

Product Design

Techniques in Reverse Engineering and New Product Development

产品设计

[美] Kevin N. Otto 著 齐春萍 宫晓东 张帆 等译
Kristin L. Wood



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

产品设计

Product Design

Techniques in Reverse Engineering and
New Product Development

[美] Kevin N. Otto 著
Kristin L. Wood

齐春萍 宫晓东 张帆 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·Beijing

内 容 简 介

本书介绍了一套已经得以完整构建的设计方法。这种方法涉及产品开发的各个领域,涵盖了从市场需求的探究,概念的产生和实现,竞争对手的分析,设计与工程的结合等各个方面,以大量的实例阐述了反向设计法与再设计等新的设计理论和方法。这套方法源自于许多工业方面的实例,研究重点在于产品的设计与设计要素的构成。从下达一项设计任务开始,就建立一个符合设计预想规范的功能模型。在其后的设计过程中,均以该功能模型为设计基础,将规范落实到设计的每一个步骤当中。从而使设计师在保证利润的前提下能够创造性地、有效地解决产品开发的问题。

Simplified Chinese edition Copyright © 2005 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and Publishing House of Electronics Industry.

Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, ISBN: 0130212717 by Kevin N. Otto, Kristin L. Wood. Copyright © 2001. All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau).

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和Pearson Education培生教育出版亚洲有限公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2002-5713

图书在版编目(CIP)数据

产品设计/(美)奥托(Otto, K. N.)等著;齐春萍等译.-北京:电子工业出版社,2005.1

书名原文:Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development
ISBN 7-121-00572-7

I. 产... II. ①奥... ②齐... III. 工业产品-设计 IV. TB472

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第120138号

责任编辑:史 平

印 刷:北京智力达印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:45 字数:1181千字

印 次:2005年1月第1次印刷

定 价:68.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

译者序

在市场日益全球化的今天，工业设计已经成为企业生存和发展的基本手段。为保持和发展业务，所有的公司都把基本的竞争——新产品的的设计当做一个关键的战场。这就对设计的科学性和可控性提出更高的要求。

工业设计作为一门独立学科在中国有20多年的发展历史，这期间有了艰难而长足的进步。企业对工业设计的重视程度在逐步增加，高等学府的工业设计专业如雨后春笋般纷纷成立，选择这个时机把本书介绍给国内的企业和设计同仁有特殊的意义。

本书运用以模型为核心的分析方式，涉及产品开发的各个领域，涵盖对市场需求的探究、概念的产生和实现、对竞争对手的分析、设计与工程的结合等各个方面。对每一项都进行了独立分析，量化投入与产出，详尽地论述了反向设计法与再设计的理论和方法。

本书试图建立一套以模型分析为中心的方式，将庞杂的设计过程中产生的各种问题和变数限制在最小的范围，并增强各项设计活动之间的交流。本书对各项工程设计活动，尤其是现实设计环境下的工程设计活动极具参考价值，可以帮助设计师与工程师协调有序的工作，各司其职，使设计师能够创造性地、有效地并且在保证利润的前提下解决产品开发的问题，确保设计工作的顺利进行。

借由此书，希望有助于形成正确的设计管理观念，根据企业自身的技术条件和商业环境的具体情况，采用适合的产品开发程序，逐步形成科学的产品研发流程。对于设计师，希望通过阅读本书，达到以下的目的：提高解决问题的创新性和创造力；确保对每一个必需要素的考虑，以实现成功的设计；确保对设计工具及方法应用的所有结果实现全程控制。工程师、设计师应当在产品开发的实际工作中不断提高、改进设计方法和开发程序。设计专业的学生应当对本书的各个章节都要细致地学习和研究，并在此基础上进行总结和提炼，以建立对产品开发的全面认识。

设计方法的历史与产品设计的发展充满了智慧和科学性，并且仍在不断地前进。新的观点、看法将不断提出，此书也决不意味着终止，而是新的开端。

北京理工大学的齐春萍、宫晓东、张帆、刘永瞻、宁兵、周森、金纯参加了本书的翻译工作。鉴于译者水平有限，加之翻译时间仓促，不免出现纰漏之处。希望大家及时予以指正，在此深表感谢。

序 言

美国的许多公司已经认识到不断提高产品的更新率，比竞争对手更加迅速有效地将产品投放市场可以使公司保有一种持续的竞争力。这些公司将其产品发展能力看做一个首尾相连的商业过程，可以通过重新设计和整体品质管理得到持续提高。在这个环境中，工程实践对于这个过程的成功至关重要，等同于工程科学的执行。K. N. Otto 和 K. L. Wood 展示了一种产品设计的方法，该方法基于“艺术”的工程方法、工具和过程。在完整的产品发展的进程中，描述了一种非常有效的设计实践。学生和从业者会发现，这种方法不仅实用、有效，而且可以快速应用到今天的设计挑战之中。

Maurice F. Holmes
副总裁，产品设计部首席工程师
Xerox 公司

绪 言

产品设计展示了对于结构化设计过程和方法的深入研究。通常，我们不难发现在教育和工业中运用结构化的设计过程有许多优点。在工业生产中，结构化的设计过程作为一种强制手段，可以有效决定将哪个项目投入市场，在千变万化的世界中规划出发展渠道，以及有效地创造有竞争力的优秀产品。从教育的角度来讲，使用结构化设计方法的益处包括获取对于普通产品的实际研究经验，应用当代的新技术，借助数学和科学理论来实现卓有成效的应用，研究系统性实验案例，探索设计理论的边缘领域，对产品的开发进行决策。无论对于实践经验有限的低年级学生还是有较多实际设计经验的已毕业学生，在上述方面都能获益良多。

基于这些，本书定位于面向在校生、毕业生和从业工程师。本书的第1章介绍了产品设计的基本内容，包括学习和实现产品设计方法的理论体系。随后的各章介绍了产品开发不同特定阶段应用的基本方法和先进技术。取决于读者的背景，可以从根本的层次或者推动产品设计的前沿领域这一层次理解这些方法。

从回顾的角度来看，我们一直在教授产品发展课程并进行产品构造设计方面的研究，而本书正是源于作者间的这种合作与努力。在设计、教学和研究中，我们分享相近的理念。拓展了许多新的设计方法，并将其和他人创建的方法一起应用于实践。我们也致力于把现实和市场中的规则和刺激带入设计课堂。

作为我们教学方法的一个基本前提，逆向工程和产品拆卸提供了一个优秀的设计结构范例，使得体验、假设、理解和实现形成一种现代的学习循环方式。设计结构和其他领域并无不同，也遵循这种学习循环方式并进行实际设计。逆向工程和产品拆卸可以使我们实现这种双重目的。我们并非从一开始就直接进入设计阶段，而是从分析生活中常见的具体产品开始，研究其他设计师是如何出色设计该产品的。抱着这种理念，我们各自独立开展教学，并成功地运用了多种先进方法，如用户需求分析、功能模型优化和实际产品的设计实验。

我们尽快分享经验，探讨哪些方法可行或不可行，并合乎自然地逐渐将一系列方法连贯和组合起来。获得成功时，我们会一起庆祝；失败的时候，也会一起叹息。经系统测试后，我们在本书中展现这些方法，而在实际应用中证实这些方法的效果十分显著。

我们要感谢为此书做出直接贡献的许多人，包括 John Baker, Joseph Beaman, Geoffrey Boothroyd, Ilene Busch-Vishniac, Jim Claypool, Richard Crawford, David Cutherell, Michael Fang, Conger Gable, Javier Gonzales-Zugasti, Matthew Haggerty, Nicholas Hirschi, Maurice Holmes, Jerry Jackson, Jerry Jones, Jennie Kwo, Doug Lefever, Aaron Little, Michael Manente, Robert Matulka, Dan McAdams, David Meeker, Jon Miller, Steve Moore, Jeff Norrell, Caroline Pan, Erick Rios, David Roggenkamp, JoRuetta Roberson, Phil Schmidt, Stephen Shuler, R. S. Srinivasan, Robert Stone, Carlos Tapia, David Wallace, Joe Wysocki, Janet Yu 和 Erik Zamirowski。没有他们的智慧，就不会有此书的问世。

此外，还有许多人激发我们的想法，并在很多方面鼓励我们。这些人包括 Erik Antonsson,

Wolfgang Beitz, Joe Bezdek, Bert Bras, Jonathon Cagan, Uichung Cho, Chin-Seng Chu, Don Clausing, Jim Coles, Ray Corvair, Michael Cusumano, Jack Dixon, John Elder, Steven Eppinger, Rolf Faste, Woodie Flowers, Mark Foohey, Chee-Seng Foong, Douglas Hart, John Hauser, Chester Hearn, Alberto Hernandez, Steve Hoover, Kos Ishii, Gerry Johnson, Nathan Kane, Paul Koeneman, Sridhar Kota, Bill Maddox, Spencer Magleby, David Masser, Ryan Ratliff, David Rosen, Bernard Roth, Warren Seering, Jami Shah, Sheri Sheppard, Alexander Slocum, George Stiny, David Thompson, Irem Turner, David Ullman, Bill Weldon, Daniel Whitney, Joseph Wieck, Doug Wilde 和 Rick Zayed。

我们还要感谢许多个人、公司和组织的帮助，分享他们的案例研究、重要数据以及对案例的实现进行资助。包括 A.T.&T. Corp., W. E. Bassett Co., Design Edge Inc., Desktop Manufacturing Co., Digital Equipment Corporation, Eastman Kodak Co., Ford Motor Co., MIT Bernard Gordon Curriculum Development Fund, June and Gene Gillis, General Electric Inc., International Business Machines Corp., Keurig Inc., Microsoft Corporation, NASA Jet Propulsion Laboratory, National Science Foundation, Robert Noyce, PrO Associates, Product Genesis Inc., Polaroid Corporation, Raychem Corp., Raytheon Corp., Texas Instruments Inc., Verein Deutsches Ingenieur 和 the Xerox Corp。

我们尤其要感谢 MIT 的 Bernard Gordon 课程发展基金、国家科学基金中心和 MIT 产品发展创新中心,他们提供了必要的经费使此书得以完成。更重要的是要感谢学院教师、学生、员工和 MIT 产品发展创新中心的研究者提供的支持、理解和充满活力的环境,以及他们做出的许多可能的预见。尤其是 Warre 的预言帮助很大;他的观点、见解、建议和对产品发展工作的充分帮助,应当受到特别的感谢。

我们还要感谢那些对本书的初稿进行评阅,并提出建设性意见的同事。早期阶段的一些特殊评阅人员是美国空军学院机械工程系的教员,包括 Col. Cary Fisher, Dr. Dan Jensen, Maj. John Wood, Capt. Michael Murphy 和 Maj. Mark Nowak。感谢他们在 Wood 博士的公休日在课堂上协助处理这些材料,以及对这些材料进行实际的测试、扭转、成形,并在基本层面上加以评价。

还有许多人对本书的组织和编纂做出贡献。尤其要感谢 Neal Blumhagen, 他制作了本书的封面和文中的一些手绘图稿。感谢艺术家 Ann Weeks, 数字艺术家 Erik Zumalt, 媒体管理员 Michael Young 和 UT 教学媒体实验室主任 Sicily Dickenson, 他们完成了本书的大量插图和图片。最后,还要感谢 Laurie Wood 创作了许多插图。

Kevin N. Otto

Kristin L. Wood

目 录

第 1 章 产品开发概论	1
1.1 内容提要	2
1.2 产品设计简介	3
1.2.1 为读者和学习产品设计的学生提供的观念	3
1.2.2 产品开发与产品设计	3
1.2.3 设计与再设计的类型	4
1.2.4 工程设计	5
1.3 现代产品开发	7
1.3.1 现代产品开发程序	8
1.3.2 产品开发程序中的反向工程与再设计	13
1.4 产品开发过程实例	16
1.4.1 设计系统：施乐公司	17
1.4.2 工业设计：TX 产品设计公司	18
1.4.3 快速开发：微软公司	19
1.4.4 深入研究：Raychem 公司	21
1.4.5 高复杂性：福特公司	24
1.4.6 技术：Raytheon 公司	25
1.5 设计理论与方法	26
1.6 小结	30
1.7 参考文献	31
第 2 章 产品开发程序工具	32
2.1 内容提要	33
2.2 产品开发团队	33
2.2.1 开发团队的基本定义	34
2.2.2 团队组成：寻求合作、团结、竞争和一致	35
2.2.3 战略：团队结构	39
2.2.4 团队建设（基本活动）	40
2.2.5 团队评估	43
2.2.6 结束语：产品开发团队	45
2.3 产品开发规划	45
2.3.1 规划程序	46
2.3.2 基本的规划和调度工具	47
2.4 小结	49
2.5 参考文献	50

第 3 章 界定产品的开发范围：技术与商业的关系	51
3.1 内容提要	52
3.2 决定开发什么	52
3.2.1 S 曲线	53
3.2.2 S 曲线与新产品开发	54
3.2.3 S 曲线评论及技术预测	55
3.3 基本方法：任务陈述和技术考证	56
3.3.1 技术考证	57
3.3.2 任务说明书	57
3.3.3 指甲刀：明确目的和任务说明书	57
3.4 高级方法：商业案例分析	59
3.4.1 哈佛商业案例分析法：产品的改进	59
3.4.2 产品开发的财务分析	60
3.5 高级方式：设计原始参数	64
3.5.1 设计原始参数	64
3.5.2 案例：指甲刀	66
3.6 小结	67
3.7 参考文献	67
第 4 章 了解客户需求	68
4.1 内容提要	68
4.2 客户满意度	68
4.2.1 客户的声音	68
4.2.2 客户群体	70
4.2.3 客户需求的类型	71
4.2.4 客户需求模型	71
4.3 收集客户需求	72
4.3.1 收集需求的方法	72
4.3.2 进行交谈：喜欢/不喜欢方法	73
4.3.3 进行访谈：使用分阶段法	75
4.3.4 客户访谈：对产品的感觉和工业设计	79
4.4 客户需求的组织和排序	79
4.4.1 释义需求的分组	79
4.4.2 需求分组——近似图表法	79
4.4.3 需求重要性的确定	82
4.4.4 客户使用模式	87
4.4.5 客户需求文件资料	89
4.5 小结	90
4.6 参考文献	90

第 5 章 设置产品功能	91
5.1 内容提要	91
5.2 为什么要进行功能分解	92
5.2.1 目的	92
5.2.2 功能建模基础	93
5.2.3 功能与约束	94
5.3 建模过程	95
5.4 简单的功能树方法	95
5.4.1 FAST 法	95
5.4.2 减件-运行法	98
5.5 建立系统功能: 创建功能结构	100
5.5.1 基本功能结构: 黑箱子及定义	100
5.5.2 功能结构建模过程: 阶段 1——以活动图的形式创建过程描述	103
5.5.3 阶段 2——利用任务列表来设计子功能	104
5.5.4 阶段 3——把子功能聚集为细化的功能结构	107
5.5.5 阶段 4——对功能分解进行验证	107
5.5.6 阶段 5——建立并识别产品的结构体系及组件	110
5.6 扩展: 从简单的功能树到完整的模型	110
5.6.1 层次性功能结构分解实例	111
5.6.2 把流引入功能层次的分解中	112
5.7 再谈功能聚集: 射箭枪的简化	112
5.8 功能的通用基	117
5.8.1 通用基	117
5.8.2 功能模型的转换	118
5.8.3 通用基的使用	119
5.8.4 功能聚集的研究	119
5.9 功能建模方法的评价	120
5.10 小结	121
5.11 参考文献	121
第 6 章 产品分解与实验	123
6.1 内容提要	124
6.2 产品拆卸过程	125
6.2.1 综述	125
6.2.2 步骤 1: 列举设计条目	126
6.2.3 步骤 2: 产品分解前期预备	126
6.2.4 步骤 3: 对流通和安装环节的检验	127
6.2.5 步骤 4: 对装配件进行拆解、测量和数据分析	127
6.2.6 步骤 5: 制作材料表格	127

6.3	产品分解方法	127
6.3.1	移除操作程序法	127
6.3.2	SOP 方法实例	129
6.3.3	力流（属能量通路范围）图表法	133
6.3.4	测量和实验	139
6.4	后期分解报告	148
6.4.1	分解计划和材料表单	148
6.4.2	个性化的产品分解图	148
6.4.3	实际产品功能结构	150
6.5	产品分解的应用	150
6.5.1	应用：滑出式辅助护目板	151
6.5.2	自动冰茶机的案例研究	158
6.6	小结	163
6.7	参考文献	164
第 7 章	设定基准及确立工程说明	165
7.1	内容提要	165
7.2	背景：知己知彼	165
7.3	设定基准的方法	167
7.3.1	步骤 1：将设计要点列成清单	167
7.3.2	步骤 2：将具有竞争力的或相关的产品列成清单	167
7.3.3	步骤 3：进行一次信息调查活动	167
7.3.4	步骤 4：拆卸多种同类产品	170
7.3.5	步骤 5：根据功能确立基准	170
7.3.6	步骤 6：根据功能确定同类最佳竞争者	170
7.3.7	步骤 7：分析行业趋势	170
7.3.8	基准设定实例：磨咖啡机	171
7.4	基准设定过程中应用的工具	174
7.4.1	装配件成本分析	174
7.4.2	功能形态图	177
7.4.3	趋势分析	178
7.4.4	重新设计机遇的建议	179
7.4.5	对竞争产品基准设定的思考	179
7.5	建立产品说明书	181
7.5.1	建立说明书的过程	181
7.5.2	基本方法：品质屋	185
7.5.3	高级方法：数值分析	190
7.6	小结	194
7.7	参考文献	194

第 8 章 产品整合和整合构造	195
8.1 内容提要	195
8.2 产品整合构造	196
8.2.1 背景	196
8.2.2 整合构造的类型	197
8.3 选择构造类型	201
8.3.1 理论	201
8.3.2 以市场为决定因素的构造策略	204
8.4 平台构造	212
8.4.1 协商模块化系列产品平台	212
8.4.2 基本方法: 图解法	214
8.4.3 高级方法: 功能建造法	216
8.4.4 高级方法: 最优化选择	220
8.5 小结	225
8.6 参考文献	226
第 9 章 产品体系结构	227
9.1 内容提要	228
9.2 产品体系结构	228
9.2.1 简介	228
9.2.2 体系结构类型	229
9.2.3 产品体系结构示例	230
9.3 产品模块化: 背景介绍	230
9.3.1 模块化的类型	231
9.4 模块化设计的基本方法: 集合法	235
9.4.1 步骤 1: 创建产品功能结构图	236
9.4.2 步骤 2: 将元件集合为功能模块	236
9.4.3 步骤 3: 制作概略布局图	238
9.4.4 步骤 4: 确定模块交互关系并细化性能特性	240
9.5 模块化设计: 高级功能方法	241
9.5.1 功能依存性	241
9.5.2 模块启发法	242
9.5.3 模块启发法的应用程序	250
9.5.4 模块化设计法小结	254
9.6 基于产品体系结构的设计开发小组	254
9.6.1 达成建立基于模块的设计开发小组的方法	255
9.6.2 基于模块的设计开发小组法的应用	256
9.6.3 设计开发小组法小结	260
9.7 小结	261
9.8 参考文献	261

第 10 章 设计创意的产生	263
10.1 内容提要	264
10.2 创意产生过程	264
10.3 基本方法：资料收集与头脑风暴法	266
10.3.1 资料收集：创意的有效辅助手段	267
10.3.2 头脑风暴法	269
10.3.3 头脑传球法	271
10.3.4 C 草图法/6-3-5 法	272
10.3.5 应用于直觉方法的概念产生源	277
10.4 高级方法：定向搜索	278
10.4.1 利用物理原理进行系统搜索	278
10.4.2 利用分类表进行系统的搜索	279
10.4.3 创造性解决问题的理论	284
10.5 形态分析	292
10.5.1 为每个产品功能创建概念	293
10.6 组合解决方案原则（概念变量）	295
10.6.1 功能共享	296
10.6.2 产品应用：指甲刀	297
10.6.3 产品应用：舱底排水装置	297
10.6.4 产品应用：适于残疾人的智能餐勺	301
10.7 小结	307
10.8 参考文献	307
第 11 章 概念选择	309
11.1 内容提要	309
11.2 介绍	310
11.2.1 影响有效决策的因素	310
11.2.2 设计评估	311
11.2.3 信息品质	311
11.3 对技术可行性的估计	312
11.3.1 估计	312
11.3.2 电车的空调示例	313
11.3.3 估计线索	314
11.4 概念选择过程	316
11.4.1 对所用标准达成一致意见	316
11.4.2 对所用概念达成一致意见	317
11.4.3 对可选概念进行排序	318
11.4.4 对可选概念进行评估	318
11.4.5 攻击负面	318

11.5	一种基本方法: Pugh 概念选择表	319
11.5.1	设定标准和可选概念	319
11.5.2	选择基准	320
11.5.3	排序和评估	320
11.5.4	可选概念的排列顺序	320
11.5.5	攻击负面	321
11.5.6	迭代及结果	321
11.5.7	磨咖啡机示例	322
11.6	高级讨论: 测量理论	323
11.6.1	设置评估结构	324
11.6.2	顺序标度	324
11.6.3	间隔标度	327
11.6.4	比率标度	330
11.6.5	多种可测量标度	331
11.7	高级方法: 数字化概念评分	332
11.7.1	用间隔标度评分	332
11.7.2	选择错误分析	334
11.7.3	通过误差分析进行概念选择: 猫窝箱产品的设计	341
11.8	对设计评估计划的批评	344
11.9	小结	345
11.10	参考文献	345
第 12 章	概念具体化	347
12.1	内容提要	347
12.2	概述及背景	348
12.3	基本方法: 几何图形及布局的简单介绍	352
12.3.1	产品具体化的一般过程	352
12.3.2	具体化设计核查列表	354
12.4	高级方法: 系统建模	356
12.4.1	系统建模	357
12.4.2	机械具体化设计原则	359
12.4.3	FMEA 法: 建立故障状态与系统建模之间的关系	365
12.5	实例研究: 为系泊部位设计显示器支架	370
12.5.1	概要	385
12.6	小结	387
12.7	参考文献	389
第 13 章	构建产品规格模型	390
13.1	内容提要	391
13.2	基于性能定义的模型选择介绍	391

13.2.1	模型预备工作和选择方法	392
13.2.2	产品应用：模型预备和选择	392
13.3	数学模型与产品样机原型	394
13.3.1	实例	395
13.4	深入话题探讨：什么是产品模型	397
13.4.1	不规范模型	397
13.4.2	规范模型	398
13.5	构建产品模型：基本方法	403
13.5.1	建模的一种基本方法	403
13.5.2	构建基础模型的产品应用实例：冰茶机	410
13.6	构造产品模型：高级方法	419
13.6.1	方法与途径	419
13.6.2	方法步骤	419
13.7	产品模型：实例	421
13.7.1	电热锅	421
13.7.2	握柄温度	426
13.7.3	完成模型整合过程所需的其他产品规格模型	428
13.7.4	关于模型生效的讨论	430
13.8	小结	431
13.9	参考文献	432
第 14 章	面向制造和装配的设计	433
14.1	内容提要	433
14.2	概述与研究动机	433
14.3	基本方法：设计基本原则的应用	435
14.3.1	面向装配的设计	435
14.3.2	面向零件制造的设计	442
14.4	高级方法：制造成本分析法	450
14.4.1	成本驱动模型	451
14.4.2	制造成本分析	453
14.5	对面向装配设计的方法局限性的讨论	470
14.6	小结	474
14.7	参考文献	474
第 15 章	为环保而设计	476
15.1	内容提要	477
15.2	为什么要做环保设计	477
15.3	环保目标	478
15.3.1	全球性污染	479
15.3.2	地区性的和地方性的问题	479

15.4	基本的环保设计方法：设计准则	479
15.4.1	应用：纸托架设计	481
15.5	产品周期评估	485
15.5.1	概述	485
15.5.2	基本方法——AT&T 的对环境负责的产品评估	488
15.5.3	加权计算评估方法	492
15.5.4	产品周期评估方式	498
15.6	减少对环境影响的技术	498
15.6.1	通过设计减少材料的使用量	499
15.6.2	为拆卸而设计	501
15.6.3	为再循环而设计	506
15.6.4	为再制造而设计	508
15.6.5	为减少材料对环境的影响而设计	509
15.6.6	为提高能源利用效率而设计	510
15.6.7	满足规则和标准的设计	511
15.7	小结	515
15.8	参考文献	515
第 16 章	分析及数字模型方法	518
16.1	内容提要	519
16.2	概述和策略	519
16.2.1	解法定义	521
16.2.2	Pareto 最优	521
16.3	基本方法：电子表格搜索	523
16.3.1	产品应用：玩具火箭产品的电子表格搜索	525
16.3.2	小结	529
16.4	优化的基本概念	531
16.4.1	约束	531
16.4.2	目标函数	532
16.4.3	标准零形式	532
16.5	高级论题：分析表达式的讨论	533
16.5.1	无约束问题	533
16.5.2	拉格朗日定理	534
16.6	实际优化	537
16.6.1	数字搜索	537
16.6.2	停机判据	538
16.6.3	敏感性分析	539
16.6.4	整体最优性	539
16.6.5	解决方法：Matlab	540
16.6.6	解决方法：电子表格解算程序	540

16.6.7 实例：指甲刀产品——修剪刀刃在末端	541
16.7 产品应用	544
16.7.1 应用：TOMY™ Push 'n Go™ 火车的再设计	544
16.7.2 应用：电锅产品	548
16.8 小结	550
16.9 参考文献	550
第 17 章 物理原型	552
17.1 内容提要	553
17.2 原型制作的要素	553
17.2.1 何为物理模型/原型	555
17.3 原型的分类	555
17.3.1 原型制作的目标	559
17.4 原型的应用	560
17.4.1 实物大模型使用的材料和工艺过程	561
17.5 快速原型制造技术	567
17.5.1 快速原型制造：历史的回顾	568
17.5.2 商用快速原型制造工艺	571
17.5.3 如何为产品选择快速原型制造工艺	573
17.6 比例、尺寸分析和相似	575
17.6.1 Buckingham Π 定理和比例模型测试	575
17.6.2 搭扣设计实例	576
17.7 基本方法：物理原型设计与规划	578
17.7.1 原型设计的准则	579
17.7.2 原型应用实例	579
17.8 小结	588
17.9 参考文献	588
第 18 章 物理模型和实验	590
18.1 内容提要	590
18.2 实验设计	591
18.2.1 设计实验的基本原理	592
18.2.2 基本理论：二阶乘实验	596
18.2.3 扩展方法：相互作用	605
18.2.4 基本产品应用：玩具太阳能车的再设计	609
18.3 实验设计：减少的试验与少量的实验	613
18.3.1 全阶乘的无效率	613
18.3.2 正交性	617
18.3.3 基本的设计方法	617
18.3.4 高维部分阶乘设计	619