



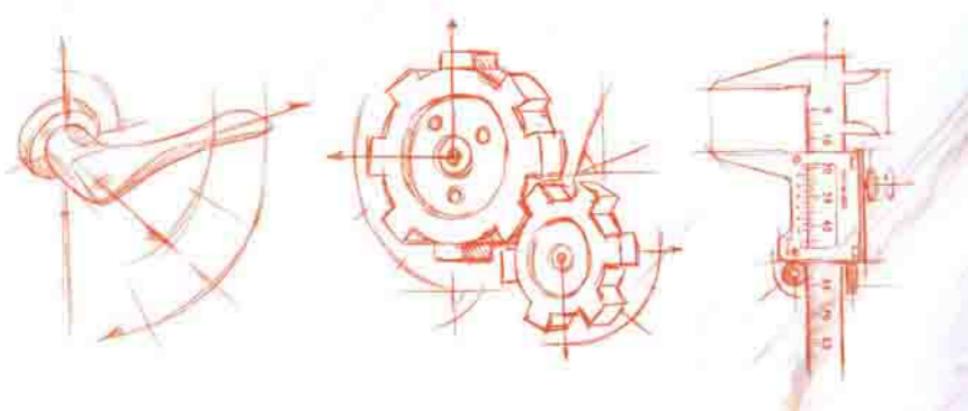
Mc
Graw
Hill
Education

全面系统阐述复杂产品开发的流程、工具和方法，宾夕法尼亚大学沃顿商学院 Ulrich 教授和麻省理工学院斯隆管理学院 Eppinger 教授联袂编写，为企业和个人提高自主创新能力提供有力的理论和方法支持。

产品设计与开发

(原书第6版)

[美] 卡尔·T·乌利齐 (Karl T. Ulrich) 著
[美] 史蒂文·D·埃平格 (Steven D. Eppinger) 著
杨青 杨娜 等译



PRODUCT DESIGN
AND DEVELOPMENT

SIXTH EDITION

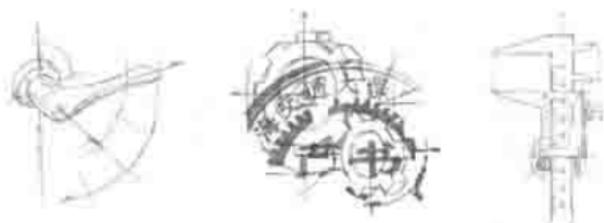


机械工业出版社
China Machine Press

产品设计与开发

(原书第6版)

[美] 卡尔·T·乌利齐 (Karl T. Ulrich) 著
[美] 史蒂文·D·埃平格 (Steven D. Eppinger) 著
杨青 杨娜 等译



PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT

SIXTH EDITION



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目(CIP)数据

产品设计与开发(原书第6版)/(美)卡尔·T·乌利齐(Karl T. Ulrich), (美)史蒂文·D·埃平格(Steven D. Eppinger)著; 杨青等译. —北京: 机械工业出版社, 2018.4
书名原文: Product Design and Development, Sixth Edition

ISBN 978-7-111-59550-2

I. 产… II. ①卡… ②史… ③杨… III. ①产品设计 ②产品开发 IV. ①TB472
②F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 062779 号

本书版权登记号: 图字: 01-2017-7528

Karl T. Ulrich and Steven D. Eppinger: Product Design and Development, Sixth Edition (ISBN 9780078025966).
Copyright © 2016 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 and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2018 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、读取、录音, 或通过任何数据库、信息或检索系统。

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。出版本经授权仅限
在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区及台湾)销售。

版权 © 2018 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。

本书全面介绍产品的设计与开发方法, 部分篇章需常识识别。功能设计、原型化设计、工业设计、服务设计等一系列过程。将市场营销、设计和制造融合为一整套精粹化产品开发方法。从真实工业实践的角度帮助读者了解产品开发的工作内容、方法、工具以及团队中的不同角色。书中每章都使用不同的产品实例进行方法阐释, 同时附有练习
和参考资源。

本书既可作为从事产品设计与开发的工程师人员和项目经理人员的实践指南, 也适合作为产品设计和项目管理等相关专业的辅助教材。

出版发行: 机械工业出版社 | 北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037

责任编辑: 谢晓芳

责任校对: 顾虹

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm×240mm 1/16

印 张: 27.5

书 号: ISBN 978-7-111-59550-2

定 价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换。

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

图书热线: (010) 88326294 88379649 68995259

电子信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有, 侵权必究

非法光盘伪造均为盗版

本书法律辩护: 北京龙威律师事务所 / 韩光 / 郭晓东

译者序

1991年大学毕业后，我在航天某研究院从事了近十年的复杂研发项目管理工作。后来就职于大学，也一直从事研发项目管理的教学和研究工作。我对复杂研发项目管理有着丰富的体悟和浓厚的兴趣。但也有一个莫大的遗憾，就是市面上没有一本书能够对复杂产品开发的流程、工具和方法进行全面、系统、通俗的阐释。

直到2010年，我在美国宾州州立大学访问，一个阳光明媚的上午，我在图书馆发现了这本书——《Product Design and Development》，书名使我眼前豁然一亮。书中对产品设计和开发流程深入浅出、通俗易懂的描述像磁铁一样深深地吸引着我。书的作者是宾夕法尼亚大学沃顿商学院的Ulrich教授和麻省理工学院斯隆管理学院的Eppinger教授。两位教授在产品开发、研发项目管理方面有着深厚的造诣和影响力。他们的学术文章我也拜读过很多，由此，我产生了翻译此书的想法。

回国后，我对本书的部分内容做了简单翻译并推荐我的研究生阅读。同时也非常期望有机会扩大这本书在国内的影响，使更多人受益。几年前一次偶然的机会，机械工业出版社华章公司的编辑姚雷找到了我，期望我翻译本书第5版，我毫不犹豫地欣然接受。现在，第6版又将与读者见面了。

中国正面临着由制造业大国向创新型国家的转变，党的十九大提出了“加快建设创新型国家”的新发展理念，指出创新是引领发展的第一动力。是建设现代化经济体系的战略支撑。科技部部长万钢指出：近年来，我国科技研发经费支出每年以20%以上的速度递增，2012年中国已成为仅次于美国的全球第二大研发（R&D）支出国。联合国教科文组织于2015年11月发布的《2015年科学报告：面向2030》数据显示，目前美国用于研发的投资占全球28%，中国紧随其后（20%），超越欧盟（19%）和日本（10%）。2016年，全国投入研发经费1.56万亿元，其中，企业在全国总研发经费支出中所占比重达到77.5%。企业是创新的主体，在全球竞争的背景下，各企业加大研发投入，例如，阿里巴巴集团宣布成立达摩院，未来3年内将投入超过1000亿元人民币，进行基础科学和颠覆式技术创新研究。

无论是产品设计方面的工程技术人员还是研发项目管理人员，都会通过本书受到启迪。阅读本书可以使我们了解复杂产品设计开发与管理中涉及的诸多细节和结构化流程方法，以及市场营销、项目经济性评估、面向制造的设计、面向环境的设计、研发项目管理等前沿内容。

本书主要特点如下。

- 知识体系完整、系统。本书涵盖产品设计与开发的方方面面，包含两条主线：一条主线是研发项目生命期，包括从机会识别、产品规划直至概念测试等各阶段的主要工作内容、工具和方法；另一条主线是研发各阶段都会用到的支撑性方法和工具，如工业设计、面向环境的设计、面向制造的设计、产品开发项目的经济分析、产品开发项目管理等。
- 采用结构化方法进行阐述，通俗易懂。本书强调采用结构化方法解决问题，包括结构化流程和结构化工具，这些结构化方法更加易于理解、易于掌握、易于推广。
- 实践性强。每章均通过案例进行相关原理的分析和论述，最后均附有练习、思考题和相关网站，使读者体会到知识的实用性和可操作性。

本书既可作为从事产品设计与开发的工程设计人员和项目管理人员的实践指南，也适合作为产品设计和项目管理等相关专业本科生、研究生、工程硕士研究生和MBA的产品创新管理、技术管理、研发项目管理课程的辅助教材。

阅读本书时，你将体验到真实的产品设计与开发环境，在错综复杂的新产品研发世界中自由翱翔。如果本书能成为一张请柬，邀请读者对产品设计与开发中出现的技术问题和管理问题做进一步有益探索，那么我将喜出望外。如果书中存在翻译错误和不当之处，敬请读者指正。

本书由北京科技大学杨青教授主持翻译，参与翻译工作的博士和硕士研究生包括杨娜、李佳慧、王慧娟、周芷伊、邹星琪、吕佳芮、詹舒琳、单晨、唐尔玲、安然、吴少刚、武高宁等。感谢北京奔驰汽车有限公司的赵亮先生和北京电子科技学院的张雅君副研究员为本书所做的贡献。感谢为本书提供修订意见的所有人士。

感谢本书第3版和第4版中文版的译者和编辑，他们的工作为本书的翻译提供了许多有益的启发。

感谢机械工业出版社华章公司的策划编辑姚蕾、麦格劳-希尔教育（McGraw-Hill Education）出版公司的高级策划编辑靳乐，以及所有为本书的出版做出贡献的出版工作者。

谨以本书献给致力于产品设计和研发管理的读者。祝大家阅读愉快！

杨青

2018年3月于北京

前　　言

本书是我们在产品开发这一跨学科课程讲义的基础上编写的。该课程面向工程和工业设计领域的研究生以及MBA学生。尽管本书的主要受众是上述跨学科领域的研究生，但是许多工程设计领域的本科生和研究生教师也会发现它是一本非常有用的教学参考书。同时本书对专业人士也非常有用。实际上，我们不可避免地需要针对专业读者来编写，因为大部分学生本身就是专业人士。他们都曾在产品开发或者相关领域工作过。

本书把市场营销、设计以及工业制造的观点融合为产品开发的整体思路，因此能够使每个学生准确地理解实实在在的产品开发实践，以及开发团队中不同成员扮演的基本而复杂的角色。本书还特别关注了业内的实践者，为他们提供了一系列产品开发方法，这些方法可以快速地应用于产品项目开发实践。

在高等教育界常常会存在这样的争议：工业设计的教学工作是应该首先为学生建立坚实的理论基础，还是应该鼓励学生在管理不是那么严格的情况下开展工业实践活动？对于更为广泛的产品设计与开发，我们摒弃两个极端。没有付诸实践的理论都是空谈，因为很多细微的差别和微妙之处只有通过实践才能学到，并且还有一些非常重要的实践工作缺乏足够的理论基础。但是，没有理论指导的实践非常容易产生混乱，也无法利用成功的产品开发专业人员和研究人员所积累的知识和经验。在这方面，产品开发如同航海；不断实践可以使航海技术变得非常熟练，但是航海理论知识和船舶运作原理（甚至一些小技巧）的指导也会对航海技术有很大帮助。

我们试图通过强调方法在理论与实践之间寻找平衡。我们所提出的方法是一个按部就班完成任务的程序。但它几乎体现不出清晰而精确的理论。在某些情况下，正如第18章所提到的，方法是由研究和实践的传统来支撑的。在另外一些情况下，方法论是非常新颖的专业技术的精华，就像第12章提到的一样。在所有情况下，方法都会为解决产品开发问题提供具体途径。根据我们的经验，最好是在工业或学术背景下的项目中通过结构化方法来学习产品开

发。因此，本书希望在课程项目或工业实践背景下为完成产品开发任务提供指南。

本书的每一种方法都通过具体的工业实例或者案例研究来说明。每一章都选择了不同的产品实例，而不是在全书中都使用相同的例子。我们之所以使用多种多样的实例，是因为这样可以使本书更加有趣，并且可以说明这些方法可广泛应用于从工业设备到消费产品的各个领域中。

本书设计了很多模块——由 19 个独立的章构成。每一章都为产品开发流程中的一个具体部分提出了一种开发方法。这种模块形式的好处在于每一章都独立于其他部分，这样教师、学生和从业人员就可以很容易地找到他们最需要的材料。

本书第 6 版中增添了关于服务设计的新章节，对全书的案例和数据进行了更新，融入了研究和实践领域的新观点，并对全书进行了修订。

作为补充，我们还在互联网上建立了一个网站，主要为教师、学生以及从业人员提供网上资源。我们将及时对其进行更新，包括及时补充其他参考材料和案例，并且提供产品开发各专题相关的资源链接。大家可以登录 www.ulrich-eppinger.net 来查阅和使用这些资源。

结构化方法在产品开发中的应用也有助于开发流程的研究和改进。实际上，我们希望读者能够以本书的思想作为种子，创造自己的开发方法，从而使其适合自己的个性、智慧以及企业环境等。我们鼓励读者分享经验并且提供一些改进建议，可以将你的观点和评价发至我们的电子邮箱：ulrich@wharton.upenn.edu 和 eppinger@mit.edu。

致 谢

数以百计的人以各种方式为本书的出版付出了不同程度的努力。我们感谢众多的业内实践者。他们提供了大量数据、实例和观点。我们感谢众多的学术界同事、研究助理和支持人员，以及我们的资助人和 McGraw-Hill 团队。他们给予我们很多帮助。事实上，没有这么多专家、同事和朋友的合作与协助，我们是难以完成此书的。再次感谢所有人。

开发本教材的资金支持主要来自于 Alfred P. Sloan 基金、麻省理工学院 (MIT) 的制造领导者 (Leaders for Manufacturing, LFM) 项目以及 MIT 产品开发创新中心 (Center for Innovation in Product Development, CIPD)。

许多业内实践者帮助我们收集数据和整理案例。我们特别向以下各位表示感谢：Richard Ahern, Liz Altman, Lindsay Anderson, Terri Anderson, Mario Belsa-nti, Mike Benjamin, Scott Beutler, Bill Burton, Michael Carter, Jim Caruso, Pat Cas-ey, Scott Charon, Victor Cheung, Alan Cook, David Cutherell, Tim Davis, John Elet-er, George Favaloro, Marc Filerman, David Fitzpatrick, Gregg Geiger, Anthony Gior-dano, David Gordon, Kalama Grasso, Matt Haggerty, Rick Harkey, Matthew He-rn, Alan Huffenus, Art Janzen, Randy Jezowski, Carol Keller, Matt Kressy, Eaward Kr-euzer, David Lauzun, Peter Lawrence, Brian Lee, David Levy, Jonathan Li, Albert Lu-ccheti, Paul Martin, Doug Miller, Loe Montagna, Al Nagle, Jonh Nicklass, Hossa-in Nivi, Cris Norman, Paolo Pascarella, E. Timothy Pawl, Paul Piccolomini, Amy Potts, Earl Powell, Jason Ruble, Virginia Runkle, Nader Sabbaghian, Mask Schurman, Nom Seguin, David Shea, Wei-Ming Shen, Sonja Song, Leon Soren, Paul Staelin, Michael Stephens, Scott Stropkay, Larry Sullivan, Malcorm Taylor, Brian Vogel, David Webb-er, Bob Weissappel, Dan Williams, Gabe Wing 和 Mark Winter。

我们也得到了同事的大力协助。在某些特别的教学和研究工作中，我们经常得到他们的鼓励和支持，有些已在书中得到反映。我们尤其要感谢 MIT 的 LFM 和 CIPD 这两个由大型制

造企业和 MIT 工程与管理学院参与的典型合作伙伴。与这些项目相关工作人员的合作使我们受益颇多。尤其是：Gabriel Bitran, Kent Bowen, Don Clausing, Tom Eagar, Charlie Fine, Woodie Flowers, Steve Graves, John Hauser, Rebecca Henderson, Maurice Homles, Tom Magnanti, Kevin Otto, Don Rosenfield, Warren Seering, Shoji Shiba, Anna Thornton, Jim Utterback, Eric von Hippel, Dave Wallace 和 Dan Whitney。我们得到了来自 LFM、CIPD 以及 Gordon 著作基金的资助。最重要的是，LFM 和 CIPD 在产品开发和制造中为我们提供了接触工业项目和研究问题的特殊途径。

许多教职工帮助我们审阅了书中的章节，并通过本书内容在班级教学中的实践为我们提供了大量反馈信息。我们尤其感谢这些审阅人员和“beta 测试者”。他们是：Alice Agogino, Don Brown, Steve Brown, Charles Burnette, Grey Cadenhead, Roger Calantone, Cho Lik Chan, Kim Clark, Morris Cohen, Denny Davis, Michael Duffey, William Durfee, Donald Elger, Josh Eliashberg, David Ellison, Woodie Flowers, Gray Gabriele, Paulo Gomes, Abbie Griffin, Marc Harrison, Rebecca Henderson, Tim Hight, Mike Houston, Macro Iansiti, Kos Ishii, R.T. Johnson, Kyoung-Yun “Joseph” Kim, Annette Kohler, Viswanathan Krishnan, Yu-yi Lin, Richard Locke, Bill Lovejoy, Jeff Meldman, Farrokh Mistree, Wanda Orlikowski, Louis Padulo, Matthew Parkinson, Robert Pelke, Warren Seering, Paul Sheng, Robert Smith, Carl Sorensen, Mark Steiner, Cassandra Telenko, Christian Terwiesch, Chuck Turtle, Marcie Tyre, Dan Whitney, Kristin Wood 和 Khim-Teck Yeo。

一些业内的实践者和培训专家也在审阅和评论各章原稿时为我们提供了帮助。他们是：Wesley Allen, Geoffrey Boothroyd, Gary Burchill, Clay Burns, Eugene Cafarelli, James Carter, Kimi Ceridon, David Cutherell, Gerard Furbershaw, Jack Harkins, Gerhard Junemann, David Meeker, Ulrike Narger, B. Joseph Pine II, William Townsend, Brian Vogel 和 John Wesner。

我们也想感谢试听本书相应课程的 1000 多名学生。他们参与了麻省理工学院、赫尔辛基技术大学、罗德岛设计学院、巴黎 HEC、STOA（意大利）、宾夕法尼亚大学和南洋理工大学（新加坡）的不同教学项目，许多学生提出了提升教材水平的建设性意见并提供了我们最终选用的材料。当然，观察学生在产品开发项目中如何使用这些方法有助于我们进一步完善材料。

几位 MIT 的学生作为研究助手对本书第 1 版中开发方法、实例和数据的调研工作提供了帮助。他们是：Michael Baeriswyl（第 12 章、第 17 章、第 18 章）、Anitha Balasubramaniam（第 18 章）、Paul Brody（第 11 章）、Tom Foody（第 18 章）、Amy Greenlieff（第 14 章）、Christopher

Hession (第 4 章), Eric Howlett (第 8 章), Timothy Li (第 5 章), Tom Pimmier (第 13 章附录), Stephen Raab (第 19 章), Harrison Roberts (第 13 章附录), Jonathan Sterrett (第 5 章) 和 Gavin Zau (第 7 章)。

还有一些麻省理工学院的学生也通过数据收集、提供评价和提出批评的方式为部分章节提供了帮助, 他们是: Tom Abell, E. Yung Cha, Steve Daleiden, Russell Epstein, Matthew Fein, Brad Forry, Mike Frauens, Ben Gross, Daniel Hommes, Bill Liteplo, Habs Moy, Robert Northrop, Leslie Prince Rudolph, Vikas Sharma 和 Ranjini Srikantiah。

McGraw-Hill 的工作是极为优秀的。特别感谢我们的责任编辑 Laura Hurst Spell, 同样感谢项目经理 Heather Ervolino 和 Mary Jane Lampe, 文字编辑 Rich Wright, 图片设计师 Mary Reeg。

最后, 感谢家人的关爱与支持, 感谢父母的诸多鼓励。Nancy, Julie, Lauren, Andrew, Jamie 和 Nathan 在数年的项目开发过程中表现出了无尽的耐心。

卡尔·T. 乌利齐 (Karl T. Ulrich)

史蒂文·D. 埃平格 (Steven D. Eppinger)

目 录

| | |
|--------------------|-----------|
| 译者序 | |
| 前言 | |
| 致谢 | |
| 第1章 概论 | 1 |
| 1.1 成功的产品开发的特点 | 2 |
| 1.2 谁来设计和开发产品 | 3 |
| 1.3 产品开发的周期和成本 | 4 |
| 1.4 产品开发的挑战 | 5 |
| 1.5 本书思路 | 6 |
| 1.5.1 结构化方法 | 6 |
| 1.5.2 工业实例 | 6 |
| 1.5.3 组织表现 | 7 |
| 1.5.4 本书路线图 | 7 |
| 参考文献 | 9 |
| 练习 | 9 |
| 思考题 | 9 |
| 第2章 开发流程和组织 | 10 |
| 2.1 产品开发流程 | 11 |
| 2.2 概念开发：前端过程 | 14 |
| 2.3 采用基本的产品开发流程 | 16 |
| 2.3.1 技术推动型产品 | 16 |
| 2.3.2 平台型产品 | 18 |
| 2.3.3 流程密集型产品 | 18 |
| 2.3.4 定制型产品 | 18 |
| 2.3.5 高风险产品 | 19 |
| 2.3.6 快速构建产品 | 19 |
| 2.3.7 产品服务系统 | 19 |
| 2.3.8 复杂系统 | 20 |
| 2.4 产品开发流程图 | 20 |
| 2.5 Tyco 公司产品开发流程 | 20 |
| 2.6 产品开发组织 | 24 |
| 2.6.1 通过建立个人之间的联系 | |
| 形成组织 | 24 |
| 2.6.2 依据职能和项目之间的联系 | |
| 形成组织 | 24 |
| 2.6.3 选择组织结构 | 26 |
| 2.6.4 分散的产品开发团队 | 27 |
| 2.7 Tyco 公司产品开发组织 | 28 |
| 2.8 小结 | 28 |
| 参考文献 | 29 |
| 练习 | 31 |
| 思考题 | 31 |

| | | | |
|---------------------|----|---------------------------|----|
| 第3章 机会识别 | 32 | 4.4.2 项目时间安排 | 60 |
| 3.1 什么是机会 | 33 | 4.4.3 产品规划 | 61 |
| 3.2 机会识别的评比结构 | 35 | 4.5 步骤4：完成项目前期规划 | 61 |
| 3.3 机会识别过程 | 37 | 4.5.1 任务书 | 62 |
| 3.4 步骤1：确立章程 | 37 | 4.5.2 假定条件和限制 | 62 |
| 3.5 步骤2：挖掘并探索大量机会方案 | 38 | 4.5.3 人员配备和其他项目前期规划活动 | 63 |
| 3.6 步骤3：筛选机会方案 | 43 | 4.6 步骤5：对结果和过程进行反思 | 64 |
| 3.7 步骤4：开发有前景的机会方案 | 44 | 4.7 小结 | 64 |
| 3.8 步骤5：选出最佳机会方案 | 45 | 参考文献 | 65 |
| 3.9 步骤6：对结果和过程进行反思 | 46 | 练习 | 67 |
| 3.10 小结 | 47 | 思考题 | 67 |
| 参考文献 | 47 | | |
| 练习 | 48 | | |
| 思考题 | 48 | | |
| 第4章 产品规划 | 49 | 第5章 识别顾客需求 | 68 |
| 4.1 产品规划流程 | 50 | 5.1 潜在需求的重要性 | 70 |
| 4.1.1 产品开发项目的四种类型 | 51 | 5.2 识别顾客需求的流程 | 70 |
| 4.1.2 流程 | 52 | 5.3 步骤1：从顾客那里收集原始数据 | 71 |
| 4.2 步骤1：识别市场机会 | 53 | 5.3.1 选择顾客 | 73 |
| 4.3 步骤2：项目评价和优先级排序 | 53 | 5.3.2 清晰表达顾客需求的艺术 | 74 |
| 4.3.1 竞争策略 | 53 | 5.3.3 归档整理与顾客互动 | 75 |
| 4.3.2 市场细分 | 54 | 5.4 步骤2：从顾客需求角度理解原始数据 | 77 |
| 4.3.3 技术曲线 | 54 | 5.5 步骤3：组织需求的层级 | 78 |
| 4.3.4 产品平台规划 | 55 | 5.6 步骤4：建立需求的相对重要性 | 80 |
| 4.3.5 评价全新产品的机会 | 56 | 5.7 步骤5：对结果和过程进行反思 | 82 |
| 4.3.6 权衡项目组合 | 58 | 5.8 小结 | 82 |
| 4.4 步骤3：资源分配和时间安排 | 59 | 参考文献 | 83 |
| 4.4.1 资源分配 | 59 | 练习 | 84 |
| | | 思考题 | 85 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 第6章 产品规格 | 86 | 7.2 步骤1：厘清问题 | 114 |
| 6.1 何为规格 | 87 | 7.2.1 把一个复杂问题分解成 几个简单子问题 | 115 |
| 6.2 何时建立规格 | 88 | 7.2.2 在最初阶段将精力集中于 关键子问题 | 117 |
| 6.3 建立目标规格 | 89 | 7.3 步骤2：外部搜索 | 117 |
| 6.3.1 步骤1：准备度量指标 清单 | 90 | 7.3.1 领先用户调查 | 118 |
| 6.3.2 步骤2：收集竞争性标杆 信息 | 94 | 7.3.2 专家咨询 | 118 |
| 6.3.3 步骤3：为每个度量指标设 置理想值和临界可接受值 | 97 | 7.3.3 专利检索 | 118 |
| 6.3.4 步骤4：对结果和过程进行 反思 | 99 | 7.3.4 文献检索 | 119 |
| 6.4 确定最终规格 | 99 | 7.3.5 将相关产品设为基准 | 120 |
| 6.4.1 步骤1：开发产品的技术 模型 | 100 | 7.4 步骤3：内部搜索 | 120 |
| 6.4.2 步骤2：开发产品的成本 模型 | 101 | 7.4.1 举行个人会议和团队会议 至关重要 | 121 |
| 6.4.3 步骤3：修正规格，必要时 进行权衡分析 | 103 | 7.4.2 生成解决方案概念的线索 | 122 |
| 6.4.4 步骤4：确立合理的规格 | 105 | 7.5 步骤4：系统搜索 | 124 |
| 6.4.5 步骤5：对结果和过程 进行反思 | 106 | 7.5.1 概念分类树 | 124 |
| 6.5 小结 | 106 | 7.5.2 概念组合表 | 126 |
| 参考文献 | 107 | 7.5.3 管理探索过程 | 128 |
| 练习 | 108 | 7.6 步骤5：对结果和过程进行 反思 | 129 |
| 思考题 | 108 | 7.7 小结 | 130 |
| 附录 设定目标成本 | 109 | 参考文献 | 131 |
| 第7章 概念生成 | 111 | 练习 | 133 |
| 7.1 概念生成概述 | 112 | 思考题 | 133 |
| 7.1.1 采用结构化方法避免出现 代价过高的问题 | 113 | 第8章 概念选择 | 135 |
| 7.1.2 五步法 | 113 | 8.1 概念选择是产品开发过程的 重要部分 | 137 |
| | | 8.2 概念选择方法 | 139 |
| | | 8.3 结构化方法的优点 | 140 |
| | | 8.4 方法概述 | 140 |
| | | 8.5 概念筛选 | 141 |

| | | | |
|-----------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 8.5.1 步骤 1：准备选择矩阵 | 141 | 9.4.1 调查模式与概念表达的方式要匹配 | 163 |
| 8.5.2 步骤 2：对概念评级 | 143 | 9.4.2 概念表达中的问题 | 164 |
| 8.5.3 步骤 3：对概念排序 | 143 | 9.5 步骤 5：测度顾客反应 | 164 |
| 8.5.4 步骤 4：对概念进行整合和改进 | 144 | 9.6 步骤 6：解释结果 | 166 |
| 8.5.5 步骤 5：选择一个或多个概念 | 145 | 9.7 步骤 7：对结果和过程进行反思 | 168 |
| 8.5.6 步骤 6：对结果和过程进行反思 | 145 | 9.8 小结 | 169 |
| 8.6 概念评分 | 145 | 参考文献 | 170 |
| 8.6.1 步骤 1：准备选择矩阵 | 146 | 练习 | 171 |
| 8.6.2 步骤 2：对概念评级 | 147 | 思考题 | 171 |
| 8.6.3 步骤 3：对概念排序 | 147 | 附录 估计市场规模 | 171 |
| 8.6.4 步骤 4：对概念进行整合和改进 | 148 | 第 10 章 产品架构 | 173 |
| 8.6.5 步骤 5：选择一个或多个概念 | 148 | 10.1 什么是产品架构 | 174 |
| 8.6.6 步骤 6：对结果和过程进行反思 | 148 | 10.1.1 模块化的类型 | 176 |
| 8.7 附加说明 | 149 | 10.1.2 何时确定产品架构 | 177 |
| 8.8 小结 | 150 | 10.2 产品架构的内涵 | 177 |
| 参考文献 | 151 | 10.2.1 产品改进 | 177 |
| 练习 | 152 | 10.2.2 产品多样化 | 178 |
| 思考题 | 152 | 10.2.3 零部件标准化 | 178 |
| 附录 A 概念筛选矩阵示例 | 153 | 10.2.4 产品性能 | 179 |
| 附录 B 概念评分矩阵示例 | 154 | 10.2.5 可制造性 | 179 |
| 第 9 章 概念测试 | 156 | 10.2.6 产品开发管理 | 179 |
| 9.1 步骤 1：确定概念测试的目的 | 158 | 10.3 建立产品架构 | 180 |
| 9.2 步骤 2：选择调查人群 | 158 | 10.3.1 步骤 1：创建产品示意图 | 180 |
| 9.3 步骤 3：选择调查方式 | 159 | 10.3.2 步骤 2：对示意图中的元素进行聚类 | 182 |
| 9.4 步骤 4：沟通概念 | 160 | 10.3.3 步骤 3：设计简略的几何结构 | 183 |
| | | 10.3.4 步骤 4：确定基本的和附属的相互作用关系 | 184 |
| | | 10.4 延迟差异化 | 185 |

| | | | |
|---------------------------------|------------|--|------------|
| 10.5 平台规划..... | 187 | 11.4.6 与工程师、制造商以及 外部供应商合作..... | 207 |
| 10.5.1 差异性设计..... | 188 | 11.4.7 基于计算机的工具对 工业设计的影响..... | 207 |
| 10.5.2 共同性设计..... | 188 | 11.5 工业设计流程的管理..... | 208 |
| 10.5.3 差异性和共同性之间的 权衡..... | 189 | 11.6 评估工业设计的质量..... | 210 |
| 10.6 系统设计的相关问题..... | 190 | 11.6.1 用户界面的质量..... | 210 |
| 10.6.1 确立子系统..... | 190 | 11.6.2 感染力..... | 211 |
| 10.6.2 确立组件架构..... | 190 | 11.6.3 产品的维护与维修..... | 212 |
| 10.6.3 确立详细的界面规格..... | 190 | 11.6.4 资源的合理利用..... | 212 |
| 10.7 小结..... | 191 | 11.6.5 产品的差异性..... | 213 |
| 参考文献..... | 192 | 11.7 小结..... | 213 |
| 练习..... | 193 | 参考文献..... | 213 |
| 思考题..... | 193 | 练习..... | 215 |
| 第 11 章 工业设计 | 194 | 思考题..... | 216 |
| 11.1 什么是工业设计..... | 196 | 第 12 章 面向环境的设计..... | 217 |
| 11.2 对工业设计必要性的评估 | 198 | 12.1 什么是面向环境的设计 | 219 |
| 11.2.1 工业设计所需费用..... | 198 | 12.1.1 两种生命周期 | 219 |
| 11.2.2 工业设计对产品 有多重要 | 199 | 12.1.2 环境影响 | 221 |
| 11.2.3 人机工程学需求..... | 199 | 12.1.3 面向环境设计的历史 | 221 |
| 11.2.4 美学需求..... | 200 | 12.1.4 Herman Miller 公司的 面向环境设计之旅 | 222 |
| 11.3 工业设计的影响 | 201 | 12.2 面向环境设计流程 | 223 |
| 11.3.1 工业设计值得投资吗 | 201 | 12.3 步骤 1：设置 DFE 日程—— 驱动因素、目标和团队 | 223 |
| 11.3.2 工业设计是如何树立 企业形象的 | 203 | 12.3.1 识别 DFE 的内部和外部 驱动因素 | 224 |
| 11.4 工业设计流程 | 204 | 12.3.2 设置 DFE 目标 | 225 |
| 11.4.1 调查顾客需求 | 204 | 12.3.3 组建 DFE 团队 | 226 |
| 11.4.2 概念化 | 205 | 12.4 步骤 2：识别潜在环境影响 | 227 |
| 11.4.3 初步细化 | 206 | | |
| 11.4.4 进一步细化及确定最终 概念 | 206 | | |
| 11.4.5 完成控制图纸或模型 | 207 | | |

| | | | |
|----------------------------|------------|---------------------------|-----|
| 12.5 步骤 3：选择 DFE 指导方针 | 228 | 13.3.2 重新设计零部件以减少工序 | 250 |
| 12.6 步骤 4：将 DFE 指导方针用于初步设计 | 230 | 13.3.3 选择合适的零部件加工经济规模 | 251 |
| 12.7 步骤 5：评估环境影响 | 231 | 13.3.4 零部件和工艺的标准化 | 252 |
| 12.8 步骤 6：完善产品设计以减少或消除环境影响 | 232 | 13.3.5 “黑箱”零部件采购 | 253 |
| 12.9 步骤 7：对 DFE 流程和结果进行反思 | 232 | 13.4 步骤 3：降低装配成本 | 253 |
| 12.10 小结 | 234 | 13.4.1 打分 | 253 |
| 参考文献 | 234 | 13.4.2 集成零部件 | 254 |
| 练习 | 235 | 13.4.3 最大限度地简化装配 | 254 |
| 思考题 | 236 | 13.4.4 考虑客户自行装配 | 255 |
| 附录 面向环境设计的指导方针 | 236 | 13.5 步骤 4：降低支持成本 | 255 |
| 第 13 章 面向制造的设计 | 240 | 13.5.1 降低系统复杂性 | 255 |
| 13.1 面向制造的设计的定义 | 241 | 13.5.2 差错预防 | 256 |
| 13.1.1 DFM 需要跨职能的团队 | 242 | 13.6 步骤 5：考虑 DFM 对其他因素的影响 | 257 |
| 13.1.2 DFM 贯穿产品开发全过程 | 242 | 13.6.1 DFM 对开发时间的影响 | 257 |
| 13.1.3 DFM 流程概述 | 242 | 13.6.2 DFM 对开发成本的影响 | 257 |
| 13.2 步骤 1：估算制造成本 | 243 | 13.6.3 DFM 对产品质量的影响 | 257 |
| 13.2.1 运输成本 | 244 | 13.6.4 DFM 对外部因素的影响 | 258 |
| 13.2.2 固定成本与可变成本 | 245 | 13.7 成果 | 258 |
| 13.2.3 物料清单 | 245 | 13.8 小结 | 259 |
| 13.2.4 估算标准件的成本 | 246 | 参考文献 | 260 |
| 13.2.5 估算定制件的成本 | 247 | 练习 | 262 |
| 13.2.6 估算装配成本 | 248 | 思考题 | 262 |
| 13.2.7 估算间接成本 | 249 | 附录 A 材料成本 | 263 |
| 13.3 步骤 2：降低零部件成本 | 250 | 附录 B 零部件制造成本 | 264 |
| 13.3.1 了解工艺制约和成本驱动因子 | 250 | 附录 C 装配成本 | 269 |
| | | 附录 D 成本结构 | 270 |

| | | | |
|--------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 第 14 章 原型化 | 271 | 第 15 章 稳健设计 | 288 |
| 14.1 了解原型化 | 272 | 15.1 什么是稳健设计 | 289 |
| 14.1.1 原型分类 | 273 | 15.1.1 试验设计 | 291 |
| 14.1.2 原型有什么作用 | 274 | 15.1.2 稳健设计的过程 | 292 |
| 14.2 原型化原理 | 276 | 15.2 步骤 1: 识别控制因素、噪声 因素和性能指标 | 292 |
| 14.2.1 解析化原型一般比实体化 原型更具灵活性 | 277 | 15.3 步骤 2: 构造目标函数 | 293 |
| 14.2.2 检测不可预见现象需要 采用实体化原型 | 277 | 15.4 步骤 3: 开发试验计划 | 294 |
| 14.2.3 原型可以降低昂贵的 迭代风险 | 277 | 15.4.1 试验设计 | 294 |
| 14.2.4 原型可加快其他开发 步骤 | 278 | 15.4.2 测试噪声因素 | 297 |
| 14.2.5 原型可重构活动的依賴 关系 | 279 | 15.5 步骤 4: 开展试验 | 297 |
| 14.3 原型化技术 | 279 | 15.6 步骤 5: 进行分析 | 298 |
| 14.3.1 3D CAD 建模和分析 | 279 | 15.6.1 计算目标函数 | 298 |
| 14.3.2 3D 打印 | 280 | 15.6.2 用均值分析法计算因素 影响 | 298 |
| 14.4 制定原型化计划 | 281 | 15.7 步骤 6: 选择并确认因素 设定点 | 299 |
| 14.4.1 步骤 1: 界定原型的 目的 | 281 | 15.8 步骤 7: 反思和重复 | 300 |
| 14.4.2 步骤 2: 建立原型的近似 水平 | 282 | 15.9 附加说明 | 300 |
| 14.4.3 步骤 3: 制定实验计划 大纲 | 282 | 15.10 小结 | 301 |
| 14.4.4 步骤 4: 制定采购、建造 和测试时间表 | 282 | 参考文献 | 302 |
| 14.4.5 计划里程碑原型 | 283 | 练习 | 303 |
| 14.5 小结 | 284 | 思考题 | 303 |
| 参考文献 | 284 | 附录 正交试验 | 303 |
| 练习 | 286 | 第 16 章 专利和知识产权 | 307 |
| 思考题 | 286 | 16.1 什么是知识产权 | 308 |
| | | 16.1.1 专利概述 | 309 |
| | | 16.1.2 实用新型专利 | 309 |
| | | 16.1.3 准备披露书 | 311 |
| | | 16.2 步骤 1: 制定策略和计划 | 312 |
| | | 16.2.1 专利申请时机 | 312 |
| | | 16.2.2 专利申请类型 | 312 |

| | | | |
|--------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 16.2.3 专利申请范围 | 313 | 17.4.3 持续改进 | 337 |
| 16.3 步骤 2：研究先前的发明 | 314 | 17.5 小结 | 338 |
| 16.4 步骤 3：概述权利要求 | 315 | 参考文献 | 338 |
| 16.5 步骤 4：撰写发明描述 | 316 | 练习 | 339 |
| 16.5.1 附图 | 317 | 思考题 | 339 |
| 16.5.2 撰写详细描述 | 317 | | |
| 16.5.3 防御性披露 | 318 | | |
| 16.6 步骤 5：精炼权利要求 | 319 | 第 18 章 产品开发项目的经济分析 | 340 |
| 16.6.1 撰写权利要求 | 319 | 18.1 经济分析要素 | 341 |
| 16.6.2 编写权利要求的 指导原则 | 322 | 18.1.1 定量分析 | 341 |
| 16.7 步骤 6：进行申请 | 322 | 18.1.2 定性分析 | 342 |
| 16.8 步骤 7：对结果和过程进行 反思 | 323 | 18.1.3 何时进行经济分析 | 342 |
| 16.9 小结 | 324 | 18.1.4 经济分析过程 | 342 |
| 参考文献 | 325 | 18.2 步骤 1：构建基准财务 模型 | 343 |
| 练习 | 325 | 18.2.1 估算未来现金流入 流出的时刻和大小 | 343 |
| 思考题 | 325 | 18.2.2 计算现金流的净现值 | 346 |
| 附录 A 商标 | 326 | 18.2.3 其他现金流 | 346 |
| 附录 B 对个人发明人的建议 | 326 | 18.2.4 帮助抉择决策及 重要投资决策 | 349 |
| 第 17 章 服务设计 | 328 | 18.3 步骤 2：敏感性分析 | 349 |
| 17.1 产品 – 服务系统 | 329 | 18.3.1 开发成本的例子 | 349 |
| 17.2 服务和产品有什么不同 | 330 | 18.3.2 开发时间的例子 | 350 |
| 17.3 服务设计流程 | 331 | 18.3.3 理解不确定性 | 353 |
| 17.3.1 服务概念 | 331 | 18.4 步骤 3：采用敏感性分析 理解项目权衡 | 354 |
| 17.3.2 Zipcar 的概念开发 | 332 | 18.4.1 存在的相互作用 | 354 |
| 17.3.3 服务流程图 | 333 | 18.4.2 权衡标准 | 355 |
| 17.3.4 后续持续改进 | 334 | 18.4.3 定量分析的局限 | 356 |
| 17.4 服务中的下游开发活动 | 335 | 18.5 步骤 4：考虑定性因素的 影响 | 357 |
| 17.4.1 原型化服务 | 336 | 18.5.1 项目与公司、市场和 宏观环境的相互作用 | 358 |
| 17.4.2 拓展服务 | 336 | | |

| | |
|------------------------------|------------|
| 18.5.2 进行定性分析 | 359 |
| 18.6 小结 | 360 |
| 参考文献 | 361 |
| 练习 | 362 |
| 思考题 | 362 |
| 附录 A 资金的时间价值和 NPV 法 | 363 |
| 附录 B 不确定现金流的 NPV 建模 | 365 |
| 第 19 章 产品开发项目管理 | 368 |
| 19.1 理解并表达活动 | 369 |
| 19.1.1 串行、并行和耦合活动 | 369 |
| 19.1.2 设计结构矩阵 | 370 |
| 19.1.3 甘特图 | 371 |
| 19.1.4 PERT 图 | 372 |
| 19.1.5 关键路径法 | 373 |
| 19.2 项目基准计划 | 373 |
| 19.2.1 合同书 | 374 |
| 19.2.2 项目活动清单 | 375 |
| 19.2.3 开发团队人员配备与 组织 | 376 |
| 19.2.4 项目进度 | 377 |
| 19.2.5 项目预算 | 378 |
| 19.2.6 项目风险计划 | 378 |
| 19.2.7 修改基准计划 | 379 |
| 19.3 加快项目进程 | 379 |
| 19.4 项目执行 | 382 |
| 19.4.1 协调机制 | 382 |
| 19.4.2 评估项目状态 | 385 |
| 19.4.3 纠偏措施 | 385 |
| 19.5 项目后评估 | 386 |
| 19.6 小结 | 387 |
| 参考文献 | 388 |
| 练习 | 390 |
| 思考题 | 391 |
| 附录 设计结构矩阵示例 | 391 |
| 索引 | 393 |

第1章

概 论



(从左上方顺时针方向：分别由 Belle-V LLC、AvaTech、Oleksiy Maksymenko Photography/Alamy、Oleksiy Maksymenko Photography/Alamy 和 Robert Clayton/Alamy 授权)

图表 1-1 工程化的、分离的 (discrete)、有形的产品实例 (从左上方顺时针方向):
Belle-V 冰激凌勺、AvaTech 雪崩探测仪、iRobot Roomba 吸尘器、Tesla 的 S
型汽车、波音 787 客机

大多数企业在经济上的成功取决于他们识别顾客需求、快速研制产品以满足顾客需求以及以较低的成本生产的能力。实现这些目标不仅仅是营销问题，也不仅仅是设计问题或制造问题，而是一个涉及所有职能的产品开发问题。本书提供了一系列方法，旨在提高跨职能团队一起工作开发产品的能力。

产品（product）是企业向顾客销售的东西。产品开发（product development）始于发现市场机会，止于产品的生产、销售和交付，由一系列活动组成。尽管本书的大部分资料对任何产品的开发都是有用的，但我们还是集中讨论工程化的、分离的、有形的产品。图表 1-1 展示了这类产品的几个例子。由于我们专注工程化的产品，因此本书更适用于电动工具和计算机外设设备（而非杂志或毛衣）的开发。由于我们关注分离的产品，因此本书不太适合汽油、尼龙和纸张等的开发。由于我们专注有形的产品，因此我们没有强调在开发服务或软件中所涉及的具体问题。尽管有这些局限，但本书所提出的方法仍可很好地应用于大部分产品，如消费电子产品、运动器材、科学仪器、机床和医疗设备等。

本书的目的是呈现一整套清晰、详细的产品开发方法，以整合企业的营销、设计和制造职能。在本章中，我们将描述产品开发实践的主要方面，并提供本书的路线图。

1.1 成功的产品开发的特点

从投资者的角度来看，在一个以盈利为目的的企业中，成功的产品开发可以使产品的生产、销售实现盈利。但是盈利能力往往难以迅速、直接地评估。通常，可从五个具体的维度（它们最终都与利润相关）来评估产品开发的绩效。

- **产品质量 (product quality)**: 开发出的产品有哪些优良特性？它能否满足顾客的需求？它的稳健性 (robust) 和可靠性如何？产品质量最终反映在其市场份额和顾客愿意支付的价格上。
- **产品成本 (product cost)**: 产品的制造成本是多少？该成本包括固定设备和工艺装备费用，以及为生产每一单位产品所增加的边际成本。产品成本决定了企业以特定的销售量和销售价格所能够获得的利润的多少。
- **开发时间 (development time)**: 团队能够以多快的速度完成产品开发工作？开发时间决定了企业如何对外部竞争和技术发展做出响应，以及企业能够多快从团队的努力中获得经济回报。
- **开发成本 (development cost)**: 企业在产品开发活动中需要多少花费？通常，在为获得利润而进行的所有投资中，开发成本占有可观的比重。

- **开发能力 (development capability):** 根据以往的产品开发项目经验，团队和企业能够更好地开发未来的产品吗？开发能力是企业的一项重要资产，它使企业可以在未来更高效、更经济地开发新产品。

在这五个维度上的良好表现将最终为企业带来经济上的成功。但是，其他方面的性能标准也很重要。这些标准源自企业中其他利益相关者（包括开发团队的成员、其他员工和制造产品所在的社区）的利益。开发团队的成员可能会对开发一个新、奇、特的产品感兴趣。制造产品所在社区（community）的成员可能更关注该产品所创造就业机会的多少。生产工人和产品使用者都认为开发团队应使产品有高的安全标准，而不管这些标准对于获得基本的利润是否合理。其他与企业或产品没有直接关系的个人可能会从生态的角度，要求产品合理利用资源并产生最少的危险废弃物。

1.2 谁来设计和开发产品

产品开发是一项跨学科的活动，它需要企业中几乎所有职能部门的参与。然而，三种职能在产品开发项目中处于核心地位：

- **市场营销：**市场营销职能协调着企业与顾客之间的关系。营销往往有助于识别产品机会、确定细分市场、识别顾客需求。营销还可加强企业与顾客之间的沟通。设定目标价格、监督产品的发布和推广工作。
- **设计：**设计能在确定产品的物理形式以最好地满足顾客的需求方面发挥着重要作用。本书所述设计职能包括工程设计（机械、电子、软件等）和工业设计（美学、人机工程、用户界面等）。
- **制造：**制造职能主要包括为生产产品而开展的生产系统的设计、运营和协调工作。广义的制造职能还包括采购、配送和安装。这一系列的活动有时也称为供应链（supply chain）。

在这些职能中不同的个人通常在某些领域（如市场调研、机械工程、电子工程、材料科学或制造运营）接受过专门培训。新产品的开发过程通常也会涉及财务、销售等其他辅助职能。除了这些广泛的职能类别，一个开发团队的具体组成还取决于产品的具体特性。

很少有产品是由一个人单独开发的。开发一个产品的所有个人的集合组成了项目团队（project team）。这个团队通常有一个团队领导，他可能从企业的任何职能部门中被抽调出来。这个团队可以由一个核心团队（core team）和一个扩展团队（extend team）组成。为了高效地协同工作，核心团队通常保持较小的规模，而扩展团队可能包含几十、几百甚至上千个成员。（虽然“团队”这个术语不适合数千人的群体，但是在里我们还是用了这个词，以此强调一

个群体必须为一个共同的目标而工作。) 在大多数情况下，企业内部的团队将获得来自合伙公司、供应商和咨询公司中个人或团队的支持。例如，在一种新型飞机开发中，外部团队成员的数量可能比出现在最终产品上的公司内部团队成员的数量更多。图表 1-2 显示了一个中等复杂程度的机电产品开发团队的构成。



图表 1-2 一个中等复杂程度的机电产品开发团队构成

本书假定团队处于公司内部。事实上，一个以盈利为目标的制造企业是最常见的产品开发机构形式，但其他形式也有可能存在。产品开发团队有时在咨询公司、大学、政府机构和非盈利性组织中工作。

1.3 产品开发的周期和成本

大多数缺乏产品开发经验的人都会对产品开发所需的时间和资金感到吃惊。事实上，很少有产品能在 1 年内开发出来，很多产品开发需要 3~5 年的时间，有些甚至长达 10 年之久。图表 1-1 展示了五个工程化、分离的产品。图表 1-3 显示了与不同产品的特征相一致的大体开发规模。

产品开发的成本大致与项目团队的人数和项目的持续时间成正比。除了开发成本，企业还要在生产所需的工具和设备方面进行投资。这部分花费往往占产品开发总预算的 50%，但是，有时可以把这些成本视为生产中固定成本的一部分。生产投资与开发成本列于图表 1-3，以供参考。

| | Belle-V 冰激凌勺 | AvaTech 雪崩探测仪 | iRobot Roomba 吸尘器 | Tesla 的 S 型 汽车 | 波音 787 客机 |
|---------------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|--------------|
| 年产量 | 10 000 (把) | 1 000 (个) | 2 000 000 (台) | 50 000 (辆) | 120 (架) |
| 销售生命期(年) | 10 | 3 | 2 | 5 | 40 |
| 销售价格(美元) | 40 | 2 250 | 500 | 80 000 | 2.5 亿 |
| 特殊零件的数量(件) | 2 | 175 | 1 000 | 10 000 | 130 000 |
| 开发时间(年) | 1 | 2 | 2 | 4 | 7 |
| 内部开发团队最大规模(人) | 4 | 6 | 100 | 1 000 | 7 000 |
| 外部开发团队最大规模(人) | 2 | 12 | 100 | 1 000 | 10 000 |
| 开发成本(美元) | 100 000 | 1 000 000 | 50 000 000 | 500 000 000 | 15 亿 |
| 生产投资(美元) | 20 000 | 250 000 | 10 000 000 | 500 000 000 | 15 亿 |

图表 1-3 五种产品的属性和相关的开发工作。根据公开资料或企业内部资料，所有数据都是近似值

1.4 产品开发的挑战

开发大型产品并非易事。很少有企业能够达到 50% 的成功率，这给产品开发团队带来了重大的挑战。使产品开发具有挑战性的一些特征如下。

- **权衡：**飞机的重量可以制作得更轻，但这可能会增加制造成本。产品开发最困难的方面是认识、理解并管理这种权衡，使产品成功的概率最大化。
- **动态性：**技术的提高、顾客偏好的变化、竞争对手推出新产品，以及宏观经济环境的变化。在不断变化的环境中做出决策是一项艰巨的任务。
- **细节：**计算机外壳选择用螺钉还是卡扣的形式，在经济上会产生几百万美元的差别。即使开发一个中等复杂程度的产品也可能需要数千个这样的决策。
- **时间上的压力：**如果有足够的时间，许多困难都可以解决。但产品开发通常要求在没有完整信息的情况下迅速做出决策。
- **经济性：**开发、生产和销售一个新产品需要大量投资。为了赚取合理的投资回报，开发的产品必须既能够吸引消费者，生产又相对低廉。

对于很多人来说，产品开发因具有挑战性而非常有趣。对于其他人，产品开发的几个本质特性也增强了它的吸引力。

- **创造性：**产品开发过程始于一个想法，结束于一个有形物品的生产。无论是从整体还是从单项活动的角度来看，产品开发过程都具有高度的创造性。

- **满足社会和个人的需求：**所有产品都要满足某种需求。对开发新产品感兴趣的人总能找到相应的机构，在那里他们开发新产品以满足他们认为重要的需求。
- **团队多样性：**新产品开发需要许多不同的技能和人才。因此，开发团队往往拥有大量具有不同技能、经历、思维方式和个性的人。
- **团队精神：**产品开发团队往往是积极进取、具有协作精神的群体。团队成员可能集中办公，以便集中集体智慧来创造产品。这种情况能够在团队成员之间产生持久的协作关系。

1.5 本书思路

我们关注企业核心职能部门涉及的产品开发活动，这里，企业的核心职能部门界定为市场营销、设计和制造。我们认为团队成员在一个或多个特定的学科领域（如机械工程、电子工程、工业设计、市场调研或制造运营）已拥有相应的知识，因此，我们不讨论类似如何进行应力分析或怎样开展联合调查之类的问题，这些是开发团队的成员应具有的学科技能。本书提出的集成方法旨在帮助拥有不同学科视角的人共同解决问题、做出决策。6

1.5.1 结构化方法

本书由完成开发活动所需的方法组成。这些方法是结构化的，这意味着我们会提供一个循序渐进的途径，并提供团队处理关键信息所用的模板。我们相信结构化的方法是有价值的，主要有三个方面的原因：首先，结构化的方法让团队中的每个人都能理解决策的基本原理，使决策过程更加清晰；其次，开发活动中关键步骤的“检查表”可以确保重要的问题不被遗忘；最后，结构化的方法大都可以自我记录，因此，在这些方法的实施过程中，团队在决策过程创建的记录可供将来参考和培养新人之用。

虽然这些方法是结构化的，但它们不应该盲目套用。这些方法是持续改善的起点。团队应该根据需要不断修改和完善这些方法，这样才能真实反映他们所处的独特环境。

1.5.2 工业实例

本书其余各章都围绕一个工业实例展开。主要的例子包括：无线安全报警系统、激光猫玩具、数字复印机、恒温器、山地自行车悬架、无线电动钉枪、计量注射器、电动滑板车、电脑打印机、手机、办公室座椅产品、移动机器人、汽车安全带系统、咖啡杯隔热套、数码照片打印机和微型胶卷暗盒。在大多数情况下，我们采用最简单的产品作为例子，以说明本书所提方法的重要方面。例如，当注射器与喷气发动机都能说明一个方法时，我们采用注射

器作为例子。然而，这本书所述的各种方法已被无数人成功应用于大小不同的工业项目。

尽管本书是围绕例子展开的，但这并不仅仅是案例研究。我们使用例子的目的是阐述本书所提的开发方法，因此，我们修改了例子中的一些细节以提高例子的呈现效果，并隐含了例子中的大量定量信息（特别是财务数据）。

1.5.3 组织表现

我们精心选择材料以阐述本书所述的方法，这些方法假设的条件是：开发团队处于一个有利于成功的组织环境中。在现实中，有些组织也表现出一些阻碍产品开发的特征，包括：

- **团队缺乏授权：**在没有充分了解团队决策背景的情况下，总经理或职能经理可能不断干预开发项目的细节。
- **超越项目目标的职能控制：**市场营销、设计、制造的代表为了提高他们在企业中的地位，可能会对决策施加影响，而不考虑产品的整体成功。
- **资源缺乏：**人员不足、技能不匹配，或缺乏资金、设备或工具等，都可能导致团队无法高效地完成开发任务。
- **缺乏跨职能的项目团队：**做出关键的开发决策时，没有市场营销、设计、制造或其他重要的职能部门人员的参与。

大多数组织在某种程度上表现出上述一个或多个特征。这些问题的重要性在于它们会使正确的开发方法失效。尽管我们认识到了组织中这些基本问题的重要性，但为了便于阐述，我们仍然假设开发团队在主要的组织障碍已被清除的环境下运作。

1.5.4 本书路线图

我们把产品开发流程划分为如图表 1-4 所示的六个阶段（这些阶段在第 2 章中将详细阐述）。本书重点阐述概念开发阶段，对其余阶段的论述较简略，因为我们没有提供后面流程所需的详细方法。本书的其余各章都可以独立地阅读、理解和应用。

- 第 2 章提出了一般的产品开发流程，并展示了流程在不同行业中的不同使用方式。该章还讨论了在产品开发项目中组建团队的方法。
- 第 3 章描述了新产品构想的产生、识别与筛选过程。
- 第 4 章提出了一种产品开发决策方法，该方法的输出是针对特定项目的任务陈述。
- 第 5~9 章呈现了概念开发阶段的关键活动。这些方法为团队从任务陈述到产品概念确定的过程提供指南。



图表 1-4 产品开发流程。该图显示了其余各章所呈现的集成方法最有可能应用的阶段

- 第 10 章探讨了产品架构对产品变更、产品多元化、部件标准化、产品性能、制造成本和项目管理的影响，此外，该章提出了建立产品架构的方法。
- 第 11 章讨论了工业设计师的角色以及人机交互问题，包括产品开发中的美学与工效学。
- 第 12 章讨论了与产品相关的环境影响，并提出了通过更好的产品设计降低这些影响的方法。
- 第 13 章讨论了降低制造成本的技术，这些技术主要应用于系统设计和详细设计阶段。
- 第 14 章提出了一种在流程中确保有效开展原型化设计工作的方法。
- 第 15 章解释了选择各设计变量值的方法，以确保可靠性和性能的一致性。
- 第 16 章提出了申请专利的途径，并讨论了知识产权在产品开发中的作用。
- 第 17 章讨论了如何将本书提出的方法应用于无形产品的开发，并且介绍了描述这些产品的方法，即服务流程图。
- 第 18 章描述了一种方法，以理解项目内部因素和外部因素对项目经济价值的影响。
- 第 19 章介绍了项目管理的基本概念，提出了产品开发项目规划、实施的方法。

参考文献

本章及其余各章的大量资料均可在互联网上得到。这些资源包括：数据、模板、供应商的链接和相关出版物的列表。许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

Wheelwright 和 Clark 在他们的著作中重点研究了产品开发的早期阶段，而我们对此没有详细讨论。

Wheelwright, Stephen C., and Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, New York, 1992.

Katzenbach 和 Smith 就一般的团队进行了研究，但他们的大部分见解也适用于产品开发团队。

Katzenbach, Jon R., and Douglas K. Smith, *The Wisdom of Teams: Creating the High-Performance Organization*, Harvard Business School Press, Boston, 1993.

以下三本书提供了对产品开发的详细叙述，包括对相互交织的社会性和技术性流程引人入胜的描述。

Kidder, Tracy, *The Soul of a New Machine*, Avon Books, New York, 1981.

Sabbagh, Karl, *Twenty-First-Century Jet: The Making and Marketing of the Boeing 777*, Scribner, New York, 1996.

Walton, Mary, *Car: Drama of the American Workplace*, Norton, New York, 1997.

练习

- 估算在一个袖珍计算器的价格中开发成本所占的比例。为了做这个估算，你可能首先需要将袖珍计算器的信息填在图表 1-3 中。
- 利用图表 1-3 中的数据，以开发成本为横坐标，其他各行的数据为纵坐标绘制一组散点图。对于每一个散点图，解释为什么存在或不存在相关性。（例如，你首先绘制“年产量”对“开发成本”的散点图，并解释为什么似乎没有相关性。然后绘制其余各行和开发成本的散点图。）

思考题

- 图表 1-4 中列出的每一章都为产品开发流程的一部分提供了方法。对于每一种方法，思考可能需要什么类型的技能和专业知识。你能否讨论下一个开发团队从开始到结束的人员配置问题？这些人应包括所有这些技能和专业的人才。

第2章

开发流程和组织



(Tyco 公司授权)

图表 2-1 Tyco 公司的产品之一，无线安全报警系统控制面板

Tyco 公司是一家领先的传感器和控制系统（包括家用和工业安全系统）制造商，该公司的一款产品是无线安全报警系统控制面板（如图表 2-1 所示）。Tyco 公司的高级经理希望建立一种通用的产品开发流程结构，以适合公司不同部门的产品开发，并创建产品开发组织，使 Tyco 公司在激烈的市场竞争中保持优势。Tyco 公司面临的问题包括：

- 所有项目共同的关键产品开发活动有哪些？
- 为了管理整个开发流程的各阶段，需要设定哪些里程碑和评审点？
- 是否存在适用于不同部门的标准开发流程？
- 不同职能领域的专家在开发流程中扮演何种角色？
- 是否应该根据项目或技术、商业职能将开发组织划分为若干小组？

本章提出了基本的开发流程以及这个流程如何适应一个特定的工业环境。它们有助于回答上述问题及相关问题。我们重点关注企业的不同职能部门在开发流程各阶段的活动和贡献。本章还解释了产品开发组织的构成，并讨论为什么不同类型的组织适合不同的环境。

2.1 产品开发流程

一个流程就是一系列顺序执行的步骤，它们将一组输入转化为一组输出。大多数人比较熟悉物理流程，如：烤蛋糕的流程或组装小汽车的流程。产品开发流程（product development process）是企业构想、设计产品，并使其商业化的一系列步骤或活动。它们大都是脑力的、有组织的活动，而非自然的活动。有些组织可以清晰界定并遵循一个详细的开发流程，而有些组织甚至不能准确描述其流程。此外，每个组织采用的流程与其他组织都会略有不同。实际上，同一企业对不同类型的开发项目也可能会采用不同的流程。

尽管如此，对开发流程进行准确的界定仍是非常有用的，原因如下。

- **质量保证：**开发流程确定了开发项目所经历的阶段，以及各阶段的检查点。若这些阶段和检查点的选择是明智的，那么，遵循开发流程就是保证产品质量的重要方法。
- **协调：**一个清晰的开发流程发挥着主计划（master plan）的作用，它规定了开发团队中的每一个成员的角色。该计划会告诉团队成员何时需要他们做出贡献，以及与谁交换信息和材料。12
- **计划：**开发流程包含了每个阶段相应的里程碑。这些里程碑的时间节点为整个开发项目的进度确定了框架。
- **管理：**开发流程是评估开发活动绩效的基准。通过将实际活动与已建立的流程进行比

较，管理者可以找出可能出现问题的环节。

- **改进：**详细记录组织的开发流程及其结果，往往有助于识别改进的机会。

基本的产品开发流程包括六个阶段，如图表 2-2 所示。该流程开始于规划阶段。该阶段将研究与技术开发活动联系起来。规划阶段的输出是项目的使命陈述。它是概念开发阶段的输入，也是开发团队的行动指南。产品开发流程的结果是产品发布。这时产品可在市场上购买。

产品开发流程的一种思路是：首先建立一系列广泛的、可供选择的产品概念，随后缩小可选择范围，细化产品的规格，直到该产品可以可靠地、可重复地由生产系统进行生产。需要注意的是，尽管生产流程（production process，或译为“生产工艺”）、市场营销计划以及其他有形输出会随着开发的进展而逐渐变化，但是，识别开发阶段的主要依据是产品的状态。

另一种产品开发流程的思路是：将其作为一个信息处理系统。这个流程始于各种输入，如：企业的目标、战略机会、可获得的技术、产品平台和生产系统等。各种活动处理着开发信息，形成产品规格、概念和设计细节。当用来支持生产和销售所需的所有信息创建和传达时，开发流程也就结束了。

第三种思考方式是：将开发流程作为一种风险管理系统。在产品开发的早期阶段，各种风险被识别并进行优先排序。在开发流程中，随着关键不确定性因素的消除和产品功能的验证，风险也随之降低。当产品开发流程完成时，团队对该产品能正常工作并被市场接受充满信心。

图表 2-2 也明确了在产品开发的每个发展阶段，组织不同职能部门的主要活动和责任。由于市场营销、设计和制造的角色贯穿于整个开发流程，我们选择这三个角色进行详细阐述。其他职能部门（如研究、财务、现场服务和销售）在开发流程中的特定时间点也发挥了重要的作用。

基本产品开发流程的六个阶段如下。

0. 规划：规划活动通常被称为“零阶段”，因为它先于项目审批和实际产品开发流程的启动。这个阶段始于依据企业战略所做的机会识别，包括：技术发展和市场目标评估。规划阶段的输出是该项目的使命陈述，详述产品目标市场、业务目标、关键假设和约束条件。第 3 章阐述了如何从广泛的产品机会开始，开展信息收集、评价和选择工作。第 4 章对规划过程进行了讨论。

1. 概念开发：概念开发阶段识别了目标市场的需求，形成并评估了可选择产品的概念，然后选择出一个或多个概念进行进一步开发和测试。概念是对一个产品的形式、功能和特征的描述，通常伴随着一系列的规格说明、对竞争产品的分析以及项目的经济论证。本书对概念开发阶段（第 5～9 章）提出了一些详细的方法。在下一节，我们将详述该阶段包含的主要活动。



图表 2-2 基本的产品开发流程，本表列出了六个阶段，包括每个阶段中关键职能的主要任务和职责

2. 系统设计：系统设计阶段包括产品架构（architecture）的界定，将产品分解为子系统、组件以及关键部件的初步设计。此阶段通常也会制定生产系统和最终装配的初始计划。此阶

段的输出通常包括：产品的几何布局、产品每个子系统的功能规格以及最终装配流程的初步流程图。第10章讨论了系统设计中的一些重要活动。

3. 详细设计：详细设计阶段包括了产品所有非标准部件几何形状、材料、公差等的完整规格说明，以及从供应商购买的所有标准件的规格。这个阶段将编制工艺计划，并为即将在生产系统中制造的每个部件设计工具。此阶段的输出是产品的控制文档（control documentation），包括：描述每个部件几何形状和生产模具的图纸或计算机文件；外购部件的规格；产品制造和装配的流程计划。贯穿于整个产品开发流程（尤其是详细设计阶段）的三个关键问题是：材料选择、生产成本和稳健性（robust，或译为“鲁棒性”）。这些问题将在第12章、第13章和第15章中分别讨论。

4. 测试与改进：测试与改进阶段涉及产品多个试生产版本的创建和评估。早期（alpha，简称 α ）原型样机通常由生产指向（production-intent）型部件构成，“生产指向型”部件是指那些与产品的生产版本有相同几何形状和材料属性，但又不必在实际生产流程中制造的部件。要对 α 原型进行测试，以确定该产品是否符合设计并满足关键的顾客需求。后期（beta，简称 β ）原型样机通常由目标生产流程提供的零部件构成，但装配过程可能与目标的最终装配流程不完全一致。 β 原型将进行广泛的内部评估，通常也被顾客在其使用环境中测试。 β 原型的目标通常是回答关于产品性能及可靠性的问题，以确定是否对最终产品进行必要的工程变更。第14章将对原型样机的特性和应用做深入讨论。

5. 试产扩量：在试产扩量（production ramp-up，或称为生产爬坡）阶段，产品将通过目标生产系统制造出来。该阶段的目的是培训员工、解决生产流程中的遗留问题。该阶段生产出来的产品，有时会提供给目标顾客，并仔细评估以识别存在的缺陷。从试产扩量到正式生产的转变通常是渐进的。在这个转化过程中的某些点，该产品发布并广泛分销。项目后评估（postlaunch project review）可能在发布后的很短时间内进行，包括从商业和技术的视角评价项目，意在识别项目改进的途径。

2.2 概念开发：前端过程

与其他阶段相比，概念开发阶段需要更多职能部门之间的协调。因此，本书提出的很多集成开发方法都集中于此。本节我们将概念开发阶段扩展为我们所称的前端过程（front-end process）。前端通常包含许多相互关联的活动，其大致的排序见图表2-3。

整个流程很少以顺序的（sequential）方式进行，即上游活动结束之后，下游活动才开始。

实际上，这些前端的活动在时间上可以是重叠的（overlapped），也经常会发生迭代。图表 2-3 中的虚线箭头反映了产品开发流程中的不确定性。几乎在任何阶段，新获取的信息或结果都可能引发团队回过头重新开始先前的活动。这种对上游已完成活动的重复被称为迭代（iteration）。



图表 2-3 构成概念开发阶段的前端活动

概念开发流程包括以下活动。

- **识别顾客的需求：**该活动的目的是了解顾客的需求，并有效地传达给开发团队。这一步的输出是一组精心构建的顾客需求陈述，列为层次化列表。大多数或所有需求的权重也列在其中。这项活动的方法见第 5 章。
- **建立目标规格：**规格说明是产品必要功能的精确描述。它将顾客的需求转化为技术语。在开发流程的早期就要设定规格目标。其代表了开发团队的期望。之后，这些规格将被进一步完善，以使其与产品的约束条件相一致。这个阶段的输出是一系列的目标规格。它包含各参数的边界值和理想值。第 6 章提出了建立规格说明的方法。
- **概念产生：**概念产生的目的是深入探索可以满足顾客需求的产品概念空间。概念产生包括：外部探索、团队内创造性的问题解决以及各种解决方案的系统性探索。此活动的结果通常是 10~20 个概念，每个概念通常由一个草图伴以简短的描述性文本来表示。第 7 章详细描述了这一活动。
- **概念选择：**概念的选择是指对不同的产品概念进行分析和逐步筛选，以确定最有前景的概念。这一流程通常需要多次迭代，可能会产生新的概念并不断完善。详见第 8 章。
- **概念测试：**对一个或多个概念进行测试，以验证顾客的需求是否得到满足并评估产品的市场潜力，找出在下一步开发中需弥补的缺陷。如果顾客反映不好，开发项目可能会终止，必要时可重复一些早期的活动。第 9 章阐述了该活动的相关方法。
- **确定最终规格：**当一个概念被选择和测试后，先前设置的目标规格将再次确认。在这个时间点，该团队必须确定参数的具体值，以反映产品概念的固有约束、通过技术建模识别的限制条件以及成本和性能之间的权衡。第 6 章详细阐述该活动。
- **项目规划：**这是概念开发的最后活动，在该活动中，团队将编制详细的开发进度计划。

制定项目进度压缩的战略，并识别完成项目所需的资源。可把前端活动的主要成果编写成“合同书”(contract book)，该合同书包含：使命描述、顾客需求、所选概念的细节、产品规格、产品的经济分析、开发进度计划、项目人员配置和预算。合同书将团队与企业高级管理者之间达成的一致意见文档化。第19章论述了项目规划的方法。

- **经济分析：**开发团队通常在财务分析师的支持下建立新产品的经济模型。该模型用于判断整个开发项目继续开展的合理性，并解决具体的权衡问题（如：开发成本与制造成本之间的权衡）。经济分析是贯穿整个概念开发阶段的活动。在项目开始之前就要开展早期的经济分析，随着更多信息的获得，分析工作也会不断更新。这项活动的相关方法见第18章。
- **竞争性产品的标杆比较：**对竞争产品的理解是对新产品正确定位的关键，也为产品和生产流程（生产工艺）的设计提供了丰富的创意来源。**竞争性标杆比较**（benchmarking）可以支持前端过程的许多活动，有关内容详见第5～9章。
- **建立、测试模型和样机：**概念开发流程的每一个阶段都涉及各种形式的模型和样机。这些模型可能包括（但不限于）：早期帮助开发团队验证可行性的概念验证（proof-of-concept）模型；可以向顾客展示以评估人体工程学和风格的形式化（form-only）模型；用于技术权衡的表格模型；用来设置稳健（鲁棒）性能设计参数的实验测试模型。对建模、原型化和测试相关方法的讨论贯穿了本书，包括第5～7章、第9章、第11章、第14章和第15章。

17

2.3 采用基本的产品开发流程

图表2-2和图表2-3描述的是最基本的开发流程。特定的流程会随着项目具体情况和企业具体环境的不同而不同。基本的流程非常类似于市场拉动（market-pull）情况下使用的流程：企业从具有市场机会开始产品开发，然后寻找可以满足市场需求的技术（即市场“拉动”开发决策）。除了图表2-2和图表2-3所示的市场拉动流程，还有其他几种常见的变化形式：技术推动型（technology-push）产品、平台型（platform）产品、流程密集型（process-intensive）产品、定制型（customized）产品、高风险（high-risk）产品、快速构建（quick-build）产品和复杂系统（complex system），下面将详细讨论这些流程。图表2-4总结了这些开发流程的特征及其衍生形式。

2.3.1 技术推动型产品

当开发技术推动型产品时，企业从一个新的专有技术开始，并寻找一个能应用此技术的合适市场（即所谓的技术“推动”开发）。Gore-Tex是一种由W.L.戈尔公司生产的改进的聚

四氟乙烯（特富龙）片。它就是技术推动的典型例子。该公司已经开发了数十种采用 Gore-Tex 的产品，包括用于血管手术的人工静脉、用于高性能电缆的绝缘材料、外衣的布料、牙线，以及风笛袋的衬里等。

| 流程类型 | 描述 | 显著的特性 | 示例 |
|---------------------|-----------------------------|--|----------------------|
| 基本型 (市场拉动) 产品 | 开发团队从一个市场机会出发，选择合适的技术满足顾客需求 | 流程通常包括清晰的规划、概念开发、系统设计、详细设计、测试与改进以及试产扩量阶段 | 运动器材、家具、工具 |
| 技术推动型 产品 | 开发团队从一个新技术开始，然后找到一个合适的市场 | 规划阶段涉及技术与市场的匹配，概念开发假定一个给定的技术存在 | Gore-Tex 雨衣、Tyvek 信封 |
| 平台型产品 | 开发团队假设新产品将围绕已建成的技术子系统进行开发 | 概念开发假定一个已证实的技术平台存在 | 消费电子产品、电脑、打印机 |
| 流程密集型 产品 | 产品的特性很大程度上被生产流程所限制 | 在项目开始时，要么已经确定了一个具体的生产流程（生产工艺），要么必须将产品和生产流程（生产工艺）一起开发 | 快餐食品、早餐麦片、化学品、半导体 |
| 定制型产品 | 新产品与现有产品相比有略微的变化 | 项目之间的相似性使建立连续的和高度结构化的开发流程成为可能 | 发动机、开关、电池、容器 |
| 高风险产品 | 技术或市场的不确定性导致失败风险较高 | 风险在早期就被识别并在整个流程中被追踪 应尽早开展分析和测试活动 | 医药品、宇航系统 |
| 快速构建 产品 | 快速的建模和原型化，产生很多次设计-构建-测试循环 | 详细设计和测试阶段将多次重复，直到产品完成或时间/预算耗尽 | 软件、手机 |
| 产品-服务 系统 | 产品和它们的相关服务要素被同时开发 | 所有实体元素和运行元素被开发，特别关注顾客体验和流程设计 | 餐饮、软件应用、金融服务 |
| 复杂系统 | 系统必须分解为若干个子系统和大量的部件 | 子系统和部件被许多团队并行开发，然后进行系统集成和验证 | 飞机、喷气发动机、汽车 |

图表 2-4 基本产品开发流程的各种衍生形式总结

许多成功的技术推动型产品都涉及基本材料或基本工艺技术。基本材料和工艺过程已成千上万次地应用，因此，材料和工艺中那些新的、不同寻常的特征很有可能与一个合适的应用领域相匹配。

基本的开发流程稍作修改便可应用于技术推动型产品。技术推动的流程开始于规划阶段，在这个阶段，给定的技术与市场机会相匹配。一旦发生这种匹配，即可遵循基本开发流程的其余部分。项目团队在进行项目使命陈述时，假设特定的技术将包含在产品概念中。虽然技术推动型开发出现了许多非常成功的产品，但该方法仍有较大的风险。这样开发的产品要想

18
19

成功，必须：(1) 假设的技术在满足顾客的需求方面提供了一个明确的竞争优势；(2) 竞争对手不能得到合适的可选择技术或难以利用这些技术。可以同时考虑更广泛概念的优点（尽管这些概念不一定与新技术匹配）。最大可能地降低项目风险，通过这种方式，开发团队能够验证实施新技术的产品概念优于可选择方案。

2.3.2 平台型产品

平台型产品是围绕着一个已经存在的技术子系统（技术平台）而建立的。这种平台的例子包括：Intel 公司的个人电脑芯片、苹果 iPhone 操作系统、吉列剃须刀的刀片设计。开发这些平台投资巨大，因此企业会尽一切努力将其纳入几种不同的产品中。从某种意义上说，平台型产品与技术推动型产品非常相似，因为团队在开始产品开发时即假设产品的概念将体现一项特别的技术。主要的区别是技术平台已经证明了其在市场中能满足顾客的需求。在很多情况下，企业假设该技术也可用于相关市场。出于在技术平台建立产品比从头做起更容易、以及多个产品可能共享成本的原因，企业能够在无法确定是否开发某项独特技术的市场上，提供一个平台型的产品。

2.3.3 流程密集型产品

流程密集型产品的例子包括：半导体、食品、化工和造纸。这些产品的生产流程严格限制了产品的特性，即便是在概念阶段，产品的设计也不能与生产流程设计分离。在许多情况下，流程密集型产品产量非常大，并且是大批的而不是分离的（非连续的）商品。

在某些情况下，一个新产品和一项新工艺同步开发。例如，创建一种新型的早餐谷物食品或快餐食品时会需要产品和工艺的开发活动。在其他情况下，需要预先选择生产该产品的特定现有方法，并且该产品的设计受这个生产流程的能力限制。例如：在一个特定的造纸厂生产新的纸制品，或用一个现有的晶片制造设施生产新的半导体器件。

2.3.4 定制型产品

定制型产品的例子包括：开关、发动机、电池和容器。定制型产品是将产品的标准配置略微改变，以响应顾客的特殊需求。定制型产品的开发主要包括设计变量的值，如物理尺寸和材料。在线设计工具提供了开发定制型产品的平台。当顾客订购一个新产品时，企业将进行结构化的设计和开发流程，以生产满足顾客需求的产品。这样的企业通常已经创建了一个非常详细的开发流程，该流程涉及一套含有结构化信息流且顺序固定的步骤（类似于一个生产流程）。定制型产品的开发流程在基本流程的基础上补充了更具体、详细的信息处理活动描述。
20 这种开发流程可能包括数百个仔细界定的活动且具备高度的自动化。

2.3.5 高风险产品

产品开发流程中涉及很多类型的风险。这些风险包括：技术风险（产品是否能正常运转？）、市场风险（顾客喜欢团队开发的产品吗？）、预算和进度风险（团队能在预算范围内按时完成项目吗？）。高风险产品是指那些在技术或市场上具有高度不确定性，因此存在本性技术或市场风险的产品。对于高风险的情形，可在产品开发的早期阶段调整基本的产品开发流程，以采取措施消除最大的风险。这通常需要在流程的早期阶段完成一些设计和试验活动。例如，当顾客对一个新产品的接受程度存在很大的不确定性时，应该在开发流程的早期阶段通过使用效果图或用户界面原型机（样机）进行概念测试，以降低市场的不确定性和风险。如果产品技术性能有很高的不确定性，则在流程的更早阶段建立关键特性的工作模型并进行测试十分有意义。多个解决问题的路径将平行展开，以确保其中一个解决方案能成功。在设计评审时，必须定期评估风险水平，要确保随着时间的推移风险被降低而不是被推后了。

2.3.6 快速构建产品

对于一些产品的开发（如：软件和许多电子产品），构建和测试原型模型的过程非常迅速，因此，“设计—构建—测试”循环可以重复许多次。事实上，团队可以利用快速迭代，实现更有柔性、更加快捷的产品开发流程，这种方法有时也被称为螺旋式产品开发流程。在这个流程的概念开发之后，系统设计阶段需要把整个产品的特性分解为高、中、低优先级，然后对最高优先级的特性执行若干次的设计、构建、集成和测试活动循环。此流程利用快速原型化循环的优点，以每个循环的结果来修改下一个循环的优先级。顾客需要参与一个或多个循环后的测试环节。当项目结束时，通常所有高、中优先级的特性已在改进的产品中实现，而低优先级的特性可能暂且搁置下来，直到开发下一代产品时才被考虑。

2.3.7 产品服务系统

服务一般是无形产品，通常与有形产品一起提供。产品服务系统（product-service system）的例子有汽车租赁、餐饮和移动通信等。大部分情况下，可以采用本书所述的标准产品开发方法来开发服务流程。然而，由于客户非常密切地参与到服务交付的流程中，因此服务设计团队要注意客户需求的范围和创建服务体验的关键接触点的时间。通常情况下，服务的生产和消费是同时进行的，因此供应与需求相匹配至关重要。服务流程的设计可以利用模块化架构为每个客户提供定制的服务。第17章讨论了开发产品服务系统流程中的一些特点。

2.3.8 复杂系统

较大规模的产品（如汽车和飞机）是由许多相互作用的子系统和元件组成的复杂系统。在开发复杂的系统时，对基本产品开发流程的修改涉及许多系统级的问题。概念开发阶段需要考虑整个系统的架构，当完成整个系统的概念设计时，可能会提出多种不同的架构形式。因此，系统设计阶段变得至关重要。在此阶段中，系统分解成子系统，这些子系统进一步分解成许多组件。一些团队负责开发组件，而另一些团队负责将组件集成为子系统，并进一步将子系统集成为整个系统。

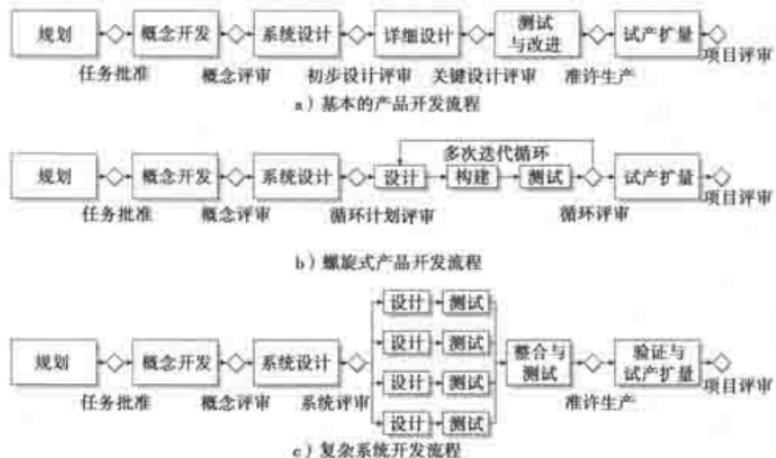
组件的详细设计是一个高度并行的流程。在这个流程中，许多开发团队在同一时间独立地开展工作。管理组件和子系统之间的交互关系是不同系统工程专家的任务。测试与改进阶段不仅包括系统集成，还包括在各层次上大量的测试与验证工作。

2.4 产品开发流程图

通常，产品开发流程遵循一个结构化的活动流和信息流。这使我们能够通过绘制流程图说明开发流程。如图表 2-5 所示，基本流程图 a 描述了市场拉动型、技术推动型、平台型、流程密集型、定制型以及高风险产品的开发过程，其中，每个产品开发阶段都需要评审，以确认该阶段已完成，及是否应该进入下一阶段。快速构建产品采用螺旋的产品开发过程（见 b），在此过程中，详细设计、原型化和测试活动重复多次。复杂系统开发流程图 c 显示了许多平行开展的子系统和部件。一旦组织内建立了一个产品开发流程，流程图即可用来向团队中的每个成员解释开发流程。

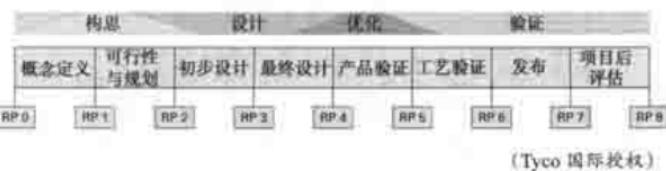
2.5 Tyco 公司产品开发流程

Tyco 是一家以市场拉动型产品开发为主的企业。这意味着 Tyco 公司通常基于感知的市场需求驱动其开发项目，并利用新的或成熟的技术来满足需求。其竞争优势来源于高度有效的全球营销渠道、强大的品牌识别度、大型的工程设备以及将新技术整合进产品线中的能力。因此，技术推动流程是不适用的。Tyco 公司的大部分产品都由塑模、机械加工、电子组装等相对传统的流程制造的组件装配而成。在最终的销售和安装流程中，通常会为特殊的顾客定制产品。因此 Tyco 公司的开发流程旨在创造新的产品，而不是依据现有的产品为顾客定制产品。



图表 2-5 三种产品开发过程的流程流图

因此, Tyco 公司建立了一个类似于基本阶段流程的开发流程。Tyco 采用的开发流程图如图表 2-6 所示。注意, 在流程中有 9 个阶段, 其中 6 个阶段(从概念定义到工艺验证)包含了基本的产品开发流程活动, 每个阶段都跟随着一个关键评审(称为 Rally Point), 其作用是获得批准以进入下一阶段。每个阶段的主要目标和关键活动以及为每个活动负责的业务职能如图表 2-7 所示。



图表 2-6 包含了 9 个不同阶段和评审点的 Tyco 公司产品开发流程

尽管 Tyco 公司建立了标准的产品开发流程, 但 Tyco 公司的经理意识到这一流程并不适用于 Tyco 公司所有的开发项目, 因此, 如果需要的话, 在概念定义阶段应对标准的流程进行适当的改变。例如, Tyco 公司的一些新产品基于现有的技术平台, 为开发这些派生的产品, 开发团队假设在概念开发阶段使用现有的技术平台。同时, 一些产品是为特定的顾客设计的, 对标准的 Tyco 产品做出了适当的改变。这些例子使用一种称为 Rally Point EZ 的流程, 然而, 标准的开发流程是具体项目计划开始的基准。

| 阶段 | 0.项目发起 | 1.概念定义 | 2.可行性与规划 | 3.初步设计 | 4.最终设计 | 5.产品验证 | 6.工艺验证 | 7.发布 | 8.项目后评估 |
|---------|-------------|------------|-----------|------------------|----------------------|----------|----------|-----------|----------------------|
| 主要目标 | 定义项目及商业章程 | 编制项目章程 | 创建产品描述 | 创建初步详细设计 | 详细与优化设计 | 验证产品性能 | 验证工艺性能 | 发布产品 | 识别经验教训 |
| 市场营销和销售 | 识别客户和市场规模变化 | 捕获顾客的愿望和需求 | 编辑市场分析报告 | 与客户一起评审客户需求 | 启动现场试验 | 完成评审 | 完成培训 | 完成定价和销售预测 | 征求客户反馈和满意度对销售和预测进行对冲 |
| 工程 | 识别项目风险 | 识别关键质量属性 | 开发和更新项目概念 | 构建并测试原型 | 冻结硬件和软件设计文档 | 完成设计文件 | 获得监管部门批准 | 最终完成产品指标 | |
| 质量保证 | | | | 测试计划 | 类型的稳健性 | 完成质量保证测试 | 执行工艺试验 | | 登记过时和废弃的产品 |
| 制造 | | | | 开始编制制造工艺执行初步制造计划 | 完成物料清单(BOM)编创新生产控制计划 | 更新生产控制计划 | 进行试生产 | 完成生产计划 | |

| | | | | | | | | | |
|------|-------------------|----------------------|------------------------------------|--|--|--|--|-------------------------------|--------------------------------|
| 采购 | | | | 创建供应商 参考与准则 评估供应 商资质 | 识别长周期物品 | | 验证供应链是否准备就绪 | | |
| 法律 | 寻找专利 | 识别贸易合規问题 | 识别潜在的专利 | 准备专利申请 | 保证贸易合规 | | | | |
| 财务 | 准备初步步企划案 | 完善企划案 | 完成财务工作包 | | | | | | 监控投资回报 |
| 项目管理 | 识别项目时间、资源和资本 | 评估项目能力/技能 | 规划集成度的产品开发进度 | 更新 RP1-2 交付物 准备 RP3 检查表，并呈请批准 | 更新 RP1-3 交付物 准备 RP4 检查表，并呈请批准 | 更新 RP1-4 交付物 准备 RP5 检查表，并呈请批准 | 完成所交文件 准备 RP6 检查表，并呈请批准 | 完成所交文件 准备 RP7 检查表，并呈请批准 | 文档化最佳实践 准备 RP8 检查表，并呈请批准 |
| | RPO 检查表， 并呈请批准 | 准备 RPO 检查表， 并呈请批准 | 调整标准的流程 准备 RP2 RP1 检查表，并呈请批准 | | | | 更新 RP1-6 交付物 准备 RP7 检查表，并呈请批准 | | (Tyco 公司授权) |

图表 2-7 Tyco 公司产品开发流程的关键活动和相应职能

2.6 产品开发组织

除了精心编制一个有效的开发流程，成功的企业还必须组织其产品开发人员，有效地实施流程计划。在本节中，我们将介绍几种用于产品开发的组织，并为如何选择提供指引。

2.6.1 通过建立个人之间的联系形成组织

产品开发组织是一个将单个设计者和开发者联系起来成为团队的体系。个体之间的联系可以是正式的或非正式的，包括以下类型。

- **报告关系：**报告关系产生了传统的上下级关系，这是组织结构图上最常见的正式联系。
- **财务安排：**个体通过成为同一个财务实体的一部分联系在一起，如一个商业单元或公司的一个部门。
- **物理布局：**人们因共享办公室、楼层、建筑或场所而产生联系。这种联系产生于工作中的自然接触，因此常常是非正式的。

任何特定的个体都可能通过几种不同的方式与其他个体联系在一起。例如：一个工程师可能会通过报告关系与另一座大楼里的另一个工程师联系在一起，同时他通过物理布局与坐在隔壁办公室的一个市场营销人员相联系。最强的组织联系通常是那些涉及绩效评估、预算和其他资源分配的联系。

2.6.2 依据职能和项目之间的联系形成组织

如果不考虑组织之间的联系，个人可通过两种不同的方式进行分类：根据其职能，根据其工作的项目。

- **职能**（在组织术语中）指的是一个责任范围，通常涉及专业化的教育、培训或经验。产品开发组织中，传统的职能为市场营销、设计和制造。比这些更精细的划分还包括市场研究、市场策略、应力分析、工业设计、人因工程、流程开发和运营管理。
- **无论职能如何**，每个人都会把他们的专业知识应用到具体的项目中。产品开发中，项目就是一个特定产品开发流程中的一系列活动，如：识别顾客需求、生成产品概念。

注意，这两个分类一定是有重叠的：来自不同职能部门的人将在同一项目工作。此外，虽然大多数人都只与一个职能相关，但他们可以为多个项目工作。依据职能或项目之间的组织联系，形成了两种传统的组织结构：在职能式组织（functional organization）中，组织中的联系主要产生于执行相似职能的人之间；在项目式组织（project organization）中，组织联系主要产生于在同一个项目工作的人之间。

例如，严格的职能式组织可能包括一组市场营销专业人员，他们共享相似的培训和专业知识。这些人都向同一个经理报告，这个经理将对他们进行评估并设定他们的薪酬。这组人有自己的预算，且在大楼的同一个位置办公。这个市场营销小组可能涉及许多不同的项目，但与每个项目团队的其他成员不会有较强的组织联系。设计和制造也会有类似的小组。

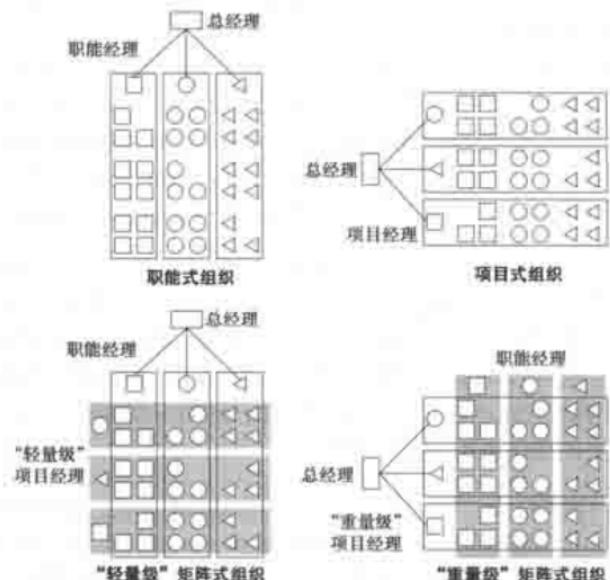
严格的项目式组织由若干小组构成，小组成员来自不同的职能部门，每个小组专注于开发一个特定的产品（或产品线）。分别向一个有经验的项目经理汇报，该项目经理可能来自任一职能部门。由项目经理进行项目的绩效评估，团队成员通常会尽可能地安排在同一位置，以便他们在同一间办公室或大楼的同一区域工作。新的合资企业或“创业”企业就是项目组织的典型例子：每一个人（无论其职能）都被安排在同一个项目中（即新企业的创办和新产品的开发中）。在这些情况下，总裁或CEO都可以看作是项目经理。当需要专注完成一个重要的开发项目时，新成立的企业有时可以组成一个拥有该项目所需资源的老虎队（tiger team）。

矩阵式组织（matrix organization）结构是职能式和项目式组织的混合体。在矩阵式组织中，每个人同时依据项目和职能联系到一起。通常情况下，每个人都有两个上级，一个是项目经理，一个是职能经理。实际上，在矩阵式组织中，项目经理与职能经理之间的联系更加紧密，这是因为，职能经理和项目经理都没有独立预算的权力，他们不能独立地评估、决定下属的薪酬，并且职能部门和项目组织也不易从形式上组合在一起。因此，无论是职能部门还是项目经理，都有试图占据主导地位的倾向。

矩阵式组织有两种形式：“重量级”项目组织（heavyweight project organization，或译为“强矩阵式组织”）和“轻量级”项目（lightweight project organization，或译为“弱矩阵式组织”）（Hayes et al., 1988）。“重量级”项目组织中，项目经理的权力更大。项目经理有完全的预算权，在评估团队成员绩效和决定主要资源分配方面有更大的发言权。虽然项目参与者也属于各自的职能部门，但职能部门经理的权力和控制力相对较弱。在不同的行业，“重量级”项目团队可能被称为集成产品团队（Integrated Product Team, IPT）、设计-构建团队（Design-Build Team, DBT）或产品开发团队（Product Development Team, PDT），这些术语强调了团队之间跨职能的特性。

“轻量级”项目组织中含有较弱的项目联系和相对较强的职能部门联系。在这种组织结构中，项目经理是一个协调者和管理者。权力较弱的项目经理负责更新进度、安排会议、帮助协调，但他在项目组织中并没有真正的权威和控制力。职能部门经理需要负责预算、人员招聘和解聘以及绩效评估。图表 2-8 显示了职能部门组织和项目式组织，以及“重量级”项目矩阵组织和“轻量级”项目矩阵组织。

在本书中，我们把项目团队视为主要的组织单位。在这种情况下，团队即参与该项目的所有人，不考虑产品开发成员的组织结构。在职能式组织中，团队包含了来自所有职能小组的人，这些人除了参与共同的项目外，没有任何其他组织联系。在其他组织中，团队对应一个正式的组织实体——项目组，并有正式任命的经理。因此，团队概念更强调矩阵式和项目式组织，而不是职能式组织。



图表 2-8 各种产品开发组织结构。为简化起见，图中列了三种职能和三个项目

2.6.3 选择组织结构

组织结构的选择取决于对成功最为关键的组织绩效因素。职能式组织有利于职能领域的专业化发展，培养出有深厚功底的专家。项目式组织有利于不同职能之间快速、有效的协调。矩阵式组织作为一个混合体，可使职能式和项目式组织的特点都有所体现。以下问题有助于指导组织结构的选择。

- 跨职能整合有多重要？职能式组织可能会出现难以协调跨职能领域的项目决策。由于跨职能团队成员间的组织联系，项目式组织使得强大的跨职能整合得以实现。
- 尖端的职能专业知识对企业成功有多关键？当学科专业知识必须在几代产品中开发和

保留时，一些职能联系是必要的。例如，在一些航天企业中，计算流体动力学是非常关键的。因此负责流体动力学的人按职能的方式组织，以确保企业在该领域能力最佳。

- 在项目的大部分时间里，是否每个职能的人都可以充分发挥作用？例如，在项目周期的一小部分时间中，可能只需要工业设计师的一部分时间。为了有效利用工业设计资源，企业可能会采用职能的方式组织工业设计师。以便几个项目可以恰到好处地利用工业设计资源。
- 产品开发速度有多重要？项目式组织可以快速解决冲突，并使不同职能部门的人高效、协调地工作。项目式组织在传递信息、分配职责及协调任务上花费的时间相对较少。因此，项目式组织在开发创新产品时通常会快于职能式组织。例如，消费电子产品制造商几乎都是按项目组织产品开发团队。这使得团队可以跟上电子产品市场所要求的快节奏，在极短的时间内开发出新产品。

在职能式组织和项目式组织之间进行选择时，还会有许多其他问题。图表 2-9 总结了每种组织类型的优缺点、选择每种策略的例子以及每种方法相关的主要问题。

| | 职能式组织 | 矩阵式组织 | | 项目式组织 |
|------|---|---|--------------------------------------|---|
| | | “轻量级”项目组织 | “重量级”项目组织 | |
| 优势 | 促进深度专业化和专业知识的发展 | 项目的合作与管理清晰 地指派给一个项目经理 保持专业化和专长的发展 | 提供项目组织的 整合和速度效益 保留了职能式组织的部分专业化 | 可在项目团队范围内优化分配资源 可迅速评估技术与市场的权衡 |
| 劣势 | 不同职能小组间 的合作缓慢且官僚 | 比非矩阵式组织需要 更多的经理和管理者 | 比非矩阵式组织 需要更多的经理和 管理者 | 个人在保持尖端的专业能力方面会存在 困难 |
| 典型例子 | 定制化产品，其 开发涉及标准的细 微变化（如：发动 机、轴承、包装） | 传统的汽车、电子产 品和航天企业 | 汽车、电子产 品和航天企业中的新 技术或平台产品 | 创业企业、期望获得突破的“老虎团队” 和“黄鼠狼团队”。在有活力的市场竞争的企业 |
| 主要问题 | 如何将不同的职 能（如：市场营销 与设计）整合到一 起以达成共同目标 | 如何平衡职能与项目 如何同时评估项目与 职能的绩效 | | 如何随着时间的推 移保持职能的专业化 如何在项目间分享 经验教训 |

图表 2-9 不同组织结构的特点

2.6.4 分散的产品开发团队

组织产品开发团队的一个有效方法是将团队成员安排在同一地点工作。然而，现代沟通技

术和电子开发流程的使用甚至使全球项目开发团队变得有效。让分散在不同地点的成员组成产品开发团队的原因包括：

- 可获取区域市场相关信息
- 技术专家分散
- 制造设备和供应商所在地分散
- 可通过低工资达到成本节约
- 可通过外包提高产品开发能力

尽管选取合适的团队成员远比将成员集中在一处重要，但由于分散距离较远的团队成员之间联系较弱，实施全球产品开发的公司也面临许多挑战。这会导致设计迭代数量的增加以及项目协调的困难，尤其是一个团队新成立时。幸好，有多年全球项目团队经验的组织报告说，随着时间的推移，分散的项目工作起来更加顺利。

28
29

2.7 Tyco 公司产品开发组织

Tyco 公司在产品开发项目中的主要职能包括：工程、制造、市场营销、销售、采购、质量保证、财务、法律和项目管理（见图表 2-7）。每个职能由一个经理负责向总经理汇报。然而，产品开发项目由项目经理领导，每个项目的资源从职能领域获取。

组织的术语见图表 2-8 和图表 2-9，Tyco 公司的产品开发主要采用传统的职能式组织结构，项目领导对获取职能部门的资源仅有间接的控制权。正如前面所论述的，职能结构通常会牺牲项目的效率，以获得职能技能的更大发展。针对这一担忧，Tyco 公司创建了高度有效的项目管理职能。项目领导熟悉项目流程以及如何开展跨职能的协调。组织结构的选择确实产生了非常好的项目绩效，同时保持了 Tyco 公司的强职能能力。

最近几年，Tyco 公司在快速发展的市场（如中国和印度）创办了新的区域性工程中心。通过遍布全球的商业单元，这些区域中心的工程师可以很好地支持产品开发项目。这种项目组织方式根据需求为项目团队增加技术资源，从而提升了项目绩效，对流程的后续阶段非常有效。

2.8 小结

企业必须对进行产品开发的方式做出两个重要决策，即必须明确产品开发的流程和产品开发的组织。

- 产品开发流程是企业开展构思、设计和商业化某一产品的一系列有序的步骤。
- 一个界定良好的开发流程有助于确保产品质量，促进团队成员之间的协调，规划开发项目，以及不断改善开发流程。
- 本章中介绍的基本流程包括六个阶段：规划、概念开发、系统设计、详细设计、测试与改进和试产扩量。
- 概念开发阶段需要开发团队中大量跨职能的整合。这个前端流程包括：识别顾客的需求、分析竞争产品、建立目标规格、产生概念、选择一个或更多的概念、确定最终特性、测试概念、进行经济分析。计划所有剩余的项目活动，概念开发阶段的结果是编制好的项目合同书。
- 特定企业采取的开发流程可能会与这里描述的基本流程有所不同。基本的流程最适用于市场拉动型产品，其他类型的产品需要对基本流程进行改造，包括：技术推动型产品、平台型产品、流程密集型产品、定制型产品、高风险产品、快速构建产品，以及复杂系统。
- 无论是何种开发流程，任务都是由组织中的个人完成的。组织可以通过人之间的联系（如报告关系、财务关系和物理布局）来界定。
- 职能式组织是指组织联系与开发职能相对应的组织。项目式组织是指组织联系与开发项目相对应的组织。两种类型有混合体，也就是矩阵式组织，包括“重量级”项目组织和“轻量级”项目组织。
- 职能式组织和项目式组织之间最重要的权衡是：精湛的专业技能与协调效率之间的权衡。
- 全球分散的产品开发团队有权获取特殊的资源、市场信息和技术。然而，全球产品开发会产生更高的项目协调成本。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

在过去的 30 年里，阶段式产品开发流程一直在生产性企业中占主导地位。Cooper 介绍了现代门径式产品开发流程和许多其授权的做法。

Cooper, Robert G, *Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch, third edition*, Perseus Books, Cambridge, MA, 2001.

螺旋式产品开发流程主要应用于软件行业。然而，螺旋式开发的许多方面可应用于制造业和其他行业。 McConnell 介绍了螺旋式软件开发，以及用来开发软件产品的其他几种流程。

McConnell, Steve, *Rapid Development: Taming Wild Software Schedules*, Microsoft Press, Redmond, WA, 1996.

“重量级”和“轻量级”项目组织的概念是由 Hayes、Wheelwright 和 Clark 明确提出的。 Wheelwright 和 Clark 还讨论了产品开发流程之前的产品战略、计划和技术开发活动。

Hayes, Robert H., Steven C. Wheelwright, and Kim B. Clark, *Dynamic Manufacturing : Creating the Learning Organization*, The Free Press, New York, 1998.

Wheelwright, Steven C., and Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development : Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, New York, 1992.

Sosa 和 Marie 研究表明，如果项目团队具备积极创意能力的团队成员，那么他们在创新任务上会表现得更好。

Sosa, Manuel E., and Franck Marle, "Assembling Creative Teams in New Product Development Using Creative Team Familiarity," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 135, No. 8, 2013.

Andreasen 和 Hein 针对如何在产品开发中整合不同的职能提供了一些很好的想法；他们

31 还展示了一些产品开发组织的概念模型。

Andreasen, M. Myrup, and Lars Hein, *Integrated Product Development*, Springer-Verlag, New York, 1987.

Allen 采用实证的方法证明了物理布局可以创造显著但非正式的组织联系。他还讨论了矩阵式组织在缓解职能式和项目式组织问题中的应用。

Allen, Thomas J., *Managing the Flow of Technology : Technology Transfer and the Dissemination of Technological Information within the R&D Organization*, MIT Press, Cambridge, MA, 1997.

Galbraith 关于组织设计的著作包含了很多可应用于产品开发的有用信息。他在 1994 年的著作是他早期作品的更新。

Galbraith, Jay R., *Designing Complex Organization*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1973.

Galbraith, Jay R., *Completing with Flexible Lateral Organization*, second edition, Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.

练习

1. 绘制一个家庭计划和烹饪晚餐的流程图。你的流程与基本的产品开发流程相似吗？做饭类似于市场拉动型、技术推动型、平台型、流程密集型、定制型、高风险、快速构建，还是复杂系统产品的开发流程？
2. 确定一个找工作的流程。一个严格界定的流程可以通过什么途径提高绩效？
3. 对于一个成功开发住宅空调的公司，可以采用什么类型的开发流程？一个试图用轮椅打入市场、参与竞争的小公司该如何选择开发流程？
4. 画出一家咨询企业的组织框架图（使用合适的图标）。该企业采用一个个项目的方式为顾客开发新产品，假设该公司拥有的人才涵盖了开发新产品所需的不同职能，这个组织最有可能通过何种方式组织起来：职能式、项目式还是二者的混合？

思考题

1. 基础技术研究在产品开发流程中扮演什么样的角色？如何修改图表 2-3，以更好地反映产品开发中的研究和技术开发活动？
2. 大学与产品开发组织有相似之处吗？大学是职能式还是项目式组织？
3. 将学生参与作为产品开发课程一部分的项目中，属于哪种类型的产品开发组织？
4. 是否有可能将产品开发组织的一部分成员通过职能组织在一起，而另一部分成员通过项目组织在一起？如果可以，哪些团队成员最有可能加入职能式组织？

第3章

机会识别^④



(Lucky Litter 公司和 FroliCat 公司授权)

图表 3-1 Bolt 激光猫玩具, FroliCat 公司的原创产品

④ 本章中的许多想法来自于与 Christian Terwiesch 的合作过程，并在《Innovation Tournaments》(Terwiesch and Ulrich, 2009)一书中做了详细阐述。

宠物产品公司 FroliCat 已成功推出了两款激光猫玩具，其中包括 Bolt 激光猫玩具（图表 3-1 所示）——一种可以放射出随机移动的激光光线来供宠物猫玩耍的产品。该公司的管理团队希望在初步成功的基础上，寻找更多的机会来开发新的产品，他们对扩展品牌到其他基于动作的猫玩具特别感兴趣。FroliCat 是一家小型公司，因此投资开发新产品意味着巨大的财务风险。该公司的管理团队希望识别机会，尽可能地开发出可盈利的新产品。

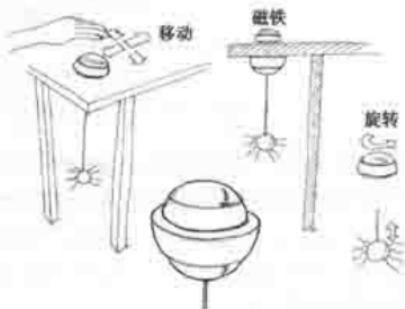
FroliCat 总部位于芝加哥，但是它的大部分产品由中国的工厂生产制造。并且注重全球市场前景。因此公司决定聘请一家名为 Asentio Design 的上海产品开发咨询公司来进行新产品的机会识别工作。

本章将讲述机会识别的理念基础，并提出机会识别的六个步骤，包括发现可选择机会和从中筛选出最佳机会等。我们将通过 FroliCat 的案例来说明机会识别的步骤。

3.1 什么是机会

在产品开发的环境下，机会是指关于开发新产品的任何想法，它可以是一个产品最初的描述，一种新的需求，一种新发现的技术，或者是一个初步需求与可能解决方案的联系。在开发的初期，由于对未来情况的不确定，可以将机会看作一种尽可能创造价值的假设。对于生产消费品的公司（如宝洁公司）来说，机会可能就是一款顾客们建议的新类型的清洁剂；对于生产材料的公司（如 3M 公司）来说，机会可能就是一种具有特殊性能的聚合物。有的机会最终可以变为新产品，而有的机会无法保证进行进一步的开发。

对新产品的机会的描述经常只有非常少的信息，通常包括一个概括性的标题和关于开发想法的叙述，有时还会包括新产品概念的轮廓。如图表 3-2 所示，FroliCat 公司最终确定的机会来自团队成员们在头脑风暴会议时的想法，是一个来回摇摆的交互式宠物猫玩具。它由悬挂在桌子下面来回摇摆的物体组成，这个物体可以由上面的手控制移动。这是一个典型的在确定领域（如宠物猫玩具）中进行新产品机会识别的机会案例，它包括了可能



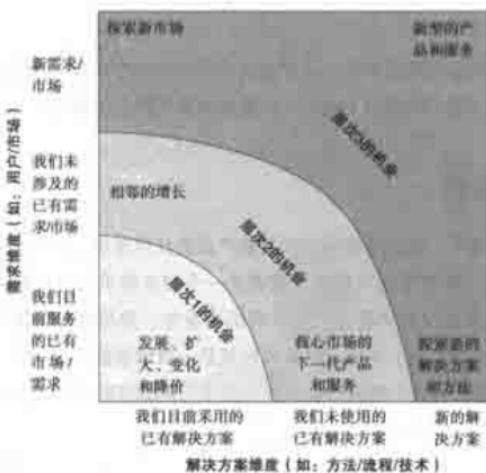
（由 Lucky Litter 有限责任公司和未来生活实验室授权）

图表 3-2 “摇摆球”机会被 FroliCat 团队最终识别出来并进行初步的记录。这是机会识别中包括潜在解决方案的典型例子

的解决方案的相关概念。

机会的类型

机会的分类有很多种，其中二维法特别实用：(1)一个维度是团队熟悉的、可能采用的解决方案 (solution)；(2)另一个维度是团队熟悉的、解决方案所处理的需求 (need)。对于技术性的产品来说，这两方面可以理解为技术和市场两方面的相关知识。具体如图表 3-3 所示。



(图片来源：Terwiesch, Christian, and Karl T. Ulrich, *Innovation Tournaments: Creating and Identifying Exceptional Opportunities*. Harvard Business Press, Boston, 2009.)

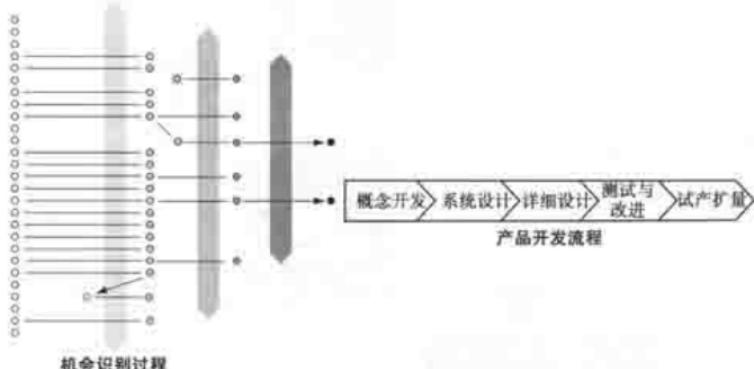
图表 3-3 机会的类型 (层次 1、2 和 3 代表风险级别的增加，反映不同类型的不确定性)

由于失败的风险会随着潜在的市场机会偏离团队熟知信息程度的增加而增加，因此，依据团队面临的不确定性层次 (horizon)，我们可以把机会分成不同的区域。层次 1：机会表示市场发展快、扩大快、变化快且已有 (existing) 产品降价快，这是相对低风险的机会；层次 2：机会推向市场、技术或两方面均鲜为人知的领域；层次 3：机会代表尝试开拓一些世界领先的方法，有最大的不确定性。

由于需要在一年之内推出新产品，所以 FroliCat 团队明确避免层次 3 的机会。他们希望在已有的 Bolt 激光猫玩具的基础上开发新产品，并且主要针对已有的顾客和已有的需求。下一代娱乐猫产品的解决方案将针对已有的需求，因此，他们将关注层次 2 的机会。

3.2 机会识别的评比结构

不同的机会价值差异很大，且这些价值受不确定性因素的影响。因此应识别出一系列的机会，然后挑选出可进一步开发且可能成功的机会子集。这个过程可以看作是对机会创新性的评比（tournament），只有最佳的方案才能被采用。对于一个成功的商业案例，通常有几十、几百甚至上千的机会可能会被考虑到。筛选的过程会选出一些能够进行进一步开发的机会子集，然后从这个子集中再选出一个或多个能够推出完整的产品开发的机会，具体如图表 3-4 所示。

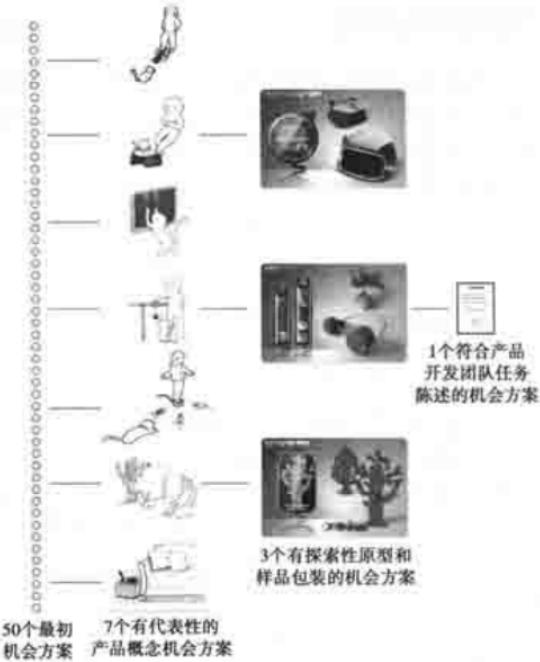


（图片来源：Christian Terwiesch, Kari T. Ulrich, "Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities", Harvard Business School (2009)）

图表 3-4 机会识别过程的评比结构：采用机会联赛评比方法为产品开发流程提供最佳机会方案

机会识别的过程具体体现在产品开发流程之前的机会创新性评比，如图表 3-4 所示。虽然机会识别过程和产品开发流程都包括开发和选择的步骤，但这两项活动的首要目标是截然不同的。机会识别的目标是挖掘大量的机会并有效地终止一些不值得进一步投资的机会；而在产品开发流程中，目标则是使机会实现项目任务陈述，并尽一切可能保证完成最好的产品。

虽然机会识别和产品开发可以理解为两个独立的活动，但是两者之间还是有着很明确的重叠。例如，在消费品公司（如 FroliCat），最初的产品概念几乎总是在产品开发流程开始前的机会识别中发现，并开发成产品原型。然而，这些探索性的活动通常在几个可选择的机会中进行，最后只有最具有开发潜力的方案会进入更深一步的产品设计与开发。图表 3-5 所示为 FroliCat 所使用的机会识别评比结构，从 50 个可选机会方案开始，逐渐推进，最终只有一个选中并进入完整的产品开发流程。



(图片由 Lucky Litter 有限责任公司和未来生活实验室提供)

图表 3-5 FroliCat 公司机会识别过程的总体评比结构。50 个最初的机会经过逐步的筛选和探索，“摇摆球”机会被开发为产品并投入市场

有效的机会评比

好机会很稀少，怎样能够在机会识别过程中识别更多的有效机会呢？这里有三种基本方法。

- 扩大机会方案的数量

如果你产生了更多的机会，就可以看到更多的希望。例如，平均来说，如果你从 10 万个人中可以发现一个身高 2.13 m 的人，那么从 20 万个人中就能找到两个。在不影响平均质量的前提下，扩大初期的机会方案数量是找到更多的可行机会的关键手段。

- 寻找高质量的机会方案

采取更好的方法来产生机会并挖掘更好的机会资源，可以提高所考虑机会的平均质量，这也提高了机会评比中产生的最佳机会方案的质量。

- 产生高质量变异的机会方案

这尽管不是非常明显，但有直接的统计含义。如果保持机会的平均质量和数量，你就能从可变性更大的过程中产生更多特别的机会。尽管要求可变性与流程改进中的普通做法有所不同，但这正是机会创造中所需要的。发现不一样的想法和概念能提高识别最佳机会方案的几率。

3.3 机会识别过程

我们把机会识别过程分为以下 6 个步骤：

- (1) 确立章程
- (2) 挖掘并探索大量机会方案
- (3) 筛选机会方案
- (4) 开发有前景的机会方案
- (5) 选出最佳机会方案
- (6) 对结果和过程进行反思

每一步骤都是本章中各节的重点。

3.4 步骤 1：确立章程

企业通常研发新产品以达到一些目标，如增加从已有的顾客群体得到的收益，填补生产线上的漏洞或进入新的市场等。企业家们开办新企业时通常有其目的，比如研发一些个人兴趣相关领域的新产品。产品创新章程（innovation charter）中会包括这些目标，并对创新工作的一些边界条件进行说明。章程可以近似地等同于（虽然有的时候范围会更广泛）新产品的宗旨（详见第 4 章）。

例如，FroliCat 案例的章程是：

研发出一款新的宠物猫玩具体产品，通过我们已有的零售销售渠道在大约一年之内向市场推出。

该章程中的主要约束强调要研发出商品实体而不是软件或服务，还要满足产品所属的宠物玩具的领域要求，不花费大量的投资，并且能够充分利用公司与已有的零售商之间的关系。

章程需要解决自由创新与团队组织目标具体方向之间的冲突。通过具体到一个范围比较小的章程，团队可以避免在那些很有可能无法实现的机会中浪费精力。另外，要确定哪些机会

值得提前开展研究。哪些机会存在障碍是很困难的。

类似新产品的宗旨阐述，我们建议产品创新章程更广泛，即相比团队所能接受的范围更广。激发各种想法不需要耗费大量资金，而且之后也容易将开发工作的焦点集中。工作范围广泛的优势在于，那些从未被考虑过的机会可能会给团队在选择机会的工作上带来新的挑战和契机。

3.5 步骤 2：挖掘并探索大量机会方案

调查数据显示，在各种不同行业的公司中，一半的创新机会来自企业内部，而另一半则从顾客及其他外部资源中识别（Terwiesch and Ulrich, 2009）。机会的来源分布如图表 3-6 所示。

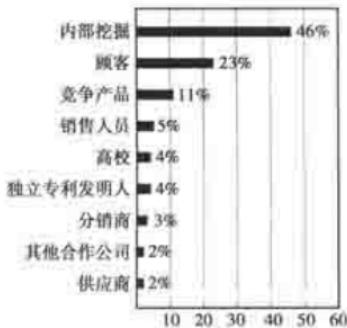
因此我们提倡团队在挖掘机会时同时关注内部和外部的来源。通常情况下，一些团队会在这个过程中识别几十甚至上百个原始的机会。幸运的是，这项繁琐的工作可以通过应用一些结构化的技术而变得容易。我们会在下文中列举这些技巧和方法。

挖掘机会的相关技巧

对于创造性的人才来说，没有什么事比提出新的想法更有趣了。然而我们会发现，大多数人在挖掘理想的可行机会方案时都会觉得很困难。问题在于提出新想法的过程太抽象，没有结构化以及自由度太高。以下是七种能够激发机会识别的基本技巧，其中大部分能在创业企业和合伙企业中发挥很好的作用。

依据个人兴趣

列出你的个人兴趣爱好，也就是让你保持热情的工作，然后考虑新技术、市场趋势和商业模式对它们会有哪些影响，或者识别出和你个人兴趣相关的那些未能满足的需求。一位我们熟知的狂热自行车爱好者就开发了一个营养输送系统并将其运用在已有的自行车运动水袋产品中（如 CamelBak），该系统之后还在军事以及其他各种运动项目中得到了广泛的应用（如图表 3-7 所示）。他就是从对水袋中饮料的糖分和电解质的含量需求的调节过程中得到启发从而识别出机会的。



（图片来源：Christian Terwiesch, Karl T. Ulrich, “Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities”, Harvard Business School (2009)）

图表 3-6 创新机会来源的分布

编写错误列表

成功的创新者通常会习惯性地对他们周围的事物感到不满。他们会经常发现人们（包括他们自己）一些未满足的需求。列出或随手记下自己在几天或几周内遇到的不满、困扰和失望，然后从中挑出最普遍的问题，并努力想出相应的解决方案，你会发现任何问题都蕴藏着机会。

蕴藏机会的那些问题也许不一定是你遇到的问题，它可能来自顾客的抱怨或市场的调查。理解他人烦恼与问题的一个有效办法就是：将自己置身于使用你产品或服务的人群中，设身处地为他人着想。

从能力中发现机会

关于竞争优势的理论很多，但是大部分起源于公司希望通过开发独特资源（unique resource）以超出平均收益的想法。资源是一个概括性的术语，它包括能力、核心竞争力和竞争优势。为提供优势，资源必须满足以下 4 个特征。

- 有价值 (valuable)：资源要有价值，必须能够让公司达到比竞争对手更好的绩效或降低相对于对手的竞争劣势。
- 稀有 (rare)：有价值的资源一定是稀有的，才能有竞争力。
- 独特 (inimitable)：有价值且宝贵的资源一定是不能轻易效仿的、独一无二的。
- 不可替代 (nonsubstitutable)：资源不仅要有价值、稀有、独特，还应该是不可替代的。

以上观点可缩写为 VRIN，这些观点可以在初步确定资源和挖掘机会以利用资源时对目标进行定义。

例如，苹果电脑的 VRIN 资源可能包括完美的工业设计、领导性的品牌以及忠实的顾客群。每一种资源都可以变化成一种新的挑战来引领机会挖掘过程。例如，在哪种其他产品领域中苹果的优秀设计会产生优势？在哪种产品和服务中苹果的品牌会成为竞争优势？苹果公司可以为其忠实顾客群提供哪些其他的产品和服务？



(他的右手边是营养液的储存袋。管道及阀门)

图表 3-7 营养输送系统，其发明人 Matt Kressy 正穿着它进行测试

研究客户群

机会可以通过对某些市场细分中顾客群体的研究来进行识别。这些研究（也可称为用户人类学（anthropology）或消费者群体学（consumer ethnography））可以更好地理解消费者的真正需求，这比调查所得到的要多。

在自行车工业领域，Shimano 公司是一家自行车零件（如踏板、刹车等）制造商，公司最近开展了一项用户群体的研究，以深入了解美国人不骑自行车的原因。这类研究的传统做法都是进行一项调查或聚集一群用户，询问他们多久骑一次自行车以及他们最关注的自行车特性有哪些。通常情况下，参与调查的美国人会回答他们“经常”（对于有些人这个回答可能意味着一年一次）骑车并且希望自行车越轻、速度越快越好。但是，这些特性要求基本上是每一家自行车制造商都极力追求的。

遗憾的是，在调查过程中，人们对调查人员所说的与自己实际所做的之间有很大差别。通过长时间观察潜在的自行车消费者，包括他们花费在学习骑自行车上的时间，Shimano 公司的调查人员发现这些消费者希望自行车在技术上简单、易于使用、易于学会。而目前的自行车制造商并没有对这些特性给予足够的重视，但它们体现了自行车爱好者真正的潜在需求。

用户群体研究帮助 Shimano 公司识别出一系列的潜在需求（对于潜在需求的描述，详见第 5 章）。当一种潜在需求被识别出来，它就成为机会创造过程中的目标。一旦他们识别是什么因素导致那些潜在消费者喜欢机动车而不是自行车，他们就有机会重新定义整个产品领域。

在 Shimano 的案例中，他们能够最终挖掘出机会的原因是：他们的目标客户群体正是那些业余而不是专业的骑车人，这些人可能会在家庭出游时租自行车一起去海滩。最终，Shimano 在品牌 Coasting 下开发了一条部件生产线，然后一些制造商将部件组装成自行车成品，其中一个例子是 Trek Lime，如图表 3-8 所示。

考虑市场趋势的影响

技术的发展、人口变化或社会规范的改变等通常都会产生新机会。例如，普及的移动通信服务使各种各样的信息传输服务出现；又比如，美国日益增长的说西班牙语的人口使一种新型的西班牙语媒体出现；人们逐渐加强的环保意识创造了绿色产品和服务市场。因此，探索很容易：



（图中产品由 Trek 公司授权）

图表 3-8 由 Shimano 的 Coasting 品牌部件组装的 Trek Lime 自行车产品

列举社会、环境、技术或者经济的趋势。然后在各种条件下创造出相应的创新机会。

效仿但更好

当另外一家公司成功创新的时候，它实际上是公开了一个待探索的极佳领域。你可以通过思考该需求的其他可行解决方案或该解决方案可能满足的其他需求来继续对这个领域的信息资源进行探索。图表 3-9 就给出了一个“青出于蓝胜于蓝”的案例，下面列出一些可以用于效仿的机会来源。

- 其他公司的媒体宣传和营销手段：例如，通过参加各种展会以及跟进专利申请等方式来学习其他公司的媒体宣传，并观察他们的活动流程。从任何你能识别出的创新点来发现顾客需求和解决方案，寻找多种可选择的方法来满足相应的需求或者从一种新的方法中寻找多种需求。
- 商品小众化：通常情况下，竞争性价格区分了产品的类型。这提供了一个产品不同于其他产品的特性。正如星巴克咖啡之前有 Recall 咖啡，欧托兹之前有 Breath 喉糖一样，此类的情形会产生创新的机会。为追求这类创新，我们可以列出某一类别中便宜、没有差异化的商品或服务，然后考虑开发升级产品的可能性。
- “低迷市场”中开拓创新点：1998 年，四位有着从事玩具和糖果生意经验的企业家聚集在一起研发出了佳洁士电动牙刷。由于他们曾经成功地将小型马达结合在棒棒糖上发明出一种电动棒棒糖，所以他们认为自己在发明小型平价电动设备方面是有竞争优势的。当看到大批的电动牙刷卖到每支将近 100 美元，其运行原理也没有比他们的电动棒棒糖复杂多少的时候，他们感到很震撼。于是受此启发，他们决定研发一种可以只卖 6 美元一支的电动牙刷。最终他们的电动牙刷成为各类牙刷中最热销的一款。从他们的案例可以知道，列举出某一领域中的高档产品，然后想象它们变得更平价，必然会带来更大的收益。
- 引进具有地区特色的创新点：创新与改革通常是具有地区特色的，尤其是对于一些小型公司来说。从一个地区的成功改革联系到另一个地区的情况必然能激发出创新。红牛能量饮料正是起源于泰国卡车司机的需求，星巴克的创始人霍华德·舒尔兹正是在米兰感受到那个城市的咖啡文化并为之着迷之后才开始了创业。

挖掘你的资源

如前所述，产品开发过程中创新的机会一半来自组织内部，而另一半来自外部资源。因此，我们可以从培育外部资源中获益，这些资源包括：



图表 3-9 效仿但更好的案例：SpinBrush 牙刷。星巴克、欧托兹喉糖

- 领先用户：**公司有足够的动力去创新。毕竟，创新可以带来现金流。但是领先用户和独立发明家可能会有更大的创新动力。领先用户是指那些已有的产品及服务不能满足他们更高级需求的人或公司。这些人或公司要么忍受他们没有满足的需求，要么通过创新来满足他们的需求。一些卫生保健设备和程序通常由临床医生开发。例如，Lillian Aronson 博士是一位宾夕法尼亚大学的猫科动物肝脏移植专业兽医。她的手术程序较新颖，但由于市场很小，很难找到满足手术需要的工具。因此她不得不在医用工具和自己发明的工具之间进行选择。如果她发明了有用的工具，Aronson 博士便为一个公司的进一步创新创造了机会。
- 社交网络：**另一个提高创新机会感知灵敏度的方法是熟悉一些适当的社交网络。各种类型的社交机构有助于发明者的交流和沟通，有些机构不一定和专业领域相关。硅谷的板球和垒球社团作为很多企业活动的温床已广为人知。它在交流新产品机会的创新

想法上起着很重要的作用。一些社交网络和论坛也能够促进创新者的交流、沟通。

- **大学和政府研究机构：**学生、研究人员及专家们会不断探索新的解决方案来解决一些大挑战。在许多案例中，在实验室或研究机构中提出的解决方案和想法会被第三方（包括已有的公司和创业企业）商业化。大学和政府研究机构会将技术授权给相应的企业，以促进后续开发流程。
- **线上意见收集：**一些机会可能会通过网络从顾客或者不是顾客的人那里收集到。例如，戴尔公司就开发运行了 IdeaStorm 网页，用于征求顾客的意见并从中寻找机会。

44
45

3.6 步骤 3：筛选机会方案

筛选工作的目标是：排除那些基本上不可能开发成有价值成果的机会，并选出那些值得进一步研究的机会。筛选的目的并不是挑出唯一的最好机会。如果给出很多机会进行筛选，这个过程一定是有效的，当然也许筛选结果并不是绝对准确。

在筛选过程中，有效的筛选标准有助于整体地判断一个机会是否值得花几天或几周继续开展深入的调查。采用多种不同的筛选标准（例如市场需求、技术可行性、战略上的考虑）通常会使整个筛选过程陷入不必要的争吵而停滞不前。因为在大多数情况下，我们可能会有几十个甚至上百个初步的机会需要考虑。

这里介绍两种有效的筛选方法：网上调查和研讨会投票决定。这两种方法都依赖于一组人的独立判断。通常这组人包含企业内部人员，但也可能包含组织外部的团队。有时甚至可能会包括那些相关专家的朋友或家人等。他们有不同类型和深度的专业知识，这组人在进行评价工作时必须熟知相关的专业知识。

基于互联网的界面可以确保参与者不知道每个想法的提出者是谁，这样他们就可以更公平、公正地依据机会方案本身的质量做出选择，而不被提出者的观点所影响。有很多免费的网络调查工具可以使用，你也可以使用专门用于评价创新机会的网络工具。网上问卷可以很简单地设计为一个简洁的机会方案描述，向参与者询问这些机会方案是否值得进一步投资，只需要他们给出一个“是”或“不是”的简单选择即可。或者，你可以列出 1—10 的数据范围让他们选择，当参与者是一个相对较小的群体时，这种方法比较有效。根据经验，你需要至少 6 个相互独立的人参与判断，最好是 10 人以上，这样才能做出可靠的决策。

你也可以采用研讨的方法来进行机会方案的评价。我们经常使用的一种形式是，每个参与研讨会的成员提出一个或更多的机会方案，供大家进行进一步探讨。机会方案的展示可以采

用一张幻灯片、页面或图表等形式，这些报告展示的时间每次应限制在一分钟以内，并且每个报告人遵守相同的时间和形式规定。每个机会方案的概要介绍可以在研讨会上分发。

在报告人陈述之后，让参评人员对这些机会方案进行多项选择。在选择的过程中，需要在你举行研讨会的会议室墙上，将各种可选择的机会方案通过页面或表格列举出来。参评人员采用“圆点”（或其他记号）来标记他们的选择，只需要在他们满意的方案上给出标记即可。（另一种可应用于产品开发流程中的多项选择形式是选择有前景的概念，详见第8章。）

我们建议给每个机会方案编号，在投票时只需写出相应的机会方案编号。在进行投票之前完成编号，投票时参与的成员同时做出标记。通过这种方式可以避免一些人在做出自己的选择时受其他人的影响。

46

研讨会的方式适用于约50个机会方案的选择。当超过50个的时候，我们建议先使用网上调查进行初步的筛选。

除了投票方式的选择外，建议不仅应关注那些得到最多支持的方案，同时也要注意一些得到少数极力支持的机会方案。强烈的观点通常会引出意想不到的想法和点子。记住你的目的是有效地排除那些不值得进一步投资的机会，要尽量避免扼杀一些潜在的极佳想法。

FroliCat的团队通过6个独立参评人的研讨和头脑风暴会议，在50个初步机会中进行了评价和选择。团队成员通过聚集每个人的判断和评价，最终识别出7个值得进一步开发的机会，成员包括Asentio产品设计师以及FroliCat市场营销经理等。

3.7 步骤4：开发有前景的机会方案

将所有希望寄托在唯一的机会上，很少会获得成功。有太多的不确定因素会阻碍成功。因此，在对机会进行初步的筛选之后，研发团队需要投入适当的资源来开发一些有前景的机会。至少，通过已有方案的网络调查和非正式讨论，保证了通过初步筛选的方案拥有一些潜在的消费者。

有时，应完成一些额外的工作，如：顾客拜访、已有产品测试、概念生成、早期产品原型机以及市场规模和增长速度的预测。你可能会对每个有前景的机会投入几天到几周的时间来完成这些额外的工作。

开发有前景的机会方案的目的是：处理每个机会最主要的不确定因素，将时间和资金上的投入尽量减到最小。将这一步骤结构化的一种方法是：列出影响每个机会方案成功的主要不确

定因素，以及为解决这些不确定因素需要开展的工作及大概的花费。然后执行那些在最少的花费下能够处理最大不确定因素的工作。例如，如果不可能获得专利，一个有着清晰概念的机会可能没有价值。进行粗略的专利搜索工作可能只需花费几个小时，这个工作应该在开发机会方案之前完成。

FroliCat 团队探索了 7 个可行的机会方案（如图表 3-5 所示），然后选择了其中 3 个进行进一步的开发。随后的开发任务就是先研制出基本的功能产品原型，并由宠物猫和它们的所有者一起对产品进行测试，然后产生包装概念，测试消费者的反应，最后是财务方面的分析（包括制造成本、定价等一系列问题）。

3.8 步骤 5：选出最佳机会方案

一旦对这些有前景的机会投入一定的资源进行开发之后，大量的不确定因素应该被解决，以便选择出最佳的机会方案。保证产品开发中的巨大投资能够获得成功。

第 8 章阐述了如何根据一定的选择标准来进行比较，选择出最佳的设计概念。同样的基本方法可以用于选择产品机会。其中一种被很多知名企业运用过，称为 Real-Win-Worth-it (RWW) 的方法，最初起源于 3M 公司 (Day, 2007)。RWW 方法概括出企业在筛选机会时需要回答的三个问题。47

- 这个机会真实可行吗？你所开发的产品真的有相应的市场吗？其衡量准则包括市场规模、可能定价、技术可行性以及以要求的成本提供要求数量的可能性。
- 你能够从这个机会中盈利吗？你能从这个机会中建立持续的竞争优势吗？这个想法是否能变成专利或一个品牌呢？相比于其他竞争者来说，你是否能真正利用好这个机会呢？比如，你是否在该领域拥有先进的工程人才？
- 这个机会在资金上是否值得开发？你是否有足够的资源（资金上的以及开发流程上的），以及这些投资是否有合适的回报？

图表 3-10 显示的是应用于 FroliCat 公司“摇摆球”机会方案的 RWW 准则。如果对每一个机会进行这样的分析，就可以使组织团队将可行机会的范围缩小到最佳的几个方案。对 FroliCat 公司来说，摇摆球的概念与潜在购买者的需求高度吻合，适用于宠物猫，且它在专利申请方面有很好的前景。投入适当的资金后就可以开发和推广。这些因素使得这个机会从其他可行的选择方案中脱颖而出。

| | |
|---|------|
| Real-Win-Worth-it (RW) 框架结构——以“摇摆球宠物猫玩具”为例： | |
| 1. 是否存在真实的市场和真实的产品？ | 是 |
| 是否有市场需求？（什么市场需求？在已有情况下是如何满足的？） | 是 |
| 会有消费者购买吗？（市场规模、消费者决策过程） | 是 |
| 消费者愿意购买吗？（评估风险和收益、期望价格和需求量） | 是 |
| 概念是否可转化为产品？可能性有多大？ | 是 |
| 产品在社会、法律及环境规范中是否符合要求？ | 是 |
| 产品可行吗？是否能制造出来？技术可行吗？是否能满足需求？ | 是 |
| 我们的产品是否满足市场需求？相对其他产品有优势吗？ | 是 |
| 产品能在低成本投资下制造出来吗？ | 是 |
| 产品的可能风险在顾客承受范围内吗？接受障碍有哪些？ | 是 |
| | 结果：是 |
| 2. 我们是否能盈利？产品和服务是否有竞争力？公司能成功吗？ | 是 |
| 产品有竞争优势吗？竞争优势可持续吗？（性能、专利、进入市场壁垒、替代品及价格等） | 是 |
| 开发时机对吗？ | 是 |
| 产品和我们的品牌符合吗？ | 是 |
| 我们在竞争中能取胜吗？（对方会提高多少？价格变化及新的竞争者等） | 是 |
| 是否有先进的资源？（工程、财务、销售、生产；符合核心竞争力） | 不是 |
| 是否有能够取胜的经营管理？（经验、文化适应及机会承担） | 是 |
| 是否和竞争者一样或比他们更了解市场？（消费者行为、渠道） | 是 |
| | 结果：是 |
| 3. 是否值得开发？回报是否能保证以及风险是否可接受？ | 是 |
| 它会带来盈利吗？ | 是 |
| 我们是否有足够的资源和经费来开发？ | 是 |
| 我们是否能承受相应风险？（哪些会出现问题？技术风险、市场风险） | 是 |
| 和我们的战略相符吗？（符合发展方向、品牌影响力、隐含期权） | 是 |
| | 结果：是 |

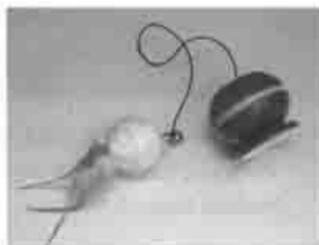
图表 3-10 应用于摇摆球机会的 RWW 准则。该检查表可从本书网站得到。

其他的准则也可应用同样的选择方法。刚创业的企业家通常会使用不同的准则，例如，不仅仅局限于已有的 RWW 准则，企业家可能会依据资金要求、进入市场的时间要求或机会所激发的热情来选择机会方案。

3.9 步骤 6：对结果和过程进行反思

FroliCat 团队最终开发了摇摆球的机会方案并开发出产品 Sway（如图表 3-11 所示）投入市场销售。产品通过一些主要的零售商如亚马逊等推向市场。团队等待着市场的反应。这些反应将会是他们机会识别过程是否成功的指标。然而，市场的成功并不是衡量该过程的唯一准则，一些问题需要在对结果和过程的反思中充分考虑：

- 有多少识别的机会来自内部资源？又有多少机会来自外部资源？
- 我们是否考虑到了足够的机会（几十或上百个机会）？
- 创新章程的范围是否太狭窄？
- 我们的筛选准则是否太偏？或者主要建立于对产品成功最可能的估计？
- 最终选择的机会是否能激发团队的热情？



图表 3-11 由摇摆球的机会开发出的摇摆猫玩具产品

3.10 小结

本章讲述了机会识别的概念框架。先是寻找大量的初步机会方案，然后筛选，进一步探索以缩小机会范围，最终确定最佳可行方案。

机会识别过程包括以下 6 个步骤：

- (1) 确立章程
- (2) 挖掘并探索大量机会方案
- (3) 筛选机会方案
- (4) 开发有前景的机会方案
- (5) 选出最佳机会方案
- (6) 对结果和过程进行反思

机会识别过程的效果依赖于思考来自不同资源的大量机会方案，在产生构想的过程中找到好机会，并考虑机会方案各方面的质量。通过系统地筛选和开发大量的初步机会，识别有价值的机会并进行进一步开发，可以使企业的资源得到最充分、最有价值的利用。

参考文献

一些资源包括 RWW 方法以及基于网络的机会评价软件可在网站 www.ulrich-eppinger.net 上获得。

更多的机会识别相关知识来自以下文献：

- Kim, W.Chan, and Renee Mauborgne, *Blue Ocean Strategy : How to create Uncontested Market Space and Make Competition Irrelevant*, Harvard Business Press, Boston, 2005.
- Nalebuff, Barry, and Ian Ayres, *Why not? How to Use Everyday Ingenuity to solve Problems*

Big and Small? Harvard Business Press, Boston, 2003.

Terwiesch, Christian, and Karl T. Ulrich, *Innovation Tournaments : Creating and Identifying Exceptional Opportunities*, Harvard Business Press, Boston, 2009.

VanGundy 在筛选方法上给出了很多讨论：

Vangundy, Author B., *Techniques of Structured Problem Solving*, second edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1988.

RWW 方法的详细论述见下面这篇文章：

Day, George S., "Is it real? Can we win? Is it worth doing? Managing Risk and Reward in an Innovation Portfolio," *Harvard Business Review*, December 2007.

以下的研究在机会识别的原则上提供了理论和实验的依据：

50 Girotra, Karan, Christian Terwiesch, and Karl Ulrich, "Idea Generation and the Quality of the Best Idea", *Management Science*, Vol. 56, No. 4, 2010, pp. 591-604.

Kornish, Laura J., and Karl T. Ulrich, "Opportunity Spaces in innovation : Empirical Analysis of Large Sample of Ideas", *Management Science*, Vol. 57, No. 1, 2011, pp. 107-128.

Kornish, Laura J., and Karl T. Ulrich, "The Importance of the Raw Idea in Innovation: Testing the Sow's Ear Hypothesis," *Journal of Marketing Research*, Vol. LI, February 2014, pp. 14-26.

练习

1. 实地考察当地的一家零售商店（比如体育用品、厨具或电子产品商店）并识别出其中一个产品或商品，讨论如何通过创新使其小众化（de-commoditized）和与众不同。
2. 在你感兴趣的领域找出 10 个创新的机会。
3. 识别你信赖的产品公司的 VRIN 资源，然后思考这些资源可以实现哪些产品机会。

思考题

1. 机会筛选中的不记名投票制度有哪些优点和缺点？
2. 在机会筛选过程中消费者是否可以胜任评价者的角色？
3. 在产品概念真正被开发之前，企业能确定机会方案是否真实可行吗？（根据 RWW 方法）
4. 机会识别过程如果成功的话，还会出现产品最终在市场上失败的结果吗？
5. 层次 2 的机会中，两种类型的风险有何不同之处？其中一个处理当前市场的需求，另一个使用当前的解决方案。

第4章

产品规划



(Xerox 公司授权)

图表 4-1 Lakes 项目开发了一种包含施乐文件中心 265 的新型复印机平台

施乐 (Xerox) 公司是一家提供多种与文件相关的产品、服务和商业解决方案的全球性公司。它的目标是成为全球文件相关市场的领导者，提供用于提高企业生产效率的文件解决方案。施乐公司竞争策略的关键是在快速变化的市场中不断进行技术创新。这一策略要求公司有能力选择合适的开发项目并按照互补的原则定义项目范围。图表 4-1 是一张施乐文件中心 265 的照片。这一产品是施乐公司 Lakes 项目开发出来的。

产品规划 (product planning) 流程发生在一个产品开发项目正式启动，大量的资源开始使用及更大的开发团队形成之前。该流程将确定一个公司应该从事的项目组合 (portfolio, 或译为项目投资组合)，并决定什么时候从事什么子项目。产品规划流程确保产品开发项目可以支持公司未来更多的商业策略，并回答以下问题：

- 从事什么产品开发项目？
- 研究何种全新的产品、平台和衍生产品？
- 相关的不同项目如何成为一个项目组合？
- 项目的时间安排和顺序是怎样的？

每一个选中的项目将会由一个产品开发团队来完成。在开发工作开始之前，团队必须知晓其任务。这些重要内容包括在团队的任务陈述中：

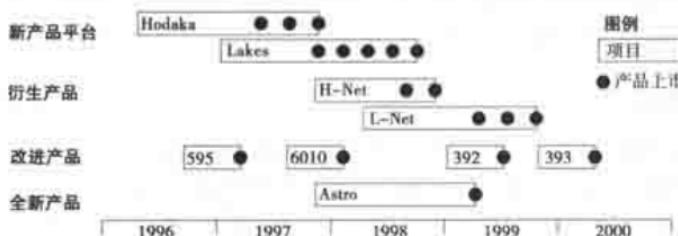
- 在设计产品及其特点时，应该考虑哪些市场组成部分？
- 如果有的话，新产品中应包括哪些新技术？
- 制造和服务的目标和约束是什么？
- 项目的财务目标是什么？
- 项目的预算和时间安排是怎样的？

本章阐述了一家公司怎样从潜在的项目中选择其最愿意从事的，然后启动每个项目来完成一个中心任务，以使其产品开发工作的效率最大化。在这里，产品规划流程分为五个步骤，始于机会识别，止于项目团队完成任务陈述。

4.1 产品规划流程

产品规划确定了公司将要开发的项目组合和产品进入市场的时间。规划流程要综合考虑由各种因素所带来的产品开发机会，包括来自市场、研究部门、顾客、已有产品开发团队的建议及竞争对手的标准。从这些机会中，可以选定项目组合。项目的时间计划和资源分配也随之确定。图表 4-2 是一个表明产品开发时间安排的产品规划示例。

根据竞争环境、技术的变化和已有成功产品提供的信息，产品规划需要不断更新。制定产品规划要综合考虑公司的目标、能力、限制和竞争环境，通常涉及高层管理工作，并在一年制定一次或多次产品规划。一些公司由规划主管完成该项工作。



图表 4-2 产品规划确定开发部门将要从事的项目组合。该规划将项目分为四种类型：新产品平台、原有产品的衍生品、改进产品和全新产品。

那些不重视制定开发项目组合规划的公司，常常会被以下低效率所困扰。

- 不能以有竞争力的产品占有足够的目标市场份额。
- 产品引入市场的时间安排不合理。
- 总开发能力与所从事的项目数量不匹配。
- 资源分配不合理，一些项目人员过多而另外一些却人手不足。
- 构思错误的项目，启动后又取消。
- 项目方向经常变动。

4.1.1 产品开发项目的四种类型

产品开发项目可以分为以下四种类型。

- 新产品平台 (new product platform)：**这类项目主要致力于在一个新的通用平台基础上开发出一个新产品家族，这一新产品家族将进入相关市场和产品领域。瞄准新的数字复印平台而开发的施乐 Lakes 项目就属于该类项目。
- 已有产品平台的衍生品 (derivatives of existing product platform)：**这类项目是在已有产品平台上进行扩展，用一种或多种新产品更好地占有相关市场。在已有光透镜 (非数字) 产品平台基础上开发新型复印机就属于该类项目。
- 对已有产品的改进 (incremental improvements to existing products)：**这类项目只是增加或改进已有产品的特点，以使生产线跟上潮流和具有竞争力。改进已有复印产品的小

缺陷就属于该类项目。

- **全新产品 (fundamentally new products):** 这类项目涉及全新的产品或生产技术，并由此进入一个新的、不熟知的市场。这种项目本质上存在更大的风险。但是，公司的长期成功可能要依赖从这种重要的项目中获得的经验。这类项目的一个典型例子便是施乐公司第一台数字复印机的开发。

4.1.2 流程

图表 4-3 描述了产品规划流程。首先，按照优先级对多种机会进行排列并确定出一个项目组合，将资源分配到这些项目中并进行时间安排。这些规划活动注重多种机会和潜在的项目组合（portfolio）、集成生产规划、产品线规划或者产品管理。一旦项目被选定并分配了资源，每个项目的任务陈述（mission statement）就被制定出来。因此，产品规划和任务陈述的制定先于实际的产品开发流程。



图表 4-3 产品规划流程，这些活动确定产品开发项目组合，制定产品规划，并为每个被选项目制定任务陈述

虽然上图我们将产品规划流程表示为顺序的，但是选择项目和分配资源的过程实际上是重叠的。鉴于时间安排和预算的实际情况，经常需要重新确定优先级并对项目做进一步的细化和选择。因此，经常需要对产品规划进行重新评估并根据开发团队、研发部门、生产、营销和服务部门的最新信息对其进行修改。后加入这一过程的人员常常最先认识到整个规划流程或某个项目的任务是不一致、不可行或者是过时的。随时调整产品规划的能力对公司的长期成功来说是至关重要的。

56

制定产品规划和项目任务陈述包括 5 个步骤：

- (1) 识别市场机会
- (2) 项目评价和优先级排序
- (3) 资源分配和时间安排
- (4) 完成项目前期规划
- (5) 对结果和过程进行反思

4.2 步骤 1：识别市场机会

规划流程始于对产品开发机会的识别，这种机会可能包括上述四种类型项目中的任何一种。这一步可以看成是机会漏斗（opportunity funnel），因为它将来自整个公司的各种投入汇聚到一起。机会可能是被动收集得来的，但我们也建议公司努力尝试去创造机会。第3章提供了一种机会产生、识别和评估的过程。

积极运用“机会漏斗”可以持续收集各种构想，新产品机会也可能随时出现。作为一种追踪、排序和细化这些机会的方法，我们建议对每个有希望的机会加以简单清晰的描述并存放到一个数据库中。尽管一个简单电子表格可能已经足够，但是一些基于Web理念的管理系统也可以用于收集和存储机会的各种信息。

在施乐公司，很多机会已被收集和讨论，有些是对已有产品的简单改进，另一些则是基于全新技术的产品建议。下面是一些与施乐公司提出的机会描述相似的例子。

- 建立一个文件分发系统，每个办公人员都可以使用一台网络打印机，并能自动发送邮件和其他文件。
- 建立一套文件传送软件，使公司的大多数内部文件可以通过员工的个人计算机进行数字化传送和存储。

这一机会描述最终成为 Lakes 项目：为办公用品市场开发一个新的黑白式（Black and White, B&W）、数字化、网络式的文件中心平台，包括扫描、存储、传真、分发和打印功能。

4.3 步骤 2：项目评价和优先级排序

如果能实施有效的管理，机会漏斗在一年中可以收集成百上千个机会。这些机会中有些对于企业的其他活动没有意义，因为在多数情况下，有太多的机会要求企业立即去把握。因此，产品规划流程的第二步就是要选出最有希望的项目。对已有产品领域中新产品机会进行评价和优先级排序时，需要仔细讨论以下四个基本方面：竞争策略、市场细分、技术曲线和产品平台。讨论了这四方面之后，我们将讨论全新产品的机会评价，以及如何平衡项目组合。

4.3.1 竞争策略

一个公司的竞争策略（competitive strategy）决定了它在市场和产品上针对竞争者的基本

运作方法，这一策略可以指导选择应该把握的机会。多数企业都是在高层管理的层面上讨论其竞争策略的有效性及如何进行竞争。以下是几种可能的竞争策略。

- **技术领先 (technology leadership)：**为实施这一策略，企业必须强调新技术的研究和开发，并将其应用到产品开发流程中。
- **成本领先 (cost leadership)：**这一策略要求企业在生产效率上进行竞争，可以实行规模经济，使用先进的制造方法和低成本的劳动力，或者引入更好的管理生产系统。因此，在这一策略指导下必须强调产品开发流程中面向制造的设计（见第11章）。
- **以顾客为中心 (customer focus)：**为实施这一策略，企业必须跟新老顾客保持密切联系以评价其需求和偏好的变化。精心设计的产品平台有助于快速开发拥有满足顾客偏好的新特点或新功能的派生产品。这种策略将造就用来满足不同层次顾客需求的多种产品生产线。
- **模仿策略 (imitative)：**这一策略要求紧跟市场趋势。允许竞争者探索每一部分已获成功的新产品。当确定了可行机会之后，企业快速开始模仿成功竞争者的新产品。快速的开发流程对于这一策略的有效实施至关重要。

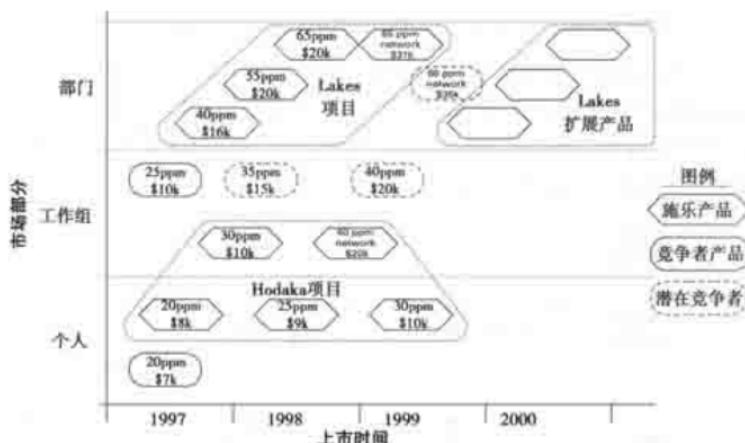
在施乐公司，战略讨论紧紧围绕公司怎样加入因特网发展所带来的办公数字化革命这一中心议题。施乐公司相信因特网将导致商业运作从“先打印后分发”向“先分发后打印”的模式转变。Lakes项目的开发可以作为对公司这一观点的支持。

4.3.2 市场细分

一般认为顾客属于市场的不同部分。把市场分为不同的部分，使企业能够按照各详细定义的顾客群来考虑竞争者的行动和企业已有产品的市场力度。通过将竞争者的产品和企业自己的产品对应到各个细分市场，企业就可以评价哪些产品机会最好，以揭示出企业自身的（或竞争者的）产品生产线问题。图表4-4展示了施乐公司某些产品的市场细分图（product segment map），这些产品的市场是按照共享办公室设备的人员数量来划分的。

4.3.3 技术曲线

在技术密集型企业，产品规划的关键决策是什么时候在生产线上采用一种新的基本技术。例如，在文件处理类企业，世纪之交的关键技术问题就是向数字图像处理和打印的转变。产品规划要确定何时开发数字化产品，而不是基于光照—透镜技术的另外一种产品。S形技术曲线（Technology S-curve）是一种帮助考虑这种决定的概念性工具。

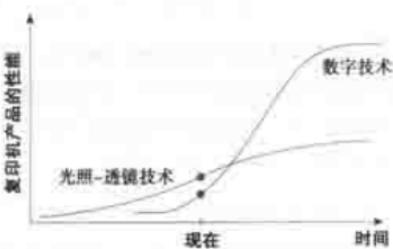


图表 4-4 产品细分图：它展示了施乐公司 B&W 数字产品和三个细分市场的竞争，并列出了每种产品的关键绩效要素（每分钟打印页数、网络工作能力）和价格点及上市的时间

S 形技术曲线显示了在一种产品领域内产品的性能随时间变化的情况，通常关乎单一的性能参数，如完成情况、速度或可信度。S 曲线显示了一个基本但很重要的事实：技术在刚出现时性能相对较低，发展到有一定经验之后快速成长，最后达到一些自然的技术性限制时成熟。继而过时。S 曲线捕捉到了这种动态的一般变化（如图表 4-5 所示），横轴可能是研发工作的总工作量或持续时间，纵轴可能是性能/成本比率或者任何一种重要的性能参数。尽管 S 曲线清晰地表示出多种行业中的技术变化，但是性能曲线的未来走势（最终性能限制是近还是远）很难预测。

4.3.4 产品平台规划

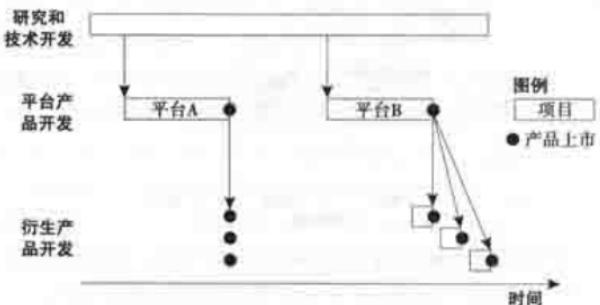
产品平台是指由一系列产品共享的一整套资产。通常，零件和部件是这些资产中最重要的部分。一个有效的平台可以更快更容易地制造出许多衍生品，每种产品提供一个特定细分市



图表 4-5 S 形技术曲线：它表明施乐公司相信数字复印技术刚刚出现并将在未来数年内提高产品的性能（施乐公司相信它可以在近期开发一种性能超过光照-透镜复印机的全数字型复印机）

场所需要的特点和功能。关于实现产品平台和平台规划方法底层结构的讨论请参阅第10章。

由于平台开发项目在时间和资金上的消耗是衍生品开发项目的2—10倍，企业不可能使每个项目都成为平台开发项目。图表4-6所示为有效产品平台的杠杆作用，在该阶段，关键的策略是：项目将从现有平台还是从全新平台开发衍生品？产品平台的决策与企业的技术开发工作以及在新产品中采用哪种技术密切相关。



图表4-6 一个平台开发项目可以建立一个产品家族结构。衍生品可能归于最初的平台开发工作（平台A）或者之后（平台B）

技术路线图（technology roadmap），该方法描述与正在考虑开发的产品相关的各种技术的预期实用性和未来应用性。它使得技术开发和产品规划相协调。这一方法已经被摩托罗拉、飞利浦、施乐和其他快速发展的高技术行业中领先者所采用。它对于规划那些关键功能元件已经被详细了解的产品尤其有效。

如图表4-7所示，各代的技术按照时间顺序标明在技术路线图中。技术路线图中可以加入项目的时间计划和使用这些技术开发的项目（有时被称为产品-技术路线图（product-technology roadmap））。其结果是一个表示产品的关键功能元件和既定时间内实现这些元件所采用技术的顺序图表。技术路线图可以作为指定技术开发和产品开发联合策略的规划工具。

4.3.5 评价全新产品的机会

除了已有产品领域的新型产品之外，企业还将面对许多机会，如新的市场或全新技术。尽管在使用新技术或为进入新市场而进行的产品开发中投入紧缺资源有很大风险。但是这种投入对于定期更新产品组合是必要的（Christensen, 1997）。评价全新产品机会的标准包括：

- 市场规模（单位 / 年 · 平均价格）
- 市场增长率（每年百分比）
- 竞争激烈程度（竞争者的数量和实力）
- 企业对市场的了解程度
- 企业对技术的了解程度
- 与企业其他产品的匹配
- 与企业能力的匹配
- 专利、商业秘密或其他竞争障碍的潜在压力
- 企业中拳头产品（product champion）的存在

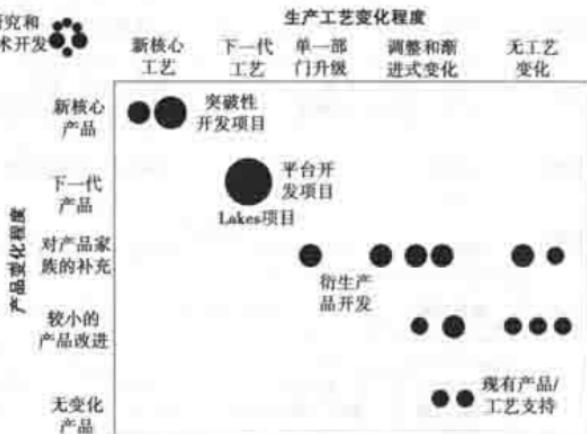


图表 4-7 技术路线图：它表明了几种数字影印技术的生命周期及每种产品将采用的技术。对于 Lakes 项目，施乐公司为其关键功能选择了相应技术，其衍生品要求这些关键技术能扩展到高速和彩色影印能力

这些标准不仅对评价全新产品机会非常有效，同时也适用于任何其他产品机会的评价。它可以通过一个简单的筛选矩阵（screening matrix）来评价任何机会的吸引力和风险类型。第3章中包含了Real-Win-Worth-it（RWW）分析。它是一个基于标准评价的方法。第8章介绍了选择产品概念的筛选矩阵，这种方法也直接适用于筛选产品机会。

4.3.6 权衡项目组合

有很多种方法可以帮助经理权衡公司的开发项目组合，其中一些方法是用有效的标准来衡量项目组合，以便考虑规划决策的战略意义。Cooper等人（2001）描述了多种度量方法，包括技术风险、资金回报、市场吸引力和偏好等标准。一种特别有效的度量方法是由Wheelwright和Clark（1992）提出的沿着两个维度标准绘制的项目组合图：项目所包含的产品变化的程度和项目所包含的生产工艺变化的程度。图表4-8为产品-工艺变化矩阵（product-process change matrix），这种方法可以十分有效地表明所考虑的项目组合中的不平衡并评估项目组合和竞争策略之间的一致性。例如，企业可能发现并没有根本性突破的机会，或者没有对已有产品进行改进的项目。



（图片来源：Wheelwright and Clark, 1992）

图表4-8 产品-工艺变化矩阵（圆圈的大小表明开发项目的相对成本）

没有一个通用的方法来决定项目组合应该是什么样的。然而，企业对于竞争策略的选择将会影响产品开发项目组合的形式。例如，追求低成本策略的企业会希望项目组合中包含更多

的生产工艺改进项目；遵循产品多样化策略的企业要在已有平台上更多地开发衍生品；实施技术领先策略的企业需要更多的技术开发和突破性项目，并预见到并非所有这些有风险的项目都会产生市场上的新产品。注意，研究和技术开发活动的规划是与产品规划流程紧密联系的；但通常在产品规划流程的范围之外进行。

4.4 步骤 3：资源分配和时间安排

使期望项目组合中的每个产品开发项目得到满足，所需的资源量是巨大的，企业可能负担不起。由于时间安排和资源分配是按照最有希望的项目来制定的，项目过多会导致不可避免的有限资源争夺。其结果是，资源分配和时间安排不得不退回到前面的评价和优先级排序这一步骤，以削减所要开发的项目。

4.4.1 资源分配

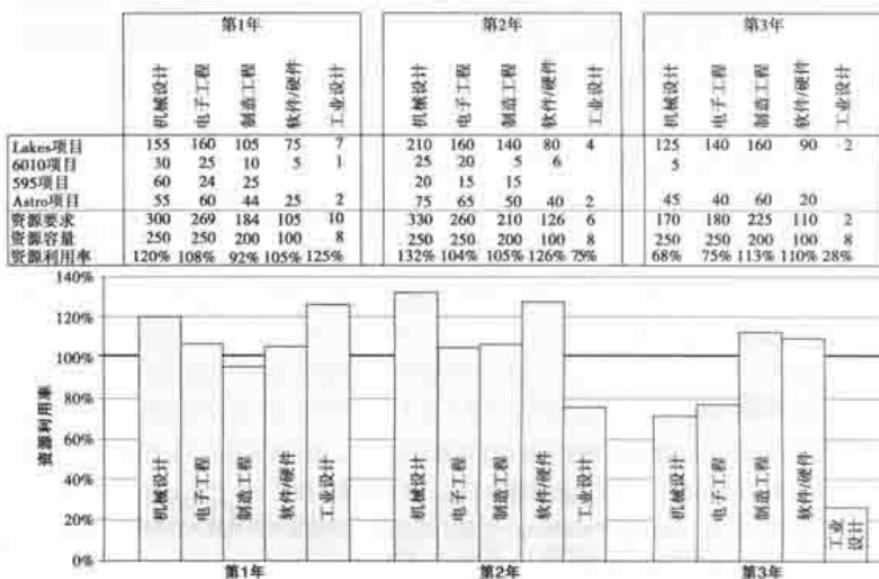
如果公司开发太多的项目而不考虑开发资源的有限性，那么有经验的工程师和经理就会被分配到越来越多的项目上，生产效率急剧下降，项目完成时间延长，产品上市迟缓，利润水平低下。综合计划（aggregate planning）有助于公司通过合理地利用预算内的资源完成多个项目，从而高效地利用公司的资源。

Lakes 项目只是施乐公司提出的众多计划之一，但是，由于 Lakes 项目是一个新产品平台的开发项目，它比当时的其他项目都重要。任何可行的项目组合都要由 Lakes 平台开发项目的资源需求来决定。实际上，施乐公司为了提供必要的资源来执行 Lakes 项目，许多其他项目组合不得不取消或推后，直到工程师们完成了 Lakes 项目的工作。

对每个计划项目每月、每季度或每年所要求资源数量进行估计，会迫使公司面对资源有限的现实。在多数情况下，需要管理的主要资源是研发人员的工作量，通常以人·小时数或人·月来表示。其他重要资源也需要仔细计划，如制模车间设备、快速成型设备、主导生产线、测试设备等等。将每个时期资源需求的估计量与可得到的资源进行比较，以计算整体能力利用比率（需求 / 能力）和不同资源种类的利用率。如图表 4-9 所示。利用率超过 100% 表示没有足够的资源进行日程计划中的所有项目。实际上，考虑到意外事件发生的可能性及其应采取的相应措施，所计划的能力利用率应低于 100%。

在综合计划编制过程中，公司可能会发现其处于过度使用资源的危险中（经常达到 100% 或更高，参见 Wheelwright 和 Clark，1992），因此，在规划阶段就必须决定哪些项目对于企业

的成功最重要，并以足够的资源来从事这些项目，其他项目可能要从计划中取消或改变时间。



图表 4-9 基于资源随时间的需求变化得到的资源综合计划表。尽管更小的时间单位（季度或月）在实际中更为常用，但例子中的表格使用的单位是“人一年”。该图表明当执行所有项目时，何处的能力不足。

4.4.2 项目时间安排

确定项目时间和顺序的方法，有时称为管道管理（pipeline management），必须考虑以下因素。

- 产品上市时间：**通常情况下产品上市越快越好。但是，产品质量未达标就上市，会损害企业的声誉。
- 技术储备：**基础技术的稳健性对于规划流程十分重要。一种被证实了的、成熟度高的技术可以快速可靠地集成到产品中去。
- 市场准备：**产品上市的顺序决定了最初使用者的购买意图——是先购买低端产品，再买更高价的产品，还是直接购买价格高的高端产品。一方面，改进的产品上市太快，会打击紧追产品更新步伐的顾客；另一方面，新品上市太慢会面临落后于竞争者的风险。
- 竞争：**竞争性产品的预期上市将会加快开发项目的进度。

4.4.3 产品规划

在规划流程中确定了时间安排的项目被称为产品规划 (product plan)，如前面图表 4-2 所示。这一规划可能包括不同比例的全新产品、平台项目和衍生品项目。作为企业战略规划活动的一部分，产品规划要定期更新，周期可以是一个季度或一年。

4.5 步骤 4：完成项目前期规划

当项目确定下来，但是还未进行物质资源的分配时，就需要进行项目前期规划。这一过程涉及一个小的跨职能团队，通常被称为核心团队 (core team)。Lakes 项目核心团队由大约 30 人组成，他们分别代表技术、市场、制造和服务部门等多方。

这时，早期的机会描述可以作为产品前景描述 (product vision statement)，Lakes 项目团队以下面的产品前景描述作为开始：

开发网络式的、中等规模的、用于成像、印记和修饰的数字平台。

产品前景描述所定义的目标可能是非常宽泛的，它可能没有说明将采用何种新技术，也没有说明职能，如生产和服务的目标和限制。为了给产品开发组织提供明确的指导，通常要在任务陈述 (mission statement) 中对目标市场和开发团队的工作设想做出更加详细的定义，这些决策在任务陈述中完成，如图表 4-10 所示。

65
↓
66

| 任务陈述：多功能办公文件设备 | |
|----------------|--|
| 产品描述 | <ul style="list-style-type: none"> 具有复印、打印、传真和扫描功能的网络式数字设备 |
| 获益方案 (获益建议) | <ul style="list-style-type: none"> 在一台机器上进行多文件处理 连接办公电脑网络 |
| 主要商业目标 | <ul style="list-style-type: none"> 支持施乐公司在数字办公设备保持领先的策略 作为所有未来的 B&W 数字产品和解决方案的平台 在主要市场中占据数字产品 50% 的份额 环保 1997 年第 4 季度投放 |
| 一级市场 | <ul style="list-style-type: none"> 办公部门。中等效能 (40 ~ 60PPM，月平均复印量在 42000 页以上) |
| 二级市场 | <ul style="list-style-type: none"> 快速复印市场 小型“卫星”操作 |

图表 4-10 Lakes 项目的任务陈述。表中内容概括了项目开发团队需要遵循的路线。任务陈述中增加了许多细节，包括环境目标、服务目标以及用于 Lakes 平台的专用技术

| 任务陈述：多功能办公文件设备 | |
|----------------|--|
| 假设和限制 | <ul style="list-style-type: none"> 新产品平台 数字图像技术 与中心处理软件 (centreware software) 兼容 输入设备在加拿大制造 输出设备在巴西制造 图像处理设备在美国和欧洲制造 |
| 利益相关者 | <ul style="list-style-type: none"> 购买者和使用者 制造商 服务商 经销商和分销商 |

图表 4-10 (续)

4.5.1 任务书

任务书应包括以下部分或全部信息。

- 对产品的概活性描述 (用一句话描述)；这一描述通常包括产品的主要用途，但要避免包含特定的产品概念。实际上它可以是产品的前景说明。
- 获益方案 (或称为获益建议, benefit proposition)；这一部分阐述了顾客会购买商品的几个关键原因。在某种程度上这只是一个假设，并将在概念发展过程中得到验证。
- 主要商业目标：除了支持公司战略的项目目标之外，这些目标通常包括时间、成本和质量目标 (如产品的上市时间、预期财务效益和市场份额目标等)。
- 产品目标市场：每一种产品可能会有几个目标市场。任务陈述的这一部分确定了一级市场和开发工作中应该考虑的任何二级市场。
- 指导开发工作的设想和限制：必须仔细地制定设想，尽管它会限制可能的产品概念范围，但是它有助于项目管理。有关设想和限制的决策信息可以附加到任务书中。
- 利益相关者 (stakeholder)：确保开发流程中的细微问题均被考虑到的一种方法是，清楚地列出产品的所有利益相关者，也就是所有受产品成败影响的人群。利益相关者列表以末端使用者 (最终的外部顾客) 和做出产品购买决定的外部顾客开始，包括企业内部与产品相关的人，如经销商、服务商和生产部门。利益相关者列表可以提醒团队考虑被产品影响到的每个人的需求。

67

4.5.2 假定条件和限制

制定任务书时，团队应考虑企业内部不同职能部门的战略。在要考虑的职能战略中，制

造、服务和环境战略对 Lakes 项目影响最大。实际上，这些战略指导着产品核心技术的开发。

人们可能会问，为什么制造、服务和环境战略（举例来说）应该成为新产品任务书的一部分？也有一种观点认为有关这些问题的决策应该从顾客对新产品的需要中得来，而不应该提前确定。这是因为，首先，对于像 Lakes 这种十分复杂的项目，制造系统的设计是和产品设计一样巨大的项目，因此，产品的制造设备必须很早就确定下来。其次，有些产品需求并非完全从顾客需求中得来。例如，很多顾客不会直接表达对于低环境影响的需要。但是，施乐公司选择采取对环境负责的设计策略。在这种情况下，任务书应该反映这些公司目标和限制。

下面是施乐公司在建立 Lakes 项目的假定条件和限制时考虑的一些问题。

- 制造 (manufacturing)：即使在初期阶段，考虑制造系统的性能、产量和限制也是十分重要的。许多问题与此相关，包括：为制造和组装产品，需要哪些内部生产设备？开发涉及哪些重要供应商以及什么时候需要他们？已有生产系统是否具有生产产品所需要的新技术？对于 Lakes 项目，施乐公司假设输入设备在加拿大制造，输出设备在巴西制造，数字图像处理设备在美国和欧洲制造。
- 服务 (service)：在顾客服务和服务收入对企业的成功非常重要的行业中，确定服务质量水平的目标是十分必要的。在设计产品时，提高服务水平包括一项战略承诺，该承诺仅包含有限的几项，从而可以提供快速服务。对于 Lakes 项目来说，服务能力目标包括减少机器大修时可替换模块的数量和按照大小顺序安装这些模块的时间。
- 环境 (environment)：现在，许多公司依据“环境可持续性发展”的原则指导新产品开发。Lakes 项目团队实施由施乐公司首先提出的“零垃圾”战略，即使对于施乐公司这样环境设计实践的领先者来说，这一目标也非常具有挑战性。确定的目标使 Lakes 项目产品的任何组件都不会成为垃圾，所有组件都可以再加工或回收，没有任何部分需由顾客处理掉。Lakes 项目的环境设计战略还包括一个能源效率目标。那就是“成为同类产品中最高效的设备”。

68

4.5.3 人员配备和其他项目前期规划活动

项目前期规划通常还包括确定项目经理和人员。这包括与关键研发人员在新项目中签约。也就是说，要求他们承诺领导产品或其关键部分的开发。预算通常也要在项目前期规划中制定出来。

对于全新产品来说，预算和人员计划只为概念开发阶段制定。这是因为项目的细节是不确定的，这种状况会一直持续到新产品的基本概念确定下来。更细致的规划要等到概念进一步

开发时再制定。

4.6 步骤 5：对结果和过程进行反思

在规划流程的最后一步，团队应该问几个关于评价过程和结果质量的问题。我们推荐的问题如下。

- 机会漏斗收集到各种令人激动的产品机会了吗？
- 产品规划支持企业的竞争策略吗？
- 产品规划是否针对企业现在面临的最重要的机遇？
- 分配给产品开发的资源足以贯彻企业的竞争策略吗？
- 使有限资源发挥最大作用的方法被充分考虑了吗？例如产品平台的使用、合资，以及与供应商合作等。
- 核心团队接受最终任务书的挑战了吗？
- 任务书的各个部分一致吗？
- 任务书的假定条件真的必要吗？项目的限制过多吗？开发团队能自由开发最好的产品吗？
- 怎样才能改进产品规划流程？

由于任务书是将管理权移交给开发团队，在进行开发之前必须进行现状核实（*reality check*）。

[69] 这一早期阶段要纠正已知缺陷，以免开发进行之后这些缺陷越来越严重，加倍耗费精力。

为了使表达简单易懂，本章将产品规划方法解释为一个逐步的过程。但是，对于一致性和适应性的反馈和批评是一个不间断的过程，这一过程中的步骤可以也应该同时执行，以确保那么多的计划能相互协调并与企业的目标、能力和限制相一致。

4.7 小结

- 产品规划是一个关于所要从事的产品开发项目组合的周期性过程。
- 产品开发包括以下五个步骤：
 - (1) 识别市场机会
 - (2) 项目评价和优先级排序
 - (3) 资源分配和时间安排

(4) 完成项目前期规划

(5) 对结果和过程进行反思。

- 机会漏斗从企业内外的各种资源中收集新产品平台。对已有产品的改进和全新产品的可能性。
- 潜在产品开发项目要根据公司的竞争策略、技术曲线和产品平台规划进行评价。
- 一个产品开发项目的平衡项目组合可以投资突破性产品、新平台、衍生品和支持现有产品。
- 集成性规划确保有足够的资源保证所选项目成功完成。
- 产品开发项目的任务书指明了产品前景、获益方案、商业目标、目标市场、关键设计和产品的利益相关者。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

关于竞争战略的优秀书籍很多。下列书籍包括有关产品规划的讨论：

Day, George S., *Market Driven Strategy : Process for Creating Value*, The Free Press, New York, 1990.

Moore, Geoffrey A., *Crossing the Chasm : Marketing and Selling Technology Products to Mainstream Customers*, Harper Business, New York, 2014.

Porter, Michael E., *Competitive Advantage : Creating and Sustaining Superior performance*, The Free Press, New York, 1985.

Treacy, Michael, and Fred Wiersema, *The Discipline of Market Leaders*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1997.

Wheelwright 和 Clark 讨论了产品规划的几种方法，包括集成性规划和一些图表方法。

Wheelwright, Stephen C., and Kim B. Clark, "Creating Plans to Focus Product Development", *Harvard Business Review*, March-April 1992, pp. 70-82.

Cooper, Edgett 和 Kleinschmidt 描述了许多产品项目组合管理方法，包括财务分析、打分技术和可见图表方法。

Cooper, Robert G., Scott J. Edgett, and Elko J. Kleinschmidt, *Portfolio Management for New Products*, Perseus Books, Reading, MA, 1998.

Fine 将产品规划和竞争策略与供应链设计和与供应商的合伙策略决定联系到一起。

Fine, Charles.H., *Clockspeed : winning Control in the age of Temporary Advantage*, Perseus Books, Reading, MA, 1998.

McGrath 强调了产品规划平台和技术性产品的策略。

McGrath, Michael E., *Product Strategy for High-Technology Companies*, McGraw-Hill, New York, 2000.

Reinertsen 特别注意到了集成开发能力的过度使用。

Reinertsen, Donald G., *Managing the Design Factory: The Product Developer's Toolkit*, The Free Press, New York, 1997.

市场方面的许多书籍谈到了市场策略、市场分析和产品规划的更详细的对策。

Crawford, C.Merle, and Anthony Di Benedetto, *New Products Management*, eleven edition, McGraw-Hill, New York, 2014.

Urban, Glen L., and John R. Hauser, *Design and Marketing of New Products*, second edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Foster 发展了 S 曲线的概念并提供了多种行业中的许多有趣例子。

Foster, Richard N., *Innovation: The Attacker's Advantage*, Summit Books, New York, 1986.

Burgelman 和 Maidique 认为 S 形技术曲线和生命周期曲线不能预先决定，他们会受到技术开发工作的影响。

Burgelman, Robert A., Modesto A. Maidique, and Steven C. Wheelwright, *Strategic Management of Technology and Innovation*, fourth edition, Irwin Professional Publishing, Homewood, IL, 2003.

一些学者对多种行业中的产品平台规划做了更详细的介绍。

Meyer, Marc H., and Alvin P. Lehnerd, *The Power of Product Platforms*, The Free Press, New York, 1997.

Sanderson, Susan W., and Mustafa Uzumeri, *Managing Product Families*, Irwin, Chicago, 1997.

摩托罗拉和飞利浦的经理们描述了他们在集成技术开发和产品开发规划时对几种路线方法的使用。

Groenveld, Pieter, "Roadmapping Integrates Business and Technology," *Research-*

Technology Management, Vol. 40, No.5, Sep./Oct.1997, pp. 48~55.

Willyard, Charles H., and Cheryl W. McClees, "Motorola's Technology Roadmap Process," *Research Management*, Vol. 30, No.5, Sep./Oct.1987, pp. 13~19.

Christensen 举例说明了公司必须在全新产品、技术和市场中投资，以保持其在行业的领先地位。

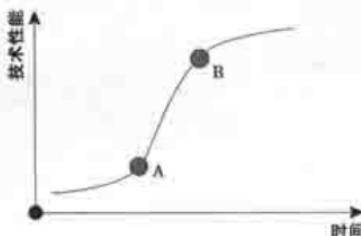
Christen, Clayton M., *The Innovator's Dilemma : When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, Boston, 1997.

练习

1. 通过因特网或公司年报进行研究，确定你有兴趣投资的公司的公司战略。了解企业的生产线和最新产品，这些产品怎样支持公司的战略？你希望在生产规划中看到哪种类型的项目？
2. 对你所了解的一种产品，如个人计算机，建立一个产品 - 技术路线图以说明其技术的实用性。

思考题

1. 在下面的 S 形技术曲线中，某一特定产品的技术在 A 或 B 点时，其开发的项目组合有什么不同？



2. 施乐公司怎样解决图表 4-9 所示集成项目规划分析所确定的机械设计工程的短缺？列举施乐公司增加生产能力的 5 种方法和减少机械工程需求的 5 种方法。

第5章

识别顾客需求



(图片由 Nest Labs 提供)

图表 5-1 具有自我学习功能的恒温器 Nest learning thermostat，它基于家里的活动模式运行

Tony Fadell 曾在苹果公司领导产品开发十余年，参与了 iPod 便携式音乐播放器和 iPhone 智能手机的开发。离开苹果公司后，他创业并最终决定开发一款更好的恒温器来控制家庭供暖和制冷系统。图表 5-1 是 Nest 学习型恒温器，这是 Tony 和他的团队在其新公司 Nest Labs 开发的第一个产品。

Nest 研发团队期望开发出市场上最好的恒温器，他们知道理解并满足客户需求是成功的关键。Nest 恒温器在市场上受到了极大的欢迎。Nest Labs 在成立三年后，便以 32 亿美元的价格被谷歌公司收购，这对成长型的公司来说是一个惊人的财务成果。

本章以 Nest 恒温器开发项目为例，提出了一种全面识别顾客需求的方法，该方法的目标是：

- 确保产品关注顾客需求
- 识别潜在的（或隐含的）需求以及明示的需求
- 提供一个判别产品规格的事实基础
- 建立一个开发流程所需活动的原始记录
- 确保没有遗漏重要的顾客需求
- 在开发团队成员中形成对顾客需求的统一认识

该方法所依赖的思想是：建立一个高质量的信息渠道，它使目标市场上的顾客和产品开发者可以直接沟通。该思想建立在这样一个假设之上：那些直接控制产品细节的人，包括工程师和工业设计师，必须与顾客相互沟通并体验产品的使用环境（use environment）。没有直接的体验，不可能正确地做出技术权衡，也不可能找到解决顾客需求的创新办法。开发团队将永远开发不出能充分满足顾客需求的产品。

识别顾客需求是产品开发流程中不可分割的组成部分，它与概念生成、概念选择、竞争性产品的标杆分析和建立产品规格等活动有非常密切的联系。图表 5-2 表示的是顾客需求活动与前段产品开发活动之间的关系。这些活动的集合可被视为概念开发（concept development）阶段。

图表 5-2 所示的概念开发流程暗含了顾客需求与产品规格之间的区别，这种区别很微妙但却很重要。“需求”（need）在很大程度上独立于我们可能要开发的某一特殊产品，它们并不一定是我们最终选择和追求的概念。团队应该在不知道是否能最终满足这些需求或怎样满足这些需求的情况下，识别出顾客需求。另一方面，规格（specification）确实依赖于选择的概念，并依赖于所选开发产品在技术上和经济上的可行性。竞争对手在市场上提供的产品以及顾客需求（有关这些区别的更详细描述，请参阅第 6 章）。还应注意，我们选择需求（need）这个词来标明顾客期望产品的任何一个特征，在这里，我们不区分期望（want）和需求（need）概

念之间的差别。在实际中，用于指代顾客需求的其他术语还包括顾客属性（customer attribute）和顾客要求（customer requirement）。



图表 5-2 顾客需求活动与其他概念开发活动之间的关系

5.1 潜在需求的重要性

潜在需求（latent need）是尚未被大多数客户广泛认可的并且尚未由现有产品实现的需求。潜在需求确实存在，如果它们能够被实现，将提高客户满意度。然后，这些潜在需求在很大程度上是未知的。例如，在 2000 年之前，手机没有照相功能，大多数消费者不知道用手机拍照。然而，这种需求是真实的，并且成为它们有别于现有产品的一个主要特征。识别潜在需求是产品开发中的重要能力，它使企业能够创造出令客户惊喜和愉悦的产品。当然，一旦潜在需求被成功实现，就会被广泛采用，并成为必不可少的功能。到 2010 年，基本上所有的移动设备都可以拍照。

5.2 识别顾客需求的流程

识别顾客需求本身就是一个流程，对于这个流程，我们提供了一个五步法。我们相信这个小小的结构可以对有效的产品开发实践起到长久的帮助作用。我们希望该方法不会被使用它的人视为一个僵化的流程，而将它看作持续改进的起点。这 5 个步骤是：

- (1) 从顾客那里收集原始数据
- (2) 从顾客需求角度理解原始数据
- (3) 组织需求的层级，包括一级（主要级）、二级、三级（如果必要的话）
- (4) 建立需求的相对重要性
- (5) 对结果和过程进行反思

我们依次进行这五步，并以恒温器为例说明要点。之所以选择恒温器是因为它比较简单，因此这个方法不至于被例子的复杂性所掩盖。但应注意的是，该方法在经过细小的改变后，已被成功地应用于无数的产品开发（从价值不足 10 美元的厨房用具到价值上百万美元的机器设备）。

在开发项目之前，企业一般会识别出特殊的市场机会并列举大量的限制条件和项目目标。这些信息通常形成任务书（mission statement）（有时也称作章程（charter）或设计概要（design brief））。任务书指明了任务的方向，但通常不会指明精确的目标或具体的前进方向。任务书是第4章所述产品规划活动的结果。图表5-3所示为恒温器的任务书。

| 任务书：恒温器项目 | |
|-----------|---|
| 产品描述 | <ul style="list-style-type: none"> 家用恒温器 |
| 效益描述 | <ul style="list-style-type: none"> 简单实用、吸引人、节约能源 |
| 关键商业目标 | <ul style="list-style-type: none"> 产品在2012年第4季度投放市场 50%的毛利率 到2016年在恒温器市场占据10%的市场份额 |
| 主要市场 | <ul style="list-style-type: none"> 普通居民消费者 |
| 次要市场 | <ul style="list-style-type: none"> 做家庭装修工作的暖气、通风和空调承包商 |
| 假设 | <ul style="list-style-type: none"> 代替现有的恒温器 与现有的大多数系统和线路兼容 |
| 利益相关者 | <ul style="list-style-type: none"> 用户 零售商 销售人员 服务中心 生产制造 法律部门 |

图表5-3 恒温器的任务书

恒温器类产品发展相对较好，这类产品尤其适合那些为收集顾客需求而设的结构化流程。有人可能会问：结构化的方法对顾客没有体验过的全新产品是否有效？实际上，识别顾客需求对于颠覆性的创新产品和改进性的产品同样重要。产品成功的必要条件之一就是为顾客带来看得见的益处，当产品满足需求时，它们就为顾客提供这些益处，无论是对现有产品的改进还是颠覆性的创新产品，这都是正确的。开发全新的产品是一项有风险的工作，在某种程度上，顾客需求是否已被正确识别的唯一真实标志是：顾客是否喜欢团队的第一个原型产品。然而，在我们看来，收集顾客数据的结构化方法仍不失其有用性，这可以降低开发全新产品的内在风险。不管顾客是否能完全清晰地阐述他们的潜在需求，与目标市场上的顾客相互沟通，都将有助于开发团队构建基于用户环境和用户观点的个人理解。即使不能确认新产品所需的所有需求，这些信息也是有用的。

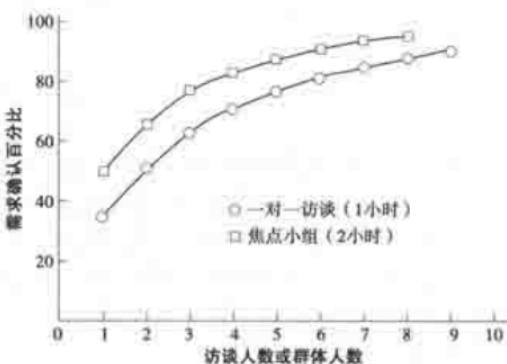
5.3 步骤1：从顾客那里收集原始数据

数据的收集包括接触顾客及体验产品环境，这一点与我们的基本思想是一致的（即建立一

个直接来自顾客的高质量信息渠道)。数据收集通常使用三种方法。

- **访谈法 (interview):**一个或多个开发团队成员与单个顾客讨论顾客需求。访谈通常在顾客处进行，一般持续一到两个小时。
- **焦点小组 (focus group):**主持人组织一个由 8 ~ 12 个顾客组成的小组进行两小时的讨论。焦点小组通常安排在一个装有双面镜的特殊房间里。该双面镜使得一些开发团队的成员可以观察该小组。在大多数情况下，主持人是专业的市场研究人员，但开发团队成员有时也可作为主持人。讨论的过程通常会被录像。一般来说，要付给参与者适当费用(每人 50 ~ 100 美元)，焦点小组的总成本大约为 500 美元，包括房间的租金、参与者费用、录像费和饮料费等。在大多数美国城市中，招募参与者、主持焦点小组和租赁设备的企业通常列在电话簿的“市场调查”项下。
- **观察使用中的产品:**观察顾客使用现有产品或执行一个需要新产品的工作，都可以揭示顾客需求的重要细节。例如，观察发现，客户替换现有恒温器的主要原因是：老产品在壁炉中显得不美观，新产品的外形比老产品更好。观察可能是被动的(没有与顾客的直接互动)，也可能在与客户并肩工作时进行(这就使得开发团队的成员能够获得使用该产品的第一手资料)。在理想情况下，团队成员观察在实际使用环境中的产品。为了更好地了解顾客需求，宝洁公司每年在数千名顾客的家中或工作场所观察他们。对于一些产品，如自己动手 (Do it Yourself, DIY) 的工具，实际使用起来简单自然；对于另外一些产品，如手术器械，团队必须将产品使用在替代任务上(如当开发新的手术刀时，要切水果而非人体组织)。

一些业内人士也依据书面调查来收集原始数据。尽管网络调查在流程的后期十分有用，但在最初识别顾客需求的活动时，我们不推荐这种方式：书面调查不能提供有关产品环境的足够信息。它们在揭示无法预期的需求上是无效的。



图表 5-4 数据收集的功能：焦点小组和访谈所揭示的顾客需求百分比的比较。注意，焦点小组持续 2 小时，而访谈持续 1 小时。

(资料来源：Abbie Griffin and John R. Hauser, "The Voice of the Customer," *Marketing Science*, Vol. 12, No. 1, Winter 1993, pp. 1-27)

Griffin 和 Hauser 的研究表明，一个两小时的焦点小组讨论所揭示的需求量与两个一小时的访谈相同 (Griffin 和 Hauser, 1993) (见图表 5-4)。因为访谈通常比焦点小组的每小时成本要低，并且访谈使得产品开发团队能够体验产品的使用环境，我们把访谈作为数据收集的首选方法。一或两个焦点小组可以作为访谈的补充，因为它能够使高层管理人员观察到顾客群，或为高层管理人员提供与一个更大团队的成员分享顾客体验（通过视频）的机制。一些业内人士认为，对于确定的产品和顾客群，与访谈相比，焦点小组参与者之间的相互作用能够揭示更多差异化的需求。尽管研究结果并未强有力地支持这一观点。

5.3.1 选择顾客

Griffin 和 Hauser 也研究过这样的问题：为了揭示大部分顾客的需求，应该访谈多少顾客？在一项研究中，他们估计 90% 的野餐制冷器顾客需求，在访谈 30 次后可揭示出来；在另一项研究中，他们估计 98% 的某办公设备顾客需求，在焦点小组和访谈共同进行 25 小时的数据采集后可揭示出来。对大多数产品来说，少于 10 次访谈可能就会不全面，而 50 次又可能太多。但是，访谈可以按次序进行，当增加的访谈不能揭示出新的需求时，该流程就可以结束了。这些指导原则适用于开发团队解决一个细分市场的情况。如果团队希望从多个不同的细分市场收集顾客需求，那么团队可能需要在每个细分市场进行 10 次或更多次数访谈。将超过 10 人的概念开发团队划分为几个小组，就可以从大量的顾客中收集数据。例如，如果团队被分成 5 对，每对进行 6 次访谈，则团队共进行 30 次访谈。

与领先用户 (lead user) 和极端用户 (extreme user) 进行访谈可以更有效地识别顾客需求。依据 von Hippel 理论，领先用户是指那些在市场普及之前的数月或数年就体验需求并能从产品创新中大幅受益的顾客 (von Hippel, 1988)。这些顾客对于数据的收集十分有帮助，主要有两个原因：(1) 他们能够清楚地阐述新需求，因为他们对现有产品已经十分不满；(2) 他们可能已经发明了满足自身需求的办法。通过关注领先用户的数据收集工作，团队可以识别出市场大多数人的潜在需求（但对领先用户来说需求是清晰的）。开发满足顾客潜在需求的产品可使企业预测趋势，并超越竞争产品。

极端用户是指那些以不寻常的方式使用产品或有特殊需求的人。例如，恒温器的极端用户可能是视力不好或者行动不便的人，或者是每天需要多次改变温度的人。极端用户帮助研发团队识别主流市场没有识别出的需求，它们仍然是赢得竞争优势的重要机会。例如，企业家 Sam Farber 为了满足他患有关节炎的妻子的需求，发明了一款原创性的蔬菜削皮器，她的极端需求反映了主流用户对更多符合人体工程学的厨房用具的潜在需求。

当几组不同的人都能被视为“顾客”时，选择哪一类顾客作为访谈的对象就成为一件复杂

的事情。对许多产品来说，一个人（买方）做出购买决策，而另一个人（用户）实际使用该产品。在所有情况下，从产品的最终用户那里收集数据都是一种好途径；而在某些情况下，其他类型的顾客和利益相关者也是很重要的，也要从他们那里收集数据。

顾客选择矩阵对于市场和顾客变化的规划探索都是有用的。如图表 5-5 所示，Burchill 认为细分市场应列在矩阵左边，而不同类型的顾客应列在矩阵顶部（Burchill et al., 1997），每个单元格中是期望的顾客接触数量，它们表示调查涵盖的深度。

| | 领先用户 | 用户 | 零售商 |
|----------|------|----|-----|
| 家庭用户 | 5 | 5 | 5 |
| HVAC 承包人 | 5 | 5 | |

（资料来源：Gary Burchill, et al., *Concept Engineering*, Center for Quality of Management, Cambridge, MA, Document No. ML0080, 1997）

图表 5-5 恒温器项目的顾客选择矩阵

工业和商业产品通常通过电话或电子邮件来锁定客户。企业在开发这样的产品时，销售人员经常可以提供顾客的姓名，尽管团队必须认真考虑选择顾客时的偏好，即他们偏向于选择那些忠诚于某个特殊制造商的顾客。对某些类别的产品（例如，建筑承包商或保险代理人），网络或电话簿可以用来确定某些类型顾客的名字。对顾客工作不可或缺的那些产品，让他们同意接受访谈是容易的，这些顾客渴望讨论他们的需求。消费类产品也可以通过电话或电子邮件调查来确定客户。然而，为消费类产品安排一组访谈通常比工业或商业产品需要更多的询问。因为对消费类产品顾客来说，参加这些访谈的好处很难直接体现。

5.3.2 清晰表达顾客需求的艺术

我们这里提供的技术主要适用于访谈最终用户，但这些方法也可以用于三种数据收集模式和所有的利益相关者。基本的方式是接受顾客提供的信息，并避免对抗。收集需求数据不同于销售电话：它的目的是让顾客明确地表达需求，而不是让顾客相信自己有某种需求。在大多数情况下，顾客交流是语言性的。访谈者提出问题，顾客回答问题。有准备的访谈指南对于有层次地开展谈话非常有价值，在访谈者自我介绍和解释完访谈目的之后，可以提一些有帮助的问题或说一些引导性的话。如：

- 你在何时以及为何使用这种产品？
- 给我们演示一下如何使用这种产品好吗？
- 你喜欢现有产品的什么地方？
- 你不喜欢现有的产品的什么地方？
- 当购买产品时，你考虑了哪些问题？

- 你希望对产品做哪些改进？

下面一些要点有助于与顾客有效交流。

- **顺其自然：**只要客户提供有用的信息，就不用担心其是否符合访谈指导。我们的目标是收集有关顾客需求方面的重要数据，而非在分配的时间内完成访谈指南中的任务。
- **使用视觉刺激和道具：**收集现有产品和竞争对手的产品，甚至那些与待开发产品仅有少许联系的产品，并将它们带到访谈中。在一部分访谈结束时，访谈者甚至可以展示一些初步的产品概念，以获得顾客对各种技术路径的早期反应。
- **抑制对有关产品技术的先入为主的假设：**顾客通常就他们期望能够满足他们需求的产品概念做出假设。在这种情况下，访谈者在讨论如何设计或制造产品的假设时，应避免偏见。当顾客提起具体的技术或产品特征时，访谈者应该思索顾客认为这些特征将满足的那些基本需求。
- **让顾客演示产品和与产品相联系的典型任务：**如果在使用环境中进行访谈，演示通常比较方便并可以揭示出新的信息。
- **要关注出乎预料的事情和潜在需求的表达：**如果顾客提到令人吃惊的事，要用连续的问题追问其原因。通常，一个意想不到的问题会揭示潜在的需求——它们反映了那些没有被满足，没有被清晰阐述和理解的顾客需求。
- **注意非语言信息：**本章描述的流程旨在开发更好的有形产品。但是，语言并不总是沟通与有形世界相关需求的最好途径。对于涉及人文因素需求（如舒适、想象或风格）的产品，这一点尤其重要。开发团队必须时刻注意顾客所提供的非语言信息。他们的面部表情如何？他们怎样掌握竞争对手的产品？

应当注意，我们提出的许多问题或引导都假定顾客对那些与正在开发的新产品相似的产品比较熟悉。这种假设通常是正确的。例如，在第一个可编程的恒温器被研发出来之前，人们已经在一天中控制温度。理解那些与一般的温度控制任务相联系的顾客需求将有助于开发第一个可编程的设备。类似地，理解使用其他类型家用电器的顾客需求（比如咖啡机和微波炉）也是有益的。我们认为，没有一个产品具有如此高的颠覆性，以至于开发团队找不到可以学习的类似产品。但是，在收集顾客没有体验过的真正创新产品的信息时，访谈问题应集中在新产品应用的任务或环境中，而非产品本身。

[80]

5.3.3 归档整理与顾客互动

归档整理与顾客互动通常用到四种方法。

- **录音：**对访谈进行录音非常容易，但将录音转换成文本是非常耗时的。雇人来做这件

事可能费用昂贵，而且录音也会有使某些顾客产生恐惧感的弊端。

- 笔记：**手写笔记是记录访谈中最常见的方式。指定一人作为主要的记录者可以使其他人专注于有效的提问。记录者应努力抓住每个顾客陈述的每一句话。如果在访谈后立即对这些记录进行整理，它们就可以产生一个与实际非常接近的访谈描述。这也有助于在访谈者之间分享观点。
- 录像：**录像经常用于记录焦点小组的会议；它也用于记录观察产品使用环境中的顾客和使用现有产品的顾客。录像可让团队新成员“跟上速度”，也可作为原始资料提供给高层管理者。录像从多个视角反映出顾客行动，这通常有助于识别潜在的顾客需求。同时，录像对捕获最终用户环境的许多方面也是有用的。
- 拍照：**制作照片提供了许多与录像一样的好处，但拍照通常有更少的干扰，因此更容易实现对顾客对现场观察。拍照的其他优点是：易于展示，视觉质量高和设备可利用。主要的不足在于相对缺乏记录动态信息的能力。

数据收集阶段的最终结果是一组原始数据，通常以顾客陈述（customer statement）的形式表现，但通常辅以录像或照片。采用表格的数据模板对于组织这些原始数据非常有用，图表 5-6 就是这种模板的例子。我们建议，在与顾客互动以及被其他开发团队成员编辑后，应尽快地填写模板。模板主体部分的第一栏是引出顾客数据的问题或提示；第二栏是顾客做出的语言陈述或对顾客行为的观察（从录像观察或直接观察）；第三栏包含原始数据中隐含的顾客需求。应该重视调查那些可以识别潜在需求的线索。这些线索可能以幽默的语言、不太严肃的建议、恼怒、非语言信息或对使用环境的观察和描述等形式表达出来。在图表 5-6 中，惊叹号

【81】 (!) 用于标记潜在的需求。我们将在下一部分给出以顾客需求的形式来理解原始数据的技术。

| 顾客：Bill Esposito | 访谈者：Jonathan 和 Lisa | |
|---|-------------------------|-----------------------|
| 地址：100 Memorial Drive Cambridge, MA 02139 | 日期：2015 年 1 月 19 日 | |
| 电话：617-864-1274 | 目前使用：霍尼韦尔 Model A45 | |
| 是否愿意跟踪调查：是 | 用户类型：普通居民 | |
| 问题 / 提示 | 顾客陈述 | 需求 |
| 典型用途 | 当太冷或太热时我需要手动打开或关闭它 | 恒温器可以自动保持舒适的温度，不用手动调整 |
| | 每次我想改变温度时，需要调整房子里的两个恒温器 | 所有操作都不用在多地点完成 |
| 目前模式的优点 | 我喜欢可以在设置的温度过高时改变温度 | 温度设置易于手动控制 |
| | 它价格不高 | 恒温器的价格可以接受 |

图表 5-6 包含顾客陈述和需求理解的顾客数据模板（注意，该模板代表访谈的一部分。一个典型的访谈可能要引出 50 多个顾客陈述和需求理解）

| 问题 / 提示 | 顾客陈述 | 需求 |
|---------|------------------------------|-----------------------|
| 目前模式的缺点 | 我太懒了以至于我不想弄清楚怎么操作 | 恒温器几乎不需要说明书，也不用学习去使用它 |
| | 我有时候出门时忘了关恒温器 | 恒温器可以在家里没人时节约能源 |
| | 有时候按钮不灵敏，我要重复按它 | 恒温器可以明确反映用户的所有操作 |
| 改进建议 | 我想用我的手机控制恒温器 | 恒温器可以在不需要特殊装置的情况下远程控制 |
| | 我想要快速在两种不同模式间切换，例如节能模式和超舒适模式 | 恒温器对于不同的用户偏好做出即时的反应 |

图表 5-6 (续)

步骤 1 的最后一项任务是向参与访谈的顾客表示感谢。一般来说，团队需要进一步了解顾客信息，因此，与一些用户建立并保持良好的关系至关重要。

5.4 步骤 2：从顾客需求角度理解原始数据

顾客需求以书面的形式表达出来，它也是以从顾客收集的原始数据为基础来理解需求的结果。一项陈述或观察（见数据模板的第二栏）可能被理解为多个顾客需求。Griffin 和 Hauser 发现不同的分析者会把相同的访谈记录理解成不同的需求，因此，让多个团队成员参与理解过程是非常有用的。下面我们列出书写需求书时的五个原则，前两个原则是基本的，对于有效的理解至关重要；后三个原则确保团队成员之间用语和模式的一致性。图表 5-7 提供了几个例子以说明每一条原则。

82

| 原则 | 顾客陈述 | 需求陈述（正确） | 需求陈述（错误） |
|--------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| “做什么”而非“怎么做” | 我想用我的手机控制恒温器 | 恒温器可以在不需要特殊装置的情况下远程控制 | 恒温器带有一个可下载的手机应用程序 |
| 特点 | 我有不同的加热和制冷系统 | 恒温器可以分开控制加热和制冷系统 | 恒温器是多功能的 |
| 肯定而非否定 | 我不想站在恒温器面前控制它 | 可以在舒服的位置控制恒温器 | 恒温器不需要我站在它面前控制它 |
| 产品属性 | 如果我回到家，我不得不手动重新设置程序 | 恒温器对用户的出现做出自动的反应 | 用户的出现触发恒温器自动调整模式 |
| 避免“必须”和“应该” | 如果恒温器可以在线控制，我担心它的安全性 | 恒温器控制系统可以安全地控制未授权的接入方式 | 恒温器控制系统必须防止未授权的接入方式 |

图表 5-7 书写需求书的原则举例

- 通过描述产品必须“做什么”（而非该“怎么做”）来表达需求。顾客通常以描述概念或实施方法表达他们的偏好；然而，需求书应以独立于特定技术解决方案的形式表达出来。
- 像原始数据一样尽量具体地表述需求。需求可以在许多不同的细节层次上表达。为了避免信息丢失，要像原始数据那样在细节层次上表达需求。
- 使用肯定句而非否定句。如果需求以肯定句的形式表达出来，需求向产品规格的转化就比较容易。但这并非一项严格的规定，因为有时肯定的表达比较困难和晦涩，例如，图表 5-6 中的一句需求陈述是“恒温器不需要替换的电池”。这个需求用否定形式表达就显得更加自然。
- 把需求表达成产品的一个属性。有关产品的需求陈述保证了连贯性，并有助于向产品规格的一系列转化。但是，并不是所有的需求都能作为产品的属性被清晰地表达出来。在大多数情况下，需求可能是以产品用户的属性表达出来的（如“用户的出现触发恒温器自动调整模式”）。
- 避免使用“必须”和“应该”。必须（must）、应该（should）暗含了需求的重要程度。我们建议将每种需求的重要性评价推迟到步骤 4，而不是在这里就随便对需求进行重要性的评价。

83

顾客需求表是目标市场上所有被访谈顾客所表述需求的子集。有些需求在技术上也许不可能实现。在以后的开发步骤中，技术和经济可行性的约束将整合到后续建立产品规格的流程中（参见第 6 章）。在某些情况下，顾客所表达的需求是相互矛盾的，此时，团队在该流程中不要试图解决这种矛盾，只需简单记下这两种需求。决定如何解决矛盾的需求是后续概念开发活动的挑战之一。

5.5 步骤 3：组织需求的层级

步骤 1 和步骤 2 的结果应是含有 50 ~ 300 条需求陈述的列表。处理如此大量的详细需求很不方便，总结它们并用于后续开发活动也很困难。步骤 3 的目的是将这些需求组织成层级列表，该表一般由一组一级需求（primary need）组成，每一种需求又进一步细化为一组二级需求（secondary need）。对一些非常复杂的产品，二级需求有可能被分解成三级需求（tertiary need）。一级需求是最一般的需求，而二级需求和三级需求则对需求表达得更详细。图表 5-8 是螺丝刀需求的最终层级列表。对于螺丝刀来说，共有 15 个一级需求和 49 个二级需求。需要注意的是，两个一级需求间没有相关的二级需求。

| | |
|--------------------|---------------------|
| 恒温器易于安装 | 恒温器可精确控制 |
| 恒温器与现有的加热或制冷系统兼容 | 恒温器精确维持温度 |
| 初学者也可以自己安装恒温器 | 恒温器将非有意的温度变化降到最低 |
| 恒温器可以分别控制加热和冷却系统 | 恒温器可以精确地确定温度 |
| 恒温器不用特殊工具就可以安装 | |
| 恒温器易于购买 | 恒温器很智能 |
| 恒温器很耐用 | 恒温器可以在一天中根据用户偏好调整温度 |
| 恒温器防碰撞 | 恒温器有精确的时间表 |
| 恒温器耐脏且防水 | 恒温器对使用做出自动响应 |
| 恒温器的表面不会随着时间而褪色 | 恒温器在冬天防止管道冻裂 |
| 恒温器报废之后可回收利用 | 恒温器可以在出问题时发出警报 |
| 恒温器易于使用 | 恒温器无须用户设置日期和时间 |
| 恒温器的用户交互易于理解 | 恒温器可以自动地根据季节调节 |
| 恒温器的使用学起来很简单 | |
| 恒温器对用户的记忆力要求不高 | 恒温器是个人化的 |
| 恒温器可以在舒服的位置进行设置 | 恒温器为不同用户偏好提供舒适环境 |
| 恒温器不用特殊装置就可远程控制 | 恒温器根据不同用户偏好节约能源 |
| 恒温器开箱即用，不用设置 | 恒温器不向未经授权的获取方法开放 |
| 恒温器的行为易于改变 | 恒温器提供有用的信息 |
| 恒温器易于手动控制 | 购买恒温器是值得的 |
| 可远距离读取恒温器的显示 | 恒温器的价格可以承受 |
| 任何情况下恒温器的显示都清晰 | 恒温器节约能源 |
| 恒温器的控制一定程度上适应用户 | 恒温器节省成本 |
| 恒温器适应不同的温度范围 | 恒温器很可靠 |
| 恒温器适用于显示日期和时间的不同偏好 | 恒温器无须换电池 |
| | 恒温器在停电时照常工作 |

图表 5-8 恒温器的一级需求和二级需求的层级列表。二级需求的重要性等级用“*”表示，“***”表示非常重要的需求。潜在的需求用“!”表示

把需求组织成层级列表的过程是直观的。许多团队都可以在没有详细指导下成功地完成该项任务。为了完整起见，我们在这里提供一个循序渐进的程序。该活动在由较少成员组成的团队中收效最好。

(1) 在分开的卡片或便笺纸上打印或写出每一条需求陈述。使用打印宏可以很容易地从数据模板中打印出需求陈述。这种方法的好处在于：需求可以放大打印在卡片的中间，而原始的顾客陈述和相关信息可以缩小打印在卡片的底部以方便参考。一张标准的打印纸可以裁成4张卡片。

(2) 删除冗余陈述。那些表达需求的冗余陈述卡片可以钉在一起，视为一张卡片，在合并那些意思相同的陈述时要仔细认真。

(3) 根据卡片表达的需求相似性对它们进行归类。这时，团队应尽量归并出3~7个表

达相似需求的卡片组。每组卡片产生的逻辑要特别注意，开发团队经常从技术角度归类卡片，如根据材料、包装或能量来源归类；或者根据假定的有形部件，如外壳、刀嘴、开关和电池等归类卡片。这两种方法都是不对的。回想一下，该流程的目的是创造对顾客需求的描述。因此，归类应与顾客考虑的需求相一致，而不是与开发团队的想法一致。归类后的组应与顾客的需求观点相似。事实上，有些业内人士认为：顾客应是组织需求陈述的合适人选。

(4) 为每个组选择一个标签。标签本身就是该组中所有需求的概括。它可以是组中的某个需求，也可以是团队写出的一条新需求陈述。

(5) 建立一个包含2~5个组的超级组。如果少于20个组，两层的层级图就足以将数据组织起来。在这种情况下，组标签就是一级需求，组成员是二级需求。但是，如果组数超过20个，团队就应该考虑建立一个超级组，因此就出现了层级的第三层。建立超级组的流程与建立组的流程相同。根据以前的步骤，依据所表达的需求的相似性归类组，并建立或选择多级组标签。这种超级组标签就成了一级需求，组标签成了二级需求，组成员为三级需求。

(6) 评审和编辑组织好的需求陈述。没有唯一正确的方法用于层级分类，因此，团队可能希望考虑其他形式的归类或标签，也可能加入另外的卡片组工作以形成不同安排。

当团队试图反映两个或多个不同细分市场的需求时，识别需求的流程将更加复杂。针对这一挑战至少可以采取两种方法。团队可以用从中引出顾客需求的细分市场（最可能的是用该细分市场的名字）标记每一个需求，如此一来，各细分市场间需求的差别就直接可见了。进行这种标记可以使用的视觉技巧是，用不同颜色的纸制作写有需求陈述的卡片，每一种颜色对应一个不同的细分市场。另一种处理多种细分市场的方法是，对每一个细分市场单独地进行分组过程。用这种方法，团队既可以观察需求之间的差别，还可以观察这些需求最佳组织方式上的差别。当各个细分市场的需求差别很大，团队没有把握用同样的产品满足不同细分市场时，我们建议团队采用上述这种并行、独立的方法。

5.6 步骤4：建立需求的相对重要性

需求的层级列表不能单独提供顾客关于不同需求重要性的信息，然而，开发团队必须在设计产品时权衡利弊并分配资源。理解各种需求的相对重要性是正确权衡利弊的关键所在。需求流程中的步骤4就是对步骤1到步骤3所识别的顾客需求建立相对重要性指标。该步骤的结果就是对每个需求建立的数字化权重。完成这一任务有两种基本方法：(1)基于顾客体验形成团队成员共识；(2)在进一步的顾客调查基础上形成重要性评价。两种方法需要在成本、进度与准确性之

间进行权衡：团队在一次会议上就可做出需求相对重要性的文字评价。而顾客调查至少需要两周时间。在大多数情况下，我们认为顾客调查是很重要的。因此，为完成调查所花费的时间是值得的。其他的开发任务，如概念生成和竞争产品分析，可以在相对重要性调查完成之前开始。

这里，团队应当与顾客群发展融洽的关系。通过对同样的顾客进行调查，可以评估已识别需求的相对重要性，调查可以通过面谈、电话、网络或邮件的方式进行。只有很少的顾客会回应评估 100 种需求的重要性调查要求，因此，团队一般仅针对需求的一个子集开展调查。在顾客调查中，可以解决的实际需求数一般限制在 50 个左右。但这个限制并不是严格的。因为许多需求要么明显重要（如螺丝刀容易放置在工具箱中），要么容易操作（如螺丝刀可防止不慎关闭）。因此，团队可以通过询问顾客那些在产品设计中可能出现的不同技术权衡或成本特征来限定调查的范围。这些需求包括：变速、将螺丝拧入坚硬木头中、螺丝刀在工作中不发出刺耳的声音。另外，团队可以进行一系列调查，询问每一个顾客有关需求列表中不同子集的情况。有许多调查设计可以用于建立顾客需求的相对重要性。图表 5-9 以恒温器为例说明一种较好的调查设计方法。除了所要求的重要性评估，调查还要求访谈者识别唯一的或意想不到的需求，这些信息可以用来帮助团队识别潜在需求。

顾客对每个需求陈述的反应可以采用不同的方式刻画：均值、标准差，或每种类别收到回应的数量，这些反馈可以进一步用于分配需求陈述的权重，同样，1~5 标度可以用于总结重要性数据。图表 5-8 中的需求是根据调查数据来确定权重的，其重要性评级用每个需求陈述旁边的星号（*）数量来表示，而潜在需求用惊叹号（！）来表示。注意，关键需求不会同时也是潜在需求。这是因为，如果一个需求是关键的，顾客会期望它得到满足，而他们不会对它感到惊讶或者兴奋。

恒温器调查

对于以下每个恒温器的特征，请用 1~5 共 5 个等级表示出其重要程度。请使用下面的标准：

1. 不希望有的特征。我将不考虑具有此种特征的产品。
2. 不重要的特征，但如果我也不介意。
3. 如果有这种特征会很好，但不是必须有。
4. 非常希望有的特征，但我会考虑不具有此种功能的产品。
5. 重要的特征。我不会考虑不具有此种特征的产品。

如果你认为特征很独特、令人兴奋，或出乎意料，请在方块里打钩。

1~5 个等级的重要程度

如果特征很独特、令人兴奋，或者出乎意料，请打钩。

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 恒温器无须用户来设置时间和日期。 | <input type="checkbox"/> |
| 恒温器无须更换电池。 | <input type="checkbox"/> |
| 恒温器适应季节的变换。 | <input type="checkbox"/> |
| 恒温器适用于显示时间和日期的不同偏好。 | <input type="checkbox"/> |
| 其他。 | <input type="checkbox"/> |

图表 5-9 重要性调查举例（部分）

5.7 步骤 5：对结果和过程进行反思

该方法的最后一步是对结果和过程进行反思。虽然识别顾客需求的流程可以非常实用地结构化，但它并不是一门精确的科学。团队必须不断地挑战自己的结果，以证实这些结果和过程通过与顾客的大量沟通而发展的知识和结构相一致。要问的问题包括：

86
87

- 我们是否与目标市场上所有主要顾客都进行了交流？
- 为了捕捉目标顾客的潜在需求，我们能够看到现有产品相关需求之外的需求吗？
- 在跟踪访谈或调查中，是否存在我们应该继续探究的领域？
- 在与我们交谈过的顾客中，哪些对于我们即将开展的开发活动来说是优秀的参与者？
- 哪些是我们现在知道而开始时不知道的？我们是否对某些需求感到惊讶？
- 我们的组织中是否包括那些需要深入理解顾客需求的人？
- 我们该怎样完善未来活动的流程？

列出最重要的需求和潜在需求，是总结流程结果的一个好方法。例如，已识别的最重要需求是：

- 恒温器操作简单。
- 恒温器可以根据用户偏好调整白天的温度。
- 恒温器与现有的加热和制冷系统配合使用。
- 恒温器能减少能源消耗。

潜在需求是：

- 恒温器可以在合适的位置运行。
- 恒温器打开就可以使用，不用设置。
- 恒温器可以在有人出现时自动响应。
- 恒温器的外壳不会因长期使用而褪色。
- 恒温器可以在冬天防止管道冰冻。

5.8 小结

识别顾客需求是产品开发流程中概念开发阶段不可分割的一部分，由此产生的顾客需求用来指导团队建立产品规格、生成产品概念并选择进一步开发的产品概念。

- 识别顾客需求的流程包括 5 步：
 - (1) 从顾客那里收集原始数据
 - (2) 从顾客需求角度理解原始数据
 - (3) 组织需求的层级
 - (4) 建立需求的相对重要性
 - (5) 对结果和过程进行反思。
- 建立一条从顾客到产品开发者的高质量信息渠道，从而保证那些直接控制产品细节的人（包括产品设计者）能够完全理解顾客需求。
- 领先用户是顾客需求的良好来源，因为他们比大多数人提前数月或数年体验新的需求，也因为他们能够明显得益于新产品的创新。此外，他们往往能够比一般顾客更清楚地阐述需求。而极端用户的特殊需求，也会反映出主流用户的潜在需求。
- 在决定顾客满意度方面，潜在需求可能比明示需求更重要，潜在需求是指那些顾客能够在最终产品中认识到其重要性，却没有或不能事先清楚表达的需求。
- 顾客需求应以产品可以“做什么”而不是“可能怎样做”的形式表达。坚持这一原则可使开发团队在生成和选择产品概念时具有更大的灵活性。
- 该方法的主要优点是：确保产品专注于顾客需求，并且没有遗漏重要的顾客需求；开发团队的成员对目标市场的顾客需求有一个清晰的理解；建立一个事实基础用于生成概念。选择产品概念，建立产品规格；建立开发流程中需求阶段的原始档案。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

概念工程（concept engineering）是由麻省理工学院的 Burchill 与质量管理中心联合开发的一种方法。本章受益于概念工程的开发和应用。有关概念工程的详细描述，请参阅：

Burchill, Gary, et al., *Concept Engineering*, Center for Quality of Management, Cambridge, MA, Document No. ML0080, 1997.

Griffin 和 Hauser 所做的研究证实了从访谈数据中提取需求的不同方法，他们关注的需求是访谈顾客数量的函数，这项研究非常有趣。

Griffin, Abbie, and John R. Hauser, "The Voice of the Customer," *Marketing Science*, Vol. 12, No. 1, Winter 1993, pp.1-27.

在下文中，Kinnear 和 Taylor 全面讨论了数据收集方式和调查设计方法。

Kinnear, Thomas C., and James R. Taylor, *Marketing Research : An Applied Approach*, fifth edition, McGraw-Hill, New York, 1995.

Norman 在其著作中广泛地论述了用户需求，特别是与使用产品的认知相关的需求。

Norman, Donald A., *The Design of Everyday Things*, Doubleday, New York, 1990.

Payne 在其著作中详细而有趣地讨论了在调查中怎样提出问题。

Payne, Stanley L., *The Art of Asking Questions*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1980.

89

全面质量管理 (Total Quality Management, TQM) 就将识别顾客需求纳入提高商品和服务质量的整体努力，提供了一个有价值的视角。

Shiba, Shoji, Alan Graham, and David Walden, *A New American TQM*,

Four Practical Revolutions in Management, Productivity Press, Cambridge, MA, and The Center for Quality of Management, Cambridge, MA, 1993.

Urban 和 Hauser 对如何建立需求层级展开了全面的讨论（和其他主题一起）。

Urban, Glen L., and John R. Hauser, *Design and Marketing of New Products*, second edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Von Hippel 描述了在创新过程中关于领先用户的多年研究成果，他为识别领先用户提供了有用的指南。

von Hippel, Eric, *The Sources of Innovation*, Oxford University Press, New York, 1988.

练习

1. 把下面的有关书包的需求陈述转变成恰当的需求陈述：

- “书包底部的皮革有刮痕，真难看。”
- “当我在收银处排队时，把书包放在膝盖上以尽力寻找我的支票簿时，我感觉自己像只鹤。”
- “书包对我很重要；丢了会非常麻烦。”
- “没有什么比香蕉被教科书的边压坏了更糟了。”
- “我从来不双肩背书包，我只是单肩背。”

2. 观察某人执行一项日常任务（在理论上，你应该选择一项由不同用户重复执行的任务），识别他们所遭遇的挫折和困难，识别潜在的顾客需求。
3. 选择一件令你不断生厌的产品，识别产品开发者所忽略的需求。你认为这些需求为什么没有被满足？你认为开发商是故意忽略了这些需求吗？

思考题

1. 某种方法有效的原因之一是它使整个开发团队卷入其中。但是，当团队人数超过 10 人时，该方法会变得笨拙。对于一个大的开发团队，你该怎样修改这一方法以保持团队的专注力和做决定的能力？
2. 识别顾客需求的流程会带来创新的产品概念吗？用什么方法实现这一点？识别顾客需求的结构化流程能够带来像便利贴（Post-it Note）一样的全新产品概念吗？

第 6 章

产品 规 格



(Specialized Bicycle Components 公司授权)

图表 6-1 装备有专业悬架的山地自行车

某专业自行车部件厂商为山地自行车市场推出一款新型前悬架。虽然该企业已经开始销售装备有新型悬架的自行车（如图表 6-1 所示），但它希望继续开发新产品，为休闲自行车爱好者提供更高层次的体验。

确定顾客需求耗费了开发团队的大量时间，除了自己花费很大精力使用装有悬架的自行车外。团队成员还采访了山地自行车比赛的参赛选手以及当地休闲街道上的自行车使用者，并且与经销商进行了沟通。最终，他们汇总出顾客的需求清单，并发现目前面临着以下挑战：

- 主观的顾客需求如何转化成接下来在开发过程中的精确目标？
- 如何让团队和高管就产品设计的成败达成共识？
- 如何鼓励成员对其开发的悬架在市场中占据一定的份额充满信心？
- 如何解决产品特性中成本与质量之间的权衡问题？

本章旨在提供一种建立产品规格的方法。假设顾客需求已经确认清楚（详见第 5 章），该方法涉及几个简单的信息系统。这些信息系统可以通过电子表格建立。

6.1 何为规格

顾客需求通常是以“顾客语言”的形式表述的。图表 6-2 中列出了顾客对悬架的主要需求，其中，“悬架易于安装”和“悬架支持自行车在崎岖路面上实现高速下降”都是顾客对自行车质量的典型主观表述。虽然这些表述能使开发团队对顾客关注的问题有一个更清楚的认识，但是它们只是留下了对产品进行主观解释的空间，却并不能明确如何设计和管理这个产品。因此，开发团队通常要建立一系列简洁明了的规格（specification），其中包括产品功能的详细信息。虽然产品规格不能为开发团队提供满足顾客需求的方法，但它们确实代表了开发团队应该努力达成的共识。例如，与“悬架易于安装”这一顾客需求相对应的规格应该是“将悬架装到车架上的平均时间少于 75s”。

| 编 号 | 需 求 | 重 要 度 |
|-----|-------------|-------|
| 1 | 降低手部振动 | 3 |
| 2 | 能轻易慢速穿越险要地形 | 2 |
| 3 | 能在颠簸的小道高速下坡 | 5 |
| 4 | 能调整灵活性 | 3 |
| 5 | 能保持自行车的操纵能力 | 4 |

图表 6-2 有关悬架的顾客需求及其相关重要度

| 编 号 | 需 求 | 重要度 |
|-----|-----------------|-----|
| 6 | 急转弯时能够保持刚性 | 4 |
| 7 | 轻便 | 4 |
| 8 | 车闸装配点坚固 | 2 |
| 9 | 能和多种自行车、车轮和轮胎相配 | 5 |
| 10 | 易于安装 | 1 |
| 11 | 能和挡泥板一起使用 | 1 |
| 12 | 能带来自豪感 | 5 |
| 13 | 能被业余爱好者接受 | 5 |
| 14 | 防水 | 5 |
| 15 | 减噪 | 5 |
| 16 | 易于维修 | 3 |
| 17 | 易于更换损坏部件 | 1 |
| 18 | 能用常用工具进行维修 | 3 |
| 19 | 经久耐用 | 5 |
| 20 | 撞车时安全 | 5 |

图表 6-2 (续)

本书中，我们用产品规格 (product specification) 明确产品功能，而有些公司使用产品需求 (product requirement) 或工程特性 (engineering characteristic) 等术语表达同样的意思，其他公司则使用“规格”或“技术规格”来说明产品的关键设计变量，比如悬架系统的机油黏度或弹性系数。为清楚起见，我们需要明确定义以下名词：规格由度量指标 (metric, 或称度量标准) 和数值 (value) 构成。如“平均安装时间”是度量指标，而“小于 75s”是数值。值得注意的是，数值有多种表现形式，包括特定数字、范围或不等式，且数值后一般都会带有单位 (如 s、km、J)；产品规格是单个规格的组合。

6.2 何时建立规格

在理想状态下，开发团队会在开发过程早期进行产品规格的确认，然后以精确满足这些规格为目标设计和管理产品。这种方法对于肥皂或菜汤等产品是非常合适的，团队中的技术人员能制定一个几乎满足所有合理规格的公式；但对于高科技产品来说，这是不可能的。因为高科技产品至少要进行两次规格的确认。确认顾客需求后，开发团队立即制定目标规格 (target

specification)。这些规格代表团队的期望，但是此时开发团队并不能确定限制产品技术的是什么，也不知道他们想要的目标产品是什么。开发过程中的团队也许无法达到某些规格的要求，同时也可能超出某些规格的要求，这取决于开发团队最终选择的产品概念。因此，在确定产品概念后，必须对目标规格进行修正。为了制订最终规格 (final specification)，开发团队必须一边估计实际技术约束和期望的产品成本，一边修正规格，并在产品的各个不同期望特征之间进行权衡。虽然很多产品的规格在整个开发过程中要修改很多次，但为简单起见，我们将具体阐述一种分两阶段建立产品规格的方法。

如图表 6-3 所示，建立规格的两个阶段是产品概念开发过程的一部分。需要注意的是：最终规格是开发计划的一个关键环节，通常是在合同书 (contract book) 中对其进行说明。合同书（在第 18 章中讲述）是指开发团队就项目计划、所需资源及商业经济方面达成的共识，产品规格清单也是开发团队用以完成整个开发过程的一种主要信息系统。



图表 6-3 产品概念开发过程：目标规格是在开发过程的早期制订的，而最终规格则须等到选择产品概念之后才能确定

本章将讲述两种操作方法：第一种是建立目标规格，第二种是在选择产品概念后确定最终规格。

6.3 建立目标规格

如图表 6-3 所示，目标规格是在确认顾客需求之后，但在生成产品概念并选择一个最有前景的产品概念之前确定的。随意设置的规格很可能在技术上并不可行，如设计悬架时，开发团队不能事先假定这个悬架能够同时满足质量为 1kg、制造成本为 30 美元和测试曲线呈现最佳下降时间这三个互斥的规格。实际上，根据开发团队最终选择产品概念细节的不同，需要建立这种互斥规格的情况也偶有发生。因此，这种初步设定的理想化规格称作“目标规格”，是开发团队的目标，代表开发团队认为会在市场上取得成功的产品。随着开发过程的进行，

开发团队会根据实际选择的产品概念对其进行更新。

建立目标规格过程包含以下 4 个步骤：

- (1) 准备度量指标清单
- (2) 收集竞争性标杆信息
- (3) 为每个度量指标设置理想值和临界可接受值
- (4) 对结果和过程进行反思

6.3.1 步骤 1：准备度量指标清单

最有用的度量指标应该能够直接反映产品满足顾客需求的程度，顾客需求和度量指标之间的联系是整个规格的中心。我们假设：顾客需求和一组精确可测量的规格之间是可以实现转换的，那么，满足规格就是满足相应的顾客需求。

图表 6-4 列出了度量指标清单。形成度量指标清单的最好办法是依次考察每种需求，并考虑哪种精确并且可度量的特征将反映这种产品满足相应需求的程度。在理想情况下，每种需求有且只有一种度量指标；而实际生产中，这种情况几乎不存在。

| 度量指标编号 | 需求 编 号 | 度 量 指 标 | 重 要 度 | 单 位 |
|--------|--------|-------------------|-------|-------|
| 1 | 1, 3 | 在 10Hz 时从车身到车把的衰减 | 3 | dB |
| 2 | 2, 6 | 弹簧预加载量 | 3 | N |
| 3 | 1, 3 | 来自 Monster 的最大值 | 5 | g |
| 4 | 1, 3 | 在测试曲线上最小下降时间 | 5 | s |
| 5 | 4 | 衰减系数调整范围 | 3 | N·s/m |
| 6 | 5 | 最大行程 (26in 的车轮) | 3 | mm |
| 7 | 5 | 倾斜量 | 3 | mm |
| 8 | 6 | 顶端的横向刚度 | 3 | kN/m |
| 9 | 7 | 总质量 | 4 | kg |
| 10 | 8 | 在制动枢纽处的横向刚度 | 2 | kN/m |
| 11 | 9 | “耳机”大小 | 5 | in |
| 12 | 9 | 转向管长度 | 5 | mm |
| 13 | 9 | 车轮大小 | 5 | List |
| 14 | 9 | 最大车胎宽度 | 5 | in |
| 15 | 10 | 安装到车架上的时间 | 1 | s |

图表 6-4 悬架度量指标清单。表中也显示了每种度量指标的相对重要度和单位，“Subj”是主观度量指标的缩写。

| 度量指标编号 | 需求编号 | 度量指标 | 重要度 | 单位 |
|--------|--------|------------------|-----|----------|
| 16 | 11 | 挡泥板兼容性 | 1 | List |
| 17 | 12 | 培养自豪感 | 5 | Subj |
| 18 | 13 | 单位制造成本 | 5 | US\$ |
| 19 | 14 | 喷水腔中无水进入的时间 | 5 | s |
| 20 | 15 | 泥腔中无泥进入的转数 | 5 | k-cycles |
| 21 | 16, 17 | 维修时拆卸 / 安装时间 | 3 | s |
| 22 | 17, 18 | 维修所需的特殊工具 | 3 | List |
| 23 | 19 | 使橡胶老化的 UV 测试持续时间 | 5 | hr |
| 24 | 19 | 失效前的 Monster 循环数 | 5 | Cycles |
| 25 | 20 | 日本工业标准测试 | 5 | Binary |
| 26 | 20 | 弯曲强度 (前部受载) | 5 | kN |

图表 6-4 (续)

例如，开发团队会认为，通过测量将悬架安装到车架上的时间，就能在很大程度上捕捉顾客对“悬架易于安装”的需求。但是，安装时间与安装的容易程度可以实现等同转换吗？也许会出现以下情况，即安装过程很快，但需要一系列复杂的徒手操作，而这些操作可能会导致工作人员受伤或者无从下手。由于转换过程的不精确性，建立规格有关的转换应该直接包含在顾客需求的确认过程中。这样可以使开发团队确定他们对每个需求描述的理解都是在和顾客进行直接交流的过程中获得的。

“减少悬架对用户手部的振动”。这种需求可能很难转换为一种单独的度量指标，因为各种振动的传输条件都有所不同，比如平坦路面上的小颠簸和陡峭山路上的大颠簸。开发团队也许会得出这样一个结论，即需要几种度量指标来满足这种需求。例如，“在 10Hz 时从车身到车把的衰减”和“来自 Monster 的最大值”这两种度量指标（“Monster”是《山地车》杂志使用的一种振动测试）。

图表 6-5 是一个简单的“需求 - 度量指标”矩阵 (needs-metrics matrix)，它可以在考虑所有顾客需求的基础之上，明确地表示出需求与度量指标之间的关系。矩阵的各行表示顾客需求，矩阵的各列表示度量指标。矩阵单元格中的标记表示该单元格对应的顾客需求与度量指标是彼此相关的。矩阵中的值将会影响产品满足顾客需求的程度。这个矩阵是质量屋 (house of quality) 的关键部分。质量屋是应用在质量功能展开 (Quality Function Development, QFD) (Hauser 和 Clausing, 1988) 中的一种图形技术。多数情况下，依据度量指标清单 (图表 6-4 中

的第2列)列出与对应度量指标相关的顾客需求数量。就可以获得“需求-度量指标”矩阵中的信息。但当顾客需求与度量指标之间的映射关系非常复杂时,这个能够直观代表映射关系的矩阵就会发挥非常重要的作用。

| 需求 | 度量指标 | |
|-------------------|------------------|----------|
| | 1 在10h后从车架到车把的衰减 | 2 单轴轴加速度 |
| 1 降低底部振动 | ● | |
| 2 能轻易慢速穿越险要地形 | ● | ● |
| 3 能在颠簸的小道高速下坡 | ● | ● |
| 4 调整灵活性 | | ● |
| 5 能保持自行车的操纵能力 | ● | ● |
| 6 急转弯时能够保持刚性 | ● | ● |
| 7 轻便 | | ● |
| 8 车闸装配点坚固 | | ● |
| 9 能和多种自行车、车轮和轮胎相配 | ● | ● |
| 10 易于安装 | ● | ● |
| 11 能和挡泥板一起使用 | | ● |
| 12 能培养自豪感 | | ● |
| 13 能被业余爱好者接受 | | ● |
| 14 防水 | | ● |
| 15 减噪 | | ● |
| 16 易于维修 | ● | ● |
| 17 易于更换损坏部件 | | ● |
| 18 能用常用工具进行维修 | | ● |
| 19 经久耐用 | | ● |
| 20 骑车时安全 | | ● |

图表 6-5 “需求-度量指标”矩阵

创建度量指标清单时,需要考虑以下几个标准:

- 度量指标应该是完整的。在理想情况下,每种顾客需求应该对应一个度量指标。并且该度量指标的值应能够很好地满足特定需求。而实际情况中,要完整地反映出某一种顾客需求可能会需要几个不同的度量指标。
- 度量指标应该是相互依赖的变量,而不是相互独立的变量。这个指导原则不同于第5章介绍的“什么-否则-怎样”原则。正如顾客需求,产品规格表明产品必须是

什么，而不表明如何实现这些规格。在产品开发过程中，设计者会用到许多类型的变量。有些变量是自 (dependent) 变量，比如悬架的质量；而有些变量则是因 (independent) 变量，比如悬架的材料。也就是说，设计者不能直接控制悬架的质量，因为质量取决于设计者在其他自变量上的选择，如大小尺寸或材料等。度量指标指的是一种产品的综合性能。因此，在设计一种产品时，应将它们视为自变量（如性能测试或输出变量）。对产品规格使用自变量，设计者就可以使用最佳方法自由地实现产品规格。

- 度量指标应该是有实际意义的。如果开发团队为自行车悬架设计了一种只能用科学实验室测量且需花费 100 000 美元的度量指标，那么这样做就没有任何实际意义。在理论上，度量指标应该是产品可直接观测或可分析的特性。开发团队可以轻易地对这种产品进行估价。
- 有些顾客需求不能轻易转化为可计量的度量指标。在注重“潮流”的山地车顾客群中，类似于“悬架能够培养自豪感”的需求可能很重要。但是，怎样将自豪感量化呢？在这种情况下，开发团队只需重复给出顾客对这种需求的陈述作为规格，并且注意这种度量指标是主观的，只能由这组顾客自己衡量（在“单位”列中，我们用“Subj”代表主观）。
- 在市场比较中，度量指标应该具有一个普遍认可的标准。许多顾客依据独立发行的评估资料在市场上购买产品，比如《热门科技》《消费者报告》《自行车》和《山地车》等杂志。如果开发团队知道商业媒体会评估自己的产品并了解其评估的标准，那么他们应将这些评价标准包含在自己产品的度量指标中。《山地车》杂志是用了一种名为 Monster 的测试机，可以测试装备有悬架的自行车车把的垂直加速性能。因此，开发团队将“Monster 的最大值”包含在度量指标之内。如果开发团队没有找到媒体所用的标准和自己确认的顾客需求之间的联系，那么他们应该确保没有忽略某些顾客需求或者是考虑是否应该和媒体一起修订标准。在某些情况下，开发团队会认为媒体对产品评价高本身就是一种顾客需求，因此，他们会选择媒体所用的度量指标，即使这种度量指标没有任何内在技术价值。

除了列出与度量指标相应的顾客需求外，图表 6-4 还包括测量单位以及每种度量指标的重要性。测量单位大多是常见的工程单位，比如千克 (kg)、秒 (s)，但有些度量指标自身无确定数值。“悬架与挡泥板相配”这种需求最好转换成一种规格，在规格中列出与悬架相配的挡泥板模型。在这种情况下，度量指标的值实际上是一个挡泥板清单而不是一个数字。对于设计标准安全测试的度量指标而言，这个值是“通过”或“失败”（在“单位”列中，我们以“清单”(list) 和“二选一”(binary) 来表示这两种情况）。

度量指标的重要度源于它所反映的顾客需求重要度。对于度量指标和顾客需求——对应的情况，需求的重要度就变成了度量指标的重要度。而对于一个度量指标应对多个顾客需求的情况，度量指标的重要度由与它相关的需求重要度及其关系的属性决定。我们认为在这个过程中，重要度可以通过开发团队成员间的讨论，而不是一个运算法则来决定。当产品规格较少而建立这些规格之间的相对重要度十分重要时，关联分析（conjoint analysis）十分有用。本章稍后将对关联分析加以介绍，有关关联分析的参考文献见本章最后列出的参考文献。

6.3.2 步骤 2：收集竞争性标杆信息

除非开发团队期望占据垄断地位，新产品和竞争性产品间的联系在界定商业成功中起着非常重要的作用。在开发团队怀着如何在市场中展开竞争的思想进行产品开发时，目标规格是一种语言，开发团队将用它来讨论和决定其产品相对于现有产品的具体定位，包括产品本身的定位和竞争者的定位。为了支持这些定位的准确性，必须收集相关竞争性产品的信息。

图表 6-6 所示为竞争性标杆分析图表实例。图表中的列为竞争性产品，行为第一步中建立的度量指标。值得注意的是，竞争性标杆分析图表可以作为简单的附件添加到度量指标的表格中（这种信息相当于 Hauser 和 Clausing 所著的《质量屋》(House of Quality) 中的一个“屋子”）。

| 度量指标编号 | 需求编号 | 度量指标 | 重要度 | 单位 | ST TriTrack | Marinay 2 | Rox Tahx Quadra | Rox Tahx Ti 21 | Tonka Pro | Gunhill Head Shox |
|--------|------|-------------------|-----|-------|----------------|--------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 1,3 | 在 10Hz 时从车身到车把的衰减 | 3 | dB | 8 | 15 | 10 | 15 | 9 | 13 |
| 2 | 2,6 | 弹簧预加载量 | 3 | N | 550 | 760 | 500 | 710 | 480 | 680 |
| 3 | 1,3 | 来自 Monster 的最大值 | 5 | g | 3.6 | 3.2 | 3.7 | 3.3 | 3.7 | 3.4 |
| 4 | 1,3 | 在测试曲线上的最小下降时间 | 5 | s | 13 | 11.3 | 12.6 | 11.2 | 13.2 | 11 |
| 5 | 4 | 衰减系数调整范围 | 3 | N·s/m | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 6 | 5 | 最大行程（26in. 的车轮） | 3 | mm | 28 | 48 | 43 | 46 | 33 | 38 |
| 7 | 5 | 倾斜量 | 3 | mm | 41.5 | 39 | 38 | 38 | 43.2 | 39 |
| 8 | 6 | 顶端的横向刚度 | 3 | kN/m | 59 | 110 | 85 | 85 | 65 | 130 |
| 9 | 7 | 总质量 | 4 | kg | 1.409 | 1.385 | 1.409 | 1.364 | 1.222 | 1.100 |
| 10 | 8 | 在制动枢纽处的横向刚度 | 2 | kN/m | 295 | 550 | 425 | 425 | 325 | 650 |

图表 6-6 基于度量指标的竞争性标杆分析图表

| 度量指标编号 | 需求编号 | 度量指标 | 重要度 | 单位 | ST Trittrack | Maniray 2 | Rox Tahx Quadra | Rox Tahx Ti .21 | Tonka Pro | Gunhill Head Shox |
|--------|-----------|----------------|-----|----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------|
| 11 | 9 | “耳机”大小 | 5 | in | 1,000 1,125 1,250 | 1,000 1,125 1,250 | 1,000 1,125 1,250 | 1,000 1,125 1,250 | 1,000 1,125 | NA |
| 12 | 9 | 转向管长度 | 5 | mm | 150 180 210 230 255 | 140 165 170 190 215 | 150 170 190 210 230 | 150 170 190 210 230 | NA | |
| 13 | 9 | 车轮大小 | 5 | List | 26 in | 26 in | 26 in | 26 in 700C | 26 in | 26 in |
| 14 | 9 | 最大车胎宽度 | 5 | in | 1.5 | 1.75 | 1.5 | 1.75 | 1.5 | 1.5 |
| 15 | 10 | 安装到车架上的时间 | 1 | s | 35 | 35 | 45 | 45 | 35 | 85 |
| 16 | 11 | 挡泥板兼容性 | 1 | List | Zefal | 无 | 无 | 无 | 无 | 全部 |
| 17 | 12 | 培养自豪感 | 5 | Subj | 1 | 4 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| 18 | 13 | 单位制造成本 | 5 | US\$ | 65 | 105 | 85 | 115 | 80 | 100 |
| 19 | 14 | 喷水腔中无水进入的时间 | 5 | s | 1300 | 2900 | >3600 | >3600 | 2300 | >3600 |
| 20 | 15 | 泥腔中无泥进入的转数 | 5 | k-cycles | 15 | 19 | 15 | 25 | 18 | 35 |
| 21 | 16, 17 | 维修时拆卸/安装时间 | 3 | s | 160 | 245 | 215 | 245 | 200 | 425 |
| 22 | 17, 18 | 维修所需的特殊工具 | 3 | List | Hex. | Hex | Hex | Hex | Long Hex | Hex, pin wrench |
| 23 | 19 | 使橡胶老化的UV测试持续时间 | 5 | hr | 400+ | 250 | 400+ | 400+ | 400+ | 250 |
| 24 | 19 | 失效前的Monster循环数 | 5 | Cycles | 500k+ | 500k+ | 500k+ | 480k | 500k+ | 330k |
| 25 | 20 | 日本工业标准测试 | 5 | Binary | 通过 | 通过 | 通过 | 通过 | 通过 | 通过 |
| 26 | 20 | 弯曲强度(前部受载) | 5 | kN | 5.5 | 8.9 | 7.5 | 7.5 | 6.2 | 10.2 |

图表 6-6 (续)

上述图表概念非常简单，我们只需将每一种竞争性产品的度量指标值都记录到同一列中。但收集这些数据要耗费大量时间，至少要涉及大多数竞争性产品的购买、测试、拆卸和产品成本的估计过程。然而，即使这个过程费时费力也必须进行，因为产品开发团队不具备这些信息就不能取得成功。值得注意的是，竞争者目录和相关文献中包含的数据可能是不正确的，

因此，开发团队应该通过独立测试或观察对关键的度量指标值进行核实。

用行代表相应的顾客需求，列代表相应的竞争性产品，就可以创建一个竞争标杆分析图表（见图表 6-7）。这个图表可以用来比较顾客对产品满足其需求程度的理解。创建这个图表需要收集顾客洞察力数据。这个过程也需耗费很多的物力和精力。Urban 和 Hauser (1993) 的书里具体讲述了测试顾客关于满足需求的洞察力的相关知识。对开发团队来说，以上两张图表都非常重要，并且两表之间的任何差别都是值得研究的。即使无法创建竞争性标杆图表（图表 6-7），至少应该创建度量指标竞争值图表（图表 6-6）。

| 编 号 | 需求 | 重 要 度 | ST Tritrack | Manray 2 | Rox Tahx Quadra | Rox Tahx Ti 21 | Tonka Pro | Gunhill Head Shox |
|--------|-----------------|-------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| 1 | 降低手部振动 | 3 | * | **** | ** | **** | ** | *** |
| 2 | 能轻易慢速穿越险要地形 | 2 | ** | **** | *** | ***** | *** | **** |
| 3 | 能在颠簸的小道高速下坡 | 5 | * | ***** | ** | ***** | ** | *** |
| 4 | 能调整灵活性 | 3 | * | **** | ** | ***** | ** | **** |
| 5 | 能保持自行车的操纵能力 | 4 | **** | ** | * | ** | **** | **** |
| 6 | 急转弯时能够保持刚性 | 4 | * | *** | * | ***** | * | **** |
| 7 | 轻便 | 4 | * | *** | * | *** | *** | **** |
| 8 | 车闸装配点坚固 | 2 | * | **** | *** | *** | **** | ** |
| 9 | 能和多种自行车、车轮和轮胎相配 | 5 | **** | **** | *** | **** | *** | * |
| 10 | 易于安装 | 1 | **** | **** | *** | **** | **** | * |
| 11 | 能和挡泥板一起使用 | 1 | *** | * | * | * | * | **** |
| 12 | 能培养自豪感 | 5 | * | **** | *** | **** | *** | **** |
| 13 | 能被业余爱好者接受 | 5 | **** | * | *** | * | *** | ** |
| 14 | 防水 | 5 | * | *** | *** | *** | ** | **** |
| 15 | 减噪 | 5 | * | *** | * | *** | ** | **** |
| 16 | 易于维修 | 3 | **** | **** | *** | *** | **** | * |
| 17 | 易于更换坏损部件 | 1 | **** | **** | *** | *** | **** | * |
| 18 | 能用常用工具进行维修 | 3 | **** | **** | **** | **** | ** | * |
| 19 | 经久耐用 | 5 | **** | **** | **** | *** | **** | * |
| 20 | 撞车时安全 | 5 | **** | **** | **** | **** | **** | **** |

图表 6-7 基于需求满意度的竞争性标杆分析图表（圆点越多，需求满足的程度越高）

6.3.3 步骤 3：为每个度量指标设置理想值和临界可接受值

为了给度量指标设置目标值，开发团队要对可利用的信息进行综合。其中有两种目标值最有用：一种是理想值（ideal value），另一种是临界可接受值（marginally accepted value）。理想值是开发团队期望的最好结果；临界可接受值是刚好能使产品具有商业可行性的度量指标值。这两种目标可以指导概念生成和概念选择的后续阶段，并在选择产品概念之后精确确定规格。

表达度量指标值的方法有 5 种。

- 不小于 X：这些规格组成了度量指标的下限，该值越高，结果越好。例如，车闸装配刚度值定为不小于 325kN/m。
- 不大于 X：这些规格组成度量指标的上限。该值越小越好。例如，悬架重量不超过 1.4kg。
- 在 X 和 Y 之间：这些规格组成度量指标的上限值和下限值。例如，弹簧预载量设定在 480 ~ 800N 之间。该值大于 800N，弹簧就会过载；而小于 480N，弹簧就太松。
- 恰好为 X：这些规格组成某个度量指标的特定值。如果实际值和该值有偏差，系统性能就会降低。例如，“倾斜量”这个度量指标的理想值设为 38mm。但如非必要，应避免使用这种类型的规格，因为这类规格会从根本上约束产品设计。可以将其替换为“在 X 和 Y 之间”这种方式的规格。
- 一组离散值：有些度量指标可以取几个离散值，如“耳机”直径可以是 1.000in[⊖]、1.125in、1.250in（在工业生产中，这些尺寸和自行车的某些关键尺寸使用英制单位）。

一个度量指标的期望值可能会依赖另一个度量值，如“悬架顶端横向刚度不超过车闸枢轴处横向刚度的 20%”。当开发团队有把握保证这种复杂的说明时，可以设定这种目标。但在制定规格的精确值之前，不建议引入这种复杂表述。

开发团队可以使用上述 5 种不同类型的度量指标设置目标规格，列出度量指标清单，并为每一个度量指标制定理想值和临界可接受值。图表 6-6 所示基于度量指标的竞争性标杆分析图表有助于开发团队做出这些决策。为了设置目标值，开发团队需要进行许多方面的考虑，如现在可用竞争性产品的性能、竞争者未来产品的性能以及产品任务陈述和目标市场部分。图表 6-8 列出了为悬架制定的目标。

| 度量指标编号 | 需求编号 | 度量指标 | 重要度 | 单位 | 临界值 | 理想值 |
|--------|--------|-------------------|-----|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 1, 3 | 在 10Hz 时从车身到车把的衰减 | 3 | dB | >10 | >15 |
| 2 | 2, 6 | 弹簧预加载量 | 3 | N | 480~800 | 650~700 |
| 3 | 1, 3 | 来自 Monster 的最大值 | 5 | g | <3.5 | <3.2 |
| 4 | 1, 3 | 在测试曲线上的最小下降时间 | 5 | s | <13.0 | <11.0 |
| 5 | 4 | 衰减系数调整范围 | 3 | N·s/m | 0 | >200 |
| 6 | 5 | 最大行程 (26in 的车轮) | 3 | mm | 33~50 | 45 |
| 7 | 5 | 倾斜量 | 3 | mm | 37~45 | 38 |
| 8 | 6 | 顶端的横向刚度 | 3 | kN/m | >65 | >130 |
| 9 | 7 | 总质量 | 4 | kg | <1.4 | <1.3 |
| 10 | 8 | 在制动枢纽处的横向刚度 | 2 | kN/m | >325 | >650 |
| 11 | 9 | “耳机”大小 | 5 | in | 1.000 1.125 1.250 | 1.000 1.125 1.250 |
| 12 | 9 | 转向管长度 | 5 | mm | 150 170 190 210 230 | 150 170 190 210 230 |
| 13 | 9 | 车轮大小 | 5 | List | 26 in | 26 in |
| 14 | 9 | 最大车胎宽度 | 5 | in | >1.5 | >1.75 |
| 15 | 10 | 安装到车架上的时间 | 1 | s | <60 | <35 |
| 16 | 11 | 挡泥板兼容性 | 1 | List | 无 | 全部 |
| 17 | 12 | 培养自豪感 | 5 | Subj | >3 | >5 |
| 18 | 13 | 单位制造成本 | 5 | USS | <85 | <65 |
| 19 | 14 | 喷水腔中无水进入的时间 | 5 | s | >2300 | >3600 |
| 20 | 15 | 泥腔中无泥进入的转数 | 5 | k-cycles | >15 | >35 |
| 21 | 16, 17 | 维修时拆卸 / 安装时间 | 3 | s | <300 | <160 |
| 22 | 17, 18 | 维修所需的特殊工具 | 3 | List | Hex | Hex |
| 23 | 19 | 使橡胶老化的 UV 测试持续时间 | 5 | hr | >250 | >450 |
| 24 | 19 | 失效前的 Monster 循环数 | 5 | Cycles | >300k | >500k |
| 25 | 20 | 日本工业标准测试 | 5 | Binary | 通过 | 通过 |
| 26 | 20 | 弯曲强度 (前部受载) | 5 | kN | >7.0 | >10.0 |

图表 6-8 目标规格：和其他信息一样，作为规格清单的简单扩展，用电子表格可以轻松为系统编码。

由于大多数数值是根据边界（大于、小于或两者都有）来描述的，因此开发团队创建的是竞争性产品的可行空间边界。开发团队希望产品能符合理想目标值，不过，即使一个产品具有一种或多种临界特性，开发团队对其商业价值也是有信心的。需要注意的是，这些规格并不精确，因为在选择产品概念并确定设计细节之前，许多指标都是不确定的。

6.3.4 步骤 4：对结果和过程进行反思

开发团队需要进行一些迭代（iteration）以确定目标，并在每一个迭代过程后进行反馈，这样做有助于确保结果与项目的目标保持一致。需要考虑的问题有以下几个。

- 团队成员之间是否存在“博弈”？例如，市场营销负责人强调需要加强某个特殊度量指标值以实现更高的目标，而实际上，开发团队要实现的目标比他强调的更具现实性且意义更大，这种情况下该怎么办？
- 为了满足不同市场区域的特殊顾客需求，开发团队是否应考虑开发多种产品或至少提供多样的产品型号，还是只满足不同顾客对“平均”产品的需要呢？
- 规格有缺失吗？规格能反映使产品获得商业成功的特征吗？

一旦目标设定，开发团队就会继续生成产品概念。目标规格能帮助开发团队选择产品概念，还能帮助他们确认概念的商业可行性（见第 7 章和第 8 章）。

6.4 确定最终规格

目标规格只是开发团队在产品开发的初始阶段对目标进行的大体描述，通常并不精确。因此，开发团队在进行产品概念选择并准备随后的设计开发过程时，会对目标规格进行修正。

选定最终的产品规格是困难的，由于在某两个规格之间很可能存在固有的相反关系，因此需要进行权衡；通常，不同的技术特性度量指标之间，以及技术特性度量指标与成本之间需要进行权衡。例如，需要权衡车架装配刚度和悬架的质量，根据悬架结构的基本原理，假定其他条件保持不变时，这些规格是负相互的；此外，成本和质量之间也需要权衡，开发团队可以用钛代替钢来制造部件以减少悬架的质量，但这样会增加其制造成本。修正规格的难点在于选择什么样的方式来解决这种权衡问题。

这里，我们提出由以下五个步骤组成的过程方法：

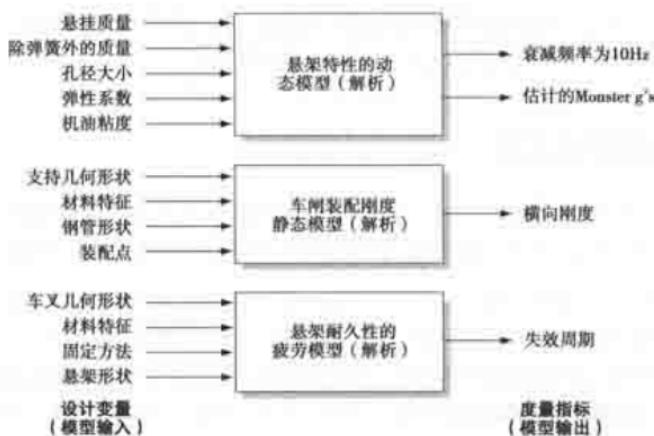
（1）开发产品的技术模型

- (2) 开发产品的成本模型
- (3) 修正规格，必要时进行权衡分析
- (4) 确立合理的规格
- (5) 对结果和过程进行反思

6.4.1 步骤 1：开发产品的技术模型

产品技术模型是一种针对特殊设计决策的工具，可以用来预测决策中度量指标的值。我们用模型（model）表示产品的解析近似值和物理近似值（有关模型的进一步讨论，参见第14章）。

在为悬架选择了润滑油 - 控制卷曲弹簧的概念后，开发团队面临的设计决策包括：结构组件的材料、衰减器的孔径大小、机油黏度以及弹性系数等细节。图表6-9给出了三种将设计决策与特性度量指标联系起来的模型。依据尺寸大小，可以用这三种模型预测产品的性能。模型的输入是与产品概念相关的设计变量（如机油黏度、孔径大小、弹性系数和几何形状），模型的输出是度量指标值（如衰减、刚性和疲劳时间）。



图表6-9 用于估计技术可行性的模型（技术模型可以是产品概念的解析或物理近似值）

开发团队可以通过完善电子表格或计算机仿真模型来准确分析产品模型。不需要花费高额试验费用，开发团队就可以快速确定一个特殊设计变量具有的特性。在大多数情况下，可以对度量指标中的小部分使用解析模型。如采用动态系统的工程知识，开发团队可以分析衰减模型。

当每一个独立模型都与一个度量指标子集相对应时，几个独立模型会比庞大的综合模型更具有可操作性。例如，开发团队为车闸装配刚度设计独立的解析模型，其中的装配刚度与用于描述振动衰减的动态模型完全独立。此外，在某种情况下，采用解析模型是不可行的。例如，开发团队对悬架疲劳特性的确认，是不能采用解析模型的，此时需创建物理模型，并对它进行测试。开发团队通常需要实际创建多种类型的物理实验模型或样本，这样才可以应用设计变量的组合。创建物理模型时，为减少模型的数量，利用实验设计（Design-Of-Experiment, DOE）的技术是非常重要的，因为它可以使大型实验数目降到最小（见第 15 章）。

应用这些技术模型，开发团队可以通过探索不同的设计变量组合，预测任何一组特殊的规格（如理想目标值）在技术上是否可行。这种建模和分析方法可以防止开发团队将那些在产品概念可用范围内不可行的规格组合在一起。

值得注意的是，与特殊产品概念相对应的技术模型通常是唯一的。图表 6-9 列出了一种机油 - 衰减悬架系统模型；如果开发团队选择的是一个包含橡胶悬架组件的概念，那么这个模型会发生很大的变化。因此，只有在选择产品概念后才能创建该模型。

6.4.2 步骤 2：开发产品的成本模型

该步骤的目标是确保产品能以目标成本生产出来。目标成本是公司将产品以具有竞争力的价格提供给顾客并依然有足够利润时的制造成本。本章附录提供了对于目标成本的详细解释。例如，在这一步中，开发团队试图明确的是降低 50 克质量的话，需要增加多少制造成本。

对于大多数产品而言，可以通过列出材料清单（一张包括所有组件的清单）并估计每一个组件的购买价格来完成对产品制造成本的初步估计。在这个阶段，开发团队通常并不能确定产品中的所有组件，他们只是尽可能地列出所需要的所有组件。虽然早期的估计一般集中在组件成本上，但开发团队依然要对组装和其他制造成本（如一般管理费）进行估算。这些早期成本估算包括估算来自外部供应商零件的成本以及公司自己制造零部件的成本。通常情况下这个过程是由专业采购人员和产品工程师协助完成的。图表 6-10 列出了悬架的材料清单成本模型（制造成本的详细介绍，见第 13 章）。

记录成本信息的一种有效方法是为每个条目列出最高估计值和最低估计值。这有助于开发团队在估计过程中理解不确定的范围。材料清单通常要重复使用：开发团队为每一组设计决策进行“如果……该怎么办”的成本分析，接着根据已获得的信息修正这一决策。材料清单本身就是一种性能模式。但是，它并不能表示技术性能度量指标值，它表示的是成本特性。在整个开发过程中，材料清单都发挥重大作用并且不断更新（每周更新一次），这样就可以反映估

计制造成本的当前状况。

| 组 件 | 数 量 / 悬架 | 最 高 单 价 (美 元) | 最 低 单 价 (美 元) | 最 高 总 价 (美 元 / 悬架) | 最 低 总 价 (美 元 / 悬架) |
|-----------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 转向管 | 1 | 2.50 | 2.00 | 2.50 | 2.00 |
| 齿冠 | 1 | 4.00 | 3.00 | 4.00 | 3.00 |
| 导入装置 | 2 | 1.00 | 0.75 | 2.00 | 1.50 |
| 下部管 | 2 | 3.00 | 2.00 | 6.00 | 4.00 |
| 下部管上表面 | 2 | 2.00 | 1.50 | 4.00 | 3.00 |
| 主前缘密封装置 | 2 | 1.50 | 1.40 | 3.00 | 2.80 |
| 滑行刷 | 4 | 0.20 | 0.18 | 0.80 | 0.72 |
| 滑行刷逆电流器 | 2 | 0.50 | 0.40 | 1.00 | 0.80 |
| 下部管塞 | 2 | 0.50 | 0.35 | 1.00 | 0.70 |
| 上部管 | 2 | 5.50 | 4.00 | 11.00 | 8.00 |
| 上部管端盖 | 2 | 3.00 | 2.50 | 6.00 | 5.00 |
| 上部管调节手柄 | 2 | 2.00 | 1.75 | 4.00 | 3.50 |
| 调节移动杆 | 2 | 4.00 | 3.00 | 8.00 | 6.00 |
| 弹簧 | 2 | 3.00 | 2.50 | 6.00 | 5.00 |
| 上部管孔帽 | 1 | 3.00 | 2.25 | 3.00 | 2.25 |
| 孔弹簧 | 4 | 0.50 | 0.40 | 2.00 | 1.60 |
| 车闸螺栓 | 2 | 0.40 | 0.35 | 0.80 | 0.70 |
| 车闸曲柄带 | 2 | 0.25 | 0.20 | 0.50 | 0.40 |
| 车闸曲柄 | 1 | 5.00 | 3.50 | 5.00 | 3.50 |
| 润滑油(升) | 0.1 | 2.50 | 2.00 | 0.25 | 0.20 |
| 各种卡环、O环 | 10 | 0.15 | 0.10 | 1.50 | 1.00 |
| 表面处理(贴花轴法) | 4 | 0.25 | 0.15 | 1.00 | 0.60 |
| 安装费(20美元/h) | | 30min | 20min | 10.00 | 6.67 |
| 一般管理费(直接成本的25%) | | | | 20.84 | 15.74 |
| 总计 | | | | 104.19 | 78.68 |

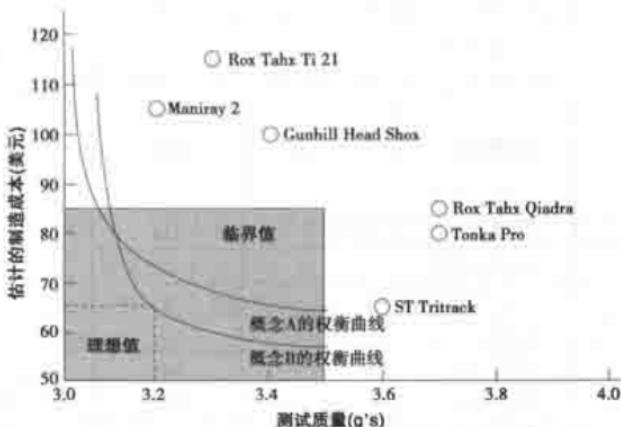
图表 6-10 成本估计的材料清单(这种成本模型可以进行早期成本估计,有助于对产品规格进行较为真实的权衡)

在开发过程中,如果开发团队设计包含几百甚至几千个部件的复杂产品,则不能将每一个组件都包含在材料清单中;取而代之,开发团队只列出主要的组件和子系统,并根据以往的经验或者供应商的判断来分配其成本。

6.4.3 步骤 3：修正规格，必要时进行权衡分析

一旦开发团队创建了技术特性模型和初步成本模型，就可以对规格进行修正。修正规格的过程可以由小组会议来完成，通过使用技术模型确定可行的组合值，然后探索成本范围。通过迭代的方式，开发团队将花费大部分精力，以在竞争产品中取得最受人们欢迎的地位、最大程度满足顾客需求并确保足够利润的规格。

如图表 6-11 所示，支持这种决策过程的一个重要工具是竞争性分析图（competitive map）。依据从度量指标中选择的两个维度，该图是竞争性产品的散点图。竞争性分析图有时也被称作权衡图。图表 6-11 中的分布图显示了估计的制造成本与 Monster 得分之间的关系。这个分布图显示了临界值和理想值的定义范围。在实际估计制造成本高的高性能悬架（低 Monster 值）时，这个分布图尤其有用。将技术性能模型和成本模型作为辅助工具，开发团队可以估计自己是否能处理竞争性分析图中显示的权衡问题。



图表 6-11 估计的制造成本与 Monster 测试的得分之间的竞争性分析图。该图也显示了这两种概念性能的权衡曲线

使用电子表格的绘图功能，可以直接用竞争基准图所含数据创建这种分布图。一般来说，开发团队会为少数临界度量指标准备 3~4 个这种分布图。要想支持随后的决策，可能还需要创建其他分布图。

竞争性分析图用于新产品在竞争中的定位。权衡曲线表示产品概念相对于一定设计变量范围的性能，在竞争性图中直接给出，如图表 6-11 所示。通过使用产品的技术模型和成本模型

以及竞争性分析图，开发团队能够不断修正规格，这样既可以满足产品概念自身的约束，又可以为竞争产品提供一种更具优势的性能以解决权衡问题。图表 6-12 显示了悬架的最终规格。

| 编 号 | 度量指标 | 单 位 | 值 |
|-----|-------------------|----------|----------------|
| 1 | 在 10Hz 时从车身到车把的衰减 | dB> | 12 |
| 2 | 弹簧预加载量 | N | 600~650 |
| 3 | 来自 Monster 的最大值 | g | <3.4 |
| 4 | 在测试曲线上的最小下降时间 | s | <11.5 |
| 5 | 衰减系数调整范围 | N·s/m | >100 |
| 6 | 最大行程 (26in 的车轮) | mm | 43 |
| 7 | 倾斜量 | mm | 38 |
| 8 | 顶端的横向刚度 | kN/m | >75 |
| 9 | 总质量 | kg | <1.4 |
| 10 | 在制动枢纽处的横向刚度 | kN/m | >425 |
| 11 | “耳机”大小 | in | 1.000 1.125 |
| 12 | 转向管长度 | mm | 150 |
| | | | 170 |
| | | | 190 |
| | | | 210 |
| | | | 230 |
| 13 | 车轮大小 | List | 26 in. |
| 14 | 最大车胎宽度 | in | >1.75 |
| 15 | 安装到车架上的时间 | s | <45 |
| 16 | 挡泥板兼容性 | List | Zefal |
| 17 | 培养自豪感 | Subj | >4 |
| 18 | 单位制造成本 | US\$ | <80 |
| 19 | 喷水腔中无水进入的时间 | s | >3600 |
| 20 | 泥腔中无泥进入的转数 | k-cycles | >25 |
| 21 | 维修时拆卸 / 安装时间 | s | <200 |
| 22 | 维修所需的特殊工具 | List | Hex |
| 23 | 使橡胶老化的 UV 测试持续时间 | hr | >450 |
| 24 | 失效前的 Monster 循环数 | Cycles | >500k |
| 25 | 日本工业标准测试 | Binary | 通过 |
| 26 | 弯曲强度 (前部受载) | kN | >10.0 |

图表 6-12 最终规格

对于相对成熟的产品种类，竞争产品的性能度量指标已经广为人知，关联分析（conjoint analysis）对于修正规格十分有用。该方法是用顾客调查数据构建一个顾客偏好模型，实际上潜在顾客样本中的每项回答都会反复用于评估由一系列属性所描述的假想产品特征。这些属性须是易于顾客理解的度量指标（如燃油经济性和汽车的价格）。主观性属性（如样式）可以用图像表示。假想产品可以用实验设计的统计技术来构建。关联分析可以依据顾客的反应推断出每种属性对顾客的相对重要程度。在提供一系列备选假象产品时，利用这些数据可以预测顾客的选择。对抽样的所有样本潜在顾客进行预测，可以初步确定各个备选产品的市场份额。使用该方法，可以估计出能使产品占有市场份额最大的产品规格值。关联分析的原理十分简单，详见本章参考文献。

6.4.4 步骤 4：确立合理的规格

本章主要关注单独小型开发团队设计相对简单的组件规格的过程。当涉及由不同团队设计的多个子系统复杂产品时，建立规格显得格外重要且具有挑战性。在这种情况下，产品规格用以定义每个子系统以及整体产品的开发目标，并按照每个子系统的规格来确定整个系统的规格。例如，一辆汽车整体规格的度量指标包括燃油经济性、0~100km/h 加速时间、转弯半径。但是组成汽车的几十个子系统（如车身、发动机、传动装置、刹车系统和悬挂装置），也必须制订相应的规格。发动机规格的度量指标包括最大功率、最大扭矩、最大功率下的耗油量。确立规格的难点之一是要确保子系统的规格能够切实反映产品整体的规格——即确保实现子系统的规格时，整体规格就会实现。第二个难点在于确保不同子系统的特定规格的实现难度相当。也就是说，发动机的质量规格与车身的质量规格实现难度相差不应过大。否则，产品制造成本可能过高。

一些整体性的规格可以通过预算分配（budget allocation）来建立。例如，确信产品的整体成本、重量和能耗仅仅是各子系统的总和，那么制造成本、重量和能耗规格也可以按这样分配给子系统。在某种程度上，几何量也可以这样分配。其他规格必须在了解了子系统的性能与整体产品性能的关系之后确定。例如，燃烧效率是一个与汽车质量、旋转阻力、空气动力阻力系数、正面面积和发动机效率相关的复杂函数。建立车身、轮胎和发动机的规格需要就这些变量与整体燃料效率的关系建模。

确定复杂产品规格的综合性策略是系统工程的一个主要研究领域，详见本章参考文献。

6.4.5 步骤 5：对结果和过程进行反思

通常，本方法的最后一步是对结果和过程进行反思。需要考虑的问题有：

- 产品能获得成功吗？产品概念应该允许开发团队用以下思路设定规格，即产品应满足顾客需求并且具有较强的竞争力。如果不满足这个条件，开发团队应该返回到概念生成和选择阶段，或者放弃这个项目。
- 技术模型和成本模型具有多大的不确定性？如果描述竞争成功的度量指标具有许多不确定性，那么开发团队会对技术模型或成本模型进行修正。这样就可以增加开发团队满足规格的信心。
- 开发团队选择的概念能很好地适合目标市场吗？它能很好地应用于另一个市场（例如，上限或下限而不是中间值）吗？实际过程中会生成一些很好的产品概念，如果开发团队生成一种大大优越于竞争性产品的概念，那么他们会将这个概念应用在具有更多需求和更大利润潜力的市场中。
- 公司应该开发有关产品性能方面更好的技术模型以供将来之用吗？有时，开发团队会发现自己不能真正理解产品技术，不足以创建有用的性能模型。在这种情况下，努力增强理解力并开发更好的模型将有益于后续的开发项目。

6.5 小结

顾客需求通常以“顾客语言”来表述。为了给设计和管理产品提供具体的指导，开发团队创建了简洁明了的规格，准确细致地描述了产品要实现哪些功能以获得商业上的成功。规格能够反映顾客需求、有别于竞争产品并且在技术和经济上具有可行性。

- III
- 通常，至少应创建两次规格。识别顾客需求后，开发团队立即设置目标规格；选择并测试产品概念后，确定最终规格。
 - 目标规格代表开发团队的期望。但是这些规格是在开发团队了解产品技术对所能取得成功的约束之前建立的，有些规格也许不能满足，而有些规格也可能会被超越。这取决于开发团队最终选择的产品概念细节。
 - 创建目标规格的流程包括 4 步：
 - (1) 准备度量指标清单
 - (2) 收集竞争性标杆信息
 - (3) 为每个度量指标设置理想值和临界可接受值

(4) 对结果和过程进行反思

- 可以使用解析模型和物理模型估计实际技术约束和期望产品成本，通过这种方法可以确定最终规格。在修正过程中，开发团队必须在各种期望的产品特性间进行权衡。
- 修正规格的 5 步过程是：
 - (1) 开发产品的技术模型
 - (2) 开发产品的成本模型
 - (3) 修正规格，必要时进行权衡分析
 - (4) 确立合理的规格
 - (5) 对结果和过程进行反思
- 确立规格的流程可以由几个简单的信息系统辅助完成，使用常规的电子表格软件就可以轻松地创建这些信息系统。度量指标清单、“客户需求 - 度量指标”矩阵、竞争标杆分析图表以及竞争性分析图等工具，都能够支持开发团队进行关于描述和确定规格的决策。
- 由于需要尽可能多地利用市场知识、顾客知识、核心产品技术以及可选择方案的成本信息，确立规格的过程要求团队的市场营销人员、设计人员、产品制造人员积极参与。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

将顾客需求转换成规格的过程也可以由质量功能展开法完成，Hauser 和 Clausing 在著作中清楚地阐释了质量功能展开和质量屋的核心思想。

Hauser, John, and Don Clausing, "The House of Quality", *Harvard Business Review*, Vol.66, No.3, May-June 1988, pp.63-73.

Urban 和 Hausing 阐述了几种有关选择产品分配组合，以最大程度满足顾客需求的方法，其中的某些方法可以为本章的常用方法提供强有力的支持。

Urban, Glen, and John Hauser, *Design and Marketing of New Product*, second edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Ramaswamy 和 Ulrich 详细地阐述了如何在设置规格的过程中使用工程模型，与之相比，传统的质量屋方法就显现了一些不足。

Ramaswamy, Rajan, and Karl Ulrich, "Augmenting the House of Quality with Engineering Models", *Research in Engineering Design*, Vol.5, 1994, pp.70-79.

许多市场营销研究教材讨论了关联分析，以下列举其中两本。

Aaker, David A., V. Kumar, and George S. Day, *Marketing Research*, sixth edition, John Wiley&Sons, New York, 1997.

Conjoint Analysis: A Guide for Designing and Interpreting Conjoint Studies, American Marketing Association, June 1992.

下列著作完整讨论了系统工程和建立规格。

Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, International Council on Systems Engineering, October 2001.

Rechtin, Eberhardt, and Mark W. Maier, *The Art of Systems Architecting*, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2000.

更多关于目标成本的介绍可以在 Cooper 和 Slagmulder 的文章中获得。

Cooper, Robin, and Regine Slagmulder, "Develop Profitable New Products with Target Costing", *Sloan Management Review*, Vol. 40, No.4, Summer 1999, pp. 23-33.

练习

1. 对于“钢笔书写流畅”这一需求，列出一个度量清单。
2. 为“可使用多年的屋顶材料”这一需求，设计一种度量指标和相应的测试。
3. 对不同产品进行权衡时，会涉及某些相同的度量指标，请给出相应的例子。

思考题

1. 你怎样为诸如“前悬挂装置看起来很好”这样不明确的需求建立精确并可测量的规格？
2. 为什么有些顾客需求很难用单一的度量指标来衡量？
3. 你怎样解释这样的情形，即顾客对于一些竞争性产品的理解（如图表 6-7）与这些产品的度量指标不相符？
4. 一种规格的低性能总能被其他规格的高性能所补偿吗？如果是这样，是否真的存在度量指标的“边际接受”价值？
- 113 5. 为什么独立设计变量不能成为度量指标？

附录 设定目标成本

设定目标成本的想法很简单：确定制造成本规格的价值，其取决于公司希望顾客最终支付的产品价格，以及分销渠道各环节的边际利润。例如，假定 Specialized 公司希望通过自行车商店向顾客销售其悬架。如果它希望顾客最终支付的价格是 250 美元，并且自行车商店希望的毛利率（gross profit margin）率为 45%，那么 Specialized 公司将以 $137.50 \times ((1 - 0.45) \times 250)$ 美元的价格将其产品出售给自行车商店。如果 Specialized 公司希望其产品元件的毛利率至少为 40%，那么其单位制造成本必须低于 $82.5 \times ((1 - 0.40) \times 137.5)$ 美元。

设定目标成本与成本加成（cost-plus）的定价方法原理上正好相反。成本加成方法从公司希望其制造成本为多少开始，然后将其预期利润加到成本上制定价格。这种方法忽视了竞争市场的现实，即竞争市场中的价格是由市场和顾客因素来驱动的。目标成本是一种机制，可以确保设定的规格使产品在市场中具有竞争力的价格。

有些产品是由制造者直接出售给消费者的，但产品通常要通过一个或多个中间环节来销售，如分销商和零售商。如图表 6-13 所示为不同种类产品的大致目标毛利率。

令 M 代表分销渠道中一个环节的毛利率。

$$M = (P - C) / P$$

这里， P 是这一环节对其顾客的要价， C 是这一环节为其产品支付的成本（注意加价（make-up）与毛利率相似，但定义不同，是 $P/C - 1$ 。毛利率为 50% 相当于加价 100%）。

目标成本 C 由下式给出：

$$C = P \prod_{i=1}^n (1 - M_i)$$

这里， P 是最终顾客支付价格， n 是分销渠道中环节的个数， M_i 是第 i 个环节的毛利率。

举例

假定最终顾客价格 P 为 250 美元。

如果产品由制造商直接销售给最终顾客，制造商的预期毛利率 M_m 为 0.40，那么目标成本为：

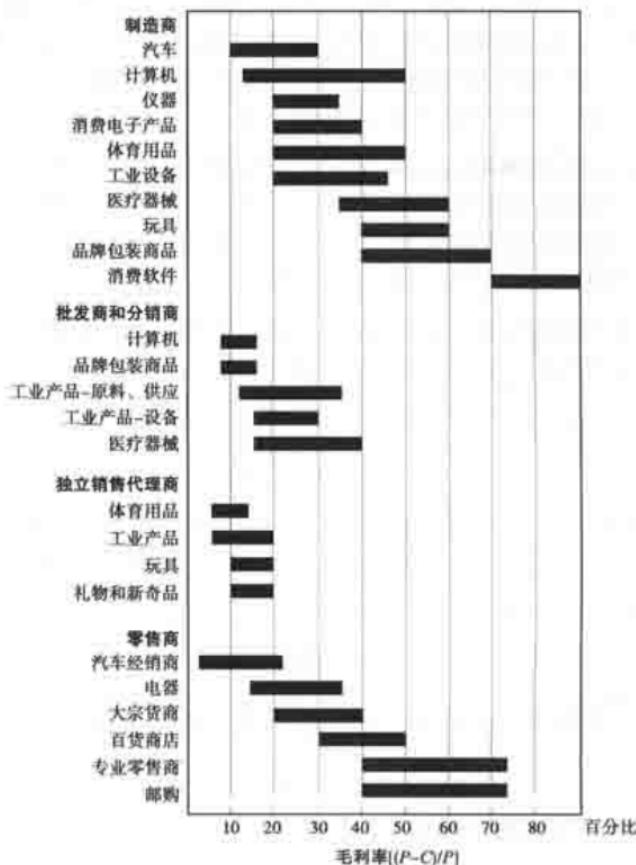
$$C = P (1 - M_m) = 250 \times (1 - 0.40) = 150 \text{ (美元)}$$

如果产品通过一个零售商来销售，零售商的预期毛利率 M_r 为 0.45，那么：

$$C = P(1 - M_m)(1 - M_r) = 250 \times (1 - 0.40) \times (1 - 0.45) = 82.50 \text{ (美元)}$$

如果产品通过一个分销商和一个零售商来销售，分销商的预期毛利率 M_d 为 0.20，那么：

$$C = P(1 - M_m)(1 - M_d)(1 - M_r) = 250 \times (1 - 0.40) \times (1 - 0.20) \times (1 - 0.45) = 66.00 \text{ (美元)}$$



图表 6-13 制造商、批发商、分销商、销售代理商和零售商的大致毛利率。注意这些值只是很粗略的估计，实际的毛利润率取决于许多特殊因素，包括竞争强度、销售数量和所需顾客支持水平。销售代理商是领取佣金的，因此不属于严格意义上的分销渠道。不过团队在进行目标成本分析时可以对佣金予以说明。

第7章

概念生成



(Stanley Works 公司授权)

图表 7-1 无线电动钉枪

某建筑用“钉枪”开发团队受 Stanley-Bostitch 公司总裁的指示去开发一种用于屋顶装修的新型手提式钉枪。图表 7-1 所示是该团队开发的最终产品。除了要满足钉入常规钉子这一基本功能之外，该开发团队还需要广泛寻找其他的产品概念。在确认顾客需求并建立目标产品的规格之后，该开发团队面临着如下问题：

- 现有的哪些产品概念（如果有的话）可以满足要求？
- 有什么新的产品概念可以满足既定要求和规格？
- 什么方法可以促进生成产品概念？

7.1 概念生成概述

产品概念是对产品的技术、工作机理和形式的大致描述，能简要地说明该产品如何满足顾客需求，通常采用草图、三维模型表示并附带简要的文字描述。产品概念的质量在很大程度上决定了该产品是否满足顾客需求并实现商业化的程度。好的产品概念在后续环节中可能没有被很好地执行，但差的产品概念无论在后续环节中如何努力都是难以获得商业成功的。幸运的是，与其他研发环节相比，概念生成环节耗资少、耗时少。例如，在以往的钉枪研发中，概念生成一般花费不到 5% 的研发投入和不到 15% 的研发时间。既然概念生成活动并不耗费很多时间和成本。那么我们在研发过程中就应该有效地执行概念生成环节。

概念生成从确定顾客需求、建立目标规格开始，到最后形成一系列的产品概念供开发团队做出最后的选择。概念生成与其他的概念开发活动之间的关系如图表 7-2 所示。通常，有效的开发团队会生成数以百计的产品概念，其中有 5~20 个概念需要在概念选择环节中进行仔细斟酌。



图表 7-2 产品概念生成是概念开发阶段不可分割的一部分

好的产品概念生成环节可以使开发团队有信心认为新产品的可开发空间已经被完全拓展。如果团队在研发初期就全面深入地探讨了新产品概念，就不会在后期又发现更好的产品概念。

也不会让竞争对手开发出性能更加优越的产品。

7.1.1 采用结构化方法避免出现代价过高的问题

开发团队在概念生成过程中经常面对的问题包括以下几个。

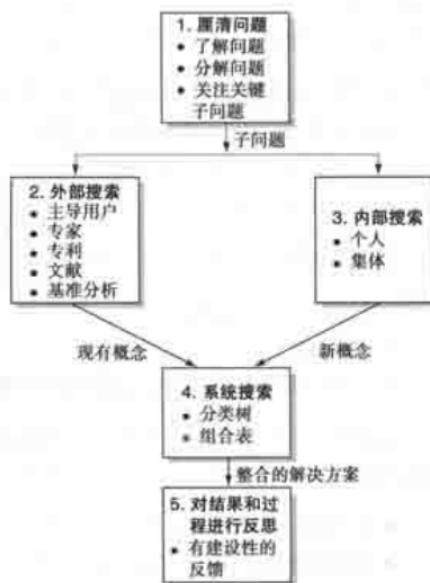
- 只考虑团队中最有主见的成员提出的 1~2 种选择。
- 没有认真考虑其他公司相关或无关的产品概念中有用的东西。
- 在概念生成过程中只有 1~2 个人参与，以致小组其他成员缺乏信心和责任。
- 对一些好的解决方案整合不力。
- 没有考虑解决方案的整体范畴。

概念生成的结构化方法鼓励团队成员从大量不同的信息源收集资料，指导团队深入拓展新产品概念，提供整合解决方案的机制。从而可以避免上述 5 个问题。结构化方法也为那些经验不足的团队成员提供了一个步骤明确的程序，有助于他们积极参与到概念开发的过程中。

7.1.2 五步法

本章介绍概念生成的五步法（见图表 7-3）。首先，我们把一个复杂的问题分解成若干个比较简单的子问题。然后，通过外部搜索和内部搜索来寻找子问题的解决方案。进一步，采用概念分类树和概念组合表来对解决方案进行系统搜索，并把子问题的解决方案整合成一个整体的解决方案。最后，团队要对整个过程与结果的可行性与适用性进行反思。

本章将遵循上述的过程来详细讲述五步法的每一步骤。虽然我们是对五步法依次进行描述，但是可行的方法通常还有很多。与概念开发的其他方法一样，五步法只是一个基本方法。在此基础上，产品开发团队可以按照各自解决问题的特点来制定和完善本团队的概念开发方法。



图表 7-3 概念生成的五步法

尽管本章所介绍的五步法主要针对新产品的整体概念，但是，该方法也可以且应该用于概念开发中的其他阶段。该方法不仅可以用于开发产品的整体概念，也可以用于子系统及其具体组成部分的概念开发。同时应该注意的是，虽然本章只以技术产品为例，但是五步法几乎可以用于所有产品的概念生成。

7.2 步骤 1：厘清问题

弄清问题是指深入理解问题，必要的时候要把问题分解成若干个子问题。

119
120

项目的任务描述、顾客需求清单和产品的主要规格三个方面是概念生成阶段开始时理想的输入信息，不过它们在概念生成阶段开始后还有待继续完善。理论上，团队既要确定客户需求，又要制定产品要达到的目标规格。没有参与以上三方面准备的团队成员应该在概念生成阶段开始前熟悉这三方面的过程及结果（详见第5章和第6章）。

前面提到，Stanley-Bostitch 团队的任务是“设计更好的手提式屋顶装修用钉枪”。该项目设计的范围可以定义得更广泛（例如“固定屋面材料”）或更具体（例如“提高现有的气动工具的速度”）。团队任务陈述中有如下假设：

- 该钉枪将使用钉子（而不是黏合剂、螺丝等）
- 该钉枪能与现有主流型号的钉子兼容
- 该钉枪能把屋顶瓦钉到木楞上
- 该钉枪将是手提式的

基于上述假设，该团队确定了顾客对手提式钉枪的需求，包括：

- 钉枪能快速连续地钉入钉子
- 钉枪很轻便
- 钉枪在使用时不会有明显的发射延迟现象

该钉枪开发团队还收集了一些补充材料来弄清和量化顾客需求，例如钉枪的近似功率和速度，并把这些基本需求转换成目标产品的规格。目标规格包括以下内容：

- 钉子的长度范围在 25~38mm 之间
- 钉枪的最大功率可以达到每个钉子 40J
- 钉子的反作用力上限为 2000N

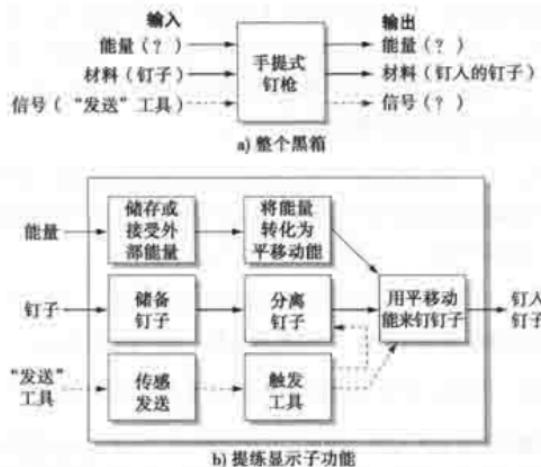
- 最快速度是每秒钟钉入 1 个钉子
- 平均速度是每分钟钉入 12 个钉子
- 钉枪的重量小于 4kg
- 触发延迟时间控制在 0.25s 之内

7.2.1 把一个复杂问题分解成几个简单子问题

许多设计任务往往太过复杂从而不能将其简单地当成一个问题来解决。我们通常可以把它分解成几个简单的子问题。例如，设计像复印机这样的复杂产品时，可以把任务分解成若干个更关键的设计问题——文件处理器的设计、进纸器的设计、印刷设备及图像采集设备的设计。但是有时候，我们很难把一个设计问题分解成一系列子问题，例如，文件夹的设计就很难划分出子问题。一般来说，开发团队应该设法对复杂的设计问题进行分解，同时也要清楚对于功能非常简单的产品来说，分解问题的方法不适用。

把一个问题分解成若干个子问题的过程称为问题分解 (problem decomposition)。很多任务都要涉及问题分解，下面将介绍一种功能的 (functional) 分解方法，并列出其他一些常用方法。

121



图表 7-4 通过功能分解得到手提式钉枪的功能图

如图表 7-4a 所示，功能分解问题的第一步是把问题看成一个操作材料、能量和信息的黑

箱 (black box)，细实线表示能量在系统中的传递和转化，粗实线表示材料在系统中的运动，虚线表示系统中的控制信息流和反馈信息流，这个“黑箱”代表产品的整体功能。

功能分解的第二步是把这个“黑箱”分解成若干个子功能。详细描述产品中的元素对实现整体功能起了什么作用。子功能一般还可以再分解为更简单的子功能。这样不断地将功能分解直到团队可以轻易实现最终的子功能。经验表明，一般设计任务要层层分解为 3~10 个子功能才可行。122 图表 7-4b 表示最终结果——包括能量流、材料流和信号流的子功能图。

功能分解的目的是描述产品的功能要素，而不描述新产品的具体工作原理。例如图表 7-4b 中包括了“分离钉子”这一子功能，但并没有说明任何一种实际的解决办法，如在槽子里记录钉子的位置，或把钉子钉到木楞的侧面。小组应该逐一考虑每个子功能，看是否每一个的子功能的描述中都没有说明具体解决方案。

功能图的创建方法并不唯一，产品功能的分解方法也不是唯一的。创建功能图的简便方法是快速创建几个草图，最后精简成一个与团队能力相匹配的分解图。这种方法可从以下几个方面入手。

- 为现有产品创建功能图。
- 根据小组已经生成的任一产品概念来创建功能图，或者根据一个已知的子功能技术来创建功能图。一定要保证创建的功能图要能够对概念有一个比较恰当的概括。
- 按照其中的一个流程（如材料流），确定需要进行哪些操作。通过考虑该流程与其他流程的关系来描述其他流程的具体情况。

功能图并不是独一无二的。我们可以通过不同的方法来分解子功能，产生不同的功能图。有时材料流、能量流和信息流的流向很难确定，所以只要列出产品子功能的简要清单就可以，不用考虑各子功能之间的关系。

功能分解最适用于技术性产品，也可用于简单的非技术产品。例如，冰淇淋勺子有分离、形成、运输和存放冰淇淋的材料流。可以根据这些子功能来分解问题。

除了功能分解这一方法外，把问题分解成更简单的子问题的方法还有很多，其中两种如下。

- 依据用户的使用顺序分解问题：例如，钉枪问题可以分解为三个使用动作——把工具移到钉入的大概位置、精确定位、启动钉枪。当产品的技术功能非常简单同时需要更多的用户参与时，这种做法往往很有效。
- 依据关键的顾客需求分解问题：例如，钉枪问题可以分解为以下子问题——快速地

连续钉钉子。轻便，可承受较大的反作用力。当产品最主要的问题是外形而不是技术工作或者机理时，这种做法更有用。例如牙刷（假定保留刷子的基本概念）和储存容器。

7.2.2 在最初阶段将精力集中于关键子问题

所有分解方法的目的都是把一个复杂问题分解成若干个更简单的子问题，以便集中精力解决问题。完成问题分解后，小组要挑选出关键子问题——对于产品获得商业成功至关重要的子问题以及通过创造性的解决方案能获得更大利益的子问题。这意味着同时要推迟解决另一些子问题，例如：该钉枪开发团队选择去关注“储存与使用能量”“把能量转化为平动动能”和“用移动动能来钉钉子”这三个子问题。他们认为可以在储存与转化能力的问题解决后再解决钉枪操作与触发的问题，还延迟了大部分用户交互问题的处理。该小组认为关于钉枪基本工作原理的选择会影响到钉枪的最终形式，所以应该从核心技术开始，然后再考虑如何用一种能够吸引顾客的形式将这种技术体现出来。通过讨论哪些子问题要优先解决，哪些子问题可以推迟解决，小组成员可以对子问题的优先序达成一致意见。[123]

7.3 步骤 2：外部搜索

外部搜索的目的是找到针对整个问题以及分解出的子问题的现有解决方案。虽然外部搜索是概念生成五步法的第二步，但实际上，外部搜索贯穿于整个概念开发过程。采用现有的解决方案通常比开发一个新的解决方案更快、更节省。通过灵活利用现有的解决方案，开发团队可以把精力集中于创造性地解决尚未有满意解决方案的关键子问题。此外，常常可以把某一子问题的传统解决方案与新的解决方案结合起来，产生更好的整体解决方案。所以，外部搜索不仅包括对直接竞争产品进行详细分析，还包括对产品相关子功能所采用的技术进行详细分析。

解决方案的外部搜索在本质上是一个资料搜集的过程。通过使用扩大与集中的战略可以使时间和资源得到优化利用：首先扩大（expand）搜索范围，即广泛搜集可能涉及的问题的相关资料；然后进行重点（focus）搜索，即对有希望改进的方向进行深入探索。过度使用任何一种方法都将降低外部搜索的效率。

搜索外部信息的好方法至少有 5 种：领先用户调查、专家咨询、专利检索、文献检索和设定相关产品为基准。

7.3.1 领先用户调查

在确定顾客需求时，该开发团队或许已经找到了领先用户。领先用户（lead user）是那些比主流用户提前数月或数年提出新需求的用户。他们往往能大大获益于新产品创新（Hippel, 1988）。领先用户通常能找到解决方案来满足自己的需求。这种情况在高科技产品的用户群中更为常见，例如医药和科学领域。开发团队可以在新产品的市场中找到领先用户，也可以在具有新产品某些子功能的其他产品的市场中找到领先用户。

- [124] 在手提式钉枪这个案例里，该开发团队通过向 PBS 电视连续剧《老宅》(This Old House) 中的建筑商进行咨询来获得新的产品概念。使用过很多厂商产品的领先用户能够发现现有工具的缺点。在该案例中，这些建筑商并没有为手提式钉枪开发提供很多新的产品概念。

7.3.2 专家咨询

具有子问题所需知识的专家不仅可以直接提供解决方案，也可以帮助开发团队转向更有效的思路，重新寻找解决方案。专家包括生产相关产品的企业专业人员、专业顾问、大学教授和供应商的技术代表。我们可以打电话咨询这些人，也可以通过查阅文献找到作者。虽然找专家的过程很辛苦，但比重新创造出新的方案要节省时间。

大多数专家都愿意在电话上或者见面谈一小时并且不收费。一般来说，顾问不会对最初的会面或电话收费，如果继续进行咨询，他们才会要求收费。对供应商来说，如果他们预计开发的新产品会采用他们的产品，就会愿意提供几天的无偿咨询。显然，直接竞争对手的专家往往不愿意提供其产品设计的专利信息。咨询专家的方法里有条捷径就是利用你所咨询的专家推荐的其他专家信息。最好的信息往往来自于“第二代”咨询专家。

该钉枪开发团队咨询了几十名专家，其中包括一名火箭推进专家、麻省理工学院电动汽车的研究人员以及气体弹簧生产企业的工程师。这家生产气体弹簧的企业曾经自费让自己的工程师两次前来参观钉枪开发团队。大多数时候，钉枪开发团队是通过电话来咨询企业工程师的。

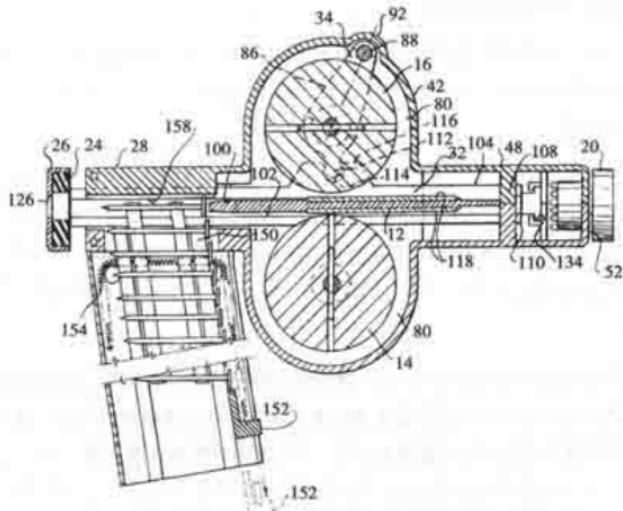
7.3.3 专利检索

专利是技术资料的详细图纸及产品说明的现成丰富来源。专利检索的主要缺点是，近几年的专利中的概念处在保护之下（一般从专利申请之日起 20 年），所以使用专利的概念需要付费。然而，弄清哪些概念已有专利保护也是有好处的，可以避免侵权。没有在本国申请专利的国外专利以及到期的专利可以利用而无需支付专利费。第 16 章将详细讲解如何看懂专利文本。

浏览专利的正式索引主体对于初学者来说很难，好在一些数据库里有所有专利的实际文本。

通过电子检索关键词可以搜索到全文数据，关键词搜索很方便，而且可以找到生产某种特定的产品的相关专利。通过支付少量费用，可以从美国专利局、商标局和一些数据库里获得插图等详细的专利资料（www.ulrich-eppinger.net 网站有目前专利数据库的清单和专利文件的供应商清单）。

在钉枪领域中搜索美国专利，可以发现一些有趣的概念。其中一项专利描述了由马达驱动双飞轮的钉枪，图表 7-5 就是这个专利的插图。该专利在一个飞轮上积累转动动能，通过摩擦离合器在瞬间一次性转化为移动动能，再通过一个传动装置把移动动能传送到钉子上。125



图表 7-5 由马达驱动双飞轮的钉枪专利（美国专利 4042036，相关的文字描述多达 9 页）

7.3.4 文献检索

公开文献包括期刊、会议资料、杂志、政府报告、市场、消费者与产品的信息，以及新产品的公告。因此，文献检索是获得现有解决方案的最好途径之一。

电子搜索往往是从公开文献中搜集资料的最有效的方式。虽然互联网搜索结果的质量难以评估，但是互联网搜索往往是个良好的开端。网上还有类别清晰的数据库，但是许多数据库只有文章摘要而没有全文与图表，接下来的搜索步骤就是寻找信息完整的文章。进行数据库搜索的两个主要困难是确定关键词和限制搜索范围，在关键词数目与搜索范围之间要进行权衡。126

技术资料手册也是外部搜索中非常有参考价值的公开资料。例如《机械工程标准手册》

(Marks' Standard Handbook of mechanical Engineering)、《化学工程师手册》(Perry's Chemical Engineers' Handbook) 和《机构与机械装置资料集》(Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook) 等工程参考书。

该钉枪开发团队发现了一些与子问题相关的文章，包括描述飞轮与电池的储能技术的文章。他们还在一本手册中找到了一种影响工具的机制，这种机制提供了非常有用的能量转化概念。

7.3.5 将相关产品设为基准

在概念生成中，基准设定是指研究与所开发产品的功能相似的现有产品，或者解决产品开发的关键子相似问题的现有产品。基准可以揭示能用于解决特定问题的现有概念，以及竞争的优势与劣势等信息。

这时，开发团队可能已经熟悉竞争对手的相关产品。一般很难在其他市场找到功能相关的产品。《美国托马斯注册制造商名录》(Thomas Register) 是提供这方面信息的最有用来源之一。它提供了按照产品类型分类的工业制造商的目录。使用《美国托马斯注册制造商名录》时，最大困难是寻找相关产品的名称以及所属的分类。《美国托马斯注册制造商名录》还实现了互联网搜索。

与钉枪密切相关的产品包括把钉子钉入水泥板的单杆火药驱动钉枪、电磁驱动钉枪、工业生产使用的气动钉枪和巴掌大小的多头气动钉枪。与“能量存储和转化功能”相关的产品包括安全气囊和以叠氮化钠推进剂作为能量的产品、滑雪运动中的护手保温器、由二氧化碳弹药驱动的空气步枪，以及便携式电脑及电池。钉枪开发团队获得了大部分上述产品并对其进行分解，以便发现可以用于开发新钉枪的一般概念和更为详尽的其他资料（包括具体部件的供应商名称）。

外部搜索是收集解决方案的重要的方法。外部搜索的技能是个人和组织的宝贵资产，可以通过仔细观察并建立技术数据库，以及通过拓展专家网络来培养外部搜索的技能。即使通过个人知识和个人接触，外部搜索仍然是种“探究性的工作”。能坚持搜索并有相关资源的人可以有效地完成外部搜索。

7.4 步骤 3：内部搜索

内部搜索是指利用个人、团队的知识和创造力来产生解决方案。通常可采用头脑风暴法(brainstorming)，该方法主要基于 20 世纪 40 年代 Osborn 所开发的创新方法。头脑风暴是一种

内部搜索方法，在该阶段出现的所有想法产生于团队已有的知识。这个活动可能是新产品开发过程中最具有开放性和创造性 [127] 的过程，它相当于从个人知识中收集潜在的有用信息，进而用于解决现有的问题。内部搜索可以由个人单独进行，也可以由团队一起进行。

以下四条准则有助于提高个人和团队内部搜索的效率。

- **延缓决策。**在日常生活中，成功往往取决于快速选择并立即采取行动的能力。例如，如果用外部搜索来决定今天穿什么衣服或吃什么早餐等日常生活，人们的生活会一团糟。这是因为我们日常生活中的大多数决策用时只有几分钟或几小时，我们习惯于快速决策并立即采取行动。但是产品研发中的概念生成过程与我们的日常生活过程截然不同。所做的产品概念决策会影响好几年。所以，在评价大量的产品概念时推迟几天或几周再决策是产品概念成功的关键。推迟决策的规则就是在概念生成过程中不要批评任何概念。比较好的做法是，个人在寻找概念中的不足之处时，提出建设性建议或者对概念进行修正，不要主观臆断。
- **产生大量想法。**大多数专家都认为，团队产生的想法越多，找到的解决方案就会越多。但一味追求想法的数量会降低独特想法的质量，所以要鼓励人们交流其他人可能认为不值一提的想法。另外，一个想法往往会激发出其他想法，因此想法越多，能激发出的其他想法就越多。
- **鼓励那些看起来不可能的想法。**有些想法最初并不可行，但是团队成员可以通过去除瑕疵（debugged）和修正（repaired）使其得到改进。不可行的想法冲击并拓展了思考的边界，有助于团队成员突破极限。所以，不可行的想法也是很宝贵的，应该鼓励提出不可行的想法。
- **大量采用草图（sketch）。**实物的空间推理具有一定的挑战性、文字和口头语言难以描述物体。无论是单独工作还是团队工作，充分运用图形有利于描述物体。这里草图质量不是特别重要，概念的表达才重要（Yang and Cham, 2007）。此外，在概念草图中应添加关键维度，会带来概念开发的成功（Yang, 2009）。
- **建立草图框架模型。**简单的物理模型可以使用泡沫、黏土、纸板、3D 打印等工具快速创建。三维框架模型特别有助于深入了解表单、用户界面和空间关系的问题。关于图形模型时序的研究表明，早期探索使用简单物理模型能取得更好的设计结果（Häggman 等, 2013）。进一步研究发现，并行开发多个可选草图框架模型，而不是一次开发一个模型，会产生更好的概念开发效果（Neeley 等, 2013）。

7.4.1 举行个人会议和团队会议至关重要

关于个人与团队解决问题的研究表明，相对于在同一时间一起工作的情况来说，团队

成员单独工作一段时间后会产生更多更好的概念 (McGrath, 1984)。很多公司的实际做法

[128] 与该调查结果相反，他们通过召开团队会议来生成概念。我们的观察证实了 McGrath 的研究，我们认为团队成员在概念生成过程中应该独自工作一定时间。这是因为团队中的每个人可能擅长不同层面的创新。一些成员可能更流畅（沿一条直线有很多想法），一些成员更灵活（有许多不同类型的想法），一些成员更新颖（提供较少但不同高度的想法）。当然，我们认可团队会议在建立共识、沟通信息和提炼概念等方面起到了关键作用。在理想情况下，团队中的每个人应该独立工作一段时间，然后团队成员一起对个人提出的概念进行讨论和完善。

当然，很多公司采用团队开会来生成概念的做法是因为团队开会可以保证团队中的每个人都投入到这项工作中。尤其是在工作强度大、压力大的情况下，如果不采取团队会议，人们一般不会主动花数小时的时间专门生成新的概念，期间的电话、拜访、紧急情况都会分散注意力。在某些情况下，进行团队会议可能是保证人们专门进行概念生成的唯一方式。

该钉枪开发团队在进行内部搜索时，既有个人努力又有团队会议。例如，在某一周内，每个团队成员分配 1~2 个子问题，并开发出至少 10 个解决方法的概念。这种做法可以把概念生成的工作分配到所有团队成员中。接下来，团队开会讨论，并对个人提出的概念进行延伸和拓展，对可行的概念作进一步的调查研究。

7.4.2 生成解决方案概念的线索

有经验的个人和团队通常很快就会产生一些好的概念。这些人往往已经发展出一套技巧来激发思想，而且这些技术已经融入到他们解决问题的过程中了。没有经验的开发人员可以借助一些方法来启发新思维及想法之间的关系。VanGundy (1988), von Oech (1998)，以及 McKim (1980) 提出了几十条有用的建议。一些有用的方法如下。

- **进行类比。**经验丰富的设计师总是会问自己：有什么其他工具可以解决相关问题？该问题在自然界和生物界是否有类比？问题是否比自己考虑的范围更大或更小？在其他不相关领域中是否有些工具有所需的功能？该钉枪开发团队提出了上述问题，发现建筑工程中的打桩机在某些方面与钉枪相似。根据这一思路，他们开发出了多重敲击工具的概念。
- **积极设想。**一开始就提出“我想我们可以……”或者“如果……，会发生什么”等设想都有助于激发自己或团队考虑新的可能性，也可以反映问题的边界。例如，该钉枪开发团队中的一位成员对驱动钉枪的导轨枪（一种加快弹丸的电磁装置）的长度提出一个这样的设想：“我希望该工具有 1 米长。”这就激发了一种想法，即长的钉枪使得人们可以站着钉钉子。

- 替换想法。这样常常有助于修改或重新安排不同的解决方案以创建新的解决方案。有几种方法有助于这种类型的思考。例如，源于 Osborn 所在研究的 SCAMPER 方法，它采用产生刺激的 7 种方式：替代、合并、适应、修改 / 放大 / 缩小、另做他用、消除、撤销 / 重新安排。
- 使用相关刺激。当提出新的刺激因素时，人们往往会有新的想法。相关刺激是指在待解决问题的范围里产生的刺激。例如，使用相关刺激的一种方法是：团队会议中每个成员列出自己单独工作时想到的问题的清单，并传给旁边的成员。通过思考别人的想法，人们往往会产生新的想法。其他相关刺激包括顾客需求、产品使用环境的照片等。
- 使用无关刺激。随机或无关的刺激偶尔也会有助于产生新的想法。例如，集思广益法 (synectics)，它是指在图片中随机选择物体，然后考虑该物体与待解决问题可能存在的联系。人们可以到大街上用数码照相机随机拍摄图片，用于以后刺激新的想法（这也可以说作为团队辛苦工作后的一种调节）。
- 量化目标。产生新的想法很难。在会议即将结束时，量化目标有利于推动个人或团体开展工作。该钉枪开发团队经常把概念生成的个人任务量化为生成 10~20 个概念。
- 使用画廊法。画廊 (gallery) 法是指展示大量的想法并进行讨论。在会议室的墙上贴上纸，每张纸写一个概念。团队成员绕着会议室行走查看每一个概念。该概念的提出者可以提供解释。然后团队提出改进概念的建议，或生成相关概念的建议。这种方法有助于把个人努力与团队努力结合起来。

在 20 世纪 90 年代，欧洲与美国开始采用一种俄罗斯人解决问题的方法——TRIZ 理论 (发明问题解决理论，theory of inventive problem solving 的俄语缩写)，该方法主要用于确定解决技术问题的工作原理。TRIZ 的关键思路是找出隐含在问题中的矛盾。例如，钉枪问题中存在的矛盾可能是功率提高 (优点) 往往会导致重量增加 (缺点)。TRIZ 中有 40 个基本原理，例如，定期运动 (periodic action) 原则 (即用定期行动——比如脉冲——代替连续行动)。通过运用 TRIZ 理论，该钉枪开发团队找到反复敲打钉子以避免力度过大的概念。即使不采用整个 TRIZ 方法，在设计问题中找出矛盾继而思考如何解决矛盾的思路也有助于解决概念生成中的问题。

图表 7-6 显示了该钉枪开发团队在“存储或使用能量”和“用移动动能来钉钉子”这两个子问题中找到的解决方案。



图表 7-6 “存储或接受能量”和“用移动动能来钉钉子”这两个子问题的解决方案

7.5 步骤 4：系统搜索

通过外部搜索和内部搜索，团队将收集到解决子问题的数十或数百个概念。系统探索旨在通过组织与综合这些解决方案来寻找最终解决方案。该钉枪开发团队着眼于“能量的存储、转化与传递”等子问题，为每个子问题都产生了几十个概念。组织与综合这些解决方案的一种方法是考虑每个子问题中各种概念的所有可能组合。但是算数运算表明这一做法并不具有可行性。假设团队关注 3 个子问题，每个子问题平均有 15 个概念，那么团队将要考虑 3375 个组合

[13] 合 ($15 \times 15 \times 15$)。即使有团队乐意做，这项任务也相当艰巨。此外，团队将很快发现很多组合不合理。有两种有效的工具可以管理这种复杂性并组织团队的思路：概念分类树和概念组合表。分类树有助于团队把可能的解决办法分解成独立的类别。组合表指导团队选择概念组合。

7.5.1 概念分类树

概念分类树把可能的解决方法组成的整个空间划分成若干类别，以便比较与修正。例如，

图表 7-7 是钉枪能量的概念分类树。该概念分类树的不同分支对应不同能源。

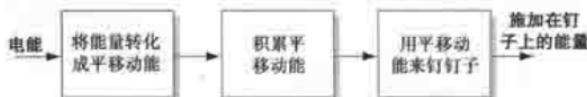
分类树的优点有以下几个。

- 能删除不可行的分支：如果团队通过概念分类树找出了不可行的解决办法，那么就要删掉该解决办法的分支，以便团队集中于可行的解决办法的分支。要进行一些评价和判断，谨慎地删除分支。在实际中，产品开发的资源有限，只有把有限的资源集中于最可行的方向，才能够获得成功。该钉枪开发团队删除了核能源。虽然找出了一些有意思的核装置（如用于驱动人工心脏的核装置），但是团队认为这些装置至少在十年内是不会具有经济实用性的，而且装置改进随时会阻碍产品研发。
- 能确定解决问题的独立办法：概念分类树的每个分支都表示解决整个问题的不同办法。有些办法几乎完全独立，互不干涉。这时，团队可以清楚地分配各成员的任务。尤其是当两种办法都可行时，这种分配可以减少概念生成活动的复杂性，也有助于这两种待选办法之间进行良性竞争。该钉枪开发团队发现，化学爆炸分支和电动分支这两种待选办法都可行。他们把这两种方法分配给两个不同的子团队独立工作数周。
- 能暴露一些不恰当的关注重点：创建好概念分类树之后，团队可以迅速判断出分配到各分支的精力是否妥当。该钉枪开发团队发现，他们在水电的来源与转化技术方面所分配的精力太少。意识到这一点后，他们用了几天的时间来重点解决水电的来源与转化技术方面的问题。
- 细化某一特定分支的问题分解：有时需要针对某一特定的分支进一步分解问题。下面我们将以概念分类树中的电能分支为例来进行阐述。该钉枪开发团队调查发现，钉枪工作过程中几毫秒内传递的瞬时功率高达 10000W，远远超过了壁装电源插座、电池和燃料电池在常规情况（常规的数量、成本和质量）下所能提供的能量。所以必须在一个足够长的工作周期里（如 100ms）积累能量，然后在瞬间释放钉入钉子所需的瞬时功率。如图表 7-8 所示，根据这一分析，该钉枪开发团队在功能图中增加了一个子功能（“积累平移功能”）。考虑到电容器积累能量的能力，他们把这一子功能加在“电能转化成机械能”这一子功能之后。当团队对解决办法提出更多假设并收集了



图表 7-7 钉枪能量的概念分类树

更多信息时，往往需要对功能图进行细化。



图表 7-8 一个新的问题分解：依据机械领域的电能转化和能量积累

图 7-7 所示的概念分类树表示了能源这一子问题的不同解决方法。还可以采用其他类型的分类树。团队可以对能力传递这一子问题的不同解决办法进行分类，得出一个分类树。不同分支表示单次敲击、多次敲击。任一子问题的解决办法都可以构造出不同的分类树。不过按照某些分类方法可以更有效地构造分类树。一般来说，如果某个子问题的解决办法强烈制约了其他子问题的解决办法，就应该对这个子问题构建分类树。例如能源的选择（电动、核能、气压等）制约了能否采用电动机或活塞缸来把能量转化成平移动能。相反，能量传递机制（单次敲击、多次敲击等）对其他子问题的解决办法制约并不大。通过考虑哪个子问题强烈制约了其他子问题的解决方法，可以找到清晰的思路来构建分类树。

132
133

7.5.2 概念组合表

概念组合表有助于系统考虑解决办法的组合。图表 7-9 表示该钉枪开发团队用于分析分类树电动分支的解决办法的组合表。组合表中的纵栏对应图表 7-8 中的子问题，纵栏中的每个条目对应通过内外部搜索找出的子问题的解决办法。例如，第一纵栏表示“把电能转化成平移动能”这个子问题，该纵栏中的条目有旋转电机传动、直线电机、电磁螺线管和导轨枪。

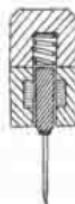
| 把电能转化成平移动能 | 积累能量 | 用平移能推动钉子 |
|------------|-------|----------|
| 旋转电机传动 | 弹簧 | 单次敲击 |
| 直线电机 | 移动的重物 | 多次敲击 |
| 电磁螺线管 | | 推动钉子 |
| 导轨枪 | | |

图表 7-9 手提式钉枪的概念组合表

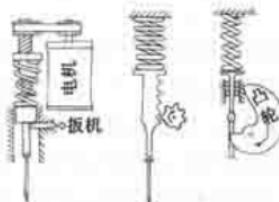
各纵栏的条目逐一组合后可以形成整个问题的解决方案。例如，钉枪案例有 24 种可能的组合 ($4 \times 2 \times 3$)。但是这些组合需要进一步发展和完善后才能解决整个问题。有些组合难以

进行发展。有些组合通过发展后可以产生多个解决方案。即便如此，发展组合的过程会刺激团队的创造性思维。概念组合表不仅仅是为了组合出一个完整的解决方案，有时只是强迫团队进行组合，从而刺激创造性思维。

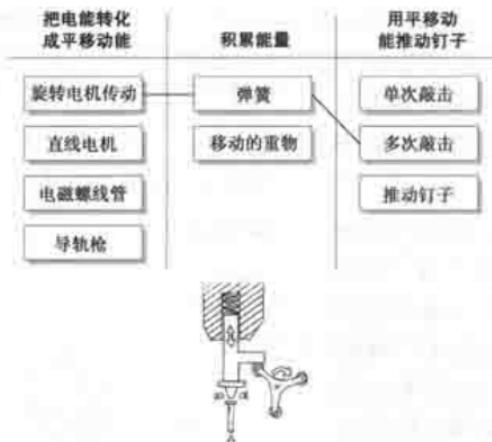
图表 7-10 表示的是组合“电磁螺线管”“弹簧”“多次敲击”这三个条目后形成的概念示意图。图表 7-11 表示的是组合“旋转电机传动”“弹簧”“单次敲击”这三个条目后形成的概念示意图。图表 7-12 表示的是组合“旋转电机传动”“弹簧”“多次敲击”这三个条目后形成的概念示意图。图表 7-13 表示的是组合“直线电机”“移动的重物”“单次敲击”这三个条目后形成的概念示意图。



图表 7-10 本钉枪研发的解决方案：电磁螺线管压缩弹簧，然后反复地释放它，以便对钉子产生多次的敲击



图表 7-11 组合“旋转电机传动”“弹簧”“单次敲击”后形成的多种解决方案：电机压缩弹簧，积累能量，然后在敲击钉子的过程中释放能量



图表 7-12 组合“旋转电机传动”“弹簧”“多次敲击”后形成的多种解决方案：旋转电机不断压缩和释放弹簧，不断储存和传递能量，多次敲击钉子

有两种方法可以简化组合概念的过程。第一，如果一个条目不可行，那么包含该条目的组合就可以淘汰，这可以减少团队所要考虑的组合数量。例如，该钉枪开发团队如果确定导轨枪的方法在任何情况下都不可行，那么团队所要考虑的组合数量就从 24 个减少到 18 个。第二，关注概念组合表中的耦合子问题。耦合子问题是指一个子问题的解决办法必须与另一个子问题的解决办法相互匹配、同时采用。例如，具体电源的选择（比如在电池和壁装电源插座之间选择）和能量转化方式的选择（比如电机和螺线管之间的选择）严格来说就是相互关联的耦合子问题，概念组合表就不需要专门注明不同类型的电源，减少了团队所要考虑的组合数量。如果组合表所列的竖栏超过 4 个，组合表就比较复杂，实际上就很少采用。

7.5.3 管理探索过程

团队应该灵活使用分类树和组合表这两个工具，从而对团队思维进行组织，激发团队的创造力。团队产生的分类树和组织表往往不止一个，通常会创建多个不同的分类树和概念组合表以供选择。更典型的情况是，团队将创建几种可选的分类树和几个概念组合表。在这个探索过程中，团队往往会对原问题分解进行精炼，也会继续进行内部搜索或外部搜索。这一探索过程通常用于进一步刺激创造性思维，而不是概念生成的最后阶段。



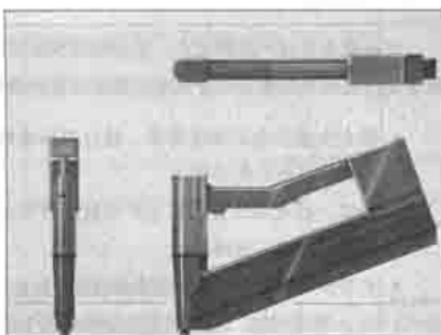
图表 7-13 组合“直线电机”“移动的重物”“单次敲击”这三个条目后形成的多种解决方案。直线电机不断加快重锤的速度，积累动能，最后一次性释放能量敲击钉子

现在回到团队在概念生成一开始就关注的关键子问题。当团队明确关键子问题的解决办法后，整个问题的解决方案也缩小到一些化学概念和电的概念。根据确定用户界面、工业设计和配置问题来选择上述概念。图表 7-14 表示其中的一种概念结果。

7.6 步骤 5：对结果和过程进行反思

为了描述方便，把对过程和结果进行反思这一步放在五步法的最后一步。但事实上对过程与结果的反思应该贯穿整个概念生成过程。要审视的方面如下。

- 团队是否确保已经充分探讨了所有的解决方案？
- 是否还有其他的功能表？



(Product Genesis 公司授权)

图表 7-14 完善后的解决方案概念
思这一步放在五步法的最后一步。但事实上对过程与结果的反思应该贯穿整个概念生成过程。
要审视的方面如下。

- 是否还有其他的方法可以解决问题？
- 外部搜索是否进行彻底？
- 在概念开发过程中是否采纳并整合了每个人的想法？

该钉枪开发团队讨论了他们是否过于关注钉枪的能量储存和转化问题，是否忽视了用户界面和整体配置。通过讨论，他们决定依然把能源问题作为核心问题，认为以前的做法是合适的。他们还讨论了是否考虑太多的分类树的分支。他们最初考虑了电动、化学和气动概念，最后确定要采用电动概念。采用炸药等化学方法存在一些明显的安全问题，而且顾客一般对化学方法的感知度低。虽然化学方法有一些优点，但团队还是决定在初始阶段就淘汰这一方法，以便把更多的时间用于深入分析其他更为可行的方法。

该钉枪开发团队对一些可行的概念进行了深入细致的分析，建立了两种不同的钉枪工作原理：原理1，用直线电机压缩弹簧，积累能量并一次性释放，敲击钉子一次；原理2，用旋转速度为10Hz的电机反复敲击钉子，直到钉子完全钉入。最后该钉枪开发团队发现按照工作原理2来设计钉枪在技术上最可行，并设计了最终产品（见图表7-1）。

7.7 小结

产品概念是对产品的技术、工作原理和形式的近似描述。产品概念的质量在很大程度上决定了该产品满足顾客需求并成功实现商业化的程度。

- 概念生成从确定顾客需求、建立目标规格开始，最后形成一系列的产品概念以供开发团队作出最后的选择。
- 通常，有效的开发团队会产生数以百计的产品概念。其中有5~20个产品概念需要在概念选择时仔细斟酌。
- 本章介绍的概念生成方法是五步法。
 - (1) 厘清问题：理解问题并分解成若干个更简单的子问题；
 - (2) 外部搜索：以领先用户访谈、专家咨询、专利检索、文献检索和设定相关产品为基准收集信息；
 - (3) 内部搜索：利用个人、团队方法来检索和修正团队知识；
 - (4) 系统搜索：利用分类树和组合表，组织团队的思维，并综合解决方案的碎片；
 - (5) 对结果和过程进行反思：确定后面的迭代或将来的项目中可以改进的地方。
- 概念生成是一个内生的创造性过程，结构化方法有助于探索设计的所有可能性，避免

遗漏某类解决方法，为经验不足的团队成员提供解决设计问题的指导。所以，结构化方法是非常有用的方法。

- 虽然本章用顺序的方法描述概念生成过程，但实际上每一步都贯穿于概念生成的整个过程。所以开发团队应该不时地回到开发过程的每一步骤来完善概念生成。在研制一种全新的产品时，开发团队就要经常进行迭代。
- 开发团队对概念生成的专业人士往往需求非常大。与主流观点相反，我们认为概念生成是一种可以学习并提高的技能。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

Pahl, Beitz, Hubka 和 Eder 在欧洲推行结构设计方法。我们采用了他们关于功能分解和系统概念产生的许多想法。

Hubka, Vladimir, and W. Ernst Eder, *Theory of Technical Systems: A Total Concept Theory for Engineering Design*, Springer-Verlag, New York, 1988.

Pahl, Gerhard, Wolfgang Beitz, Jörg Feldhusen, and Karl-Heinrich Grote, *Engineering Design*, third edition, K. Wallace and L. Blessing, translators, Springer-Verlag, New York, 2007.

创新行为的研究表明，人们更相信他们创造性解决问题的能力实际上会产生更多的创新解决方案。

Tierney, Pamela, and Steven M. Farmer, "Creative Self-Efficacy: Its Potential Antecedents and Relationship to Creative Performance," *Academy of Management Journal*, Vol. 45, No. 6, 2002, pp. 1137–1148.

McGrath 对团体和个人在产生新想法时的表现进行了比较研究。

McGrath, Joseph E., *Groups: Interaction and Performance*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

Osborn 在 20 世纪中期首次提出了头脑风暴的原则，从那时起，衍生出许多创新方法。

Osborn, Alex F., *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Thinking*, Scribner, New York, 1953.

许多作者提出了各种各样构思和解决问题的方法，其中许多方法直接适用于产品概念生成。

Terwiesch, Christian, and Karl T. Ulrich, *Innovation Tournaments: Creating and Selecting Exceptional Opportunities*, Harvard Business Press, Boston, May 2009.

Treffinger, Donald J., Scott G. Isaksen, and K. Brian Stead-Dorval, *Creative Problem Solving: An Introduction*, Prufrock Press, Waco TX, 2005.

VanGundy, Arthur B., Jr., *Techniques of Structured Problem Solving*, second edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1988.

[14] McKim 和 von Oech 分析了现有的培养个人及团体的创新思考技能。

McKim, Robert H., *Experiences in Visual Thinking*, second edition, Brooks/Cole Publishing, Monterey, CA, 1980.

von Oech, Roger, *A Whack on the Side of the Head: How You Can Be More Creative*, revised edition, Warner Books, New York, 1998.

Von Hippel 做了关于新产品概念来源的实证研究报告。他的核心观点是引导市场上的创新者。

von Hippel, Eric, *The Sources of Innovation*, Oxford University Press, New York, 1988.

Yang 和她的研究团队进行了一系列的实验，以探索概念开发中使用的图形建模的时间、质量和类型。

Häggman, Anders, Honda, Tomonori, and Maria C. Yang, "The Influence of Timing in Exploratory Prototyping and Other Activities in Design Projects," ASME International Design Engineering Technical Conferences, August 2013.

Neeley, W. Lawrence, Kirsten Lim, April Zhu, and Maria C. Yang, "Building Fast to Think Faster: Exploiting Rapid Prototyping to Accelerate Ideation During Early Stage Design," ASME International Design Engineering Technical Conferences, August 2013.

Yang, Maria C., "Observations on Concept Generation and Sketching in Engineering Design," *Research in Engineering Design*, Vol. 20, No. 1, 2009, pp. 1-11.

Yang, Maria C., and Jorge G. Cham, "An Analysis of Sketching Skill and its Role in Early Stage Engineering Design," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 129, No. 5, 2007, pp. 476-482.

Goldenberg 和 Mazursky 做了一套有趣的“模版”标准来确定新产品概念。

Goldenberg, Jacob, and David Mazursky, *Creativity in Product Innovation*, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.

本章提到的一些创造性地解决问题的具体方法（SCAMPER 头脑风暴、集思广益和 TRIZ 创新思维）在下面参考文献中进行了解释。

Eberle, Bob, *SCAMPER: Games for Imagination Development*, Prufrock Press, Waco TX, 1996.

Gordon, William J. J., *Synectics: The Development of Creative Capacity*, Harper, New York, 1961.

Altshuller, Genrich, *40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation*, Technical Innovation Center, Worcester, MA, 1998.

Terminko, John, Alla Zusman, and Boris Zlotin, *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ*, St. Lucie Press, Boca Raton, FL, 1998.

通过工程手册可以方便地查到标准技术的解决方案。

这里介绍三本不错的工程手册：

Avallone, Eugene A., Theodore Baumeister III, and Ali Sadegh (eds.), *Marks' Standard Handbook of Mechanical Engineering*, eleventh edition, McGraw-Hill, New York, 2006.

Green, Don W., and Robert H. Perry (eds.), *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, eighth edition, McGraw-Hill, New York, 2003.

Selater, Neil, *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook*, fifth edition, McGraw-Hill, New York, 2011.

142

练习

1. 在一个新芭比娃娃的设计中进行功能分解，根据用户互动来分解问题。
2. 为切割阀芯尼龙绳时“防止绳头磨损”这一子问题生成 20 个概念。
3. 对“申请塑料制品的永久序号”这一问题提出外部搜索方案。

思考题

1. 计算机对概念生成过程会有哪些帮助？你能想到什么计算机软件对概念生成过程非常有用？

2. 让实际用户也参与概念生成过程，有什么优势和劣势？
3. 在概念生成初期，哪些类型的产品应该关注用户界面与产品形式而不用关注核心技术？请举出具体的例子。
4. 请运用五步法来解决一个日常问题。例如，选择野餐的食物。
5. 如何处理草坪上的落叶问题会生成新概念。塑料袋制造商、草坪设备制造商和维护世界范围的高尔夫球场的公司它们三者在假设与问题分解上有什么不同？不同的公司情况是否应该采取不同的概念生成方式？

第 8 章

概念选择



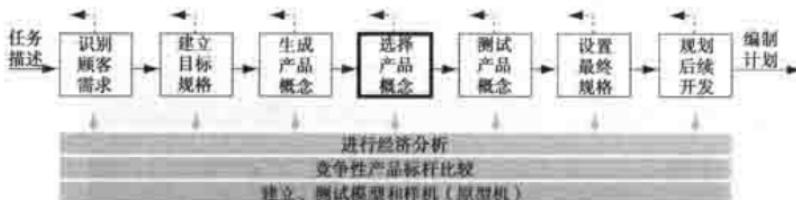
(Novo Nordisk A/S 公司授权)

图表 8-1 市面上现有一种注射器

某药品供应商旗下子公司专门设计注射器。该子公司生产的注射器不仅要为门诊病人准确控制试剂量，还要能够重复使用。图表 8-1 表示其竞争对手生产的同类产品。该供应商指出，目前，产品开发面临的两个需要特别关注的问题是成本（现有产品材质为不锈钢）以及注射剂量的精准性。供应商还要求该产品的性能要与在市场上占有重大份额的现有产品相一致。开发团队建立了选择产品概念的 7 个基本指标来描述现有顾客和潜在顾客的需求：

- 处理的简便性
- 使用的简便性
- 计量设定的可读性
- 计量注射的准确性
- 耐磨性
- 制造的简易性
- 便携性

图表 8-2 表达了该团队正在考虑的概念略图。



图表 8-2 概念选择是整个概念开发阶段的一个部分

这些概念看似满足关键顾客需求，但是开发团队仍然面临一个问题——哪种才是进一步设计、优化、生产的最优概念。多中选优的过程便会产生如下问题。

- 设计概念都很抽象。如何选择最好的概念？
- 如何让团队所有的成员都接受最终的决定？
- 如果选中的概念设计很好但是可行性不强怎么办？
- 怎样记录概念制作过程？

本章我们将以注射器为例，介绍概念选择理论，解决以上问题。

8.1 概念选择是产品开发过程的重要部分

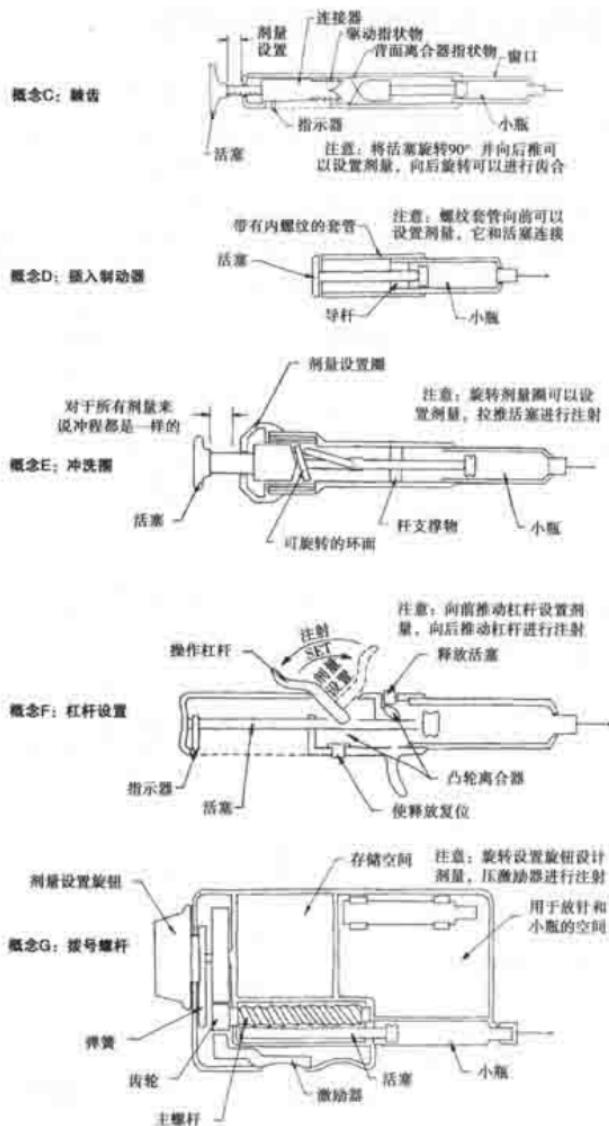
在产品开发的早期阶段，开发团队需要识别顾客的需求，并使用大量的方法来产生实现特定需求的概念（详见第5章和第7章）。概念选择（concept selection）即是通过比较各概念间的相对优劣，来选择一个或几个概念进行接下来的调查、测试以及研究，从而使概念更好地满足顾客需求和其他指标的过程。图表8-2表示的是产品开发过程中，概念选择与其他阶段之间的关系。虽然本章主要研究在开发过程开始时，总体产品概念的选择，但是后续将要论述的开发团队选择下一级的概念、元素和生产方式，也会用到本章的概念。

146

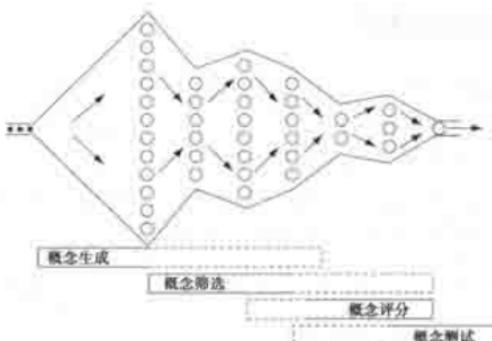
尽管开发过程的许多阶段都需要依靠开发人员的创造力和思维的多样性，但概念选择只需要对可供选择的概念进行筛选。概念选择是一个收敛的过程，但并不一定能够很快就选择出一个最优概念，因此必须反复进行。初始阶段，我们将从一系列初始概念中筛选出部分概念，然后对其进行整合演化并进行临时的扩展；通过数次诸如此类的循环操作，就能诞生最优概念。图表8-4表示的是概念选择过程中的连续筛选和临时扩展过程。



图表8-3 七种注射器概念：开发团队绘制了七个略图来描绘待考虑的基本概念



图表 8-3 (续)



图表 8.4 概念选择是一个与概念生成以及概念测试有着紧密联系的迭代过程，概念筛选与评分有助于团队提炼和改进概念，从而选择出一个或多个更好的概念来进行接下来的概念测试，以及更进一步的开发行为

8.2 概念选择方法

无论概念选择过程是否清晰，所有的团队都会使用特定的方法来选择概念（即使开始时只有一个概念，也会用到相应的方法——选择他们最初设想的概念）。依据这些方法的作用，它们可分为以下几种。

- 外部决策 (external decision)：把概念交给顾客或者其他外界实体来选择。
- 产品冠军 (product champion)：开发团队里面最有影响力的成员通过个人的偏好来选择概念。
- 直觉 (intuition)：外部的标准和比较评价不起作用，通过对概念的主观感受选择方案。
- 多数表决 (multivoting)：团队成员进行投票，选择票数最多的概念。
- 网络调查 (web-based survey)：应用在线调查工具，通过在线投票的方式选择支持率最高的概念为最优概念。
- 优劣势 (pros and cons)：将每个概念的优劣势列成表，然后通过成员的意见来选择。
- 原型化和测试 (prototype and test)：建立并测试每个概念的模型，根据测试结果进行选择。
- 决策准则 (decision matrix)：用事先制定的衡量指标来评估每个概念的等级，从而做出选择。

本章所用的概念选择方法是在决策矩阵的基础上建立的。可以根据一组选择标准对每种方案进行评价。

8.3 结构化方法的优点

产品开发过程中的所有前端行为都对最终产品有巨大的影响。产品概念会对市场产生关键性的作用，但很多生产者和开发者更多地关注概念选择对产品制造成本产生的重大影响。概念选择过程很关键，也很困难，很多时候甚至会带有冲动的因素。一个结构性的概念选择过程将会对保持整个开发过程的客观性，指导产品开发团队顺利完成选择过程提供巨大的帮助。更明确地说，结构性的概念选择方法将提供以下几个潜在的优点。

- **以顾客为中心的产品 (customer-focused product)**: 因为方案是通过依赖于顾客的指标来衡量的，选择的方案应该尽可能地以顾客为中心。
- **具有竞争力的设计 (competitive design)**: 在设计的概念符合现有设计要求的前提下，设计者应使设计在关键的参数上赶上甚至超过它的竞争对手。
- **更好的产品 - 工艺协调性 (better product-process coordination)**: 符合生产指标的清晰的产品评价将提高产品的制造能力，使产品与企业的生产能力相匹配。
- **缩短产品投放时间 (reduced time to product introduction)**: 结构性的方法将成为设计工程师、制造工程师、工程设计者、市场营销人员和项目经理的共同语言，减少模棱两可，加快交流，减少错误。
- **有效的集体决策 (effective group decision making)**: 在开发团队内部，组织的理念、指导方针、成员参与的积极性，以及团队成员的经验都会限制方案选择过程。结构性的方法可以使决策过程基于客观的标准，从而降低武断或者个人的因素对产品概念的影响。
- **记录决策过程 (documentation of the decision process)**: 结构性的方法使得团队能够就概念选择过程形成一个易于理解的说明文件。这个记录对于吸收新的成员、迅速估计顾客需求或者可行概念的改变都极其有用。

147
150

8.4 方法概述

我们将介绍一种两步的概念选择方法，步骤 1 称作概念筛选 (concept screening)，步骤 2 称作概念评分 (concept scoring) (其实对于一些简单的决策，只要第 1 步就足够了)。每一步都建立在决策矩阵的基础上，该决策矩阵可以用来评估等级 (rate)、等级排序 (rank) 以及选择最佳概念。虽然这种方法具有结构性，但我们仍然强调团队洞察力在改进和整合概念过程中的作用。

概念选择的两步法经常作为一种处理产品概念评价复杂性的方法。图表 8-4 表示的是两步法的应用。概念筛选是通过迅速、近似的评价来选择出一部分可行的概念选项。概念评分是

对这些相互联系的方案进行更细致的分析以便选择出最合适的概念。

在概念筛选阶段，最初较为粗略的概念通过筛选矩阵（screening matrix）与参考概念进行评价。比较。此阶段中，很难获得详细的定量比较数据，而且可能产生误导。因此，应使用一个粗略的比较评价系统。当一些可供选择的概念排除后，开发团队可以继续进行概念评分，通过评分矩阵（scoring matrix），对剩余的概念进行更详尽的分析和更准确的定量分析。在整个筛选、评分的过程中，可能会发生循环，并且通过整合某些概念的特征进而提出另外一些新的概念。图表 8-5 和图表 8-7 分别表示的是从注射器案例中得到的筛选矩阵和评分矩阵。

概念筛选和概念评分这两个阶段都包含如下 6 个步骤来指导团队顺利完成概念选择过程：

- (1) 准备选择矩阵
- (2) 对概念评级
- (3) 对概念排序
- (4) 对概念进行整合和改进
- (5) 选择一个或多个概念
- (6) 对结果和过程进行反思

[151]

虽然我们介绍了一种定义明确的方法，但是建立概念并做出决策的不是方法，而是团队。从理论上来说，团队由公司不同部门的成员所组成，每个成员对问题都会有独特的见解，从而增强了对问题的认识，进而促成产品开发的成功。概念选择理论在团队成员中，使用了大家都认可的概念——矩阵，来形象地指导工作，矩阵关注的是顾客需求和其他决定性的指标以及可供评价、改进和选择的产品概念。

8.5 概念筛选

概念筛选建立在 Stuart Pugh 在 20 世纪 80 年代提出的方法基础之上。这种方法通常被称为 Pugh 概念筛选（Pugh concept selection, Pugh, 1990），其目的是迅速减少概念的数量并改进概念的质量。图表 8-5 表示的是这一步中所用到的筛选矩阵。

8.5.1 步骤 1：准备选择矩阵

为了准备选择矩阵，项目开发团队将针对手头上的问题选择最合适的解决方法。个人或者拥有较短指标列表单的小团队可能会使用类似图表 8-5 或者附录 A 的表格来完成选择过程。

一个规模庞大的团队则需要一块黑板或活动挂图来帮助团队讨论。

然后，把输入（概念和标准）填入矩阵中。尽管概念可能由不同的人员编制，但是应该尽可能在细节上处于相同的等级，以保证有意义的比较和无偏见的选择。概念最好能够同时通过手写和图表来描绘，一份简单的概念略图将会促进对概念主要特征的理解。概念位于矩阵的顶部，使用图片或文本形式的标签。

| 选择标准 | 概念 | | | | | | |
|--------|-------|-------|------|-----------------|-------|------------|------------|
| | A 主汽缸 | B 橡胶圈 | C 齿齿 | D (参考) 插入制动器 | E 冲洗圈 | F 杠杆 设置 | G 拨号 螺杆 |
| 易于处理 | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | - |
| 使用方便 | 0 | - | - | 0 | 0 | - | 0 |
| 装置的可靠性 | 0 | 0 | + | 0 | + | 0 | + |
| 计量仪器精准 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| 耐用性 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | 0 |
| 易于制造 | + | - | - | 0 | 0 | - | 0 |
| 轻便 | + | + | 0 | 0 | + | 0 | 0 |
| +号的个数 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| 0的个数 | 5 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 5 |
| -号的个数 | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| 净得分 | 2 | -1 | -2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 等级排序 | 1 | 6 | 7 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 继续吗？ | 要 | 不要 | 不要 | 组合 | 要 | 组合 | 修正 |

图表 8-5 概念筛选矩阵。以注射器这个案例为例，团队将待选的概念与参考的概念相比较。使用一些简单的符号（“+”表示“优于”，“0”表示“相同”，“-”表示“差于”）来挑选出将来可能会用到的概念。注意 3 个等级为“3”的概念都获得了同样的净得分。

如果团队考虑的概念超过 12 个，可以采用多数表决（multivote）技术从待评价的概念中进行初步选择。采用多数表决技术，团队成员同时对 3~5 种方案通过在纸上打“点”的方式来选出他们比较中意概念，得到点数最多的概念将被选中，进而进行概念筛选。（详见第 3 章）如果待选概念的数目过多，也可用到筛选矩阵。由于转换矩阵行列的便捷性，使用电子表格将会更加方便（这个时候，概念位于左边第一列，指标位于顶部）。

如图表 8-5 所示，选择指标位于筛选矩阵的第一列。这些指标是基于团队识别的顾客需求以及企业本身的要求（如较低的制造成本和较低的产品风险责任）选择使用的。这一步所使用

的指标都具有高度的抽象性，能够区分开概念，而且包含了5~10个方面的代表性特征。所选指标应体现出不同概念之间的差异。但是，由于每种指标在概念筛选方法中所占的分量均一致，团队在制作筛选矩阵时应该谨慎，以免列出不重要的指标，导致比较重要的指标不能清晰反映在结果中。

经过慎重考虑，团队会选择一个概念作为基准或参考概念（reference concept），比照这个概念，其他的概念就能够划分等级了。参考概念是一个工业标准或者是团队成员都熟悉且简单易懂的概念。参考概念可能是商业可行性产品、团队开发的上代产品中最高等级的产品，现在考虑的概念中的任意一种或者是能够代表不同产品最好特征的次级系统的组合。

8.5.2 步骤2：对概念评级

在矩阵中用“优于”(+)、“相似”(0)或者“差于”(-)这些比较得分来表述各个概念与参考概念相比，符合特定标准的程度。我们建议最好是对所有概念的同一指标都打完分之后再转换到下一指标，但对于数目众多的概念来说，使用相反的方式（给一个概念的所有指标都打好分后切换到下一个概念）更加迅捷。

有些人觉得很难对性质较为粗糙的概念打出相对得分。但是，在设计阶段的这一步，每一个概念只是最终产品的一个粗略的构思，太过细致的分析大部分都是无用的。事实上，如果考虑到概念描绘的误差，除非始终使用参考概念作为比较的基础，否则很难对各概念进行比较。

只要情况允许，就应该用客观性的矩阵作为评价等级的基准。例如，组织成本的大体估计值取决于设计的部件数；同样，使用的便捷性大致取决于使用该器械必需的操作步骤数。矩阵就能够减少此类评估过程中的主观评价。某些适用于概念选择过程的客观矩阵，很可能是在建立产品目标规格的过程中产生的（请参看第6章）。如果没有客观矩阵，可以使用无记名投票或者其他的方法。此时，评估建立在团队共识上。在这点上，团队希望找到哪种选择指标需要更深入的调查和分析。

8.5.3 步骤3：对概念排序

对所有的概念评估等级之后，团队将汇总“优于”“相似”和“差于”的个数，并把每种类别的综述记录到矩阵的最后一行。以图表8-5的数据为例，A概念被评估有2个指标优于参考方案，有5个指标与参考方案类似，没有指标差于参考概念。然后，从“优于”的数目中减去“差于”的数目，就计算出了净得分。

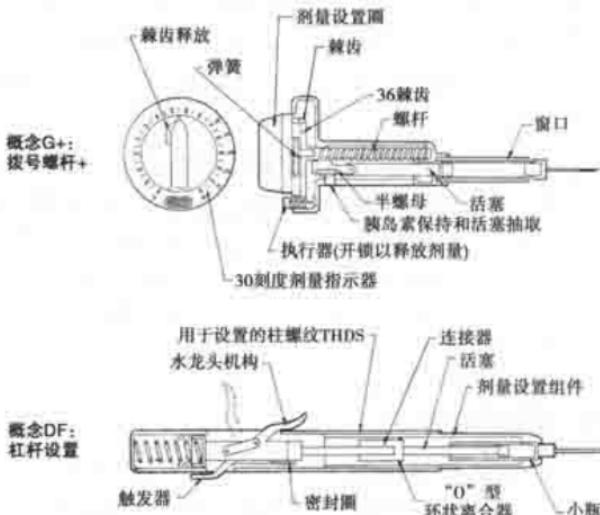
算出总分后，团队即可对概念划分等级。总体来说，级别高的概念拥有较多的正分和较少的负分。此时，团队就可以识别出一至两个能够将概念区分开的指标。

8.5.4 步骤 4：对概念进行整合和改进

完成概念评估后，团队应该检验结果是否有意义，然后考虑是否有方法能够对这些概念进行整合改进。需要考虑的问题有两个。

- 有没有一个概念，总体上很好，却因为一个不好的特征而导致降级？一个较小的修正是否能够整体改进概念而又不与其他的概念雷同？
- 是否有这样两种概念，它们合并后能够保持“优于”的数量，却减少“差于”的数量？

项目开发团队应该将整合和改进后的概念加入到矩阵中对它们进行细节评估，并对其整体与其他原始概念一起分级。在这个例子中，团队注意到 D 概念与 F 概念能够整合成一个“差于”数目较少的新概念 DF，来进行下一轮的考虑。同时，也考虑将 G 概念进行修改。团队觉得此概念的产品体积过大。于是在保留注射技术的同时将多余的存储空间压缩掉。图表 8-6 所示为修正过的概念。



图表 8-6 新的和修改后的注射器概念：在选择过程中，团队对概念 G 进行了修改，并通过对概念 D 和概念 F 整合，形成了一个新的概念 DF

8.5.5 步骤 5：选择一个或多个概念

团队成员对每个概念及其相对性质理解充分时，将决定选择哪些概念进行更深层次的分析。基于以上步骤，团队可能已经对最合适的概念有了清晰的认识。选择进行更深层次研究的概念数目将会受到团队资源，如人员、经费、时间的限制。在选择最终概念之前，团队还必须弄清，哪些问题是必须研究调查的。此例中，团队选择对概念 A、概念 E、修改过的概念 G+ 和新概念 DF 做进一步分析。

同时，团队必须决定是否进行新一轮的概念筛选或者概念评分。如果筛选矩阵不能完成下一步评价以及选择，那么就要使用包含有确定比重的选择指标。拥有更多细节评估计划的概念评分步骤。

8.5.6 步骤 6：对结果和过程进行反思

最终结果须使得团队的所有成员都满意。如果有一个成员不同意团队的决定，就说明有可能在筛选矩阵中遗漏了一个或几个重要的指标，或者某个特定的评估过程是错误的，至少是不清晰的。考虑结果是否满足每个成员的意愿，会减少错误发生的可能性，增加整个团队开展后续工作的凝聚力。

8.6 概念评分

要更好地区分不同的概念，可采用概念评分的方法。在这一步中，团队将会权衡每一个选择指标的相对重要性，集中精力对各个指标进行更细致的比较，其中，概念的得分取决于评估等级的加权和。图表 8-7 显示这一步中用到的评分矩阵。在此，我们将重点介绍概念评分与概念筛选的不同处。

| | | 概念 | | | | | | | |
|--------|-----|------------|------|---------|------|-------|------|---------|------|
| | | A (参考) 主气缸 | | DF 杠杆设置 | | E 冲洗圈 | | G+ 拨号螺杆 | |
| 选择标准 | 权重 | 评估 | 加权得分 | 评估 | 加权得分 | 评估 | 加权得分 | 评估 | 加权得分 |
| | | 易于处理 | 5% | 3 | 0.15 | 3 | 0.15 | 4 | 0.2 |
| 使用方便 | 15% | 3 | 0.45 | 4 | 0.6 | 4 | 0.6 | 3 | 0.45 |
| 装置的可读性 | 10% | 2 | 0.2 | 3 | 0.3 | 5 | 0.5 | 5 | 0.5 |

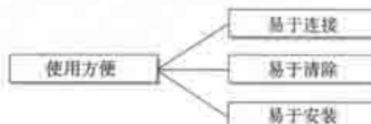
图表 8-7 概念评分矩阵：该方法使用各等级的加权和来确定概念的级别排序。此矩阵使用概念 A 作为总体的参考概念。其他的参考点在表中用黑体标出。

| | | 概念 | | | | | | | |
|--------|-----|-----------|------|---------|------|-------|------|---------|------|
| | | A(参考) 主气缸 | | DF 杠杆设置 | | E 冲洗圈 | | G+ 拨号螺杆 | |
| 选择标准 | 权重 | 评估等级 | 加权得分 | 评估等级 | 加权得分 | 评估等级 | 加权得分 | 评估等级 | 加权得分 |
| 计量仪器精准 | 25% | 3 | 0.75 | 3 | 0.75 | 2 | 0.5 | 3 | 0.75 |
| 耐用性 | 15% | 2 | 0.3 | 5 | 0.75 | 4 | 0.6 | 3 | 0.45 |
| 易于制造 | 20% | 3 | 0.6 | 3 | 0.6 | 2 | 0.4 | 2 | 0.4 |
| 轻便 | 10% | 3 | 0.3 | 3 | 0.3 | 3 | 0.3 | 3 | 0.3 |
| 总得分 | | 2.75 | | 3.45 | | 3.10 | | 3.05 | |
| 排序 | | 4 | | 1 | | 2 | | 3 | |
| 继续吗? | | 不 | | 开发 | | 不 | | 不 | |

图表 8-7 (续)

8.6.1 步骤 1：准备选择矩阵

在筛选阶段，团队需要编制矩阵并识别参考概念。在大多数情况下，最好使用电子表格来辅助分级和进行灵敏性分析。在矩阵的第一行输入概念，通过概念筛选，此时的概念在某种程度上已经比较精确了，所以可以在矩阵中列示更多的细节性问题。团队可能会增加选择指标的细节性问题，使之与更详细的概念相匹配。使用等级关系是将指标阐述明白的一种有效方式。在注射器案例中，假设团队认为“使用方便”这个指标的细节不足以区分开剩下的概念，则可以将“使用方便”分解为“易于注射”“易于清洁”和“易于装填”等（如图表 8-8 所示）。指标的精细程度取决于团队的需要，可能有些指标没有必要扩展。如果团队编制了顾客需求的分级表，更详细的选择指标就需要参考二级或三级顾客需求（有关初级、二级、三级需求，请参考第 5 章；有关分级指标选择，请参考附录 A、附录 B）。



图表 8-8 选择标准的层级分解：与更详细的概念相联系，团队可以将选择标准分得更细，以便进行有意义的比较

在输入所有的指标后，团队应将指标的权重也输入到矩阵。如图表 8-7 所示，团队可以使用几种不同的方法。如按 1~5 来分配各个指标的重要程度，或者按百分比进行分配。也可以使用市场技术从顾客数据中获得经验型的权重，这些权重可用于确定顾客需求的全过程（Urban 和 Hauser, 1993）。为了选择方案，权重通常由团队一致认可的方式主观确定。

8.6.2 步骤 2：对概念评级

与筛选过程一样，总体来说，团队在某一时间内，专注讨论其中一个指标是最为容易的。为了更好地区分可选概念，需使用一种更为精密的从 1~5 的标度。

| 相对性能 | 等级 |
|----------|----|
| 比参考概念差很多 | 1 |
| 比参考概念稍差 | 2 |
| 比参考概念差不多 | 3 |
| 比参考概念差稍好 | 4 |
| 比参考概念好很多 | 5 |

当然也可以使用其他的标度，如从 1~9，但是标度越精密，需要耗费的时间和精力也就越多。

与筛选阶段一样，在比较评估过程中常用到参考概念；但是参考概念并不总适用，除非参考概念对于每个指标来说都刚好处在平均水平，否则使用同样的参考概念对每个指标进行衡量，将会导致某些指标“标度压缩”。例如，如果参考概念正好是制造过程中最简便的方案，那么其他的概念都只能用 1、2 或 3（“远差于”“劣于”或“相似”）来评价“易于制造”这个指标。这就使得评估标度从 5 级降为 3 级了。

为了避免标度压缩，建议对不同的选择指标使用不同的参考点。参考点可能来自于待选概念，也可能来自基准分析比较，还可能来自产品技术规格的目标值或其平均值。每个指标的参考点都必须得到充分了解才能促成一对一的比较。使用多个参考点的同时还是需要指派一个概念作为综合的参考概念，以保证所选概念能够与之进行比较。在这样的情况下，综合参考概念就不需要简单地赋予中间得分了。

图表 8-7 表示注射器案例的评分矩阵。团队认为标准的圆柱体概念不适合做其中两项指标的参考点，于是选择了其他的概念作为这两个指标的参考点。

附录 B 是团队不使用清晰的参考点时，对每个指标评估概念等级时绘制的更为详细的评分矩阵。这些评估是通过讨论各个概念相对于指标的值而完成的，使用的是 9 分值标度。

8.6.3 步骤 3：对概念排序

当评估的得分输入到每个概念对应的空格中之后，将原始得分与指标的权重相乘后计算出加权得分。加权得分的总和即为每个概念的总分。

$$S_i = \sum_{i=1}^n r_i w_i$$

式中: r_{ij} ——概念 j 在第 i 个标准上的原始评分;

w_i ——第 i 个标准的权重;

n ——标准的个数;

S_j ——概念 j 的总分。

最后依照每个概念的总分进行排列, 结果如图表 8-7 所示。

8.6.4 步骤 4 : 对概念进行整合和改进

与筛选阶段一样, 团队也要通过改变和整合来改进概念。虽然正式的概念产生过程在概念选择过程开始前就完成了, 但是最重要的富有创造性的改进却发生在概念选择阶段, 因为此时, 团队才真正认识到产品概念特定性质的固有优劣性。

8.6.5 步骤 5 : 选择一个或多个概念

最终的概念选择并不是简单地选择初次检验处在最高级别的概念, 而应该通过灵敏度分析考察初始的评价结果。通过电子表格, 团队能够轻易实现变换权重和评估级别, 从而确定影响评估等级的因素。^[158]

通过调查等级对特定评估变化的灵敏度, 团队能够确认是否存在对结果有重大影响的不确定因素。在某些情况下, 团队可能会选择一个得分较低但不确定性较低的概念, 而不是选择一个得分较高, 但是可能难以运行或者实际情况比起假设情况要差的概念。

基于选择矩阵, 团队可能会决定选择最高级别的两个或多个概念。这些概念通过进一步扩展, 制成原型, 然后测试, 从而得到顾客的反馈。(关于如何估计顾客对产品概念的反应, 请参见第 9 章)。

团队也可能会为拥有不同消费者偏好的市场分区使用不同的权重制作两个或多个评分矩阵, 从而得出概念队列。很有可能存在某个概念在几个分区中都占有优势。团队也应该仔细考虑概念得分中的差异显著性。在评分系统分辨率给定的情况下, 小差异一般没有太大影响。

在注射器案例中, 团队认为方案 DF 是最合适的, 最有可能生产出最成功的产品。

8.6.6 步骤 6 : 对结果和过程进行反思

最后一步, 团队对选择的概念和整个概念选择过程进行反思。从某些方面来说, 这被称为方案开发过程的“极限点”, 故团队里的每个成员都应该确信所有相关的问题都已经过讨论, 选择的概念能够最大限度地满足消费者, 并拥有经济上的可行性。

在完成了概念选择的所有步骤之后，团队须重新核对一下在考虑过程中被排除掉的概念。如果团队成员一致认为存在淘汰的概念优于保留的概念时，就应该找出问题产生的原因。考虑是否可能遗漏了某个重要的指标，或者权重不适当或使用不当。

对公司来说，反思过程本身对改进接下来的概念选择行为十分有益。

- (如果存在的话) 概念选择以何种方式促使团队做出决定？
- 怎样改进方法才能促进团队的执行能力？

通过上述两个问题，可以使团队将精力集中到依照公司需要以及能力等相关方面来评判方法的优劣性。

8.7 附加说明

对于十分熟悉概念选择方法的使用者来说，可能会发现以下问题。本节将讨论这些问题并说明一些注意事项。

- **概念质量的分解 (decomposition of concept quality)**：概念选择方法的理论基础是选择指标（内在指顾客需求）要能够独立评价，而概念的质量正是与每个指标相关的概念的质量之和。有些产品概念的性质可能无法简单分解成一系列独立的指标，或者该概念与不同指标关联的程度难以与概念的综合质量挂钩。举例来说，网球拍设计的整体要求取决于一些非常复杂的方面，如质量、旋转的灵活性、振动的传递性以及能量的吸收。如果只简单地基于与每个指标相关联的程度总和来选择概念，很可能无法获得这些指标之间的复杂联系。Keeney 和 Raiffa (1993) 讨论了包括选择指标的非线性关系在内的多属性概念决定的问题。
- **主观指标 (subjective criteria)**：有些指标选择，尤其是与美学相关的指标，具有高度的主观性。对于仅与主观指标关联的选择关系，必须慎重选择。通常来说，开发团队的集体判断并不是评价主观指标的最好方法。更佳的方法是缩小选择范围，选择出 3~4 个概念（可能的话使用模型来模拟概念），然后去征求产品目标市场有代表性的顾客意见（参考第 9 章）。
- **促进概念的改进 (to facilitate improvement of concepts)**：在讨论了每个概念并评定了等级之后，团队应该将概念显著（积极的或消极的）的程度直接记在选择矩阵的空格中，以便识别出那些能够应用于其他概念的特征，以及改进概念过程中有待解决的问题。这样的记录对步骤 4，在做出选择前团队整合、加工和改进方案尤其有益。
- **何处考虑成本 (where to include cost)**：大部分指标选择是基于顾客需求的，但是，“易

于制造”和“生产成本”不是顾客的需求。顾客关心生产成本的唯一原因是生产成本会影响销售价格。但是，成本却是概念选择的一个极其重要的因素，因为它是决定产品经济可行性的一个重要因素。因此，尽管制造成本以及易于制造并不是真正的顾客需求，我们仍建议在评价概念时仍增加这些因素。同样，除了顾客需求，其他利益相关者的需求对经济可行性也很重要。

- **集成概念的选择原理 (selecting elements of aggregate concepts):** 有些产品方案是简单概念的集成。如果所有拟考虑的概念都包含一系列较为简单的元素，则在评价相对复杂的概念层面以前，可以先单独考虑这些简单的元素。这样的分解可以部分依据生成概念时所采用的结构。举例来说，如果我们的案例中，所有的注射器都能够使用不同类型的针，那么在考虑整个注射器概念选择之前，可以单独对针进行选择。
- **将概念选择应用于整个研发过程 (applying concept selection throughout the development process):** 虽然在整个章节中，我们集中讨论了基本的产品概念选择方法的应用，但是在设计和开发的很多细节层面需要一遍遍地进行概念选择。例如在注射器案例中，开发过程的最初阶段需要应用概念选择来决定生产的是专用注射器还是普通注射器。一旦确定这个最基本的步骤后，如本章所述，需要应用概念选择来选出一个最基本的产品概念。最后，在设计的细节层面上，如颜色和材料的选择，更需要应用概念选择来决定。

160

8.8 小结

概念选择是用顾客需求以及其他指标来评价概念，比较各个概念之间的相对优劣，从而为更进一步的研究开发选择出一个或几个概念的过程。

- 所有的团队都会使用一些明显的或不明显的方法来选择概念。选择概念时用到的决策技术包括直觉的方法和系统结构的方法。
- 结构性的概念选择能够促进设计的成功。我们介绍了一个两步法：概念筛选和概念评分。
- 概念筛选是通过参考概念来比较各概念与选择指标的符合情况，而概念评分对于不同的指标可以使用不同的参考点。
- 概念筛选中用来缩减待选概念数量的比较系统是比较粗糙的。
- 概念评分中用到了分配好权重的选择指标以及更为精确的刻度划分。如果概念筛选时已经选择了一个合适的概念，那么就可以跳过概念评分这一步。
- 概念筛选和概念评分都基于矩阵基础，且都包括以下 6 个步骤：
 - (1) 准备选择矩阵
 - (2) 对概念评级

- (3) 对概念排序
- (4) 对概念进行整合和改进
- (5) 选择一个或多个概念
- (6) 对结果和过程进行反思
- 不仅是概念开发过程中会用到概念选择，在接下来的过程中也会用到。
- 整个概念选择过程促进了最优概念的选择，同时有助于团队达成共识，而且此过程还对决策的制定过程做了记录。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

概念选择是一个决策过程。Souder 还概述了其他一些决策技术。

Souder, William E., *Management Decision Methods for Managers of Engineering and Research*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1980.

对于多属性决策的详细阐述和一系列不同的有趣研究案例。

Keeney, Ralph L., and Howard Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*, Cambridge University Press, New York, 1993.

Pahl 和 Beitz 在关于工程设计的著作中讲述了一系列系统的方法。其中阐述的两种概念选择方法与概念评分非常类似。

Pahl, Gerhard, Wolfgang Beitz, Jörg Feldhusen, and Karl-Heinrich Grote, *Engineering Design: A Systematic Approach*, third edition, K. Wallace and L. Blessing, translators, Springer-Verlag, New York, 2007.

对选择指标分配权重的方法由来已久，早期就有很多应用加权矩阵的文献。

Alger, J.R., and C.V. Hays, *Creative Synthesis in Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1964.

概念评分的方法是以 Stuart Pugh 提出的概念选择过程为基础的。Pugh 不赞同过于定量的方法，如本章所讲述的概念评分方法，他认为数字往往会使研究者误认为开发更好概念时所需的创造力。

Pugh, Stuart, *Total Design*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.

概念评分与一种通常被称为 Kepner-Tregoe 的方法很相似。在他们的著作中，对于这种方法以及其他一些应用于识别问题、解决问题的技术，都有介绍。

Kepner, Charles H., and Benjamin B. Tregoe, *The Rational Manager*, McGraw-Hill, New York, 1965.

对于如何确定产品不同属性间的相对重要性, Urban 和 Hauser 描述了相关的技术。

Urban, Glen L., and John R. Hauser, *Design and Marketing of New Products*, second edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.

Otto 和 Wood 介绍了一种方法来概括评分过程中给概念划分等级界限的过程。将这些界限组合起来, 可以得到选择最高得分概念时的误差估计, 也可以用来计算结果的置信区间。

Otto, Kevin N., and Kristin L. Wood, "Estimating Errors in Concept Selection," *ASME Design Engineering Technical Conferences*, Vol. DE-83, 1995, pp.397-412.

练习

1. 概念选择方法是怎样评价现有产品的? 应用这种评价方法来评价你能想到的 5 种摩托车。
2. 对于笔记本电脑中使用的电池技术, 请建立一组选择指标。
3. 请用概念筛选来对下图中的 4 个铅笔盒概念进行选择。假设铅笔盒是产品开发团队中的一个成员需要使用的, 且这个成员经常出差。
4. 使用概念评分来重复练习 3。



162

思考题

1. 如何使用概念选择的方法来决定是提供一种产品给商场还是提供几个不同的产品选项?
2. 如何使用概念选择方法来决定哪些产品属性需要标准化, 而哪些属性需要可选或者添加哪些属性?
3. 你是否能够设想出一种电脑交流工具, 能够允许一个很大的团队(20 个成员或者更多)参与到概念选择过程中来? 如何使用这个工具?
4. 如果一个开发团队使用概念选择方法选择出了一个概念, 但这个概念最终未能取得商业上的成功, 那么会是什么原因导致的这种情形?

163

附录 A 概念筛选矩阵示例

该矩阵是开发团队在开发一种将重量加到杠铃上的轴环时创建并使用的。

| | | 概念 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|-----------|-------------|----------|------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|------|
| 选择标准 | | hand-Cuff | Master-Cuff | Velcro-带 | 橡胶-带 | 脚扣-式夹 | 4组弹簧锁(REF) | 扭簧-弹臂 | 螺杆-类型 | 翼部-螺母 | 衣服-别针 | 软管-夹子 | C-形状-夹子 | 弹簧-配杆 | 磁片-配杆 | 螺纹-杆 |
| 性能 | | + | 0 | + | + | + | 0 | + | - | + | 0 | 0 | + | + | 0 | |
| 重量轻 | | + | 0 | + | + | + | 0 | 0 | 0 | + | 0 | + | + | + | 0 | |
| 适合不同的杠杆 | | + | 0 | + | + | + | 0 | 0 | + | 0 | + | 0 | - | 0 | 0 | |
| 侧面保护重量 | | 0 | 0 | - | - | 0 | 0 | 0 | - | + | 0 | 0 | - | 0 | + | |
| 方便 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 从底部/侧面固定 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | - | 0 | + | + | - | |
| 不滚动 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 不去掉轴环的条件下改变重量 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 | |
| 改变重量时放置方便 | | 0 | 0 | + | + | 0 | 0 | - | - | 0 | - | 0 | + | + | - | |
| 人机工程学 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 把握/解放(1种运动) | | + | 0 | - | - | + | 0 | - | - | 0 | - | + | + | + | - | |
| 把握/解放力小 | | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | 0 | + | - | 0 | |
| 左/右手 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | - | 0 | 0 | - | - | |
| 临时使用不精 | | 0 | 0 | * | * | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | * | * | 0 | |
| 可以一手使用 | | + | 0 | 0 | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 | |
| 耐久性 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 使用寿命 | | - | - | - | 0 | 0 | 0 | + | 0 | 0 | + | - | - | - | - | |
| 其他 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 原材料成本 | | 0 | 0 | + | + | 0 | 0 | 0 | - | + | 0 | 0 | - | - | - | |
| 可制造性 | | 0 | - | + | + | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 | - | - | - | - | |

(续)

| | | 概念 | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----|-----------|--------|--------|-----|------|-------|------------|----|------|------|------|------|-------|----|-----|
| 选择标准 | | hand-cuff | Master | Velcro | 橡胶带 | 脚口式夹 | 4组件弹簧 | 扭转的弹簧(REF) | 螺杆 | 翼部螺母 | 衣服别针 | 软管夹子 | C-夹子 | 弹簧夹配杆 | 磁片 | 螺纹杆 |
| 使用现有的重量杆 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| *号的个数 | 4 | 0 | 6 | 6 | 4 | 0 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 8 | 6 | 2 | 2 |
| 0的个数 | 11 | 14 | 7 | 7 | 11 | 16 | 11 | 8 | 8 | 11 | 10 | 12 | 3 | 4 | 7 | 7 |
| -号的个数 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0 | 4 | 6 | 7 | 1 | 4 | 2 | 5 | 6 | 7 | 7 |
| 净得分 | 3 | -2 | 3 | 3 | 3 | 0 | -3 | -4 | -6 | 3 | -2 | 0 | 3 | 0 | -5 | -5 |
| 等级排序 | 1 | 10 | 1 | 1 | 1 | 7 | 12 | 13 | 15 | 1 | 10 | 7 | 1 | 7 | 13 | 13 |

附录 B 概念评分矩阵示例

该矩阵是开发团队在为船上使用的密封饮料盒选择一个新概念时生成的。注意，在本案例中，开发团队没有选择将单个的概念作为所有选择标准的参考概念。

| 选择标准 | | 权重 | | 概念A | | 概念C | | 概念F | | 概念I | | 概念J | | 概念K | | 概念O | |
|-----------|----|----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 选择标准 | 权重 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 | 等級 | 权重得分 |
| 使用灵活性 | 20 | 7 | 105 | 7 | 105 | 8 | 120 | 6 | 90 | 6 | 90 | 5 | 75 | 7 | 105 | 7 | 105 |
| 适用于不同的地方 | 15 | 3 | 25 | 3 | 25 | 3 | 45 | 4 | 20 | 5 | 25 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 |
| 装有不同的饮料 | 5 | 3 | 25 | 3 | 25 | 3 | 45 | 4 | 20 | 5 | 25 | 3 | 15 | 3 | 15 | 3 | 15 |
| 保持饮用条件 | 15 | 3 | 65 | 3 | 65 | 5 | 65 | 1 | 13 | 5 | 65 | 5 | 65 | 5 | 65 | 5 | 65 |
| 防止饮料进入 | 2 | 5 | 10 | 7 | 14 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| 航行过程中不受损害 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 9 | 9 | 7 | 7 | 5 | 5 | 9 | 9 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 掉下来不摔破 | 1 | 7 | 14 | 7 | 14 | 8 | 16 | 8 | 16 | 5 | 10 | 9 | 18 | 7 | 14 | 7 | 14 |
| 不会被海水腐蚀 | 2 | 7 | 14 | 7 | 14 | 8 | 16 | 8 | 16 | 5 | 10 | 9 | 18 | 7 | 14 | 7 | 14 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|----|
| 掉到水里能浮起来 | 2 | 5 | 10 | 6 | 12 | 8 | 16 | 4 | 8 | 5 | 10 | 8 | 16 | 7 | 14 |
| 保持饮料稳定 | 20 | | | | | | | | | | | | | | |
| 防止溢出 | 7 | 3 | 21 | 4 | 28 | 3 | 21 | 5 | 35 | 5 | 35 | 3 | 21 | 3 | 21 |
| 防止有海浪叫跳动 | 6 | 7 | 42 | 8 | 48 | 7 | 42 | 5 | 30 | 5 | 30 | 7 | 42 | 7 | 42 |
| 在倾斜/滚动时不滑动 | 7 | 5 | 35 | 5 | 35 | 5 | 35 | 5 | 35 | 5 | 35 | 5 | 35 | 5 | 35 |
| 需要很少的维护 | 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 不用时易于储存 | 1 | 7 | 7 | 6 | 6 | 8 | 8 | 9 | 9 | 4 | 4 | 8 | 8 | 7 | 7 |
| 易于保持表面清洁 | 2 | 6 | 12 | 6 | 12 | 3 | 6 | 4 | 8 | 5 | 10 | 5 | 10 | 6 | 12 |
| 允许液体从底部流出 | 2 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| 易于使用 | 15 | | | | | | | | | | | | | | |
| 可以一只手使用 | 5 | 7 | 35 | 7 | 35 | 7 | 35 | 6 | 30 | 5 | 25 | 7 | 35 | 7 | 35 |
| 搬起来容易/舒服 | 5 | 8 | 40 | 8 | 40 | 6 | 30 | 5 | 25 | 5 | 25 | 6 | 30 | 8 | 40 |
| 易于交换饮料箱 | 2 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 8 | 16 | 5 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 |
| 工作可靠 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 3 | 9 | 4 | 12 | 4 | 12 | 3 | 9 |
| 不影响环境 | 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 不破坏船的表面 | 5 | 8 | 40 | 8 | 40 | 8 | 40 | 8 | 40 | 6 | 40 | 6 | 30 | 8 | 40 |
| 看起来舒服 | 5 | 7 | 35 | 8 | 40 | 3 | 15 | 4 | 20 | 5 | 25 | 5 | 25 | 8 | 40 |
| 制造方便 | 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 原材料成本低 | 4 | 5 | 20 | 4 | 16 | 7 | 28 | 8 | 32 | 4 | 16 | 8 | 32 | 6 | 24 |
| 组件简单 | 3 | 4 | 12 | 3 | 9 | 7 | 21 | 4 | 12 | 3 | 9 | 8 | 24 | 5 | 15 |
| 安装步骤简单 | 3 | 5 | 15 | 5 | 15 | 8 | 24 | 3 | 9 | 3 | 9 | 8 | 24 | 6 | 18 |
| 总得分 | 578 | | 594 | | 585 | | 484 | | 510 | | 556 | | 587 | | |
| 等级排序 | | | 4 | | 1 | | 3 | | 7 | | 6 | | 5 | | 2 |

第9章

概念测试



(emPower 公司授权)

图表 9-1 emPower 公司电动滑板车产品概念的模型

emPower 是一家新成立的公司，该公司为进军个人交通工具市场开发了一种新的产品概念。图表 9-1 显示了该产品的模型，它的概念是生产一种能够折叠且方便携带的电力驱动三轮滑板车。该公司希望调查顾客对该概念的反应，以决定是否继续该概念的研发以及判断它是否符合公司的财务状况。

在本章，我们首先把注意力放在概念开发阶段所做的测试上。开发团队在执行一个概念测试时，需要从目标市场的潜在顾客那里获得对产品概念描述的反应。这种类型的测试可以用来从两个或多个概念中选择出最适宜开展下步工作的概念。同时也可以从顾客那里获取改进概念以及估计产品销售潜力的信息。值得注意的是，应该持续开展对于潜在顾客进行的其他不同类型的测试，而不是仅仅在概念开发阶段执行。举例来说，有些测试通常只需要口头描述，可以用来确定初始的产品机会。而初始的产品机会正是形成项目任务陈述的基础。在产品研发基本结束，企业开始执行全部生产能力之前，还可以使用一些测试来测试产品的需求。

图表 9-2 表示的是概念测试与概念开发过程中其他环节的关系。概念测试与概念选择（见第 8 章）两个环节密切相关，它们都是为了缩小可考虑概念系列的数目，但是概念测试与概念选择的不同之处在于概念测试是建立在直接从潜在顾客那里获取的数据上的。它依赖于开发团队自身判断的程度较小。但由于小组不能直接从潜在顾客那里对过多的概念进行测试，所以概念测试一般都在概念选择之后进行。因此，小组首先必须要将待考虑的概念进行缩减。由于概念测试经常需要用到一些产品概念的描述，通常是一个原型，所以概念测试和原型化（见第 14 章）也有很紧密的联系。概念测试得到的结果之一是对公司可以卖出多少单位产品的一个估计值，而这个预测是产品经济分析（见第 18 章）的关键信息之一。



图表 9-2 概念测试与其他研发活动之间的关系

如果某些类别产品的概念测试所需的时间相对于产品寿命周期来说太长，或者测试的成本相对于实际制造产品的成本来说太高，那么小组可能会选择不做任何测试。例如，有些观察家和业内人士指出，在互联网软件行业，仅发行产品并在后续的产品更新换代中不断使其

完善，相比对其概念进行认真的测试来说，是个更好的战略。但是这只对某些产品适合。对于某些产品的研发（如新型的商用飞机），这个战略将会变得非常愚蠢，因为这些产品的研发成本和所需要的时间非常的庞大，如果研发失败，后果将是灾难性的。大部分类别的产品是在这两个极端之间，在大多数情况下，某些类型的概念测试还是非常有用的。

本章将介绍一种 7 步法来测试产品的概念：

- (1) 确定概念测试的目的
- (2) 选择调查人群
- (3) 选择调查方式
- (4) 沟通概念
- (5) 测度顾客反应
- (6) 解释结果
- (7) 对结果和过程进行反思

我们通过滑板车案例介绍这种方法。

9.1 步骤 1：确定概念测试的目的

作为概念测试的第一步，我们建议小组清晰地将希望通过测试回答的问题写下来。概念测试本质上来说是一个实验，而对于所有的实验，弄明白实验的目的对于设计有效的实验方法来说都是极为必要的。这一步与“建模”中的“确定目标”（参考第 14 章）极为相似。概念测试过程最初提出的典型问题大概有：

- 这些可供选择的概念中哪些是可以继续进行的？
- 怎样改进概念以更好地满足顾客的需求？
- 大概能够卖掉多少套产品？
- 研发是否需要继续下去？

9.2 步骤 2：选择调查人群

概念测试首先要做出的一个假设是：被调查的潜在顾客的人群要能够反映目标市场对产品的需求。如果调查的人群比产品的终端顾客更热情或者更冷淡，那么基于概念测试得出的结论就会有失公允。所以，小组在选择调查人群时应该使得调查人群尽可能合适地将目标市场反映出来。在实际调查中，最开始的几个问题通常称作筛选问题（screener questions），一般是

用来检验被询问者是否符合产品目标市场的定义。

通常一个产品会拥有许多个细分市场。在这种情况下，准确的概念测试要求每个细分市场的潜在顾客都被调查到。调查每个可能的细分市场花费的时间更长，或费用更高，那么在这种情况下，小组可能会有选择性地只去调查最大细分市场的潜在顾客。但是，如果只有一个市场被调查，那么得出的关于整个市场反应的结论很有可能有失公允。[169]

在滑板车案例里有两个基本的细分市场：大学生和城市通勤者。小组决定从每个细分市场上选出一个调查人群。同时小组还确定了几个更小的二级细分市场，包括工人和机场雇员。

调查的样本应该足够大。这样小组才能够对结果有足够的信心，从而能够指导决策的制定。概念测试的样本规模有时会小到只有 10 个（如对一个新的、使用高度特殊程序的外科设备所收集的定性反馈），有时会大到 1000 个（如对一个拥有 1000 万家庭的细分市场所作的关于一种新型手机潜在需求的定量估计）。虽然没有决定样本规模的简单公式，但是存在着一些影响样本规模的因素，如图表 9-3 所示。

| 样本规模较小时适宜的因素 | 样本规模较大时适宜的因素 |
|---|---|
| • 在概念研发较早阶段进行测试 | • 在概念研发较晚阶段进行测试 |
| • 测试主要是为了收集定性信息 | • 测试主要是为了定量估计需求 |
| • 对潜在顾客的调查相对来说时间较长、费用较多 | • 对潜在顾客的调查相对来说时间更快、花费较少 |
| • 研究和开发产品所需要的投资相对较少 | • 研究和开发产品所需要的投资相对较多 |
| • 预期产品会占据目标市场的份额比起调查结果来说不确定性大（也就是说，许多有消费倾向的顾客只有在大样本中才能找到） | • 预期产品占据目标市场的份额比起调查结果来说不确定性要小（也就是说，需要调查较多的样本人群才能有效地估计产品所占的部分） |

图表 9-3 导致调查样本规模相对较大或较小的因素

依据想要从概念测试中得到什么数据，小组会对不同的目标进行多次调查。每次调查都可能会有不同的抽样人群和不同的样本规模。emPower 小组就做了两次不同的概念测试：在前一个概念测试中，小组仅选择了大概 12 个潜在顾客作为样本以获得基本概念吸引力的反馈；在后一个概念测试中，小组对 1000 个顾客进行了消费倾向（purchase-intent）的调查，以获得需求预测从而做出财务决策。由于第二个目标的重要性，小组认为在如此大的样本量上花费相应的时间和金钱是合理的。

9.3 步骤 3：选择调查方式

下面是在概念测试中普遍使用的一些模式。

- **面对面交互：**在这种模式中，调查者与回答者直接进行面对面的交流。这种模式可以采取拦截（如在商业街、公园或者市区街道上拦住行人）、电话预约，在贸易展台上调查潜在顾客或者集体约见（如预先安排一个6~12人的小组讨论）。
- **电话：**电话调查对于较为特殊的人群（如儿科医生）一般得先预约，或者对目标顾客采取打电话推销的方式。
- **发信件：**在信件调查方式中，概念测试材料是通过邮寄的方式到达被调查者手中的，同时请求被调查者能够给予完整的答复。信件调查比起其他方法来说相对有点慢，而且一般只能得到较低的回复率。通常可以使用现金或者礼物之类的物品来激励顾客，以求获得较高的回复率。
- **电子邮件：**电子邮件调查和信件调查很相似，但是相对于信件来说，被调查者更愿意回复电子邮件。但是由于垃圾邮件的扩散，对电子邮件的回复率也可能会降低。许多电子邮件使用者对言辞不恳切的商业邮件反应极其冷漠。所以，我们建议只有在被调查者认为他们的参与可能获得收益或者小组已经与目标人群之间建立了某种积极的关系时才使用电子邮件调查。
- **互联网：**通过互联网，小组可以建立一个虚拟的概念测试网站。在该网站上被调查者可以在了解概念的同时提供回复。通常可以使用电子邮件消息来吸引人们访问该测试网站。

任何一种模式都会有样本偏差的风险。例如，使用电子邮件模式会使样本更偏向于那些网络技术熟练的人群。对于某些产品来说，这种技术复杂性是目标市场特征的一部分（如网络软件产品的目标市场更可能适合使用电子邮件模式）。相反，台式电脑是定位于没有个人电脑的人群，对于这种产品的概念测试来说，使用互联网调查将会是一种极其失败的模式。

自由回答式的交流模式对于概念研发早期阶段的探究性测试是极其有用的。我们建议小组提出多个概念选项或者征求改进概念想法时采用面对面方式。在这些情况下，产品开发者能够更好地从调查中获益，因为他们能够直接获得顾客关于产品细节问题的反应。随着概念测试的目的变得更加明确，像邮件和电话这样更加具有结构化的模式变得更加合适。如果问题变得极其明确，小组可以雇佣一个市场研究公司来进行概念测试。如果收集的数据主要用来对需求进行预测，则一般会通过第三方采用面对面模式来收集数据。这样有助于避免“同情心偏好”——被调查者为了取悦于焦急的产品开发者会表示他们喜欢这个概念。

9.4 步骤 4：沟通概念

概念的沟通方式与调查模式的选择有紧密的联系。研究发现，对于更加真实的概念表达方式（例如，透视图）而不是格式化或粗略的框图，被调查者的反应会更加友好（Macomber 和

Yang, 2011)。然而, 最重要的是, 可选择的概念应该用一种一致的方式来呈现(即使用同样的媒介或同样的详细程度), 以便被调查者能够公平地比较这些概念。概念可以通过下列的方式来传达(以描述程度的详略升序排序)。

- 文字描述 (verbal description): 文字描述一般是用一小段话或者是要点的集合来简略地描述产品概念。这样的描述可以通过被调查者自己阅读或者是执行调查的员工大声朗读的方式交流。举例来说, 滑板车概念可以表述如下:

这是一款轻型的电动滑板车, 折叠很方便, 你可以将它携带到建筑物里面或者公共交通工具上面。滑板车大概重 25lb^④, 速度可以达到每小时 15mile, 充满电后可以持续行驶 12mile。在标准电源上充满电只需 2h。这款滑板车使用起来很容易, 它的控制工具非常简单——只有一个加速按钮和一个刹车。

- 略图 (sketch): 略图 (框架图) 一般是简单的线条图, 可以从某些方面将产品展示出来, 同时也可以在图中对关键的地方做出标注。图表 9-4 表示的是滑板车概念的一个略图。
- 照片和实物图 (photos and renderings): 当产品概念存在外观模型时, 可以使用照片来交流。实物图接近用来描述概念的实景照片。实物图可以用笔和标记笔制作出来, 也可以借助计算机设计工具。图表 9-5 表示的就是借助计算机设计软件制作出来的滑板车实物图。



(David Wallace 绘制)

图表 9-4 滑板车概念略图



(emPower 公司授权)

图表 9-5 通过计算机辅助设计软件
描绘的滑板车

^④ 1lb = 0.454kg —— 编辑注

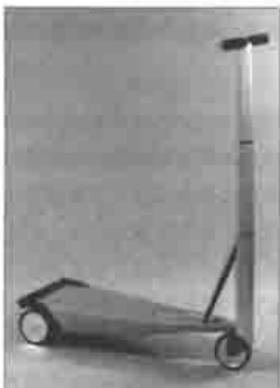
- 情节图板 (storyboard)：情节图板是一系列图画按照顺序将使用产品时涉及的一系列动作临时排列。举例来说，滑板车的一个好处就是能够方便地储藏和携带，图表 9-6 描绘的情节图板展示的是一系列相关场景。
- 视频 (video)：视频图像比情节图板更加生动。通过视频图像，能够清楚地表达出产品的形式以及产品的使用方式。滑板车开发团队在消费倾向调查中就使用了一个视频。这个视频表现了学生和通勤者驾驶产品原型行驶的情况以及如何折叠产品。
- 仿真 (simulation)：仿真一般是通过计算机软件来模拟产品的功能或交互特性。仿真对于展示滑板车的主要特性可能不是个最理想的方式，但是在某些情况下也是非常有用的。举例来说，当测试电子设备的控制时，可以在计算机屏幕上制造该设备的形象图像。使用者可以通过触摸屏或鼠标来控制模拟设备，同时还能够观察到模拟的画面和声音。
- 交互式多媒体 (interactive multimedia)：交互式多媒体结合了视频的视觉优势以及仿真的交互性。通过使用多媒体，你可以展示产品的视频以及静态图像。在此过程中，被调查者可以得到口头的或者图表类的信息，还可以听声音。交互式让被调查者可以从产品众多的有用信息中进行选择，在某些情况下还可以体验仿真产品的控制和展示。遗憾的是，多媒体系统至今仍是非常昂贵，所以它只在大型的产品研发中使用。
- 实物模型 (physical appearance model)：实物模型也叫做外形类似模型，它可以生动地展示产品的形状和外观。它们经常是用木头或者泡沫塑料制作的，并且通过喷绘使之极像实际产品。在某些情况下，模型还具有有限的功能。滑板车开发团队制作了很多外形类似的模型，其中有一个模型是拼接起来的，这样就可以展示折叠方面的性质了。图表 9-7 是这个模型的照片。
- 工作原型 (working prototype)：如果可能的话，在概念测试过程中可以使用工作原型或者功能类似模型。但是，使用工作原型仍然是具有风险的。最主要的风险是被调查者可能将模型与最终产品混同起来。在有些情况下，模型的功能可能比最终产品的功能



(emPower 公司授权)

图表 9-6 情节图板描绘了储存、携带以及使用的场景

更好（模型可能使用了更为昂贵的发动机、电池之类的组件）。在大多数情况下，模型比最终产品的功能要差，而且在视觉效果上也逊色不少。有时可以将功能类似模型与外形类似模型分开使用，一个用来描绘产品外形，另一个则用来描绘产品是如何工作的。图表 9-8 是在某些早期的概念测试过程中使用的滑板车的工作原型。



(emPower 公司授权)

图表 9-7 滑板车概念的实物模型



(emPower 公司授权)

图表 9-8 滑板车概念的工作原型

9.4.1 调查模式与概念表达的方式要匹配

调查模式的选择与产品概念表达的方式密切联系。举例来说，显然小组不能在电话调查时使用工作原型来向顾客介绍滑板车。图表 9-9 列出了每种调查模式所能使用的概念表达方式。

| | 电 话 | 电子 邮 件 | 发 信 件 | 互 联 网 | 面 对 面 交 互 |
|--------|--------|--------------|-------------|-------------|-----------------------|
| 文字描述 | * | * | * | * | * |
| 略图 | | * | * | * | * |
| 照片和实物图 | | * | * | * | * |
| 情节图板 | | * | * | * | * |
| 视频 | | | | * | * |
| 仿真 | | | | * | * |
| 交互式多媒体 | | | | * | * |
| 实物模型 | | | | | * |
| 工作原型 | | | | | * |

图表 9-9 不同调查模式与不同概念表达方式的匹配性

9.4.2 概念表达中的问题

在表达产品概念时，小组必须决定怎样去宣传产品和它的好处。滑板车可以描绘成“个人电动设备”。也可以描绘成“避开交通阻塞的一款新型电动滑板车”。我们的观点是，概念的描述应该能够最确切地反映出顾客在做出消费决定时最可能考虑的信息。当宣传的信息过于夸张时，则可能会被认为具有典型的广告性质，甚至可能会被认为是提供了额外的粉饰，就跟许多杂志文章或者评论做法相似。

产品价格是否应该成为概念描述的一部分，对此研究者和业内人士仍在争论之中。产品的价格对顾客的反应来说是一个极有力的杠杆，因此会极大地影响概念测试的结果。我们建议除非产品的价格预期会出奇地高或者出奇地低，否则在产品概念描述时不要描述价格。举例来说，如果一个概念的主要优点是能够在一个很低的价格下拥有基本的功能，那么在这种情况下，在概念描述时就得将价格因素加进去。相反，如果一个产品具有极其高效的功能或者独有的特性，只是相应的价格也很高，那么在这种情况下，概念描述时价格因素也得加进去。当产品的价格和现有产品的价格很相似或者是顾客能够预期到的，那么就可以把价格因素从概念描述中剔除出去。我们建议直接询问被调查者的预期价格。如果顾客的预期价格与小组的预算价格相差甚远，那么小组就需要考虑对概念进行调整或者是将价格作为产品的属性重新进行概念测试。由于滑板车是一种新型的产品，顾客对这类产品没有形成明确的价格预期，emPower公司选择将价格作为概念描述的一部分。

除了单独展示一个概念外，小组也可能会要求顾客从多个概念中进行选择。当小组需要从多个可选概念中做出决定时，这种方式是极为有效的。这种方法的另一种形式就是将新的产品概念与现有的市面上最成功产品的描述和照片都向顾客展示。这种方法的好处就是能够直接让顾客通过与竞争者产品的对比来评价产品概念的性质。假如产品将来能够同等的分布与宣传，那么这种方法也能帮助小组评估潜在的市场份额。在与产品概念类似的现有产品非常少时，使用被迫选择这种调查技术是极为有效的。

9.5 步骤 5：测度顾客反应

大部分概念测试都是先交流产品概念然后测度顾客的反应。在早期的概念研发阶段所做的概念测试中，通常是通过要求被调查者从两个或多个可选概念中进行选择来测度顾客的反应的。附加的问题常常集中在被调查者所作反应的原因以及如何改进产品概念。概念测试通常也需要去尝试测度顾客的消费倾向（purchase intent）。测度消费倾向最常使用的 5 个反应

类型为：

- 肯定要买
- 应该要买
- 买或不买都有可能
- 应该不会买
- 肯定不会买

同时也可以使用其他的选项来测度，如可以使用 7 个或更多的反应类型或者要求被调查者指出消费倾向的百分比。

图表 9-10 是滑板车案例中使用的一个调查问卷样本。在选择了在面对面模式中使用小册子以及工作原型来交流产品概念的前提下，这个问卷设计为访谈指导。

概念测试调查——电力驱动个人交通设备

我正在为一款新型的交通产品收集信息，希望你能够和我分享你的看法。

你是在校大学生吗？_____

(如果不足的话，感谢被调查者并结束测试。)

你住在学校周围的 1~3mile 以内吗？_____

你每天在教室和其他地方间是否需要行驶 1~3mile 的距离？_____

(如果对这两个问题的回答是“不是”的话，感谢被调查者并结束测试。)

你平常是怎样从家到学校的？_____

你平常是怎样在学校周围走动的？_____

这是这款产品的小册子。(给小册子)

这是一款轻型的滑板车。折叠很方便。你可以将它携带到建筑物里面或者公共交通工具上面。滑板车大概重 25lb，速度可以达到每小时 15mile 并且充满电后可以持续行驶 12mile，在标准电源上充满电只需 2h。这款滑板车驾驶起来很容易，它的控制工具非常简单——只有一个加速按钮和一个刹车。

如果这样一款能够在校园及其周围使用的产品的价格是 689 美元。你在接下来的一年里购买该款产品的可能性有多大？

肯定不会购买 可能不会购买 买或者不买都有可能 可能会购买 肯定会购买

你是否想亲自感受一下驾驶这款产品的感觉？

(提供产品使用说明和头盔)

基于你的体验，你在接下来的一年里购买该款产品的可能性有多大？

肯定不会购买 可能不会购买 买或者不买都有可能 可能会购买 肯定会购买

如何改进产品？

(询问些开放性的问题来获得对概念的反馈)

图表 9-10 电动滑板车概念测试的样本调查问卷(有删节)

9.6 步骤 6：解释结果

如果开发团队只是想要比较两个或者几个概念，那么最直接的方法就是对结果进行反思。在小组确定被调查者理解待选概念间的区别的前提下。如果测试结果显示某个概念比起其他概念好很多，那么小组就可以直接选择这个顾客更中意的概念。如果测试结果不是那么明确，那么小组在选择概念时就应该考虑成本与其他因素，或者直接向市场推出产品的多个版本。但是注意，只有满足下列情况时这种方法才适用：各概念之间的制造成本差别很大，也没有与被调查者交流价格信息。否则，被调查者往往倾向于较贵的方案。

在许多情况下，小组还需要估计产品投入市场后一段时间（通常是1年）内的需求。我们将会介绍一种模型来评估产品的持久购买力。我们所说的持久性（durables）是指产品能够维持销售几年，其中不考虑回头购买率。这里考虑的产品与剃须刀片、牙膏、冷冻食品等包装物不同，这些包装物必须得考虑试验阶段以及之后重复购买的概率。

在介绍这种模型之前，我们想请各位注意，新产品的预测规模有着巨大的不确定性，而且经常会得出错误的结论。但是尽管如此，预测的数据与实际需求能力仍然有很大的关联性，而且经常能为小组提供极为有用的信息。

我们假设 Q 是在某一时期内预期能够销售的产品数量。那么：

$$Q = NAP$$

N 是在这一段时间内会发生购买行为的潜在顾客数目。对于现在拥有较稳定市场的产品（如自行车）， N 表示的是基于市场现有相似产品而预期的在这一段时间内购买的数目。

A 表示的是了解（aware）且可获得（available）该产品的潜在顾客在 N 中所占的百分数（有时假定了解程度与可获得程度是两个不同的要素，将它们乘起来得到 A ）。

P 表示的是顾客了解且可获得这个产品时，顾客购买该产品的概率。 P 是这样评估出来的：

$$P = C_{\text{definitely}} F_{\text{definitely}} + C_{\text{probably}} F_{\text{probably}}$$

$F_{\text{definitely}}$ 表示的是在概念测试调查中表示肯定会购买（definitely purchase，通常叫作“最高分”）的被调查者所占的分数。

F_{probably} 表示的是在概念测试调查中表示可能会购买（probably purchase，通常叫作“第二高分”）的被调查者所占的分数。

$C_{\text{definitely}}$ 和 C_{probably} 表示的是公司基于以前类似产品的销售经验而得出的校准常数。 $C_{\text{definitely}}$ 和 C_{probably} 数值的范围通常是： $0.10 < C_{\text{definitely}} < 0.50$ ， $0 < C_{\text{probably}} < 0.25$ 。以前有些小组使用 $C_{\text{definitely}} = 0.4$ 以及 $C_{\text{probably}} = 0.2$ 。这个值反映的是被调查者在调查时习惯性地过高估计他们实际购买产品概率的倾向。

还可以采用另一个函数估计 P ，这个函数不仅包含最高两个反应级别的被调查者，而且还包含其他所有反应级别的被调查者所占的分数。

对于那些全新类别的产品（如便携式滑板车），这些变量的含义有点不同。在这种情况下， N 表示的是新产品目标市场顾客的数目。 P 表示的是在给定时间内（通常是 1 年）目标市场内顾客购买该产品的概率。在图表 9-10 调查的问题中已经反映了对时间的描述，如表中注释要求被调查者指出他们在“下一年”中购买该产品的可能性。

为了说明这个模型，我们以滑板车概念中的两个不同的细分市场以及可能的产品定位为例来进行计算。

销售给大工厂作为个人交通工具的滑板车：这个类别的产品已经存在。假设在该市场上滑板车每年能够销售到 150 000 辆 ($N=150\,000$)。假设公司是通过一个零售商来销售产品，该零售商对于该产品的市场份额为 25% ($A=25\%$)。又假设经理们通过对购买该交通工具进行合理的概念测试，得到的结果显示的是持“肯定购买”意愿的被调查者所占的比例是 30%，持“可能会购买”意愿的被调查者所占的比例是 20%。如果我们使用 $C_{\text{definitely}}$ 的值是 0.4， C_{probably} 的值是 0.2，那么：

$$P = 0.4 \times 0.30 + 0.2 \times 0.20 = 0.16$$

因此：

$$Q = 150\,000 \times 0.25 \times 0.16 = 6\,000 \text{ (辆/年)}$$

销售给大学生的滑板车：这是一个新的分类，所以估计起来相对要困难很多。首先， N 值应该是多少？严格地说（截止到目前为止），在大学生中间很少有使用电动滑板车的。但是，我们可以通过一些其他方式来定义 N 。例如，有多少学生因为 2 mile 以内的基本交通问题而需要购买自行车或电动滑板车的。这个数目大概是每年 100 万。或者，有多少学生必须往返在学校与家之间或者是在教室与其他学校活动之间。行驶的距离大概是 1~3 mile。这个数目大概是 200 万。假设我们从第二个群体里挑选样本进行测试，得到的结果是表示“肯定会购买”的人所占的百分比 10%。“可能会购买”的人所占百分比是 5%（注意，这些数目代表的是表

示在一年内会购买的被调查者人数组合）。进一步假设该公司决定在美国 100 所最大的大学里通过各学院的自行车商店销售滑板车，并在校园报纸上做广告。通过这样的方式，公司预期目标市场内 30% 的学生能够了解产品，并且有便捷的渠道购买。如果我们使用 $C_{definitely}=0.4$ 以及 $C_{probably}=0.2$ ，那么：

$$P=0.4 \times 0.10 + 0.2 \times 0.05 = 0.05$$

因此在第 1 年：

$$Q=2\,000\,000 \times 0.30 \times 0.05 = 30\,000 \text{ (辆)}$$

基于概念测试的预期需要进行慎重的思考。有些企业，依据以往类似产品的经验，可以使预测达到所要求的精度。但是，大部分的个人预测与实际情况相比呈现出较大的偏差。在调查中导致预期销售与实际销售情况不相符的因素包括以下几个。

- **口述的重要性：**如果产品的好处不能立即显现出来，那么，现有顾客的激情会成为引发需求的一个重要因素。通常，这个因素在概念测试中不易被捕获。
- **概念描述的逼真度：**如果实际的产品与概念测试中对产品的描述有着很大的差别，那么产品实际的销售量与预期的也会有很大的不同。
- **定价：**如果产品的实际价格与调查中显示的价格或者与被调查者预期的价格有着很大的偏离，那么对销售量的预期就很可能不准确。
- **促销水平：**对大部分产品来说，广告和其他途径的促销能够增加需求。但是，通过“了解程度 / 有用性”条件或者通过展示概念所需材料制作的预期模型中，促销的作用几乎都被忽略掉了。

9.7 步骤 7：对结果和过程进行反思

概念测试最大的好处就是能够从真正的潜在顾客那里获得反馈。通过与被调查者关于概念所作的自由问答式讨论得出的定性认识是概念测试尤其是早期的研发阶段最重要的成果。小组应当对证据以及预期的数据结果进行思考。

团队最好从预测模型中三个关键变量的影响上来进行思考：(1) 市场的总体规模；(2) 产品的可获得性以及知名度；(3) 购买产品的顾客所占的百分比。考虑产品的可替代市场有时可以增加第 1 个因素，宣传以及促销计划能够增加第 2 个因素，对产品的设计进行修改（或者广告）来提高产品的吸引力能够增加第 3 个因素。对这些因素的敏感性分析（sensitivity analysis）

可以获得更为有用的认识。有助于制定决策。例如，小组能够保证与一个零售商的合作关系而使得 A 增加了 20%，这会对销售量产生什么影响？

在反思概念测试的结果时，团队需要询问两个诊断性的问题。首先，概念的交流方式是否能够确保顾客的回答反映出真实的趋势？举例来说，如果某个概念最大的优点就是它的外观优美，那么概念交流的方式是否能够确保被调查者能很清楚地了解到这一点？其次，结果的预期是否与相近产品的现有销售量相符？举例来说，如果汽油驱动 GoPed 滑板车（一种竞争产品）现在每年能向学生销售 1 000 辆，那么为什么 emPower 公司会认为它的产品的销量能达到这个产品的 30 倍？

最后，一种新产品的经验对于将来的相似产品可能是很有用的。如果小组对概念测试的结果做出记录的同时能够将这些结果与随后产品开发过程中的观察进行对比校正，那么将会是非常有益处的。

9.8 小结

概念测试要求目标市场的潜在顾客对产品概念的描述直接给出回应。概念测试与概念选择的不同点在于，概念测试基于直接从潜在顾客那里获得的数据，并且对开发团队主观判断的依赖程度较小。

- 概念测试能够确认产品概念是否满足了顾客多方面的需要，能够估计产品的销售潜力，还能为进一步完善概念获得必要的顾客信息。
- 概念测试对于开发过程中的几个时间点是非常适用的：在初始识别产品机会时；在两个或多个概念中选择最合适的概念以便继续开发时；在评估产品概念的销售潜力时；以及在决定是否继续研发或者决定产品的商业价值时。
- 我们介绍了一种 7 步法来测试产品概念：
 - (1) 确定概念测试的目的
 - (2) 选择调查人群
 - (3) 选择调查方式
 - (4) 沟通概念
 - (5) 测度顾客反应
 - (6) 解释结果
 - (7) 对结果和过程进行反思

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

Crawford 和 Di Benedetto 测试了目前市面上销售的一些产品的预测模型。

Crawford, C. Merle, and C. Anthony Di Benedetto, *New Products Management*, eleventh edition, McGraw-Hill, New York, 2005.

Jamieson 和 Bass 描述了解释销售趋势数据的一些方法，同时还讨论了一些因素来解释倾向与行为间的固定联系。
[181]

Jamieson, Linda F., and Frank M. Bass, "Adjusting Stated Intention Measures to Predict Trial Purchase of New Products : A Comparison of Models and Methods," *Journal of Marketing Research*, Vol. 26, August 1989, pp. 336-345.

在预测新类别产品的发展趋势时，Mahajan et al. 讨论了一些可能有用的模型——扩散模型。Mahajan, Vijay, Eitan Muller, and Frank M. Bass, "Diffusion of New Products : Empirical Generalizations and Managerial Uses," *Marketing Science*, Vol. 14, No. 3, Part 2 of 2, 1995, pp. G79-G88.

Vriens 与其同事的一项研究报道了口头描述和图片描述导致的概念测试结果的不同。

Vriens, Marco, Gerard H. Looschilder, Edward Rosbergen, and Dick R. Wittink, "Verbal versus Realistic Pictorial Representations in Conjoint Analysis with Design Attributes," *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 15, No. 5, 1998, pp. 455-467.

Macomber 和 Yang 比较了客户用于表达概念的不同形式。发现被调查人更喜欢详细的表现方法。

Macomber, Bryan, and Maria C. Yang, "The Role of Sketch Finish and Style in User Responses to Early Stage Design Concepts," ASME International Design Engineering Technical Conferences, August 2011.

Dahan 和 Srinivasan 认为使用网络测试与使用物理模型进行测试得到的结果很相似。

Dahan, Ely, and V. Srinivasan, "The Predictive Power of Internet-Based Product Concept Testing Using Visual Depiction and Animation," *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 17, No. 2, March 2000, pp. 99-109.

Urban et al. 报道了交互式多媒体系统的使用。它可用于概念描述以及顾客信息模拟。

Urban, Glen L., John R. Hauser, William J. Qualls, Bruce D. Weinberg, Jonathan D. Bohlmann, and Roberta A. Chicos, "Information Acceleration : Validation and Lessons from the Field," *Journal of Marketing Research*, Vol. 34, February 1997, pp. 143-153.

练习

1. 你能使用哪些不同的方式来与一个新用户就一款自动音响系统进行交流？每种方式的优势与劣势是什么？
2. 粗略估计下面产品的 N ，列出你的假设条件。
 - 空中旅客的睡眠枕头。
 - 家用电子气候监控站（用来监测温度、气压、湿度等）。

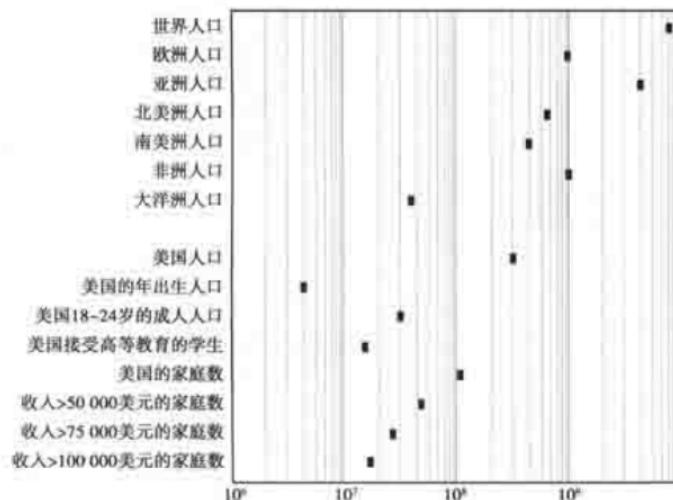
思考题

1. 为什么你会认为被调查者一般会高估他们购买产品的可能性？
2. 什么时候使用工作原型来与潜在顾客交流概念是不好的？在什么情况使用某种其他形式会更好一些？

182

附录 估计市场规模

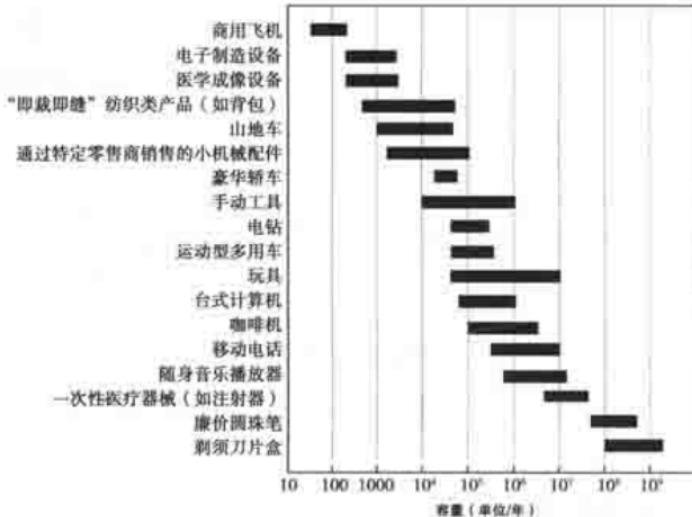
通常，可以与相似产品进行比较，或者与已知的统计人口规模进行比较，来得到市场规模的粗略估计。图表 9-11 和图表 9-12 包含了一些有用的数据。



(图片来源：美国国家统计局)

图表 9-11 2011 年人口统计数据

183



(图片来源: 各行业)

图表 9-12 多种产品的近似年销售量; 这些数据表示的是单个制造商生产的典型产品的销量

第 10 章

产品架构



(惠普公司授权)

图表 10-1 源自同一产品平台的 3 种惠普打印机：办公型、图像处理型以及附带扫描功能的型号

惠普公司家用打印机部的一个产品开发团队正在考虑如何应对增加产品种类，同时减少制造成本的压力。图表 10-1 显示了这个部门的打印机产品。喷墨打印已经成为个人和小型办公彩色打印的主流技术，一台价值不到 200 美元的打印机就可以达到优秀的黑白打印和近乎照片的彩色打印质量。由彩色喷墨打印机市场的增长所驱动，三个主要竞争厂商每年的销量总共有几百万台。但是，随着市场的成熟，商家想要取得成功，就需要使打印机满足各种细分市场的细微要求，并持续降低这些产品的制造成本。

开发人员在思考他们下一步工作时，提出了这样一些问题：

- 产品架构对他们提供多样化产品的能力有怎样的影响？
- 不同的产品架构对成本意味着什么？
- 产品架构对他们在 12 个月内完成设计的能力有怎样的影响？
- 产品架构对他们管理开发流程的能力有怎样的影响？

产品架构（product architecture）是一种分配形式（assignment），它把产品的各功能元素分配给产品的实体构建模块（blocks）。本章主要讨论如何建立产品架构。建立产品架构的目的是根据各部分的功能，以及与其他部分的相互关系来确定产品的基本实体架构。架构方面的决策应该便于把各零部件的设计和测试分配给班组、个人以及（或者）供应商来完成，这样就可以使产品不同部分的开发工作能同时进行。

在本章的下面两个部分里，我们将通过惠普打印机和其他几个产品的实例来定义产品架构，并阐明产品架构设计的重要意义。然后我们将提出一套建立产品架构的方法，并以打印机为例来说明（注意，打印机实例中隐含了某些细节以保护惠普公司专有的产品信息）。介绍了这种方法之后，我们将讨论产品架构、产品多样性和供应链绩效之间的关系，此外我们也提供平台规划（一种与产品架构密切相关的活动）指南。

10.1 什么是产品架构

一个产品可以从功能和实体上来认识。产品的功能单元（functional element）是指那些对产品的整体性能有贡献的、独立的运转（operation）和传输（transformation）能力。对打印机来说，“存储纸张”和“与计算机通信”就是其中两个功能单元。各功能单元在确定以某种技术和实体原件来实现之前，往往以示意图的形式加以描述。

产品的实体单元（physical element）是最终完成产品功能的零件、部件和子装配件。实

体单元随着产品开发的进展而逐渐明确，有的实体单元在产品概念阶段就可以确定下来。[186]而另一些在详细设计阶段才能确定。以台式打印机为例，产品概念涉及热油墨传递装置，由一个打印墨盒实现。这一实体单元与产品概念紧密联系在一起，并且是开发项目的一个基本设想。

一个产品的实体单元常被组合成几大部分，我们称之为组件（chunk）。每一个组件由若干完成产品相应功能的零件组成。产品架构（product architecture）就是以实体组件来实现产品的各功能单元，并使各组件相互作用的配置方案。

产品架构最重要的特征是它的模块化程度。图表 10-2 所示的是自行车刹车与变速手柄的两个不同的设计方案。在传统设计中（左图），变速手柄和刹车柄是两个独立的部分，并安装在自行车的不同部位。这个设计体现了一种模块化的构造。在右图所示的新型设计中，变速手柄与刹车柄被设计在同一组件中，从而体现了一种集成化的构造——这是受到气动原理和人体工程学原理的启发而做出的改进。



图表 10-2 自行车刹车和变速手柄的两个设计方案：左图体现了一种模块化的架构；右图是更加集成化的架构

模块化架构（modular architecture）有以下两个特点。

- 各个组件分别实现一个或多个功能。
- 组件之间的相互关系是明确的，并且这种相互关系往往是实现产品功能的基础。

模块化架构的极致是每个功能单元恰好被一个组件完成，并且组件之间配合得十分完美，这种架构允许在不改变其他组件的情况下，只改变单一组件而不影响产品的功能。各组件还可以单独设计。

与模块化架构相对的是集成化架构（integral architecture），集成化架构一般具有下列特征。[187]

- 产品的每个功能单元都由多个组件来实现。
- 每个组件参与多个功能单元的实现。
- 组件之间的相互关系并不明确，这种相互关系对产品的基本功能来说并不一定重要。

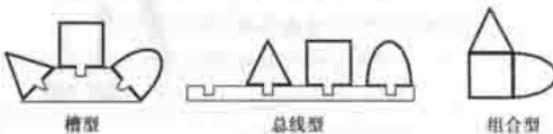
具有集成化架构的产品在设计思想上往往力求具备最完善的性能，产品各功能单元的实现由多个组件共同完成。组件之间的界限很难划分，甚至不存在。为了优化产品某方面的性能，

许多功能单元被合并为若干个实体原件。但是正因为如此，任何一个零部件的修改都要求对产品进行重新设计。

模块化只是产品架构的相对特征。很少有产品是完全模块化或集成化的。但正如图表 10-2 所示的两个方案那样，通过相互比较，就可以看出不同产品架构之间模块化程度的高低。

10.1.1 模块化的类型

模块化架构有三种类型：槽型、总线型和组合型（Ulrich, 1995）。每种类型体现一种功能单元和组件与特定的接口之间的一对一映射。这些类型的不同之处在于组件间接口的组织形式。图表 10-3 显示了这些架构类型之间的概念差别。



图表 10-3 三种类型的模块化架构

- **槽型模块化架构 (slot-modular architecture)：**槽型模块化架构中组件间的每个接口都与其他接口类型不同，因此产品中的不同组件不能互换。汽车收音机就是槽型模块化架构中一个组件的例子，收音机只实现一个功能，但是它的接口与汽车中的任何一个其他组成部分都不同。（例如，收音机和速度计与仪表盘的接口类型是不同的。）
- **总线型模块化架构 (bus-modular architecture)：**在总线型模块化架构中有一个通用的总线，其他组件通过相同类型的接口连接到这个总线上。总线型模块化架构组件的常见实例是个人计算机的扩展卡。非电子类产品也可以按照总线型模块化架构来制造，轨道照明、铁轨架设系统和汽车的可调式顶架都体现了总线型模块化架构。
- **组合型模块化架构 (sectional-modular architecture)：**在组合型模块化架构中，所有的接口都是同种类型的，但是没有一个所有组件都与之相连的元件。组装是通过将组件以同样的接口互相连接而完成的。许多管道系统都是组合型模块架构，还有分体沙发、办公室分隔板和一些计算机系统也属于这种类型。

槽型模块化架构是最常用的模块架构，因为对大多数产品来说，每个组件都需要一个不同的接口，以适应该组件与产品其余部分间的接口。总线型模块化架构和组合型模块化架构适用于整个产品的配置变化较多，但其组件可以以标准的方式与产品其余部分连接的情形。当所有组件都使用同种类型的动力、流体连接、结构附着或信号交换时就会出现这种情况。

10.1.2 何时确定产品架构

在概念开发阶段，产品架构就开始出现，但这时的产品架构是不正式的——表现为草图、功能图和概念开发阶段的早期原型。通常，基础产品技术的成熟度决定了产品架构是在概念开发阶段还是系统设计阶段被完全确定。当新产品是对已有产品概念的改进时，产品架构是在产品概念开发阶段确定的，其原因是：第一，产品的基础技术和工作原理已经被预先确定，因此，概念开发工作主要集中于以更好的方式来实现既定的产品概念；第二，当一个产品种类成熟后，供应链（即生产和销售）的考虑和产品多样性的问题开始变得越来越显著。产品架构是影响企业有效地提供多样化产品能力的最重要开发决策之一。产品架构因此成为产品概念的中心环节。然而，当新产品是其种类中第一个时，概念开发主要集中在产品所依据的基本工作原理和技术。在这种情况下，产品架构通常是系统设计阶段的首要任务。

10.2 产品架构的内涵

如何把产品分解为若干组件以及产品架构模块化程度的决策与许多重大问题相关，如产品改进、产品多样性、产品性能、零件的标准化、可制造性（manufacturability）和项目管理等等。因此，产品架构关系到企业的市场营销战略、生产能力以及产品开发管理。

10.2.1 产品改进

组件是构成产品的模块，而产品架构决定了这些模块与产品功能的关系。因此，产品架构也决定着怎样对产品进行改进。模块化架构允许在不影响其他组件的情况下，只对产品中若干独立的功能单元进行修改。而要对集成化架构中的组件进行修改，就会影响许多功能单元，需要对有关的组件同时进行修改。189

促使企业进行产品改进的原因有以下几个。

- 升级（upgrade）：技术和用户需求会发展，产品必须不断升级以适应这种发展。例如更新打印机的主板，或者在制冷系统中更换一个更强劲的制冷泵。
- 附加组件（add-on）：许多产品是制造商作为基本功能体出售的，在此基础上顾客再根据自己的需要添加一些可能由别的制造商生产的原件，这种类型的产品改进在个人计算机产业中很常见（例如，顾客可以在一台普通的计算机上添加更大容量的存储装置）。
- 适应性（adaptation）：一些寿命期较长的产品可能应用在多种不同的环境中，这就需要产品具有一定的适应性。例如，有些机床需要在 110 ~ 220 伏的电压下能正常工作，

有些发动机要能够同时适用汽油和丙烷燃料。

- 可替换性 (wear)：产品的部分元件在使用过程中会磨损，为延长整个机器的寿命，像剃刀的刀片、汽车的轮胎、大多数转动轴承以及许多机器的马达等都需要经常更换。
- 易耗品 (consumption)：一些产品在运行的过程中需要经常更换易耗材料。例如，复印机和打印机的墨盒、照相机的胶卷、胶棒里的胶水、喷灯里的燃气、手表里的电池等等，这些易耗品都是需要经常更换的。
- 使用的灵活性 (flexibility in use)：一些产品为了满足顾客的不同要求，必须能够改造。例如，许多照相机能与不同的镜头和闪光灯配合使用，有的帆船能够挂几种不同的帆，有的鱼竿应与几种绕线卷筒配合使用。
- 再利用 (reuse)：在开发后续产品时，企业往往希望能保留那些仍可利用的功能单元或部分。例如，消费电子产品的制造商往往希望通过仪器内部零部件的变更而改变用户界面，并通过改变外形来更新产品线。

在以上这些例子中，模块化架构可以使制造商在获得功能改进时，只对产品做最小的实体改动。

10.2.2 产品多样化

多样化 (variety) 是指企业在特定的时期为适应市场的需求而生产的产品的范围。模块化架构的产品可以在不增加制造系统复杂性的条件下，实现产品的多样化。例如，Swatch 公司可以生产数百种不同的手表，但这种多样性却是以相当低的成本通过装配各种标准组件的组合而实现的（如图表 10-4 所示）。很多种不同的表针、表盘、表带与选择范围相对较小的内部传动装置和表壳的不同搭配，几乎形成了无穷无尽的产品系列。



(照片由 Stuart Cohen 提供)

10.2.3 零部件标准化

零部件标准化是指在多种产品中应用同样的零件

或组件。如果一个组件可以实现一个或几个有广泛用途的功能单元，那么这个组件就可以标准化，从而应用在几种不同的产品上。这种标准化使得企业能够大批量地进行该组件的生产，从而降低了成本，提高了质量。例如，图表 10-4 所示的 Swatch 公司的各种手表的传动装置都是相同的，可以实现标准化。当几个制造商的产品都需要用到同一供应商生产的零件或组件时，也有必要对该零件或组件实施标准化。例如，图表 10-4 所示手表的电池就是由一个供应

图表 10-4 Swatch 公司采用模块化架构形成了产品的多样化

商提供的，它们被许多厂家的产品线所采用。

10.2.4 产品性能

我们把产品性能 (product performance) 定义为产品实现期望功能的程度。产品性能指标包括速度、效率、寿命、精度及噪声等。集成化的产品架构有助于整体性能指标和那些取决于产品的尺寸、形状或质量的指标的优化。这些指标包括加速、能耗、气动刹车、噪音及美观性。让我们看一个摩托车的例子，在传统的摩托车架构中，结构支撑功能由一个框架组件完成，而动力转换功能则由传动装置来完成。图表 10-5 是宝马公司 R1100RS 型摩托车的照片，在这种摩托车的架构中，结构支撑功能和动力转换功能均由传动组件来完成。这种集成化的架构使得设计人员可以通过开发传动装置的附属结构避免采用单独车架带来额外的尺寸和体积。这种由同一实体单元同时实现多种功能的方式被称为功能共享 (function sharing)，集成化的架构还可以通过功能共享 (如上面摩托车的例子) 来减少冗余部分，并通过零部件之间的几何嵌套使产品占用空间最小化。这种功能共享和嵌套还可以节省材料，降低产品的制造成本。



(宝马公司授权)

图表 10-5 宝马 (BMW) R1100RS 型摩托车。这种摩托车传动装置的设计体现了功能共享和集成化架构的思想

10.2.5 可制造性

除了上面提到的产品多样化和零件标准化对成本的影响外，产品架构也会直接影响开发人员能否设计出制造成本尽可能低的组件。面向制造的设计 (Design For Manufacturing, DFM) 中一个很重要的原则就是通过零件的集成使产品中零部件的数量最小化。然而，为了保持一个既定的架构，实体单元的集成只能局限在每个组件之中。组件之间的零件集成即使是可能的，也是非常困难的，并会使产品的架构发生较大的改变。因为产品架构在这方面限制了后续的产品详细设计。开发人员必须考虑这种架构对可制造性的影响。正因为如此，在进行组件规划的系统设计阶段，就开始考虑 DFM 了（关于 DFM 的实施细节，详见第 13 章）。

10.2.6 产品开发管理

每个组件的详细设计一般都分配给企业内部的设计小组或其他供应商来完成。之所以把这

种设计交给个人或小组来完成。是因为这种设计要求对组件内部零件之间的相互作用、几何关系和其他方面提出具体的解决方案。对于模块化的架构，组件的设计人员只需关注该组件与其他组件之间已知的、相对有限的功能方面的联系。加入产品的一个功能单元由两个组件来完成（这是在集成化架构中经常出现的），那么在进行组件的详细设计时，就需要两个组件的设计人员密切合作。这种合作比起模块化架构中由两组人员分别设计两个不同的组件时所进行的合作来说更加复杂、更富有挑战性。基于这个原因，当一个开发小组需要依靠外部供应商或其他成员比较分散的小组时，一般选择模块化的产品架构，这样开发任务就可以根据组件的边界来分配。另一种选择是把几个功能单元都集中到一个组件中，这样，设计该组件的小组的工作就会涉及更大范围的内部协作。

模块化架构和集成化架构还要求采用不同的项目管理方式。模块化架构设计管理的方法要求在系统设计阶段进行仔细的规划，而详细设计阶段主要是保证各组的设计符合相应的性能、成本和时间进度方面的要求。而集成化架构设计的管理方法在系统设计时不要求过于细致的规划，但在详细设计时，则需要更多的整合。解决冲突和协作。

10.3 建立产品架构

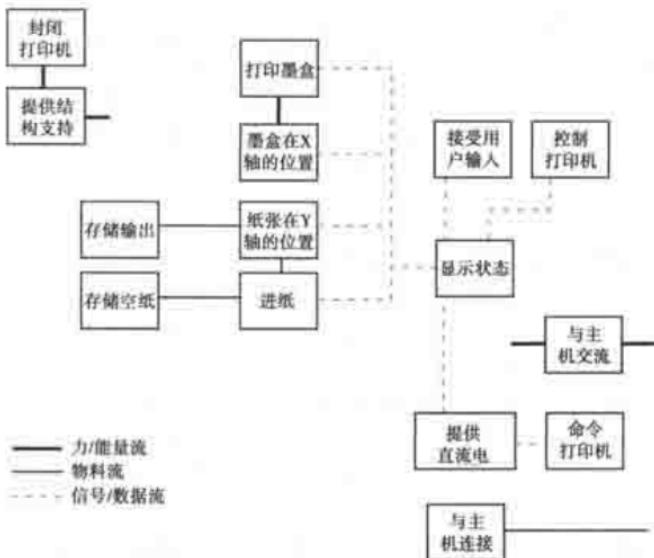
因为产品架构对于产品开发的后续工作以及产品的制造和销售都有着深远的影响，所以它要在开发人员综合各种因素后加以确定。这一工作最终要确定产品的几何结构、主要组件的描述以及其组件之间重要的相互关系的说明。我们推荐在确定产品架构时采用“四步法”，下面以台式打印机为例来说明，这4个步骤是：

- (1) 创建产品示意图
- (2) 对示意图中的元素(单元)进行聚类(cluster)
- (3) 设计简略的几何结构
- (4) 确定基本的和附属的相互作用关系

10.3.1 步骤1：创建产品示意图

示意图(schematic)反映了开发人员对产品组成的认识。台式打印机的示意图如图表10-6所示。在产品概念设计的后期，示意图中的某些部分是实体概念（如进/出纸通道），有些部分与关键元件相对应（如开发人员准备采用的墨盒）。而另一些部分仅仅是功能上的描述，即还没有形成实体概念和具体元件的功能单元，例如，“显示状态”是打印机所需要的功能单元，但特定的显示方法还没有确定。那些已经形成了实体概念或者具体元件的部分通常

是开发人员所构想的产品概念中的关键，而没有形成实体概念的部分一般是产品较次要的功能单元。



图表 10-6 台式打印机方案示意图；注意，图中显示的是功能单元（如“存储输出”）和实体元件（如“打印墨盒”），为清晰起见，并非所有单元间的连接都表示出来

示意图是开发人员对产品概念的最好诠释，但它并非包含所有想得到的细节。例如“感知出纸状况”或“屏蔽收音机发射频率”等细节。这些以及其他更具体的功能单元将在下一步予以考虑。根据经验，为了便于确立产品的架构，步骤 1 的示意图最好以少于 30 个部分来表示。如果产品很复杂，涉及数百个功能单元，那么最好省略一些较小的部分，并把一些功能加以归并，等到以后再予以差异化（参考 10.6.1 节）。

这种示意图并不是唯一的。绘制示意图时所做的选择，如功能单元的选择和配置，部分确定了产品的架构。例如，功能单元“控制打印机”在图表 10-6 中以一个独立的集中的单元来表示，另一种方案是把系统中每个单元的控制部分分开放置，由主机完成协调工作。因为在示意图中留有许多调整的余地，所有开发人员应该设计若干种方案，并选取其一，以便确立最好的产品架构。

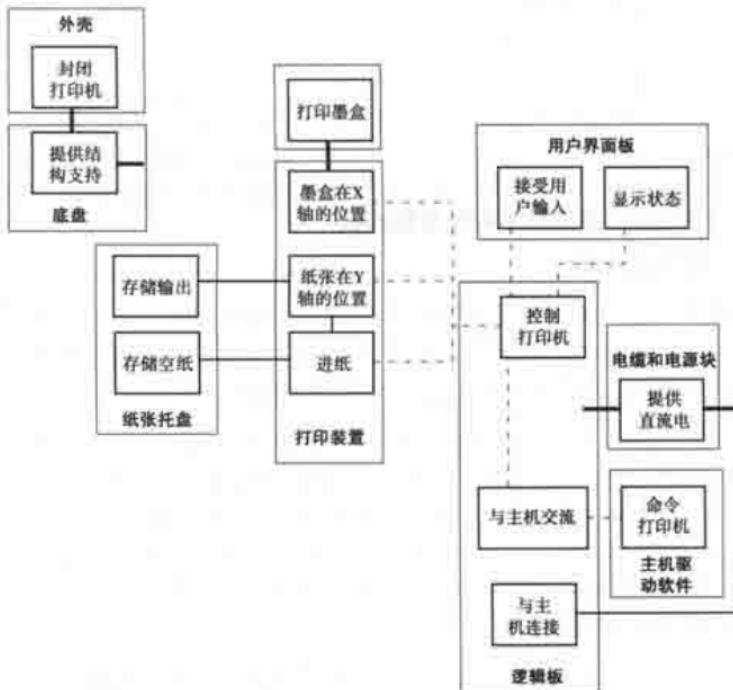
10.3.2 步骤2：对示意图中的元素进行聚类

步骤2的任务是把示意图中的每个元素都划分到相应的组件中去。图表10-7所示的是一种划分方案，其中采用了9个组件。这是台式打印机开发人员采取的方案，还有一些其他的聚类方案。在最极端的情况下，示意图中每个元素构成一个组件，形成15个组件。另一个极端是在一个大组件上集成产品的所有单元。事实上，考虑所有可能的聚类方案，可以形成成百上千种选择。为了控制这些选择的复杂性，可以假定每个元素都形成一个独立的组件，然后在有利的情况下不断加以合并。为了确定哪些合并是有利的，需要考虑以下因素，这些因素反映了前文所讨论的产品架构的内涵。

- **几何集成与精确性：**把示意图中的几个单元集成到一个组件中，会使设计人员更好地控制这几个单元的实体关系。这样，就能使出于同一组件，需要精确定位或紧密集成的单元得到最好的设计。对于台式打印机来说，这意味着将与墨盒在X轴的定位和纸张在Y轴的定位有关的元素划分到一个组件中去。
- **功能共享：**当一个单独的实体组件可以实现产品的若干功能单元时，这些功能单元最好集成在一起。宝马公司摩托车的传动装置就是一个功能共享的例子（见图表10-5）。对台式打印机来说，开发人员认为状态显示和用户控制可以集成在同一个组件中，所以决定把这两个功能放到同一个组件中。
- **供应商能力：**一个可靠的供应商可能具有与产品开发密切相关的某种能力。为了很好地利用这种能力，开发人员会把那些供应商有制造经验的单元集成到同一个组件中，并交给供应商生产。在台式打印机的设计中，内部团队完成了大多数工程设计工作，因此这不是主要问题。
- **设计或生产技术的相似性：**当两个或更多的功能单元可能用同样的设计或生产技术完成时，将这些元素集成到同一组件中将会使设计或生产更经济。例如，一个普遍的策略是将所有包括电子装置的功能集成到同一个组件中，有可能用一个电路板实现所有这些功能。
- **集中修改：**当开发人员预计某些单元可能要做大量的修改时，就有必要把该单元独立为一个模块化的组件，这样对该组件的修改就不会影响到其他的组件。惠普公司的设计人员预期在产品生命周期中对其外观进行修改，所以选择将外壳单元单独设计为一个组件。
- **适合多样化：**示意图中元素的聚类应该有利于企业按照客户的具体要求来对产品做出改动。打印机将在全世界电力标准不同的各个地区销售。所以，开发团队为与直流供电有关的元素建立了单独的组件。
- **标准化：**如果有一套元件在其他的产品中也可以使用，那么应该把它们集成到一个组

件中。这样可以提高组件中各实体单元的生产质量。惠普公司内部标准化的主要目的是使用已有的打印墨盒，因此将这一元素保留为其单独的组件。

- **关联的便利性：**有些相互作用可以在长距离内方便地传递。例如，电子信号比机械运动易于传输。所以，相互之间具有电子联系的单元很容易彼此分离。对于流体联系的单元也是如此，只是程度小些。这种流体和电子联系的性质使惠普公司的开发人员可以把控制通信功能集成到一个组件中。相反，与纸张处理有关的元素则在几何上受到其必要的机械作用的很多限制。



图表 10-7 将单元（元素）聚类为组件（9个组件组成了台式打印机的架构）

10.3.3 步骤 3：设计简略的几何结构

几何结构可以采用草图、计算机模型或物理模型（例如卡板纸或泡沫制成）在二维平面或者三维空间中进行设计。图表 10-8 显示了台式打印机简略的几何结构，其中标明了各主要组

件的位置。设计几何结构时，设计人员要考虑组件之间的几何关系是否可以实现，并确定组件间的基本空间关系。通过考虑打印机的一个交叉部分，设计人员认识到在纸张托盘可以存储的纸张数和机器的高度之间存在一个基本的相关关系。与前两个步骤一样，在这个步骤中，开发人员也会设计几个备选方案，比较后从中选取一个最好的方案。选择的标准与步骤2中的聚类密切相关。有时候，开发人员会发现步骤2中的聚类在几何上是不可行的，这就需要把一些单元重新安排到其他组件当中。当产品的美学性和人机界面问题非常重要，并与各组件的几何安排密切相关时，简略的几何结构设计就应该在工业设计师的协助下进行。

10.3.4 步骤4：确定基本的和附属的相互作用关系

各个组件可能是由不同的个人或小组设计的。组件之间存在着确定或不确定的相互作用关系，所以各个小组要协调他们的设计，交流各自的信息。为了更好地管理这种协作过程，开发人员应该在系统设计阶段明确组件之间那些已知的相互作用。

组件之间的联系有两种类型。首先是基本的相互作用关系（fundamental interaction），它与示意图中连接各组件的那些线条相对应。例如，一张纸从纸张托盘移动到打印装置中，因为这种基本的相互作用关系是系统运行的基础，所以，在最早设计示意图时就应该计划好，并要很好地加以理解。其次是附属的相互作用关系（incidental interaction），它是功能单元特定的实体设置或组件之间具体的几何排列造成的。例如，纸张托盘中的传动器所引起的震动会干扰打印墨盒在X轴的精确定位。

当示意图的各元素划分成各个组件之后，基本相互作用关系就已经清晰地表达出来了，而附属相互作用关系必须以其他方式加以描述。如果只含有较少数量的关联组件（少于10个），那么关联图（interaction graph）可以方便地表达它们之间的附属相互作用关系。图表10-9所示为DeskJet打印机的关联图示例，代表目前已知的附属关联。对于较大的系统，这种关联图就会变得混乱，这时可以采用关联矩阵（interaction matrix）来表示基本的和附属的相互作用关系。关联矩阵也可以根据功能单元之间的相互关系的数量把各功能单元划分为组件。关于这种矩阵的实例，请参考Eppinger（1997）。



图表10-8 台式打印机的几何布局

图表 10-9 表明了振动和热形变是产生热量和进行定位操作的组件之间的附属相互作用。这些关系会给系统的开发带来不便，要求开发人员必须加强内部协作。



图表 10-9 附属的关联图

我们可以根据组件之间相互关系的图示来指导和管理后续的开发设计工作。有重要关联的组件应交给那些彼此交流和协作紧密的开发小组来设计。相反，与其他组件很少关联的组件可以交给相对独立的小组来设计。Eppinger (1997) 提出了一种基于矩阵的、度量大项目对系统协作需求的方法。198

通过仔细的前期协作，也有可能使两个关联组件的后续开发完全独立开来。尤其是当两个组件可以通过某个特定的接口发生联系时，这种可能就会出现。基本相互作用关系的接口比较容易设计，而附属相互作用关系的接口设计起来比较困难。

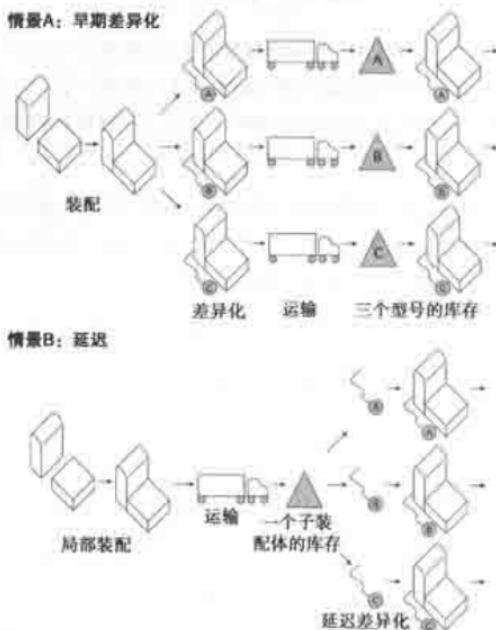
随着产品系统设计和详细设计的进行，开发人员对组件之间附属相互作用关系（有时也包括基本相互作用关系）的认识会不断深化。示意图、关联图或关联矩阵可以反映出这种认识的深化。子系统、模块和构件之间的关联有时称为系统架构（system architecture）。

10.4 延迟差异化

当一个公司提供几种不同的产品时，产品架构是供应链（supply chain）绩效的一个关键决定因素。供应链是连接原材料和各部件以制成用户手中产品的一系列生产和分发活动。

假设有三种不同的打印机。要适应三个不同地域的不同电力标准。考虑在供应链中的哪一点，产品将被唯一地确定为三种不同产品中的一种。假设供应链由三种基本活动组成：装配、运输和包装。图表 10-10 显示了产品在供应链中移动时不同种类产品的数量的变化情况。在情景 A 中，组装阶段确定了三种不同的打印机，然后运输、包装。在情景 B 中，组装活动被分为两个阶段：产品的大部分是在第一个阶段被组装的，然后运输，组装完成，最后包装。在图 B 中，与电源转换相关的部件是在运输后被组装的，因此产品直到接近供应链的末端时才被差异化。

将产品的差异化推迟到供应链的末端称为延迟差异化 (delayed differentiation), 或简称为延迟 (postponement), 这样就可以大量减少供应链的运营成本——主要是通过减少库存。对大多数产品(尤其是创新产品)来说, 对每种产品的需求是不确定的, 也就是说, 有一部分需求随着时间随机变化。在这种需求不确定情况下提高产品的可获得性 (availability), 要求在供应链末端的某处保持库存。(要理解为什么是这样的, 想象一下麦当劳公司如果只是在订单下达之后才开始将马铃薯削皮、切片和煎炸的话, 它如何对薯条每时每刻的需求波动做出反应。实际上, 它保持一定量做好的炸薯条的库存, 可以迅速地包装并出售。) 对打印机来说, 在生产和销售地之间用船进行运输需要几周的时间, 为了积极响应需求的波动, 必须在运输之后保持一定的库存。既定产品可获得性的目标水平所要求的库存数量是需求变化程度的函数。



图表 10-10 延迟是将产品的延迟差异化推迟到供应链的末端: 在情景 A 中, 3 种不同的产品是在组装中和运输之前确定的; 在情景 B 中, 3 种不同产品是直到运输之后才确定的

延迟差异化可以大量减少库存的成本, 因为对于产品基本元素(例如框架)的需求的随机性比对不同产品的差异化部件的需求要小。这是由于在大多数情况下对于不同种类产品的需

求是不相关的，因此，当某种类型产品的需求很大时，可能该产品其他类型的需求会很小。

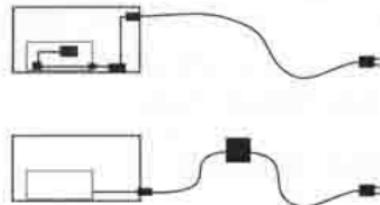
延迟差异化有两个必要的设计原则：

- 产品中的差异化元素必须集中到一个或少数几个组件中。

为了通过一个或少数几个简单的步骤将产品差异化，产品的差异化属性必须由产品的一个或少数几个部件所确定。考虑不同地区对打印机电源要求不同的情况。如果适合美国 120V 电源标准的产品与适合欧洲 220V 电源标准的产品之间的差别与产品的几个组件都有关系（如电线、电源开关、变压器、整流器等都在不同的组件中），那么将无法在不延迟这些组件组装的情况下延迟产品的差异化（见图表 10-11 上）。如果这两种型号的唯一不同之处在于一个包含电线和电源“盒”的组件，那么这两种产品之间的不同只需要一个不同的组件和一个组装步骤（见图表 10-11 下）。

- 在设计产品和生产流程时必须考虑：差异化组件能够在供应链的末端加到产品中去。

即使产品的差异化属性只与一个组件有关，延迟也可能无法实现。这是因为组装过程或产品设计的限制可能要求这一组件必须在供应链的早期阶段被组装。例如，人们可以设想打印机的顾客包装（例如，打印好的纸箱）是一个主要的差异化组件。这是因为不同的市场有不同的语言要求。如果将产品从工厂运输到销售中心要求将打印机装到纸箱中，那么将无法延迟产品在包装类型上的差异化。为了避免这一问题，惠普公司设计了一种明智的包装方案，即在一个大的集运架的每一层中用模型托盘定位几十个打印机，这样就可以用塑料薄膜将集运架包装起来并直接装入集装箱中。这种方法使得纸箱的差异化可以在打印机运输到销售中心并安装合适的电源装置后进行。



图表 10-11 为了能够实现延迟，产品的差异化属性必须集中于一个或少数几个组件中。在上图中，提供电源是通过电线、密封盖、底盘和逻辑板来完成的。在下图中，供电由电线和一个电源“盒”完成

10.5 平台规划

惠普公司为有不同需求的顾客提供多种台式产品。为描述这些需求，将顾客分为三种类型：家庭、学生和小型办公 / 家庭办公（Small-Office/Home-Office, SOHO）。为服务这三种顾

客。惠普公司可以开发三种完全不同的产品，也可以对这三种顾客只提供一种产品，还可以通过打印机中一部分组件的不同对产品进行差异化（参见第4章）。

产品架构的一个期望特性是，公司可以提供两种或多种高度差异化但又共享大部分组件的产品，被这些产品共享的（包括组件设计）所有资产，称为产品平台（platform）。产品平台规划包括在差异性和共性之间进行基本的权衡。一方面，提供一个产品的几个明显不同版本（类型）可以带来市场效益；另一方面，最大化这些不同产品共享通用组件的程度，可以带来设计和制造效益。两种信息系统使团队可以进行这一权衡：差异性设计（differentiation plan）和共同性设计（commonality plan）。

10.5.1 差异性设计

差异性设计清楚地表明了从顾客和市场期望出发，不同类型产品之间的不同之处。图表10-12是一个差异性设计的例子。这一设计方案由一个矩阵组成，行代表打印机的差异化属性，列代表产品的不同类型。差异化属性（differentiating attribute）是指那些对于顾客很重要，且有意设计出差异的产品属性。差异化属性通常在产品特点中加以说明（见第6章相关介绍）。团队使用差异性设计来确定不同产品的差异。在没有限制的情况下，差异性设计将与每个不同产品的目标市场中顾客的偏好一致。遗憾的是，这种设计通常意味着产品十分昂贵。

| 差异化属性 | 家庭 | 学生 | SOHO (小型办公 / 家庭办公) |
|---------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 黑白打印质量 | “近乎激光”质量 300dpi | “激光”质量 600dpi | “激光”质量 600dpi |
| 彩色打印质量 | “近乎图像”质量 | 与 DJ600 相同 | 与 DJ600 相同 |
| 打印速度 | 6 页 / min | 8 页 / min | 10 页 / min |
| 占地面枳 | 360mm 长 × 400mm 宽 | 340mm 长 × 360mm 宽 | 400mm 长 × 450mm 宽 |
| 纸张存储量 | 100 页 | 100 页 | 150 页 |
| 类型 | 普通用户 | 年轻用户 | 商用 |
| 与计算机的连接 | USB 和并行接口 | USB | USB |
| 操作系统兼容性 | Macintosh 和 Windows | Macintosh 和 Windows | Windows |

图表 10-12 三种打印机的差异性设计实例

10.5.2 共同性设计

共同性设计清楚地表明了不同产品在实体上的相同之处。图表10-13是一个打印机共同性设计的例子。这一设计方案由一个矩阵组成，行代表产品的组件，第三、四、五列代表三种不同类型的产品，第二列表示这一设计中的每个类型组件的数量。团队在剩余列的每个位置中填入用来组成产品的每种不同组件的标志。在没有限制的情况下，大多数制造工程师都会

选择在不同类型的产品中使用同种组件。然而，这种策略将使产品之间没有差别。

| 组件 | 类型的数量 | 家 庭 | 学 生 | SOHO |
|------|-------|-----------------------|---------------------|--------------|
| 打印墨盒 | 2 | “Magnet” 墨盒 | “Picasso” 墨盒 | “Picasso” 墨盒 |
| 打印装置 | 2 | “Aurora” 系列 | 窄 “Aurora” 系列 | “Aurora” 系列 |
| 纸张托盘 | 2 | 先进先出 | 先进先出 | 高度先进先出 |
| 逻辑板 | 2 | “Next gen” 板 有并行接口 | “Next gen” 板 | “Next gen” 板 |
| 外壳 | 3 | 家用型 | 年轻型 | 柔和办公型 |
| 驱动软件 | 5 | A-PC 版本 A-Mac 版本 | B-PC 版本 B-Mac 版本 | C 版本 |

图表 10-13 三种打印机的共同性设计实例

10.5.3 差异性和共同性之间的权衡

平台规划面临的挑战是解决差异化产品的期望和产品共享更多组件的期望之间的矛盾。差异性和共同性设计之间需要权衡。例如，学生型打印机有占地面积小的优点。这对居住空间紧张的大学生来说可能很重要。但是，这一差异化属性意味着学生打印机需要一种不同的打印装置组件。这有可能增加打印机设计和生产的投资。这种使产品适合目标市场的期望和使投资最小的期望之间的矛盾，在团队力图使差异性和共同性设计一致时将十分突出。我们为解决这一矛盾提供以下几条原则。

202
203

- 平台规划的决策应该基于对成本和收入的估计：估计市场份额 1% 的增长将带来的利润收益是一个有用基准，以此可以衡量增加一个组件的额外版本（类型）所带来潜在的制造成本和供应链成本增加。在估计供应链成本时，团队必须考虑差异性设计中的差异化可以被延迟的程度，或这种差异化是否必须在供应链的早期阶段进行。
- 迭代是有益的：以我们的经验，团队在基于大致的信息做几次迭代后做出的决定比它们在细节上耗费精力而较少后做出的决定迭代更好。
- 产品架构决定了差异性和共同性之间权衡的本质：差异性和共同性之间权衡的本质是不固定的。通常模块化架构比集成化架构有更高的共享组件比例，这意味着当面临差异性和共同性之间很难解决的冲突时，团队应该考虑备选的架构方案，这些方案可能会同时增强差异性和共同性。

在打印机的例子中，差异性和共同性之间的矛盾可以通过妥协来解决。稍微窄一些的学生型打印机的收益不可能超过制造完全不同的、更窄一些的打印装置的成本。打印装置包括大量的工艺投资，制造不同的打印装置的成本可能很高；而且由于打印装置是在供应量的早期阶

段制造的，如果需要不同的打印装置，差异化延迟将无法实现。由于这些原因，团队可能选择使用一个通用的打印装置，而放弃更窄的学生型打印机可能带来的收益。

10.6 系统设计的相关问题

建立产品架构的四步法可以指导前期的系统设计工作，但许多细节的工作还有待解决。下面[204]我们讨论一些后续系统设计的有关事项及其对产品架构的影响。

10.6.1 确立子系统

图表 10-6 的示意图只反映了产品的关键部分，还有许多功能单元没有表示出来，并且其中的某些功能单元只能随着系统设计的进行才能逐渐清晰。这些额外的功能单元组成了产品的子系统（secondary system），其中包括安全系统、动力系统、状态监控、结构支撑和外壳等。所幸，子系统通常采用电缆和管道等弹性连接，所以可以在产品主要结构设计确定之后再考虑。有些子系统（如安全系统），将不得不穿越各组件。这样的子系统会带来一些特殊的问题：假如该子系统由位于几个组件中的零件组成，那么是否应该把该子系统的设计交给一个单独的开发小组或个人来完成呢？或者是否该由承担设计各组件的开发小组或个人通过内部协作来完成子系统的设计呢？实际上，较多采用的是前者，即由专门人员来设计该子系统。

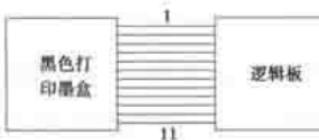
10.6.2 确立组件架构

某些复杂产品组件本身就是非常复杂的系统。例如，台式打印机的很多组件都涉及数十个零部件。每个组件都可以有它自己的架构——划分为更小组件的方案。这一点其实与整个产品架构的确立是一样的。组件的架构设计几乎和产品整体架构的设计具有同等重要的地位。例如，打印墨盒包括对四种颜色油墨中的每一种油墨进行储存和传送油墨的子功能，对于这一组件有几种可能的结构方案，如对每种颜色的油墨使用单独的、可替换的墨盒。

10.6.3 确立详细的界面规格

随着系统设计的深入，由图表 10-6 中的线条所表示的组件间的基本相互关系会更加具体地体现为信号传输、物料流动和能量交换。随着设计的不断细化，应进一步清晰组件之间的界面规格。图表 10-14 是一张显示打印机的黑色墨盒和逻辑板之间可能的界面规格。这些界面表示了组件之间的“联系”，并经常在正式的规格说明文件中详细描述。

| 线条 | 名称 | 属性 |
|----|-------|-------------|
| 1 | PWR-A | +12VDC, 5mA |
| 2 | PWR-B | +5VDC, 10mA |
| 3 | STAT | TTL |
| 4 | LVL | 100Ω K-1MΩ |
| 5 | PRNT1 | TTL |
| 6 | PRNT2 | TTL |
| 7 | PRNT3 | TTL |
| 8 | PRNT4 | TTL |
| 9 | PRNT5 | TTL |
| 10 | PRNT6 | TTL |
| 11 | GND | |



图表 10-14 黑色打印墨盒和逻辑板之间的界面规格

205

10.7 小结

产品架构是把产品的各个功能单元组合为实体组件的方案。产品架构在新产品概念开发和系统设计阶段就应确定下来。

- 产品架构的决策对产品开发具有深远的影响，会影响到产品改进、产品多样性、零部件标准化、产品性能、可制造性以及产品开发管理。
- 产品架构的关键特征是它的模块化和集成化的程度。
- 在模块化的架构中，每个实体组件实现特定的功能单元，并和其他组件有明确的相互作用。
- 存在三种模块化架构：槽型模块架构、总线型模块架构和组合型模块架构。
- 在集成化的架构中，一个功能单元由多个组件来完成，所以组件之间的相互关系并不十分明确。
- 我们推荐采用所谓的“四步法”来确立产品的架构：
 - (1) 创建产品示意图
 - (2) 对示意图中的元素进行聚类
 - (3) 设计简略的几何结构
 - (4) 确定基本的和附属的相互作用关系
- 四步法可在初步的架构设计中指导开发人员的工作，后续的系统设计和详细设计应进一步完善产品架构的各个细节。
- 产品架构使延迟（即延迟的产品差异化）成为可能，这将大量节约成本。
- 架构选择与平台规划紧密相连，以不同版本（类型）的产品适合不同的市场细分时，需要在差异性和共同性之间进行权衡。
- 由于产品架构的深远影响，所以这方面的设计工作必须考虑市场因素、制造因素和后续的设计开发工作。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

产品架构的概念及其意义在下面这篇文献中给予了更加透彻的阐述。

Ulrich, Karl, "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm", *Research Policy*, Vol. 24, 1995, pp.419-440.

有关确立产品架构的许多事项在系统工程文献中的有关论述略有不同。Hall 对许多相关资料进行了概述。Maier 和 Rechtin 讨论了复杂系统的架构。

Hall, Arthur D., III, *Metasystems Methodology : A New synthesis and Unification*, Pergamon Press, Elmsford, NY, 1989.

Maier, Mark W., and Eberhardt Rechtin, *The Art of Systems Architecting*, third edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2009.

Pine 在其大规模定制和有关多样性生产的文章中，论述了产品架构和产品多样性之间的关系。

Pine, B. Joseph, II, *Mass Customization : The New Frontier in Business Competition*, Harvard Business School Press, Boston, 1992.

Clark 和 Fujimoto 在其有关汽车工业产品开发的著作中讨论了所谓的“黑箱式”供应商关系。在这种情况下，制造商提出组件或零部件功能和相互关系上的要求，而由供应商完成具体的设计工作。

Clark, Kim B., and Takahiro Fujimoto, *Product Development Performance : Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press, Boston, 1991.

Alexander 和 Simon 都是最早讨论将系统分为关联最少的组件的作者之一。

Alexander, Christopher, *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964. Simon, Herbert, "The Architecture of Complexity" in *The Sciences of the Artificial*, third edition, MIT Press, Cambridge, MA, 1996. (基于最早见于 1965 年的一篇文章)

Eppinger 提出了一种基于矩阵的方法以帮助分析由组件之间相互关系和完成这些组件的开发团队情况所确定的产品架构。

Eppinger, Steven D., "A Planning Method for Integration of Large-Scale Engineering Systems," International Conference on Engineering Design, ICED 97, Tampere, Finland, August 1997, pp.199-204.

有关延迟差异化和供应链绩效的更多讨论请参见下面几本书：

Lee, Hau L., "Effective Inventory and Service Management through Product and Process Re-Design," *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, 1996, pp. 151-159.

Lee, Hau L., and C. Tang, "Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation," *Management Science*, Vol. 43, No. 1, January 1997, pp. 44-53.

Lee, Hau L., Cory Billington, and Brent Carter, "Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service through Design for Localization," *Interfaces*, August 1993, pp. 1-11.

[207]

平台规划方法在下面的书中有更为全面的讨论。

Robertson, David, and Karl Ulrich, "Planning for Product Platforms," *Sloan Management Review*, Vol. 39, No. 4, Summer 1998, pp. 19-31.

练习

1. 画出手表的结构示意图。图中仅用功能单元表示（不需要采用特定的实体元件及工作原理）。
2. 描述瑞士军刀的架构。这种架构有哪些利弊？
3. 拆一件电子产品，画出包含关键功能单元的示意图。识别 2 个或 3 个可能的组件聚类的方案。设计团队选取了什么架构？说出你的判断依据。

思考题

1. 像银行账户和保险方案这样的服务产品存在架构问题吗？
2. 在不采用模块化产品架构的情况下，企业可以实现产品的多样性吗？怎样实现？如果不能，为什么？
3. 有人认为相对于模块化程度较高的方案来说，图表 10-5 所示的摩托车架构可以减轻摩托车的重量。其他方面的利弊是什么？哪种方案可能降低制造成本？
4. 在一辆汽车的开发中，可能要做出成千上万个架构方面的决策。找出任一个功能单元（比方说安全防护）与其他单元之间的基本相互作用关系和附属相互作用关系。你怎样根据这些关系来决定把该单元放到什么组件中？
5. 图表 10-6 的示意图中包含了 15 个功能单元和实体单元。找出每种划分组件的可能，并说明每种架构的优缺点。

[208]

第 11 章

工业设计



(摩托罗拉公司授权)

图表 11-1 摩托罗拉公司翻盖手机的演化 (从左上方开始按顺时针方向) 依次分别是：
Micro TAC (1989 年), Star TAC (1993 年) 以及 RAZR (2004 年)

2003年，摩托罗拉公司在它已经非常成功但比较老旧的翻盖手机系列的基础上，又研制开发了一种非常具有吸引力的新产品。自20世纪90年代早期以来，Star TAC和V系列平台均已有好几代产品相继上市，其中的一些还风靡世界并成为全球手机制造的典范。

新款RAZR设计源自“以薄取胜”的理念，这种设计理念认为如果设计的新款手机比以前市场上的手机都要轻薄的话，那么在外观上就会格外吸引顾客。这种设计需要一种全新的架构，与现有的产品平台截然不同。2004年，当这款RAZR新款手机首次上市的时候，顾客们都认为它是摩托罗拉翻盖手机的一次彻底革命（见图表11-1）。

由于好莱坞明星的代言，RAZR新产品的宣传非常成功，从而快速地吸引了大量消费者前来购买尝鲜。上市一年之内，RAZR产品的销量就高达上百万部。这也远远超过了摩托罗拉公司自己的预期。该案例的成功可以归结于以下几个因素。

- **小巧轻便：**RAZR产品很薄，所以相较于其他手机更适合随身携带。RAZR的厚度只有14毫米，而重量仅95克。这使其成为了当时市场上最轻最薄的移动电话。
- **性能特征：**RAZR手机有一个一体化VGA摄像机，一个大的背光键盘，以及一个宽大明亮、色彩鲜艳的大屏幕，便于各种全新视频和图形应用程序的加载。RAZR运用带蓝牙组网的无线耳机配件代替了原先的耳机插孔。将天线隐藏在键盘底部的新颖设计更有利信号的接收和传递，并且这样也可以避免因为使用者手指的阻碍而导致信号变差。
- **卓越的人机工程设计：**符合人机工程学的顺滑设计使得RAZR的人机界面更加完善。手机的形状，尤其是屏幕和键盘之间的夹角，让用户感到非常舒适。键盘上按键的位置和间距都严格依据标准而定，大量的测试结果显示这使得手机拨号更加快速和精准。翻盖的两个部分之间有个凹槽，这样的折叠设计让用户仅用一只手通过打开或关闭盖子就可以接听或者挂断通话。此外，RAZR还采用了新型的导航软件，并且有很多现成的短语，使得用户在输入信息和使用其他程序的时候更加方便快捷。
- **耐久性：**跟所有摩托罗拉产品一样，RAZR的设计严格符合质量指标。从一米高的地方落到水泥地面，或者没有任何保护的情况下使其受到挤压，它的外观和功能都不会受到任何损伤。此外，RAZR还能耐受一定的温度、湿度、撞击、灰尘以及振动等外力。
- **材质：**为了保证优良性能的同时又兼顾外形美观，RAZR使用了很多非常优质的材料。其中包括激光蚀刻切割的键盘、镁合页、超薄的铝合金外壳、聚碳酸酯制作的信号接收器，以及防火玻璃制造的超薄屏幕等。
- **外观：**圆滑的设计和金属装饰使RAZR看上去很有创意。由于RAZR手机的外观非常美观和独特，拥有一部这样的手机便成为了一个身份和地位的象征。所以早期拥有它的人都感到非常自豪。

RAZR 开发团队中的工程师包括电子、机械、材料、软件及制造等方面的各种人才。他们对产品的技术开发以及工艺设计都有着杰出的贡献，从而使得 RAZR 在构造、性能以及重量方面都有着重大的改进。然而，如果没有工业设计师来帮助确定尺寸、形状和人机界面，RAZR 是无法实现超薄这一创新的。事实上，如果没有工业设计上的创新构想，摩托罗拉公司的开发人员可能仅仅开发出比原来的翻盖移动电话更小、更轻便的手机。实际上，是工业设计者的革命性概念给该项目带来了巨大的成功。

工业设计师主要负责与用户密切相关的各个方面设计——产品的外观（产品看起来、听起来以及闻起来的感觉如何）和功能接口（产品怎样使用）。历史上来讲，对许多美国制造企业来说，工业设计一直是被抛诸脑后的。管理人员让工业设计师在产品技术特征确定之后才对产品进行造型或包装。一个公司可以单单凭借其优越的技术来为产品打开市场——尽管顾客在评价产品时肯定会更主观，包括易用性和产品的造型的判断等。

而现在，商业上的成功仅仅依靠产品的核心技术是远远不够的。市场的全球化致使产品的设计和制造必须面对更加广泛的顾客。激烈的竞争使得任何一家公司都不可能仅仅通过技术来保持它的竞争优势。因此，像摩托罗拉这样的企业更加注重工业设计，通过工业设计，既可以满足顾客的需求又可以提供与其他竞争对手不一样的产品。

本章主要向设计者和管理人员介绍什么是工业设计，阐述工业设计怎样和产品开发的其他工序进行配合。我们在下文中将主要以 RAZR 型手机为例来说明问题。具体来讲，本章包含以下内容：

- 工业设计的发展历程及其准确定义
- 在典型工业设计中投资的统计数据分析
- 对某一重要产品工业设计重要性的评价方法
- 在工业设计中的投资和收益
- 工业设计怎么帮助企业树立形象
- 开发产品时工业设计师需要遵循的特殊步骤
- 如何根据产品类型来改变工业设计流程的说明
- 评价一个已成型产品工业设计质量的方法

11.1 什么是工业设计

工业设计 (industry design, ID) 产生于西欧，它的诞生可以追溯到 20 世纪初 (详见 Lorenz

于 1986 年发表的关于工业设计历史的文章，这里仅作一个简单总结）。一些德国公司，包括 AEG（一家大型电子产品制造商），雇用了大量工匠和设计师来设计制造各种各样的产品。最初，这些早期的欧洲设计师们并没有对工业生产产生直接的影响，然而，他们的工作却为今天的工业设计理论奠定了坚实的基础。早期欧洲的工业设计方法，像包豪斯（Bauhaus）运动所倡导的那样，不仅注重实用性，还强调产品的几何形态、精确度、简便易操作性以及产品设计的经济性。总而言之，早期的欧洲设计师们坚信，产品的设计应该“由内及外”，功能最主要，而外形次之。

然而在美国，早期的工业设计理念却截然不同。早期的欧洲工业设计人员多为建筑设计师和工程师，而早期的美国工业设计师大多是场景设计人员和艺术家。所以不足为怪，美国的工业设计一直以来主要是为了销售和广告，产品的外观要比内在重要得多。美国工业设计的先驱，包括 Walter Dorwin Teague、Norman Bel Geddes 和 Raymond Loewy，他们都很注重产品外形的流线型设计。这点可在 20 世纪 30 年代美国的产品设计中得到证实。从自来水笔到婴儿推车，产品的外形设计都应用了空气动力学方面的理论知识，而这与产品的功能并无多大关系。汽车行业也是一个很好的例子，20 世纪 50 年代欧洲设计的汽车简单流畅，而同时代美国设计的汽车却带有一些和功能并无关系的装饰，像尾翼和镀铬的齿轮等。

然而，到了 20 世纪 70 年代，欧洲工业设计理论对美国工业设计的思想产生了深远的影响。这主要得益于 Henry Dreyfuss 和 Eliot Noyes 所做的工作。日益激烈的市场竞争迫使公司不断改进产品或者提供与竞争对手不同的新产品。慢慢地，企业逐渐接受了工业设计不只是为造型和外观服务的理念。像 Bell、Deere、Ford 以及 IBM 等公司，成功地将工业设计与产品开发有效地结合在一起，这也使得这种观念得到了深化。

2000 年的时候，工业设计被各界专业人士应用于更为广泛的领域，小到小型设计咨询公司，大到大型生产企业的设计室。摩托罗拉公司的工业设计师们组成了一个叫作“顾客体验设计”的部门，全心全意致力于新产品的开发。

美国工业设计师协会（Industrial Designers Society of America, IDSA）给工业设计的定义是“以优化产品性能、价值和外观，并提高厂商和顾客共同利益为目的而进行的产品新概念的创立和开发方面的专业服务”。这个定义的范围很广，几乎包括了产品开发所需的全部工作步骤。实际上，工业设计师把重点更多地放在了产品的外形和用户界面上。1967 年，Dreyfuss 提出了工业设计师在帮助团队设计开发新产品时应当追求的五个关键目标。

[212]

- 实用性 (utility): 产品的人机界面应该安全、便于操作、直观。产品的每个特性都应该形象化，以便于用户掌握产品功能。
- 外观 (appearance): 形状、线条、比例、颜色等都要给人一种赏心悦目的感觉。
- 便于维护 (ease of maintenance): 产品必须要设计得便于维护和修理。
- 低成本 (low cost): 产品的外形和特征对产品的生产和工装成本都有非常大的影响，所以公司研发人员必须将这些考虑在内。
- 交流 (communication): 产品的设计应该通过可视的特性充分表达公司对产品的设计理念。

工业设计师一般要经过大学四年的教育，在此期间要学习雕塑及造型、设计图纸、展示、制作模型，并且要掌握产品材料、制造工艺和加工的基础知识。在工业实践中，设计人员还会接触到基本的工程、先进制造/加工流程及市场营销等方面的实践。工业设计师对想法可视化的表现，可促进公司产品概念设计的开发。在整个产品的开发流程中，工业设计师常常需要把开发人员大多数的想法变为概念草图、模型或者透视图来供企业利用。

11.2 对工业设计必要性的评估

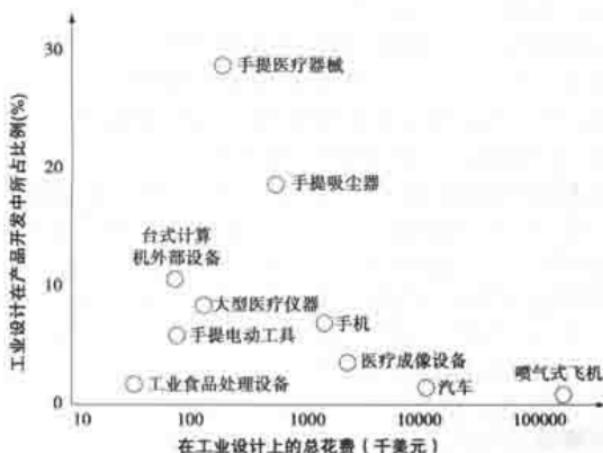
为了评价工业设计对某一特定产品的重要性，我们首先来看一些关于投资方面的统计数据，然后给依托于良好工业设计的产品下定义。

11.2.1 工业设计所需费用

图表 11-2 显示了一些产品的工业设计投资所需大约数额。工业设计的投资总额及其在产品开发投资预算中所占的百分比因不同的工业产品和不同的顾客需求而变化。这些统计数据可以告诉开发人员一个新产品的开发在工业设计方面需要多少投入。

这张图表明，不同产品的工业设计支出变化范围是很大的。对于那些几乎与用户没有交互关系的工业设备来说，在工业设计方面的支出仅在数万美元之内。然而另一方面，像汽车这种与顾客有密切交互且需要注重外观的产品开发往往需要数百万美元的工业设计投入。而仅作为整个开发预算一小部分的工业设计相对成本也有非常大的差别。对于尖端技术的产品（如新型航天器），其工业设计投入与整个工程及其他方面的研发投入相比较而言，并没有占有太大的比例。但这并不表明在该类产品的研发中工业设计不重要，而只能说明在其他功能方面的投入更昂贵一些。当然，新型汽车开发的成功在很大程度上取决于美观的外形和高品质的用户界面，而这两点因素都是由工业设计来决定的，新型汽车研发在工业设计方面的支出大

概要一千万美元，但相对于整个开发项目的预算来讲这个数额还算是适中的。



图表 11-2 某些消费品和工业品的工业设计投入

11.2.2 工业设计对产品有多重要

市场上销售的绝大多数产品都可以通过工业设计改进其某些方面，人们所使用、操纵或所见到的所有产品在商业上的成功，都在很大程度上依赖于工业设计。

正是由于这样的观点，评价工业设计重要性的便捷方法着眼于以下两个角度：人机工程学和美学（我们这里所说的人机工程包括产品与用户交互设计的所有方面）。这两个方面对产品越重要，产品的开发就越依赖于工业设计。因此，从这两个角度来考察一些问题，我们就能够定性地评价出工业设计的重要性。

11.2.3 人机工程学需求

- **便于使用的重要性如何？** 不管是对于经常使用的诸如办公室复印机之类的产品，还是对于不经常用到的像灭火器等产品来讲，方便使用都是非常重要的。如果产品具有多种特性，并且有多重操作模式，那么便于用户使用这一点就更为重要了。因此，工业设计师必须保证产品的特征能够有效地反映它们的功能。
- **方便维护有多重要？** 假如产品需要经常维护和修理，那么设计得使其便于维护就显得尤为重要。例如，用户希望能够很容易地清理掉打印机或复印机的卡纸。另外，产品

的特征能够准确地向用户展示维护或修理的步骤也是很重要的。然而多数情况下，减少产品维护的必要性是最好的选择。

- **产品的功能中需要多少用户交互？**通常，产品需要的用户交互设计越多，产品的开发就越依赖于工业设计。例如，门把手显然只需要一个简单的用户交互，而手提电脑就需要很多的用户交互，对此工业设计师必须有一个深入清楚的了解。此外，每个用户交互可能需要不同的设计方法或者更进一步的研究。
- **用户交互需要多新颖呢？**现有设计中的用户界面肯定需要不断地改进和优化，比如，新一代台式计算机的鼠标按钮。这种改进就比较简单。但是更加新颖的用户界面可能就需要大量的调研和可行性研究，就像早期苹果 iPod 音乐播放器中的“电机齿轮”。
- **需要考虑哪些安全因素？**所有的产品都要考虑安全性。对于某些产品来说，安全问题可能是开发人员面临的重大挑战。例如，在儿童玩具的设计中，对安全因素的考虑肯定要比一只鼠标在这方面的考虑要多得多。

11.2.4 美学需求

- **要求产品与众不同吗？**具有稳定市场和成熟技术的产品在很大程度上依赖于工业设计来创造美观的外形和产品的独特性。相反，像计算机硬盘驱动器这样因其自身技术的差别而不同的产品，则很少依赖于工业设计。
- **产品的形象、样式和拥有者对它的感受有多重要？**顾客对产品的感受很大程度上取决于产品的外在形象。对顾客有吸引力的产品往往有着美观的造型和样式，并使拥有它的人产生一种强烈的自豪感。同样，看起来粗糙、保守的产品是不太可能吸引顾客的。当这些特征对于产品来讲很重要的时候，工业设计就对产品开发的成功与否起到了决定性的作用。
- **美观的产品设计能够对开发人员产生激励作用吗？**非常美观的产品设计往往会在设计师和制造人员之间产生一种强烈的“集体荣誉感”，而这种“集体荣誉感”有助于激励凝聚每一个开发人员的力量。早期的工业设计概念让团队对期望通过努力所达到的最终产品结果有了具体的设想。

为了证明以上方法的有效性，我们以这些问题为标准来评价工业设计在 RAZR 型移动电话开发中的重要性。图表 11-3 就是这种分析的结果，从该图表中可以看出人机工程学与美学对于 RAZR 型移动电话都是非常重要的。总之，工业设计在决定产品成功与否的关键因素中扮演着重要的角色。

| 需求 | 重要程度 | | | 解释 |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|
| | 低 | 中等 | 高 | |
| 人机工程学方面 | | | | |
| 使用方便 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 对手机来讲非常关键，因为它使用比较频繁，可能在紧急情况下使用。司机在驾驶的时候也会使用，产品的功能必须通过设计将其体现出来 |
| 维护方便 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 像其他集成电路产品一样，RAZR型移动电话几乎没有维护的必要 |
| 用户界面的数量 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 有非常多重要的用户界面，像文本输入、拨号及存储号码、呼叫及接听电话、拍照、上网等 |
| 用户界面的新颖性 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 某些用户交互设计方案是直截了当的，比如数字键盘，因为决定其基本尺寸的人机工程数据很丰富，然而其他界面，像这么薄能用一只手操作的机型，与早期型号的手机差别很大，所以需要仔细研究 |
| 安全性 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 对于RAZR自身来讲几乎没有需要考虑安全因素的地方。然而，因为很多顾客经常在驾驶汽车的时候使用手机，所以为了安全考虑，设计无线蓝牙耳机线就非常必要了，这样顾客开车的时候就可以不用手来操作方便也安全 |
| 美学方面 | | | | |
| 产品的差别化 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 在RAZR推出之前，市场上已经有成百上千种型号的手机，所以手机的外形对于设计新型手机来讲就格外关键了 |
| 顾客感受、样式和造型 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | RAZR手机是为公开场合进行商业和私人联络而设计的，所以它需要在外形上需要引人注目 |
| 对团队的激励作用 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | RAZR的新颖造型最终成为激励开发人员的重要因素以及吸引顾客的优点 |

图表 11-3 工业设计对 RAZR 型移动电话重要性的评价

11.3 工业设计的影响

前面部分主要介绍了工业设计对满足顾客需要的重要性，下面我们将探讨工业设计投资所产生的直接经济效果，以及工业设计对于企业形象所产生的影响。

11.3.1 工业设计值得投资吗

经理们常常想知道，对于一个特定的产品的一般商业运作，需要在工业设计方面花费多少功夫。这个问题虽然难以准确地回答，但是我们还是可以从成本与收益的分析中得到一些结

215
216

论的。工业设计的费用包括直接成本、制造成本以及时间成本，具体描述如下。

- **直接成本是指工业设计服务方面的开销。**其数额取决于所雇佣设计室的人数、项目所需周期、项目所需模型的数量，还有材料费用以及各种相关的开支。2011年，工业设计的咨询服务费是每小时75~300美元。其中由初级工业设计师来完成的咨询相对价格较低一些，而由高级设计师来完成的关于策略性的咨询则价格相对比较高，另外还要加上建模型和拍照等其他额外的费用。企业内部的工业设计服务的开销大体与此相当。
- **制造成本是具体实现工业设计所确定的产品细节的费用。**表面的抛光、外形加工、上色及其他的设计细节都会增加加工装成本和（或）生产成本。然而，我们注意到许多工业设计细节的实现在实际中并不需要成本。尤其是当工业设计在产品开发流程早期进行的时候（详见下文）。实际上，有些工业设计的实施可以减少制造成本，尤其是当工业设计师与制造工程师密切合作的情况下。
- **时间成本与延长交货时间所造成的不良后果有关。**工业设计师总是试图从人机工程学和美观性两个方面来完善一个产品，这就需要经过反复的推敲和建立大量的模型，从而导致产品开发周期的延长，从而造成一定的经济损失。

工业设计带来的好处包括以附加的或者更好的特征来美化产品的外观，增加顾客满意度，强化品牌形象和保持产品的独创性。相对于那些没有经过工业设计的产品来说，这些优点使得经过工业设计的产品能够卖到更高的价格，并且使其占有更大的市场份额。

这些工业设计的成本-收益分析是麻省理工学院在其开展的一项关于在竞争性市场中（如自动咖啡机市场）细节设计对产品成功与否的影响的研究中提出来的。虽然很难做到准确的定量分析，但是研究人员还是发现产品的美学特性（由工业设计人员的设计决定）与零售价格之间存在着相关性，而与制造成本之间并没有太大的相关关系。研究人员不能肯定这种现象是否是制造商自行定价造成的，也不能肯定产品的美学特性是否使制造商将产品售价提高。然而研究表明，在一般的销售中，单位价格每提高一美元，则会在产品的整个生命周期中带来数百万美元的利润。工业设计师对这种产品的设计服务收费在75000美元到250000美元之间，这表明，哪怕工业设计仅仅给顾客带来一美元的感知价值，制造商的回报都会相当可观（Pearson, 1992）。

在英国开放大学（Open University）开展的另一项研究也表明，工业设计的投资的确能产生丰厚的回报。这项研究跟踪调查了中小型制造企业的221个产品开发项目的工程投资和工业设计投资所带来的商业效果。这项研究显示，与前期缺乏工业设计的产品相比，90%的

工业设计投资得到了较好的回报。销售总额平均增长了 41% (Roy 和 Potter, 1993)。最近的研究评估了在产品开发流程中产品设计的效果和产品设计的总体结果的指标, 研究发现产品设计的这些指标与公司财务绩效成正相关 (参见 Gemser 和 Leenders, 2001; Hertenstein 等, 2005)。

对于一个特定的项目决策来讲, 进行一个简单的计算和灵敏度分析有助于明确工业设计的经济回报。例如, 假设工业设计的投资使得产品的单位售价提高 10 美元, 那么在现有的销售量下, 可以获得多少净收益? 同样, 假如工业设计的投资导致产品的需求量加大——假定每年增加一千个单位的话——这样的话在这样的价格之下净收益会是多少呢? 然后我们可以把这样粗略估计出的净收益与工业设计的预计成本相比较。这种差额计算方法普遍应用于相关的经济决策中, 由此可以简单地估算出一个开发项目工业设计的预期回报 (第 17 章详细介绍了这种分析方法)。

11.3.2 工业设计是如何树立企业形象的

企业形象 (corporation identity) 源自组织的视觉特征 (the visual style of an organization), 它是一个影响企业市场地位的因素 (Olins, 1989)。公司的形象取决于人们对它的看法, 广告、商标、徽标、制服、建筑、包装和产品设计都对企业形象的树立发挥着作用。

在制造企业中, 工业设计在决定企业形象方面扮演着重要的角色。工业设计决定了产品的外观样式, 这直接关系到企业公共形象。当一个公司的产品保持着一致的可识别化的外观时, 这就形成了一种视觉资产。一致的外观和感觉大抵与产品的颜色、形状、风格甚至与其特性联系在一起。当公司有好的声望时, 这种视觉资产是相当有价值的, 它将与今后产品的质量形成密切的关系。有一些公司把工业设计有效地应用于他们的生产线中, 从而确定了树立了视觉资产和企业形象。这些公司包括以下几个。

- 苹果公司: 最初的苹果计算机非常小巧, 有笔直的外形, 颜色为温暖的浅黄色。这样设计给人一种温和、友好的感觉, 从此苹果公司的产品一直都沿用这种设计。而最近很多新出的苹果产品有着引人注目的线条和非常抢眼的颜色, 像银色、黑色和白色等。
- 劳力士手表公司: 劳力士系列的手表都保持着经典的外形, 并且给人一种非常可靠的感觉, 这代表了公司的品质和声誉。
- Braun GmbH 公司: 该公司的厨房用具和剃须刀都有着简明的线条和明亮的色彩, 所以该公司的名字已经和简明、高品质联系在一起了。
- Bang & Olufsen 公司: B&O 的高保真电子设备具有光洁的外形设计, 在视觉上给人

的印象极为深刻，从而展现给了人们一种技术创新的形象。

- **宝马公司：**宝马汽车以奢华的性能和人性化的造型设计而闻名，宝马汽车多年来一直保持着造型的缓慢发展，变化并不太大，这也使得宝马的品牌更加容易识别，影响更加深远。

11.4 工业设计流程

许多大公司都有自己的工业设计部门，小公司通常雇佣咨询公司的工业设计服务。不管是哪种情况，工业设计师都应该全面地参与到产品的开发工作中去。在产品开发人员中，工程师通常遵循既定的程序来创立和评价由技术特征决定的新产品概念。同样，大多数工业设计师也要按照规定的程序对产品的美学性和人机工程做出设计。但是工业设计师的工作方法要因企业的情况和开发项目的特点而有所差异，他们会有很多的构想，然后与工程师一道通过一系列的评估对比进行选择。

具体来说，工业设计的程序主要包括以下几个阶段：

- (1) 调查顾客需求
- (2) 概念化（即确定构思）
- (3) 初步细化
- (4) 进一步细化及确定最终概念
- (5) 完成控制图纸或模型
- (6) 与工程师、制造商以及外部供应商合作

这一部分按顺序讨论每个阶段，下一部分将讨论各个阶段在整个产品开发流程中的时序问题。

11.4.1 调查顾客需求

产品开发的各项工作都是由满足顾客需求开始的，就像在第5章中所描述的一样。因为工业设计师擅长于与用户交互有关的识别问题，所以在顾客需求问题上工业设计是非常关键的，例如，在调查顾客对一种新型医疗仪器的需求时，开发人员可能要实地考察手术室，访问外科医生以及调查目标客户。涉及市场营销、工程方面以及工业设计的调查可以使团队对顾客需求有全方面的理解，并且还可以让工业设计师更好地理解用户和产品之间的交互作用。

与许多开发项目不同，RAZR 的开发项目并没有过分地依赖目标客户或正规的市场调查，因为摩托罗拉公司认为项目高度保密；以及获取顾客对下一代产品的反馈信息非常有难度，几乎使得这些工作没有可行性。取而代之的是，开发人员对摩托罗拉公司的内部雇员进行了深入的调查，借此反映客户的需求进展。营销人员强调了摩托罗拉公司在产品样式和风格方面在市场中的主导地位。工程设计人员也为工业设计师提供了设计人机工程和材料方面的技术限制等信息。摩托罗拉公司关于顾客对手机质量的感受的调查显示，不仅轻便非常重要，手机的密度也非常关键，所以就有了对手机整体密度的一个目标规格。

11.4.2 概念化

一旦明确了顾客的需求和有关的约束条件，工业设计师就可以协助开发团队形成产品概念。在这一阶段，工程方面很自然地会把注意力集中在产品功能的技术解决方案上（可参考第 7 章）。而此时工业设计师的主要任务是确立产品的形式和用户界面。工业设计师要画出每个概念的缩略图草图（thumbnail sketch），这些草图是表达设计思想和评估可行性的迅速而廉价的手段。图表 11-4 展示了不同手机的概念草图。[219]



图表 11-4 采用线条图和效果图技术的手机概念草图

所提出的产品概念将和开发中的技术方案相匹配，并且产品概念要按照顾客需求、技术可行性、成本以及制造方面的考虑来分类和评估（参见第 8 章）。

然而，在有些公司，工业设计师和工程师的工作可能是相互独立的，在这种情况下，工业设计所提出的概念就只关注外形和样式。那么当工程师发现这样的概念在技术上不可行的时候，就需要不断地反复修正。因此，企业认识到在整个概念开发阶段让工程师与工业设计师密切协作是大有益处的，这样可以很快完成概念的修改——即便仅仅是以草图的形式。

11.4.3 初步细化

在初步改进阶段，工业设计师把最可行的概念做成模型。软模型（soft model）是用泡沫材料或泡沫板等比例制成的，它们是评估产品概念的第二快捷方法（仅比草图慢一些）。

虽然这些模型看上去比较粗糙，但是它们是非常有价值的，因为它们使得开发人员可以在三维空间里表达和展现产品概念。工业设计师、工程师、营销人员以及潜在的用户通过感触对每个概念做出评估并进行修改。显然，工业设计师应该在时间和资金允许的范围内制作尽可能多的模型。难以形象化的概念相对于简单的概念来讲可能需要更多的模型来表现。

开发 RAZR 型移动电话的工业设计师使用了许多软模型来评价很多概念的大小、比例和形状，尤其是产品拿在手中以及靠近面部的感受，这些特点只能使用物理模型来评价。

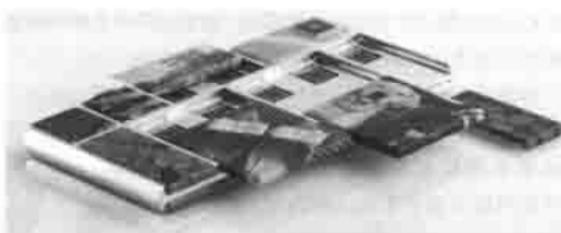
11.4.4 进一步细化及确定最终概念

在这个阶段，工业设计师常常需要把软模型或草图转化为硬模型和能反映更多信息的造型图，即透视图（rendering）。造型图可以揭示产品的细节，并反映产品的使用情况。绘制二维或者三维造型图，能够表达出产品的大量信息。造型图通常用来做色彩研究，或者检测顾客对产品特征和功能的接受程度。例如，透视图如图表 11-4 所示。

确定产品概念的最后一个步骤是制作硬模型。这些模型感觉上和外观上都比较真实，几乎是最终设计的赝品，但是它们仍然是不具有功能性的。硬模型是用木头、高密度泡沫材料、塑料或者是金属制成的，经过着色并且带有纹理，具有一些功能特征，像可以推动或者滑动的按钮之类的。因为制作硬模型可能要花费数千美元，所以一个开发团队一般只会制作几个这样的硬模型。

很多产品的硬模型具有尺寸、密度、重量、表面和颜色等特征。工业设计师和工程师使用硬模型来进一步完善最终概念和各项指标。另外，使用硬模型可以获得目标客户更多的反馈意见，也可以在商品展示中起到广告和促销作用，还可向企业内部的高层管理者表达产品概念。

图表 11-5 显示的是 Google Project Ara 构建的用来评估一种新的模块化智能手机概念细节的硬模型。对于 RAZR 项目，大量有价值的测试都是从硬模型开始的，通过测试可以确认是否有必要在一款轻薄的手机上使用大键盘。设计者还意识到有必要把调节音量的按键放在显示屏的侧面，这样要比放在键盘侧面更加方便一些。他们还发现这种设置要求在打开翻盖后这些按钮的“+/-”功能是要调换过来的。



(© Google ATAP)

图表 11-5 Google Project Ara 使用硬模型来评估其模块化智能手机概念的细节

11.4.5 完成控制图纸或模型

绘制出最终产品概念的控制图纸或者控制模型，工业设计师就完成了他们的开发工作。控制草图或者模型可以描述参评的功能、特性、大小、颜色、表面处理和关键尺寸。虽然控制图并不是详细的零件图（像工程图那样的），但它们也可以用来构造最终的设计模型和样机。一般来说，这些图要交给工程团队完成零件细节设计。图表 11-6 所示为 RAZR 型手机的一张控制图纸。



(摩托罗拉公司授权)

图表 11-6 表明最终形状和尺寸的 RAZR 型手机的侧面控制图

11.4.6 与工程师、制造商以及外部供应商合作

在后续的产品开发流程中，工业设计师必须继续保持与工程和制造人员的密切合作。有些公司甚至雇佣那些提供全方位服务的工业设计咨询公司，它们提供的服务包括产品细节设计、原料、工具、零件和产品装配服务的外部供应商的挑选和管理等。

11.4.7 基于计算机的工具对工业设计的影响

20世纪90年代以来，计算机辅助设计(Computer-Aided Design, CAD)软件对工业设计师以及他们的工作产生了深远的影响。现代3D CAD软件可以让工业设计师在计算机屏幕上形成一个三维的可视化设计，并且还可以快速地对其进行修改。通过这种方式，工

业设计就能更快速地形成大量非常具体的产品概念。这可以带来更有创新意义的设计方案。3D CAD使产品概念可视化，从而加强了开发人员的内部交流，并减少了由工业设计师手工绘制草图带来的不准确性（Cardaci, 1992）。可以用3D CAD系统来形成控制模型或者控制图纸，这些设计数据可以直接传输到工程设计系统中去，这就促进了整个开发流程的集成。图表11-7显示了一款RAZR的3D CAD模型。

11.5 工业设计流程的管理

在产品开发整个过程中的不同阶段，几乎都要用到工业设计，具体时间的选择取决于所开发产品的特点。为了便于解释，我们把产品划分为技术导向型产品和顾客导向型产品。

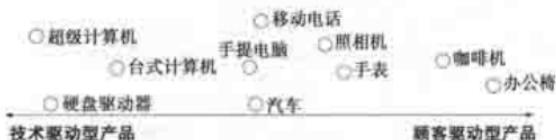


图表11-7 RAZR手机的3D CAD图像

- **技术驱动型产品 (technology-driven product)：**技术驱动型产品的主要特征是，其核心的获利能力基于它的技术性能或者实现特定技术性能的能力。虽然这种产品也需要美学性和人机工程，但顾客在购买这种产品的时候看重的往往还是它的技术性能。例如，计算机的硬盘驱动器就是高技术驱动型产品。因此，对于技术驱动型产品的开发工作来说，工程或技术的要求是主要的，并主导着产品的开发工作。这样工业设计的角色就仅限于对核心技术的包装。也就是需要设计产品外观以及保证产品能够向顾客传达它的技术功能和用户交互模式。
- **顾客驱动型产品 (user-driven product)：**顾客驱动型产品的核心获利能力来自用户界面的质量以及外观上的美学性。这种产品与用户有很强的交互作用。因此，用户界面必须安全、便于使用和便于维护。产品的外观是形成产品独创性并为顾客带来自豪感的主要因素。例如，办公椅就是高度顾客驱动型产品。虽然这种产品在技术上可能很先进，但是技术并不能使产品具有独创性。因此，对于开发人员来说，工业设计方面的考虑就要比技术上的要求重要得多。虽然工程方面对于决定这类产品的技术特征仍然是很重要的，但是既然这些技术已经成熟，开发人员的注意力就必须集中于顾客的角度了。

图表11-8将人们熟悉的一系列产品进行了分类。极少有产品属于两种极端中的一种。而绝大多数产品都处于这两种极端之间的某个位置。这种分类可能是动态的。例如，当一个公司开发了基于新的核心技术的产品时，它一般会希望尽快地把这个产品推向市场。因为这个时候很少强调产品的外观和使用上的问题。最初工业设计的作用在这里几乎微乎其微。然

而，随着竞争对手的加入，产品不得不针对顾客以及美学性进行竞争。于是产品最初的设计分工发生了转变，工业设计就在开发过程中扮演了重要的角色。一个典型的例子就是苹果 MacBook 笔记本电脑，最早的苹果笔记本电脑的优点主要是它的技术（一个搭载 Macintosh 操作系统的便携式电脑），然而随着市场竞争的愈演愈烈，苹果主不得不在技术优势的基础之上，依赖工业设计创造美观的外形以及提高实用性能。



图表 11-8 按照技术驱动型和顾客驱动型进行分类的一些普通产品

工业设计的介入时间

很明显，对于技术驱动型产品来讲，工业设计一般在开发过程的较晚阶段才参与进去；而对于顾客驱动型产品，工业设计一致贯穿于整个产品的开发过程中。图表 11-9 显示了工业设计在介入时间上的差异。注意，工业设计流程是产品开发流程的子流程，它和整个开发流程同步而并非独立进行。在图表 11-9 中，最上面的工业设计过程相对于整个产品的开发过程可能很快。在这种产品的开发过程中，工程师所面临的技术特性会使他们在后续的开发工作中比工业设计师付出更多的努力。

图表 11-9 表明，对于技术驱动型产品，工业设计可能在产品开发流程中较晚的时候才参与，这是因为这类产品的工业设计主要针对包装问题。对于顾客驱动型产品来说，工业设计在开发流程中涉及得非常多，实际上，对于大多数顾客驱动型产品，其整个开发过程几乎都由工业设计来主导。

图表 11-10 描述了工业设计在产品开发流程中各个阶段的任务及其与其他开发活动的关系，不同类型的产品，工业设计参与的时间是不同的，主要职责也是不一样的。



图表 11-9 在两种类型产品中工业设计的参与与时间

| 产品开发活动 | 产品类型 | |
|------------|--|---|
| | 技术驱动型 | 用户驱动型 |
| 识别顾客需求 | 工业设计不介入 | 为了确认顾客需求，工业设计要与市场营销紧密结合，工业设计师要深入了解目标客户，或者与客户进行一对一访谈 |
| 概念生成和选择 | 工业设计与市场营销以及工程设计相结合，以确保开发过程中考虑到人为因素和用户界面问题。安全性和维护问题往往是非常重要的 | 工业设计根据前一阶段进展的情况，生成多个产品概念 |
| 概念测试 | 工业设计帮助工程师生产产品原型，把产品原型向消费者展示，以取得反馈意见 | 工业设计通过市场营销引导消费者参与对产品原型的测试 |
| 系统设计 | 工业设计几乎不参与 | 工业设计选择产品概念，并且对最有前景的方案进行完善 |
| 详细设计、测试与改进 | 一旦大部分工程细节确定下来之后，工业设计就负责对产品的包装进行设计。工业设计受到工程设计和营销设计的规范和约束 | 工业设计选取最终的产品概念，然后与工程设计、制造商以及市场营销方面的工作相结合，完成产品的开发设计 |

图表 11-10 工业设计在不同类型的产品开发中所起的作用

11.6 评估工业设计的质量

评估一个已成型产品的工业设计质量是一项主观性很强的工作，不过我们可以通过考察受到工业设计影响的产品的各个方面来定性分析工业设计是否实现了预期的目标。下面从五个方面做出评价。这五个方面基本上与前面所涉及的 Dreyfuss 提出的工业设计的五个重要目标相对应。我们针对这五个方面的评价分别提出一些问题，以便于分析。图表 11-11 通过展示对 RAZR 型手机的工业设计评价结果来具体阐述这种方法。

11.6.1 用户界面的质量

其主要评价产品使用的便利程度。用户界面的质量与产品的外观、给人的感觉以及产品的 人机交互作用有关。

- 产品的特点是否有效地向顾客传达了相应的操作方式？
- 产品使用起来是否方便？
- 所有的性能都安全吗？
- 所有潜在的顾客以及产品的用途都考虑到了吗？

| 评价角度 | 重要程度 | | | 相关解释 |
|------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|
| | 低等 | 中等 | 高等 | |
| 1. 用户界面的质量 | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | 总的来说，RAZR型移动电话使用起来既方便又舒适。接听电话只需要简单地打开翻盖，拨号和文本可以很简单地通过键盘输入，并且功能键非常便利。RAZR的缺点主要包括：键盘对于手指粗或者指甲长的人来说使用起来不方便，在一些市场，会给顾客造成一些负面影响。 |
| 2. 感染力 | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | RAZR具有较强的感染力，这种感染力源于它超薄的外形、便于携带以及精细的表面材料。 |
| 3. 维护与维修 | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | 虽然RAZR手机的维修和维护对顾客来讲并不是很重。但是该产品在这方面做得还是很到位的。比如它的电池充电非常快，并且方便拆除和更换。 |
| 4. 资源的合理利用 | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | 最终的设计只包含了一些能满足顾客需求的特征，选择耐用以及便于制造的材料，可以适应极端的环境，可以满足环保要求，并且可以做到造型美观。 |
| 5. 产品差异性 | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | RAZR的外形非常独特，在公共场合或者其他竞争对手面前都非常容易识别。 |

图表 11-11 RAZR 开发项目中工业设计的作用评价

对于某些特定产品的具体问题举例如下：

- 把手舒适吗？
- 控制旋钮是否顺滑流畅？
- 电源开关操作是否方便？
- 显示屏的内容是否便于读取和理解？

11.6.2 感染力

其主要评价产品对顾客的感染力。有些感染力可以通过产品的外观、给人的感受、声音以及气味来实现。

- 这个产品能吸引人吗？它会使人感到兴奋吗？
- 这个产品能显示它自身的质量吗？
- 产品看上去给人一种怎样的印象？
- 这个产品能给拥有者带来自豪感吗？
- 产品能否在开发团队和销售员工之间引起自豪感？

对于某些特定产品的具体问题举例如下：

- 车门关闭的时候声音怎样？
- 手工工具感觉是否坚固可靠？
- 电器放在厨房的柜台上好看吗？

11.6.3 产品的维护与维修

其主要评价产品维护和维修的方便程度。产品的维护和维修应该与其他用户交互一起考虑。

- 产品的维护方法显而易见吗？操作起来是否容易吗？
- 产品的特征是否能够有效地向顾客反映出拆卸和装配程序？

对于某些特定产品的具体问题举例如下：

- 打印机卡纸的清除方法易懂吗？清除起来容易吗？
- 拆卸和清洗食品加工机的难度有多大？
- 更换遥控器的电池需要的时间长吗？

226
227

11.6.4 资源的合理利用

它主要评价在满足顾客需求时使用资源的合理性。资源一般是指用在工业设计以及其他功能上的支出，这些因素很可能是决定制造成本的关键。一个设计不好的产品、具有不必要特征的产品、由特殊材料制成的产品都会影响到工装、制造流程、装配流程，等等。这里要提出的问题是这类投资是否合理，如：

- 为了满足顾客的需求，所耗费的资源合理吗？
- 材料的选择是否恰当（依据成本和质量）？
- 产品的工业设计是过度还是不足（产品是否有不必要的特性或者有疏漏之处）？
- 是否考虑了环境 / 生态的因素？

11.6.5 产品的差异性

这里主要是评价产品的独特性及其与企业形象的一致性。产品的差异性主要来自于产品的外观，如：

- 顾客能够根据产品的外观将其与其他的产品区分开来吗？
- 顾客在看到产品的广告之后能记住它吗？
- 在街头看到该产品时，顾客能辨认出这个产品吗？
- 产品是否符合或者强化了企业的形象？

如图表 11-11 所示，从工业设计的角度来看，RAZR 型移动电话是一个相对比较完美的产品了，它比较新颖、耐用、便于识别、装配方便并且有强烈的顾客感染力。由于这些特征对顾客来讲都是非常重要的因素，所以产品一经问世就获得了成功，在这其中工业设计起到了极其关键的作用。

11.7 小结

本章我们主要讨论了工业设计，阐述了工业设计对产品质量带来的好处，以及如何实施工业设计。

- 工业设计的主要任务是完成与顾客相关的各个方面设计；也就是美学性和人机工程方面的设计。
- 大部分产品都会在某一方面得益于工业设计，产品被人们关注或者使用得越多，其成功越是依赖于好的工业设计。
- 对于那些与顾客有很强的交互作用并且具有较高美学要求的产品，工业设计往往贯穿于产品开发的整个流程中，工业设计师早些参与到产品开发中去，可以保证产品所需要的美学特性和顾客需求不会被技术人员忽略或者轻视。
- 当一个产品的成功与否主要取决于技术时，工业设计可以在较晚的时候参与到产品开发中。
- 产品开发中工业设计的积极参与有助于促进各方面开发人员的沟通与交流，这种沟通加深了彼此的合作，并且最终转化为高品质的产品。

228

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

如果想要获取更多的关于工业设计的信息——它的历史、影响、未来以及实践等，可以参考以下书籍和文章。本章里所讲述的工业设计发展史出自 Lorenz 的著作。

Caplan, Ralph, *By Design : Why There are No Locks on the Bathroom Doors in the Hotel Louis XIV, and Other Object Lessons*, second edition, Fairchild Books, New York, 2004.

Dreyfuss, Henry, "The Industrial Designer and the Businessman," *Harvard Business Review*, November 1950, pp. 77-85.

Dreyfuss, Henry, *Designing for People*, Paragraphic Books, New York, 1967.

Harkins, Jack, "the Role of Industrial Design in Developing Medical Devices," *Medical Device and Diagnostic Industry*, September 1992, pp. 51-51, 94-97.

Lorenz, Christopher, *The Design Dimension : Product Strategy and the Challenge of Global Marketing*, Basil Blackwell, Oxford, UK, 1986.

Lucie-Smith, Edward, *A History of Industrial Design*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1983.

Norman 讨论了工业设计正面和反面的例子，并且提出了良好工业设计实践的原则和方针，在《Emotional Design》一书中。他阐述了人们是如何与他们所购买和使用的联系和反应。

Norman, Donald A., *The Design of Everyday Things*, Doubleday, New York, 1990.

Norman, Donald A., *Emotional Design : Why We Love (or Hate) Everyday Things*, Basic Books, New York, 2004.

Boatwright 和 Cagan 认为很多成功的产品都设计得能够通过强烈的感染力与顾客建立起联系。

Boatwright, Peter, and Jonathan Cagan, *Built to Love : Creating Products That Captivate Customers*, Berrett-Kohler, San Francisco, 2010.

Cardaci 的文章介绍了计算机辅助工业设计，在很多情况下它已经取代了造型图而成为当今工业设计实践中的一个重要组成部分。

Cardaci, Kitty, "CAID : A Tool for the Flexible Organization," *Design Management Journal*, Design Management Institute, Boston, Vol. 3, No. 2, Spring 1992, pp. 72-75.

以下是评价工业设计对产品及其制造商的价值的相关论著，这方面的研究并不多见。在 1994 年的期刊《Design Management Journal》和 2005 年的期刊《Journal of Product Innovation Management》中有较多关于此类研究的文章。

Design Management Journal, Vol. 5, No. 2, Spring 1994.

Gemser, Gerda, and Mark A. A. M. Leenders, "How Integrating Industrial Design in the

Product Development Process Impacts on Company Performance," *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 18, 1, January 2001, pp. 28-38.

Hertenstein, Julie H., Marjorie B. Platt, and Robert W. Veryzer, "The Impact of Industrial Design Effectiveness on Corporate Financial Performance," *Journal of Product Innovation Management*, Vol. 22, No. 1, January 2005, pp. 3-21.

Journal of Product Innovation Management, Vol. 22, No. 1, January 2005.

[229]

Pearson, Scott, "Using Product Archaeology to Understand the Dimensions of Design Decision Making," S. M. Thesis, MIT Sloan School of Management, May 1992.

Roy, Robin, and Stephen Potter, "The Commercial Impacts of Investment in Design," *Design Studies*, Vol. 14, No. 2, April 1993, pp. 171-193.

Olins的文章阐述了一个企业如何通过产品设计及其与外界的交流来树立自身形象。

Olins, Wally, *Corporate Identity : Making Business Strategy Visible through Design*, Harvard Business School Press, Boston, 1989.

设计管理协会 (Design Management Institute) 编写了一些关于工业设计流程和围绕工业设计的产品开发的很好的案例。在杂志 @Issue (半年刊), Innovation (季刊) 和 I.D. (双月刊) 中也包含了很多工业设计时间的研究、案例以及分析讨论等。

@Issue : *The Journal of Business and Design*, Corporate Design Foundation, Boston, Design Management Institute, Boston, www.dmi.org.

I.D. Magazine, F+W Publications, Inc., New York.

Innovation, industrial designers society of America, Dulles, VA.

工业设计师可以通过私下关系找到。同时 IDSA 也提供了一份世界各地工业设计咨询机构的列表清单。

Industrial Designers Society of America, Dulles, VA, www.idsa.org.

练习

1. 走访一家具有地方特色的专卖店 (例如厨具、工具、办公用品、礼品等商店), 拍摄 (或者购买) 一系列竞争产品。像图表 11-11 所示的那样, 评价每种产品的工业设计在五个方面的质量。你更倾向于购买哪种产品? 你愿意为这种产品花更多的钱吗?
2. 画出一个普通产品的概念草图。分别尝试采用“从内到外”和“从外到内”的方式来设计产

品的形式。对你来说哪种方式更为简单？可以选择订书机、压蒜器、闹钟、台灯或者电话等产品。

3. 列出几个你认为具有鲜明企业形象的公司名称，它们的产品在哪些方面对企业形象的树立起到了帮助作用？

思考题

1. 工业设计影响产品制造成本的因果关系是怎样的？在哪些情况下工业设计会增加或者降低制造成本？
2. 哪些类型的产品可能不会得益于产品开发流程中工业设计的参与？
3. 视觉价值 (visual equity) 有时候是指企业产品独特的外观价值，这种价值是怎样获得的呢？

230 它是在短期内即可获得，还是慢慢积累才可以？

第 12 章

面向环境的设计



(Herman Miller 公司授权)

图表 12-1 Herman Miller 公司办公室座椅产品线的三种椅子，从左往右分别为 Aeron (1994)、Mirra (2004) 和 Setu (2009)

2009年6月，一家名为Herman Miller的美国办公家具制造公司发布了Setu多功能座椅。Setu（以北印度语“桥”命名）旨在建立简约、适应性强、舒适同时环保的多功能座椅新标准。Setu是在一个非常成功的办公座椅产品线上生产的产品，图表12-1所示的Aeron椅和Mirra椅也是在该产品线上生产的。

Herman Miller公司与Studio 7.5（一家德国设计公司）合作设计了Setu座椅。多功能座椅（如Setu）适用于坐的时间相对较短的地方，如会议室、临时工作站及共享空间（这是相对于人们坐的时间较长的座椅而言的）。Studio 7.5发现，人们在办公区内使用几分钟到几小时不等的办公室座椅往往既不舒适，又不易调整，甚至大多数椅子是采用对环境有害的材料和工艺制造出来的。Studio 7.5意识到市场对新的、创新多功能椅的需求——即对一把结合了舒适、面向环境设计、有价格优势的椅子的需求。

Setu座椅的核心是一个灵活的“脊柱”。它由两种聚丙烯材料模制而成，经设计几乎能达到每个人的舒适度（如图表12-2所示）。当使用者坐下并倚靠的时候，“脊柱”弯曲，提供全倾斜范围的舒适体验和背部支撑力。由于无需任何倾斜机制，只需一种调节（高度），与Aeron和Mirra功能椅相比，这种椅子的重量更轻、构造更简单、价格也更低。

Setu座椅是Herman Miller公司致力于最小化其产品和操作的环境影响的产物，也为将环境因素糅合进产品开发流程的想法提供了一个范例。Setu为材料回收而设计，使用环保的材料及可再生资源生产制造。以下因素解释了其环保性能的水平。

- **环保材料：**Setu多功能座椅使用对环境安全的无毒材料，如总质量的41%为铝，41%为聚丙烯，18%为钢。
- **可回收成分：**Setu座椅总重量的44%为可回收材料（包含23%的再生材料和21%的工业回收材料）。
- **可回收性：**Setu达到使用寿命时，其总重量的92%是可回收的。钢和铝制组件是100%可回收的。聚丙烯组件由一个回收码进行识别，帮助其返回到回收流中（当然，回收工业材料取决于这些材料的可回收性）。
- **清洁能源：**Setu座椅是由100%利用绿色能源的生产线制造出来的（动力一半来自风力涡轮机、一半来自垃圾发电）。
- **排放物：**在Setu的生产过程中，没有任何有害气体或



〔Herman Miller公司授权〕

图表12-2 Setu座椅的“脊柱”结合了两种聚丙烯材料，精巧的设计确保使用者在椅子上可以自由活动并得到有效支撑

污水排放。

- 可回收包装：Setu 组件由 Herman Miller 公司从附近的成型托盘供应商网络中获得，这些托盘都可回收利用。废弃的包装材料，包括瓦楞纸板和聚丙烯塑料袋，都可以回收重复使用。

面向环境的设计（Design For Environment, DFE）是一种在产品开发流程中考虑环境因素的方法。本章展示了 DFE 方法，以 Herman Miller 公司 Setu 座椅为例，阐述了 DFE 流程的成功应用。

12.1 什么是面向环境的设计

每个产品都会对环境产生影响。DFE 为组织提供了一个最小化这些影响的方法，以创造一个更加可持续化发展的社会。正如有效的面向制造的设计（Design For Manufacturing, DFM）实践所展示：在降低成本的同时维持或改进产品质量（见第 13 章），DFE 实践者们同样发现，有效的 DFE 实践能在维持或改善产品质量和成本的同时，降低其环境影响。

一个产品对环境的影响，可以包括能源消耗、自然资源损耗、液体排放、废气排放以及固体废物的产生。这些影响分为两大类——能源和材料——两者都代表了需要解决的关键环保问题。对大多数产品，解决能源问题意味着使用更少的能源并使用可再生能源来开发产品。解决材料问题并不是那么直截了当。因此，本章中的 DFE 主要关注产品选择正确的材料，并保证其可以回收利用。

在产品开发流程的早期阶段，关于材料使用、能源效率和废物避免的慎重决策可以最小化甚至消除对环境的影响。然而，一旦确立了设计概念，对环保性能的改善往往会涉及许多耗时的设计迭代（design iteration）。因此，DFE 会贯穿整个产品开发流程，并且需要跨学科方法（interdisciplinary approach），在环保产品的开发过程中，需要工业设计、工程、采购和市场营销不同学科人员的共同协作。在许多案例中，产品开发专家和专业的 DFE 培训主导了项目中的 DFE。但是，所有的产品开发团队成员都会从对 DFE 的理解中获益。

232
233

12.1.1 两种生命周期

生命周期理论是 DFE 的基础。这有助于制造商将传统的对产品生产和分销的关注扩展为对产品生命周期的闭合系统与自然生命周期的折衷。两者在图表 12-3 中都有阐述。产品生命周期开始于从自然资源中提取和加工原材料，随后是产品的生产、分销和使用，最后，在产品的寿命终止时，有几种回收选项——组件再制造或重复使用、原材料回收。在垃圾场中焚烧

或沉淀。自然生命周期表示有机材料在一个连续周期中的生长和降解。通过在工业产品中使用天然原材料，并将有机材料再整合进入自然周期中，这两种生命周期如图表 12-3 所示相互交叉。



图表 12-3 自然生命周期和产品生命周期

尽管大多数产品的生命周期都超过几个月或几年，但自然周期在时间周期上更为广泛。大多数有机材料（基于植物或动物）可以快速地降解，并转变为相似材料生长所需的营养物质。然而，另一些原材料（如矿物质），需要更长的时间才能生成，因此被视为不可再生的自然资源。于是，将大多数基于矿物的工业材料堆放在垃圾场中，或许几千年都不能将其再创造为类似的工业原料（而且往往还会产生出某种非自然的有害物）。

产品生命周期的每个阶段都会消耗能源和其他自然资源，并产生排放物和废弃物，这些都对环境产生影响。从生命周期的角度，为了达到自然可持续性的条件，产品中的原材料必须在一个可持续的、闭合的周期中实现平衡。这为达到可持续性的产品设计提出了 3 个挑战。

234 这在图表 12-3 生命周期图中也有描述。

- 消除不可再生资源的使用（包括不可再生能源）
- 消除无法快速降解的合成物和无机材料的处理
- 消除不属于自然生命周期的有毒废物的产生

致力于 DFE 的组织经过一段时间的努力后，可以达到这些可持续性条件，通过仔细选择材料以及合适的回收方法，使应用在产品中的材料再整合到产品生命周期或自然生命周期中，DFE 有助于组织创造更好的产品。

12.1.2 环境影响

每个产品在其生命周期中都会产生一些环境影响，制造部门形成的一些环境影响如下 (Lewis and Gertsakis, 2001) ^②。

- 全球变暖 (global warming): 科学数据和模型显示，温室气体、颗粒和水蒸气在上层大气聚集导致地球的温度逐渐升高。这一效应由于工业流程和产品排放二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4)、含氯氟烃 (CHC)、黑炭颗粒和氮氧化物 (NO_x) 的增加而加剧。
- 能源枯竭 (resource depletion): 用于生产的许多原材料，如铁矿石、天然气、石油、煤等，是不可再生的，其供给是有限的。
- 固体废物 (solid waste): 产品在其生命周期中会产生许多固体废物。有些固体废物是可回收的，但大多数在焚烧炉或垃圾场中处理。焚烧炉会产生空气污染和有毒灰烬 (进入垃圾场)。垃圾场也会导致有毒物质的聚集、产生甲烷气体以及造成地下水污染。
- 水污染 (water pollution): 水污染最常见的来源是工业流程的排放，其中可能包含重金属、肥料、溶剂、油、合成物质、酸和固体悬浮物。水性污染可能会影响地下水、饮用水以及脆弱的生态系统。
- 空气污染 (air pollution): 空气污染的来源包括工厂、发电厂、焚烧炉、居民和商业建筑以及机动车辆的排放。典型的污染包括 CO_2 、 NO_x 、二氧化硫 (SO_2)、臭氧 (O_3)、挥发性有机化合物 (VOC)。
- 土壤退化 (land degradation): 土壤退化关注原材料生产和提取 (如采矿、耕种、林业等) 对环境产生的负面影响。其影响包括降低土壤肥沃程度、土壤腐蚀、土壤和水盐碱化以及森林采伐等。
- 生物多样性 (biodiversity): 生物多样性关注动植物的种类，以及城市发展而进行的开荒、采矿和其他工业活动带来的影响。
- 臭氧枯竭 (ozone depletion): 臭氧层保护地球免受太阳辐射的有害影响，它因与硝酸 (产生于石油燃料的燃烧) 和氯化物 (如 CFC) 反应而降低。

12.1.3 面向环境设计的历史

DFE 的诞生可以追溯到 20 世纪 70 年代的早期。Papanek (1971) 对设计者发出挑战，让其面对社会和环境责任而不只考虑商业利益。世界环境和发展委员会的《布伦特兰报告》(Brundtland Report)(1987) 首次将可持续发展 (sustainable development) 这一术语定义为“在

^② Lewis, Helen, and John Gertsakis, Design and Environment: A Global Guide to Designing Greener Goods, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, UK, 2001.

满足现有需求的同时，不损害下一代满足其需求能力的发展”。^②

20世纪90年代，几本关于环保设计的有影响力书出版。Burall（1991）提出，环保设计和商业成功之间不再有冲突。Fiksel（1996，2009年修订）讨论了DFE如何将生命周期的理念整合到新产品开发流程中。随着DFE流程的成熟，Brezet和van Hemel（1997）提供了一个名为生态设计（Ecodesign）的实际指导。20世纪90年代，代尔夫特科技大学、飞利浦电子和荷兰政府联合开发了一款生命周期分析软件工具，为评估产品对整个环境的影响提供了标准。

如今，可持续开发活动包含了可持续产品设计更广泛的概念（Bhamra and Lofthouse, 2007），不仅限于DFE，还包含了产品的社会和道德影响。尽管学者们使用各种术语来描述环保设计方法，但绿色设计（green design）、生态设计（ecodesign）、可持续设计（sustainable design）和DFE在今天或多或少是同义的。

12.1.4 Herman Miller公司的面向环境设计之旅

许多制造公司已经开始采用DFE方法。但是，很少有公司能像Herman Miller公司一样，将其作为公司战略的核心。Herman Miller公司在努力保持高产品质量标准的同时，不断将环保的材料、制造流程和产品功能增加到新的产品设计中来。

1999年，Herman Miller公司成立了一个面向环境设计团队。这个团队负责为Herman Miller公司新的和现有的产品开发环境敏感性设计标准。McDonough Braungart设计化学公司（McDonough Braungart Design Chemistry, MBDC），一个在弗吉尼亚州的产品和工业流程设计公司，为DFE团队提供了帮助。McDonough和Braungart（2002）在其著作《从摇篮到摇篮：再造产品制造方法》（Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things）中阐明，传统的DFE方法——设计产品，只是通过减少能源使用、垃圾生产或有毒材料的使用等渐进式改进而减少对环境的危害——远远不够，因为这样的产品对环境仍然是有害的。为了将危害较小的产品发展为真正环保的产品，McDonough和Braungart介绍了一种关注产品设计三大关键领域的DFE方法。

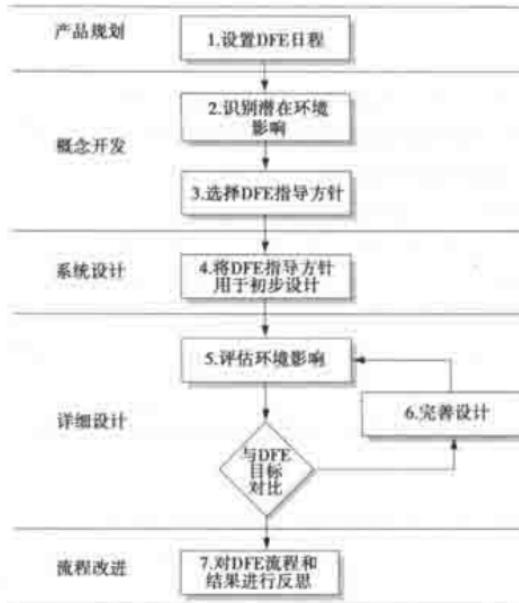
- **材料化学：**哪些化学元素组成了指定的材料？它们对人类和环境安全吗？
- **拆解：**产品在寿命结束时可以被拆分，以便材料回收吗？
- **可回收性：**材料含有可回收成分吗？材料容易分离为不同的回收类别吗？在产品寿命结束时材料可以回收吗？

^② World Commission on Environment and Development, The Brundtland Report: Our Common Future, Oxford University Press, London, 1987.

为实施 DFE, Herman Miller 公司成立了一个 DFE 专家团队, 服务于每一个新产品开发团队。他们和 MBDC 一起创建了材料数据库和 DFE 评估工具, 为指导产品开发流程中的设计决策提供依据。

12.2 面向环境设计流程

开展 DFE 应贯穿整个产品开发流程。DFE 产品开发流程步骤如图表 12-4 所示。尽管该步骤呈顺序展示, 但产品开发团队很有可能会将某些步骤重复几次, 使得 DFE 成为一个迭代的流程。DFE 流程的各步骤如下:



图表 12-4 DFE 贯穿于整个产品开发流程

12.3 步骤 1: 设置 DFE 日程——驱动因素、目标和团队

随着 DFE 日程的设置, DFE 流程与产品规划阶段同步展开。这一步骤包含了 3 种活动:

识别 DFE 的内、外部驱动因素；为产品设置环保目标；组建 DFE 团队。通过设置 DFE 日程，组织可以识别出环保产品清晰可行的设计路径。

12.3.1 识别 DFE 的内部和外部驱动因素

DFE 的规划阶段始于“为什么组织希望强调产品环保性能？”的讨论。用文档记录 DFE 的内部驱动因素和外部驱动因素是有用的，这些清单可能会随着时间演变，因为技术、规定、经验、股东和竞争的变化都会影响到组织的能力和面临的挑战。

内部驱动因素构成了组织内的 DFE 目标。典型的内部驱动因素包括（节选自文献 Brezet 和 van Hemel, 1997）^②以下几个。

- **产品质量：**关注环保性能，会带来产品质量在功能、运行可靠性、耐久性和可修复性方面的提升。
- **公共形象：**对产品环保质量的高度宣传有助于提升公司形象。
- **降低成本：**生产中使用更少的材料和能源可大幅降低成本，生成更少的废物和消除有危险的废物可以降低废物处置成本。
- **创新：**可持续发展思路可能会导致产品设计的巨变，并培养整个公司的创新。
- **操作安全性：**通过消除有毒材料，许多 DFE 改变能帮助改善员工的职业健康和安全。
- **员工激励：**如果员工能减少公司产品和操作的环境影响，他们会因为贡献了新的、创造性的方法而得到激励。
- **道德责任：**经理和产品开发者对可持续发展的兴趣可能会因为保护了环境和自然的道德责任感而得到激励。
- **消费者行为：**有益环保产品的广泛供应会加速清洁生活方式的转变和绿色产品的需求。

典型的 DFE 外部驱动因素包括环保规定、顾客偏好和竞争者提供（Brezet 和 van Hemel, 1997），下面给出几个示例。

- **环境立法：**产品导向的环保政策发展迅速。公司不仅需要理解自己运行和销售产品各个领域中的种种规定，还需要应对未来的法规。近年来法规的关注点已经从禁止采用某种材料，转变为更广泛的生产者责任，包括回收义务。
- **市场需求：**如今，公司在信息便利的工业顾客和要求可持续产品的最终用户不断增长

^② Brezet, Han, and Carolien van Hemel, Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption, TU Delft, Netherlands, 1997.

的商业环境中运行。产品、制造商或零售商的消极宣传、博客以及抵制，会对销售产生较大影响。当然，相反的积极影响也会变得越来越有力。

- **竞争：**竞争者采取的可持续发展活动也会增加 DFE 的压力。设置较高的环保标准可以创造先驱优势。
- **贸易组织：**某些工业分支（如包装或汽车制造商）的贸易或工业组织鼓励公司通过分享技术和建立行为准则来采取环保行动。
- **供应商：**供应商通过引进更多的可持续原材料和流程来影响公司行为。公司可以选择审核和认定其供应商的环保声明。
- **社会压力：**通过其社会和社区接触，经理及雇员会被问及其所在企业对环境所负的责任。

Setu 座椅的关键 DFE 驱动因素是市场需求、创新以及 Herman Miller 公司关于环保责任的承诺。根据这些驱动因素，Studio7.5 和 Herman Miller 公司开发了 Setu 早期概念。

12.3.2 设置 DFE 目标

产品规划阶段的一个重要活动是为每个产品开发项目设置环保目标。许多组织建立了包含长期环保目标的战略。这些目标定义了组织如何与环保规定保持一致，以及组织如何降低其产品、服务和经营对环境的影响。

2005 年，Herman Miller 公司设置了 2020 年的长期环保目标：

- 零垃圾填埋
- 危险废物零生产
- 有害气体零排放
- 工艺用水零使用
- 全部使用绿色电能
- 全部建筑达到环保效率标准认证
- 销售的全部产品都由 DFE 流程生产

为了达到这些长期目标，在规划阶段，每一个产品都应设定具体的环保目标。这些具体的目标有助于实现组织的长期战略。图表 12-5 列出了 DFE 目标的例子，它们按照产品的生命周期排列。在理解“哪一个生命周期阶段对环境影响最大”的基础上，目标会产生相应的变化。

| 生命周期阶段 | DFE 目标示例 |
|--------|---|
| 原料 | <ul style="list-style-type: none"> 减少原材料的使用 选择足够的、可再生的原材料 消除有毒材料 提高原材料提取流程的能源效率 减少废弃物和浪费 增加可重新获得和可回收材料的使用 |
| 生产 | <ul style="list-style-type: none"> 减少流程材料的使用 指定能完全重新获得和回收的工艺材料 消除有毒的工艺材料 选择能源效率高的工艺 减少生产废物和浪费 |
| 分销 | <ul style="list-style-type: none"> 安排最节能的运输 减少运输排放 消除有毒和危险的包装材料 取消包装或重复使用包装 |
| 使用 | <ul style="list-style-type: none"> 延长产品寿命 促进预定条件 (intended condition) 下的产品使用 使用清洁高效的服务操作 在使用期间消除排放、减少能耗 |
| 回收 | <ul style="list-style-type: none"> 促进将产品拆卸为可分离的材料 恢复和再制造组件 促进材料回收 减少焚烧炉和垃圾场的废物量 |

(改编自 Giudice 等, 2006)

图表 12-5 DFE 目标示例。根据产品生命周期阶段排序 (参见 Giudice, F., G. La Rosa, and A. Risitano, *Product Design for the Environment: A Life Cycle Approach*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2006)

Herman Miller 公司明白, 其办公家具产品对环境的主要影响产生于原料、生产和回收阶段。对 Setu 座椅, Herman Miller 公司计划仅使用对环境影响较小的环保材料, 而且要方便产品的拆卸并实现可回收。

12.3.3 组建 DFE 团队

DFE 需要产品开发项目中许多职能专家的参与, 典型的 DFE 团队 (通常是整个项目团队的一个子团队) 包括: 一个 DFE 领导、一个环境化学和材料专家、一个制造工程师以及一个来自采购和供应商的代表。当然, DFE 团队的组成取决于组织和特定项目的需求, 也可能会包含市场专家、外部顾问、供应商或其他专家。

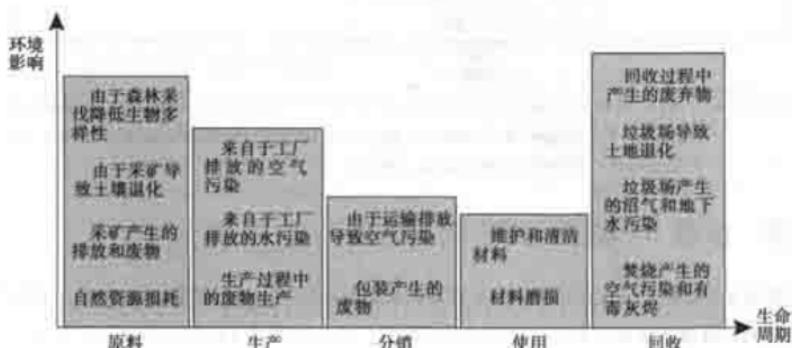
Herman Miller 公司于 1999 年创建其 DFE 团队。与设计师和工程师一起，针对每个产品开发项目的材料化学、拆卸、可回收性、传入和传出（incoming and outgoing）的包装、能源及使用，以及废物的生产进行评审。DFE 团队尽早参与其中，以确保从一开始就将 DFE 因素纳入考虑范围。通过与每个开发团队密切合作，DFE 团队为制定重大环保设计决策提供工具和知识。[240]

12.4 步骤 2：识别潜在环境影响

在概念开发阶段，DFE 开始于识别产品在其生命周期中的潜在环境影响。这使产品开发团队在概念阶段就考虑环境影响，尽管这一阶段关于实际产品的具体数据（关于材料和能源使用、排放和废物产生）很少或几乎没有，还无法进行详细的环境影响评估。然而，在产品再设计的案例中，相关数据可从已有产品的影响分析中获取（见下述步骤 5）。

图表 12-6 展示了可以用来量化整个产品生命周期环境影响的图，该图改编自 LiDS Wheel (Brezet 和 van Hemel, 1997) 以及生态设计网 (Bhamra 和 Lofthouse, 2007)。为绘制这张图，团队提出：“在生命周期各个阶段重要的潜在环境影响源是什么？”每个阶段的具体问题如图表 12-7 所示，这有助于开展该阶段的量化分析。

团队列出了生命周期各个阶段的预期关键环境影响。图中每个方块的高度代表了团队对整个潜在环境影响大小的判断，因此这也是 DFE 努力关注的地方。对某些产品（如汽车、电子设备），最显著的影响产生于使用阶段；对另一些产品（如服装、办公室家具），最大的影响产生于原料、生产和回收阶段。图表 12-6 展示了一个办公室家具整体的量化生命周期的评估。这一理解指导了 Setu 座椅项目的 DFE。



图表 12-6 量化的生命周期评价代表了团队对产品整个生命周期潜在环境影响类型量级的评估。本图描述了与办公家具产品（如 Setu 座椅）关系最密切的影响类型

| 生命周期阶段 | 问题 |
|--------|---|
| 原料 | <ul style="list-style-type: none"> 将使用多少、什么类型的可回收材料? 将使用多少、什么类型的不可回收材料? 将使用多少、什么类型的添加剂? 材料的环保特性是什么? 需要多少能源来提取这些材料? 要获取它们需要哪种运输方式? |
| 生产 | <ul style="list-style-type: none"> 将使用多少、什么类型的生产流程? 需要多少、什么类型的辅助材料? 能源消耗将有多高? |
| 生产 | <ul style="list-style-type: none"> 将产生多少垃圾? 生产垃圾可以分离回收吗? |
| 分销 | <ul style="list-style-type: none"> 将使用哪种运输包装、整批包装以及零售包装? (体积、重量、材料、重复使用性?) 将使用哪种运输方式? |
| 使用 | <ul style="list-style-type: none"> 需要多少、什么类型的能源? 需要多少、什么类型的消费品? 技术寿命有多长? 需要多少维护和维修? 需要什么以及多少辅助材料和能源? 产品的审美寿命有多长? |
| 回收 | <ul style="list-style-type: none"> 如何实现产品的重复使用? 组件和材料可重复使用吗? 可以使用普通工具快速拆卸产品吗? 什么材料是可回收的? 可回收材料可以被识别吗? 产品将如何处理? |

(改编自 Brezet 和 van Hemel, 1997)

图表 12-7 每个生命周期阶段考虑的典型环境问题 (参见 Brezet, Han, and Carolien van Hemel, Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption, TU Delft, Netherlands, 1997)

12.5 步骤 3: 选择 DFE 指导方针

指导方针帮助产品设计团队在没有详细的环境影响分析时进行早期 DFE 决策, 而详细的环境影响分析通常在设计更加具体时才可能得到。相关的指导方针可以部分基于生命周期影响的量化评价进行选择 (见步骤 2)。在概念开发阶段选择相关的指导方针允许开发团队在整个产品开发项目中对其进行应用。

图表 12-8 是基于 Telenko 等人 (2008) 的研究改编的一个 DFE 指导方针。生命周期的每个阶段都有其自己的 DFE 指导方针，为产品开发团队提供如何降低产品环境影响的说明。本章附录提供了一个更加详尽的 DFE 指导方针清单。指导方针中的很多条款都是关于原料选择的，这强调了原料在 DFE 中的核心作用。

| 生命周期阶段 | 面向环境设计指导方针 | |
|--------|--------------|---|
| 原料 | 资源的可持续性 | <ul style="list-style-type: none"> ● 指定可再生的、丰富的资源* ● 指定可回收的和 / 或回收的材料* ● 指定可再生能源形式* |
| 原料 | 健康的投入和产出 | <ul style="list-style-type: none"> ● 指定无危害的材料* ● 安装防护设施防止污染和危险物质逸散 ● 包含有毒材料的安全操作标志和说明* |
| 生产 | 生产中最低限度的资源使用 | <ul style="list-style-type: none"> ● 使用尽可能少的生产步骤* ● 指定不需要表面处理或涂层的材料* ● 最小化组件数量* ● 指定质轻的材料和组件* |
| 分销 | 分销中最低限度的资源使用 | <ul style="list-style-type: none"> ● 尽可能减少包装* ● 使用可回收的和 / 或可重复使用的包装材料 ● 将产品折叠、嵌套、拆卸为紧凑的状态进行分销 ● 使用结构化技术和材料，以最小化材料的总体积 |
| 使用 | 使用过程中的能源效率 | <ul style="list-style-type: none"> ● 未使用于系统时采取默认的休眠模式 ● 使用反馈机制说明消耗了多少能量或水 ● 对节能特征实施直观控制 |
| | 适度的耐久性 | <ul style="list-style-type: none"> ● 考虑审美性和功能，以保证审美寿命等于技术寿命 ● 促进维修和更新 ● 保证最少的维护 ● 最小化失效模式 |
| 回收 | 拆卸、分离和提纯 | <ul style="list-style-type: none"> ● 保证连接件和紧固件容易获得* ● 指定连接件和紧固件，以便通过手或普通工具进行拆卸 ● 保证不相容的材料易于分离* |

图表 12-8 基于产品寿命周期阶段排列的面向环境设计指导方针（见文献 Cassandra Telenko, Carolyn C. Seepersad, Michael E. Webber, A Compilation on Design for Environment Principle and Guidelines, EASME DETC Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference, New York, 2008. 在 Setu 项目中使用的该指导方针用星号标出）

对于 Setu 项目，DFE 专家为开发团队提供了几条指导方针。这些方针在图表 12-8 中用星号标出。

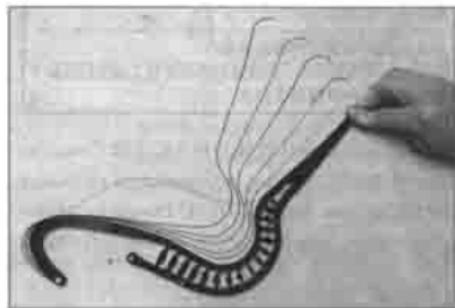
12.6 步骤 4：将 DFE 指导方针用于初步设计

随着产品架构在系统设计阶段得到开发（见第 10 章），一些初步的材料选择随着一些模块设计决策的制定而生成。因此，此时应用相关的 DFE 指导方针（见步骤 3）是有益的，这样，初始产品设计的环境影响将会降低。

Setu 团队希望椅子轻一些，以减少材料的使用和运输影响（应用了 DFE 指导方针：指定质轻的材料和组件）。他们通过开发一个能避免椅下倾斜机制和其他复杂性的概念和产品架构来达成此目的，这使椅子的重量减轻了 20lb (9kg)。Setu 团队也寻找新的方法使 Setu 便于拆卸以促进回收。他们在易于接近的地方设置每个连接件，并保证 Setu 组件能通过手或普通工具拆卸（应用了 DFE 指导方针：保证连接件和紧固件容易获得；指定连接件和紧固件，使其可通过手或普通工具进行拆卸）。

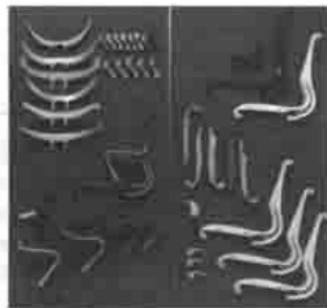
详细设计阶段决定具体的材料规格、详细的几何形状以及制造流程。详细设计阶段 DFE 指导方针的应用在本质上与系统设计是相同的。但是，在这个阶段将做更多的决策，并更精确地考虑更多的环境因素。通过选择低环境影响材料以及减少能耗，产品开发团队创造出更多的环保产品。此外，DFE 指导方针可能会激励产品开发团队在产品的功能和耐久性上提出改善，这也会极大地降低对环境的影响。

Setu 脊柱的几何形状，如图表 12-9 所示，灵感来自于人体脊椎。Studio 7.5 制作了很多脊柱的原型以实现合适的支撑和倾斜（见图表 12-10）。一旦脊柱的形状被确定，团队需要找出同时适合功能和环境需求的材料。



(Studio 7.5 与 Herman Miller 公司授权)

图表 12-9 Setu 脊柱的灵感来自于人体脊椎



(Studio 7.5 与 Herman Miller 公司授权)

图表 12-10 设计团队制作了许多 Setu 脊柱和相关组件变体的原型

为了选择符合环保和功能要求的材料，开发团队使用了 Herman Miller 公司的专有材料数据库。

该数据库由 MBDC 共同维护，考虑到每个材料的安全性和环境影响，将其分为 4 类：绿色（危险很小或几乎没有危险）、黄色（中低危险）、橙色（数据不全）、红色（高危险性）。Herman Miller 公司的目标是所有新产品都只使用黄色或绿色类别的材料。

例如，聚氯乙烯（PVC）是红色材料。PVC 由于成本低、韧性强，是一种广泛应用于家具和其他产品的高分子聚合物，然而，PVC 产品及其焚烧物都会产生有毒排放。为了避免使用对人类和环境有毒的材料（应用了 DFE 指导方针：指定无危险材料），工程师选择了更安全的材料，如聚丙烯，完全避免了 PVC 的使用。

12.7 步骤 5：评估环境影响

下一步是在可能的范围内评估产品整个生命周期的环境影响。要精确地评估需要详细了解产品是如何生产、分销、在其寿命中如何使用以及在其寿命终结时如何回收和处理的。这一评估通常基于详细的物料清单（Bill Of Material, BOM），包括能源来源、组件材料规格说明书、供应商、运输模式、废物流回收方法以及处理途径。有几种量化生命周期评估（Life Cycle Assessment, LCA）工具可用于这样的环境评估，这些工具按价格和复杂性排序，并且应基于材料类型、涉及的流程以及分析需要的精确度来进行选择。

LCA 需要大量的时间、实验和数据。许多 LCA 分析是对比性的。为考虑产品设计备选方案的环境性能提供了一个基础。商业 LCA 软件在产品设计中的使用变得更加广泛。普通材料、生产流程、运输方式、能源生产流程和处理方案的支持数据也是容易获得的。

Herman Miller 公司使用其专有的 DFE 评估工具，通过 MBDC 对其进行开发。DFE 工具包含一个电子表格界面，以及使用上述颜色编码的材料数据库。该工具考虑了产品组件的 4 个因素：

244
245

- 材料化学：从毒性和环境问题角度来说，最安全的材料比例（按重量计算）。
- 可回收成分：工业后或消费后可回收成分的材料比例（按重量计算）。
- 可拆卸性：易拆卸的材料比例（按重量计算）。
- 可回收性：可回收的材料比例（按重量计算）。

一旦建立了初步的 Setu 设计，椅子就被分为不同的组件，每个组件被指派给不同的团队进行开发。随着各团队设计他们的组件，DFE 团队使用 DFE 工具对各团队的设计进行评估。

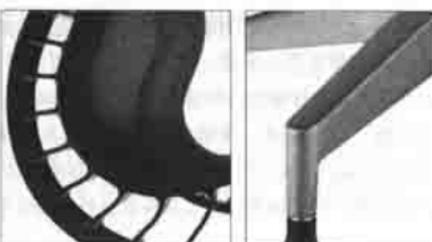
将环境影响与 DFE 目标进行对比

在该步骤，需要将设计所涉及的环境影响与规划阶段建立的 DFE 目标作对比。如果详细设计阶段创建了几种可选择的设计方案，那么它们会被比较以判断哪一个的环境影响最小。除非产品开发团队非常熟悉 DFE，否则设计通常还有很大的改进空间。在开发团队从 DFE 角度对产品表示满意之前，往往还需要进行几次 DFE 迭代。

12.8 步骤 6：完善产品设计以减少或消除环境影响

该步骤和随后 DFE 迭代的目标是通过再设计减少或消除重大的环境影响。这个流程会不断重复，直到环境影响被降低到可接受水平，以及环保性能符合 DFE 目标。对改善中的 DFE 再设计也可能会在生产开始后继续。对于 Aeron 和 Mirra 座椅（如图表 12-1 所示），Herman Miller 公司从这些产品最初版本，就对材料的规格和来源做了一些修改，降低了其环境影响。

几轮设计迭代后，Setu 团队开发了一种方法，即用两种不同的、无需拆卸即可回收的聚丙烯材料共同模制椅子的脊柱。脊柱的内外部围栏由聚丙烯和玻璃的复合材料制成，连接辐条则由更灵活的聚丙烯和橡胶复合材料制成（如图表 12-11 所示）。Setu 的铝制基底是最小化设计（minimal design）的一个例子。它不加涂层、无需抛光和修整工作，没有有害的毒素，它比传统完工的椅子座基更加耐用，环境影响也更小。



（Herman Miller 公司授权）

图表 12-11 Setu 脊柱的最后总设计（左）以及铝制座基（右）

Setu 座椅开发过程中的一个艰难的权衡是关于椅子扶手的材料选择。尽管他们下决心避免使用 PVC，但出于耐久性和疲劳失效的考虑，团队不能完全使用烯族材料（如聚丙烯）来模制椅子扶手。因此，Setu 椅的扶手由尼龙制成，并由热塑性弹性体进行二次成型。因为这些材料在回收时并不具备化学兼容性，这一决策限制了椅子整体的可回收性。

12.9 步骤 7：对 DFE 流程和结果进行反思

产品开发流程的最后活动是反思：

- 我们的 DFE 流程执行得如何？

246
247

- 如何改善我们的 DFE 流程?
- 能对派生和未来产品作什么样的 DFE 改进?

基于 Herman Miller 公司的 DFE 评估工具，在 0~100% 的范围内，100% 为一个真正的“摇篮到摇篮”产品。如图表 12-12 所示，Setu 座椅达到了 72%。

| DFE 评估因素 | Setu 得分 | 因 素 权 重 | 加 权 得 分 |
|----------|---------|---------|---------|
| 材料化学 | 50% | 33.3% | 16.7% |
| 回收成分 | 44% | 8.4% | 3.7% |
| 拆卸 | 86% | 33.3% | 28.6% |
| 可回收性 | 92% | 25.0% | 23.0% |
| 总 分 | | 100% | 72% |

图表 12-12 Herman Miller 公司 DFE 评估工具考虑了 4 个因素，并计算出 Setu 座椅的加权总分为 72%。

Setu 团队对座椅的拆卸方便性和回收可行性很满意。在 Setu 座椅的开发过程中，其可回收性得分上下波动，最终由于权衡设计选择的椅子扶手设计材料，从 99% 降到了 92%。在 Setu 座椅开发过程中实现其可回收性的一个重要成果是脊柱材料的选择。早期设计时考虑将不同的材料黏合在一起，但是并不能回收。DFE 团队向 Setu 团队提出进一步创新的挑战，最后的解决方案是将两种材料构造到一起，回收时是兼容的，无须分离。但是，这样的解决方案并不能用于 Setu 扶手的开发，因此它使用了非兼容的材料。

尽管对 DFE 的实施非常成功，Setu 座椅仍然对环境有一些负面影响，尤其在材料化学和可回收成分方面，如图表 12-12 所示。这表明：从 DFE 角度创建一个完美产品是一个需要花很多年才能实现的目标。有效的 DFE 需要一个为不断进步而努力的产品开发团队。DFE 团队可能会进一步开发 Setu 座椅，以减少一些已知影响。例如，完全使用聚丙烯来模制 Setu 扶手将可能改进可回收性并降低成本。但也需要解决几个非常有挑战性的技术问题。

为进一步改进其 DFE 流程，Herman Miller 公司开始使用 LCA 软件来监控其 DFE 结果，并指导其产品的进一步完善。下一步，他们计划将碳足迹（carbon footprint）整合到其 DFE 工具中。一个产品的碳足迹是指由产品引起的温室气体排放量，通常通过等质量的 CO₂ 排放来衡量。对碳足迹的考虑将进一步影响 Herman Miller 公司的材料选择。例如，只基于可回收性和环境毒性，铝是一种环保材料。然而，当考虑铝的碳足迹时，它可能并不是最优选择（例如，与钢相比），因为生产新的铝材耗能较高。然而，回收的铝材耗能较少，因此这一分析也取决于材料和用来加工这些金属的能量的来源。

248

12.10 小结

每一个产品在其生命周期内都会对环境产生影响。面向环境的设计为企业提供了一个减小或者消除这些环境影响的实用方法。

- 有效的 DFE 在维持或改进产品质量和成本的同时降低环境影响。
- DFE 将传统制造商的关注点扩展为整个产品生命周期及其与环境的关系。它始于从自然资源中提取和加工原材料，随后是产品的生产、分销和使用，最后，在产品寿命终止时，有几种回收选择：组件的再制造或再使用；材料回收；通过在垃圾场中堆放或焚烧进行处理，将产品再整合进一个闭合的循环中。
- DFE 可能会涉及贯穿于整个产品开发流程的活动，并需要跨学科的方法。在开发环保产品时，工业设计、工程、采购和市场营销都要协同工作。
- DFE 流程包含 7 个步骤，产品开发团队可能会多次重复某些步骤。
 - (1) 设置 DFE 日程——驱动因素、目标和团队
 - (2) 识别潜在环境影响
 - (3) 选择 DFE 指导方针
 - (4) 将 DFE 指导方针用于初步设计
 - (5) 评估环境影响
 - (6) 完善产品设计以减少或消除环境影响
 - (7) 对 DFE 流程和结果进行反思

参考文献

目前，很多资源都可在网站 www.ulrich-eppinger.net 上找到。

有几篇文章涵盖了 DFE 的主题。Bhamara 和 Lofthouse 提供了可持续性设计的介绍以及几种能用于 DFE（如生态设计网络）的战略性工具，Fiksel 的书是对作为新产品和流程开发生命周期方法的 DFE 的一个综合性指导。Lewis 等人提供了关于环境影响和几种环境评估工具的综述和描述。

Bhamara, T., and V. Lofthouse, *Design for Sustainability : A Practical Approach*, Gower, UK, 2007.

Fiksel, J.R., *Design for Environment : A Guide to Sustainable Product Development*, second edition, McGraw-Hill, New York, 2009.

Lewis, H., J. Gertsakis, and T. Grant, *Design and Environment : A Global Guide to Designing Greener Goods*, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, UK, 2001.

许多作者极具说服力地支持在设计中适当考虑环境影响。Burall 总结，环保设计与商业成功之间不再有冲突。McDonough 和 Braungart 解释说工业和环境之间的冲突不再是商业控诉，而是纯投机取巧设计自然发展的产物。Papanek 向设计者发出挑战，要求其面对自己的社会和环境责任。而不仅仅是商业利益。布伦特兰报告（Brundtland Report）（1987）首次定义了“可持续发展”这一术语。

Burall, P., *Green Design*, Design Council, London, 1991.

McDonough, W., and M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York, 1992.

Papanek, V., *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1971.

World Commission on Environment and Development, *The Brundtland Report: Our Common Future*, Oxford University Press, London, 1987.

本章中提到的关于 DFE 方法的部分取自不同的来源。DFE 的内部和外部驱动因素基于 Brezett 和 van Hemel 的生态设计工作。DFE 的目标改编自 Giudice 等人列出的环境战略。DFE 指导方针取自 Telenko 等人全面的汇编。DFE 对材料的强调反映了 McDonough 和 Braungart 所解释的“摇篮到摇篮”概念。

Brezett, H., and C. van Hemel, *Ecodesign: A Promising Approach to Sustainable Production and Consumption*, TU Delft, Netherlands, 1997.

Giudice, F., G. La Rosa, and A. Risitano, *Product Design for the Environment: A life Cycle Approach*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2006.

Telenko, C., C. C. Seepersad, and M.E. Webber, *A Compilation of Design for Environment Principles and Guidelines*, ASME DETC Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference, New York, 2008.

国际标准化组织（International Organization for Standardization, ISO）国际性地发展并通过了协议的 LCA 标准，即 ISO 14040。

International Organization for Standardization, *Environmental Management: Life Cycle Assessment-Principles and Framework*, European Committee for Standardization, Brussels, 2006.

练习

1. 列出你的个人电脑或手机生命周期中的 10 种环境影响，将这些如图表 12-6 一样画出来，并

阐述你对生命周期每个阶段相关影响的判断。

2. 拆卸一个简单的产品，如圆珠笔，提出降低其环境影响的两种方法。

[250] 3. 用你能使用的任一种 LCA 分析工具，计算练习 1 所考虑产品的环境影响得分。

思考题

1. 近年来，你通过什么方法提高了自己对环境影响的意识？

2. 对于 Setu 座椅，在其生命周期的使用阶段会产生什么类型的环境影响？

3. DFE 通过什么方法在功能、可靠性、耐久性和可修性方面改善产品的质量？

4. 在生命周期的每个阶段，识别在生命周期特定阶段有较大环境影响的产品或服务。然后，提出一项具有相同功能，但环境影响更小（或没有影响）的产品或服务。

5. 你如何准确地列出图表 12-3 生命周期图中的可再生能源和非可再生能源？画图并解释。

6. 解释 DFE 和 DFM 的关系。考虑（例如图表 12-8 中）与生产有关的 DFE 指导方针。

7. 考虑 Herman Miller 公司所使用的计算材料化学、可回收成分的使用、拆卸简易性以及可回收性加权总分的 DFE 评估工具（图表 12-12）。你会对不同类型产品，如汽车或手机的 DFE 评估工具提出什么样的修改？

[251]

附录 面向环境设计的指导方针

Telenko 等人（2008）基于不同行业来源编写了一个内容广泛的 DFE 指导方针清单。生命周期的每个阶段都有各自的 DFE 指导方针，为产品开发团队提供降低环境污染的建议。以下清单基于 Telenko 等人的汇编。

生命周期阶段：原料

保证资源的可持续性

（1）指定可再生的、充足的资源

（2）指定可回收的或回收的材料，尤其是公司内部的那些材料，或者是市场已有的或需要被鼓励使用的材料

- (3) 当纯净材料是必需时，将回收的和纯净的材料分层
- (4) 开发回收材料的独特性能
- (5) 采用模型间普通的和再制造的组件
- (6) 为回收指定互相兼容的材料和紧固件
- (7) 为产品及其组件指定一种材料
- (8) 指定非复合的、非混合的材料，不使用合金
- (9) 指定可再生的能源形式

确保健康的输入和输出

- (10) 安装防护措施，以防止污染或有毒物质的释放
- (11) 指定无危险的或环境上“干净”的物质，特别是当其关乎使用者的健康时
- (12) 保证废物是水基的或可生物降解的
- (13) 指定最干净的能源
- (14) 包含有毒材料安全操作的标志和说明
- (15) 为生产和组件选择指定清洁的生产流程
- (16) 将有毒物质集中，以便清除和处理

生命周期阶段：生产

确保在生产过程中资源使用的最小化

- (17) 采用结构化技术和材料，以最小化材料的总体积
- (18) 指定不需要额外表面处理、涂层或油墨的材料
- (19) 产品的结构化，避免不良品的产生，并使生产中的材料浪费最小化
- (20) 最小化组件数
- (21) 指定生产和农业强度低的材料
- (22) 指定清洁、高效的生产流程
- (23) 尽可能采用较少的制造步骤

252

生命周期阶段：分销

保证分销中使用最少的资源

- (24) 通过产品设计替换功能和包装
- (25) 将产品折叠、嵌套、拆卸为紧凑的状态进行分销

- (26) 选用轻质的材料和组件
- (27) 采用结构化的技术和材料，以最小化材料的体积。

生命周期阶段：使用

在产品使用过程中保证资源的效率

- (28) 采用可重复使用的材料，以确保消费品使用的最大化
- (29) 使用自动防故障装置，以抵抗高温和材料损耗
- (30) 最小化零件和材料的体积和重量，以降低能量消耗
- (31) 选用一流的、节能的组件
- (32) 当不使用子系统时采取默认的休眠模式
- (33) 保证迅速预热和休眠
- (34) 在所有使用条件的范围内，最大化系统效率
- (35) 使产品内以及产品与环境之间能量和材料流相互联系
- (36) 整合部分操作，允许使用者关掉部分或全部系统
- (37) 使用反馈机制说明消耗了多少能量或水
- (38) 直观控制产品的节能特性
- (39) 加入防止使用者浪费材料的特征
- (40) 使用默认机制自动将产品重置为其效率最高的设置

保证产品和组件合适的耐久性

- (41) 重新利用高嵌入 (high-embedded) 的能源组件
- (42) 规划正在进行的效率改进
- (43) 改善审美性和功能，以保证审美寿命等于技术寿命
- (44) 确保最少的维护，并最小化产品及其组件的失效模式
- (45) 指定更好的材料、表层处理或结构性安排，以防止产品变脏、被腐蚀或磨损
- (46) 在产品上标出哪些零件应通过特殊方式清洁 / 维护
- (47) 使磨损可被检测
- (48) 允许简易的维修和升级，尤其对经历快速变化的组件而言
- (49) 几乎不需要服务和检测工具
- (50) 促进组件测试
- (51) 允许重复拆卸和组装

生命周期阶段：回收

使材料的拆卸、分离和净化成为可能

- (52) 标出如何打开产品，使获取点标志明显
- (53) 确保连接件和紧固件容易获得
- (54) 在拆卸过程中保证稳定性和零件布局
- (55) 最小化连接元素的数量和种类
- (56) 确保破坏性拆卸技术不伤害到人或可重复使用的组件
- (57) 确保可重复使用的组件易清洁且不被损坏
- (58) 确保非兼容性材料易于分离
- (59) 使组件接口简单。拆卸可逆
- (60) 通过审美学、维修及寿命终止协议，将产品或系统组织为层级化模块
- (61) 实施可重复利用 / 可交换的平台、模块和组件
- (62) 将零件缩减为最小的数量
- (63) 选用不妨碍清洁的兼容的黏合剂、商标、表面涂层、颜料等
- (64) 采用无须再定位的拆卸指导
- (65) 所有的连接件可以通过手、或少量简单工具进行拆卸
- (66) 最小化拆卸操作的步骤和时间
- (67) 用黑体标注材料的类型和可重复利用协议
- (68) 使用浅的或开放式的结构，以便接近组件

第 13 章

面向制造的设计



(通用汽车公司授权)

图表 13-1 通用汽车 3.6L V6 发动机

通用汽车动力部每天生产约 3500 台 3.8 升 V6 发动机（见图表 13-1）。面对如此高的产量，该公司非常希望在提高产品质量的同时降低发动机成本。为了改进发动机最昂贵的组件之一：进气导管（进气导管的主要功能是将空气从节气门导入气缸的进气门），公司成立了一个专门的开发小组。图表 13-2 显示了最初的进气导管与新设计的进气导管，本章以通用汽车 V6 发动机进气导管为例，介绍面向制造的设计方法。



（图片由 Stuart Cohen 提供）

图表 13-2 最初的与重新设计的进气导管：最初设计的导管（上）由铸铝制造；重新设计的导管（下）由热塑性复合材料制造

256

13.1 面向制造的设计的定义

客户的需求及产品的规格可以指导产品开发过程中的概念开发阶段；然而在之后的开发工作中，开发人员常常难以把需求和规格与他们面对的具体设计问题联系起来。因此，许多开发人员采用面向 X 的设计（Design For X, DFX）方法，其中 X 可以对应若干质量指标，如：可靠性、稳健性、操作性能、环境影响或工艺。这些方法中最常见的就是面向制造的设计（Design for Manufacturing, DFM），它之所以重要是因为它直接影响制造成本。

本章主要探讨 DFM，同时通过案例说明 DFX 法的一般原则：

- 详细设计对产品质量和成本有着实质性的影响
- 开发人员面对的设计目标是多重的，甚至是相互冲突的
- 在比较不同的设计时，选取适当的标准是很重要的
- 重大的改进往往需要在早期投入大量创造性劳动
- 明确定义的方法有助于决策。

制造成本是产品获得经济成功的关键因素。简单地说，一个产品的经济性取决于每件产品获得的利润以及企业的销售量。利润是产品的销售价格与其制造成本之差。销售量与销售价格很大程度上取决于产品的质量。因此，经济性好的设计就是在确保产品高质量的同时降低

制造成本。DFM 是以此为目标的一种方法。有效的 DFM 可以在不牺牲产品质量的前提下降低制造成本。(关于制造成本与产品经济性之间关系的详细论述,请参见第 17 章)。

13.1.1 DFM 需要跨职能的团队

面向制造的设计是产品开发中最具综合性的工作。DFM 涉及方方面面的信息,包括:(1)草图、略图、产品规格以及各种设计方案;(2)详细的生产装配流程;(3)对制造成本、产量和产能提升时机的预测。因此,DFM 需要开发人员和外部专家的共同参与,DFM 工作通常需要制造工程师、成本会计、生产人员以及产品设计人员的专业知识。许多公司采用定期的、以开发团队为主的研讨会方式整合、交流有关 DFM 的想法。

13.1.2 DFM 贯穿产品开发全过程

DFM 起始于产品概念开发阶段,这个阶段也正是确定产品功能和规格的时候。在选择产品概念时,成本是决策中的一个重要准则,虽然这时对成本的估计带有很大的主观性和预测性。在确定产品的规格时,开发团队应在所需的特性之间做出权衡。例如,减少重量可能会增加制造成本。此时,开发人员可以列出一张物料清单(零部件清单)及其估计成本。在开发的系统设计阶段,开发人员按照对成本和生产复杂性的估计,将产品拆分为独立的单元。在产品开发的详细设计阶段,依据生产情况做出更多决策,才能精确地估算出成本。

13.1.3 DFM 流程概述

图表 13-3 阐明了我们所说的 DFM 方法,它包括 5 个部分:

- (1) 估算制造成本
- (2) 降低零部件成本
- (3) 降低装配成本
- (4) 降低支持成本
- (5) 考虑 DFM 对其他因素的影响

如图表 13-3 所示,DFM 开始于对所提设计方案制造成本的估计。这有助于开发人员在设计零部



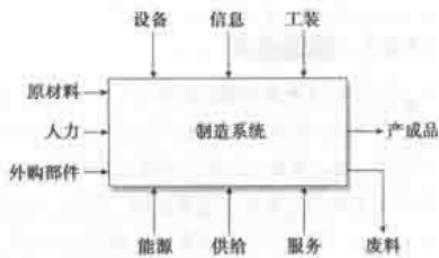
图表 13-3 面向制造的设计方法

件。装配或辅助生产中大致确定哪些部分成本最高，然后，开发人员在后续的工作中将注意力放在适当的地方。这个过程是迭代的，在达到满意的效果之前，要数十次地重新估算制造成本并改进产品设计。只要产品设计可以继续改进，这种 DFM 迭代就要持续下去，直到试生产开始为止。在某些时点，设计要被“冻结”，任何进一步的修改都会被认为是正式的“工程变更”或变为下一代产品的一部分。

在下一节中，我们以通用 V6 发动机进气导管为例，说明制造成本是如何确定的。认识到对成本进行准确的估算非常困难之后，我们将提出几种有效减少零部件成本、装配成本和支持成本的方法。我们以新设计的进气导管等产品为例来说明 DFM 的原理。最后，我们将讨论 DFM 所取得的成果，以及 DFM 决策更广泛、更深层的影响。

13.2 步骤 1：估算制造成本

图表 13-4 显示了一种简单的制造系统输入-输出模型。输入包括：原材料、外购零部件、人工、能源和设备。输出包括：产成品和废料。制造成本就是该系统输入要素和处理废物的支出总和。企业通常用单位制造成本（unit manufacturing cost）这一指标作为产品成本的量度。这一指标是以一定时间内（通常为一季度或一年）的总制造成本除以当期生产的产品总数而得到的。这一概念虽然简单，但在实际中会由于几个问题而变得复杂：



图表 13-4 一个制造系统的简单输入-输出模型

- 制造系统如何界定？现场运营服务应包括在内吗？产品开发工作呢？
- 对产品所使用的昂贵耐用的通用设备如何“计费”？
- 在大型多产品生产系统中，如何在各个产品中分配成本？

这些问题属于管理会计的范畴，我们在此不作深入研究。不过，在讨论成本和 DFM 时，仍然应关注这些问题。

图表 13-5 显示了一种制造成本中各要素的分类方法，按此方法产品的单位制造成本包括三类费用。

- 零部件成本 (component cost)：产品的零部件可能包括从供应商那里购买的标准件 (standard part)，例如，电机、开关、电子芯片、螺栓等。其他零部件是定制件 (非标准件) (custom part)，即根据制造商的要求由钢板、塑料或铝材等原料制成的。一些定制件在制造商自己的工厂生产。而另一些可能由供应商根据制造商的设计要求进行制造。
- 装配成本 (assembly cost)：一般产品都是由各部件组装而成，组装的过程会产生人工成本、设备和工具成本。
- 间接成本 (overhead cost)：间接成本 (或称为杂项开支) 涵盖所有其他方面成本。我们认为有必要将间接成本分为两类：支持成本 (support cost) 和其他间接分配 (indirect allocation)。支持成本包括：原材料处理、质量保证、采购、运输、安装、设计、设备/工具维修产生的开支。这些是制造产品所必需的支持系统，而这部分成本在很大程度上取决于产品的设计。然而，由于这些成本通常由多种产品分担，所以把它们全部归为间接成本。间接分配是生产中不能直接对应于某种特定产品却又必须支付的成本。例如，保安人员的工资、建筑和场地的维护成本都属于间接分配，因为这些成本是由不同产品共同承担的，难以直接分配到某种具体产品。因为间接分配不涉及产品设计，DFM 法中不考虑它。

13.2.1 运输成本

图表 13-5 所示的制造成本模型中不包括任何物品运输的费用。通常，产品制造地点与最终的消费地点相距很远。虽然我们所说的 DFM 中没有明确包括运输成本，但计算这些成本相对容易一些，例如，大部分海外运输的货物都使用容积 70m^3 的标准集装箱。大多数情况下，这些集装箱的运输成本是固定的。目前，在亚洲与美国之间运输一个集装箱的成本大约是 6000 美元，即海洋运输的费率是 $86 \text{ 美元 } / \text{m}^3$ 。航空和公路运输的费率也基于运输重量和体积，同样容易获得。基于这些运输费率，产品开发人员可以很轻松地在分析中加入运输成本，在开发大体积高质量的产品时，这显得很有必要。



图表 13-5 产品制造成本的组成要素

13.2.2 固定成本与可变成本

制造成本也可分为固定成本 (fixed cost) 和可变成本 (variable cost)。固定成本是指与产量无关的、金额固定的成本。例如，生产新的进气导管所需的注塑模具的购置费就是一种固定成本。无论生产 1000 件还是 100 万件产品，模具的成本是固定不变的。另外，进气导管生产线的建设成本也是固定成本，无论生产多少产品。这项成本也是固定的。虽然名为固定成本，但没有哪种成本是真正固定不变的。如果我们要使产量翻两番，我们可能就要另建生产线。相反，如果由于产量下降，不能充分利用产能，我们可能会整合几条生产线。在确定的产量和时间范围内，才能将某一成本视为固定成本。

可变成本是指那些与产量成正比的成本。例如，原料的成本与进气导管的产量成正比，即与 3.8L V6 发动机的产量成正比。装配人工成本有时被认为是可变成本，因为许多公司在短期内可以通过岗位变更调整装配人员数量。

13.2.3 物料清单

由于制造成本估算 DFM 的基础。有序地记录相关资料就显得非常重要。图表 13-6 是一张反映制造成本估算的表格，它主要包括物料清单 (Bill Of Materials, BOM) 与其成本信息。物料清单是组成产品的零部件的列表，通常物料清单以固定的格式表示，这种格式是由零部件或装配步骤组成的“树状结构”。

| 部件 | 购买的原材料 | 工艺加工 (机器+人工) | 装配 (人工) | 总单位可变成本 | 安装及其他 NRE(千美元) | 机器寿命 (千件) | 总单位固定成本 | 总成本 |
|--------|--------|-----------------|------------|---------|-------------------|--------------|---------|-------|
| 歧管铸造 | 12.83 | 5.23 | | 18.06 | 1960 | 500+ | 0.50 | 18.56 |
| EGR 回管 | 1.30 | | 0.15 | 1.45 | | | | 1.45 |
| PCV 装配 | | | | | | | | |
| 阀 | 1.35 | | 0.14 | 1.49 | | | | 1.49 |
| 密封垫 | 0.05 | | 0.13 | 0.18 | | | | 0.18 |
| 盖 | 0.76 | | 0.13 | 0.89 | | | | 0.89 |
| 螺钉 (3) | 0.06 | | 0.15 | 0.21 | | | | 0.21 |
| 真空机组装配 | | | | | | | | |

图表 13-6 物料清单展示了最初进气导管与相关零部件的成本估算。将 EGR (Exhaust Gas Recirculation, 废气回路)、PCV (Positive Crankcase Ventilation, 正压曲柄通风装置) 和真空机组也包括在内，以方便与重新设计的导管进行比较。

| 部件 | 购买的原材料 | 工艺加工 (机器+人工) | 装配 (人工) | 总单位可变成本 | 安装及其他 NRE(千美元) | 机器寿命 (千件) | 总单位固定成本 | 总成本 |
|-------|--------|-----------------|------------|---------|-------------------|--------------|---------|-------|
| 组件 | 0.95 | | 0.13 | 1.08 | | | | 1.08 |
| 密封垫 | 0.03 | | 0.05 | 0.08 | | | | 0.08 |
| 螺钉 | 0.02 | | 0.09 | 0.11 | | | | 0.11 |
| 总直接成本 | 17.35 | 5.23 | 0.95 | 23.53 | 1960 | | 0.50 | 24.03 |
| 间接成本 | 2.60 | 9.42 | 1.71 | | | | 0.75 | 14.48 |
| 总成本 | | | | | | | | 38.51 |

图表 13-6 (续)

物料清单的成本栏分为固定成本和可变成本。可变成本包括材料、机器工时和人工费。固定成本包括机器购置费及其他一次性费用 (Nonrecurring Expenses, NRE)，如特殊设备和一次性的安装费用。机器寿命用于计算单位产品的固定成本 (如果该机器的预期寿命超过了产品的寿命周期，计算出的值会偏大。因为作为分母的产品产量比应有的产量小)。为了计算总成本，还要根据企业所执行的会计制度计算其他成本。值得注意的是，额外的固定成本，
262 如用于多种产品的固定资产的折旧，往往也包含在间接费用中。

13.2.4 估算标准件的成本

标准件的成本估计有两种方法：参照企业之前生产或采购的产品中类似零部件的成本；向销售商或供应商询价。较小的零件（例如，螺栓、弹簧、垫圈等）的费用通常由企业根据类似零件的经验数据估计得出，而大型零部件的成本通常从供应商处获得。

在询价时，预计生产量是非常重要的。例如，购买十几个螺丝或垫圈的单价可能比通用公司每月购买 10 万件的单价高 10 倍。如果预计的生产量足够高，销售工程师通常很乐意与开发团队合作，选定合适的零部件。对于内部制造的标准件，如果需要的量很大，超过了企业的产能，则需要购买额外的设备或求助于外部供应商。

如果生产量足够大，供应商会根据客户需求，更改某种标准件的设计。例如，手动工具中的小型电机，经常根据产品的需求单独设计生产的。如果产量足够高（比如每年 10 万件），这些定做的电机成本就会降低（根据不同的性能，每件 1~5 美元）。对于进气导管中的定制螺栓、衬套等零部件，如果产量足够高，其成本不会比标准件高许多。然而，正如我们将在后面讨论的，引入新的零部件会增加大量的成本以及生产系统、现场操作的复杂性，这增加了支持成本。

大部分标准件的销售商可在《美国制造企业托马斯手册》(Thomas Register of American Manufacturers) 或相关产品的零部件供应商名录中查找。要向供应商询价，首先要了解产品目录 (可在互联网上查找)。然后，或者提供产品的编号，(如果需定制件) 或者提供定制件的详细描述。接着，打电话联系供应商，寻求报价。请务必告知销售商所需信息仅用于成本估算，否则，他们可能会声称没有足够的信息来确定准确的价格。

13.2.5 估算定制件的成本

定制件 (非标准件) 是特别为产品设计的零部件，它们是由制造商自己或供应商生产的。大部分定制件与标准件有类似的生产工艺 (例如，注塑成型、冲压、机加工)；然而，定制件通常是有专门用途的，只用在某一特定厂商的特定产品中。

当定制件为单一零部件时，我们通过原料、加工、模具成本来估算其成本。当定制件由几部分装配而成时，我们视其为一件“产品”。为了得到该“产品”的成本，必须估算每个组成部分的成本，再加上装配成本和间接成本 (下面将讨论这些成本)。在此，我们假设定制件是单一零件。

原料成本可以通过该部件的质量乘以原料成本 (单位质量) 计算。此外还需考虑部分废料损耗 (例如，注塑件有 5%~50%，金属件有 25%~100%)。原材料成本表见附录 A [图表 13-17]。

263

加工成本包括工人的工资以及使用设备的成本。大部分标准的加工设备每小时成本在 25 美元 (简单的冲压机) 到 75 美元 (中型数控铣床) 之间，其中包括折旧、维修费、水电费和人工成本。估算加工时间通常需要与使用设备相关的经验。然而，了解常见的生产工艺的成本范围是非常有必要的。出于这个目的，在附录 B 中给出近似的加工时间和成本表，适用于各种冲压件、铸件、注塑件。

工具成本指使用特定设备生产时，用于设计制造刀具、铸模、冲模、固定装置的成本。例如，注塑机生产不同产品时需要不同的定制注塑模具，这些模具成本通常在 1 万~50 万之间。我们也在附录 B 中列出了大致的模具费用。单位工具成本由工具成本除以寿命期内生产的产品数量得出，一个高质量的注塑模具或冲压模具通常可用于生产几百万件产品。

最初的进气导管机加工铸件的估算成本如图表 13-7 所示。请注意，估算显示成本中铝材的费用占主要部分。通过比较，我们会看到，新设计采用了复合材料，不仅降低了材料成本，而且还减少了机械加工，并通过模塑增加了许多细节特征。

| | | |
|-----------|--|----------|
| 可变成本 | | |
| 原材料 | 5.7 千克铝 (2.25 美元 / 千克) | 12.83 美元 |
| 工艺 (铸造) | 150 件 / 小时 (530 美元 / 小时) | 3.35 美元 |
| 工艺 (机械加工) | 200 件 / 小时 (340 美元 / 小时) | 1.70 美元 |
| 固定成本 | | |
| 铸造工装 | 16 万美元 / 每台设备 (50 万件 / 每台 (设备使用寿命)) | 0.32 美元 |
| 机器和固定装置 | 180 万美元 / 每条生产线 (1000 万件 / 每条生产线 (使用寿命)) | 0.18 美元 |
| 总直接成本 | | 18.56 美元 |
| 间接成本 | | 12.09 美元 |
| 总单位成本 | | 30.65 美元 |

图表 13-7 最初的进气导管的成本估算, 请注意, 铸造和机械加工的成本反映了一个完整的铸造生产线和几种机械加工的成本

13.2.6 估算装配成本

由超过一个部件组成的产品需要装配。年产量低于数十万件的产品, 几乎都是手工装配的。但电子线路板是例外, 即使产量相对较低, 也都是自动完成的。

人工装配成本可以通过各装配操作的预计时间乘以人工费率, 再求和来估算。根据零部件的尺寸、操作的难度和产量, 每项装配操作需要 4~60 秒。在高产量下, 工人可以专注于一个特定的操作, 使用专用的固定件和工具协助装配。附录 C 中列出了不同产品手工装配近似时间表, 这有助于估算装配操作的时间范围。在过去的 30 年间, 人们开发出一种广泛使用的装配时间估算方法, 现在可由软件完成。这一软件是一个估算各部分装配时间的表格信息系统。该系统由一个综合数据库支持, 包括了各种情况下的标准处理和插入时间。现在已经有专门的软件来估算电子电路板的装配成本。

装配人工成本从低工资国家低于每小时 1 美元到一些工业化国家超过每小时 40 美元不等。在美国, 装配人工成本在每小时 10~20 美元之间 (每个企业都有不同的装配人工成本结构, 某些行业具有相当高的成本结构, 如汽车业、航天工业等), 这些数据包括了福利津贴和其他与工人相关的费用, 真实地反映企业装配人工的成本。

在新设计的进气导管中, PCV (Positive Crankcase Ventilation, 正压曲柄通风装置) 阀门组件的装配成本估算由图表 13-8 所示。

| 部件 | 数量 | 处理时间 | 插入时间 | 总时间 |
|---------------|----|------|------|--------|
| 阀 | 1 | 1.50 | 1.50 | 3.00 |
| O型环 | 2 | 2.25 | 4.00 | 12.50 |
| 弹簧 | 1 | 2.25 | 6.00 | 8.25 |
| 盖 | 1 | 1.95 | 6.00 | 7.95 |
| 总时间(秒) | | | | 31.70 |
| 装配成本(45美元/小时) | | | | 0.40美元 |

(图表来源: Manual assembly tables in Boothroyd and Dewhurst, 1989)

图表 13-8 重新设计的进气导管 PCV 阀组件装配成本估算

13.2.7 估算间接成本

准确估算新产品的间接成本是比较困难的。并且实践中的效果不是非常令人满意。尽管如此，我们仍要针对标准化的工业生产来研究这个问题。大多数企业采用的间接成本估计方法很简单，而估计某一产品实际应承担的间接成本则不然。支持成本难以追踪，且难以在各种产品中分摊。新产品未来的支持成本则更加难预测。

大多数企业使用费用分配率 (overhead rate) 来分配间接费用。间接费用率通常与一、两个成本驱动因子 (cost driver) 相关，成本驱动因子是产品中可直接测量的参数。间接费用以与成本驱动因子成正比的数额加到产品的直接成本中。常见的成本驱动因子有：原材料采购成本、装配人工成本以及产品所耗费的设备工时，比如，与原材料成本对应的费用分配率可能是 10%，装配人工费对应的费用分配率可能是 80%（当然，外购件的供应商制造费用已经包括在其价格中，我们仅在其基础上加上采购成本）。在这些条件下，若某产品包括 100 美元的采购成本和 10 美元的装配人工费，将会产生 18 美元的间接成本（100 美元的 10% 加上 10 美元的 80%）。附录 D 中列出了不同产品和企业的一些典型间接成本结构。265

这种方法的问题在于，它意味着间接成本和成本驱动因子成正比，但实际并非总是如此。大多数企业将材料采购成本作为一个成本驱动因子。但如果供应商将价格从 50 美元提高到 60 美元，产品的间接成本会改变吗？答案是它们不会变。费用分配率是一种计算间接成本的简单方法，但这种方法不能精确估算企业生产中的真实成本。

上述问题可通过作业成本法 (Activity-Based Costing, ABC) 部分得到解决 (Kaplan, 1990)。根据 ABC 法，企业采用更多不同的成本驱动因子，并将所有间接成本分配到最合适的成本驱动因子中。因此，除了工具、材料、机械和人工成本外，企业可以依照产品复杂度从不同角度设置间接费率（比如，不同的机械操作量、不同的组件数量和供应商数量）。为了

估算产品的制造成本，使用更多的成本驱动因子不仅可以更精确地估算间接成本。而且通过关注成本驱动因子，可以找到降低间接成本的途径。

13.3 步骤 2：降低零部件成本

对于大多数组合起来的产品，外购零部件的采购成本在其制造成本中占有相当大的比重。本节介绍了几种使零部件成本最小化的方法。有些方法即使不能准确估算成本，但也可以遵循这些基本原则。在这种情况下，这些方法就是指导 DFM 成本降低决策的设计准则（design rule），或称经验方法。

13.3.1 了解工艺制约和成本驱动因子

有些零部件可能很昂贵，只是因为设计师不了解企业生产能力、成本驱动因子以及生产工艺的制约。例如，设计者在一个机加工零部件内壁加一个小的拐角，而没有意识到为了实现这一设计需要昂贵的电火花加工（Electro-Discharge Machining, EDM）。又比如，设计者可能会对尺寸误差提出过高的要求，而没有意识到在实际生产中达到这种精度的困难。这些昂贵的部分往往并不是零部件所必需的，而是由于设计人员的无知造成的。通常可以通过重新设计，在达到相同性能的同时避免昂贵的生产步骤；然而，要做到这一点，设计工程师需要了解在生产中哪些工艺很难实现，以及什么因素增加了成本。

在某些情况下，生产工艺的制约可以通过简明的设计准则，传达给设计人员。例如，一台自动激光金属切割机可以通过列出一些简明的条目来反映它的加工能力，如可加工金属的种类、厚度、最大零件尺寸、最小的切口宽度和切割精度等。如果知道了这些，零件设计人员就可以避免做出超过工艺生产能力的设计，从而避免产生不必要的成本。

对于一些工艺而言，零件的生产成本与该零件的某些属性呈简单的数学函数关系。这些属性就是这一工艺的成本驱动因子。例如，焊接工艺成本与两个因素成正比：焊缝的数量和焊接的总长度。

对于一些能力不容易描述清楚的工艺，设计人员最好与充分了解该工艺的人密切合作，这些制造专家对于改进零部件和降低成本有许多很好的想法。

13.3.2 重新设计零部件以减少工序

对已有的设计反复斟酌，也许可以产生改进设计以简化工艺的想法。减少零部件的加工工

序通常也会降低成本，一些工序可能是不必要的。例如，铝制零件不需要上漆，尤其当它们不会被用户看到时；有时，几道工序可以用一道工序代替。比如终型（net-shape），终型过程是指在一道工序中直接形成零件最终所需的几何形状。这种工艺包括模塑、铸造、锻造和冲压。设计师通常可以通过终型制造一个非常接近最终需求的零件，并只需少量的额外加工（如钻孔、攻丝、切割等）。

最初的进气导管需要昂贵的铸造加工。接下来还有进行几种机械加工。新设计的进气歧管由终型形成两个部分，两部分的估计成本如图表 13-9 所示（与图表 13-7 比较）。

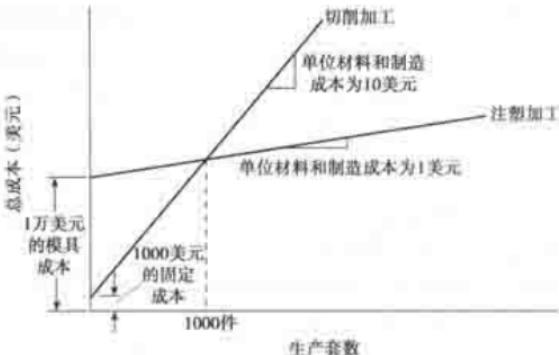
| 可变成本 | | |
|------------|-----------------------------|----------|
| 材料（气管室） | 1.4 千克玻璃填充尼龙 (2.75 美元 / 千克) | 3.85 美元 |
| 材料（气管端口） | 0.3 千克玻璃填充尼龙 (2.75 美元 / 千克) | 0.83 美元 |
| 铸造（气管室） | 80 件 / 小时 (125 美元 / 小时) | 1.56 美元 |
| 铸造（气管端口） | 100 件 / 小时 (110 美元 / 小时) | 1.10 美元 |
| 固定成本 | | |
| 铸造设备（气管室） | 35 万美元 / 台设备 (1.5 万件 / 台设备) | 0.23 美元 |
| 铸造设备（气管端口） | 15 万美元 / 台设备 (1.5 万件 / 台设备) | 0.10 美元 |
| 总直接成本 | | |
| 间接费用 | | 3.99 美元 |
| 总的单位成本 | | |
| | | 13.66 美元 |

图表 13-9 重新设计的进气导管的成本估算

13.3.3 选择合适的零部件加工经济规模

通常，一种产品的单位制造成本随着产量的增加而降低，这种现象称为规模经济（economies of scale）。产生零部件加工规模经济有两个原因：固定成本分配到更多的产品中；企业可以使用大型高效的工艺和设备，使可变成本变得更低。例如，一个注塑成型的零件，需要一个 5 万美元的模具。如果企业生产 5 万件该零件，每件承担 1 美元模具的成本；但如果生产 10 万件，每件只需承担 0.5 美元的模具成本。随着产量的进一步增加，企业可以使用四腔模具，每次生产 4 件产品。如图表 13-9 所示，新设计的进气导管的模具成本相当高；然而，在模具寿命期内，单位固定成本却很低。

加工过程会发生固定成本和可变成本。无论产量多少，一种产品的固定成本只发生一次。可变成本随着每件产品的生产而发生。低固定成本与高可变成本的工艺（如机械加工），适合少量生产的产品；高固定成本与低可变成本的工艺（如注塑），适合大量生产的产品。这一思想由图表 13-10 说明，如图所示。若预计产量低于 1000 件，机械加工比较经济；否则，注塑成型的总成本更低。



图表 13-10 一个假想零件的总成本 (切削加工和注塑加工零件数量的函数)

13.3.4 零部件和工艺的标准化

规模经济的原则也适用于零部件和工艺的选择。随着零部件产量的增加，其单位成本逐渐降低。由于工人的熟练度和零部件设计、加工过程的改进，质量和性能往往会随之提高。对于既定的产量，规模经济的优势可以通过零部件的标准化来实现。

标准化零部件是多种产品中相同的组件。这种标准化可能存在于一家企业的生产线中，也可能由一家外部供应商提供给多家企业。例如，通用汽车公司的多种车型中都使用了3.8L V6发动机，这是企业内部标准化 (internal standardization) 的例子。多家汽车制造商采用的10mm 六角螺钉则是外部标准化 (external standardization) 的一个例子。在这两种情况下，所有其他条件相同时，该组件的单位成本比只用于单一产品时要低。

新设计的进气导管被用于所有的通用 3.8L V6 发动机，只是每个车型需要配备不同的 EGR (Exhaust Gas Recirculation, 废气回路) 装置和真空管回路。为了应对这种情况，新设计的进气导管有两个标准接口，真空端口和 EGR 端口。针对每种车型，确定使用真空装置还是 EGR 适配器。这使得进气导管这一主要零件在内部实现标准化，避免了不同车型使用不同的导管。

同一个产品中的零件也可以实现标准化。例如，大部分汽车制造商在他们的汽车左侧与右侧使用相同的轮胎。即使这会使两侧的“辐条”朝向不同 (图表 13-11)。



(福特汽车公司授权)

图表 13-11 同一产品中标准化的例子，左右两边的福特 Explore 的车轮相同

13.3.5 “黑箱” 零部件采购

日本汽车制造业运用一种能有效降低零部件成本的方法，即黑箱供应商设计 (black box supplier design)。根据这一方法，开发人员向供应商提供所需零部件的“黑箱”式描述，即只描述该组件的功能，而不指定如何实现该功能 (Clark and Fujimoto, 1991)。这样就给了供应商广阔的设计空间，以降低零部件成本。此方法另一优点是它减轻了内部团队设计零部件的工作量。成功的黑箱采购需要详细的系统设计，并对功能、接口、各组件的相互关系有非常明确的说明（详见第 10 章）。

新设计的进气导管中，PCV 阀组件是由通用汽车公司的供应商 AC Rochester 公司设计的。供应商只得到了系统的性能要求，并对该组件的性能完全负责。

268
/ 269

13.4 步骤 3：降低装配成本

面向装配的设计 (Design For Assembly, DFA) 是 DFM 的一个部分，其主要目标是使装配成本最小化。对于大部分产品，装配成本在总成本中所占比例很小。然而，关注装配成本能产生巨大的间接效益。通常，关注 DFA 可以使产品的零部件数量、生产复杂性以及支持成本都随装配成本的降低而降低。在本节中，我们提出几个有助于指导 DFA 决策的原则。

13.4.1 打分

Boothroyd 和 Dewhurst (1989) 主张对装配成本进行持续评估，除了绝对得分，他们还提出了装配效率 (assembly efficiency) 的概念，该指标是由理论最小组件数与产品实际装配时间的比值来衡量的。这一概念有利于发现装配成本的驱动因素，DFA 指标的表达式是：

$$\text{DFA 指标} = \frac{\text{理论最小组件数} \times 3 \text{ 秒}}{\text{估计装配总时间}}$$

为了确定理论最小组件数，需要从以下三个方面来考察装配方案中的每个部分。只有当零部件满足至少其中一个条件时，才应认为是“理论上”必须独立的。

- 该组件相对于其他部分是否需要移动？用弹性铰链、弹簧等实现的小幅移动不计。
- 由于物理性能需要使用不同的材料制造该组件吗？
- 为了便于接入、更换或者维修，该组件必须与其他部分分离吗？

分子中的“3 秒”是理论上装配一个符合规格的零部件的最短时间。可以认为这是组装一个易于掌握、无特定方向、不需特殊技术的零部件所需的平均时间（在整个班次中）；例如快速地将一个球放进足够大的圆孔中。

13.4.2 集成零部件

如果一个零部件不符合上述条件，那它就需要与其他一个或多个零部件进行组合。所得的多功能组件集成了之前多种独立零部件不同的几何特性。然而，模塑或冲压件往往能在集成更多功能的同时几乎不增加成本。图表 13-12 所示的是新设计的进气导管的节流阀末端。这个部分集成了 EGR 回路和真空机的接口。这个接口采用了铸造形成的伸出并转折的几何结构，省去了一些螺纹连接。

集成零部件的优点如下。

- 集成零部件不必进行装配。实际上，几何上的“装配”是由零部件制造成型完成的。
- 制造集成零部件往往比零散零部件成本低。对于模塑件、冲压件及铸件，一个复杂的模具通常比两个或多个不那么复杂的模具成本低，并且会缩短加工时间，产生更少废料。
- 集成零部件由零部件制造工艺（如模塑）而不是装配过程控制其关键几何特性。这通常意味着可以更精确地控制尺寸。



(图片由 Stuart Cohen 提供)

图表 13-12 将多种功能集成在一个组件中。EGR 回路和真空端口被塑造进新设计的进气导管

但是，需注意集成零部件并不总是一个明智的策略。可能与其他降低成本的方法冲突。例如，原先的进气导管是单一铸件，需要大量的机械加工。设计小组将它改为两个较便宜的注塑件，这是一个通过分解组件来降低制造成本的例子。

13.4.3 最大限度地简化装配

两种零件数相同的产品装配时间仍然可能不同。这是由于实际中拿取、定位并装入一个零件的时间取决于零件的几何形状和装入所需的轨迹。装配零件的理想特性如下（节选自文献 Boothroyd 和 Dewhurst, 1989）^②。

- **零件从顶部安装：**这种装配组件的特性称为 z 轴装配（z-axis assembly）。通过 z 轴装配，零件在装配过程中无需倒置，重力有助于稳定已装配的部分，工人一般都可以看到装配位置。
- **零件自动定位：**需准确定位的零件在装配中需要工人进行缓慢、精准的移动。零件可

^② Boothroyd, Geoffrey, and Peter Dewhurst, Product Design for Assembly, Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, RI, 1989.

以设计成自动定位的，从而用机械代替工人进行控制。最常见的自动对准方式是倒角（chamfer）。倒角可通过将柱体的顶端做成锥面来实现，也可以通过对孔的开口处进行锥形扩大的来实现。

- **零件不需要定向：**螺钉等需准确定向的零件比球体等不需定向的零件消耗更多的装配时间。在最坏的情况下，一个零件需要在三个维度上定向。例如，下列零件按定向要求难度依次升高的顺序排列：球体、圆柱体、加盖圆柱体、有盖的键连接的圆柱。
- **零件只需单手装配：**这种特性主要关系到零件的大小与操作工作量。其他条件相同的情况下，单手装配的零件比双手装配的所需时间更少，更少于需要起重机或升降机的零件。
- **零件不需要工具：**有些装配操作需要工具，比如连接卡环、弹簧或开口销，它们比不需要工具的操作耗费更多时间。
- **零件由单向直线动作装配：**插入一个销子比拧颗螺丝的时间短。出于这个原因，许多商用紧固件的安装只需一个单向的直线动作。
- **零件装入后立即固定：**一些零件需要后续的固定。例如拧紧、固化或借助别的零件紧固。在零件固定前，装配是不稳定的，需要格外小心，可能要用到临时的固定件。这可能需要放慢装配过程。

13.4.4 考虑客户自行装配

客户可能会接受自己组装一部分产品，尤其当这样做有其他好处时，比如使运输和安装更容易。然而，考虑到客户往往是外行，会忽略方向等因素，设计一个客户可以简单正确组装的产品本身就是一个挑战。

13.5 步骤 4：降低支持成本

在减少零部件成本和装配成本的同时，开发人员也可以减少支持成本。例如，零部件数量减少的同时，存货成本也减少了。装配工作量的减少降低了工人的需求量，从而减少监督和人力资源管理的成本。标准化零部件降低了对技术支持与质量控制的要求。此外，还有一些可以降低支持成本的措施。

重要的是要记住制造成本估算往往对间接成本的推动因素不敏感（参考前文对间接成本的讨论）。尽管如此，设计团队在这方面的目标应该是即使间接成本估算不发生变化，也应努力降低实际的支持成本。[272]

13.5.1 降低系统复杂性

一个最简单的制造系统是指通过单一步骤将单一原料转变为单一零件，比如将塑料颗粒加

工为固定直径的塑料棒。很可惜，这种系统几乎不存在。制造系统的复杂性来源于输入、输出和流程的多样性。很多现实的生产系统涉及几百个供应商，几千零部件，几百名人员以及几十种产品和生产工艺。供应商、零部件、人、产品、工艺的变化造成了系统的复杂性。这些变化通常必须进行追踪、监控、管理、检查、处理并登记，这给企业带来巨大的成本。大部分复杂性来自产品设计，因此可以通过完善的设计来减小系统复杂性。

图表 13-13 是一个简单的生产复杂性“计分卡”。它可以提醒设计者产品设计对系统复杂性如何产生影响。开发人员为初始设计评分，然后以分数的变化作为复杂性减小的量度。请注意，这里给出的评分因素是通用的。在实际中，开发人员可以根据企业生产条件和实际情况设计出这个列表（也可通过权重分配其优先级）。企业通过基于活动的成本核算，往往可以了解产生复杂性的主要因素，因为这些都是在分配间接成本时使用的因素。作为一种简单的精确支持成本模型的替代品，这种计分卡使团队无需估算产品的间接成本就能做出明智的决策。

| 复杂性因素 | 例 1 | 例 2 |
|--------------------------|-----|-----|
| 引入制造系统的新零部件数目 | 6 | 5 |
| 引入制造系统的新供应商数目 | 3 | 2 |
| 引入制造系统的定制件的数目 | 2 | 3 |
| 引入制造系统的“主要工具”（如模具和冲模）的数量 | 2 | 2 |
| 引入制造系统的生产工艺的数目 | 0 | 0 |
| 总计 | 13 | 12 |

图表 13-13 制造复杂性计分卡

13.5.2 差错预防

DFM 的一个重要观点是要预先考虑到生产系统中可能的故障，并早在开发阶段就采取适当的措施。这种策略被称为差错预防（error proofing，或译为“防错”）。某些故障是由几种差别很小的易混淆零部件引起的，例如仅螺距不同（ $4 \times 0.70\text{mm}$ 和 $4 \times 0.75\text{mm}$ 螺钉）或旋转方向不同（向左或向右）的螺钉，相互对称的两种零件、仅仅材料不同的零件。

我们建议要么将这些细微的差别消除，要么将其放大。图表 13-14 所示的是放大零件间差别的一



〔Stuart Cohen 授权〕

图表 13-14 录像带内左右两个带盘（俯视图）。两个几乎相同的零件用颜色区别，以免混淆

个例子：录像带内左侧与右侧固定了两种带盘。它们彼此对称，用不同的颜色区分。颜色的差异可使零件在加工与装配时容易区分。

13.6 步骤 5：考虑 DFM 对其他因素的影响

最大限度降低制造成本不是产品开发过程的唯一目标。产品经济上的成功也取决于产品质量、产品推出的时间以及产品的开发成本。某些情况下，为了企业经济利益最大化，某项目的经济效益会受损失。在进行 DFM 决策时，这些问题应当考虑清楚。

13.6.1 DFM 对开发时间的影响

开发时间是宝贵的。对于一个汽车开发项目，一天的时间可能价值几十万美元，因此，DFM 决策必须在顾及制造成本的同时，对开发时间受到的影响做出评估。每个进气导管节省 1 美元，每年就可能节省 100 万美元，但由此造成项目完成时间延迟 6 个月就不值得了。

DFM 与开发时间之间的关系比较复杂。在此，我们只关注其中的几个方面。DFA 准则在应用中可能会产生十分复杂的零部件。这些零部件可能复杂到使其设计与加工工具的制造成为决定整个开发工期的关键 (Ulrich 等, 1993)。DFM 形成的成本优势可能弥补不了为此拖延的项目工期造成的损失，对于竞争激烈的市场尤其如此。

13.6.2 DFM 对开发成本的影响

开发成本与开发时间密切相关。因此，开发时间与零部件复杂性的关系同样适用于开发成本。通常情况下，开发人员会努力追求在相同的开发时间和相同的开发预算下使零部件的制造成本最低。在良好的项目管理方法与完善的 DFM 应用的前提下，这一目标可以实现。

273
274

13.6.3 DFM 对产品质量的影响

在进行 DFM 决策时，开发人员应该评估决策对产品质量的影响。在理想情况下，降低制造成本的同时可以提高产品质量。例如，通用汽车公司新设计的进气导管使成本降低、重量减小，并提高了发动机性能。DFM 在关注降低制造成本的同时常常会使维护更方便、更便于拆卸和回收。然而，在某些情况下，降低制造成本会对产品质量（比如可靠性或耐久性）产生不利影响，所以开发团队应牢记哪方面的质量指标对产品是至关重要的。

13.6.4 DFM 对外部因素的影响

设计决策可能会有许多超出项目本身的影响。从经济学的角度来说，这种影响称为外部性。零部件再利用和生命周期成本就是两种外部性。

- **零部件再利用 (component reuse)**: 花费时间与资金开发的低成本零部件可能对其他设计相似产品的团队有价值。通常情况下，这种价值在制造成本估算时不能被明确计算。由于对其他项目的积极影响，开发人员会有时会在本项目中投入更多成本。
- **生命周期成本 (life cycle cost)**: 在产品整个生命周期中，可能会产生一些公司成本或社会成本。这些成本不会（或很少）计入制造成本。例如，产品可能含有某些需特殊处理的有毒物质。有些产品会带来售后服务和保修费用。虽然这些成本可能不会出现在制造成本分析中，但它们应在采用 DFM 决策前予以考虑。（详见第 12 章）

13.7 成果

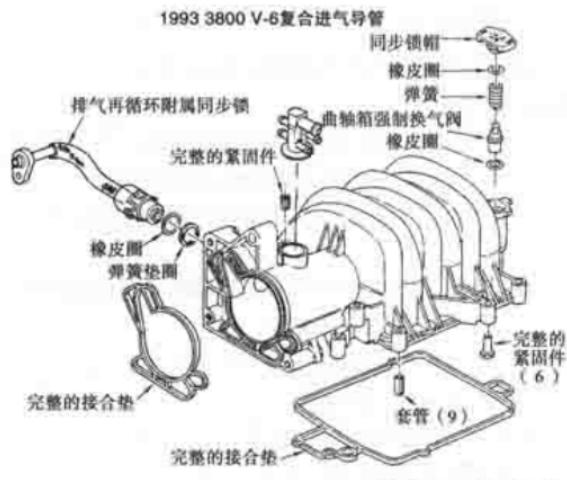
面向制造的设计在许多企业中应用。今天，DFM 几乎是每一个产品开发工作的重要组成部分。设计师再也不能“将设计图挂在墙上”，草草完成与制造工程师的交接。由于强调提高设计质量，一些厂家声称他们降低了 50% 的产品生产成本。实际上，将新产品与前代产品比较，人们可以发现新产品零部件更少了，采用了新材料，以及更多集成、定制的零部件，更多标准件和组件，并且装配流程更简单。

[275]

图表 13-15 是新设计的进气导管草图，该产品的 DFM 工作取得了骄人的成绩。图表 13-16 显示了新设计的进气导管的估算成本。（与图表 13-6 对比）其改进之处包括：

- 节省 45% 的单位成本
- 质量减少 66% (3.3kg)
- 简化装配和维护程序
- 由于 EGR 的路径设在导管内部，提高了排气性能
- 由于降低了吸人气体的温度，提高了发动机性能
- 由于零部件的重量减轻，降低了运输成本
- 提高汽车生产的标准化水平

该产品每年节约数百万美元的制造成本。虽然难以量化描述，但上述改进在其他方面的效益也很显著。



(通用汽车公司授权)

图表 13-15 重新设计后的进气导管

| 部 件 | 外购材料 | 加工工艺 (机械+人工) | 装配 (人工) | 总单位可变成本 | 工装及其他 NRE (千美元) | 机器寿命 (千件) | 总单位固定成本 | 总成本 |
|----------|------|-----------------|------------|---------|--------------------|--------------|---------|-------|
| 气管室 | 3.85 | 1.56 | | 5.41 | 350 | 1500 | 0.23 | 5.65 |
| 气管端口 | 0.83 | 1.10 | 0.13 | 2.05 | 150 | 1500 | 0.10 | 2.15 |
| 钢管件 (16) | 0.32 | | 1.00 | 1.32 | | | | 1.32 |
| EGR 调试器 | 1.70 | | 0.13 | 1.83 | | | | 1.83 |
| PCV 阀 | | | | | | | | |
| 阀 | 0.85 | | 0.04 | 0.89 | | | | 0.89 |
| O 型环 (2) | 0.02 | | 0.16 | 0.18 | | | | 0.18 |
| 弹簧 | 0.08 | | 0.10 | 0.18 | | | | 0.18 |
| 盖子 | 0.02 | | 0.10 | 0.12 | | | | 0.12 |
| 真空机组 | 0.04 | | 0.06 | 0.10 | | | | 0.10 |
| 总直接成本 | 7.71 | 2.66 | 1.71 | 12.08 | 500 | | 0.33 | 12.41 |
| 间接费用 | 1.16 | 4.79 | 3.08 | | | | 0.50 | 9.52 |
| 总成本 | | | | | | | | 21.93 |

图表 13-16 重新设计后的进气导管的成本估算

13.8 小结

面向制造的设计的目的是降低制造成本，同时提高产品质量（或者合理处理成本与质量的

关系)。缩短开发时间、降低开发成本。

- DFM 起始于概念设计阶段和系统设计阶段。在这两个阶段做出重要决定的同时必须考虑到对制造成本的影响。
- DFM 以制造成本的估算为依据，并采取降低成本的做法。成本估算需要对相关的生产工艺有深入的了解。供应商和制造专家必须参与这项工作。
- 由于精确的成本估算非常困难，大部分 DFM 需要在没有详细成本数据的情况下做出前瞻性的决策。
- 明确了决定成本的因素，才能降低零部件成本。降低成本的措施可能涉及新的设计概念，或通过简化现有设计和标准化来实现。
- 完善的装配设计可以降低产品的装配成本。为了简化装配操作，可以重新设计零部件，或者通过零部件的集成减少一些零部件。
- 为了降低生产支持成本，需要了解生产流程中的复杂性因素。设计决策对支持成本有很大影响，在设计时应考虑这些因素，即使估算的间接成本对这些变化不敏感。
- DFM 是一个综合性的设计方法，它贯穿整个产品开发过程，需要整个开发团队共同参与。
- DFM 决策可以影响产品的开发周期、开发成本和产品质量，需要经常在制造成本和其他同等重要的问题中做出取舍。

276
/ 277

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

20世纪80年代，两篇文献描述了DFM的需求、方法和成功案例。

Dean, James W., Jr., Gerald I. Susman, "Organizing for Manufacturable Design," *Harvard Business Review*, January-February 1989, pp. 28-36.

Whitney, Daniel E., "Manufacturing by Design," *Harvard Business Review*, July-August 1988, pp. 83-91.

有过许多成功的DFM案例。一个经典的案例是由Dewhurst与Boothroyd描述的IBM打印机。
Dewhurst, Peter, Geoffrey Boothroyd, "Design for Assembly in Action," *Assembly Engineering*, January 1987.

在零部件设计、材料选择、生产工艺选择、了解工艺能力方面有许多参考资料。这里列出数百种具体操作、材料和工艺具体指导方针的文献源。

Bolz, Roger W., *Production Processes: The Productivity Handbook*, fifth edition, Industrial Press, New York, 1981.

- Bralla, James G. (ed.), *Design for Manufacturability Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- Cubberly, William H., and Ramon Bakerjian, *Tool and Manufacturing Engineers Handbook*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, 1989.
- Farag, Mahmoud M., *Materials and Process Selection for Engineering Design*, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2008.
- Poli, Corrado, *Engineering Design and Design for Manufacturing: A Structured Approach*, Butterworth-Heinemann, 2001.
- Thompson, Rob, *Manufacturing Processes for Design Professionals*, Thames & Hudson, London, 2008.
- Trucks, H. E., *Designing for Economical Production*, second edition, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, 1987.

Gupta 等人提出了先进的生产工艺分析方法和 DFM 相关研究。

Gupta, Satyandra K. et al., "Automated Manufacturability Analysis: A Survey," *Research in Engineering Design*, Vol. 9, No. 3, 1997, pp. 168-190.

应用最广泛的 DFA 方法是 Boothroyd 和 Dewhurst 提出的。也有软件可用于估算手工或机械装配成本，以及各种零部件成本。

Boothroyd, Geoffrey, Peter Dewhurst, *Product Design for Assembly*, Boothroyd Dewhurst, Inc., Wakefield, RI, 1989.

Boothroyd, Geoffrey, Peter Dewhurst, and Winston A. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*, third edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2011. [278]

对自动化装配的详细研究可以指导产品设计，使其适合自动化装配。

Boothroyd, Geoffrey, *Assembly Automation and Product Design*, second edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2005.

Nevins, James L., and Daniel E. Whitney, *Concurrent Design of Products and Processes*, McGraw-Hill, New York, 1989.

Whitney, Daniel E., *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, Oxford University Press, New York, 2004.

Kaplan 等人提出了基于活动的成本核算体系，深入研究了企业成本的驱动因素，并开发出更精确的成本估算方法。

Kaplan, Robert S. (ed.), *Measures for Manufacturing Excellence*, Harvard Business School Press, Boston, 1990.

Clark 和 Fujimoto 对世界汽车行业的产品开发进行了综合研究。他们提供了一种有趣的黑箱零部件设计的分析讨论。

Clark, Kim B., Takahiro Fujimoto, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press, Boston, 1991.

Ulrich 等探讨了如何权衡开发时间和制造成本。他们也提出了支持成本建模的一些细节。

Ulrich, Karl, Scott Pearson David Sartorius, Mark Jakielo, "Including the Value of Time in Design-for-Manufacturing Decision Making," *Management Science*, Vol. 39, No.4, April 1993, pp. 429-447.

Ulrich 和 Pearson 提出了一种研究产品、成本和许多细节设计决策的方法，其实践结果正如我们在产品中所见。

Ulrich, Karl T., Scott Pearson, "Assessing the Importance of Design through Product Archaeology" *Management Science*, Vol. 44, No.3, March 1998, pp. 352-369.

练习

- 估算一件你曾购买的简单产品的成本。尝试分析一件少于 10 个零件的产品的成本，比如软盘、钢笔、折叠刀或儿童玩具。你所估算的产品成本的合理上限就是产品的批发价（零售价的 50%~70%）。
- 提出一些你能想到的降低成本的方法，并降低上述计算的成本。计算改进前后的 DFA 指数。
- 279 列出 10 条因减少零部件数量而降低成本的原因。再列出一些成本可能增加的原因。

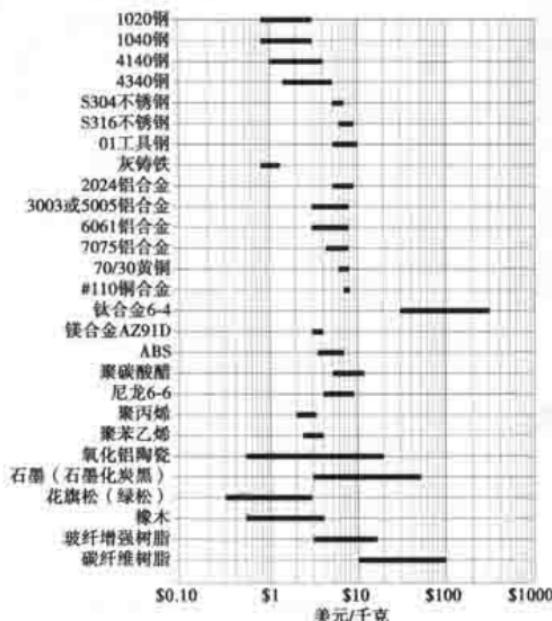
思考题

- 以下是机电产品的 10 条“设计原则”。这些准则是否合理？在什么情况下它们会彼此冲突？应该如何权衡？
 - 零部件数量最小化
 - 采用模块化配件
 - 叠加式装配
 - 不需要调整
 - 不使用电缆
 - 使用自紧固零件

- g. 使用自定位零件
 - h. 消除再定位
 - i. 零件便于装卸
 - j. 选用标准件
2. 设计一种装配效率为 100% 的产品是否可行 (DFA 指数 = 1.0) ? 需满足什么条件? 你能说出一种具有很高装配效率的产品吗 (通常大于 75%)?
3. 产品投产时, 能否确定其实际成本? 如果可以, 如何确定?
4. 你能提出一套预测实际的支持成本变化的指标吗? 为了有效起见, 这些指标必须对企业内间接成本的变化非常敏感。实践中引入这些指标有什么障碍?

[280]

附录 A 材料成本



(图表来源: 改编自 David G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, third edition, McGraw-Hill, New York, 2003.)

图表 13-17 常用的工程材料成本范围。图中的价格对应批量购买时各种材料的不同质量等级和规格 (2015 年价格)

[281]

附录B 零部件制造成本

本附录针对数控 (Computer Numerical Control, CNC) 加工 (图表 13-18)、注塑 (图表 13-19)、级进冲压 (图表 13-20)。砂铸和熔铸 (图表 13-21) 给出了一些零部件及其成本数据。这些例子是为了说明典型工艺的大致成本范围, 以及零部件复杂性将如何影响每种工艺的成本结构。

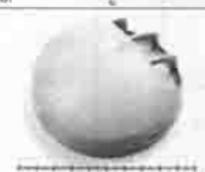
| | 固定成本 | 可变成本 | 产量 | 总单位成本 |
|--|--|---|----------------|----------------------------|
| | 准备工作: 0.75h, 60美元/h 工装: 编程时间: 0.25h, 60美元/h | 材料: 每件9美元 胚料: 1.11kg的6061铝合金 加工: 6min/件, 60美元/h | 1 10 100 | 75.00 21.00 15.50 |
| | 准备工作: 1.75h, 60美元/h 工装: 编程时间: 1h, 60美元/h 卡具: 150美元 | 材料: 每件16美元 胚料: 1.96kg 6061铝合金 加工: 55min/件, 60美元/h | 1 10 100 | 386.00 102.50 74.15 |
| | 准备工作: 5.5h, 60美元/h 工装: 编程时间: 2h, 60美元/h | 材料: 每件25美元 胚料: 4.60kg超高分子量乙烯 加工: 2.85h/件, 60美元/h | 1 10 100 | 646.00 241.00 200.50 |
| | 准备工作: 2h, 60美元/h 工装: 编程时间: 2h, 60美元/h | 材料: 每件12美元 胚料: 1.50kg 6061铝合金 加工: 6h/件, 60美元/h | 1 10 100 | 612.00 396.00 374.40 |

注: 1. 编程时间是一次性花费, 这里把它包含在工装成本中。

2. 材料价格假设批量不大, 包含了下料费用。

3. 加工成本包含了间接费用。

(照片由 Stuart Cohen 提供, 例子和数据由 Ramco 公司授权)

| | 固定成本 | 可变成本 | 产量 | 总单位成本(美元) |
|---|------------------------------------|--|------------|----------------|
|  | 准备工作: | 材料: 每件0.075美元 45g线性低密度聚乙烯(LLDPE) | 10K | 1.915 |
| | 工装: \$18K 8腔/模具 无操作 | 加工: 1800kN冲压机, 160件/h, 42美元/h | 100K 1M | 0.295 0.133 |
|  | 准备工作: | 材料: 每件0.244美元 10 g 钢填充 聚碳酸酯(PC) | 10K | 1.507 |
| | 工装: \$10K 1腔/模具 3复位引脚 | 加工: 900kN冲压机, 160件/h, 42美元/h | 100K 1M | 0.607 0.517 |
|  | 准备工作: | 材料: 每件0.15美元 22g改性聚环氧乙烷(PPO) | 10K | 2.125 |
| | 工装: \$18K 2腔/模具 无操作 3侧抽芯 | 加工: 800kN冲压机, 240件/h, 42美元/h | 100K 1M | 0.505 0.343 |
|  | 准备工作: | 材料: 每件2.58美元 227g聚碳酸酯(PC)和 8个黄铜嵌件 | 10K | 11.085 |
| | 工装: \$80K 1腔/模具 1操作 4复位引脚 | 加工: 2700kN冲压机, 95件/h, 48美元/h | 100K 1M | 3.885 3.165 |

注: 1. 准备工作(各案例仅数小时)成本在大批量注塑成型生产时可以忽略。

2. 加工成本包含了间接费用。

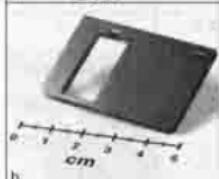
(照片由 Stuart Cohen 提供。例子和数据由 Lee 塑料公司和数字设备公司授权)

图表 13-19 注塑成型成本例子(注塑成型部件及其成本数据)

术语

以下术语在附录所有图表中适用。

- 准备工作 (setup): 指设备使用前所需的准备。准备工作成本由每次运营分摊。

| | 固定成本 | 可变成本 | 产量 | 总单位成本 (美元) |
|---|------------------------|--------------------------------|------|---------------|
| a.  | 准备工作: 工装: 2200美元 | 材料: 0.040美元/件 2.2g 70/30黄铜 | 100K | 0.28 |
| | | 加工: 550kN冲压机, 3000件/h, 63美元/h | 1M | 0.083 |
| b.  | 准备工作: 工装: 71 000美元 | 材料: 0.032美元/件 3.5g 304 SST | 100K | 0.773 |
| | | 加工: 550kN冲压机, 4300件/h, 140美元/h | 1M | 0.136 |
| c.  | 准备工作: 工装: 11 000美元 | 材料: 0.128美元/件 19.2g 102紫铜 | 100K | 0.248 |
| | | 加工: 650kN冲压机, 4800件/h, 50美元/h | 1M | 0.149 |
| d.  | 准备工作: 工装: 195 000美元 | 材料: 0.28美元/件 341g镀锌钢板 | 100K | 0.516 |
| | | 加工: 1000kN冲压机, 700件/h, 200美元/h | 1M | 0.761 |
| | | | 10M | 0.585 |

- 注: 1. 准备工作(各案例仅数小时)成本在大批量冲压时可以忽略。
 2. 材料重量是最终冲压件的重量。材料成本包括边角料。
 3. 每小时加工成本不仅受冲压机尺寸影响,还要包括辅助工艺设备,如模内攻丝等。
 4. 加工成本包含了间接费用。

(照片由 Stuart Cohen 提供,例子和数据由英国先进工业公司及其他来源授权)

图表 13-20 冲压成本例子(大批量级进冲压部件及其成本数据)

- 工装费 (tooling cost): 发生在第一件产品生产前。工装可在之后的生产中重复使用。然而,当产量非常大时,工装会磨损,因而这是一个周期性费用。工装成本可以分摊在所有产品中,或单独列出。CNC 编程时间通常也是一次性费用,类似于工装成本。



| | 固定成本 | 可变成本 | 产量 | 总单位成本 |
|---|-------|---|------|--------|
|  | 准备工作: | 材料: 0.53美元/件 570g灰铸铁 | 10 | 180.91 |
| | 工装: | 加工: 120件/h, 46美元/h | 100 | 18.91 |
|  | 准备工作: | 材料: 2.42美元/件 2600g灰铸铁 | 1000 | 2.71 |
| | 工装: | 1型芯 2400美元 2印模/枚样 加工: 30件/h, 46美元/h | 1000 | 6.35 |
|  | 准备工作: | 材料: 0.713美元/件 260g黄铜 | 10 | 163.21 |
| | 工装: | 加工: 4件/h, 50美元/h 1500美元, 无型芯 | 100 | 28.21 |
|  | 准备工作: | 材料: 0.395美元/件 180g 712铝合金 | 1000 | 14.71 |
| | 工装: | 加工: 1件/h, 50美元/h 7000美元, 3型芯 | 1000 | 750.40 |

注: 1. 准备工作成本通常不计入成本核算。

2. 加工成本包含了间接费用。

(照片由 Stuart Cohen 提供。例子和数据由 Cumberland 公司 (砂铸) 和 Castronics 公司 (熔铸) 授权)

图表 13-21 转造成本例子 (砂铸 (上) 和熔铸 (下) 部件及其成本数据)

- 材料类型 (material type): 按零件分别列出。材料重量及成本包括边角料和损耗。
- 加工费 (processing cost): 随使用的生产设备而变化。包括机械工时和人工。

固定成本（准备工作和工装成本）有时独立于材料和加工费列出。此时，固定成本由所有产品分摊，单位成本计算公式：

$$\text{总的单位成本} = \frac{\text{准备工作成本} + \text{工装成本}}{\text{总产量}} + \text{可变成本}$$

考虑到成本率包括间接费用，因此上述数据适用于从供应商采购的定制零件。

加工描述

CNC 加工包括数控铣削和车削工艺。数控机床因其可自动换刀，多工作轴和可编程计算机控制而具有很高的灵活性。生产一个特定的零件，机械师需要先在电脑中编辑刀具轨迹并选择刀具。此外，夹具或其他工具的使用可以更有效率地生产多种零件。一旦程序写入并安装夹具，后续生产流程可快速进行。

注塑成型是在高压下将热塑料注入模具内，并使其冷却定型的工艺。当零件充分冷却时，打开模具，取出零件，闭合模具，这一过程循环进行。模具的复杂性很大程度上取决于零件的几何形状；undercuts（防止注塑零件射出模具的结构）利用了模具“行动”或“侧抽芯”。

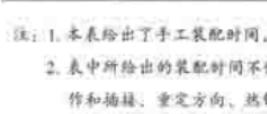
级进冲压（progressive die stamping）是将金属片或金属带通过一组模具的切割，并形成所需形状的一种工艺。虽然某些冲压件只需要切割，一般的冲压件要通过弯曲、延伸，使金属超过其屈服点，从而形成永久形变。

砂铸件是使用由母模（最终所需的形状）制作的砂模具制成的铸件。在砂中混入特殊黏合剂，使其保持形状，如此制造一次性模具。可在外部模具内装入砂芯以制造铸件的内部空腔。将融化的金属倒入模具并使之冷却。冷却后，拆掉砂模，取出金属铸件。砂铸件一般需要后续加工形成成品零件。

制造熔铸件需先用母模制作一个临时蜡模型。然后将蜡模型浸入可固化的石膏或陶瓷浆料。之后加热，使蜡融化。留下薄壳模具。再将融化的金属倒入模具，并冷却成型。金属冷却后，拆下模具取出金属零件。

上述工艺和其他工艺的详细过程描述，以及更多详细成本估算方法，可在本章列出的参考书中找到。

附录 C 装配成本

| 产品 | 零件数据 | | 装配时间(s) |
|--|--------|------|--------------|
|  | 零件数量 | 总计 | |
| | 16 | | 125.7 |
| | 零件种类 | 最慢零件 | |
| | 12 | | 9.7 |
|  | 紧固件数量 | 最快零件 | |
| | 0 | | 2.9 |
| | 零件数量 | 总计 | |
| | 34 | | 186.5 |
|  | 零件种类 | 最慢零件 | |
| | 25 | | 10.7 |
| | 紧固件数量 | 最快零件 | |
| | 5 | | 2.6 |
|  | 零件数量 | 总计 | |
| | 49 | | 266.0 |
| | 零件种类 | 最慢零件 | |
| | 43 | | 14.0 |
|  | 紧固件数量 | 最快零件 | |
| | 5 | | 3.5 |
| | 零件数量 | 总计 | |
| | 56/17* | | 277.0/138.0* |
|  | 零件种类 | 最慢零件 | |
| | 44/12* | | 8.0/8.0* |
| | 紧固件数量 | 最快零件 | |
| | 0/0* | | 0.75/3.0* |

注：1. 本表给出了手工装配时间，用相应的劳力价格即可转换为装配成本。

2. 表中所给出的装配时间不仅包括每个零件处理和插接的时间，还包括其他操作时间，如子装配件操作和插接、重定方向、热铆接等。

* 鼠标数据给出形式：总部件（包括电子部件）/机械部件。

（照片由 Stuart Cohen 提供，数据由 Boothroyd Dewhurst 公司的 DFA 软件据算得到）

图表 13-22：装配成本。普通产品的装配数据，使用 Boothroyd Dewhurst 公司的 DFA 软件计算得到。

| 零件 | 时间(s) | | | 零件 | 时间(s) | | |
|----|-------|------|------|----|-------|------|-----|
| | 最快 | 最慢 | 平均 | | 最快 | 最慢 | 平均 |
| 螺钉 | 7.5 | 13.1 | 10.3 | 销轴 | 3.1 | 10.1 | 6.6 |
| 卡勾 | 3.5 | 8.0 | 5.9 | 弹簧 | 2.6 | 14.0 | 8.3 |

(图表来源：手工装配表格，Boothroyd and Dewhurst, 1989)

图表 13-23 常见原件的典型处理和插入时间

附录 D 成本结构

| 公司类型 | 成本计算 |
|--------------------------|---|
| 机电产品制造商 (传统成本结构) | 成本 = 113% × 材料成本 + 360% × 直接人工成本 |
| 精密阀门制造商 (基于活动的成本结构) | 成本 = 108% × (直接人工成本 + 准备工作人工成本 + 160% × 材料成本 + \$27.80 × 加工机时 + \$2000.00 × 运输次数) |
| 重型设备部件制造商 (基于活动的成本结构) | 成本 = 110% × 材料成本 + 109% × (211% × 直接人工成本 + \$16.71 × 加工机时 + \$33.76 × 准备工作时间 + \$114.27 × 生产订单数量 + \$19.42 × 材料处理负载数量 + \$487.00 × 系统新添零件数量) |

注：1. 本表给出的是每次客户订单的总成本。

2. 材料成本包括原材料成本和外购件成本。

(资料来源(从上到下)：未发表的公司来源；Harvard 商学院案例；Destin 黄铜产品公司，9-190-089；John

图表 13-24 制造企业的典型成本结构

第 14 章

原 型 化



(iRobot 公司授权)

图表 14-1 iRobot 公司研发的 PackBot 机器人

军用机器人 PackBot 的制造商是 iRobot 公司。PackBot 主要用于在战场上执行危险任务。例如，在 2001 年 PackBot 协助搜寻美国“9·11”事件中的幸存者；2011 年日本的地震海啸发生后，PackBot 是第一个进入遭到破坏的福岛核电站的机器人。PackBot 还能辅助炸弹排查和除爆等。它是一种强大的军用机器人。该机器人装有多种设备，如夹子、摄像机、照明灯、声音感知器、生化和雷达探测器等。图表 14-1 显示的是一款具有胳膊、摄像机、照明灯、夹子和光纤通讯的 PackBot 机器人。图表 14-2 显示的是在陆地上马上要执行任务的 PackBot 机器人。

PackBot 可以由部队携带，抛出窗口或者直接从消防车上扔到更具有挑战性的未知地区。在开发 PackBot 过程中，iRobot 开发团队使用了不同的原型。这些原型不仅有助于迅速开发出成功的产品，而且可以保证 PackBot 在陆地上的可靠性。

本章将对原型（prototype）进行定义，解释为什么要建造原型，然后提出原型化设计实践 [292] 的几个原则，并将介绍一种制订原型化计划的方法（PackBot 将作为示例贯穿全章）。



(iRobot 公司授权)

图表 14-2 待命执行军事搜索任务的 PackBot 机器人

14.1 了解原型化

虽然“原型”在字典中仅定义为名词，但在产品开发实践中这个词可被用做名词、动词和形容词。例如：

- 工业设计人员按照他们的理念制造原型
- 工程师们原型化一个设计
- 软件开发者编写原型程序

我们将原型定义为“依据一个或多个方面的兴趣而得到的产品的近似品”(an approximation of the product along one or more dimensions of interest)。依据这一定义，能够呈现给开发团队至少一个所关注方面的任何实体(entity)均可视为一个原型(prototype，或译为“样机”)。这个定义是广义的，它包含的原型范围从概念草图、数学模型、模拟、测试元件到功能齐全的试制品。原型化(prototyping)就是开发产品近似品的过程。

14.1.1 原型分类

原型可从两个角度进行分类。第一个角度是原型的实体化 (physical) (或与之对应的解析化 (analytical)) 程度。实体化原型是可触知的制品，该制品是产品的一个近似品。开发团队所感兴趣的产品的一些方面被实体化，用于检测和试验。实体化原型包括满足视觉的外观模型，用于快速检测某一设想的概念证型原型，以及用于证实产品功能的实验型原型。图表 14-3 显示了三种用于不同用途的实体化原型。解析化原型以不可触知的（通常是数学的或图像化的）方式表示产品。它只是分析（而非制造）产品所关注的方面。解析化原型包括计算机模拟、电子表格编码方程运算、计算机三维几何建模等。图表 14-4 展示了三种不同用途的分析原型。



a) 用于顾客沟通和批准的外观模型



a) 依据用户需要制作的3D CAD透视图



b) 挤压测试中的车轮原型



b) 车轮轮辐的有限元分析



c) 在沙土中进行测试的原型

(iRobot 授权)



e) 动态仿真模型

(iRobot 授权)

图表 14-3 PackBot 机器人的实体化原型

图表 14-4 PackBot 机器人的解析化原型

第二个角度是原型的综合的（comprehensive）（或与之相对的专一的（focused））程度。综合化原型（comprehensive prototype）能完成产品的绝大多数属性。综合化原型与日常使用的样品（prototype）一词非常一致，因为综合化原型是一个全范围、全功能的产品版本。综合化原型的一个例子是 β 原型。它是在投入生产前交给消费者以识别任何可能存在的设计缺陷。与综合化相反，专一化原型（focused prototype）只履行（完成）产品的某个或某些属性。专一化原型包括用于探求产品结构的泡沫材料模型和用于探查产品设计的电子性能的金属丝缠绕电路板等。一个普遍的做法是用两个或多个专一化原型一起探查一个产品的所有性能。这些原型包括外观（looks-like）原型和工作原理（works-like）原型。通过制造两个分离的专一化原型，开发团队可以比制造一个综合化原型更早地解决问题。

图表14-5是以这两个角度为轴绘制的。几个不同类别的原型在该图表上均可表示出来。请注意，专一化原型可以是实体的，也可以是解析的；但实体产品的综合化原型一般必须是实体的。原型有时包含一个解析化元素和实体化元素的组合体。例如，PackBot用户接口的控制硬件可以与PackBot的动态运动仿真软件联系在一起。一些解析化原型可以比其他解析化原型更加“实体化”。例如，通过详细模拟PackBot构成元素的物理相互作用而产生的该装置的视频动画，在某种意义上，比采用一组方程近似描述同种机械装置的全部运动更加“实体化”。

14.1.2 原型有什么作用

在一个产品开发项目中，使用原型有四个目的：学习、沟通、集成和里程碑。

学习（Learning）：原型通常用于回答“它能否工作？”和“它满足消费者需求的程度如何？”。当回答这类问题时，原型就作为学习的工具。在开发PackBot机器人的过程中，开发团队构建了车轮轮廓几何形状的专一化实体原型，这些车轮放在一个平台上，然后以不同的高度降落来测试吸收冲击的特性和车轮的强度。图表14-5所示为几个车轮原型及一次冲击测试。在开发车轮的过程中，轮辐的数学模型被用于分析车轮的硬度和强度，这是一个以专一化的解析原型作为学习工具的例子。

沟通（Communication）：原型加强了开发团队与高层管理者、供应商、合作人、开发团队扩展成员、消费者及投资者间的沟通。这一点对实体化原型来说尤为正确：以一个可见的、能触知的三维图形来表现一个产品，比语言草图描述更易理解。在PackBot概念开发中，通过利用“可视、可感知”的原型，设计工程师、经理、供应商和顾客间的沟通得到加强。新的消费者经常对PackBot底盘过于狭小不满意。然而，实物模型清晰地展示了有限的空间。图表14-3a向早期消费者展示了PackBot的大小和PackBot胳膊配备的摄像机所能伸展的范

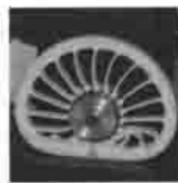
围。该模型利用立体快速原型化技术，通过组装和喷绘来展示这个产品的真实大小和外观。



图表 14-5 原型分类：原型可根据实体化程度和实现产品属性的程度进行分类

集成 (integration)：原型用于确保产品的子系统及组件能如预期的一样协同工作。综合化的实体原型在产品开发项目中作为集成工具最为有效，因为它们要求零件。各部件间协调，并与零件组成一个产品。要做出这样的原型，需产品开发团队成员相互协作。如果产品任何组件的组合妨碍了产品的整体功能，这一问题只能在综合化的实体原型中通过集成来检测。这些综合化的实体原型一般称为试验性原型 (testbed prototype)、 α 原型 (alpha prototype)、 β 原型 (beta prototype) 或试产原型 (preproduction prototype)。PackBot 的两个原型见图表 14-7。在 α 原型中，可以看到机器人中间的无线电；在 β 原型中，作为一种保护，无线电已被安装在机器人内部。对 α 的进一步测试可以对路径系统提出改进，对 α 的测试是在 β 测试之前。对 β 的进一步测试包括更广阔的地面路况，包括泥、沙子和水的测试。

原型也能帮助产品开发团队达成一致的观点 (Leonard-Barton, 1991)。产品的实体化原型，可用做销售、设计和制造者之间的沟通媒介，可协助各部门之间的沟通决策，便于达成一致。



(iRobot 授权)

图表 14-6 PackBot 机器人的车轮原型 (上) 及冲击测试 (下)

许多软件的开发，通过使用原型而将数十个软件开发人员的工作集成起来。例如微软公司使用的“每天编译”方法。即每天工作结束时，都有新版本的产品被编译出来。软件开发人员在每天的一个固定时间（如下午5：00）将他们编制的程序代码“登记”到软件中。开发小组将代码编译成新版本的软件。然后小组中的每个人都可以使用最新版本的软件，微软公司称之为“享受自己的美味”（eating your own dog food），

这种每天建立综合化原型的做法确保了开发人员的工作总是同步，并集成到一起。任何冲突一经产生就立刻被检查出来，团队不会有任何一天脱离产品的工作版本（Cusuniano, 1997）。

里程碑（milestone）：尤其是在产品开发的后期，原型用于验证产品在功能上已达到期望水平。里程碑原型提供可触知的目标，表明了进展情况，并用来加强进度安排。高层管理者（有时是顾客）经常要求在项目继续进行之前，提供一个能展示特定功能的原型。例如，许多政府在采购的时候，要求承包商在进行生产之前，必须进行原型的“合格测试”和“首件测试”。PackBot开发的重要里程碑是由美国陆军进行测试的。在测试过程中，PackBot原型从移动的车辆上扔到一个陌生的环境中。要使这一测试成功，PackBot原型系统以及用户界面不能有任何缺陷。

所有类别的原型都可用于上述四个目的，但不同目的所适合的原型类别是有区别的。图表14-8对不同类别的原型与各种目的适应关系做了总结。



(iRobot 权杖)

图表14-7 PackBot的 α 原型（左边）和 β 原型（右边）

| | 学 习 | 沟 通 | 集 成 | 里 程 碑 |
|---------|-----|-----|-----|-------|
| 专一化、解析型 | ● | ○ | ○ | ○ |
| 专一化、实体型 | ● | ● | ○ | ○ |
| 综合化、实体型 | ● | ● | ● | ● |

图表14-8 不同的原型与不同的目的相适应（● = 表示更适合，○ = 表示不太适合），
注意，完全地综合解析原型对于实体产品几乎是不可能的

14.2 原型化原理

在产品开发过程中，一些原理对指导有关原型的决策是有益的。这些原理用于指导“制造什么类型的原型”和“如何将原型编入开发计划中”的决策。

14.2.1 解析化原型一般比实体化原型更具灵活性

因为解析化原型是产品数学上的近似，它一般包含随设计修改而变化的参数。在大多数情况下，改变解析化原型的某个参数比改变实体化原型的某个属性容易得多。以 PackBot 驾驶路径的解析化原型为例，这一原型中包括一组描述电动发动机的方程，其中一个参数为延迟扭转变矩，通过改变这一参数来解方程组比在实体化原型中改变实际的发动机更容易。在大多数情况下，解析化原型不仅比实体化原型易于改变，而且也允许作更大的改变。所以，解析化原型常常优于实体化原型。解析化原型用于缩小可变参数的取值范围，而实体化原型用于微调或确定设计方案。（用解析化原型探索不同设计参数的详细例子，见第 15 章）。

14.2.2 检测不可预见现象需要采用实体化原型

一个实体化原型经常能揭示出与最初目标完全不同且不可预见的现象。产生这些奇怪现象的一个原因是，当开发团队用实体化原型进行试验时，所有的物理原理都在起作用。实体化原型可用于检测几何问题，以及热学和光学属性。实体化原型的一些伴随属性与最终产品功能无关，但可能在最终产品中表现出来。在这些情况下，一个实体化原型可作为检测不可预见的有害现象的工具。例如，在不同 PackBot 抓手涂层的张力测试中，团队发现一些具有良好握紧特性的涂层耐久性较差。相反，解析化原型无法揭示解析模型所没有映射部分的现象。因此，在产品开发尝试中，至少要建造一个实体化原型。

299

14.2.3 原型可以降低昂贵的迭代风险

图表 14-9 表明了在产品开发中风险与迭代的关系。在许多情况下，测试结果会决定一个开发任务是否需要返工。例如，如果一个浇铸件与其配合件之间的吻合性很差，这一浇铸件可能不得不重做。在图表 14-9 中，标有 30% 概率的箭头表示进行配合测试后返回重新制作模具的迭代概率是 30%。如果制作并测试一个原型可大大降低后续活动迭代的可能性（如图表 14-9 所示，成功的概率从 70% 提高到 95%），那么原型阶段就是合理的。

原型在降低风险上的预期效益，必须与建立和评价原型所需要的时间和资金进行权衡。这一点对于综合化原型非常重要。由于高成本、新技术或产品特性的重大变革，而具有高风险、不确定性的产品，可以从这样的原型中受益。另一方面，那些失败成本低和技术成熟的产品，较难从原型化过程取得降低风险的利益。大多数产品介于这两个极端之间。图表 14-10 表示了不同类型的开发项目可能遇到的各种情况。



图表 14-9 原型可以降低昂贵的迭代风险。花时间制作并测试一个原型，可帮助开发团队发现问题，如制作注射模型，否则这些问题直到代价高昂的开发环节才能暴露出来。



图表 14-10 综合化原型的使用依赖于技术或市场风险的水平及建立综合化原型的成本。

14.2.4 原型可加快其他开发步骤

有时加入一个短暂的原型化阶段可以使后续活动完成得更快。如果原型化阶段所需的时间

少于后续活动节省的时间，则这一策略（原型化）是适当的。正如图表 14-11 所示，最易发生这种情况的例子之一是模具设计过程。具有复杂几何形状部件的实体化模型可使模具设计者更快更好地细化和完成模具设计。

14.2.5 原型可重构活动的依赖关系

图表 14-12 上半部分表示了一组顺序完成的活动。有可能通过构建原型，使一些活动并行。例如，软件测试可能依赖于现有的实体电路，而不用在测试中等待生产用的印刷电路板，开发团队可以快速地生产原型（例如，一个手工的电路板），并在测试中使用它。



图表 14-11 原型在加快其他开发步骤中的作用。
花时间建造原型可更快速地完成后续
的步骤

图表 14-12 利用原型将某个任务从关键
路径上移走

14.3 原型化技术

数百种不同的技术被用来建立模型，尤其是实体化原型。近十年来出现了两种极其重要的技术：三维计算机建模（3D CAD）和自由制造（free-form fabrication）（3D 打印）。

14.3.1 3D CAD 建模和分析

自 20 世纪 90 年代以来，表现性设计的主要形式已经发生了重大变化。从草图到 3D 计算机辅助设计模型（3D computer-aided design model），即 3D CAD 模型。这些 3D 计算机模型由圆柱、块、孔等立体几何单元构造而成，能够全面地展现出实体形态。

3D 计算机建模的优点包括：三维设计的可视化能力；创建产品外观的逼真仿真图像的能力；自动计算实体属性（如重量和体积）的能力；以及根据且只根据一种标准设计描述创建图像的高效性，其他更具体的描述则可用于创建剖面图和加工设计图等。借助计算机辅助工程

(Computer Aided Engineering, CAE) 工具。3D CAD 可用于原型分析。在某些情况下还可取代一种或多种物理原型 3D 计算机模型还可以用来检测各部件之间的冲突。是分析如运动学、受力情况的基础。此时，3D 计算机模型的使用确实已经替代了某些实体化原型的使用。例如，在开发波音 777 和 787 客机时，开发团队可以不用再建造一个木制飞机原型，而以前这种原型是用来检查结构部件和其他系统（如液压线路）零件之间的几何冲突。在工业设计上，实体产品的 3D 计算机建模被称为数字模型 (digital mock-up)、数字原型 (digital prototype) 或者虚拟原型 (virtual prototype)。

3D CAD 模型也可用于多种基于计算机的分析。CAE 的形式包括热流动 / 应力分布的有限元分析、电动车的虚拟事故测试、复杂设备的运动学和动力学测试，这些形式正在变得日益复杂和精细化。在 PackBot 开发中，工程师利用有限元分析来理解在不同下滑和碰撞中的压力冲击。图表 14-13 显示的是 PackBot 3D 计算机建模的有限元分析。此外，工程师还利用基于 3D 计算机建模的有限元分析来计算热流和热能耗散。

14.3.2 3D 打印

1984 年，第一个自由制造系统由 3D System 公司推出，这种被称为光固化立体造型术 (stereolithography) 的技术与其后数十种类似技术（即直接从 3D 计算机模型中建造出实体对象），可以称之为“三维打印机”。这些技术通常称作快速原型化 (rapid prototyping)，这些技术中的大多数在建造对象时，每次只做一个横截面，如铺置一种材料或选择性地凝固一种液体。其制成品通常是用塑料做的。但也有用其他材料如石蜡、纸、陶瓷和金属制成的。这些制成品一般用来展示或用于工作原型中。当然，这些制成品也常被用作制造样品的模具。用这些模具来铸造具有特殊材料属性的部件。

自由形式制作使三维立体原型的制造更加快速且节约成本。正确使用这些原型可以缩短产品开发时间、改进最终产品。除了能快速构造工作原型之外，这些技术还可以更快、更便宜地展现产品概念，使产品概念更方便地传达给其他团队成员、高级经理、开发合伙人或潜在顾客。例如，图表 14-13 显示的是 PackBot 原型，它的制造仅用了四天时间。



(iRobot 授权)

图表 14-13 基于 3D CAD 模型建立的 PackBot 侧面部分的有限元分析。该图像显示了在后车轮冲击后的应力分布。

14.4 制定原型化计划

在产品开发过程中的一个潜在陷阱是 Clausing 所称的“机器陷阱”(Clausing, 1994)^②，该陷阱是由误导的原型化引起的，也就是说，原型（实体化或解析化）的制造和调试对产品开发项目整体目标没有做出真正的贡献。避免这一陷阱的一个方法是在尝试制造和测试原型之前，对每一原型进行仔细的定义。本章提出了用于制定原型计划的四步法，该方法适用于所有类别的原型：专一化、综合化、实体化和解析化原型。图表 14-14 给出了记录该方法所产生的信息的一个样板。我们用图表中所示的 PackBot 车轮原型和在图表 14-6 所示的冲击测试作为例来阐述这一方法。

| 原型名称 | | PackBot 车轮几何形式 / 冲击测试 |
|------|--|---|
| 目的 | | <ul style="list-style-type: none"> 基于强度和吸收冲击的特性，选择最终车轮辐几何形状和防震材料 确认车轮在遇到冲击的情况下防震的效果 |
| 近似水平 | | <ul style="list-style-type: none"> 调整车轮辐几何形状和材料 |
| 测试计划 | | <ul style="list-style-type: none"> 应用 2 种轮辐装置、6 种材料进行 12 种车轮测试 将车轮安装到测试装置上 测试从不同高度落下所产生的冲击 |
| 进度表 | | <ul style="list-style-type: none"> 8 月 1 日 选择车轮设计和材料 8 月 7 日 完成测试设备的设计 8 月 14 日 建造车轮和测试设备 8 月 15 日 部件组装完毕 8 月 23 日 完成测试 8 月 25 日 完成结果分析 |

(iRobot 授权)

图表 14-14 PackBot 车轮几何形状和冲击测试原型的计划模板

14.4.1 步骤 1：界定原型的目的

原型的四个目的是：学习、沟通、集成和里程碑。在界定原型目的的过程中，开发团队列出具体的学习与沟通需求，也列出了集成需求以及这一原型是否作为整个产品开发项目中的一个里程碑。

车轮原型的目的是决定车轮的抗震性能和安全性能。虽然学习原型的目的专注于性能，但开发团队还是要考虑材料的制造成本，其中，很多材料是不可铸造的，必须机加。

^② Clausing, Don, Total Quality Development, ASME Press, New York, 1994.

14.4.2 步骤 2：建立原型的近似水平

对原型进行计划需要确定原型与最终产品的相似程度。开发团队应考虑一个实体化原型是否必需，或一个解析化原型能否最好地满足它的要求。在大多数情况下，最好的原型是那个满足步骤 1 所设定目的的最简单原型。在某些情况下，早期模型可用于测试或根据原型的目标进行修改；在其他情况下，可借用一个现有的原型或一个为另一目的所造的原型。

对于车轮原型，团队要根据冲击效果来决定车轮的材料和几何形状。然而，车轮的其他方面可能被忽视，包括生产方法（铸模或者机加）、驾驶系统的附件和铁轨带、车轮的颜色和整体造型等。团队中一名成员先前就研究了轮辐弯曲效果的解析化原型，她认为原型的物理特征对于确认她的分析很有必要。她发现抗震效果和车轮力量之间存在一个基本的取舍关系，因为抗震需要轮辐柔韧，而车轮力量需要车轮尺寸更大。因此，团队使用解析型原型和物理原型来决定轮辐的尺寸。

14.4.3 步骤 3：制定实验计划大纲

大多数情况下，在产品开发中使用原型可以看成一个实验。好的实验有助于从原型化活动中获取最大价值。实验计划包括确认各种实验变量、测试草案、进行哪些测试的指示以及分析最终数据的计划。当必须探索许多变量时，有效的实验设计将极大地加快这一进程。第 15 章详细讨论了实验设计。

对于车轮原型测试，团队决定只改变轮辐的材料和网的几何形状。根据解析化原型，团队选择了两种样式的轮辐，每种轮辐又选择了 6 种材料，总共进行了 12 次实验。团队设计了一个结实的平台，每个车轮被安装后由不同的高度落入平台，通过观察平台的受重就可以测试车轮传递给 PackBot 的冲击力。在完成所有的实验后，相关人员会观察车轮落下的损伤，包括裂纹和塑性变形，然后再提高一个高度进行测试。这些测试的结果不仅可以用来选择最好的轮辐几何和材料，而且可以改善车轮的物理解析化原型。

14.4.4 步骤 4：制定采购、建造和测试时间表

因为建造和测试一个原型可以看作整体开发项目内的一个子项目，因此，开发团队会从制定原型化活动计划中获益。306 对于一个原型计划，有三个日期特别重要：第一，部件可装配的日期（这一日期有时被称为“部件水桶”（bucket of part）日期）；第二，原型进行首次测试的日期（这一日期有时被称为“冒烟实验”（smoke test）日期，因为在这天，开发团队将首次在产品中通电并在电器系统中“寻找烟”）；第三，完成测试并产生最终结果的日期。

车轮原型极少涉及装配问题。因此当部件就绪时，原型就可以立即装配和测试。开发团队计划用 8 天时间进行测试，用 2 天时间进行分析。

14.4.5 计划里程碑原型

上述原型计划的制订方法适用于所有原型，包括那些同车轮几何图一样简单的原型以及和整个 PackBot 一样复杂的 β 原型。此外，附加计划对开发团队的综合化原型是有益的。在概念开发阶段结束时，该计划一般与产品整体开发计划同时进行。实际上，制订里程碑日期计划是产品整体开发计划的一个组成部分（参见第 18 章）。

在其他条件相同的情况下，开发团队希望尽可能减少里程碑原型的构建，因为设计、制造和检测该种原型要消耗大量的时间和资金。然而，现实中高度工程化的产品在开发过程中的里程碑原型一般不少于两个，许多开发工作需要 4 个甚至更多。

作为一个基本情况，开发团队应该考虑用 α 原型、 β 原型或试产原型作为里程碑原型。同时，开发团队也应考虑这些里程碑原型是否必须和是否应该增加附加原型。

α 原型 (*alpha prototype*) 通常用于评价产品否能如预期那样工作。 α 原型的部件通常在材料和几何形状上与实际生产的产品部件相似，但它们一般由原型生产流程制造。例如， α 原型的塑料部件可以是机加的，而生产中它们却是浇铸的。

β 原型 (*beta prototype*) 通常用于评价产品的可靠性并识别残留的缺陷。这些原型经常交由顾客在预期的使用环境下进行检测； β 原型的部件通常由实际生产工艺制造或由预定的部件供应商供应。但是产品通常不是由预期的最终装配线组装。例如， β 原型的塑料部件可能是由生产用的注射机注压而成，并由一个技术员在原型车间装配而成，而不是由生产工人或自动化设备装配而成的。

试产原型 (*preproduction prototype*) 是第一批由完整生产工艺过程制造出的产品。这时，生产线还没有满负荷运行，只是制造有限的该种产品。这些原型用于评价生产线的能力。它们还有待于进一步测试，并通常提供给用户。试产原型有时也被称为“生产试验原型”。

对于标准原型计划，最常见的变更是删除某种原型或增加早期的附加原型。当产品与公司现有的已开发并生产的产品非常相近，或产品非常简单时，可以删除原型（通常是 α 原型）。[307] 在产品表现出新概念或新技术的情况下，增加早期原型是常有的事。这些早期原型有时被称为“实验原型”或“工程原型”，它们看起来不像最终产品，而且这些原型的许多部件不是按量产的要求设计的。

只要开发团队对原型数目、特性及组装和测试的时间初步做出决定，他们就能在项目的各个时段上安排里程碑原型。当开发团队排定里程碑原型计划表时，整个产品开发计划表的可行性将被测试。当按目标计划进行工作时，开发团队经常会发现装配和测试一个里程碑原型与设计和组装下一个里程碑原型部分重叠或极其接近。如果实践中这种部分重叠出现，那么它是“机器陷阱”的最坏表现形式。当原型化阶段重叠，从一个原型听到的东西传到下一个原型非常有限。因此，为了使剩余的原型尽快展开，开发团队应考虑省略一个或多个原型。在编制项目计划时，原型化阶段重叠是可以避免的，其方法包括：项目提早开始、推迟产品上市、删除某个里程碑原型或加速每一原型前的开发活动（关于提高开发速度的相关方法，请参见第18章）。

14.5 小结

产品开发一般都需要建造和测试原型。原型是产品的一个近似品，它是在一个或多个开发团队所感兴趣的方面与产品近似的产物。

- 原型通常从两个角度分类：实体化或解析化程度；综合化或专一化程度。
- 原型可用于学习、沟通、集成和里程碑。所有类别的原型均可用于上述四种目的，实体化原型一般最适合用于沟通，综合化原型最适合用于集成和里程碑。
- 在产品开发过程中，一些原理对原型的决策具有重要的指导意义：解析化原型一般比实体化原型更具弹性；检测不可预见现象需要实体化原型；原型可以降低迭代风险；原型可加快其他步骤的开发；原型可重构任务间的依赖关系。
- 3D计算机建模和自由形式制作减少了建立原型所需的成本和时间。
- 制定原型计划的四步骤方法：
 - (1) 界定原型的目的
 - (2) 建立原型的近似水平
 - (3) 制定实验计划大纲
 - (4) 制定采购、建造和测试时间表
- 里程碑原型在产品开发项目计划中加以确定，原型的数量和时间是编制整个研发计划的关键因素之一。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

Clausing 提出了原型方法的缺陷，包括“机器缺陷”。

Clausing, Don, *Total Quality Development*, ASME Press, New York, 1994.

Leonard-Barton 介绍了原型如何用做不同产品开发功能的集成。

Leonard-Barton, Dorothy, "Inanimate Integrators: A Block of Wood Speaks." *Design Management Journal*, Vol. 2, No. 3, Summer 1991, pp.61-67.

Cusumano 介绍了微软软件开发过程中“每天编译”方法的使用，“每天编译”方法是使用综合化原型来集成的极端例子。

Cusumano, Michael A., "How Microsoft Makes Large Teams Work Like Small teams," *Sloan Management Review*, Fall 1997, pp. 9-20.

Lipson 和 Kurman 总结了 3D 打印的方法，并预测了这项技术对社会的影响。

Lipson, Hod, and Melba Kurman, *Fabricated: The New World of 3D Printing*, John Wiley & Sons, Indianapolis, IN, 2013.

Schrage 给出了一种以原型的角色为中心的产品开发以及对创新过程中的仿真的观察。

Schrage, Michael, *Serious Play: How the World's Best Companies Simulate to Innovate*, Harvard Business School Press, Boston, 2000.

Thunke 解释了有效的原型方法和成功的创新之间的关系。他认为新技术正在改变实验经济学。而且会使产品创新过程更加精彩。

Thunke, Stefan H., *Experimentation Matters: Unlocking the Potential of New Technologies for Innovation*, Harvard Business School Press, Boston, 2003.

Kelley 和 Littman 关于产品开发过程的更大成功的 IDEO 的演说讨论了 IDEO 如何使用原型来解决问题（学习）、鼓励消费者（沟通）、让项目完成迭代过程（里程碑）。

Kelly, Tom, With Jonathan Littman, *The Art of Innovation: Lessons in Innovation from IDEO, America's Leading Design Firm*, Doubleday, New York, 2001.

309

以下两本书为普通读者提供了原型化的有趣说明。Walton 有关 1996 年 Ford Taurus 开发的书包含汽车工业原型化和验证的有趣描述。尤其有趣的是，冬天在明尼苏达州北部对加热器进行检验并以开发工程师作为对象的描述。Sabbagh 有关波音 777 开发的书包含对刹车系统、机翼强度和其他部件的有趣验证的记述。

Sabbagh, Karl, *Twenty-First-Century Jet: The Making and Marketing of the Boeing 777*, Scribner, New York, 1996.

Walton, Mary, *Car: A Drama of the American Workplace*, Norton, New York, 1997.

Wall、Ulrich 和 Flower 依据原型与其生产产品的符合度为原型质量提供了正式的定义。他们使用这一定义来评价塑料部件的原型化技术。

Wall Matthew B., Karl T. Ulrich, and Woodie C. Flowers, "Evaluating Prototyping Technologies for Product Design," *Research in Engineering Design*, Vol. 3, 1992, pp. 163-177.

Wheelwright 和 Clark 介绍了原型在产品开发项目管理中的作用，他们对于原型周期的讨论尤其有趣。

Wheelwright, Stephen C., and Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, New York, 1992.

练习

- 某家具制造商正在考虑通过切割和弯曲一种再生塑料的方法来建一个座椅生产线。请通过切割和弯曲一张纸或纸板建造一个原型。该原型至少是一种可能的椅子设计原型（你可以首先设计椅子的草图或直接用纸张开始工作）。从你的原型上你能学到哪些有关椅子设计的知识？哪些是无法从原型上学到的？
- 将练习 1 中所描述的原型放到图表 14-5 中合适的区域。产品开发团队使用这样的原型是出于四种目的中的何种目的？
- 设计一个原型化计划（与图表 14-14 中的计划类似），用于探求不同类型厨刀把手的舒适性。
- 将图表 14-3、图表 14-4、图表 14-6、图表 14-7 和图表 14-13 所描述的原型放到图表 14-5 中合适的区域，并简要解释你的理由。

思考题

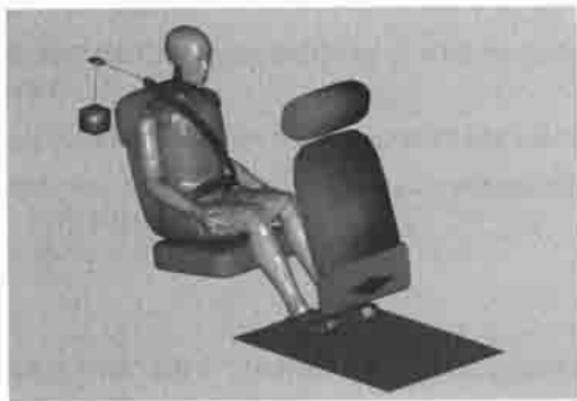
- 许多产品开发团队将“外观”原型与“工作原理”原型分开。它们之所以这样做是因为在开发早期阶段将功能和结构集成很困难。这种做法的优点是什么？这种做法对什么类型的产品来说是危险的？
- 如今，已有几项通过 CAD 文件直接制造实体化部件的技术（如光固化立体造型术和可控激光熔结术）。开发团队怎样才能在概念开发阶段应用这些快速原型化技术？这些技术是否有利于确认顾客需求、建立细则、以及生成、测试和选择产品概念？

3. 据报道，一些公司已放弃以早期原型进行顾客测试的做法。取而代之的是直接将原型迅速地投放到市场以观察实际顾客的反应。这一做法对什么类型的产品及市场可能奏效？
4. 一张图是实体化原型还是解析化原型？
5. 微软公司在软件开发中经常使用综合化原型。实际上，一些项目中有“每天编译”(daily build)，即新版本的产品每天被集成并编译。这种方法仅适用于软件产品，还是也可以用于实体产品？对实体产品来说，这种方法有什么优缺点？

311
312

第 15 章

稳健设计



(福特公司授权)

图表 15-1 后座安全带试验。该试验建立了一个仿真模型来研究多种设计参数和噪声条件

福特公司的安全工程师与供应商一起工作，以便更好地理解后座安全带的性能。在任何一个带有腰带和肩带的常规安全带系统中，如果腰带的腿部往上滑，乘客会向下滑动腰带，这样很可能给乘客的腹部造成伤害。这种被称为“滑脱”(submarining)的现象与很多因素有关，包括碰撞的特性、车辆设计、座椅和安全带的特性等。根据试验、仿真和分析，福特的工程师希望确定避免滑脱和确保乘客安全的最关键因素。图表 15-1 所示的图像描述了福特公司进行仿真分析所用的模型。

本章介绍一种设计并开展试验以提高产品性能的方法。该方法甚至在不可控的变化出现时仍可以保持产品的性能。这种方法称为稳健设计(robust design)。

15.1 什么是稳健设计

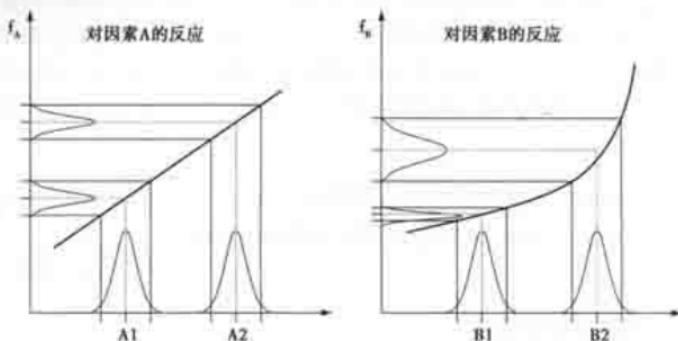
我们把稳健(robust，或译为“鲁棒”)的产品(或过程)定义为：即使在制造工艺或操作环境不稳定的非理想条件下，仍能按预定方式工作的产品(或过程)。我们使用噪声(noise)这一术语来描述可能影响性能的不受控变化。一个高品质的产品应该对噪声因素表现得很稳健。

稳健设计(robust design，也称为健壮设计、鲁棒设计)是一种在提高产品预期性能的同时使噪声影响达到最小的产品开发活动。在稳健设计中，我们利用试验设计和数据分析为可以控制的设计参数确定稳健设定点。稳健设定点(robust setpoint)是一系列设计参数值的组合，当操作条件和制造环境在一定范围内变化时，具有这些参数值的产品仍能达到预期的性能指标。

稳健设计从概念上很好理解。对于一个给定的性能目标(如安全地拉住乘客)存在着许多参数值组合可以达到预期效果，然而在这些组合中，某些组合对不受控变化颇为敏感。由于该产品的工作环境中可能存在各种噪声因素，我们当然希望选择对不受控变化最不敏感的参数值组合。稳健设计过程正是通过试验设计的方法来确定这些稳健设定点。

要理解稳健设定点的概念，让我们考虑影响安全带性能的两个假设因素，如图表 15-2 所示。假设因素 A 对性能产生线性影响 f_A 、因素 B 对性能产生非线性影响 f_B 。进一步，我们可以为各个因素选择设定点：为因素 A 选择 A1 或 A2，为因素 B 选择 B1 或 B2。假设 f_A 和 f_B 的影响是累积的，同时 (A1, B2) 组合产生的总体性能与 (A2, B1) 组合产生的总体性能大致相同。由于制造条件的变化将出现在任何选定的设定点上，所以，两个因素的实际值可能都不会精确地等于设定值。由于在 B1 附近因素 B 的非预期波动产生的影响 f_B 的波动较小，所以在 B1 上，因素 B 的非预期波动对产品总体性能的影响也相对较小。因此，(A2, B1) 这

一组合所确定的设定点比(B2, A1)组合更加稳健。



图表 15-2 影响安全带某性能指标的两个假设因素：稳健设计探索非线性关系，以确定对变化不敏感的产品性能的参数设定点。在本例中，对因素 A 所选择的值不影响稳健性，然而对因素 B 选择的值却影响稳健性。选择 B1 将降低因素 B 的变化对整体性能的影响

稳健设计过程可用于产品开发过程的多个阶段。与大多数产品开发项目一样，在产品开发过程中越早考虑稳健性，产生的稳健性就越好。稳健性试验在概念开发阶段可以作为完善规范和设定可行的性能目标的手段。虽然在概念设计阶段越早考虑稳健性越好，不过，作为在变化的条件下确保产品性能的手段，稳健性试验通常被用在详细设计阶段。在详细设计中，因为稳健设计是为可控的设计参数选择正确设定点的活动，所以称为参数设计 (parameter design)，这些参数包括产品材质、尺寸、公差、制造工艺，以及操作指令等。

对许多工程设计问题来说，通过求解建立在基本物理原理上的方程就可以选出稳健参数。然而，对真实条件下产生的各种不确定性、变化和噪声因素，工程师一般无法进行完全建模，而且，他们对许多工程问题建立精确地数学模型的能力也是有限的。比如，在各种条件下对滑脱问题进行精确建模就是很困难的。在这种情况下，通过特意设计的试验进行经验性研究就很有必要了。这样的试验可以用来直接支持决策制定，也可以用来提高数学模型的精度。

例如，在座椅安全带设计中，福特的工程师希望测试一系列安全带设计参数和碰撞条件。然而，撞击测试是非常昂贵的，所以福特与其安全带供应商合作开发了一个用撞击试验数据校准过的仿真模型。考虑到存在着几百种可能的设计参数组合、碰撞条件和其他影响因素，工程师们决定通过仔细规划的试验来开发这个仿真模型。虽然仿真需要大量的计算工作，但是它仍然让福特的工程师在各种条件下进行了几十次试验，这是真实的撞击试验不可能做到的。

对福特座椅安全带设计团队来说，通过这些精心设计的试验要获知：

- 哪种座椅、安全带和固着参数的组合会使撞击中后座乘客的滑脱最小？
- 不受控条件如何影响滑脱？哪种设计参数组合对这些噪声最稳健？

15.1.1 试验设计

本章基于试验设计（Design Of Experiment, DOE）的方法给出稳健设计方法。在试验设计中，开发团队首先确定可控的参数和他们感兴趣的噪声因素，然后，团队将设计、实施并分析这些试验，以确定达到稳健性能的参数设定点。

20世纪五六十年代，日本的 Genichi Taguchi 博士开发了多种应用 DOE 的技术来提高产品质量和制造工艺。随着 20 世纪 80 年代质量运动的开始，Genichi Taguchi 的试验设计方法开始对美国的工程实践产生冲击，特别是福特公司、施乐公司、AT&T 贝尔实验室以及美国供应商协会（American Supplier Institute, ASI，该协会由福特公司创办）。

为开发稳健的产品和工艺过程，Genichi Taguchi 提出了试验设计的几个关键思想，并因此获得了荣誉。这些贡献包括向试验中引入噪声因素以观察其影响，以及使用包括预期性能（信号）和干扰影响（噪声）在内的信噪比（signal-to-noise ratio）指标。虽然几十年来统计学家一直在指导工程师如何开展试验，但是直到 20 世纪 90 年代 Genichi Taguchi 的方法被广泛引入美国制造业后，试验设计才是普遍采用，以到达最终的稳健设计。

然而，DOE 并不能替代所研究系统的技术知识。实际上，团队必须利用其对产品本身及其工作原理的理解，来选择要通过试验进行研究的恰当的参数。试验结果不仅应该与系统的知识结合在一起，以便选择最优的参数设定点，而且还应该用来建立描述产品功能的更佳数学模型。从这一角度考虑，试验设计补充了技术知识。例如，福特的工程师将安全带性能建模为乘客体型和碰撞类型的函数。这些模型使得福特的工程师可以确定机械零件的尺寸和安全带固着机构的几何形状。基于经验数据和仿真数据，福特的分析模型和安全带设计指导方针就会越来越精确，从而减少非常耗时的经验分析和仿真分析。最终，这种技术知识会积累到一定程度，即只需要进行新的安全带配置确认测试即可。

产品开发中基本的试验设计与分析可以由开发团队成功策划并实施。然而，DOE 领域中还有许多先进方法用于处理大量复杂因素，并能产生很多有意义的试验结果。所以，开发团队应咨询那些可以协助设计试验并帮助选择最佳分析方式的统计学家或 DOE 专家，并从中获益。

15.1.2 稳健设计的过程

利用 DOE 开发一个稳健的产品，我们建议采用以下 7 步：

- (1) 识别控制因素、噪声因素和性能指标
- (2) 构造目标函数
- (3) 开发试验计划
- (4) 开展试验
- (5) 进行分析
- (6) 选择并确认因素设定点
- (7) 反思和重复

15.2 步骤 1：识别控制因素、噪声因素和性能指标

稳健设计从确定 3 个集合开始：试验中的控制因素、噪声因素和性能指标。

- **控制因素 (control factor)**：在试验中以受控方式变化的设计变量，以便在参数设定点的许多组合下探究产品性能。一般为每个因素确定 2~3 个离散水平（即设定点值）。由于这些参数是产品制造和操作中给定的量，故称其为可控制因素。例如，织带的韧性和摩擦系数就是本试验要考察的可控制因素。
- **噪声因素 (noise factor)**：在产品制造和操作中无法明确控制的变量。噪声因素可能包括制造环境的变化、材料性能的变化、不同使用场合或操作条件，甚至包括产品老化和错误操作。如果开发团队通过特殊方法可以在试验中（不是在制造或使用中）控制这些因素，那么对它们进行有意识的变动就可以评估其影响。否则，团队只能任由噪声在试验中产生，然后分析在典型变化中出现的结果，并设法使这种变化影响最小。对安全带来说，座椅形状和座椅外套就必须视为噪声因素，设计安全带系统的目的就是不管这些因素的值如何变化，安全带都能良好工作。
- **性能指标 (performance metric)**：它们是在试验中希望考察的那些产品指标。通常以 1~2 个关键的产品指标作为性能指标开展试验，以便寻找控制因素设定点来优化该性能。这些指标可以从稳健性最受关注的指标那里直接导出（见第 6 章）。例如，碰撞中乘客的背部或臀部向前移动的量，就是安全带试验中可能的性能指标。

对于安全带设计问题，开发团队召开了一次会议以列出控制因素、噪声因素和性能指标。正如 Genichi Taguchi 所指出的那样，他们把这些因素放在一张图中，称为参数图 (parameter

diagram), 或称 p- 图 (p-diagram), 如图表 15-3 所示。

317

在列出各种因素之后, 团队必须决定试验中预考察的因素有哪些。如果怀疑有多种参数潜在地影响性能, 那么通过使用分析模型和通过对每个因素的两个水平进行筛选试验 (screening experiment), 就可以大大缩小关键变量的选择范围。接着, 对这些确信将显著影响性能的较少的参数, 在它们的两个或更多的水平上进行更精细的试验。

福特工程师给出了用于设计座椅安全带的参数图 (见图表 15-3), 在 3 个固着点的几何位置保持不变的条件下, 让试验集中考察 7 个安全带参数。他们决定采用 “背部角度峰值” (在最大束缚瞬间乘客背部与垂线所成的角度) 作为输出指标。背部角度是一个越小越好的性能指标, 单位为弧度。



图表 15-3 用于设计座椅安全带试验的参数图: 黑体内容表示需进一步研究的性能指标。
控制因素和噪声因素:

试验中主要考虑 3 个噪声因素的影响: 座椅形状、针织外套类型, 以及碰撞的严重程度。通过初步分析, 开发团队找到了这些噪声因素针对滑脱的最佳及最差组合。这 3 个噪声因素接着被组合到两个极端的噪声条件中, 以便开展试验。这种称为复合噪声 (compounded noise) 的方法在必须考虑许多因素时很有帮助 (见步骤 3)。

15.3 步骤 2: 构造目标函数

试验的性能指标必须转换为与预期稳健性能相关的目标函数 (objective function)。在稳健设计中可以采用不同的目标函数来度量不同的性能类型。它们可以构造成为求最大或最小值的函数, 包括:

[318]

- **最大化 (maximizing)**: 这种类型的函数用于值越大越好的性能指标, 比如在安全带打滑之前的最大制动。其目标函数 η 的一般形式是 $\eta = \mu$ 或 $\eta = \mu^2$, 其中 μ 代表在给定测试条件下试验观察值的平均值。
- **最小化 (minimizing)**: 这种类型的函数用于值越小越好的性能指标, 比如在制动峰值时的背部角度。其目标函数 η 的一般形式是 $\eta = \mu$ 或 $\eta = \sigma^2$, 其中 σ^2 是在给定测试条件下试验观察值的方差。此外, 这种最小化目标函数可以用最大化函数构造, 比如 $\eta = 1/\mu$ 或 $\eta = 1/\sigma^2$ 。
- **目标值 (target value)**: 这种类型的函数用于值越接近某个预设点或目标, 则性能指标越好。比如安全带在束紧之前的松弛程度。这种目标函数的最大化形式一般是 $\eta = 1/(\mu - t)^2$, 其中 t 是目标值。
- **信噪比 (signal-to-noise ratio)**: 这种函数专门用来度量稳健型。Genichi Taguchi 构造的这种指标是一个以预期响应为分子, 以响应的方差为分母的比值。一般来说, 预期响应的均值 (比如背部角度的平均峰值) 可以通过改变控制因素来调整。我们把应该最小化的响应方差 (即噪声响应, 如由于噪声条件而导致的背部角度的方差) 放在分母上。实际上, 降低响应的方差比改变均值要困难。通过计算该比值, 可以突显出稳健因素设定, 也就是说在该设定上相对的噪声响应比信号响应要低。这种目标函数的最大化形式一般是 $\eta = 10\log(\mu^2/\sigma^2)$ 。

与开发团队共同研究此问题的福特统计学家提出了两个目标函数: 背部角度的平均峰值, 以及背部角度峰值的变化范围 (即在被测的两种噪声条件下, 最大和最小背部角度峰值的差值)。这是两个都应该最小化的目标函数。综合考虑这两个指标比单独考虑某一个指标, 更能深入地洞察系统的行为。

15.4 步骤 3: 开发试验计划

统计学家已经制定了多种有效的试验计划。这些计划用来部署如何在一系列试验中, 通过改变因素水平 (factor level), 即控制因素的值及某些可能的噪声因素的值来考察系统的行为。某些 DOE 计划对刻画特定类型的系统非常有效, 而有些计划则能提供更详尽的分析。

15.4.1 试验设计

在设计试验时需要考虑的一个关键问题是准备并实施这些试验的成本。成本较低时, 可以进行大量试验并利用具有较高分辨率的试验设计来考察许多因素、因素组合以及它们之间的交互关系。而当试验成本较高时, 可以采用一次同时改变几个因素的高效率 DOE 计划。下面

列出了一些最常见的试验设计方法。图表 15-4 也给出了这些试验设计方法，每种设计方法都有其重要用途。

全因子矩阵

| A1 | | | | A2 | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|
| B1 | | B2 | | B1 | | B2 | |
| C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E1 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |

1/2部分因子矩阵

| A1 | | | | A2 | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|
| B1 | | B2 | | B1 | | B2 | |
| C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 |
| F1 G1 | x | | | | | | x |
| E1 G2 | x | x | | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F1 G1 | x | | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |

1/4部分因子矩阵

| A1 | | | | A2 | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|
| B1 | | B2 | | B1 | | B2 | |
| C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 |
| F1 G1 | x | | x | x | | x | x |
| E1 G2 | x | x | | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |

1/8部分因子矩阵

| A1 | | | | A2 | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|
| B1 | | B2 | | B1 | | B2 | |
| C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 |
| F1 G1 | x | | | | | | x |
| E1 G2 | x | x | | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |

L8 正交阵列 (1/16部分因子矩阵)

| A1 | | | | A2 | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|
| B1 | | B2 | | B1 | | B2 | |
| C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 | D1 | D2 |
| F1 G1 | x | | | | | | x |
| E1 G2 | x | x | | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |

单因子轮换试验法

| A1 | | | | A2 | | | |
|----------|----|----|----|----|----|----|----|
| B1 | | B2 | | B1 | | B2 | |
| C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| D1 | D2 | D1 | D2 | D2 | D1 | D2 | D1 |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E1 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F1 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |
| F2 G1 | x | x | x | x | x | x | x |
| E2 G2 | x | x | x | x | x | x | x |

(图表来源: Fractional factorial layouts adapted from Ross, 1996)

图表 15-4 包含 7 个因素 (A、B、C、D、E、F、G) 2 个水平的几种可选试验计划。全因子试验包含 $2^7=128$ 次试验，而 L8 正交设计仅包含在矩阵中用表示的 8 次试验，如图表 15-5 中常规的行 / 列格式所示。该 L8 正交设计就是座椅安全带试验中使用的方法。

- 全因子设计 (full factorial): 这种设计对每个因素各个水平的所有组合进行系统考察。这就使开发团队可以确定所有的多因素交互影响，以及每个因素对性能的影响。这类试验一般仅适用于因素和因素水平都很少，以及试验费用不高的情况（比如软件的快速

仿真，或者柔性很高的硬件）。对 k 个因素的 n 个水平进行考察。全因子试验的实施次数为 n^k 次。因此，多于 4~5 个因素时，不适合采用全因子试验。

- 部分析因设计 (fractional factorial)：这种设计只使用上述组合的一小部分。为提高效率，就不计算所有交互影响的大小了。因此，一些交互影响混杂在另一些交互影响中，或与主因素的影响混合。需要注意的是，在试验计划时，部分因子的分布仍要保持平衡 (balance)，这意味着对于在任何给定因素水平上进行的若干试验来说，其余各个因素在每一水平上测试次数要相同。
- 正交试验 (orthogonal array)：一种最小的部分析因设计，它仍然可以使团队确定每个因素的主要影响。然而，这些主要影响混杂在许多交互影响中，不过，因为这种方法的极高效率，它仍被广泛用于技术考察。虽然统计学家们几十年前就提出了这种方法，并且这种设计的根源可以追溯几个世纪，然而，Genichi Taguchi 推动了正交阵列 DOE 法的普及。正交规划根据陈列中行（试验）的数目命名为 L4、L8、L9、L27……依次类推。本章附录给出了几种正交试验计划。
- 单因子试验法 (one factor at a time)：这是一种不平衡的试验计划，因为每次测试只有一个因素不处于公称水平 (nominal level，或译为“正常水平”)(第一次测试时所有因素均处于公称水平上)。尽管其测试次数只有 $1+k(n-1)$ 次，通常认为该方法是探索因素空间效率很低的一种方式。然而实践证明，对具有深度交互影响的系统进行优化时，一种改进的“单因子试验法”通常比正交规划的效率更高 (Frey 等, 2003)。

福特开发团队决定采用 L8 正交试验设计，因为在考察 7 种因素，每种因素具有 2 个水平的情况下，这种规划是一种效率很高的方法。如果必要，还可以进行后续试验以考察关键参数的更多水平及其交互影响。图表 15-5 给出了该正交试验计划。

| 因 素 | 描 述 |
|-----|----------------------------------|
| A | 安全带织物刚度：编织物的屈服特性，由拉伸试验机测量 |
| B | 安全带织物摩擦：摩擦系数，它是编制方法和表面覆盖层的函数 |
| C | 大腿束带拉力限制器：在一定的拉力水平下允许不受安全带控制 |
| D | 上锚固点的刚度：上锚固 (D 型环) 所固着位置的结构的服从特性 |
| E | 卡扣固定索的刚度：用来将卡扣固定在车绳上的钢索的柔韧度特性 |
| F | 后排座靠背衬垫：后排乘客膝关节可能接触的靠背的形状和刚度 |
| G | 卡扣舌片摩擦：在安全带上滑动的卡扣舌片的承载部分的摩擦系数 |

图表 15-5 因素分配和安全带所用的 L8 正交试验设计。该 DOE 计划在两个水平上测试 7 个因素。每一列在两个复合噪声条件下被重复两次，产生 16 个供分析的测试数据点。

15.4.2 测试噪声因素

试验中考察噪声影响的方法有很多种。如果试验中某些噪声可以控制，那么就有可能直接评估这些噪声因素的影响；如果噪声在试验中不可控，我们允许噪声自然地变化。我们只简单地评估存在这些噪声时产品的性能。测试噪声因素的一般方法如下。

- 在正交设计或部分析因设计中，为噪声因素分配附加的列，其实质上就是把噪声当作一个变量。这将可以同时确定噪声因素的影响与可控制因素。
- 对噪声因素使用外阵列（outer array）。这种方法对主阵列（内阵列）的每一列都测试噪声因素的几种组合。附录给出了这种方法的一个例子。其外阵列包含了一个 L4 设计，通过把每一行复制 4 次从而测试 3 个噪声因素的组合。
- 重复执行每一行，使噪声在试验中以一种自然的、非受控的方式发生变化，从而产生每一行的可被测量的性能变化。在这种方法中，尤其重要的是随机测试，以使噪声中的任何趋势都不会与可控制因素中的系统变化相关联（见步骤 4）。
- 用复合噪声（compounded noise）重复执行每一行。在这种方法中，选定的噪声因素组合在一起产生几种具有代表性的或极端的噪声条件。这种方法还将产生每一行的可以测量的变化，这种变化是由噪声效应引起的。

福特的开发团队决定在座椅安全带试验中使用复合噪声方法。该团队用三个噪声因素的两种组合（分别代表最好和最差的情况）测试每一行，这就导致了针对 L8 DOE 计划的 16 次试验（见图表 15-5）。

15.5 步骤 4：开展试验

开展试验时，产品在由试验计划的每一行所描述的各种处理条件下接受测试。进行试验的次序必须随机，以确保试验过程中的任何系统趋势都不与各因素水平所导致的系统变化发生关联。例如，如果 L8 设计的试验不随机，测试条件随时间变化的话，由于因素 A 在试验进程中发生了改变，那么这种影响将被错误地归结到因素 A 上。对某些试验来说，改变某些因素可能很困难，以至于对该因素的每个水平进行的测试要同时进行，从而只能实现部分随机化。在实践中，只要有可能就要随机地开展试验；若不可能完全随机时，应采用确认的试验验证结果（见步骤 6）。

在安全带试验中，L8 设计中的 8 种因素组合在两个复合噪声条件下进行测试。图表 15-6 中 N- 和 N+ 两列给出了包含背部角度数据在内的 16 个数据点。

| | A | B | C | D | E | F | G | N- | N+ | 平均值 | 范围 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.3403 | 0.2915 | 0.3159 | 0.0488 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0.4608 | 0.3984 | 0.4296 | 0.0624 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0.3682 | 0.3627 | 0.3655 | 0.0055 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0.2961 | 0.2647 | 0.2804 | 0.0314 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0.4450 | 0.4398 | 0.4424 | 0.0052 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0.3517 | 0.3538 | 0.3528 | 0.0021 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0.3758 | 0.3580 | 0.3669 | 0.0178 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0.4504 | 0.4076 | 0.4290 | 0.0428 |

图表 15-6 从座椅安全带试验获得的数据

15.6 步骤 5：进行分析

对试验数据进行分析的方法有很多。除进行最基本的分析外，开发团队最好咨询 DOE 专家，或者参考有关统计分析和试验设计的优秀书籍。本节对最基本的分析方法做了总结。

15.6.1 计算目标函数

假设开发团队已经构造出了该试验的目标函数，并明确了有关性能均值和方差的目标。有时，可以将该均值和方差以信噪比的形式结合并表达为一个单独的目标。目标函数值的计算是针对试验的每一行进行的。对安全带试验来说，图表 15-6 中表格右边的各列给出了对每一行计算得到的目标函数的值（平均背部角度和背部角度范围）。这两个目标函数都要求最小化。

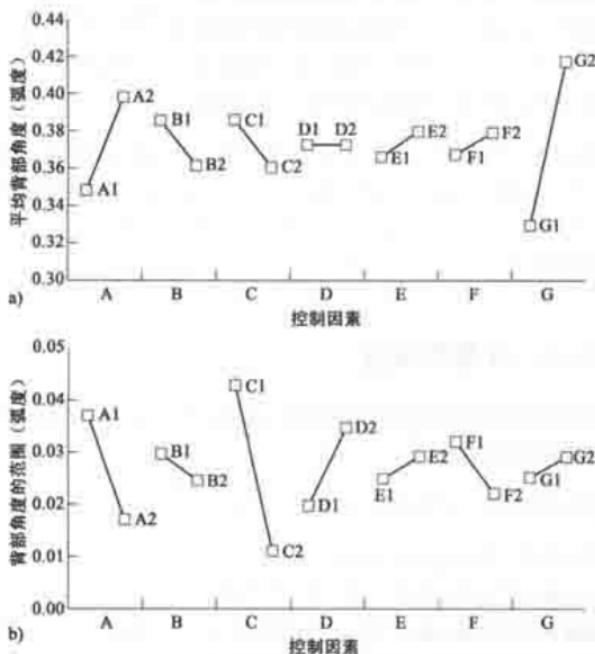
321
323

15.6.2 用均值分析法计算因素影响

最直接的分析只能计算出试验中分配到每一列的每个因素的主要影响，这些主要影响被称为因素影响 (factor effect)。均值分析 (analysis of means) 包含对每个因素水平计算所有目标函数的平均值。在上述 L8 DOE 例子中，因素水平 A1 (因素 A 的第一个水平) 的影响是第 1、第 2、第 3、第 4 次测试的平均值。与之相似，因素水平 E2 的影响是第 2、第 4、第 5、第 7 次测试的平均值。均值分析的结果一般绘制在因素影响图中。

图表 15-7 给出了座椅安全带的因素影响图。这些影响是针对每个目标函数绘制出的。图表 15-7a 显示了每个因素水平上的平均性能 (average performance, 即第一个目标函数)，表明哪些因素水平可以用来提高或降低平均性能。我们知道，背部角度峰值是要被最小化的，并且，该图表表明因素水平 [A1 B2 C2 E1 F1 G1] 将使平均背部角度最小 (因素 D 看上去对平

均性能没有影响)。然而,这些水平并不一定带来稳健的性能。图表 15-7b 根据每个因素水平上的性能范围 (range of performance, 即第二个目标函数) 绘出。该图表表明因素水平 [A2 B2 C2 D1 E1 F2 G1] 将使背部角度峰值的范围最小化。



图表 15-7 座椅安全带试验的因素影响图

Taguchi 建议绘出每个因素水平上的信噪比,以便确定稳健设定点。由于信噪比包含了性能均值(分子)和性能方差(分母),所以它代表了这两个目标的一种结合或者两者之间的折中。许多工程师和统计学家并不特意绘出信噪比,而更愿意把这两个目标放在一起进行解释,以便更好地控制折中。为此,图表 15-7 给出的两个图可以相互比较,以便进一步选择稳健设定点。

15.7 步骤 6: 选择并确认因素设定点

均值分析和因素影响图可以帮助开发团队找出哪些因素会对性能均值和方差产生强烈影响,从而明确如何得到稳健的产品性能。这些图可以帮助确定哪些因素能最好地降低产品方

差（稳健因素），哪些因素可以用来提高性能（比例因素）。因此，通过选择设定点，开发团队应该可以提高产品的总体稳健性。

例如，考虑试验中因素 A 对背部角度均值和范围的影响。图表 15-7 表明，水平 A1 可以使背部角度最小化，而水平 A2 可以使背部角度的范围最小化，即代表了性能和稳健性之间的折中。因素 F 中类似的折中也很明显。然而，对因素 B、C、D、E 和 G 来说却没有这种折中，并且水平 B2、C2、D1、E1 和 G1 能同时使两个目标最小化。

考虑用因素 B、C、D、E 和 G 来获得期望的稳健性。用因素 A 和 F 来提高性能。福特工程师选择了设定点 [A1 B2 C2 E1 F1 G1]。通常，所选择的设定点不是试验中测试过的 8 行正交阵列之一。假如该设定点未曾经过测试，那么应该进行一次确认试验，以保证该设定点确实达到了预期的稳健性能。

15.8 步骤 7：反思和重复

要确定合适的稳健设定点需要进行多次试验。然而，有时进一步优化产品的性能是值得的，这需要进行几次额外的试验。

在随后的试验和测试中，开发团队可能进行如下工作：

- 重新考虑各因素的设定点，以平衡性能和稳健性。
- 探索某些因素之间的交互作用，以便进一步提高性能。
- 用已被测试的水平之间或范围之外的值来细致调整上述参数设定点。
- 考察其他的未包含在最初试验中的噪声和控制因素。

324
325

像所有的开发活动一样，开发团队应该反思 DOE 过程和稳健设计结果。如：试验正确吗？得到的结果满意吗？还能更好吗？我们是否应该重做以进一步提高性能稳健性？

15.9 附加说明

试验设计法是一门严谨的专业技术。本章仅概述了一个非常基本的方法，目的是促进试验设计法在产品设计中的使用，以获得稳健的产品性能。产品开发团队应该包含经过 DOE 训练的成员，或者具有咨询试验设计与分析方面专业工程师和统计学家的畅通渠道。

很显然，许多假定条件已经决定了 DOE 中采用的分析类型。解释均值分析时做出的一

一个基本假定是各因素相互独立，没有交互作用。实际上，大多数系统中存在很多因素的交互作用，但这些交互作用经常小于主要影响。要核实这一假定，需要在选定的设定点上进行确认试验。

如果需要，可以设计专门测试交互作用的试验，这种试验超出了本章的范围。DOE 测试提供了许多考察因素之间交互作用的方法，包括：

- 在正交阵列的某列中考察某特定的交互作用（而不是用该列所针对的某个可控制因素）。
- 实施更大的部分析因设计。
- 使用一种改进的单因子试验计划 (Frey et al,2003)。

还有许多先进的图解法和解析技术可以用来解释试验数据。方差分析 (Analysis Of Variance, ANOVA) 提供了一种根据在数据中得到的试验误差来评估因素影响的方法。ANOVA 综合考虑由试验中的自由度决定的观察量以及结果的取值范围这两个因素，以确定每种影响在统计上是否显著。这将帮助确定详细设计应该在多大程度上以试验结果为依据。然而，ANOVA 需要做更多的前提假设，并可能很难恰当地设置试验，所以它也超出了本章的范围。就 ANOVA 问题，请参考 DOE 教材 (Ross, 1996; Montgomery, 2007) 或咨询 DOE 专家。

15.10 小结

稳健设计是创建稳健产品和工艺的一整套工程设计方法。

- 一个稳健的产品（或工艺过程）在噪声影响的情况下也能正常工作。噪声是由各种影响性能的不受控变化造成的，比如制造波动、操作条件以及产品老化等。326
- 为开发稳健的产品，我们给出了一种基于试验设计的方法。稳健设计的 7 步过程是：
 - (1) 识别控制因素、噪声因素和性能指标
 - (2) 构造目标函数
 - (3) 开发试验计划
 - (4) 开展试验
 - (5) 进行分析
 - (6) 选择并确认因素设定点
 - (7) 反思和重复
- 正交试验提供了一种有效方法，用于考察试验中每个选定因素的主要影响。
- 为达到稳健设计，使用目标函数可以帮助获得由每个控制因素产生的平均性能，以及

由噪声因素导致的性能变化。

- 均值分析和因素影响图可以帮助选择稳健参数设定点。
- 由于成功运用 DOE 涉及许多具体的方法，所以开发团队应该向 DOE 专家进行咨询。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

Phadke 提供了大量 DOE 应用的范例和建议。Ross 重点讲述用 ANOVA 分析得出的深刻认识。几本教材讲解了开展试验设计的 Genichi Taguchi 法，以及正交试验规划的细节，其中包括译成英文两本经典教材。

Phadke, Madhav S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

Ross, Phillip J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1996.

Taguchi, Genichi, *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization (trans. And pub.), Tokyo, 1986.

Taguchi, Genichi, *System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs*, two volumes, Louise Watanabe Tung (trans.), White Plains, NY, 1987.

Grove 和 Davis 介绍了工程中开展试验设计的技巧，包括试验的计划、实施和分析。该教材对福特的座椅安全带试验进行了另一种解释，并分析了稳健设计在汽车上的许多应用。
[327]

Grove, Daniel M., and Timothy P. Davis, *Engineering Quality and Experimental Design*, Addison Wesley Longman, Edinburgh Gate, UK, 1992.

几本优秀教材提供了使用统计方法、部分因子分析试验计划、分析和图解以及响应面法等的详尽解释。

Box, George E. P., J. Stuart Hunter, and William G. Hunter, *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, second edition, John Wiley and Sons, New York, 2005.

Box, George E. P., and Norman R. Draper, *Empirical Model Building and Response Surfaces*, John Wiley and Sons, New York, 1987.

Montgomery, Douglas C., *Design and Analysis of Experiments*, eighth edition, John Wiley and Sons, New York, 2012.

当前的研究又重新关注“单因子试验法”DOE 计划。一种改进的“单因子试验法”已经表明，对于交互作用比噪声和误差效应更显著的系统，它可以比相应的正交设计产生更好的

性能优化。

Frey, Daniel D., Fredrik Engelhardt, and Edward M. Greitzer, "A Role for one-Factor-at-a-Time Experimentation in Parameter Design," *Research in Engineering Design*, 2003, Vol.14, No.2, pp.65-74.

DOE 可用于产品开发的许多方面。Almquist 和 Wyner 表明在评价销售和调整销售活动的参数时，精心设计的试验非常有效。

Almquist, Eric, and Gordon Wyner, "Boost Your Marketing ROI with Experimental Design," *Harvard Business Review*, Vol.79, No.9, October 2001, pp.135-141.

练习

1. 设计一个试验，以确定冲泡咖啡的稳健过程。
2. 解释为什么图表 15-4 所示的 1/4 部分因子计划和正交计划是平衡的。
3. 为座椅安全带试验构造一个合适的信噪比，用该指标分析试验数据。在本案例中，信噪比是一个有用的目标函数吗？为什么？

思考题

1. 如果你能负担一次大型试验（多次试验）的费用，如何最有效地利用额外的试验？
2. 什么时候不选择随机地开展试验的顺序？如何防止偏移（bias）？
3. 解释平衡在试验计划中的重要性。

328

附录 正交试验

DOE 测试为试验提供了几种正交试验计划。最简单的阵列可用于具有二级水平或三级水平的因素。利用先进技巧，还可以针对混合的二级、三级和（或）四级水平的因素以及在其他特殊情况下创建 DOE 计划。本附录给出的是从 Taguchi 的教材《质量工程概述》(Introduction to quality engineering, 1986) 中引用的一些基本正交阵列。这些计划以行列的格式表达，因素水平分布在各列中，而试验场次分布在各行中。单元格里的数字 1、2、3 等表示因素的水平

(另一种方式，对二级水平来说，因素水平可以标记为-和+；对三级水平，可以标记为-、0和+)。由15.4可知，正交阵列是根据设计中行的数量命名的。这里给出的是二级阵列L4、L8和L16，以及三级阵列L9和L27。另外还给出针对7个控制因素采用L8内阵列。针对3个噪声因素采用L4外阵列的DOE计划。该计划允许对3个噪声因素的影响进行分析。

2水平正交阵列

L4: 3因素2水平

| | A | B | C | | A | B | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 |

L8: 7因素2水平

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

[329]

L16: 15因素2水平

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |

(续)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 15 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 16 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |

3水平正交阵列

L9: 4因素3水平

| | A | B | C | D | | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 7 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | | | | | |

[330]

L27: 13因素3水平

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 17 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |

(续)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 19 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 20 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 21 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 22 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 23 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 24 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 25 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 26 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 27 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |

[331]

内外部阵列的结合

L8×L4：两个水平上的7个可控因素和3个噪声因素

| | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | 2 | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 2 | Nb |
| | A | B | C | D | E | F | G | 1 | 2 | 2 | 1 | Nc |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | | | |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | | | | |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | | | | | |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | | | | | |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | | | | | |

[332]

第 16 章

专利和知识产权



图表 16-1 David W. Coffin 发明的热饮料杯隔热套

发明人 David Coffin 开发了一种能使手持热饮料杯更舒适的隔热套产品概念和原型（如图表 16-1 所示）。该产品的机会出现于 20 世纪 80 年代，当时许多食品零售商停止使用聚苯乙烯泡沫塑料热饮杯。而改用纸杯。该发明人希望把他的发明商业化并取得发明许可证，同时对他创造的知识产权进行保护。本章概述了产品开发环境中的知识产权，并提供了关于准备发明披露或临时专利申请的具体指导。

在产品开发环境中，知识产权（intellectual property）一词是指受法律保护的与新产品相关的构想、概念、名称、设计和工艺等。知识产权可能是企业最具价值的资产之一。与实物产权不同，知识产权不能用锁和钥匙来担保以防止非法转移。因此，人们建立各种法律机制以保护知识产权拥有人的权利。这些机制的目的是激励和奖赏那些创造新的、有用发明的人，同时也为社会的长远利益而促进信息的传播。

16.1 什么是知识产权

与产品设计和开发相关的知识产权有 4 种，图表 16-2 给出了各种知识产权的分类。虽然有些领域有重复，并且一件产品可能同时拥有这 4 种知识产权，但一件特定的发明通常只属于这些类型中的一个。

- 专利 (patent)：专利是政府向发明人授予的暂时垄断权，以排除他人使用该发明。在美国，专利有效期自其存档日期起共 20 年。本章主要讨论专利。



图表 16-2 与产品设计和开发相关的知识产权的分类

- 商标 (trademark)：商标是政府授予商标拥有的、与一类产品或服务相关的特定名称或标志的排他性使用权。在产品开发环境中，商标通常是品牌或产品名称。例如，JavaJacket 就是纸杯隔热套的商标，并且 JavaJacket 公司以外的其他公司都不能在没有授权的情况下使用 JavaJacket 这个词来称呼他们自己的杯套产品。在美国，商标登记是保护商标权利的途径之一。在大多数其他国家，商标的权利是通过登记注册获得的。
- 商业秘密 (trade secret)：商业秘密是用于贸易或商业业务，使其拥有者具有竞争优势，可以被保密的信息。商业秘密不是由政府授予的权利，而是一个组织机构为防止其专有信息扩散而采取警戒措施所产生的结果。最著名的商业秘密可能就是可口可乐饮料的配方了。
- 版权 (copyright)：版权是政府授予的复制和传播某原始作品的排他性权利。包括文字、图形、音乐、艺术、娱乐、软件等。版权可以登记，但并不是必要的。在作品进行第一次实质性发表时，版权就产生了，并将延续 95 年。

本章主要讨论专利。本章附录 A 简要讨论商标，我们在这里不重点讲述版权和商业秘密，但在本章最后列出几个获得其他资源的参考文献。

16.1.1 专利概述

与大多数工程化产品相关的专利有两种：设计专利 (design patent) 和实用新型专利 (utility patent)。还有一种专利适用于植物。设计专利提供了一种法定权利，可以排除其他人用与设计专利中描述的相同的装饰性设计来生产和销售一件产品。设计专利可以被看成是一件产品装饰性设计的“版权”。由于设计专利仅限于装饰性设计，所以对大多数工程化产品来说，设计专利的价值非常有限。因此，本章主要讲述实用新型专利。

世界上大多数国家的专利法是从英国法律演化而来的，所以，不同国家的专利法大体是相似的。本章以美国专利法为参考，想要获得其他国家专利的读者，应当仔细研究当地国家的法律。

334
335

16.1.2 实用新型专利

美国法律允许为与下列事物有关的发明申请专利：新工艺、机器、制品、合成物，以及对上述事物新的和有用的改进。幸运的是，这些范畴几乎囊括了新产品所呈现的所有发明。需要注意的是，在软件中体现的一些发明有时也被授予专利，但这样的发明通常被描述为流程或机器。图表 16-3 展示了 Coffin 发明的隔热套专利的首页。

另外，法律要求被授予专利的发明应具有如下特点。

- 实用 (useful)：被授予专利的发明必须在某种情况下对某些人有用。



| United States Patent [19] | [11] Patent Number: | 5,205,473 |
|--|----------------------|-------------------------------------|
| Coffin, Sr. | [45] Date of Patent: | Apr. 27, 1993 |
| [54] RECYCLABLE CORRUGATED BEVERAGE CONTAINER AND HOLDER | 2,969,901 | 1/1961 Behrens |
| [75] Inventor: David W. Coffin, Sr., Fayetteville, N.Y. | 3,237,834 | 3/1966 Davis et al..... 229/1.3 B |
| [73] Assignee: Design By Us Company, Philadelphia, Pa. | 3,779,157 | 12/1973 Ross, Jr. et al..... 53/527 |
| [21] Appl. No.: 854,425 | 3,785,254 | 1/1974 Mann |
| [22] Filed: Mar. 19, 1992 | 3,899,761 | 6/1975 Ernst et al. |
| [51] Int. Cl..... B45D 3/28 | 3,908,523 | 9/1975 Shikay |
| [52] U.S. Cl.: 229/1.5 B; 266/813; 220/441; 220/DIG. 36; 229/1.5 H; 229/DIG. 2; 493/296; 493/997 | 4,080,886 | 3/1978 Shikay |
| [38] Field of Search..... 229/1.5 B; 1.3 H; 4.5; 229/DIG. 2; 220/441; 671; 717-739; DIG. 36; 493/287; 296; 907; 908; 209/8; 47; 215; 266/813 | 4,146,660 | 3/1979 Hall et al. |
| [56] References Cited | 4,176,034 | 11/1979 Kelley |
| U.S. PATENT DOCUMENTS | 5,009,324 | 4/1991 Reavers et al. |
| 1,732,322 10/1929 Wilson et al..... 220/DIG. 36 | 5,092,485 | 3/1992 Lee |
| 1,771,765 7/1926 Benson | | 229/1.3 B |
| 2,266,828 12/1941 Sykes | | |
| 2,360,473 11/1943 Wiskle | | |
| 2,563,815 3/1950 Harman | | |
| 2,617,549 11/1952 Egger | | |
| 2,641,402 6/1953 Brunn | | |
| 2,661,889 12/1953 Whitney | | |

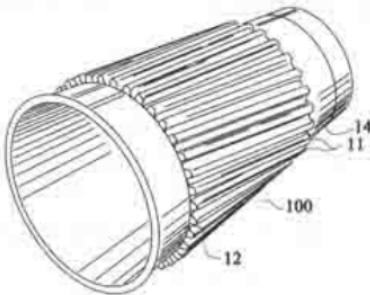
"The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology", John Wiley & Sons, pp. 66-69, 1986.

Primary Examiner—Gary E. Elkins
Attorney, Agent, or Firm—Sternvestoff & Lachner

[57] ABSTRACT

Corrugated beverage containers and holders are which employ recyclable materials, but provide fluting structures for containing insulating air. These products are easy to hold and have a lesser impact on the environment than polystyrene containers.

18 Claims, 8 Drawing Sheets



图表 16-3 U. S. Patent 5 205 473 的首页

- 新颖 (novel): 新颖的发明是还没有公开的，在现有产品、出版物或先前专利中未见的发明。新颖性的定义还与实际发明的披露有关。在美国，一件要申请专利的发明不得在专利提交日期一年前的时间里公开披露过。
- 非易见性 (nonobvious): 专利法对显而易见的发明的定义是，与发明人面临同样问题的、具有“所属领域中的通常技艺”的人都清楚知晓的发明。

实用性很少成为获得专利的障碍，然而对一件发明新颖性和非易见性的要求，是获得专利最主要的阻碍。

大约 2/3 的专利申请最后成为发布的专利 (issued patent)。然而，发布的专利并不一定是有用的 (valid)。竞争对手可能在将来的某些时候在法庭中对一项专利提出异议。一件专利的

有效性由专利描述的充分性以及发明与先有技术相比的新颖性所决定，当然还有其他一些因素。其实只有很小一部分专利（在美国每年几百件）在法庭上受到质疑。而且，近年来在受到质疑的专利中，有一半被裁定为有效。

与一件专利相关的发明人，是指独自或其他发明人合作，实际创造该发明的人。在一些案例中，发明人也是该知识产权的拥有人。然而在大多数情况下，专利授予（assigned）一些其他实体，通常是发明人的雇主。与一件专利相联系的实际知识产权属于专利的拥有人，而不一定属于发明人（本章附录B对有意商业化其发明的个人发明人提供了一些建议）。

专利拥有人有权排斥其他人使用、制造、销售或进口侵权产品。这是一种诉讼权利（offensive right），即专利拥有人可起诉侵权人。与专利相联系的还有防御性权利（defensive right）。专利中描述的任何发明，不管是不是要求权利的一部分，都被司法系统认作是公开知晓的事物，并被看成先有技术（prior art）的一部分。这种披露是一种防御性行为，以阻止竞争对手对已披露的发明申请专利。

16.1.3 准备披露书

本章主要讨论准备发明披露书（invention disclosure）的流程——实质上这是对一项发明的详细描述。这种披露应符合专利申请的格式。它既可以用作临时专利申请，也可以稍加修改用作普通专利申请。可以由一位专利代理律师来完成本章描述的大部分内容，专利代理律师甚至要经常做这种工作。即使在大多数情况下，一位专利代理律师会校订披露书以准备正式的专利申请，我们仍然相信让发明人起草详细的披露书，是传达发明人知识的最好方式。虽然根据本书提供的指导，许多读者都可以完成一件临时专利申请，但本章并不能代替出色的法律建议。正在认真考虑商业化机会的发明人，应该在准备披露书之后咨询专利律师。

336
337

该流程的步骤是：

- (1) 制定策略和计划
- (2) 研究先前的发明
- (3) 概述权利要求
- (4) 撰写发明描述
- (5) 精炼权利要求
- (6) 进行申请
- (7) 对结果和过程进行反思

16.2 步骤1：制定策略和计划

在专利策略和计划的制定中，一个产品开发团队必须决定提交专利申请的时机、申请的类型以及申请的范围。

16.2.1 专利申请时机

从法律意义上讲，一件美国专利的申请必须在发明首次公开披露一年以内提交。在世界上大多数其他地方，一件专利的提交必须在任何公开披露之前，或在提交申请美国专利一年以内。而且美国专利申请的提交要在公开披露之前。在大多数情况下，公开披露是指向没有保守发明秘密义务的一个人或一群人描述该发明。这种披露的例子有：在杂志或期刊上发表该发明、在商务展览上展示一件产品、在公众可进入的网站上发表该发明，或试销一个产品（大多数专家认为，发明的课堂演示不算公开披露，只要班级成员都同意保守发明秘密，同时非班级成员不出现在班级中）。我们强烈建议发明人在进行任何公开披露之前首先提交专利申请。这项法令确保了提交国际专利的选择权可以保留一年。幸运的是，用很少的费用就可以提交临时专利申请，以保障这些权利。

虽然我们建议在公开披露之前提交申请，但发明人通常觉得最好是推迟申请，使申请仅仅略早于公开披露。尽可能延长等待的主要好处是，发明人可以对该发明及其商业化获得尽可能多的知识。在创新过程中逐步进行的改进经常要比在创新早期发明人所认为的关键性特征更重要。通过等待，可以确保发明人在专利申请中抓住发明最重要的元素。然而，等待导致的风险是其他人也可能申请同一项发明专利。

[338]

在包括美国在内的大多数国家，专利申请的优先级都基于申请日期而不是发明日期。如果两个发明家同时竞争一项发明，会优先考虑第一份文件。从历史上来看，美国法律曾经是根据发明的日期优先考虑的。美国现行的法律与世界上大多数国家的法律一致。法律的细微差别之处在于，如果一个发明者公开披露了一项发明，这个发明不再是竞争者的观点，他们不能获得所披露的发明专利，这就防止了竞争者竞相申请新披露的发明专利。发明披露人在信息公开一年内有申请专利的权利。

16.2.2 专利申请类型

一个开发团队面临两种专利申请的类型选择。首先，开发团队必须决定是提交普通专利申请（regular patent application），还是临时专利申请（provisional patent application）。其次，开发团队必须决定是申请本国专利还是外国专利。

在 1995 年美国专利法进行充分修改以前，普通专利申请是发明人的唯一选择。根据美国目前的专利法，发明人可以提交临时专利申请。临时专利申请只需要对发明详尽描述，不需要包括权利要求，也不需要符合普通专利申请的正式结构和语言。临时专利申请在准备和提交时所需要的费用和精力少于普通专利申请，却在一年的期限内保留了进一步提交专利的所有选项。一旦提交了临时专利申请，一个公司就可以标识其产品为专利申请中（patent pending），并在不超过一年的期限内保持提交外国专利和普通专利申请的权利。临时专利申请唯一的本质缺点是，它将专利的最终发布推迟至多一年，因为专利申请的审查过程必须在提交普通专利申请之后才开始。另外，临时专利申请的预备性本质有可能导致在准备发明描述时，不如在正规专利申请中那么仔细。在临时专利申请中发明描述必须是完备的，并且在随后的正规专利申请中不能包含临时专利申请中没有描述的特征。

提交国际专利昂贵且复杂。开发团队应该就国际专利策略咨询专业人士。因为各国的专利法是不同的。为获得外国的专利权，申请必须最终提交至获批专利权的各个国家（不过对提交专利申请来说，欧共体是作为一个实体运行的）。外国专利申请可能很昂贵，在某些国家可能要花费 15 000 美元用于提交、翻译以及专利代理。

通过提交专利合作条约（Patent Cooperation Treaty, PCT）申请，对外国专利的提交费用可以推迟支付，一般推迟 30 个月。一份 PCT 申请在一国（比如美国）提交，却是获得外国专利过程的开始。PCT 申请的提交费用只比普通专利申请高一点，却在向专利申请国交付申请费用之前留出了相当长的延迟时间。

临时专利申请和 PCT 申请为小公司或个人发明人提供了一种机制，使其用相当少的费用就可以保留大部分专利权利。一种典型的策略是，在发明进行任何公开披露之前提交一个临时专利申请；在一年之内向美国专利局提交一份 PCT 申请；在未来某个时刻（通常为一年或者更长）被迫实施或放弃申请时，再进行外国专利的实际申请。这种策略为实质性的法律和交付申请费用留出了两年甚至更长的延迟时间。在这段时间中，开发团队可以评估使用该发明产品的真正商业潜力，并预测更广范围的专利保护的价值。339

16.2.3 专利申请范围

开发团队应该估计产品设计的总价值，并确定哪些要素体现了有可能获得专利的发明。通常该回顾流程将产生一个列表，列出开发团队认为新颖和非易见的要素。开发团队应集中考虑那些阻止竞争的实质性要素，它们通常体现了开发团队的观念中针对类似问题无法公开知晓的实质改进要素。

复杂的产品通常包含了多项发明。比如，一台打印机可能包含了新颖的信号处理方法和送纸技术。有时这些发明在专利系统中属于彼此不同的类别（class），其结果就是开发团队需要提交对应相关发明类别的多个申请。对于简单的产品或者只包含一种发明的产品，一个专利申请通常就够了。在很难决定是否把一个申请分成多个部分时，最好咨询专利律师。然而，即使提交的是一件包含多种发明类别的专利申请，所有的知识产权都将保留。在这种情况下，专利局将告知发明人，其专利申请必须分开进行。

在确定专利范围的同时，开发团队还要考虑谁是发明人。发明人是发明过程中具有实质性贡献的人。就专利法来说，发明人的定义是主观的。例如，一位仅进行实验的技师一般不会被列为发明人。但一位进行了实验并对装置中观察到的问题提出了解决办法的技师就可以考虑作为发明人。在专利申请中，对列出的发明人的数量是没有限制的。我们认为，产品的开发和发明通常是集体努力的结果，并且许多参与概念生成和后续设计活动的团队成员可以考虑列为发明人。不列出发明人的名字，可能导致专利被裁定为无效。

16.3 步骤 2：研究先前的发明

研究先前发明，即所谓的先有技术（prior art）主要有三个原因。第一，通过研究先前的专利文献，开发团队可以获知一项发明是否侵害已有的未到期专利。虽然对侵害已有专利的发明申请专利并没有法律上的限制，但如果任何人在没有许可的情况下制造、销售或使用侵害了已有专利的产品，该专利的拥有人可以为遭受的损失提起诉讼；第二，通过研究先有技术，发明人可以知道他们的发明与先前的发明有多少相似性，从而估计获得专利的可能性有多大；

[340] 第三，开发团队可以掌握背景知识，以便其成员起草新颖的权利要求。

在产品的开发过程中，大多数团队会逐渐积累各种关于先前发明的参考文献。关于先前发明的一些信息源包括：

- 现有的和以前的产品文献
- 专利检索
- 技术和贸易出版物

可以用网上索引来检索专利。要找出大多数相关专利，简单的关键词检索就足够了。对开发团队来说，保留包含他们检索到的先有技术的文档是非常重要的。在提交专利申请之后不久，这一信息也要提供给专利局。

在图表 16-1 所示的 Coffin 的杯套专利中，引用了 19 项其他的美国专利和一本书（发明人

和专利审查人引用的参考文献列在专利的第一页。Coffin 专利的第一页被复制为图表 16-3)。例如，在 Coffin 专利引用的先有技术中有一项 1930 年 Benson 的专利 (1771765：“防水纸质容器”)，其纸质杯衬由瓦楞形托架隔热。Benson 的专利描述了一种装在杯衬下方，吻合杯衬底部的托架。这是 Coffin 的发明专利描述为在顶端和底端具有开孔的圆管的一个原因。

16.4 步骤 3：概述权利要求

一件专利的发布将赋予其拥有人排除他人侵犯权利要求的法定权利。权利要求描述发明的特定特征，它们是用正式的法律用语写出的，并且必须符合一定的行文规范。在步骤 5 中我们将描述正式的法律用语。不过在准备披露书的过程中，开发团队应该仔细考虑哪些是该发明的独特之处。因此，我们建议开发团队概述其权利要求。此时不必顾虑法律上的精确性。开发团队应列出一个表，阐明开发团队认为其发明独特而有价值的特征。例如，对 Coffin 的发明，其权利要求主要包括：

- 采用瓦楞波纹作为隔离物，可体现为多种形式
 - 在圆管内表面上的瓦楞波纹
 - 在圆管外表面上的瓦楞波纹
 - 夹合在两层片状材料之间的瓦楞波纹
 - 瓦楞槽的竖直方向
 - 瓦楞槽在托架的顶端和底端开口
 - 具有三角形波纹截面的瓦楞波纹
 - 具有正弦形波纹截面的瓦楞波纹
- 两端开口的管状形式
 - 形状为截断圆锥
- 可回收材料
 - 可回收胶黏剂
 - 可回收薄板
 - 纤维素材料
 - 可生物降解的胶黏剂
 - 可印刷的表面
 - 托架可沿两条折叠线作扁平折叠

权利要求概述就发明应该对什么事物进行详细描述提供了指导。

16.5 步骤4：撰写发明描述

专利申请的大部分内容被称为说明书 (specification)。为了避免与我们在本书中使用的规格 (specifications) 一词发生混淆，我们称专利申请的这一部分为描述 (description)，因为这是申请中实际描述发明的部分。该描述必须详细展现发明，使具有“该领域常规技艺”的人（即在与该发明相同的基本领域中具有通常技艺和能力的普通参与者）都能操作该发明。该描述还应是一份提升本发明价值、凸显现有解决方案不足的推销文件。专利申请将由专利审查人（检索并研究先前专利的人）审阅。发明描述必须说服专利审查人，发明人开发了有用的、与以往发明不同的、非易见的某种东西。从这些方面来说，我们可以把发明想象成是关于该发明的技术报告。虽然发明披露或临时专利申请并没有严格的形式要求，不过专利申请确实存在着一些常规格式。

专利法要求，专利申请必须讲述 (teach) 足够的细节，以便“拥有本领域技能”的人操作该发明。例如，在 Coffin 的专利中，发明人披露用于黏接瓦楞槽的胶黏剂是“一种可回收的、最好是可生物降解的胶黏剂，比如 Fasson 公司出品的 R130 胶黏剂”[⊖]。对某些习惯于视发明为秘密的人来说，对专利细节的描述是违反常规的。专利法要求发明人披露他们对发明所拥有的知识；作为交换，专利法授予他们在一定时期内排斥其他人使用该发明的权利。这种要求反映了专利系统中一种基本的关系：向发明人授予暂时的垄断权，以换取最终任何人都可获得并使用的信息公布。

典型的发明描述包含以下要素。

- **名称：**对发明提供一个简短的描述性标题。比如“可回收瓦楞形饮料容器与托架”。
- **发明人名单：**必须列出所有的发明人。只要某人创造了在申请中提出的发明，他就应被列为发明人。对发明人的数量和排名没有法定限制。名单中缺少任何发明人，都可能导致专利被裁定为无效。
- **发明领域：**解释该发明与什么类型的装置、产品、机器或方法相关。例如，Coffin 的专利写到“本发明关乎隔热容器，特别是可回收、由纤维素材料制成的隔热容器”。[⊖]
- **发明背景：**叙述该发明所解决的问题。解释这些问题的背景、已有解决方法的缺点、为什么需要一种新的解决方法以及本发明所提供方法的优点。
- **发明概要：**这一节应该用简易的形式展现该发明的本质。概要可以指出该发明的优点

[⊖] Coffin, David W., Recyclable Corrugated Beverage Container and Holder, United States Patent 5,205,473, April 27, 1993.

[⊖] 同上。

以及它如何解决背景中所描述的问题。

- **绘图的简要描述：**列出所描述的绘图，以及对每张绘图的简要说明。例如，“图 10 是一种期望装置的轴测图，以剖视的形式展示了内瓦楞部分”。
- **发明的详细描述：**这一部分通常是最详细的，包含了本发明具体装置的详细描述以及对这些装置是如何工作的解释。下面给出了对详细描述的进一步讨论。

16.5.1 附图

正式的附图必须符合各种关于标识、线型、图形要素种类等的规范。然而，对一份发明披露或临时专利申请来说，非正式绘图就足够了，手绘或 CAD 绘图就很好了。在提交了普通专利申请之后，专利局将要求正式绘图，这时就有必要雇用一位专业的绘图员以准备绘图的正式版本。足够多的绘图可以清晰表明在所考虑的预期装置中发明的关键要素。像杯套这样的简单发明将需要 5—15 张绘图。

图中显示的特征可以用文字（比如“外层”）标识，但在准备普通专利申请时，开发团队可能从一开始就希望在绘图中使用参考号（reference numeral）。没有规定参考号必须连贯，所以对首次出现在图 1 中的特征一般使用的参考号为 10、11、12……对首次出现在图 2 中的特征则使用 20、21、22、……编号依此类推。这样，在一张图中添加编号不会影响另一张图中编号的使用。出现在不同图中的同一个特征必须使用相同的参考号，所以有些编号将在不同的图中多次出现。

16.5.2 撰写详细描述

详细描述刻画了该发明的具体实现（embodiment）。一个具体实现是当前所主张的发明的一种物理实现。专利法要求专利申请必须描述优先选择的具体实现（preferred embodiment），即实施该发明的最好方式。一般来说，一个详细描述被分成许多段落，每个段落根据其物理结构描述该发明的一种具体实现，并解释该具体实现如何工作。

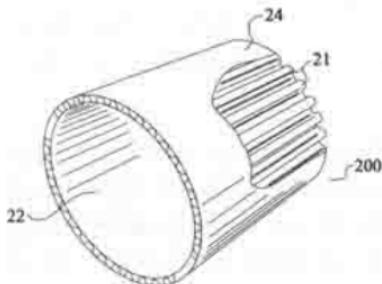
撰写详细描述的一种很好的策略是：首先，给出该发明的各种具体实现的图；接着，标识绘图中具体实现的各个特征并解释这些特征的布置，从而描述该具体实现；最后，解释该具体实现如何工作，并解释为什么这些特征对此项功能是重要的。对详细描述中所有的具体实现重复上述步骤。

343

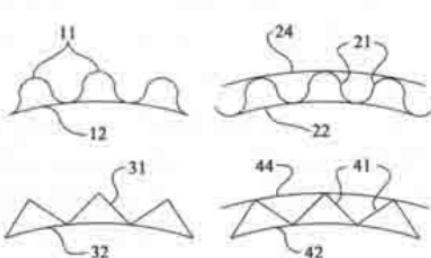
考虑从 Coffin 专利中摘录的图 10（如图表 16-4 所示）。详细描述可能包含类似下述语言：
本发明的一种优先选择的具体实现如图 10 所示。一个村里表面 22 和一个外覆表面 24 夹

合着瓦楞21。该整体200形成了一个圆管形，其直径随长度发生线性变化，从而形成一段截面圆锥。光滑的外覆表面24提供了一个光滑表面，在其上可以印刷图案。瓦楞21用可回收的胶黏剂与外覆表面24和衬里表面22黏接在一起。

详细描述还应该给出本发明其他可供选择的具体实现。例如，在Coffin的专利中，发明描述了产生隔热空气层的瓦楞槽。在一种优先选择的具体实现中该瓦楞槽由光滑的波纹构成，从而形成光滑表面以便在套筒上印刷图案。另一种可供选择的具体实现是在圆管的一个或两个表面上具有三角形瓦楞或片层材料。这些可供选择的具体实现详细描述中刻画，并展现在各个图中（如图表16-5所示）。



图表16-4 从Coffin专利中摘录的图10
(Coffin, David W., Recyclable Corrugated Beverage Container and Holder, United States Patent 5 205 473, April 27, 1993.)



图表16-5 从Coffin专利中摘录的表明发明的各种不同实现方式的图6a、6b、7a和7b (Coffin, David W., Recyclable Corrugated Beverage Container and Holder, United States Patent 5 205 473, April 27, 1993.)

16.5.3 防御性披露

专利的一个主要好处是它赋予专利拥有人诉讼权利（offensive right）。也就是说，专利拥有人有权阻止其他人实施该发明。然而，专利还给出了一种微妙的机制，以便开展防御性（defensive）行动。一项专利将被看成是先有技术，所以专利中出现的发明不能在将来申请专利。因此，不管发明的范围多么的宽泛，发明人披露他们所考虑的每一项与所主张的发明相关的知识，都将使发明人从中获益，这可以在详细描述中进行。尽管这些发明可能不会反映在专利的权利要求中，但他们的披露将变成先有技术的一部分，从而阻止其他人对其中申请专利。这种防御性策略可以在新兴技术领域提供竞争优势。

16.6 步骤 5：精炼权利要求

权利要求用许多短语来精确地定义该发明的本质要素。权利要求是所有专利诉讼权利的基础。一项专利的拥有人只能阻止其他人实施权利要求中所描述的发明。专利申请的其余部分本质上是权利要求的背景和环境。

16.6.1 撰写权利要求

虽然权利要求必须用言辞表达，但它们也必须符合严格的数学逻辑关系。几乎所有的其权利要求都以递归表达的方式构造，形如

$X = A + B + C + \dots$ ，其中 $A = u + v + w + \dots$ ， $B = \dots$

用言辞表达就是：

X 由 A 、 B 和 C 组成，其中 A 由 u 、 v 和 w 组成， B 由……

注意，权利要求必须符合一些用词惯例。组成 (comprising) 一词的意思是“包含但不限于”。并且几乎总是用作表达式中的等号。在权利要求中第一次命名一个要素（比如，衬层 (liner sheet)）时，发明人写明“一个”，如“由一个衬层组成”。一旦这个要素被命名，则绝不会以“该衬层”指代它，而总是用“上述衬层”指代它。在权利要求中以后使用“衬层”时都是如此。这些惯例一旦学会就不难记住。准备披露书的发明人不需要太担心语言的正式和准确（专利律师随后会校订文本的）。准备正式的专利申请时，这些语言很容易校正。

344
345

多重权利要求按上下等级分为独立的 (independent) 权利要求和附属的 (dependent) 权利要求。独立权利要求单独生效，并构成权利要求等级的根基节点。附属权利要求总是在一个独立权利要求上附加进一步的限制。附属权利要求一般的撰写格式为：

发明的权利要求 N ，进一步包含 Q 、 R 和 S ……

或

发明的权利要求 N ，其中上述的 A ……

附属权利要求本质上继承了它所依附的独立权利要求的所有特性。实际上，用它所依附的独立权利要求的言辞插入并替代引导短语“发明的权利要求 N ”，就可以完整地读出一个附属权利要求。

附属权利要求很重要，因为专利局可能认为独立权利要求显著或者不够新颖而将其驳回。

却认可一项或多项附属权利要求。在这种情况下，报审的专利材料仍保留，原先的独立权利要求可以删除，而把原先的附属权利要求重新写为独立权利要求。

权利要求的各个要素形成逻辑与的关系。要侵权一个权利要求，一个装置必须包含该权利要求所主张的全部要素。如果一件竞争性产品打算使用，比如说只是该权利要求中的3或4个要素，那么它就没有侵权。

下面是从 Coffin 的专利中摘录的例子（略做改动）[⊖]。

权利要求 1

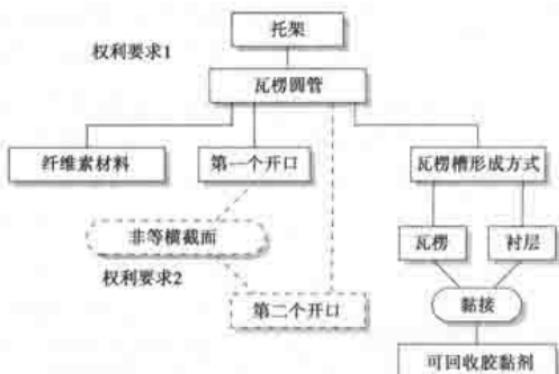
一种饮料容器托架，包括一个由纤维素材料制成的瓦楞圆管元件和至少一个位于其上的用于接受并容纳一个饮料容器的开口。上述瓦楞圆管元件包括用于容纳隔热空气层的瓦楞槽形式，瓦楞槽形式包括用可回收胶黏剂粘接在衬层上的瓦楞槽。

权利要求 1 是一项独立权利要求。权利要求 2 附属于权利要求 1。

权利要求 2

权利要求 1 中的托架，在圆管元件上还包含另一个开口，与上述开口具有不同的截面尺寸。

该权利要求符合图表 16-6 所示的逻辑结构。



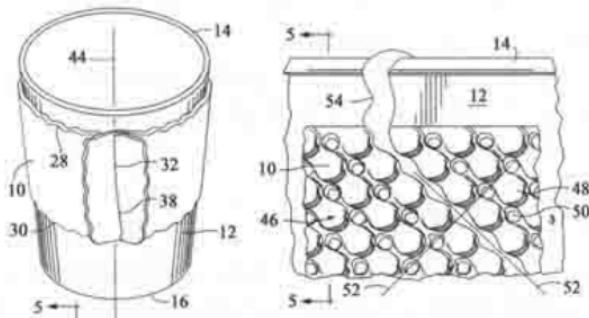
图表 16-6 Coffin 专利中权利要求 1 和 2 的逻辑结构。注意，权利要求 2 依赖于权利要求 1，并只是添加了额外限制——上下两个开口之间的关系。

[⊖] Coffin, David W., Recyclable Corrugated Beverage Container and Holder, United States Patent 5,205,473. April 27, 1993.

值得强调的是，权利要求由其要素以逻辑与关系形成。权利要求 1 针对一个托架，它包括以下这些要素：

- 瓦楞圆管
 - 由纤维素制成
 - 上面有第一个开口
 - 具有瓦楞形式
 - 由黏接在衬层上的瓦楞构成
 - 使用可回收胶黏剂

如果一个竞争性纸杯托架没有包含上述每一个要素，那它就不侵犯该权利要求。所以，如果它是由聚苯乙烯制成，那它就没有侵犯该权利要求（不是纤维素材料）。在 Coffin 申请专利后不久，Jay Sorensen 也提交了专利申请。Sorensen 的专利是具有麻点表面的杯托架（见图表 16-7）。由于该专利不包括“瓦楞形式”，所以它不侵犯 Coffin 的专利。Sorensen 的权利要求包含下列内容（略做改动）。



图表 16-7 从 Sorensen 专利中摘录的图 (U. S. Patent 5 425 497, “具有麻点表面的纸杯托架”)

权利要求 4

一个杯托架包含一个带状材料，形成一个顶部开口和一个底部开口，通过上述两个开口一个杯子可以插进来。且上述托架的内表面与上述杯子紧密在一起。在上述带状材料的整个内表面上，分布着大量离散的、相互隔开的、大约呈半球形状的压痕，每个压痕形成上述带状材料上的一个非接触区，从而在带状材料和杯子之间建立了一个空气层，降低了通过上述托架传导热量的速率。②

② Sorensen, Jay, Cup Holder, United States Patent 5, 425, 497, June 20, 1995.

通过比较 Coffin 和 Sorensen 的发明，至少可以得出两个启示。第一，专利一般只能提供相对有限的商业优势。在本案例中，通过发明具有麻面而不是瓦楞的杯托架，Sorensen 可以避免侵犯 Coffin 的专利。实际上，这两个发明都成功地应用在商业产品上了，但没有哪个专利能提供完全的保护以避免竞争；第二，发明人应该倾全力设想尽可能多的可能实现该发明功能的方式和途径。在本案例中就是隔热层，如果 Coffin 想到了有麻坑的表面，那么他的专利申请就包括这种特征了。最好的情况是，麻坑发明可以构成在他的专利中附加权利要求的基础。最坏的情况是，在专利申请中关于麻坑表面的描述可以被看成先有技术，从而阻止 Sorensen 获得专利（但它并不能阻止 Sorensen 和其他人实施麻坑发明，除非该发明主张了权利要求）。

16.6.2 编写权利要求的指导原则

有几条指导原则对编写权利要求是很有帮助的。编写好的权利要求是需要技巧的，所以我们建议发明人在润色专利申请时聘请一位有经验的专利律师。

- 尽可能地概述权利申请。当使用特定的限制词时，力图使之概括化。比如，Coffin 的专利提到的是“圆管状组成”，而不是“圆管”。
- 通过使用像“几乎”“基本上”“大约”这样的词来避免绝对化的定义。
- 自己尝试创建一个不侵犯权利要求草案的发明，然后重写权利要求或添加额外的权利要求，从而使假设的发明与之抵触。

16.7 步骤 6：进行申请

在大多数情况下，发明人会把申请稿交给一位专利律师或其他知识产权专业人士进行修改和正式申请。如果预算非常紧张，那么以个人身份提交专利申请也是可以的。Pressman 对此提供了详细的指导（Pressman, 2008）。注意，法定的要求在管理上是非常复杂的，所以我们强烈建议商业产品的开发团队预留一位胜任的专家，以向专利局进行申请。

一旦发明披露书准备好了，开发团队可以根据业务背景下的特定行动方案进行申请。主要有以下 4 种方式。

- 开发团队可以提交临时专利申请。个人或小公司可以提交临时专利申请，申请费不到 100 美元。这种申请只需要包含发明描述，不需要符合正规的专利申请格式。一旦提交了临时申请，一个产品就可以标识为“专利申请中”。如果开发团队希望进行普通专利申请，那么该申请必须在提交临时申请之后的一年内提交。因此，临时专利申请可

作为进行普通专利申请的一个选项，并留给开发团队一段时间，以便在负担普通专利申请费用之前去办理执照或进行进一步的考察。

- 开发团队可以在美国提交普通专利申请。对小公司或个人来说，这一流程花费约 500 美元。此外还有专利律师的法律服务费。
- 开发团队可以提交专利合作条约（Patent Cooperation Treaty, PCT）申请。PCT 申请允许一项专利在一个国家（比如美国）申请，并启动寻求国际专利保护的程序。实际上，发明人必须在国家或国家集团（比如欧共体）中寻求专利保护。然而，PCT 程序使得这一步骤可以相对高效地从一个切入点开始。寻求外国专利保护权利的内容超出了本章范围，其细节请咨询专利律师。
- 开发团队可以无限期地推迟申请。开发团队可以推迟申请，更新的消息更加有利于进一步的行动。有时，开发团队可能决定不再进行发明，因而可能放弃专利申请。推迟专利申请的后果可能是非常严重的，如果该发明被公开披露，那么所有的国际专利权利就作废了；如果在公开披露后一年之内没有提交普通专利申请，那么美国专利权利也就作废了。不过，开发团队可以在这些后果产生之前把申请活动推迟几个月。

在开发团队提交普通专利申请或 PTO 申请之后的某个时刻，专利局将发出一份审定通知程序（office action）作为对该专利申请的回应。在几乎所有的案例中，专利审查官将驳回一些或全部的权利要求——要么是显而易见的，要么不新颖。文件在专利局和发明人之间来回传递是很正常的，而其中的一些文件最终一定会形成某些可被授予专利的权利要求。接着，根据审查官的意见，发明人和专利律师不断加强论据、修改权利要求，并把修改后的申请交给专利局。虽然权利要求很少会与原始文本保持完全一样，但大多数的申请最终会获得专利发布。

专利局不评估不审查临时专利申请。临时申请只是记录了提交并保存了该申请，直到提交了正规申请之后才进行审查。

349

16.8 步骤 7：对结果和过程进行反思

在对专利申请或发明披露的反思中，开发团队至少应该考虑以下问题。

- 哪些是产品概念最本质的和与众不同的特征，使它们可成为发明？这些特征在发明描述和权利要求中体现出来了吗？描述是否讲清楚了实施该发明最好的方式？
- 进一步行动的时间安排是什么？开发团队的专利律师通常都有一个记事表（docket）——

实际上就是一个日历，表明何时进行下一步维护专利的行动。不过，发明人或开发团队所在公司里的某个人也应该考虑未来一个月必须采取哪些行动。

- 在准备专利申请或发明披露的过程中，哪些方面很顺利，哪些方面还需要进一步努力？
- 在开发团队获知的先有技术中，哪些有可能对将来的产品开发有价值？例如，是否存在可以从其专利拥有人那里获得许可的有价值的技术？竞争对手的专利是否将要到期，开发团队是否可以用简便的方法解决一个长期困扰的问题？
- 开发团队的知识产权地位有多强？在专利申请中，哪些特征非常新颖和有价值，以至于它们真的可以阻止竞争对手的直接竞争？或者该专利只是对直接复制该发明产品的一种威慑？
- 开发团队启动申请过程是太早还是太晚了？行动是否太匆忙？下一次准备专利申请的最佳时机是什么时候？

16.9 小结

- 专利是政府授予的暂时性垄断权，以排除其他人使用、制造或销售该发明。专利法意在平衡激励发明和自由发布信息。
- 对大多数基于技术的产品开发工作来说，实用新型专利是知识产权的中心要素。
- 如果一项发明有用、新颖而非显著，那它就可以被授予专利。
- 获得专利的最终发明是由专利权利要求定义的。专利申请的其余部分实际上是用来支持权利要求的背景和解释。
- 在申请专利时我们推荐采用一个7步流程：
 - (1) 制定策略和计划
 - (2) 研究先前的发明
 - (3) 概述权利要求
 - (4) 撰写发明描述
 - (5) 精炼权利要求
 - (6) 进行申请
 - (7) 对结果和过程进行反思
- 临时专利申请和专利合作条约（Patent Cooperation Treaty, PCT）申请可以在成本最低的情况下保留所有的未来选项。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

本章中的例子是从 Coffin 和 Sorensen 的专利中摘录的。

Coffin, David W., *Recyclable Corrugated Beverage Container and Holder*, United States Patent 5 205, 473, April 27, 1993.

Sorensen, Jay, *Cup Holder*, United States Patent 5 425, 497, June 20, 1995.

Pressman 是一本对专利法细节的综合性指导书，提供了撰写专利申请并向专利局申请专利的一系列步骤。这本书还包含了取得发明使用许可证的有价值的相关信息。

Pressman, David, and Thomas J. Tuytschaevers, *Patent It Yourself*, seventeenth edition, Nolo Press, Berkeley, CA, 2014.

Stim 提供了对知识产权大多数方面的深入讨论（包括商标和版权）。

Stim, Richard, Patent, *Copyright & Trademark: An Intellectual Property Desk Reference*, thirteenth edition, Nolo Press, Berkeley, CA, 2014.

练习

1. 在你感兴趣的产品上找出其专利号码。用网上查询工具找出该专利。
2. 对 3M 公司的自粘贴便签产品——Post-it note，拟定一个权利要求。
3. 画出练习 1 中发明的两个权利要求的逻辑图。
4. 创建完全不同于 Coffin 和 Sorensen 的专利的一个或多个产品概念，在不侵犯 Coffin 和 Sorensen 的专利的情况下解决手握热咖啡杯的问题。

思考题

1. 1999 年，J. M. Smucker 公司起诉了密歇根一家名叫 Albie 的面包店。J. M. Smucker 公司认为 Albie 销售的一种带卷边无壳花生酱加果冻三明治，侵犯了该公司的专利（见美国专利 6 004 596）。Albie 面包店反驳说该专利的发布是错误的，因为该发明是显而易见的。找出 Smucker 的专利，你认为 Smucker 的发明符合非易见性吗？为什么符合或为什么不符合？

[351] 2. 为什么发明人在一项专利中可能只有描述但没有权利要求?

附录A 商标

商标是与特定制造商的产品相关的一个词或符号。商标是构成公司知识产权整体的一个重要要素。商标可以是一个词、字标（按固定格式拼写出来的单词）或符号。商标一般对应品牌、产品名称，有时也对应公司名称。

商标法的目的是防止不公平竞争，比如一个制造商用与另一个制造商产品名称相似的名称命名他自己的产品以误导公众。实际上，为避免混淆，当一个制造商在广告中使用其竞争对手的商标时（如进行比较），那么法律要求该制造商指明该名称为竞争对手的商标。

商标不允许是纯描述性的。例如，一个公司不能获得叫“隔热套”的商标。但它可以用提示的而非纯描述性的名称，诸如“Insleev”“ThermaJo”或“CupPup”等作为商标。

在美国，只有在跨州商业中使用的标志才能成为联邦商标。为此，当广告宣传或标识产品时，应该在单词或符号后附加“TM”（比如 JavaJacketTM）。另外，通过美国的专利商标局就可以登记商标，而且手续简单，费用合理。经过登记的商标用®表示（比如 Coke®）。

由于在互联网上与客户交流越来越重要，在创造新的产品名称时，开发团队应尽力创造与互联网上域名完全对应的商标名称。

附录B 对个人发明人的建议

大多数学习产品开发的学生和产品开发的专业人士在某个时候会突发奇想一个新产品。通常，再进一步的思考将产生一个产品概念，有时它就表现为专利发明。在发明者中间普遍存在一种错误观念，认为只有原始想法或产品概念才是有价值的。根据针对许多发明人和产品商业化工作的观察，这里给出几条建议。

- 一项专利对一个产品的开发和商业化计划来说是一个有用的要素。然而，它并不是这一活动的核心要素。一项发明专利的申请通常可以等待，直到许多技术和市场风险被明确。
- 一项专利本身是没有什么商业价值的（一个构想的商业价值就更低了）。为了从一个产品机会中获取价值，发明人通常必须完成一件产品的设计，解决在消费者需求和最低

制造成本之间折中的难题。一旦完成了这一棘手的工作，一件产品的设计就可能具有相当的价值了。在大多数情况下，申请专利应该是产品概念变成真正的开发阶段性成果（比如工作原型）的一个环节，否则不值得申请专利。如果设计通过了原型化和测试的验证，那么一份专利可能成为一种提高其知识产权价值的重要机制。352

- 以个人发明人的身份向一个制造商发放专利使用许可证是非常困难的。如果你真的想利用自己的产品机会，那么就应该准备自己动手或与小公司合作进行产品的商业化。一旦产品展现了市场机会，才会有能力向较大的实体发放许可证。
- 一定要提交临时专利申请。只花很少的钱，一个人根据本章的指导原则就可以提交一个临时申请。这一行动提供了一年时间的专利保护，期间你可以思考你的想法是否值得继续实现。

353

354

第 17 章

服务设计



(© 2015 Zipcar)

图表 17-1 Zipcar 公司的车辆

2000 年 6 月，Zipcar 在马萨诸塞州的剑桥发起了新的共享汽车服务。该服务为客户提供按小时租赁的车辆（图表 17-1）。Zipcar 重新定义了许多人认为的汽车所有权和运输的方式，让他们随时随地使用车辆，并使租赁车辆的过程尽可能简单、方便、可靠。从一开始，Zipcar 的目标就是提供“你想要的汽车”。到 2012 年，Zipcar 已经成为世界上最大的共享汽车服务商，为美国和欧洲 50 个城市的 15 万会员提供了超过 10000 辆车。虽然 Zipcar 使用的车辆是汽车制造商的实体产品，但 Zipcar 向客户提供的是一项服务（service）。Zipcar 作为服务业务的成功至少归因于如下因素：

- 易于预订：Zipcar 会员可以在线或通过电话在任何时候（或最多可提前一年）立即预订可用的车辆，租费可以短至一小时，长至四天。
- 停车便利：车辆停放在 Zipcar 所在城市的指定地点，包括路边停车位、社区停车场和车库。使用后，车主将车辆交回同一地点。
- 自动登记和返还：会员会收到一张含有 RFID（射频识别）芯片的卡片，只能在预约时间内解锁车辆。每辆车记录了驾驶的里程并无线发送到中央计算机进行自动计费。
- 有吸引力的品牌效应：会员认为 Zipcar 不受环境影响，而且财务智能、有创新力。
- 持续改进的文化：Zipcar 努力向客户学习，提供新功能并改进操作。

虽然大多数实体产品生产商都有定义的产品开发流程，但许多基于服务的企业最近才实施正式的开发方式。本章的重点是新服务的开发。它描述了产品 - 服务系统以及实体产品与服务之间的区别。本章还介绍了一种呈现服务流程图的方法，该方法明确了服务的设计，有助于确定创新和改进的机会。下面以 Zipcar 为例来说明新服务的成功设计和开发。

17.1 产品 - 服务系统

实体产品是由制造业生产并由客户使用的有形货物，它们的优点源自于组件的材料特性和几何形状以及它们的集成。例如，丰田汽车主要是制造商生产汽车，由客户拥有和使用。服务即使经常与实体商品相关联，但也是无形的。例如，汽车保险是提供给车主的无形金融服务，以降低被保险人在事故中遭受损失的程度。大多数服务具有一些相关的实体产品，并且大多数实体产品具有一些相关联的服务。例如，汽车租赁公司提供车辆的短期使用，而不需要用户拥有车辆，但实体车辆对该服务至关重要；尽管丰田公司的主要业务是制造汽车，但它还同时提供汽车金融和路边援助的服务，其经销商提供保养和维修服务。我们把这个捆绑实体和无形的系统称为产品 - 服务系统（product-service system）。产品 - 服务系统的其他示例如图表 17-2 所示。

| 类 别 | 实 体 产 品 | 服 务 |
|-------|--------------|----------------------|
| 移动通信 | 手机、传输塔 | 网络连接 |
| 企业计算机 | 计算机硬件、交换机服务器 | 信息处理、存储、备份 |
| 桌面打印机 | 打印机硬件 | 墨盒回收 |
| 汽车租赁 | 汽车 | 预约、保险、维护、计费 |
| 餐厅 | 食物 | 预订、食物准备、等待服务、氛围 |
| 航空公司 | 飞机 | 票务、机上娱乐、驾驶、行李处理、忠诚计划 |
| 卫生保健 | 药物、医疗器械 | 诊断、手术、咨询 |

图表 17-2 产品-服务系统实例

在本章中，将实体产品（physical product）简称为产品（product）。将无形产品称为服务（service），我们采用熟知的经济学术语产出（product）作为实体产品和服务的统称。

17.2 服务和产品有什么不同

在大多数方面，服务和产品很类似，它们可以用本书提到的熟悉的产品开发流程去开发。像产品一样，服务也基于概念、展示架构和测试等环节实现客户需求，并由遵循经济原则的组织提供。但是，服务比产品具有更突出的特征。

- **客户参与：**客户是服务传递过程的有机组成部分。他们提供信息输入、做出选择、与服务提供商交接，并在其传递过程中消费该服务。由于客户交互多少有些不可预测，服务通常动态地适应客户。鉴于许多服务是交互的，它们也可能包含许多接触点——每一个都代表成功或失败的机会，以及创新的潜在重点。
- **时间：**服务通常包括突出的时间维度。客户会关注服务等待、关键接触点的时间和服务体验中的总时间。
- **匹配能力和需求：**许多服务产品几乎是在生产它们的同时被消费。例如，餐厅的餐食通常在生产的几分钟之内消费，航空旅行在其生产的同时被消费。由于生产和消费的这种紧密联系，因此较少使用应对缓冲变化的库存。于是，能力要么必须满足需求，要么超过需求。否则，等待时间会增加，将会丢失客户。
- **模块化架构：**服务流程通常是按顺序和并行流程排列的活动集合。许多流程本质上是模块化的——流程步骤反映服务的特征和功能。使用这种模块化架构，服务易于修改、完善和扩展。

- **重复的使用周期：**虽然某些服务体验可能只有一次或不频繁（例如，激光视力矫正手术），但更典型地，客户会反复地使用某些服务（例如，汽车租赁、酒店、健身房）。因此，客户获取和关系管理是服务的关键要素。
- **定制服务：**由于客户参与到服务和大多数服务的模块化流程中，因此商家经常可以方便地根据每个客户的需求进行定制，其花费通常比定制产品所需的花费少。

17.3 服务设计流程

本书中的大多数章节及其相关方法既适用于产品也适用于服务。具体来说，对于产品和服务，这些工具和方法很重要：机会识别、识别客户需求、产生概念、选择概念、建立规范、概念测试、经济分析、项目管理和产品规划。

第 13 章是一个例外，该章主要描述了处理物理部件生产和装配的方法。第 16 章比起服务可能与产品更相关（尽管一些著名的专利与服务相关，例如亚马逊的一键式专利）。第 12 章中的具体指导方针与产品更相关（尽管这些原则仍然适用于服务）。

总之，服务和产品设计与开发过程中的相似之处多于不同之处。然而，仍需强调一些工具和技术的差异。本章讨论服务概念（service concept）的思路，然后介绍一个用于表示服务的系统级设计工具——服务流程图（service process flow diagram）。下面以 Zipcar 为例进行说明。

17.3.1 服务概念

回顾第 7 章，概念是体现产品基本功能并满足客户需求的方法和工作原理。对于实体商品而言，产品概念最好用实体组件的几何和配置草图表示。然而，服务包括无形活动和信息处理活动，因此实体组件的草图对于服务的描述来说是有限的、不完整的。对于服务来说，概念通常是一个关于服务如何运作的大体文本描述。服务概念的主要思想通常可以用几个字来表达，并用一系列事件和关键特征进行描述。

358

例如，Zipcar 的概念是：

Zipcar 提供 30 分钟至 4 小时的汽车租赁服务。Zipcar 车辆停放在特别标记的方便地点，例如公寓和办公楼附近。用户加入 Zipcar 服务并收到会员卡。他们在线预订车辆，使用会员卡获取车辆，然后开始使用车辆。他们只需在预定的租期内将车辆返还至相同地点，账单将会自动结账。

服务概念可以用故事板(storyboard)进一步阐述。故事板是显示服务体验中关键步骤的一系列插图，Zipcar概念的故事板如图表17-3所示。



图表17-3 Zipcar 故事板

第7章描述的技术同样可应用于生成服务概念和产品概念。例如，可以按照用户操作的顺序、服务的关键功能或关键的客户需求将问题进行分解。例如，图表17-4是按照用户操作顺序对租车服务的分解。可以通过从每一列中选择一个解决方案的概念（或多于一个概念）并将其整合为一个整体服务，来构建新的服务概念。

17.3.2 Zipcar的概念开发

Zipcar团队开发了几个解决方案的概念，每个解决方案体现了不同的技术、逻辑和财务挑战，并且还将提供不同的客户体验。

| 加入 | 预订 | 获得车辆 | 使用车辆 | 返还车辆 | 支付 |
|----------------------|----------------------|--------------|---------|----------------------|-------------------|
| 注册 | 没有预订、首次使用 | 送车上门 分布地点 | 提供可选的司机 | 任何地点 取车地点 不同地点 | 自动支付 移动设备上退出之后 |
| 预注册 | 手机应用程序 | 每个地区的中心枢纽 | | | 车载系统上退出之后 |
| 不注册并以游客身份使用服务 | 网站 电话中心 承诺返还时间 | 合作的加油站或便利店 | | | 下车位置的亭子 |
| 使用合作伙伴号(如Facebook)登录 | 开放式预订 | | | | |
| 雇主集体注册 | | | | | |

图表 17-4 按照用户行为顺序的租车服务分解。每栏中列出了每个行为的可选择方法

Zipcar 是一家初创公司，所以开发团队知道他们的资源限制不允许他们立即实现所有创新的想法，如基于 RFID 的锁定系统和无线里程跟踪系统。该团队意识到为最初的概念提供高度复杂的服务，将需要几个月的时间来开发、测试以及实施其功能和操作程序。因此，最开始他们决定尽快实施可行的最基本的共享汽车服务。因为服务一般可以轻松改进，所以从可行的最基本服务开始是启动、学习、逐步改进的有效策略。

他们问自己：整个周期中的哪些步骤我们可以用最少的成本和最短的时间实现？应该首先实现哪些功能？在以后的服务升级中又实现哪些功能？例如，团队定义了一个概念，就是每个车辆将配备通信系统，以实现在车辆和服务器之间无线传输里程数据并进行计费。然而，在第一次服务中，该通信系统并没有完备到可以应用的程度。于是就由会员登录、上传车辆的里程数据，然后员工从每个车辆收集驾驶记录，以便每月进行计费。

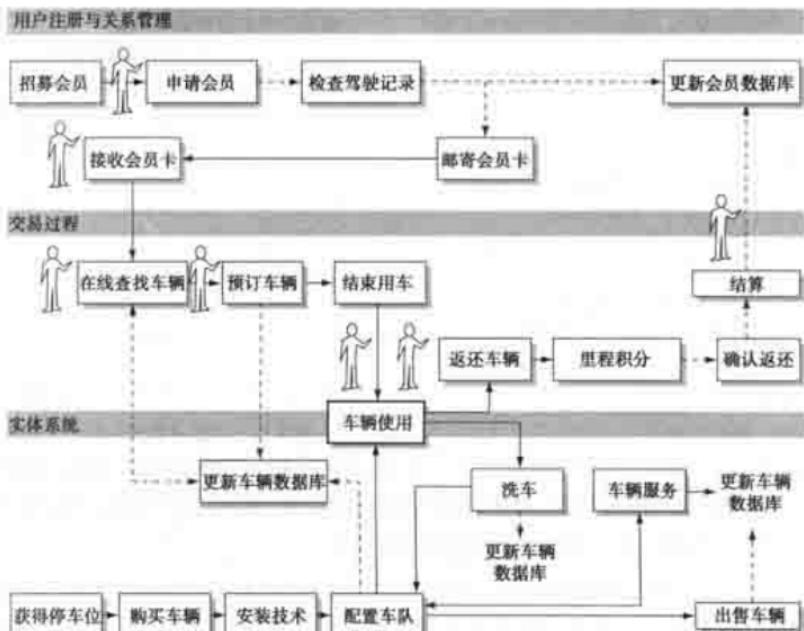
360

17.3.3 服务流程图

首先，回顾一下服务与产品的不同之处：时间的作用、客户交互性、流程的模块化，以及能力和需求的匹配程度，这些独特性可以用流程图来表示。

图表 17-5 显示了 Zipcar 服务的流程图。流程步骤用标记框表示，步骤之间的先后关系用常规的线和箭头表示。物料流用实线和箭头表示，信息流用虚线和箭头表示，图中的人形代表客户的接触点。

服务流程图是通过列出流程步骤创建的，然后以图形方式排列来显示优先级、物料流和信息流。通常，这是一个在白板上或用铅笔和纸就可以完成的迭代过程，然后通过 Power-Point 等工具更正式地展现出来。



[361]

图表 17-5 Zipcar 服务流程图

许多流程是相当复杂的，因为它们涉及许多步骤和相互关系。为了组织流程图，设计人员可以将流程步骤分类，图表 17-5 中使用的三个分类如下。

- (1) 客户注册和关系管理（如建立存在感和新会员的注册）
- (2) 交易流程（如预订、提取和返还租赁车辆）
- (3) 实体流程（如车辆的采购和供应）

服务流程图的实用性体现在服务与产品的不同方式上。由于服务的内在模块化，流程图本质上是展现服务功能要素 (functional element) 的图表。如第 7 章的功能图中那样。给定了模块化服务，流程图几乎可以完全描述服务的实际实现过程。

17.3.4 后续持续改进

Zipcar 从每个流程最简单的服务开始，然后随着时间的推移增加和提升功能。例如，在会

员招募流程中，Zipcar一开始借助特定机构（大学、医院、大型企业），依靠口碑推广的小型营销活动以及一些公关活动合作的方式开发业务。当将业务扩展到其他城市时，他们加强了市场营销的力度，其中包括更多的打印宣传和在线广告活动。随着时间的推移，会员招募流程也变得更加精简，因为Zipcar了解到客户不再需要面对面招募。该团队还研发了一个能更快检查申请人驾驶记录的程序，使得Zipcar可以在两天内发送会员卡。

公司的目标是将其业务扩展到剑桥以外的美国和欧洲其他城市。该目标对服务架构的设计产生了重要的影响。因此，团队决定流程中哪些活动需要在当地进行部署，哪些可以作为共享基础设施来构建。团队将在每个市场建立必要的当地基础设施，包括车队、停车位、车辆维修设备和人员、当地管理人员和销售代表。当地工作人员根据与当地企业、大学、医院和政府机构签订的合同来安排停车位并招募新会员。当地基础设施的每个要素必须适用于当地的环境，共享基础架构包括Zipcar在剑桥总部设立的要素，例如硬件、软件以及在线预订系统和移动应用程序的支持（见图表 17-6）。



(© 2015 Zipcar)

图表 17-6 Zipcar 车辆定位器和手机 app

17.4 服务中的下游开发活动

在任何开发过程中，持续改进、测试和实施新服务都需要人力资源和协调。虽然大多数服务开发任务与产品开发任务非常相似，但是我们仍需要进一步区分它们在下游开发活动方面的区别。

17.4.1 原型化服务

因为服务通常是一个流程，所以创建服务的原型需要创建预期流程的近似值。对于基于 Web 的服务，这个原型可能是一个网站。对于涉及实体处理步骤的服务（例如餐厅或零售商），原型可能是测试设备，甚至可能是设备摆放的临时位置。

与实体产品一样，服务原型通常标记为 alpha 和 beta。事实上，谷歌的 Gmail 服务已经“测试”了好几年。这表明用户的变更、试验和细化（持续改进）是很常见的。

试验设计的标准方法（参见第 15 章）也适用于服务试验。在许多情况下（特别是对于实施新的或修改的服务中已建立的操作），可以在实际的服务场景中对真实顾客进行服务试验。在其他情况下，可以构建一个先导测试环境来模拟实际场景。一方面，服务试验测试和预期的服务操作越接近越好；另一方面，对真实顾客进行服务测试可能是有风险的，特别是对于成熟的业务，如果出现问题，可能会丢失顾客。

362
363 Zipcar 在开始运营前对一辆车和 22 个体验者进行了为期两个月的试验研究。在试验中开发团队评估顾客对服务每一步的响应，包括申请会员资格、使用预订系统和寻找车辆。根据测试成果，该团队得到了一些重要结论，例如，一些体验者丢失了会员卡或把会员卡借给了朋友。此外，许多顾客在返还时忘记将钥匙留在车内。Zipcar 团队开发了一种解决方案，即将钥匙系在方向盘上，而不是像最初设想的那样将它们放在手套盒中。

17.4.2 拓展服务

虽然有时可以在一个大的区域范围内轻松地部署一个基于 Web 的服务。但是在许多情况下服务从一个局部的区域发起。由于潜在顾客的地域分布不同，因此地理位置往往起着关键作用。餐馆、酒店和汽车租赁公司都为特定地理区域的客户提供服务。因此，服务的升级和改进通常需要地域扩张。地域扩张的模式是先在一个位置（如开发团队的原始位置）建立服务，然后逐个地域地进行扩展。

在推广期间，Zipcar 团队完成了所有的运营模块，并向公众推广了该服务。Zipcar 于 2000 年 6 月在剑桥正式启动。截至 9 月底，该公司已在全市部署了 15 辆车，近 400 名会员使用了该服务。

2001 年 9 月，Zipcar 将服务扩展到华盛顿特区。开发团队选择华盛顿是由于它的市场规模与剑桥类似，而且很大一部分居民没有车，使用公共交通工具上班。第二次发起过程中，Zipcar 尝试了不需要保证金的新型定价模式，通过比较两个城市的事故频率，他们确认两个城

市的 Zipcar 司机同样小心。因此 Zipcar 下调了对保证金的要求。

华盛顿的经验使 Zipcar 进一步改善和扩大了服务范围，然后在更多的城市扩展服务。如 2002 年 2 月，Zipcar 启动了其在纽约市的服务。在随后的几年，Zipcar 将业务扩展到美国和欧洲的许多其他城市。最终，Zipcar 成为世界上最大的共享汽车组织。

扩展对不同城市的服务也给团队带来了运营挑战。随着 Zipcar 的进一步扩大，一些事件变得越来越频繁，如交通事故、超速罚款和丢失会员卡等。该团队需要实施新的业务流程来应对这些不断发生的事件。

17.4.3 持续改进

由于顾客和服务人员同时参与到服务中，因此获得顾客的有效反馈相对容易。据其创始人介绍，Zipcar 成功的一个主要因素是不断用新特点和改善的操作流程来持续改进服务。Zipcar 创建了员工和会员之间的密切关系，以更好地了解顾客的需求并促进创新。在前两年的运营中，每位员工都要接电话，并在线回答客户咨询。Zipcar 通过向员工提供折扣来鼓励他们自己使用服务，进而获得第一手服务体验并识别潜在的可改进之处。[364]

变化是不可避免的，一些变化可能不受用户欢迎。例如，该团队经过 6 个月的运营调整了服务定价。他们发现日常收费太低，需要增加 25%。他们向每个会员发了通知，说明他们需要提高价格以维持业务运营。会员们都理解该通知，因此 Zipcar 由于价格上涨仅仅失去了一小部分会员。

随着时间的推移，Zipcar 团队测试并采用了几项新技术。例如，预订系统最初仅提供几个可用车辆的清单。后来，系统对越来越多的车辆按价格或位置进行适当筛选。再后来，系统会显示会员以前的预订，为大多数客户提供更快的交易过程。对于智能手机，团队开发的应用程序还可以帮助成员通过手机上的 GPS（甚至附近的鸣笛声）提供的实时位置，来定位合适的车辆。

Avis 是最大的汽车租赁公司之一，于 2013 年收购了 Zipcar。Avis 旨在利用其现有的基础设施。规模和经验来管理全球汽车租赁系统，以帮助 Zipcar 扩大规模并提高其盈利能力。Avis 尤其希望为 Zipcar 提供更多的车辆以满足周末顾客对车辆的高需求。Avis 的收购为 Zipcar 团队带来了新的技术和挑战，但更重要的是，它为团队提供了许多新的创新机会，并帮助他们把服务提高到一个全新的水平。

17.5 小结

- 服务大部分是无形的，而实体产品是制造业生产的有形商品。
- 大多数服务具有一些相关的实体产品，大多数实体产品也具有一些相关服务，它们共同形成了产品 – 服务系统。
- 产品和服务之间的区别包括：高度的客户参与、时间的突出作用、对能力和需求紧密匹配的要求，通常以流程形式存在的模块化架构、客户的重复购买与使用，以及对个人需求的个性化满足。
- 服务概念通常是一个关于服务如何运作的文本描述，服务概念有时可用故事板说明。
- 服务设计通常用流程图表示。通过列出流程步骤创建服务流程图，然后通过图形来显示优先级、物料流和信息流。
- 虽然服务和产品之间有一些区别，但是它们的大多数开发过程基本上是相似的。

[365]

参考文献

许多最新资源可在网站 www.ulrich-eppinger.net 上获得。

Thomke 阐述了将正式的研发流程应用于服务领域所面临的挑战，以及美国银行为零售银行业务开发新服务的流程。

Thomke, S., "R&D Comes to Services: Bank of America's Pathbreaking Experiments," *Harvard Business Review*, vol. 81, no. 4, 2003.

Cusumano 讨论了服务对于产品型企业的重要性以及产品 – 服务系统的出现。

Cusumano, M. A., *Staying Power: Six Enduring Principles for Managing Strategy & Innovation in an Uncertain World*, Oxford, Oxford University Press, 2010.

许多新服务都基于创新商业模式。Osterwalder 和 Pigneur 汇编了经过验证的现代商业模式。

Osterwalder, A., Pigneur, Y., *Business Model Generation*, Campus Verlag, 2011.

Girotra 和 Netessine 阐述了一个开发新商业模式的流程。

Girotra, K., and Netessine, S., *The Risk-Driven Business Model: Four Questions That Will Define Your Company*, Harvard Business Press, 2014.

Heskett 等讨论了行业龙头公司如何通过面向客户的服务设计实现利润和扩张。

Heskett, J. L., Sasser, W. E., Schlesinger, L. A., *The Service Profit Chain*, Simon & Schuster Inc., 1997.

Bitner 等描述了与服务流程图密切相关的服务蓝图方法。

Bitner, M. J., Ostrom, A. L., Morgan, F. N., "Service Blueprinting: A Practical Technique for Service Innovation," *California Management Review*, Spring 2008, vol. 50, no. 3, 2008, pp. 66–94.

Sampson 的文章涵盖了服务设计的许多设计和管理方面，他介绍了使用详细流程图记录、分析和创新供应商 - 顾客交互的流程链网络 (PCN) 分析方法。

Sampson, S. E., *Essentials of Service Design: Developing High-Value Service Businesses with PCN Analysis*, second edition, 2012.

练习

1. 为你感兴趣的服务定义服务流程。比如购买新汽车、喝咖啡、预约度假、购买新电脑、购买音乐、在餐厅用餐、看电影、住酒店、申请研究生院或买衣服。
2. 识别练习 1 描述的服务流程中的创新机会或最近的创新领域。
3. 列出在销售和客户满意度方面成功引入必要或补充服务的五款产品。

366

思考题

1. 产品开发过程与服务设计过程之间的区别和相似之处是什么？采用有代表性的开发流程图说明你的答案。
2. 画出 Zipcar 的流程图，标明客户行为、员工行为、后台活动和信息化系统。公司的服务流程与顾客的服务体验之间有什么关系？
3. 对于手机或汽车等产品 - 服务系统，考虑产品和服务的相对定价。你如何优化定价以实现利润最大化？在实践中难以做到的挑战是什么？

367
368

第 18 章

产品开发项目的经济分析



(© Niels Poulsen std/Alamy)

图表 18-1 一款使用一次性咖啡胶囊的家用咖啡机

一个厨具制造商的产品开发团队开发了一款新的咖啡机。项目名称为 AB-100。这款使用了咖啡胶囊系统的新品咖啡机，能够磨出高质量的咖啡，将与市场上的雀巢、illy、Keurig 等产品展开竞争。图表 18-1 为一款雀巢咖啡机和咖啡胶囊。

在 AB-100 的开发过程中，产品研发团队面临几项将给产品利润带来巨大影响的决策。例如：

- 团队是否应该对于能够增加销售额的额外功能增加开发和生产成本？
- 如果由于竞争压力降低零售价格的 10%，该项目是否产生利润？

本章中，团队采用财务分析工具回答了项目给制造商创造利润的能力。本章强调了项目团队决策过程中相对快速、近似的方法，这种分析一般指的是产品开发经济和财务建模，或盈亏平衡分析。它们实质上是对新产品开发和生产项目的期望投资回报率和利润的预测。

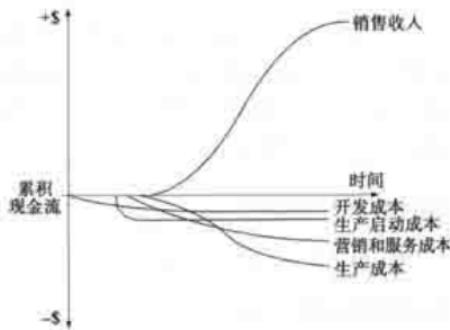
18.1 经济分析要素

本章描述的方法包括定量分析和定性分析两种方法。本章将讨论这些分析方法在产品开发项目决策中的应用。

18.1.1 定量分析

在一个成功的新产品生命周期中有一些基本的现金流（收益）和现金流出（成本）。现金流入来自产品销售，现金流出包括产品和工艺开发费用、生产启动成本（如设备购买和安装）、产品营销和服务成本及生产成本（如原材料、组件和人力）。在生命周期全过程中，一个典型成功产品的累积现金流人和现金流出如图表 18-2 所示。

经济上成功的产品是可获利的，即它产生的累积现金流人大于累积现金流出。衡量现金流人超过现金流出的程度可用项目的净现值（Net Present Value, NPV）或所有预期未来现金流的折现值。本章的定量分析方法主要是评估一个项目预期现金流的 NPV。之所以用 NPV 法是因为它易于理解且广泛应用于工商领域（本章附录 A 对 NPV 作了简要介绍）。定量分析法的益处不仅在于它提供了对项目和可选择方案



图表 18-2 成功新产品的典型现金流

的客观评价。而且还在乎它提供了评价产品开发项目的结构化方法和原则。

18.1.2 定性分析

定量分析只对那些可量化的因素起作用，然而项目经常会受到一些正面或负面影响，它们往往难以量化。定量分析几乎不可能度量动态和竞争环境的特性。事实上，一个具有负 NPV 的产品开发项目在某些情况下是值得投资的，例如，一个项目的支出（亏损）能使我们获得有价值的学习经验，这有利于在未来开发出获利的产品。本章的定性分析就是用来解决这些问题的，我们的定性分析将考虑具体项目在公司、市场以及宏观经济环境下的影响。

18.1.3 何时进行经济分析

经济分析（包括定量分析和定性分析）至少在两种情况下是十分有用的。

- **里程碑抉择 (go/no-go milestone)**: 通常在每个开发阶段结束时需要进行里程碑抉择，这些决策涉及的问题包括：我们该尝试开发一种产品以满足市场需求吗？我们该继续完成一个选定的设想吗？我们该着手生产已开发的产品吗？这些决策普遍出现在开发阶段结束时。
- **设计与开发业务决策 (operational design and development decision)**: 典型业务决策涉及的问题：为节省两个月的开发时间，我们是否值得花费 10 万美元外包一个产品部件？我们是现在销售单位成本 260 美元的产品，还是等 4 个月后单位成本降到 240 美元时再销售？

项目开始时做的经济分析通常可以用当前信息更新，以免每次都要重新分析。这种用法使得经济分析成为开发团队用以管理开发项目的信息系统之一。

经济分析可由开发团队的任何成员完成。在小公司，项目负责人或核心项目团队的成员之一将完成详细的经济分析；在大公司里，可能指定一名来自财务部门的代表帮助开发团队完成这项分析。我们强调的是，即使该项分析由专业财务人员来完成，整个开发团队也应该充分理解这项分析，并参其构建与使用过程。

18.1.4 经济分析过程

我们推荐采用下述 4 个步骤对一个产品开发项目进行经济分析：

- (1) 构建基准财务模型
- (2) 进行敏感性分析以了解财务成功与模型关键假设及变量间的关系

- (3) 采用敏感性分析理解项目权衡
- (4) 考虑定性因素对项目成功的影响

本章其余部分将围绕这 4 个步骤展开。

18.2 步骤 1：构建基准财务模型

建立基准财务模型包括估计未来现金流的发生时间和数量，以及计算这些现金流的 NPV。

18.2.1 估算未来现金流入、流出的时刻和大小

未来现金流发生的时间及数量可通过综合项目计划与项目预算、销售预算及预计生产成本来评估。现金流的具体化程度应以方便工作为宜，并且应达到一定的细化标准，以方便做出有效的决策。一个典型新产品开发项目的基本现金流分类如下。

- 销售收入。
- 开发和测试成本。
- 生产和启动成本。
- 市场进入、营销和服务支持成本。
- 生产直接成本和间接成本。

372

依据模型所要支持的不同决策类型，某个或某些成本领域需要进一步细化。更具体的模型可以对这五项现金流进行更详细的考虑，也可以考虑其他现金流。典型的细化成本包括以下几种情况。

- 将季节性销售分为四个季度。
- 增加或降低销售量或单价。
- 将开发成本分解为设计、测试、质量改善成本。
- 将生产成本分解为直接成本和间接成本（即制造成本）。
- 将营销和服务成本分解为生产启动成本、促销成本、直接销售成本及服务成本。
- 考虑税收影响。包括折旧税减免和应付投资税（即使在简单的财务模型中，税收影响也要予以考虑。但为了简明，我们的例子中省略了税收影响）。
- 包括竞争因素（新产品对现有产品销售的影响）、折旧费和机会成本。
- 包括诸如流动资金需求、挤出效益（新产品对已有产品销售的影响）、残次品成本和机会成本等在内的杂项流入和流出。

我们在本章所用的财务模型是一个简化模型，它仅包括在实践中普遍予以考虑的那些主要现金流。但是理论上它与那些复杂模型是等同的。现金流的数值来自预算和其他来自开发团队、制造部、销售部的估算。图表 18-3 是 AB-700 的相关财务估算（为了保护宝丽来公司的财务信息产权，对这些数据做了改动）。对制造成本的更详细讨论请参见第 13 章。注意，所有过去收入和费用均是沉没成本（*sunk cost*），与 NPV 的计算无关（沉没成本概念见本章附录 A）。图表 18-3 是新款咖啡机 AB-100 相关的财务估算。

| 模型参数 | 基准值 |
|----------|-------------------------------------|
| 产品开发 | 一年以上达到 500 万美元 |
| 设备和工具 | 半年以上达到 400 万美元 |
| 生产启动 | 半年以上达到 200 万美元 |
| 市场进入 | 半年以上达到 1000 万美元 |
| 营销及服务 | 启动后，500 万美元/年 |
| 生产直接成本 | 55 美元/个 |
| 生产间接成本 | 100 万美元/年 |
| 初期销售和产量 | 200 000 个/年 |
| 季度销售概况 | Q1 占 20%，Q2 占 25%，Q3 占 25%，Q4 占 30% |
| 销售量增长 | 第一年之后每年是 15% |
| 初期零售价格 | 260 美元/个 |
| 零售价格增长 | 第一年之后每年是 -10% |
| 分销商和零售利润 | 共计 40% |
| 贴现率 | 7%/年 |

图表 18-3 AB-100 项目用于创建基准模型的成本、销售预测、市场和生产成本

为了完成模型，这些财务预算必须与时间联系起来。通过参考项目计划表和销售计划，这一点是可以做到的。图表 18-4 以甘特图的形式展示了 AB-100 项目的时间信息（对大多数项目，时间以月或季度计最为适当）。从图中可以看出产品投放到市场预计要 4 个季度，而产品销售期估计要持续 12 个季度。

一个通用的方法是用表格表示项目现金流。表的行表示不同的现金流项目，列表示相继的时间周期。这个例子中，产品开发团队基于早期项目经验和市场上已有产品做出几项假设。基于最近趋势，项目团队假设年销售额增长 15%，但是第一年促销之后，零售价每年将下降 10%。我们以单位期间销售量乘以单位价格得出单位期间的产品总收益，以单位期间生产量（假设与销售量相等）乘以单位直接成本加上间接成本得出单位期间的产品总收益。图表 18-5 为该例的最终表格。

| | 第1年 | | | | 第2年 | | | | 第3年 | | | | 第4年 | | | | 第5年 | | | |
|-------|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| 销售 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 产品开发 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 设备和工具 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 生产启动 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 营销及服务 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 生产 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

图表 18-4 AB-100 从生产³和销售开始的项目计划表

| 值以百万美元为单位(除了单位收入和销量之外) | 第1年 | | | | 第2年 | | | | 第3年 | | | | 第4年 | | | | 第5年 | | | |
|------------------------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| 销售, 机器 | | | | | 6.24 | 7.80 | 9.36 | 6.46 | 8.07 | 8.07 | 9.69 | 6.68 | 8.36 | 8.36 | 10.03 | | | | | |
| 销量, 机器(单位/季度) | | | | | 40,000 | 50,000 | 60,000 | 46,000 | 57,500 | 57,500 | 69,000 | 52,900 | 66,125 | 66,125 | 79,350 | | | | | |
| 单位销量收益, 机器(\$/单位) | | | | | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | | | | | |
| 总收入 | | | | | 6.24 | 7.80 | 9.36 | 6.46 | 8.07 | 8.07 | 9.69 | 6.68 | 8.36 | 8.36 | 10.03 | | | | | |
| 产品开发成本 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 设备和工具成本 | | 2.00 | 2.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 生产启动成本 | | | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 营销及服务成本 | | | | | 6.25 | 6.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| 生产成本, 机器 | | | | | | 2.45 | 3.00 | 3.00 | 3.55 | 2.78 | 3.41 | 4.05 | 3.16 | 3.89 | 3.89 | 4.61 | | | | |
| 总成本 | 1.25 | 1.25 | 3.25 | 10.50 | 9.70 | 4.25 | 4.25 | 4.80 | 4.03 | 4.66 | 4.66 | 5.30 | 4.41 | 5.14 | 5.14 | 5.86 | | | | |

注: 除了单位收入和销量之外, 单位为百万美元。

图表 18-5 将项目财务及进度并入现金流表

373
374

18.2.2 计算现金流的净现值

计算 NPV 首先简单求取每个时期的净现金流之和。然后采用适当的贴现率将该净现金流转换（贴现）为现值（以当日的美元计）。贴现率是一种反映项目投资成本的利率（附录 A 总结了现值、净现值、贴现率的概念）。例如，对第 2 年第 2 季度的数据进行计算：

| | |
|-------|----------|
| 销售 | \$7.8M |
| 营销及服务 | -\$1.25M |
| 生产 | -\$3.00M |
| 当期现金流 | \$3.55M |
| 当期现值 | \$3.20M |

当期现金流是收益减去成本之和，即 3.55×10^6 美元。现值以 7% 的年折现率（折合为 1.75% 的季折现率）折现到第 1 年第 1 季度（总共 6 个季度）是 $3\,550\,000 \div (1+1.75\%)^6 = 3\,200\,000$ 美元。

项目 NPV 为各期现金折现值之和（见图表 18-6），即 13.1×10^6 美元。NPV 大于零，则表示 AB-100 咖啡机的开发、生产和销售是一个盈利项目。投资回报率超过 7%。接下来，将咖啡胶囊的销售与咖啡机联系起来。

18.2.3 其他现金流

许多产品从销售和服务中获得收益。例如，计算机系统的销售可能产生软件、附件及维修服务的收益，也会产生其他费用（如与电脑销售相关的保修成本）。同时，可能影响其他产品线的销售。如果此类现金流十分重要，可以直接与新产品销售一同分析。我们将在现金流预测和 NPV 计算时考虑它们。

AB-100 采用制造商已有的咖啡胶囊系统，在该系统中调制一杯咖啡需要一个胶囊。假设胶囊系统不需要额外的开发或生产投资，每台机器每年销售（增量）400 个胶囊。（客户通常每台机器每年使用 400 多个胶囊。然而，假设一些机器销售给已有的咖啡胶囊客户，这样不是所有的胶囊销售量都是增加的。）因此，在财务模型中，假设每一款售出的咖啡机有相同的胶囊销售量。胶囊生产成本是 0.05 美元 / 个，零售价是 0.6 美元 / 个，每年增长 5%，零售和批发保持相同的幅度。这些附加的基本情况模型参数如图表 18-7 所示。

图表 18-8 为咖啡机和胶囊的现金流量表和 NPV 分析表。NPV 结果为 125.5×10^6 美元，显示了胶囊销售对 AB-100 业务项目产生了巨大影响，这是单独销售咖啡机利润的 10 倍。事实上，如果客户仍继续购买咖啡胶囊，咖啡机可以以亏本的价格销售。

| 值以百万美元为单位(除了单位收入和销量之外) | 第1年 | | | | 第2年 | | | | 第3年 | | | | 第4年 | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| 销售, 机器 | | | | | 6.24 | 7.80 | 9.36 | 6.46 | 8.07 | 9.69 | 6.68 | 8.36 | 8.36 | 10.03 | | |
| 销量, 机器(单位 / 季度) | | | | | 40,000 | 50,000 | 50,000 | 60,000 | 46,000 | 57,500 | 57,500 | 69,000 | 52,900 | 66,125 | 66,125 | 79,350 |
| 单位批量收益, 机器 (\$/单位) | | | | | 156 | 156 | 156 | 140 | 140 | 140 | 140 | 126 | 126 | 126 | 126 | 126 |
| 总收益 | | | | | 6.24 | 7.80 | 9.36 | 6.46 | 8.07 | 9.69 | 6.68 | 8.36 | 8.36 | 10.03 | | |
| 产品开发成本 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | | | | | | | | | | | | |
| 设备和工具成本 | 2.00 | 2.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 生产启动成本 | | | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 营销及服务成本 | | | | | 6.25 | 6.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| 生产成本, 机器 | | | | | 2.45 | 3.00 | 3.00 | 3.55 | 2.78 | 3.41 | 3.41 | 4.05 | 3.16 | 3.89 | 3.89 | 4.61 |
| 总成本: | 1.25 | 1.25 | 3.25 | 10.50 | 9.70 | 4.75 | 4.25 | 4.80 | 4.03 | 4.66 | 4.66 | 5.30 | 4.41 | 5.14 | 5.14 | 5.86 |
| 当期现金流 | -1.25 | -1.25 | -3.25 | -10.50 | -3.46 | 3.55 | 3.55 | 4.56 | 2.43 | 3.41 | 3.41 | 4.39 | 2.27 | 3.22 | 3.22 | 4.16 |
| 当期现值 | -1.23 | -1.21 | -3.09 | -9.80 | -3.17 | 3.20 | 3.14 | 3.97 | 2.08 | 2.87 | 2.82 | 3.57 | 1.82 | 2.52 | 2.48 | 3.15 |
| 净现值 (NPV) | | | | | 13.1 × 10 ⁷ 美元 | | | | | | | | | | | |

图表 18-6 项目现金流和净现值

| 模型参数 | 基准值 |
|----------------|----------|
| 生产成本, 收售 | \$0.05/个 |
| 销量, 每台咖啡机使用的胶囊 | 400/年 |
| 初始零售价, 收售 | \$0.6/个 |
| 零售价增长率, 收售 | 5%/年 |

图表 18-7 AB-100 收售生产和销售参数

| 项目(百万美元为单位,除了收入和销量之外) | 第 1 年 | | | | 第 2 年 | | | | 第 3 年 | | | | 第 4 年 | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| 销售,机器 | | | | | 6.24 | 7.80 | 9.36 | 6.46 | 8.07 | 9.07 | 9.69 | 6.68 | 8.36 | 8.36 | 10.03 | |
| 销售,机器(单位:季度) | | | | | 40,000 | 50,000 | 60,000 | 46,000 | 57,500 | 57,500 | 69,000 | 52,900 | 66,125 | 66,125 | 79,350 | |
| 单位批量收益,机器(\$单位) | 156 | 156 | 156 | 156 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 126 | 126 | 126 | 126 | |
| 销售,胶囊 | | | | | 1.44 | 3.24 | 5.04 | 7.20 | 9.30 | 11.47 | 13.65 | 16.25 | 19.17 | 21.79 | 24.42 | 27.56 |
| 销售量,胶囊(单位:季度) | | | | | 4,000 | 9,000 | 14,000 | 20,000 | 24,600 | 30,350 | 36,100 | 43,000 | 48,290 | 54,902 | 61,315 | 69,450 |
| 单位批量收益,胶囊(\$单位) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 总收益 | | | | | 7.68 | 11.04 | 12.84 | 16.56 | 15.76 | 19.55 | 21.72 | 25.94 | 25.85 | 30.15 | 32.77 | 37.59 |
| 产品开发成本 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | | | | | | | | | | | | |
| 设备和工具成本 | | 2.00 | 2.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 生产启动成本 | | | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 营销及服务成本 | | | | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 | 6.25 |
| 生产成本,机器 | | | | | 2.45 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.55 | 2.78 | 3.41 | 3.41 | 4.05 | 3.16 | 3.89 | 3.89 |
| 生产成本,胶囊 | | | | | 0.20 | 0.45 | 0.70 | 1.00 | 1.23 | 1.52 | 1.81 | 2.15 | 2.41 | 2.75 | 3.08 | 3.47 |
| 总成本 | 1.25 | 1.25 | 3.25 | 10.50 | 9.90 | 4.70 | 4.95 | 5.80 | 5.26 | 6.18 | 6.47 | 7.45 | 6.82 | 7.88 | 8.21 | 9.34 |
| 当期现金流 | -1.25 | -1.25 | -3.25 | -10.50 | -2.22 | 6.34 | 7.89 | 10.76 | 10.50 | 13.37 | 15.25 | 18.50 | 19.03 | 22.26 | 24.56 | 28.25 |
| 当期现值 | -1.25 | -1.25 | -3.00 | -9.80 | -2.04 | 5.71 | 6.99 | 9.37 | 8.98 | 11.24 | 12.60 | 15.02 | 15.19 | 17.46 | 18.93 | 21.41 |
| 净现值(NPV) | | | | | 125.5×10 ³ 美元 | | | | | | | | | | | |

图表 18.8 零售机和咖啡胶囊的现金流和净现值

18.2.4 帮助抉择决策及重要投资决策

根据基准财务模型，该项目的 NPV 是正的。因此，该模型支持这一项目，与继续进行开发的决策一致。该决策通常被视为重要的项目里程碑，尤其是在项目的阶段评审过程中。

将 NPV 置于整体投资预算的背景下是有益的。在 AB-100 案例中，为实现 NPV 的预期收益 125.5×10^6 美元，投资 17.4×10^6 美元是必要的。图表 18-8 显示了前五个季度现金流和净现值为负（直到项目开始获利才产生正的现金流）。

375
376

这样的模型也可用于支持重要的投资决策。比如，该公司在有不同的生产工艺、设备和启动成本的两种不同生产方式之间进行选择。团队为针对这两种方案设计一个模型，然后比较两种方案的 NPV。NPV 更高的方案可能具有更高的利润。现在我们将敏感性分析看作一种方法，以便容易理解产品开发的多方案决策。

18.3 步骤 2：敏感性分析

敏感性分析是通过改变基础财务模型的特殊变量值，计算相应的 NPV 变化值来回答“如果…怎样？”（what-if）这类问题的。内部因素和外部因素均会影响项目的 NPV 值。内部因素（internal factor）是那些主要受开发团队影响的因素，包括开发费用、开发速度、生产成本和产品性能；外部因素（external factor）是指那些开发团队不能任意改变的因素，包括竞争环境（如市场反应、竞争者行为）、销售量和产品价格（对价格是内部因素还是外部因素可能有不一致的意见，但不同意见方基本认同的是，价格受竞争品价格强烈影响，且价格与销售量相联系）。尽管外部因素不受产品开发团队直接控制，但它们经常受内部因素影响。图表 18-9 列出了有关的内部因素和外部因素。

18.3.1 开发成本的例子

首先，让我们来考察 NPV 对开发成本变动的敏感性。在保持其他变量恒定的情况下变动开发成本，就可以看到项目 NPV 的变化。例如，若开发成本降低 20%，NPV 将怎样变化？20% 的下降率使开发成本由 5×10^6 美元降到 4×10^6 美元。如果开发时间还是一年的话，那么每季的成本由 1.25×10^6 美元下降为 1×10^6 万美元。



图表 18-9 影响产品开发盈利性的主要因素

377

将这一改变加入模型来计算目标 NPV。图表 18-10 反映了 AB-100 基准财务模型的这一变化情况。我们发现开发成本下降 20%，NPV 将增加到 126.5×10^6 美元。这表示 NPV 略有增加（小于 1×10^6 美元），变化值是基准 NPV 的 0.76%。这是一个极简单的情形：假设减少 1×10^6 美元的开发成本仍能达到同样的项目目标，因而使项目价值得以增长，该增长来自于第 1 年所节省的 1×10^6 美元的现值。

AB-100 开发成本敏感性分析详见图表 18-11，其中的数值为对开发成本作相应改变后计算得出的结果。我们知道，NPV 绝对数和相对数的变化十分有用。因而，在敏感性分析表中同时列出这两项。

18.3.2 开发时间的例子

第二个例子我们将计算 AB-100 模型对开发时间的敏感性。让我们看一下，若开发时间延长 25%，对项目 NPV 有什么影响。开发时间延长 25%，即从 4 个季度增加到 5 个季度，将推迟生产启动、营销服务及产品销售的开始时间。为了进行敏感性分析，我们必须对这些变化做出相应的假设。我们假定，开发时间延长，但开发成本总额不变，这样每季度的开发成本从原来 1.25×10^6 美元变为 1×10^6 美元。我们还假定销售期是固定的，即从产品进入市场开始后，到第 4 年年底结束。实际上我们的假定是，产品销售期为从产品的引入到将来某个时期结束。请注意，这些假设是针对该项目的，不同的产品开发项目需要做不同的假设。例如，我们假设销售期只是简单后移一个季度。AB-100 财务模型的变化情况见图表 18-12。我们发现开发时间增加 25% 将导致 NPV 下降至 110.4×10^6 美元，减少了 15.1×10^6 美元，即基准 NPV 的 12.1%。

项目 NPV 对开发时间的敏感性情况见图表 18-13。我们可以看到一到二季度比基准情况或快或慢。分析作了关于销售窗口、价格上涨时机以及季节性销售在部分年份分布的假设。注意开发时间变化与 NPV 变化之间的关系，尤其是在这种情况下提前上市的巨大好处。

除竞争环境（不明显包含于基本情况模型中）以外的所有外部因素和内部因素均可作敏感性分析。我们将考虑到模型中定价和销量变化的影响，进一步探讨竞争的敏感性。这些分析可以使开发团队知道模型中的哪些变量对 NPV 影响大。这一信息非常有用，它可以为开发团队细化和改善成本财务模型提供信息支持，辅助团队决定哪些因素要更进一步研究。这一信息对开发团队的业务决策也是有用的，这一点将在下一个步骤中讨论。

| 量以百万美元为单位(除了 单位收入和销量之外) | 第1年 | | | | 第2年 | | | | 第3年 | | | | 第4年 | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| 销售，机器 | | | | | 6.24 | 7.80 | 9.36 | 6.46 | 8.07 | 9.07 | 9.69 | 6.68 | 8.36 | 8.36 | 10.03 | |
| 销量，机器(单位/季度) | | | | | 40,000 | 50,000 | 50,000 | 46,000 | 57,500 | 57,500 | 69,000 | 52,900 | 66,125 | 66,125 | 79,350 | |
| 单位批量收益，机器(\$/ 单位) | | | | | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | |
| 销售，胶囊 | | | | | 1.44 | 3.24 | 5.04 | 7.20 | 9.30 | 11.47 | 13.65 | 16.25 | 19.17 | 21.79 | 24.42 | 27.56 |
| 销量，胶囊(单位/季度) | | | | | 4,000 | 9,000 | 14,000 | 20,000 | 24,600 | 30,350 | 36,100 | 43,000 | 48,290 | 54,902 | 61,515 | 69,450 |
| 单位批量收益，胶囊(\$/ 单位) | | | | | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 |
| 总收入 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 7.68 | 11.04 | 12.84 | 16.56 | 15.76 | 19.55 | 21.72 | 25.94 | 25.85 | 30.15 | 32.77 | 37.59 |
| 产品开发成本 | | | | | 2.00 | 2.00 | | | | | | | | | | |
| 设备和工具成本 | | | | | 1.00 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| 生产启动成本 | | | | | 6.25 | 6.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| 营销及服务成本 | | | | | | 2.45 | 3.00 | 3.00 | 3.55 | 2.78 | 3.41 | 3.41 | 4.05 | 3.16 | 3.89 | 4.61 |
| 生产成本，机器 | | | | | | 0.20 | 0.45 | 0.70 | 1.00 | 1.23 | 1.52 | 1.81 | 2.15 | 2.41 | 2.75 | 3.08 |
| 生产成本，胶囊 | | | | | | 1.00 | 3.00 | 10.25 | 9.90 | 4.70 | 4.95 | 5.80 | 5.26 | 6.18 | 6.47 | 7.45 |
| 总资产 | -1.00 | -1.00 | -3.00 | -10.25 | -2.22 | 6.34 | 7.89 | 10.76 | 10.50 | 13.37 | 15.25 | 16.50 | 19.03 | 22.26 | 24.56 | 28.25 |
| 当期现金流 | -0.98 | -0.97 | -2.85 | -9.56 | -2.04 | 5.71 | 6.99 | 9.37 | 8.98 | 11.24 | 12.60 | 15.02 | 15.19 | 17.46 | 18.93 | 21.41 |
| 当期现值 | | | | | | 126.5×10 ⁴ 美元 | | | | | | | | | | |

图表 18-10 开发成本下降 20% 的 AB-100 财务模型

| 开发成本 变化 (%) | 开发成本 (百万美元) | NPV 变化 (%) | NPV (百万美元) | NPV 变化 (百万美元) | 开发成本 变化 (%) | 开发成本 (百万美元) | NPV 变化 (%) | NPV (百万美元) | NPV 变化 (百万美元) |
|----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|------------------|
| 50 | 7.5 | 2.5 | -1.91 | 123.14 | -2.39 | -10 | 4.5 | -0.5 | 0.38 |
| 20 | 6.0 | 1.0 | -0.76 | 124.58 | -0.96 | -20 | 4.0 | -1.0 | 0.76 |
| 10 | 5.5 | 0.5 | -0.38 | 125.06 | -0.48 | -50 | 2.5 | -2.5 | 1.91 |
| 基准 | 5.0 | 基准 | 0 | 125.54 | 0 | | | | 127.93 |

图表 18-11 AB-100 的开发成本敏感性分析

| 值以百万美元为单位(除了 单位收入和销量之外) | 第1年 | | | | 第2年 | | | | 第3年 | | | | 第4年 | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| 销售, 机器 | | | | | 7,80 | 7,80 | 9,36 | 6,46 | 8,07 | 8,07 | 9,69 | 6,68 | 8,36 | 8,36 | 10,03 | |
| 销量, 机器(单位:季度) | | | | | 50,000 | 50,000 | 60,000 | 46,000 | 57,500 | 57,500 | 69,000 | 52,900 | 66,125 | 66,125 | 79,350 | |
| 单位批量收益, 机器(\$/ 单位) | | | | | 156 | 156 | 156 | 140 | 140 | 140 | 140 | 126 | 126 | 126 | 126 | |
| 销售, 胶囊 | | | | | 1,80 | 3,60 | 5,76 | 7,79 | 9,96 | 12,13 | 14,74 | 17,58 | 20,20 | 22,83 | 25,98 | |
| 销量, 胶囊(单位:季度) | | | | | 5,000 | 10,000 | 16,000 | 20,600 | 26,350 | 32,100 | 39,000 | 44,290 | 50,902 | 57,515 | 65,450 | |
| 单位批量收益, 胶囊(\$/ 单位) | | | | | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | |
| 总收入 | | | | | 9,60 | 11,40 | 15,12 | 14,25 | 18,03 | 20,21 | 24,43 | 24,26 | 28,56 | 31,16 | 36,00 | |
| 产品开发成本 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | | | | | | | | | | | |
| 设备和工具成本 | | | | | 2,00 | 2,00 | | | | | | | | | | |
| 生产启动成本 | | | | | — | — | 1,00 | 1,00 | | | | | | | | |
| 营销及服务成本 | | | | | 6,25 | 6,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| 生产成本, 机器 | | | | | 3,00 | 3,00 | 3,55 | 2,78 | 3,41 | 3,41 | 4,05 | 3,16 | 3,89 | 3,89 | 4,61 | |
| 生产成本, 胶囊 | | | | | 0,25 | 0,50 | 0,80 | 1,03 | 1,32 | 1,61 | 1,95 | 2,21 | 2,55 | 2,88 | 3,27 | |
| 总成本 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 3,00 | 10,25 | 10,50 | 4,75 | 5,60 | 5,06 | 5,98 | 6,27 | 7,25 | 6,62 | 7,68 | 8,01 | 9,14 |
| 当期现金流 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | -3,00 | -10,25 | -9,90 | 6,65 | 9,52 | 9,19 | 12,05 | 13,94 | 17,18 | 17,64 | 20,88 | 23,17 | 26,87 |
| 当期现值 | -0.98 | -0.97 | -0.95 | -2.80 | -9,40 | -9,81 | 5,89 | 8,29 | 7,86 | 10,13 | 11,52 | 11,95 | 14,08 | 16,37 | 17,86 | 20,35 |
| 净现值(NPV) | | | | | 110.4×10 ⁶ 美元 | | | | | | | | | | | |

图表 18-12 开发时间增加 25% 的 AB-100 财务模型

| 开发时间 变化 (%) | 开发时间 (季度) | 开发时间 变化 (季度) | NPV (百万美元) | NPV 变化 (%) | NPV (百万美元) |
|----------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 50 | 6 | 2 | -30,31 | -87,49 | -38,05 | -25 | -3 | -1 | -13,01 | -141,87 | -16,33 | | | | |
| 25 | 5 | 1 | -12,06 | -110,40 | -15,14 | -50 | -2 | -2 | -25,84 | -137,98 | -32,44 | | | | |
| 基准 | 4 | 基 | 0 | -125,54 | 0 | | | | | | | | | | |

图表 18-13 AB-100 开发时间敏感性分析

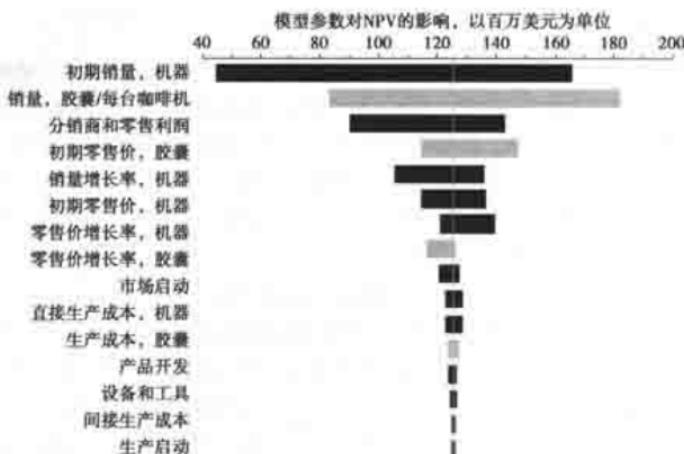
18.3.3 理解不确定性

敏感性分析表明，NPV 高度依赖于某些不确定因素，而对其他不确定因素不敏感。此外，不确定因素的不确定程度是不同的。比如，预测销量可能比估计单位生产成本更不确定。给不确定因素取一系列不同的值，就可以计算出对应的不同 NPV 值。不同的值可以定义一个范围，这个范围使团队能确定实际成果一定会落在该取值区间内。这种分析可以概括在旋风图（Tornado Chart）表上，显示每个不确定因素对 NPV 的影响。为了显示参数对 NPV 逐渐降低的影响排序，我们给出了旋风形（漏斗）图。

实际上，在 AB-100 基准情况分析中，我们对一些输入值相当清楚（例如，估计生产成本），而其他模型数值则不确定（例如，销售额）。主要的不确定因素及其变化范围如图表 18-14 所示。改变模型中某个不确定因素的数值，保持其他的不变，得出一系列不同的 NPV 变化值。这些结果的旋风图见图表 18-15。正如预期的那样，销量和胶囊价格差异对 NPV 的影响最大。但是，应该注意，尽管胶囊销售占收入和利润的绝大部分，咖啡机的销量也会对销售额产生很大影响（因为咖啡机的销售影响咖啡胶囊的销售）。

| 模型参数 | 基准情况 | | 最坏情况分析 | | 最好情况分析 | | |
|---------------|-----------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|
| | 数值 | 数值 | NPV | %ΔNPV | 数值 | NPV | %ΔNPV |
| 产品开发成本 | \$5M | \$7M | 123.6 | -1.5% | \$4M | 126.5 | 0.8% |
| 设备和工具成本 | \$4M | \$5M | 124.6 | -0.7% | \$3M | 126.5 | 0.7% |
| 生产启动成本 | \$2M | \$2.5M | 125.1 | -0.4% | \$1.5M | 126.0 | 0.4% |
| 市场启动成本 | \$10M | \$15M | 120.9 | -3.7% | \$8M | 127.4 | 1.5% |
| 营销及服务成本 | \$5M/ 年 | \$6M | 122.8 | -2.2% | \$4M | 128.3 | 2.2% |
| 直接生产成本：机器 | \$55/ 台 | \$60 | 122.7 | -2.3% | \$50 | 128.4 | 2.3% |
| 间接生产成本 | \$1M/ 年 | \$1.2M | 125.0 | -0.4% | \$0.8M | 126.0 | 0.4% |
| 初期销量：机器 | 200K 台/ 年 | 100K | 44.8 | -64.3% | 250K | 165.9 | 32.1% |
| 销量增长率：机器 | 15%/ 年 | -5% | 105.9 | -15.6% | 25% | 136.1 | 8.4% |
| 初期零售价：机器 | \$260/ 台 | \$225 | 114.7 | -8.6% | \$295 | 136.4 | 8.6% |
| 零售价增长率：机器 | 210%/ 年 | -15% | 121.2 | -3.4% | 5% | 139.4 | 11.0% |
| 生产成本：胶囊 | \$0.05/ 台 | \$0.055 | 123.9 | -1.3% | \$0.045 | 127.2 | 1.3% |
| 销量：胶囊 / 每台咖啡机 | 400/ 年 | 250 | 83.4 | -33.6% | 600 | 181.7 | 44.8% |
| 初期零售价：胶囊 | \$0.60/ 个 | \$0.55 | 114.8 | -8.6% | \$0.70 | 147.1 | 17.1% |
| 零售价增长率：胶囊 | 5%/ 年 | 0% | 116.8 | -6.9% | 5% | 125.5 | 0.0% |
| 分销商和零售利润 | 共 40% | 50% | 90.6 | -27.8% | 35% | 143.0 | 13.9% |

图表 18-14 基准情况、最坏情况和最好情况的模型参数以及它们对基准情况（NPV 为 125.5×10^6 美元）的影响。注意：每种情况每次只考虑变化一个参数，保持其他值为基准值



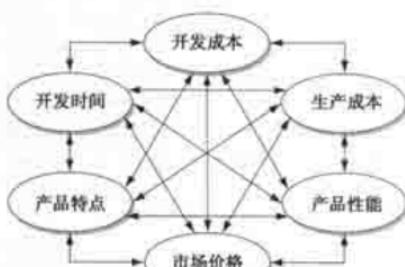
图表 18-15 旋风图反映出某些模型参数的不确定范围对 NPV 的影响 (这些参数已在图表 18-14 中列出)。深色条形表示咖啡机的值, 浅色条形表示咖啡胶囊的值。

18.4 步骤 3: 采用敏感性分析理解项目权衡

为什么开发团队想要改变它所控制的变量? 例如, 在明知项目 NPV 会下降的情况下, 为什么还要延长开发时间? 一般来讲, 在其他方面可获得预期的补偿 (比如好的质量可带来更高的销售量), 否则开发团队不会做这样的改变。因此我们需要了解这些财务相互作用的相对重要性。

18.4.1 潜在的相互作用

开发团队需关注内部驱动因素或外部驱动因素间的多种潜在相互作用 (如图表 18-16 所示)。任何两个内部因素间的潜在相互作用依赖于特定产品属性。在许多情况下, 这些相互作用是相抵触的。比如, 缩短开发时间可能导致产品性能降低, 提高产品性能则需要额外增加产品成本。然而, 这些相互作用中的某些关系远比简单的权衡复杂得多。例如, 减少开发时间可能会增加开发成本, 但是可能使得产品更快地投放市场, 因而



图表 18-16 项目因素间的潜在相互作用 (摘自 Smith and Reinertsen, 1997)

增加销量。另外，增加开发成本或时间也可能提高产品性能，因而增加销量或卖更高的价格。

尽管关于外部因素（例如价格、销量）通常很难有准确的模型，但是定量模型可以帮助我们进行决策。重新回到最初的例子，即 AB-100 开发团队正在考虑增加开发成本以获得更高质量的产品，因为他们认为高质量的产品将提高销量。定量模型可以作为决策支持工具，例如帮助我们回答应该增加多少销量才能弥补开发成本额外增加这一问题。我们已计算了 NPV 对开发成本变化的敏感性（见图表 18-11）。也可以计算出 NPV 对销量变动的敏感性（见图表 18-17）。

| 初期销量变化 (%) | 初期销量 (千台/年) | 初期销量变化 (千台/年) | NPV 变化 (%) | NPV (百万美元) | NPV 变化 (百万美元) |
|------------|-------------|---------------|------------|------------|---------------|
| 30 | 260 | 60 | 38.6 | 174.0 | 48.4 |
| 20 | 240 | 40 | 25.7 | 157.8 | 32.3 |
| 10 | 220 | 20 | 12.9 | 141.7 | 16.1 |
| 基准 | 200 | 基准 | 0 | 125.5 | 0 |
| -10 | 180 | -20 | -12.9 | 109.4 | -16.1 |
| -20 | 160 | -40 | -25.7 | 93.3 | -32.3 |
| -30 | 140 | -60 | -38.6 | 77.1 | -48.4 |

图表 18-17 AB-100 销量变动的敏感性分析

假如 AB-100 开发团队正在考虑增加 20% 的开发成本。从图表 18-11 我们可以发现这将使 NPV 下降 0.96×10^6 美元。现在要考虑的是，咖啡机初期销量至少要增加多少才能弥补 NPV 的减少量？从图表 18-17 可以知道，销量增加 10%，NPV 将增加 16.1×10^6 美元。这样，在线性假设下，要使 NPV 增加 0.96×10^6 美元，初期销量需提高 0.60% ($(10\% \times \$0.96M) / \$16.1M$)，即 201 200 台/年。综上所述，开发成本增加 20%，将使 NPV 下降 0.96×10^6 美元。为了抵消这一下降，仅需将销量提高 0.6%。

由于无法知道增加开发成本对销量的确切影响，对于维持开发成本的特定量增长需要增加多少销量这一问题，这一模型确实是一个很有用的指导。需要指出的是，这些敏感性分析必须结合具体的项目。当然，不同的产品会表现出不同的敏感性和权衡特性。

18.4.2 权衡标准

许多近似线性的敏感性分析能帮助开发团队制定一些权衡标准 (trade-off rule)，以帮助日常决策。这些标准以内部因素和外部因素的单位变化 NPV 来制定。例如，开发时间延迟四分

之一将导致 NPV 减少多少？开发预算超出 10% 的影响是什么？单位制造成本每增加 1 美元的影响是什么？这些权衡标准可以很容易地从基本财务模型计算得出，并且可告知开发组，那些他们能控制且对项目盈利影响敏感的因素（至少部分）应作多少调整，见图表 18-18。

| 因 素 | 权 衡 标 准 | 注 释 |
|--------------|---|---------------------------------|
| 产品开发成本 | 每 10% 的变化对应 480 000 美元 | 产品开发花费或节约的资金等价于这些资金的现值 |
| 产品开发时间 | 缩短一季度增加 16.3×10^6 美元。 延长一季度减少 15.1×10^6 美元 | 关于销售和定价时机的非线性权衡假设 |
| 设备和工具成本 | 每变化 1 美元对应 376 000 美元 | 增量资本支出，如工具等价于这些支出的现值 |
| 生产成本，机器 | 每变化 1 美元对应 575 000 美元 | 单位成本下降 1 美元，单位边际利润增加 1 美元 |
| 零售价，机器 | 每变化 1 美元对应 310 000 美元 | 零售价上升 1 美元，利润按制造商份额增加，是零售价的 60% |
| 销量，机器 | 每变化 1% 对应 160×10^6 美元 | 提高销量是提高利润的有力手段；咖啡机销售也带动咖啡胶囊的销售 |
| 每台咖啡机的咖啡胶囊销售 | 每变化 1% 对应 1.1×10^6 美元 | 咖啡胶囊的销售占收益的最大部分 |

图表 18-18 AB-100 项目的权衡标准。强调财务模型中各种运行因素对 NPV 的影响

利用这些权衡标准可以回答在本章开篇提出的两个问题。

- 团队是否应该对于能够增加销售额的额外功能增加开发和生产成本？问题中的特性将增加 10% 的产品开发预算，生产成本约增加 3 美元 / 个。这将使预期 NPV 减少 2.2×10^6 美元。为了弥补这一点，只需咖啡机的销量增加 1.4%。但是，市场调研认为增加功能不会对整体销售产生积极影响。因为产品线上的其他型号产品已具有该功能。
- 如果由于竞争压力降低零售价格的 10%，该项目是否产生利润？降价 10% 将使 NPV 减少 8×10^6 美元。尽管这是很明显的，但是 117.5×10^6 美元的 NPV 仍具有很大吸引力。

18.4.3 定量分析的局限

基准财务模型和敏感性分析是支持产品开发决策的有力工具，但是这些方法有较大的局限。学术界有人主张为了将规则引入产品设计过程，严格的财务分析是必要的。但批评者指出定量分析存在下列问题：

- 分析仅关注可测量的参数：像 NPV 这样的定量方法强调并依赖可测量的变量，而很

多影响产品开发的关键变量很难准确测量。实际上，定量方法鼓励在可测资产上投资，不鼓励在无形资产上的投资。

382
384

- **依赖于假设的有效性：**产品开发团队很可能被看起来很精确的 NPV 值所迷惑，因而产生一种安全感。正如我们在本章里已做的分析，财务分析似乎对产品开发项目的价值做出了精确的评估。然而，这样的精确性（precision）并不意味着准确（accuracy）。虽然，我们可以为产品开发项目设计出一个将 NPV 值精确到小数点后 5 位的高精度财务模型，但如果模型的假设和数据不正确，那么计算得出的结果就不可能正确。我们来看 AB-700 在开发时间敏感性分析例子里的一个假设：产品销售期是固定的。该假设确实是有用的，但它的完整性极易受到质疑。事实上，不同的假设可能得出截然不同的结果。
- **团队容易进行博弈分析。**团队可以通过调整模型值来实现任何他们想达到的 NPV。在 AB-100 的例子中，最理想情况下的模型参数值可使 NPV 增加两倍，最坏情况下的模型参数值使 NPV 为负。这说明团队和管理人员在深刻理解模型的情况下挑战基本假设是必要的。

这些考虑总的来说是合理的。然而，我们的看法是：这些情况在很大程度上与单纯应用定量分析的结果有关，或是由财务分析与管理不善的产品开发流程所引起的。我们反对那种仅仅因为盲目应用定量分析的结果可能会产生问题，就认为不能做定量分析的观念。更进一步地说，开发团队应该了解这种方法的优点和局限，对模型如何工作及模型所基于的假设有一个全面的认识。而定性分析可以弥补定量分析的一些固有不足。下一节将具体讨论。

18.5 步骤 4：考虑定性因素的影响

许多影响开发项目的因素，由于很复杂和不确定，很难量化。我们将这样的因素视为“定性因素”。在提出定性分析的概念框架后，我们将以 AB-100 为例，探讨如何进行定性分析。

考虑以下有关 AB-100 项目的问题：开发 AB-100 所获得的知识具有溢出效益吗？它对宝丽来公司的其他开发项目有益吗？竞争对手如何看待 AB-100？他们会调整自己的产品线以应对吗？美元/欧元的汇率会有重大波动以致改变零部件的成本吗？

在一些较宽泛的假设下，我们的定量模型暗含了对某些问题的解释。模型假设：项目团队做出的决策对项目团队外的集团行为无影响，或者外部力量不能改变项目团队的行为。对于许多其他财务模型，这一假设是重要且普遍的，并且被称为“其他条件均不变”的假设。

18.5.1 项目与公司、市场和宏观环境的相互作用

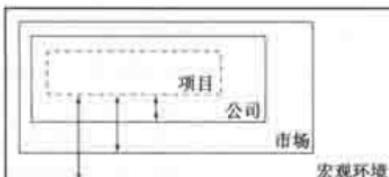
项目团队做出的决策一般对整个公司、竞争者及消费者，甚至对市场运行所依赖的宏观经济环境有重要影响（见图表 18-19）。类似地，开发项目外的事件和行为也可能会对项目产生重大影响。定性分析主要关注这些相互作用。定性分析最基本的方法是考虑：项目与整个公司的相互作用；项目与未来产品市场的相互作用；项目与宏观环境的相互作用。

项目与整个公司的相互作用：定量模型所包含的一个假设是，如果项目利润实现了最大化，那么公司的利润也会最大化。然而，必须将公司作为一个整体来考虑才能做出开发决策。项目与公司间两个主要的相互作用是外部性（externality）和战略适应（strategic fit）。

- **外部性：**外部性是公司一个部门的行为对另一部门所产生的不可定价的成本或收益影响。外部性分为正外部性与负外部性，成本是负的外部性，收益是正的外部性。正外部性的一个例子是，一个项目的开发学习可能会对现在的或将来的其他项目有益，但费用却由该项目承担。一个会产生负的外部性的例子是，新产品上市对现有产品销售的竞争。其他项目如何考虑这些无额外成本的收益？该项目如何考虑这些不仅对本身有益且对现在或将来的其他项目有益的资源消耗？
- **战略适应：**开发组的决策不仅必须对项目有利，而且还必须与公司的技术战略和产品计划保持一致。例如，提议的新产品、新技术或新特性与公司的资源和目标适应情况如何？它与公司需要保持的技术优势一致吗？它与公司品牌强调的独立性一致吗？即使项目的 NPV 有利，公司还有其他（也许作为一个投资组合）具有更高 NPV 的项目吗？

由于外部性和战略适应的复杂性和不确定性，很难将其量化。有时跨项目外部定量建模使用多项目 NPV 分析，可能包含多个场景，但是通常它们是定性的。第 4 章讨论了一些跨多个项目的战略规划问题。本章后面的附录 B 会概述使用决策树的情景分析。

项目与市场的相互作用：我们仅将价格和销售量作为主要的外部因素给予明确的模型化。实际上，我们已将市场的作用与反作用视为恒定。为了对项目价值进行准确的模型化，我们必须放宽“其余情况均不变”这一假设，而认识到开发团队的决策会影响市场。市场事件也将影响开发项目。市场环境不仅受开发团队行为的影响，而且还受其他集团（group）行为的影响。



图表 18-19 开发项目所处的边界范围

- 竞争者：竞争者可能提供直接竞争产品或提供替代品进行间接竞争。
- 顾客：顾客的预期、收入或喜好可能发生变化。这些变化可能是独立的，也可能因互补品或替代品市场的影响而相互关联。
- 供应商：为新产品提供组件和资源的供应商受自身市场竞争的压力影响，这些压力可能通过价值链间接影响新产品。

这些集团间的作用与反作用经常影响预期价格和销售量，但是它们同样可能有第二层的效果。例如，假设有这样的一个竞争者，它具有快速产品开发能力，且以市场份额而非短期盈利为目的。很明显，这样一个新竞争者的进入会改变我们的预期价格和销量。进一步，作为回应，我们可能会加速开发进度。这样，竞争者的行为不仅可能对我们的销量预期有影响，而且也影响我们已计划好的开发进度。通常这些情况可以考虑通过模拟一系列的市场情景及其对项目的影响来进行分析。

项目与宏观环境的相互作用：我们必须放宽“其他条件均不变”的假设，以便将主要的宏观因素考虑在内。

- **重大的经济变化：**影响开发项目价值的经济变化是汇率、原材料价格、劳动力价格、消费者可支配收入、商业投资水平和投资成本的变化。
- **政府法规：**新的法规可能会毁掉一个产品开发机会。另一方面，一个行业法规结构的改变可能也会衍生出全新的行业。
- **社会趋势：**同政府法规一样，新的社会关注（如不断加强的环保意识）会毁掉已存在的行业或创造新行业。

宏观因素对开发项目的价值可能有重要影响，但因其固有的复杂性和不确定性，它们的效果很难用量化的模型来表达。

在开发产品过程中，AB-100 产品开发团队遇到许多定性问题。我们在此提供宝丽来公司开发团队遇到的三个主要定性问题，并描述这些问题对项目的影响。这些例子不仅说明了定量分析的局限性，也说明了定性分析的重要性。

18.5.2 进行定性分析

对大多数项目团队来说，最适合的定性分析法是简单地考虑和讨论项目与公司、市场及宏观环境间的相互作用。然后，在参考定量分析结果的前提下，开发团队通过考虑这些相互作用来决定在开发速度、开发费用、制造成本及产品性能等方面最恰当的相对侧重。下面我们将

[387] 提供有关 AB-100 的两个定性分析的例子。

我们认为这一非正规方法是最适合协助项目团队决策的。当然，还有更结构化的方法可供利用，比如战略分析、博弈论、蒙特卡洛仿真和情景分析法等（具体内容请见参考文献）。

例 1：替代品价格的下降

一些竞争的咖啡机可看作 AB-100 的替代品。尽管 AB-100 团队初期对产品的定价具有竞争力，但在市场中进入一个与他们有相似产品却价格更低的竞争者时，AB-100 项目面临变化的竞争环境。

非常清楚，我们不能孤立地考虑 AB-100 项目。最初的销量假设不再有效，而这一变化不太确定。定量分析能够显示销量变化影响 NPV 的灵敏度，团队能够快速掌握项目价值变化的大小。定量与定性分析方法相结合，使团队迅速行动，并通过降低 AB-100 的零售价格进行响应。

例 2：平台产品的“选择”价值

AB-100 不是第一个在产品线上使用胶囊系统的咖啡机制造商。初期咖啡胶囊和咖啡机关键部件的开发是一项巨大的投资。当时的开发决策是：新一代产品可以在相同基本技术平台的基础上开发一个新的平台。这使公司可以基于对初期产品的市场反应和未来其他的考虑因素生产未来的模型。某些情况下，尽管在单一产品的背景下这样做不会产生经济效益，但是投资一个平台是有意义的。因此，基于平台的产品战略的成功不仅依赖于一个合适的产品架构，还要考虑最终产品系列的长期回报。

18.6 小结

在计算产品开发项目的期望投资回收期和财务回报时，经济分析是支持决策的有效工具。

- 本方法包括 4 个步骤：

- (1) 构建一个基准财务模型。计算期望的利润。
- (2) 进行敏感性分析，理解模型的关键假设。
- (3) 采用敏感性分析理解项目的权衡。
- (4) 考虑定性因素对项目成功的影响。

- 定量分析中的 NPV 法被广泛地应用。这一方法迫使产品开发团队客观地对待项目与决策。至少，他们的项目计划表和预算必须切实可行。财务模型提供了一种定量了解项

目关键利润来源的方法。

- 定量方法（如财务模型及分析）依赖于外部环境的假设。这些环境是变化的且可能受开发团队决策或其他不可控因素的影响。定量分析仅考虑了可测量的因素；然而，许多影响项目的主要因素高度复杂且不确定，难以量化。
- 定性分析强调难以量化问题的重要性，特别是项目与公司其他部分、市场及宏观环境间的相互关系。
- 总之，定量分析和定性分析能够帮助开发团队确认他们所做出的开发决策是否经济合理。

参考文献

许多现有的资源可通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得。

具体的现金流技术以及选择理论，请参考公司财务方面的经典文章。

Brealey, Richard A., Stewart C. Myers, and Franklin Allen, *Principles of Corporate Finance*, eleventh edition, McGraw-Hill, New York, 2013.

Bayus 提供了权衡产品开发时间和产品性能要素的分析。

Bayus, Barry L., "Speed-to-Market and New Product Performance Trade-offs," *Journal of Product Innovation Management*, Vol.14, 1997, pp.485-497.

Smith 和 Reinertsen 详尽地讨论了如何对开发时间建立经济学模型。

Smith, Preston G., and Donald G. Reinertse, *Developing Products in Half the Time, New Rules, New Tools*, Second Edition, Wiley, New York, 1997.

Michael Porter 的战略分析技术现在已经成为商学院学生的标准方法之一。他 20 世纪 80 年代的战略分析论文极具影响力。Porter 在 1985 年出版的著作中，提出了情景分析的通用结构化方法。这种方法最初由皇家荷兰壳牌公司在不正确性分析技术中提出。

Porter, Michael E., *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, The Free Press, New York, 1980.

Porter, Michael., *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, The Free Press, New York, 1985.

我们可以用博弈论分析竞争的相互作用。Oster 从微观经济学角度阐述了战略分析和博弈论观点。

Oster, Sharon M., *Modern Competitive Analysis*, Oxford University Press, New York, 1999.

Copeland 和 Antikarov 提出了对实物期权 (real option) 的详尽处理方法, 以及对具有不确定性和“决策点”的项目的分析思路。

Copeland, Tom, and Vladimir Antikarov. *Real Options: A Practitioner's Guide*, Texere, New York, 2003.

练习

1. 请列举 5 个理由来说明即使定量分析显示 NPV 是负的, 公司仍可选择进行产品开发。
2. 建立一个分析自行车车灯开发和销售的定量模型。假设在 5 年内能以每件 20 美元的价格 (批发价) 每年销售 20 000 件, 且每件制造成本为 10 美元。生产启动成本为 20 000 美元, 营销和服务成本每月 2000 美元。开发期为 12 个月。问这样一个项目合理的开发费用是多少?
3. 为练习 2 所描述的案例计算权衡标准。
4. 修改图表 17-13 以体现开发时间增加带来的影响。假设开发时间的最小变化量是零, 最大变化量是一个季度。
5. 如果咖啡胶囊可循环利用, 思考 AB-100 项目的经济意义。假设 50% 的胶囊可回收, 废料价值是 0.001 美元 / 个, 回收胶囊的可变成本是 0.01 美元 / 个, 每年 500 000 美元固定成本用于运行回收项目。怎样增加销量来弥补回收项目的成本?

思考题

1. 如果产品的创造者仅仅依赖一个定量财务模型来评判他们的努力的话, 你认为产品开发会取得成功吗? 这些产品具有什么特征?
2. 一个关于产品引入推迟的影响模型是, 销售仅简单地依时间向后推移; 另一个模型是部分销售将被排除在“机会窗口”之外且永远失去进入市场的机会。你能为延长产品开发时间所造成的影响提出其他模型吗? 这种延长是否可能有利?
3. 你将如何用定量分析方法对一个将在几年内开发并引入的整个系列产品的经济性能进行描述?
- 390 4. 有哪些定量分析方法可以用于分析同一公司现有产品竞争的影响?

附录 A 资金的时间价值和 NPV 法

该附录为不熟悉净现值 (Net Present Value, NPV) 的人提供一个很基础的辅导。

净现值是一个直观且作用很大的概念。从本质上讲，NPV 仅是对“今天的 1 元比明天的 1 元更值钱”这一事实的认识。计算 NPV 即计算一些将来收入或费用在今天的价值 (现值, present value)。比如，银行单位计息期的利率 (interest rate) 是 8% (计息期可能是一个月、一个季度或一年等)，如果我们此刻以 8% 的利率将 100 美元投资一个周期时间 (time period)，那么银行在一个周期时间 (计息期) 末应付多少？我们以 r 代表利率， C 代表投资量，则一个周期时间后收到的将是：

$$(1+r)C = (1+0.08) \times 100 = 1.08 \times 100 = 108 \text{ (美元)}$$

这样，如果我们以 8% 的利率投资 100 美元一个周期时间，我们将在这一周期时间结束时获得 108 美元。换句话说，今天的 100 美元与下一个周期时间的 108 美元等值。

假设我们以利率 r 投资 C' 一个周期时间，一个周期时间后，收回 100 美元 (利率为 8%)，那么我们最初的投资是多少？只要我们进行前一个例子的逆运算，即可求得最初投资 C' ：

$$(1+r)C' = 100 \text{ (美元)}$$

$$C' = \frac{100}{1+r} = \frac{100}{1+0.08} = \frac{100}{1.08} = 92.59 \text{ (美元)}$$

这样，如果我们在一个利率为 8% 的时期投资 92.59 美元，在该计息期结束时我们将获得 100 美元。

我们已说明了今天的 1 美元如何比明天的 1 美元更值钱。虽然今天的 100 美元就值 100 美元，但是下一个时期收到的 100 美元值今天的多少美元？答案正如我们在最后一个例子中所表明的那样，是 92.59 美元。换一种方式说，在折现率 (Discount Rate) 为 8% 的情况下，下一个时期收到的 100 美元现值为 92.59 美元。所以，现值就是在将来的某个时期收到或支出的费用以今天的钱的价值计价。

现在，我们来了解一下 100 美元投资更长时期的情况 (利率为 8%)：

$$\text{第 1 期末: } (1+r)C = (1+0.08) \times 100 = 108 \text{ (美元)}$$

$$\text{第 2 期末: } (1+r)(1+r) \times 100 = (1+0.08)^2 \times 100 = 116.64 \text{ (美元)}$$

$$\text{第 3 期末: } (1+r)(1+r)(1+r) \times 100 = (1+0.08)^3 \times 100 = 125.97 \text{ (美元)}$$

正如我们先前做的那样，我们分别计算第1期末、第2期末和第3期末收到100美元的对应投资的现值：

第1期末： $(1+r) C = 100$ (美元)

$$C = \frac{100}{1+0.08} = 92.59 \text{ (美元)}$$

第1期末收到100美元的现值为92.59美元。

第2期末： $(1+r)(1+r) C = 100$ (美元)

$$C = \frac{100}{(1+0.08)^2} = 85.73 \text{ (美元)}$$

第2期末收到100美元的现值为85.73美元。

第3期末： $(1+r)(1+r)(1+r) C = 100$ (美元)

$$C = \frac{100}{(1+0.08)^3} = 79.83 \text{ (美元)}$$

第3期末收到100美元的现值为79.38美元。

我们求出了这3个独立投资的现值。让我们换一种说法，假设我们有一个投资将要在第1期末、第2期末和第3期末各付出100美元，那么该投资的现值为多少？答案就是各现值的简单加和，即257.70美元。现值的和称为净现值（Net Present Value, NPV），NPV是所有现金流入（inflow）和所有现金流出（outflow）的现值之和。现金流出的现值恰是等量现金流入的相反数。

我们以一个简便的公式来总结现值的计算。从现在算起， t 个周期后收到（或支出）金额 C 的现值（Present Value, PV）是：

$$PV = \frac{C}{(1+r)^t}$$

某些计算器有特殊的PV函数可对PV做快速计算。计算机电子表格程序如Lotus 1-2-3和Microsoft Excel，都有特殊的财务函数可以自动计算PV。这些特殊函数所要求的信息包括：将来值、利率和投资期。

我们应该使用什么折现率

折现率（也称折现因子或最低预期资本回收率）是指我们自己或我们公司的“资金机会成本”。它之所以被称为“机会成本”，是因为将资金投资于该项目放弃了其他投资项目的回报。

换种方式说，折现率就是投资者因出借款项而要求得到的回报。具有正 NPV 项目的获利必定大于资金的机会成本，因而是一个“好的”投资项目。很多公司在投资决策中采用某一恒定利率。最近几年大多数公司使用 5%~15% 的折现率。大公司一般建立了确定折现系数的基本原则，较小的公司可以使用估计的加权平均的资金成本或公司投资者预期的投资回报率。见 Brealey and Myers (2013)。[392]

沉没成本与 NPV 计算无关

在进行产品开发决策时，已经发生的成本称为“沉没成本”。由于沉没成本是过去的流出，它们不影响现在或将来的决策，所以计算 NPV 时它们应忽略。为了说明这一点，让我们考虑一个关于“减少我们的损失”的典型观点：“我们已花了 6 亿美元和 9 年的时间，却没有拿出产品，你们让我赞同再投 9000 万美元？简直是疯了！”虽然这种观点听起来可能合乎逻辑，但事实上已花的钱对是否再花 9000 万美元的决策并不重要。重要的是，追加 9000 万美元的投资将获得多少额外利润。假设产品销售的预期利润是 3.5 亿美元，让我们看看两种选择的 NPV（假定所有的数值均是现值，单位为百万美元）：

(单位：美元)

| “减少我们的损失” | | “再投资 9000 万美元” | |
|----------------|------|----------------|------|
| 追加投资： | 0 | 追加投资： | -90 |
| 产品销售利润： | 0 | 产品销售利润： | 350 |
| “减少损失”决策的 NPV： | 0 | “追加投资”决策的 NPV： | 260 |
| 总投资： | -600 | 总投资： | -690 |
| 项目总回报： | -600 | 项目总回报： | -340 |

因为追加投资可获正的 NPV，所以该公司应继续进行追加投资。很明显，该公司在两种情况下项目均将有损失。已经花费的 6 亿美元是沉没成本，不应影响后续投资或减少损失的决策。当然，沉没成本的观点是一种被冷落的分析方法。俗语说：“沉没成本仅与使它们沉没的经理有关。”长期保持负回报的项目经理可以发现：沉没成本会影响他们争取项目获得支持。

附录 B 不确定现金流的 NPV 建模

产品开发项目面临许多风险。如我们可能认为某一特定新产品的单位制造成本是 40 美元。然而，成本既可能比这高也可能比这低，我们不能确切知道，除非产品已实际制造出来。我们为新产品做了销售预测，但这些预测依赖于（除了其他因素之外）我们的竞争对手何时将他们的产品投放市场。而我们也不会知道这些信息，除非他们的产品已实际投放市场。这些特[393]

别针对一个项目的各种不确定性被称为项目特有风险（project-specific risk）。项目特有风险应如何加以考虑？一些开发团队提高折现率以抵消结果的不确定性。然而，提高折现率的方法是武断的。幸运的是，如果我们有可以估计不确定现金流的概率，我们可以采用更好的方法。

为了避免武断地调整折现率，开发团队需要更切实地估计现金流。为了了解不确定因素对可能产出的所有影响，敏感性分析可以作为预测的补充分析方法。总之，项目特有风险应在预期现金流中考虑而不在折现率中考虑。

可以通过系统地改变模型参数值进行敏感性分析，如改变产品价格或生产成本，从而理解这些变量的特定值对净现值的精确作用。基本的分析方法是一次改变一个变量。这也是本章采用的方法，也可以组合多个变量以适应真实场景。更复杂的分析方法是 Monte Carlo 仿真，基于模型中各参数的假设概率分布。

注意，还存在另一种类型的风险，即一般市场风险（general market risk），它不是“项目特有风险”。市场风险源于这样的事实：广泛的经济风险对所有的商务和项目都构成损害。如何对这样的市场风险加以考虑？虽然有关于计算市场风险的很多书籍内容，但从我们的目的出发，以提高折现率的方式对市场风险进行计算便已足够：市场风险通常将导致折现率的膨胀。

场景分析

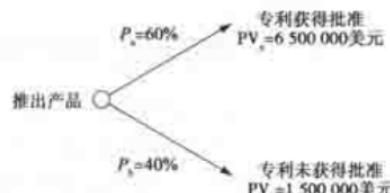
有时项目团队面临一些可以清晰预测的场景，可以看出项目结果受到的直接重大影响。例如，某团队已经就一项新颖而特别的产品概念申请了专利。如果专利获得批准，相比专利未获得批准时，团队面临的竞争威胁将少很多。这两个场景可以按照决策树（decision tree）建立模型，如图表 18-20 所示（在这种情况下，并不存在明确的决策，只有一个不确定过程的结果，该图依惯例被称为决策树）。树的两个树枝代表了团队假想的两个场景。可以就两个场景分别分析项目的现值。团队还可以对每个场景分配一个概率，有了这些输入之后，团队就可以针对这两个可能的场景分别计算项目期望的净现值：

$$NPV = P_a \times PV_a + P_b \times PV_b, \quad P_a + P_b = 1$$

对于图表 18-20 中的决策树，

$$\begin{aligned} NPV &= 0.60 \times 6\,500\,000 + 0.40 \times 1\,500\,000 \\ &= 4\,500\,000 \text{ (美元)} \end{aligned}$$

这种分析适合独立的、互不关联的场景，并且这些场景具有不同的现金流。

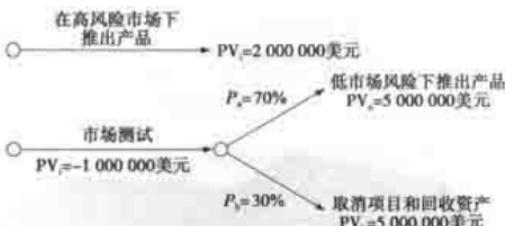


图表 18-20 可预测两个独立场景的情况

具有决策点的场景分析

在分析产品开发项目时，团队应该认识到，大多数项目可以根据最新信息而中止或改向。这样的决策点可以发生在重大的里程碑或评审的时候。这种扩张或收缩一个项目的柔性具有财务价值。这种具有投资更改能力的决策点概念，发展成为一个称为实物期权（real option）的学科。Copeland 和 Antikarov (2001) 提供了对该学科的详细描述。下文我们给出一种考虑决策点的分析方法。

如图表 18-21 所描述的场景，一个团队正在打算推出一种全新类型的产品，该产品具有内在风险。团队可以直接推出产品，然后祈祷成功，也可以花一些时间和金钱在市场中测试该产品。如果团队向市场测试进行投资，那么团队将有可能发现产品根本就不能生存。团队有可能选择终止项目。另一方面，团队也可能发现市场对新产品反应很好，团队将信心十足地推出新产品，期望更高的回报。



图表 18-21 这种场景下，团队既可以立即推出产品并面对很大的市场风险，也可以测试市场反应，然后再决定是否推出产品。

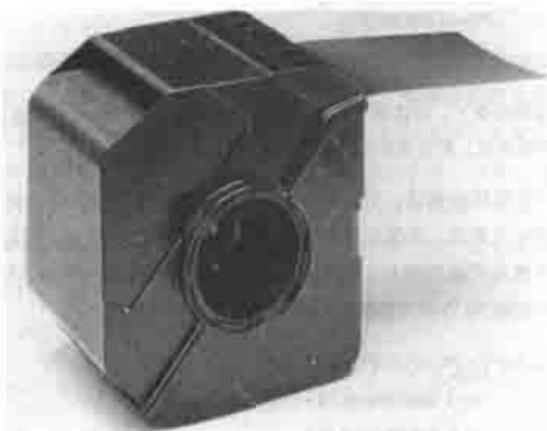
我们来估算一下项目的现值。不做市场测试的情况下，假设团队估计成功的可能性很大，该决策的现值为 200 万美元。在做市场测试的情况下，团队花费将 100 万美元进行市场测试。市场测试后，团队推出产品后收获正的现金流 500 万美元的概率为 70%，另外，中止项目的概率为 30%，此时获得 50 万美元的回收价值。该项目的净现值为：

$$\begin{aligned}
 NPV &= PV_1 + P_s \times PV_3 + P_b \times PV_4 \\
 &= -1 000 000 + 0.70 \times 5 000 000 + 0.30 \times 500 000 \\
 &= 2 650 000 (\text{美元})
 \end{aligned}$$

根据这样的计算，由于市场测试后直接推出的产品的净现值超过了不测试的净现值。所以团队最好还是花 100 万美元进行市场测试。当然直接推出具有高度不确定性的产品还受许多其他因素影响，还需要做进一步的调研。经济性建模只是为决策提供一个方面的信息。

第 19 章

产品开发项目管理



(由伊士曼 - 柯达公司授权)

图表 19-1 “猎豹”微型胶卷盒

一家微型成像设备制造商请柯达公司为其正在开发的一种新机器设计并提供微型胶卷暗盒（如图表 19-1 所示）。目标产品规格类似于柯达胶卷部先前开发的产品。然而，相比通常 24 个月的开发时间，客户需要在 8 个月内拿到样盒，以便在一个交易展中展示，并于随后的 4 个月内开始生产。柯达公司接受了这一挑战，将正常开发时间削减了一半，并称这项工作为“猎豹”项目。有效的项目管理是该项目成功完成的关键。

除了最简单的产品，通常产品开发都涉及许多人共同完成多种不同的活动。成功的产品开发项目将产生高质量、低成本的产品，并能实现时间、资金和其他资源的有效利用。项目管理（project management）是为实现这些目标而对资源和任务进行计划和协调的活动。

项目管理活动主要发生在项目规划（project planning）和项目执行（project execution）阶段。项目规划涉及为项目活动编制进度计划并确定资源需求。尽管概念开发阶段就首先制定了初步的项目计划，但它是一个动态的过程，并在整个开发过程中不断调整完善。

项目执行有时也被称为项目控制（project control），包括不可避免、无法预料的事件和新信息出现时协调和促进完成项目所需的大量的活动。执行和规划一样重要。许多团队失败的原因是他们没有在项目进行过程中持续关注其目标。

在本章的 5 节中，第 1 节首先提出了活动依赖性和时间的基本原理，以及用来描述项目活动之间关系的三种工具；在第 2 节，我们将说明如何应用这些原理制定一个有效的产品开发计划；在第 3 节，我们提供了一套快速完成项目的指南；接着，我们讨论了项目的执行；最后，我们提出了项目评估和持续改进的流程。

19.1 理解并表达活动

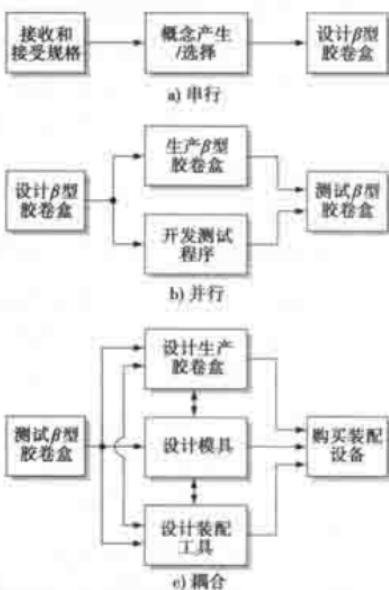
一个产品开发项目往往需要完成数百上千项的活动。本节讨论相互作用活动的基本特征，这些特征构成了项目的基本组成（basic physic）。我们还提出了描述项目活动的 3 种方式。

19.1.1 串行、并行和耦合活动

图表 19-2 显示了“猎豹”项目的 3 类活动，活动以方框表示，活动间的信息（数据）依赖关系用箭头表示。我们将此称为产品开发的信息流图（information-processing view）或数据驱动图（data-driven perspective），因为大部分依赖关系涉及活动之间的信息（数据）传递。如果活动 A 的输出是完成活动 B 的必要条件，我们就说活动 B 依赖（dependent）于活动 A，这种依赖关系用一个从 A 活动指向 B 活动的箭头表示。

图表 19-2a 展示了三项活动，其中两项依赖于另一项活动的输出。这些活动是串行的 (sequential)，因为其依赖关系决定了完成活动所必需的顺序。(请注意，活动按串行“完成”不一定意味着后面的活动不能在前面的活动完成前开始。一般来说，后面的活动只需部分信息就可以开始，但在前面的活动完成前不能结束)。图表 19-2b 展示了四项开发活动，中间的两项活动仅仅依赖于左边的活动，但彼此独立，右边的活动依赖于中间的两项活动。我们称中间两项活动为并行的 (parallel) 活动，因为它们都依赖于相同的活动，但彼此独立。图表 19-2c 显示了五项开发活动。其中有三个是耦合的 (coupled)，耦合活动相互依赖；每个活动的完成都需要另一项活动的结果。耦合活动既可以通过不断的信息交换同时执行，也可以迭代 (iterative) 方式进行。当耦合活动以迭代的方式执行时 (任务之间的关系是串行或并行执行)，其结果是试探性的，且每个活动要重复一次或多次，直到这个结果被团队所认同。

399



图表 19-2 三种基本的活动依赖关系类型

19.1.2 设计结构矩阵

用于表示和分析活动依赖关系的一个有用工具是设计结构矩阵 (Design Structure Matrix, DSM)。这种方法最初由 Steward (1981) 为分析设计过程而开发出来，最近被用于分析活动层面的开发项目建模 (Eppinger 等, 1994, Eppinger, 2001)。图表 19-3 展示了猎豹项目中 14 项主要活动的 DSM (柯达的实际计划包含 100 项以上的活动。)

在 DSM 模型中，一个项目的活动被分配到一行及相应的列中，尽管一般只有行标明了活动的完整名称，但行和列的命名和排序相同，每个活动由矩阵的行来定义。我们通过在列中放置标记，来表示该活动与其他活动 (列) 的依赖关系。从 DSM 矩阵的每一行看，可以看到哪些活动的输出是执行该行所示活动所需要的；从每一列由上往下看，可以看到哪些活动从对应列的活动中接受信息。对角线单元格通常被点或活动的标签填满，这只是为了将矩阵分为上、下三角，以便分析依赖关系。

DSM 在活动按执行的顺序排列时最为有用，在大多数情况下，这个顺序对应串行依赖关系。请注意，如果 DSM 中仅包含串行依赖活动，则活动的排序应使矩阵成为下三角阵 (low triangular)。也就是说，对角线的上方区域没有任何标记。一个标记出现在上对角区具有特别的含义：它表明一项前面的活动依赖于一项后面的活动。一个上对角标记 (above-diagonal mark) 可能意味着两个串行依赖活动的顺序颠倒了。在这种情况下，可以改变活动的顺序以消除上对角区的标记。然而，当没有活动排序可以消除上三角区的标记时，该标记表明有两个（或两个以上）活动是耦合的。

更改活动的顺序称为 DSM 排序 (sequencing) 或分割 (partitioning)。有几种简单的算法可对 DSM 排序，以便活动尽可能地根据其串行依赖关系进行排序。观察一个已排序的 DSM 可以知道哪些活动是串行的、哪些是平行的、哪些是耦合的（需要同时解决或迭代）。在一个已分割的 DSM 中，如果一个活动的行包含一个对角线下方的标记，则该活动是一个串行活动组的一部分。如果两个（或两个以上）活动之间没有标记连接，则它们是并行的。需要注意的是，耦合活动由对角线上方的标记识别。图表 19-3 显示了 DSM 如何表示这三种类型的关系。

| 活动 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N |
|-----------------|---------|---------|---------|-----|-----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 接收和接受规格 | A | | | | | | | | | | | | | |
| 概念产生/选择 | B X B | | | | | | | | | | | | | |
| 设计 β 型胶卷盒 | C X X C | | | | | | | | | | | | | |
| 生产 β 型胶卷盒 | D | X D | | | | | | | | | | | | |
| 开发测试程序 | E X X X | E | | | | | | | | | | | | |
| 测试 β 型胶卷盒 | F | X X X F | | | | | | | | | | | | |
| 设计生产胶卷盒 | G X X X | | X G X X | | | | | | | | | | | |
| 设计模具 | H X X | | X X H X | | | | | | | | | | | |
| 设计装配工具 | I | | X X I | | | | | | | | | | | |
| 购买装配设备 | J | | X X J | | | | | | | | | | | |
| 制造模具 | K | | | X K | | | | | | | | | | |
| 调试模具 | L | | | X X | X L | | | | | | | | | |
| 确认胶卷盒合格 | M | | | X | | X M | | | | | | | | |
| 首轮生产运行 | N | | | | | X X N | | | | | | | | |

图表 19-3 柯达猎豹项目简化的设计结构矩阵

从 20 世纪 90 年代开始，DSM 方法更复杂的使用已成为 MIT（麻省理工学院）的研究目标。这项工作将此方法应用于更大的项目以及如汽车和飞机等复杂系统的开发中。分析方法被开发出来，以帮助理解复杂活动耦合的影响；预测可能的项目完成时间和成本分布；以及帮助基于产品架构的组织设计规划 (Eppinger and Browning, 2012)。

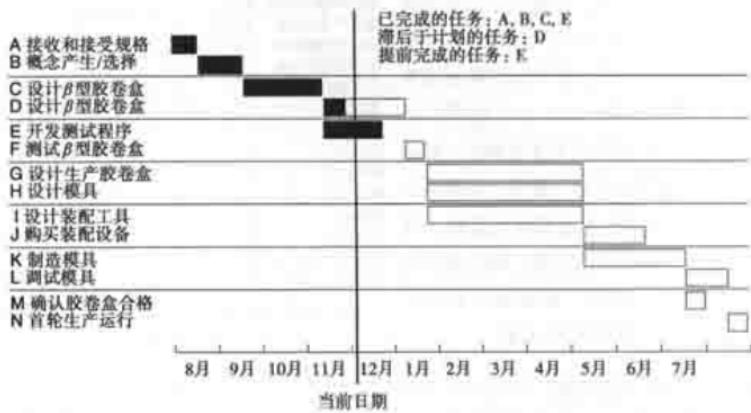
DSM 实践者发现，对项目活动关系 DSM 图示的创造性使用对项目经理在规划和执行阶段都有很高的指导意义。本章附录提供了一个更大的 DSM 模型，该模型展示了耦合开发活动的几个重叠阶段。

19.1.3 甘特图

甘特图 (Gantt Chart) 是表示活动进度的传统工具。图表 19-4 显示了猎豹项目的甘特图。甘特图包含一个水平的时间轴，即代表每一个活动开始和结束的水平条。每个水平条的填充

部分代表了活动已完成的部分。图表 19-4 的垂线代表当前的日期，所以我们可以直接观察到活动 D 落后于进度，而活动 E 提前完成。

甘特图没有明确显示活动之间的依赖关系。活动依赖关系会约束而不会完全决定活动的进度。依赖关系决定了哪些活动必须在其他活动开始（或结束，取决于依赖关系的性质）前完成，以及哪些活动可以并行完成。当甘特图中两个活动在时间上重叠（overlap），它们可以是平行的、串行的或迭代耦合的。为了项目计划的方便，平行活动可以在时间上重叠，因为他们彼此并不依赖。根据信息依赖关系的确切性质，串行活动可能会在时间上重叠，如下面一节加速项目中所述。耦合活动在时间上必须重叠，因为他们需要同时或通过迭代的方式解决。



图表 19-4 猎豹项目的甘特图

19.1.4 PERT 图

PERT (Program Evaluation and Review Technique, 计划评审技术) 图明确表示了活动依赖关系和进度要求。实际上结合了包含在 DSM 和甘特图中的一些信息。虽然 PERT 图有许多形式，我们更偏向于节点活动 (nodes activity) 的形式。它对应于大多数人都熟悉的流程图。猎豹项目的 PERT 如图表 19-5 所示。PERT 图中的方块上标明了活动及预计的持续时间，请注意，PERT 表示法不允许循环或反馈，所以不能明确显示迭代耦合关系。结果，耦合活动 G、H 和 I 一起组合到一个活动中。PERT 图的画法是：活动之间的所有连接必须从左向右进行，以表明活动完成的时间顺序。当方块 (block) 的大小代表活动的持续时间时（如在甘特图中一样），PERT 图也可以用于表示项目进度。



图表 19-5 猎豹项目的 PERT 图。关键路径由连接活动的粗线条标明。请注意活动 G、H 和 I 分在一组，因为 PERT 表示法不能明确表示耦合活动

19.1.5 关键路径法

由于 PERT 图中活动之间的依赖关系，有的可以按串行排列，有些则可能是并行排列。因此，引出关键路径 (critical path) 的概念。关键路径是相互依赖事件的最长链，它是一组顺序的活动，完成这组活动所需时间是所有线路可能完成的最短时间。如图表 19-5 所示的猎豹项目，无论是排序 C-D-F 还是排序 C-E-F，都定义了完成 C、D、E 和 F 四项活动所需要的时间。在这种情况下，路径 C-D-F 需要 18 周，路径 C-E-F 需要 15 周。那么整个项目的关键路径包括 C-D-F。图 19-5 中的粗线条表示该项目的关键路径。确定关键路径很重要，因为任一关键活动 (critical task) 的延迟都会导致项目工期的增加。除了关键路径外的所有其他路径包含一定的时差 (slack)，这意味着一个非关键活动的延迟不一定会导致整个项目的延迟。图表 19-4 显示了活动 D 落后于进度。由于活动 D 在关键路径上，因此如果不纠正这种延迟，将导致整个项目完成时间的延迟。

几种软件可用于绘制甘特图和 PERT 图，它们也可以计算关键路径。

19.2 项目基准计划

项目计划是后续开发工作的指南，计划在协调后续活动以及估计所需的开发资源和开发时间方面非常重要。对项目计划的一些测度发生在产品开发的早期阶段，但该计划在概念开发阶段结束，指定重要的开发资源用途之前最重要。本节介绍了创建项目基准计划 (baseline

project planning) 的方法，在建立基准后，开发团队考虑是否应该修改计划以改变计划好时间、预算或项目范围。概念开发阶段的结果和项目计划组成了合同书 (contract book)。

19.2.1 合同书

我们建议使用合同书记录项目计划和开发过程中概念开发阶段的结果。Wheelwright 和 Clark (1992) 详述了合同书的概念。合同 (contract) 一词是用来强调该文件代表了开发团队和公司高级管理人员之间对项目的目标、方向和资源要求等所达成的协议。现实中，合同书有时由团队中的关键成员及公司的高级管理人员签署。合同书的目录如图表 19-6 所示，本书中相关章节探讨了这些内容中的一部分。

| 内 容 | 大 致 页 数 | 见 章 节 |
|----------------------|-----------|---------------|
| 使命陈述 | 1 | 4 |
| 顾客需求清单 | 1~2 | 5 |
| 竞争性分析 | 1~2 | 3, 4, 5, 8, 9 |
| 产品规格说明 | 1~3 | 6 |
| 产品概念框架 | 1~2 | 7, 11 |
| 概念测试报告 | 1~2 | 9 |
| 销售预测 | 1~3 | 9, 17 |
| 经济分析 / 商业案例 | 1~3 | 17 |
| 环境影响评价 | 1~2 | 12 |
| 生产计划 | 1~5 | 13 |
| 项目计划 | | |
| 活动清单 | 1~5 | 2, 18 |
| 设计结构矩阵 | 2~3 | 18 |
| 开发团队成员和组织 | 1 | 2, 18 |
| 进度 (甘特图和 / 或 PERT 图) | 1~2 | 18 |
| 预算 | 1 | 18 |
| 风险计划 | 1 | 18 |
| 项目绩效测量计划 | 1 | 18 |
| 激励 | 1 | 18 |
| | 共 19~40 页 | |

图表 19-6 一个中等复杂程度的项目合同书目录表

下面我们讨论项目计划的要素：项目活动清单 (project task list)、开发团队的人员和组织、项目进度、项目预算以及项目风险领域。

19.2.2 项目活动清单

一个项目包含了大量的活动，编制项目计划的第一步是列出组成项目的所有活动。对于大多数产品开发项目，团队无法十分详尽地列出每项活动，因为后续的开发活动中存在太多的不确定性。然而，团队能够以一般的详细程度列出估计的活动。为使活动清单在项目计划中充分发挥作用。它应包含 50~200 项活动。对于小型项目（如手工工具的开发），每个活动可以对应平均每人一到两天的工作量；对于中型项目（如计算机打印机的开发），每个活动可以对应一个小组一周的工作量；对于大型项目（如汽车的开发），每个活动可以对应一个部门或工作小组一个或几个月的工作量。对于大型项目，这种水平的每一活动可能会成为一个单独的项目，并有它自己的项目计划。

生成活动清单的一种有效的方法是：考虑每一个剩余开发阶段的所有活动。对于我们的基本开发流程，概念开发后剩余的阶段是系统设计、详细设计、测试和改进以及试产扩量（见第 2 章）。在某些情况下，目前开发工作可能与以往项目非常相似。在这些情况下，以前的项目活动清单是新活动清单的良好起点。猎豹项目与先前几十个项目的工作非常相似，因此，团队在识别项目活动上没有任何困难（团队面临的挑战是将其迅速完成）。

列出所有活动后，开发团队需要估算完成每一项活动所需要的工作量（effort），工作量通常以人·小时、人·天或人·周为单位计量，具体取决于项目大小。请注意，这些估算反映了开发团队成员必须活动的“实际工作时间”，而不是团队预计活动所需的日历时间（elapsed calendar time）。因为完成一项活动的速度对活动的全部工作量会有影响，所以估算包含了整体项目进度的初步假设，以及团队打算多久完成活动，这些估算通常来源于过去的经验或开发团队中有经验成员的判断。猎豹项目中的一个活动清单如图表 19-7 所示。

| 活 动 | 估 计 的 人 · 周 | 活 动 | 估 计 的 人 · 周 |
|-----------------|-------------|---------------------------------|-------------|
| 概念开发 | | 设计模具 | 36 |
| 接收和接受规格 | 8 | 设计装配工具 | 24 |
| 概念产生 / 选择 | 16 | 购买装配设备 | 16 |
| 详细设计 | | 制造模具 | 16 |
| 设计 β 型胶卷盒 | 62 | 调试模具 | 24 |
| 生产 β 型胶卷盒 | 24 | 确认胶卷盒合格 | 12 |
| 开发测试程序 | 24 | 试产扩量 | |
| 测试与改进 | | 首轮生产运行 (Initial production run) | 16 |
| 测试 β 型胶卷盒 | 20 | 合计 | 354 |
| 设计生产胶卷盒 | 56 | | |

图表 19-7 “猎豹”项目活动清单（为清晰起见，该活动清单已简化。实际清单包含 100 个以上活动）

19.2.3 开发团队人员配备与组织

项目团队是完成项目活动的人员集合。开发团队是否有效取决于个人和组织多方面的因素。Smith 和 Reinertsen (1997) 提出了决定一个开发团队完成产品开发速度的七条准则。根据我们的经验，这些标准同样能较好地预测开发团队在其他方面的绩效。这七条准则是：

- 开发团队不多于 10 个成员
- 成员自愿服务于团队
- 成员从概念开发阶段直到产品上市，一直在开发团队中工作
- 成员在开发团队中是全职的
- 成员直接汇报于开发团队领导
- 开发团队至少涵盖了包括市场营销、设计、制造等关键职能
- 开发团队的座位在彼此的交谈距离之内

尽管很少有开发团队能配备理想的人员和组织，但这些标准提出了几个关键问题：开发团队规模应该有多大？较大的企业应该如何组织开发团队？开发团队应该体现哪些职能？一个超大项目的开发团队如何表现出小团队的一些敏捷性？在此，我们提出团队规模的相关问题。第1章及第2章提出了关于团队和组织的一些其他问题。

项目团队所需的最小人员数目可通过完成项目活动总的估计工作量除以项目计划工期估算出来。例如，猎豹项目的估计工作量是 354 人·周，该团队希望在 12 个月（或约 50 周）内完成项目，则最小的团队规模将为 7 人。在同等条件下，小团队似乎比大团队更有效率。所以理想的状况是一个团队由最少的人数组成，每个人都百分之百投入到该项目中去。

有三个因素使实现这一理想状态变得困难。第一，完成项目往往需要专业技能，例如，猎豹活动之一是设计模具。模具设计是高度专业化的，团队不可能一整年一直雇用一名模具设计师；第二，一个或多个核心团队成员可能还有其他项目需要完成。例如，猎豹项目的一名工程师负责帮助一个先前项目进行试产扩量，因此，刚开始她只能花一半的时间在猎豹项目上；第三，完成项目活动所需的工作量随着时间而变化。一般情况下，在开始生产之前工作要求逐渐增加，直到试产扩量开始后才开始减少，因此，为尽快完成项目，团队一般不得不随着项目的进展不断扩大规模。

在综合考虑专业技能的需求、团队成员的承诺以及适应先增加后减少的工作量的需要的基础上，项目经理与管理部门商议，以确定整个项目的人员以及每个人大约将在何时加入开发团队。虽然在某些情况下，我们只能确定项目成员的专业领域（如模具设计师、工业设计师），

但只要可能，就应确定人员的名字。猎豹项目人员如图表 19-8 所示。

| 人 员 | 月 份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 团队经理 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 进度协调员 | | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 顾客联络员 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 机械设计师 1 | | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 机械设计师 2 | | | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | | | |
| CAD 技术员 1 | | | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 |
| CAD 技术员 2 | | | | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | | |
| 模具设计师 1 | | 25 | 25 | 25 | 25 | 100 | 100 | 100 | 100 | 25 | 25 | 25 | |
| 模具设计师 2 | | | | | | 100 | 100 | 100 | 100 | | | | |
| 装配工具设计师 | | 25 | 25 | 25 | 25 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 50 |
| 制造工程师 | | 50 | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 采购工程师 | | | 50 | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

图表 19-8 “猎豹”项目的人员配备（数字以全职时间的近似百分比表示）

19.2.4 项目进度

项目进度计划是项目活动与项目时间表的融合，进度计划识别了期望的项目里程碑，以及每个活动将于何时开始、何时结束。团队使用此进度表跟踪项目进展，并协调团队成员间的 [406] 材料和信息交流。因此，使整个项目团队信赖项目进度表是十分重要的。

我们推荐通过以下步骤创建一个基准的项目进度表：

- (1) 使用 DSM 和 PERT 图识别活动之间的依赖关系
- (2) 将项目关键里程碑在甘特图的时间线上定位
- (3) 安排活动进度，并考虑项目的人员配置和其他重要资源
- (4) 调整里程碑的时间安排，以使其与活动所需的时间相一致

项目里程碑作为计划活动的支撑点 (anchor point) 是有用的。常见的里程碑包括：设计评审 (称为阶段评审或设计门框 (gate))、综合化原型 (如 α 原型、 β 原型) 以及产品展示。这些事件通常需要开发团队几乎每个成员的努力，因此，它们成为整合各方资源的强大约束和进度表上的支撑点。一旦里程碑在进度表上被确定，就可以在这些里程碑之间设置活动。

猎豹项目的时间表是通过将典型的项目阶段扩展到一组约含 100 项的活动而开发出来的，主要的里程碑为概念批准、 β 原型胶卷盒测试、产品展示以及试产扩量。这些活动和关键路径

之间的关系通过 PERT 图与甘特图相结合进行描述。

19.2.5 项目预算

尽管许多公司都以标准的预算表来进行申请和批准，但预算通常用一个简单的电子表格来表示。主要的预算包括：人员、材料与服务、项目专用设施以及项目外资源开支。

对于大多数项目，最大的预算是人员成本（cost of staff）。对猎豹项目，人员费用占了总预算的 80%。人员成本可以将满工作量工资率（loaded salary rates）乘以项目团队人员花在项目上的估计时间。由人员配备计划直接得出。“满工作量”工资包括员工津贴和管理费（overhead），它通常是项目团队成员实际工资的两倍到三倍。许多公司只使用一个或两个不同的工资率代表项目人员的成本。产品开发项目平均人员成本的范围为 2000~5000 美元每人·周。对于猎豹项目，假设平均成本为 3000 美元每人·周，则 354 人周的总成本将达到 1 062 000 美元。

在项目开发的早期阶段，由于时间和成本的不确定性都较高，预测可能只能精确到 30%~50%，在项目的后期阶段，项目的不确定性减少到 5%~10%。考虑到风险应急，预算应留有一定余地。猎豹的项目预算总结如图表 19-9 所示。

| 内 容 | 数 额 (美元) |
|---------------------|-----------|
| 员工工资 | |
| 354 人·周 (3000 美元/周) | 1 062 000 |
| 材料与服务 | 125 000 |
| 原型模具 | 75 000 |
| 外部资源、咨询 | 25 000 |
| 差旅费 | 50 000 |
| 小计 | 1 337 000 |
| 应急 (20%) | 267 488 |
| 总计 | 1 604 488 |

图表 19-9 “猎豹”项目的预算概况。生产加工和设备算作制造成本而不作为开发项目预算的一部分（此处隐去柯达公司的真实数据，列于此只作例证用）

19.2.6 项目风险计划

项目很少精确地按计划执行，有些与计划的偏差较小，对项目绩效的影响较少或几乎没有影响；另一些偏差则会导致重大的延迟、预算超支、产品性能不佳或制造成本高。通常开发团队可以提前收集一个可能出错的清单，即项目的风险领域。为识别风险，开发团队会问：哪些

不确定性会影响项目的技术、财务和进度？不确定性可能会与活动进度、技术开发、市场接受度、原材料成本、竞争等因素有关。

在确定各种风险后，开发团队将每个风险的严重性和可能程度相结合，对风险进行排序。一个完整的风险计划还包括将风险降到最低的行动清单。尽早应对项目中的最大风险是项目管理的最佳实践，应安排早期行动来降低高风险之下的不确定性。对项目风险进行排序好处颇多，除了能够迫使开发团队将风险最小化，还有助于减少项目后期开发团队与高级管理部门就意外进行沟通的次数。猎豹项目的风险计划如图表 19-10 所示。

| 风险事件 | 风险级别 | 最小化风险的措施 |
|--------------|------|---|
| 变更顾客说明书 | 中 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 让客户参与到完善说明书的过程中来 ■ 与客户一起评估说明书更改带来的时间和成本损失 |
| 胶卷盒设计的输入特性不佳 | 低 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 由加工零件建立早期功能原型 ■ 在微暗照相机上测试原型 |
| 模具制造车间的延误 | 中 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 5~7 月为车间预留 25% 的生产能力 |
| 制模问题需要模具返工 | 高 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 让模具制造者和模具设计员加入零件设计过程 ■ 进行模具填充计算机分析 ■ 为零件设计建立设计规则 ■ 在概念开发阶段结束时选择原材料 |

图表 19-10 “猎豹”项目的风险计划

407
408

19.2.7 修改基准计划

项目基准计划体现了这些假设：项目将多快完成，产品性能与成本的目标，以及应用到项目的资源等。基准计划完成后，开发团队应该考虑是否重新评估一些假设，开发团队经常需要在开发时间、开发成本、产品制造成本以及产品的性能和风险间进行权衡。例如，一个项目可以通过花费更多的钱以更快的速度完成，这样的权衡可采用第 17 章中的经济分析技术进行定量探讨。开发团队也可以制定应急计划以免一些风险无法克服。最常见的对基准计划的修改是压缩时间进度。为此，我们在下一节中阐述了开发团队加快项目进度的途径。

19.3 加快项目进程

通常，产品开发时间是项目计划与执行阶段的首要问题，本节提供了加速产品开发项目进度的指南，虽然有一些指南可以用于整个开发项目，但大多数适用于项目计划阶段，在项目开始之前考虑加快项目进程比项目已经开始才考虑更加容易。

第一组指南可应用于整个项目，它们如下所示。

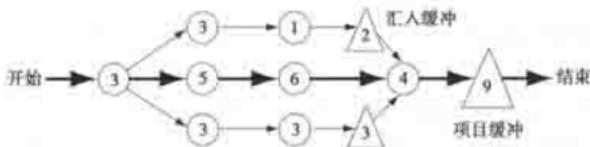
- **尽早启动项目：**尽管在项目开始之前节省一个月与在项目结束时节省一个月同样重要，但在开发项目正式开始之前，开发团队通常并无多大紧迫感。例如，因为安排高级经理参加会议的困难，批准项目计划和合同书评审的会议往往被成周地推迟。这种在项目开始前的延迟与试产扩量阶段的延迟代价同样高昂。尽早完成一个项目最简单的方法就是尽早启动项目。
- **管理项目范围：**随着项目的进展，一种自然趋势是在产品中增加额外的特性和功能。有些公司把这种现象称为特性蔓延（feature creep）或蔓延的优雅（creeping elegance）。在时间敏感的环境中，这可能会导致一个没有市场的优雅产品。训练有素的团队和组织可以“冻结设计”，将渐进式的改善留给下一代产品。
- **促进必要的信息交换：**如 DSM 方法所示，大量的信息必须在产品开发团队内转移。每个活动所产生的信息都有一个或多个内部顾客。对于小团队，频繁的信息交流是很自然的，可通过团队会议和团队成员的协同促成。更大的团队可能需要更高的结构化来促进快速和频繁的信息交流。DSM 中显示的耦合活动方块确定了密集信息交换的特殊需求。计算机网络和协作软件工具可以促进较大产品开发团队内部的常规信息传递。

第二组指南旨在减少完成关键路径活动所需的时间。这些准则源于“减少完成项目所需时

409 间的唯一途径是缩短关键路径”这一事实。请注意，配置额外的资源以缩短关键路径的决策，必须建立在加快整个项目所带来的价值基础上。对于某些项目，关键路径的时间每减少一周，其价值是几十万甚至几百万美元。

- **更快地完成关键路径上的活动：**识别关键路径的好处是团队可以把精力放在至关重要的一连串活动上。关键路径通常只代表了总项目的一小部分工作，所以通常可以很容易证明，将额外支出花在关键活动上，以使其更迅速地完成是物有所值的。将活动识别为关键活动后，它可以得到特别的关注，起步较早而不会被中断，因此有时可以简单地通过将活动识别为关键活动以达到使其更快完成的目的。需要注意的是，加速完成一个关键活动会导致关键路径发生变化，以前的非关键活动也可能成为关键活动。
- **集成安全时间：**项目中估计出来的每个活动的持续时间一般包括一定的“安全时间”。“安全时间”时间是预留的，以防止在每个活动执行期间时常发生但不可预测的延迟。常见的延迟包括：等待信息和批准、其他活动或项目的中断。活动比预想的更困难等。Goldratt (1997) 估计，插入安全时间成倍增加了完成活动的名义时间。尽管安全时间被附加在预期的活动工期上以考虑随机延迟，但这些估计成为活动执行过程中的目标，这意味着活动很少能提前完成，很多活动甚至超出了预期时间。Goldratt 建议将关键路

径上每个活动的安全时间去掉，并将所有的安全时间从关键路径聚集到项目进度计划最后单一的项目缓冲（project buffer）。因为延长活动持续时间的需求只是随机发生的，只有一些活动真的需要利用项目缓冲的时间。由于单一的项目缓冲会小于每一个活动估计的安全时间之和，因此，关键路径就可以更快地完成。实际上，项目缓冲只需在缩短后的关键路径时间进行到一半时开始。Goldratt 将这些想法发展成一个称为关键链（critical chain）的项目管理方法。除了项目缓冲，这种方法还可采用汇入缓冲（feeder buffer，或译为“接驳缓冲”“输入缓冲”），以防止关键路径因非关键活动的进入而延迟。每个供给缓冲区都聚集了非关键路径上活动的安全时间。图表 19-11 说明了项目缓冲和汇入缓冲的应用。



图表 19-11 关键链法将关键路径上的安全时间聚集到项目缓冲。汇入缓冲能防止关键路径被延迟，在本例中，每个活动都被给予名义活动期间（天）。关键路径由连接关键活动的粗箭头表示

[410]

- 完全排除某些关键路径活动：仔细检查关键路径上的每项活动，并询问其是否可被除去或是否能通过其他方式完成。
- 消除对关键路径资源的等待延误：关键路径上的活动有时会因为等待某紧俏的资源而延迟。等待时间常常比完成活动所需的实际时间还要长。当从供应商处采购特殊部件时，因等待而导致延迟的现象特别突出，这样的延迟可以通过订购一批材料和部件，确保手头上合适的物件来避免；或通过购买供应商生产系统中一部分的生产能力来加快零件的制造，尽管孤立来看这部分开支似乎太多，但这些费用在整体开发项目中可能会产生较好的经济效益。在其他情况下，行政活动（如采购订单的审批等）可能会成为瓶颈。因为在过去的胶卷盒开发项目中，定期的预算批准造成了延误。猎豹项目负责人从很早就开始积极地寻求必要的签字，以免妨碍整个团队的活动。
- 某些选定的关键活动重叠：仔细检查关键路径上串行依赖活动之间的关系。某些活动有时可以重叠（overlapped）或并行（parallel）执行。在某些情况下，这可能需要对活动重新进行定义，甚至改变产品的架构（关于产品架构所引发的依赖关系详见第 10 章）；在其他情况下，只需简单地在串行活动之间更早和/或更频繁地交换部分信息，或更早地冻结关键上游信息即可实现重叠。Krishnan（1996）提供了选择不同重叠策略的策略框架。

- **大型活动的流水作业：**流水（pipeline）策略是将一个大型活动分解成更小的活动，这样活动结果可以随着其完成尽快传递。例如，寻找和认证提供产品组件的很多供应商的过程是费时的，如果没有尽早完成甚至会耽误试产扩量。单个组件一经确定，采购部就可以认证供应商，而不用等到整个物料清单完善后。流水作业实际上使名义上的串行活动得到重叠。
- **外包某些活动：**项目资源约束是很普遍的，当一个项目受到可用资源的限制时，将活动分配给一个外部公司或公司内另一个团队，可以有效地加速整体项目进度。

最后一组指南旨在加快耦合活动的进度。让我们重温一下，耦合活动是指那些因为彼此相互依赖而必须同时或反复完成的活动。

- **快速地进行更多的迭代：**耦合活动的延迟大部分产生于信息在人与人之间的传递以及对相应的等待，如果能以更快的频率进行迭代（iteration），则可以更快速地完成耦合活动。更快的迭代可以通过更快和更频繁的信息交流实现。在“猎豹”项目中，机械工程师将与模具设计师紧密合作，模具设计师又与模具制造商密切合作，他们通过各自的计算机终端交换如何从三个不同的方面使设计获得进展的想法。
- **去除活动耦合以避免迭代：**可以通过采取活动之间去耦合（decouple）的方法避免或消除迭代。例如，通过在设计过程中早期明确定义两个相互作用组件之间的接口，两个组件剩余的设计工作可以独立、平行地进行。定义接口可能会花一些时间，但是可以避免耗时的迭代，带来了时间上的净节省（见第10章关于建立接口以使组件开发独立进行的讨论）。
- **考虑各种解决方案：**迭代涉及产品设计的信息交换。在某些情况下，使用值的范围或一系列值而不是某一点的设计参数的估计值，可以促使耦合活动更快地收敛。研究者最近描述了在丰田公司的同步工程中应用这种基于组合方法的情况（Sobek等，1999）。

19.4 项目执行

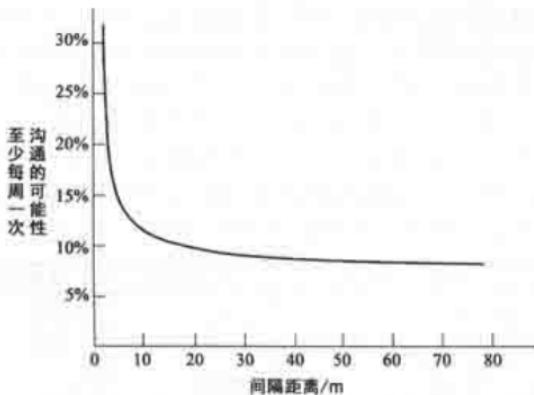
即使是一个计划周密的项目，要平稳顺利地执行，也需格外小心谨慎。项目执行中有三个问题特别重要：（1）什么样的机制可以用来协调活动？（2）如何评估项目进展状态？（3）团队可以采取什么措施对项目进行纠偏？这一部分我们来讨论这些问题。

19.4.1 协调机制

对团队不同成员的活动进行协调应贯穿于开发项目始终，有了活动间的依赖关系，必然需要对活动进行协调，对协调的需求也来自于无法预料的事件和新信息引起的不可避免的项目计划变更。协调困难可能来自信息交流不足，或组织跨职能部门间合作的障碍。团队用于解

决这些困难促进协调的机制有以下几种。

- 非正式沟通：从事产品开发项目的团队成员每天可能会与其他团队成员沟通数十次，这些沟通中许多都是非正式的，包括偶然地靠近某人的办公桌、一个电话、一封 E-mail，以询问或提供一条信息。良好的非正式沟通是打破个人和组织跨部门合作障碍的最有效机制之一。将开发团队的核心成员安排在同一个工作空间可以显著增强非正式沟通，Allen (1977) 的研究表明，沟通频率与物理距离呈反比，且当人与人之间的距离超过几米时，交流频率迅速下降（如图表 19-12 所示）。从我们的经验来看，如果人与人之间彼此熟悉，那么电子邮件甚至语音邮件也是促进非正式沟通的有效方式。



（图片来源：Allen, 1977）

图表 19-12 沟通频率与间隔距离之间的关系。这个关系针对组织中的个人，如隶属于同一产品开发团队的成员

- 会议：会议是项目团队主要的正式沟通机制。大多数团队每周至少正式开会一次，很多团队每周开两次会。一些团队每天都开会。处于同一个工作空间的团队比那些地理上分开的成员需要更少的正式会议。花在信息交流上的会议时间不能花在完成其他项目活动上。因此，为了尽量减少浪费在会议上的时间，一些经常举办会议的团队强调会议应该快速。控制会议时间的其他技术包括：准备书面议程；指定专人主持会议；在午餐之前或在一天快要结束，人们都急于离开的时候开会。我们建议小组会议在一个固定的时间和地点举行，这样就不用在安排会议以及通知团队时间和地点上花费多余的精力。
- 进度展示：项目执行的最重要的信息系统是项目进度，通常以 PERT 图或甘特图的形式展示出来。大多数成功的项目均有一个专职的人负责监测进度，对小型项目，这个

人通常是团队经理；较大的项目一般指定专人而不是项目经理对进度进行定期的监测和更新。在“猎豹”项目中，柯达公司指定了一位兼职项目分析员，保持进度计划每周更新一次并向项目经理汇报情况。团队成员都了解进度计划准确的重要性，因此非常合作。进度更新通常以甘特图的形式表示出来（如图表 19-4 所示）。

- 每周更新：**通常在星期五或是周末，项目经理编写每周进展状态的备忘录，并通过纸质、电子形式或语音邮件发到整个项目团队。备忘录通常有 1~2 页纸，列出过去一周的主要完成情况、决策和事件，也列出未来一周的关键事件。有时附有一个更新的进度表。
- 激励：**许多基本的组织形式（如使用职能绩效评价的职能型组织）会抑制跨职能团队成员的合作，基于项目绩效标准的方式激励团队成员全身心地投入到项目中去。项目经理和职能经理共同考核与晋升、加薪及奖金挂钩的个人绩效，体现了项目结果的重要性（第 2 章对各种组织形式，包括项目、职能和矩阵组织进行了讨论）。
- 流程文档：**本书所提出的每种方法均有一个与之相联系的信息系统。它有助于项目制定决策和生成文档（这里所说的信息系统是指团队用来交换信息的所有结构化方法，而不仅仅是团队使用的计算机系统）。例如，概念选择采用两个概念选择矩阵来记录和实施选择过程；类似地，其他的信息系统既方便了过程步骤按逻辑执行，又可用于记录其结果。图表 19-13 列出了用于开发过程中不同阶段的一些重要信息系统。

| 开发活动 | 使用的信息系统 | 开发活动 | 使用的信息系统 |
|--------|---|----------|---|
| 产品规划 | 产品细分图 技术路线图 产品—工艺变化矩阵 综合资源计划 产品规划 活动书 | 系统设计 | 分化设计 共性设计 |
| | | 详细设计 | 物料清单 原型计划 环境影响分析 |
| | | 工业设计 | 美学、人体工学重要性调查 |
| 顾客需求识别 | 顾客需求清单 | 测试 | 性能测试报告 持续性测试报告 |
| 概念生成 | 功能图 概念分类树 概念组合表 概念描述和大纲 | 产品开发经济分析 | NPV 分析表 |
| | | | |
| 概念选择 | 概念筛选矩阵 概念评分矩阵 | | 合同书 活动清单 设计结构矩阵 甘特图 PERT 图 |
| 产品规格说明 | 需求评价矩阵 竞争性标杆分析（benchmarking）图 规格清单（specifications list） | 项目管理 | 人员配置矩阵 风险分析 每周状态备忘录 缓冲区报告 项目后分析报告 |
| | | | |
| 系统设计 | 概要图 几何设计 | | |

图表 19-13 促进产品开发决策、团队共识和信息交换的信息系统

19.4.2 评估项目状态

项目领导和高级经理要有能力评估项目的状态，以知晓是否有必要采取纠偏措施。在中等规模的项目中（如少于 50 人的项目），项目经理很容易评估项目的状态。项目经理可通过正式团队会议评估项目状况，也可通过非正式的途径收集信息来评估项目状态。项目经理不断与项目团队交换意见，定期与成员开会以攻克难题，因此能够观察到项目的所有信息系统。项目团队也可以聘请外部专家到核心小组来评审项目状态，这些评审的目的是为了突出风险区域，并产生降低这些风险的想法。

由高级经理实施的项目评审是另一种评估项目进展的常用方法。这些评审常常在每一个开发阶段收尾时进行，并且是关键的项目里程碑。这些事件不仅使高级经理掌握项目的状态，而且能促使各种开发活动结束。这些评审不只是有用的里程碑，能够加强项目的执行，它们也可能妨碍项目的执行，这些不利的方面来自于：花太多的时间来准备正式的报告、经理太忙导致评审计划制定的延迟以及评审项目的人对项目细节的过度干涉。

关键链法采用一种新的方法来监控项目进度。仅仅监控项目缓冲和汇入缓冲（上文已扼要叙述过），项目经理就可以快速评估每条路径的紧急程度并估计项目的完成时间。如果活动消耗项目缓冲的速度比关键路径完成的速度更快，项目就有延期的风险。因此，缓冲区报告以关键路径和其他供给路径的进展情况提供了项目状态的简明近况。

19.4.3 纠偏措施

当发现项目计划存在不良偏差时，团队就会试图采取纠偏措施。问题几乎总是表现为潜在的进度延误，所以大多数纠偏措施都涉及阻止潜在的延迟。一些可能采取的措施包括以下几个。

- 改变会议的时间或频率：有时将例会从每周改为每日召开，会提高团队成员之间信息流的“驱动频率”，进而能够更快地完成活动。这一点对于那些不在同一地点办公的团队尤其重要（如果团队在地理上高度分散，会议可能会消耗大量的差旅时间）。有时只是将每周一次的会议从星期二早上改到星期五下午，就能增强团队“需要在这周内做完”的紧迫感。
- 改变项目人员：项目团队成员的技能、能力和贡献在很大程度上决定了项目绩效。当项目组人手严重不足时，有时可以通过增加必要的工作人员提升绩效。当项目团队人员过多时，有时可以通过裁员提高绩效。请注意，在项目收尾阶段若令人恐慌地增加员工，可能导致项目的延迟。因为团队协调工作量的增加可能超过人力资源的

增加。

- 将团队安排在一起：如果团队在地理上是分散的，提高项目绩效的方法之一是将团队安排在同一个地点办公。这一措施总能增加团队成员之间的沟通。电子邮件、视频会议以及其他基于网络的协作工具可以使“虚拟同一地点”成为可能。
- 要求项目团队投入更多的时间和精力：如果某些团队成员将其精力分配在几个项目，解除他们的其他工作职责可能会增加项目的绩效。通常，高效的项目团队一定有成员每周为该项目投入超过40h的时间。如果一些关键的活动需要特别的努力，大多数尽职尽责的项目团队会愿意投入几周每天14h的工作时间完成这项工作。然而，不要期望大多数团队成员连续几个星期每周工作60h或70h却并不觉得疲劳和倦怠。
- 将更多的精力集中在关键活动上：根据定义，只有一个活动排序形成了关键路径。当利用额外的人员可以有效地攻克这一路径时，团队可能会选择暂时放弃一些或所有其他不重要的活动，以确保及时完成关键活动。
- 聘用外部资源：团队可以聘请外部资源，如咨询公司或供应商来执行一些的开发活动。当一组活动被清楚地定义，且协调的要求不是很严格时，选择外部公司通常快速并相对经济。
- 变更项目范围或进度：如果所有的努力都未能纠正项目偏差，则团队必须缩小项目范围，确定替换的项目目标，或延长项目进度，这些变更对维持一个可靠的、有用的项目计划是必要的。

19.5 项目后评估

在项目完成后对其绩效情况进行评价，这对个人和组织的提升很有用。这种评审通常被称为项目后评估（postmortem project evaluation）或项目后评审（postproject review）。项目后评估通常是开放式的讨论，其内容包括：项目计划的优点和不足、采用的开发流程、商业和技术结果以及执行的质量。这个讨论是有时由外部顾问或由公司内未参与该项目的人开展的，几个问题有助于引导讨论。

- 团队是否完成了任务说明书（包括战略、技术和财务目标）所明确表达的使命？
- 项目绩效的哪些方面（开发时间、开发成本、产品质量、生产成本、环境影响）最应受肯定？
- 项目绩效的哪些方面最应受批评？
- 哪些工具、方法和实践对绩效的产生产生了正面的影响？
- 哪些工具、方法和实践影响了项目的成功？

- 团队遇到了什么问题？
- 组织可以采取什么具体的措施提高项目绩效？
- 学到了什么具体的经验？如何与组织的其他成员共享这些经验？

准备项目后评估报告是项目正式终止的一部分。这些报告将用于未来项目的规划阶段，以帮助团队成员知道什么是可预期的，并帮助他们识别应避免的陷阱。这个报告也是公司产品开发实践一个很有价值的历史数据来源，它与项目其他文件（尤其是合同书）一起，为每个项目提供了“事前和事后”检查。

对于“猎豹”项目，事后讨论涉及六个核心团队成员，并持续了两个小时。讨论在一位顾问的协助下完成。项目按时完成，除了很具进取性的进度表外，大部分的讨论都集中在团队对项目成功做出的贡献，团队成员认为，项目成功最重要的因素是：

- 团队领导者的授权
- 有效的团队问题解决方式
- 强调严格执行进度表
- 有效的交流链
- 多职能部门的充分参与
- 充分利用以往胶卷盒的开发经验
- 利用 CAD 工具进行沟通和分析
- 对制造能力的较早了解

“猎豹”团队也确定了一些改进的机会：

- 利用三维 CAD 工具和塑料成型分析工具
- 顾客更早地参与设计决策
- 工具设计和生产系统设计集成的改进

19.6 小结

成功的产品开发需要有效的项目管理。本章的主要思想如下。

- 项目由彼此间的依赖关系而连接在一起的活动所组成。活动间的依赖关系可以是串行、并行或耦合的。
- 相互依赖活动的最长链定义了关键路径。它表明了项目可能完成的最短时间。
- 设计结构矩阵（Design Structure Matrix, DSM）可以用来表示活动间的依赖关系，甘

特图用来表示活动的时间，PERT 图可以表示活动的依赖关系和时间，并常被用于计算关键路径。

- 项目计划包括：活动清单、项目进度安排、人员需求、项目预算以及风险计划。它们是合同书的关键要素。
- 大多数加快项目进程的机会出现于项目规划阶段，有很多方法能使开发项目更快地完成。
- 项目执行包括协调、评估进展以及采取行动纠偏。
- 评估项目的绩效可激励并促进个人和组织的进步。

参考文献

在互联网上可以通过访问 www.ulrich-eppinger.net 获得许多最新资料。

项目管理方面有许多基本的文章。尽管这些文章大多数都不集中于产品开发项目，PERT、关键路径和甘特图技术在大多数项目管理书籍中都有描述，包括 Kerzner 的经典文章。Kerzner 还讨论了项目人员配置、计划、预算、风险管理与控制。

Kerzner, Harold, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, tenth edition, Wiley, New York, 2005.

在产品管理和项目管理领域，有专门的职业组织来开发工具和最佳实践。如 ProBOK 和 PMBOK，这些知识体系不但可以作为专业手册，而且是培训和认证项目的基础。

Product Management Educational Institute, *The Guide to the Product Management and Marketing Body of Knowledge: ProdBOK*, 2013.

Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide*, fifth edition, 2013.

有几位作者专门撰写了产品开发管理。Wheelwright 和 Clark 深入讨论了团队领导和项目管理问题。

Wheelwright, Stephen C., and Kim B. Clark, *Revolutionizing Product Development: Quantum in Leaps Speed, Efficiency, and Quality*, The Free Press, New York, 1992.

设计结构矩阵（Design Structure Matrix, DSM）由 Steward 在上世纪 70 年代提出。最近，该方法应用于工业项目计划，并由 Eppinger 和他在 MIT 的研究小组进行了改进。

Eppinger, Steven D., and Tyson R. Browning, *Design Structure Matrix Methods and Applications*, MIT Press, Cambridge, MA, 2012.

Steward, Donald V., *Systems Analysis and Management: Structure, Strategy, and Design*, Petrocelli Books, New York, 1981.

Krishnan 提出了一个重叠进行顺序活动的框架，解释了在什么情况下将初始信息从上游转移到下游更好，以及什么时候将上游活动冻结可能更好。 [418]

Krishnan, Viswanathan, "Managing the Simultaneous Execution of Coupled Phases in Concurrent Product Development" *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol 43, No.2, May 1996, pp. 210-217.

Goldratt 开发了项目管理的关键链法，该方法将安全时间从每个活动合计到项目和通道缓冲，并允许通过监测这些缓冲区来跟踪项目。

Goldratt, Eliyahu M., *Critical Chain*, North River Press, Great Barrington, MA, 1997.

Newbold, Rob, and Bill Lynch, *The Project Manifesto: Transforming Your Life and Work with Critical Chain Values*, ProChain Press, Lake Ridge, VA, 2014.

Smith 和 Reinertsen 提供了加速产品开发项目的很多思路，以及团队人员配置和组织的有趣见解。

Smith, Preston G., and Donald G. Reinertsen, *Developing Products in Half the Time: New Rules, New Tools*, second edition, Wiley, New York, 1997.

Sobek, Ward, 和 Liker 提出了基于“组”的并行工程原则，在这些工程中，产品开发团队推出几组设计解决方案，而不是只使用基于点的值来描述不断变化的设计。

Sobek II, Durward K., Allen C. Ward, and Jeffrey K. Liker, "Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering," *Sloan Management Review*, Vol. 40, No.2, Winter 1999, pp. 67-83.

Allen 已经对 R&D 组织中的沟通进行了广泛的研究。以下文献包含了他关于物理布局对沟通影响的创新实证研究结果。

Allen, Thomas J., and Gunter W. Henn, *The Organization and Architecture of Innovation: Managing the Flow of Technology*, Elsevier, Burlington, MA, 2007.

Kostner 就地理上分散的团队提供了领导指南。

Kostner, Jaelyn, *Virtual Leadership: Secrets from the Round Table for the Multi-Site Manager*, Warner Books, New York, 1994.

Markus 解释了除了传统的媒介（如面对面的会议），电子邮件也可以很好地促进项目团队

成员之间的交流。

Markus, M. Lynne, "Electronic Mail as the Medium of Managerial Choice," *Organization Science*, Vol. 5, No. 4, November 1994, pp. 502-527.

Hall 提出了风险识别、分析和管理的结构化流程，以及软件和系统工程的应用实例（同时参见 Kerzner, 2005）。

Hall, Elaine M., *Methods for Software Systems Development*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1998.

Smith 提出了项目评审和评估的 12 步方法，可以促进产品开发过程的不断改进。

Smith, Preston G., "Your Product Development Process Demands Ongoing Improvement," *Research-Technology Management*, Vol. 39, No. 2, March-April 1996, pp. 37-44.

419

练习

- 准备晚餐的活动可能包括（括号内是活动的正常持续时间）：
 - 为做沙拉清洗、切好蔬菜（15min）
 - 拌沙拉（2min）
 - 布置桌子（8min）
 - 开始煮米饭（2min）
 - 煮米饭（25min）
 - 将米饭盛入餐盘中（1min）
 - 混合烘焙配料（10min）
 - 进行烘焙（25min）
 为这些活动准备一个 DSM。
- 为练习 1 中的活动准备一张 PERT 图。一个人准备这顿晚餐要多久？如果是两个人一起准备呢？
- 你将采取什么样的策略更快地准备晚餐？如果你提前 24h 考虑这顿晚餐，你会采取什么步骤以减少第二天从到家到吃饭之间的时间？
- 采访一位项目经理（不一定是产品开发项目经理）。请他描述项目成功的主要障碍。

思考题

- 当关键路径上的一项活动（如模具制造）延迟时，尽管完成项目所需的总工作量保持不变，但整个项目的完成也将被延迟。你认为这样的延迟将如何影响项目的总成本？
- 本章主要关注项目管理中有关活动、依赖关系和进度中的“硬”问题。那么，与项目管理有关的“软”问题或行为问题有哪些？
- 你认为一个成功的项目经理应具有什么特征？
- 在什么情况下，加快产品开发项目进程的努力也可以导致产品质量的提高和产品制造成本的降低？在什么情况下，当项目加速时，产品的这些特征可能会被弱化？

420

附录 设计结构矩阵示例

设计结构矩阵（Design Structure Matrix, DSM）最有用的应用是说明已得到确认但复杂的工程设计过程，这种丰富的过程建模方法有利于：

- 理解目前的开发流程
- 与参与者沟通流程
- 改进流程
- 可视化项目进度

图表 19-14 展示了某大型汽车开发流程中一个关键部分的 DSM 模型，该模型包含 50 个活动，它们是验证发动机室中组件布局有效性的数字化样机（Digital Mock-Up, DMU）流程所涉及的活动。该流程发生在 6 个阶段，通过沿对角线的活动块来描述，前两个阶段（项目规划和 CAD 数据收集）是并行的。接下来是数字化装配模型的开发（DMU 准备），最后三个阶段依次包括更准确的分析验证，使数字化装配模型更精确地匹配汽车动力舱。

与图表 19-3 所示的简单 DSM 模型相比，图表 19-14 中对角线上的块（block）用于识别耦合活动集，DSM 使用这样的方块显示每个阶段中哪些活动被一起执行（并行、串行和迭代）。箭头和虚线表示每个阶段各活动集之间的主要迭代。

421

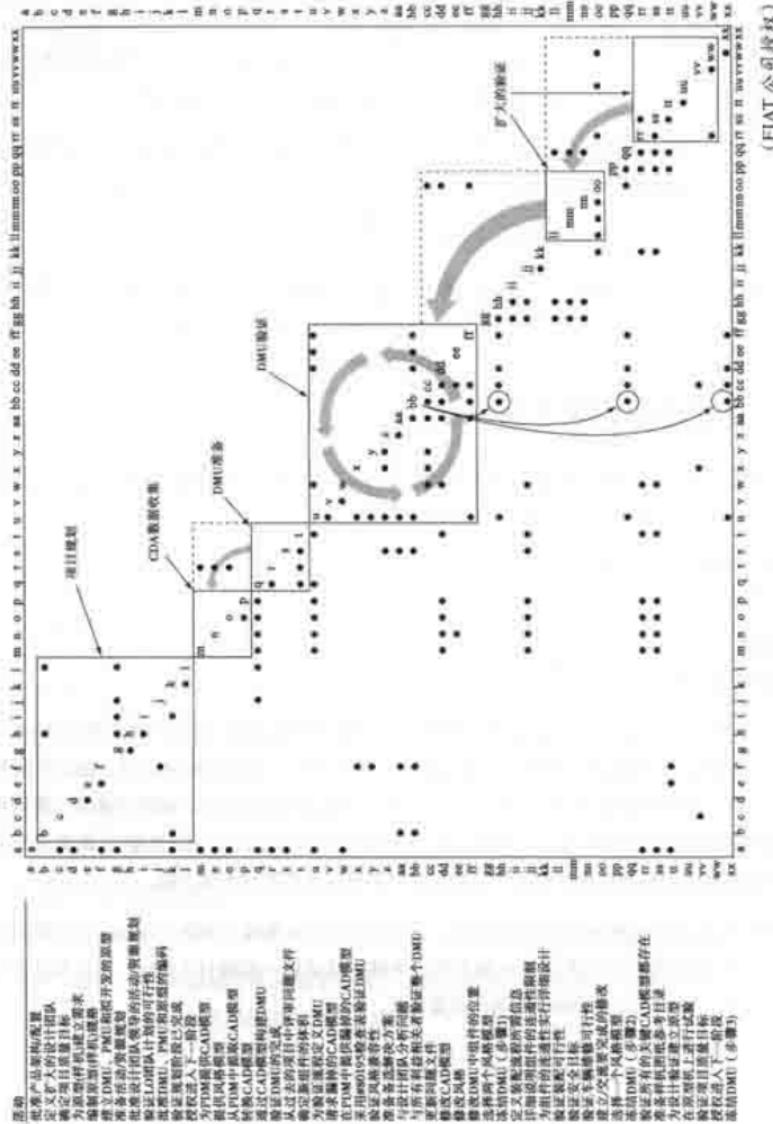


图 19-14 用于验证汽车发动机室布局有效性的数字化样机 (DSM) 流程的 DSM 模型

索引

索引中的页码为英文原书页码，与书中页边标注的页码一致。

A

- Asker, David A., 113
Activity-based costing (ABC) methods (作业成本法), 266
Adaptations, as product change motive (适应性，产品改进的动因), 190
Add-ons, as product change motive (附加组件，产品改进的动因), 190
AEG (德国通用电力公司), 211
Aesthetic needs, industrial design (人机工程的需求，工业设计), 215
Aggregate planning (综合计划), 64-66
Air pollution (空气污染), 235
Alexander, Christopher, 207
Alger, J.R., 162
Allen, Franklin, 389
Allen, Thomas J., 32, 419
Almquist, Eric, 328
Alpha prototypes (α 原型), 15, 298, 307, 363
Altshuller, Genrich, 142
Analysis of means (均值分析), 324-325
Analysis of variance (ANOVA, 方差分析), 326
Analytical prototypes (解析原型), 293, 295, 299
physical prototype vs. (实体原型), 299
Andreasen, M. Myrup, 31
Antikarov, Vladimir, 390
Apple Inc. (苹果公司), 42, 218
Apple iPhone (苹果手机), 20
Aronson, Lillian, 45
Asentio Design (Asentio 设计公司), 34
Assembly costs (装配成本), 260, 288-289
customer assembly (客户自行装配), 272
estimation of (估计), 264-265, 270
maximize ease of assembly (最大限度地简化装配), 271-272
part integration (零部件集成), 270-271
reduction in (缩减), 270-272
Assembly efficiency (装配效率), 270
Assumptions, in pre-project planning (项目前期规划中的假设), 68-69
Audio recording, as interview documentation method (录音，作为访谈文件编制方法), 81
Avallone, Eugene A., 142
AvaTech Avalanche Probe (AvaTech 雪崩探测器), 1, 5
Ayres, Jan., 50

B

- Bakerjian, R., 278
 Bang & Olufsen, 218
 Base-case financial model (基准财务模型), 372-377
 cash flows, timing/magnitude of, estimation of (现金流量, 时间/数量, 估计), 372-374
 Baseline project plan (项目基准计划), 403-409
 contract book (合同书), 403
 modification (修改), 409
 project budget (项目预算), 407
 project schedule (项目进度), 406-407
 project task list (项目任务列表), 403-405
 project team (项目团队), 405-406
 risk plan (风险计划), 407-408
 Bass, Frank M., 182
 Baumeister, Theodore, III, 142
 Bayus, Barry L., 389
 Beitz, Wolfgang, 141, 162
 Belle-V Ice Cream Scoop (Belle-V 冰激凌勺), 1-5
 Benchmarking (标杆比较 (或称为基准对照法))
 in concept development (概念开发), 17-18
 for concept generation (概念生成), 127
 Beta prototypes (β 原型), 15, 298, 307, 363
 Bhamra, T., 236, 241, 249
 Bias, sample (偏倚, 样本), 171
 Billington, Cory, 207
 Bill of materials (物料清单), 106-107
 Bill of materials (BOM, 物料清单), 262
 Biodiversity (生物多样性), 235
 Bitner, M. J., 366
 Black box (黑箱), 122
 Black box supplier design (黑箱供应商设计), 269
 Blessing, L., 141
 BMW (宝马)

corporate identity (企业形象), 218

R1100RS motorcycle (R1100RS 摩托车), 191-192

Boatwright, Peter, 229

Boeing 787 Aircraft (波音 787 飞机), 1, 5

Bohlmann, Jonathan D., 182

Bolt laser-based cat toy (Bolt 激光猫玩具), 33-34

Bolz, Roger W., 278

Boothroyd, G., 270, 278, 279

Boothroyd Dewhurst, Inc., 265

Box, George E. P., 328

Brainstorming (头脑风暴), 127

Bralla, James G., 278

Braun, 218

Braungart, M., 236, 250

Brealey, Richard A., 389

Brezet, H., 236, 250

Browning, Tyson R., 418

Brundtland Report (布伦特兰报告), 236

Budget, project (预算, 项目), 407

Budget allocations (预算分配), 110

Burall, P., 236, 250

Burchill, Gary, 89

Burden rates (负担率). 见 Overhead rates

Burgelman, Robert A., 71

Bus-modular architecture (总线型模块架构), 188, 189

C

Cagan, Jonathan, 229

Caplan, Ralph, 229

Cardaci, Kitty, 229

Carter, Brent, 207

Cash flows (现金流量), 370, 371

net present value, computation of (净现值, 计算), 374-375

- timing/magnitude of, estimation of (估计时间 /
数量大小), 372-374
- Ceteris paribus* (其他条件不变), 385, 387
- Cham, Jorge G., 142
- Charter (章程). 另见 *Mission statement*
establishment of (建立), 39-40
- Cheetah microfilm cartridge project ("猎豹" 微
型胶卷盒项目), 397-417
- Chicos, Roberta A., 182
- Christensen, Clayton M., 71-72
- Chunks (组件)
architecture of (架构), 205
assignment of elements to (划分元素), 195-197
component integration (零部件集成), 192
component standardization (零部件标准化), 191
defined (定义的), 187
in integral architecture (集成架构), 187-188
in modular architecture (模块化架构), 187,
188-189
product change and (产品改进), 189-190
in product development management (产品开
发管理), 192-193
- Claims, patents (索赔, 专利)
crafting, guidelines for (制作, 指南), 348
dependent (相关的), 346
independent (不相关的), 346
outlining of (概述), 341-342
refinement of (细化), 345-348
writing (著作), 345-348
- Clark, Kim B., 10, 31, 63, 71, 207, 269,
279, 310, 403, 418
- Clausing, Don, 95, 99, 112, 305, 309
- CNC machining (数控加工), 286
- Coca-Cola (可口可乐), 334
- Coffee maker (咖啡机), 369-370
- Coffin, David W., Sr., 333-334, 336-337, 341,
344, 346-348, 351
- Commonality plan (共同性计划), 203-204
- Communication (沟通)
in concept testing (概念测试), 171-176
informal (非正式), 412
prototypes for (原型), 297
- Competition, project timing and (竞争, 项目时
间安排), 66
- Competitive benchmarking (竞争基准), 17-18
collecting information about (收集有关信息),
99, 100
- Competitive design (具有竞争力的设计), 150
- Competitive mapping (竞争性分析图), 108-109
- Competitive strategy (竞争策略), 58
- Competitors, qualitative analysis and (竞争对手,
定性分析), 387
- Complex systems (复杂系统), 22
- Component integration (零部件集成), 192
- Components (构成要素)
black box supplier design (黑箱供应商设计),
269
costs of (成本), 260, 266-269
economies of scale for (规模经济), 267-268
error proofing (防错), 273-274
manufacturing costs (制造成本), 282-285
maximize ease of assembly (最大限度地简化
装配), 271-272
part integration (零部件集成), 270-271
redesigning (重新设计), 267
reuse, design for manufacturing and (重新使用,
面向制造的设计), 275
- Component standardization (零部件标准化), 191
- Compounded noise (复合噪声), 318, 322
- Comprehensive prototypes (综合化原型), 293
- Computer-aided design (CAD) tools (计算机辅助
设计工具), 222-223

- Computer-aided engineering (CAE) tools (计算机辅助工程工具), 303
- Concept classification tree (概念分类树), 132-134
- Concept combination table (概念组合表), 134-137
- Concept development (概念开发)
- concept generation and (概念生成), 118-119
 - concept testing in (概念测试), 168
 - customer needs in (客户需求), 16, 74-75
 - in product development process (产品开发流程), 14, 15
- Concept generation (概念生成), 17, 117, 140
- benchmarking and (基准设定), 127
 - concept classification tree (概念分类树), 132-134
 - concept combination table (概念组合表), 134-137
 - in concept development process (概念开发过程), 118-119
 - consult experts (咨询专家), 125
 - external searches for (外部搜索), 124-127
 - five-step method (五步法), 119-140
 - gallery method (画廊法), 130
 - hints for (线索), 129-130
 - industrial design process and (工业设计过程), 219-220
 - internal search (内部搜索), 127-131
 - lead users, interviewing (领先用户, 采访), 124-125
 - periodic action principle (周期性作用原理), 130
 - problem clarification in (问题澄清), 120-124
 - published literature, searching (文献, 检索), 126-127
 - reflect on solutions and process (反思解决方案和过程), 139-140
 - search patents (检索专利), 125
 - structured approach to (结构化的方法), 119
 - systematic exploration (系统探讨), 131-139
 - TRIZ (theory of invention problem solving) (发明问题解决理论), 130
- Concept scoring (概念评分), 156-159
- defined (定义的), 151
 - rank concepts (对概念排序), 158
 - rate concepts (对概念打分), 157-158
 - reference concept in (参考概念), 156
 - reflect on results and process (反思结果和过程), 159
 - selection matrix, preparation of (选择矩阵, 准备), 156-157
 - selection of concepts (概念选择), 158-159
- Concept screening (概念筛选), 152-156
- defined (定义的), 151
 - rank concepts (对概念排序), 154
 - rate concepts (对概念打分), 153-154
 - reference concept in (参考概念), 153
 - reflect on results and process (反思结果和过程), 155
 - selection matrix, preparation of (选择矩阵, 准备), 152-153
 - selection of concepts (概念选择), 154-155
- Concept selection (概念选择)
- caveats (附加说明), 159-160
 - concept scoring (概念评分), 151, 157-159
 - concept screening (概念筛选), 151, 152-156
 - decomposition of concept quality (概念质量分解), 159-160
 - defined (定义的), 17, 146
 - methods for (方法), 147
 - multivoting (多数表决), 147, 151
 - in product development process (产品开发过程), 146-147

- structured method (结构化方法), 150-151
 subjective criteria (主观标准), 160
 Concept testing (概念测试), 167-181
 communication in (交流), 171-176
 in concept development (概念开发), 168
 customer response, measurement of (客户反应, 潜度), 177
 defined (定义的), 17
 interpretation of results (阐释结果), 177-180
 market segments and (市场细分), 169-170
 matching survey format with communication (匹配调查格式与交流), 175
 purchase intent measurement (购买意向测量), 177
 purchase price and (购买价格), 176
 purpose of (目的), 169
 reflect on results and process (反思结果和过程), 180-181
 sales forecasts (销售预测), 177-180
 screener questions (筛选问题), 169
 survey format, choosing (调查格式, 选择), 170-171
 survey population, choosing (调查人群, 选择), 169-170
 Conjoint analysis (关联分析), 98, 109
 Constraints, in pre-project planning (项目前期规划中的约束), 68-69
 Consumer ethnography (消费者群体学), 42
 Contract book (合同书), 17, 94, 403
 Control documentation (控制文件), 15
 Control drawings/models (控制图纸/模型), 222
 Control factors (控制因素), 317
 Cooper, Robert G., 31, 71
 Cooper, Robin, 113
 Coordination, product development process and (协调, 产品开发过程), 12
 Copeland, Tom, 390
 Copyright (版权), 334
 Core team (核心团队), 4, 66
 Corporate identity, industrial design and (企业形象, 工业设计), 218
 Cost drivers (成本驱动因子)
 and overhead costs estimation (间接成本估计), 265-266
 process constraints and (过程约束), 266-267
 Cost leadership (成本领先), 58
 Cost-plus pricing (成本加成定价法), 114
 Cost(s) (成本)
 assembly (装配), 见 Assembly costs
 bill of materials (物料单), 106-107
 components (构成要素), 260, 266-269, 282-285
 development (开发), 见 Development costs
 direct (直接的), 217
 economies of scale (规模经济), 267-268
 fixed (固定的), 5
 fixed vs. variable (固定的与可变的), 261-262
 of industrial design (工业设计), 217
 life cycle, design for manufacturing and (全生命周期, 面向制造的设计), 275
 manufacturing (制造), 258-266
 materials (材料), 281
 overhead (间接费用), 261, 265-266
 processing (加工), 264
 of product development (产品开发), 2, 5
 structures (结构), 289
 sunk (沉没的), 373
 support (支持), 261, 272-274
 target (目标), 106, 114-116
 time (时间), 217
 tooling (工具作业), 264
 transportation (运输), 261

- Coupled task (耦合的任务), 398-399
- Cradle to Cradle: Remaking the way We Make Things* (McDonough and Braungart), 236
- Crawford, C. Merle, 71, 181
- Creeping elegance (蔓延的优雅), 409
- Crest SpinBrush (电动牙刷), 45
- Critical Chain (关键链), 410, 414
- Critical path (关键路径), 402-403, 410, 411
manufacturing (制造), 257
- Cubberly, William H., 278
- Custom components (定制件 (非标件)), 260
costs, estimation of (成本, 估计), 263-264
- Customer assembly (客户自行装配), 272
- Customer attributes/requirements (客户属性 / 需求)
见 Customer needs
- Customer-focused product (以客户为中心的产品), 150
- Customer focus strategy (以客户为中心的策略), 58
- Customer involvement, in services (服务中的客户参与), 357
- Customer needs (客户需求), 92
in concept development (概念开发), 16, 74-75
goals of (目标), 74
identification of (识别), 见 Customer needs
identification
industrial design and (工业设计), 219
latent needs (潜在需求), 42, 75
organizing in hierarchical list (组织层次列表), 84-86
relationship with metrics (度量指标的关系), 95-97
relative importance of (相对重要性), 86-87
specifications and (规格), 75
- Customer needs identification (顾客需求识别), 73-90
- data interpretation (数据解释), 82-84
- documenting interactions with customers (记录与客户的交互), 80-81
- eliciting customer needs data (引出客户需求数据), 79-81
- reflect on results (反思结果), 87-88
- selection of customers (客户选择), 78-79
- steps in (步骤), 75-88
- Customers (客户)
gathering raw data from (收集原始数据), 77-82
- lead users (领先用户), 45, 78, 124-125
- qualitative analysis and (定性分析), 387
- response in concept testing (概念测试中的反应), 177
- selection for interview (选择性访谈), 78-79
- Customer statements (客户陈述), 81
- Customized products (定制化的产品), 20
- Cusumano, Michael A., 309, 366
- D
- Dahan, Ely, 182
- Data driven perspective (数据驱动的视角), 398-399
- Davis, Timothy P., 328
- Day, George S., 50, 70, 113
- Dean, James W., Jr., 278
- Decision making process (决策过程), 151
- Decision matrices (决策准则), 147
- Decision tree (决策树), 394-395
- Decomposition, of problems (问题分解), 121-123
- Defensive disclosure (防御性披露), 344-345
- Defensive rights (防御性权利), 336
- Delayed differentiation/postponement (延迟分化 / 推迟), 199-202
- Dell (戴尔), 45

- Dependent claims (从属权利要求), 346
 Description, patent (专利说明), 342-345
 defensive disclosure (防御性披露), 344-345
 detailed, writing (详细书写), 343-344
 elements of (要素), 342-343
 figures on (数据), 343
- Design (设计). 见 *Design for assembly (DFA)*
 Design for environment (DFE); *Design for manufacturing (DFM)*; *Design of experiments (DOE)*
 freezing (冻结), 409
 in product development (产品开发), 3, 14, 15
- Design brief (设计简介). 见 *Mission statement*
 Design-build team (DBT), 26
- Design for assembly (DFA, 面向装配的设计)
 customer assembly (客户自行装配), 272
 estimation of cost of assembly (装配成本估算), 270
 maximize ease of assembly (最大限度地简化装配), 271-272
 part integration (零部件集成), 270-271
- Design for environment (DFE, 面向环境设计), 231-254
 agenda, setting (日程、设置), 238-241
 defined (定义的), 233
 disassembly (拆解), 236, 246
 ecodesign (生态设计), 236
 environmental impacts (环境影响). 见 *Environmental impacts*
 external drivers of (外部驱动因素), 238-239
 goals, setting (目标, 设定), 239-240
 guidelines of (指南). 见 *Guidelines, design for environment at Herman Miller Inc.*, 232-233, 236-237, 239-248
 historical overview of (历史概述), 236
 internal drivers of (内部驱动因素), 238
- material chemistry (材料化学), 236
 process of (流程), 237-248
 product life cycle and (产品生命周期), 234-235
 recyclability (可回收性), 236
 reflect on process and results (反思过程和结果), 247-248
- team, setting (团队, 设置), 240-241
- Design for manufacturing (DFM, 面向制造的设计), 255-277
 assembly costs (装配成本). 见 *Assembly costs*
 component integration (零部件集成化), 192
 and component reuse (零部件再利用), 275
 components costs (零部件成本), 266-269
 cross-functional team for (跨职能团队), 257
 decisions, impact on other factors (决定, 对其他因素的影响), 274-275
 defined (定义的), 257
 in developmental process (开发过程), 257-258
 and development costs (开发成本), 274-275
 and development time (开发时间), 274
 economies of scale (规模经济), 267-268
 error proofing (防错), 273-274
 manufacturing costs, estimation of (制造成本, 估计), 258-266
 process, overview of (流程, 概述), 258
 and product quality (产品质量), 275
 results (结果), 275-277
 systemic complexity, minimizing (系统复杂性, 最小化), 273
 terminology for (专业术语), 286
- Design for X (DFX, 面向 X 的设计), 257
- Design of experiments (DOE, 试验设计)
 analysis (分析), 323-325
 caveats (附加说明), 326
 compounded noise (复合噪声), 318

- control factors/noise factors/performance metrics, identification of (控制因素/噪声因素/性能指标的识别), 317-318
- experimental plan, development of (开发的试验计划), 319-322
- factor effects computation by analysis of means (用均值分析法计算因子效应), 324-325
- factor setpoints (因子设定值), 325
- noise factors, testing of (噪声因素试验), 321-322
- objective function formulation (目标函数的公式), 318-319
- orthogonal array (正交试验), 321, 322, 329-332
- reflect and repeat (反思和重复), 325-326
- robust design and (稳健设计), 316
- screening experiment (筛选试验), 318 techniques (技术), 105
- Design of services (服务设计), 另见 Services, 355-365
- Design patents (设计专利), 335
- Design structure matrix (DSM, 设计结构矩阵), 400-401
- example of (实例), 421-422
- sequencing/partitioning (排序/分区), 400
- Detail design (详细设计), 14, 15
- Developmental process, design for manufacturing in (开发过程, 面向制造的设计), 257-258
- Development capability (开发能力), 3
- Development costs (开发成本)
- design for manufacturing decisions and (面向制造的设计决策), 274-275
 - sensitivity analysis and (敏感性分析), 377-378
- Development process (开发过程), 另见 Product development process prototypes and (开发过程原型), 302
- Development time (开发时间), 2
- design for manufacturing decisions and (面向制造的设计决策), 274
- sensitivity analysis and (敏感性分析), 379-380
- Dewhurst, P., 270, 278
- DFA index (DFA 指数), 270
- Di Benedetto, C. Anthony, 71, 181
- Differentiating attributes (差异化属性), 202
- Differentiation plan (差异化计划), 202, 203
- Digital mock-up (数字模型), 303
- Digital prototype (数字原型), 303
- Direct cost (直接成本), 217
- Discount rate (贴现率), 374, 391-392
- Distributed product development teams (分布式产品开发团队), 28-29
- Documentation, project (项目文档), 414
- Draper, Norman R., 328
- Dreyfuss, Henry, 212
- Durables (持久耐用), 177
- Dysfunctional product development teams (功能失调的产品开发团队), 7-8
- E**
- Eastman Kodak Company (柯达公司), 398
- Eberle, Bob, 142
- Ecodesign (生态设计), 236
- EcoDesign Web (生态设计网), 241
- Economic analysis (经济分析)
- base-case financial model (基准财务模型), 372-377
 - in concept development (概念开发), 17
 - elements of (元素), 370-371
 - go/no-go milestone decisions (是否宜于开展的里程碑决策), 371, 376-377
 - net present value, 见 Net present value (NPV)
 - operational design/development decisions (业

- 务设计 / 开发决策), 372
 process of (过程), 372-388
 purpose of (目的), 371-372
 qualitative analysis (定性分析), 371, 385-388
 qualitative factors (定性因子), 385-387
 quantitative analysis (定量分析), 370-371, 384-385
 sensitivity analysis (敏感性分析), 377-385
 Economic shifts, qualitative analysis and (经济转型, 定性分析), 387
 Economics of scale (规模经济), 267-268
 Eder, W. Ernst, 141
 Edgett, Scott J., 71
 Electric scooter project (电动滑板车项目), 167-168
 Electronic mail surveys (电子邮件调查), 171
 Embodiments, of invention (发明的实施例), 343-344
 Emotional appeal, industrial design quality and (情感诉求和工业设计质量), 226
 emPower Corporation (EmPower 授权公司), 167-168
 Engelhardt, Fredrik, 328
 Engineering prototypes (工程原型), 见 Experimental/engineering prototypes
 Environment (环境), 见 Design for environment (DFE)
 Environmental impacts (环境影响), 235
 assessment of (评估), 245-246
 to DFE goals (DFE 目标), 246
 identification of (识别), 241-242
 reduction/elimination of (减少 / 消除), 246-247
 Eppinger, Steven D., 207, 418
 Ergonomic needs, industrial design (人机工程的需求, 工业设计), 214-215
 Error proofing (防错), 273-274
 Experimental/engineering prototypes (试验 / 工程原型), 308
 Experimental plan (试验计划)
 designs for (设计), 319-321
 development of (开发), 319-322
 execution of (执行), 323
 factor levels (因子水平), 319
 noise factors, testing of (噪声因素, 试验), 321-322
 for prototype (原型), 306
 Experts consultation, for concept generation (概念生成专家咨询), 125
 Extended team (扩展的团队), 4
 External decision, and concept selection (外部决策与概念选择), 147
 External drivers, of design for environment (外部驱动因素, 面向环境的设计), 238-239
 Externalities, qualitative analysis and (外部效应, 定性分析), 386
 External searches (外部探索)
 benchmarking (标杆管理), 127
 for concept generation (概念产生), 124-127
 experts consultation (专家咨询), 125
 lead users, interviewing (引导用户, 访谈), 124-125
 published literature, searching (文献, 检索), 126-127
 search patents (专利检索), 125
 External standardization (外部标准化), 268
 Extreme users (极端用户), 79
 F
 Face-to-face surveys (面对面调查), 170-171
 Factor effects (因子效应), 324-325
 Factor levels (因子水平), 319
 Factor setpoints (因子设定), 325
 Farag, Mahmoud M., 278

- Farber, Sam., 79
 Farmer, Steven M., 141
 Feature creep (特性蔓延), 409
 Feeder buffers (接驳缓冲), 410
 Feldhusen, Jörg, 141, 162
 Fiksé, J. R., 236, 249
 Final specifications (最终规格), 94, 103-111
 competitive mapping (竞争性定位), 108-109
 contract book and (合同书), 94
 cost models and (成本模型), 106-107
 design-of-experiment (DOE) technique (试验设计技术), 105
 flow down as appropriate (适当流动), 109-111
 reflect on results (反思结果), 111
 setting (设置), 17
 technical models and (技术模型), 105-106
 and trade-offs (权衡), 103
 Financial arrangements (财务安排), 25
 Fine, Charles H., 71
 Firm, interactions with projects (公司, 与项目的相互作用), 386
 Fixed costs (固定成本), 5
 economies of scale and (规模经济), 268
 vs. variable costs (可变成本), 261-262
 Flip phones (Motorola) (翻盖手机 (摩托罗拉)), 209-211
 Flow down, specifications (向下的规范说明), 109-111
 Flowers, Woodie C., 310
 Focused prototypes (专一化原型), 293
 Focus groups, as data collection method (焦点小组, 数据收集方式), 77
 Ford Motor Company seat belt design (福特汽车公司座椅安全带设计), 313-326
 Foreign patents, filing for (外国专利申请), 339
 Foster, Richard N., 71
 Fractional factorial experimental design (部分因子试验设计), 321
 Free-form fabrication system (自由式制造系统), 304
 Frey, Daniel D., 328
 FroliCat, 33-34, 35, 39, 47, 49
 Front-end process (前端处理), 16-18
 Fujimoto, Takahiro, 207, 269, 279
 Full factorial experimental design (全因子试验设计), 319, 321
 Functional decomposition (功能分解), 121-123
 Functional elements, of product (产品功能要素), 186, 193-194
 Functional organization (职能组织), 25-27, 28
 characteristics of (特点), 29
 Function sharing (功能共享), 192
 Fundamental interactions (基本相互作用), 198, 205
 G
- Galbraith, Jay R., 32
 Gallery method (画廊法), 130
 Gantt chart (甘特图), 401-402
 Geddes, Norman Bel, 212
 Gemser, Gerda, 229
 General market risk (通常的市场风险), 394
 General Motors V6 intake manifold (通用汽车V6进气歧管), 255-256
 Generic product development process (通用的产品开发过程)
 complex systems (复杂系统), 22
 customized products (定制型产品), 20
 high-risk products (高风险产品), 21
 phases of (阶段), 13-16
 platform products (平台型产品), 20
 process flow diagrams for (工艺流程图), 22
 process-intensive products (流程密集型产品),

- 20
- product-service systems (产品 - 服务系统), 21
- quick-build products (快速构建产品), 21
- technology-push products (技术推动型产品), 18-20
- Geometric layout, creation of (创建几何布局), 197
- Gertsakis, J., 249
- Gillette razor (吉列剃须刀), 20
- Girotra, Karan, 50, 366
- Giudice, F., 250
- Global warming (全球变暖), 235
- Goldenberg, Jacob, 142
- Goldratt, Eliyahu M., 419
- Go/no-go milestone decisions (抉择开展的里程碑决策), 371, 376-377
- Good Grips (好把手), 79
- Google (谷歌). 363
- Project Ara (Ara 项目), 221
- Gordon, William J. J., 142
- Gore-Tex (戈尔特斯), 18
- Graham, Alan, 90
- Green, Don W., 142
- Greitzer, Edward M., 328
- Griffin, Abbie, 77-78, 89
- Groenveld, Pieter, 72
- Grote, Karl-Heinrich, 141, 162
- Grove, Daniel M., 328
- Guidelines, design for environment (面向环境的设计指南)
- applying (应用), 244-245
 - life cycle stage (生命周期阶段), 252-254
 - selection of (筛选), 242-244
- Gupta, Satyandra K., 278
- H
- Hall, Arthur D., III, 207
- Hall, Elaine M., 419
- Hard models (硬模型), 221
- Hardware swamp (机器陷阱), 305
- Harkins, Jack, 229
- Hauser, John R., 71, 77-78, 89, 90, 95, 99, 112, 113, 157, 162, 182
- Hayes, Robert H., 31
- Hays, C.V., 162
- Heavyweight project organization (重量级项目组织), 26
- characteristics of (特征), 29
- Hein, Lars, 31
- Henn, Gunter W., 419
- Herman Miller, Inc. chairs (Herman Miller 公司主席), 231-233, 236-237, 239-248
- Hertenstein, Julie H., 229
- Heskett, J. L., 366
- Hewlett-Packard DeskJet Printer (HP 喷墨打印机), 185-186, 193-204
- High-risk products (高风险产品), 21
- Home coffee maker (家庭咖啡机), 369-370
- Horizon 1/2/3 opportunities (层次 1/2/3 机会), 35-36
- Hot beverage insulating sleeve (热饮料绝缘套), 333-334
- House of Quality (质量屋), 95, 99
- Hubka, Vladimir, 141
- Hunter, J. Stuart, 328
- Hunter, William G., 328
- I
- Ideal target value (理想目标值), 99-103
- Imitation (模仿)
- opportunity identification and (机会识别), 43
 - strategy for new product evaluation (新产品评价策略), 58
- Incentives (激励), 413-414

- Incidental interactions (附属的相互作用关系), 198-199
- Independent claims (独立请求权), 346
- Indirect allocations (间接分配), 261
- Industrial design (ID) (工业设计), 209-228
- aesthetic needs (人机工程的需求), 215
 - and corporate identity (企业形象), 218
 - costs of (成本), 217
 - defined (定义的), 211
 - ergonomic needs (人类环境改造学需求), 214-215
 - expenditures for (支出), 213, 214
 - goals of (目标), 212
 - historical overview of (历史概述), 211-213
 - impact of (影响), 215-218
 - importance of (重要性), 213
 - investment in (投入), 215-218
 - at Motorola (摩托罗拉), 209-211
 - need for (需求), 213-215
 - process of (过程), 见 Industrial design process
 - quality assessment of (质量评估), 226-228
- Industrial Designers Society of America (IDSA, 美国工业设计师协会), 212
- Industrial design process (工业设计过程), 219-223
- concept generation stage (概念生成阶段), 219-220
 - control drawings/models (控制图纸/模型), 222
 - customer needs, identification of (客户需求, 识别), 219
 - engineering/manufacturing personnel, coordination with (工程/制造人员, 协调), 222
 - final refinement step (最后的细化步骤), 221-222
 - impact of computer based tools on (计算机工具的影响), 222-223
 - management of (管理), 223-225
 - preliminary refinement phase (初步细化阶段), 220-221
 - timing of (时间), 224-225
- Informal communication (非正式沟通), 412
- Information-processing view (信息处理的观点), 398-399
- Injection molding (注塑成型), 286
- Innovation charter (创新章程), 39-40
- Insulating sleeve (绝缘护套), 333-334
- Integral architecture (集成的架构)
- project management styles (项目管理方式), 193
 - and project management styles (项目管理方式), 193
 - properties of (性能), 187-188
- Integrated product team (IPT) (集成产品团队 (IPT)), 26
- Intel chipset (英特尔芯片组), 20
- Intellectual property (知识产权), 见 Patent(s)
- defined (定义的), 334
 - types of (类型), 另见 specific types, 334-335
- Interaction graph (相互作用图), 198
- Interaction matrix (相互影响矩阵), 198
- Interactions, product architecture (相互作用关系, 产品架构)
- fundamental (基本的), 198
 - incidental (附属的), 198-199
- Interactive multimedia, for concept description (交互式多媒体, 概念描述), 174
- Internal drivers, of design for environment (面向环境的设计中的内部驱动因素), 238
- Internal searches, for concept generation (内部搜索, 用于概念生成), 127-131
- Internal standardization (内部标准化), 268
- Internet surveys (互联网调查), 171

- I**
- Interviews (访谈)
 - customers selection for (客户选择), 78-79
 - as data collection method (作为数据收集方法),
77
 - documenting interactions with customers (记录
与客户的交互), 81-82
 - eliciting customer needs data (探寻客户需求数
据), 79-81
- Introduction to Quality Engineering* (Taguchi,
质量工程导论), 329
- Intuition, concept selection and (直觉, 概念选
择), 147
- Invention disclosure (发明披露), 336-350
 - claims, outlining of (权利, 概述), 341-342
 - claims, refinement of (权利, 精炼), 345-348
 - description of, writing (说明, 撰写), 342-345
 - patent application, pursuance of (专利申请),
348-349
 - results and reflection on (结果与反思), 350
 - strategy/plan formulation (战略/计划制定),
338-340
 - studying prior inventions (先前的研究发明),
340-341
- Inventors (发明者)
 - advice to (建议), 352-353
 - list of (列表), 342
 - patent ownership and (专利所有权), 336
- Investment castings (投资分配), 287
- iRobot PackBot, 291-307
- iRobot Roomba Vacuum Cleanel (iRobot 吸尘器),
1, 5
- Isaksen, Scott G., 141
- J
- Jakiela, M., 279
- Jamieson, Linda F., 182
- JavaJacket (trademark) (商标), 334
- K**
- Kaplan, Robert S., 266, 279
- Katzenbach, Jon R., 10
- Keeney, Ralph L., 161
- Kelley, Tom, 309
- Kepner, Charles H., 162
- Kerzner, Harold, 418
- Kidder, Tracy, 10
- Kim, W. Chan, 50
- Kinnear, Thomas C., 89
- Kleinschmidt, Elko J., 71
- Kornish, Laura J., 51
- Kostner, Jaclyn, 419
- Krishnan, Viswanathan, 419
- Kumar, V., 113
- Kurman, Melba, 309
- L**
- Lakes project (Lakes 项目), 53-54, 55, 57-59,
62-69
- Land degradation (土地退化), 235
- La Rosa, G., 250
- Latent needs (潜在需求), 42
 - importance of (重要性), 75
- Lead users (领先用户), 45, 78
 - interviewing, for concept generation (访谈, 用
于概念生成), 124-125
- Lee, Hau L., 207
- Leenders, Mark A. A. M., 229
- Lehnerd, Alvin P., 71
- Leonard-Barton, Dorothy, 309
- Lewis, H., 249
- Licensing, patent (许可, 专利), 353
- LiDS Wheel (LiDS 轮), 241
- Life cycle (生命周期)
 - costs, design for manufacturing and (面向制造
的设计成本), 275

- natural/product (自然 / 产品), 234-235
- Life cycle assessment (LCA) tools (生命周期评价, 工具), 246
- Lightweight project organization (轻量级的项目组织), 26-27
- characteristics of (特点), 29
- Liker, Jeffrey K., 419
- Lim, Kirsten, 142
- Lipson, Hod, 309
- Littman, Jonathan, 309
- Loaded salaries (高额薪资), 407
- Loewy, Raymond, 212
- Lothouse, V., 236, 241, 249
- Looks-like prototype (外观原型), 293
- Loosschilder, Gerard H., 182
- Lorenz, Christopher, 229
- Lucie-Smith, Edward, 229
- M**
- Macomber, Bryan, 182
- Macroeconomic (macro) environment, interactions with projects (宏观经济 (宏观) 环境, 与项目的互动作用), 387
- Mahajan, Vijay, 182
- Maidique, Modesto A., 71
- Maier, Mark W., 113, 207
- Manufacturability (可制造性), 192
- Manufacturing (制造), 另见 Design for manufacturing (DFM)
- assumptions and constraints (假设和约束), 68
 - complexity (复杂性), 273
 - in product development (产品开发), 3, 14
- Manufacturing costs (制造成本), 257
- assembly costs (装配成本), 260, 264-265, 270-272, 288-289
 - bill of materials (物料清单), 262
 - component costs (组件成本), 260
 - components (组件), 282-285
 - components costs (组件成本), 266-269
 - custom components (自定义组件), 263-264
 - economies of scale (规模经济), 267-268
 - elements of (要素), 260
 - estimation of (估计), 258-266
 - fixed vs. variable costs (固定 / 可变成本), 261-262
 - of industrial design (工业设计), 217
 - materials costs (材料成本), 281
 - overhead costs (间接成本), 261, 265-266
 - standard components (标准组件), 263
 - support costs (支持成本), 261, 272-274
 - transportation costs (运输成本), 261
 - unit (单元), 258, 260-261
- Marginally acceptable target value (可接受的边缘目标值), 99-103
- Marketing, in product development (产品开发中的市场营销), 3, 14
- Market-pull products (市场拉动型产品), 18
- Market readiness (市场准备), 66
- Markets (市场)
- general risk (一般风险), 394
 - interactions with projects (与项目的相互作用), 386-387
 - size, estimation of (规模估计), 183-184
- Market segmentation (市场细分), 58-59
- Marks' Standard Handbook of Mechanical Engineering* (机械工程标准手册), 127
- Markus, M. Lynne, 419
- Marle, Franck, 31
- Material chemistry (材料化学), 236, 246
- Materials costs (材料成本), 281
- Matrix organization (矩阵式组织), 26-27, 28
- Mauborgne, Renee, 50
- Maximizing, objective function (最大化, 目标函

- 数), 318
- Mazursky, David., 142
- McClees, Cheryl W., 72
- McConnell, Steve, 31
- McDonough, W., 236, 250
- McDonough Braungart Design Chemistry (MBDC, McDonough Braungart 设计化学公司), 236
- McGrath, Joseph E., 128, 141
- McGrath, Michael E., 71
- McKim, Robert H., 129, 142
- Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook* (机制和机械设备的原始资料), 127
- Meetings (会议), 412-415
- Metric, of specifications (规格的度量指标), 93
- competitive benchmarking chart (竞争性标杆分析图), 99, 100
- customer needs in relationship with (与客户需求的关系), 95-97
- target values of (目标值), 99-103
- Meyer, Marc H., 71
- Microsoft (微软), 298
- Milestone prototypes (里程碑原型), 298-299, 307-308
- Minimizing, objective function (最小化, 目标函数), 319
- Mission statement (任务陈述), 13, 67-68, 76
另见 Charter
- Models (模型), 另见 Prototypes
- in concept development (概念开发), 18
 - control (控制), 222
 - cost (成本), 106-107
 - hard (硬的), 221
 - physical appearance models (实物外观模型), 174
 - soft (软的), 220
 - technical (技术的), 105-106
- Modular architecture (模块化架构)
- project management styles (项目管理方式), 193
 - and project management styles (项目管理方式), 193
 - properties of (性能), 187
 - types of (类型), 另见 specific types, 188-189
- Montgomery, Douglas C., 328
- Moore, Geoffrey A., 70
- Morgan, F. N., 366
- Motorola (摩托罗拉), 61
- Motorola flip phones (摩托罗拉翻盖手机), 209-211
- Muller, Eitan, 182
- Multivoting (多数表决)
- concept selection and (概念选择), 147, 151
 - screening opportunities (机会筛选), 46
 - workshops with (研讨会), 46-47
- Myers, Stewart C., 389
- N
- Nalebuff, Barry, 50
- Needs statements (需求陈述), 83, 84, 86
- Neely, W. Lawrence, 142
- Nespresso coffee maker (雀巢咖啡机), 369-370
- Nest learning thermostat (Nest 具有自我学习功能的恒温器), 73-74
- Netessine, S., 366
- Net present value (NPV, 净现值)
- cash flows, computation of (现金流量, 计算), 374-375
 - defined (定义的), 370
 - discount rate (贴现率), 374, 391-392
 - sensitivity analysis of (敏感性分析), 377-378
 - sunk costs and (沉没成本), 393
 - time value of money and (资金的时间价值), 391-393

- uncertain cash flows and (不确定的现金流), 393-396
- Net-shape fabrication (终型制造), 267
- Nevins, James L., 279
- New products (新产品)
- evaluating opportunities for (机会评估), 61-63
 - in product planning process (产品规划过程), 55, 56
- Noise factors (噪声因素), 315, 316, 317
- testing (试验), 321-322
- Nonobvious, patent inventions (不显著的, 专利发明), 336
- Norman, Donald A., 89, 229
- Notes, as interview documentation method (笔记, 作为访谈文件的方式), 81
- Novel patent inventions (新颖的专利发明), 336
- Noyes, Eliot, 212
-
- Objective functions (目标函数), 318-319, 323
- Offensive rights (诉讼权利), 336, 344
- Olins, Wally, 230
- One-at-a-time experimental plan (一次一个的试验计划), 321
- Opportunity (机会)
- defined (定义的), 34
 - generating (产生), 40-45
 - identification of (识别), 见 Opportunity identification
 - screening (筛选), 46-47
 - types of (类型), 34-36
- Opportunity funnel (机会漏斗), 57
- Opportunity identification (机会识别), 33-51
- charter, establishment of (章程, 建立), 39-40
 - develop promising opportunities (开发有前景的机会方案), 47
 - exceptional opportunities, selection of (特殊机会, 选择), 47-49
- generating opportunities (产生的机会), 40-45
- imitation (效仿), 43-44
- process of (过程), 39-49
- in product planning process (产品规划过程), 57
- Real-Win-Worth-it (RWW) method (RWW 方法), 47-49
- screen opportunities (筛选机会), 46-47
- study customers (客户研究), 42
- tournament structure of (联赛评比结构), 36-39
- trends and (趋势), 43
- Organizational structure (组织结构)
- characteristics of (特点), 29
 - functional/project organization (职能/项目型组织), 25-27
 - heavyweight project organization (重量级项目组织), 26
 - lightweight project organization (轻量级项目组织), 26
- matrix organization (矩阵式组织), 26-27
- product development (产品开发), 25-30
- selection of (选择), 28
- Tyco International (Tyco 公司), 30
- Orthogonal array (正交阵列), 321, 322, 329-332
- Osborn, Alex F., 141
- Oster, Sharon M., 389
- Osterwalder, A., 366
- Ostrom, A. L., 366
- Otto, Kevin N., 162
- Outer arrays (外阵列), 322, 332
- Outpatient syringes (门诊注射器), 145-160
- Outsource (外包), 411
- Overhead costs (间接成本), 261

- estimation of (估计), 265-266
 Overhead rates (间接费用分配率), 265
 Ozone layer, depletion of (臭氧层枯竭), 235
- P**
- Pahl, Gerhard, 141, 162
 Papánek, V., 236, 250
 Parallel task (并行任务), 398-399
 Parameter design (参数设计). 见 Robust design, 315
 Parameter diagram (p-diagram) (参数图 (P图)), 317-318
 Part integration (零部件集成), 270-271
 Partitioned DSM (分割的 DSM), 400
 Patent application (专利申请)
 claims, refinement of (权利, 精炼), 345-346
 defensive disclosure (防御性披露), 344-345
 embodiments of invention (发明的具体实现), 343-344
 Patent Cooperation Treaty (专利合作条约), 339-340, 349
 provisional (临时性的), 339-340, 349
 pursuance (追求), 348-349
 regular (定期), 339, 349
 results and reflection on (结果与反思), 350
 scope of (范围), 340
 specifications (规格), 342
 timing of (时间), 338-339
 type of (类型), 339-340
 Patent Cooperation Treaty (PCT) application (专利合作条约, 申请), 339-340, 349
 Patent law (专利权法), 335, 342
 Patent(s) (专利), 334-350
 claims (索赔), 见 Claims, patents
 defined (定义的), 334
 description of, writing (描述, 写作), 见 Description, patent design (设计), 335
 figures for (数据), 343
 foreign, filing for (对外申请), 339
 invention disclosure (发明披露书). 见 Invention disclosure licensing (许可), 353
 nonobvious (非易见性), 336
 novelty (新颖性), 336
 overview of (概述), 335
 searching, for concept generation (搜索, 为概念生成), 125
 studying prior inventions (研究先前发明), 340-341
 usefulness (实用性), 336
 utility (实用新型), 336
 validity of (有效性), 336
 Payne, Stanley L., 89
 Pearson, Scott, 230, 279
 Periodic action principle (周期性作用原理), 130
 Perry, Robert H., 142
Perry's Chemical Engineers' Handbook (化学工程师手册), 127
 PERT charts (PERT 图), 402
 Phadke, Madhav S., 327
 Philips Electronics (飞利浦公司), 61, 236
 Photos (照片)
 for concept description (概念描述), 172
 as interview documentation method (作为访谈文件方式), 81
 Physical appearance models, for concept description (用于概念描述的实物模型), 174
 Physical elements, of product (产品的实体单元), 186-187
 Physical layouts (物理布局), 25
 Physical prototypes (实体化原型), 293, 294
 analytical prototypes vs. (解析化原型), 299
 Pigneur, Y., 366
 Pilot-production prototypes (试产原型). 见 Pre-

- production prototypes
 Pine, B. Joseph, II., 207
 Pipeline management (渠道管理), 66
 Pipelining strategy, tasks (流水线策略, 任务), 411
 Planning phase, product development process (规划阶段, 产品开发过程), 13-16
 Platform plan, products (平台规划, 产品), 202-204
 commonality plan (通用计划), 203-204
 differentiation plan (差异化计划), 202, 203
 to evaluate and prioritize new products (评估和确定新产品的优先顺序), 60-61
 trade-offs between (权衡), 203-204
 Platform products (平台产品), 20
 Platt, Marjorie B., 229
 Poli, C., 278
 Polyvinyl chloride (PVC, 聚氯乙烯), 245
 Porter, Michael E., 70, 389
 Postal surveys (邮寄的问卷调查), 171
 Postlaunch project review (项目发布后评审), 16
 Postmortem project evaluation (项目后评估), 416-417
 Potter, Stephen, 230
 Preferred embodiment (优先选择的具体实现), 343, 344
 Preproduction prototypes (试生产原型), 298, 307
 Pre-project planning (项目前期规划)
 assumptions and constraints (假设和约束), 68-69
 mission statement (任务陈述), 67-68
 product vision statement (产品愿景陈述), 66-67
 project timing (项目时间安排), 66
 staffing (人员配备), 69
 Pressman, David, 348, 351
 Prices (价格)
 cost-plus pricing (成本加成定价方法), 114
 purchase, concept testing and (采购, 概念测试), 176
 target costing (目标成本法), 114-116
 Primary customer needs (主要客户需求), 84, 85
 Prior art (先有技术), 336, 340-341
 Problem clarification, in concept generation (概念生成中的问题澄清), 120-124
 Problem decomposition (问题分解), 121-123
 Process flow diagrams, for product development processes (产品开发过程的流程图), 22-23
 Processing costs (加工成本), 264
 Process-intensive products (流程密集型产品), 20
 Procter & Gamble (宝洁公司), 34, 77
 Product architecture (产品架构), 185-205
 characteristics of (特点), 186-188
 cluster schematic elements (聚类示意图中的元素), 195-197
 component standardization (零部件标准化), 191
 defined (定义的), 186, 189
 delayed differentiation (延迟的差异化), 199-202
 DFE guidelines and (DFE 指南), 244
 establishment of (建立), 193-199
 geometric layout, creation of (几何结构, 设计), 197
 at Hewlett-Packard, 186
 implications of (内涵), 189-193
 integral architecture (集成化架构), 187-188
 interactions, identification of (识别相互作用), 198-199
 manufacturability (可制造性), 192
 modular architecture (模块化架构), 187
 modularity (模块化), 187, 188-189

- platform planning (平台规划), 202-204
 product change (产品变化), 189-190
 product development management (产品开发管理), 192-193
 product performance (产品性能), 191-192
 for product performance (对于产品性能), 191-192
 product variety (产品多样化), 190-191
 purpose of (目的), 186
 schematic of product, creation of (产品示意图, 创建), 193-195
 system level design issues (系统级设计问题), 204-205
Product champion (产品冠军), 147
Product development (产品开发)
 challenges of (挑战), 6
 costs of (成本), 2, 5
 defined (定义的), 2
 dimensions of (维度), 2-3
 functions (功能), 3-4
 process (过程), 见 Product development process
 projects (项目), 见 Product development projects
 time (时间), 见 Development time
Product development organizations (产品开发组织), 25-30
Product development process (产品开发过程)
 complex systems (复杂系统), 22
 concept development (概念开发), 14, 15, 16-18
 concept selection in (概念选择), 146-147
 customized products (定制化产品), 20
 defined (定义的), 12
 detail design (详细设计), 14, 15
 distributed product development teams (分布式产品开发团队), 28-29
 economic analysis of (经济分析), 见 Economic analysis
 front end process (前端流程), 16-18
 high-risk products (高风险产品), 21
 market-pull products (市场拉动型产品), 18
 organizations for (组织), 25-30
 phases of (阶段), 13-16
 planning phase (规划阶段), 13-16
 platform products (平台产品), 20
 process flow diagrams for (工艺流程图), 22-23
 process intensive products (流程密集型产品), 20
 production ramp-up (试产扩量 (或生产爬坡)), 14, 16
 product service systems (产品服务系统), 21
 quick-build products (快速构建产品), 21, 23
 robust design in (稳健设计), 314-315
 spiral (螺旋形的), 21
 system-level design (系统级设计), 14, 15
 technology-push products (技术推动型产品), 18-20
 testing and refinement (测试和细化), 14, 15
 at Tyco International (Tyco 公司), 23-25
 usefulness of (实用性), 12-13
Product development projects (产品开发项目)
 classification of (分类), 55-56
Product development team (PDT, 产品开发团队), 26
Product introduction, reduced time to (产品介绍, 减少时间成本), 151
Production ramp-up (试产扩量 (或生产爬坡)), 14, 16
Product planning process (产品规划过程), 53-70
 aggregate planning (综合计划), 64-66
 assumptions and constraints (假设和约束), 68-69

- balancing portfolio (平衡投资组合), 63-64
 competitive strategy (竞争策略), 58
 defined (定义的), 54
 evaluate and prioritize projects (项目评价和优先级排序), 57-64
 market segmentation (市场细分), 58-59
 mission statement (任务陈述), 67-68
 new product platforms (新产品平台), 55
 opportunity identification (机会识别), 57
 overview of (概述), 56
 pre-project planning (项目前期策划), 66-69
 product platform planning (产品平台规划),
 60-61
 product vision statement (产品愿景陈述), 66-67
 resource allocation and (资源分配), 64-66
 staffing (人员配备), 69
 Product portfolio, balancing (产品组合, 平衡),
 63-64
 Product-process change matrix (产品 - 工艺变化矩阵), 63-64
 Product-process coordination (产品 - 工艺协调性), 151
 Product quality, impact of DFM on (产品质量, 面向制造性设计的影响), 275
 Product (产品)
 architecture of (架构变更), 见 Product architecture changes in, 189-190
 changes to (变化), 189-190
 customized (定制的), 20
 defined (定义的), 2
 differentiation (差异化), 228
 environmental impacts (环境影响), 235
 functional elements of (功能要素), 186
 high-risk (高风险), 21
 life cycles (生命周期), 234-235
 maintenance and repair (维护和修理), 227-228
 manufacturing cost of (制造成本), 2
 market-pull (市场拉动), 18
 performance of (性能), 191-192
 physical elements of (实体元素), 186-187
 platform (平台), 20
 process-intensive (流程密集型), 20
 quality of (质量), 2
 quick-build (快速构建), 21, 23
 schematic of (示意图), 193-195
 secondary systems of (子系统), 204-205
 services vs. (服务), 357-358
 technology-driven (技术驱动), 223
 technology-push (技术推动), 18-20
 use environment of (使用环境), 74
 user-driven (用户驱动), 223-224
 variety of (多样性), 190
 Product segment map (产品细分图), 59
 Product-service systems (产品 - 服务系统), 21,
 356-357
 Product specifications (产品规格), 见 Specifications
 Product-technology roadmap (产品技术路线图),
 61
 Product vision statement (产品愿景陈述), 66-67
 Profit margin (利润率)
 manufacturing costs and (制造成本), 257
 in target costing (目标成本), 114-116
 Progressive die stamping (级进冲压), 286
 Project Ara (Google) (Ara 项目 (谷歌)), 221
 Project budget (项目预算), 407
 Project buffer (项目缓冲), 410
 Project execution/control (项目执行 / 控制), 398
 Project management (项目管理), 397-417
 baseline project plan (项目规划基线), 见 Baseline project plan

- corrective actions for (纠偏措施), 414-416
 defined (定义的), 398
 and execution of project (项目执行), 412-416
 guidelines for project acceleration (加快项目进程的指南), 409-412
 postmortem project evaluation (项目后评估), 416-417
 tasks, representation of (任务的表示), 见 Tasks
 Project organizations (项目组织), 25-27, 28
 characteristics of (特点), 29
 heavyweight (重量级), 26
 lightweight (轻量级), 26-27
 Project planning (项目规划), 另见 Baseline project plan
 in concept development (概念开发), 17
 defined (定义的), 398
 Project reviews (项目评审), 414
 Project risk plan (项目风险计划), 407-408
 Project schedule (项目进度), 406-407, 413
 Project-specific risks (项目特定风险), 394
 Project team (项目团队), 27, 405-406, 415-416
 composition of (组成), 3-4
 DFE team (DFE 团队), 240-241
 distributed product development teams (分布式产品开发团队), 28-29
 dysfunctional (功能失调的), 7-8
 heavyweight (重量级), 26
 organizational structure and (组织结构), 25-27
 Prototypes (原型), 291-308
 alpha (α), 15, 298, 307, 363
 analytical (解析的), 293, 295, 299
 approximation level of (近似水平), 306
 beta (β), 15, 298, 307, 363
 for communication (交流), 297
 comprehensive (综合), 293
 in concept development (概念开发), 18
 defined (定义的), 293
 and development process (开发过程), 302
 digital (数字的), 303
 elimination of (消除), 307-308
 experimental/engineering (试验/工程), 308
 experimental plan for (试验计划), 306
 focused (聚焦的), 293
 free-form fabrication system (自由形态制造加工系统), 304
 for integration (集成), 297-298
 for learning (学习), 296
 looks-like (外观), 293
 milestone (里程碑), 298-299, 307-308
 physical (实体的), 293, 294, 299-300
 planning steps (规划步骤), 305-307
 preproduction (试生产), 298, 307
 principles of (原则), 299-303
 purpose of (目的), 305
 rapid prototyping (快速成型), 304
 and reduction in risk of costly iteration (降低代价高的迭代风险), 300-301
 to restructure task dependencies (重组任务依赖关系), 303
 schedule for procurement/construction/and testing (采购/施工/测试进度表), 306-307
 of services (服务), 363-364
 in software development processes (软件开发过程), 298
 testbed (试验性的), 298
 3D CAD models (三维 CAD 模型), 303-304
 types of (类型), 293-296
 uses of (使用), 296-299
 virtual (虚拟的), 303
 working, for concept testing (概念测试工作), 175

- works-like (工作原理), 293
 Provisional patent application (临时专利申请), 339-340, 349
 Published literature, searching (文献检索), 126-127
 Pugh, Stuart, 152, 162
 Pugh concept selection (Pugh 概念选择), 152
 Purchase intent (购买意向), 177
- Q**
- Qualitative analysis (定性分析), 371, 385-388
 Quality assessment, of industrial design (工业设计质量评价), 226-228
 Quality assurance, product development process and (质量保证, 产品开发过程), 12
 Quality Function Deployment (QFD, 质量功能展开), 95
 Qualls, William J., 182
 Quantitative analysis (定量分析), 370-371
 limitations of (局限), 384-385
 net present value (净现值), 370
 Quick-build products (快速构建产品), 21, 23
- R**
- Raiffa Howard, 161
 Ramaswamy, Rajan, 113
 Rank concepts (对概念评级), 154, 158
 Rapid prototyping (快速成型), 304
 RAZR flip phones (RAZR 翻盖手机), 209-211
 Real options (实物期权), 395
 Real-Win-Worth-it (RWW) method (RWW 方法), 47-49
 Rechtin, Eberhardt, 113, 207
 Recyclability (可回收性), 236, 246
 Recycled content (可回收成分), 246
 Red Bull (红牛), 45
 Reference concept (参考概念)
 in concept scoring (概念评分), 156
 in concept screening (概念筛选), 153
 Regular patent application (常规专利申请), 339, 349
 Reinertsen, Donald G., 71, 389, 419
 Renderings (透视图), 221
 for concept description (概念描述), 172
 Reporting relationships (报告关系), 25
 Resources (资源)
 allocation, and product planning process (分配和产品规划过程), 64-66
 depletion of (枯竭), 235
 and opportunity identification (机会识别), 41-42
 usage of (使用), 228
 VRIN, 42
 Risitano, A., 250
 Robertson, David, 208
 Robust design (稳健设计), 313-326
 analysis (分析), 323-325
 caveats (附加说明), 326
 compounded noise (复合噪声), 318
 control factors/noise factors/performance metrics, identification of (控制因素/噪声因素/性能指标, 识别), 317-318
 and design of experiments approach (试验设计方法), 316
 experimental plan, development of (试验计划, 开发), 319-322
 factor effects computation by analysis of means (用均值分析法计算因子效应), 324-325
 factor setpoints (因素设定点), 325
 noise factors, testing of (噪声因素, 测试), 321-322
 objective function formulation (目标函数公式), 318-319
 orthogonal array (正交阵列), 321, 322, 329-

- 332
in product development process (产品开发过程), 314-315
reflect and repeat (反思与反复), 325-326
screening experiment (筛选试验), 318
Robust setpoint (稳健设定点), 314
Rolex Watch Co. (劳力士手表公司), 218
Roofing nailer project (屋顶钉枪项目), 117-118,
 121-131
Rosbergen, Edward, 182
Ross, Phillip J., 327
Roy, Robin, 230
- S
- Sabbagh, Karl, 10, 310
Sadegh, Ali, 142
Sales forecasts, in concept testing (概念测试中的销售预测), 177-180
Sampson, S. E., 366
Sand castings (砂模铸件), 286-287
Sanderson, Susan W., 71
Sartorius, D., 279
Sasser, W. E., 366
Schedule, project (项目进度计划), 406-407, 413
Schlesinger, L. A., 366
Schrage, Michael, 309
Schultz, Howard, 45
Slater, Neil, 142
Scoring matrix (评分矩阵), 151, 156-159, 165
Screener questions (筛选问题), 169
Screening experiment (筛选试验), 318
Screening matrix (筛选矩阵), 151, 152-156, 164
Screening opportunities (筛选机会), 46-47
Seat belt design (Ford Motor Company) (座椅安全带设计(福特汽车公司)), 313-326
Secondary customer needs (次要顾客需求), 84,
 85
Secondary systems, products (第二级子系统), 204-
 205
Sectional-modular architecture (组合型模块架构), 189
Seepersad, C. C., 250
Sensitivity analysis (敏感性分析), 377-385, 394
and development costs (开发成本), 377-378
and development time (开发时间), 379-380
external factors (外部因子), 377
internal factors (内部因子), 377
and trade-offs (权衡), 380-385
and uncertainties (不确定性), 380
Sequential task (连续任务), 398-399
Service concept (服务理念), 358-360
Services (服务), 356
characteristics of (特点), 357-358
design process (设计过程), 358-362
downstream development activities in (下游开发活动), 362-365
expansion (扩张), 364
functional elements of (功能要素), 361-362
improvements in (改进), 364-365
process flow diagram (工艺流程图), 361-362
products vs. (产品), 357-358
prototype of (原型), 363-364
subsequent refinement (后续细化), 362
Setu chair, 231-233, 236-237, 239-248
Shiba, Shoji, 90
Shimano, 42-43
Signal to noise ratio (信噪比), 316, 319, 325
Simon, Herbert, 207
Simulation, for concept description (概念描述的模拟), 174
Sketches (略图)
for concept description (概念描述), 172
industrial design process and (工业设计过程),

- 220
- Slagmulder, Regine, 113
- Slot-modular architecture (槽型模块化架构), 188, 189
- Smith, Douglas K., 10
- Smith, Preston G., 389, 419
- Sobek II, Durward K., 419
- Social networks (社交网络), 45
- Social trends, qualitative analysis and (社会趋势, 定性分析), 387
- Soft models (软模型), 220
- Software development process, prototypes in (软件开发过程, 原型), 298
- Solid waste (固体废物), 235
- Sorensen, Jay, 351
- Sosa, Manuel E., 31
- Souder William E., 161
- Specialized Bicycle Components project (专业自行车零件项目), 91-111
- Specifications (规格), 91-111
- conjoint analysis (关联分析), 98
 - defined (定义的), 92-93
 - establishment, timing for (建立的时机), 93-94
 - final (最终的), 见 Final specifications
 - metric of (度量指标), 见 Metric, of specifications
 - patent application (专利申请), 342
 - target (目标), 见 Target specifications
 - value of (值), 93
- Spiral product development process (螺旋式产品开发过程), 21
- process flow diagrams for (工艺流程图), 22
- Srinivasan, V., 182
- Standard components (标准零部件), 260
- costs, estimation of (成本, 估计), 263
- Stanley-Bostitch, 117-118
- Starbucks (星巴克), 45
- Stead-Dorval, K. Brian, 141
- Stereolithography (光固化立体造型术), 304
- Steward, Donald V., 418
- Stim, Richard, 351
- Storyboard (情节图板 (或故事板)), 359
- Storyboards, for concept description (情节图板, 概念描述), 172
- Strategic fit, qualitative analysis and (战略适应, 定性分析), 386
- Studio 7.5, 232
- Submarining (滑脱), 314
- Subproblems (子问题), 124
- problem decomposition into (问题分解), 121-123
- Sunk costs (沉没成本), 373
- net present value and (净现值), 393
- Suppliers, qualitative analysis and (供应商, 定性分析), 387
- Supply chain (供应链), 3, 199
- Support costs (支持成本), 261
- reduction in (降低), 272-274
- Surveys (调查)
- for collecting customer data (用于收集客户数据), 77
 - electronic mail (电子邮件), 171
 - face-to-face interactions (面对面交互), 170-171
 - Internet (互联网), 171
 - population, choosing (人口, 选择), 169-170
 - postal (邮政的), 171
 - and relative importance of needs (相对重要性需求), 86-87
 - telephone (电话), 171
 - web based screening surveys (基于网络的普查调查), 46-47
- Susman, Gerald I., 278

- Sustainable development (可持续发展), 236
 Swatch watches (Swatch 手表), 190-191
Sway, 49
 Syringes, 145-160
 System architecture (系统架构), 199
 Systematic exploration (系统的探索), 131-139
 concept classification tree (概念分类树), 132-134
 concept combination table (概念组合表), 134-137
 managing process (管理过程), 137-138
 System-level design (系统级设计), 14, 15
 chunks architecture, establishment of (建立组件架构), 205
 fundamental interactions (基本的相互作用关系), 205
 issues, product architecture and (问题, 产品架构), 204-205
 secondary systems, defining (定义子系统), 204-205
 Systems engineering (系统工程), 111
- T
- Taguchi, Genichi, 316, 327, 329
 Tang, C., 207
 Target cost (目标成本), 106, 114-116
 Target market, survey populations and (目标市场, 调查人群), 169
 Target specifications (目标规格), 93-94
 collect competitive benchmarking information (收集竞争性基准信息), 99, 100
 in concept development (概念开发), 16-17
 establishment of (建立), 94-103
 list of metrics, preparation of (准备度量指标清单), 95-97
 reflect on results (结果反思), 103
 set ideal and marginally acceptable values for (设置理想值和临界可接受值), 99-103
 Target value, objective function (目标值、目标函数), 319
 Tasks (任务)
 coordination among (协调), 412-414
 coupled (耦合的), 398-399
 critical path (关键路径), 402-403
 decouple (去除耦合), 412
 design structure matrix (设计结构矩阵), 400-401
 Gantt chart (甘特图), 401-402
 list (列表), 403-405
 parallel (并行), 398-399
 PERT charts (PERT 图), 402
 pipelining (流水线), 411
 representation of (表达), 398-403
 sequential (串行的), 398-399
 Taylor, James R., 89
 Teague, Walter Dorwin, 212
 Teams (团队), 见 Project team
 Technical model (技术模型), 105-106
 Technical University of Delft (Delft 技术大学), 236
 Technological trajectories (技术曲线), 59-60
 Technology-driven products (技术驱动型产品), 223
 Technology leadership (技术领先), 58
 Technology-push products (技术推动型产品), 18-20
 Technology roadmap (技术路线图), 61
 Technology S curves (技术 S 曲线), 59-60
 Telenko, C., 242-244, 250, 252-254
 Telephone surveys (电话调查), 171
 Terinko, John, 142
 Terwiesch, Christian, 50, 141
 Tesla Model S Automobile (特斯拉 S 型汽车), 1, 5

- Testbed prototypes (试验性原型), 298
 Testing and refinement phase, of product (产品的测试和细化阶段)
 development process (开发过程), 14, 15
 Theoretical minimum assembly time (理论最短装配时间), 270
Thomas Register (美国托马斯注册商名录), 127
 Thomke, Stefan H., 309, 366
 Thompson, R., 278
 3D CAD models (三维 CAD 模型), 303-304
 3M, 34
 Thumbnail sketches (缩略图草图), 220
 Tierney, Pamela, 141
 Time costs, of industrial design (工业设计的时间成本), 217
 Time/timing (时间)
 cash flows, estimation of (现金流量, 估计), 372-374
 of industrial design process (工业设计过程), 224-225
 of patent application (专利申请), 338-339
 product introduction (产品介绍), 151
 of projects (项目), 66
 services (服务), 357
 of specification establishment (建立规格), 93-94
 Tooling costs (工具成本), 264
 Tornado chart (旋风图), 380, 381
 Tournament structure, of opportunity identification (联赛评比结构, 机会识别), 36-39
 Toyota (丰田), 356
 Trademark (商标)
 defined (定义的), 334
 uses of (使用), 352
 Trade-off map (权衡图), 108
 Trade-offs (权衡)
- final specifications and (最终规格), 103, 108-109
 interactions between internal and external factors (内外因素之间的相互作用), 382-383
 in platform planning (平台规划), 203-204
 rules (规则), 383-384
 sensitivity analysis and (敏感性分析), 380-385
 Trade secret (商业秘密), 334
 Transportation costs (运输成本), 261
 Treacy, Michael, 70
 Treffinger, Donald J., 141
 Tregoe, Benjamin B., 162
 Trends, opportunity identification and (趋势, 机会识别), 43
 TRIZ (theory of invention problem solving) (TRIZ (发明问题解决理论)), 130
 Trucks, H. E., 278
 Tuylschaevs, Thomas J., 351
 Tyco International (Tyco 公司)
 organizational structure (组织结构), 30
 product development process for (产品开发过程), 23-25
 wireless security alarm (无线安全报警器), 11-12
- U
- Ulrich, Karl T., 50, 51, 113, 141, 206, 208, 279, 310
 Unit manufacturing cost (单位制造成本), 258, 260-261
 Upgrade, as product change motive (升级, 作为产品改进的动因), 190
 Urban, Glen L., 71, 90, 99, 113, 157, 162, 182
 Use environment (使用环境), 74
 Usefulness, patent inventions (专利发明实用性), 336

- User anthropology (用户人类学), 42
User-driven products (用户驱动型产品), 223-224
User interface, quality of (用户界面, 质量), 226
Utility patents (实用新型专利), 336
Uzumeri, Mustafa, 71
- V
- Validity, of patent(s) (专利的有效性), 336
Value, of specification (规格值), 93
VanGundy, Arthur B., 50, 129, 141
Van Hemel, C., 236, 250
Variable costs (可变成本)
 economics of scale and (规模经济), 268
 fixed costs vs. (固定成本), 261-262
Vendors (供应商)
 black box supplier design and (黑箱供应商设计), 269
 capabilities of (能力), 196
Verbal description (文字描述), 172
Veryzer, Robert W., 229
Videos (录像)
 for concept description (概念描述), 174
 as interview documentation method (作为访谈文件的方式), 81
Virtual prototypes (虚拟原型), 303
Visual equity (视觉资产), 218
 von Hippel, Eric, 78, 90, 142
 von Oech, Roger, 129, 142
Viens, Marco, 182
VRIN (valuable, rare, inimitable, nonsubstitutable) resources (有价值的、稀有的、独特的、不可替代的资源), 42
- W
- W. L. Gore Associates, 18
Walden, David, 90
Wall, Matthew B., 310
- Wallace, K., 141
Walton, Mary, 10, 310
Ward, Allen C., 419
Water pollution (水污染), 235
Web-based survey, concept selection and (网络调查, 概念选择), 147
Webber, M E., 250
Weekly status memo (每周进展状态备忘录), 413
Weinberg, Bruce D., 182
Wheelwright, Stephen C., 10, 31, 63, 71, 310, 403, 418
Whitney, Daniel E., 278, 279
Wiersema, Fred, 70
Willyard, Charles H., 72
Wireless security alarm (Tyco) (无线安全报警器 (Tyco 公司)), 11-12
Wittink, Dick R., 182
Wood, Kristin L., 162
Working prototypes, for concept testing (用于概念测试的工作原型), 175
Workshops with multivote (研讨会多数表决), 46-47
Works-like prototype (工作原理原型), 293
Wyner, Gordon, 328
- X
- Xerox Corporation (施乐公司), 53-54, 55, 58, 61, 64-69
- Y
- Yang, Maria C., 142, 182
- Z
- Zhu, April, 142
Zipcar, 355-365
 concept development (概念开发), 360
Zlotin, Boris, 142
Zusman, Alla, 142

Kim B. Clark

哈佛商学院院长

众所周知，关于工具和方法的书籍往往枯燥乏味。但 Ulrich 和 Eppinger 打破了这种模式！他们采用严谨且强有力的产品开发工具和方法，使其变得灵活而生动。本书理论联系实际，兼顾实用性、学术性、可读性和趣味性，应用、练习和案例丰富。我们将本书素材用于哈佛大学产品开发管理课程中，成效非常显著。我们采用本书作为教材，这就是我对本书最有力的推荐。

Warren P. Seering

麻省理工学院机械工程学教授，
产品开发创新中心主任

本书非常适合用于工科学生的设计项目课程。如果将来想成为产品开发领域的杰出人才，那么本书将引领你认识整个设计流程，书中每一章都解决了未来工程师需要理解的一个主题。

Gerard Furbershaw

Lunar 设计公司负责人

许多工业设计人员从未接受过系统训练就成为跨职能产品设计团队的一员，本书为解决跨学科问题和制定决策提供了规范的工具，是一本关于产品开发的综合且全面的书籍！

Roger Saillant

伟世通汽车系统公司动力控制
系统分部副总裁

Ulrich 和 Eppinger 创作了一本关于产品开发流程的通用教材，从业者应对照本书框架反思自己的实践过程。学生会从真实的案例中得到信心，这些案例都是对当今设计和制造环境中现实问题的准确描述。

本书将当今的开发和设计问题分为顾客需求识别、面向制造的设计、原型化和工业设计等一系列过程，清晰而详尽地提出了一套产品开发技术，旨在将企业的市场营销、设计和制造职能结合起来。本书提出的集成化方法有利于不同学科视角的人解决问题和制定决策，反映了当前工业界正趋向于跨职能团队的产品设计和开发。

本书特色：

- 第 6 版对全书实例和数据进行了全面更新，融入了近期研究和实践领域的新观点。新增的第 17 章解释了服务型企业如何实施正式的方法来开发交付物。
- 采用模块化方法，每章之间几乎完全独立，结构化、步骤化的章节设计使得本书成为项目课程的理想教材。
- 通过多元化的产品类型和真实的工业案例阐述关键理念，配套网站 (www.ulrich-eppinger.net) 包含最新的网页链接、教辅资源、PPT 和视频。



www.mheducation.com

投稿热线：(010) 88379604

客服热线：(010) 88378991 88361066

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259



上架指导：计算机/产品设计

ISBN 978-7-111-59550-2



9 787111 595502

定价：99.00 元

华夏网站：www.hzbook.com

网上书店：www.china-pub.com

数字阅读：www.hzmedia.com.cn