

原书第3版

# 机械设计过程

(美) 大卫 G. 乌尔曼 著  
(David G. Ullman)

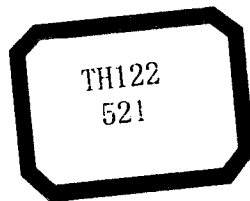
黄靖远 刘莹 等译  
郭可谦 吴宗泽 校

The Mechanical  
Design Process

Mc  
Graw  
Hill Education



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 机械 设计 过程

(原书第3版)

## The Mechanical Design Process

(美) 大卫 G. 乌尔曼 著  
(David G. Ullman)

黄靖远 刘莹 等译

郭可谦 吴宗泽 校



机械工业出版社

David G. Ullman

The Mechanical Design Process

ISBN: 0-07-112281-8

Copyright © 2003, 1997, 1992 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by the McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education(Asia)Co. and China Machine Press.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)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 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2003-5000

### 图书在版编目(CIP)数据

机械设计过程:原书第3版/(美)乌尔曼(Ullman,D.G.)  
著;黄靖远等译. —北京:机械工业出版社,2006.6  
书名原文:The Mechanical Design Process  
ISBN 7-111-19265-6

I. 机... II. ①乌... ②黄... III. 机械设计  
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第057851号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
责任编辑:刘小慧 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉  
封面设计:陈沛 责任印制:李妍  
北京铭成印刷有限公司印刷  
2006年8月第1版第1次印刷  
180mm×235mm·24.25印张·419千字  
定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68326294  
编辑热线(010)88379715  
封面无防伪标均为盗版

## 作者简介

---

**大卫 G. 乌尔曼 (David G. Ullman)** 是一位充满活力的产品设计师，他从事设计教学、研究和撰写已经超过 25 年。他担任一个软件产品供应和支持产品开发及决策训练的“Robust 决策有限公司”的总裁。他是美国俄勒冈州立大学机械设计的荣誉教授和 BikeE 公司的创办人，该公司是美国一种卧式自行车的领头厂家。他曾担任 BikeE 公司的主任机械设计师 9 年。他从事过流体/热力、控制和传动系统的专业设计。他在阐明机械产品设计过程和支持其工具开发方面发表了 20 多篇论文。他在这个领域里的 4 个杂志的编辑部门任职，并且是美国机械工程师协会 (ASME) 的设计理论与方法委员会的创立者和 ASME 的成员。他在美国俄亥俄州立大学获得机械工程博士学位。

## 译者的话

近年来，译者读到了美国出版的两本“设计学”教材，一本是本书——David G. Ullman 著的《The Mechanical Design Process》(机械设计过程)的原版，另一本是 Kevin N. Otto 和 Kristin L. Wood 合著的《Product Design》(产品设计)原版。这两本书的共同特点是明确地强调了它们的内容是阐述“产品设计”的思想、理论、技术和方法的。

近 20 多年来，在我国的现代设计理论与方法的研究和教学中，引进了世界各国的各种新的设计理论与方法，诸如最优化设计、可靠性设计、有限元方法、设计方法学、创造性设计、虚拟设计、并行设计、远程设计等等，很多人把这些设计技术视同于机械设计中的运动学、动力学、机械零件强度设计等设计技术一样，作为一项项独立的技术来研究和推广。这两本书和以前引进的各种设计技术著作的不同之处在于，明确地提出了所说的是“产品设计”的设计技术，是针对“产品设计”的设计思想、理论、技术和方法，而对于那些针对“机构”和“零件结构”的设计技术，在这里只是作为基础知识，不作详细讨论。“产品设计”的主要问题是“怎样产生产品的概念?”、“怎样评价产品的概念?”，以及“怎样组织产品设计的过程，才能获得有竞争力的优秀产品?”

早在 20 世纪 80 年代，我们就引进过德国和欧洲的“设计学”(Konstruktionslehre)。其实德国的“设计学”就是这里所说的“产品设计”。但是当时很多学者以习惯的思维来对待德国的设计学，把它视同于以前其他设计技术和方法一样，并且冠以“设计方法学”的名称；还有人认为德国的“设计学”不能算是一门学科。人们用机械设计中的运动学和动力学作为样本来评价新生的“设计学”，认为它没有严格的理论。

德国人当时没有明确地举起“产品设计”的旗号，美国的这两本书则明确地提出了“产品设计”的目标，直至把它作为书名。其书中有很多内容与德国的“设计学”的内容是一致的。这两本书的出现是一个重要的标志，说明“产品设计”经过多年的发展，已经成为一门成熟的学科。谁说产品设计没有理论？谁说产品设计不算学科？实际上，如“工业设计”、“建筑设计”等都是产品总体为对象的学科，并且是早已被公认的学科了。

这本书全面、具体地给出了“设计学”的基本内容，详细地引出了设计的典型步骤，每一个步骤的任务、目标、应考虑的主要问题和常用的解

决方法。回顾我们所作的一些设计项目，可以看出是否符合书中所给出的原则，对设计的成败有很大关系。因此我们认为这本书对设计是有指导作用的。

关于书名的译法有多种意见，“机械设计进程”、“机械设计过程”、“机械设计方法”等。似乎都可以，但看来都不理想。考虑到“进程”一词好像更强调一步紧接一步的前进序列和步骤，和原意强调迭代不太一致；英语 process 一词也可作工艺流程理解，译为“方法”是可以的，但“方法”一词过分突出一个个孤立的方法，和原意也不相合；最后选定“机械设计过程”作为书名，原因首先是“过程”比说“进程”要松散些，可以允许包含迭代的意思，其次是和原书名基本对应。不过，这个译名还是给人过分强调一种步骤的意思。实际上，书中的原意是强调设计过程中应该考虑的各种问题和工作要点，包括一些技术和方法，而不是过程本身所包含的序列和步骤，而且这里所说的过程是可以反复迭代的。希望读者不要从狭义的“过程”一词来理解本书的精神和要旨。

希望本书的引进和翻译出版，能为中国企业和机械工程界急需的产品设计问题的解决，为中国的机械设计技术与国际接轨作出一定的贡献。

参加本书翻译工作的有清华大学刘莹(第1、2、3、6、9章)、高志(第7、8、10章)、郝智秀(第12章)、黄靖远(序、第4、5、11章)和吴宗泽(第13章、附录A、B、C、D、E、F)。他们多年来从事高校“机械设计基础”各类课程和“机械设计学”课程的教学，对本书内容有较好的理解。担任本书审稿的是北京航空航天大学的郭可谦教授和清华大学的吴宗泽教授，两位前辈广博的设计知识和深厚的文字功力，为本书增色不少，在此特向两位前辈致谢。

**译者**

# 序

作为一名职业设计师，我设计过自行车、医药设备、家具和雕塑，它们有固定不动的，也有运动的。对我来说，设计对象很容易得到。我有幸具备了一个成功的设计师所必备的才能。不过在从事机械设计课程教学多年之后，我开始认识到，我并不知道如何很好地把我所知道的许许多多教给学生；我能够给学生们展示好的设计和不好的设计实例，能够告诉学生们设计人员从事设计实践的历史，能够给学生提供有关设计概念的建议，但是我不能告诉他们如何解决一个设计问题。另外，在我和其他从事机械设计教学同行的交谈中发现，这不仅是我一个人的感受。

这个情况使我回忆起一次滑冰的体验。作为一名新手，我能在冰上站立和左摇右摆、前合后仰地向前滑；而我的一位朋友（一位职业教师）能很自如地向前或向后滑。当他还是一个小男孩时就会滑冰了，滑冰是他的第二天性。一天，当我们一起滑冰时，我请他教我如何向后滑。他说这太容易了，让我看着他向后滑。可是当我试着照他那样做时，我马上就摔倒了。他把我扶起来后，我请他教我正确的做法，而不仅只做给我看。他想了一会儿，终于说道，他没法把这个技巧给我说清楚。我仍然没有学会向后滑，我料想他仍然说不清楚向后滑的技巧。我在我的朋友轻松后滑而我却摔倒在冰上受到挫折的失望感觉，与我不能教学生如何正确地解决一个设计问题时产生的感觉一定是一样的。

这个经历和体会使我去研究设计过程，并且最终写出这本书来。本书内容包括原有的研究、对美国工业的研究、对外国设计技术的研究，以及来自设计班级的不同教学尝试。我得出四点有关机械设计的基本结论作为这些研究的成果：

1. 学习设计的唯一途径是去作设计。

2. 在工程设计中，设计者用到三类知识：产生概念的知识、评价概念的知识并组织设计过程的知识。概念的产生来自于经验和天份；概念的评价，部分来自于经验，部分来自于正规训练，这是多数工程教育的焦点。产生和评价概念的知识是专业领域知识形式。设计过程知识是与专业领域的知识无关的。

3. 如果有足够的产生概念的能力和经历，有足够的评价概念的经验和训练，是能够学得到高质量产品的设计过程的。

4. 设计过程应该在两个方面学习：在学术环境中，同时在模拟工业实际的环境中。

我把这些观念收编到本书中，它是这样安排的：当读者开发一个产品时，他同时能够学习关于设计过程的知识。最初的很少几章提出机械设计的背景，定义那些研究设计过程的基础名词术语，并且探讨产品设计中人的因素。第4~13章是本书的主体内容，它展示出设计方法逐步的发展，引导读者实现由一个设计问题到给出可用于制造和装配的解。这些材料以一种与那个确切问题得到解决无关的方式表示出来。所论及的技术是在工业中应用的，它们的名称已经成为机械设计中的通用词：质量功能配置、决策方法、并行工程、面向装配设计、稳健设计。这些技术在本书中全部放在一起。虽然它们作为一步一步的方法按次序安排在内容中，但总的过程是高度的反复重叠的，每个步骤仅仅是需要应用时的一个引导。

如上所述，专业知识与过程知识是有些区别的。由于这种独立性，一个成功的产品可以不管设计者知识或设计问题的类型而通过设计过程获得。甚至大学一年级的学生也能选用本教材，学到大部分设计过程。然而，为了作出任何合理、实际的设计，实质性的专业知识是需要的，并且本书通篇假定读者具有基本的工程科学、材料科学、制造过程以及工程经济的基础。因此，本书适用于高年级的大学生、研究生和从没有学过机械设计过程课程的职业工程师。

大卫 G. 乌尔曼



## 第3版的添加内容

---

关于设计过程的知识正在迅速增加。在写第3版时的一个目标就是将这些知识组合到一个统一的构架中去，这个构架也是1、2版的强点之一。整个新版的标题已经时代化了，并与其他最好的实践内容集成到本书中。新版中一些特殊的添加内容包括：

1. 超过50个设计警言，对设计很重要而且容易记住。
  2. 第7章概念产生，为了易读和介绍TRIZ已经重组，并且增加了公理化设计。
  3. 第8章概念的评价增加了带有不确定性和演化观点的决策方面的材料。
  4. 第11章产品性能评价全部重新组构，以加强在所有评价考虑中计及变型的需要。
  5. 从第4章到11章的实例改为一个来自作者设计实践的实例。
  6. 添加了一个特具亮点的附录，TRIZ的40条发明原理，这些原理在产生概念时有不可估量的作用。
- 此外，还有许多小的改变以保持本书的时代性和实用性。

### 感谢

衷心感谢下列诸位阅读本书并提出许多很有帮助的评议：

Rudy Eggert, *Boise State University*

Mark Costello, *Oregon State University*

John Starkey, *Purdue University*

Young Chun, *Villanova University*

Larry Stauffer, *University of Idaho*

Michael Brady, *U. S. Air Force Academy*

Christian Burger, *Texas A&M University*

Adan Akay, *Wayne State University*

C. Wesley Allen, emeritus, *University of Cincinnati*

Gale Nevell, *University of Florida*

F. C. Appl, *Kansas State University*

Donald R. Flugrad, *Iowa State University*  
R. T. Johnson, *University of Missouri-Rolla*  
Geza Kardos, emeritus, *Carleton University*  
Ray Murphy, *Seattle University*  
Drew Nelsson, *Stanford University*  
Erol Sancaktar, *Clarkson University*  
Bryan Wilson, *Colorado State University*  
Hsia Lin Min, *California State University-Los Angeles*  
Deidre A. Hirschfeld, *New Mexico Institute of Mining & Technology*  
B. K. Rao, *Idaho State University*  
Thomas Kurfless, *Georgia Institute of Technology*  
Kevin Lease, *Kansas State University*  
Pierre Larcochelle, *Florida Institute of Technology*  
Suresh G. K. Ananthasuresh, *University of Pennsylvania*  
David Bothman, *University of California-Santa Barbara*  
Maj. R. Bruce Floersheim, *United States Military Academy*  
Thomas Grimm, *Michigan Technological University*  
Jerry Hamelink, *Western Michigan University*  
Galen King, *Purdue University*

此外，感谢 McGraw-Hill 公司的资深机械工程责任编辑 Jonathan Plant、开发编辑 Amy Hill 以及项目经理 Vicki Krug，感谢他们对这个项目的关心和鼓励。

最后，也是最重要的，就是要感谢我的妻子 Adele，她对我无限信任，使我能够完成这个项目。

第1版序的末尾有一漫画如下图，我站立在一辆幻想的自行车旁边，那时，我对非传统的自行车有着非常强烈的兴趣。这一版的末尾，我骑在一辆1992年自己设计的自行车上，它和下图所示的漫画自行车非常惊人地相似。

你骑行所到之处都是下坡！



作者和他的幻想自行车



作者和他的现代自行车

大卫 G. 乌尔曼

# 目 录

作者简介  
译者的话  
序

## 第 1 章 为什么要研究设计过程 1

- 1.1 概述 1
- 1.2 结合产品成本、质量和推向市场需要的时间来评价设计过程 3
- 1.3 设计过程的历史 8
- 1.4 产品寿命 11
- 1.5 设计问题的各种解决方案 13
- 1.6 解决问题的基本动作 15
- 1.7 设计中的知识和学问 16
- 1.8 小结 18
- 资料来源 18
- 习题 19

## 第 2 章 机械设计问题及过程描述 21

- 2.1 概述 21
- 2.2 机械系统的分解 21
- 2.3 产品功能、行为和性能的重要性 24
- 2.4 机械设计问题的不同类型 25
- 2.5 机械设计的语言 32
- 2.6 约束、目标和设计决策 33
- 2.7 信息的价值 34
- 2.8 设计是对抽象需求的细化 35
- 2.9 小结 37
- 资料来源 38
- 习题 38

## 第 3 章 设计师和设计团队 39

- 3.1 概述 39
- 3.2 人的信息处理的模型 40
- 3.3 设计中的智力行为 47
- 3.4 具有创造力的设计师的特征 53
- 3.5 工程设计团队 55
- 3.6 小结 59
- 资料来源 60
- 习题 61

## 第 4 章 设计过程 63

- 4.1 概述 63
- 4.2 设计过程概览 63
- 4.3 产品设计过程：把质量设计到产品中去 70
- 4.4 简单设计过程举例 72
- 4.5 一个较为复杂的实例：挑战者号航天飞机设计中的失误 74
- 4.6 设计过程中的交流 77
- 4.7 一个设计问题的实例 79
- 4.8 小结 80
- 资料来源 81
- 习题 81

## 第 5 章 项目定义和计划 83

- 5.1 概述 83
- 5.2 项目定义 83
- 5.3 项目计划 84
- 5.4 ISO 9000 85
- 5.5 设计项目计划制订的背景 87

- 5.6 可交付的计划 92
- 5.7 计划的五个步骤 94
- 5.8 施乐(XEROX)公司的一个大量生产产品的设计计划 100
- 5.9 一个大量生产产品的计划: BikeE 后悬架系统 102
- 5.10 小结 105
- 资料来源 105
- 习题 106
- 第6章 问题的识别和工程任务书 107**
- 6.1 概述 107
- 6.2 第一步: 确定顾客: 他们是谁? 112
- 6.3 第二步: 确定顾客的需求: 顾客想要什么? 114
- 6.4 第三步: 确定各需求的相对重要性: 谁对应什么? 122
- 6.5 第四步: 辨别并评价竞争力: 当前是如何满足顾客要求的? 123
- 6.6 第五步: 生成工程任务书: 如何使顾客的需求得到满足? 125
- 6.7 第六步: 工程任务书中顾客需求的关系: 如何测定顾客需求? 126
- 6.8 第七步: 设置工程目标: 多少就足够好? 127
- 6.9 第八步: 确定工程需求之间的关系: 它们之间是怎样相互依赖的? 128
- 6.10 对 QFD 方法的进一步建议 128
- 6.11 小结 129
- 资料来源 129
- 习题 130
- 第7章 产生概念 131**
- 7.1 概述 131
- 7.2 理解已有装置的功能 132
- 7.3 一种功能设计方法 140
- 7.4 产生概念的方法 147
- 7.5 产生概念的基本方法 149
- 7.6 形态学方法 154
- 7.7 产生概念的逻辑方法 161
- 7.8 概念产生过程中的通信 164
- 7.9 小结 164
- 资料来源 165
- 习题 166
- 第8章 概念评价 167**
- 8.1 概述 167
- 8.2 概念评价中的信息表示方法 169
- 8.3 基于可行性判断的评价 170
- 8.4 基于过/止筛选的评价 172
- 8.5 基于基本决策矩阵的评价 174
- 8.6 稳健(ROBUST)决策 178
- 8.7 基于高级决策矩阵的评价 186
- 8.8 产品的安全和责任 189
- 8.9 概念评价中的通信 194
- 8.10 小结 194
- 资料来源 195
- 习题 195
- 第9章 产品设计阶段 197**
- 9.1 概述 197
- 9.2 图样的重要性 199
- 9.3 产品设计时图样的产生 199
- 9.4 快速成形 204
- 9.5 明细表 204
- 9.6 产品数据管理 205
- 9.7 小结 206
- 资料来源 207
- 习题 207

- 第 10 章 产品加工** 209
- 10.1 概述 209
  - 10.2 结构生成 211
  - 10.3 材料与加工方法的选择 227
  - 10.4 供应商的开发 228
  - 10.5 BikeE 悬架系统设计的产生 229
  - 10.6 小结 235
  - 资料来源 236
  - 习题 236
- 第 11 章 产品性能评价及变化因素的影响** 237
- 11.1 概述 237
  - 11.2 功能评价的重要性 237
  - 11.3 性能评价的目的 238
  - 11.4 精度、变化和噪声 241
  - 11.5 性能评价的建模 247
  - 11.6 公差分析 251
  - 11.7 敏感度分析 256
  - 11.8 分析中的稳健性(鲁棒 Robust)设计 258
  - 11.9 稳健性设计测试 261
  - 11.10 小结 265
  - 资料来源 266
  - 习题 266
- 第 12 章 产品成本、制造、装配和其他评价** 269
- 12.1 概述 269
  - 12.2 设计中成本的生成 269
  - 12.3 价值工程 279
  - 12.4 可制造性设计 280
  - 12.5 可装配性设计评价 281
  - 12.6 可靠性设计(DFR) 299
  - 12.7 测试和维护设计(DFTM) 302
  - 12.8 环境设计 303
  - 12.9 小结 305
  - 资料来源 305
  - 习题 306
- 第 13 章 产品的投产和支持** 307
- 13.1 概述 307
  - 13.2 文件和资料 309
  - 13.3 支持 310
  - 13.4 工程变更 311
  - 13.5 专利申请 313
  - 资料来源 315
- 附录 A 机械设计中常用的 25 种材料的特性** 317
- A.1 概述 317
  - A.2 常用材料的性质 317
  - A.3 一般产品中使用的材料 330
  - 资料来源 332
- 附录 B 标准概率** 335
- B.1 概述 335
  - B.2 其他方面 339
  - 资料来源 339
- 附录 C 作为设计参数的安全系数** 341
- C.1 概述 341
  - C.2 安全系数的传统经验估计法 342
  - C.3 以可靠性为基础的统计学安全系数 344
  - 资料来源 350
- 附录 D 设计中的人机学** 351
- D.1 概述 351
  - D.2 工作空间的人机学 352

D.3 人作为动力源	355	资料来源	370
D.4 人作为传感器和控制器	355		
资料来源	361	附录 F 专家信任度图	371
附录 E 发明问题解决理论 (TRIZ)	40 个	读者信息反馈表	373
发明原理	363		

# 为什么要研究设计过程

## 1.1 概述

从简单的制陶旋盘发展到复杂的消费产品和运输系统，人类设计机械的活动已经延续了近五千年。这里的每一件产品都是人们经过长期而且常常是艰苦的设计过程得到的最终产物。本书就是论述这个设计过程的著作。无论是设计齿轮箱、热交换器，还是人造卫星或房门把手，在设计过程中都有一些特定的技术可用来帮助设计者保证得到成功的设计。因为本书是关于机械设计过程的，所以其内容不关注任何一种特定产品的设计，而是针对各种各样的机械产品的设计。

即然人类的设计活动已经有近五千年的历史，而且确实有成千上万的机械产品能够工作并工作得很好，为什么还要研究设计过程呢？答案很简单，即：人们对新的、具有好的性价比、高质量的产品需求是持续不断的。现代产品已经变得如此复杂以至于绝大部分产品从概念发展到硬件，都需要有一支由不同专业领域的人员组成的团队来完成。参加项目的人员越多，就越需要进行交流和组织，以保证不会忽略重要的问题以满足顾客的需求。另外，全球化的市场已经孕育着非常快速和加速发展新产品的需求。为了市场竞争的需要，一个公司必须高度有效地进行产品设计。这就是这里所要研究的确保新产品有效开发的过程。最后，新产品不能按预期正常工作，推向市场需要的时间过长，或者成本太高带来的问题，据估计，有 85% 是由不好的设计过程造成的。

本书的目的就是要向读者提供一种提高过程效率的工具，这种工具可以应用于任何一种产品的设计过程中。本章要介绍设计问题的重要特征和解决这些问题的过程。这些特征适用于任何类型的设计问题，无论是关于机械的、电的、软件的或是建筑工程的。后续的各章将更多集中于机械设计的问题，即便这样，也可以应用于更广泛领域的问题。



考察一下决定一种产品成功或失败的重要影响因素(图 1.1)。这些因素分置于图中 3 个椭圆, 分别表明了对产品设计、市场交易和产品生产具有的重要影响。

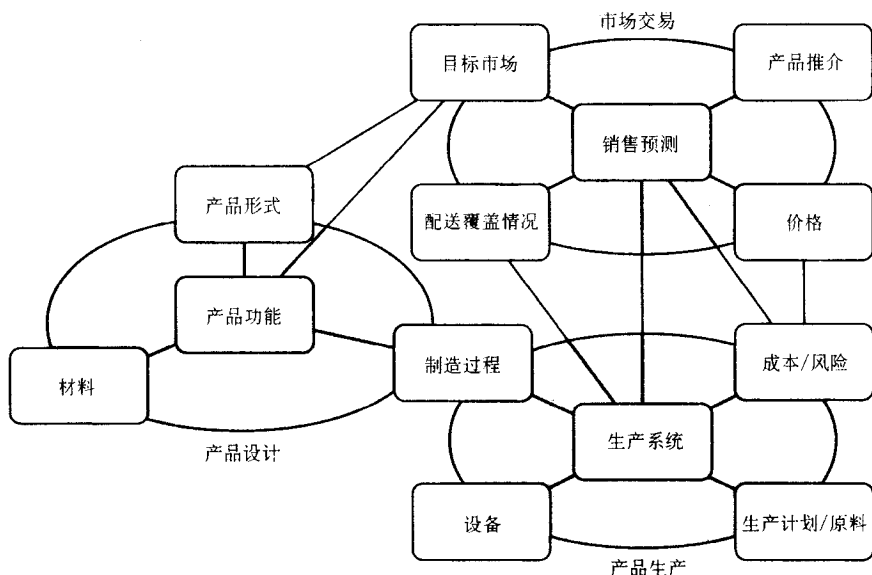


图 1.1 并行工程中的可控制变量

产品设计因素关注的是产品功能, 即: 产品能承担的工作。功能对设计者的重要性是本书的一个重要主题。与功能相关的因素包括产品的形式、材料和制造过程。形式包括产品的风格、形状、颜色、质地及其他与其结构有关的因素。与形式同等重要的是用于制作该产品的材料和制造过程。功能、形式、材料和制造过程是设计人员主要关心的 4 个变量。图 10.2 对这个产品设计的椭圆做了进一步的细化。

对市场交易来说, 产品的形式和功能也同样重要, 因为目标市场的消费者主要是通过产品能做什么(它的功能)和它看起来像什么(它的形式)来判断商品的。如图 1.1 所示, 目标市场是市场交易的一个重要因素。市场交易的目标就是赚钱——达到预测的销售量。销售也受到公司对产品的推介能力、产品配送能力和产品价格的影响。

市场交易不仅依靠产品形式和功能, 也依靠公司的产品生产能力。如图 1.1 所示, 生产椭圆中生产系统是核心因素。注意, 产品如何设计和如何生产都关系到制造过程。依照产品功能选择的形式和材料影响到可以采用的制造过程。这些过程转面会影响到成本, 进而影响产品的价格。这正是产品