

# 现代设计方法 研究与应用

孟宪颐 著



兵器工业出版社

# 现代设计方法研究与应用

孟宪颐 著

兵器工业出版社

## 内 容 简 介

本书主要介绍常用现代设计方法的基本原理和工程应用,特别是在各种机械工程问题中应用的基础知识、原理、方法和步骤。

第1章简要叙述了现代设计方法的基本概念和发展情况;第2章介绍现代设计过程的建模技术及其应用;第3章简要介绍有限元法和边界元法的基本原理,以及采用有限元法进行机械工程结构分析的一些计算实例;第4章介绍了优化设计的基本思路和一些新的方法,以及可靠性基本原理,并叙述了采用优化设计方法与其他方法结合解决问题的实例;第5章介绍了计算机辅助设计技术在机械设计中的应用;第6章介绍虚拟技术的一些工程应用;第7章介绍设计信息技术的应用原理和具体实例;第8章介绍了在起重机寿命分析中采用的一些新技术和新方法。

本书可供工程设计和研究人员阅读,也可供有关高校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法研究与应用/孟宪颀著. —北京:兵器  
工业出版社, 2006. 10  
ISBN 7-80172-747-9

I. 现... II. 孟... III. 工业产品—设计  
IV. TB472

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第103482号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟10号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市登峰印刷厂

版 次:2006年10月第1版第1次印刷

责任编辑:林利红

封面设计:李 晖

责任校对:全 静

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:14.25

字 数:293千字

定 价:28.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

# 前 言

20 世纪中后期以来，在社会经济发展需要的推动下，新的设计理念不断涌现，借助计算机技术的飞速发展，设计方法发生了革命性的变化。其中最早开始引起研究人员和工程技术人员注意的新的设计方法当属有限元法、现代优化设计和可靠性工程。目前，现代设计方法的工程应用已经在世界范围内产生了巨大的社会和经济效益，现代设计方法也已经发展到几十种之多。但是，现代设计方法在我国工程界的应用还很不平衡，传统的设计方法在大部分设计单位还占主导地位，现代设计方法的推广普及还存在较大的困难。主要的问题：一是如何将抽象的方法转化为实际应用手段，二是如何使现代设计方法的应用系统化。本书主要以作者二十余年从事机械现代设计方法应用的事例为基础，参考了国内外的一些文献，并选录了作者所指导的部分研究生的研究成果，阐述这些方法在机械工程中应用的基本原理和步骤，希望能为现代设计方法在我国工程领域的推广应用贡献一点力量。由于本书中介绍的应用内容涉及现代设计方法的诸多领域，且从应用入门到方法研讨，难易皆有，难免有一些不够周全，甚至错误的地方，希望同行专家和广大读者指正。

作 者

2006 年 8 月

# 目 录

第 1 章 绪论	(1)
第 2 章 现代设计过程的建模技术	(4)
2.1 概述	(4)
2.2 建模技术的必要条件	(7)
2.3 常用建模技术	(7)
2.3.1 数据流程图	(8)
2.3.2 状态机	(9)
2.3.3 IDEF0	(10)
2.3.4 NIAM	(11)
2.3.5 EXPRESS	(12)
2.3.6 融合	(14)
2.3.7 Petri 网络	(16)
2.3.8 Petri 网络和其他技术的比较	(17)
2.3.9 Petri 网络的应用	(18)
第 3 章 有限元、边界元法及其应用	(32)
3.1 有限元基本原理	(32)
3.1.1 概述	(32)
3.1.2 有限元分析步骤	(33)
3.1.3 结构离散化	(33)
3.1.4 基本概念	(35)
3.1.5 自动或半自动前处理	(36)
3.1.6 单元分析与处理过程	(38)
3.1.7 有限元软件介绍	(39)
3.1.8 有限元计算精度讨论	(41)
3.1.9 有限元法的优缺点	(42)
3.2 边界元法	(42)

3.2.1	二维边界元基本原理	(43)
3.2.2	边界元法的优点	(44)
3.3	装载机动臂的有限元及实验应力分析	(45)
3.3.1	动臂力学模型	(45)
3.3.2	有限元计算	(48)
3.3.3	实验应力分析	(50)
3.3.4	综合分析	(51)
3.4	电梯轿厢架的有限元分析	(53)
3.4.1	建立有限元模型	(53)
3.4.2	施加边界条件	(56)
3.4.3	分析	(60)
<b>第4章</b>	<b>优化设计和可靠性应用</b>	<b>(61)</b>
4.1	优化设计基本原理	(61)
4.2	新优化方法综述	(63)
4.2.1	自适应技术 (Adaptive Computing)	(64)
4.2.2	其他技术	(66)
4.3	离散优化问题	(67)
4.4	机械优化设计的主要工作	(69)
4.5	用边界元分域法对机械构件进行形状优化	(70)
4.5.1	概述	(70)
4.5.2	边界元位移、应力敏度分析	(70)
4.5.3	分域优化原理	(72)
4.5.4	计算实例	(75)
4.5.5	小结	(76)
4.6	铲运机斗门启闭机构优化设计	(76)
4.6.1	基本机构与动作要求	(77)
4.6.2	机构的运动分析	(77)
4.6.3	数学模型	(79)
4.7	装载机动臂总成的有限元优化设计	(85)
4.7.1	概述	(85)
4.7.2	刚架的模拟和分析	(86)
4.7.3	优化方法	(89)
4.7.4	优化方法的应用和结果评价	(90)
4.7.5	小结	(94)
4.8	基于 Pro/Engineer 分析特征的结构优化设计	(94)

4.8.1	概述	(94)
4.8.2	Pro/Engineer 行为建模器简介	(94)
4.8.3	行为建模的含义和功能	(94)
4.8.4	行为建模的组成	(95)
4.8.5	分析特征与优化研究	(95)
4.8.6	优化设计实例及分析步骤	(96)
4.9	机械产品的可靠性	(103)
4.9.1	概述	(103)
4.9.2	可靠性的定义及衡量可靠性的尺度	(104)
4.9.3	可靠性指标	(105)
4.10	响应面法在可靠性优化设计中的应用	(107)
4.10.1	概述	(107)
4.10.2	响应面法	(108)
4.10.3	可靠性优化中的应用	(109)
4.10.4	算例	(110)
4.10.5	小结	(111)
4.11	布料机结构优化	(111)
4.11.1	概述	(111)
4.11.2	布料机构总体设计参数	(112)
4.11.3	截面尺寸初始设计	(113)
4.11.4	力学计算中的已知量	(114)
4.11.5	受力分析	(117)
4.11.6	设计改进	(117)
4.11.7	结构优化设计	(118)
4.11.8	基于 Pro/E 分析特征的结构优化设计	(120)
4.11.9	优化结果分析	(123)
4.11.10	机构的运动仿真	(124)
<b>第 5 章</b>	<b>计算机辅助设计 (CAD)</b>	<b>(127)</b>
5.1	概述	(127)
5.2	计算机辅助绘图	(127)
5.3	CAD 系统的技术构成	(128)
5.4	CAD 在产品研发中的应用	(129)
5.5	港口装卸桥金属结构 CAD 系统 STRCT	(129)
5.5.1	系统开发环境	(129)
5.5.2	系统支撑软件	(129)

5.5.3	设计流程	(130)
5.5.4	各功能块简单说明	(132)
5.5.5	程序设计特点	(136)
5.5.6	数据结构	(136)
5.5.7	其他	(136)
5.5.8	讨论	(137)
5.6	电梯的计算机辅助设计	(137)
5.6.1	概述	(137)
5.6.2	系统总体设计	(137)
5.6.3	系统实现	(138)
5.7	三维 CAD 技术	(140)
5.7.1	三维 CAD 系统的关键技术	(140)
5.7.2	几何建模方法	(140)
5.7.3	特征建模技术	(141)
5.7.4	传统设计方法的不足	(144)
5.7.5	参数化设计方法	(144)
5.7.6	统一数据库管理技术	(148)
5.7.7	全参数化塔式起重机结构模型的研究	(149)
<b>第 6 章</b>	<b>虚拟技术及其应用</b>	<b>(157)</b>
6.1	电梯的虚拟设计系统研究	(157)
6.1.1	概述	(157)
6.1.2	电梯结构及设计要求	(157)
6.1.3	系统设计方案	(158)
6.1.4	系统集成	(159)
6.1.5	系统结构	(159)
6.1.6	人机界面	(159)
6.1.7	系统功能	(159)
6.1.8	小结	(161)
6.2	虚拟样机技术	(164)
6.2.1	概述	(164)
6.2.2	虚拟样机的内涵	(164)
6.2.3	虚拟样机技术的特点	(165)
6.2.4	虚拟样机技术的分析方法	(165)
6.2.5	ADAMS 软件	(166)
6.2.6	虚拟样机模型的建立	(167)



6.2.7 冲击夯虚拟样机研究 .....	(169)
6.3 虚拟现实技术应用 .....	(173)
6.3.1 概述 .....	(173)
6.3.2 虚拟现实的应用领域 .....	(175)
6.3.3 虚拟现实技术在塔机司机训练培训中的应用 .....	(176)
<b>第7章 设计信息系统</b> .....	<b>(182)</b>
7.1 概述 .....	(182)
7.2 机电产品设计信息的构成 .....	(182)
7.3 设计信息管理系统的组织 .....	(183)
7.4 基于超文本的风机设计信息系统 .....	(184)
7.4.1 基本布置 .....	(185)
7.4.2 系统的组织 .....	(186)
7.4.3 信息存储形式 .....	(186)
7.4.4 小结 .....	(186)
7.5 基于超文本的起重机设计信息查询系统 .....	(187)
7.5.1 概述 .....	(187)
7.5.2 总体设计 .....	(187)
7.5.3 数据连接 .....	(188)
7.6 课程辅助设计系统 .....	(189)
7.6.1 概述 .....	(189)
7.6.2 研究内容和目标 .....	(192)
7.6.3 信息的组织 .....	(193)
7.6.4 系统设计 .....	(193)
7.6.5 特殊技术的应用 .....	(194)
7.6.6 总体评价 .....	(198)
7.7 专家文本咨询系统研究 .....	(199)
7.7.1 概述 .....	(199)
7.7.2 专家系统和超文本技术 .....	(200)
7.7.3 产品设计的专家文本系统 .....	(200)
7.7.4 信息的构成 .....	(201)
7.7.5 设计过程的模拟及系统设计原理 .....	(201)
7.7.6 通风机专家文本系统 .....	(202)
<b>第8章 钢结构寿命的计算机辅助分析</b> .....	<b>(206)</b>
8.1 塔式起重机钢结构应力幅及应力幅谱系数的计算 .....	(206)

6 现代设计方法研究与应用

---

8.1.1	概述 .....	(206)
8.1.2	应力幅法 .....	(206)
8.1.3	塔机应力幅的计算 .....	(207)
8.1.4	应力幅谱系数计算公式 .....	(209)
8.1.5	程序框图及计算结果 .....	(210)
8.1.6	小结 .....	(211)
8.2	在用塔式起重机金属结构剩余寿命的估算 .....	(212)
8.2.1	概述 .....	(212)
8.2.2	反向推算法 .....	(212)
8.2.3	举例 .....	(213)
<b>参考文献</b> .....		(215)

# 第 1 章 绪 论

从 20 世纪 50 年代开始, 由于计算机技术的发展和新的设计思想及理念的出现, 一些先进的设计方法得到了发展和应用, 而且不断有新的方法出现。这些方法首先在发达国家得到了推广和应用, 70 年代后期, 随着我国的改革开放, 这些方法也逐渐引入到我国的学术界和工程界。最早得到重视和应用的是有限元法、优化设计、可靠性和 CAD 等技术, 这些方法在工程设计的各个方面都有应用。可以说, 20 世纪以来是设计方法发生巨大变革的时期, 新的设计方法已经或将对工程设计领域产生非常重大和深远的影响。如何称呼这些方法呢? 北京建筑工程学院的戚昌滋老师最早将这些方法统称为“现代设计法”, 并在全国范围内成立了“现代设计法协会”, 成员有各大专院校、研究单位和各类企业, 并出版了技术丛书, 创办了同名刊物(最终未能获得正式刊号), 这说明有相当一部分人认同了这一提法。当然, 也有人提出了不同看法, 认为这些方法是互相独立的技术, 没有必要把它们统一在一个名称下, 形成一门学科。但在高等院校开设课程时, 尤其对本科生讲授这些方法时, 不可能分别独立开设这些课程。另外, 有的方法之间, 确实有比较紧密的联系。于是, 在大部分高等院校, 逐渐地约定俗成将这些方法统称为“现代设计方法”, 并纷纷开设课程。与之相适应, 大量的“现代设计方法”的教材和专著纷纷出版。可以说, “现代设计方法”这个名称已经得到了广泛的认可。至于开设的课程中, 包含了多少种方法, 则各取所需。但不管怎样, 有限元法、优化设计和可靠性这“老三样”是必不可少的。而 CAD(计算机辅助技术)则往往单独开设为一门课程。如此, 现代设计方法包括了所有新出现的设计和分析方法, 除了较早的有限元法、优化设计、可靠性、计算机辅助设计、模糊设计外, 像稳健设计、虚拟设计、绿色设计、并行工程、智能 CAD、机电一体化设计、创新设计、动态设计、神经网络及其在机械工程中的应用、工程遗传算法、智能工程、价值工程、工业艺术造型设计、人机工程模块化设计、相似性设计、反求工程设计、建模与仿真技术和面向 X 的设计等都属于现代设计方法。

那么, 现代设计方法与传统设计方法有什么区别呢? 传统设计是一种经历了直觉设计、经验设计、半经验半理论设计 3 个阶段并于 20 世纪 50 年代后期形成的, 至今仍被广泛采用的设计方法。它基本上是凭借直接或间接的经验, 通过类比法来确定方案, 然后以机械零件的强度和刚度理论对确定的形状和尺寸进行必

要的计算和验算,以满足限定的约束条件。现代设计方法则是以设计产品为目标的一个知识群体的总称,它运用了系统工程,实行人—机—环境一体化设计,设计思想、设计进程、设计组织更合理化;采用动态的分析方法,使问题分析动态化;设计进程和战略、设计方案和数据的选择广义化;计算、绘图甚至分析计算机化。但是,无论什么样的设计方法的产生都与科技发展的水平有关,与社会和生产力的需求有关,也与人们的设计观念有关。所谓的现代设计方法是在传统设计方法发展的过程中产生的,因此,传统设计仍然是现代设计方法的基础,起码在现阶段是这样。

在当今世界,随着科学技术的飞速发展,新的领域不断开辟,新技术不断涌现,促进了经济的高速发展。同时,也使企业间的竞争日益激烈,而且这种竞争已成为世界范围内技术水平、经济实力的全面竞争。这种竞争必然促进生产力的提高,促进设计方法和手段的提高。上面提到的一些现代设计方法就是在这样的社会需求下发展起来的。人们随着对客观世界认识的深化和生活水平的提高,对产品的要求也越来越高。所有这些使人们对设计的要求发展到了一个新的阶段,提高产品质量、降低成本、提高生产率以及生产出符合用户需求的高科技产品是未来现代设计的发展方向,具体体现为以下几个方面:

(1) 设计由自由发展走向有计划的发展。现在多数企业的设计都是先设计出产品,然后才去寻找市场,属于自由发展的设计模式,而随着市场的不断细分,用户对产品需要的多样化,设计者必须通过对市场的挖掘设计出满足消费者需要的产品,即走向计划设计模式。

(2) 承担设计工作的人员从单人走向团队。传统的设计工作由单人或几个人完成,产品的设计周期长,因设计人员的知识局限性造成产品的性能较差,已不适应快速变化的市场和用户需要,因此未来的设计将走向团队化,发挥团队的力量、提高产品的科技含量和性能价格比、缩短产品的设计周期,从而提高产品的市场竞争力。互联网的发展更为这种协作提供了很好的舞台,异地协同设计,甚至与用户共同设计也成为可能。

(3) 设计要求由单目标走向多目标。

(4) 设计所涉及的领域由单一领域走向多个领域。

(5) 设计对象由单机走向系统。

(6) 产品更新速度加快,使设计周期缩短。

(7) 设计的发展要适应科学技术的发展,特别是适应计算机技术的发展。

本书主要以作者二十余年从事机械现代设计方法应用的事例为基础,参考了国内外的一些文献,并选录了作者所指导的部分研究生的研究成果,阐述这些方法在机械工程中应用的基本原理和步骤,希望能为现代设计方法在我国工程领域的推广应用贡献一点力量。书中第2章主要讨论在当今现代设计方法被广泛采用的情况下,如何采用合适的建模技术来模拟一个复杂的机械设计过程。该章除了

简要介绍已有的建模技术的原理和特点外,还着重介绍了作者采用 Petri 网络建模技术和改进后的 Petri 网络模拟机械设计过程的一些事例,旨在推动适合现代设计过程模型技术的发展。书中第 3 章简要介绍了有限元法和边界元法的基本原理,并比较了两者在实际应用中各自的优缺点。同时还介绍了采用有限元法进行机械工程结构分析的一些计算实例,以期说明有限元法在实际应用过程中的步骤,以及与实验分析之间的联系。第 4 章介绍了优化设计的基本思路和一些新的方法,介绍了可靠性原理,并叙述了采用优化设计方法与其他现代设计方法结合解决问题的实例。第 5 章介绍了计算机辅助设计技术在机械设计中的应用。第 6 章介绍虚拟技术的一些工程应用,包括虚拟样机技术在振动冲击设计中的应用。第 7 章介绍设计信息技术的应用原理和具体实例。第 8 章介绍了在起重机分析中采用的一些新技术和新方法。由于本书中介绍的研究内容涉及现代设计方法的诸多领域,且时间跨度大,难免有一些不够周全,甚至错误的地方,希望同行专家和广大读者指正。

# 第 2 章 现代设计过程的建模技术

## 2.1 概 述

一个复杂的机械产品设计过程往往包括许多子过程。例如，一个机械系统的设计可能包括机构设计、结构设计、液压、气动系统以及电气、控制系统设计。与这些设计子过程关联的，有复杂的分析、运算、数据的调用、经验以及类比设计等。以机械结构分析为例，在采用现代设计和分析技术的情况下，根据不同的要求，可能包括静、动态分析、疲劳计算、可靠性分析等。采用有限元进行结构分析，又可能包括几何模型生成、网格划分、施加边界条件、求解方程、后处理等。设计过程中的每一项工作都要满足一些不同的工程任务的要求。在整个设计过程中，这些子过程之间互相依存、互相制约，并共享某些设计数据。为了很好地完成这些工作，负责实施这些过程的专家们的相互协作就变得至关重要了，这一点对于一个成功的设计来说是毋庸置疑的。

实际上，设计过程可以被认为是一系列的转换，是从一种设计模型类型转换到另一种设计模型类型，或是从一种设计形态转换到另一种设计形态。专家们分别以他们各自的专业角度来评估设计执行的状况。在这些评估中，他们以各自习惯的设计模型或者表现形式，并配以自己专业的技术术语和语言来详细说明不同的模型或形态。不同专业的评估联合起来形成一个新设计的多标准的综合评估。因此，除了要有正确的产品模型外，专家之间、模型之间或形态之间的关系在设计过程中必定是非常重要的。

在过去的几十年中，人们已经认识到，运用并行工程可以获得现实的利益，例如在设计过程中应同时考虑有关产品生命周期中的各种因素。这些因素包括可制造性、可装配性、可测试性和可维护性等。传统的设计方式是不适合并行工程的，因而，一些传统的设计过程需要进行修改或者分解来适应新的设计方式。随着这种思想的推广和应用，在一项工程设计中越来越多的子过程是通过并行操作来实现的，这些子过程越来越相互依存和相互交叉。随着并行工程的发展，在科学合理的设计研究中，协作已经变得比以前更重要、更具有挑战性。在一项设计的组织中，把握好不同方面的关系，正确的在专家们之间传递信息将成为一项复杂产品设计的关键。

设计过程也可以看作是一系列数据状态的转换。一个产品设计在它的初级阶段,建立的模型是初步的,其中的大部分数据是不确定的。随着设计过程的开展,产品模型逐步细化定型,数据越来越确定和完整,并且,由于各个子过程所使用的数据具有不同的类型,在转换中需遵循一定的标准。因此,在一个设计的组织中,正确地控制子过程之间的关系以及正确地转换数据是至关重要的。随着分析技术、设计技术、计算机网络技术的发展,通过一个复杂的系统集成来实现整个设计的自动化已经成为可能的和必要的。在这个集成系统中,各子过程之间的关系、各种形式的软件之间的连接、不同形式数据的交换、计算机之间的通信等都必须予以适当的考虑。

当今,在机械构件和系统的设计中,几乎所有的设计过程中都采用了计算机辅助技术。计算机辅助设计的优势已经超越了传统的人工设计方式,这个方式的转变意义重大。为了适应不同水平的设计和分析的需求,越来越多的计算方法和软件被开发出来。大量的数值分析方法和技术被用做这些软件开发的基础。不同的计算机软件公司会根据不同的标准和不同的理论开发自己的商业软件。我们可以在市场上得到很多用来进行相同分析的软件系统,这些商业软件可能有不同的特性和操作方法,有它们自己的数据输入、输出格式和交互界面。由于历史的原因、公司的传统以及个人的喜好,对于相同的分析设计过程,不同的设计用户会使用不同类型的软件。

随着设计过程的现代化和复杂化,人们已经意识到在设计过程和产品生命周期中数据传输的重要性。在这个周期中存在着不同类型的数据,如何管理这些数据的传输已经成为 CAD、CAM、CIM 专家系统和工业企业要面对的一个至关重要的问题。在最近的 30 年,人们做了巨大的努力来建立数据传输的标准。在过去的 25 年中,基本图形交换规范标准(IGES)已经得到发展来应对这个问题,并且已经成为计算机辅助设计的方法准则。IGES 定义了一套表示 CAD/CAM 系统中常用的几何和非几何数据格式,以及相应的文件结构,用这些格式表示的产品定义数据可以通过多种物理介质进行交换。如数据要从系统 A 传送到系统 B,必须由系统 A 的 IGES 后处理器把这些传送的数据转换成 IGES 格式,而这些数据还得由系统 B 的 IGES 前处理器把其从 IGES 格式转换成该系统内部的数据格式。把系统 B 的数据传送给系统 A 也需相同的过程。但随着计算机辅助设计和计算机集成制造技术的发展,传输非几何数据规范的缺陷促使人们开发一种新的产品数据标准:产品模型数据交换标准(STEP—Standard for the Exchange of Product Model Data)。STEP 的 ISO 正式代号为 ISO 10303,是一个关于产品数据计算机可理解的表示和交换的国际标准,目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制,能够描述产品整个生命周期中的产品数据。产品生命周期包括产品的设计、制造、使用、维护和报废等。产品在各过程产生的信息既多又复杂,而且分散在不同的部门和地方。这就要求这些产品信息以计算机能理解的形式表示,

而且在不同的计算机系统之间进行交换时保持一致和完整。产品数据的表达和交换,构成了 STEP 标准,STEP 把产品信息的表达和用于数据交换的实现方法区分开来。

计算机网络技术的成熟使得设计者们的合作变得更加可行。设计分析中人们可以充分利用各种各样的软件,这些软件安装在连接局域网和全球网的不同机器上。设计者可以利用网络上的多台计算机共同运行一个大的程序,以便将计算负载由所有这些计算机分担。更重要的是,网络还促进了多台计算机并行处理大程序的技术。在某些条件下,如受计算资源和合理的设计周期的限制,人们常常在一个复杂的系统中分离出一些过程然后依次执行这些过程,这使得设计者们往往需要在局部优化设计和全局优化设计中做一个折中的选择。举例来说,在机械系统设计中,人们经常依次进行结构和机构分析而忽略了它们之间的相互作用。计算机存储能力的扩展和网络技术的迅猛发展使得一个零件甚至整机的全局设计优化变得可以实现。为了适应诸如过程之间的相互作用这样的需求,并行和依存技术将很可能应用在基于网络的产品设计集成系统中。频繁的数据交换有时候会贯穿于整个过程中,如机械系统中结构与机构设计之间的数据交换。随着设计和分析技术的发展,基础知识和网络技术,再加上新的工程理念的出现,通过全面的、尖端的集成设计系统进行自动化设计已经成为需要的,而且是现实的。在这样的集成系统中,各种类型软件之间的交互界面、不同数据类型的转换、不同性质的子过程之间的关系、集成系统中的计算机之间的数据传输和交换以及网络操作等,都需要加以适当的考虑。

现代设计过程包含了上述的一系列活动,为了管理好这一过程,无论对人工设计还是自动化设计来说,一种高水平的建模技术是必不可少的。这种技术应能很好地模拟整个复杂的系统和设计进程,能反应集成系统的工作流程和结构之间的所有关系。当一个特定系统的模型被建立出来之后,还可用来解释系统的工作过程,并能对功能的实现流程进行确认。设计者们可以在建模技术的帮助下设计系统,编制程序,并且可以在系统操作的过程中,通过分析已建好的模型,并在发现了问题之后修改模型。一般来说,一个高水平的建模技术应能满足如下要求:

- (1) 能描述过程及过程之间的各种关系。如顺序执行、并行执行和依存等关系。
- (2) 反映数据状态以及数据与过程之间的关系。
- (3) 动态地反映设计进程,便于设计者分析、控制、调整设计过程。

在本章中,我们先简要论述建模技术的必要条件,然后再给出对一些建模技术的总的描述和评价。这些建模技术包括数据流图、状态机、IDEF0、NIAM、EPRESS、融合和 Petri 网络。接着对 Petri 网络作一个简要的介绍,并根据它们的特性对这些建模技术进行比较。最后,描述 Petri 网络在设计工作和工程管理



中的应用，并且对它进行相应的总结。

## 2.2 建模技术的必要条件

如前面所讲，为了满足设计工作的需要，设计者需要完成很多工作过程。每一项过程完成一个或多个特别的任务，并且可能有自己的模型和设计规范。这些工作的进行可能是依次顺序进行或是并行且互相依存的。对于自动化设计系统来说，一个过程的触发可能造成整个系统状态的变化。例如：一个优化调节模块将决定设计过程在结构分析之后要反复进行或是随之结束；而静态和动态分析可能会同时进行，以便其分析结果可以同时间地反馈到评估系统中。根据过程或者使用的软件的要求，过程中的数据输入和输出类型可能是不同的。某些数据的出现也可能引发一个或多个过程的开始。例如：网格模型（数据）的建立可以引发结构分析过程的开始。很明显，可能会有多个过程通过不同的数据采集装置共享同一些数据。一项设计是一个渐进的过程，随着过程的推进，信息和数据将变得更加完全和确定。一项设计同时又经常是检验和纠正错误的过程。反复分析和重新构造已有模型在设计过程中是不可避免的。

总之，建立模型包括以下内容：

- (1) 模拟过程（函数）和数据（信息）；
- (2) 描述过程之间的关系，这些过程可能会互相依存，并共享数据；
- (3) 描述系统的动态行为；
- (4) 建立设计和分析的重复功能；
- (5) 不仅要建立顺序的执行过程，还要建立并行的执行过程；
- (6) 建立可控制过程的触发功能；
- (7) 描述设计的不确定属性和分析中不精确度以及评估技术。

另外，建模技术用起来应当简便，而且有多层次、多水平的描述功能。一个成熟的建模技术也应当能够根据系统架构的定义对其结构特性进行分析。

## 2.3 常用建模技术

对建模技术需求的增长促进了人们在这一领域的研究。在最近 30 年中，出于不同的目标考虑，研究人员提出了许多形式各异的建模技术，它们都有各自的模拟对象和适用范围，如适用于信息、软件、工程和各类工程设计和分析过程方面。但用在建立 CAD/CAM 系统的建模技术却十分有限。在下面的叙述中我们将说明现有的主要建模技术的原理，并尝试用这些技术来模拟某个设计过程，然后给出一个简要的评价。