

飞机研发中的精益设计与敏捷管理

杨伟¹, 赵锁珠²

(1. 中国航空工业集团公司 成都飞机设计研究所, 成都 610041)

(2. 西北工业大学 航空学院, 西安 710072)

Lean Design and Agility Management of the Aircraft Research and Development

Yang Wei¹, Zhao Suozhu²

(1. Chengdu Aircraft Design and Research Institute, Aviation Industry Corporation of China, Chengdu 610041, China)

(2. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

摘要:本文针对传统飞机设计和研发管理方面存在的问题,提出了精益设计与敏捷管理的观点。首先对精益设计与敏捷管理的内涵和关系进行概述;然后从飞机研制中的物理设计和试验,系统、软件设计和试验,多学科优化设计,产品数据管理,协同设计等方面提出了提高飞机精益设计的主要手段;从战略、组织、技术、管理、文化等方面阐述了提高敏捷管理的主要做法;最后以研究所为例,概要阐述了精益设计与敏捷管理的应用及实施效果。

关键词:精益设计;敏捷管理;数字样机;模型基;优化设计;协同设计

中图分类号:V211.7

文献标识码:A

Abstract: Aiming to solve the problem during the traditional aircraft design and the management of research & development, Lean Design (LD) and Agility Management (AM) were proposed in this paper. Firstly, the contents and relationship between LD and AM were presented; Secondly, in one hand, some major methodologies to improve LD of aircraft were obtained in terms of the physical, system software design and experiment, multidisciplinary/cooperative optimization design and the management of product data; in the other hand, some valuable measures to improve the AM were presented as well in terms of tactic, organization, technique, management and culture. Finally, the effect of LD and AM was carried out and presented by applying to a research institute.

Key words: lean design; agility management; digital mockup; model-based design; optimization design; collaborative design

引言

中国航空工业集团公司成都飞机设计研究所(简称中航工业成都飞机设计研究所)建于1970年,主要从事飞机型号总体设计和航空航天多学科综合研究。近年来,研究所以自主创新飞机全生命周期研制过程为主线,在设计、试验、管理及其集成方面,形成了覆盖面广、渗透性强的飞机精益设计与敏捷高效研发管理体系,标志着我国飞机研发水平有了质的飞跃,提高了我国先进战斗机自主创新能力和核心竞争力。

1 背景

1.1 承担新军事变革对我国航空武器装备需求的神圣使命

航空工业是战略性产业,关系国家经济命脉和国防安全。立足于自主研发是我国国防科技发展的基本战略定位。武器装备的领先属性和竞争特征,决定了竞争对手对我国实行严密的技术封锁,只能把发展的基点放在提高自主创新能力上。

航空工业面临的态势:一方面积极应对世界新军事变革,研发高性能的航空武器装备,适应国防装备现代化建设的需要;另一方面利用信息技术提高快速响应能力,缩短航空武器装备研制周期,降

低成本,以提高武器装备自主创新能力和竞争能力^[1]。

1.2 面临国际竞争和航空技术快速发展的挑战

20 世纪 90 年代,美国为了在预算减少的情况下保持军事工业的优势,将武器制造系统进行柔性化处理,保存其核心部分,以便在战争时期能够迅速生产出高质量武器。在这种背景下,相继制定了精益飞机研制计划和敏捷制造技术战略计划。

进入 21 世纪,航空科技正孕育着一场重大的变革,新概念飞行器、新结构、新材料、新系统等前沿技术的突破,特别是以信息技术为代表的高新技术的普遍应用和深度融合,具有一体化、信息化、综合化和智能化的显著特征,航空武器的性能将会进一步提高,一些新的航空武器也将投入使用,从而使未来的装备体系更加完善。目前已发展到工程化成熟程度,对提高装备作战和使用效能发挥了巨大作用,对影响飞机研制进度、周期、质量和投资等关键要素,提供了综合解决问题的重要途径;对研发的组 织形式、工作流程,以及研制过程各阶段的评价、控制和决策提出了新的要求。

2 精益设计与敏捷管理的内涵和关系

发达国家在高度重视航空先进技术研究,提高精益设计能力的同时,大力推进敏捷研发管理体系

建设,实施信息集成,快速领先和抢占市场。把握飞机产品跨学科知识集成、跨企业组织管理、用户定制、特殊的研发流程等特性,必须赋予飞机研发新的理念和内涵,提高自主创新飞机设计的综合能力。

2.1 飞机设计自主研发精益设计的内涵

精益设计源于“精益生产”,“精”指的是少而精,不投入多余的生产要素;“益”指的是有效性,所有的活动都产生价值。所谓“精益设计”,便是采用最有效的方法,以最低的成本(C)、最高的质量(Q)、规定的时间(S)、创造出尽可能多的价值来满足用户的需求(P),同时尽可能积累研发经验,即 PSQC^[2,3],如图 1 所示。



图 1 精益设计

精益设计的目的是加快流程速度,降低研制成本,提高研制质量。表 1 中的精益设计技术路径所列出的项目是实现精益设计的技术和管理层面的措施。

表 1 精益设计

| 目的 | 精益设计(原理) | 精益设计(技术路径) |
|----------|--|---|
| 减少延迟 | <ul style="list-style-type: none">寻找信息,等待试验结果不必要的文档,报告物理试验样机 | <ul style="list-style-type: none">组织结构的变化研制程序定义,标准化,模板化文档数字样机及仿真技术 |
| 设计再利用最大化 | <ul style="list-style-type: none">学习过去的设计经验减少不必要的设计特征从来没有使用,完成或发布的设计 | <ul style="list-style-type: none">知识工程,企业规范,设计指南产品需求管理,用户沟通和参与设计项目的启动和决策及柔性设计 |
| 提高效率 | <ul style="list-style-type: none">深度应用设计知识制造误差或缺陷的早期确认 | <ul style="list-style-type: none">知识管理和数据管理设计验证制造一体化综合集成 |
| 减少缺陷 | <ul style="list-style-type: none">差的设计减少保证性条款 | <ul style="list-style-type: none">虚拟产品开发(技术体系)基于仿真、验证、设计工具优化的设计流程(技术体系) |

2.2 飞机设计自主研发敏捷管理的内涵

适应飞机型号研制任务使命重大、研制周期

长、技术风险突出的特点,采用虚拟化、数字化和动态仿真等先进设计手段,实现强调人、技术、组织管理有机高效协调,优化研发业务流程,建立对新技

术发展变化和市场需求的敏捷响应机制,提高自主创新飞机设计敏捷研发水平。

2.3 精益设计与敏捷管理的关系

敏捷高效研发管理体系的技术基础即为精益设计,二者是相互依存、相互支持,密不可分的,只有融为一体才能发挥最大的作用,如图2所示。



图2 精益设计与敏捷管理的关系

传统的飞机设计基于弱的数字化设计能力,采用逐级推进的设计流程,依赖于各设计阶段物理样机和物理试验来为结构设计和制造建立依据。影响飞机研制进度、周期、质量和投资的关键因素,主要是设计的错误和过程输入参数的等待。常见的问题有几何不协调、系统功能或性能达不到指标要求等,这种设计的更改和反复,往往导致费用增加和周期延长。由于研制过程是串行的,有些问题只能等到飞机实物制造出来后,在试验、试飞中验证才能显露,这就增加了工程的风险性,不利于提高敏捷研发的管理水平。

精益设计的原理是用基于知识驱动设计,提高过程效率,同时减少设计缺陷,使研发管理更加敏捷化。

3 飞机研发中的精益设计

3.1 精益设计的基础与实践

3.1.1 精益设计的基础

近年来,许多创新概念逐步进入工程设计界,如:计算机辅助设计/制造/工程/工艺/创新(CAX);虚拟产品开发(VPD);并行工程(CE);虚拟现实(VR);基于知识的工程(KBE);面向对象(O2);统一建模语言(UML);产品数据管理(PDM);综合产品和过程开发(IPPd)等,为精益设计提供了坚实的基础。

3.1.2 精益设计的实践

精益设计的主要业务模式:(1)自顶向下设计,

自下而上综合。设计时,自顶向下,先是飞机一级,再到部件、系统一级,最后到成品一级;生产、试验时,自下而上,形成快而有效的研发机制;(2)多学科大综合,循环迭代优化。对飞机研发涉及到的多门学科(空气动力学、飞行力学、结构、强度、载荷、飞行控制、液/气/机电、雷达、武器装备等)综合设计优化,并在飞机型号研发过程不同阶段(方案设计、初步设计、详细设计、制造综合、试验验证等)进行循环迭代优化,形成通而便捷的设计体系;(3)复杂系统工程,众多单位协同。主设计单位内部、主机所与主机厂、主机所与分承包商、主机所与主机所等众多单位,进行协同设计或制造,形成广而有序的研发体系,飞机研制协同如图3所示。



图3 飞机研制协同

3.2 基于数字样机的虚拟飞机研发

从设计方法、设计流程和技术项目管理等方面,中航工业成都飞机设计研究所建立了适应先进飞机精益设计的整体解决方案。

在飞机设计过程中,建立起几何数字样机(定义了零件的形状、大小、装配关系等几何信息),功能数字样机(能够完成规定的功能)和性能数字样机(利用计算机辅助工程,能够完成规定的功能,并进行相应的工程计算),便于飞机构型控制、设计人员协调等,同时,让用户在飞机还没有研制出来就能看得见、感觉得到。

在飞机设计的初始阶段就开始数字仿真和数字试验,把实物试验转变成对少数设计点的验证和制造工艺的考核,不仅保证了工程进展,也减少了试验的工作量,节省了经费。

精益设计的目的是加快流程速度,降低研制成本,提高研制质量。采用数字化设计制造技术可以缩短研制周期,提高设计质量,降低研制成本,便于构型控制^[4]。仅以某型飞机为例,由于采用了数字化设计制造技术,设计周期缩短了40%,制造周期缩短了70%,制造过程中因设计错误和不协调原

因引起的更改和返工减少了 75%，结构骨架和大部分装配基本实现了无修装配，同时，由于所有的文档、图纸皆为计算机文件，对今后改进改型提供了极大的便利^[5]。

3.3 模型基的系统设计仿真与综合

前文所述“数字样机”技术主要应用在飞机研制的物理设计中(如总体布置、结构设计、气动设计等)。相对应的，在飞机研制的系统、软件设计中则使用“模型”基的系统开发模式。

如图 4 和图 5 所示，“模型”基的系统开发模式与传统的“V”型系统开发模式有两个主要的区别：其一、每个阶段用各种模型将设计思想固定下来，并把模型作为下一个阶段设计依据。在需求分析阶段建立需求模型，在系统分析与设计阶段建立系统性能模型，在基础的硬/软件设计阶段则实现上述模型的要求。其二，在设计过程中增加小的迭代，减少大的迭代。在需求分析阶段和系统分析设计阶段就对模型进行测试，以期尽早发现问题，确定合理的设计思路。防止了将早期设计中的问题带入测试阶段，尽力避免对需求分析和系统分析设计的颠覆性修改。

比起传统的“V”型系统开发模式^[6]，“模型”基的系统开发模式可以有效的减少由于设计不完善

造成的对初始设计的大规模修改，从而缩短系统设计周期，提高设计质量。

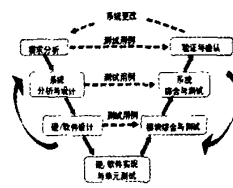


图 4 “V”型系统开发模式

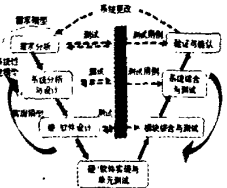


图 5 “模型”基的系统开发模式

3.4 跨领域的多学科协同/综合优化设计

在飞机系统研制过程中，进行跨阶段(方案设计、初步设计、详细设计、制造综合、试验验证等)、跨领域(总体设计、结构设计、气动力及载荷、机械电气系统、飞行控制系统、航电武器系统、系统试验仿真等)的综合优化设计。

在飞机系统设计与仿真能力上，采用先进数字化技术，将这些系统原理的数字化设计与系统物理试验进行结合，形成独特的物理或半物理试验仿真系统，重点是飞行控制系统、航空电子与武器需要、液压系统、燃油系统、电气系统、飞机机电系统公共管理系统等，为主要系统的设计和验证提供了高效可靠的综合数字化基础设施，在型号研制中发挥了重要作用，如表 2 所示。

表 2 CAE/仿真主要项目

| 序号 | 专业或项目 | 主要研究/实施内容 |
|----|--------|--|
| 1 | 总体设计 | 在设计各阶段的总体性能分析和评估 隐身、性能、重量、人机工效、可靠性/维护性分析等 |
| 2 | 气动力及载荷 | 不同阶段的气动力及载荷分析，重点是方案设计阶段的气动载荷预估及局部气动力的精细分析 |
| 3 | 结构设计 | 在方案/初步设计阶段的多方案快速设计及方案综合评估 |
| 4 | 机械电气系统 | 液压、环控、救生、燃油、电气、电源等系统的设计、分析与总体、结构和数字样机有机结合 |
| 5 | 飞行控制系统 | 飞机飞行控制的设计、分析、仿真 与总体、气动载荷及相关系统等软件的集成 |
| 6 | 航电武器系统 | 航空电子综合设计、分析和仿真评估 武器系统综合设计、效能分析和仿真评估 与总体及相关系统等软件的集成 |
| 7 | 系统试验仿真 | 以仿真或半仿真试验取代部分物理试验(系统原理性试验) 建立系统仿真试验所需的数据库和知识库 |

3.5 多属性的数字化产品数据管理

传统的管理方式，设计时产生大量的要求文

件、技术文件、计算报告、二维 CAD 设计图纸、三维 CAD 数学模型、试验报告等。存在的问题：当多人并发设计时，数据难以共享、状态难以控制；异地时

情况更糟。解决的办法就是采用数字化产品数据管理方式,其特点为:(a)统一产品数据源,(b)便于数据共享(本地、异地);(c)便于配置管理(构型管理);(d)便于审签流程控制;(e)统一浏览器查看产品及部件属性;(f)是生产的依据;(g)是并行工程的基础。

3.6 跨地域的数字化协同设计环境

飞机研发活动的重要特征是研发周期长,性能品质要求高,协作配套关系复杂等。飞机研制技术开发流程和管理流程互相渗透和交叉,飞机设计研究所既要总体、结构、系统等技术进行深入研究,又要完成全机的系统集成。

(1)主机所内部的协同

采用统一的数字样机建模环境,实现多专业的样机协同建模与数据共享。具体表现为:(a)数字样机的空间分析、干涉检查;(b)运动机构定义与仿真;(c)维护(维修)性检查;(d)人机工程分析;(e)EBOM的生成与发送。

(2)主机所与主机厂间的协同

具体表现为:(a)工艺设计审查;(b)设计问题处理;(c)产品数据管理,研究所到工厂的数据发放;(d)制定协同设计与制造的技术和管理规范等。

(3)主机所与分承包商、主机所与主机所之间的协同

主机所与分承包商、主机所与主机所之间的协同正在建立过程中。

3.7 突破精益设计和可重构虚拟研发关键技术

精益设计和可重构虚拟研发关键技术如下:一是随着建模与仿真技术的发展,产品的精确度与真实性已经从各个专业的设计方法变化中体现出来,在虚拟样机仿真系统,包括人机工程设计系统,专业设计与试验仿真系统,以及飞机各功能系统的虚拟试验和仿真系统;二是精益设计平台对产品协同设计的支持能力,包含管理体制,技术体系,多厂所协同产品开发的模式与具体协同技术,基于数字样机的协同开发环境,协同设计数据交换与管理规则等方面;三是产品生命周期的质量控制与管理,包含产品研制全过程的产品技术状态管理,成品管理、产品故障管理,产品交付和使用服务中的综合保障管理等,以及产品研发过程的项目管理。

4 飞机研发中的敏捷管理

飞机设计自主研发敏捷管理的范围——对飞机型号研发过程不同阶段(论证阶段、方案阶段、工程研制阶段、设计定型阶段、生产定型阶段)为核心的高度集成和反复迭代的管理;对飞机研发过程中各要素(战技指标、研制费用、时间进度、人力资源等)及其相互作用多目标资源约束的管理。下面介绍提高飞机自主研发能力敏捷管理的主要做法。

4.1 采用可快速重构的虚拟研发技术,提高设计的敏捷性

敏捷高效研发管理体系的技术基础即为精益设计,主要表现在以下几个方面:采用基于数字样机的快速可重构虚拟研发;全面开展多学科协同/综合设计系统;突破精益设计和可重构虚拟研发关键技术等,前文已进行了较为详细的阐述。

4.2 注重技术发展方向上的科学决策,提高战略的敏捷性

中航工业成都飞机设计研究所在型号研制过程中,坚持自主创新和技术集成,提高自主研发综合能力。坚持“有所为有所不为”的发展方针,通过对国内外同类武器装备现状、发展趋势的对比分析、反复论证,作出科学的评价和预测,以技术创新获取竞争优势。

(1)坚持“非对称超越”的竞争战略

面对国际强手,既要先进以先进技术为标杆,又不盲目跟随其后,而是探索自己的发展道路,在总体方案、技术风险分析、经济可行性分析、研制周期及经费估算等方面实现创新超越。

(2)坚持“无边界创造”的发展理念

在研究领域发展上,聚焦核心能力,进军高端研究领域,扩大生存发展空间。

(3)坚持“面向用户快速响应”的管理机制

在战略执行上,市场竞争迫使我们快速响应,在掌握内外环境变化的基础上,科学、正确、果断决策,是抓住机遇赢得竞争优势的首要条件。在国内外军机研制史上,由于研制周期过长导致环境需求变化,费用失控导致型号延缓或夭折的情形不乏其例。某型飞机项目的研发,在满足用户战技指标的前提下,尽量采用成熟技术,突出一个“快”

字赢得市场先机。

4.3 变革传统的研发组织流程,提高组织的敏捷性

建立敏捷高效的研发管理体系,需要对研发组织结构进行变革性调整。长期以来,我国飞机研发在组织架构、管理模式、管理思维方式上以专业技术为中心。专业与专业之间、主机厂所之间、主辅机厂所之间串行开展工作,由于分工过细也存在着不同程度的分割。

(1)建立适合国情和项目特点的研发管理模式

采用复合型项目组织的模式实施项目管理,跨专业的联合工作队,对其中的准型号项目,直接归总设计师领导,成立专门组织。

(2)建立矩阵式柔性项目组织机构

由于研发环境和条件是动态变化的,要求研发组织体系要具有一定的弹性。根据项目多模式管理和多项目统筹的需要,建立高效精干的扁平化组织结构,形成矩阵式柔性项目组织机构。

4.4 不断完善数字化管理支撑平台,提高研发环境的敏捷性

(1)完善飞机敏捷高效研发的数字化支撑平台

数字化支撑平台是实现飞机敏捷高效研发的基础环境,如图6所示。

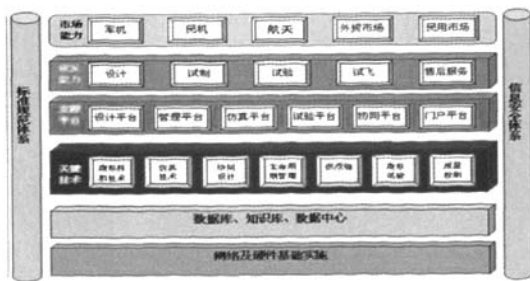


图6 数字化研发平台框架

根据型号研制需求,通过突破共性关键技术和标准规范、信息安全、数据资源等的研究和应用,强化研制数字化的基础;通过对飞机核心支撑软件的开发,提高自主创新能力;通过构筑数字化研发平台,提高型号研发能力和水平,为型号的综合集成提供技术基础。

(2)构建具有自主知识产权的研发管理系统

中航工业成都飞机设计研究所不断构建完善

面向未来飞机设计的研发管理系统。从引进集成设计系统开始到2000年自主版权CADIS系统的诞生,在型号设计数据、技术状态、工程变更以及集成管理和控制方面,采用先进的系统集成工具,支持专业设计系统,支持专业间设计数据的关联,有效地提高了飞机敏捷高效研发能力。

(3)有效应用先进项目管理平台统筹资源

敏捷高效研发管理,就是对项目的计划、范围、成本、进度、质量等要素进行快速高效的统筹协调和资源的优化配置。应用企业级项目管理系统对研发项目进行实时跟踪、项目分析、提供资源平衡、项目决策支持。

战斗机研制有明确的战技指标要求,严格的时间节点、相应经费条件的支持和约束。在多个项目同时并行时,敏捷研发管理更需要在各项目之间进行进度、资源等方面的全面权衡,避免产生冲突而影响项目的进展。

4.5 打造敏捷高效的研发文化,培养设计师队伍

敏捷高效研发持续发展的根本在于培育敏捷高效的研发文化,集合优秀设计师队伍团队。中航工业成都飞机设计研究所推进制度创新和管理创新,建立与先进飞机研发技术相适应的科研管理模式,建立与市场经济发展需要相适应的运行机制。

(1)树立共同的价值观

敏捷高效研发取决于科技人员工作的有效性和相互沟通的质量。树立“航空报国”理念,用崇高的使命凝聚队伍,用具有挑战性的岗位吸引最好的科学家和工程师,营造设计师队伍相互尊重、信任、宽容、团结、协作的文化氛围,倡导“密切配合、协同工作”的团队意识和合作精神,形成一种有序、迅速的工作状态。鼓励设计师队伍员工创造性地开展工作,快速响应用户的需求变化。

(2)培养造就领军人物,形成核心人才梯队

加速吸纳、培养和造就一批高素质、高层次和技术复合型人才,包括学科专业技术带头人、高级经营管理人才、高级技能人才、专业技术多面手人材,为他们提供锻炼及施展才华的舞台,给他们加任务、压担子,让他们在型号工程的实践中快速成长。为了保持创新能力,人力资源管理的重点是这些关键人物提供发展的机会并创(下转第16页)

个闭环控制系统,如图2所示:

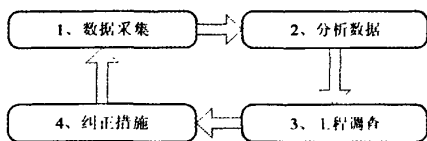


图2 可靠性管理程序

该闭环管理工作程序是从实际的工作中抽象出来的一个简化的示意性流程,真正的可靠性工作程序会涉及到从空装主管部门到师装备部各专业办公室以及团机务处等诸多职能部门,数据和信息在实际流动过程中也会出现反复的更新、反馈,因此,可靠性管理的具体程序要参照本部的实际情况来详细制定。

(4)编制以可靠性为中心的维修管理方案:方案是实施以可靠性为中心的维修管理,切实落实以可靠性为中心的维修思想和实现科学维修的重要技术手段和规范化的程序,涉及到运输机部队可靠性管理机构的组织形式、职责界定、工作程序以及数据分析方法、工具等,是一项复杂的系统工程。

因此,需要充分学习和借鉴民航可靠性方案的编制和实施经验,充分考虑空军运输机部队的编制

体制特点、业务部门职责,并完善可靠性与维修数据分析手段,编制运输机部队以可靠性为中心的维修管理方案。这是实现航空机务工作规范化、科学化、法制化建设的重要途径,是实现运输机部队以可靠性为中心的维修管理工作的重点。

参考文献

- [1] 中国民用航空咨询通告 AC-121-53.
- [2] 中国民用航空咨询通告 AC-121-54.
- [3] Moubray John. Reliability-Centered Maintenance [M]. Second Edition, New York: Industrial Press, Inc., 1997. 146-149.
- [4] 许燕菲. 浅谈飞机维修方案的优化[J]. 航空维修与工程, 2004(5): 55-56.
- [5] 杜海坤. 浅谈持续适航维修方案[J]. 航空维修与工程, 2006(1): 35-36.

作者简介:

罗垂林(1964-) 男,博士,总工程师。主要研究方向:航空维修工程。

(编辑:吉国明)

(上接第11页)造职业发展的途径。同时建立科学合理的人才梯次结构,建立完善人才考核和选拔制度,使后备人才得到有效的补充。

5 结束语

中航工业成都飞机设计研究所充分利用先进飞机精益设计手段与敏捷高效研发管理体系,不断提升自主创新能力、快速反应能力和整体管理水平,全面完成了多个重点型号的研制任务,显著地提高了经济效益与社会效益,并且大幅度提高了研究所的自主创新水平。

近年来,研究所全面持续地推进飞机研发技术及科研管理的变革和创新,致力于先进军用飞机的自主研发和系列化发展。在设计理念、技术手段、能力建设等方面加大创新力度,形成了覆盖飞机全生命周期的精益设计与敏捷高效研发管理体系,大幅度提高了自主研发能力。

参考文献

- [1] 杨伟. 未来战斗机的发展趋势[J]. 空军军事学术, 2007(1): 10-19.
- [2] 闵永慧, 苏振民. 精益建造的理论特点及其应用[J]. 集团经济研究, 2006(13): 148-149.
- [3] 戴栋, 黄有亮. 精益建设理论及其实施研究[J]. 建筑管理现代化, 2005: 33-35.
- [4] 隋鹏飞, 李隆春, 邓家提. 复杂产品系统早期开发阶段数字样机的研究[J]. 制造业自动化, 2004, 26(12): 33-35.
- [5] 陈黎昶. 杨伟中国年轻的飞机总设计师[J]. 航空制造技术, 2004(2): 28-29.
- [6] Stacey Gage, Arkadiy Turevskiy, and Craig Buhr. Model-Based Design of a New Light-weight Aircraft[J]. AIAA Paper 2007-6371.

作者简介:

杨伟(1963-) 男,飞机总设计师,研究员,博导。主要研究方向:飞机总体设计、飞行控制系统设计。

赵锁珠(1983-) 男,博士研究生。主要研究方向:飞行器总体设计、无人机系统总体设计。

(编辑:赵毓梅)