

Mc
Graw
Hill
Education

翻译版 · 原书第5版

工程设计

[美] 乔治 E. 迪特尔 (George E. Dieter) 著
琳达 C. 施密特 (Linda C. Schmidt)

于随然 张执南 等译

Engineering Design



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

时代教育·国外高校优秀教材精选

工 程 设 计

Engineering Design

(翻译版 · 原书第 5 版)

[美] 乔治 E. 迪特尔 (George E. Dieter)
琳达 C. 施密特 (Linda C. Schmidt)

著

于随然 张执南 丁为民
刘泽林 赵 萌 陈 超

译



机 械 工 业 出 版 社

George E. Dieter, Linda C. Schmidt

Engineering Design, 5e

978-007-339814-3

Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2017 by McGraw-Hill Education and China Machine Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳·希尔（亚洲）教育出版公司和机械工业出版社合作出版。本版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾地区）销售。

版权 © 2017 由麦格劳·希尔（亚洲）教育出版公司与机械工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2013-4789 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程设计：翻译版：原书第 5 版/（美）迪特尔（Dieter, G. E.），（美）施密特（Schmidt, L. C.）著；于随然等译，—北京：机械工业出版社，2015.9

（时代教育·国外高校优秀教材精选）

书名原文：Engineering Design

ISBN 978-7-111-51363-6

I. ①工… II. ①迪…②施…③于… III. ①工程—设计—高等学校—教材 IV. ①TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 197109 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：蔡开颖 责任编辑：蔡开颖 章承林 商红云

版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔 张晓蓉

封面设计：张 静 责任印制：李 飞

北京振兴源印务有限公司印刷

2017 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·36.25 印张·971 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-51363-6

定价：138.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88379833

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-88379649

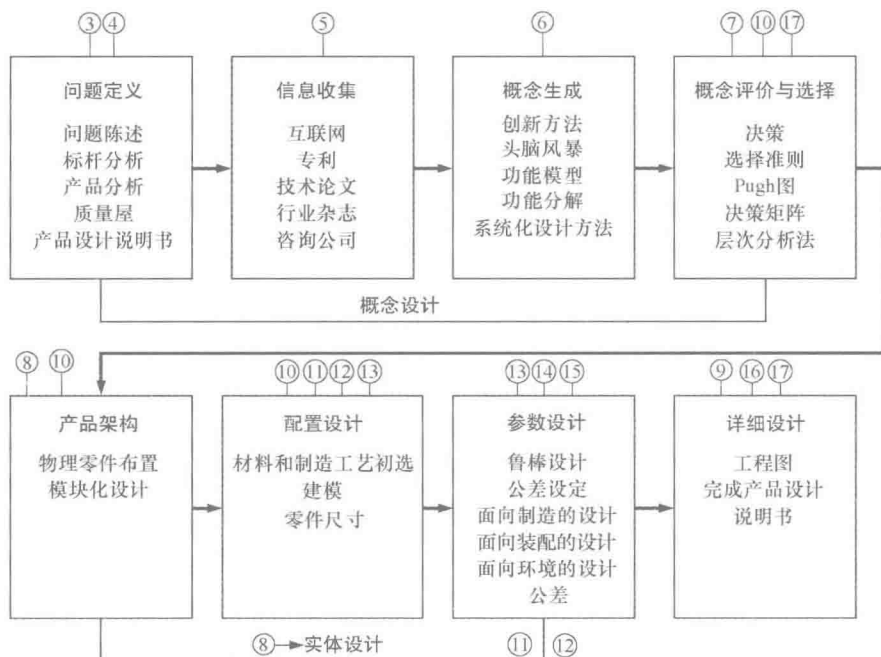
机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

工程设计的路线图



- 第1章 工程设计
- 第2章 产品开发过程
- 第3章 问题定义和需求识别
- 第4章 团队行为和工具
- 第5章 信息收集
- 第6章 概念生成
- 第7章 决策和概念选择
- 第8章 实体设计
- 第9章 详细设计
- 第10章 面向可持续性和环境的设计

- 第11章 材料选用
- 第12章 材料设计
- 第13章 面向制造的设计
- 第14章 风险、可靠性和安全性
- 第15章 质量、鲁棒设计与优化
- 第16章 经济决策
- 第17章 成本评估
- 第18章 工程设计中的法律及伦理问题 *

* 本章内容参见 www.mhhe.com/dieter

译者序

从“中国制造”走向“中国创造”，离不开创新驱动的转型发展。创新实现的根本途径在于设计。因此，制造业竞争的本质是设计的竞争，竞争的焦点是用更短的开发周期和更小的开发成本实现更大的附加价值。设计是为了实现特定要求，对与产品相关的信息逐渐详细化的决策过程。设计过程包括设计活动自身相关知识和设计对象相关知识。设计自身知识包括设计方法论、设计原理、设计方法和设计工具运用等，本书涵盖了这些内容。尽管作为设计活动主体的设计者（人）天生具备开展设计活动的能力，但由于设计对象和设计活动自身的复杂性，不经过系统的学习和训练难以完成复杂的设计任务。一本兼具系统性、实时性和实践性的设计著作，通过对设计知识较为完整的阐述将有助于设计者和拟从事设计工作的学生系统地学习设计知识及其获取方法，从而缩短设计训练周期。

本书在第4版的基础上根据设计学研究的最新进展增加了新的内容，并进行了修订。例如，增加了第10章，面向可持续性和环境的设计；对第3、6、7章进行了修订并增加了新的材料，包括贯穿这些章节的一个循序渐进的案例；第16章把经济决策的内容从网站移到了本书内；在第17章增加了质量成本的相关内容；增加了很多设计信息在互联网上的链接；更新和增加了很多关于设计手册的引用等。本书既可供高等院校低年级本科生使用（第1~9章），也可供高年级本科生使用（第10~18章）。本书还提供了关键的研究文献索引作为毕业生继续学习的有价值的资料。因此，本书可作为本科生学习设计知识的优选教材，也可供研究人员以及企业的产品设计者参考。

本书翻译工作历时一年。于随然、张执南、刘泽林、丁为民、赵萌和陈超等参与了原著的初译工作。其中，于随然翻译了第1、2、3和4章，张执南翻译了第5、6、8、9、13、15和17章，丁为民翻译了第11、12和14章，刘泽林翻译了第10章，赵萌翻译了第7章，陈超翻译了第16章。感谢黄志、陈卓、孙文焕、戴智武、丁泉惠、梁统生、毕杰明、姜艳萍和李雪萌对本书翻译工作的大力支持。本书的统稿和初校由于随然和张执南负责。

由于能力有限，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

于随然
于上海交通大学

第5版前言

本书第5版对第4版内容进行了重新编排和扩充。为了改善信息流和更易于学习,本书对第3章、第6章和第7章进行了较大的改编;增加了一个贯穿上述章节的循序渐进的新案例;新增了第10章。与其他内容宽泛的设计书籍相比,本书延续了更加注重材料选用、面向制造的设计以及面向质量的设计的这一传统。

本书试图结合一体化设计进阶项目,适合在低年级和高年级的工程设计课程中使用。设计过程的学习材料按顺序在第1~9章中给出,在马里兰大学的低年级课上使用上述材料来介绍设计过程。整本书适合高年级学生的综合项目设计课程,它包含了从选定目标市场到制作原型样机的完整设计项目。学生应该快速学习前9章,把重点放在第10~17章的学习上,以做出具体化设计决策。

我们希望学生能把本书作为一个有价值的专业藏书。为了实现这一目标,我们以增加实用性为出发点,在书中提供了关键参考文献和可以访问的有用网址。我们增加了许多新参考文献并在2011年6月验证了所有网址的有效性。Knovel.com上提供的许多设计手册和设计书籍都引用为参考文献并被补充到第5版中。我们还使用了ASM系列手册来扩展第11~15章中的主题。这些内容同样可以在knovel.com上找到。

第5版新增内容如下:

- 对第3、6、7章的内容进行了重新组织并补充了新内容,包括贯穿上述章节的一个循序渐进的案例。
- 新增了第10章,面向可持续性与环境的设计。
- 将网络文本中的“经济决策”一章添加到本书第16章。
- 在第17章中新增了质量成本一节。
- 提供了许多关于有用设计信息的网络链接地址。
- 包括手册链接地址在内的网址更新,新的参考文献可通过knovel.com获得。
- 为教师提供的PPT讲稿可通过McGraw-Hill高等教育获得。

感谢那些参加我们高级设计课程的学生们,他们允许我们使用他们研究报告中的内容作为本书的部分案例。感谢来自JSR设计团队的成员们,他们是Josiah Davis、Jamil Decker、James Maresco、Seth McBee、Stephen Phillips和Ryan Quinn。

特别感谢马里兰大学机械工程系同事们,包括Peter Sandborn、Chandra Thamire和Guangming Zhang,他们愿意和我们分享知识。还要感谢百得公司的Greg Moores先生,他愿意我们分享他对某些议题的工业界观点。我们也必须感谢下面的审阅者,美国军事学院的Bruce Floersheim,密西根理工大学的Mark A. Johnson,加州州立大学富尔顿分校的Jesa Kreiner,威斯康辛大学普拉特维尔分校的David N. Kunz,路易斯安那州立大学的Marybeth Lima,罗德岛大学的Bahram Nassersharif,阿肯色大学小石城分校的Ibrahim Nisanci,肯塔基大学的Keith E.

Rouch, 西弗吉尼亚大学理工学院的 Paul Steranka, 路易斯安那州立大学的 M. A. Wahab, 北俄亥俄大学的 John-David Yoder, 克莱姆森大学的 D. A. Zumbrunnen, 他们都提出了有帮助的意见和建议。

乔治 E. 迪特尔, 琳达 C. 施密特

马里兰大学帕克分校

2012 年

作者简介

乔治 E. 迪特尔 (George E. Dieter) 是马里兰大学 Glenn L. Martin 学院工程系教授, 他在德雷塞尔 (Drexel) 大学获得学士学位, 并在卡内基梅隆大学获得科学博士学位。在结束杜邦工程研究实验室短暂的工作后, 他先后成为德雷塞尔大学冶金工程系负责人和工程系主任。之后, 迪特尔教授调入卡内基梅隆大学, 担任工程学教授和工艺研究所所长。他于 1977 年到马里兰大学工作, 任机械工程教授, 并担任系主任直至 1994 年。

迪特尔教授是美国金属协会、美国工程教育协会、美国科学促进协会的会员。他获得了美国机械工程师学会矿物、金属和材料分会教育家奖、美国工程教育学会最高奖兰姆金质奖章。

迪特尔教授是美国工程院院士, 曾担任工程系主任协会主席和美国工程教育学会主席。他还是《机械冶金学》的合著者, 该书已经由 McGraw-Hill 出版公司发行了第 3 版。

琳达 C. 斯密特 (Linda C. Schmidt) 博士是马里兰大学机械工程系副教授, 她的研究领域和公开发表的论文、论著涉及机械设计理论和方法学, 概念设计中的概念产生系统, 设计原理获取, 以及学生在工程项目设计团队的高效学习等。

斯密特博士在卡内基梅隆大学获得基于语法的产生式设计 (grammar-based generative design) 的机械工程博士学位。她在爱荷华州立大学获得工业工程学士和硕士学位。由于在产生式概念设计方面的研究工作, 美国国家自然科学基金 1998 年授予她学者教师奖 (Faculty Early Career Award)。她还是一个暑期研究体验项目 RISE 的共同发起人, 该项目获得了 2003 年美国大学人力协会颁发的对高等教育进行学术支持的示范项目奖。

斯密特博士在工程设计研究、机械工程专业高年级本科生和研究生的工程设计教学方面表现活跃。她是一本工程决策教材和已出第 2 版的关于产品开发教材的合著者, 并为教师开设了适合工程专业学生项目团队的团队训练课程。斯密特博士是美国机械工程师学会《Journal of Mechanical Design》(机械设计杂志) 的副主编、《Journal of Engineering Valuation & Cost Analysis》(工程评估和成本分析杂志) 的特邀编辑, 以及美国机械工程师学会和美国工程教育学会会员。

目 录

译者序		新术语和概念	76
第5版前言		参考文献	76
作者简介		问题与练习	76
第1章 工程设计	1	第4章 团队行为和工具	78
1.1 引言	1	4.1 引言	78
1.2 工程设计过程	2	4.2 有效团队成员的含义	78
1.3 工程设计过程的思路	4	4.3 团队的领导角色	79
1.4 设计过程描述	9	4.4 团队动力学	80
1.5 优秀设计的考虑因素	11	4.5 有效的团队会议	81
1.6 计算机辅助工程	14	4.6 解决问题的工具	83
1.7 遵守法案与标准的设计	16	4.7 时间管理	96
1.8 设计评审	17	4.8 规划与进度安排	97
1.9 工程设计应考虑的社会因素	19	4.9 本章小结	102
1.10 本章小结	21	新术语和概念	103
新术语和概念	21	参考文献	103
参考文献	22	问题与练习	104
问题与练习	22	第5章 信息收集	106
第2章 产品开发过程	24	5.1 信息的挑战	106
2.1 引言	24	5.2 设计信息的分类	108
2.2 产品开发过程	24	5.3 设计信息源	108
2.3 产品与工艺周期	29	5.4 图书馆资源信息	109
2.4 设计与产品开发的组织	32	5.5 政府资源信息	112
2.5 市场与营销	36	5.6 互联网上的设计信息	113
2.6 技术创新	40	5.7 专业学会和贸易协会	115
2.7 本章小结	43	5.8 法案和标准	116
新术语和概念	44	5.9 专利和其他知识产权	117
参考文献	44	5.10 以公司为中心的信息	123
问题与练习	44	5.11 本章小结	124
第3章 问题定义和需求识别	46	新术语和概念	124
3.1 引言	46	参考文献	124
3.2 识别客户需求	47	问题与练习	125
3.3 客户需求	53	第6章 概念生成	126
3.4 获得既存产品信息	57	6.1 创造性思维的介绍	127
3.5 建立工程特性	62	6.2 创造性和问题求解	129
3.6 质量功能配置	65	6.3 创造性思维方法	133
3.7 产品设计说明书	73	6.4 设计的创造性方法	141
3.8 本章小结	75	6.5 功能分解与综合	143

6.6 形态学方法	149	水平	272
6.7 TRIZ: 发明问题解决理论	152	9.7 本章小结	273
6.8 本章小结	159	新术语和概念	274
新术语和概念	160	参考文献	274
参考文献	160	问题与练习	274
问题与练习	160	第 10 章 面向可持续性和环境的设计 ...	276
第 7 章 决策和概念选择	162	10.1 环保趋势	276
7.1 引言	162	10.2 可持续性	280
7.2 决策	163	10.3 可持续性对商业的挑战	282
7.3 评价过程	170	10.4 退役产品的处理	284
7.4 评价模型	174	10.5 面向环境设计中材料选择的规则	287
7.5 Pugh 法	185	10.6 面向环境和可持续性设计的辅助	
7.6 加权决策矩阵	188	工具	290
7.7 层次分析法 (AHP)	190	10.7 本章小结	293
7.8 本章小结	196	新术语和概念	293
新术语和概念	196	参考文献	294
参考文献	197	问题与练习	294
问题与练习	197	第 11 章 材料选用	295
第 8 章 实体设计	200	11.1 引言	295
8.1 引言	200	11.2 材料的性能需求	296
8.2 产品架构	202	11.3 选材过程	304
8.3 构建产品架构的步骤	204	11.4 材料性能信息源	307
8.4 配置设计	208	11.5 材料的成本	310
8.5 配置设计的最佳实践	212	11.6 选材方法概述	311
8.6 参数设计	218	11.7 材料性能指标	312
8.7 尺寸与公差	227	11.8 决策矩阵选材法	317
8.8 工业设计	239	11.9 计算机辅助数据库选材	320
8.9 人因工程设计	240	11.10 设计实例	321
8.10 生命周期设计	246	11.11 本章小结	324
8.11 快速成型和测试	246	新术语和概念	325
8.12 面向 X 的设计 (DFX)	253	参考文献	325
8.13 本章小结	254	问题与练习	325
新术语和概念	255	第 12 章 材料设计	328
参考文献	255	12.1 引言	328
问题与练习	255	12.2 面向脆性断裂的设计	328
第 9 章 详细设计	258	12.3 面向疲劳失效的设计	333
9.1 引言	258	12.4 面向耐蚀性的设计	341
9.2 详细设计中的活动和决策	259	12.5 耐磨损设计	344
9.3 设计和制造信息的交流	261	12.6 塑料设计	347
9.4 设计终审	269	12.7 本章小结	352
9.5 详细设计以外的设计和商务活动	271	新术语和概念	352
9.6 基于计算机方法提升设计与制造		参考文献	352

问题与练习	352	15.3 统计过程控制	470
第 13 章 面向制造的设计	354	15.4 质量改进	473
13.1 制造在设计中的作用	354	15.5 工艺能力	475
13.2 制造的功能	355	15.6 田口方法	479
13.3 制造工艺分类	356	15.7 鲁棒设计	482
13.4 制造工艺的选择	360	15.8 优化方法	487
13.5 面向制造的设计 (DFM)	380	15.9 优化设计	498
13.6 面向装配的设计 (DFA)	382	15.10 本章小结	498
13.7 标准化在面向制造和装配设计中 的角色	388	新术语和概念	499
13.8 防错	391	参考文献	499
13.9 制造成本的早期估算	395	问题与练习	499
13.10 关于工艺特性的面向制造和装配的 设计原则	398	第 16 章 经济决策	502
13.11 铸件设计	398	16.1 引言	502
13.12 锻件设计	401	16.2 货币时间价值中的数学	502
13.13 金属薄板成型设计	403	16.3 成本比较	507
13.14 切削工艺设计	406	16.4 折旧	510
13.15 焊接设计	410	16.5 税收	512
13.16 设计中的残余应力	415	16.6 投资效益	514
13.17 热处理设计	419	16.7 盈利能力的其他方面	520
13.18 塑料工艺的设计	421	16.8 通货膨胀	520
13.19 本章小结	425	16.9 敏感性和盈亏平衡分析	522
新术语和概念	427	16.10 经济性分析中的不确定性	523
参考文献	427	16.11 效益成本分析	524
问题与练习	427	16.12 本章小结	526
第 14 章 风险、可靠性和安全性	429	新术语和概念	527
14.1 引言	429	参考文献	527
14.2 设计中的概率方法	433	问题与练习	527
14.3 可靠性理论	438	第 17 章 成本评估	530
14.4 面向可靠性的设计	449	17.1 引言	530
14.5 失效模式和影响分析 (FMEA)	452	17.2 成本分类	530
14.6 故障树分析	456	17.3 拥有成本	533
14.7 缺陷和失效模式	457	17.4 制造成本	533
14.8 面向安全性的设计	459	17.5 管理成本 (间接成本)	534
14.9 本章小结	461	17.6 作业成本分析法	536
新术语和概念	462	17.7 开发成本的评估方法	538
参考文献	462	17.8 自制或外购决策	542
问题与练习	463	17.9 产品收益模型	542
第 15 章 质量、鲁棒设计与优化	465	17.10 成本分析方法改良	545
15.1 全面质量的概念	465	17.11 质量成本	549
15.2 质量控制与保证	467	17.12 成本设计	550
		17.13 成本评估中的价值分析	553
		17.14 制造成本模型	555

17.15 生命周期成本	558
17.16 本章小结	560
新术语和概念	561
参考文献	561
问题与练习	562

第 18 章 工程设计中的法律及伦理问题

(本章内容参见 www.mhhe.com/dieter)

18.1 引言
18.2 法学起源
18.3 契约
18.4 责任
18.5 侵权法
18.6 产品责任

18.7 知识产权保护
18.8 法律和伦理的领域
18.9 伦理准则
18.10 解决伦理冲突
18.11 本章小结

新术语和概念

参考文献

问题与练习

附录	566
----------	-----

附录 A 累积分布函数 z 下的面积	566
----------------------------	-----

附录 B t 统计值	568
--------------------	-----

附录 C 工程零件常用材料	569
---------------------	-----

第1章 工程设计

1.1 引言

什么是设计？如果想从文献中给这个问题找一个答案的话，将会发现设计的定义就像设计的物品一样多。其原因可能在于设计过程是人类非常平常的活动。韦伯词典中设计被解释为“计划后的制作”，这一解释却忽略了设计的本质在于创造新事物这一基本事实。当然，工程师是按上述定义进行设计的，而艺术家、雕刻家、作曲家、剧作家或社会中众多的从事创造性工作的人员也是如此。

因此，虽然工程师不是从事设计的唯一群体，但专业性的工程实践在很大程度上与设计有关却是一个不争的事实，所以人们常说设计是工程的本质。设计就是把新事物“拉到一起”或将现有物品以新的方式布置来满足社会认知需求。表示“拉到一起”的一个精准的词汇是综合 (Synthesis)。我们将采用下面的描述作为设计的正式定义：“设计是建立和确定以前尚未解决问题的相关结构和解决方案，或采用新方案来解决以前已经以不同途径解决过的问题。”^①设计能力包括科学和技能两方面。科学知识可以通过本书给出的技术和方法获得，而获得技能的最好方式就是做设计。鉴于此，设计体验必须包括一些真实项目的设计经历。

本节将重点放在新物品的创造上，而没有给读者过多的提示。本书的目的是为学习工程的学生提供训练指导，实现使学生具备熟练的设计能力这一目标。正如哥伦布发现美洲大陆或杰克·比尔发明第一个微处理器一样，“发现”是第一次看见或对某些事物的第一次了解和认识。人类可以发现已经存在但并不为其所知的事物，但设计则是规划和工作的产物。因此，不能混淆设计和发现。本章将在第1.5节中给出结构化的设计过程以帮助设计者完成设计。

需要指出的是，设计也可能涉及发明。合法获得一项专利或一项发明需要设计超越已有知识（超越现有技能）。有些设计的确是发明，但大多数则不是。

在词典中查“设计”这个词，它有名词和动词两个词性。作为名词的一个定义是“形态、零件或一个计划的某些细节”，例如，“我的新设计已经准备评审了。”常用的动词定义是“构思或形成计划”，例如，“我必须设计出产品的三个新款式，以满足三个不同的海外市场。”注意，英语中的动词 design 也可写成 designing。通常，“设计过程”用来强调设计的动词词性 (Design)。理解这些差异并适当使用该词是很重要的。

好的设计既需要分析 (Analysis) 也需要综合 (Synthesis)。求解复杂问题（如设计）的典型做法是将问题分解成可控的子部分。因为需要理解在工作条件下零部件是如何工作的，因此在零部件以真实物理形态存在之前，必须能够应用科学定律、工程科学和必要的计算工具来计算并尽可能多地获知零部件的期望行为。这就是分析。它常常涉及用模型来简化真实世界。综合常常涉及识别产品的设计要素、产品的分解，以及把可选部件组合成一个完整的工作系统。

① J. E. Blumrich, *Science*, vol. 168, pp. 1551-1554, 1970.

在你当前的工程教育阶段，你可能更加熟悉和适应“分析”。你所学习的课程也都是学科性的。例如，你不能在材料力学课程中应用热力学和流体力学。课程中所选择的待解决问题能够展示和加深对这些原理的理解。如果能够建立合适的模型，问题往往就会迎刃而解。给出所需的输入数据和属性信息，那么利用模型就会得到正确的答案。然而，极少有简洁且易于表达的实际问题。所设计和希望解决的实际问题可能难以明确，通常需要应用很多技术学科（固体力学、流体力学和电磁理论等）的知识，以及非工程学科知识（经济学、金融学和法律等）来寻求解决方案。输入数据可能是非常零散的，项目的范围也可能会很大，对一个人来说几乎是不可能完成的任务。如果问题难度不大，设计也常常必须在时间和费用的严格限制下进行。同时，设计还会受到与环境 and 能源法案有关的社会法规限制。最后，在一个典型设计中，几乎无法知道正确的答案。希望的设计能够成功，但你的设计是最好的吗？是在给定条件下最有效的设计吗？只有时间能够证明一切。

希望上述内容已经使读者有了一些关于设计过程和设计所处环境的概念。概括设计情境所产生的挑战的一种方法是考虑设计的“4C”。目前，一个很清楚的事实是工程设计很好地扩展并超越了科学的边界。所扩展的领域和工程任务几乎为工程师创造了无限可能的机遇。在工程师的职业生涯中，他们有机会创造一系列的设计并因设计变为现实而获得满足感。“如果一个科学家的一生中能够对人类知识做出一次创造性的贡献，那么他就是幸运的，因为很多科学家没有这么幸运。科学家可以发现新星球，但不能制造一个星球。科学家只能请工程师为其制造星球。”^①

设计的4C

创造性 (creativity): 需要创造未曾存在或未曾设计师头脑中出现过的事物。

复杂性 (complexity): 需要对很多变量和参数进行决策。

选择性 (choice): 需要在很多可能方案之间，从基本概念到最小形状等细节的各个层次上进行选择。

妥协性 (compromise): 需要平衡多个且时常冲突的需求。

1.2 工程设计过程

工程设计过程能够用来得到几个不同的结果。一个是产品的设计，无论是诸如冰箱、电动工具或 DVD 播放器等的消费品，还是像导弹系统或喷气式飞机一样的高度复杂的产品。另一个是复杂的工程化系统，例如电站或石化厂，还有建筑和桥梁的设计。然而，本书的重点是产品设计，因为它是很多工程师应用其设计技能的一个领域。更进一步的原因是产品设计领域的设计实例更容易掌握，而不需要更广泛的专门知识。本章将从 3 个方面对工程设计过程进行介绍。第 1.3 节对比了设计方法和科学方法，并以包括 5 个步骤的问题求解方法来展现设计过程。第 1.4 节阐明设计的作用已经超越了满足技术性能的要求，并介绍设计必须最大化地满足社会需求的理念。第 1.5 节描述了设计过程从摇篮到坟墓的路线图，展示了工程师的职责从设计的创造开始一直延伸到对环境安全的设计实体。第 2 章通过介绍像产品定位和营销等更面向商业化的问题，把工程设计过程扩展到产品开发这样更广泛的议题。

1.2.1 工程设计过程的重要性

在 20 世纪 80 年代，美国的公司首先开始深刻地体会到国外高质量产品的冲击，他们很自

^① G. L. Glegg, *The Design of Design*, Cambridge University Press, New York, 1969.

然地把重点放在通过自动化或将工厂转移到劳动力成本低的地区来降低制造成本上。然而，直到国家研究委员会（NRC）^①一个重要研究报告的发表，公司才认识到具有世界竞争力产品的关键是拥有高质量的产品设计。这就激发了人们就如何更好地进行产品设计进行了大量的试验并分享了结果。工程设计曾经是一个相当乏味的过程，现在已经成为工程进展的前沿。本书将为读者提供深入了解当前最佳工程设计实践的机会。

图 1.1 很好地总结了设计的重要性。它表明，设计过程的成本仅占产品总成本的一小部分（5%），而其余 95% 的成本是由材料、资本和制造产品的劳动力构成的。然而，设计过程由很多决策的累积构成，这些决策产生的设计方案影响产品制造成本的 70% ~ 80%。换言之，设计阶段以外的决策仅仅能够影响 25% 的总成本。如果刚好在产品上市前证实设计有误，修改错误就会花费大量的费用。总之，设计过程中的决策成本仅占总成本来的很少的一部分，但却对产品成本有重要影响。

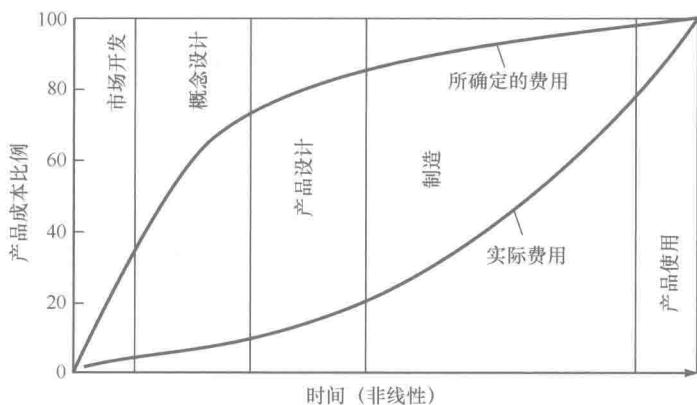


图 1.1 设计过程各阶段的产品费用（来自 Ullman）

设计产生的第二个主要影响是产品质量。传统概念上的产品质量是通过检验装配后的产品来获得的。现在，人们已经认识到实际的质量是设计到产品中去的。通过产品设计来获得质量将是本书提倡的主题。现在指出质量的一个方面是将产品性能和特征包括在产品之中，这些性能确实是购买产品的客户所期望的。另外，设计必须使产品没有缺陷，并以有竞争力的价格进行制造。总之，不能在制造中弥补设计阶段产生的缺陷。

工程设计决定产品竞争力的第三个方面是产品周期。产品周期是指新产品从研发到上市所需要的时间。在很多消费领域，产品常常通过最新的“噱头和卖点”来吸引消费者的眼球。新的组织方法、计算机辅助工程以及快速成型方法的应用都对缩短产品周期有贡献。上述方法不仅缩短了产品周期，增加了产品的市场可能性，而且还降低产品开发成本。更进一步说，产品上市时间越长，销售和利润也就会越大。总之，必须导入这样的设计过程，以尽可能在最短的时间内开发出质量和成本有竞争力的产品。

1.2.2 设计的类型

由于不同的原因，工程设计承担了不同的设计任务，有不同的设计类型。

- 原始设计，也称为创新设计。该设计类型位于设计层级的顶部，采用原创概念来实现一个需求。有时需求本身也是原创，但这种情况很少出现。真正的原始设计与发明有关联。

① “Improving Engineering Design,” National Academy Press, Washington D. C., 1991.

很少出现成功的原始设计，但是一旦它们出现，通常会打破现有的市场格局，因为它们开创了具有深远影响的新技术。微处理器的设计就是这样一个原始设计。

- 适应性设计。当设计团队应用已知的解决方案来满足不同需求时所产生的新设计应用，即为适应性设计。例如，把喷墨打印机的概念扩展为雾化黏合剂，使快速成型机上的粒子固定。
- 再设计。工程设计常常被用来改进或完善现有的设计。设计任务可能是针对产品中失效零件的再设计，也可能是再设计某个零件以降低加工成本。通常，再设计经常是在对原始设计的工作原理或设计概念未做任何改变的前提下完成的。例如，可以改变零件外形以降低应力集中，或者应用新材料以降低自重或成本。当再设计是通过改变某些设计参数实现时，通常被称为变型设计。
- 选择性设计。大多数的设计都会使用标准件，比如轴承、小型电动机或者泵等，它们由专门从事该标准件生产和销售的供应商来提供。因此，这类设计的任务是根据性能、质量和成本，从潜在的供应商目录中选择所需的零部件。

1.3 工程设计过程的思路

人们常常讨论“设计一个系统”。“系统”是指完成某些指定任务而必需的硬件、信息和人员的整体组合。系统可以是国家某区域电力分布网络，也可以是像航空发动机那样的复杂机器，或者是制造汽车零部件的生产工序的组合。大型系统通常被分为一些子系统，子系统又由组件或零件组成。

1.3.1 一个简单的迭代模型

不存在唯一公认的产生可行的设计步骤。不同的作者或设计师都指出，设计过程少则 5 个步骤，多则达到 25 个步骤。Morris Asimow^①是首先对设计进行反思的学者之一。他认为设计的核心流程是由图 1.2 所示的要素组成的。如图 1.2 所示，设计是由很多设计操作组成的顺序流程。例如，设计操作有：①探索满足特定需要的备选概念；②构建系统最优概念的数学模型；③确定构成子系统的各个零件；④选择制造该零件的材料。每个操作的完成都需要信息，一些是来自基本的技术信息和商业信息，另一些则是用于产生一个成功的结果所需要的非常具体的信息。第二类信息的例子有：①微型轴承的制造商产品目录；②聚合物性能数据手册；③从观察新制造工艺过程中所获得的个人体验。获取信息在设计过程中是既重要又非常困难的步骤，但幸运的是，随着时间的推进，这个步骤将变得更容易（人们将此称为经验^②）。信息来源的重要性在第 5 章将有更详细的介绍。

一旦具备了必需的信息，设计团队（如果任务很有限的话即为设计工程师）就可以通过使

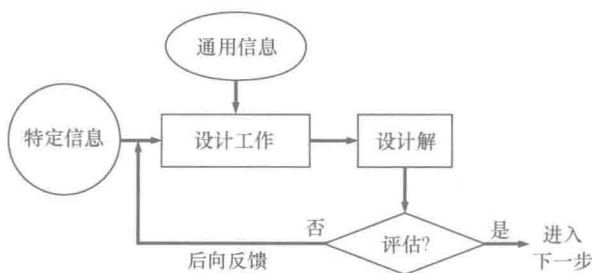


图 1.2 设计过程的基本模型

① M. Asimow, *Introduction to Design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N J, 1962.

② 经验可以简单地定义为普通事件的序列。

用合适的技术知识以及计算和/或试验工具来实施设计操作。在这个阶段,可能有必要构建一个数学模型,并且在计算机中进行零件性能的仿真。或者可能有必要建立一个全尺寸原型,并在试验现场测试到损毁。无论怎样,设计操作产生了一个或多个备选方案,同样备选方案可以有很多类型。记忆棒中可以存储 30MB 的数据,它是标注了关键尺寸的初步草图或三维 CAD 模型。在该阶段,必须对设计结果进行评估,通常由一个公正的专家团队来决定设计结果是否充分满足设计需要。如果设计结果充分满足了设计需要,设计师就可以继续进行下一个步骤了。如果评估中发现了设计缺陷,设计师就必须重复设计操作。第一次设计的信息与作为评估阶段产生的问题的新信息一起作为反馈信息输入到再一次的设计过程中,这就是迭代。

如图 1.2 所示,设计模块链的最终结果将是一个新的工作对象(常常称为原型)或工作对象组合成的一个新系统。然而,很多设计的目标并不是创造新硬件或系统。相反,目标可能是开发可以被组织中其他部门使用的新信息。需要认识到,并不是所有系统的设计是被完整实施的,当系统设计停下来时,其原因是已经很清楚项目目标在技术上和/或经济上是不可行的。不管怎样,系统设计过程产生的新数据需要以可再取得的形式保存下来,这些信息在未来将有使用价值,因为其代表了经验。

图 1.2 所示的基本模型阐明了一些设计过程的重要方面。首先,即便是最复杂的系统也可以被分解成一系列设计过程。每一个设计过程的输出都要评估,而且评估通常需要反复地试验或迭代。当然,拥有的知识越多,并将其应用到问题中,得到可接受的解决方案就越快。设计的反复迭代性需要人们努力去适应。必须对设计失败具有高度的忍耐力,要有执着的韧性和决心,用一种或其他的方法来攻克问题。

设计需要反复的本质特性为设计师提供了基于某个先前方案改进设计的机会。接下来,这又导致了对最优可能技术条件的搜寻。例如,用最小重量(或成本)获得最高性能。人们已经开发了很多用于优化设计的技术,其中的一些技术将在第 15 章中介绍。尽管优化方法在知识方面令人愉悦,在技术上令人兴奋,然而在复杂的设计情形下,其应用也常常受限。很少有设计师在某项设计任务上有充足的时间去做大量的工作,同样也没有充足的预算去创造一个最优系统。通常,工程师所选的设计参数是对一系列参数的折中。优化时所包括的全部变量如此之多,还要考虑诸如可用时间或法律限制等非技术因素,以至于我们必须进行折中处理。选定的设计参数只是接近而非达到最优值。人们通常将这些参数称为近似优化值,即在系统的总体约束下所能获得的最佳值。

1.3.2 设计方法与科学方法

在学生接受科学和工程教育时可能已经听说过科学方法,科学方法是引导解决科学问题的一系列事件的逻辑进程。Percy Hill^①比较了科学方法与设计方法间的关系(图 1.3)。科学方法始于已有知识,这些知识是通过观察自然现象所获得的。科学家有着促使他们探究自然法则的好奇心;探究的结果是他们最终提出科学假设。假设服从于证明或否定它的逻辑分析结果。通常,分析可以揭示瑕疵或者不一致性,所以假设在迭代过程中必将发生改变。

最终,当新概念满足了提出者的要求时,还必须为同行的科学家所认同。一旦新概念被同行的科学家所接受,它就被传播到科学共同体中,扩充了现有知识,形成了知识环。

如果允许观点和哲理上的差异,那么设计方法与科学方法非常相似。设计方法也始于已有的知识。这些已有知识包括科学知识,也同样包含设备、零件、材料、制造方法和市场与经济条

^① P. H. Hill, *The Science of Engineering Design*, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1970.