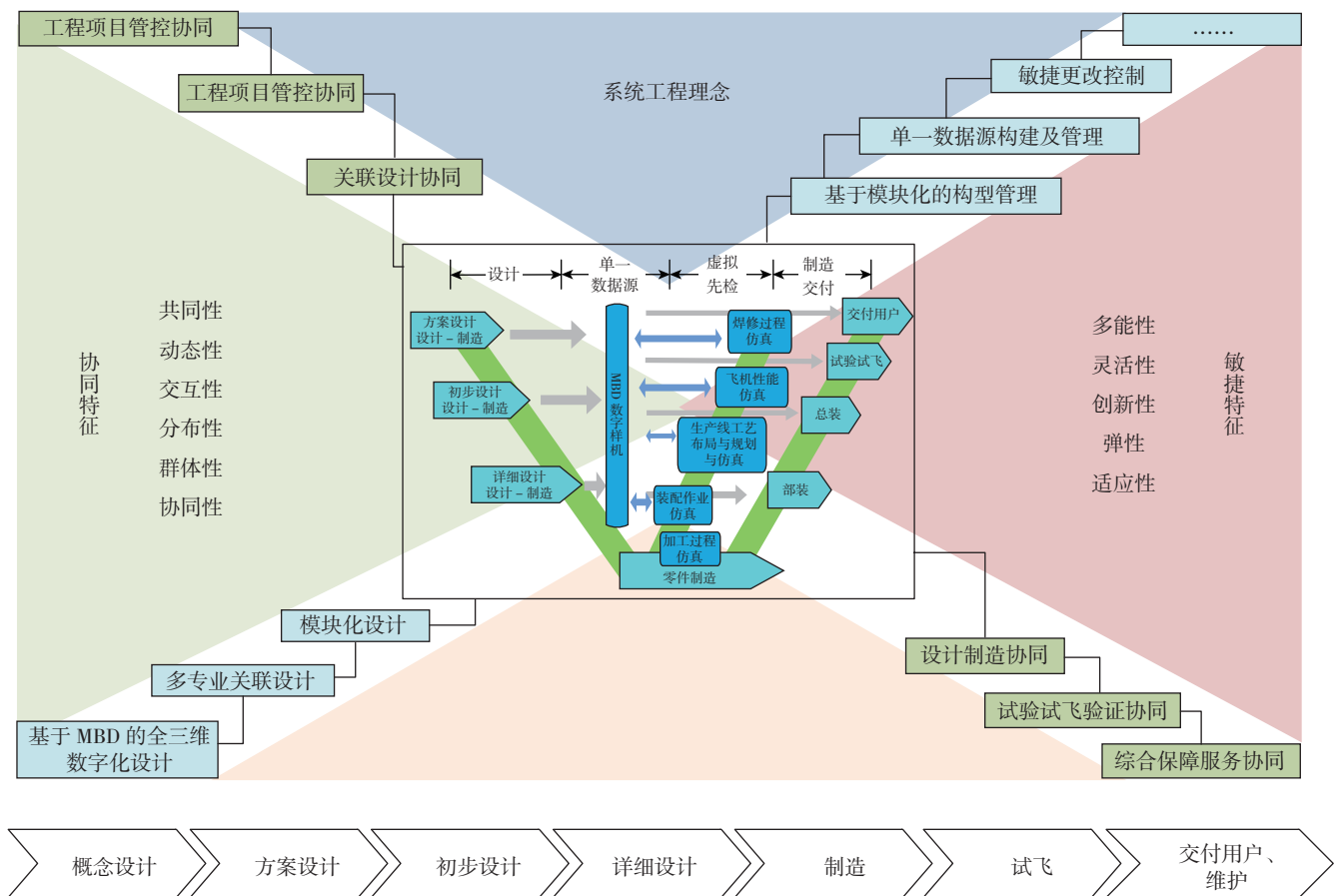


图3 协同设计与敏捷管理的在飞机研制中的应用

的深度,即产品研制团队快速、高质量、低成本研制产品的能力。包含的管理技术有需求管理、项目管理、多级样机产品数据管理、仿真数据管理、实验数据管理、测试改装数据管理、单一数据源技术等,涉及的设计技术有多学科优化设计技术、全三维设计技术、关联设计技术、模块化设计技术、系统综合设计等。

(2) 人员组织协同的敏捷。

人员组织协同程度反映了协同的规模。人员组织协同的敏捷,需要对研发组织结构进行变革性调整,将传统管理模式、管理思维方式上以专业技术为中心的组织架构,转变为产品快速研制、面向客户服务的组织结构。同时,应当结合企业情况和项目特点,建立矩阵式柔性项目组织机构,确保组织的弹性、柔性、快速响应性、灵活性等。

(3) 研制环境协同的敏捷。

研制环境协同程度是产品协同研制。研制环境协同的敏捷要求统一平台架构、统一设计工具、统一设计资源库、分布网络协同、面向协同的通信手段等。

飞机协同设计与敏捷管理技术的实践

在某基础预研课题中,围绕飞机协同设计与敏捷管理进行了深入的技术研究和应用实践,对基于 MBD 的全三维数字化设计技术、面向总体、结构、系统等专业的关联设计技术、基于模块化的产品技术状态管理技术、面向并行协同设计的成熟度定义及控制技术、协同设计流程驱动与控制技术、面向 MBD 全三维模型的更改控制技术等关键技术进行了研究,构建了协同设计与敏捷管理平台,并在某型飞机机翼研制中进行了应用。应用表明,这些技术在提高飞机研制质量、缩短研制周期、降低研制成本取得了良好的成效,如对某型飞机机翼进行设计时,使得机翼一轮

设计迭代周期由 32 天缩短至 9 天,迭代效率提高了 72%。

通过技术研究和推广应用^[13-15],将工程项目管控协同、方案优化设计协同、关联设计协同、设计制造协同、试验试飞验证协同、综合保障服务协同等机制按照研制阶段的发展有序推进,将全三维设计、关联设计、模块化设计、并行设计等设计手段高度融合,将面向 MBD 全三维模型的单一数据源构建方法、构型简化控制方法、敏捷更改控制方法、流程驱动控制方法等管理手段有机结合,见图 3,全面提高飞机研制的数字化应用水平,实现飞机研制过程的高度协同和敏捷。

随着研究的深入,课题组对协同、敏捷理念有了更深入的理解:一方面,当前研究针对飞机工程试制阶段,而随着数字化向飞机研制生命周期两端的延伸,协同设计和敏捷管理相关技术也应相应的深化和扩展,如方案创新设计、强度快速校核、综合服务保障等领域的深入应用;另一方面,协同与敏捷理念和集团公司当前推进的基于模型的系统工程(Model Based System Engineering, MBSE)理念有很多交叉的地方,应用系统工程方法,可以再更大程度优化、改造了飞机研发业务,把协同设计与敏捷管理技术推向更加高的应用层次。

结束语

在飞机研制过程中,处于不同层次、不同阶段的设计活动是在时空上分布的,如何实现这些时空上分布的设计活动的协调及信息的实时交互是缩短产品开发时间、提高产品设计质量的关键。飞机研制协同设计与敏捷管理的实现依赖大量数字化技术的应用,它将飞机研制推向一个全新的阶段,全面缩短产品研制周期,提高产品质量,降低研制成本,提高企业的竞争力。通过本文的研究,对

二者的定义及技术范畴进行了阐述,为协同设计和敏捷管理技术体系的构建奠定基础。随着研制方法和数字化技术的不断进步,协同设计和敏捷管理也将会被赋予更加丰富的内涵。

参考文献

- [1] 潘云鹤. 智能 CAD 方法与模型. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] 章伟华. 基于需求建模的产品配置实施关键技术及其在电梯产品中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [3] Alberts D S. 闫红伟, 宋荣, 译. 敏捷性优势——复杂企业和复杂努力的生存指南. 北京: 兵器工业出版社, 2012: 124.
- [4] Object Management Group. The common object request broker: architecture and specification, 1995.
- [5] 苏金流. 敏捷企业集成基础结构中的若干关键技术研究[D]. 上海: 上海大学, 2008.
- [6] 王细洋, 杨卫平, 王有远. 敏捷制造: 内涵与关键. 南昌航空工业学院学报, 1999, 13(1): 1-7.
- [7] 真彤, 祁国宁, 吴昭同, 等. 敏捷制造的总体技术研究. 计算机集成制造系统, 1999, 5(3): 1-10.
- [8] 张威. 面向企业协同设计的若干关键技术研究[D]. 北京: 中国科学院计算技术研究所, 2000.
- [9] Turner R. Agile product development: good process and bad attitude. Lecture Notes in Computer Science, 2002(2559): 134-144.
- [10] Kussmaul C. Agile product development: lessons from industry. Education that Works: The NCIIA 8th Annual Meeting. NCIIA, 2004.
- [11] 王志亮. 复杂产品敏捷化开发中若干关键决策技术的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.
- [12] 莫蓉. 航空复杂产品协同设计的几个基本问题. 航空制造技术, 2009(11): 51-55.
- [13] 刘俊堂, 刘看旺. 关联设计技术在飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2008(14): 45-47.
- [14] 刘雅星. 飞机并行协同研制模式与支撑技术在飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2010(18): 77-80.
- [15] 刘俊堂, 张永辉. 三维设计推动飞机数字化研制技术的全面应用. 航空制造技术, 2012(6): 38-41.

(责编 深蓝)