



普通高等教育“十二五”规划教材



创新设计方法

Method to Creative Design

李彦 李文强 等 编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

创新设计方法

Method to Creative Design

李 彦 李文强 等 编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

掌握有效的创新思维、方法和工具是提升产品设计人员自主创新能力的重要基础。本书结合目前国内外相关产品创新设计的研究成果,以及作者近年来在产品创新设计研究、教学和实践中的经验,较为系统地介绍了产品创新设计的过程与关键技术。主要包括:创造性思维方法及应用、产品创新设计的实施策略、计算机辅助创新设计工具与创新设计知识管理等内容。

本书可供高等院校工科专业的师生,以及相关领域科研院所的研究人员、企业的技术开发人员与管理人员等参阅。

图书在版编目(CIP)数据

创新设计方法=Method to Creative Design/李彦,李文强等编.—北京:科学出版社,2013

(普通高等教育“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-03-036994-9

I. ①创… II. ①李…②李… III. ①工业产品-产品设计-高等学校-教材
IV. ①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 043954 号

责任编辑:裴 育 丛洪杰 / 责任校对:朱光兰

责任印制:张 倩 / 封面设计:科地亚盟

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

张庄印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年3月第一次印刷 印张:21 1/4

字数:483 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

想象力比知识更重要，因为知识是有限的，而想象力概括着世界的一切，推动着进步，并且是知识进化的源泉！

——爱因斯坦

前 言

2012年6月11日,胡锦涛总书记在两院大会上指出,“国家制定了‘十二五’规划纲要,强调要以科学发展为主题,推动我国经济发展更多依靠科技创新驱动。要大幅提高自主创新能力,大力推动科技惠及民生,推动我国经济社会发展尽快走上创新驱动的轨道”。掌握先进的创新思维、创新方法和创新工具是提升自主创新能力的必要前提,是取得重大创新成果、实现跨越发展的必要条件;在思维、方法、工具和管理等不同层面大力推进创新方法工作,是使我国逐渐摆脱在科研方法和路径上依从于人、在科研工具和设备上依赖于人的状态,在全球竞争中取得主动地位的重要途径。

自2007年以来,创新方法工作遵循温家宝总理等国家领导人的重要批示精神,各级职能机构在国家科学技术部(以下简称国家科技部)的领导下,按照“试点先行,自愿参与”的原则,结合教学以及科研院所和企业对技术创新的不同需求,开展了大量的发明问题解决理论(TRIZ)研究、推广与创新方法培训,并且取得了显著成效。但是,由于我国开展创新方法工作起步较晚,很多方面都是照搬国外经验,缺乏具有自身特点的理论基础和相应的支持工具。其中一个突出表现是不同地方机构和创新团队采用不同的国外相关文献作为开展创新方法的培训教材,而内容多样、结构复杂、表述不统一等是这些教材的共同问题。另外,目前也没有将面向企业技术人员与面向高校学生、面向产品设计创新与面向产品管理创新等内容有针对性地加以区别。随着创新方法工作在全国范围的逐步推进,教材问题已成为一个制约其发展的重要因素。为此,四川大学创新方法与创新设计四川省重点实验室在整理相关国内外文献的基础上,结合实验室研究人员的研究成果和多年的教学实践心得,编写了这本面向高等院校工程类本科生和研究生的产品创新设计教材。

本书结合产品创新设计的理论基础,系统介绍了产品创新设计中的创新过程、创新思维、创新方法、创新工具以及支持创新设计的知识组织与管理等内容,以期培养学生形成和完善产品创新设计理论体系、养成良好的创新思维习惯、掌握多种创新方法和工具、增强自身创新实践能力。

全书共17章。第1章介绍产品创新设计的现状和相关情况;第2~3章介绍产品设计与产品创新设计的基本概念,分析产品创新的主要阶段,重点阐述产品概念设计过程;第4~5章介绍用户需求获取与分析、产品创新方案生成的过程和方法;第6章介绍产品创新设计中各类创造性思维方式和创造性思维的培养与训练方法;第7章从思维的流动性、操作性和程序性角度,介绍基于创造性思维产生的一些规范创新思维方法;第8~13章系统介绍一种重要的创新方法——发明问题解决理论(TRIZ),其中第8章介绍TRIZ的核心思想和基本概念,第9章介绍发明问题冲突解决理论,第10章介绍物场模型分析及标准解,第11章介绍技术系统进化理论及有关法则,第12章介绍功能分析、因果分析和资源分析三种创新问题分析工具,第13章介绍产品进化过程中的重要技术创新方法——裁剪;第14章介绍各类创新知识在产品创新设计过程的作用,以及知识的组织与

应用模型;第 15 章介绍目前常用的计算机辅助创新软件系统,以及作者开发的 CAIP 系统的各项功能;第 16~17 章介绍公理化设计、六西格玛设计方法,辅助学生掌握更多先进的设计理念 and 手段。

本书是在借鉴国内外创新研究的相关文献和作者研究成果的基础上编写而成的,吸取了包括北京亿维讯科技有限公司团队和河北工业大学檀润华教授团队等多个创新方法优秀团队和专家的成果,在此一并向这些团队和专家表示感谢。书中的引用情况都已在各章后的参考文献部分进行了说明,在此也向这些作者表示感谢。

本书由李彦教授担任主编并进行了终稿审定,李文强、万延见、闫喜强、姜莉莉和胡连军参加了部分章节的编写和统稿工作。在本书编写过程中,赵武、李翔龙、熊艳等老师多次提出宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。

由于作者学术水平有限,书中难免存在不足之处,恳请同行及读者批评指正。

李彦

2012 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 21 世纪是创新的世纪	1
1.2 我国技术创新现状	1
1.3 创新是每个人的能力	3
1.4 小结	4
第 2 章 产品设计	5
2.1 概述	5
2.2 设计与产品设计	5
2.2.1 什么是设计	5
2.2.2 什么是产品设计	6
2.3 产品设计的一般描述	7
2.4 产品设计思想的变迁	8
2.5 产品设计的原则	9
2.6 产品设计类型	10
2.7 产品设计过程	12
2.8 小结	13
参考文献	13
第 3 章 产品创新设计	15
3.1 概述	15
3.2 创新与创新设计	15
3.2.1 什么是创新	15
3.2.2 什么是创新设计	16
3.3 产品创新设计模式	16
3.3.1 技术推动模式	16
3.3.2 市场推动模式	17
3.3.3 复合推动模式	17
3.4 产品创新设计类型	17
3.5 产品创新设计过程	20
3.5.1 基于认知创新思维展开过程	20
3.5.2 创新思维展开过程中的思维回路	22
3.5.3 产品创新设计过程模型	23
3.6 概念设计——产品创新的核心	24
3.7 小结	25

参考文献	25
第4章 用户需求获取与分析	26
4.1 概述	26
4.2 倾听用户的声音	26
4.2.1 不同的用户群体	26
4.2.2 用户需求的类型	27
4.2.3 用户需求模型	27
4.3 需求获取	28
4.4 需求处理	29
4.5 机会识别	31
4.6 需求转换	32
4.7 需求分析实例	35
4.7.1 Apple——最富价值的品牌	35
4.7.2 IDEO——全新的设计体验	36
4.8 小结	38
参考文献	38
第5章 创新方案生成	40
5.1 概述	40
5.2 问题定义	40
5.3 功能设计	41
5.3.1 功能的概念	41
5.3.2 核心功能和总功能	42
5.3.3 功能分解	42
5.3.4 功能求解	44
5.4 行为设计	45
5.5 结构设计	47
5.6 方案评价	48
5.7 新型自动敲钉机的创新	49
5.8 小结	52
参考文献	52
第6章 创造性思维的本质及能力培养	53
6.1 概述	53
6.2 三种领域技术的会聚	53
6.3 创造力模型	54
6.4 创造性思维的方式	56
6.4.1 发散思维与收敛思维	56
6.4.2 横向思维与纵向思维	57
6.4.3 正向思维与逆向思维	59
6.4.4 求同思维与求异思维	60

6.5 创造性思维的培养与训练	61
6.5.1 奠定思维基础	61
6.5.2 突破思维定势	62
6.5.3 泛化思维视角	64
6.5.4 发散思维训练	66
6.5.5 想象思维训练	67
6.5.6 联想思维训练	69
6.5.7 直觉思维训练	71
6.6 小结	73
参考文献	74
第7章 创造性思维的应用方法	75
7.1 概述	75
7.2 基于思维流动型	75
7.2.1 头脑风暴法	75
7.2.2 检核表法	79
7.3 基于思维操作型	82
7.3.1 形态分析法	82
7.3.2 整体思考法	85
7.4 基于思维程序型	88
7.4.1 体系化创新思维方法	88
7.4.2 创造性模板法	92
7.5 小结	98
参考文献	98
第8章 发明问题解决理论——TRIZ	100
8.1 TRIZ 理论概述	100
8.2 TRIZ 理论的核心思想	100
8.3 TRIZ 理论体系	102
8.3.1 最终理想解	102
8.3.2 40 个发明原理	103
8.3.3 39 个通用技术参数及经典冲突矩阵	103
8.3.4 物理冲突和四大分离原理	103
8.3.5 物场模型分析	104
8.3.6 发明问题的标准解	104
8.3.7 发明问题解决算法	104
8.3.8 技术系统八大进化法则	104
8.3.9 科学效应和现象知识库	104
8.4 最终理想解	105
8.4.1 理想化与理想度	105
8.4.2 IFR 的确定及其特征	106

8.4.3 IFR 的应用	108
8.5 发明创造的等级划分	110
8.6 小结	112
参考文献	113
第9章 冲突解决理论	114
9.1 概述	114
9.2 冲突的定义与分类	114
9.2.1 技术冲突	115
9.2.2 物理冲突	116
9.3 技术冲突的解决	117
9.3.1 通用技术参数	117
9.3.2 发明原理及实例	120
9.3.3 经典冲突矩阵	133
9.3.4 技术冲突的解决流程	134
9.3.5 技术冲突问题的解决实例	136
9.4 物理冲突的解决	143
9.4.1 物理冲突的解决原理	142
9.4.2 分离原理与发明原理的关系	150
9.4.3 物理冲突的解决流程	151
9.4.4 物理冲突问题解决实例	152
9.5 小结	156
参考文献	157
第10章 物场模型分析方法	158
10.1 概述	158
10.2 物场模型的建立	159
10.2.1 符号系统	159
10.2.2 功能分类及其模型	159
10.2.3 构建物场模型	160
10.2.4 物场模型分类	161
10.2.5 物场分析的一般解法	162
10.3 76个标准解	166
10.3.1 概述	166
10.3.2 第1类:建立或破坏物场模型	169
10.3.3 第2类:增强物场模型	175
10.3.4 第3类:向超系统和微观级系统进化	182
10.3.5 第4类:检测和测量	184
10.3.6 第5类:应用标准解的标准	189
10.4 标准解的应用过程	192
10.5 工程实例	194

10.5.1 粉尘过滤	194
10.5.2 树皮和木片的分离问题	195
10.5.3 纯铜板的清洗	196
10.5.4 钢丸发送机弯管部分磨损问题	198
10.6 小结	199
参考文献	199
第 11 章 技术进化理论	201
11.1 概述	201
11.2 S 曲线	202
11.3 技术系统进化法则	204
11.3.1 完备性法则	205
11.3.2 能量传递法则	206
11.3.3 动态性进化法则	207
11.3.4 提高理想度法则	209
11.3.5 子系统不均衡进化法则	210
11.3.6 向超系统进化法则	211
11.3.7 向微观级进化法则	212
11.3.8 协调性进化法则	213
11.4 技术系统进化的应用	214
11.5 小结	215
参考文献	215
第 12 章 系统化分析工具	216
12.1 概述	216
12.2 功能分析	216
12.2.1 功能分析方法	216
12.2.2 基于 FAST 的功能分析	217
12.2.3 基于组件的功能分析	219
12.2.4 工程实例	220
12.3 因果分析	221
12.3.1 因果分析的定义与分类	221
12.3.2 因果分析的方法	221
12.4 资源分析	225
12.4.1 资源的定义与分类	225
12.4.2 资源应用原则	225
12.4.3 资源分析的方法与步骤	226
12.5 小结	229
参考文献	229
第 13 章 系统裁剪	230
13.1 概述	230

13.2 系统裁剪及方法	230
13.2.1 裁剪原理及定义	230
13.2.2 裁剪对象选择	231
13.2.3 系统裁剪的实施方法	232
13.3 基于裁剪的产品创新设计过程模型	234
13.4 工程实例	235
13.5 小结	244
参考文献	244
第14章 支持创新设计的知识及其应用	245
14.1 概述	245
14.1.1 知识的定义	245
14.1.2 知识的作用	245
14.1.3 知识的类型	245
14.1.4 知识的转化过程	247
14.2 创新设计过程中的知识	248
14.2.1 创新设计过程的知识类型	248
14.2.2 知识创新属性的提取与表达	249
14.2.3 设计知识的表示方法	250
14.2.4 设计知识的组织方法	251
14.3 支持产品创新设计的知识库	254
14.3.1 发明原理实例库	255
14.3.2 科学效应库	256
14.3.3 专利知识库	258
14.3.4 领域知识库	260
14.3.5 专题知识库	261
14.4 设计知识的搜索	262
14.4.1 基于发明原理的搜索策略	262
14.4.2 基于知识地图的搜索策略	263
14.4.3 基于设计规则的搜索策略	265
14.5 小结	266
参考文献	266
第15章 计算机辅助产品创新工具	267
15.1 概述	267
15.2 常用CAI软件及应用	268
15.2.1 Goldfire介绍	268
15.2.2 Pro/Innovator软件介绍	269
15.2.3 CAI解决冲突(矛盾)的实例:空气囊问题	271
15.3 基于认知机理的计算机辅助创新平台CAIP系统	273
15.3.1 CAIP系统介绍	273

15.3.2 CAIP 系统的总体框架	274
15.3.3 CAIP 系统模块	275
15.3.4 CAIP 系统问题分析模块	275
15.3.5 CAIP 系统创新策略模块	277
15.3.6 CAIP 系统创新知识库模块	280
15.3.7 CAIP 系统创新方案管理模块	281
15.4 原型系统的应用实例	281
15.5 小结	285
参考文献	285
第 16 章 公理化设计	287
16.1 域的概念	287
16.2 域间的“之”字形映射与层次结构	287
16.3 设计公理	288
16.3.1 独立性公理	288
16.3.2 信息公理	289
16.4 应用实例	290
16.4.1 冷热水混水阀	290
16.4.2 深水炸弹触发器的设计	293
16.5 小结	299
参考文献	299
第 17 章 六西格玛设计	300
17.1 六西格玛简介	300
17.1.1 DFSS 方法	301
17.1.2 基于 DFSS 的产品创新设计方法	302
17.2 基于 DFSS 的产品创新设计模型	302
17.2.1 集成模式 DFSS 方法的组织结构	302
17.2.2 VRD 集成模式的原理分析	303
17.2.3 面向全新产品的 DFSS 模型	304
17.3 基于 DFSS 的产品创新设计流程	305
17.3.1 DFSS 与六西格玛改进的区别	305
17.3.2 现有 DFSS 流程比较分析	306
17.3.3 面向全新产品的 DFSS 流程	306
17.3.4 基于 DCCDV 流程的 DFSS 模型	307
17.4 应用实例	309
17.4.1 确立 DFSS 项目	309
17.4.2 顾客需求确定与分析	311
17.4.3 概念方案的生成与选择	314
17.4.4 设计试验并分析优化关键变量	316
17.4.5 验证最优参数组合	317

17.5 小结.....	318
参考文献.....	319
附录 A 术语索引.....	320
附录 B 冲突矩阵.....	323

第 1 章 绪 论

1.1 21 世纪是创新的世纪

20 世纪是知识经济的时代。美国国家自然基金会(National Science Foundation, NSF)在《提升人类技能的会聚技术》报告中指出,21 世纪是创新时代(innovation age),着重点将从“重复”(repetitive)转向“创造和创新”(creative, innovation-based activities)。美国《经济周刊》提出,21 世纪是从知识经济时代转向创新经济时代的世纪,谁在知识和科技创新方面占据优势,谁就能够在发展上掌握主动。另外,国际上目前对创新的研究也非常重视,如 NSF 在 2006 年 8 月组织了创新和发明的研讨会,在会议总结报告《个人和团队创新和发明的科学基础》中指出,创新能力是未来发展的关键因素,社会心理学、认知科学及工程研究进行学科间的协同和融和,是研究创新和发明的方向。

我国虽然对创新方法的研究和推广起步较晚,但国家政府部门对此非常重视。2008 年 4 月 28 日,国家科技部、国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)、国家教育部和中国科学技术协会联合发布了《关于加强创新方法工作的若干意见》,强调“自主创新,方法先行”,创新方法是自主创新的根本。2009 年 5 月 9 日,温家宝总理在福建星网锐捷通讯有限公司调研时说,“创新赢得实力,创新赢得领先,创新赢得发展,创新赢得尊严。一个国家和民族,必须有自己的创新产品、自己的知识产权和高度的创新能力、文化素养,才能赢得全世界的尊重”。2010 年 6 月 7 日,胡锦涛总书记在两院大会上明确指出,“把增强自主创新能力作为战略基点,着力提升原始创新能力,大力增强集成创新和引进消化吸收再创新能力,提升知识、技术转移转化和规模产业化能力,形成更多具有自主知识产权的创新技术,构建完整的创新体系,牢牢把握发展主动权”。2010 年 12 月 9 日,科技部部长万钢在 2010 创新方法高层论坛上指出,创新方法工作是一项基础性、战略性、长期性、开创性工作,要把创新方法工作作为全国“十二五”科技工作的重要抓手,为科技创新提供方法支撑。创新是一个民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力,企业产品创新是企业得以生存和持续发展的内在动力。

1.2 我国技术创新现状

目前我国是制造大国,却不是制造强国,虽然拥有世界上最多的人力资源,但所采用的设计方案、制造方案和制造工具等大多来源于国外。企业获得的大量利润都要支付高额的设备费、专利费和技术服务费。据统计,近几年我国设备投资的 2/3 依赖进口,其中光纤制造设备的 100%,集成电路芯片制造设备的 85%,石油化工设备的 80%,轿车工业设备、数控机床、纺织机械、胶印设备的 70%都来自于进口。造成这种现象的原因是我国企业缺乏创新意识和创新能力,企业科技人员创新意识和创新能力差的问题没有从根本

上得到解决,而且大部分企业根本没有现代化创新方法、创新手段和创新工具,技术创新已成为制约我国经济发展的突出问题。

据联合国世界知识产权组织公布的数据,2010 年国际专利申请中,来自中国的12337 件国际专利申请只占全世界专利申请总量的 7.6%,远远低于拥有 44855 件的美国(27.5%)、32156 件的日本(19.7%)和 17171 件的德国(10.5%)。此外,如果将国内与国际专利申请一起看,我国与工业化国家的差距更加明显。2010 年,我国国内的专利申请量为 81.5 万件,与国际申请的比例是 1:66;而美国在 2005 年时这一比例仅为 1:5。根据世界经济论坛公布的包含 139 个国家的《全球竞争力报告 2010—2011》,我国在综合竞争力指标上排第 27 位,在高等教育和培训指标上排第 60 位,在技术敏捷性指标上排第 78 位。根据“核心竞争国”(指每 100 万人口获得美国专利与商标局的发明专利授权在 15 个以上的国家或经济体)标准,我国仅以 0.15 列第 62 位,不仅低于发达国家,而且排在巴西和印度等发展中国家之后。

宏碁集团创办人施振荣先生提出了著名的“产业微笑曲线”(smiling curve)理论,如图 1-1 所示。微笑曲线的中间是生产制造环节,左边是研发、咨询环节,右边是售后服务环节。从微笑曲线的变化规律不难看出:在产业链中,产品的附加值更多体现在两端——研发和服务,处于中间环节的生产制造的产品附加值最低。因此,产业未来应朝微笑曲线的两端发展,也就是在左边加强研发创造智慧财产,在右边加强客户导向的营销与服务。通过对不同时期的产业微笑曲线变化进行分析不难看出,随着全球进入 21 世纪,微笑曲线变得更加陡峭,产品的附加值进一步向两端倾斜,而生产制造阶段的产品附加值变得更少。而从资源消耗和对环境污染的角度看,微笑曲线却又正好相反:在产业微笑曲线两端,资源消耗和对环境的污染日趋减少,而更多的资源消耗和环境污染都来源于生产制造阶段。因此,提升我国产业微笑曲线的等级和层次,在产品开发全生命周期实施创新设计战略,建立健全产品服务平台是必由之路。

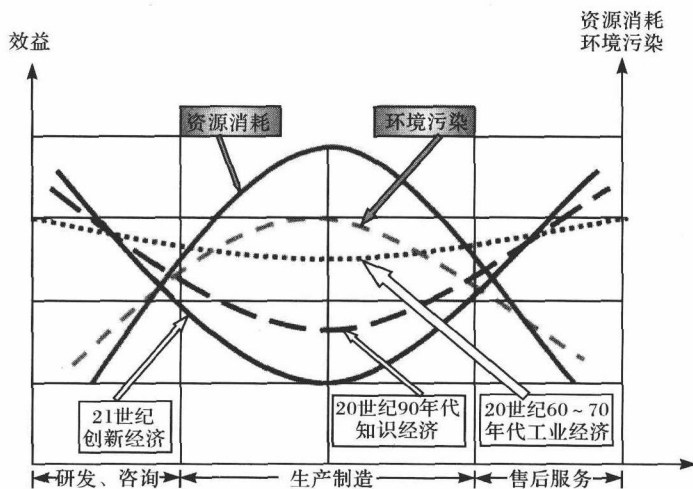


图 1-1 产业微笑曲线

1.3 创新是每个人的能力

创造性是每个人所普遍具有的潜能。人文主义心理学家马斯洛指出,“它极可能是一种每一个人都有的遗传素质。它是一种共同的和普遍的东西。在所有健康儿童中肯定都会发现它的存在”。但是,作为一种潜在的可能,在现实的人身上“它确实会丧失,或被掩盖,或被歪曲,或被抑制,或受到任何可能的阻碍”。

研究表明,在个体智商(IQ)达到一般水平后,智力对创造力的影响就很小。因此,当个体具备设计人员的基本能力时,智力和创造力之间就没有关系了。最新的研究也表明,东亚地区的人的平均 IQ 测试值高于美国和亚洲其他地区的白种人,但是很明显,东亚地区的人并不具有更好的创造性。是什么原因造成这种局面呢? 惯性思维定势和缺乏有效的创新方法是其中的重要原因。

2003 年,美国工业设计师协会金奖授予了“荷兰男孩”旋转倾倒系统,如图 1-2 所示,表彰他一百多年来第一次对金属油漆桶进行了有效改造,改变了大家对油漆桶使用的思维定势。“荷兰男孩”油漆桶与原油漆桶相比很容易倾倒、关闭和循环利用,其改变仅仅是开了一个导流口以便在倾倒时不再把桶弄脏,同时做了一个螺丝口的盖子,再附上一个简单的把手。

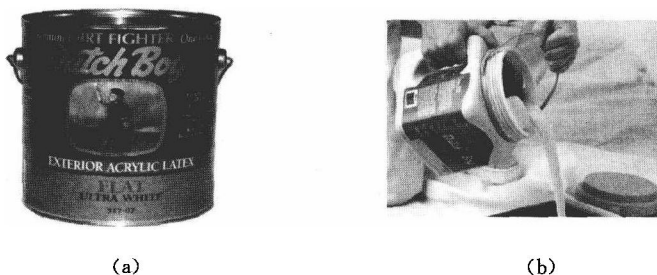


图 1-2 传统油漆桶(a)和“荷兰男孩”油漆桶(b)

又如,一种药片破损形状检查装置的改进问题,如图 1-3 所示,其目的是将有破损的药片剔除出去。传统设计人员多会从检测系统本身出发进行考虑和改进,如增加员工岗位进行手工检测,或者通过开发一套检测剔除系统等。这些方法虽然也能有效解决这个问题,但显然不是好的方案。有个设计人员从药片自身的属性出发进行思考,通过将水平推出的药片竖立推出,利用完整药片和破损药片滚动速度不同导致的动能属性不同,将传送带稍微向后撤离合适距离,则完整的药片将顺利落在传送带上,而破损的药片将因动能不足而落入回收桶中。该方法相比传统的解决方案,不仅节省了人力,而且不需引入复杂的设备系统。创造性思维和科学的创新方法往往可以使问题解决得到事半功倍的效果。

以上两个事例的创新过程都不难,但却需要创造性的思维方法。钱学森曾对思维科学作出过界定:“思维科学就只有三部分:逻辑思维,微观法;形象思维,宏观法;创造思维,微观与宏观的结合。创造思维才是智慧的源泉;逻辑思维与形象思维都是手段。”创新具有科技特征、艺术特征和经济性质,因此仅仅利用逻辑思维的方法,或利用现有的经验和知识对创新来说是不利的。本书将面向产品创新设计过程,从创造性思维的产生、各类创