

## 飞机研制过程的建模与诊断技术

张洵，范玉顺

清华大学自动化系 北京 100084

**摘要：**过程建模与诊断技术在促进企业集成，提高产品设计水平，改善企业性能和运行管理水平等方面起着重要的作用。本文简述了当前过程建模与诊断技术的现状和发展趋势，介绍了一种结合航空工业的特点，面向企业实际应用的集成化建模与诊断系统，并讨论了该软件系统的实际应用效果。

**关键词：**企业建模、过程建模、企业诊断

### 1. 引言

当前全球性的市场竞争日益激烈，客户的需求快速变化并向个性化、多样化发展，这些要求企业不断调整自己以适应市场的变化，企业传统的，基于劳动分工、专业化协作的企业管理模式很难适应这种变化；另一方面信息技术的高速发展为企业重组原有的组织结构和经营过程提供了技术上的支持。用信息技术改造传统制造业企业成为企业赢得市场竞争的主要手段之一。经营过程重组<sup>[1]</sup> (business process reengineering-BPR)、经营过程持续改善 (Business Process Improvement-BPI) 的理论和方法日益受到重视，两者都要求企业将传统的以职能为基础的组织结构和运行方式转变为以过程为中心的管理模式，对企业的业务流程进行重新设计，进而提高企业的业务能力和经营效益。作为支持企业业务建模、模型优化及业务过程实现的企业建模与诊断技术也受到了广泛的重视<sup>[2]</sup>。

通过建立企业的业务过程模型可以描述企业经营过程涉及的复杂流程和组织结构，理解企业是如何开展工作的、管理企业复杂的业务过程、用企业模型记录企业的经验和知识以备重用、分析业务流程存在的问题，重组流程本身、调整组织结构和人力资源构架，改善与优化企业<sup>[3]</sup>。

### 2. 过程建模的现状和发展趋势

近年来过程建模的描述语言得到了极大的发展。目前较广泛接受的建模语言有 CIMOSA 的经营过程描述语言、工作流管理联盟 WFMC 定义的工作流描述语言、IDEF 系列的 IDEF3 过程建模方法，Petri 网描述语言，Keller 等人提出的 EPCM 模型，采用项目管理中使用的概念和模型来表述经营过程的 CPM 图、PERT 图或其他各种形式的网络图等。

根据市场竞争对于企业的发展提出的要求和当前国内外企业建模与分析技术的现状，过程建模与诊断技术的发展趋势如下：

1. 过程建模工具与其他企业建模工具紧密集成：从用多个独立的视图描述企业发展到集成化企业建模，也就是说使用多个视图表示企业的不同侧面，同时这些视图之间又是一个有机结合的整体。
2. 建模与仿真工具的集成，加强分析功能。在发展建模方法的同时，加强对模型的分析功能。
3. 支持全企业范围和全生命周期的建模，建模工具应该支持企业的全部应用范围（包括企业的功能、信息、组织、资源，以及产品的设计、生产过程）和企业实施 CIMS 的全生命周期（需求分析、设计、实施）。
4. 建模工具要充分利用已有的研究成果，遵循已有的国际标准和工业标准。

此外，建模工具还要采用模块化、层次化和可重用的建模软件系统结构和开放的系统体系结构，所开发的建模工具应该采用开放的系统体系结构，并采用面向对象的软件设计开发方法与软构件技术，以保证系统有良好的可扩展性和软件模块的重用性。

### 3. 航空工业对过程建模与诊断的需求

十五期间航空工业对过程建模提出了一系列的需求：先进制造战略的实施需要采用先进的软件支持工具，就需要企业模型的数字化和形式化，而过程模型是企业模型中的重要组成部分；并行设计与制造需要设计和制造的过程模型与冲突协调模型；敏捷制造需要企业过程协作模型；虚拟制造需要产品设计过程模型、生产加工过程模型；供应链管理需要过程模型与交换数据模型等等。

航空工业对过程建模和诊断工具的需求是十分迫切的，但是建模与诊断工具还要符合航空工业自身的特点才能取得良好的效果，航空工业的特点表现在：

1. 研制周期长，费用高。飞机是一个采用大量高新技术的复杂系统，可靠性、安全性要求高，研制和开发一种新型号的费用极高，周期长。波音飞机采用数字化设计制造技术后波音 777 仍需要 4 年左右。而我国的研制周期一般为 10 年左右。飞机寿命长达 10-20 年，研制费用也在几亿人民币。
2. 高技术，高利润。航空工业是典型的高技术产业，是多种高技术的综合应用。飞机是高价值、高附加价值产品。国外先进战斗机的一般售价在数千万美元（F-22 第四代战斗机价格高达 1.6 亿美元），大型民用运输飞机的售价一般都在 1 亿美元左右甚至更高（每架波音 777 的售价约 1.06 ~ 1.29 亿美元）。
3. 有严格的研制过程和质量保证机制。国家对飞机的研制和生产有着明确的阶段控制机制，飞机的设计、生产和交付使用都必须经过严格的检验。
4. 生产工艺要求高，生产过程复杂，机上零件和电子设备的生产由特定的配套厂家完成。
5. 设计院所负责设计，航空生产厂家负责生产，二者密切配合是中国航空业飞机设计与制造的特色。

### 4. 面向航空工业的飞机研制过程建模与诊断系统

针对航空工业的行业特点和对过程建模的需求，我们设计和开发了面向航空工业的过程建模与分析系统。该系统具有以下特点：

1. 建模系统采用一种面向用户的工作流模型作为过程模型的描述语言<sup>[4]</sup>，这种工作流模型可以方便的实现向 Petri 网模型的转化，对模型的仿真分析和诊断时可以使用 Petri 网中成熟的理论和方法。
2. 模型的描述能力强，适用范围广。既能描述周期长、涉及范围广的飞机研制过程，又能描述工艺复杂，多过程并行的飞机零部件生产装配过程。
3. 诊断系统实现了多过程的仿真分析，可以对过程执行的时间、成本、人员和设备的使用率等多种过程性能参数做定量的分析。
4. 软件系统采用开放的体系结构和模型定义，建立的模型可以以中性模型文件和 XML 文件的形式导出供其他用户使用。

建模系统参考了 CIMOSA 建模方法<sup>[5]</sup>，以过程、组织和资源视图三个视图实现对企业的描述。过程模型描述飞机研制的生产经营过程；组织模型描述相应的组织结构、职位和角色配置、人员和人员的技能；资源模型描述相应的设备、软件和物料。在三个视图中，过程视图处于核心的地位，它与组织和资源个视图又是有机的集成在一起的，其中过程视图引用组织视图中的人员和部门信息，引用资源视图中的企业设备和原料；资源视图引用组织视图中的人员和部门信息，表明资源的隶属关系。

建模系统主要针对飞机型号研制、生产的全生命周期建模，使飞机研制的整个过程更加清晰。通过模型可以迅速地发现企业业务流程中存在的问题，如其中某些环节可能不合理或者还有优化的余地，为企业过程重组提供前提条件，还能便于企业相关知识的重用。另外，对飞机研制过程的建模也为企业实施项目管理提供了有力支持。

元素	图示	元素	图示	元素	图示
活动	活动名称	子过程	子过程名称	开始节点	始
				结束节点	终
或节点	或	与节点	与	空节点	空
无条件连接弧	→	条件连接弧	→●	数据连接弧	- - ->
自动应用	自动应用	计数器	计数器	计时器	计时器

图 1 过程建模系统中的模型单元的图形表示

建模系统中的过程模型由活动节点和连接弧两类元素组成，如图 1 所示。其中活动节点又分为任务节点、标志节点和逻辑节点三部分。任务节点包括活动、子过程和自动应用；标志节点包括开始节点和结束节点；逻辑节点包括与节点、或节点、空节点、记时器和计数器。连接弧分为无条件连接弧、条件连接弧和数据连接弧三类。

- 1) 活动：是过程模型的基本单元，使用一定的组织和资源，具有特定的数据输入和输出。
- 2) 子过程：描述企业某一部分生产经营流程，其本身就是一个过程模型，在子过程节点的过程模型中还可以定义子过程节点，从而形成一个层次化的递阶模型。
- 3) 自动应用：在过程模型中，描述自动进行某种处理的机器设备或软件程序。
- 4) 开始节点：过程模型中的标志节点，表示一个过程的开始。
- 5) 结束节点：过程模型中的标志节点，表示一个过程的结束。
- 6) 与节点：过程模型的逻辑节点，它将两个或多个活动或过程的结果连接到一个活动或过程中，所有这些活动或过程的输出作为后续的输出，其实际含义是当所有与节点前的活动或过程都完成了，与连接后的节点才可以执行。
- 7) 或节点：过程模型的逻辑节点，它将两个或多个活动或过程的结果连接到一个活动或过程中，某一个这些活动或过程的输出作为后续的输出，其实际含义是当或节点前的某一个活动或过程完成了，或节点后的节点就可以执行。
- 8) 空节点：过程模型的逻辑节点，用于表达复杂的过程逻辑。
- 9) 定时器：过程模型的逻辑节点，设置两个活动时间的的时间间隔。
- 10) 数器：过程模型的逻辑节点，记录活动发生的次数。
- 11) 无条件连接弧：用于在前后活动之间形成无条件的流程连接关系，表示前一个活动执行完后，后续活动就开始执行。
- 12) 条件连接弧：用于在前后活动之间形成有条件的流程连接关系，根据定义在条件连接弧上的谓词逻辑的判断结果，决定活动的执行逻辑。
- 13) 数据连接弧：两个活动之间没有流程连接关系，只表示两者之间有数据传递。

诊断系统对模型的仿真分析分为两部分：一部分是对模型本身检查，判断所建立企业模型的一致性、完全性，检查的内容包括模型是否存在死锁和不可达的分支，模型的开始和结束节点是否存在，是否重复，过程模型中使用的组织资源是否存在，相邻节点间的输入和输出是否匹配（如节点的输入应该是所有前驱节点的输出的集合，其输出应该是后继节点的输入之一）等等。另一部分是按照参考文献[6]中的企业业务过程评价体系的内容进行多过程仿真，对企业模型性能进行定量分析。诊断系统可以设置过程的优先级、仿真的开始时间和结束时间、过程的起始事件等内容。

诊断系统能够在方便用户对企业内部多业务过程及相关的软、硬约束进行描述的基础上，通过多过程仿真得到企业内多个业务过程关于时间、成本和资源利用率等的各项评价指标，以文档表格或多种图形方式显示，帮助企业找出各经营过程中多个业务过程间不合理的部分，例如某些子流程可能不合理或者某些资源利用率太低等，并提出改进意见，以进一步验证改进方案的有效性和可行性，为企业决策提供量化的依据，旨在支持企业快速、成功地实施经营过程重组。

该建模与诊断系统应用在民用飞机的研制、计划与生产过程的建模和分析中，并在某航空企业 EPR 的需求分析中应用了建模和分析的结果。我们使用该建模工具建立了较复杂的过程模型，包括民机型号研制过程模型和民机的设计生产的过程模型，局部的生产处作业计划指定、订货和配套调度等过程模型。图 2 是建模工具过程视图，描述的是民机的设计生产的顶层过程模型。诊断系统对所建立的部分模型做了仿真分析。通过建模和仿真分析，可以看到目前的民机的设计生产过程中存在的责任不清的问题。过程中没有统揽全局，对整个过程负责的人员或工作组。在当前基于功能分解的企业组织结构中，过程中活动的执行者被多个职能部门分割，信息传递不畅等问题。具体的计划和调度过程中存在计划制定不够准确，执行过程中经常变动、各部门对生产完成情况重复统计等问题。具体的计划和调度过程中存在的这些问题都转化为实施 EPR 中的需求，在 EPR 的实施过程中来解决。

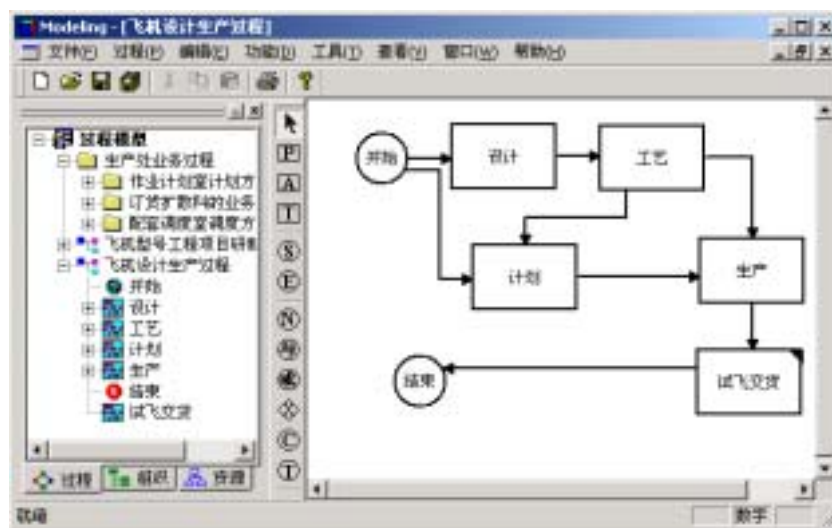


图 2 建模工具过程视图

## 5. 结束语

航空工业对企业建模和诊断工具的需求是十分迫切的，面向航空工业的企业建模与诊断系统在民机的型号研制过程建模和 EPR 的需求分析中并得到了应用并取得了较好的效果。该软件系统的使用只是企业建模与诊断技术在航空工业中应用的一个缩影，还可以应用在航

空工业现代集成制造系统并行设计与制造、虚拟制造和供应链管理等项目，应用前景十分广泛。

**参考文献：**

- [1] M. Hammer. Reengineering Work: Don't Automate. Business Review, July/August 1990.
- [2] 范玉顺、吴澄. workflow 管理技术研究与产品现状及发展趋势. 计算机集成制造系统-CIMS, Vol.6, No.1, 2000, pp1-7
- [3] 范玉顺、王刚、高展. 企业建模理论与方法学导论. 清华大学出版社 北京: 2001
- [4] 罗海滨, 范玉顺, 吴澄. 一种面向企业用户的工作流模型. 计算机集成制造系统-CIMS , Vol.6, No.3,2000, pp.55-59
- [5] Kurt Kosanke. CIMOSA-Overview and Status. Computer in Industry. 27 1995 pp101-109
- [6] 林慧苹、范玉顺、吴澄. 基于 workflow 技术的企业业务过程评价方法研究. 计算机集成制造系统-CIMS , Vol.7, No.12,2001, pp.47-52

**Modeling and Diagnoses Technologies in aeroplane developing process**

Zhang Xun, Fan Yushun

Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, 100084

**Abstract** Process modeling and enterprise diagnosis play a critical role in enterprise integration, enabling better designs for enterprises, analysis of their performance, and management of their operations. This article gives a global survey of current process modeling and enterprise diagnosis, introduces an integrated enterprise-oriented enterprise modeling and diagnosis software system designed for aviation industry, and discusses its benefits.

**Key Words:** Enterprise modeling, Process modeling, Enterprise diagnosis