

# 协同仿真与 虚拟样机技术

Collaborative Simulation &  
Virtual Prototyping

熊光楞 郭 斌 陈晓波 蹇 佳 著



清华大学出版社

# 协同仿真与虚拟样机技术

Collaborative Simulation & Virtual Prototyping

熊光楞 郭 斌 陈晓波 蹇 佳 著

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书以虚拟样机为主介绍产品设计数字化,重点介绍在产品设计过程中如何运用仿真技术,特别是协同仿真技术。

本书共分7章。第1章为绪论,系统地阐述了产品设计理论、开发流程、开发组织及开发工具/平台,重点介绍了产品设计中的建模与仿真,并分析了虚拟样机的产生背景及其内涵。第2章和第3章是根据当前仿真在产品设计中应用的现状——单领域仿真出发,详细介绍了3个典型的商品化仿真软件及应用实例。第4章及第5章进一步根据复杂产品设计的需求阐述了多领域协同仿真的几个关键问题,包括分布式协同建模、多领域建模及协同仿真运行等。第6章及第7章从技术及实现两个层面,对虚拟样机作了系统的介绍,并给出了几个应用实例。

本书可作为高等院校研究生的参考教材,也可作为制造企业从事产品设计及信息化的技术人员及管理人士的参考读物。本书还可作为制造企业推行协同仿真与虚拟样机技术的培训教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933  
本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

### 图书在版编目(CIP)数据

协同仿真与虚拟样机技术/熊光楞等著. —北京:清华大学出版社,2004.8  
ISBN 7-302-08598-6

I. 协… II. 熊… III. ①产品-设计-仿真 ②虚拟-样机 IV. ①TB472 ②TH12

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第041061号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦  
<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084  
社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:吴宏伟

文稿编辑:耿林晓

封面设计:钱 诚

版式设计:杨 洋

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:16.25 字数:356千字

版 次:2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-08598-6/TP·6168

印 数:1~4000

定 价:26.00元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

# 前 言

以信息化带动工业化,发挥后发优势,实现社会生产力的跨越式发展,已成为 21 世纪我国建设现代化强国的基本方针。信息化包含了丰富的内涵,比如:政务信息化、金融与商务信息化、教育信息化和制造业信息化等。众所周知,制造业是国民经济的支柱性产业,是整个工业及国民经济的基石,其生产总值通常要占到全国生产总值的 20%~55%。当今世界,是否具有高度发达的制造业已成为衡量一个国家综合国力的重要标志,而制造业信息化则是振兴与发展制造业的必经之路。

制造业信息化,简单地说,就是用信息技术来改进与革新制造业的各个层面,如:产品设计、生产计划、企业管理、加工制造、采购与销售等。

由于信息化离不开计算机,因此制造业信息化也常被人们简称为制造业数字化。它包括产品设计数字化、管理数字化、生产过程数字化以及制造装备数字化等。

产品设计,特别是创新设计,是影响企业竞争力的重要因素,它更是目前制约我国制造业发展的关键点。为实现我国制造业的腾飞,必须大力推动产品设计数字化。

纵观产品设计数字化的发展历程,大致可分为以下 3 个阶段:

第一阶段是广泛使用计算机辅助工具,如:CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计)、CAPP (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺规划)及 CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程分析)等,简称 CAX 阶段。

第二阶段是在大量使用 CAX 的基础上,推广应用 DFX (如:DFM——面向制造的设计、DFA——面向装配的设计、DFC——面向成本的设计等),并以 PDM (产品数据管理)为集成平台,将这些应用系统集成成为一个整体,同时,对产品设计过程及组织形式加以改进,以便在设计早期尽可能做出正确决策。这个阶段也称为并行工程阶段。

第三阶段是在并行工程的基础上大量使用仿真手段,包括构造产品的数字化模型以代替物理样机,并对这些数字化模型进行各种试验,特别是协同仿真试验,以便改进设计质量,缩短设计周期,减少开发成本。这就是所谓的虚拟样机阶段。

本书是在清华大学自动化系熊光楞教授的指导下集体创作的产物。全书的体系结构、各章提纲与主要内容均由熊光楞教授提出,写作小组(成员均为在熊光楞教授的指导下参与协同仿真与虚拟样机技术研究的博士及硕士)对各章内容进行讨论,然后由各成员分别执笔撰写。

本书第 1 章及第 6、7 章由郭斌执笔,第 2、3 章由蹇佳执笔,第 4、5 章由陈晓波执笔。郭斌对全书在文字及编辑方面做了大量工作。柴旭东博士参与了本书的前期讨论及撰写工作。

本书在撰写过程中得到了清华大学范文慧、曾庆良老师、苟凌怡博士以及大连铁道学院兆文忠、米小珍老师的大力支持，编者对他们表示感谢。

编 者

2004年3月于清华园

# 目 录

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                             | 1  |
| 1.1 引言 .....                               | 1  |
| 1.1.1 制造企业信息化发展历程 .....                    | 2  |
| 1.1.2 新世纪制造业的发展 .....                      | 6  |
| 1.1.3 我国制造业的发展现状 .....                     | 10 |
| 1.2 产品设计 .....                             | 12 |
| 1.2.1 产品设计理论 .....                         | 12 |
| 1.2.2 产品开发流程 .....                         | 13 |
| 1.2.3 产品开发组织 .....                         | 18 |
| 1.2.4 产品开发工具/平台 .....                      | 18 |
| 1.3 仿真技术及其在产品设计中的应用 .....                  | 22 |
| 1.3.1 仿真的定义与分类 .....                       | 22 |
| 1.3.2 计算机仿真的发展现状 .....                     | 24 |
| 1.3.3 计算机仿真在产品设计中的应用 .....                 | 31 |
| 1.4 虚拟样机及其关键技术 .....                       | 34 |
| 1.4.1 虚拟样机的产生及其内涵 .....                    | 34 |
| 1.4.2 虚拟样机关键使能技术 <sup>[8]</sup> .....      | 35 |
| 参考文献 .....                                 | 38 |
| 第 2 章 典型商品化仿真软件 .....                      | 41 |
| 2.1 引言 .....                               | 41 |
| 2.1.1 主流的商品化仿真软件 .....                     | 41 |
| 2.1.2 仿真软件的应用现状 <sup>[7,8]</sup> .....     | 45 |
| 2.2 ADAMS 软件简介 .....                       | 46 |
| 2.2.1 ADAMS 软件组成和功能 <sup>[10]</sup> .....  | 46 |
| 2.2.2 ADAMS 软件仿真分析的步骤 <sup>[9]</sup> ..... | 51 |
| 2.3 MATLAB 软件简介 .....                      | 52 |
| 2.3.1 MATLAB 软件的起源与发展 .....                | 52 |
| 2.3.2 MATLAB 软件的特点 .....                   | 53 |
| 2.3.3 MATLAB 软件组成和功能 <sup>[5]</sup> .....  | 53 |

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.4 Simulink 简介 <sup>[5,11]</sup> .....              | 57        |
| 2.4 PSPICE 软件简介 .....                                  | 59        |
| 2.4.1 PSPICE 软件的起源与发展 .....                            | 59        |
| 2.4.2 PSPICE 软件的特点 <sup>[14]</sup> .....               | 60        |
| 2.4.3 PSPICE 软件的组成 <sup>[12]</sup> .....               | 61        |
| 2.4.4 PSPICE 软件的功能 <sup>[18]</sup> .....               | 63        |
| 2.4.5 PSPICE 软件仿真分析的步骤 .....                           | 65        |
| 2.5 小结 .....                                           | 65        |
| 参考文献 .....                                             | 66        |
| <b>第 3 章 产品设计中的单领域仿真及应用</b> .....                      | <b>67</b> |
| 3.1 引言 .....                                           | 67        |
| 3.1.1 仿真在产品设计中的地位 .....                                | 67        |
| 3.1.2 仿真在汽车设计中的应用 <sup>[2]</sup> .....                 | 68        |
| 3.1.3 仿真在铁路车辆设计中的应用 .....                              | 71        |
| 3.2 单领域仿真 .....                                        | 72        |
| 3.3 机械系统软件 ADAMS 在产品设计中的应用实例 <sup>[12]</sup> .....     | 74        |
| 3.3.1 背景介绍 .....                                       | 74        |
| 3.3.2 机械模型分析 .....                                     | 75        |
| 3.3.3 ADAMS 模型分析 .....                                 | 78        |
| 3.3.4 仿真结果分析 .....                                     | 81        |
| 3.4 控制系统软件 MATLAB 在产品设计中的应用实例 <sup>[13,14]</sup> ..... | 85        |
| 3.4.1 车辆模型分析 .....                                     | 85        |
| 3.4.2 Simulink 模型分析 .....                              | 86        |
| 3.4.3 仿真过程及结果分析 .....                                  | 88        |
| 3.5 电子系统软件 PSPICE 在产品设计中的应用实例 <sup>[15]</sup> .....    | 91        |
| 3.5.1 无刷直流电动机模型分析 .....                                | 92        |
| 3.5.2 PSPICE 模型分析 .....                                | 92        |
| 3.5.3 仿真结果分析 .....                                     | 95        |
| 3.6 小结 .....                                           | 96        |
| 参考文献 .....                                             | 97        |
| <b>第 4 章 面向复杂产品设计的协同仿真</b> .....                       | <b>98</b> |
| 4.1 多领域协同仿真在复杂产品设计中的应用 .....                           | 98        |
| 4.1.1 福特汽车姿态控制系统开发 .....                               | 98        |
| 4.1.2 菲亚特摆式列车半主动侧向悬架开发 .....                           | 99        |
| 4.1.3 XXX 飞行器开发 .....                                  | 100       |

|              |                                             |            |
|--------------|---------------------------------------------|------------|
| 4.1.4        | YYY 作战系统开发 .....                            | 101        |
| 4.1.5        | 仿真目前的应用特点 .....                             | 102        |
| 4.2          | 复杂产品设计对仿真的需求 .....                          | 102        |
| 4.2.1        | 全面考虑产品的使用、制造、维护和销毁要求 .....                  | 103        |
| 4.2.2        | 全面应用于产品的概念设计、系统设计和详细设计 .....                | 104        |
| 4.3          | 将仿真全面应用于复杂产品设计的方法 .....                     | 105        |
| 4.3.1        | 将仿真全面应用于复杂产品设计所获得的产品模型 .....                | 106        |
| 4.3.2        | 将仿真全面应用于复杂产品设计所需使用的工具 .....                 | 107        |
| 4.3.3        | 将仿真全面应用于复杂产品设计的过程 .....                     | 108        |
| 4.3.4        | 将仿真全面应用于复杂产品设计的协同性 .....                    | 109        |
| 4.4          | 面向复杂产品设计的协同仿真 .....                         | 110        |
| 4.4.1        | 协同仿真技术的起源 .....                             | 110        |
| 4.4.2        | 面向复杂产品设计的协同仿真 .....                         | 111        |
| 4.4.3        | 协同仿真关键使能技术 <sup>[7,9]</sup> .....           | 111        |
| 4.5          | 分布式协同仿真建模 .....                             | 116        |
| 4.5.1        | 分布式协同仿真建模问题 .....                           | 116        |
| 4.5.2        | 分布式仿真模型对象定义 .....                           | 117        |
| 4.5.3        | 基于分布式仿真模型对象的分布式协同建模方法 .....                 | 120        |
| 4.5.4        | 基于分布式仿真模型对象的分布式协同建模实现 <sup>[25]</sup> ..... | 123        |
| 4.6          | 小结 .....                                    | 131        |
|              | 参考文献 .....                                  | 131        |
| <b>第 5 章</b> | <b>多领域建模及协同仿真运行 .....</b>                   | <b>134</b> |
| 5.1          | 引言 .....                                    | 134        |
| 5.2          | 目前主要的多领域建模方法 .....                          | 135        |
| 5.2.1        | 基于接口的方法 .....                               | 135        |
| 5.2.2        | 基于统一语言的方法 .....                             | 136        |
| 5.2.3        | 目前方法存在的主要问题 .....                           | 140        |
| 5.3          | 基于 HLA 的多领域建模方法 <sup>[6]</sup> .....        | 141        |
| 5.3.1        | 高层体系结构 (HLA) .....                          | 141        |
| 5.3.2        | 基于 HLA 的多领域建模方法 .....                       | 144        |
| 5.4          | 协同仿真运行 .....                                | 153        |
| 5.4.1        | 基于接口的协同仿真运行 .....                           | 153        |
| 5.4.2        | 基于 HLA 的协同仿真运行 <sup>[13]</sup> .....        | 154        |
| 5.5          | 小结 .....                                    | 167        |
|              | 参考文献 .....                                  | 168        |



|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>第 6 章 虚拟样机及其关键技术</b>           | <b>169</b> |
| 6.1 产生背景                          | 169        |
| 6.1.1 经济背景                        | 169        |
| 6.1.2 技术背景                        | 171        |
| 6.1.3 虚拟样机概念的提出                   | 174        |
| 6.2 虚拟样机及虚拟样机技术                   | 176        |
| 6.2.1 虚拟样机                        | 176        |
| 6.2.2 虚拟样机技术                      | 177        |
| 6.2.3 虚拟样机对产品开发的影响                | 178        |
| 6.3 虚拟样机技术在产品全生命周期中的应用            | 182        |
| 6.3.1 需求分析及概念设计阶段                 | 183        |
| 6.3.2 初步设计阶段                      | 185        |
| 6.3.3 详细设计阶段                      | 186        |
| 6.3.4 测试评估阶段                      | 186        |
| 6.3.5 生产制造及使用维护阶段                 | 188        |
| 6.4 虚拟样机建模技术                      | 188        |
| 6.5 虚拟现实技术                        | 192        |
| 6.5.1 系统组成                        | 192        |
| 6.5.2 虚拟现实系统分类 <sup>[13]</sup>    | 196        |
| 6.5.3 虚拟现实系统的关键技术 <sup>[13]</sup> | 197        |
| 6.5.4 虚拟现实技术在各领域的应用               | 199        |
| 6.5.5 虚拟现实技术在虚拟样机中的应用             | 204        |
| 6.6 小结                            | 206        |
| 参考文献                              | 206        |
| <b>第 7 章 虚拟样机支撑环境</b>             | <b>209</b> |
| 7.1 引言                            | 209        |
| 7.2 支撑环境总体框架                      | 210        |
| 7.3 分布协同仿真平台                      | 218        |
| 7.3.1 体系结构                        | 220        |
| 7.3.2 协同仿真建模                      | 222        |
| 7.3.3 仿真运行管理                      | 224        |
| 7.3.4 动态数据采集                      | 229        |
| 7.3.5 数据管理                        | 231        |
| 7.3.6 工具集成                        | 232        |
| 7.3.7 其他                          | 238        |

---

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 7.4 虚拟样机技术应用实例 .....                                 | 239 |
| 7.4.1 德国宝马汽车公司 (BMW) .....                           | 240 |
| 7.4.2 德国大众汽车公司 (Volkswagen) .....                    | 241 |
| 7.4.3 EDO Marine and Aircraft Systems 公司 (EDO) ..... | 244 |
| 7.5 小结 .....                                         | 245 |
| 参考文献 .....                                           | 245 |

# 第1章 绪 论

## 1.1 引 言

制造是人类按照所需目的，运用主观掌握的知识和技能，借助于手工或可以利用的客观物质工具，采用有效的方法，将原材料转化为最终物质产品，并投放市场的全过程。因此，制造不单单是加工过程，而且还包括市场调研和预测、产品设计、选材和工艺设计、生产加工、质量保证、生产过程管理、销售以及售后服务等产品生命周期内一系列相互联系的活动。

图 1-1 为经过简化、抽象后的制造系统结构示意图，表示了现代企业生产经营强调物质与信息运动过程的实质。其输入包括物质（原料、设备、资金、人员等）、能量与信息，输出包括产品和服务。制造系统作为一个整体，在自身运行机制的支持下，将输入经过处理与变换，生产出市场所需要的各种产品与服务。另外，制造系统由许多子系统组成，不同的子系统具有不同的功能。这些子系统通过相互之间的联系协同工作，从而达到预期的目的<sup>[1]</sup>。

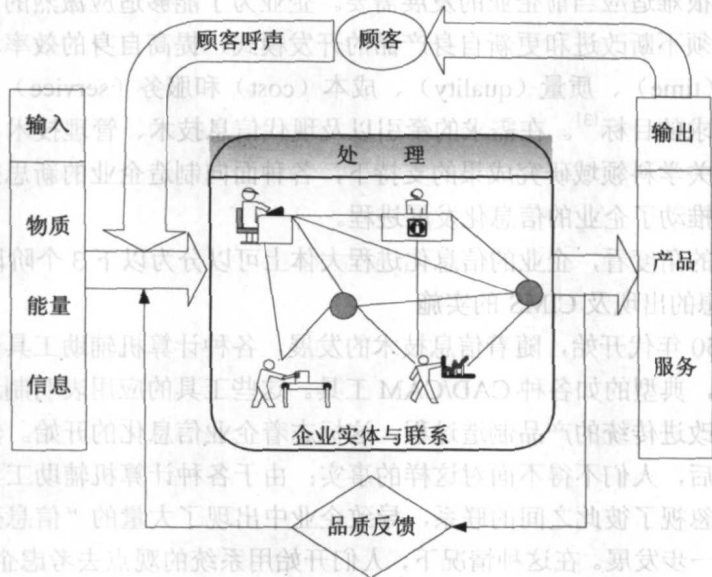


图 1-1 制造系统模型<sup>[1]</sup>

制造业是所有与制造相关的企业机构的总体。众所周知，制造业是国民经济的支柱性

产业,是整个工业及国民经济的基石,其生产总值通常要占到全国生产总值的 20%~55%。它一方面创造价值,生产物质财富和新知识;另一方面为国民经济各个部门(包括国防)和科学技术的进步与发展提供先进的手段和设备。

传统的制造业主要指机械制造业。由于人类认识和改造自然的能力不断提高,制造业的内涵已得到了很大的扩展。现在的制造业包括传统制造业和新兴制造业,主要由离散制造业(机械、电子等)、流程制造业(石油、化工等)和混合制造业(钢材等)组成。制造业已成为将可用资源通过相应制造过程转化为供人们使用的工业制成品和生活消费品的兴旺产业。另外,以信息为主导的高技术正深刻地影响着制造业,高技术的发展也为制造技术的变革提供了极大的支持。“现代制造技术”应运而生,并正推动着制造业进入集成化、信息化、智能化、网络化和绿色化的新时期<sup>[2]</sup>。

当今世界,是否具有高度发达的制造业已成为衡量一个国家综合国力的重要标志。世界上的发达国家诸如美国、日本、德国、法国和英国等,其综合国力之所以强大,最重要的原因就是拥有世界一流的制造业。

### 1.1.1 制造企业信息化发展历程

进入信息时代以来,随着经济全球化、贸易自由化和社会信息化的不断发展,世界制造业市场正变得越来越难以预测,企业间的竞争也越来越激烈。随着竞争的加剧,竞争的焦点逐渐集中到如何在最短时间内开发出高质量、低成本的产品并投放市场。同时,随着产品的规模和复杂程度的不断提高,新产品开发的难度也不断加大。在这种背景下,传统的制造理念已经很难适应当前企业的发展需要。企业为了能够适应激烈的市场竞争并处于有利的位置,必须不断改进和更新自身产品的开发模式,提高自身的效率和效益。因此,TQCS(即时间(time)、质量(quality)、成本(cost)和服务(service))的最优化成为制造企业不断追求的目标<sup>[3]</sup>。在需求的牵引以及现代信息技术、管理技术、控制技术和系统工程技术等相关学科领域研究成果的支持下,各种面向制造企业的新思想和新技术被不断提出和应用,推动了企业的信息化发展进程。

从开发模式的角度看,企业的信息化进程大体上可以分为以下 3 个阶段:

#### 1. CIM 思想的出现及 CIMS 的实施

从 20 世纪 50 年代开始,随着信息技术的发展,各种计算机辅助工具开始出现并逐步应用到制造业中,典型的如各种 CAD/CAM 工具。这些工具的应用表明制造业已经开始利用现代信息技术改进传统的产品制造过程,这标志着企业信息化的开始。然而,在经过一段时间的发展之后,人们不得不面对这样的事实:由于各种计算机辅助工具只注重于解决本领域的问题,忽视了彼此之间的联系,导致企业中出现了大量的“信息孤岛”,严重阻碍了信息化的进一步发展。在这种情况下,人们开始用系统的观点去考虑企业信息化问题,进而导致了计算机集成制造思想的提出。

计算机集成制造(computer integrated manufacturing, CIM)思想是由美国的 Joseph Harrington 博士于 1973 年首先提出的,其内涵是借助计算机将企业中各种与制造有关的系

统有机地集成起来,并通过系统的观点进行优化和重组,从而提高企业适应市场竞争的能力。Harrington 认为企业的各个生产环节必须统一处理,而不能分割,整个制造生产过程实质上是信息的采集、传递和加工处理的过程<sup>[3]</sup>。

CIM 的两个基本思想是:

- ◆ 将制造业的各个部分,即市场分析、经营决策、工程设计、制造过程、质量控制、生产指挥和售后服务,互相联系成一个整体——它强调企业的过程集成。
- ◆ 整个生产过程本质上可抽象成一个数据的搜集、传递和加工利用的过程,最终的产品是数据物化的体现——它强调企业的信息集成。

计算机集成制造思想的提出被看作是企业信息化发展过程中的重要里程碑,是现代信息技术、管理技术在制造业中系统应用的开始,标志着一个由自发到自觉转变的完成。

基于计算机集成制造思想的计算机集成制造系统 (computer integrated manufacturing system, CIMS), 在 20 世纪 80 年代中期开始得到重视和大规模实施。概括地说, CIMS 是以数据库为中心,借助计算机网络把设计环境中的数据传递到各个自动化加工设备中,并能够对这些设备进行有效地控制和监督的系统。

由于 CIMS 将计算机技术应用到制造企业,并在产品开发过程中大量采用了计算机辅助工具,注重各个系统间信息集成,使得企业的新产品开发能力和市场竞争能力得到极大提高。然而,在 CIMS 模式下的产品开发仍然采用传统的串行开发模式,致使设计的早期阶段不能很好地考虑产品生命周期中的各种因素,不可避免地造成较多的设计返工,这促使企业在实现了内部信息集成之后,开始关注过程集成的问题,并由此发展出并行工程理念。

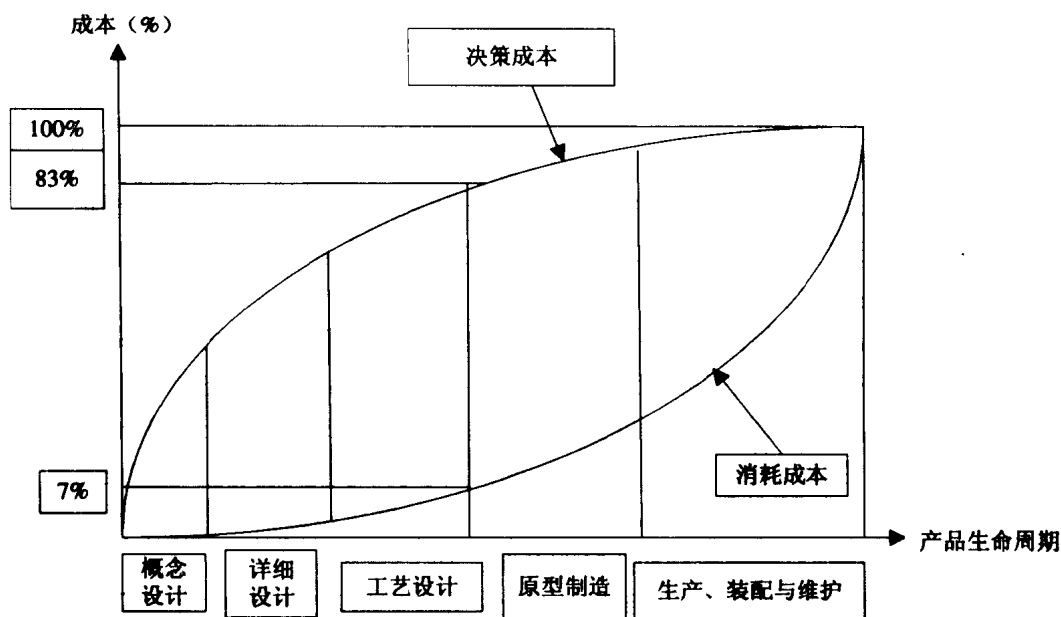
## 2. 并行工程理念的提出及各种支持工具的应用

图 1-2 显示了波音公司对产品开发成本与周期的统计结果。从图中可以看出,在产品开发过程中,设计阶段的成本虽然仅占产品开发总成本的 7% 以下,却决定了产品开发成本的 83% 以上,而且设计阶段对后继环节的影响是以指数形式递增。由此可见,如何在开发的早期阶段就考虑产品生命周期中的各种因素并做出正确决策,对企业获得最佳的 TQCS 具有重要意义。因此,在 CIMS 技术发展到一定程度后,以过程集成为中心的并行工程技术应运而生。

并行工程 (concurrent engineering, CE) 是一种新的指导产品开发理念,是对传统的产品开发方式的一种根本性改进。并行工程的核心是过程集成。

1986 年,美国国防部高级研究计划局 (the Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) 制定了一项为期 5 年的并行工程启动计划 (DARPA Initiative in Concurrent Engineering, DICE)。R. I. Winner 在美国国防部分析研究所的 R-388 研究报告中明确地提出了并行工程的思想,并对其作了如下定义:

并行工程是“对产品及其相关过程 (包括制造过程和支持过程) 进行并行、一体化设计的一种系统化工作模式。这种工作模式力图使开发者从一开始就考虑到产品生命周期 (从产品的概念形成到其报废消亡) 中的所有因素,包括资料、成本、进度和用户需求”。

图 1-2 产品开发成本一周期的统计<sup>[3]</sup>

以上定义明确指出，系统化方法是并行工程的核心。系统工程的方法强调时空两方面的整体性，而并行工程更侧重于时间上的协同。从内涵上看，并行工程将一系列在时间上分散又彼此相互作用的过程基于时间轴看作是一个统一的系统，采用系统工程的思想对这个系统进行整体分析与优化。

并行工程通过组织以产品为核心的跨部门的集成产品开发团队（Integrated Product Team, IPT），改进产品开发流程，实现产品全生命周期的数字定义和信息集成，采用新的质量理念满足不断变化的用户需求，并采用新的计算机辅助工具，保证在产品开发过程的早期能够做出正确决策，有效地减少设计修改，缩短产品开发周期，降低总成本。

在并行工程理念的指导下，现代管理技术开始在企业中得到广泛应用，并取得了显著的成效。典型的如团队技术、企业过程重构技术、产品全生命周期管理、项目管理、供应链管理和客户关系管理等。

### 3. 信息化的进一步发展及敏捷制造战略的提出

随着世界经济的快速发展和人们生活水平的不断提高，市场环境发生了巨大的变化，消费者需求日趋主体化、个性化和多样化。面对变化迅速且无法预测的买方市场，传统的大批量生产模式已经不再适应新的市场形势的需要。在这种情况下，市场需求的快速反应能力就开始成为企业能否在市场竞争中获胜的重要标志。

1986 年，美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）经过深入研究认为，在时间、质量、成本和服务产品竞争 4 大关键因素中，质量已不再是市场竞争的最重要因素。由于创新周期的缩短和全球化市场的形成，企业面临着不可预测和不断变化

的市场，只有快速响应市场需求，提供满足用户个性需求的产品，才能在竞争中取胜。

1988年，美国通用汽车（GM）公司与美国里海大学（Lehigh University）共同提出一种新的制造企业战略——敏捷制造，即制造企业采用现代通信手段，通过快速配置各种资源（包括技术、管理和人），以有效协调的方式响应用户需求，实现制造的敏捷性。

从内涵上说，敏捷制造的敏捷性是指企业在不断变化、不可预测的经营环境中应变的能力。它是企业在市场中生存和领先能力的综合表现，具体体现在持续变化性（产品、技术和管理模式）、快速反应性（适应市场的变化）、质量高标准和低成本。

敏捷制造属于一种战略思想，其具体实现依赖于各种现代技术和方法。这些现代技术和方法中，最具代表性的是虚拟企业的组织方式和虚拟制造的开发手段。实现敏捷制造需要企业具有一定的条件，主要包括设备的高度柔性、可编程性和模式化，信息系统的标准化和可维护性，人的因素和管理机构等。

2002年，中国电子信息产业发展研究院研究部发布了《2001 中国企业信息化研究报告》<sup>[29]</sup>。报告指出，企业信息化的基本框架和内容是将信息技术全面、彻底地融入企业的作业层、管理层、经营层乃至决策层的各个环节、各个领域和各个方面。表 1-1 列出了企业信息化在企业各个层面的基本框架。

表 1-1 企业信息化的基本框架和层面<sup>[29]</sup>

| 层 面 | 信息化内容                            | 主要软件系统                              | 主要硬件设备                         | 应 用 目 的                                                  |
|-----|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 作业层 | 产品设计与生产                          | CIMS、CAD、CAPP、CAE、CAM、PDM 和 MRPII 等 | 自动化生产设备、智能仪表、服务器、客户机、网络产品和绘图设备 | 产品设计、工艺设计、生产过程自动化和半自动化，实现了产品的柔性制造、敏捷制造和即时制造              |
| 管理层 | 人、财、物管理自动化                       | ERP、OA、PDM 和 MIS 等                  | 服务器、客户机、网络产品、计算机外围设备和自动化库房     | 职能管理部门办公自动化、自动生成各类统计报表和作业计划                              |
| 经营层 | 辅助决策、办公自动化、电子商务、供应链管理 and 客户关系管理 | ERP、OA、CRM 和 SCM 等                  | 服务器、客户机、网络产品、计算机外围设备和自动化办公设备   | 实现企业内部信息资源和外部信息资源的集成，为科学决策提供准确、实时的信息，实现供应链管理，客户关系实现供应链管理 |

企业信息化是一项系统工程。企业信息化系统的建设需按系统工程先进行总体设计，然后分步实施。实施需按总体设计的要求进行。一般来说，对于现阶段有基础、有条件的大公司、大企业而言，企业信息化系统的建设实施所需的主要技术、设备见表 1-2。

表 1-2 信息化系统主要技术和设备<sup>[29]</sup>

| 序 号 | 信息化实施           | 主 要 技 术                                             | 主 要 设 备                     |
|-----|-----------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1   | 建立、完善企业的内联网和外联网 | 分布式网络技术、互联网技术和接入网技术                                 | 集线器、路由器、服务器和信息终端等           |
| 2   | 主要业务流程重组        | 系统论、控制论、管理学、网络技术和软件工具                               | 计算机系统                       |
| 3   | 整合企业资源          | 业务专业管理知识, 网络技术 MRP-Ⅱ、ERP、SCM 和 CRM                  | 计算机系统                       |
| 4   | 设计自动化和网络化       | CAX、数字仿真和系统建模等                                      | CAD/CAM 系统等                 |
| 5   | 管理自动化和网络化       | MIS、DSS、SCM、ERP、VR 和多媒体技术等                          | 计算机系统                       |
| 6   | 生产(过程)自动化和网络化   | 数控技术、程控技术、电力电子技术、变频调速技术、成组技术和柔性制造技术等                | NC、FMS、PLC、DCS、ISBC 和数控计算机等 |
| 7   | CIMS 工程         | 网络技术、MIS 技术、CAX 技术和柔性制造技术等                          | CAD/CAM 系统、FMS 和计算机系统等      |
| 8   | 制造业信息化支撑平台      | CTI 技术、Data Warehouse、WWW 技术、虚拟样机技术和敏捷制造技术          | 网站设备、CTI 设备和 FMS 等          |
| 9   | 完全的电子商务系统建设     | SCM、CRM、EPR、EDI、条码、CA、支付网关、在线支付、现代物流技术信息安全技术和网络安全技术 | 网站设备、接入设备和现代物流设备等           |

### 1.1.2 新世纪制造业的发展

在 21 世纪里,世界工业将由计算机工业时代全面进入信息时代。由于工业化国家 70% 左右的财富来自制造业,因此世界工业发达国家都把制造业作为国家发展的重要战略。它们纷纷研究世界的变化和高新技术的发展及应用对世界经济的影响,对企业管理体制、经营理念乃至技术手段的发展等诸多方面的新思路、新概念和新技术的研究也给予了很大的支持和资金的投入。这些战略思路基本上是以快速决策、快速反应、以柔应变、快速制造为特征更加有效地利用社会与生产资源。

#### 1. 制造全球化

在 20 世纪末,一度被认为是“夕阳产业”的制造业获得了新的生机和活力,其中制造业全球化的发展起到了十分重要的作用。全球化发展的趋势要求制造业必须研究并解决以下问题<sup>[2]</sup>: 市场营销网络、产品开发协作、产品生产联合、资源共享利用和行业结构联盟的国际化等。只有当以上问题获得圆满解决时,制造业才能够在全球化的进程中实现新的飞跃。



## 2. 制造网络化

向网络化发展是制造业在 20 世纪 90 年代表现出来的强劲趋势。随着计算机网络技术的迅猛发展,制造业的功能内涵和运作模式都发生了深刻变化。借助计算机网络,人们在信息交流、资源共享、网络联盟、功能集成、远程管理以及异地制造等方面都取得了前所未有的突破。

在制造业中,借助计算机网络可以实现制造环节岗位内部和岗位之间的网络化,进行制造工艺、制造工序和制造过程的集成;可以实现制造企业部门内部和部门之间的网络化,进行工程设计、生产调度和信息管理的集成;可以实现制造行业内部企业和企业之间的网络化,进行数据交流、资源共享和优化利用;可以实现跨地区、跨国度的制造企业之间的网络化,进行远程在线管理和实时控制,做到异地制造、异地安装和异地调试产品。正是由于制造网络具有以上特点,使得它在未来的制造业中大有用武之地。

## 3. 制造敏捷化

1991 年,美国里海大学在美国国会和国防部的支持下,会同美国众多工业界主要代表向美国国会提交了《美国 21 世纪制造企业战略》报告,在这份报告里首次提出了敏捷制造 (agile manufacturing, AM) 这一新概念<sup>[4]</sup>。

敏捷制造是一种面向 21 世纪的先进制造战略和现代制造模式。为了适应新世纪世界制造业市场的激烈竞争,制造业不仅要灵活、多变地满足用户对产品多样性的需求,而且也要及时快速地满足用户对产品时效性的需求,这样就促使制造业向敏捷化的方向发展。敏捷化是制造业在急速变化和连续分裂的全球市场中向用户提供高质量商品和服务并获得高利润的保证。敏捷制造可以看作是由创新化的管理机构、知识化的人才队伍和先进化的技术条件三位一体构成的新型制造模式。

敏捷制造的核心在于:保持与产品生产周期、生产规模、生产过程、生产组织、生产管理和生产联盟的紧密联系,并使这种联系快速、灵活和高效;在产品的多样性冲击下,注重制造企业的机器柔性、工艺柔性、运行柔性和扩展柔性,强调制造企业必须具有生产设备重构、生产工艺重构和生产机制重构的突出能力;还要求制造业广泛采用快速化的集成制造技术和工艺,以适应敏捷制造的特殊需求。

未来的制造业市场对产品多样性和时效性的要求会日益苛刻。各种产品的生产过程和生产系统必须具有一定的柔性,能够重新组合。因此,敏捷制造十分注重向“可重组”(reconfigurable)、“可重用”(reusable)和“可扩充”(scalable)的方向发展。

## 4. 制造虚拟化

在无法预测和快速变化的市场环境中,制造业如何才能按客户需求做出快速反应,是企业成败的关键,而虚拟制造(virtual manufacturing, VM)正是解决这一问题的有力武器。虚拟制造是一个集成化和综合化的制造环境,它利用仿真与虚拟现实技术,在高性能计算机及高速网络的支持下,采用群组协同技术,通过计算机模型来模拟和预测产品功能、性能及可加工性等方面存在的问题,实现产品制造的关键过程,包括设计、工艺规划、加工制造以及性能分析等的管理和控制。

由于虚拟制造是实现敏捷制造的关键技术,所以它正受到各工业发达国家的高度重视。