

# 航空工业企业架构构建方法研究

## Research of Construction Methodology of Aviation Industry's Enterprise Architecture

金航数码科技有限责任公司 张国蕊 程 燕 徐保文

**[摘要]** 重点介绍了航空工业企业架构研究的方法体系及研究内容,并重点描述了航空工业业务架构的构建方法,用以提炼航空工业先进业务运作流程、手段与方法,确定了研究推进路线,并进行了成果验证,研究成果对推进航空工业通用业务模式的总结、表达及信息化通用参考模型的设计,信息系统的开发、实施具有指导意义。

**关键词:** 企业架构 业务架构 业务模型 数字化航空

**[ABSTRACT]** The construction methodology and research content of aviation enterprise architecture is mainly introduced; and it emphasizes the methods to construct enterprise architecture. These methods are extracted from the most advanced business operating processes, means and method, which help to determine the research plan. And this article will do research result verification is done. The result shows guiding significance in promoting the summarizing and conveying the general business model in aviation industry, as well as in the designing of general informatization reference model and the developing & performing of information system.

**Keywords:** Enterprise architecture Business architecture Business model Digital aviation industry

航空工业的工业体系建设发展经历了 60 余年,信息化建设工作也已经推进了近 40 余年,而“十二五”时期是推进航空工业“两化”融合的关键时期,航空工业两化融合的目标为:在航空产品研制的全生命周期,航空工业的全价值链以及航空工业的全业务流程,充分利用信息化的使能和平台作用,实现航空工业过程的虚拟化和智能化、服务过程的军地协同和网络化以及管理领域的基于企业模型的虚拟飞行器建设,有效提升航空工业的核心竞争力,打造信息化航空工业体系,促进国家信息产业化工作。这就要求在“两化”深度融合的过程中,首先要实现的就是业务与 IT 的融合。同时,随着中航工业数字化建设的推进,航空产品研制模式和管理模式需要逐步规范统一,信息化推进也需深入掌握业务运作方式,当业务越来越依赖于 IT,甚至融为一体时,这就

使得人们不得不认识到,整个组织需要一个大家都明白的共同语言来分析和解决问题,需要一种方法、机制来支撑实现信息化推进与业务发展的匹配与协调发展,并逐步实现业务模式的标准化以及 IT 体系的简单化,从而建立起一套简明、高效的航空工业数字化业务运行模式,这种需求本质上是要建立起 IT 与业务相互协调、相互促进的管理模式。

综上所述,我们需要建立科学、稳定的数字化航空业务模型研究方法,用以提炼航空工业先进业务运作流程、手段与方法,并整理与设计通用 IT 架构,实现业务与 IT 基于模型的融合。本文基于企业架构理论,尝试建立起一套适合航空工业复杂业务描述的架构描述方法,基于该方法实现对航空工业典型业务架构的总结与描述,促进行业通用模式或优秀模式的表达、提炼和推广,进而支持具有前瞻性的 IT 架构的科学设计。

### 1 企业架构理论及主流架构分析

企业架构(Enterprise Architecture)用于解决普遍存在的信息孤岛及系统集成等问题,解决了由于缺乏业务蓝图/架构,系统重复发展或发展完成后没有业务价值所造成经费及人力资源的浪费。目前,在国际上对 EA 尚没有公认的权威定义,OMB 对 EA 的定义是“EA 是业务和管理流程与信息技术间当前和将来关系的显示、描述和记录”,而 MetaGroup 对 EA 做了进一步阐述:“EA 是一个系统过程,它表达了企业的关键业务、信息、应用和技术战略以及他们对业务功能和流程的影响。EA 提供了一个一致、整体的视角,指导信息技术怎样以及应该如何在企业内实施,以使它与业务和市场战略一致。”结合实际工作的体悟,我们认为 EA 可以描述为:在一个组织环境中,围绕着信息技术应用而构建的包含战略、业务、信息技术等多元要素于一体的模型体系,这个体系能够在任何一方变化的情况下评估引发的综合影响,从而进行调整与设计,保证在设定的规则下不断实现系统的良性发展,使信息化始终与业务、战略保持一致,推进信息技术应用能够实现从量到质的转变,使信息技术应用真正成为企业竞争能力的组成部分。

源于 20 世纪 90 年代美国的企业架构(EA)框架,到目前已经衍生出多种企业架构框架。企业架构的演

进有两条主线<sup>[1]</sup>：一条是以 Zachman 框架为基础,开发出的主流架构框架与方法,有 EAP、FEAF、TEAF 等;另一条是以 ISO/IEC14252 为基础开发出的美国国防部的信息管理技术架构框架 TAFIM (The US Department Of Defence (DoD) Technical Architecture Framework for Information Management), TOGAF 就是基于 TAFIM 开发的,并基于此框架,美国国防部又进一步开发出了 DoD TRM、C4ISR,以及最新的 DoDAF (DoD Architecture Framework)。目前,两条企业架构框架的演进线路,逐渐相互融合,架构框架的构成要素与定义架构过程基本趋于相同;同时不同的行业,根据综合通用的企业架构框架,结合各自行业的特点,进一步开发具有行业特点的架构标准框架与方法。

本文选择了主流 EA<sup>[2-5]</sup>: Zachman、TOGAF、FEA,分析其特点及优缺点,以此指导航空工业业务模型研究的方法论体系构建,并从理论指导、内容指导、方法论指导以及参考模型 4 个方面来对比分析 Zachman、TOGAF、FEA 各自的优缺点,如表 1 所示。

而在 1998 年就发布出版了 IT Architecture Framework (ITAF),并在 2003 年成立了 IT 架构理事会 (Council of IT Architects, CITA),用于 EA 实践的推广。2007 年发布了洛马企业架构框架 (LM Enterprise Architecture Framework, LEAF)。目前企业架构已经成为构建公司业务场景及蓝图,指导信息化建设的理论基础。而洛马公司的企业架构就是综合了各主流 EA 的特点,设计了自身的企业架构。LEAF 的架构组成如图 1 所示。

从图 1 中可以看出,洛马在架构设计过程中,其架构开发语言借鉴了 Zachman 框架,架构开发方法借鉴了 TOGAF 的 ADM (Architecture Development Methodology 架构开发方法),在参考模型方面借鉴了 FEA 的参考模型 (Architecture Reference Models) 等。

结合对主流架构特点的分析,航空工业企业架构的设计过程中也充分借鉴以上主流 EA 的特点进行构建。

(1) 理论指导: 同时借鉴 Zachman 以及 TOGAF。

(2) 内容体系: 同时借鉴 Zachman 以及 TOGAF。借鉴 Zachman 可以保证在内容体系分类时保证分类的

表1 主流架构对比表

对比项 主流 EA	理论指导		内容指导		方法论指导		参考模型	
	基础能力	适用性评价	基础能力	适用性评价	基础能力	适用性评价	基础能力	适用性评价
Zachman	作为最早的架构提出者,第一次将信息化建设提高到企业级思考的一种工程化的行为,并在后续框架不断完善过程中	较高	与其他架构相比,Zachman 描述的是企业架构的内容本身,即描述了内容体系的构件,并将交付物定义在特定的位置,便于识别架构内容	高	无完整的架构开发方法指导	低	架构描述集中在架构内容本身,且多为原子模型	低
TOGAF	完整的框架体系	高	其内容体系将企业架构所包含的内容进行了较为详细的说明	高	提供完整的架构开发方法 (ADM) 指导来建立架构内容体系,基本上提供了一套可扩地的方法论	高	拥有 Technical Reference Model (TRM) and the Standards Information Base (SIB) 两种,但更侧重于应用程序的可移植性,而忽视了应用间的互操作性	较高
FEA	尽管框架完整但仍处于起步阶段,大部分内容开始于 2006 年	低	内容较为完整,但较为偏重于政府	较低	开发方法更加侧重于对分块架构的构建	较低	作为公认的成功的实践,参考模型保障了联邦政府各部门在 EA 方面的实践应用	高
总体评价	可结合 Zachman 及 TOGAF 理论,形成架构体系		可结合 Zachman 及 TOGAF 理论,形成内容体系		可借鉴 TOGAF 的 ADM 方法,形成机制、方法		可借鉴 FEA 的参考模型	

## 2 航空工业企业架构体系设计

### 2.1 架构方法的融合与设计思路

目前特定企业在做自身企业架构研究与设计过程中,往往综合各个架构的特点进行组合创新。作为航空工业的领先者,洛克希德马丁(简称洛马)公司很早就介入了对企业架构的研究。在 20 世纪 90 年代,EA 的一些核心理念就在洛马公司得到了广泛的应用,

完整性,而同时参照 TOGAF 可以保证与现有通行的架构划分方法的一致性。

(3) 架构开发方法: 借鉴 TOGAF 的 ADM。

(4) 参考模型: 借鉴 FEA 的参考模型。

综上所述,构建的航空工业企业架构及其参考的主流架构,如图 2 所示。

### 2.2 航空工业企业架构内容框架初步设计

内容框架主要说明了研究的输出(或称为交付物)。

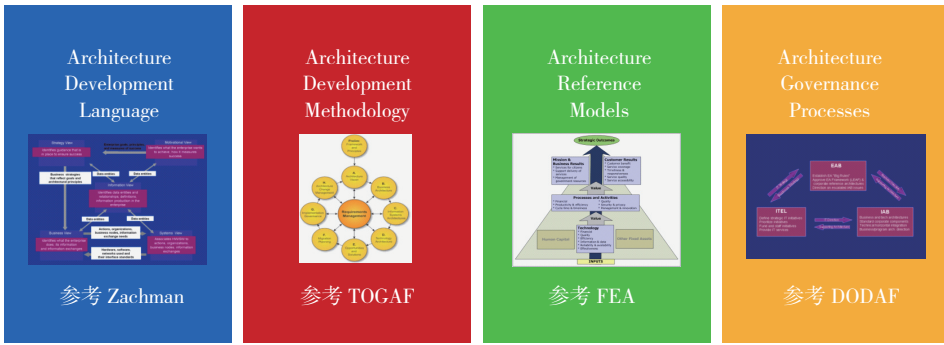


图 1 LEAF的组成及其参考  
Fig.1 Composition and reference of LEAF

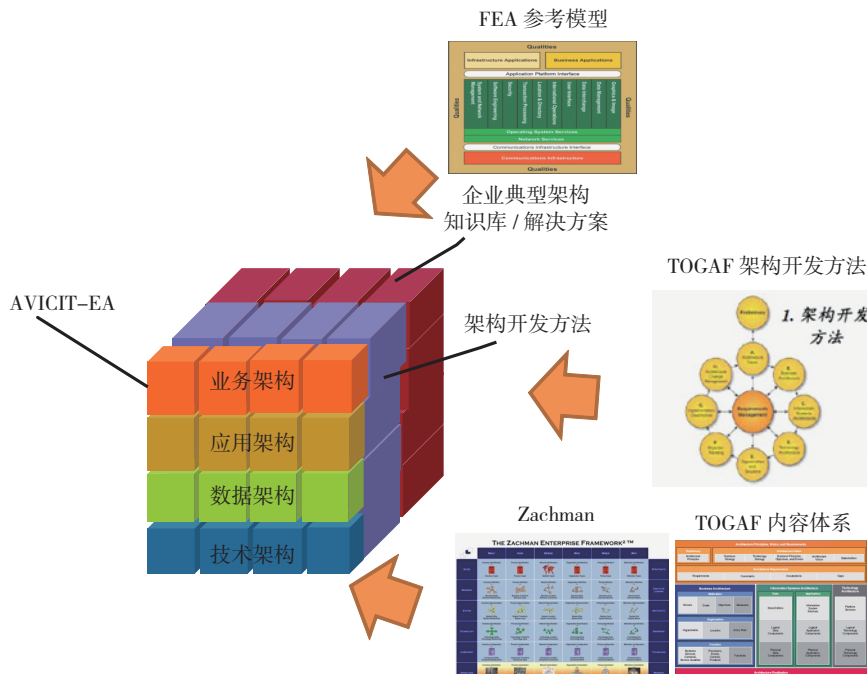


图2 航空工业企业架构及借鉴的主流EA内容  
Fig.2 Enterprise architecture of aviation industry and referential mainstream EA

内容框架提供了一个涵盖架构内容的结构化表示方法,确保在企业架构生命周期中一致地开发、管理和利用架构工作产品。内容框架的设计要符合 EA 的思想,应对架构交付物的产出形式以及研究目标做明确的说明,并能体现交付物之间的关系。架构交付物应包括反映业务运作方式的业务架构以及对业务进行支撑的IT架构。参照主流 EA 划分方式,可以分为业务架构、应用架构、数据架构与技术架构。将各部分定义如下:

- (1) 业务架构: 用于描述业务运作模型架构,包括业务的运营模式,流程体系、组织结构、地域分布等内容。
- (2) 应用架构: 用于描述应用系统及其交互关系,以及其与关键业务流程之间的关系。
- (3) 数据架构: 指相互之间存在一种或多种特定关系的数据元素的集合。

(4) 技术架构: 用于分类标准、应用技术、基础设施等的技术性框架,其目的是归纳出技术元素,以支持应用架构的实现。

而无论是对于企业业务还是 IT,人们总是趋向于用复合件而不是原子件来思考,但原子件对于分析架构并定义解决方案和系统(或服务)非常重要,要想在整个企业范围内实现重用,则必须在整个企业范围内定义原子模型。而关联模型则是由原子模型组装而成,用以表示在某一特定领域中具有实际运作能力,并产生特定作用的单元。对于一个企业或行业来说,原子模型的数量是有限的,而关联模型的数量是无限的,可以通过原子模型之间以及原子模型与关联模型之间的多重组合得到,企业可以通过这种组合来不断实现业务创新。原子模型和关联模型的定义如下:

(1) 原子模型: 它表示架构内容的最小集,也即业务或 IT 组件的最小可分性,以提供架构交付物间的可追溯性。

(2) 关联模型: 关注某一特定领域,提供更具体的描述和定义,是从原子模型中创造或者由原子模型组合而成的,原子模型之间或原子模型与关联模型之间的有机耦合就组成了关联模型。

综上所述,结合 TOGAF、Zachman 等 EA 理论,结合研究的架构体系,设计了航空业务模型研究的内容框架(如图 3 所示)。其中,列表示架构域,分为业务架构、应用架构、数据架构、技术架构。行表示架构层级,分为原子模型和关联模型。行列共同确定单元或称为构件,每一构件由一种或多种模型来描述。其中红色字体部分不属于本研究目前关注的内容。

各模型定义如图 3 所示,同时为保证研究的方向性,对每个模型的研究目标做了明确的定义。以业务架构中的业务规则为例,其定义与描述为: 业务运行过程中所表现出的某些特征或所遵循的规范标准等业务规

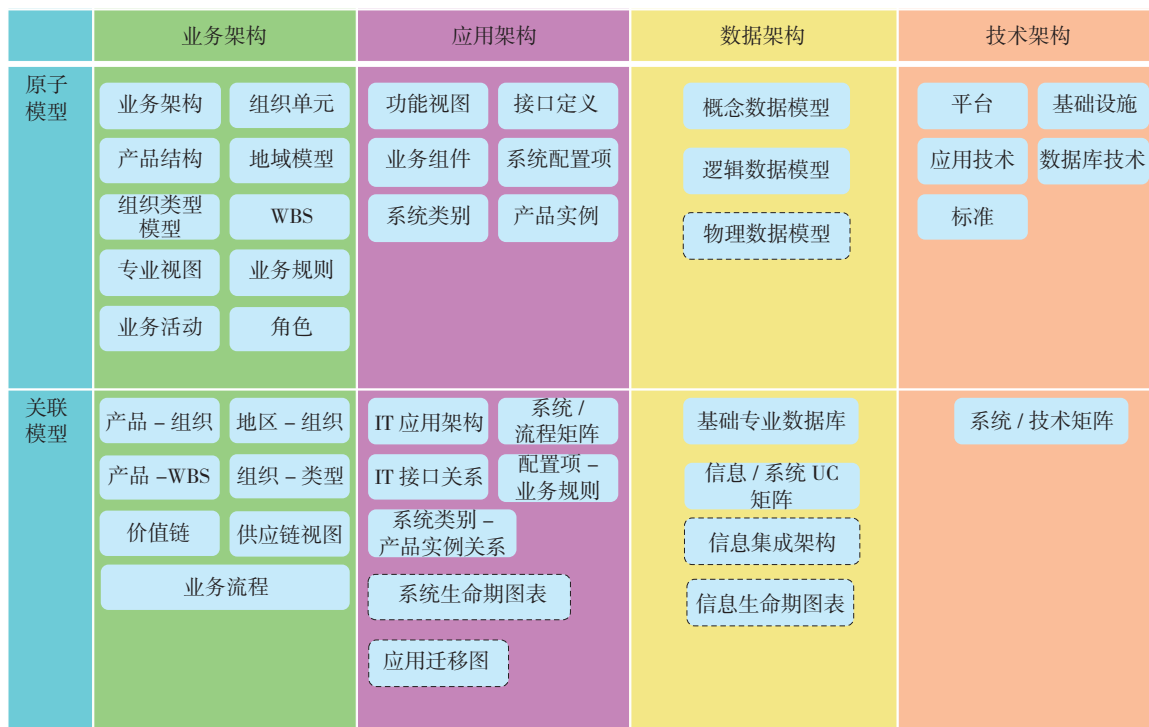


图3 研究内容框架

Fig.3 Framework of research content

则(Business Rules ,BR),与业务相关的规范、管理章程、行业标准等,都可以称为业务规则;业务规则的构建目标为完成业务规则建模,粒度到能够支持在系统设计中

### 2.3 航空工业企业架构的内部关联模型

在本内容框架中,考虑原子模型之间的关系,可以进一步理清研究的内容与交付物,是对研究内容体系的有效补充,并加深对业务内容体系的理解和认识。各业务模型之间的关联关系,是由原子模型之间通过组合、派生得出的,在内容框架中各原子模型之间的关联关系如图4所示。

## 3 业务模型构建的推进路线与实践

工作内容决定了数字化航空业务模型的构建必然是逐步推进、不断迭代的工作过程。从通用性业务特性的总结到最佳实践成功要素的提炼,中间会形成大量的模型、资料与知识,策划有效地分类并管理这些模型。业务模

型研究推进路线如图5所示。通过各航空企业的应用实施项目、业务知识的总结以及各领域专家的支持与投入,不断总结与提炼,分别积累并形成应用实施项目库、航空工业信息化应用体系以及企业流程库。将项目库以及各企业流程库的综合与总结形成通用的、典型的飞机、发动机与机载行业库。再经过对通用业务库的提炼,

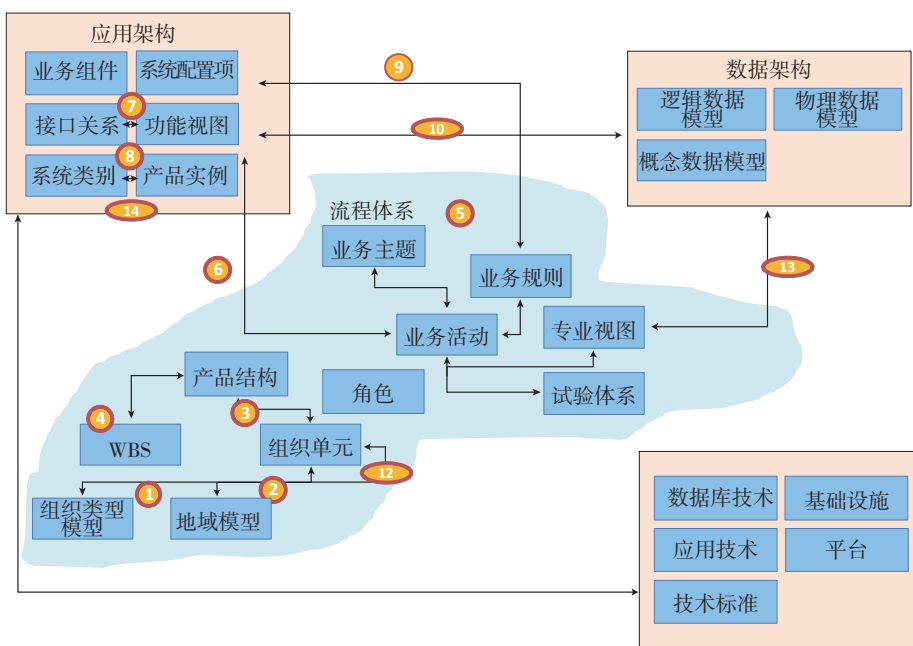


图4 原子模型的内在关联关系

Fig.4 Internal connection among atomic models

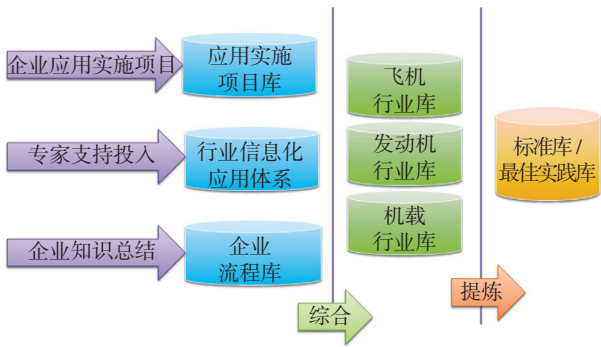


图5 数字化航空业务模型研究推进路线  
Fig.5 Research path of digital aviation business model

形成行业的标准库与最佳实践库。标准库/最佳实践库主要是对于具有通用性的、标准化、最佳实践的流程进行存储、管理。其中最佳实践库是行业关键业务的实现,是在行业某一领域中已经证实的各种增值业务场景的集合。通用流程库基于流程框架或项目积累构建,体现流程的全面性、通用性。

(1)从应用实施项目库、企业流程库等专有库经过综合提取成行业库。

基于实际业务,结合项目积累,组织公司内部专家参与,如飞机、机载领域。综合各个项目所总结的多企业的业务特点,进行抽取、综合成通用的行业库。

(2)从行业库提炼出标准库与最佳实践库。

通过选取典型性的最佳实践,总结出最佳实践的业

务运作方式。并通过总结最佳实践复制指引,实现从行业库到最佳实践库的转变路径。

#### 4 航空工业通用业务架构成果验证

内容框架中的交付物可以被描述为目录、矩阵或图表等形式。在本研究过程中,为更加结构化的表达研究内容及成果物,多采用模型的方式来描述企业架构的交付成果,如图6所示。

在业务架构设计过程中设计与建模的模型包括产品-组织模型(其中飞机产品重点结构37个,航空工业组织95个),航空工业飞机企业主价值链流程模型共502条核心流程,包括市场营销(21个流程)、产品设计(43个流程)、工艺设计(21个流程)、工装管理(9个流程)、生产制造(18个流程)、试飞(21个流程)、产品交付(16个流程)、售后服务(26个流程)、项目管理(48个流程)、质量管理(75个流程),以及部分管理与支持类流程,包括供应链管理(75个流程)和物资管理(75个流程),同时设计了端到端流程来展示飞机不同研制模式与业务场景,串接各业务域流程;发动机研制模式的端到端流程场景包括了发动机总体设计、发动机-压气机设计、发动机-燃烧室设计、发动机-涡轮设计。同时还构建了设计规范、工具和软件、数据库的模型库,并和流程进行对接;机载方面重点完成了机电类产品研制通用流程的提取设计,其流程资源池涵盖了核心研制类流

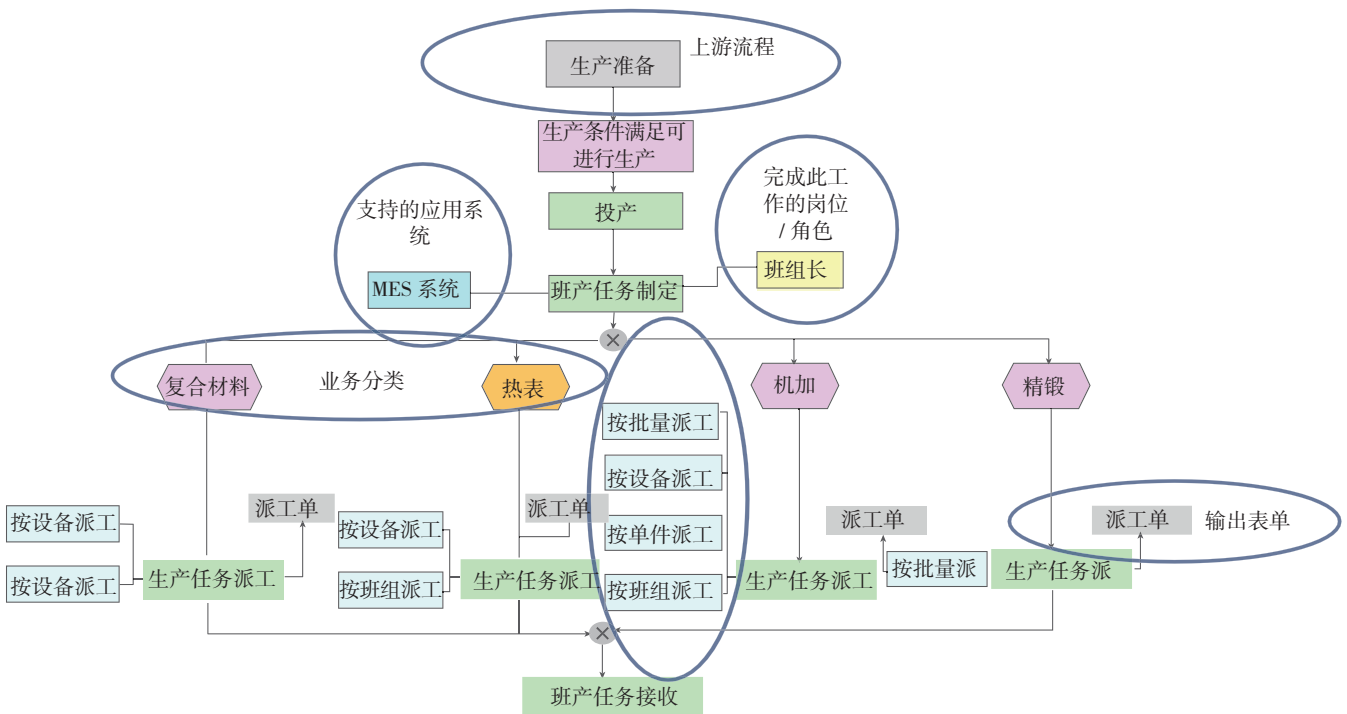


图6 统一流程建模示例  
Fig.6 Example for unified business process modeling

程,包括市场营销(45个流程)、产品设计(37个流程)、工艺设计(53个流程)、工装管理(8个流程)、生产制造(30个流程)、试飞(21个流程)、产品交付(16个流程)、售后服务(25个流程)、质量管理(84个流程),以及部分管理与支持类流程,包括物资管理(27个流程)。在IT应用架构方面设计出了包括飞机设计所、飞机制造厂、导弹院、系统公司、发动机公司、基础研究院等7类IT架构参考模型。

业务架构的设计是整个业务模式研究的基础。业务架构的一个重要体现形式是业务流程,因此本文重点说明在业务架构上的设计思路及实例验证。

业务流程的主结构由流程活动以及流程活动之间的关系(如上下游及并列等关系)以及其输入输出物组成,但在业务模式研究过程中,业务流程还因其运行的环境、条件要求、具体执行方式等的不同而有所不同,这就体现在业务规则的不同上。因此本文在给出示例的时候侧重于流程活动、输入输出数据以及业务规则等原子模型通过有机组合形成关联模型——流程模型。在实际业务模式研究过程中,流程模型中还包括了标准、技术要求、岗位(角色)等要素,在本文中不再赘述。

在生产流程建模过程中,将生产遵循的规范、所使用的应用系统、上下游流程、输入输出表单、对应的业务规则进行基于流程的统一建模。如图所示,以零件制造执行流程(部分)为例,上游流程表示与其它流程之间的关系,支持的应用系统表示支持本活动运行的应用系统,岗位或角色来表示是谁在做此项工作。在流程运行的某个节点后(本例中为“班产任务制定”)可能会存在流程分支的情况,如本流程中根据加工方式不同,分为对复合材料、热表、机加、精锻等不同的加工方式,而这些加工方式对应的派工形式也多种多样,通过对派工形

式的总结,从而总结出在不同加工类型中派工的业务规则,而在这个过程中会产生派工单。可以看出本流程所代表的关联模型,是通过将原子模型(业务活动、业务规则、组织岗位等)或关联模型(上下游流程、应用系统)按照实际业务进行组合而生成的。

图7对业务规则的建模为例,说明每个原子模型是如何构建的。业务规则是指业务运行过程中所表现出的业务特点或所遵循的规范标准等。业务规则的建模应与业务模型相关联。通过将业务规则在流程中进行建模,使得规则和流程进行关联,并对规则进行详细定义,并对业务规则所包含的种类将构建业务规则树,并对每种业务规则进行描述、适用情况、优劣势、所遵循的行业标准、企业通行办法、关联业务影响等属性进行归纳总结与定义。将各种不同的派工方式进行抽取,并详细定义每种派工方式,如下图所示,表示了派工方式这一业务规则,并对规则进行了分类,每种规则均有特点的属性描述。

## 5 数字化航空业务模型研究成果的应用

本课题的研究成果是航空工业先进模式的积累与沉淀,可作为航空工业信息标准化战略实施的重要输入,也可为制定信息化产品策略提供依据。基于业务模型的信息化产品开发与实施,将会大幅度完善产品功能及实施服务方法,降低产品研发风险,缩短实施周期,提高实施效果。其中方法论体系可以作为航空工业或各单位自身企业架构建设的参考,提取的通用业务流程的模型是航空工业通用业务的模型化表达,是行业标准化战略的重要成果物;细化后的设计流程作为集成研发平台的重要输入;提炼的业务规则作为业务经验的积累、并为信息化产品开发配置项及实施配置项的重要输入;

IT顶层参考架构可作为中航工业各单位IT顶层架构设计的重要参考。

### 参考文献

- [1] CIO时代网,王仰富,[ED/OL].2008-12-17. <http://www.ciotimes.com/ea/eatools/plan200805261145.html>.
- [2] Zachman J A. A Framework for Information Systems Architecture. " IBM Systems Journal,1987,26(3).
- [3] Roger Sessions. A Comparison of the Top Four Enterprise-Architecture Methodologies. MSDN Library Enterprise Architecture.

(下转第79页)

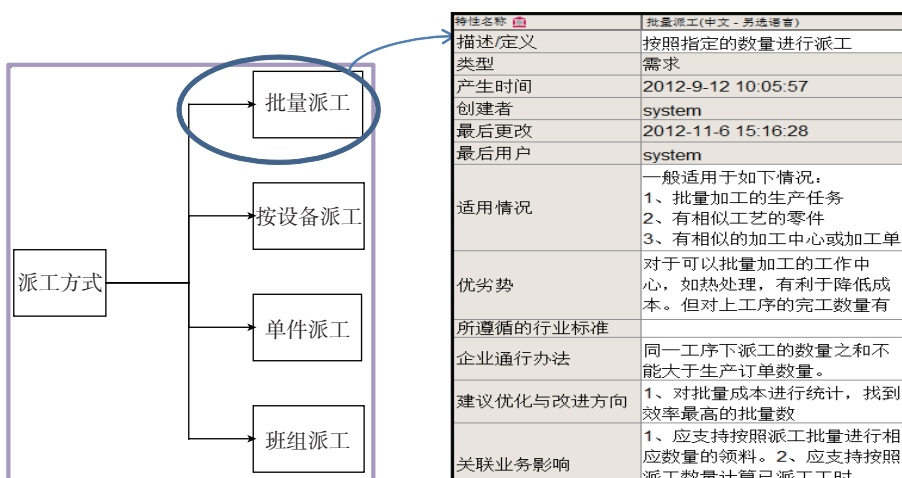
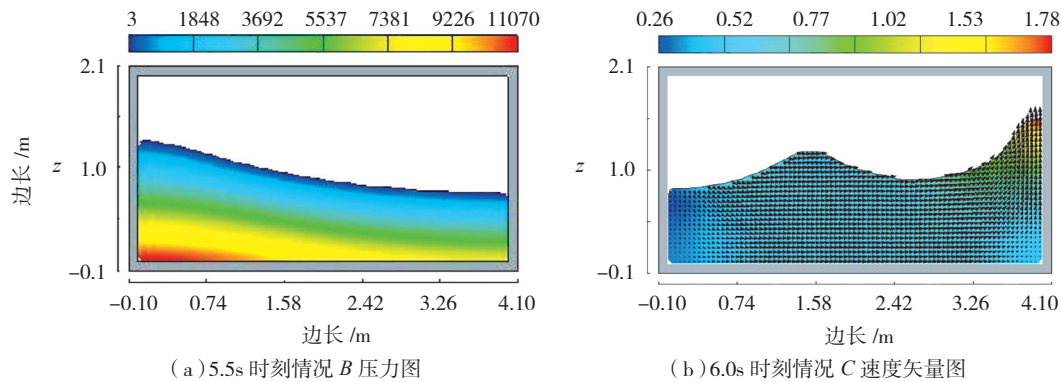


图7 业务规则详细属性定义

Fig.7 Specific attributes definition for business rules

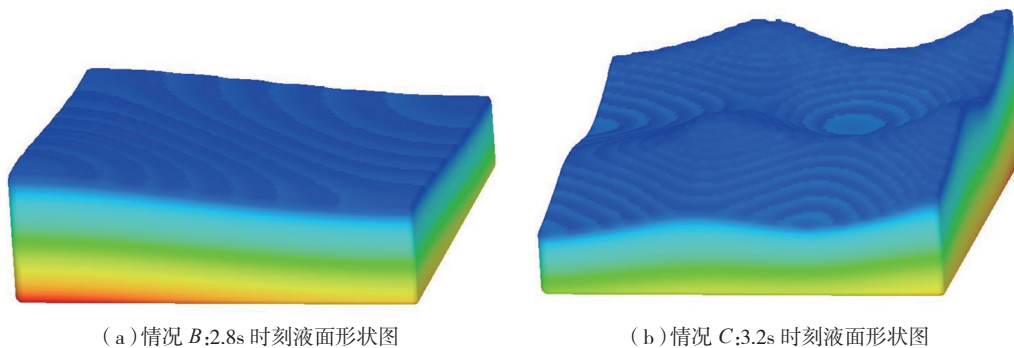


(a) 5.5s 时刻情况 B 压力图

(b) 6.0s 时刻情况 C 速度矢量图

图5 瞬时压力图和速度矢量图

Fig.5 Instantaneous pressure and instantaneous velocity vector figure



(a) 情况 B:2.8s 时刻液面形状图

(b) 情况 C:3.2s 时刻液面形状图

图6 瞬时液面形状图

Fig.6 Instantaneous fluid surface shape figure

线,瞬时压力图,瞬时速度矢量图。同时,给出的压力分布图能评估结构安全性和稳定性,平均动能曲线可以评估液体晃动噪声水平,对结构设计有重要的指导作用。

### 3 结论

(1) 运用有限体积法计算了二维矩形储液容器液体晃动,给出了平均动能时间曲线,瞬时压力图,瞬时速度矢量图,并与线性解析解进行了详细的对比与分析讨论,结果具有良好的一致性。

(2) 运用有限体积法计算了三维矩形储液容器液体晃动,给出了平均动能时间曲线,瞬时压力图,瞬时速度矢量图。

(3) 有限元体积法能给出压力分布图和平均动能曲线,压力分布图能评估结构安全性和稳定性,平均动能曲线可以评估液体晃动噪声水平,对结构设计有重要的指导作用。

### 参考文献

- [1] Mateusz G, Torgeir M. Structural response to sloshing excitation in membrane LNG tank. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2011, 133: 1-9.
- [2] Ibrahim R A. Recent advances in liquid sloshing dynamics. *Appl.*

*Mech. Rev.* 2001. 54(2)133-199.

[3] Abramson H N. The dynamic behaviour of liquid in moving containers. Report SP 106 of NASA, 1966.

[4] Ibrahim R A. *Liquid sloshing dynamics theory and Applications*. Cambridge University Press, 2005.

[5] 刘新立, 严仁军, 史政, 等. 基于 MSC.Dytran 的液舱晃动分析. *船海工程*, 2010, 39 (2): 44-47.

[6] 毛志祥, 杨觉敏. 飞机整体油箱的液固耦合振动计算. *航空学报*, 1990 (11): 589-594.

[7] Wu G X, Ma Q W, Taylor R E. Numerical simulation of sloshing waves in a 3D tank based on a finite element method. *Appl. Ocean Res.* 1998 (20): 337-335.

[8] 王勖成. *有限单元法*. 清华大学出版社, 2003.

(责编 小城)

(上接第 65 页)

[4] [EB/OL]. 2012-09-12. <http://www.opengroup.org/togaf>

[5] A Practical Guide to Federal Enterprise Architecture by the CIO Council, Version 1.0, 2001-02.

[6] FEA Consolidated Reference Model Document Version 2.1, published by the Federal Enterprise Architecture Program Management Office, Office of Management of Budget, 2006-12.

[7] The Open Group Architecture Framework (TOGAF) Version 9, Published by The Open Group, 2009.

(责编 亿霖)