

基于模块体系的航空航天产品 研发流程管理研究

张化照¹, 陈向东², 牛欣², 李蓓²

(1 北京宇航系统工程研究所 100076; 2 北京航空航天大学 经济管理学院 100191)

摘要: 航空航天产品属于典型的复杂产品。本文通过对我国大型航空航天企业进行深入调研, 结合复杂产品系统和模块化的相关理论, 提出了我国航空航天复杂产品研发流程模型, 具体包括研发目标设计、战略层设计、战略层与技术层的融合设计及工程技术层设计、工程试制和系统集成。本研究认为, 我国航空航天产品研发管理过程中的重要问题是将开放性的研究和开发体系与企业技术资源战略目标有机统一。

关键词: 航空航天企业; 研发流程; 研发管理; 复杂产品

中图分类号: F403.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)10-0001-05

1 研究背景

复杂产品系统(complex product and system, CoPS)是英国苏赛克斯大学与布莱顿大学合办的“复杂产品系统创新中心”等研究机构在20世纪90年代提出的新概念。随后, Hobday^[1]、Karen Lee、Hansen 和 Rush^[2]、Hobday 和 Rush^[3]、Prencipe^[4]较为全面、系统地定义了复杂产品。Hobday 借用了 Woofward 的传统产业分类方法, 认为 CoPS 包括大型电信通讯系统、大型计算机、电力网络控制系统、大型船舶、空中交通管制系统、飞机引擎、银行自动处理系统、散装货轮、化工厂、广域网、空间站和水源供应系统等。国内杨志刚^[5]、陈劲^[6]等学者也对 CoPS 进行分析, 总结出复杂产品具有高成本、技术密集、创新过程中政府介入、创新生命周期较长和市场垄断程度高等特征。

航空航天类产品属于典型的复杂产品系统, 同时由复杂产品的特征表现出其研发流程管理的重要性。本文主要针对我国航空航天企业产品研发流程管理进行研究, 从理论和实践两个方面进行分析, 通过走访国内知名大型航空航天企业的研发部门, 总结归纳出我国航空航天企业复杂产品研发管理现状及特征。

2 复杂产品研发管理理论回顾

有关复杂产品研发流程的设计, 国外学者的研

究主要集中在模块化设计和系统集成方面。复杂产品系统是一个由多个子系统组成的产品体系, 复杂产品系统集成制造商在获取订单之后, 需要进行任务的分解, 即模块划分^[7]。模块划分的标准基本有两类: 一类是根据系统功能所对应的适宜技术类别; 第二类则是按照所需满足的功能特征进行划分^[8], 其中也包括战略目标的划分类型。

考虑到复杂产品的技术构成复杂和多样, 其研发体系也应具有随时间变化的开放性特点, 以保证复杂产品系统适应各模块所涉及的技术类型的变化。此类开放性包括各构成模块组件和相应的技术研发时所对应的技术资源横向开放, 以及复杂产品系统集成时模块开发商与系统集成商进行交流的纵向开放, 例如 Shenhar^[9]的研究所涉及的模块开发商与系统集成商频繁交流的必要机制。

从研究与开发的流程考虑, 虽然模块技术开发可以遵循传统的“研究—开发—试制”流程^[6], 但复杂产品系统集成的流程则存在特别的管理和核心能力开发的问题。

根据国内外学术界对复杂产品系统研发过程的研究, 复杂产品研发主要遵循“产品技术思想—任务分解—外包选择—模块开发—集成协调—交付用户—跟踪完善”这一过程展开^[10-12]。因此, 复杂产品系统设计与模块化创新的管理策略集中在统一的产品定义与技术标准、模块化开发网络、界面管理协调、并行开发和综合战略控制等几个环节方面。

收稿日期: 2010-07-01

作者简介: 张化照(1973—), 男, 江西人, 北京宇航系统工程研究所高级工程师, 硕士, 研究方向: 技术创新管理; 陈向东(1953—), 男, 山东人, 北京航空航天大学经济管理学院教授、博士生导师, 研究方向: 技术创新管理、国际技术转移, 中国技术经济研究会会员, 登记号: I030100582S; 牛欣(1983—), 女, 河北人, 北京航空航天大学经济管理学院博士研究生, 研究方向: 技术创新管理; 李蓓(1986—), 女, 湖南人, 北京航空航天大学经济管理学院博士研究生, 研究方向: 技术创新管理。

美国 航 空 航 天 局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 的 学 术 报 告、AD 报 告 和 AIAA^① 报 告 中 显 示 的 相 关 产 品 研 发 流 程 设 计 就 突 出 反 映 了 系 统 集 成 和 部 件 设 计 与 开 发 之 间 的 关 系。AD 报 告^[13] 建 立 了 系 统 集 成 的 模 型 DNDAF^②, 分 析 组 织 中 与 产 品 生 命 周 期 相 关 的 各 系 统 集 成; 另 外, AD 报 告^[14] 提 出 了 制 造 系 统 研 发 集 成 设 计 框 架。

3 我国航空航天企业产品研发流程模型

我国航空航天产业属于国家重要战略性产业部门, 研究与开发机构与生产部门的关系相对密切, 同

时又具有各自的技术优势, 共同组成研发流程中的重要环节。因此, 研发流程不仅需要支撑研究所进行合作研发, 而且需要为生产单位提供特定的优势参与研发和试制, 比如大型航空发动机生产商需要与国家航空发动机研究所进行研发和生产的合作。

结合针对国际上典型复杂产品体系研究与开发过程的研究工作, 并根据笔者对国内大型航空航天企业的走访调研, 本文提出以复杂产品体系为特征、以模块化体系为代表的航空航天复杂产品体系研发流程模型, 如图 1 所示。

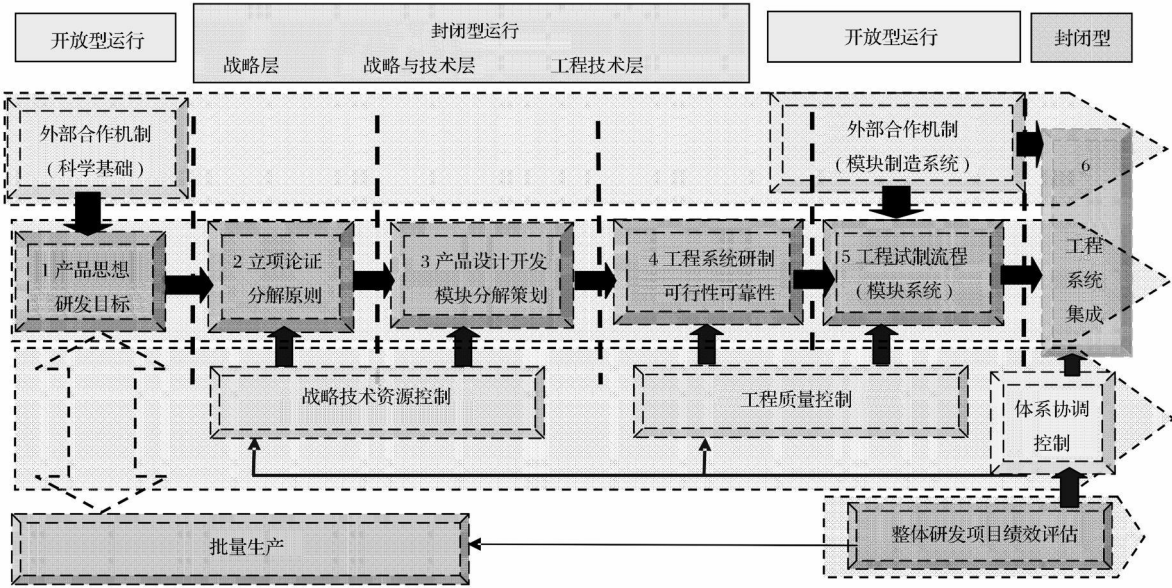


图 1 航空航天复杂产品体系研发流程模型

由图 1 可见, 该产品开发体系具有模块化产品开发的特征, 主要表现在研发体系的有限开放性, 以此扩充研发过程中的技术资源信息量, 特别是在工程试制流程中和系统集成流程中引入外部技术资源, 提高研发效率; 同时, 该体系又具有集成过程的战略效应, 表现在根据一定的战略技术资源控制准则决定模块产品的分解原则, 并且通过工程质量控制效应和最终的体系协调控制效应来控制和管理外部技术资源。

综合来看, 此模型不同于普通复杂型模块化产品的研发过程, 除了强调其一定程度的开放性之外,

其特点在于: ①根据航空航天类产品的特殊性建立, 其中战略技术资源控制、工程质量控制和体系协调控制三个控制端具有更高级别的控制和管理作用; ②模块化原则穿插在研发步骤中; ③每个环节具有可重复性, 通过研发流程中内嵌的反馈和改善功能提高质量和效率; ④此过程是研发、试验和制造的统一, 客观上囊括了研究与开发机构和生产机构中具有研发职能的部分。

对图 1 的具体解释是:

(1) 整体研究与开发流程共有 6 个阶段(表现于横向流程)。其中, 第一和第五阶段以及第四阶段的

① NASA 是美国最大的航天航空科研机构, 在长期的科研活动中产生大量的科技报告, 即 NASA 报告。该报告是美国政府四大科技报告(PB 报告、AD 报告、NASA 报告和 DOE 报告)之一。AD 报告是美国陆海空三军科研机构的报告, 也包括公司企业及外国的科研机构和国际组织的研究成果及一些译自前苏联等国的文献, 其内容包括民用技术、航空、军事、电子、通讯、农业等 22 个领域, 是美国政府科技报告(NTIS)中历史悠久、报告数量多、参考和利用价值大的“四大报告”之一。AIAA 报告则是美国航空与宇航学会(American Institute of Aeronautics and Astronautics)出的期刊。目前每年的 AIAA 报告约有 6000 篇。

② DNDAF(Department of National Defence Architectural Framework)是一个美国国防部关于研发组织的协助文件, 分析系统生命周期相关的系统, 提供大量有关系统不同观点的信息陈述。

某些部分是开放型阶段。第一阶段可在科学思想和设计思想方面与外部技术资源形成合作, 借以吸收更为先进的技术理念和设计原则。而在第四、第五阶段, 在战略技术资源控制原则的模块化框架业已形成的基础上, 吸收外部技术资源实现特定模块的制造过程, 通过边界条件和系统集成原则控制外部技术资源的产出质量。第六阶段则反映系统集成的最终阶段, 完成特定研发项目的战略层和技术层面的目标要求。

(2) 封闭型运行阶段包括第二、第三、第四和第六阶段。其中, 第二阶段涉及服从于战略性技术资源控制原则的模块化产品体系的设计准则, 即分解原则, 并在第三阶段贯彻于产品设计过程, 同时还应在工程技术层面把握这一模块化产品体系的工程质量及其可靠性规律, 以期在外包的工程制造模块部分具有足够有效的可控输出参数。

(3) 纵向来看, 存在四个层面的运行体系。第一层面是外部技术资源层面, 只在第一阶段、部分第四阶段和第五阶段具有合作机会。值得指出的是, 作为特定的研究与开发机构, 所谓外部技术资源层面设施, 可以理解为组织外部, 也可以理解为组织内部的其他部门。第二层面是本体研究与开发机构及其平台设施, 主要的研究与开发流程是在此平台上完成, 是研发流程的主要载体。第三层面则是反映组织战略层和技术层的顶层机构, 与组织的战略与技术目标相关。第四层面则属于项目的购买方(通常意义的广义客户), 决定最终的实质性生产。

我们对照国际国内主要航空航天研究与开发项目流程特点, 总结本流程模型的具体内容, 如下。

1) 研发目标设计。

目前国际国内航空航天企业研发目标来源主要有以下方面:

(1) 广义客户需求驱动。航空航天企业研发项目所针对的客户既包含一般市场意义的客户, 也包含反映政府部门长远战略目标的需求意义上的客户, 最终表现为特定国家战略性市场的需求, 因此定义为广义客户需求。广义客户需求类型将塑造长期市场份额, 不仅仅以当前市场效益为基准考虑产品产出特性。

(2) 企业长期技术资源发展战略驱动。企业根据自身技术基础与优势, 瞄准特定产品的长期国际竞争市场而确定研发目标, 一般可以分为三种情况: ①从未开展研发的技术领域; ②持续研究但尚未取得理想结果的技术领域; ③已经取得重要的技术突破, 当前目标是提高生产过程质量与效率或通过研发最终逾越某种技术障碍的领域。

在上述基础上, 一般还需要根据美国航空航天局(NASA)技术成熟度的分级或其他技术成熟度的计算方法^[15-16]以及关键技术选择的相关定量方法^[17-19]进一步验证研发目标的合理性。

2) 战略层设计。

战略层设计主要应关注本企业核心技术资源增长和控制目标, 即在本企业核心技术资源认定的基础上决定需要掌控的技术资源类型, 以便为本企业未来的技术资源优势提供必要的增长空间。而根据模块化产品体系的设计原则, 构成研发目标的产品体系的具体模块可以通过产品功能规律来分割, 也可以根据战略技术资源控制原则来分割。当研发目标产品的战略性目标突出时, 则此战略层面重要性增加, 主要通过以下方面反映: ①确定对本企业核心技术、核心竞争力发展具有正面重要影响的技术领域; ②确定对竞争对手具有重要负面影响的技术领域; ③确定在合作体中具有重要引领作用的技术领域; ④确定具有长远期技术发展潜力的技术领域, 等等。

目前在我国航空航天企业的研究与开发管理过程中, 也有类似的反映。例如, 根据笔者的相关调查, 下列方面与企业研发关键技术的选取密切相关:

(1) 关键技术的企业开发条件。包括: ①研发人员——技术设计的专业体系是否与项目吻合; ②研发设备——企业设备的加工能力是否达到精度要求; ③资金——获批资金是否足够完成任务。

(2) 合作单位选择条件。预测本企业在特定研发项目中的技术条件弱项, 据此寻求合适的合作组织合作完成项目。

(3) 新产品方案设计主要由客户(使用方)确定, 但客户还需向国家相关部门提交报告申请, 由相关部门组织专家论证评审, 之后正式立项, 客户在此阶段全程参与。

3) 战略层与技术层的融合设计及工程技术层设计。

战略层解决的是技术资源的控制和发展技术资源的竞争潜力, 以便为实现更为重要的战略任务打下基础。但战略层的框架原则需要通过技术层面的运行规律来贯彻, 因此, 航空航天产品研发流程中必须有战略层与技术层相互融合的部分。

通过针对企业研发过程的调研, 可以总结出, 此类融合机制主要由研发组织中的设计部门的构造来完成:

(1) 由设计部门的总体设计室制定产品设计总体方案, 组织专家评审, 确定总体方案, 此类过程将产品研发的技术资源的战略性与可实施性有机相

连。

(2) 由设计部门各个专业设计室根据总方案设计次级体系的可行性方案, 再次组织专家评审, 此类过程类似模块化的运行机制。但有区别的是, 模块化的产品体系在战略层已经基本划分, 并且划分反映公司的竞争战略需求, 而在战略层与技术层融合机制层面实际只是通过技术运行规律来贯彻模块化步骤。

(3) 次级体系评审通过后进行的设计, 则反映工程技术层面的设计, 可制作深入到本模型的工程技术层面, 例如图生成功能化图纸, 并进行第三次专家评审。

(4) 值得注意的是, 在针对次级体系的工程技术层面的设计和开发过程中, 合作模式也同时建立, 这对模块化产品的研发流程而言十分重要。因此, 在此工程技术层面的设计就需要引入研发合作的设计, 在进行功能化图纸的设计同时须详细定义系统集成与分解的界面以及接口的标准。航空航天企业的模块化设计一般应是集成程度较高的系统外包体制, 外包模块部分的技术资源相对独立, 体现系统的某个或者某些功能需求, 这样的模块划分也便于与用户的直接沟通。

(5) 工程技术层面设计通过评审后, 生成功能化工程图纸, 三方(客户、承接方、合作方)会签后, 标志着此阶段的完成。

可以看出, 此阶段在研发流程中覆盖面广, 前后环节相关性强, 特别在工程技术层面的设计过程中, 用户和合作方会全程参与, 也便于开展成本及风险的评估。

4) 工程试制和系统集成。

模块系统的工程试制和系统集成是研发流程取得成果的最为重要的两个互为补充的环节。其中, 模块系统的工程试制属于开放性的环节, 可以引入企业外部技术资源制造某些模块部分, 而系统集成环节则是体现本研发流程成果的最终阶段, 一般属于封闭性运行领域, 最终完成原型产品制造。

现实的研发流程末端, 主要体现为工程技术层面面向生产试制层面的转换, 如:

①企业和合作单位技术部门接到工程图纸后, 首先进行工艺分析, 查看当前的技术设备和人员等是否满足相关生产要求, 并把分析结果反馈至设计部门。

②设计部门根据该结果对图纸进行相关修改, 并生成最终指导生产的生产运行图纸, 然后, 技术部的总工艺师制定工艺方案, 工艺处完成流水分工, 生成零级网络图。零级网络图即表现各个零部件完成

的时间节点要求。

③相关技术中心或制造部门以零级网络图为依据, 生成各自的一级网络图(各部门完成各自工作的时间节点要求), 并进行相关研究立项和设备改造; 改造完成后, 进行工艺准备, 即工装选择、指定工艺路线和选择工艺方法等。

④编制工艺规程, 设计工装图纸, 并对工装、设备和外观等进行检查; 待一切准备妥当, 进入试制阶段。

⑤各职能车间再根据零级和一级网络图以及各个时间节点的要求生成二级网络图(即职能车间完成各自生产任务的时间节点要求, 如采购原材料、铸造毛坯、热处理、机加工和特种工艺处理等工作的时间点)。

值得注意的是, 通常此过程需要一个可循环的过程。合作单位负责的模块交付企业后, 进行组装散件、整件实验、部件实验和整机实验, 如出现问题则需要反馈完善。这一可循环环节即反映为本模型的战略与技术顶层的审核与评估, 最终可能形成小范围反馈(工程技术层面)与大范围反馈(战略层面)。

同时, 在现实研发体系中, 研发产品原型产品制造完成后, 需要组织专家进行评审, 评审反映此阶段客户和合作方的系统产出效果, 也反映此阶段质量水平和风险水平。在本模型中, 表现为广义客户的评价流程。

在实际研发体系中, 由于航空航天产品的特殊性, 因此对产品的评估通常包含: ①性能验证; ②功能验证; ③寿命验证。

值得提出的是, 如果在此阶段出现问题, 应返回至以前相应阶段, 实施针对图纸或制造流程的改善和重复循环, 这类循环事实上导致研发周期延展, 不利于研发过程战略目标的实现。而本文提出的基于模块化原理的复杂产品开发体系, 在设计和贯彻战略层研发意图时有机引入外部技术资源, 形成准开放性的研发体系, 有利于缩短技术创新周期。主要原因是, 一旦相关模块体系的功能、兼容性和对于产品总体的质量贡献达到要求, 则以后的产品设计可以继续在此类模块基础上开展, 研发流程的不可预测程度大幅降低, 整体耐风险水平和质量水平提高, 而产品总体新颖性也得到满足。

4 总结

本文通过对航空航天企业研究与开发流程的理论和现实分析, 结合复杂产品和模块化产品研发过程的相关理论, 提出我国航空航天复杂产品体系研

发流程模型, 并对诸阶段分别加以详述。研发管理的过程中的重要问题是将开放性的研究与开发体系(为提高研究与开发过程的效率)与企业技术资源战略目标有机统一。本文通过详细分析典型环节的功能作用和管理要点, 对建设开放型航空航天研发体系提出相应的流程模型, 提供一种研发机制, 目的是建立适合我国国情的航空航天企业产品研发流程, 增强我国航空航天企业的核心竞争力, 促进航空航天事业的发展。

参考文献

- [1] HOB DAY M. Complex system vs mass production industries: a new innovation research agenda[C]. Paper Prepared For CENTRIM / SPRU / OU Project on Complex Product Systems, EPSRC Technology Management Initiative, GR / K / 31756, 1996.
- [2] HANSEN K, RUSH H. Hotspots in complex product systems: emerging issues in innovation management[J]. Technovation, 1998, 18(9): 555-561.
- [3] HOB DAY M, RUSH H, TIDD J. Innovation in complex products and system[J]. Research Policy, 2000, 29: 793-804.
- [4] PRENCIPE A. Breadth and depth of technological capabilities aircraft engine control system[J]. Research Policy, 2000, 29(7/8): 895-911.
- [5] 杨志刚, 吴贵生. 复杂产品的创新及其管理[J]. 研究与发展管理, 2003, 15(3): 32-37.
- [6] 陈劲, 吴沧澜, 黄建樟, 等. CoPS 开发网络组织及组织能力探索[J]. 研究与发展管理, 2005, 17(1): 21-27.
- [7] SCHILLING M A. The use of modular organizations forms and industry level analysis[J]. Academic of Management Journal, 2001, 44(6): 1149-1168.
- [8] BLADWIN C. Managing in an age of modularity[J]. Harvard Business Review, 2007(9): 84-93.
- [9] SHENHAR A J. A new conceptual framework for modern project management[C] // KHALIL T M, BAYRAKTAR B A. Management of Technology. Institute of Industrial Engineers, 1994.
- [10] 陈劲, 童亮, 方琴. 复杂产品和系统项目创新过程及其评估体系[J]. 科研管理, 2004, 25(9): 23-28.
- [11] 陈劲, 周子范, 周永庆. 复杂产品系统创新的过程模型研究[J]. 科研管理, 2005(3): 61-67.
- [12] 童亮, 陈劲. 复杂产品和系统的开发过程——地铁综合监控自动化系统案例研究[J]. 科研管理, 2006(7): 84-90.
- [13] ISENER A W, LAPINSKI A-L S. Thoughts on a design framework for system integration[R]. Defence R & D Canada Atlantic Technical Memorandum 2006-143, 2007.
- [14] VAUGHN A F. A holistic approach to manufacturing system design in the defense aerospace industry[R]. S. B. Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [15] 朱毅麟. 开展航天技术成熟度研究[J]. 航天工业管理, 2008(5): 10-13.
- [16] 朱毅麟. 技术成熟度对航天器研制进度的影响[J]. 航天工业管理, 2009(6): 1-5.
- [17] VAN WYK R J. Technology assessment for portfolio managers[J]. Technovation, 2010, 30: 1016-1026.
- [18] TINGLING P, PARENT M. An exploration of enterprise technology selection and evaluation[J]. Journal of Strategic Information Systems, 2004, 13: 329-354.
- [19] CHAN F T S, CHAN M H, TANG N K H. Evaluation methodologies for technology selection[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 107: 330-337.

Research on R&D Process Management of Aviation and Aerospace Products Based on Module System

Zhang Huazhao¹, Chen Xiangdong², Niu Xin², Li Bei²

(1. Beijing Institute of Astronautical Systems Engineering, Beijing 100076, China;

2. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: Based on the investigation for large aviation and aerospace enterprises in depth, and according to the theory of complex product and system (CoPS) and modularisation, this paper proposes a R&D process model on CoPS for China's aviation and aerospace enterprises which includes design for R&D objective, strategic level, mergence strategy and technology, project technology level, project trial and system integrate. It considers that it is important to integrate open R&D and strategic objective of enterprises' technology resource in the process of R&D of aviation and aerospace enterprises in China.

Key words: aviation and aerospace enterprise; R&D process; R&D management; complex product