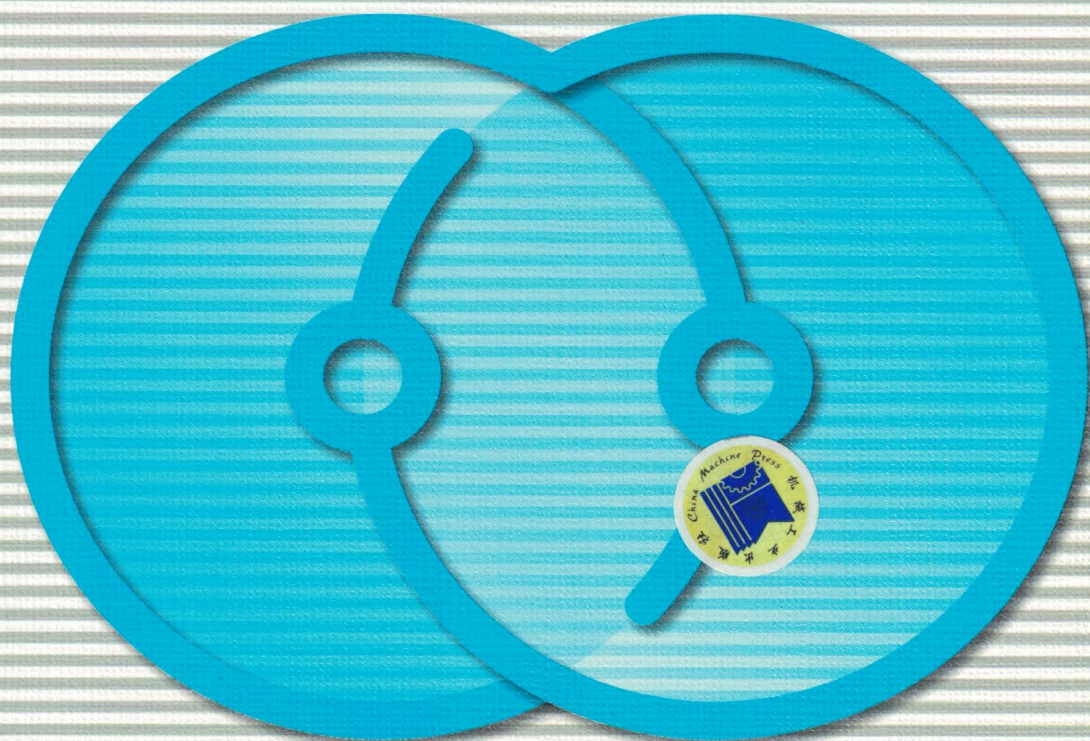




创新技法与实践

檀润华 丁 辉 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

创新技法与实践

檀润华 丁 辉 编著



机械工业出版社

创新技法是建立在认识规律基础上的创新心理、创新思维方法的技巧和手段,是实现创新的中介,是公司快速推出新技术与新产品的一种可用资源。本书以产品或技术创新中模糊前端解决问题的需求为导向,介绍头脑风暴法、思维地图法、平行思维法等国际上常用的创新技法,同时也介绍了公理设计、6 西格玛、功能设计等新产品开发中常用方法。本书适合于公司研发与管理人员,也适合于不同专业的大学生、研究生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

创新技法与实践/檀润华, 丁辉编著. —北京: 机械工业出版社, 2010. 5

ISBN 978 - 7 - 111 - 30712 - 9

I. ①创… II. ①檀… ②丁… III. ①企业管理 - 市场竞争
IV. ①F274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 092122 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 孔 劲 责任编辑: 白 刚

版式设计: 张世琴 责任校对: 程俊巧

封面设计: 姚 毅 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 7 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 18.5 印张 · 356 千字

000 1—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 30712 - 9

定价: 34.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 一 部: (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 二 部: (010)88379649

读者服务部: (010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

世界范围内求变的步伐加快，昨天满足的需求今天不再需要，或被更好的技术、产品所取代。全球化、竞争，特别是发展中国家低劳动力成本的竞争、知识获取较容易、通信便捷、技术进步、用户偏好经常变化，是世界范围内求变的驱动力。越来越多的公司，特别是跨国公司，希望改造自身，使其以更灵活的方式运行，以便与小公司及推出突破性创新的公司竞争。开发与众不同的新产品，增加其价值，已成为成功企业的核心战略。为了实现这一战略，提升公司的创新能力成为最迫切的需求。

经过多年的积累，公司都形成了自己的新产品开发模式，而且经验证明这些模式已帮助公司完成过多项新产品开发任务。然而，今天的竞争环境要求公司快速推出新技术与新产品，扩展已有的模式，使之适合于今天竞争的环境，是重要而紧迫的任务。

新技术或新产品开发过程中会出现很多问题。一些问题依据经验可以解决，另一些则很难解决，头脑风暴法可以帮助解决部分难题，该方法为创新技法的一种。创新技法是建立在认识规律基础上的创新心理、创新思维方法的技巧和手段，是实现创新的中介。经过多年的研究，国际上已诞生多种创新技法，这些技法是资源，应用这些资源，公司确实解决了一些问题，实现了技术或产品的创新。

我国已是制造大国，但不是强国。建立制造强国的目标及竞争驱动，使公司对学习应用创新技法有了强烈的需求。本书正是为满足该类需求而撰写。作者多年来学习前人的研究结果，研究应用创新技法解决实际问题，现将经验与体会写成此书，供研发人员、大学生、研究生们学习、参考、应用。

本书得到科技部创新方法工作专项项目（2009IM020700、

2008IM030100)、国家自然科学基金(70972050)的资助。

本书共10章,第1章介绍基本概念,第2章论述创新技法与产品创新模糊前端的关系,第3章给出了发现问题的不同方法,后续各章介绍各种创新技法。本书第1、2章由檀润华编写,第3章由陈子顺、张鹏共同编写,第4、5章由王新、牛新环共同编写,第6、9章由陈子顺编写,第7章由张换高编写,第8章由江屏编写,第10章由曹国忠、刘芳共同编写。张士运、张彤、张国会、杨洋、倪丽、王婷提出了本书的基本思想,提供了基本资料。全书由檀润华、丁辉统稿,张国会、刘芳、张鹏协助统稿。机械工业出版社的孔劲博士为该书的出版作了文字修改,并付出了很多心血,在此表示感谢。

檀润华

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 企业今天的竞争环境	1
1.3 企业技术创新战略	2
1.3.1 企业技术创新战略的 选择	2
1.3.2 企业技术创新战略的 实施方式	3
1.4 创新概念与分类	3
1.4.1 创新的概念	3
1.4.2 创新的分类	4
1.5 创新过程	5
1.5.1 早期的产品开发过程 模型	5
1.5.2 五代技术创新过程模型	7
1.5.3 阶段-门模型	7
1.5.4 创新过程模型	10
1.6 创新过程中的问题	11
1.6.1 问题的定义	11
1.6.2 问题的解决过程	13
1.7 创新技法及分类	14
1.8 本书各章的构成	16
1.9 本章小结	16
参考文献	17

第2章 模糊前端过程与 方法	18
2.1 概述	18
2.2 模糊前端	18

2.3 模糊前端过程模型	19
2.4 开放式创新模式 (Open innovation paradigm)	22
2.5 模糊前端阶段的不确定 性因素	24
2.6 设想产生	25
2.7 模糊前端与新产品 开发	27
2.8 本章小结	29
参考文献	29

第3章 问题发现方法	30
3.1 概述	30
3.2 约束理论 (TOC) 模型	31
3.3 QFD 理论	34
3.3.1 QFD 的基本原理	34
3.3.2 基于 QFD 问题确定	41
3.4 设计过程复杂性 (DCC) 理论	43
3.4.1 复杂性的概念	43
3.4.2 复杂性与问题	44
3.4.3 复杂性分类	45
3.4.4 复杂性与冲突	46
3.4.5 基于 DCC 理论的问题 确定过程	47
3.5 本章小结	48
参考文献	48

第4章 传统技法	50
4.1 概述	50

4.2 信息收集.....	50	5.5.2 概念	119
4.2.1 信息收集原则	51	5.5.3 实施程序	119
4.2.2 信息的收集方式	51	5.5.4 德尔菲法的特征	120
4.2.3 实施程序	52	5.5.5 德尔菲法应用范围	121
4.2.4 信息收集的范围	52	5.5.6 德尔菲法的优缺点	121
4.2.5 信息的利用	52	5.5.7 注意事项	122
4.3 价值分析法	53	5.5.8 派生德尔菲法	122
4.3.1 价值分析法原理	53	5.6 组合法	125
4.3.2 价值分析法应用程序	54	5.6.1 主体附加法	127
4.4 类比法	55	5.6.2 同物自组法	130
4.4.1 类比法概述	55	5.6.3 异类组合法	133
4.4.2 综摄法	63	5.6.4 重组组合法	137
4.4.3 基本类比技法	70	5.6.5 信息交合法	139
4.4.4 引申类比技法	82	5.6.6 组合技法总结	144
4.5 本章小结.....	90	5.7 本章小结	145
参考文献	90	参考文献	145
 第5章 基于头脑风暴的 技法	 91	 第6章 思维扩展法	 147
5.1 概述	91	6.1 概述	147
5.2 头脑风暴法 (Brainstorming)	93	6.2 思维导图 (Mind Map)	147
5.2.1 技法原理	93	6.2.1 思维导图的定义	147
5.2.2 操作程序及要点	97	6.2.2 作为放射性思维联想 机器的大脑	148
5.3 635法.....	102	6.2.3 什么是思维导图	149
5.3.1 概念	102	6.2.4 绘制思维导图的七个 步骤	150
5.3.2 实施方法	102	6.2.5 绘制你的第一幅思维 导图	151
5.3.3 具体程序	103	6.2.6 用思维导图发掘你惊 人的创造力	152
5.3.4 635法注意事项	103	6.3 创造性思维导图	154
5.4 列举法	104	6.3.1 创造性思维导图制作的 目的	154
5.4.1 属性列举法 (Attribute Listing Technique)	104	6.3.2 作为创造性思维机制的 思维导图	155
5.4.2 缺点列举法	106	6.3.3 创造性思维过程的 几个阶段	156
5.4.3 希望点列举法	112		
5.4.4 信息列举法	117		
5.5 德尔菲法	118		
5.5.1 起源演变	118		

6.3.4 通过制作思维导图获取新的范式	157	7.5.3 应用设计目录进行系统化设计的一般过程	200
6.3.5 创造性思维导图的好处	158	7.6 本章小结	201
6.4 平行思维法与六顶帽子法	158	参考文献	201
6.4.1 引言	159	第8章 公理设计	203
6.4.2 什么是平行思考	160	8.1 概述	203
6.4.3 六顶帽子, 六种颜色	165	8.2 公理设计的创新过程	204
6.4.4 如何使用思考帽	166	8.3 设计公理及其推论	206
6.4.5 六顶思考帽的内容和概要	170	8.3.1 公理1: 功能独立性公理	206
6.4.6 使用六顶思维帽的价值	177	8.3.2 公理2: 信息最少公理	208
6.5 KJ法	178	8.3.3 设计公理的推论及相关设计理论	210
6.5.1 什么是KJ方法	178	8.4 公理设计分析过程模型	211
6.5.2 KJ方法和新QC七工具	178	8.4.1 公理设计过程中的设计活动	212
6.5.3 什么是KJ法的亲和图	179	8.4.2 一致性	213
6.5.4 亲和图的用途	180	8.4.3 设计过程模型	215
6.5.5 应用实例	181	8.4.4 公理设计的分析过程模型	217
参考文献	183	8.4.5 公理设计分解过程模型	220
第7章 系统化方法	184	8.5 公理设计实例分析	222
7.1 概述	184	8.5.1 冷热水混水阀	222
7.2 系统化产品设计过程模型	185	8.5.2 深水炸弹触发器的设计	226
7.3 物理过程的系统化分析	187	8.5.3 闸阀结构合理性分析	230
7.4 形态学分析法	193	8.6 本章小结	238
7.4.1 形态学分析法概述	193	参考文献	238
7.4.2 形态学方法的原理	194	第9章 六西格玛方法	240
7.4.3 形态学分析的步骤	195	9.1 概述	240
7.5 设计目录	197	9.1.1 六西格玛作为度量方法	240
7.5.1 设计目录概述	197	9.1.2 六西格玛作为技术	
7.5.2 设计目录的内容与编制	197		

方法	240	9.4.2 六西格玛制造	255
9.1.3 六西格玛作为管理 体系	241	参考文献	259
9.2 六西格玛的框架	241	第10章 功能设计	260
9.2.1 高层管理承诺	242	10.1 概述	260
9.2.2 利益相关者参与	242	10.2 功能	261
9.2.3 培训计划	243	10.2.1 功能的内涵	261
9.2.4 测量系统	243	10.2.2 功能表示	261
9.2.5 项目小组活动	243	10.2.3 功能的分类	262
9.3 六西格玛方法中的 重要概念	245	10.3 功能结构	263
9.3.1 过程	245	10.4 功能求解与合成	268
9.3.2 变异	246	10.5 方案评价	269
9.3.3 周期时间、产量和 生产力	248	10.6 工程实例	271
9.3.4 顾客满意	249	10.6.1 中药搓丸机改进设计	271
9.3.5 西格玛质量水平	249	10.6.2 适于残疾人的智能 餐勺的概念设计	278
9.4 六西格玛方法	251	10.7 本章小结	284
9.4.1 六西格玛设计	251	参考文献	284

第1章 绪 论

1.1 概述

近年来，随着产品与技术的密集开发、网络的广泛应用、国与国之间相互影响的加深，以及不同国家人与人之间交流的日益便捷，进一步加剧了商业市场的竞争，增加了市场的不确定性。以创新为目的的新产品开发比改进产品的质量及提高生产的速度更加重要。越来越多的公司或企业，特别是跨国公司，希望改造自身，使其以更灵活的方式运行，以便与小公司及推出突破性创新的公司竞争。在很多的市场细分中，如电信公司，其竞争演变成一种基于实现突破性创新的能力的竞争。开发与众不同的新产品，增加其价值，已成为成功企业的核心战略。为了实现这一战略，企业需要应用新产品开发过程模型，要应用创新技法解决各种困难和问题。

本章对企业技术创新战略、创新概念与分类、创新过程、创新过程中的问题、创新技法与分类作一概述，为后续各章奠定基础。

1.2 企业今天的竞争环境

全世界范围内求变的步伐一直增加，昨天满足的需求今天不再需要，或被更好的技术或产品所取代。

全球化、竞争、知识获取较容易、通信速度迅速、技术进步、用户偏好经常变化，是世界范围内求变的驱动力。

求变既是威胁又是机会。求变是要感觉到、要很好的解释、要付诸行动。达尔文说过：“能生存下来的物种，不是因为它们聪明，而是因为它们最能适应变化。”

每个企业、产品或服务、每项活动的附加值均处于开放的竞争环境之中。潜在的竞争者可能来自于世界的任何一个角落，而且最初不太容易观察到。竞争者可能对研发活动的投入更多、更系统地开展创新。

虽然一些跨国公司规模大、产品覆盖面宽，创新能力强，但快速响应市场仍然是影响其竞争力的一个方面。

所有的产品或服务都要经历婴儿期、成长期、成熟期及退出期四个阶段。今

天的产品或服务比以往任何时间都容易进入成熟期，即从婴儿期到成熟期的时间越来越短。

提高经营质量是防止企业业绩下滑、甚至失败的重要保护措施。在工商业不景气的末期，企业失败或倒闭是经常发生的，小企业更容易受到影响，其表现为：失去市场、缺乏资金支持、负债及经营缺陷等。

1.3 企业技术创新战略

进入 21 世纪，在上述的竞争环境中，企业为了生存与发展，对技术创新的需求已经上升到了战略的高度，越来越多的企业开始制订技术创新战略。如果把目前对战略的不同看法运用于技术创新，就会发现企业需要全面地了解技术创新战略，而这种理解对企业技术创新活动的有效性和效率的提高至关重要。

1.3.1 企业技术创新战略的选择

企业要获得技术创新的成功，必须结合自身的特性、价值观、核心竞争力等，在为企业总战略服务的基础上恰当定位技术创新战略。按其创新目的来划分，技术创新可按照成本领先战略、差异领先战略、目标集聚战略三种不同的方式进行定位。

在战略定位确定后，企业要考虑创新的性质，即采取渐进性技术创新，还是突破性技术创新。渐进性创新是指通过对现有技术进行局部改进所产生的技术创新。突破性创新是指在技术上有重大突破的技术创新，它常伴随着一系列渐进性的产品创新和工艺创新，并在一段时间内引起产业结构的变化。突破性创新可以改变整个行业的结构，形成规模效益，居于行业领导地位，获得成本优势和差异优势。但突破性创新的研发投资与产品推广费用大，产品进入市场周期长；且突破性产品开始一般性能较差，需要不断改进。渐进性创新一般是对原产品进行渐进的、分步骤的改进，这种技术创新投资费用少，周期短，风险小，见效快，但它难以获得突破性创新所拥有的行业垄断地位或成本领先地位。

技术创新行动在时间上有先动与跟进之分。先动者一般拥有新产品开发和运用的能力及资源，在竞争者回应之前企业能够获得高额利润，可以更快获得顾客的忠实感，并对竞争者的进入建立情感壁垒。先动的优势在于保持和依赖其技术创新的难模仿性。跟进者，通过对先动者的标杆学习，对先动者迅速作出回应，在技术、生产、研发上进行跟进。采用跟随创新战略可以规避市场风险，同时降低研发成本，从而具备“后发优势”。跟进者回应的速度，经常是决定成功与否的关键。

1.3.2 企业技术创新战略的实施方式

实施技术创新战略的方式多种多样，可分为自主创新方式、模仿创新方式、内部资源整合方式与外部合作方式。

自主创新方式：自主创新是指企业依靠自身的资源，通过研究、探索产生技术突破，攻破技术难关，并在此基础上推动创新的后续环节，完成技术的商品化，获取商业利润，达到预期目标的创新活动。自主创新是一种先行行为，要求企业有很强的研发能力，较雄厚的经济实力及管理组织能力。它是领导行业发展、垄断市场、获得丰厚利润、实现成本领先战略、达到高差异目的的有效方法，具有投资大、周期长、风险大、收益大等特点。但自主创新企业并非一劳永逸，存在技术扩散问题。

模仿创新方式：它是指企业通过学习模仿率先创新者的创新思路和创新行为，引进购买或反求破译率先者的核心技术秘密，实行对产品的功能和生产工艺的发展与改进等一系列活动。它是一种跟进行为，是一种从渐进走向根本性变革的技术创新过程，具有模仿跟随性、开拓性、资源投入的中间聚积性等特点。模仿创新的最大优点是省力、投资小、风险小、进入市场快，但可能会受到进入壁垒的制约而影响实施效果。

内部资源整合方式与外部合作方式：前者是整合调动企业的资源，在企业内部实现资源重新组合配置，即技术创新的内部化；后者则是通过与外部组织合作，引入外部资源来实现技术创新。内部资源整合方式是完全依靠自身实力创新，是对企业技术能力的一种考验、锻炼与提高，可提高企业的基础竞争力，同时有效控制技术溢出，但容易形成企业特有的思考行为模式刚性而限制了积极性、创造性，最终抑制企业潜能的开拓。同时，企业特定产品的市场容量限制、特定产品的技术寿命限制以及特定企业的资本结构限制等也都牵制了企业通过内部挖掘可能达到的有效技术高度。外部合作是企业间或企业、科研机构、高等院校之间的联合创新行为。合作创新可以缩短创新周期，增强研究能力，分散创新风险。同时，通过外部合作方式，企业可进入新技术发展阶段，或依靠融入外部先进技术间接实现技术生命周期的扩张，从而有效克服企业的资源限制。但在合作创新实施过程中存在核心技术能力损失的问题。

1.4 创新概念与分类

1.4.1 创新的概念

创新（Innovation）是一个可以用多种方式理解的非常广泛的概念。迈尔斯

和马奎斯（Myers and Marquis, 1969）提供了一个综合的定义：创新不是一个单独的行动，而是相互关联的子过程的一个总过程。它不仅仅是一个新创意的概念，也不仅是一个新仪器的发明或一个新市场的开发。创新是所有这些事物以一种整合的方式共同行动的过程。

很多学者指出创新所关心的是创新设想或发明的商业和实际应用，从而把创新与发明区分开来。实际上，创新与创造（Creation）及发明（Invention）是紧密联系在一起。

创造是从无到有所产生原始设想的一种表达，如头脑中的影像、材料、模型、草图或图形等。创造过程具有结构化或非结构化的自然属性，精确预测创造发生的时间是困难的。创造可分为自然创造与组织创造两类。前者指设想来自于某人，如某人头脑中突然产生了某个问题的一种解决方案，并以草图表达出来，该草图是创造的一种结果。后者基于创新技法激发人的潜能，提高其创造力，典型的激发为头脑风暴法、平行思维法等。

发明是原始设想得到某种技术可行性证明的结果，证明的方法如计算、仿真、建立物理模型进行试验等，即发明是导致某种有用结果的技术设想或技术创意。发明阶段的结果可以申请专利或某种知识产权加以保护。

创新是发明在某企业商品化开发，企业通过产品与市场获得了效益。

创新可以用公式（1-1）表示，也可以用图 1-1 表示。

$$\text{创新} = \text{创新设想} + \text{发明} + \text{商业化开发} \quad (1-1)$$

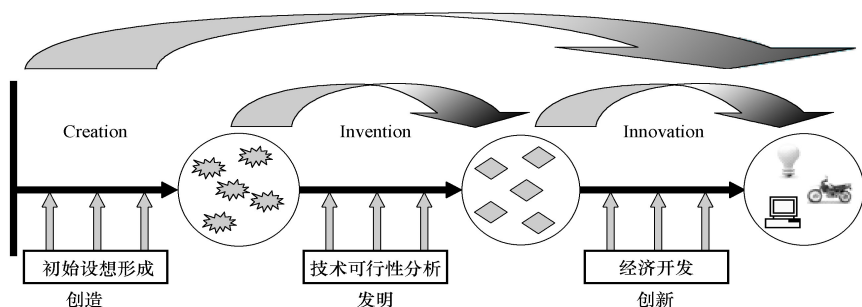


图 1-1 创造、发明和创新

1.4.2 创新的分类

1934 年 Schumpeter 提出了创新的 5 种案例：①引入一种新产品；②引入一种新的生产方法；③实现一种组织的新形式；④开启了一个新的市场；⑤以某种原始材料或半成品为来源的一种新资源。很多学者对创新的分类进行了研究，如

下是一种常见的分类方法：

产品创新：新产品或新服务；增加了功能或提高了性能的已有产品；产生了新的技术。

过程创新：新的公司商业过程；公司内更好的交流过程，知识管理系统；提高公司运作的有效性及效率。

市场创新：提升市场功能及市场占有率；与产品有关的新包装、新广告；创造新市场或新的市场运作系统；上市之前很多新产品已开发完成。

管理创新：新的公司管理方法，如新的组织结构、领导艺术、工作环境、公司文化等；跨多功能团队，基于团队的决策过程与方法；商业模式创新。

罗波特（Trott）给出了一种创新的分类，如表 1-1 所示。

表 1-1 创新分类

创新类型	案 例
产品创新	一种新产品或改进产品的开发
流程创新	一种新制造流程的开发
组织创新	新的投资部门、新的内部沟通系统、引进新的会计手段
管理创新	全面质量管理体系、业务流程再造
生产管理	质量周期、精益生产
商业/营销创新	新的财务安排、新的销售手段
服务创新	网络金融服务

1.5 创新过程

经典的创新过程是一个顺序活动组成的过程，这些活动可以描述为 4 组：设想产生（Idea Generation）、设想表达（Idea Formulation）、问题解决（Problem Solving）、应用（Utilization）。但这些活动往往孕育于新产品开发过程之中，对已有的新产品开发模型综述是重要的。

1.5.1 早期的产品开发过程模型

为了更好地理解创新过程，已开发了很多技术创新过程模型，这些模型从简单的管道或黑箱模型，到复杂模型。一些模型适合于消费类产品创新，其他的面向工业品。虽然已开发多种过程模型，但还没有通用的创新模型。

1984 年，塞人（Saren）开发了部门-阶段模型（Department Stage Model），如图 1-2 所示。这类模型也被称为是“管道模型”（Pipeline Model），因为模型中的一个活动接着一个活动，活动为顺序过程。该类模型中的每项活动或部门内

部是独立的，与其他活动或部门处于隔绝状态，每项活动或部门是一个“黑箱”(Black boxes)。该模型虽然描述了产品创新是从设想，经过若干阶段，到产品的过程，但没有考虑部门之间的相互影响，或非线性特性。因此，不能很好的描述创新过程的复杂性。

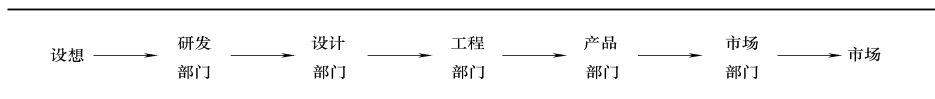


图 1-2 塞人 (Saren) 的部门-阶段模型

1980 年推思 (Twiss) 提出了输入与输出之间转换过程描述的技术创新过程模型，如图 1-3 所示。图中的输入是原材料与知识，通过转换，变成了产品并输出给市场。转换过程包括研发、设计和制造。

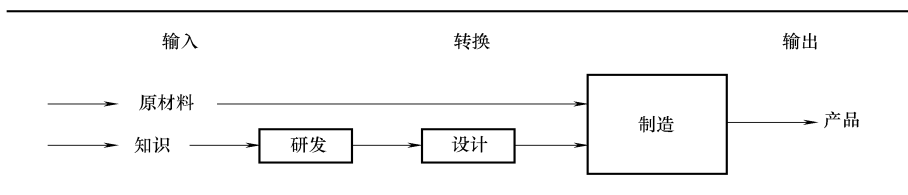


图 1-3 推思 (Twiss) 的输入与输出之间转换模型

1980 年推思 (Twiss) 在研究多个成功与失败的创新后，提出了一种受不同因素影响的创新过程模型，如图 1-4 所示。他强调，不同因素对不同项目的变化影响程度也不同。模型中包括创新过程的内部环境与外部环境。虽然该模型考虑了不同因素，但创新过程中的不同路径未表达清楚。

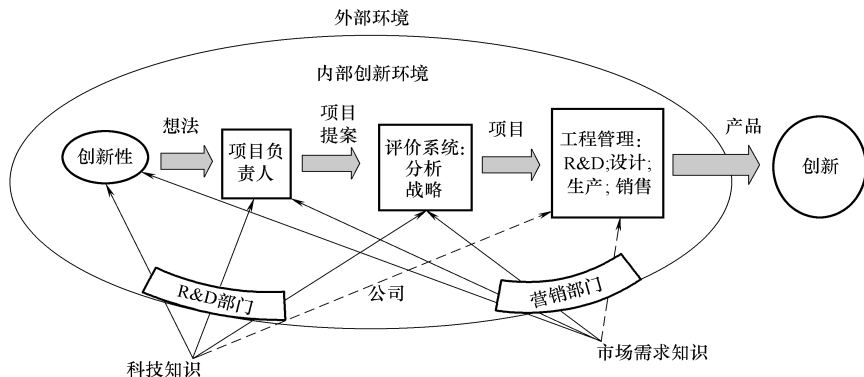


图 1-4 受各种因素影响的创新模型

1.5.2 五代技术创新过程模型

基于企业微观视角的技术创新管理的研究始于 20 世纪中叶。正如亚特和凯目 Cyert and Kumar, 1994) 所说:“40 年前, 很少有人意识到技术创新管理的重要性, 这一领域刚刚开始……”。思告恩 (Donald Schoen) 1969 年在《哈佛商业评论》上也指出:“奇怪的是, 关于技术创新管理的文献直到现在还是贫乏的”。

最初是关于产业技术创新过程的研究。由于当时随着创新活动的规模和复杂化的日益发展, 而人们对于创新过程的认识还是初步的, 因此对于深入了解创新过程产生了迫切的需求。根据绕思 (Rothwell) 对产业创新模式的划分, 20 世纪 50 年代以来, 技术创新过程的研究经历了五代有代表性的模式: 简单线性的技术推动型 (Technology push model) (20 世纪 50 ~ 60 年代中期)、线性的市场拉动型 (Demand Market pull model) (20 世纪 60 ~ 70 年代)、技术与市场的耦合互动模式 (Interactive and Coupling model) (20 世纪 70 年代后期 ~ 80 年代中期) (图 1-5)、一体化 (并行) 模式 (Integration parallel model) (20 世纪 80 年代早期 ~ 90 年代早期)、系统集成与网络化 (System integration and network model) 模式 (20 世纪 80 年代末 90 年代以来)。

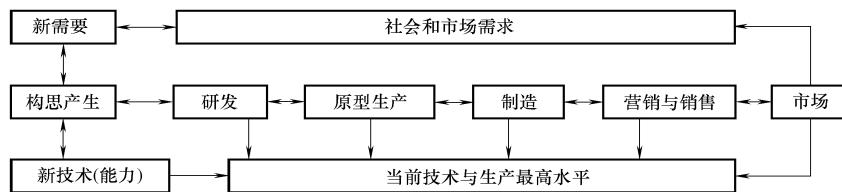


图 1-5 第三代：技术与市场耦合互动模型

1.5.3 阶段-门模型

为了在竞争中取胜, 企业必须经常推出新产品。企业面临减少新产品开发时间及提高成功率的压力, 为了管理产品创新过程, 阶段-门模型提供了一种有效的管理、引导及控制的工具。阶段-门模型既是一个概念, 也是一个推动从设想到新产品的操作模型。它可更有效、更迅速地管理新产品的开发过程。图 1-6 是 1990 年 Cooper 提出的阶段-门模型。

设想 (Idea):

新产品开发过程起始于新产品设想, 该设想作为第一道门的输入。

门 1: 初始过滤 (Initial Screen)

初始过滤是第一次对项目提交资源的决策: 项目从此诞生了。假如决策是前

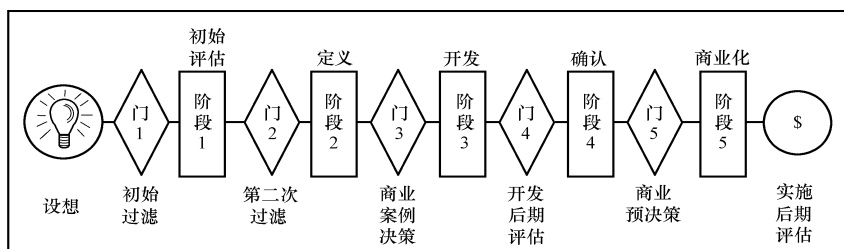


图 1-6 产品创新阶段-门模型

进（Go），项目移动到初始评估阶段（Preliminary Assessment stage）。门1提供了初始且具有试验性质的设想，为项目的启动亮起了绿灯。

通过该门有“必达需求”与“愿望需求”要满足。这些要涉及到战略平衡、可行性、机会数量、不同优势、与企业核心商业、资源及市场吸引力的和谐性。金融约束不作为该门的限制条件。通常采用“必达需求”目录及“愿望需求”评分模型讨论及为项目排序。

阶段1：初始评估（Preliminary Assessment）

第一阶段成本很低，其目的是决定项目的技术和市场价值。初始市场评估是该阶段的一个重要方面，包括一系列低成本的活动：资料查询，与关键用户接触，兴趣小组，甚至通过少量潜在用户的快速概念测试。结果均是为了决定市场规模、市场潜力及市场接受的程度。

同时要开展初始技术评估，包括对所建议产品的内部快速评价。其目标是确定开发及制造的可行性、所需的时间及成本等。

阶段1以低成本快速收集市场及技术的信息，以便项目在第二道门内作更深入的评估。

门2：第二次过滤（Second Screen）

该门是第一道门的重复，但基于阶段1提供的信息。如果该门的决策结果是过（Go），项目将进入更深入的开发阶段。

在门2内，项目要用门1的“必须满足”、“应该满足”标准检验。同时与销售能力、用户反应及阶段1的信息作为检验“应该满足”条件。清单及评分模型可以用于决策。

阶段2：定义

这是产品开发前的最后一个阶段。该阶段必须确认该项目的诱人之处，以便开始大规模开发。也是在该阶段，必须清楚地定义项目。要开展市场研究，确定用户需求、希望、偏好，这些将有助于定义获利新产品。市场研究的另一方面是概念测试，确定用户接受的程度。

该阶段的技术评估是将用户需求转变为技术及经济的可能解决方案。可能包括一些初步的设计或实验室试验。作为一种选择,可以研究产品的可制造性、成本、投资等。如果可能要申请专利或知识产权。

最后,要进行金融分析并作为第三道门的输入。典型的金融分析包括按现值计算的现金流、完整的敏感性分析。

门3: 商业案例决策

这是开发阶段之前的最后一道门。在该门内项目在进入大的投入前还可以被废弃。如果通过该门,投资的兑现变得十分重要。门3意味着进入大规模投资阶段。

项目再一次满足门2中的“必达需求”与“愿望需求”限制,同时定量评价门2中的内容,检查所有从事过的活动、实施的质量等。最后,为了对投资负责,金融分析是重要的内容。

门3第二部分任务是关注醒目定义,如产品目标市场定义、产品概念定义、产品战略位置确定、产品收益、产品基本的及理想的特征、属性及规格说明等。

在该门内,图形表达的项目计划,包括其中的各种活动均应得到认可。

阶段3: 开发(Development)

该阶段包括产品开发、测试、市场等的计划,随项目进展的金融分析、专利、版权等申请是需要的。

门4: 开发后期评估(Post-development Review)

开发后期是检查产品及项目进展及持续的吸引力。开发工作要按质量完成。根据最新的数据及金融分析结果,检查项目所涉及的经济要求是否得到满足。要提出下一阶段的测试计划,检查下一步的市场及操作计划。

阶段4: 确认(Validation)

检验项目、产品、生产过程的生存能力,用户需求的可接受程度,项目的经济性。本阶段的所有活动为:

产品内部测试:检查产品质量及产品性能。

产品用户或实地考察:实地考察应用中的产品功能、测量潜在用户对产品的反应。

生产过程的试验与引导:试验生产过程,确定更精确的生产成本及速率。

市场预测试、测试、试销售:测试用户反应、销售计划的有效性,确定期望的市场份额及收益。

校订金融分析结果:基于新的及更精确的收益及成本数据,检查项目连续的经济生存能力。

门5: 商业预决策

是面向商业化及还可以将项目废弃的最后一道门,该门集中于质量保障活

动。金融预估起推进项目的作用。最后，检验阶段 5 中的市场计划与作业计划实施情况。

阶段 5：商业化

实施市场及作业计划。

虽然很多企业，特别是美国的企业已成功地应用阶段-门模型开发新产品，但该模型一直处于研究与发展之中。Cooper 教授认为，阶段-门模型不能仅有一个形式，应为多种形式，以适应不同的需求。因此下一代模型中包括全过程、快速过程、小过程三种模型。其中的快速过程适用于改进、修改、或延伸。小过程适用于小项目，如用户需求的微小变化。

1.5.4 创新过程模型

上述的新产品开发模型可以用于指导新产品开发，但并没有特别提出创新结果的产生过程。Howard 等人在总结认知心理学研究结果的基础上指出，创造过程包含分析、产生、评价、实施四个阶段，该过程与传统的设计过程有机融合可以形成创新设计过程，如图 1-7 所示。

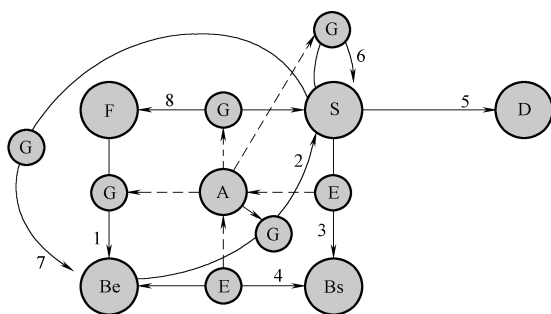


图 1-7 创新设计过程模型

D—设计描述 F—功能 Be—预期行为 Bs—源于结构的行为 S—设计描述

A—分析 G—形成 E—评估

→—转换 ↔—比较 ···—信息传递

本书的基本观点是根据需要将创造过程应用于新产品开发过程的不同阶段，将形成创新过程模型。图 1-8 以简化的第三代新产品开发过程为例说明创新过程，该过程由 6 个阶段或子过程构成，每个阶段都可能需要创造过程解决其中的问题，特别是构思产生、研发、原型生产、制造都有可能需要创造过程，以解决存在的各种问题。经过集成，新的模型为创新过程模型。

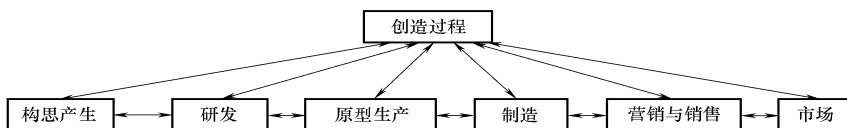


图 1-8 创新过程模型

1.6 创新过程中的问题

创造过程是解决问题的过程。图 1-8 所示模型中的每一个阶段都可能存在一些需要解决的问题，有些问题还很难解决，属于困难问题，创新的核心是发现并解决产品及过程中的困难问题。

1.6.1 问题的定义

目前的状态与所希望或应该具有的状态之间的差距（图 1-9）、不希望的状态、必须解决的状态或事项称为问题。

问题有不同的分类方法。按问题是否已发生，可分为救火类、发现类、预测类。救火类是已发生的问题，如某零件废品率高、人员已受到伤害。发现类是指与应有的状态对比，须发掘的问题，如产品性能需进一步提高，成本可以继续降低。预测类是指预测未来，描绘出问题，如企业如不提升服务质量，用户抱怨率一定会提高。更为广泛的分类为：令人困惑的问题、丰富多彩的问题、具有不确定性的问题、进退两难的问题、具有不同生命周期系统的合成问题、多发言权问题、自己制造的问题、痛苦的问题。

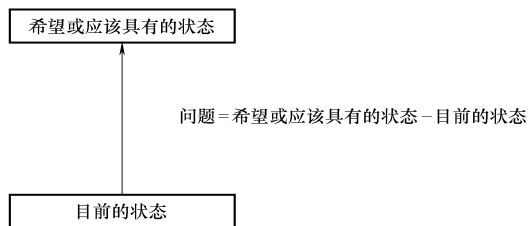


图 1-9 问题的定义

令人困惑的问题(Problems which are Puzzles)：该类问题具有现实的解，如机械、金融、数学等领域中的问题属于该类。解决该类问题的迫切需求是寻找领域专家，一旦找到，问题迎刃而解。该类问题通常可以分解为简单的部分，并分别阐述，解决方案通常为输入式，如购买、复制或盗用。

例 1-1 跨河建设一座桥梁。

生产线简单改进设计。

设计更小的磁盘驱动器。

丰富多彩的问题(Problems that are Too Rich): 通常认为应该有一个答案, 但不能确定该答案, 要发现与选择多种方案。为了获得这些方案, 幻想、艺术的结果是需要的, 不单纯是技术的结果, 所发现的结果不是显而易见的, 可能还存在实施陷阱。解决该类问题最紧迫的压力不是寻找专家, 而是判断、直觉、创新, 甚至是勇气。

例 1-2 定义一个商业项目的愿景。

设计一栋本地办公楼的震撼力。

定义一个商业网站的“看及感觉”。

建立用户界面。

具有不确定性的问题(Problems with Uncertainties): 该类问题的关键变量被不确定性因素所支配, 典型的解将随不确定因素的未来发展而变化, 并视未来事件而定, 通常有多个解, 而不是一个解。问题的解决受未来的影响太大, 设计人员只能关注未来事件, 随时调整问题的解决方案。

例 1-3 决定是否应建立一个天然气裂化厂(建设周期需要 10 年), 以应对浮动的石油价格、对煤炭资源获取的不确定性、变化的政治环境、中东地区的政治未定等因素。

项目计划: 是否供应商会跟进? 某个人是否会受害者?

家庭计划: 我希望有一个男孩及女孩, 之间间隔一年。

进退两难的问题(Problems that are Dilemmas): 含有相互矛盾的需求, 最大化一方面的需求, 将影响另一方面的需求, 如成本与质量、定制与经济批量、个人自由与社会秩序等均属于该类需求。

例 1-4 低价格与高质量。

广泛参与与有效决策。

个人自由与社会秩序。

具有不同生命周期系统的合成问题(Problems with a Life of Their Own): 该类问题的出现是组成一个有机体的多个个体相互独立运行所造成的。该类有机体的实例可能是组成一个市场的买家与卖家, 一个市场细分中的各公司, 一个公司内的不同雇员, 为一个公司提供的所有供应链等。各个个体表面上处于变化, 总体上形成一种良好的秩序与结构, 个体之间的关系可能引起不可预测的问题。

例 1-5 复杂供应链振荡。

不良的公司文化。

紧缺的劳动力市场吸引雇员。

加倍销售力量导致销售下降。

多发言权问题(Problems with Many Voices): 具有矛盾需求的多个赌金保管

者所形成的经典问题。该类问题的基本特征是协调困难，因为，没有其他人的暗示或许可，问题的解决很难推进。

例 1-6 建设者、环境工作者、居民之间的问题，居民希望自由出行。

与客户讨论产品规格说明。

物主、承包人、建筑师讨论一重要建筑项目的规格说明。

处于竞争的各公司之间讨论共用的工业标准，以创造稳定的市场。

公司各部门之间的内部争斗。

自己制造的问题(Problems of Our Own Making)：上级或绝对权威发表了与实际情况完全不符的意见或陈述，而下级又没有机会提出建议或意见，则会出现该类问题。该类问题也可能由于人们集体产生了错觉产生，或自己去实现一个预言，该预言的特征与真实情况有较大的差距，也会产生该类问题。如果不认真对待，该类问题也会变成更复杂或不能克服的冲突。

例 1-7 一个 CEO 声称增长了 60%，但其中包含了 30% 的周转金。

高级执行团队需要两位数增长的需求预测，但预测团队预测的结果未超过 6% 的增长。

告诉你 14 岁的儿子，他必须在所有的时间尊重长辈。

令人兴奋的 TQM 项目，建立在命令与控制文化之上。

当工程陷入到新系统设计过程时，需要全部新产品文件。

痛苦的问题(Problems that Bite)：超出解决范围的问题。长期存在的痛苦使暴力依然存在，并且构成威胁。坠胎及中东问题是典型的案例。

例 1-8 在美国关于坠胎的争论。

中东冲突。

健康关爱系统。

2001 年加州的权利危机。

1.6.2 问题的解决过程

问题解决是一个过程，该过程由一系列联系在一起的子过程构成，分为 6 步：定义问题、分析问题、产生可能的解（如采用创新技法中的头脑风暴法）、分析解、选择最好的解、规划未来的行动。问题求解过程不是一个单纯的线性过程，而是存在反馈的过程，如图 1-10 所示。

定义问题：解决问题的第一步首先应定义感兴趣的待解决问题。设计者或企业有关人员，要决定希望取得什么结果，并记录下来。人们的头脑中经常会产生一些问题，如果没有显然的解决方案，很快就忘记了，所以需要记录下来希望解决的问题，以及希望得到何种结果。不仅记录问题，还要检查问题是否正确或有意义。通过检查，确保回答主流问题，而不是问题的一个侧面，也不是一个具有

显然答案的问题。

分析问题：问题解决的第二步是检查我们现在的位置、问题情境、问题所包含的内容等。如什么是当前产品、服务、过程的效益？如何与目前的发展相匹配？实施问题的答案是否特别重要？还应制定一系列限制条件评估可能的解，以确定解能否正常发挥作用。该步骤的主要作用是确定目前的情景及需要改变的内容。

完成了分析问题之后，要返回到第一步，确认问题的定义仍然是有效的。有时会发现人们最初提出的问题不是要解决的根本问题。

产生可能的解：采用头脑风暴等创新技法，帮助问题解决团队发现尽可能多的问题解决设想。该阶段不对任何设想进行评价，而将所产生的每个设想都作为新设想。

分析解：研究潜在解的各种影响因素，记录下和每个解有关系的要点。该阶段不进行解的评价，主要是发现解的优点，特别是独一无二的优点。这些优点对未来发展设想具有重要的作用。

选择最好的解：研究每一个解的影响因素，决定保留或剔出的解。将每个解作为一个整体考虑，并判断其可用性。有时一些数据、图表或事实可以帮助决策，有时纯粹是一种感觉或直觉帮助人们决策。

经过第一轮选择后，已经有一个潜解（Potential Solutions）的目录，可以进一步研究该目录中的每一个解，使目录中的数目减少。

经过该过程，可能获得了一个解、多个解、或无解。对于后一种情况，需要返回到第三步，重新产生多个解，并重复后续的过程。或返回到第一步，检查是否问题的定义有问题，可以重新定义问题，并继续后续的过程。

规划未来的行动：记录下后续需要进行的事项。已经得到了问题的解，如何使这些解真正出现并得到应用是后续的工作。

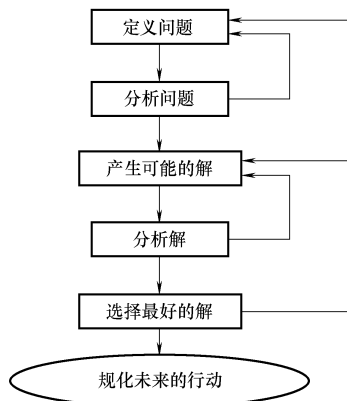


图 1-10 问题求解过程

1.7 创新技法及分类

图 1-10 所示的问题求解模型中最重要的步骤是产生可能的解。头脑风暴法是常用的方法之一，该方法是创新技法的一种，即在创新技法的支持下得到问题的解，如图 1-11 所示。

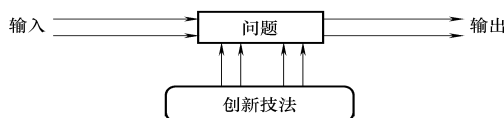


图 1-11 创新技法的应用

创新技法是建立在认识规律基础上的创新心理、创新思维方法的技巧和手段，是实现创新的中介。常用的创新技法（Ideation method），即创新设想产生方法，分为两类：直觉的方法（Intuitive method）与逻辑的方法（Logical method）。直觉的方法是通过激发人头脑中沉睡的思维过程而产生设想，其结果很难预测，但存在取得创新设想的可能性。逻辑的方法，或合理化方法，包含对问题系统化的分解与分析，这些方法基于科学的、工程的原理，以及应用解的目录。创新技法的分类如图 1-12 所示。

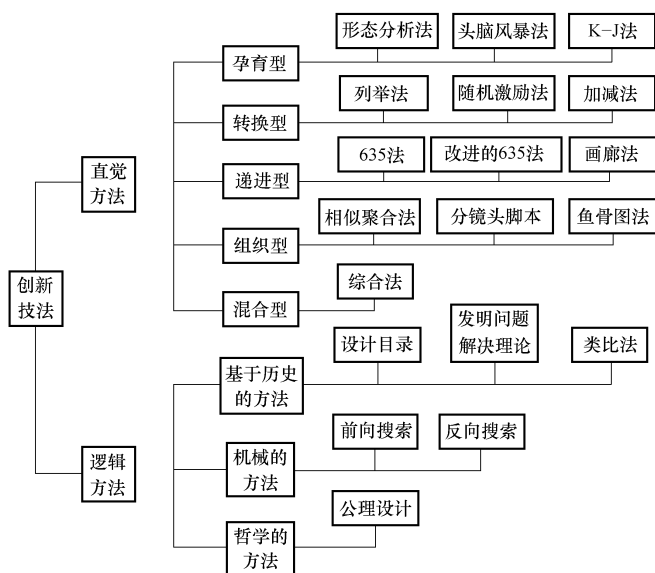


图 1-12 创新技法分类

直觉的方法包含孕育型（Germinal）、转换型（Transformational）、递进型（Progressive）、组织型（Organizational）、混合型（Hybrid）等方法。孕育型方法指设计者在没有任何参考解的条件下开始设想产生的过程，常用的方法有：形态分析法（Morphological）、头脑风暴法（Brainstorming）、K-J法（K-J method）。

转换型方法是通过修改已存在设想的一类方法,例如,列举法(Checklists)、随机激励法(Random stimuli)、加减法(PMI method)。递进型方法是在一段时间内重复相同的步骤,在某些离散的步骤中产生创新设想,包含635法(635 method)、改进的635法(Collaborative schetck, C-sketch)、画廊法(Gallery method)三种方法。组织型方法是帮助设计者将很多设想形成某种结构,以有效的形式产生新设想,相似聚合法(Affinity method)、分镜头脚本法(Storyboarding)、鱼骨图法(Fishbone diagrams)属于该类方法。混合型方法采用很多不同的技法,如综合法(Synectics)是其中的一种。

逻辑的方法分为基于历史的方法(History methods)、机械的方法(Mechanistic methods)、哲学的方法(Philosophical methods)。基于历史的方法应用前人已得到的解,该类解在某种目录下存放于知识库中,包括设计目录(Design catalogs)、发明问题解决理论(TRIZ)、类比法(Analogy methods)等方法。机械的方法采用系统的方法探索初始解的变形,前向搜索(Forward steps)与反向搜索(Inversion)是常用的方法。哲学的方法包含很多关于设计本身的研究,这些研究对设计产生了很深刻的影响,公理设计(Axiomatic design)属于该类方法中的一种。

创新技法还有不同的分类方法。如传统方法、基于头脑风暴的方法、思维扩展方法、系统化方法等。

1.8 本书各章的构成

本书第2章介绍产品创新过程的模糊前端,创新技法经常在该阶段应用,而在其他创新技法类著作中很少涉及模糊前端与创新技法的关系。第3章集中展示发现问题的各种方法,创新技法是要解决问题,发现问题是解决问题的第一步。第4章~第7章是常用的各种技法,包括传统方法、基于头脑风暴的方法、思维扩展法及系统化方法。第8章~第10章分别是公理设计、6西格玛方法及功能设计。后两章虽然在创新技法的分类中不存在,但是实用中这是两种重要的方法。

1.9 本章小结

本章给出了创造过程模型、问题的定义、问题求解过程及创新技法分类。创新过程分为不同的阶段,每个阶段都可能遇到困难问题,技术人员的经验可能不能解决所有问题,创新技法提供了解决问题的各种方法。创新技法分为直觉方法与逻辑方法两大类,前者又包含五类,后者包含三类可供工程技术人员选择。

参 考 文 献

- [1] X He, D R Probert, R, Phaal. Funnel or Tunnel? A Tough Journey for Breakthrough Innovations [C] . Proceedings of the 2008 IEEE ICMIT, 368-373.
- [2] A. Brem, K I. Voigt. Integration of market pull and technology push in the corporate front end and innovation management—Insights from the German software industry. Technovation(2008) , doi: 10.1016/j.technovation.2008.06.003.
- [3] J E Forrest. Models of process of technology innovation [J] . Technology Analysis & Strategic Management, 1991, 3 (4): 439-453.
- [4] Robert G Cooper. Stage-gate systems: a new tool for managing new products [J] . Business Horizons, 1990, May-June: 44-53.
- [5] Robert G Cooper. Formula for success, MM, 2006, March/ April: 19-24.
- [6] Rothwell R. Towards the fifth-generation innovation process [J] . Int Market Rev, 1994, 11 (1): 7-31.
- [7] 朱桂龙, 周全. 企业技术创新战略选择机理与模式研究 [J], 科技管理研究, 2006 (3): 51-53.

第2章 模糊前端过程与方法

2.1 概述

尽管技术创新有技术驱动、市场拉动、耦合互动、并行、系统集成与网络化等不同形式，但其最初的活动、活动的结果、所需的知识等均是模糊的，含有很多不确定因素。技术创新管理领域的专家们将该模糊不清的阶段从新产品开发过程分离出来，并定义为模糊前端（Fuzzy front end）。对模糊前端的规律进行专门研究，如建立过程模型、产生设想等，产生未来新产品开发的种子，对成功开发新产品意义重大。

本章对模糊前端的已有研究成果进行总结，并将创新技法应用于该阶段，使其为后续的新产品开发作出贡献。

2.2 模糊前端

新产品开发及创新是一过程，该过程是敲开未知世界的大门。创新过程模型提供创新的基本定律，它们可以解释管理创新旅程中的过程、顺序、路径。近年来，创新漏斗（Innovation funnel）是应用较多的创新过程模型。该漏斗表明了组织的边界，在组织内部，采用创新的阶段-门过程。该模型将创新分为模糊前端（Fuzzy front end, FFE）、新产品开发（Product development, NPD）及商业化（Commercialization）三个阶段。该过程被限制在一个封闭的环境或漏斗之中，如图2-1所示。

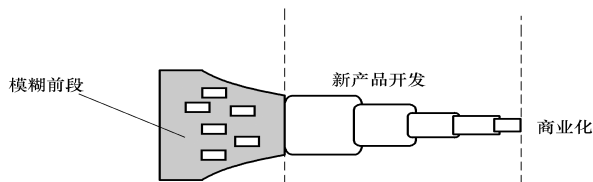


图 2-1 创新漏斗

显然，每项创新都基于公司内部或外部的一个设想或创意。为了获得尽可能

多的创新产品及过程设想,全面描述创新过程的观点是需要的。其基本方法是收集尽可能多的有希望的设想,确定不同的搜索领域对创新全过程是关键。因此,深刻理解创新模糊前端显得十分重要。

创新最初的阶段通常被称为模糊前端,其重要性在于有效的 FFE 活动将对后续新产品开发的成功作出重要贡献。为了使 FFE 阶段更有效,关键是理解 FFE 阶段、该阶段中的各种活动及过程的输出。创新设想产生是 FFE 阶段中最重要的活动,包括所花费的时间、所有的活动,一直到正式讨论这些设想的阶段。设想是产品最初的形式,蕴涵了问题解决方案的高层观点。通常认为 FFE 阶段的创新和设想的产生是神秘及困难的,也吸引了很多研究者。设想可以来自于企业外部,也可以内部产生。

模糊前端与新产品开发是创新过程不同的阶段,深刻理解这两个阶段的内涵有助于创新过程的理解。表 2-1 表明了这两个阶段的不同点。

表 2-1 模糊前端与新产品开发的不同点

项目	模糊前端(FFE)	新产品开发(NPD)
自然属性	试验性质,通常处于混沌状态,很难制订计划	有项目计划,所有的活动具有结构化、专业化与目标化的特点
商业化	不可预测	可以定义
资金	处于变化状态,一些项目还处于个人兴趣状态,另一些需要资金	在预算控制下进行
回报预期	通常不确定,有时却能获得大的利润	能产生回报的确定性增加
活动特点	既可以个人行为也可以团队行为,在风险最多、潜力最大的领域进行	多功能产品/过程开发团队

2.3 模糊前端过程模型

按照 Specht (2002 年) 的观点,技术开发及预开发活动属于技术管理,增加上游的基础研究及下游的产品及过程开发是研发管理,再增加产品及市场引入则为技术创新管理,如图 2-2 所示。该图指明了技术管理、研发管理及创新管理的关系。创新管理包含技术管理与研发管理,创新管理可以定义为一种系统化的计划与控制过程,该过程包括开发新产品及过程的所有活动。

Deschamps 等人 1995 年提出了一种面向流程的 FFE 多级漏斗模型,如图 2-3 所示。该模型的入口是多个设想,通过收集或创造得到。之后通过评估不断废弃部分不合格的设想,最后输出选定的设想,并启动项目。

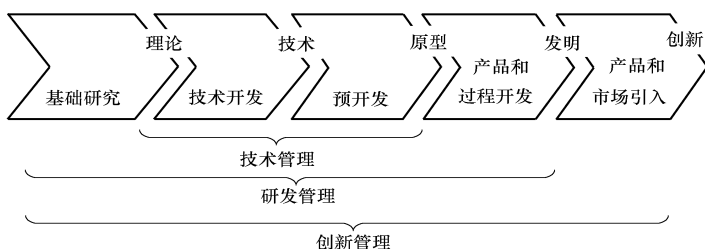


图 2-2 技术管理、研发管理及创新管理

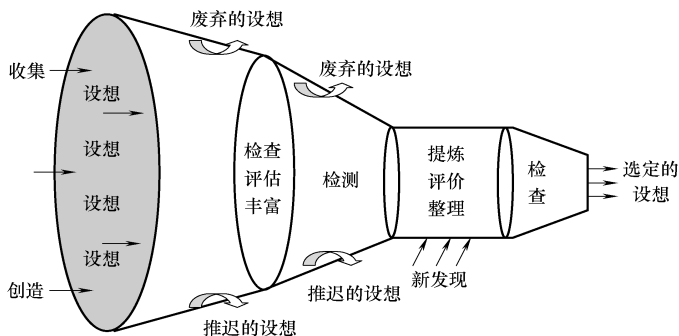


图 2-3 多级漏斗模型

以上述模型为基础，Brem 2009 年提出了模糊前端高级漏斗模型，如图 2-4 所示。在前述模型的基础上，增加了收集设想、创造设想及反馈通道。该模型的不同阶段均由市场、技术及诀窍支持，使得输出的设想更容易实现。

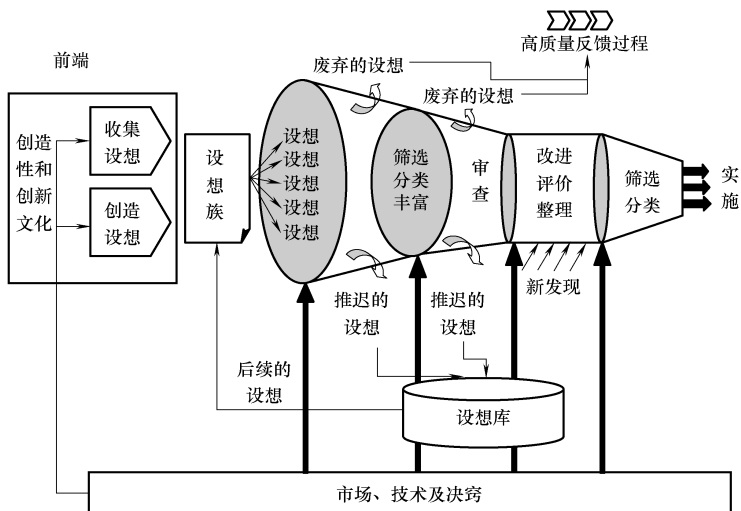


图 2-4 高级漏斗模型

模糊前端阶段涉及到新概念的初步产生。为此,2001年 Koen 等提出了面向模糊前端的新概念开发模型,并认为该模型提供了描述模糊前端活动的通用语言,如图 2-5 所示。模型由中央、中部与外部组成。中央是创新的发动机,由企业领导与企业文化等元素组成,认为这些组成元素对推动企业产品或技术创新起重要作用。外部是创新的影响因素,如国家政策、经济与技术发展状况、企业与其外部的交流等。中部是决定创新设想产生的五个主要元素:机会确认、机会分析、设想产生、设想筛选、概念产生。模型的输入是外部机会,输出是确定的初步概念。

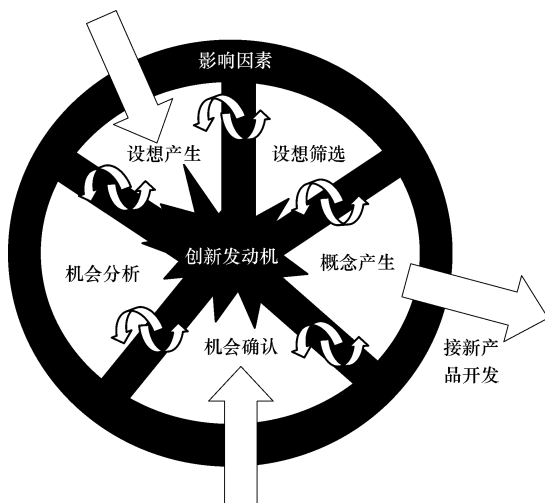


图 2-5 新概念开发模型

2004 年 Sandmerier 提出了一个具有广泛意义的 FFE 模型,如图 2-6 所示。该模型分为三个阶段:市场和技术机会、产品和商业设想、产品及商业初步概念。第一阶段按照公司战略,考虑公司的市场和技术机会,并向下一个阶段输出一两个机会。第二个阶段是设想产生及评价,包含多个子过程,以便在产品及商业之间作出平衡。最后一个阶段将设想转换成商业计划,并作为 FFE 阶段的输出。

技术创新管理领域的专家们将产品创新模糊前端从产品创新过程中分离为一个独立的阶段意义重大。该阶段的重要性是使企业更加注意该领域的人力、物力、财力投入,产生更多具有市场潜力,且能够在企业实现的设想,推动产品创新的过程。但该领域的研究还不完善,广泛适用且得到公认的 FFE 过程模型还有待开发。但已有的成果可供设计者选择和应用。

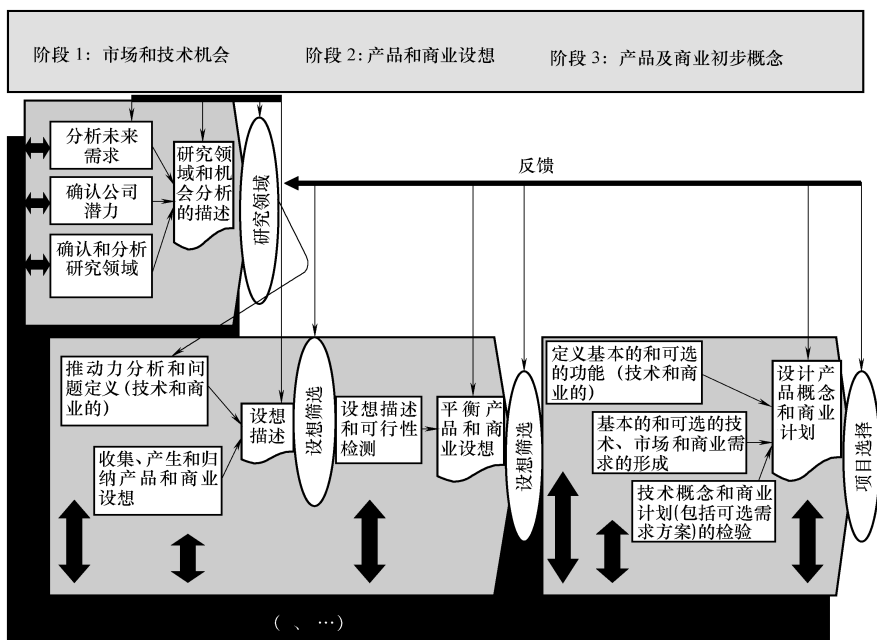


图 2-6 通用漏斗模型

2.4 开放式创新模式 (Open innovation paradigm)

开放式创新模式旨在使公司创新系统对外部资源及未来资源更加开放，并使在创新的任何阶段输入与输出创新结果或知识成为可能，如图 2-7 所示。传统的创新过程通过内部多功能及多部门合作，利用外部资源所提供的机会，集中于创

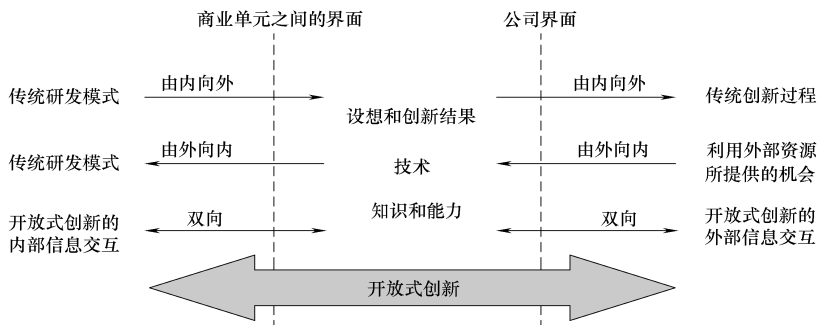


图 2-7 具有双向交互机制的开放式创新模式

新过程的内部价值链增值。开放式创新采用双向交互机制，在用户、供应商、合作伙伴、研究机构、竞争对手所形成的界面处，交互设想、技术、知识及创新结果。该模式还包括公司内部的各种信息、资源等在不同部门之间的交互。

图 2-8 表示由传统创新模式（Closed innovation model）向开放式创新模式的转变。当公司希望更有效地平衡外部设想与创新成果时，面向管理的创新过程模型与心智模型（Mental models）都需要作基本的调整，同时要改变用于创新管理的有关矩阵。

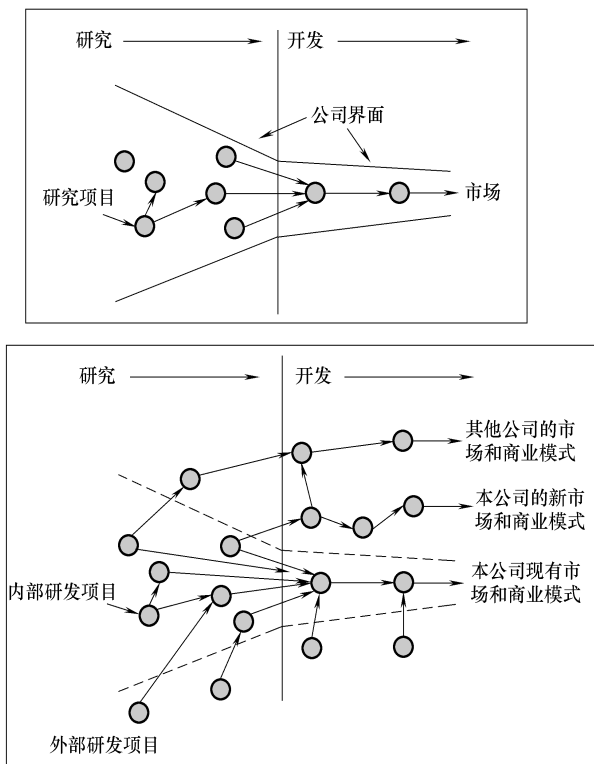


图 2-8 传统和开放式创新模式

a) 传统创新模式 b) 开放式创新模式

开放式模糊前端是指公司应开放设想产生的外部界面，不仅要收集外部世界的设想，还要对一些设想积极收集商业机会，使其有助于外部合作伙伴，而不专注于特定的公司。关键是双向知识渠道及支持机制。在开放式创新模式下，跨过组织边界，集成关键过程，从而推动公司创新。

2.5 模糊前端阶段的不确定性因素

通常的不确定因素分为两类：信息不确定与不明确。信息不确定是通常所说的模糊（Uncertainty）。模糊前端阶段通常信息不足，不能很完整地掌控被研究对象或待开发的技术与产品，则会出现信息不确定。随着已知信息的增加，该类不确定将会减少。信息不确定性的程度定义为完成新产品设想产生所需要的信息与已有信息之差。

另一种不确定是通常所说的不明确（Ambiguity）。对机构现状、产品或技术现状的解释多样化、冲突化、混乱、缺乏理解等都会导致不明确。不明确不能通过“是或否”来解决。病态情景（Ill-defined situation）是产生不明确的原因，在该类情景内很难预测未来。仅提供足够多的信息不能解决不明确的问题，而需要提供不同种类的信息，如人与人面对面交流得到的各种信息。

产品研发人员在模糊前端阶段所遇到的不确定性既包括信息不确定，如不知道组成产品某些部件的成本，也包括不明确，如产品设想或用户需求相互矛盾的解释。

基于对线索（Cue）的翻译，可以将上述两种不确定性统一为一种，即不确定性是对一种存在线索的两多或多于两种的解释。线索可以是一种设想，一条口头或书面表达的信息，一个物理实体，或一个场景等。图 2-9 表示不确定性过程，右端的矩形表示翻译过程的结果，若干个参与翻译的个体产生了不同的翻译结果。

在管理类文献中基于事件出现的概率判断，将不确定性分为三类：事件的输出未知，但其概率分布已知；事件的输出及概率分布均未知，但可以通过统计确定其分布；事件的输出及其概率分布均未知，也不能通过某些方法确定。前两种为可测不确定性，后者为真不确定性。

在模糊前端阶段，一种商业机会是一条线索，若干个体翻译该线索，给出多种翻译结果，这些结果所对应的输出既包含可测不确定性，也包含真不确定性，如图 2-10 所示。

很多关于通过各种活动降低或减少不确定性的研究，是将产品开发、计划控制、协同功能等与模糊前端过程集成。另一些学者研究关于新产品设想市场潜力的精确预测，在对这些设想正式大规模投资之前，降低其在模糊前端阶段的不确定性，提高新产品开发的成功率。

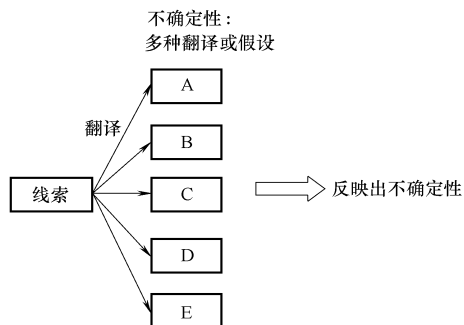


图 2-9 不确定性过程

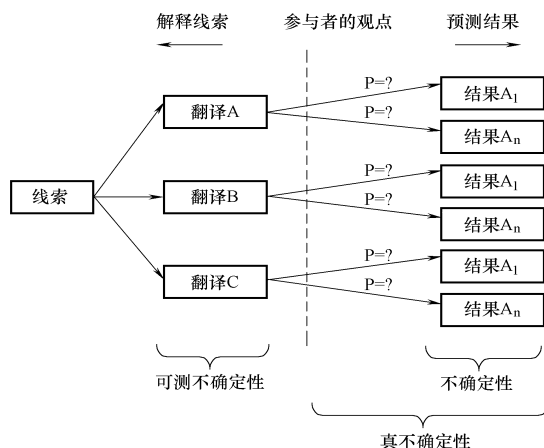


图 2-10 可测不确定性与真不确定性

2.6 设想产生

模糊前端最重要的活动是新产品设想的产生。获得设想有收集与产生两类方法。前者收集已存在的设想，如已存在于某人或某个团体内部的设想。后者通过运用创新技法产生设想。设想产生与完善涉及到设想的出现、发展与成熟，设想产生是一种进化过程。设想出现后，可能被简化、组合、重新规划、修改、升级。考察、探究、讨论及发展的过程中，设想要经历很多的变化，与可能的用户、跨功能团队讨论，与合作伙伴公司交流，都有可能是产生该类变化的原因。

设想产生及完善的过程可以是结构化的过程，包括头脑风暴法等创新技法的应用，对于确定的机会，可激发团队产生新的、修改的或改进的设想。设想的产生可能在结构化过程之外，如通过试验、供应商提供了新的材料，用户提出了不同寻常的需求。所产生的设想可以为机会确认提供输入，因此，设想产生的过程是非线性过程。

为了更好地组织与管理设想产生的过程，可采用如下一些常用的方法：

- 1) 有组织的公司文化，鼓励员工业余时间不断探索及检验自身或其他员工所产生的设想。
- 2) 公司的各种激励机制，如物质或精神方面的奖励，激发员工产生及丰富创新设想。
- 3) 基于网络的设想产生使能系统。借助于该系统，员工很容易接触其他员工所产生的设想，并很容易与用户及公司的零部件或材料供应商联系。
- 4) 任命某人专门负责设想产生及协调管理工作。

- 5) 建立处理公司及供应商之外的设想产生及处理机制。
- 6) 提出简单但可测量的目标, 跟踪设想产生及完善的过程。
- 7) 经常性的岗位流动, 目的是不断地加强知识共享的范围与程度。
- 8) 通过合作机制, 形成核心竞争力、核心能力及共享技术方面的交流。
- 9) 设想产生团队中应包括具有不同认知风格的员工。

这些方法可分为不同类型: 设想产生过程、输入、输出和反馈。因此, 可以用图 2-11 所示的模型表示。

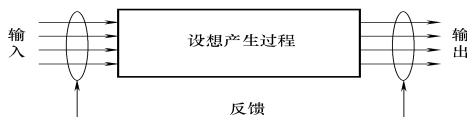


图 2-11 设想产生简图

在图 2-12 的基础上, Glassman 给出了一个设想产生过程模型, 如图 2-12 所示。该模型由资源、事件、设想产生活动、设想过滤组成。

设想产生的资源是人, 包括本公司的员工及外部的相关人员, 如非盈利组织人员、用户、供应商等。事件是正式的或非正式的情景, 该情景激发设想的产生, 如竞争者的新产品、设想展示会、已有设想竞争等。设想产生活动是产生新设想或揭示机会的过程, 头脑风暴等创新技法的应用是通常的活动。设想过滤是淘汰无价值设想的过程, 通过过滤得到的设想将被传递到创新的下一个阶段。

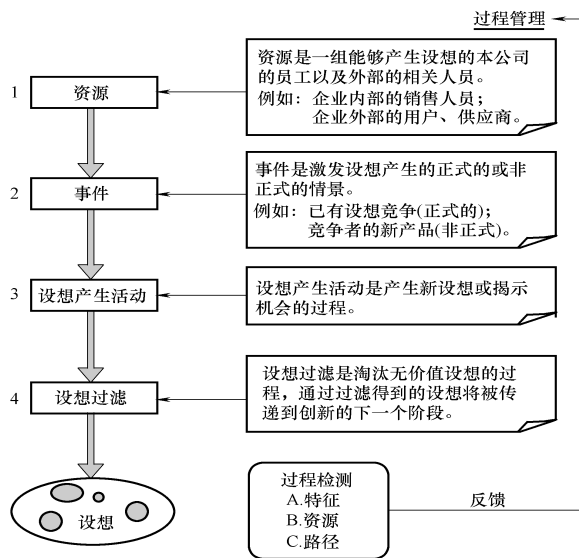


图 2-12 设想产生过程模型

上述模型中最重要的阶段是设想产生活动。图 2-13 是 Glassman 给出的设想产生活动模型, 由多个活动组成, 输出是设想。活动可以是头脑风暴、市场研究、快速原型制造、绘制图表、用户调研等中的一项。每项活动可以持续很短时间, 如几分钟, 也可以持续很长时间, 如几个月。

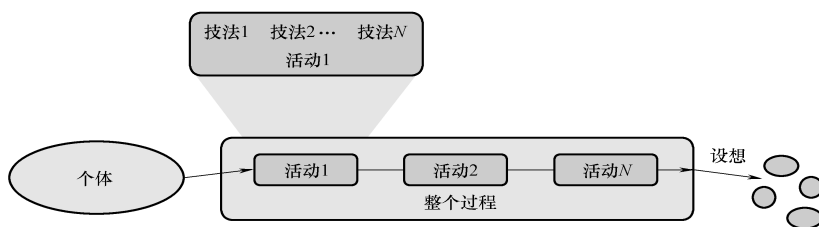


图 2-13 设想产生活动模型

显然，各种创新技法在产生设想的活动中起着重要的作用。图 2-14 中的各种创新技法均可采用。

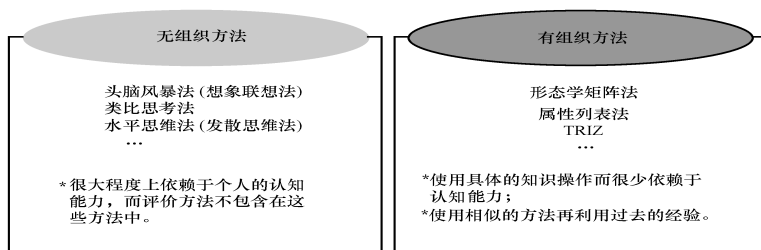


图 2-14 两类设想产生方法

2.7 模糊前端与新产品开发

模糊前端阶段输出的是由设想得到的初步新产品概念，该概念是新产品开发或阶段-门模型的输入。为了通过阶段-门的检验，发明人需要为投资或技术任务提出新产品建议，一些公司采用“赢得竞争的陈述（Win statement）”，另一些公司采用“门文件（Gate document）”的方式表达初步的新产品概念。为了便于决策，一些公司还为“守门人（Gatekeepers）”或决策者制订了指导原则：

目标

新概念与公司或团体战略相匹配的程度

机会的容量，如对金融的影响

市场或用户需求

对价值链上所有参与者双赢的商业计划

商业及技术的风险因素

环境、健康、安全等的影响因素

对竞争力的影响

包含资源及时间的项目计划

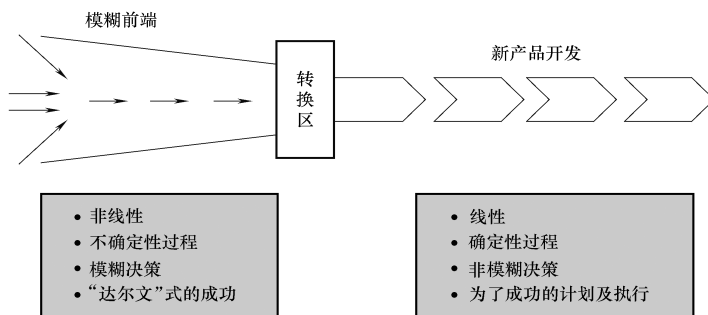


图 2-15 模糊前端向新产品开发转换的过程

2.8 本章小结

模糊前端从新产品开发过程中分离出来，并作为一个独立的阶段，对于产品创新意义重大。模糊前端阶段最重要的活动是产生未来新产品的设想，并经过评估选定几个设想作为后续新产品开发阶段的输入，将选定的设想转变为产品需求，并以需求规格的形式表达出来作为新产品开发的依据。创新技法是设想产生活动中常用的方法，灵活运用这些技法，对于高质量的设想产生起着重要作用。

参 考 文 献

- [1] X He, D R. Probert, R Phaal. Funnel or Tunnel? A Tough Journey for Breakthrough Innovations [C]. Proceedings of the 2008 IEEE ICMIT, 368-373.
- [2] Ian Alam. Removing the fuzziness from the fuzzy front-end of service innovations through customer interactions [J]. Industrial Marketing Management, 2006, 35: 468-480.
- [3] H Chesbrough. Open innovation [M]. Cambridge: Harvard Business School publishing Corporation, 2006.
- [4] 檀润华. 发明问题解决理论 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

第3章 问题发现方法

3.1 概述

当前的市场竞争是产品的竞争、服务的竞争以及创新能力的竞争。概括起来就是企业实力的竞争，预见问题的能力是企业实力的重要体现。问题无处不在，它时刻体现于企业运营的各个方面。企业经营和管理的过程也可称为问题管理的过程，其核心内容就是针对问题的挖掘、预防、规避和解决的一系列活动过程，并以此最终达到组织的目标。因此，作为企业（或组织）各层级的人员对于如何认识问题以及如何解决问题的观点和能力将会直接反映到他们所完成业务的效率和质量上去。企业为了增强解决问题的能力，那么作为问题的解决者就必须理解什么是问题以及问题的分类方法。欧美、日本及我国台湾的一些学者对问题发现方法作了很多的研究和探讨，提出了对于问题发现的策略。

一个人或一个组织会经常发现问题并解决问题，人们对问题的概念都会有某种程度或内涵的理解。一个组织面对着它要实现的目标，对问题及其性质有个较全面的理解是必要的，因为这将直接关系到对问题采用何种策略进行处理，关系到动用何种资源、何时、何种程度地解决问题等诸多安排。然而，在很多场合，由于没有清晰地了解问题及其性质，致使解决问题的成本大幅增加的情况并不少见，甚至有时并不清楚已贻误了解决问题的时机。

关于问题的定义，在不同的时期、不同的领域也并不相同。如早在1910年由心理学家 Dewey 定义问题为当一个人不能以已有的习惯或经验来应付面临的情况，人们对现状不满或不知如何获得想要的东西时，问题即已产生；Duncker 认为当人们有一个目标而不知如何达到目标时，便是问题；Skinner 将没有办法立即获得解答的刺激称为问题；Maier 认为在对一个状况所期望的反应受到阻碍时，就是问题；Kepner 和 Tregoe 将问题定义为离开工作标准的一种偏差；Newell 和 Simon 认为当一个人想去获得他想要的东西但不知如何行动时就是问题；Savransky 认为问题就是初始（已存在）的情形与期望情形之间的差距；佐藤允一认为问题就是目标与现状的差距，是必须要解决的事情；韦氏在线词典解释问题为“苦恼或混乱的根源”；现代汉语词典解释问题为“须要研究讨论并加以解决的矛盾和疑难”。

可以看出，以上各学者对问题的定义是分别从个人掌握的知识和经验方面、

心理期望方面以及从事情的发展与目标的比对方面进行的。这反映了问题存在的广泛性与复杂性。综合以上学者对问题的定义,其共同点体现了问题的内涵存在于“期望的状态”与“当前的状态”相比较的差异中,体现了问题动态发展的特性。但词典的解释重点体现在构成问题的成分。

在文献[5]和[6]中,问题被定义为目标状态与现状之间的差距,因此可以说问题的解决就是通过采取适当的方法来消除目标与现状之间的差距,并且使差距不再产生的过程。根据这一思想,解决问题通常是指长久地消除目标与现状之间的差距,也就是既要消除问题的现象,也要消除产生问题的原因。所以,解决问题的前提条件必须要探查问题的背景、条件以及原因与结果之间的关系。许多学者对问题的发现过程提出了具体的方法,下面介绍其中的几种。

3.2 约束理论(TOC)模型

约束理论(TOC)是由以色列物理学家艾利·高德拉特(Eliyahu M. Goldratt)创立的基于约束的管理理论,该理论提出了在制造业经营生产活动中定义和消除制约因素的一些先进的理念和方法。在约束理论中,约束是指阻碍系统达到其目标的任何事情。约束理论基于系统的业绩是由系统的约束来决定的假设,通过开发、识别和消除系统的约束来实现系统的持续改进。

约束理论源于OPT(原指最优生产时间表:Optimized Production Timetables,后指最优生产技术:Optimized Production Technology)。OPT是Goldratt博士和其他三个以色列籍作者创立的,他们在1979年下半年把它带到美国,成立了Creative Output公司。接下去的7年中,OPT有关软件得到发展,同时OPT管理理念和规则(如“鼓-缓冲器-绳子”的计划、控制系统)成熟起来。Creative Output公司的发展几起几落,后关闭。OPT的软件所有权转让给一家名为Scheduling Technology Group的英国公司。1986年后半年,Goldratt博士和Robert E. Fox共同创立Goldratt研究机构,经过10年发展演进出我们今天所知的TOC。

TOC首先是作为一种制造管理理念出现的。《The Goal》、《The Race》这两本最初介绍TOC的书引起了读者的广泛兴趣和实施这套理念的热情。TOC最初被人们理解为对制造业进行管理、解决瓶颈问题的方法,后来几经改进,发展出以“产销率、库存、运行费”为基础的指标体系,逐渐形成一种面向增加产销率而不是传统的面向减少成本的管理理论和工具,并最终覆盖到企业管理的所有职能方面。1991年,当更多的人开始知道和了解TOC的时候,TOC又发展出用来逻辑化、系统化解问题的“思维过程”(Thinking Process, TP)。所以,今天的TOC,就像当年的OPT在管理理念和软件两个方面共同发展一样,它既是面向产销率的管理理念,又是一系列的思维工具。TOC的简要形成过程如图3-1所示。

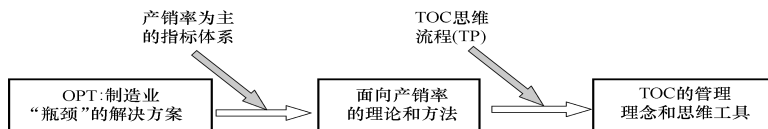


图 3-1 TOC 简要形成过程

约束理论其英文为 Theory Of Constraint (TOC)，研究者从不同的角度对其进行定义，常见的有如下几种：

1) 约束理论提出一个分析问题的连贯结构。其核心是整个系统的输出而不是将整个系统进行分解，主要原因是系统的小的组成部分对于整个系统的执行几乎没有影响。这种方式允许管理人员确定系统的约束和将精力集中在对系统改进最有利的因素上。约束理论的概念是采用一种系统的方法构建问题的一个逻辑图表，确定根原因和形成解决根原因的步骤。

2) 约束理论是持续改进的管理哲学，它假定各种约束因素限制企业达到更高的目标。

3) 每个系统一定至少有一个约束。如果不是这样，那么这个实际的系统就像一个非赢利组织，没有利益的限制。

4) 约束的存在代表着改进的机会。与常规思维相反，TOC 看待约束是积极的而非消极的，因为约束决定着系统的性能，逐步提高系统的约束将改进系统的性能。

目前，TOC 作为管理理念和管理工具的结合，主要由三部分组成，如图 3-2 所示。

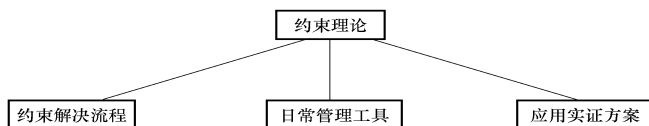


图 3-2 TOC 的组成结构图

1) 约束解决流程。用来逻辑地、系统地回答任何企业改进过程中所必然提出的三个问题：改变什么 (What to change)，改成什么样子 (What to change to)，以及如何使改变得以实施 (How to cause the change)。

2) 日常管理工具。可用来大大地提高管理效能，例如：如何有效沟通、如何双赢地解决问题、如何团队协作、如何进行权力分配等。这些日常管理的顺利展开，是成功解决约束的必备条件和基础性工作。

3) 应用实证方案。把 TOC 应用到具体领域的具有创新性的实证方案。这些领域涉及生产、分销和销售、项目管理和企业方向的设定等。

在高德拉特的约束理论 (TOC) 中有五个逻辑工具, 该五个工具构成了完整的思维过程。其中每一个逻辑工具可以单独使用, 也可以作为一个综合的工具形成一个“思维过程”。用这五个逻辑工具可以回答要改变系统必须回答的三个问题, 即改变什么 (What to change to), 改成什么样子 (What to change to), 怎样使改变得以实现 (How to cause the change), 如图 3-3 所示。

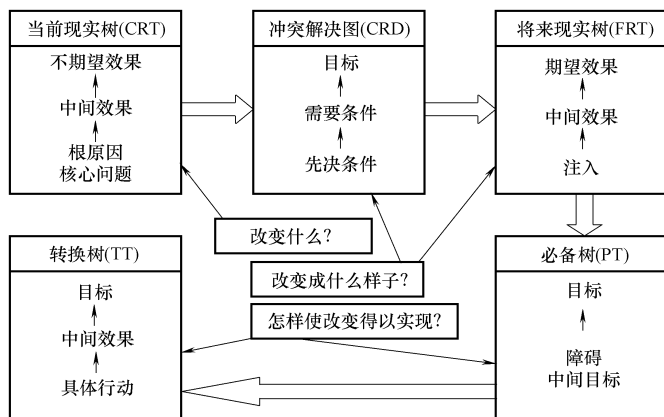


图 3-3 五个逻辑工具组成一个思维过程

当前现实树 (Current Reality Tree/CRT)

当前现实树建立在“充分逻辑”的基础上, 描述了给定系统的现实状况。它反映出给定系统在一特殊的和确定的环境下的因果关系链, 从系统中明显存在的不良结果来推断根原因和确定核心问题。现实树的建立要严格地遵守上述的八大逻辑规则。它从“树根”开始, 向“树干”和“树枝”发展, 一直到“树叶”。“树根”是根本性的原因, “树干”和“树枝”是中间结果, “树叶”是最终结果。当前现实树回答系统改进中提出的第一个问题: 改变什么, 其结构如图 3-4 所示。

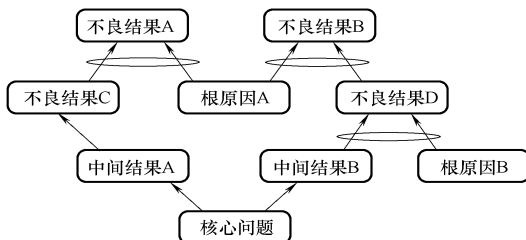


图 3-4 当前现实树简图

构建当前现实树，意在实现下列的目标：

- 1) 提供了理解复杂系统的基础。
- 2) 确定存在于系统中的不良结果（一般 5 ~ 10 个）。
- 3) 通过因果逻辑链将不良结果和根原因联系起来。
- 4) 确定可能在哪一个核心问题最终导致 70% 以上的不良结果产生。
- 5) 确定在何位置根原因或核心问题位于设计者的控制或影响范围之外。
- 6) 为实现系统最大程度的改进，隔离开那些为数很少的约束因素。
- 7) 确定最简单的改变，以对系统产生积极的影响。

3.3 QFD 理论

QFD 20 世纪 60 年代末起源于日本，并被三菱重工的神户造船厂成功地应用于船舶设计与制造中。其创始人是日本质量专家水野滋（Shigeru Mizuno）和赤尾洋二（Yoji Akao）。20 世纪 70 年代中期，QFD 相继被其他日本公司所采用。丰田公司在四年的准备之后，于 1977 年开始在一个生产小型客车的分公司里运用，两年之后，该分公司的启动资金减少了 20%，到 1984 年减少了 61%，同时推出新车型所用的时间也缩短了 1/3，而质量也得到了改进。由于 QFD 方法的使用使日本汽车竞争力大大提高，迅速占领了国际市场，美国为了争回被日本占领的市场，于 1984 年也开始使用 QFD 方法进行质量分析，结果大大缩短产品设计周期，提高了用户的满意度，降低了成本，而且还为克服美国企业严重的部门本位化、复杂化的痼疾作出了贡献。

正是因为 QFD 方法能够提高产品质量、缩短产品开发周期、降低产品成本、增加用户满意度，从而提高产品在市场上的竞争能力，因此，二十多年来，QFD 的应用范围和领域不断扩大，已被制造企业广泛接受了。一些世界著名的公司，如日本的丰田公司，美国的福特公司、通用汽车公司、克莱斯勒公司、惠普公司、麦道公司、施乐公司、电报电话公司、国际数字设备公司，加拿大通用汽车公司等都相继采用了 QFD 方法，在汽车、家用电器、电子仪器、服装、集成电路、合成橡胶、建筑设备、农业机械、船舶、自动购货系统、软件开发等领域中都有成功应用 QFD 的报道。QFD 不仅应用于制造业中，也应用于服务业、建筑业、计算机软件业以及企业的战略规划等领域中。与此同时，国内外的学者对 QFD 模型、QFD 自动化实现技术进行了广泛的研究。

3.3.1 QFD 的基本原理

1. QFD 的概念

QFD 是一种用户驱动的产品开发方法，即采用系统化的、规范化的方法调

查和分析用户需求，并将其转换成为产品特征、零部件特征、工艺特征、质量与生产计划等技术需求信息，使所设计和制造的产品能真正地满足用户需求。QFD代表了从被动的、反应式的传统产品开发模式即“设计—试验—调整”到一种主动的、预防式的现代产品开发模式的转变，是系统工程思想在产品设计和开发全过程中的具体应用。它将注意力集中于规划和问题的预防上，而不仅仅集中于问题的解决上。

2. QFD 的分解模式

QFD 目前已形成三种被广泛接受的形式。

第一种是日本的综合 QFD 模式，其代表人物是水野滋、赤尾洋二和 T. Ohfuji。概括而言，综合的 QFD 模式由两部分组成，即质量展开（Quality Deployment）和功能展开（Function Deployment）。质量展开是把用户需求展开到设计过程中去，保证产品的设计、生产与用户需求相一致；功能展开是通过建立多学科小组，把不同的功能部门结合到生产的各个阶段，促进小组成员的有效交流和决策。综合的 QFD 模式具体包括质量展开、技术展开、成本展开和可靠性展开。

第二种是美国供应商协会（American Supplier Institute, ASI）的四阶段模式。该模式首先由 L. P. Sullivan 提出，后经 J. R. Hauser 和 Don Clausing 加以改进。ASI 模式的四个阶段与产品开发全过程的产品计划、产品设计、工艺计划和生产计划相对应。通过这四个阶段，用户需求被逐步展开为设计要求、零件特性、工艺特性和生产要求，该模式的最大优点是有助于人们对 QFD 本质的理解，有助于理解上游的决策是如何影响下游的活动和资源配置；其缺点是不适合复杂的系统和产品。由于其结构简明，抓住了 QFD 的实质，因而迅速成为欧美企业实践的主流模式，在理论研究上，许多学者也立足于该模式。

第三种是由劳伦斯成长机会联盟/质量与生产力中心（Growth Opportunity Alliance of Lawrence/Quality, Productivity Center-GOAL/QPC）的创立者 King Bob 提出的 QFD 模式。该模式包括 30 个矩阵，涉及产品开发过程诸方面的信息，对于 QFD 系统中的各种活动提供了良好的支持。King Bob 在他的《Better Designs in Half the Time》一书中对该模式有更详细的理解。GOAL/QPC 模式的缺点是难以理解，其中各种活动之间缺乏逻辑的联系，在应用上缺乏可操作性；其优点是比较适合复杂的系统和产品，比 ASI 模式具有更大的灵活性。

三种模式代表了 QFD 研究和实践的基本形式，它们之间既有联系又有区别。综合 QFD 模式是起源，而 ASI 模式和 GOAL/QPC 模式则是由此演变而来的。这种演变是合理的，反映了东西方文化的差异。严格地讲，三种模式的本质是相同的，都采用了直观的矩阵展开框架。

3. QFD 实施的两个基本过程

一般来说, QFD 实施包括两个基本过程: 用户需求的提取和用户需求的瀑布式分解过程。下面从两个方面加以详细阐述。

(1) 用户需求的提取 进入 20 世纪 90 年代, 市场竞争更加激烈, 用户对产品的要求越来越高, 单纯实现基本功能的产品已远远不能满足人们的要求, 人们希望根据自己的偏好和要求设计和生产产品。产品的多样化、用户化已经成为制造企业追求的目标。

用户需求是企业正确制订产品设计战略的基础, 是企业进行产品设计的依据和源头。QFD 方法中一个很重要的概念是用户之音 (Voice of Customer), 也称用户需求。因此在 QFD 的实施过程中, 用户需求的提取是产品设计过程中最为关键也是最为困难的一步, 它直接关系到产品设计的成功与否。要设计出最受用户欢迎的产品, 首先要保证收集到的用户需求真正反映大多数用户的需求。

(2) QFD 中用户需求的瀑布式分解过程 以 QFD 分解模型中的 ASI 模型为代表, 说明 QFD 的瀑布式分解过程。

用户需求的分解过程是指通过适当地分解模型, 将提取的用户需求换成产品开发与制造中各个阶段的对应技术需求信息, 以使用户需求贯穿于产品开发的各个阶段。一般采用矩阵 (也称质量屋) 的形式, 将用户需求逐步展开, 分层地转换为技术需求 (产品总体特征)、零部件特征、工艺特征和质量控制方法。在展开过程中, 上一步的输入就是下一步的输出, 构成瀑布式分解过程。QFD 在设计制造中的应用是从用户需求开始, 经过四步分解, 用四个矩阵, 得出产品的工艺和质量控制参数, 如图 3-5 所示。

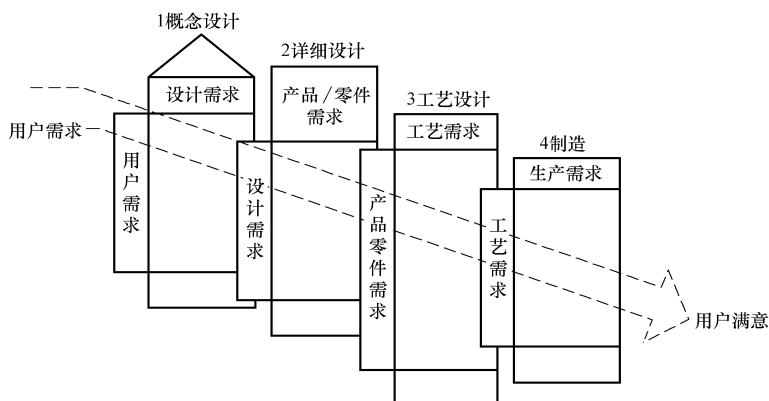


图 3-5 QFD 在设计制造中的应用

四步分别为：

1) 概念设计阶段。通过概念设计矩阵（也称质量屋），将用户需求转换为

设计需求（产品总体特征），并分别从用户的角度和设计的角度对市场上同类产品进行评估，在分析质量屋各部分信息的基础上，确定各个产品总体特征的设计性能指标。

2) 详细设计阶段。利用前一阶段定义的设计需求，从多个设计方案中选择一个最佳方案，并通过详细设计矩阵将其转换为关键的零件特征。

3) 工艺设计阶段。通过工艺设计矩阵，确定为保证实现关键的产品特征和零件特征所必须保证的关键工艺参数。

4) 制造阶段。通过制造矩阵，将关键的零件特征和工艺参数转换为具体的质量控制方法。

4. QFD 中的核心元件——质量屋（HOQ）

严格地说，QFD 是一种思想，一种产品开发和质量保证的方法论。它要求产品开发直接面向用户需求，在产品的设计阶段考虑工艺和制造问题。而由美国学者 J. R. Hauser 与 D. Clausing 于 1988 年提出的质量屋（House of Quality）则是在产品开发中具体实现这种方法论的工具，它为使用者洞察用户的需求进而实现这些需求提供了系统的处理手段，从中可以确定设计过程中哪些产品质量特征对于用户需求满足是重要的以及重要程度，质量屋的结构如图 3-6 所示，各部分含义分别叙述如下：

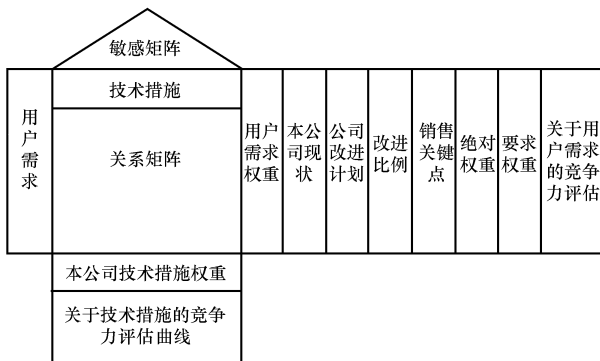


图 3-6 QFD 中的质量屋结构

(1) 用户需求 获取用户需求可以通过市场调查、集中小组讨论、访谈等。不管采用什么方法，重要的是倾听用户精确的文字表达。这是 QFD 的起始点也是关键点。为了深入了解用户需求，市场调查中要从明确和隐含两个角度进行，通过上述方法和渠道获取用户需求信息后，应采用全面质量管理七种工具中的亲和法（又名 KJ 法，是一种对处于混乱状态的语言文字资料利用其相互内在关系加以整理、合并，从中找出应解决的问题的方法），对这些原始的用户需求进行

分类、整理和分析,形成系统的、有层次、有条理的用户需求表,并用加权来表示用户需求的相对重要性。它是企业正确制订产品开发战略的基础,是企业进行产品开发的依据和源头。用户需求的提取是产品开发过程中最为关键也是最为困难的一步,它直接关系到产品开发的成功与否。

(2) 技术措施 由交叉功能小组从已获取的用户需求要素中抽取,是为满足用户需求而采取的一系列方法。当进行技术措施抽取时需对能测试的技术措施和不能测试的技术措施同时进行。抽取技术措施时可以从七个方面加以考虑:

1) 物理性质的要素

外观特性(大小、长短、质量、厚度);

力学特性(速度、牵引力、强度、脆性);

物理特性(通气性、保温性、耐热性、延伸性);

光学特性(透明度、遮声性、夜光性);

音响特性(音色、遮声性、音响输出功率、信号噪声比);

信息关系(冗长度、信息量、正确性);

化学特性(耐蚀性、阻燃性、耐爆性);

电器特性(绝缘性、导电性、诱电性)。

2) 机能的要素

效率(能量损失、贸易的难易度、自动化);

安全性(无害性、安全保护设计);

机能多样性(多功能、组合性多样化);

携带性(便携式、可安置性);

使用者范围(面向外行、面向专家)。

3) 人的要素

印象(高级品、知名度);

稀有性(特别接受订货产品、进口产品、天然产品);

习惯(传统、新产品);

功能特性(最后加工、手感、味道、居住性);

充实程度(知识性充实感、情绪性充实感);

接待客户性(笑容程度、周密细致、用语纯洁度、注意仪表)。

4) 时间性要素

耐环境性(耐寒性、耐湿性、耐尘性);

时间(效果的持续性、迅速见效性);

耐久保存性(耐用年数、故障率、修理难易度);

废弃难易度。

5) 经济上的要素

有利性（维持费用便宜）；

互换性（部件交换性）。

6) 生产要素

作业性（工程量少、修正少、不需要特殊机能、作业标准的弹性）；

原材料（品质的弹性、存储方便、便于转换成其他品种）。

7) 市场要素

适时性（流行、季节）；

品种多样性（广泛选择）；

信用程度；

决定购买的契机（以各自的基准来选择、决策者的决定、第三者的鉴定）；

商品更新周期（周期长、周期短但有吸引力）。

在技术措施的抽取过程中要注意以下三点：

1) 将市场世界变为技术世界。

2) 不管测定的可能结果均要抽取技术措施。

3) 尽可能抽取能测定的技术措施。

(3) 关系矩阵 表示用户需求和技术措施之间的关系，一般用符号或数值来表示强相关、一般相关、弱相关。符号和数值的意义见表3-1。

表 3-1 关系矩阵中符号和数值意义

符号	意义	数值
◎	强相关	5
○	一般相关	3
△	弱相关	1

(4) 敏感矩阵 技术措施和技术措施之间也是有关系的，表示它们之间的关系有正相关和负相关两种，一般用符号或数值来表示它们之间的关系。符号和数值的意义见表3-2。

表 3-2 敏感矩阵中符号和数值意义

符号	意义	数值
○	正相关	1
×	负相关	-1

当一项技术措施的改进会对另一项技术措施的改进产生负面影响时，它们之间的关系为负相关；反之，当一项技术措施的改进在一定程度上也改进了另外一项技术措施时，则它们为正相关。

用户需求权重

通过发放调查问卷的形式获得用户需求权重。

调查问卷的设计在获取用户需求之后进行,设计时将用户需求分析整理,把类似的放在一起分组,这样使得调查的问题层次分明,不会使被调查者产生厌烦心理。问卷上有各个分值的意义,这样,被调查者在对用户需求重要程度打分时具有统一的标准。最后通过加权平均计算可以得出每项用户需求的权重。各分值意义见表 3-3。

表 3-3 用户需求重要度评价表

分值	意义	分值	意义
0	不考虑	3	对用户有一定的重要性
1	对用户的重要性很低	4	重要
2	对用户的重要性低	5	对用户非常重要

本公司现状

交叉功能小组对本公司现状进行评估,以便与国内外竞争对手相对比。

公司改进计划

交叉功能小组通过达成一致意见获得。在开发公司改进计划时要考虑三个方面:

- 1) 对用户的重要性。
- 2) 竞争。
- 3) 市场窗口。

改进比例

改进比例通过计算获得。如下式所示:

$$\text{改进比例} = \text{公司改进计划} / \text{本公司现状}$$

销售关键点

销售关键点是能够使用户兴奋的技术措施,往往也是和竞争者竞争的焦点,可以在广告中加以使用。它是在对用户需求进行重要度评价并将本公司同其他公司进行比较分析的基础上,进一步考虑产品的质量策略后设定的,分为三个级别:

- 1) 超级销售关键点:用户一定想拥有,并愿为其付款,权值为 1.5。
- 2) 兴趣销售关键点:用户对此感兴趣,但是要考虑价格,权值 1.2。
- 3) 一般销售关键点:没有新东西,权值为 1.0。

绝对权重

通过计算获得,表明经过全面考虑后每项用户需求的相对重要程度,如下式所示:

$$\text{绝对权重} = \text{用户需求权重} \times \text{改进比例} \times \text{销售关键点}$$

要求权重

要求权重是每项用户需求的绝对权重占各项用户需求绝对权重之和的百分数。

(5) 技术措施权重 表明每项技术措施的相对重要程度,通过计算获得,计算公式如下:

$$w_{ij} = \sum_i (q_{ji} w_{ui})$$

式中 w_{ij} ——第 j 项技术措施绝对权重;

q_{ji} ——第 i 项用户需求与第 j 项技术措施之间的关系量化值;

w_{ui} ——第 i 项用户需求的要求权重。

关于用户需求的竞争力评估

从用户的角度对本公司产品和竞争者产品在满足用户需求方面进行评估。它反映了市场上现有产品的优势和弱点,并能够很容易地发现产品需要改进的地方。一般用数字 1~5 来表示用户对某类产品某项用户需求的满意度,其中 5 表示用户对某产品的某项用户需求非常满意,1 表示用户对某产品的某项用户需求非常不满意。

将本公司和其他公司产品在用户满意程度方面以曲线形式进行比较,更容易发现本公司产品与其他公司产品在用户满意程度方面的差距,找出改进方向,避免了产品设计的盲目性。

(6) 关于技术措施的竞争力评估

从技术的角度对本公司产品和竞争者产品进行评估,并与用户竞争性评估结果进行比较,检查两者是否一致,否则对所选的技术需求进行调整。一般通过试验、查阅有关文献等方式来确定本公司产品和竞争者产品技术需求的现有指标值。由于各个技术需求的测量标度不一定相同,为了便于评估,通常将它们转换成统一的定性标度。一般用数字 1~5 来衡量评估结果的好坏。

将本公司和其他公司的技术措施以曲线形式进行比较,从而很容易地发现本公司和其他公司相比在技术措施方面的差距,找出技术措施的改进方向。

3.3.2 基于 QFD 问题确定

HOQ 可在产品设计的不同阶段采用,如图 3-7 所示。图中 a 将用户需求转变成设计需求, b 将设计需求转变为功能需求, c 将功能需求转变为零部件需求。还可以通过 HOF 将零部件需求转变为工艺需求,一直到售后服务。每一个 HOQ 都有一敏感矩阵,如果该矩阵中的元素出现负相关,就可能存在技术冲突或物理冲突。

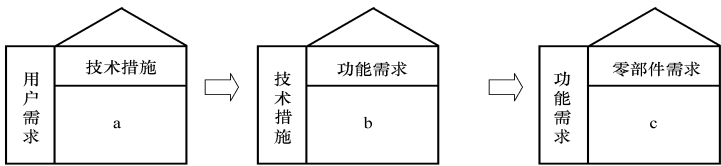


图 3-7 HOQ 在不同设计阶段的应用

例 3-1 加工中心夹具设计

加工中心专用夹具是某企业的主导产品之一，原设计中的夹紧及松开动作由操作者手工完成，用户提出需要一种快速夹紧装置。在分析用户需求的基础上，应用 QFD 方法并经评价确定了采用液压传动实现快速夹紧与松开，其执行机构是作直线运动的液压缸。对于批量生产，液压缸仅在一个很小范围内快速夹紧与松开被加工的零件，在更换零件种类后，装置首先应在一个较大的范围内作初始位置调整，调整到适合于液压缸快速夹紧及松开的位置为止。液压系统的工作压力很高，为了降低成本，仅驱动液压缸作快速夹紧与松开。现设计一个结构紧凑的复合机构，既能完成快速加紧与松开动作，又能实现夹具的初始位置调整。

表 3-4 是 QFD 中质量屋（HOQ）的部分内容。该表表示了用户需求与质量要素或称设计参数之间的关系。经功能分析，确定该复合机构的各支持功能，并建立第二张 HOQ 表，如图 3-8 所示。

表 3-4 HOQ：质量要素与用户要求

项目		质量要素					
		速度	夹紧力	结构尺寸	操作性	安全性	耐久性
性能	慢速预调整	◎		○	◎	△	
	快速夹紧、松开	◎		○		◎	○
	产生保持夹紧力		◎	○	△	◎	◎
	体积小	○	◎	◎	○	◎	
	自动化程度高	○		△	◎	○	
可靠性	故障低	◎	◎	○	○	◎	◎
	抗冲击振动	◎	◎	◎	△	◎	△
成本	成本低	◎	◎	◎	△	△	○
使用	便于操作		△	○	◎		△
	便于安装			◎	△	△	
维修	维修方便			◎	△		

注：◎ = 5，△ = 3，○ = 1。

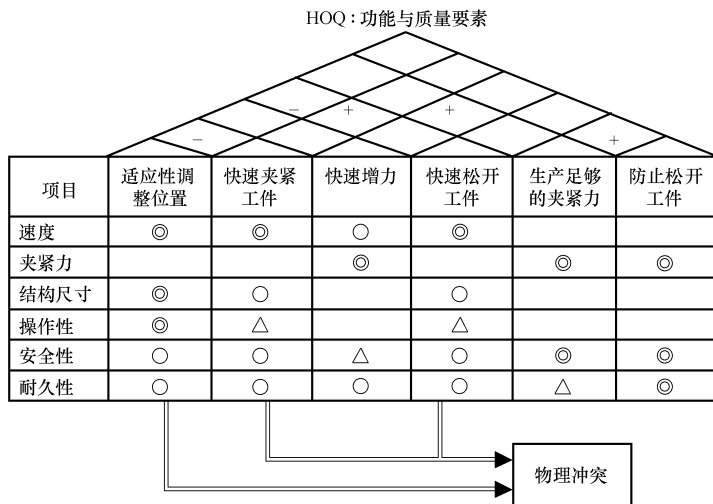


图 3-8 HOQ: 功能与质量要素

注：“+”为正相关，“-”为负相关；其余符号同表 3-4。

图 3-8 顶部的敏感矩阵中表明“适应性调整位置”与“快速夹紧工件”和“快速松开工件”之间为负相关，负相关的存在表明存在设计冲突，即新的复合执行机构既能在短行程内完成快速夹紧、快速松开运动，又能完成大范围的适应性调整或初始位置调整。

3.4 设计过程复杂性（DCC）理论

除了 QFD 分析法和 TOC 分析法外，设计过程复杂性（DCC）理论也可以为设计者提供一种确定设计系统问题的方法。2005 年，Suh 出版了一本关于设计方面复杂性的专著《Complexity: theory and applications》，文献 [15] 在公理设计理论和 Lee 的博士论文（Complexity Theory in Axiomatic Design）的基础上提出了 DCC 理论（Design-Centric Complexity, DCC theory），该理论主要研究技术系统设计中产生的复杂性，是复杂性科学的最新研究成果，也是设计理论领域的最新研究成果。DCC 理论是从功能的角度分析解决系统中的复杂性。

3.4.1 复杂性的概念

DCC 理论中复杂性被定义为实现功能需求不确定性的程度。复杂性是设计范围与系统范围之间关系的函数，如图 3-9 所示。设计者经验的局限性、不良设

计决策、设计误差等都可能造成系统功能需求不确定性程度的增加。在给定精度或公差范围内，满足功能需求的设计参数确定后，系统实现功能需求的概率（共用范围的面积）能够表征系统的复杂性：系统功能需求实现的概率越高，则系统的复杂性越低；系统功能需求实现的概率越低，则系统的复杂性越高。共用面积的大小反映了系统的复杂程度，这与通常所说的“结构复杂”不是同一概念。结构复杂的系统，如果其设计范围与系统范围相交的共用面积大，即功能需求实现的概率高，它就不是复杂系统；相反，结构简单的系统，如果其设计范围与系统范围相交的共用面积小，即功能需求实现的概率低，它就是一个复杂系统。也就是说，系统结构的难易程度和复杂性是两个不同的概念。

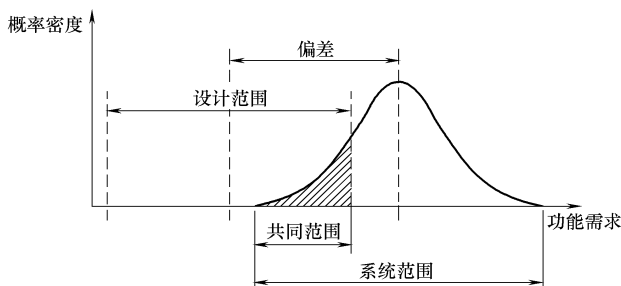


图 3-9 设计范围和系统范围示意图

复杂性是设计范围和系统范围之间关系的函数，因此可以得到以下结论：设计范围和系统范围的重叠部分实现了复杂性的定量测量。

- ◆ 当系统范围完全在设计范围内时，复杂性为零。
- ◆ 当系统范围完全在设计范围外时，复杂性无限大。
- ◆ 当系统范围与设计范围部分重叠，复杂性是有限的，这是因为系统无法在任何时候都能够满足功能需求。

3.4.2 复杂性与问题

DCC 理论中对于复杂性的定义主要是根据系统功能的实现情况，系统功能的实现概率越高，系统功能需求得到满足的可能性越高，更加接近设计目标所决定的目标状态。问题的定义为系统初始状态和目标状态之间存在的距离，那么系统的复杂性越小，实现功能需求的概率越高，系统初始状态和目标状态之间存在的距离（问题）就越小。由于系统存在的复杂性是由于功能需求实现概率低导致的，所以系统功能实现概率越低，距离目标状态越远，系统中存在的问题也就越严重。DCC 理论是通过减小系统的复杂性达到系统目标状态，从而解决系统中存在的问题。

如果系统中存在复杂性，那么系统中某些功能肯定是无法实现的，系统中就一定存在问题。是否存在问题的系统一定存在复杂性？系统中可能存在的问题可以分为：通常问题、矛盾和冲突三类。系统中存在的问题可以通过改变问题的一方来解决。通过改变事物的一方以缩短系统初始状态和目标状态之间的距离，且改变问题的一方并不影响系统的其他部分，那么系统中存在的只能称之为通常问题，不能称之为矛盾或者冲突。与通常问题的概念不同，矛盾是指反映事物内部或事物之间对立和统一及其关系的基本哲学范畴。矛盾是指事物之间的关系。系统中存在的矛盾相对较缓和，双方的矛盾客观存在或潜在，但仍未引发正面交锋。而冲突是矛盾激化的结果，而且达到非解决不可的地步。

在系统中事物的双方存在着对立统一的关系，如果双方可以共处且不影响系统，那么系统中可能存在矛盾，但不是冲突。系统中存在矛盾但矛盾未被激化时不需要加以解决。冲突是矛盾激化的产物，是不可调和的。系统中存在冲突必须加以解决。解决设计中的冲突是产品创新的核心，消除冲突的设计是创新设计。明确了通常问题、矛盾和冲突三者之间的关系后，需要介绍 DCC 理论中关于复杂性的分类，进而讨论不同种类复杂性与这三者之间的联系。

3.4.3 复杂性分类

DCC 理论将系统可能存在的复杂性分为两种类型：时间相关复杂性和时间无关复杂性。时间无关复杂性包括真实复杂性和虚构复杂性。时间相关复杂性包括组合复杂性和周期复杂性。复杂性的分类如图 3-10 所示。

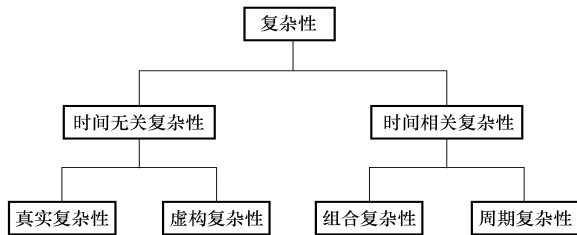


图 3-10 复杂性的分类

时间无关真实复杂性是由于设计方案不能保证其系统范围总在设计范围内，系统的功能需求不能满足而造成的。与时间无关真实复杂性相对，时间无关虚构复杂性是指一个系统所有功能需求本来可以被同时满足，但是由于设计者对系统本身认识不足导致不能同时满足系统所有的功能需求。时间无关虚构复杂性不是真的复杂性，它的存在是由于设计者缺乏对系统设计、系统结构或系统行为的了解。即使在真实复杂性为 0 的情况下，也就是系统范围完全在设计范围内的，虚

构复杂性也可能存在。

当系统范围相对于设计范围随时间发生移动时，系统中存在时间相关复杂性。

时间相关组合复杂性是指由于组合的数量随时间不断增加，系统的复杂性增加的复杂性。时间相关组合复杂性最终导致一种混乱的状态或使系统出现故障。组合是指导致系统的复杂性增加的一组事物，这组事物可能是设计参数、物理过程，也可能是噪声。时间相关组合复杂性其 t_1 时刻的功能实现概率高于 t_2 时刻， t_2 时刻的功能实现概率高于 t_3 时刻（ $t_1 < t_2 < t_3$ ），也就是说随着时间的推移系统的功能实现概率越来越小，最终趋近于零。

与时间相关组合复杂性不同，时间相关周期复杂性为在一个有限周期内，有限组合产生的时间相关复杂性，是一种比组合复杂性更容易消除的时间相关复杂性。时间相关周期复杂性，其 t_1 时刻的功能实现概率高于 t_2 时刻， t_3 时刻的功能实现概率高于 t_2 时刻（ $t_1 < t_2 < t_3$ ）。在 t_1 到 t_2 时刻，系统的功能实现概率在减小，而在 t_2 到 t_3 时刻系统的功能实现概率在增加，且在 t_3 时刻系统的功能实现概率又恢复到初始状态（ t_1 时刻的状态）。

真实复杂性、虚构复杂性、组合复杂性和周期复杂性均等于零，那么整个系统的复杂性为零。复杂性为零的设计是系统永远能够满足功能需求，甚至当设计范围非常小，最终达到极限值0时，系统仍然能够满足功能需求。具有零复杂性的设计是理想设计，而实际中由于设计者自身水平以及系统性能极限的限制，零复杂性的设计是不存在的，设计过程就是不断减小系统复杂性，使系统复杂性不断趋近于零。

3.4.4 复杂性与冲突

在DCC理论中，将系统中可能遇到的复杂性分为时间无关真实复杂性、时间无关虚构复杂性、时间相关组合复杂性和时间相关周期复杂性。存在这四类复杂性的系统其功能需求在某一时间或者空间无法被满足，也就是系统初始状态在某一时间或者空间与目标状态之间存在一定的距离。所以，所有复杂性不为0的系统均可以被认为存在问题。但是并不是所有复杂性导致的问题都能称之为冲突。

时间无关虚构复杂性是由于设计者对系统不了解造成的，该类型的复杂性不是由于事物两个方面矛盾激化产生的，所以时间无关虚构复杂性不会造成冲突，消除系统虚构复杂性的设计不属于创新设计。

与时间无关虚构复杂性不同，时间无关真实复杂性是由于设计方案不能保证其系统范围总在设计范围内造成的。功能耦合是造成系统出现真实复杂性的主要原因。功能耦合是指两个或者两个以上的功能相互影响导致其功能需求无法被实

现，功能耦合是系统中矛盾激化的表示，存在功能耦合的系统一定存在冲突。对于存在真实复杂性的系统，一定存在冲突。

时间相关周期复杂性是由于有限的组合导致的时间相关复杂性，时间相关周期复杂性会导致在有限的时刻系统范围会离开设计范围降低了系统功能的实现概率，随后系统的系统范围会再移入设计范围内，提高系统的功能实现概率降低系统的复杂性。时间相关周期复杂性是由于事物两个方面相互斗争产生的，但是由于其斗争的程度没有达到激化的程度，所以时间相关周期复杂性是由系统中存在的矛盾引起的，时间相关周期复杂性不会造成冲突，消除系统时间相关周期复杂性的设计不属于创新设计。

时间相关组合复杂性是指由于组合的数量随时间不断增加，系统的复杂性增加的复杂性。时间相关组合复杂性体现了系统中的矛盾不断累积并最终爆发出来的过程，时间相关组合复杂性是被激发了的矛盾，即冲突。

在四类复杂性中，只有时间相关组合复杂性和时间无关真实复杂性的消除需要解决系统中的冲突，所以消除这两类复杂性的设计属于创新设计，消除时间相关周期复杂性和时间无关虚构复杂性的设计不属于创新设计。

3.4.5 基于 DCC 理论的问题确定过程

通过分析四类不同种类的复杂性与通常问题、矛盾和冲突之间的关系，可以得到基于 DCC 理论的问题确定过程，如图 3-11 所示。首先判断存在复杂性的系统复杂性是否与时间相关，若与时间无关则建立设计矩阵。如果得到耦合设计矩阵该系统中的复杂性属于时间无关真实复杂性，应采用后续的冲突解决方法加以

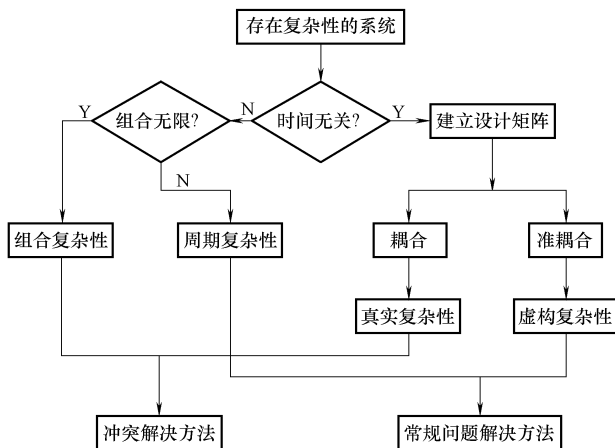


图 3-11 基于 DCC 理论的问题确定过程

解决;如果得到准耦合设计矩阵系统中的复杂性属于时间无关虚构复杂性,需用通常问题解决方法解决。与时间无关复杂性类似,如果系统存在时间相关组合复杂性采用后续的冲突解决方法加以解决;若存在时间相关周期复杂性则需要应用通常问题解决方法解决之。基于 DCC 理论的问题确定过程建立了四种复杂性与创新设计的关系,并且可以根据四种复杂性的定义确定系统中的通常问题和冲突。

3.5 本章小结

本章主要介绍了约束理论(TOC)、QFD 理论和设计过程复杂性(DCC)理论的基本概念及应用上述理论发现问题的方法。问题发现方法是应用创新技法解决问题的基础。发现问题是解决问题的第一步,也是至关重要的一步。设计者可以选用不同的理论方法,分析系统中的问题并采用适当的创新技法来解决。

参 考 文 献

- [1] 颜贻桢. 创意式问题管理一般化模式之研究 [D]. 郑州: 中原大学, 2002.
- [2] 吴昭同, 余忠华, 陈文华, 等. 保质设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] Terri E Varnado. The Effects of a Technological Problem Solving Activity on FIRST™ LEGO™ League Participants' Problem Solving Style and Performance [D]. the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005.
- [4] Semyon D, Savransky. Engineering of creativity [M]. New York: CSC Press, 2000.
- [5] 佐藤允一. 解决 [M]. 王海燕, 马金, 译. 北京: 中央编译出版社, 2004.
- [6] 查理斯·凯普纳, 班杰明·崔果. 问题分析与决策 (The New Rational Manager) [M]. 伍学经, 颜斯华, 译. 台北: 中国生产力中心出版, 2004.
- [7] Dirk G Neumann, Carsten Holtmann. Embodiment Design in Market Engineering[OL]. http://www.iw.uni-karlsruhe.de/Publications/NeumannHoltmann_EmbodimentDesignInMarketEngineering_RSEEM2004.pdf.
- [8] Vinod Goel. Comparison of Well-Structured & Ill-Structured Task Environments and Problem Spaces [C]. Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [9] Kevin Dunbar. PROBLEM SOLVING. A companion to Cognitive Science [M]. England: Blackwell, 1999: 289-298.
- [10] Kwangseek Choe, Susan Herman. Using theory of constraints tools to manage organizational Change; a case study of euripa labs [J]. International Journal of Management & Organisational Behaviour, Volume 8 (6), 540-558.
- [11] Victoria Mabin. Goldratt's "Theory of Constraints" Thinking Processes: A Systems Methodology linking Soft with Hard [OL]. <http://www.systemdynamics.org/conferences/1999/>

PAPERS/PARA104. PDF.

- [12] Lee Noel. A new model of the conceptual design process using AFD/FA/TRIZ [J]. TRIZ Journal. [http: //www. triz-journal. com](http://www.triz-journal.com).
- [13] 檀润华, 马建红, 张换高, 等. 基于 QFD 及 TRIZ 的概念设计过程研究 [J]. 机械设计, 2002 (9): 1-4.
- [14] 檀润华. 创新设计——TRIZ: 发明问题解决理论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 54-58.
- [15] Suh N P. Complexity: theory and applications [M]. New York: Oxford University Press, 2005.
- [16] Suh N P. The Principles of Design [M]. New York: Oxford University Press, 1990.

第4章 传统技法

4.1 概述

创造学家收集了大量成功的创新、创造的先例，研究其获得成功的过程与思路，进行分析、归纳、总结出规律与方法，供人们借鉴、学习、效仿。至今，国内外创造学家已总结归纳出了 300 多种创造技法，常用的有 100 多种。这是非常宝贵的智力资源，值得认真学习、大力推广。创造技法在美国称“创造力工程”，在法国称“创造工程技术方法”、“立意发想技法”，在日本称“创造工程学”、“发想技法”，在俄罗斯称“创造力技术”、“专家技术”等。

1936 年，美国通用电气公司首先开设了“创造工程”课程，用以训练和提高本企业职工的创造力。实践证明，这是开发人力资源的一项创举，很快在美国各地引起强烈反响。时任美国 BBDO 广告公司副总经理的 A·F·奥斯本出版了著名的《思考的方法》一书。奥斯本首创的“头脑风暴法”（智力激励法）在美国广为流传，成为创造技法宝库中的一颗明珠。各种创造技法（如特性列举法、形态分析法、等价变换法、物场分析法等）纷纷问世。限于本书的篇幅及很多技法的相似性，本章及下一章仅就常用的典型技法进行了详细介绍。

4.2 信息收集

信息、材料和能源是现代科学技术的三大支柱。信息的概念已超越原有的通信和控制系统范畴，渗透到科学技术的各个领域。利用各种信息进行创新，已是一种广泛使用在创新活动中的有效手段。

科学技术的迅猛发展使信息量急剧增加，各种媒体又使信息传输速度加快，人们可充分利用这些信息，通过搜集、整理、研究，启发自己产生新的创新构想，进行发明、创造、创新，从而避免走弯路甚至重复别人的劳动，利用现成的技术资料甚至还可以使自己的创新活动抄近路，走捷径，增加成功的希望。

信息收集（Information Gathering）是指通过各种方式获取所需要的信息。它是信息得以利用的第一步，也是关键的一步。信息收集工作的好坏，直接关系到整个工作的质量。

4.2.1 信息收集原则

为了保证信息收集的质量，应坚持以下原则：

1. 准确性原则

该原则要求所收集到的信息要真实，可靠。当然，这个原则是信息收集工作的最基本要求。为达到这样的要求，信息收集者就必须对收集到的信息反复核实，不断检验，力求把误差减少到最低限度。

2. 全面性原则

该原则要求所搜集到的信息要广泛，全面完整。只有广泛、全面地搜集信息，才能完整地反映管理活动和决策对象发展的全貌，为决策的科学性提供保障。当然，实际所收集到的信息不可能做到绝对的全面完整，因此，如何在不完整、不完备的信息下做出科学的决策就是一个非常值得探讨的问题。

3. 时效性原则

信息的利用价值取决于该信息是否能及时地提供，即它的时效性。信息只有及时、迅速地提供给它的使用者才能有效地发挥作用。特别是决策对信息的要求是“事前”的消息和情报，而不是“马后炮”。所以，只有信息是“事前”的，对决策才是有效的。

4.2.2 信息的收集方式

1. 社会调查

社会调查是获得真实可靠信息的重要手段。社会调查是指运用观察、询问等方法直接从社会中了解情况，收集资料和数据的活动。利用社会调查收集到的信息是第一手资料，因而比较接近社会，接近生活，容易做到真实、可靠。

2. 建立情报网

管理活动要求信息准确，全面，及时。为了达到这样的要求靠单一渠道收集信息是远远不够的。特别是行政管理和政府决策更是如此。因此必须靠多种途径收集信息，即建立信息收集的情报网。严格来讲，情报网络是指负责信息收集、筛选、加工、传递和反馈的整个工作体系，而不仅仅指收集本身。

3. 战略性情报的开发

战略性情报是专为高层决策者开发，仅供高层决策者使用的比一般行政信息更具战略性的信息。

4. 从文献中获取信息

文献是前人留下的宝贵财富，是知识的集合体，在数量庞大、高度分散的文献中找到所需要的有价值的信息是情报检索所研究的内容。

4.2.3 实施程序

信息收集的过程一般包括以下步骤：

1) 制订收集计划。只有制订出周密、切实可行的信息收集计划，才能指导整个信息收集工作正常地开展。

2) 设计收集提纲和表格。为了便于以后的加工、储存和传递，在进行信息收集以前，就要按照信息收集的目的和要求设计出合理的收集提纲和表格。

3) 明确信息收集的方式和方法。

4) 提供信息收集的成果。要以调查报告、资料摘编、数据图表等形式把获得的信息整理出来，并要将这些信息资料与收集计划进行对比分析，如不符合要求，还要进行补充收集。

4.2.4 信息收集的范围

信息收集的范围可从三种角度来划分：

1. 内容范围

内容范围是指根据信息内容与信息收集目标 and 需求相关性特征所确定的范围，包括本身内容范围和环境内容范围。本身内容范围是由事物本身信息相关内容特征组成的范围；环境内容范围是由事物周边、与事物相关的信息的内容特征组成的范围。

2. 时间范围

时间范围是指在信息发生的时间上，根据与信息收集目标 and 需求具有一定相关性的特征所确定的范围，这是由信息的历史性和时效性所决定的。

3. 地域范围

地域范围是指在信息发生的地点上，根据与信息收集目标 and 需求具有一定相关性的特征所确定的范围。这是由信息的地域分布特征和信息收集的相关性要求所决定的。

4.2.5 信息的利用

利用信息必须在“深”、“广”、“异”上做文章。

“深”即在现有产品基础上挖掘、深化。寻找现有产品缺点进行改进和重新设计。如玻璃杯易打碎，后人发明了钢化玻璃杯，现在又用了塑料杯。普通杯子不保温，人们发明了从水瓶到小保温瓶，到玻璃保温杯。

“广”即将现有成果推广、扩大、转移到一个新的领域。如喷雾器发展到平喘喷雾药瓶，到喷发胶、喷雾空气清新剂等。

“异”即根据现有产品的部分原理和目的，创造出结构更好、技术更先进的

同类新产品而实现异途同归。如利用保温瓶夹层真空保温的原理,发明出现在的不锈钢保温杯、博士杯等。

4.3 价值分析法

4.3.1 价值分析法原理

价值分析法是建立在价值分析或价值工程技术上的一种创新技法。价值分析或价值工程技术是20世纪40年代由美国工程师麦尔斯首创,是一种以降低成本为根目的的、综合技术与经济为一体的、有组织的系统方法。这种方法发挥集体的智慧,运用定量化的力法,系统地分析研究人力、物力和资源的合理运用,以提供物美价廉的、能够满足用户要求的产品,并创造出更先进的产品。由于这种方法效果显著,能带来巨大的经济效益,很快引起世界各国的重视,并把价值分析的思想和方法运作到各个科学技术领域和部门,成为一种有效的创新技法。

现代创造的任务,与价值分析的目在很大程度上是接近的。创造新方法,无非是要提高劳动效率,节省人、财、物力,用最小的投入获得最大的产出;创造新产品,也同时能带来新的社会经济效益。因此,创造的目的,决定了它具有运用价值分析方法解决问题的客观基础,在方法、内容和进行程序上也几乎可以沿用一般价值工程方法的模式。

开展价值分析的总目标是提高产品的价值。这里所说的价值,是指某种产品的功能与成本的相对关系,把二者的比值叫做产品的价值。它是评价产品项目受益程度的尺度,价值高的产品受益大,价值低的产品受益小。如果用 F 表示产品的功能, C 表示产品的总成本(寿命周期成本),则产品的价值 V 可用下式描述:

$$V = F/C$$

由上式可见,提高产品价值可有五条途径:

其一,保持产品功能 F 不变的前提下,着眼于降低成本($C \downarrow$)提高价值的目的($V \uparrow$),这是价值工程的一般目标。

其二,在成本 C 不增加的前提下,采取措施提高产品的功能质量($F \uparrow$),从而实现提高价值的目的($V \uparrow$)。

其三,去掉剩余功能,或者虽然使有用功能稍有降低($F \downarrow$),但能满足需要,而使成本大幅度下降($C \downarrow \downarrow$),结果使价值提高($V \uparrow$)。

其四,即采取措施,虽然使成本略有增加($C \uparrow$),但却使功能大幅度提高($F \uparrow \uparrow$),从而使价值提高($V \uparrow$)。

其五,即采取措施,不但使产品功能增加($F \uparrow$),同时也使成本下降

($C \downarrow$),从而使价值大幅度提高 ($V \uparrow \uparrow$)。当然,这是理想的途径,是价值分析的最高目标。

4.3.2 价值分析法应用程序

价值分析的过程,就是发现问题和解决问题的过程。由于价值分析强调工作和思想方法的系统性,因此从问题的认识到问题的解决,需要系统的、合乎逻辑思维方法和周密的工作程序。

价值分析一般采用的基本程序是:选择对象、功能分析、方案改进和评价。

1. 选择对象

选择对象是价值分析的重要环节,要达到更好的经济效益,必须正确选择价值分析的对象。如果价值分析的目的是提高新产品设计价值,那么价值分析的对象就是待开发的新产品的设计方案。换句话说,新产品的价值分析就是对各种初步拟订的设计方案进行技术经济优化。

对新产品设计方案进行价值分析,实际上是对构成产品系统的各分系统进行局部的成本优化,以力求提高整个产品的设计价值。

对一个较复杂的产品来说,一般都有许多零部件,将每个零部件都作为价值分析的具体对象,事实上是没有必要的。为了减轻工作量以提高设计效率,需要确定应重点分析改进的零部件对象范围。选择分析对象的基本原则是:

造价高的零部件 (在整个产品成本中所占的比重较大);

结构复杂的零部件;

体积质量大的零部件。

2. 功能分析

功能分析针对所要分析的对象,从技术和经济两方面进行系统的思考。在技术方面,着重考虑以下几个问题:这个零件起什么作用?为什么需要这个功能?是否必要?是否有其他更简便的方法来实现这项功能?这些零部件的各个特性是否必要?有无过剩功能?能否采用标准化零部件?

在经济方面,则要分析下述项目:各个零件的价值是否同它的成本成相应的比例?能否用成本更低的材料来代替?能否采用新的工艺方法?

功能分析只是指出了改进产品设计的方向和可能性,并没有提出改进办法。价值分析要收到预期的成效,只有在产品功能分析的基础上,为提高产品的价值,提出比原方案更好的新方案并予以实施后才能达到。所以,提出切实可行的改进方案是价值分析成功的关键所在。

3. 改进方案

在考虑改进措施时,要围绕下列三个问题进行:有其他办法实现此功能吗?它的成本是多少?新的改进方案确定能满足规定的功能要求吗?

事实上,这三个问题是密切相关的。第一个问题是为进一步开拓思路,第二、三两个问题是为了对新方案作经济技术方面的评价,以便取得最优方案。

方案改进的过程也同方案开发过程一样,是一种创造过程。在这个过程中,依然需要创新者们的创造性思维,用各种创造技法,在新的科学技术成果的基础上,进一步简化结构,降低成本,提高可靠性,使产品的价值得到提高。

4. 评价方案

经过方案改进之后,必须要对新的设计方案进行比较和评价。如果有多个改进方案,它们的功能相同,就应比较各方案的成本;如果方案的成本相同,就应以功能大的方案为最佳方案;如果各方案的成本及功能满足程度都不同,则采用定量评价的方法进行评估。由于价值分析立足于原设计方案的技术经济优化,所以在方案开发中采用的评价方法同样适合于改进方案的评价。至于成本的估算问题,在经济评价中是重要的,有关技术经济分析方面的专著有介绍,这里就不深入论述了。

4.4 类比法

4.4.1 类比法概述

1. 概念

“类比”一词源于古希腊,含义为“按比例”。古希腊数学家发现,两个尺寸不同的三角形若二条边的比例关系相同,则这两个三角形相似。这种以比例发现相似性的方法,是最早意义上的类比。我们现在使用的类比的含义已经扩大化了。简单地说,类比就是把具有一定相似性的两个不同的事物进行比较。

在我们日常认识事物的过程中,常常会在无意中使用类比的方法,从两个事物的一个或数个相同点或相似点推想其他的相似点,从而对事物一些未知的属性做出推断。反过来,在创造新事物时,我们需要新事物具有一定的属性或特点,那么,是否可以找到具有相同或相似属性的其他已有事物,将决定该属性的形状、结构、原理或其结合运用于我们需要的、正在创造中的事物呢?

根据普遍联系的哲学观,完全孤立的事物是不存在的,事物总是处在这样或那样的联系之中。这种联系的表现方式是多种多样的,其中一个事物与其他事物之间具有的相似性,可以为我们认识新事物或创造新事物提供帮助,将这种相似性的比较运用于发明创造,就形成了一种创造技法——类比法。类比法就是通过两个对象之间某些方面的相同或相似之点进行比较分析,从而推出这两个对象在其他方面的相同或相似的方法,该方法属于逻辑推理型创造技法。

例 4-1 可口可乐瓶子的发明:

制瓶工人罗特,有一天看到他的女朋友穿着一套膝盖上面部分较窄,使腰部

显得很有魅力的裙子。罗特的双眼紧盯着这条裙子，越看越觉得线条优美。他想，要是制作像这条裙子形状的瓶子也许不错。于是他立即加以研究。经过半个多月的努力，一种新式的瓶子问世了。1923年，罗特把这项专利权以600万美元卖给可口可乐公司，因而成为富翁。

据专家说，理想的瓶子应该具备下列条件：握住瓶颈时，不会有滑落的感觉；里面所装的液体，看起来比实际份量多；外观别致。罗特受裙子形状的启发而制作的这种瓶子完全具备了上述优点。将裙子的形状运用于瓶子，使瓶子也具有了裙子的美感，这正是以类比为基础的创造活动。

2. 类比法原理

类比法的基础是比较，它的运作机制包括两个方面：异中求同或同中求异（异质同化或同质异化）。

例 4-2 有人观察到西方人和东方人的差异，想到一个发财的点子，即把喝咖啡的杯子做成带缺口的，西方人高鼻子就能把杯子里的东西喝的一干二净。这样的杯子也就成了畅销品。

（1）异质同化 异质同化是指在创造发明新事物时，借助现有事物的知识进行分析研究，找出待创造事物和现有事物之间的相同点或相似点的过程。类比法中的比较必然是建立在不同的两个事物之间，所谓的异质就是指这两个不同的事物，其中之一是待创造的事物，另一个是现有的事物。同化就是指找出这两个不同事物的相同点或相似点，是把陌生的事物看成熟悉的事物，用熟悉的观点和角度认识陌生事物，认为陌生的事物具有与熟悉事物同样的性质、功能、构造、用途等，从而达到把陌生事物熟悉化，把陌生问题转为熟悉问题，得到关于新事物的创造构思。简言之，就是要发明创造出新东西。然而任何新的东西都不为人们所熟悉。从某种意义上讲，人的机体是相当保守的，它排斥任何陌生的东西；人的思维也是一样，当人们遇到陌生事物时，总是企图将其纳入一个可以接受的模式之中，而这种思维模式一定是人们惯用和熟悉的。

例 4-3 宇宙中究竟有无外星人？外星人究竟是何模样？这些问题自古以来就一直在人类的脑海中萦回。古代人们曾将外星人描绘成身高丈二、腰阔八尺、长有三头六臂的巨人，近代人们曾将外星人想象为体态轻盈、形状多变、长有无数触手的水母，现代美国电影巨片《外星人 E·T》则将其装扮成一个具有硕大光秃的脑袋、皱褶干瘪的皮肤、晶亮突出的眼睛的人型生物。其实迄今为止人类并没有在自己的近邻星球中发现任何大型生物，外星人的上述形象完全是人们按照自己所熟悉的事物构建出来的。

异质同化原则根据创造活动的发展规律，要求人们在开展发明创造活动的过程中，首先要掌握现有的知识。应充分利用现有的知识来分析和探索未知事物，借以启发新的创造设想。

例 4-4 在谷物脱粒机发明以前，谁也没有见过这种装置。在没有借鉴物和参照物的情况下，要发明这种设备，就必须尽量将当时所具有的知识水平和技术条件结合起来考虑，尽量用人们熟悉的东西来搭建思维创新的桥梁。于是有人根据下雨时，旋转雨伞，可使雨滴沿快速旋转的伞缘飞出的人所共知的现象，发明出新式谷物脱粒机。这种脱粒机的核心部件是一个带有尖刺的圆柱状滚筒，利用滚筒高速旋转时尖刺的撞击作用，使谷粒从谷穗上脱离开来。

实际上变陌生为熟悉的思维过程极为重要。因为，只有将陌生事物同熟悉事物联系起来，才能在人们的头脑里接通思维的“电路”，才能使人们逐步加深对陌生事物的了解。

(2) 同质异化 同质异化是指把决定现有事物与待发明事物相同点或相似点的原理、结构、形状或其结合运用于发明创造，创造出具有该相同点或相似点的新事物。也就是要用陌生的眼光看待熟悉的事物，达到利用与已往的观点和角度完全不同的观点和角度来观察已知的事物，找出已知事物的新性质、新用途、新功能、新结构、新结合等。例如，热水瓶曾保持几十年一贯制的老面孔，人们对其再熟悉不过了。后来，有人尝试变熟悉为陌生，将热水瓶的高度变短、体积变小，于是发明出家用保温桶和旅行保温杯，使热水瓶家族“人丁兴旺”。

同质异化原则的精髓在于通过变熟悉为陌生来破除人脑中的思维定势，从而有利于人们发散思维和创新构想。一般说来，在熟悉的思维世界里，人们的观念和认识容易保持稳态，因而也就容易失去活力。这对开展发明创造活动十分不利。当孩子弯腰从两腿之间探望时，他是在试图发现新的世界；当人们果断从常规之中出走时，他是在力求做出新的尝试。一些人常常叹息没有发明创造的机会，实际上，一个人一生中不如道有多少次可以从变陌生为熟悉或变熟悉为陌生中获得创造契机，但很多人都与这些创造契机擦肩而过。其原因在于人们在看待事物时，往往容易屈从于习惯，喜欢按常人的思维方式和思考角度来考察和分析问题，而不善于从逆向或侧向去思考。这是必须加以根本改变的。

在运用类比法时，异质同化和同质异化两个方面缺一不可。异质同化是前提和基础，同质异化是创造发明的关键环节，一个新事物的创造发明必须把这两个方面结合起来，运用辩证统一的观点，分析解决问题。

例 4-5 牧童的智慧

在美国加利福尼亚州有个牧童叫杰福斯，每天早晨把羊赶到牧场监视羊群不让羊群越过牧场的铁丝到相邻的菜园吃菜。有一天，杰夫斯在牧场上不知不觉地睡着了。不知过了多长时间，被老板的骂声惊醒了：“你这个没用的东西，菜园已被羊搅得一塌糊涂了，你还不知道。”

事情发生后，杰夫斯便想，应该做个羊无法越过的栅栏。后来他发现有玫瑰花的地方羊不敢越过，因为玫瑰花有刺拦住了羊。由此他受到启发，“如果在铁

丝上做个刺是不是可以挡住羊群呢?”于是他先将铁丝用钳子剪成5厘米一段,把它结在铁丝上做个刺。不到5天他就把全部栅栏都做成了带刺的铁丝。他再放羊时,有些羊被刺疼后惊恐地站在一边,发出“咪咪咪”的叫声,再也不敢越过栅栏。

半年后,杰夫斯申请的这项专利被批准了。不久,带刺的铁丝网便风行世界。

本例中的发明者想发明的是一种能挡住羊的栅栏,玫瑰花由于有刺使羊不敢越过,可以使栅栏具有和玫瑰花一样的特点——带刺,所以带刺是二者的相同点,这是异中求同的过程。虽然玫瑰花可以阻挡羊群,但是不能用玫瑰花做栅栏,只有将“带刺”这一特点与栅栏的其他特点结合,创造出新的事物——带刺铁丝,才能解决该例中的特定问题。将带刺这一特点移植到栅栏上的过程,就是同质异化的过程。带刺的铁丝的发明就是异质同化和同质异化两个方面辩证统一的结果。

类比法运用于创造发明的例子非常多。有的极为典型,发明物与原型之间存在明显的直接的相似关系。

例 4-6 充气轮胎的发明

邓禄普轮胎的创始者邓禄普发明充气轮胎之前,橡胶是直接裹在车轮上的,无论橡胶太硬还是太软,坐在车上都会感觉不舒服。邓禄普决定对橡胶轮进行改革。有一天,玩足球的孩子们不小心把足球踢到了邓禄普的脸上,就在这一瞬间,邓禄普想到了像足球一样给轮胎充气,现在的充气轮胎就这样诞生了。

有的类比联系不够明显,发明物可能是若干种不同原型的不同方面综合的结果,如易拉罐的发明就是结合了蛤蜊开口的原理、凤仙花果实开口的结构和火山口形成原理,将这些特征加以综合协调形成了满足人们需要的新事物。有的发明物与原型之间只是在结构、功能、原理的某一方面相似,如保温杯的发明就是利用保温瓶的保温原理,但将保温瓶的外形、结构异化成杯子,使其既具有保温功能,又具有杯子的功能。

类比是以比较为基础的,类比法的关键是发现和找出原型,也就是类比的对象。从熟悉的对象类推出陌生的事物,从已知探索未知。如果没有类比的对象,类比的方法就无从运用,创造发明的实施只能由其他技法来进行。

3. 类比的主要形式

发明创造中的类比思维,不受通常的推理模式束缚,具有很大灵活性和多样性。在发明创造活动中常见的形式有:形式类比、功能类比和幻想类比等。

形式类比包括形象特征、结构特征和运动特征等几个方面的类比,不论哪个形式都依赖于创造目标与某一装置或客体在某些方面的相似关系。如飞机与鸟类、飞机与蜻蜓,由鸟的飞行运动制成了飞机,飞机高速飞行时机翼产生强烈振

动,有人根据蜻蜓羽翅的减振结构设计了飞机的减振装置。天津一个学生根据小狗爬楼的运动方式创作了狗爬式上楼车等都是类比的结果。

功能类比是根据人们的某种愿望或需要类比某种自然物或人工物的功能,提出创造具有近似功能的新装置的发明方案,这种方法特别在仿生学研究上有广泛应用,例如各种机械手、鳄鱼夹等。

根据幻想中的某种形象、某种作用、运动装置进行发明创造思维,这种思维是幻想类比。例如《海底两万里》的作者幻想了一种能长时间在海底活动的潜艇,经过几十年的努力后制成的现代潜艇即是这种幻想的实施。当然,一项成功的发明也可以是以上多种类比的综合,如各种机器人的出现绝非是一种单纯的创造性思维所能奏效的。

英国的培根有一句名言:“类比联想支配发明”。他把类比思维和联想紧密相联,只有有了联想才能有类比思维,不论是寻找创造目标,还是寻找解决的办法都离不开联想的作用。

人们要用好类比思维,就必须提高联想能力,学会联想方法,特别是掌握相似联想,是运用类比思维的重要条件。

例 4-7 尽管海和天是两个完全不同的世界,然而海和空气都是流体,因此,阿·皮卡尔在研究深潜器时,首先想到利用平流层气球的原理来改进深潜器。在此前,深潜器都是靠钢缆吊入水中的,它既不能在海底自由行动,潜水深度也受钢缆强度的限制,由于钢缆越长,自身重量越大,从而也容易断裂,所以它一直无法突破 2000m 大关。平流层气球由两部分组成:充满比空气轻的气体的气球和吊在气球下面的载人舱。利用气球的浮力,使载人舱升上高空。如果在深潜器上加一只浮筒,不也像一只“气球”一样可以在海水中自行上浮了吗?皮卡尔和他的儿子小皮卡尔设计了一只由钢制潜水球和外形像船一样的浮筒组成的深潜器,在浮筒中充满比海水轻的汽油,为深潜器提供浮力;同时,又在潜水球中放入铁砂作为压舱物,使深潜器沉入海底。如果深潜器要浮上来,只要将压舱的铁砂抛入海中,就可借助浮筒的浮力升至海上。再给深潜器配上动力,它可以在任何深度的海洋中自由行动,再也不需要拖上一根钢缆了。

皮卡尔父子的这一设计获得了很大的成功。第一次试验,就下潜到 1380m 深的海底,后来又下到 4042m 深的海底。他们设计的另一艘深潜器“的里雅斯特号”下潜到世界上最深的洋底——10916.8m,成为世界上潜得最深的深潜器。皮卡尔父子也因此获得了“上天入海的科学家”的美名。

皮卡尔的这种创造发明方法即为类比发明法。类比即在两个事物之间进行比较,这两个事物可以是同类,也可以不是同类,甚至差别很大,通过比较,找出两个事物的类似之处;然后,再据此推出它们在其他地方的类似处。例如,气球和深潜器本来是两个完全不同的东西,一个升空,一个入海,但是它们都可以利

用浮力原理，因此，气球的飞行原理同样可以应用到深潜器中去。

4. 类比的主要类型

在以类比为基础展开联想或联系时，实际的连接方式会有不同。常用的有以下几种基本类型：拟人类比、直接类比、象征类比等。现分述如下：

(1) 直接类比 从自然界的现象中或人类社会已有的发明成果中寻找与创造对象相类似的事物，并通过比较启发发出创造性设想是一种直接类比的方法。这种类比的例子，古今中外比比皆是。我国战国时期墨子制造的“竹鹊”、三国时期诸葛亮设计的“木牛流马”、唐代韩志和创造的飞行器等，都是仿生学的直接类比。鲁班发明锯子，也是同带齿的草叶把人手划破和长有齿的蝗虫板牙能咬断青草获得直接类比实现的。

例 4-8 设计一种水上汽艇的控制系统，人们可以将它同汽车相类比。汽车上的操纵机构和车灯、喇叭、制动机构等都可经过适当改革，运用到汽艇上去，这样比凭空想象设计一种新东西容易获得成功。

例 4-9 听诊器的发明，也是典型的直接类比思维的产物：拉哀纳克医生很想发明一种能够诊断胸腔里健康状况的听诊设备，一天到公园散步，看到两个小孩在玩翘翘板，一个小孩在一头轻轻地敲翘板，还有一个小孩在另一头贴耳听，虽然敲者用力轻，可是听者却听得极清晰。他把要创造的听诊器与这一现象类比，终于获得创意设计听诊器的方案，世界上听诊器就这样诞生了。

例 4-10 工程师布鲁内尔为解决水下施工大伤脑筋，有一次他观察到至木虫进入木材的方法。于是通过类比，他想出了用空心钢柱打入河底，以此为“构盾”，边掘进边延伸，在构盾的保护下施工，这就是著名的“构盾施工法”。这可以说是类比法的重大成果。

例 4-11 电视发射塔的设计，要求既有抗各向风力的性能，又能满足发射信号的需要。人们发现山上的云杉树由于受狂风常年累月的打击，底部直径显著增大，树形长成了圆锥状。通过类比分析，就出现了圆锥形的电视塔。

例 4-12 飞机发动机的燃烧器由于气流无法控制，常出现气体湍流紊乱现象。我国年轻的博士高歌曾在大西北工作，注意到沙丘的形状十分稳定。于是他将沙丘的形状同飞机发动机的燃烧器作了比较，将燃烧器内表面改为沙丘形状，最终发明了“沙丘驻涡火焰稳定器”。有趣的是进化论的奠基人达尔文，在创立动植物世界优胜劣汰的自然选择理论时，竟在马尔萨斯的《人口论》一书的浏览中获得了直接类比。美国发明家莱特兄弟更是以“谁要飞行，谁就仿鸟”的名言为众多梦想飞行者指引发明创造的方向。

(2) 拟人类比 拟人类比就是使创意对象“拟人化”，也称亲身类比、自身类比或人格类比。这种类比就是创意者使自己与创意对象的某种要素认同、一致，进入“角色”，体现问题，产生共鸣，以获得创意。拟人类比，在我国的典

籍中屡见不鲜。《易经》的“天行健君子以自强不息”，就是一种天人合一、万物一理的拟人类比。文学艺术中的拟人类比更是随处可见，例如把祖国比做母亲，把美丽的姑娘比做鲜花。在物理学上，拟人类比的例子也是不胜枚举。如机械人的设计主要是模拟人的动作。如药物糖衣的使用，可以想象自己是一片药，要被人放入口中进入胃消化吸收，因为主管味觉的舌很快就会告知人苦的感觉，所以人很难接受。如果我给自己裹上一层糖衣，被放入口中的瞬间仅仅糖衣被融化，人就只能尝到喜欢的甜味而不能感觉到苦了，这样我就容易被接受了。通过这种拟人化的想象，糖衣药片就产生了。如克库勒在研究苯分子结构时，感到自己就是一个苯分子，像蛇一样的在摆动，摆动的尾巴被咬住了，形成了一个首尾相接的环状，由此提出了苯分子的环状结构。再如，挖土机可以拟人手臂的动作来进行设计。它的主臂如同人的上下臂，可以上、下、左、右弯曲，挖斗拟人的手掌，可以插入土中，将土挖起。在机械设计中，采用这种拟人化的设计，可以从人体某一部分的动作中得到启发，常常会收到意想不到的效果。工业设计，也经常应用拟人类比。著名的薄壳建筑罗马体育馆的设计，就是一优秀例证。设计师将体育馆的屋顶与人脑头盖骨的结构和性能进行了类比：头盖骨由数块骨片组成，形薄、体轻，但却极坚固，那么，体育馆的屋顶是否可做成头盖骨状呢？这种创意获得了巨大成功，于是薄壳建筑风行起来。现在，这种拟人类比的方法，还被大量应用在科学管理中，比如把某工厂的厂办比做人脑，把各车间比做人的四肢，把广播室比做嘴巴，把仓库比做内脏等，从而按人体的正常活动管理全厂。这样就能及早发现问题，实现协调有序的管理。

(3) 象征类比 象征是指用具体的事物或符号表示某种特定的意义，如鸽子象征和平，手形“V”象征成功、胜利等。象征类比是指将创造发明的事物中的某些问题，运用具体的事物形象或象征性符号作类比描述，从而使发明的事物更具创造性。戈登说：“象征类比是知觉感知的，在无意中的联想一旦做出这种类比，它就是一个完整的形象。”象征类比在建筑设计中应用较多。例如，设计纪念碑、纪念馆，需要赋予它们“宏伟”、“庄严”、“典雅”的象征格调。相反，设计咖啡馆、茶楼、音乐厅就需要赋予它们“艺术”、“幽雅”的象征格调。历史上许多名垂千秋的建筑，就在于它们的格调迥异，具有各自的象征。再如大型运动会会徽的设计，通常用努力向上跨越的跳高运动员或向前冲刺的田径运动员，勾勒出运动会的届次，再辅以横杆或跑道，突出一种奋发向上、努力拼搏、奔向未来的精神。奥运会上国旗的升起，就可以表明哪个国家的运动员获奖，国旗在诸多的场合象征着国家。中国人给孩子起名字，男孩多用“高”、“伟”、“强”、“勇”等字，女孩多用“靓”、“丽”、“婷”、“惠”等字，象征性地表达了父母的期望。

(4) 幻想类比 幻想是指在现实情况下虚无缥缈、不合情理的设想，多出

现在神话、童话和科幻故事中。幻想类比指在创造的过程中，把待解决的问题用理想的、虚构的事物类比的方法。如中国的古代帝王，为了更好地统治百姓，号称自己是“真龙天子”，并把神话中的龙绣在衣服上、大旗上。人们对死亡充满恐惧，为了自我安慰，大胆设想，只要活着时心地善良，不做坏事，死后就可以升入“天堂”。幻想中的“天堂”实际是对现实“美好生活”的类比。但是，正是创造中的幻想类比，推动了发明创造，逐步使幻想成为现实。如人幻想像鸟一样的自由飞翔，现在人们乘坐飞艇、飞机等飞行工具已经能够自由飞行。人们幻想登上月球，有嫦娥奔月的神话，而现代的人已经能够成功登上月球。

(5) 因果类比 两个事物各个属性之间，可能存在着同一种因果关系，因此，可以根据一个事物的因果关系，推出另一事物的因果关系。例如，在合成树脂（塑料）中加入发泡剂，使合成树脂中布满无数微小孔洞，这样的泡沫塑料用量省、重量轻，又有良好的隔热和隔声性能。日本一个叫铃木的人应用因果类比，联想到在水泥中加入一种发泡剂，使水泥也变得既轻又具有隔热和隔声的性能，结果发明了一种气泡混凝土。

(6) 对称类比 许多事物都具有对称性，我们可以通过对称类比的关系，发明创造出新的东西。例如，英国物理学家狄拉克从描述自由电子运动的方程中，得出正负对称的两个能量解。一个能量解对应着电子，那么另一个能量解对应着什么呢？人们知道电荷正负的对称性，狄拉克从对比中，提出了存在电子的正解，结果被实践证实了。

(7) 综合类比 事物属性之间通常有着复杂的关系。如果综合它们相似的特征进行类比推理，就是综合类比。例如，设计一辆新型汽车，可以先做一辆模型汽车，放在试验台上进行模拟试验，就是综合汽车行驶中的复杂特性进行类比。然后，把模拟试验得到的结论推移到待设计的新型汽车上去，指导新型汽车的发明创造。

以上介绍的常用类比法，在实际运用中，直接类比是基础，由此可以向拟人类比、象征类比、幻想类比等引申发展。几种类比各有特点和侧重，在创造的活动中相互补充、相互渗透、相互转化，都是创造过程中不可缺少的方法。

类比发明法，立足于把未知的对象和已知的对象进行对比和类推，以启发、开扩思路，为发明提供线索，导致发明的实现。正是类比法的这一内涵，决定了运用类比法的必要条件是要积累有关对象的丰富知识。倘若皮卡尔在大气流层和气球方面缺乏渊博的知识，是决不可能在深潜器的发明创造上有效地运用类比法并取得成功。一般来说，发明创造者所积累的有关知识越丰富，类比时就能左右逢源，运用自如。否则，在知识贫乏的情况下勉强地运用类比，就容易作出牵强附会的推理而使发明误入歧途。

5. 类比技法分类

在人类社会的创造活动中,不断出现和完善了一系列建立在类比基础上的具体技法,包括典型技法——综摄法;基本技法——原型启发法、移植法和仿生法;引申技法——等价变换法、中山正和法和中山——高桥法。随着人们对创造活动中类比技法的熟练掌握和运用,还会有更多的理论性、操作性强的类比技法产生。

4.4.2 综摄法

1. 概念

在类比法中,最典型的是综摄法,所谓的提喻法、集思法、群辨法、分合法等都是指在类比基础上的综摄法。综摄法是英文 Synectics 的译称, Synectics 一词来源于希腊语,意思是把表面上不相关的各种不同的事物结合在一起。

综摄法最初是由美国创造学家威廉·戈登(W. J. Gordon)提出来的,后来乔治·普林斯(George Prince)同戈登共同研究,使综摄法得到进一步完善,成为理论性和操作性强的创造技法。

综摄法是指从已知的事物出发,将毫无联系的、不同的知识要素结合起来,从不同的角度分析未知的事物,从而使理想中的未知事物成为现实的过程。

综摄法产生的基础包括以下几个方面:

第一,每个人都有潜在的创造能力,而且是可以被开发的。

第二,创造过程是可以具体描述的,创造经验是可以总结和被他人学习的。

第三,创造作为文化现象,在艺术和科技中是相似的,都可以用共同的心理过程来表现。

第四,在创造过程中,非理性因素比理性因素更重要。

第五,创造小组可以模仿个人的创造过程。

综摄法作为一种专业的、系统的创造技法,其创造性的实现关键在于以类比为基础的联想,这容易使人将其与头脑风暴法联系或等同。实际上,综摄法是与头脑风暴法不同的集体创造技法,它具有以下几个特点:

1) 综摄法是以类比为纽带进行联想的。类比是人们将不同的两种事物联系起来时容易采用的思维方式,当小孩在形容一个新认识的事物时,往往会不自觉中运用类比的方法。综摄法中的联想至关重要,但是,联想的基础是类比,联想原因是两种事物存在相同点或相似点,这是其与头脑风暴法不同的关键。

2) 综摄法是一种适用于集体创造的专业性的技法。综摄法虽然也可以为个人使用于创造活动,但是只有其作为一种集体技法时,才能较好地克服个体联想的局限性,才能使其优点得到充分的发挥。所以,综摄法系统的理论基础和较强的操作性使其更适用于集体的创造活动。

3) 综摄法是针对已有问题进行的, 目的性较强。在使用综摄法时, 往往问题已经提出, 可以是新产品开发、已有产品改进以及广告创意、解决某些社会问题等。因此, 能够针对目标进行分析并提出解决问题的方案, 不像有些类比技法带有一定的偶然性。

2. 缩摄法的基本原理

戈登认为综摄法的基本原理包括两个部分, 即变陌生为熟悉和变熟悉为陌生。

(1) 变陌生为熟悉 变陌生为熟悉的阶段, 就是类比法中的异质同化阶段。主要是借助于分析, 设法将陌生的事物分解, 尽可能地将其变为以前熟悉的事物。人的机体本质上是保守的, 它排斥任何陌生的东西或概念。所以, 当遇到一个新问题或陌生的事物时, 都会有意识地把它纳入一个可接受的模式中, 与以往的熟悉东西相比较, 找出它们的相似点, 以便把陌生的东西变为熟悉的东西。例如, 计算机领域的术语“病毒”、“千年虫”、“黑客”等都是利用人们较熟悉的语言来描述计算机专业的事物或现象, 其实质就是“异质同化”。

例 4-13 盲人摸象的故事中, 由于盲人没有见过大象, 大象对盲人来说是陌生的事物。盲人的手就如眼睛, 通过摸象来认识大象。但他们各自摸到了大象的一部分, 把摸到的东西与熟悉的东西相类比, 就得出了大象像“一把扇子”、“一堵墙”、“一根柱子”、“一条绳子”的结论。尽管这些结论是不正确的, 但是这种认识大象的过程, 恰恰说明了变陌生为熟悉的过程, 同时也说明了变陌生为熟悉只是对陌生事物的了解过程, 通过熟悉事物的特征、性质来说明陌生事物的特征、性质, 得出的结论或解决问题的方法往往是肤浅的、片面的, 甚至是错误的。因此, 创造性地解决问题, 不仅需要通过变陌生为熟悉来认识事物, 更需要将熟悉的事物再变为陌生的事物, 即新的、具有创造性的事物或方案。

例 4-14 静电喷漆工艺的发明。发明人哈罗德·兰斯伯格使用空气喷枪在给甜饼罐喷漆时, 油漆乱飞, 浪费严重。如何才能使油漆不乱飞呢? 他想起了上中学时的静电吸附实验。于是想到如果采用一定的装置使漆带上静电, 而待喷漆的金属物品与地线连通, 这样就利用已知的静电吸附知识发明了静电喷漆工艺。

该例中的原有喷漆工艺和静电吸附实验是不同的两个过程, 但是, 喷漆过程中需要防止油漆乱飞, 也就是说需要油漆有目的地飞向待漆的甜饼罐。如何使甜饼罐和漆粒间有吸引力呢? 将熟悉的静电吸附实验与其类比, 变陌生为熟悉, 从而解决了吸引力产生的问题。但是, 要使静电吸附实验的吸附原理运用到喷漆工艺中, 还需要结合喷漆工艺的特点和要求, 这就是变熟悉为陌生的过程。因此, 仅有变陌生为熟悉, 而没有变熟悉为陌生, 静电喷漆工艺也不会被发明。

(2) 变熟悉为陌生 变熟悉为陌生的阶段, 就是类比法中的同质异化阶段。对已知熟悉的各种事物, 运用全新的方式, 从新的角度进行观察、分析, 将熟悉

的变成不熟悉的,才能真正创造出新的事物或提出新的方案。变熟悉为陌生,需要打破旧框框,使人的思维跳出已有的习惯。例如盲人发现他们摸同一事物得出的结论不同时,可以把他们熟悉的扇子、墙、柱子、绳子等重新分析、组合,在理论的指导下形成一个完整的大象的轮廓,从而在他们的脑海中创造出陌生的事物——大象。例如,拉杆天线本来是用在收音机上的,将它换个新位置去应用便出现了可伸缩的教鞭、照相机的伸缩三角架、可伸缩的旅行手杖等。另外像将保温瓶缩小,改变瓶口,成为保温杯这都是同质异化的产物。再如上例中静电吸附实验是带电的橡胶棒吸附小纸片,结合喷漆工艺后,使漆粒带电,就成了漆粒与甜饼罐的吸附。

在综摄法中,变陌生为熟悉和变熟悉为陌生的过程并不是相互独立的,而是辩证统一的,需要结合起来灵活运用,而且,都是以类比为基础的。因此,综摄法的灵魂就是类比。

例 4-15 西堀队长的灵感。日本南极探险队第一次准备在南极过冬,当时南极越冬队队员正在设法用输送船把汽油运到越冬基地。因为是初到南极过冬,实施操作时才发现输送管的长度根本不够,又没有备用的管子,队员们都惊呆了。这时,队长西堀荣三郎突然提出一个很奇怪的设想,他说:“我们用冰来做管子吧。”因为南极很冷,可以说是滴水成冰。但问题是怎样使冰形成管状而且在中途不会断裂呢?

西堀队长很快又有了灵感,我们不是有医疗用的绷带吗?把它缠在铁管上,上面再淋上水让它结冰,然后拔出铁管,不就成了冰管子了吗?用这种方法作冰管子,再把它一截一截连接起来,要多长就有多长。

在西堀队长的整个构想中,首先是找出冰管来代替输油管,其次是将绷带的机能由包扎伤口转为包缠铁管。西堀队长的聪明在于通过已知的东西作媒介,通过类比找到事物的连接点,把它们综合在一起,再创造出新的产品,使越冬输油管的难题得到了解决,是变熟悉为陌生的过程。

3. 综摄法的实施程序

综摄法能在世界各国普遍采用,原因之一是其操作性强。戈登认为,在发明创造过程中如何实现由陌生变熟悉以及由熟悉变陌生,是能否取得发明创造成果的关键阶段,也是能否实现综摄法成功运用的重要环节。由于综摄法本身是一种群体激智性质的创造技法,又是以在集体会议上最大限度地发掘人们的创造潜力为目的,为了使上述阶段中的创造活动得以顺利进行,美国创造学家普林斯特地补充了在运用综摄法召开会议和进行创造时所应该贯彻的步骤,其具体内容如下:

(1) 确定小组成员 综摄法在集体创造活动中,需要一个专业小组来实施,对专业小组的成员素质要求较高。小组成员一般由 5~7 人组成,其中一名担任

主持人，一名是与讨论问题有关的专家，其余为各种学科领域的专业人员。

1) 主持人的作用和要求。主持人是讨论过程的引导者，他不参与问题的讨论，不提出解决问题的方案，认真听取组员的设想，根据当事人的反应，积极为讨论做导向。主持人的作用有鼓舞组员大胆设想，记录组员的设想，及时为会议导向，掌握会议时间等。

为了达到以上目的，一般对主持人要求：熟悉综摄法实施程序；保持乐观、热情的心理状态，善于倾听别人意见，具有综合概括能力，思维敏捷有深谋远虑，没有任何权力欲望。

2) 专家的要求。综摄法小组里必须有一位专家，他是会议讨论问题方面的权威，又称当事人，或问题拥有者。对专家的要求是，专家应该知道会议讨论的目的，及时从组员的设想中寻找启发，同时有能力使解决方案付诸实施，成为现实。

3) 小组成员的要求。小组成员应该互相激励，互相帮助，互相协作，密切配合，他们大多数与会议主题没有多大关系，包括社会学家、心理学家、数学家、艺术家、音乐家、建筑学家、医学家等。要体现出跨学科、跨专业，这样有利于抛开问题，大胆类比设想。

(2) 提出问题 一般由主持人将所要研讨的事物和创造的对象以及相关的事项向小组的成员宣读。这一问题往往是预先拟定的，而且小组成员并不知晓。

(3) 分析问题 专家对该问题进行解释和陈述，目的是让小组成员了解有关问题的背景等信息，并进行初步分析和简单评议，使非专业人员对该问题有一个大致的理解。

(4) 净化问题 小组成员围绕这一问题进行类比设想，尽可能多地提出解决问题的方法，专家从较专业的领域，说出该想法的不足之处，选择两三个比较有利于问题解决的设想，达到净化问题的目的。

(5) 理解问题——确定解决问题的目标 从所选择的设想中的某一部分开始分析，让小组成员从新的问题出发，展开类比联想，陈述观点。这样做可以使小组成员理解解决问题的关键环节，并提出解决问题的目标。

(6) 类比灵活运用 确定了解决问题的关键环节。主持人要有意识地抛开原来的问题，让小组成员发挥类比设想作用，把问题从我们熟悉的领域转到远离问题的领域。从各位成员的类比中，选出可以用于实现解决问题的类比，对选出的类比进行分析研究，从类比的例子中找出更详细的启示。

(7) 适应目标 远离问题不是根本目的，是为了到陌生的领域去寻找有利于问题解决的启示。把从类比中得到的启示，与在现实中能使用的设想结合起来，从而形成一种新颖独特的解决方法。

(8) 方案的确定与改进 专家对于方案要进行反复的论证，并对其中的缺

陷进行改进，直到取得满意的结果。需要指出，在上述环节中，隐喻、移情和类比等可以起到变熟悉为陌生的作用，因而它们可以使人们的思维范围得到扩展，使人们的思维角度得到改变。

1) 隐喻。所谓隐喻，是一种隐含在内的比较。这种比较通常可以同时引发有积极意义的智力振荡和情感波动。具体说来，隐喻包括比喻、象征和神话三个方面。

①比喻。简言之，比喻就是形象地形容某种事物。通过将人们熟悉的事物比喻成别的东西，比喻可以适当地拉开认识上的距离，从而达到变熟悉为陌生。在综摄法实施过程中，比喻之所以能引发人们智力上的激励作用，主要是因为它可以将两类只具有局部相似的事物作对比，并有意强调它们的一致性，从而使它们的属性互相给予。至于它们之间不相似的方面和属性，则会引起人们极大的关注，并连带产生智力上的振荡和情绪上的波动，进而使人们的认识功能发生新的变化。

由于比喻实际上是在迫使人们同时接受相关性较小或相关性很小的事物，并引导人们将这些事物进行比较和尽量想出它们的一致性，于是就给联想和顿悟的产生创造了条件。

例 4-16 随着人类生活方式和饮食习惯的变化，患动脉硬化的病人越来越多，并且医学界尚无有效的治疗方法。某医院一位负责做动物实验的医生发现，虽然实验用的猴子也吃富含高脂肪和高蛋白的食物，却从不会发生动脉硬化病变。一天，他感慨地说：“如果人长得像猴子一样，就不会得动脉硬化了。”

言者无意，听者有心，此君的这番话引发了另一位研究心血管疾病的医生的联想。猴子不得动脉硬化是否与它们的行为特性有关呢？在反复研究了猴子的生活习性和行为特点后，这位有心的医生发现，猴子不得动脉硬化的根本原因在于它们长期爬行的结果。于是该医生果断将爬行疗法引入到动脉硬化疾病的治疗过程中。由于这种行走方式既可减轻心脏负担，又可加快血液循环，还真收到一定的治疗效果。

②象征。所谓象征，是用具体的事物来表现某种特殊意义。在人类思维中，象征这种隐喻方式可以激发起人们对抽象概念的形象联想，并在形象联想中将相关性较小的事物进行比较，其实质是用形象思维来实现变熟悉为陌生，籍以产生新设想和新创意。

实际上，象征在人类生活中屡见不鲜，表述具体事物的词语或概念往往都具有象征意义。例如，“电”的英文词根是古希腊文“琥珀”的意思，因为电的首次产生是由毛皮与琥珀的摩擦所引起。又如英文词“Change”，包含“换尿布”和“变化”两个意思，因为在英国有一句谚语：“最想变化的人就是尿布已湿的婴儿”。当今社会，随着人类抽象思维和逻辑思维水平的提高，语言和文字都在日

趋抽象化，因而象征这种隐喻方式也就有了更广阔的用武之地。

象征在综摄法变熟悉为陌生过程中的能动作用，主要体现在象征物所带来的功能借鉴和意义参考方面。

例 4-17 传统的罐头食品虽然种类繁多、便于保存，但开启罐头则需专用工具，并花费一定气力。于是，有人将罐头想象为豆荚，以便借鉴其开合功能。豆荚的形状和结构十分特殊，在中间有一条凹痕，当人们沿着凹痕轻轻一挤，就可将其一分为二取出里面的豆粒。通过这种象征物的功能启发作用，人们发明了预先制有凹痕的罐头，由于凹痕处的强度较低，且在位置适合处装有拉环，因此人们不需专用工具，只需用手钩住拉环。轻轻拉扯，就可开启罐头。

③神话。所谓神话，是指人们对自然现象和社会生活的一种天真的解释和美丽的向往。它是隐喻的一种高级形式，神话与迷信不同，具有积极的浪漫主义精神。

通过将现实事物神圣化和夸张化，神话用人们的美好愿望和高度想象力赋予现实事物神奇的力量，使其完全脱离原有技术原理等方面的限制，将熟悉变陌生，进而导致思维创新。

例如，在脍炙人口的阿拉伯神话故事“阿里巴巴和四十大盗”中，当阿里巴巴念动咒语“芝麻开门”时，坚固厚重的宝库大门就会应声而开。当人们将这段匪夷所思的神话来指导自己的发明创造时，调整了设计思路，更改了设计原理，于是发明创造出各种声控门、声控锁和声控灯，使人们的物质生活更添光彩。

2) 移情。所谓移情就是拟人化和人格化。这是一种将人的情感和特性归属到非人的事物上，借以开拓思维角度的思维方式。它使人亲身卷入事物的发展过程中，设身处地从人自己的角度去理解和思考这些过程，并力求获得对新事物的新认识。

例 4-18 西红柿是人们喜爱已久的一种蔬菜，在世界范围内都获得广泛地种植。但大面积种植西红柿却带来收获难的问题。由于采用人工采摘的方式，既费时又费力，容易延误最佳收获日期，也容易增加生产成本，因而人们自然而然地选择了机械采摘的方式。

但采用机械进行采摘，则会因西红柿大小不一、形状有别、肉薄质软而造成破损。怎样才能使西红柿在采摘时不发生破损呢？起初，人们都在改进采摘设备上大做文章，结果收效并不大。于是，一位发明家进行拟人化思考，将自己想象成西红柿，并设想如何才能做到不怕冲击、减少破损。他联想到，如果自已是一个胖子，则将皮厚肉多，抗冲击的能力定会有所提高。接着，他又将自已由西红柿变回正常人，思考如何才能使西红柿长得肉够厚、质够硬。在克服了一系列具体问题之后，他终于培育出一种适合机械采摘的西红柿新品种。

4. 综摄法的实施注意事项

在运用综摄法的过程中，不一定完全照搬上述8个步骤，关键是灵活运用类比技巧，同时注意以下4个问题：

第一，由不同知识背景的人组成讨论小组，相互启发，集体攻关，特别是对主持人和专家的要求较高，必须选择合适的人来担当。小组的其他成员需要多种学科、多种专业，这样才能大胆类比设想，变熟悉为陌生，在广阔的领域内展开问题，解决问题。如美国在“9.11”后反恐策略的制订中，将好莱坞的著名导演们请来，让他们充分发挥艺术创想，为反恐提供思路。

第二，专家对所要解决问题的陈述，不能过于详尽，防止让大家的思维囿于一定的范围，而影响问题的展开。

第三，在净化问题和确定解决问题的目标的过程中，既要发挥民主，让小组成员尽可能多地提出设想，又要体现集中，专家要从中选择两三个设想，作为进一步讨论的出发点，所选择的设想，不应该是显而易见的、合乎情理的，而应该是新奇的、独特的构思。

第四，专家要及时发现有益于问题解决的启示，只有专家更清楚启示与目标的距离，从而达到变熟悉为陌生。

必须指出，企业人员在运用综摄法进行具体创造时，开始阶段不要把问题全部摊开，应该通过提问和提供资料进行启发和诱导，使与会者不受干扰、不受拘束地发表意见，直至产生一系列创造性设想。然后再披露创造的主题，引导全组成员针对创造主题的目标要求，提出各种各样的创造性方案，并开展如何具体化、实施化的细致讨论。

例 4-19 前苏联军队出奇制胜占领捷克斯洛伐克的事件。

(1) 提出问题 “如何将部队空运到捷克斯洛伐克，而不被捷克斯洛伐克和北约国家发现。”

(2) 分析问题 “苏军要出奇制胜占领捷克斯洛伐克，需要将部队空运到捷克，而不被捷克和北约国家的雷达系统发现，那么如何避开捷克和北约国家的雷达系统。”

(3) 净化问题 “雷达是靠物体的反射波发现物体，如果物体把雷达发射的无线电波全部吸收或完全被穿透，雷达就接收不到反射波。而完全被雷达波穿透的材料还没有研究出来，这种方法目前无法实施。人的眼睛是靠物体表面反射的光线来看清物体的，和雷达发现物体的原理基本相似，那么人眼不能看见哪种情况下的物体？（直接类比）人眼看不到被别的物体遮挡住的物体。飞机如果在一个很大的物体上面飞行，雷达波被那个物体反射回去了，飞机就不会被发现。怎样才能在空中设置一个很大的完全反射雷达波的物体呢？”

(4) 确定解决目标 “天空中的云层可以遮住人的视线，而使人不能发现云

层上的物体”（直接类比），“我感觉我就是一架飞机，在一层厚厚的云上飞过”（拟人类比），“云层能遮住人的视线，但不是完全反射雷达波，雷达仍能发现飞机。应该制造一种能完全反射雷达波的人造云层。”

（5）类比的灵活运用 “镜子反射光线的作用最强，是因为镜子上镀了一层金属”（直接类比），“我就是一面镜子，把雷达波全部反射回去”（拟人类比），“神仙把云层变得像一面镜子”（幻想类比），得到启示：给云层上镀一层金属。

（6）适应目标 “云层是由水蒸气和尘埃等微粒构成的。可以人工造出来似云的气悬体，将气悬体中的微粒表面镀金属层制成了能反射雷达波的人工云层。”

（7）方案的确定 在进攻方向的上方，布设一个巨大的“人造云层”，飞机便在“人造云层”的安全走廊上通过。

该案例中使用的类比形式比较多，包括直接类比、拟人类比、幻想类比等。这表明以类比为基础在进行联系时，可以是多种形式的联系。但是，不论找到比较对象是采用了哪种类比，都要围绕目标进行。

4.4.3 基本类比技法

在类比技法中，有一些理论体系性不强，突出个体创造，常广泛使用的基本类比技法，如原型启发法、移植法、仿生法等。下面分别进行介绍。

1. 原型启发法

原型启发法是一种最为笼统的类比方法，也称垫脚石法，是指通过观察找到原型，在原型的引发下，产生创新设想的技法。

启发是指在某种刺激物的作用下形成新设想的心理活动，它是以相似联想为基础的。创造性的思维活动就像江河，可以奔流不息，创造性思维是一种复杂的脑力活动，往往有“山重水复疑无路，柳暗花明又一村”的感觉，因此启发带有偶然性、机遇性，需要有一定的条件：

第一，有强烈的创新欲望。这样才能提高接受启发的敏感性。

第二，明确问题的实质，以鉴别把握可能得到的启发。

第三，增加信息量，扩大知识面，为启发创造更多机会。跨学科的研究者常常能做出突破性的贡献，因为事物之间的相似点越少，所发明物的意义就越大。

第四，大胆猜测事物之间可能的联系，寻找启发的原型。

（1）原型启发的原理和特点 原型启发法是根据人的创造思维和运行方式，将偶然遇到的某些事物，经过观察和分析，突然间启发出灵感。它是以创新欲望为前提，以类比为基础而进行的一种创造活动。

原型启发法的特点是；

1) 在原型启发之前,有时创造者的目标并没有确定。有时虽然确定了目标,但不是在有意识地寻找下才发现原型。

2) 原型启发法强调的是启发,启发只是一个垫脚石,并不是要求启发物与发明物之间有明显的严格的相似关系。

(2) 原型启发法的例析

例 4-20 人工降雪滑雪场的发明。美国英霍克山有一个滑雪场,管理人员常因为降雪不足而失望。他们听到这样一个事情:美国佛罗里达州的一片橘林,天未降雪,树枝树叶上厚厚地盖上一层白雪,原来是该橘园采用了喷灌技术,喷出的水雾在空中受冷就凝结成雪雾。由此得到启发,制造了特殊的“喷雪枪”,在美国各地迅速出现了数百家人工降雪滑雪场。

例 4-21 近视眼治疗方法的研究。在俄罗斯,有一位近视眼患者不小心刺伤了自己的眼睛。医生检查后,发现他的眼睛角膜划伤了几处,经过敷药治疗,伤口痊愈。检查视力时,发现近视程度大为减轻。眼科医生猜想也许恰当的划伤可以改变眼睛的屈光度。于是经过反复试验,终于摸索出了治疗近现眼的方法。

例 4-22 神功元气袋的发明。中药可以治病,但熬制起来很麻烦。中国咸阳中医研究院来辉武教授,根据人体穴位和皮肤可以吸收药物的原理,受民间小儿经常戴肚兜防胃肠疾病这一方法的启发,发明了内病外治的 505 神功元气袋,后来在此基础上又研制出保健药枕、保健护膝等多种保健产品,畅销国内外市场。

例 4-23 蜂窝煤的发明。人们早就知道这么一个现象,火炉或者灶火里的火燃烧不旺时,只要拿根铁棍拨一拨,火苗就顺着拨开的洞眼窜出来,火一下子就旺了起来。这个现象一直没有点醒人们的创造思想。直到 20 世纪初,中国山东的一个炊事员,受这一现象启发,用煤粉捏了几个煤球,然后在上面均匀地戳出几个通孔,这样火烧得旺,而且很节约煤。蜂窝煤就这样发明了。

以上四个例子告诉我们,有利于发明创造的现象是常有的,发现或者知道这些现象的人很多,从发现而受到启发的人却很少。差别在于发明创造者是生活中的有心人,他们不轻易放过在别人看来微不足道的现象,并及时、敏锐地把它同发明联系起来,进行创造性思考。他们发现的是很普通的现象,从中创造出来的却是前所未有的新事物。

总之,原型启发是一种笼统的类比法,没有完善的理论体系,只是根据人创造思维的偶然性活动,从事物的特征、形状、颜色、结构和功能等获得启发,进行创造活动。因而,创造发明的成功率较低,且必须以原型为基础。但该方法理论要求不高,易于被接受,所以仍然是一种比较常用的创造技法。

2. 移植法

移植法就是将某个领域的原理、方法等引用和渗透到其他领域,用以改造旧事物或创造新事物,所以移植法又称“渗透法”。

(1) 移植法的原理和特点 移植的原意是指把播种在苗床或秧田里的幼苗拔起或连土掘起种在地里或其他地方。医学上的移植则指特有机体的一部分组织和器官补在同一机体或另一机体的缺陷部分上,使它逐渐得到修复。

移植法是一种侧向思维方法。英国剑桥大学教授贝弗里奇说:“移植是科学发展的一种主要方法。大多数的发现都可以应用于所在领域以外的领域,而应用于新的领域时,往往有助于促成进一步的发现。”

现代科学的发展,是学科与学科之间的概念、理论、方法等相互转移、相互渗透,从而产生新的学科、新的理论、新的事物和新的成果的过程。这是现代科技突飞猛进的巨大动力之一。因此,移植法是一种应用极广的创造技法。移植法采用“拿来主义”,把已经成熟的技术,特别是新科技成果移植到新的领域,就容易使我们绕过重复思考、重复研究的泥坑,迅速实现所要达到的目的。

移植法和原型启发法相比,是更为具体的类比,其发明物与利用物之间有明显的相似之处,而且移植前,发明者有明确的目标,即移植的方向,从目标出发来寻找欲移植的对象。

(2) 移植法有效运用的必要条件 移植法的运用比较容易理解和联系,但是,移植并不是毫无目的和条件地进行,它需要满足一定的条件,以保障技术的可实现和创造性。移植法有效运用的条件有:

1) 用传统方法难以找到理想的设计方案或解决问题的设想,或者利用本专业领域的技术知识根本无法找到出路。

2) 其他技术领域存在解决相似或相近问题的方式、方法。

3) 对移植的结果能否保证系统整体的新颖、先进和实用性有一个基本的估计或肯定性的判断。

这三个条件,在运用移植法进行创造的时候必须具备,否则移植工作将无任何意义。

例 4-24 花罐头的发明。

发明花罐头的人,是日本的一个家庭妇女叫富田惠子。有一天,她的一位邻友去西欧度假,临走时,把家中的几盆花托她代养。由于没有养花经验,浇水施肥又不得法,可惜这几盆花竟落得枝枯花落的下场。

“怎样才能使外行也能养好花呢?”这个想法一直在富田脑海中萦绕着。

有一天,她在超市选购罐头时,忽然想到一个奇怪的念头:“能否把花草和罐头结合在一起呢?如果能像罐头一样,只要打开里面放有花籽、泥土和肥料的罐头,每天只要往里浇点水,外行也会种出艳丽的花朵来该有多好啊!”

她高兴极了,顾不上仔细挑选商品就急急忙忙回家研究“花罐头”了。富田惠子在家人和朋友的帮助下,终于研制出人人都可培养各种花卉的“花罐头”。

该例中的发明人由于已经有一个初步的目标,所以她一直带着问题来寻找发明的方法,受食品罐头的启发,她将食品的原理移植到养花中发明了花罐头。这种受外形启发而想到原理最终通过移植发明创造的例子比较普遍,重要的是能够投入地思考问题并多想一步。

(3) 移植法的种类

1) 原理移植。技术原理本身都带有一定的普遍性和通用性,因此可以根据不同的要求和目的作移植创造。

例 4-25 激光的移植。

1960 年 5 月 15 日,美国加利福尼亚州休斯实验室科学家梅曼获得了波长为 694.3nm 的激光,同年 7 月 7 日,世界上第一台激光器诞生。激光的特性有:亮度极高,颜色单纯(因为波长一致);相干性强(因为频率、相位、传播方向相同),方向统一,严格按照单一方向发射,散开的程度很小,通过凸透镜后能高度集中。因此,激光被广泛应用到工业、农业、军事等各个领域。医学上的激光治疗仪、军事上的激光干扰武器、激光致盲武器和激光半导武器等,都是将激光发生器与相应的设备相结合而创造出的新仪器。

例 4-26 在修补沥青路面时,常需将原有的沥青烤软,但用红外线加热或烧烤的方法均只对表面有效,难以使内部软化。在日常的生活中,人们利用微波炉却可以将食品内部迅速加热。于是,将微波技术移植到筑路机上,就可以达到修补路面时的软化目的,解决了筑路中的特定问题。

例 4-27 巴斯德发表了关于有机物腐败和发酵的研究成果后,一位英国籍医生恍然大悟,他想,这个原理可以移植到外科手术上去。他认为有机物腐败和发酵是由于外来的细菌感染,而外科手术病人伤口的化脓和溃烂也是外来细菌感染的结果。于是,他采取石碳酸消毒的办法,终于在 1865 年发明了无菌手术法,这个方法使得外科手术病人的死亡率从 80% 以上降低到 15%。

2) 结构移植。物体的特定结构往往对其功能的实现具有重要的作用,如果将不同物体的结构移植、渗透,就有可能产生新的事物。如有人将胃窥镜这种医疗器械用在树木病虫害的探查上,把胃窥镜伸入树洞中观察,取得很好的效果,这就是结构整体的移植运用。

例 4-28 如弓弩是古代作战或打猎的工具,将弓弩的结构移植到现代兵器中,就成了一种杀伤性很强的武器——箭,用锌铬合金制成,弩上装有可变焦的瞄准镜,这种武器在 300 米以内能像步枪一样准确地射杀目标却悄然无声。

例 4-29 中药煎熬时,需要文火久煎,药液沸腾后总有药液从罐口往外溢。一位中医师移植了泡菜坛子的上口周围有水封槽的结构,把煎药罐做成泡菜坛子水封槽式样,槽里有一个小孔通向罐内,药液外溢流到槽里后,能沿小孔流回到罐内。

例 4-30 日本有位长井先生很喜欢动脑筋。一天中午，他拿着一把大锯准备去修地板，走到走廊的拐弯处时，忽然跑出来一个小女孩，他来不及躲避，竟锯伤了那个女孩的手臂（出了意外事故）。长井先生很过意不去，他想：拿着裸露锯齿的锯子在走廊上走实在太不安全了。类似这样的事可能发生过很多次吧？难道就不能造一把不会伤害人的锯子吗（敏锐地抓住不便、确定发明课题）？从那时起，他时时刻刻都在想着这个问题（长期探索）。

有一天，他一边削铅笔，一边下意识地想起那个问题（有准备的头脑），在削好铅笔把刀刃折叠起来的一瞬间，他的脑际竟闪烁出一种灵感：对了，像这种可折叠的刀子一样，不用时把锯子刃折叠起来不就好了吗（在外界事物的刺激下突然产生了灵感）？

他马上回家制作了一个折叠式锯柄，使用起来和普通的锯子差不多。后来，他申请了专利，建起了工厂，开始批量生产安全锯子。

3) 方法移植。科学研究每提出一种新的理论，技术创造每完成一项新发明，都伴随着方法上的更新和突破。

例 4-31 17 世纪的笛卡尔是科学方法移植的先驱。他以高度的想象力，以曲线上“点的运动”为出发点，把代数方法移植到几何领域，使代数、几何融为一体，从而创立了解析几何。

例 4-32 通过发酵蒸制或烤制的面包松软可口，这种发酵技术中的关键是发泡方法。美国人将发泡方法移植到橡胶生产中，发明了橡胶海绵；德国工程师将发泡方法移植于塑料加工中，发明了泡沫塑料；日本人铃木信一博士将发泡方法移植到水泥制品的生产中，发明了发泡混凝土预制品，广泛用做高层建筑和隔声保暖材料。有一家食品厂把这种发泡的方法运用到冰淇淋的制作中，向冰淇淋中吹入微小气泡，使冰淇淋变得体积膨大、松软异常。

例 4-33 拉链的发明曾被誉为影响现代生活的最重要的 10 项发明之一。这项发明是一位叫卡特逊的人为解除系鞋带的麻烦而想到的。1893 年他取得了专利权，并在“哥伦比亚博览会”上展出。这项发明一下子吸引住一位叫霍克的年轻军官。他决定建一个拉链厂，并雇用了卡特逊。没想到拉链机的组装并非易事，卡特逊畏难而罢休。霍克经过 19 年的周折，装好了拉链机，却没有人想用这东西做鞋带。这说明想到运用移植法是不容易的。但是后来，有家服装店的老板，把拉链移植到围腰式钱包上，一下子生意兴隆了。他又把拉链用到飞行服上，卖给了空军，很受欢迎。1930 年法国经济不景气，什么产品都不好销，而服装设计师大巴列夫却因将拉链用在女式外套上而畅销市场。另一家服装店老板因为将拉链用在裤子上，而使该店经营活跃起来。霍克花了 19 年时间完成的发明，却因没有找到合适的用途而没有销路。而这些服装厂巧妙地把这项技术移植到服装的某些部位，实现了服装制作的革新，振兴了经济。可见灵活、有效地移

植是多么的富有价值。

4) 材料移植。产品的材料对产品的价值、功能和制造成本具有决定性的影响,通过将不同的材料移植于特定的产品,可以达到创新的目的。

例 4-34 现代社会塑料的使用非常普遍,2000 年英国研制出了世界上第一辆塑料坦克。这种坦克以塑料和玻璃纤维取代钢来制造外壳,不但轻巧,能以飞机运载,而且具有避开雷达的隐形功能。此外,塑料本身的制作材料也可以通过移植来创新,使其更体现出多样化的特征。亚硫酸锌具有白天吸收光线、夜间发光的特性。有人根据这一特点,将其加入塑料的生产,得到了夜光塑料,用来制造电器开关和夜光工艺品。

移植法是科学研究中一种简便、有效的方法,它理论简单、易于掌握,不足之处是必须要有移植的原型。在实际移植法的运用过程中,如将各移植方法综合使用,往往会收到更好的效果。

例 4-35 上海市五十一中小发明组连鑫等同学发明充气太阳灶。他们把充气玩具的技术、日常商品的不干胶贴片,移植到太阳灶上来;把课本上的知识:帕斯卡原理移植到新型太阳灶的设计中去,采用了原理、技术、原料的多种移植方法。他们在确定课题后,一天在儿童玩具店玩,看见了充气玩具——救生圈,它充气后就鼓胀成一个大圆圈。他们想,假如将两片圆形塑料薄膜边缘粘结,充气后会不会膨胀成一个抛物面呢?如果可以,抛物面的加工量可大大减少,而且又轻。试验结果,充气后在底面贴上真空镀铝涤纶不干胶片,结果得到手掌般大小的聚焦斑点,很烫。他们又想到,帕斯卡原理讲到,在密闭的容器里,器壁受到的气体的压强是均匀的。既然如此,它形成的抛物面肯定是均匀的,聚焦效果更好。后来他们又用塑料管和铝合金管加工后成框架、支架,无基板充气太阳灶就创造出来了。这个充气太阳灶的核心气囊的底面上贴有反射膜,利用充气压力使底面形成很好的聚光反射镜,把阳光聚集在锅底上。气囊的上面是一层透明塑料膜,可以防尘、防水,保护反射膜。这种充气太阳灶很轻,只有 4kg,用料又省,镜面工艺简单,造价只有相同功率的其他形式太阳灶的 20% 左右。

3. 仿生法

仿生,简单地讲就是用人造装置对有生命物质进行模拟。广义地,仿生技术可概括为模拟生物系统的信息加工、能量转换和力学结构,用以改进或建造工程技术系统。仿生法是指通过模拟生物的结构、功能或原理等而进行发明创造的方法。

(1) 仿生法的原理 仿生法的运用以人类对生物界的不断认识为基础,也在不断地发展之中,生物原型已成为现代发明的源泉。其理由是:生物在自然进化中,经历了亿万年的筛选、淘汰和改进,通过自然选择,每种能够生存的生物都有别的生物所不具备的特点和功能,这些特点和功能便成为人们创造活动模仿

的对象。如蝙蝠可以发出和听到超声波,狗的鼻子可以感觉出 200 万种物质和不同浓度的气味,等等,这些功能都已被人类所认识和利用。随着科学技术的发展,自然界中生物系统的这些奇妙功能越来越为人类所认识和把握,向生物索取启迪,是现代发明创造的一个重要趋势。

(2) 仿生法的实施步骤 仿生法的模仿对象主要是生物体,它是一种以生物为比较对象的具体的类比法。其实施的步骤为:

- 1) 明确发明创造物的功能。
- 2) 选择模仿的对象。根据自然界的生物学知识,通过类比联想,寻找与目标功能相似的生物体,有目的地选择模拟对象。
- 3) 研究生物体的结构、功能等。
- 4) 将研究所得的生物学资料,运用数学分析抽象成通用的数学模型,再采用机械、电子、化学等手段制成可进行工程技术实验的实物模型。

(3) 仿生法分类 仿生技术研究的内容非常广泛,大致有信息仿生、控制仿生、力学仿生、化学仿生及医学仿生这五个方面。

1) 信息仿生。信息仿生包括感官仿生,细胞内和细胞间通信、动物间通信仿生,以及智能仿生等方面。在昆虫仿生学中,信息仿生主要是模仿昆虫的感觉器官进行信息的收集与加工,具有这种功能的装置我们称之为仿生传感器。目前的仿生传感器模仿昆虫的视觉和嗅觉的居多。

例 4-36 科学家们根据昆虫单复眼的构造特点,造出了大屏幕彩电,又可将一台台小彩电荧光屏组成一个大画面,且可在同一屏幕上任意位置框出某几个特定的小画面,既可播映相同的画面,又可播映不同的画面;根据昆虫复眼的结构特点研制成功的多孔径光学系统装置,更易于搜索到目标,已在国外一些重要武器系统中应用。根据某些水生昆虫组成复眼的单眼之间相互抑制的原理,制成的侧抑制电子模型,用于各类摄影系统,拍出的照片可增强图像边缘反差和突出轮廓,还可用来提高雷达的显示灵敏度,也可用于文字和图片识别系统的预处理工作。美国利用昆虫复眼加工信息及定向导航原理,研制了具有很大实用价值的仿昆虫复眼的末制导引头的工程模型。

当然也有利用昆虫其他感觉器官的仿生传感器。科研人员研究一种名为 *Melanophila* 的甲虫,它能遥感 50km 以外森林火灾引起的红外辐射。这种甲虫会群聚在森林火灾附近,在树皮内侧产卵。研究人员发现,这种甲虫具有一种独特的结构,帮助它们探测红外辐射。这种甲虫翅膀下的碟式结构包含 70 个很小的洋葱状结构,能起到红外传感器的作用。科研人员复制和改进这种天然的压电晶体传感器结构,以便制造出一种无需专门冷却、却可室温下工作的红外探测器。

2) 控制仿生。控制仿生包括体内稳态调控、肢体运动控制、动物的定向导航、生态系统的涨落等。

例 4-37 控制仿生最早应用在航天事业中，用来调节人造卫星的温度。人造卫星在太空中由于位置的不断变化可引起温度骤然变化，有时温差可高达两三百摄氏度，严重影响许多仪器的正常工作。科学家们受蝴蝶身上的鳞片会随阳光的照射方向自动变换角度而调节体温的启发，将人造卫星的控温系统制成了叶片正反两面辐射、散热能力相差很大的百叶窗样式，在每扇窗的转动位置安装有对温度敏感的金属丝，随温度变化可调节窗的开合，从而保持了人造卫星内部温度的恒定，解决了航天事业中的一大难题。

例 4-38 轮子的滚动被认为是效率最高的运动形式，已经有悠久的历史。正因为如此，老一代的机器人大多是靠轮子作上下、前后、左右的机械运动。虽然近年来一些科学家提出“类人机器人”这一新的机器人的发展趋势，但为什么要用两条腿交替行走代替轮子的滚动？前者是否有优势，其优势又在哪儿等，一直是科学家所关心的问题。美国加州大学伯克利分校波利-佩达尔实验室的罗伯特·菲尔教授希望通过研究昆虫的运动方式，找出这些问题的答案。他发现所有的生物，从人类到蟑螂，它们的行走方式都是相同的。但它们并不滚动，而是双足或多足交替行走。罗伯特教授指出，这种交替行走的方式之所以被所有的生物采纳，是因为它具有明显的优势，那就是灵活自我操控能力。通过观察表明，当动物跑过复杂地形时，会对遇到的干扰进行自我调整。这对于用轮子前行的机器人而言，就很难做到。研究人员所做的试验之一就是，将蟑螂放在运动的平板传送带上，观察它的运动方式。结果发现，蟑螂运动时，总是三条腿为一组，交替前行。斯坦福大学的马克·库特科斯基教授说：“对我而言，最有意思的是当你去抓昆虫的时候，它们跑得非常快，例如蟑螂的逃跑速度就非常快，当它快速逃窜时，根本不用思考。蟑螂长了六条腿，而六条腿的分布形式允许它这样运动。人们从中学到的是，在细节上如何让机器人绕过障碍物快速运动，同时不需要复杂的控制系统。”通过对蟑螂的模仿，马克的研究小组研制出了仿生机器人，或者更形象地说——机器蟑螂“斯普罗利塔”。它不但有六条腿，在外形上也与蟑螂相似。马克还使用了一些自然界中能够灵活变形的材料，让“斯普罗利塔”从行动上更像昆虫。其实，“斯普罗利塔”并不是唯一的“仿蟑螂”机器人，美国麦吉尔大学的机器人“莱科斯”同样“长”了六条灵活的腿，它不但可以跨越障碍，而且行动更快速，每秒可以行走 3m。科研人员表示，依照目前研究的结果，他们有信心制造出新一代操控灵活的仿蟑螂机器人用来从事搜寻、援救这些任务。当有地震或恐怖袭击或紧急事件发生时，一批这样的机器人可以快速出击，并在任何地方灵活快捷地锁定目标。

3) 力学仿生。力学仿生主要是关于动物飞行、运动动力学的研究。力学仿生主要应用于航空航天事业。

例 4-39 蜻蜓通过翅膀振动可产生不同于周围大气的局部不稳定气流，并利

用气流产生的涡流来使自己上升。蜻蜓能在很小的推力下翱翔，不但可向前飞行，还能向后和左右两侧飞行，其向前飞行速度可达 72km/h。此外，蜻蜓的飞行行为简单，仅靠两对翅膀不停地拍打。科学家据此结构基础研制成功了直升飞机。飞机在高速飞行时，常会引起剧烈振动，甚至有时会折断机翼而引起飞机失事。蜻蜓依靠加重的翅痣在高速飞行时安然无恙，于是人们仿效蜻蜓在飞机的两翼加上了平衡重锤，解决了因高速飞行而引起振动这个令人棘手的问题。

例 4-40 家蝇的特别之处在于它的快速的飞行技术，这使得它很难被人类抓住。即使在它的后面也很难接近它。它设想到了每一种情况，非常小心，并能快速移动。那么，它是怎么做到的呢？昆虫学家研究发现，苍蝇的后翅退化成一一对平衡棒。当它飞行时，平衡棒以一定的频率进行机械振动，可以调节翅膀的运动方向，是保持苍蝇身体平衡的导航仪。科学家据此原理研制成一代新型导航仪——振动陀螺仪，大大改进了飞机的飞行性能，可使飞机自动停止危险的滚翻飞行，在机体强烈倾斜时还能自动恢复平衡，即使是飞机在最复杂的急转弯时也万无一失。跳蚤的跳跃本领十分高强，航空专家对此进行了大量研究，英国一飞机制造公司从其垂直起跳的方式受到启发，成功制造出了一种几乎能垂直起落的鹞式飞机。

4) 化学仿生。化学仿生主要研究生物体内一些特殊的化学过程，以便使这些过程也能在工业中实现。化学仿生最早应用于军事。

例 4-41 甲虫自卫时，可喷射出具有恶臭的高温液体“炮弹”，以迷惑、刺激和惊吓敌害。科学家将其解剖后发现甲虫体内有 3 个小室，分别储有二元酚溶液、双氧水和生物酶。二元酚和双氧水流到第三小室与生物酶混合发生化学反应，瞬间就成为 100℃ 的毒液，并迅速射出。这种原理目前已应用于军事技术中。二战期间，德国纳粹为了战争的需要，据此机理制造出了一种功率极大且性能安全可靠的新型发动机，安装在飞航式导弹上，使之飞行速度加快，安全稳定，命中率提高，英国伦敦在受其轰炸时损失惨重。美国军事专家受甲虫喷射原理的启发研制出了先进的二元化武器。这种武器将两种或多种能产生毒剂的化学物质分装在两个隔开的容器中，炮弹发射后隔膜破裂，两种毒剂中间体在弹体飞行的 8 ~ 10s 内混合并发生反应，在到达目标的瞬间生成致命的毒剂以杀伤敌人。它们易于生产、储存、运输，安全且不易失效。

例 4-42 萤火虫可将化学能直接转变成光能，且转化效率达 100%，而普通电灯的发光效率只有 6%。人们模仿萤火虫的发光原理制成的冷光源可将发光效率提高十几倍，大大节约了能量。

尽管人类在文明进化中不断从生物界受到新的启示，但仿生学的诞生，一般以 1960 年全美第一届仿生学讨论会的召开为标志。由于生物系统的复杂性，搞清某种生物系统的机制需要相当长的研究周期，而且解决实际问题需要多学科长

时间的密切协作，这是限制仿生学发展速度的主要原因。最广泛地运用类比、模拟和模型方法是仿生学研究方法的突出特点。其目的不在于直接复制每一个细节，而是要理解生物系统的工作原理，以实现特定功能为中心目的。一般认为，在仿生学研究中存在下列三个相关的方面：生物原型、数学模型和硬件模型。前者是基础，后者是目的，而数学模型则是两者之间必不可少的桥梁。

下面再举几个较典型的利用仿生法实现发明创造的例子。

例 4-43 我国首台蛇形机器人的研制。

目的是制造生物机器人，能够在有辐射、粉尘、有毒环境下及战场上执行侦察任务，在地震、塌方及火灾后的废墟中寻找伤员，在狭小和危险环境中探测和疏通管道等。

在一次《动物世界》栏目播放的介绍蛇的节目中研究人员对蛇的特殊生理结构和运动方式产生了兴趣，有了模拟蛇的想法。随后潜心钻研有关蛇的书籍，研究蛇的运动方式，利用机械学知识设计蛇形机器人的机械结构，用电子学知识设计硬件电路和软件程序，用数学知识进行数学建模和动力学分析，经过反复试验，终于成功地发明了蛇形机器人。

例 4-44 人们发现名为“独角仙”的动物有这样一种能力，当看到在地面爬行的物体时，能测知它在地面移动的速度。通过对“独角仙”感觉器官的研究，人们发明了飞机用的速度计；人们发现金枪鱼和电鳗能发出功率强达几千瓦的电力，能使体内的发电器官工作，并在自身周围产生电场，如电场中出现绝缘体与导体，都会引起电场紊乱，鱼就感受到这些现象。于是利用这一原理，人们研制出一种探测潜水艇位置的仪器。人们还可以利用这种原理探矿。

例 4-45 法国的约瑟夫·莫尼埃看到植物的盘根错节、交叉成网的根系，能使松软的泥土坚实牢固，于 1865 年，用铁丝仿照植物的根系织成网状构架，用水泥碎石经过合理的比例配方，浇制成钢筋混凝土；发明家布伦特找不到在深水处架桥的方法，有一次他看到蜘蛛吐丝拉网，以此为启发，发明了不需在深水处筑桥墩的吊桥。

例 4-46 苍蝇与宇宙飞船。

令人讨厌的苍蝇与宏伟的航天事业似乎风马牛不相及，但仿生学却把它们紧密地联系起来了。

苍蝇是声名狼藉的“逐臭之夫”，凡是腥臭污秽的地方，都有它们的踪迹。苍蝇的嗅觉特别灵敏，远在几千米外的气味也能嗅到。但是苍蝇并没有“鼻子”，它靠什么来充当嗅觉的呢？原来，苍蝇的“鼻子”——嗅觉感受器分布在头部的一对触角上。

每个“鼻子”只有一个“鼻孔”与外界相通，内含上百个嗅觉神经细胞。若有气味进入“鼻孔”，这些神经立即把气味刺激转变成神经电脉冲，送往大

脑。大脑根据不同气味物质所产生的神经电脉冲的不同，就可区别出不同气味的物质。因此，苍蝇的触角像是一台灵敏的气体分析仪。

仿生学家由此得到启发，根据苍蝇嗅觉器的结构和功能，仿制成功一种十分奇特的小型气体分析仪。这种仪器的“探头”不是金属，而是活的苍蝇。就是把非常纤细的微电极插到苍蝇的嗅觉神经上，将引导出来的神经电信号经电子线路放大后，送给分析器；分析器一经发现气味物质的信号，便能发出警报。这种仪器已经被安装在宇宙飞船的座舱里，用来检测舱内气体的成分。

这种小型气体分析仪，也可测量潜水艇和矿井里的有害气体。利用这种原理，还可用来改进计算机的输入装置和有关气体色层分析仪的结构原理中。

例 4-47 从萤火虫到人工冷光。

自从人类发明了电灯，生活变得方便、丰富多了。但电灯只能将电能的很少一部分转变成可见光，其余大部分都以热能的形式浪费掉了，而且电灯的热射线有害于人眼。那么，有没有只发光不发热的光源呢？人类又把目光投向了大自然。

在自然界中，有许多生物都能发光，如细菌、真菌、蠕虫、软体动物、甲壳动物、昆虫和鱼类等，而且这些动物发出的光都不产生热，所以又被称为“冷光”。

在众多的发光动物中，萤火虫是其中的一类。萤火虫约有 1500 种，它们发出的冷光的颜色有黄绿色、橙色，光的亮度也各不相同。萤火虫发出冷光不仅具有很高的发光效率，而且发出的冷光一般都很柔和，很适合人类的眼睛，光的强度也比较高。因此，生物光是一种人类理想的光。

科学家研究发现，萤火虫的发光器位于腹部。这个发光器由发光层、透明层和反射层三部分组成。发光层拥有几千个发光细胞，它们都含有荧光素和荧光酶两种物质。在荧光酶的作用下，荧光素在细胞内水分的参与下，与氧化合便发出荧光。萤火虫的发光，实质上是把化学能转变成光能的过程。

早在 20 世纪 40 年代，人们根据对萤火虫的研究，创造了日光灯，使人类的照明光源发生了很大变化。近年来，科学家先是从萤火虫的发光器中分离出了纯荧光素，后来又分离出了荧光酶，接着，又用化学方法人工合成了荧光素。由荧光素、荧光酶、ATP（三磷酸腺苷）和水混合而成的生物光源，可在充满爆炸性瓦斯的矿井中当闪光灯。由于这种光没有电源，不会产生磁场，因而可以在生物光源的照明下，做清除磁性水雷等工作。

现在，人们已能用掺和某些化学物质的方法得到类似生物光的冷光，作为安全照明用。

例 4-48 电鱼与伏特电池。

自然界中有许多生物都能产生电，仅仅是鱼类就有 500 余种。人们将这些能

放电的鱼，统称为“电鱼”。

各种电鱼放电的本领各不相同。放电能力最强的是电鳐、电鲛和电鳗。中等大小的电鳐能产生 70V 左右的电压，而非洲电鳐能产生的电压高达 220V；非洲电鲛能产生 350V 的电压；电鳗能产生 500V 的电压，有一种南美洲电鳗竟能产生高达 880V 的电压，称得上电击冠军，据说它能击毙像马那样的大动物。

电鱼放电的奥秘究竟在哪里？经过对电鱼的解剖研究，终于发现在电鱼体内有一种奇特的发电器官。这些发电器官是由许多叫电板或电盘的半透明的盘形细胞构成的。由于电鱼的种类不同，所以发电器官的形状、位置、电板数都不一样。电鳗的发电器官呈棱形，位于尾部脊椎两侧的肌肉中；电鳐的发电器官形似扁平的肾脏，排列在身体中线两侧，共有 200 万块电板；电鲛的发电器官起源于某种腺体，位于皮肤与肌肉之间，约有 500 万块电板。单个电板产生的电压很微弱，但由于电板很多，产生的电压就很大了。

电鱼这种非凡的本领，引起了人们极大的兴趣。19 世纪初，意大利物理学家伏特，以电鱼发电器官为模型，设计出世界上最早的伏打电池。因为这种电池是根据电鱼的天然发电器官设计的，所以把它叫做“人造电器官”。对电鱼的研究，还给人们这样的启示：如果能成功地模仿电鱼的发电器官，那么，船舶和潜水艇等的动力问题便能得到很好的解决。

例 4-49 水母的顺风耳。

“燕子低飞行将雨，蝉鸣雨中天放晴。”生物的行为与天气的变化有一定关系。沿海渔民都知道，生活在沿岸的鱼和水母成批地游向大海，就预示着风暴即将来临。

水母，又叫海蜇，是一种古老的腔肠动物，早在 5 亿年前，它就漂浮在海洋里了。这种低等动物有预测风暴的本能，每当风暴来临前，它就游向大海避难去了。

原来，在蓝色的海洋上，由空气和波浪摩擦而产生的次声波（频率为 8 ~ 13Hz），总是风暴来临的前奏曲。这种次声波人耳无法听到，小小的水母却很敏感。仿生学家发现，水母的耳朵的共振腔里长着一个细柄，柄上有个小球，球内有块小小的听石，当风暴前的次声波冲击水母耳中的听石时，听石就刺激球壁上的神经感受器，于是水母就听到了正在来临的风暴的隆隆声。

仿生学家仿照水母耳朵的结构和功能，设计了水母耳风暴预测仪，相当精确地模拟了水母感受次声波的器官。把这种仪器安装在舰船的前甲板上，当接受到风暴的次声波时，可令旋转 360° 的喇叭自行停止旋转，它所指的方向，就是风暴前进的方向；指示器上的读数即可告知风暴的强度。这种预测仪能提前 15h 对风暴作出预报，对航海和渔业的安全都有重要意义。

例 4-50 人造海豚皮的发明。

海豚在游泳时能轻而易举地超过快速航行的船只。原因在哪呢?科学研究表明,海豚不仅有一个理想的流线型体形,而且还有特殊的皮肤结构。海豚的皮肤分两层:外层薄而富有弹性,其下面是乳头层和刺状层。乳头下面有稠密的胶原纤维和弹性纤维联系,其间充满脂肪。海豚皮肤的这种结构有许多作用,从快速流动来说,它起消振器的作用,使水流引起的振动减弱,防止湍流的形成和液流的破坏。

人们依照海豚皮的这种功能和结构,研制成一种人造海豚皮,这种人造海豚皮由三层橡胶组成,表皮层平滑,厚约 0.5mm,起支持板的作用,它与船上的壳体连接。试验表明,把这种人造皮贴到鱼雷上时,鱼雷在水中的运动阻力至少减小 50%。

例 4-51 纸蜂窝墙板的发明。蜜蜂往往被称为昆虫界中的“建筑师”。这是因为它能在一昼夜中用少量的蜂蜡建造上千间生儿育女的蜂房。据说有一种黄蜂,它能用不到半两的蜂蜡,建起数十间整齐的蜂房。而人类建造房屋用的砖,每立方米的质量约有 1.8t 之多。看来,蜜蜂采用了“轻型材料”建房。依照蜂窝的结构,人们制成一种纸蜂窝墙板。纸蜂窝墙板是将厚约 2.5mm 的石棉水泥和纱管纸,按一定方法粘结起来的新型建筑材料。目前,这种材料不仅用于建筑业,而且可用来制造家具。用相同原理制成的高强度纸蜂窝墙板还应用于火箭和飞机机翼的制造中。

以上几个例子都是以生物为老师而获得创造发明的启示,在实际生活中这类例子枚不胜数。随着仿生学的不断发展,仿生学研究的内容不断扩大,包括电子仿生、控制仿生、机械仿生、化学仿生、医学仿生、建筑仿生等,仿生法的运用将更加广泛,人类社会的仿生产品将更加丰富多彩。

4.4.4 引申类比技法

由综摄法引申和演变的技法很多,具有代表性的技法有:等价变换法、中山正和法和中山-高桥法等。

1. 等价变换法

等价变换法,是一种人们根据事物之间客观存在的等价性,通过“去粗取精”和“由此及彼”的变换以实现发明创造的方法,它由日本创造学家市川龟久弥所创立。等价变换法与类比思考法有共同之处,即都是从事物的类比中发现可以再生、再现或再组合的科学原理,然后贯彻到新的研究对象或思考问题中,发明创造出新的概念或方案。但这两种方法又不完全相同,类比思考法的要点是通过比较,从异中求同和同中求异,进而产生新的见解;等价变换法的要点则是通过相互模拟和相互借鉴,进而产生联想来改变原来的研究对象,实现发明创造。该方法自市川龟久弥创立之后,在日本和其他国家产生很大影响,20 世纪

60年代,日本还成立了等价变换法研究会,对其进行了深入研究和全面改进,使之发展为理论基础较为牢固、实践方式较为科学、方法体系较为系统、辅助工具较为齐全的一种创造技法。由于该技法更为适应于对技术装置的模仿和改进,并具有良好的可操作性,因而十分适合日本、韩国、中国等国家的科学技术研发模式,成为在这些国家较为流行的发明创造技法之一。

(1) 等价变换法的原理 从本质上考察,等价变换法的理论基础是等价变换原理。该原理认为:自然界和人类社会各种事物之间的等价性(即相似性和共同性)并不仅限于形状、模样的相似和类别、属性的相同,而是具有更广泛的原理上的等价。事实上,无论是自然产物,还是技术产物,其存在与发展都符合马克思主义关于历史发展逻辑和规律的所谓“扬弃理论”,即任何新事物都不是凭空诞生或凭空发展的,是在原有事物的基础上进化、演变、改良、完善所得。特别是在发明创造领域。新事物并不是将旧事物一概推翻、彻底否定,而是舍弃其过时的、落后的、消极的东西,保留其积极的、合理的、科学的方面,并赋予其新的内容、新的秩序和新的形式。

市川龟久弥在长期的观察和研究中发现,整个自然界和人类社会普遍存在着等价性因素和等价性变换。例如,从幼蚕变成飞蛾、从桑叶变成吐丝,虽然前后的形态和性质发生了巨大的变化,但这些变化都发生在蚕本身的机体上,是蚕进行分解和组合的结果,是等价变换现象的真实体现。市川龟久弥正是基于这种发现创立了等价变换法。他认为,对于发明创造活动而言,新旧事物之间总存在某种等价关系,发明的实质和创造的核心就在于寻找并确定这种等价关系,并通过等价变换来抛弃旧事物落后的、不适应新需要的部分,演变出先进的、更适应新需要的方面。

实际上,与生物的进化过程相似,发明创造活动也需要经过由量变(继承)——质变(创新)——完成三个阶段。

例 4-52 从古代植物油或动物油油灯到近代煤油灯的发展历程可以看到(图 4-1),灯的形状、灯芯的形式以及附属装置的类型都有所不同,低级的形式逐渐抛弃自身,变为高级的、合理的、易用的形式,但它们都保留着共同的特征——原理相同,即它们都依靠毛细作用将燃料油传至灯芯顶部以供燃烧照明。

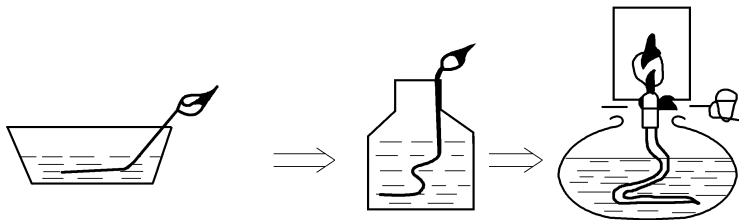


图 4-1 油灯进化示意图

根据上述原理，市川龟久弥建立等价变换方程式如下所示：

$$U_1 \longrightarrow A_0 \xrightarrow[\Sigma b]{\begin{matrix} \Sigma a \\ \uparrow C\varepsilon \end{matrix}} B$$

式中， U_1 表示给定的某种要求或目标； A_0 指已知事物，即发明创造的原型； $C\varepsilon$ 代表保留的有用部分，称作等价性构成要素（其中， ε 为事物本质，即等价因素； C 为 ε 的特征类型，具体界定 ε 的含义）； Σa 代表应予以抛弃的、落后的、不适应新需要的所有部分或所有特征； Σb 代表进行变换时应予以加入的、先进的、新事物所应具有的所有部分或所有特征； B 则表示发明创造出的新事物。

从上述公式可以看出，创造发明是一个不断进化的过程。例如火车的发展过程：最早的火车是瓦特发明蒸汽机以后，火车采用的是蒸汽动力，为蒸汽轮火车；随着电力的发展，出现了电力火车；随着磁场研究的深入，又发明了磁悬浮火车。从火车的发展来看，火车的基本结构和功能没有改变：都有机车车箱和一定的轨道，功能都是运送旅客和货物，但它的动力系统不断发生变化，速度和稳定性不断提高，速度由原来的 10km/h 到现在的 517km/h。

（2）等价变换法的运用程序 市川教授以等价变换理论为指导，将该理论变为可操作的、有一定运用程序的等价变换法，以指导实践。等价变换法的运用程序图如图 4-2 所示，以下结合机动船的发明来说明这个程序。

第一步，提出问题，确定目标。以前供游玩的小划艇的动力系统是靠双桨的，费时费力。因此，决定发明一种船的新式动力系统。

第二步，确定观点，分析问题，设定技术要求。分析问题要力求抓住问题的本质，找出解决问题的关键环节。分析问题可以从多角度、多侧面进行。因而就会产生多种技术要求。小划艇使用起来费时费力，可以改变船的体积或者船的形状，使船更轻巧，便于运动，也可改变桨的数量、质量，还可以改变其动力系统。从推动装置上提出技术要求如下：新式的小艇应具有机动的动力系统，且可控性好，质量小。

第三步，从设定的技术要求中，抽取出等价因素 ε 。等价因素 ε 是对技术要求的进一步简化、抽象化和概括化的结果，一般都是动词或动词词组。本例中可确定等价因素 ε 为“推动”。

第四步，找出能实现等价因素的现有的所有技术装置和技术手段（即 ΣA 集），这一步需要有创造性，尽可能发散思维，向多方面扩展，提出尽可能全面的多种类的能实现该等价因素的事物。本例中，各行各业中能实现推动作用的事物有电、蒸汽、汽油、柴油、风力（帆）、水流等。

第五步，从所有这些事物 ΣA 集中选出最合适的一个事物 A_0 。本例中因发明

者本人开了一家生产小型内燃机的公司，因此选择柴油类动力系统。

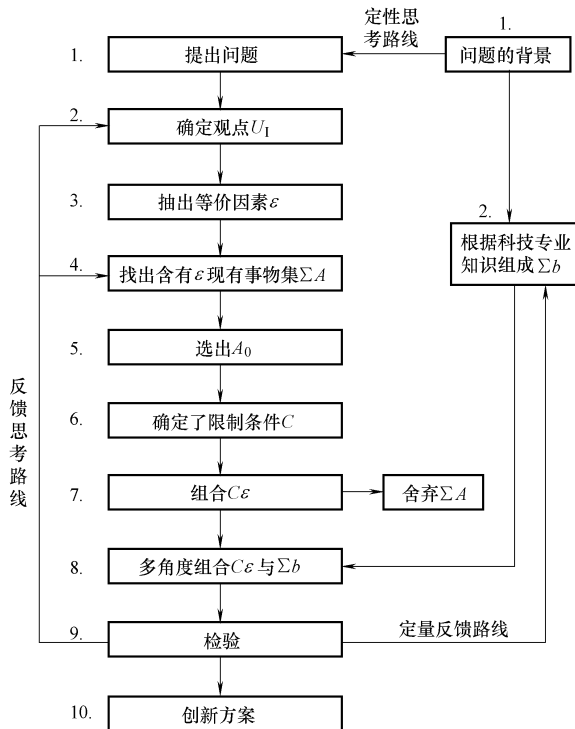


图 4-2 等价变换法运用程序图

第六步，确定限制条件 C ，从 ΣA 集中选出的 A_0 ，事物必然有其具体的实现 ε 的条件，这种特定的实现 ε 的方式即为限制条件。本例中，选用柴油类动力系统，就要将柴油发动机与小艇相结合，推动小艇运动，而不能用帆或蒸汽等形式。

第七步，组合 $C\varepsilon$ ，即将等价因素 ε 与限制条件组合在一起。本例中，组合结果为：以柴油发动机作为小艇的动力系统。这一步也是合弃原型中与发明物无关的部分（ Σa ）的过程。本例中将以柴油发动机为动力系统的拖拉机、发电机等与新发明物无关的方面抛弃，而将拖拉机、发电机的动力系统柴油发动机保留。

第八步，对 $C\varepsilon$ 和 Σb 作各种组合试验。 Σb 是为了保证实现目标的一系列条件，形成 Σb 需要专业知识，需要了解当时的问题背景及社会、科学技术发展水平，包括要实现技术的功能、结构、效率等知识，以使发明具有先进性和新颖性。本例中，需要寻找符合 Σb 的有关机动船只螺旋桨、船体平衡的知识等，还要将原型进行局部的变换，如将柴油发动机的体积变小，使其质量小，便于悬挂

和手控操作,同时发动机的传动杆要向下伸入水中,与螺旋桨相连等。

第九步,检验。看各种方案能否达到开始时提出的目标,若达到则终止研究,否则应重新考虑最初定的技术要求 U_1 ,调整发明思路。反馈也可以到第四步,选择其他对象作原型,重新试验,直到最后得到满意的答案。

第十步,完成新事物 B ,付诸实施应用。

例 4-53 日本发明家田熊常吉研制的田熊式锅炉,也是采用等价变换的原型发明的。

发明家田熊常吉关于新式锅炉的创新构思,最初来自其在学生时代所学“血液循环”的知识,由此启发他进行有关水管式高性能锅炉的发明试验。他先在图纸上画出一个锅炉的结构草图,再在另一张图纸上画出一个人体血液循环的模型,将两者重在一起,假设为新的锅炉。通过仔细对比和耐心思考,他居然发现:人体心脏相等于锅炉汽包,心脏瓣膜相等于锅炉集水器,毛细血管相等于锅炉水包,动脉血管相等于锅炉降水管,静脉血管则相等于锅炉水管群。于是,他在等价变换的基础上提出一个新的设计方案:在 45° 倾斜的水管群上部设置锅炉汽包,下部安置锅炉水包,这样当水管群加热产生大量蒸汽时,蒸汽上升进入汽包,就能增加汽包的压力。同时他还没设计了一个烟筒状集水器,利用气压差将水吸入,通过降水管再进入水包。这一改革,使锅炉的热效率提高 10%,也由此发明了性能优异的新型水管式高性能锅炉。

(3) 等价变换法的基本类型 在对自然界和人类社会的各种等价变换现象进行深入研究的基础上,市川龟久弥将涉及发明创造领域的各种等价变换形式归纳成三种基本类型:

1) 自我生长型等价变换。所谓自我生长型等价变换,是指事物旧的特征随着事物的生长逐渐消失,新的特征随着事物的发展逐渐形成。而这一切均是在事物实现等价变换的过程中自然完成的。宇宙演化进程、生物进化过程均属此类等价变换。

从性质上看,自我生长型等价变换类似于蚕从幼虫变化为成虫的过程。例如,蚕的幼虫变成蛹后,很快就失去了幼虫的特征。这时,它的大部分器官被重新分解成氨基酸供其利用,少数不解体的器官(如循环系统、神经系统、呼吸系统),则作为成虫的特征被保留下来。此时,作为成虫特征的一些器官,如羽翅、新足、生殖器等开始生长,最后演变为成虫。

2) 被加工型等价变换。所谓被加工型等价变换,是指事物的一些特征在等价变换的过程中,经过加工,引起性质的变化,从而改变旧的特征而演化出新的特征。

从效果上看,被加工型等价变换类似于从桑叶到蚕丝的变化过程。这种等价变换的特点在于,蚕被视为一台特殊的加工设备,其原料是碧绿的桑叶,其产品

则是晶莹的蚕丝。桑叶经蚕的消化器官粉碎与分解，并经蚕的丝腺器官生化与合成，最后成为蚕丝。

3) 综合型等价变换。所谓综合型等价变换，是指综合有上述两种类型等价变换的特点，即在事物等价变换过程中，既有旧特征随事物逐渐生长而演化成新特征，又有旧特征随事物逐渐加工而改造成新特征。人类社会里的相当一部分科学技术成果均属此类等价变换的产物。

例 4-54 日本职员春山丈夫发明的无烟型电热煎鱼器就是一个例证。

用普通炒菜锅煎鱼，由于鱼入锅后与热源直接接触，鱼体中析出的脂肪、水分遇到锅中的油料和热量即会产生呛人的烟雾，既污染环境，又使人难受。因此，人们亟欲加以改良。春山丈夫也在考虑如何改进的方法。他认为，等价变换法可以助其一臂之力。首先他找出传统煎鱼方法的毛病所在，就是鱼与热源直接接触。那么，解决问题的出路应是煎鱼时将鱼与热源隔开。

于是，春山丈夫立刻着手从已经发明的各种加热设备中，去寻找被加热物与热源隔开的加热装量，如带铁栅的法兰盘、电暖炉以及烤面包器等。经研究后发现，直接采用这些装置仍然不能解决问题。例如，采用带铁栅的法兰盘煎鱼，虽然通过铁栅将鱼与热源隔开，但热源仍在下方，鱼体中析出的油脂下滴，接触到热源后还会冒烟，其优点仅在于可做到煎鱼不粘锅；采用烤面包器方式煎鱼，其热源虽然在两旁。但鱼体不像面包，厚薄均匀，因而煎鱼效果不好；采用电暖炉方式煎鱼，由于热源装在上部，鱼体的油脂加热溶化后不会发生冒烟现象，基本可解决煎鱼冒烟的问题，但该方式仍有不足之处，就是鱼要从热源下部放进去，不太方便。这时，春山丈夫综合了其他产品的特点，将热源安装在电热煎鱼器的盖子上，这样既便于放鱼和取鱼，又便于控制煎鱼的温度和观察煎鱼的效果，还便于随时在鱼体上涂抹煎鱼的调料。因而这种无烟型电热煎鱼器受到顾客的一致好评。

例 4-55 滚筒式打稻机的发明。

在 1914 年以前，农村使用的是梳子式打稻机，其效率很低。如何提高效率呢？当时，许多人都在思考这个问题。一天雨后，一位名叫岩田继清的发明人在田间小路上行走，无意中将伞尖碰到稻穗上，弹掉了一些稻粒，岩田受此启发想到了滚筒式打稻机的方案。

用等价变换法解释这一过程就是：雨伞尖是原型，“旋转打掉”是伞打掉稻粒的本质或原理，也就是等价因素；由此将伞把、伞布等无关事物抛弃，引进表面布满金属的滚筒及相应的脚踏旋转机构，便逐步形成滚筒打稻的方案。

例 4-56 在寒冷的冬季，人们需要生火取暖，传统的办法之一就是使用炭盆。现在人们已经找到了以“提供热量，抗御寒冷”为本质的进化方案，如以电热代炭火，在结构形态上仍继承盆式，这样得到的是一种“电烤火盆”。尽管

这一发明属于家用电器的范畴,但从进化论的观点看,也只是在“烤火”上的等价变换而已。类似的例子很多,如电火锅、太阳能烤箱的发明,都有等价变换的原理。

例 4-57 各国科技工作者进行的煤炭地下气化研究。

煤能提供热能,这是众所周知的本质因素,至于通过什么形式获取热能,则是可变的因素。直接烧煤供热,是落后的原始办法;经气化加工成管道煤气,自然进化了一步。然而,这比起煤炭地下气化的设想来说,又显得那么“封建”。煤炭地下气化,将建井、采煤、气化三大工艺合而为一,将物理的采煤方法转变为化学采煤,抛弃了全部庞大的、笨重的采煤设备与地面气化设备,将建井规模大幅度减少,因而使其具有安全好、投资少、效率高、成本低、见效快、污染少等优点。同时,煤炭地下气化技术被公认为是对千米以下深部煤层和常规方法不能开采的煤层最有效的开采方法之一。地下气化的产品不仅可以直接作为工业和民用燃料,而且还可以用来发电,做化工原料。正是由于煤炭地下气化的种种优点,这项技术现在越来越受到世界各国的重视。

煤炭地下气化是人类的一个伟大梦想。早在 1888 年,俄国著名的化学家门捷列夫撰文写道:“随着时间的推移,这样的时代可能要实现,即煤不必从地下开采出来,而是在地下把煤变成可燃气体,再用管子把它们输送分配到遥远的地方去。”我们无比敬佩门捷列夫的大胆想象,同时也深感这位科学家在产生这一想象时,是那样高超地进行等价变换思考。

(4) 适用范围和注意事项 等价变换法适用于工业产品的开发,主要是模仿、改进型的发明创造,对一些没有更多原型为基础的组合发明或者原理突破型发明,等价变换法难以运用。

等价变换法实施中,有两步极为关键,一是提出问题、明确目标,它对发明过程有根本性的制约作用;二是第三步和第六步的提取等价因素 $C\varepsilon$,它关系到能否抓住技术的本质。“ $C\varepsilon$ 辞典”是等价变换法的辅助工具,使抽取 $C\varepsilon$ 的方法和技巧逻辑化,有利于发明创造的进行,要灵活运用。

企业人员应当了解,实施等价变换首先要凭特定的观点将所思考的事物“抽象化”,找出代表共性的等价因素,再以此为基础,本着由低级向高级进化的原则,对事物的结构要素进行变换,最终获得功能或性能更优的新事物。由于等价变换观念和现象的普遍存在,因而等价变换法在发明创造过程中经常为人们所使用,是最常见、最基本的发明创造技法之一。但该方法也有局限性,它往往只强调以原理上相同的事物作为发明创造的基础,却忽视了形状、结构、手段等方面相同的事物也对人们进行思维创新和产品创新可起启发作用,这是企业人员在运用等价变换法开展发明创造活动时应加以防范和改进的。

2. 中山正和法 (NM 法)

中山正和法或称 NM 法,是由日本创造学家中山正和 1968 提出,并由高桥浩作了改进的一种创造技法。日本中山正和教授根据人的高级神经活动理论,把人的记忆分为“点的记忆”和“线的记忆”。由第一信号系统对具体事物形成的条件反射,称为“点的记忆”;由第二信号系统对事物的抽象化而形成的条件反射,称为“线的记忆”。如果通过联想、类比等方法来搜索平时积累起来的“点的记忆”,再经过重新组合,把它们连接成“线的记忆”,这样就会涌出大量新的创造性设想,作出新的发明。

NM 法的一般程序是:在确定要解决问题的本质以后,第一步是找出表达问题本质的关键词(KW),第二步是对关键词(KW)询问“什么与它相似?”的问题,即问题的类推(QA);第三步是对类推结果询问“它们之间是什么东西发生着作用?”的问题,也就是探讨类推结果(A)的背景,所以又称为背景提问(QB);第四步是再对背景提问的问题逐一询问“这个对问题的解决能否给予某种启示?”的问题,也即寻找解决问题的方法阶段,称为概念提问(QC),意味着进一步熟悉对象并引出启示;最后一步是整理各种启示,形成解题概念。

洗衣机的发明过程,就运用了 NM 法。采用 NM 法发明洗衣机,不是先去设想它的具体结构,而是先把它抽象化,找出能反映洗衣机本质(或者说发明一种洗衣机所要达到的目标)的“词”来进行的,这样就可跳出原来的洗衣概念的旧框框,产生新的突破。

例 4-58

第一步,确定目标和要求以后,找出反映洗衣机能洗东西的“洗”一词,洗的是否清洁的“清洁”一词,使用是否安全的“安全”一词,或“经济”、“制造简单”、“使用方便”、“不损衣物”等若干目标词,先找出这些关键词。关键词一般可以选择 4~5 个。

第二步,从这些关键词中选出一个,如“洗”,围绕这个关键词,通过联想、类比等扩散思维的方法,突破原有洗衣的概念,充分发挥自己的想象力,把各种各样洗涤方法列举出来,如搓板搓洗、刷子刷洗、棒槌敲打、河水漂洗、流水冲洗,以及其他洗涤方法。

第三步,进行集中思维,对设想出来的各种洗涤方法进行本质的研究,找出关键:水流速度问题。

第四步,应用类比方法,设想出各种可以加速水流速度的机构,以及如何把粘附在衣服上的污物冲掉的方法。如找出可用以加速水流速度的机构泵、喷嘴、甩水、超声波发生器等,然后根据价值观以及现有技术条件,进行可行性评价,找出最经济又可行的设计方案。

如果选择“洗”一词并不能达到目标,可以另选关键词,以上述相同的步骤,重新寻找设计方案,直到找到较理想方案为止。也可以同时选几个关键词,

找出几个方案，进行分析比较，从中选出最佳方案。

4.5 本章小结

本章在阐述类比基本概念和理论的基础上，采用理论分析和案例点评相结合的方法，对类比的典型技法——综摄法作了详细的介绍，包括综摄法概念和原理、实施程序等。同时对基本类比技法原型启发法、移植法和仿生法以及引申技法等价变换法、中山正和法也从原理、实施步骤等方面作了介绍。

参考文献

- [1] 庄寿强. 创造学基础 [M]. 南京: 中国矿业大学出版社, 1990.
- [2] 肖云龙. 创造学 [M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2004.
- [3] 杨乃定. 创造学教程 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003.
- [4] 梁锡昌, 肖鹏东. 发明创造学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [5] 于占元. 发明创造学原理与方法 [M]. 沈阳: 沈阳出版社, 1992.
- [6] 黄纯颖. 机械创新设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 刘仲林. 中国创造学概论 [M]. 天津: 天津人民出版社, 2001.
- [8] 罗庆生, 韩宝玲. 大学生创造学-技法训练篇 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001.
- [9] 刘玉岭. 实用发明创造工程学 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1993.

第5章 基于头脑风暴的技法

5.1 概述

现代科学技术发展史表明：一项技术革新或科技成果，大都先有一个创新性设想，一般说来，创新性设想越多，发明也越容易获得成功。

那么，怎样才能获得大量的创新性设想呢？

中国有句俗话，叫做集思广益。在创新活动中，应用“集思广益”的例子是屡见不鲜的。例如，日本三菱树脂公司随着生产的发展，急需研制一种新兴净化池。公司领导召集十余名技术人员，在短短的半天里就提了70种方案，并从中选了10种最优秀方案。然后，将根据10种最优方案设计的净化池的结构画成图样，贴在黑板上，再将各人对新方案提出的改进设想写在纸条上，贴在净化池结构图的相应部位，通过公司内部科技人员的评审，最后得出一种研制新型净化池的最佳方案。

由此可见，集思广益是一种有效的创新方法。创造学家在此基础上创造了一种科学的开发创新性设想的创新技法——智力激励法。

智力激励法又称头脑风暴法、BS法、自由思考法，是由美国创造学家A·F·奥斯本于1939年首次提出、1953年正式发表的一种激发性思维的方法。头脑风暴法出自“头脑风暴”一词。此法经各国创造学研究者的实践和发展，至今已经形成了一个发明技法群，如奥斯本智力激励法、默写式智力激励法、卡片式智力激励法等。

在群体决策中，由于群体成员心理相互作用影响，易屈于权威或大多数人意见，形成所谓的“群体思维”。群体思维削弱了群体的批判精神和创新力，损害了决策的质量。为了保证群体决策的创新性，提高决策质量，管理上发展了一系列改善群体决策的方法，头脑风暴法是较为典型的一个。

头脑风暴法又可分为直接头脑风暴法（通常简称为头脑风暴法）和质疑头脑风暴法（也称反头脑风暴法）。前者是专家群体决策尽可能激发创新性，产生尽可能多的设想的方法，后者则是对前者提出的设想、方案逐一质疑，分析其现实可行性的方法。

采用头脑风暴法组织群体决策时，要集中有关专家召开专题会议，主持者以明确的方式向所有参与者阐明问题，说明会议的规则，尽力创造融洽轻松的会议

气氛。一般不发表意见,以免影响会议的自由气氛。由专家们“自由”提出尽可能多的方案。

例 5-1 中国有句俗话:“三个臭皮匠,胜过一个诸葛亮”。它的意思是说,将三个人的智慧集中起来,就能超过被世人称为智慧的象征人物诸葛亮。

例 5-2 为中国的原子物理事业作出了杰出贡献的“三钱”:钱学森、钱三强、钱伟长,他们的合作一直被人们传为美谈,正是由于他们的集思广益,加快了我国试制原子弹的进度。我国核事业发展速度是整个世界都为之震惊的,甚至于当时对中国原子物理研究能力的底细较清楚的美国也感到不可理解。而其中很重要的一点,除这三位强者每人都有自己高超的研究能力外,与他们的通力合作也是分不开的。

例 5-3 20 世纪 20~30 年代,丹麦物理学家玻尔周围云集了许多青年物理学家,比较著名的有海森堡、泡利等人,这便是名噪一时的“哥本哈根学派”。该学派通过彼此的合作与研讨,不仅在量子力学和基本粒子领域作出了杰出的贡献,而且还通过这种切磋的方式,造就了许多才华横溢的物理学人才。

例 5-4 上海市第一人民医院的眼科医疗水平在国内堪称一流,在国际上也有很高的声誉,眼科主任赵东生被誉为“东方一只眼”。当然仅仅靠“一只眼”是不行的,在赵主任领导下的一医眼科研究所里,有一批优秀的医生,他们经常探讨一些疑难病例,彼此进行有效的合作。一医眼科正是靠了这么一支队伍,才始终在国内保持领先地位,甚至有些项目超出国际水平。

这种由于名医高手的通力合作而形成特色医疗的医院,在上海医疗界并非一家。上海瑞金医院(原厂慈医院)的灼伤科,上海第六人民医院的断肢再植等,都是用这种方法创建了国内外声名显赫的医疗项目。

科学技术上的合作可以获得比原来预料中的收获更大的结果,那么其他领域是否可以呢?当然也不例外,文学研究中也是如此,新小说派的诞生便是明证。

例 5-5 20 世纪 50~60 年代,法国文学界出现了一批新作家,如罗伯·格里耶、娜塔丽·萨洛特、米歇尔·布陶、克洛德·西蒙、马格丽特·杜拉斯等,他们经常磋商、讨论 19 世纪现实主义文学的缺陷,提出了要用新的小说表现手法和语言,描绘事物的“真实”面貌,刻画出一个前人所未发现的客观存在的内心世界。于是一种新小说创作流派诞生了,这个流派在 20 世纪 60 年代,还被称为第二次世界大战后法国文学具有代表性的流派。这一流派的小说及其理论,在西欧、美国和日本曾经风行一时,影响遍及波兰、捷克等东欧、中南欧国家。

看来,事物本身发展的趋势就是这样,学科门类的骤增、各领域知识的深化以及科学技术的复杂化,“个体户”的研究方式已不能适应时代的发展,一些从事某专业的人们,按照一定的兴趣、爱好而聚集在一起,形成了学术的交流和合作的小团体,并作出了不同凡响的建树。这一事实引起人们反思,于是大家开始

对这种新的学术研究形式产生了兴趣，因为它有利于学术成果的产生，又可以潜在地培养一些专家的研究能力。

事实上，被人们欢迎的这种集思广益法受到重视是不足为奇的。因为当一批富有个性的人走到一起的时候，由于各人的起点不同，掌握的材料不同，观察问题的角度不同，进行研究的方式不同，以及分析问题的水平不同，就必然会产生种种不同的，甚至是对立的看法。于是通过各种方式的比较、对照，甚至诘问、责难，人们就会有意无意地学习到别人思考问题的方法，从而使自己的思维能力得到潜移默化的改进。

5.2 头脑风暴法 (Brainstorming)

奥斯本智力激励法，是1939年由美国纽约BBDO广告公司副经理奥斯本所创立。起初用于广告的创意上，1953年总结成书。这是世界上最早付诸实用的一种孕育型创新技法。奥斯本智力激励法也叫头脑风暴法或智暴法，“头脑风暴”(Brainstorming)一词原为神经学的一个术语，指神经病患者胡思乱想、白日做梦的状态。奥斯本借用该词来形容人的创新思维自由奔放、激烈涌现的特点，故奥斯本智力激励法也简称“BS”法。

在韦氏国际大字典中“头脑风暴法”被定义为：一组人员通过开会方式对某一特定问题出谋献策，群策群力解决问题。

例 5-6 曾经有一位动物园设计师为了把动物园设计得新颖别致，便邀请了几位数学家进行狂想性畅谈。议题是：怎样抓住老虎？

代数学家说：不要去抓了，我家有。我家有只猫，猫是老虎的近似值。

几何学家说：也不要到你家抓猫，拍一张猫的照片即可，猫是老虎的同态像。

拓扑学家说：老虎在山上，我把内部变成外部，把外部变成内部，老虎不就在我的笼子中了吗？

动物园设计师的智力受到激励，于是设计了“走兽动物园”。把全部走兽放养在动物园里，把原来关在“内部”（笼子）的变成了“外部”（放养）。参观的人坐在汽车里，到动物园的各个放养场去参观，这样就把原来在“外部”的变成了“内部”（汽车即笼子）。

5.2.1 技法原理

奥斯本头脑风暴法的理论基础是创造工程的群体原理。众所周知，当一个人独自思考一件事情或一个问题时，其思路比较容易限制在一定范围内而受阻，如果有几个人对同一问题进行思考，各人都以自己的知识经验，由各自从不同的角

度认识同一问题,就有利于互相激励、引出联想,产生共振和连锁反应,诱发出更多的设想。这种由一个创意引导出许多创意的产生就像原子核裂变中一个中子冲击一个原子核产生裂变,同时又产生了几个中子引起其他裂变的链锁反应,如图 5-1 所示。因此,人们很早就已经认识到了集体智慧的力量,所以我国早就有“三个臭皮匠,抵个诸葛亮”的说法。

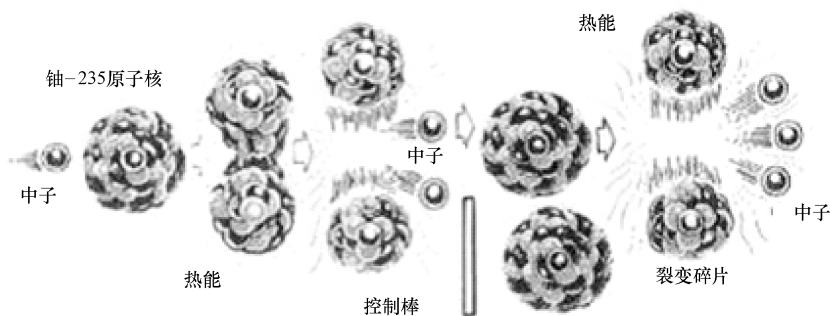


图 5-1 链锁反应——原子弹的爆炸

弗烈特·夏普说:“如果确实融入意见发表会中,个人的灵感,可在别人卓越的创意上点火,引发更多创意的火花。”

英国大文豪肖伯纳说:“倘若你有一个苹果,我也有一个苹果,而我们彼此交换这些苹果,那么,你和我仍然只有一个苹果。但是,倘若你有一种思想,我也有一种思想,我们彼此交流这种思想,那么,我们每个人将有两种思想。”

奥斯本头脑风暴法就是以一种自由、轻松的会议方式,使每个与会者都能围绕主题积极思考、大胆想象、任意发挥、出谋献策,营造一种智力互激、信息互补、思维共振、设想共生的特殊环境,从而有效地调动集体的智慧,寻求丰富的创造设想。应该特别强调的是,集体智慧决不等于与会者个人智慧的简单叠加。这是因为在集体智慧中,除了每个人原有的智慧成分之外,还应包含人们相互激励、相互启发、相互促进、相互补充,从而使人们的认识及思维水平不断提高、不断完善而产生的智慧增生,而这种智慧增生部分相当可观,不可忽视。对此,国外曾有人专门进行过研究,结果表明,在群体活动中,人的智力激发程度能增强 50% 以上,而自由联想的效率能提高 65% ~ 93%。

基于人们对于群体原理的深入认识及驾驭智力激励规律的有效探索,形成了如图 5-2

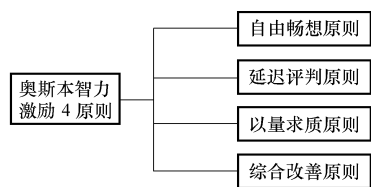


图 5-2 奥斯本智力激励法的原则

所示的奥斯本智力激励法的4项原则。

这4项原则是奥斯本智力激励法的精华和核心，奥斯本智力激励法的有效程度也取决于人们对于这些原则贯彻得是否得力，是否真正到位。

1. 自由畅想原则

讨论问题时，引导人们海阔天空、自由奔放、纵横驰骋、任意想象，最大限度地调动大家的积极性，充分发表各人的意见。使他们不受任何传统和习惯的束缚，不管是否符合常规、标准乃至各种规范和准则；不考虑自己的思路是否“离经叛道”，也不必顾忌自己的想法是否“荒唐可笑”。克服心理惯性和思维惰性的影响，跳出已知事物和熟悉思路的框框，使思维始终保持在自由驰骋的状态。运用各种创造性思维方式，如联想思维、想象思维、发散思维，特别是逆向思维，从多种角度甚至有意识地从反常的角度考虑问题。产生的想法越新颖、越离奇则越有价值，因为正是那些看上去“荒唐”、“离奇”的设想，有时却蕴藏着极好的创意，甚至隐含着重大创造发明的契机。

2. 延迟评判原则

大家可能都会有这样的体会，在讨论问题时，对问题的认识都有一个不断深入的过程，所提出的设想也有一个不断完善和不断提高的过程。通常在开始阶段并不能立即走上正常渠道，提出的想法也较为浮浅甚至片面，似乎没有什么特别的意义，如果这时就展开评论甚至评判，则破坏了探讨问题的气氛，打击了大家的积极性，谁还愿意再发表意见呢。鉴于此，日本创造学家丰泽丰雄曾经一针见血地指出：“过早地判断是创造力的克星。”为了避免“评判”对群体思维的抑制作用，使与会者充分感受到心理自由和心理安全，无拘无束、畅所欲言，保证良好的激励气氛，就要限制过早地进行批评和评判。因为，开始时的那些意见，虽然不太成熟，本身的价值可能也不大，但却是“引玉”之砖，通过它可以诱发出更新颖的设想和更新奇的方案。打个比方，如果你想同时从一只水龙头里获得冷的生水和热的开水，那是不可能的，所得到的只能是不冷不热、半生不熟的温水。假设你想创造又要评判的话，结果是你既不能冷静地进行评判，又不能心情舒畅地进行创造。

必须指出的是，这里所说的“评判”应该包括以下三层含义：一是相互评判和自我评判。过早地相互评判无益，过早地自我评判也有害，这会使个体的思维受到束缚，不可能更进一步地考虑问题。二是肯定评判和否定评判。发言者的自谦与自诩，与会者的否定与吹捧，都是智力激励的大忌。如“我有一个不成熟的想法”，“我的观点是明智的”；又如“这个方案根本行不通”，“您的想法太妙了”等类似的语句均应避免。三是有声的评判和无声的评判。前面讲的都是有声的评判，至于无声的评判也应该避免，诸如不屑一顾的姿态，嗤之以鼻的表情等，都不利于畅谈和讨论。

3. 以量求质原则

此原则的目的是以创造性设想的数量来保证创造性设想的质量。

建立此原则有两个出发点：

(1) 以追求数量而拒绝评判 人类在长期解决问题的过程中，总企图走捷径，因而经常会边提出想法边评判想法，以利于问题的迅速解决。于是，人们养成了一种习惯：遇到问题时习惯于本能地过早地进行评判。但这种评判的依据又是什么呢？它经常是由于我们先前的经验而形成的定势，所以评判的结果总是指向与原先行为相同的思路 and 方式。这样我们就无法突破定势，无法创造性地解决问题。因此，在创新的过程中，我们要控制这种评判。而克服或削弱这种评判的最好方法，就是追求设想的数量。当人们的思维结果要追求一定数量时，就会有意识地减少评判或者拒绝评判。这样做的结果，思维的界限自然就会放开了，联想也会更加丰富了，有价值的设想、有创见的方案就可能从中涌现出来。

(2) 以追求数量而保证质量 其中的道理：①前面我们已经提到，在讨论问题时，人们对问题的认识及提出的设想都有一个不断深入、不断完善和不断提高的过程，这就是说，理想结论的获得常常是一个逐渐逼近的过程，即所谓“质量递进效应”；②只有在众多的设想中，才有可能包含最有价值的设想。设想越少，遗漏理想设想的可能性就会越大，即所谓“质寓于量之中”。再进一步分析，优选的前提是数量。只有设想众多，有很大的选择余地，才能优选出最佳的设想。设想的数量寥寥无几则失去了优选的基础。因此，只有引导与会者提出众多的设想，才是获得质量好、价值高的创造性设想的保证。

4. 综合改善原则

该原则体现了奥斯本创立智力激励法的初衷，他之所以使用“头脑起风暴”一词作为该技法的名称，本意就是让与会者通过互相启发和互相激励，形成心理的震荡，产生思维火花的碰撞，引燃创造性设想的燎原之火。就好像每个人都被卷入了头脑风暴的洪流，或者就好像放鞭炮一样，只要点燃一个爆竹，势必引爆一串爆竹，产生连锁反应。

在智力激励会上，特别是会议初期，许多设想可能会存在考虑不周到、观点不全面、难以变为现实等缺陷，这是正常现象，一点都不足为怪。但随着讨论的深入，使每个与会者都会从他人的设想中激励自己、启发自己，或补充他人的设想，或将他人的若干设想综合起来提出新的设想等。在大家相互诱导、相互启发、相互激励、相互推动下，这些设想就会不断地取长补短，综合完善，充实丰富，最终形成真正有价值的设想。因此，奥斯本指出：“最有意思的组合大概就是设想的组合。”

上述的4项原则当中，第1条原则突出自由奔放，求异创新，这是奥斯本智力激励法的宗旨；第2条原则要求思维轻松、气氛活跃，这是激发创造力的保

证,也是该技法的关键;第3条原则追求设想的数量,这是获得高质量创造性设想的前提和条件;第4条原则强调相互补充和相互完善,这是奥斯本智力激励法成功的标准。由此可见,4项原则各有侧重、相辅相成、浑然一体、关联协同,从而保证了智力激励的实现。

5.2.2 操作程序及要点

1. 会前准备

(1) 选定会议主持人 会议主持人的作用至关重要,因此应尽量具备以下条件:

1) 有进行创造的强烈愿望,思路开阔,思维活跃,熟悉奥斯本头脑风暴法的基本原理,理解并能贯彻智力激励会的4项原则,充分发挥激励的作用机制,调动与会者的积极性。

2) 对会议所要解决的问题有比较明确的认识和理解,并能根据发言的情况及时对与会者作启示诱导,有一定的组织能力。

3) 具有民主作风,能平等对待每个与会者,造成自由畅想、气氛融洽的局面,能灵活处理会议中出现的各种情况,保证会议按预定程序进行。

(2) 拟定会议主题 由会议主持人和问题提出者共同分析研究,拟定本次会议所议论的主题。主题应力求内容单一、目标明确,而且不能贪多,一次会议只求解决一个问题。对于复杂的系统问题应分解为若干相对独立的单一问题,使会议主题集中。

(3) 确定参加会议人选

1) 参加人数:智力激励会的参加人数以5~10人为宜。人数过多,可能使会议时间过长,且无法保证与会者有充分发表设想的机会;反过来,人数过少,所覆盖的知识面过份狭窄,不能有效互补,也难以形成热烈活跃的气氛。

2) 人员的专业构成:参加会议的人员中应既有内行,又有外行,内行多于外行。内行者不局限于同一专业,要照顾到知识结构的合理性。外行者要思维活跃,善于提出问题,以突破专业思考的局限。也有按照下述三个原则选取的:

①如果参加者相互认识,要从同一职位(职称或级别)的人员中选取。领导人员不应参加,否则可能对参加者造成某种压力。

②如果参加者互不认识,可从不同职位(职称或级别)的人员中选取。这时不应宣布参加人员职称,不论成员职称或级别的高低,都应同等对待。

③参加者的专业应力求与所论及的决策问题相一致,这并不是专家组成员的必要条件。但是,专家中最好包括一些学识渊博,对所论及问题有较深理解的其他领域的专家。头脑风暴法专家小组应由下列人员组成:

★方法论学者——专家会议的主持者。

- ★设想产生者——专业领域的专家。
- ★分析者——专业领域的高级专家。
- ★演绎者——具有较高逻辑思维能力的专家。

(4) 提前下达会议通知 将会议的时间、地点、所要解决的问题、可供参考的资料和设想、需要达到的目标等事宜一并提前几天通知与会人员，使他们在思想上有所准备，并提前酝酿解决问题的设想。

2. 会议步骤

(1) 热身阶段 这个阶段的目的是创造一种自由、宽松、祥和的氛围，使大家得以放松，进入一种无拘无束的状态。主持人宣布开会后，先说明会议的规则，然后随便谈点有趣的话题或问题，如可作一些智力游戏、讲幽默小故事、作简单的发散思维练习等活动，让大家的思维处于轻松和活跃的境界。如果所提问题与会议主题有着某种联系，人们便会轻松自如地导入会议议题，效果自然更好。

(2) 明确问题 会议开始，由会议主持人向与会者介绍本次会议所讨论的问题，使与会者对问题有一个全面的了解，从而更准确地把握主攻的方向。

介绍问题时，既要作深入浅出的简要解释，向与会者提供直接相关的背景材料，又注意不要将自己的初步设想也和盘端出，以免形成条条框框，束缚与会者的思路。

(3) 重新表述问题 经过一段讨论后，大家对问题已经有了较深程度的理解。这时，为了使大家对问题的表述能够具有新角度、新思维，主持人或书记员要纪录大家的发言，并对发言纪录进行整理。通过纪录的整理和归纳，找出富有创意的见解，以及具有启发性的表述，供下一步畅谈时参考。

(4) 自由畅谈 这是智力激励会的中心环节，也是决定会议能否达到预期目标的关键阶段。会议主持人运用4项原则，引导大家突破心理障碍和思维约束，营造一种自由、宽松、热烈、活跃、相互激励、相互推动的气氛，使与会者能充分开动脑筋，充分发表意见，思维共振、信息共享，尽可能多地提出创造性设想。

为了使大家能够畅所欲言，需要制定的规则是：第一，不要私下交谈，以免分散注意力。第二，不妨碍他人发言，不去评论他人发言，每人只谈自己的想法。第三，发表见解时要简单明了，一次发言只谈一种见解。

自由畅谈阶段的时间应由主持人见机行事，灵活掌握，一般不超过一个小时。待大家充分发表完意见，对所要解决的问题产生出较丰富的设想以后，主持人即可宣布会议结束。

3. 会后整理

由于会上大家提出的设想大都未经仔细推敲和认真论证，只有经过加工、整

理、提炼和完善,才真正具有实用价值。因此,头脑风暴会结束后,主持人应组织专人对各种设想进行分类整理,具体做法是:

(1) 增加与补充 在头脑风暴会后,还可有目的地与部分与会者取得联系,或补充原来的意见,或提出更加新颖的设想。这是不可忽视的一步。因为通过休息,人们的心情冷静下来以后,可能会有新的想法,思路可能会有所发展,甚至获得某种灵感,都有可能激发新的设想。

(2) 评价与优选 为使评价与优选方便、可行,具有可操作性,最好是拟定一些评价指标,如:结构是否简单?工艺是否可行?做法是否合理?费用是否节省?具体拟定哪些指标,要根据问题本身的性质和解决问题的要求来决定。

在评价的基础上,再对各种设想逐一分析比较、优胜劣汰,做到优中选优,从中得出最佳的、最适用的、或者最有价值的设想。

实施奥斯本头脑风暴法,大致可以遵循以上程序,但并非一成不变。这要根据具体问题进行分析,做到灵活掌握、灵活运用。

例 5-7 日本松下公司运用奥斯本头脑风暴法,在 1979 年内获得 17 万条新设想,平均每个职工提新设想 3 条,公司利用全体员工大脑的智慧,使生产经营水平不断提高。日本创造学家志村文彦将奥斯本头脑风暴法用于企业的技术革新,1975 年使日本电气公司获得 58 项专利,降低产品成本达 210 亿日元。

例 5-8 我国华北地区铁道委员会联合秘书组于 1983 年在石家庄召开“新型转向架技术改造学术讨论会”,头两天的中心发言虽然很热烈,但从汇报和讨论记录中可总结出的技术改进方案并不多。后来,组织者试用奥斯本头脑风暴法再次研讨,只用 1 小时就获得 31 条很有价值的改进方案,收到了令人满意的效果。

例 5-9 中国机械冶金工会举办的一次合理化建议和技术革新工作研讨班,运用奥斯本头脑风暴法思考“未来的电风扇”。36 人在半小时内提出 173 条新设想。其中典型的设想有:带负离子发生器的电扇,全遥控电扇,智能式电扇,理疗电扇,驱蚊虫电扇,激光幻影式电扇,催眠电扇,变形金刚式电扇,熊猫型儿童电扇,老寿星电扇,解忧愁录音电扇,恋爱气氛电扇,去潮湿电扇,衣服烘干电扇,美容电扇,木叶片仿自然风电扇,解酒电扇,吸尘电扇,笔记本式袖珍电扇,太阳能电扇,床头电扇,台灯电扇等。

例 5-10 有一年,美国北方格外严寒,大雪纷飞,电线上积满冰雪,大跨度的电线常被积雪压断,严重影响通信。过去,许多人试图解决这一问题,但都未能如愿以偿。后来,电信公司经理应用奥斯本发明的头脑风暴法,尝试解决这一难题。他召开了一种能让头脑卷起风暴的座谈会,参加会议的是不同专业的技术人员,要求他们必须遵守头脑风暴 4 项原则:

第一,自由思考。即要求与会者尽可能解放思想,无拘无束地思考问题并畅

所欲言，不必顾虑自己的想法是否“离经叛道”或“荒唐可笑”。

第二，延迟评判。即要求与会者在会上不要对他人的设想评头论足，不要发表“这主意好极了！”、“这种想法太离谱了！”之类的“捧杀句”或“扼杀句”，至于对设想的评判，留在会后组织专人考虑。

第三，以量求质。即鼓励与会者尽可能多而广地提出设想，以大量的设想来保证质量较高的设想的存在。

第四，结合改善。即鼓励与会者积极进行智力互补，在增加自己提出设想的同时，注意思考如何把两个或更多的设想结合成另一个更完善的设想。

按照这种会议规则，大家七嘴八舌地议论开来。有人提出设计一种专用的电线清雪机；有人想到用电热来化解冰雪；也有人建议用振荡技术来清除积雪；还有人提出能否带上几把大扫帚，乘坐直升机去扫电线上的积雪。对于这种“坐飞机扫雪”的设想，大家心里尽管觉得滑稽可笑，但在会上也无人提出批评。相反，有一工程师在百思不得其解时，听到用飞机扫雪的想法后，大脑突然受到冲击，一种简单可行且高效率的清雪方法冒了出来。他想，每当大雪过后，出动直升机沿积雪严重的电线飞行，依靠高速旋转的螺旋桨即可将电线上的积雪迅速扇落。他马上提出“用直升机扇雪”的新设想，顿时又引起其他与会者的联想，有关用飞机除雪的主意一下子又多了七八条。不到一小时，与会的 10 名技术人员共提出 90 多条新设想。

会后，公司组织专家对设想进行分类论证。专家们认为设计专用清雪机，采用电热或电磁振荡等方法清除电线上的积雪，在技术上虽然可行，但研制费用大，周期长，一时难以见效。那种因“坐飞机扫雪”激发出来的几种设想，倒是一种大胆的新方案，如果可行，将是一种既简单又高效的好办法。经过现场试验，发现用直升机扇雪真能奏效，一个久悬未决的难题，终于在头脑风暴会中得到了巧妙的解决。

例 5-11 一家蛋糕加工厂曾召集了一次头脑风暴会议。议题是如何使核桃仁不被敲碎。会上，大家提出了不少奇思妙想，但似乎都无多少实用价值。其中有个人提出：“我建议培育一种新品核桃。当该核桃成熟时，它的外壳便自动裂开。”在场的人们认为这是天方夜谭，可是却有有心人沿着这一思路继续思考，想出了一个能使核桃仁被完好无损地取出的简易而有效的好办法。在核桃壳上钻一个小孔，然后灌入压缩空气，靠核桃内部的压力使核桃的外壳炸裂。经发展完善后，制成了砸核桃机，获得了专利。

例 5-12 在创造学方面很有造诣的克汉德瓦拉教授，组织学员们为一位全国性周刊的编辑讨论如何大大提高发行量的问题。学员们仅用 40 分钟就提出了 150 条意见，其中的意见有：书页改为六边形、编入园艺、食谱；手工艺、儿童专栏等活页封面或几页使用遇水显色的幻术色彩；杂志采用折叠不用装订，以便

展开可做糊墙纸；书页洒香水；有奖征求解说词和标题；刊登有关独立经营者、残疾人、艺术家、发明家、企业家的文章；每期要有一篇调查研究性的、宣传性的通俗文章和每期要有一篇不用文字说明的作品；注意封面艺术，重视农村、青年和儿童文化；出售以周刊名字命名的冰淇淋；让读者设计出版一期；出售农村版并在农村广播中播出；用另一种语言；用电视及广播介绍内容；制成音像资料将周刊中有趣的文章印成书等。大量意见雪崩似地滚动而来。

例 5-13 盖莫里公司是法国一家拥有 300 人的中小型私人企业，这一企业生产的电器有许多厂家和它竞争市场。该企业的销售负责人参加了一个关于发挥员工创造力的会议后大受启发，开始在自己公司谋划成立了一个创新小组。

在冲破了来自公司内部层层阻挠后，他把整个小组（约 10 人）安排到了农村议价小旅馆里，在以后的三天中，每人都采取了一些措施，以避免外部的电话或其他干扰。

第一天全部用来训练，通过各种训练，组内人员开始相互认识，他们相互之间的关系逐渐融洽，开始还有人感到惊讶，但很快他们都进入了角色。

第二天，他们开始创造力训练技能，开始涉及智力激励法及其他方法。他们要解决的问题有两个，在解决了第一个问题，发明一种拥有其他产品没有的新功能电器后，他们开始解决第二个问题，为此新产品命名。

在第一、第二两个问题的解决过程中，都用到了智力激励法，但在为新产品命名这一问题的解决过程中，经过两个多小时的热议讨论后，共为它取了 300 多名字，主管则暂时将这些名字保存起来。

第三天一开始，主管便让大家根据记忆，默写出昨天大家提出的名字。在 300 多个名字中，大家记住 20 多个。然后主管又在这 20 多个名字中筛选出了三个大家认为比较可行的名字。再将这些名字征求顾客意见，最终确定了一个。

结果，新产品一上市，便因为其新颖的功能和琅琅上口、让人回味的名字，受到了顾客热烈的欢迎，迅速占领了大部分市场，在竞争中击败了对手。

例 5-14 应用“智力激励法”开发多用喷雾器。

某工厂员工学习创造学回厂后，用“智力激励法”与产品开发组的同志们一起，商讨 06 型压缩式喷雾器改进设计问题。大家认为 06 型压缩喷雾器最大的希望点，是降低成本，降低售价，以开拓市场，可是该喷雾器的喷头成本需要 2 元左右，本体需要 5 元左右。当时大家感到要降低成本非常难，因为模子费用与原料的费用是固定的。可是在智力激励过程中，有同志开玩笑说：“要降低成本，除非把本体革掉，这样就可以降低 5~6 元成本。”接着有同志说：“这倒可以考虑，也是一个办法。”如果没有学过创造学，一定会感到开玩笑的同志是无稽之谈，现在学习了创造学后，感到应让所有的意见发表完。所以大家畅所欲言，思绪纷开，有的还开玩笑地说：“喷液装到你口袋里去。”接着有个同志说：

“不装口袋装瓶子么，装各种各样的废瓶子，不是本体革掉了！”该员工听了这个意见，深感是一个好主意。可又怎样将喷头与废瓶结合成一体呢？他们组织力量进行市场调查，发现各种可乐、雪碧的塑料瓶以及其他废瓶瓶上螺纹大体是一样的，也可以承受一定的压力。于是设计多用压力喷雾器，将喷雾器喷头螺纹设计成与各种废瓶匹配的螺纹，并将吸管设计成与各种大小瓶相适应，用户只需花 27 元买个喷头与各种塑料瓶相结合即可使用。这种喷雾器有三大优点：①售价低廉，是原有售价的三分之一，现价为 27 元；②因革去了“本体”，可以为国家节约大量原材料；③多种用途，备有一只喷头可以用于浇水、喷香水等多种用途，这样能吸引用户，广开销售市场。预计年产 10 万只，年产值可达 27 万元，利润 25 万元，与 06 型喷雾器相比，为用户每只节约 7 元钱，同时，因革去了“本体”，每年可为国家节约 70 万元。

员工的创造潜力是巨大的，一个优秀的企业领导者，应该懂得如何发掘和运用这一潜力。

5.3 635 法

5.3.1 概念

在推广应用智力激励法的过程中，人们发现经典的智力激励法虽然能造成自由探讨、得到互相激智的气氛，但也有一些局限性。如有的创造性强的人喜欢沉思，但会议无此条件；会上表现力和控制力强的人会影响他人提出设想；会议严禁批评，虽然保证了自由思考，但难于及时对众多的设想进行评价和集中。为了克服这些局限，许多人针对与会者的不同情况，先后对奥斯本技法进行了改进，形成了基本激励原理不变但操作形式和规则有异的递进型技法。

“635”法是最常用的改进技法之一，又称默写式智力激励法、默写式头脑风暴法，是德国人鲁尔已赫根据德意志民族习惯于沉思的性格提出来的，以及由于数人争着发言易使点子遗漏的缺点，对奥斯本智力激励法进行改造而创立的。

5.3.2 实施方法

与头脑风暴法原则上相同，其不同点是把设想记在卡上。头脑风暴法虽规定严禁评判，自由奔放地提出设想，但有的人对于当众说出见解犹豫不决，有的人不善于口述，有的人见别人已发表与自己的设想相同的意见就不发言了。而“635”法可弥补这种缺点。具体做法如下：每次会议有 6 人参加，坐成一圈，要求每人 5 分钟内在各自的卡片上写出 3 个设想（故名“635”法），然后由左向右传递给相邻的人。每个人接到卡片后，在第二个 5 分钟再写 3 个设想，然后

再传递出去。如此传递6次,半小时即可进行完毕,可产生108个设想,如图5-3所示。

5.3.3 具体程序

1) 以A~F代表六个人,与会的6个人围绕环形会议桌坐好,每人面前放有一张画有6个大格18个小格(每一大格内有3个小格)的纸。

2) 主持人公布会议主题后,要求与会者对主题进行重新表述。

3) 重新表述结束后,开始计时,要求在第一个5分钟内,每人在自己面前的纸上的第一个大格内写出3个设想,设想的表述尽量简明,每一个设想写在一个小格内。

4) 第一个5分钟结束后,每人把自己面前的纸顺时针(或逆时针)传递给左侧(或右侧)的与会者,在紧接的第2个5分钟内,每人再在下一个大方格内写出自己的3个设想;新提出的3个设想,最好是受纸上已有的设想所激发的,且又不同于纸上的或自己已提出的设想。

5) 按上述方法进行第三至第六个5分钟,共用时30分钟,每张纸上写满了18个设想,6张纸共108个设想。

6) 整理分类归纳这108个设想,找出可行的先进的解题方案。635法的优点是能弥补与会者因地位、性格的差别而造成的压抑。

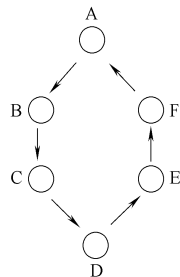


图5-3 635法具体程序

5.3.4 635法注意事项

- 1) 不能说话,思维活动可自由奔放。
- 2) 由6个人同时进行作业,可产生更高密度的设想。
- 3) 可以参考他人写在传送到自己面前的卡片上的设想,也可改进或加以利用。
- 4) 不因参加者地位上的差异,以及懦弱的性格而影响意见的提出。

“635”法的优点是:①保证每个人都有提出设想的机会;②为不善言谈、不善表达的与会者提供了发表意见的机会;③不需记录,也省去整理记录的过程;④适用于喜欢安静沉思而不习惯大声大叫争相发言的中老年知识分子和干部。“635”法的缺点是:仅靠静寂无声的默写,智力激励效果不如会议法明显,也缺乏热烈气氛。

例5-15 联邦德国的戴姆乐—奔驰汽车在国内外市场上一直享有良好的声誉,该汽车公司成功地运用“635”法发展着自己的产品。一方面发动大家提出大量有价值的设想和方案,制定了一条以质量“首屈一指”而取胜的开发与竞

争战略；另一方面，对车型及工艺进行了大胆地创新，先后设计和开发出从小轿车到 255t 大型载重车共 160 种，3700 种型号。以创新求发展已成为公司上下的一句流行口号，从而使奔驰汽车成了世界汽车工业的一颗明星。

5.4 列举法

列举法作为一种常用转换型发明创造技法，是以列举的方式把问题展开，用强制性的分析寻找创造发明的途径和目标。列举法的主要作用是为了帮助人们克服感知不足的障碍，迫使人们带着一种新奇感将事物的细节统统列举出来，并试着用别的东西替代；迫使人们时时处处想到一个熟悉事物的各种缺陷；迫使人们能尽量想到所要达到的具体目的和指标。这样，在创造的道路上就好像撒下了天罗地网，比较容易从中捕捉到所需要的目标以进行发明创造。

列举法实质上是一种借助于某一具体事物的特定对象（如特点、优缺点等），从逻辑上进行分析并将其本质内容罗列出来，经过批评、比较、选优等手段，挖掘创造主题新意的创造技法。

列举法基本上有四种：属性列举法、希望点列举法、缺点列举法、信息列举法。另外，我们常听见的 SAMM 法、功能目标法等，都是列举法的延伸应用。

列举法的一般操作程序为：①确定某一改革、革新对象：课题宜小不宜大；②列举这一对象的特性或缺点或希望点；③将众多的特性、缺点和希望点进行归类整理；④对所列的特性、缺点和希望点进行分析，看看能否改革、克服、改进和逆用；⑤然后通过检验、评价，挑选出经济效益高、行之有效的设想。

5.4.1 属性列举法（Attribute Listing Technique）

1. 概念

属性列举法，也称特性列举法，是美国尼布拉斯加大学的克劳福德（Robert Crawford）教授在 1954 年提出的一种著名的创意思维策略。此法强调使用者在创造的过程中观察和分析事物或问题的特性或属性，然后针对每项特性提出改良或改变的构想。

属性列举法即特性列举法也称为分布改变法，特别适用于老产品的升级换代。其特点是将一种产品的特点列举出来，制成表格，然后再把改善这些特点的事项列成表。其特点在于能保证对问题的所有方面作全面的分析研究。

通过将决策系统划分为若干个子系统（即把决策问题分解为局部小问题），并把它们的特性一一列举出来。将这些特性加以区分，划分为概念性约束、变化规律等，并研究这些特性是否可以改变，以及改变后对决策产生的影响，研究决策问题的解决方法。此法的优点是能保证对问题的所有方面全面的研究。

2. 实施步骤

1) 先将改进对象的特征或属性全部列出来,比如把一辆自行车分解成一个个零件,每个零件功能如何、特性怎样、与整体的关系如何都列举出来,制成一览表。

若对象(如飞机)过于复杂,则应先将对象分解后选一个目标较为明确的发明或改进课题,各个突破。

2) 从三个主要方面进行属性列举:

①名词特性:整体、部分、材料、制造方法。

②形容词特性:性质、状态、颜色、形状、感觉。

③动词特性:功能、作用。

3) 在各项目下试用可替代的各种属性加以置换,引出具有独创性的方案。进行这一步的关键是要力求详尽地分析每一特性,提出问题,找到缺陷,再从材料、结构、功能等方面加以改进。在运用属性列举法时,对事物的特性分析得越详细越好,并且尽量从各个角度提出问题,得到众多的启示。

4) 提出方案并对方案进行论证,使产品能够满足人们的需要和目的。

3. 实例操作

1) 把可以看做是椅子属性的东西分别列出名词、形容词、及动词三类属性,并以脑力激荡法的形式一一列举出来。

2) 如果列举的属性已达到一定的数量,可从下列两个方面进行整理:

①内容重复者归为一类。

②相互矛盾的构想统一为其中的一种。

3) 将列出的事项,按名词属性、形容词的属性及动词的属性进行整理,并考虑有没有遗漏的,如有新的要素须补充上去。

4) 按各个类别,利用项目中列举的性质,或者把它们改变成其他的性质,以便寻求是否有更好的有关椅子的构想。

5) 如果针对各种属性来进行考虑后,更进一步去构想,就可以设计出实用的新型的椅子了。

4. 其他形式的属性列举法

实际操作中也可从以下方面对课题对象进行分析:

物理特性,如软、硬、导电性、轻、重等;

化学特性,如怕光、易氧化生锈、耐酸碱等;

结构特性,如固定结构、可变可拆结构、混合结构等;

功能特性,如能吃、可玩、还可当礼品等;

形态特性,固体、液体、气体、等离子体;

自身特性,事物本身的结构、形状、感观方面的特性;

用途特性，事物可以用于哪些方面；
其他特性，如其色、香、味、形方面的特性等；
使用者特性，可以适合哪些人使用，有何特征；
经济性特性，其生产成本、销售价格、使用成本等。

例 5-16 新颖水壶的构思。

改进烧水的水壶，已经成为国内介绍列举分析法时的一个经典案例，虽然水壶似乎已经不易想到可以改进之处，但运用属性列举法分析它，并采用智力激励法产生众多的设想，仍然可以打开思路找到创新之处。

(1) 名词特性

整体：水壶；
部分：壶嘴、壶把手、壶盖、壶底、蒸汽孔；
材料：铝、不锈钢、铁皮、搪瓷、铜材等；
制作方法：冲压、焊接、浇铸、雕刻。

根据所列属性，可作如下提问并进行分析，然后考虑改进：壶嘴长度是否合适，壶把手可否改成绝缘材料以免烫手，壶体可否一次成型，冒出的蒸汽是否烫手，可否改个位置，制作材料有无更适用的，等等。

(2) 形容词特性

性质：轻、重；
状态：美观、清洁、高低、大小等；
颜色：黄色、白色；
形状：圆形、椭圆形等。

对形容词属性的列举并进行分析，也可找到许多可供改进的地方。如怎样改进更便于清洁，颜色图案还可作哪些变化，底部用什么形状才更利于吸热传热，等等。

(3) 动词特性

功能：烧水、装水、倒水、保温等。

通过对功能的分析，亦可发现可改进之处。如能否在壶体外加保温材料，则可提高热效率并有保温性能，怎么倒水更方便，怎么烧水节省能源等，同样也可开辟产品在新市场上的新销路。再如在壶体上加一汽笛，使水开时就可鸣笛发信号等。现有的一种鸣笛壶，就是通过这一思路改革成功的，这种壶的蒸汽孔改设在壶口，水烧开后会自动鸣笛，壶盖上无孔，提壶时不会烫手。

5.4.2 缺点列举法

观察产品和工艺的缺点、问题及不足，找出改进重点，制定发明方案。如：黑板反光使学生看不清黑板上的字，有人就发明了平玻璃黑板。原先发明的钢笔

出水慢,不太流畅,美国的沃特曼就在钢笔尖中部钻一小孔,开一条细缝制作了这种新型钢笔尖,出水流畅,很受欢迎。从此,沃特曼也成为世界的“钢笔大王”。又如,美国的一位画家名叫海曼,他在用铅笔画素描时,常用橡皮擦除,可是,小小的橡皮经常不见,很恼火,干脆用细绳把铅笔和橡皮连接起来,但使用起来还是不方便。后来,他把小橡皮装在铅笔的尾部,成为一支带橡皮的铅笔,并获得了专利,逐步在世界上推广开来。

1. 运用缺点列举法的基础

俗话说:“金无足赤,人无完人”。世界上任何事物不可能十全十美,总存在这样或那样的缺点。如果有意识地列举分析现有事物的缺点,并提出改进设想,便可能创造,相应的创新技法就叫做缺点列举法。

任何事物总有缺点,而人们总是期望事物能至善至美。这种客观存在着的现实与愿望之间的矛盾,是推动人们进行创造的一种动力,也是运用缺点列举法创新的客观基础。

缺点列举法就是以现实事物为对象,吹毛求疵,苛求缺点,找出其功能上、工艺上、外观上、结构上、材料上、原理上等方面的缺点,逐一罗列成一览表,找到矛盾和本质方面有较大改进价值的,甚至可把某缺点扩大进而逆用的技术措施,这就是缺点列举法的原理。

运用缺点列举法始于发现事物的缺点,挑出事物的毛病。尽管任何事物都有缺点,但是并不是所有的人都会寻找缺点。人的心理惰性往往造成一种心理障碍,认为现在的事物能达到如此水平和完善程度也差不多了,用不着再去“吹毛求疵”、“鸡蛋里挑骨头”。既然对现有事物比较满意,也就不愿去发现缺点,更不用说通过改进去搞创造了。因此,应用缺点列举法时,要有追求卓越的心理基础。

在明确需要克服的缺点后,就得有的放矢地进行创造性思考,并通过改进设计去获得新的技术方案。因此,运用缺点列举法创造还应建立在改进设计的能力基础上。

对我们来说,就是要针对某一产品,找出其缺点,如不顺手、不方便、不省力、不节能、不美观、不耐用、不轻巧、不省料、不安全、不省时、不便宜、功能不够多等缺点,然后用新的技术、新的设计、新的工艺进行改进,就可能创造出新的产品来。所以缺点列举法是一种比较直接、易于掌握的发明方法。例如,普通使用的白炽灯泡始终不肯退出照明舞台,自然有它的简单、实用、廉价等优点,但其效率低、易损坏是它的两大主要缺点,因而人们开发了许多新光源如日光灯、卤素灯、节能灯等。

2. 缺点列举法的实施步骤

(1) 培养运用技法的心理基础 缺点列举法的运用基础是发现事物的缺点

和毛病，因此要有“不满心理”和力图追求完善的动机。

(2) 列举缺点的常用技法

1) 用户意见法。如果列举现有产品的缺点，最好将产品投放市场试销，让用户这个“上帝”提意见，这样获得的缺点对于改进企业产品或提出新产品概念最有参考价值。例如，将普通单缸洗衣机投放市场试销并搜集用户意见后，便可列举这种洗衣机的缺点：

- ①功能单一，缺乏甩干功能。
- ②使用不便，须人工进水、排水。
- ③洗净度低，尤其是衣领、袖口等处不易洗净。
- ④混洗不同颜色的衣物容易造成互染。
- ⑤排水速度太慢，肥皂泡沫更难速排。
- ⑥衣物易绞结，不易快速漂洗。
- ⑦天冷时不易充分发挥洗涤剂的作用。

同时，还应事先设计好用户调查表，以便引导用户列举缺点，同时便于分类统计。

2) 对比分析法。有比较才有鉴别。在对比分析中，很容易看到事物的差距，从而列举出事物的缺点。应用对比分析，首先要确定具有可比性的参照物。比如列举电冰箱的缺点，则应将同类型的多种电冰箱拿来比较。在比较时，还应确定比较的项目。对一般产品，主要比较功能、性能、质量、价格等技术、经济要求。对设计产品，应与国内外先进技术标准相比较，发现设计中的缺点，及早改进设计，确保产品的技术先进性，前提是搜集、掌握有关技术情报资料。

3) 会议列举法（挑毛病的定向分析会）。召开缺点列举会，是充分揭露事物缺点的有效方法。所谓缺点列举会，是一种专挑毛病的定向分析会，可采用头脑风暴法找出缺点。应用这种技法的一般步骤是：

- ①由会议主持者根据创造活动需要，确定列举缺点的对象和目标。
- ②确定会议人员（一般5~10人），召开会议，发动与会者根据会议主题尽可能地列举缺点，并将缺点逐条写在预先准备好的小卡片上。
- ③对写在卡片上的缺点进行分类整理，确定主要的缺点。
- ④召开会议研讨克服缺点的办法。

召开缺点列举会时，应注意会议时间不易太长，一般在一两个小时之内。会议研讨的主题宜小不宜大。可以结合上节介绍的属性列举法针对事物属性列举缺点。

(3) 缺点的分析与鉴别 运用缺点列举法的目的不在列举，而在改进。因此，要善于从列举的缺点中分析和鉴别出有改进价值的主要缺点以作为创造的目标。

分析和鉴别主要缺点，一般可从影响程度和表现方式两方面入手。

不同的缺点对事物特性或功能的影响程度不同，比如电动工具的绝缘性能差，较之其重量偏重、外观欠佳来说要影响大得多，因为前者涉及人身安全问题。分析鉴别缺点，首先要从产品功能、性能、质量等影响较大的方面出发，使提出的新设想、新建议或新方案更有实用价值。

在缺点表现方面，既要列举那些显而易见的缺点，更要善于发现那些潜伏着的，不易被人觉察到的缺点。在某些情况下，发现潜在缺点比发现显在缺点更有创造价值。例如，有人发现洗衣机存在着病毒传染的缺点，提出了开发具有消毒功能的洗衣粉的新建议，洗衣过程中杀菌除病；针对普通洗衣机不能分类洗涤衣物的缺点，开发设计出具有分洗特点的三缸洗衣机，也可开发健康型洗衣机、绿色洗衣机。

(4) 改进性设计和缺点逆用思考 明确需要克服的缺点后，要有的放矢地进行创造性思考，创造更合理、完善的产品，对某些缺点进行逆向思维，化弊为利，悟出新意。

任何事物都是一分为二的，缺点也是如此，能否利用产品的缺点做一些有益于人民的事呢？

例 5-17 国外有一个造纸厂生产了一批书写纸，因工作上的疏漏，纸张沾上水就化水，工厂因此将遭受巨大损失。能不能再从这批废纸中捞回一点经济效益呢？技术人员经过研究，利用该纸吸水性强——化水的主要缺点，加工生产了一种专门用于吸水的吸水纸，投入市场后大受欢迎。工厂借此申请了专利，也增加了收益。

例 5-18 自行车钢圈出厂时都经过严格校正，如果不圆，骑行时就容易颠簸，费时费力。澳大利亚的发明家将这个缺点加以扩大，把轮子加工成圆形或偏心形，增大骑车的颠簸和跳跃感，制成了跳跳车，提高了锻炼效果和骑行兴趣，特别受到少年儿童喜爱。根据这一思路，某学生又发明了车轴高低可调的健身自行车，车轴在圆心处时可正常行驶；改变车轴位置，呈偏心状，即可达到跳跃式效果，犹如爬山、越野和骑马一般，新颖别致。

实施缺点列举法，除了采用新方法、新设计、新工艺改进缺点，扩大缺点，进而逆用两种类型外，有一点值得注意，即有些产品一般情况下已毫无使用的意义，就不必再花大力气去改进、改造了。如现已有了各种电子气体打火机，对汽油打火机的改进就毫无价值。电动鼓风机已大大普及，再改造旧的手拉风箱也没有必要了。电烫头代替火烫曾经风行一时，人们随着冷烫技术的产生、发展，电烫趋向淘汰，如再想把电烫或火烫的设备改进，或再造一些新式的电烫设备也属多此一举，白白浪费人力、物力和财力。

缺点列举的应用面非常广泛，它不仅有助于革新某些具体产品，解决属于

“物”一类的硬技术问题，而且还可以应用于企业管理中，解决属于“事”一类的软技术问题。

例 5-19 试列举电冰箱的潜伏式缺点并提出若干创意。

列举潜伏式缺点：

电冰箱的潜伏式缺点，可以通过创造性观察和思考来列举，重点在使用电冰箱过程中产生的问题。比如：

- 1) 使用氟利昂，产生环境污染。
- 2) 使冷冻方便食品带有李司德氏菌，可引起人体血液中毒、孕妇流产等疾病。
- 3) 患有高血压的人不能给电冰箱除霜，因为冰水易使人手毛细管及小动脉迅速收缩，使血压骤升，造成“寒冷加压”现象，危及人身安全。

提出改进缺点的新设想：

1) 针对上述第一个缺点，进行新的制冷原理研究，开发不用氟利昂的新型冰箱，如国外研制的一种“磁冰箱”，这种电冰箱没有压缩机，采用磁热效应制冷，不用有污染的氟利昂介质。其工作原理大致是这样：以镓等磁性材料制成小珠并填满一个空心圆外，当圆环旋转到冰箱外侧的半个环时受电磁场作用而放出热，转至冰箱内侧的半个环时则从冰箱内吸取热量，如此循环下去，即可保持冷冻状态。

2) 针对冷冻食品带菌问题，除从食品加工本身采取措施外，还可研制一种能消灭李司德氏菌及其他细菌的“冰箱灭菌器”，作为冰箱附件使用。

3) 对于“寒冷加压”问题，一方面是告诫血压高的人不要轻率地用手去除霜，另一方面改进冰箱的性能，从自动定时除霜、无霜和方便除霜等角度去思考。

例 5-20 李政道的发明。

诺贝尔物理学奖获得者李政道教授曾经这样说过：“你们要想在科学研究工作中赶上、超过人家吗？你一定要摸清楚在别人的工作里，哪些地方是他们不懂的。看准了这一点，钻下去，一定会有所突破，你就能超过人家，跑到前头去了。”

一次，李政道听一位同事演讲，知道非线性方程有一种叫孤子的解，他花了一周的时间找来了几乎所有关于孤子的文献，专门挑剔别人有哪些弱点，发现这些文献都是研究一维空间的孤子的，而在物理学中，有广泛意义的是三维空间。这显然是一个弱点。他看准了这个弱点，潜心研究下去，仅花了几个月，很快就找到了一种新的孤子理论，用它来处理三维空间的亚原子过程，得到了许多新的科研成果。

例 5-21 凹底篮球鞋的发明。

30多年前,日本人鬼冢八郎听他的朋友说:“今后体育大发展,运动鞋是不可缺少的。”他受到这些话的启发,决定跨入生产运动鞋这一行业。他想,要在运动鞋制造业中打开局面,一定要做出其他厂家没能作出的新型运动鞋来。然而,他一无研究人员,二无资金,不能像大企业那样投入大量人力和资金研制新产品。但是他想:“任何商品都不会是完美无缺的,如果能抓住哪怕针眼大的缺点,进行改革,也能研究出新的商品来。”

所以,他买了一些篮球运动鞋进行研究。他先访问了优秀的篮球运动员,听他们谈篮球鞋存在的缺点。几乎所有的篮球运动员都说:“现在的球鞋容易打滑,止步不稳,影响投篮的准确性。”他和运动员一起打篮球,亲身体验到这一缺点。

有一天他在吃鱿鱼时忽然看到鱿鱼的触足上长着一个个吸盘,他想,如果把运动鞋底做成吸盘状,不就可以防止打滑了吗?于是,他便把运动鞋的平底改成为凹底。试验结果证明,这种凹底篮球鞋比平底鞋在止步时要稳得多。

例 5-22 弯柄雨伞的改进。

有一伞厂邀请顾客对其生产的弯柄伞挑毛病,分析整理后总结了如下比较主要的缺点:

- 1) 伞太长,不便于携带。
- 2) 弯柄太大,在拥挤的地方会钩住别人的口袋。
- 3) 打开和收拢不方便。
- 4) 伞尖容易伤人。
- 5) 伞面透水,下大雨时里面会弹出水珠。
- 6) 伞面遮挡视线,容易发生事故。
- 7) 钢丝与伞布的连接容易脱落。
- 8) 抗风能力差,刮大风时会向上开口成喇叭形。
- 9) 骑自行车时打伞容易出事故。
- 10) 伞布上的雨水难以排除。
- 11) 长时间打伞走路太无聊。
- 12) 夜间使用看不见路。
- 13) 两个人使用时挡不住雨。
- 14) 色彩单调容易拿错。
- 15) 手中东西多时,无法打伞、无法收拢。
- 16) 夏天太阳下打伞太热,等等。

针对以上缺点,伞厂已研制出各种新伞:折叠伞、可自动打开的伞、可自动打开并可自动收拢的伞、透明的塑料布面伞、戴在头上的伞、可插在背上的伞、加装集水器的伞、伞杆夜间可发光的伞、防紫外线辐射的伞,等等。有人还提出

有窗户的伞、带有微型电筒的伞、带微型风扇的伞、带有微型收音机的伞、带密码锁的伞、伞头戴反光套的伞、可以直接固定在自行车上的伞、适合两个人使用的情侣伞，等等。

例 5-23 雨鞋的改进。

对于雨鞋这种司空见惯的商品，若猛然让你提出改进方案，恐怕你一下子还无从着手。但运用缺点列举法则不难发现其存在的缺点。如：

功能方面：春寒时穿冻脚，夏日炎炎时穿闷脚，不透气、易患脚气，而且走路一提一拉的不跟脚，袜子也容易掉下来。

材料方面：鞋面弯折处易开裂，鞋跟触地处易磨损。

美观方面：颜色单调，几乎都是黑色；式样千篇一律，不分男女老少。

只要针对上述的某一缺点加以改进，就能创造出新产品。如针对“夏天穿闷脚，易患脚气”的缺点，日本人荒井制成了前后有透气孔的雨鞋；而针对“脚后跟容易磨损”的缺点，日本人野口文雄制造出一种在脚后跟触地部位预埋鞋钉的新式雨鞋；现在市场上出售的雨鞋，已经由原先单一的黑色变为五颜六色，式样有男式的也有女式的，有老人穿的，也有儿童穿的，而且还在不断翻新，这是在克服了“颜色单调”、“式样千篇一律”这种缺点后才开发出来的新产品。

5.4.3 希望点列举法

从个人或社会的意愿和需要，提出实现其愿望的种种设想。例如：希望能省力地搬重物上楼，就发明了一种爬楼梯的小车。希望像鸟一样在天空飞行，就发明了气球、飞机。希望三角板能当圆规用，就发明了“带圆规的三角板”。人们穿着的服装能变化，不断更新，是因为顾客的“愿望”在不断地改变。如有人希望有一种不用钮扣、穿脱方便的服装，于是就设计出一种尼龙搭扣的服装。

当然，并不是所有的愿望都可变成发明。例如，早期有人就想制造一种“永动机”，只要机器一开动，不用任何燃料或能量便能一直不停地工作下去。有不少发明家为此绞尽脑汁，并制造出各种稀奇古怪的机器。然而，无论他们怎样精心设计，这些机器总不能永远地开动。后来，科学家证实，根据能量守恒定律，永动机是不可能存在的，是一种不符合科学道理的幻想。

1. 希望点列举法的特点

缺点列举法的基本思路是找出原有事物的缺点加以改进，因此通常不会产生原发性的创造成果，总的来说它属于被动型的创造方法，一般只适用于对老产品的改造。

希望点列举法是由美国尼布拉斯加大学的克劳福特（Robert Crawford）发明的，是通过列举事物被希望具有的特征、以寻找发明目标的方法。希望来自想

象,希望的事物都是现实中还没有的,它既反映了人们对新事物及新产品的向往与追求,又反映了人们当前或者今后的需要。列举希望就是分析人们的追求和需要,并由实现这种追求和需要中产生创造性设想;列举希望就是提出想象,而提出想象本身就是一种进步,也是一种类型的创造。因此,列举希望会使人们从一切旧“框框”的束缚中解放出来,会唤起人们丰富的想象力,激发出人们原发性的创建新事物的欲望。因此,相对缺点列举法来说,希望点列举法是一种主动型的创造方法。例如,工业革命的飞速发展以及都市化进程的加快,在给人类带来高度发达的物质文明的同时,也使地球的资源迅速减少,环境污染日益严重。越来越多的人呼唤着无污染又有益人体健康的新商品。在这种希望的驱动下,人们提出了“绿色商品”的新概念,并开发出众多的“绿色商品”来满足人们的“绿色消费”。

所谓“绿色商品”,是指那些从生产到使用、回收处置的整个过程符合特定的环境保护要求,对生态环境无害或损害极小,并利于资源再生回收的产品。

根据“绿色消费”这一希望点,人们开发出多种多样的绿色食品和生态产品。

“绿色食品”是安全、营养、无公害食品的总称。罐装矿泉水、野生植物罐头、安全不使用任何除虫剂及化学肥料的蔬菜水果及其制品、纯净的氧气等,都是绿色食品家族中的佼佼者。

“生态产品”是有利于保护生态环境的产品。例如,“生态冰箱”不再使用破坏大气臭氧层的氟利昂;“生态汽车”不再使用污染环境的含铅汽油。

2. 社会需要分析

运用希望点列举法时,虽然只从某个信息基点出发去列举希望,但是这个信息基点的确定不应该孤立地思考,因为创造对象总要受到创造环境的制约和影响。这就是说,在运用该技法确定创造目标时,还应当审时度势,洞察社会希望的发展趋势。

社会需要是一种社会心理状态,是人们各种心理欲望的集合,是人们为了自身的生存和维持社会的发展而对政治、经济、教育、文化、科技等方面产生的追求。

社会需要涉及人类社会的每个角落,因此种类繁多。人们常常按照不同的标准对其分门别类。按照需要的对象不同,可以分为物质需要和精神需要。

按需要的用途差别,可以分为消费需要和生产需要。消费需要主要体现在人们对各种消费品及相关服务方面的追求;生产需要则指人们为了进行生产对各种产品及相关服务的需要。

按需要产生的时差不同,还可以分为现实需要和潜在需要。现实需要是指当前显著存在的需要,而潜在需要是相对现实需要而言的一种未来的需要。潜在需

要可能是一种客观存在的但人们尚未意识的需要,也可能是一种人们业已意识但因种种原因暂不能得到的需要。在一定的条件和时机下,潜在需要会凸显为现实需要。

需要是社会进步和发展的产物,必然随着社会的发展而发展。在人类社会早期,人们的需要比较简单,主要是生理需要和安全需要。随着社会生产力的发展,需要越来越变得复杂,除物质需要不断增长外,还产生了多种多样的精神需要。需要是无止境的,未来人的需要将越来越多。也正是需要的这种动态性,创造活动才随着历史的发展而不断地改变自己的创造对象和创造内容,以满足人类物质文明和精神文明建设的需要。

任何一种需要都不是孤立的,它与别的需要存在着一定的关联关系。如果观察一下社会需要的成千上万种产品中,对生活消费品的需要是最基本的。而且其产量品种的增加,必然推动生产资料产品的改进和增加。例如,人们首先需要衣、食、住、行,就发展了纺织品、食品、住房和交通工具等,然后才考虑生产制造上述产品的纺织机械、食品机械、建筑机械、通用机械等工业设备。即是说,对消费品的需要必须牵连对工业品的需要,而工业品的发展,反过来又会促进消费品的生产和开发。这两种需要之间存在着一定的内存联系,即构成“消费需要推动生产需要,生产需要刺激消费需要”的相互作用模式。

无论是对生活消费品,还是工业品的需要,都存在着一种引申裂变的现象,即一种需要的产生,必须会导致另外几种需要的出现。

例 5-24 人们对住宅和公共建筑的大量需求,受到城镇用地紧张的制约,于是高层建筑越来越多。高层建筑的出现,必须引申出许多相关产品的创新设计。如高层建筑施工机械的开发设计(塔式起重机、混凝土输送机等)、高层建筑生活服务设施的开发设计(快速电梯、高楼低压送水器、自动消防器、高楼清扫机等)。

无数的事例表明,只要存在着社会需要,就会驱使人们去进行创造,并用创造成果去满足这种需要。“产生需要→创造→满足需要”,是社会需要与创造之间最基本的联系,也是社会需要导致创造的动力学基本模式。

在运用希望点列举法时,设计者可以通过各种渠道了解社会需要信息,尤其是与创新设计方面相关的信息。

3. 常用列举希望的方法

1) 观察联想法。

2) 召开希望点列举会。每次可有 5~10 人参加,会前由会议主持人选择一件需要革新的事情或者事物作为主题,随后发动与会者围绕这一主题列举出各种改革的希望点;为了激发与会者产生更多的改革希望,可将各人提出的希望用小卡片写出,公布在小黑板上,并在与会者之间传阅,这样可以在与会者中产生连

锁反应。会议一般举行1~2小时,产生50~100个希望点,即可结束。会后再将提出的各种希望进行整理,从中选出目前可能实现的若干项进行研究,制定出具体的革新方案。

3) 向用户和商店征求意见。

4) 对社会各阶层进行抽样调查。

4. 希望的分析与鉴别

由于多向思维的运用,人们总可列举出多种希望,为了收敛成少数能形成创造课题的希望点,有必要对人们的希望进行分析鉴别。

(1) 表面希望和内心希望的鉴别 任何一位消费者都有其表面希望和内心希望。在分析关于消费希望的情报资料时,若仅以表面希望来构思课题或方案,容易造成失误。因此,必须谨慎地进行鉴别,以列举出人们心中真正的希望。

例5-25 有位在医疗技术部门工作的工程师,为了满足残肢人的希望,构思了一种具有套叠伸缩和连续旋转功能的假臂。他满怀信心地告诉残肢人说,戴上他设计的假臂,可以伸到几米高的地方,还能以优越于天然手臂的方式使用螺钉旋具。谁知残肢人看过他那先进的多功能假臂方案后,竟苦笑一声扬长而去。工程师的设计为什么失误?因为他只了解残肢人的表面希望,以为需要“技术先进的假臂”,就在多功能和超人一筹方面下功夫,殊不知残肢人内心的真正希望是过正常人的生活,他们需要的是看起来与正常人无异的假肢。

(2) 现实希望和潜在希望的鉴别 列举的希望中,按时间上看,有现实希望和未来的潜在希望,二者分别对应现实需求和潜在需求。比如家庭希望安全,汽车需要安全,对防盗产品便有需求。防盗锁、防盗门窗等产品,已大量进入千家万户,是现实希望的产物。家用保险柜、电脑报警系统等创意或新产品,对普通家庭来说还是今后的消费希望,当属潜在希望的对象。

创新设计,既可针对现实希望动脑筋,也可抓住潜在希望做文章。前者要审时度势,兵贵神速;后者要高瞻远瞩,暗度陈仓。

(3) 一般希望和特殊希望的鉴别 一般希望是大多数人的希望,特殊希望是少数人的希望。比如提出“超豪华总统座车”设计课题,显然是对特殊希望的满足;提出“小型家用轿车”设计课题,则是21世纪大多数人的一种希望。列举希望搞创造时,应着重考虑一般希望,因为由此形成的创造成果更容易得到社会的认可和接受,相应的市场容量也大一些。

5. 操作程序

希望点列举法的操作程序一般步骤与缺点列举法相同,只是将思维由“缺点”换成“希望点”而已。具体如下:

1) 确定创造的对象。

2) 尽量充分列举被创造对象的希望。

3) 对希望进行分类整理, 区分出短期内可以达到的与暂时不能达到的希望。

4) 对合理的设想进行完善, 形成方案, 进入实施; 对暂时做不到的设想可进行改善, 供以后参考。

6. 希望点列举法的注意事项

1) 由列举希望点获得的发明目标与人们的需要相符, 更能适应市场。

2) 希望是由想象而产生的, 思维的主动性强, 自由度大, 所以, 列举希望点所得到的发明目标含有较多的创造成分。

3) 列举希望点时一定要注意打破定势。

4) 对于希望点列举法用得到的一些“荒唐”意见, 应用创造学的观点进行评价, 不要轻易放弃。

另外, 在采用希望点列举法时必须注意自己的想法要有科学性、实用性和可能性。科学性就是要遵循自然规律, 如有的同学的设想违反了能量转换和守恒定律, 是毫无成功可能性的。实用性就是要经济实用, 符合生活习惯, 遵守道德准则, 应是社会的希望, 大众的希望。可能性指所选课题应考虑到自己的能力, 看看有否完成的可能性, 提出不切际和无法实现的想法则没有什么现实意义。

例 5-26 轴承的作用是减少运动副的摩擦。虽然完全无摩擦的轴承是不存在的, 但是为了使摩擦减少到最低限度, 人们仍然提出了各种希望的理想状态。例如, 轴承和转轴在转动中能否互不接触, 若必须接触那么接触面能否尽可能减小, 能否使接触面间的摩擦因数尽可能地减小, 能否研制无摩擦的润滑剂等。

为了实现轴和轴承在运转中互不接触的理想状态, 人们先后研究了静压润滑轴承、动压润滑轴承、空气轴承及磁力轴承等。静压润滑轴承即将高压油压入轴承的间隙中, 强制形成油膜, 使运转中的轴与轴承之间无直接接触; 动压润滑轴承即保持轴与轴承之间有一个楔形间隙、足够高的相对速度及充足的润滑油, 就会在轴与轴承之间形成动压油膜, 该油膜足以将转轴托起, 使其不与轴承直接接触; 空气轴承即向轴套部位吹入高压空气, 用空气层代替了润滑油膜, 以使转轴悬浮在轴套中, 轴与轴承脱离接触; 磁力轴承是依据磁性材料同极相斥的原理, 再利用超导体材料完全不容纳磁力线的性质, 在轴承磁场中安放用超导材料制成的转轴, 该轴将悬浮其中。

例 5-27 有一家制笔公司用希望点列举法产生了一批改革钢笔的希望点:

希望钢笔出水顺利, 希望绝对不漏水, 希望一支笔可写出两种以上的颜色, 希望不沾污纸面, 希望书写流利, 希望笔画能粗能细, 希望小型化, 希望笔尖不开裂, 希望不用吸墨水, 希望省去笔套, 希望落地时不损坏笔尖等。

这家制笔公司后来从“希望省去笔套”这一点出发, 研制出一种像圆珠笔一样可以伸缩的钢笔, 省去了笔套, 打入了市场。

例 5-28 美国的创造学家艾可夫，曾列举了心目中理想的电话，其希望点可概括为：

- 1) 具有不用手拿即可使用电话的功能（即免提通话功能）。
- 2) 具有在任何场合使用电话的功能（即移动电话）。
- 3) 具有错拨号码鉴别功能。
- 4) 具有在接电话之前，即知道谁打来的电话的功能，这样便可以不用接那些不想接的电话（来电显示功能）。
- 5) 具有占线待机并自动接通功能。
- 6) 具有预设电话留言功能。
- 7) 具有多人同时通话的功能。
- 8) 具有声音或图像传递功能。

以上对于电话的希望，有相当一部分已经变为现实。

实际上，市场上许多新产品都是根据人们的“希望”研制出来的。

人们希望电风扇能吹出一阵一阵的风，于是有人就发明了模拟自然风的阵风电扇。

人们希望伞可以放进提包，有人就发明了折叠伞。

人们希望夜间开门能找出钥匙来，有人就发明了带电珠的钥匙圈。

人们希望洗衣服不要去拧干，于是就有人发明了甩干机。

人们希望能省力地将重物搬上楼，有人就发明了能爬楼梯的小车等。

从更广义来说，古今中外的许多重大发明创造，也都是根据人们的“希望”，经过努力而变为现实的。

人们希望上天，就发明了气球和飞机。

人们希望夜如白昼，就发明了电灯。

人们希望冬暖夏凉，就发明了空调机。

人们希望快速计算，就发明了计算机。

等等。

5.4.4 信息列举法

1. 信息列举法原理

信息列举法是指通过列举专题信息，全面认识某一创造领域或创造链的发展态势，进而寻找新的创造课题，做出新的创造成果的技法。

例 5-29 静电复印技术的发明就是通过信息列举法获得灵感的。1934 年，卡尔森在美国马洛利公司当律师时，看到复写文件要花费大量而繁重的劳动，勾起了他发明一种新的复制文件的想法，实践中几次试验均失败了。后来，利用检索工具检索了专利文献（信息列举），发现光电效应的原理没有人用，即提出了

将光电性和静电学原理结合的复制系统的开发课题。经大量试验，最后发明了静电复印技术。

例 5-30 日本一家度量公司为开发新型秤，组织了专门力量从查阅专利文献入手，将收集到的有关秤的发明进行分类列举，而后从功能原理、适用范围、性能特点、结构方式等进行评价，对照现有的先进技术和市场需求的新动向，思考还有什么需要补充的空白。结果他们发现现有的秤的家族中，还缺能够自报重量的秤，这显然是一项专利空白。于是，他们正式立题研制，并获得了成功。这种秤除了具有正常电子秤的功能外，有电声转换装置，可以报告重量。

2. 信息列举法的运用

信息检索是信息列举法的基础。从事哪一领域的创造，就以哪一领域的信息为主进行信息的收集、加工和利用。一般分 3 个步骤实施信息列举法：

1) 确定创造方向。

2) 列举信息。通过信息资料的检索，获取与创造方向一致的相关信息，并按一定的分类原则进行信息分类列举。

3) 进行新的创造。通过寻找技术空白，引申或综合他人成果提出新的创造课题，进行必要的创造活动。

例如，杯式感冒理疗器的成功研制就是应用信息列举法进行发明的实例。发明者刘瑞章，在查阅情报信息时了解到法国的耳沃费教授的一项新发明——治疗伤风感冒的速效器。其机理是利用热蒸汽能杀死呼吸道感冒病毒的功能，这的确是一种创新，中国国内还没有。刘瑞章由此确定了发明创造的目标。他首先详细了解和分析了耳沃费的感冒治疗速效器的基本原理、结构、售价，决定国产化基础上的改进，用二次加热替代一次加热，用电脑控制替代人工控制，用普通保温杯替代专用容器。经过研制，新的杯式感冒理疗器就研制出来了，它具有保温功能，能形成 43℃ 的热蒸汽，用此热蒸汽喷射感冒患者的鼻腔。经临床试验，治愈率达 72%。

5.5 德尔菲法

5.5.1 起源演变

德尔菲 (Delphi) 法是在 20 世纪 40 年代由赫尔默 (Helmer) 和戈登 (Gordon) 首创，1946 年，美国兰德公司为避免集体讨论存在的屈从于权威或盲目服从多数的缺陷，首次用这种方法来进行定性预测，后来该方法被迅速广泛采用。20 世纪中期，当美国政府执意发动朝鲜战争的时候，兰德公司又提交了一份预测报告，预告这场战争必败。政府完全没有采纳，结果一败涂地。从此以后，德

尔菲法得到广泛认可。

德尔菲是古希腊地名。相传太阳神阿波罗（Apollo）在德尔菲杀死了一条巨蟒，成了德尔菲主人。在德尔菲有座阿波罗神殿，是一个预卜未来的神谕之地，于是人们就借用此名，作为这种方法的名字。

5.5.2 概念

德尔菲法是依据系统的程序，采用匿名发表意见的方式，即专家之间不得互相讨论，不发生横向联系，只能与调查人员发生关系，通过多轮次调查专家对问卷所提问题的看法，经过反复征询、归纳、修改，最后汇总成专家基本一致的看法，作为预测的结果，是一种递进型创新技法。

德尔菲法是预测活动中的一项重要工具，在实际应用中通常可以划分三个类型：经典型德尔菲法（Classical）、策略型德尔菲法（Policy）和决策型德尔菲法（Decision Delph）。

5.5.3 实施程序

德尔菲法的具体实施程序如下：

1) 组成专家小组。按照课题所需要的知识范围，确定专家。专家人数的多少，可根据预测课题的大小和涉及面的宽窄而定，一般不超过20人。

2) 向所有专家提出所要预测的问题及有关要求，并附上有关这个问题的所有背景材料，同时请专家提出还需要什么材料。然后，由专家做书面答复。

3) 各个专家根据他们所收到的材料，提出自己的预测意见，并说明自己是怎样利用这些材料并提出预测值的。

4) 将各位专家第一次判断意见汇总，列成图表，进行对比，再分发给各位专家，让专家比较自己同他人的不同意见，修改自己的意见和判断。也可以把各位专家的意见加以整理，或请身份更高的其他专家加以评论，然后把这些意见再分送给各位专家，以便他们参考后修改自己的意见。

5) 将所有专家的修改意见收集起来，汇总，再次分发给各位专家，以便作第二次修改。逐轮收集意见并为专家反馈信息是德尔菲法的主要环节。收集意见和信息反馈一般要经过三四轮，在向专家进行反馈的时候，只给出各种意见，但并不说明发表各种意见的专家的具体姓名。这一过程重复进行，直到每一个专家不再改变自己的意见为止。

6) 对专家的意见进行综合处理。

每一轮的具体说明：

第一轮：①由组织者发给专家的第一轮调查表是开放式的，不带任何框框，只提出预测问题，请专家围绕预测主题提出预测事件，如果限制太多，会漏掉一

些重要事件；②预测组织者要对专家填好的调查表进行汇总整理，归并同类事件，排除次要事件，用准确术语提出一个预测事件一览表，并作为第二轮调查表发给专家。

第二轮：①专家对第二轮调查表所列的每个事件作出评价，例如，说明事件发生的时间、叙述争论问题和事件或迟或早发生的理由；②预测组织者收到第二轮专家意见后，对专家意见作统计处理，整理出第三张调查表，第三张调查表包括：事件、事件发生的中位数和上下四分点，以及事件发生时间在四分点外侧的理由。

第三轮：①把第三张调查表发下去后，请专家做以下事情：重审争论；对上下四分点外的对立意见作一个评价；给出自己新的评价（尤其是在上下四分点外的专家，应重述自己的理由）；如果修正自己的观点，也请叙述为何改变，原来的理由错在哪里，或者说明哪里不完善；②专家们的新评论和新争论返回到组织者手中后，组织者的工作与第二轮十分类似：统计中位数和上下四分点；总结专家观点，重点在争论双方的意见，形成第四张调查表。

第四轮：①请专家对第四张调查表再次评价和权衡，作出新的预测，是否要求作出新的论证与评价，取决于组织者的要求；②当第四张调查表返回后，组织者的任务与上一轮的任务相同：计算每个事件的中位数和上下四分点，归纳总结各种意见的理由以及争论点。

注意：

①并不是所有被预测的事件都要经过四轮。可能有的事件在第二轮就达到统一，而不必在第三轮中出现。

②在第四轮结束后，专家对各事件的预测也不一定都达到统一。不统一也可以用中位数和上下四分点来作结论。事实上，总会有许多事件的预测结果都是不统一的。

5.5.4 德尔菲法的特征

1) 匿名性。匿名是德尔菲法极其重要的特点，从事预测的专家彼此互不知道其他有哪些人参加预测，他们是在完全匿名的情况下交流思想的。

2) 多次有控制的反馈。小组成员的交流是通过回答组织者的问题来实现的。它一般要经过若干轮反馈才能完成预测。

3) 小组的统计回答（统计特性）。报告一个中位数和两个四分点，其中一半落在两个四分点内，一半落在两个四分点之外。这样，每种观点都包括在这样的统计中了。

正是由于德尔菲法具有以上这些特点，使它在诸多判断预测或决策手段中脱颖而出。这种方法的优点主要是简便易行，具有一定科学性和实用性，可以避免

会议讨论时产生的害怕权威随声附和,或固执己见,或因顾虑情面不愿与他人意见冲突等弊病;同时也可以使大家发表的意见较快收敛,参加者也易接受结论,具有一定程度综合意见的客观性。

下例说明中位数和上下四分点的意义:

如有 13 名回答者,对某事件发生时间的预测结果回答如下:

1985, 1987, 1990, 1990, 1990, 1990, 1992, 1995, 1995, 1997, 1997, 2000, 永不发生

下四分点 中位数 上四分点

一般来说,若回答者对某事件发生时间的预测结果回答如下(从小到大排列):

$$x_1, x_2, x_3, \cdots, x_n$$

当 $n=2k+1$ 时, $x_{\text{中}} = x_k + 1$, k 为整数;

当 $n=2k$ 时, $x_{\text{中}} = (x_k + x_{k+1})/2$ 。

上下四分点的奇偶原则,均按类似于上面的原则处理。

5.5.5 德尔菲法应用范围

德尔菲法作为一种主观、定性的方法,不仅可以用于预测领域,而且可以广泛应用于各种评价指标体系的建立和具体指标的确定过程。除了科技领域之外,还几乎可以用于任何领域的预测,如政策制定、军事预测、人口预测、医疗保健预测、经营和需求预测、教育预测等。此外,还用来进行评价、决策和规划工作,并且在长远规划者和决策者心目中享有很高的威望。

归纳起来主要有以下 5 个方面用途:

- 1) 对达到某一目标的条件、途径、手段及它们的相对重要程度作出估计。
- 2) 对未来事件实现的时间作出概率估计。
- 3) 对某一方案(技术、产品等)在总体方案(技术、产品等)中所占的最佳比重作出概率估计。
- 4) 对研究对象的动向和在未来某个时间所能达到的状况、性能等作出估计。
- 5) 对方案作出评价,或对若干个备选方案评价出相对名次,选出最优者。

5.5.6 德尔菲法的优缺点

德尔菲法同常见的召集专家开会、通过集体讨论、得出一致预测意见的专家会议法既有联系又有区别。德尔菲法能发挥专家会议法的优点,即:

- 1) 能充分发挥各位专家的作用,集思广益,准确性高。
- 2) 能把各位专家意见的分歧点表达出来,取各家之长,避各家之短。

同时，德尔菲法又能避免专家会议法的缺点：

- 1) 权威人士的意见影响他人的意见。
- 2) 有些专家碍于情面，不愿意发表与其他人不同的意见。
- 3) 出于自尊心而不愿意修改自己原来不全面的意见。

德尔菲法的主要缺点是过程比较复杂，花费时间较长。由于专家一般的时间紧，回答总是往往比较草率，同时由于预测主要依靠专家，因此归根到底仍属专家们的集体主观判断。此外，在选择合适的专家方面也较困难，征询意见的时间较长，对于需要快速判断的预测难于使用等。

5.5.7 注意事项

1) 由于专家组成员之间存在身份和地位上的差别以及其他社会原因，有可能使其中一些人因不愿批评或否定其他人的观点而放弃自己的合理主张。要防止这类问题的出现，必须避免专家们面对面的集体讨论，而是由专家单独提出意见。

2) 对专家的挑选应基于其对企业内外部情况的了解程度。专家可以是第一线的管理人员，也可以是企业高层管理人员和外请专家。例如，在估计未来企业对劳动力需求时，企业可以挑选人事、计划、市场、生产及销售部门的经理作为专家。

其他注意事项：

1) 为专家提供充分的信息，使其有足够的根据做出判断。例如，为专家提供所收集的有关企业人员安排及经营趋势的历史资料 and 统计分析结果等。

2) 所提问的问题应是专家能够回答的问题。

3) 允许专家粗略地估计数字，不要求精确。但可以要求专家说明预计数字的准确程度。

4) 尽可能将过程简化，不问与预测无关的问题。

5) 保证所有专家能够从同一角度去理解员工分类和其他有关定义。

6) 向专家讲明预测对企业 and 下属单位的意义，以争取他们对德尔菲法的支持。

5.5.8 派生德尔菲法

1. 保持德尔菲法基本特点的派生德尔菲法

保持经典德尔菲法匿名性、反馈性、统计性的基础上稍作改进：

1) 列出预测事件一览表：组织者预先拟订预测事件一览表第一轮时提供给专家，供其修改补充。

2) 向专家提供背景材料：根据专家的专业特点，提供其他领域的必要背景

资料以弥补某些专家知识面的不足。

3) 减少应答轮数: 经典德尔菲法经过四到五轮, 耗时颇长; 本方法在第三轮甚至第二轮时就停止调查, 显著提高效率。

4) 对预测结果进行自我评价: 从专家的自我评价看出其结论的自信程度, 以此进行统计处理, 提高预测精确度。

5) 给出事件多个可能实现时间的日期: 要求专家对事件实现的时间提供多个概率不同的日期, 便于分析时作参考。

2. 部分改变德尔菲法基本特点的派生德尔菲法

1) 部分取消匿名性: 先匿名征询, 再口头讨论或辩论; 或先口头讨论或辩论, 再匿名征询。可以既发挥专家个人长处不受干扰, 又加快预测进程。

2) 部分取消反馈:

第一种: 只向专家反馈前一轮预测结果的上下四分点, 而不提供中位数, 防止有些专家有意回避提出与众不同的观点。

第二种: 第一轮中由专家自由提出应预测事件, 第二轮中每个专家对每个事件给出三种不同概率日期, 并作自我评价; 第三轮反馈只发给本领域权威专家和预测得中位数的专家, 以保护权威专家和持不同看法专家的不同意见。

例 5-31 产品未来销售量预测操作流程。

某企业要成批生产一种新产品, 要预测其未来可能的销售量, 做法是:

1) 专家选择。选择有丰富经验的经理、供销人员等 9 位 (一般为单数, 方便求中位数) 专家。

2) 将新产品的样品、说明书连同调查表“背对背”地寄给这些专家, 记住这里的关键是“背对背”, 也就是防止专家们共同商议。

3) 汇总寄回的调查表, 汇总数据中包括各专家判断的“最低值”、“最可能值”、“最高值”, 再反馈寄给每位专家, 但每个专家仍只能看到其他专家的打分, 然后让专家们根据其他专家的打分, 再重新评分; 一般还要辅助以定性的方法, 如让专家详细注明这样评价的理由。一般会反复三次。

4) 根据第三次判断, 预测新产品的销售量。一般有三个指标:

①算术平均值, 例如, 如果“最低值”的算术平均值为 8、“最可能值”为 11, “最高值”为 15, 那么整个的算术平均值就是 $(8 + 11 + 15) / 3 = 11.33$ 。

②加权算术平均值。一般权数的经验值是“最低值”0.2, “最可能值”0.5, 最高值 0.3。

③加权中位数平均值。中位数就是把数按大小顺序排, 如数的个数为奇数就是最中间的数, 为偶数就是最中间两个数的平均数。

这三个指标都认为可作为参考。

例 5-32 书刊经销商对某一专著销售量进行预测。

一书刊经销商首先选择若干书店经理、书评家、读者、编审、销售代表和海外公司经理组成专家小组。将该专著和一些相应的背景材料发给各位专家，要求大家给出专著最低销售量、最可能销售量和最高销售量三个数字，同时说明自己作出判断的主要理由。将专家们的意见收集起来，归纳整理后返回给各位专家，然后要求专家们参考他人的意见对自己的预测重新考虑。从表 5-1 中我们可以看出，专家们完成第一次预测并得到第一次预测的汇总结果以后除书店经理 B 外，其他专家在第二次预测中都作了不同程度的修正。重复进行，在第三次预测中，大多数专家又一次修改了自己的看法。第四次预测时，所有专家都不再修改自己的意见（表中没有列出）。因此，专家意见收集过程在第四次以后停止，最终结果为最低销售量 26 万册，最高销售量 60 万册，最可能销售量 46 万册。

表 5-1 专家预测结果 (单位：万册)

专家小组成员		第一次预测			第二次预测			第三次预测		
销售量		最低	最可能	最高	最低	最可能	最高	最低	最可能	最高
书店经理	A	25	60	85	25	70	80	25	75	80
	B	35	50	75	35	50	75	35	50	75
	C	50	60	70	40	50	60	50	70	75
书评家	A	5	15	37	9	22	47	9	24	47
	B	30	55	85	35	50	70	25	68	75
读者	A	40	55	80	35	45	70	25	35	60
	B	10	25	55	22	35	60	20	35	60
编审	A	19	22	31	22	28	34	22	28	34
	B	20	30	45	22	34	44	22	34	44
销售代表	A	16	22	31	12	25	31	28	37	62
	B	20	35	50	20	35	50	25	45	50
海外公司经理		20	35	55	20	35	50	25	45	50
小组平均数		23	39	58	24	40	57	26	46	60
书店平均数		37	57	77	33	57	72	37	65	77
书评家平均数		18	34	61	17	36	59	17	46	60
读者平均数		22	42	65	25	41	63	22	38	60
编审平均数		20	26	38	22	31	39	22	31	39
销售代表平均数		18	29	41	16	30	41	27	41	56
海外公司经理平均数		20	35	55	20	35	50	25	45	50

例 5-33 家用电器新产品开发课题的策划。

某家用电器开发设计研究所为捕捉今后几年的家电新产品课题,采用了德尔菲法,其具体实施过程大体如下:

1) 根据开发研究要求,他们选聘了国内外 30 位专家担任专家成员。

2) 制订“家用电器新产品开发课题调查表”。表中列出家用电器基本类别,划分出“重点考虑”、“一般考虑”和“暂不考虑”等级别,并对其含义作出相应的说明。

3) 进行轮间反馈。第一轮调查表寄发后,收到 150 个家电产品新设想,经归纳整理成 80 个新设想,再寄出,进行调查;第二轮调查表收回后,专家们将设想集中到重点考虑的课题 45 个。经第二轮调查后,专家把急需开发的重点家用电器产品集中到以下 6 类 20 种。

①洗衣机类:模糊洗衣机(带测污传感器的自动洗衣机)、能自动缩短洗涤时间的洗衣机、轻便型洗衣机、超声波洗衣机。

②电冰箱类:能贮藏多品种的电冰箱、贮藏药品和化妆品的电冰箱、间接用电的四门电冰箱。

③吸尘器类:无软线型吸尘器、自动行走型吸尘器、天棚用吸尘器、洗澡间用吸尘器。

④电熨斗类:无热电熨斗、无软线电熨斗、速冷却电熨斗。

⑤炊具类:多功能电饭锅、固体电路微波灶、自动调节功率的微波灶。

⑥保健美容类:微型按摩器、磁波褥、简易净水器。

最后,研究所根据专家反馈的设想,制订出家用电器产品重点研究开发计划。

5.6 组合法

晶体管的发明者肖克莱认为:“所谓创造就是把以前独立的发明组合起来。”事实上,搞发明创造大致有两条路可走,一条是全新的发现和发明,另一条就是把已知其原理的事实进行组合。组合法体现了现代科学技术综合化的趋势,反映了发明创造活动的实质。由组合而发明的成果已充满了我们生活和生产的各个领域。该方法是一种混合型的创新技法。

在自然界和人类社会,作为构成事物的基本形式,组合现象是非常普遍的,原子组合成分子,分子组合成细胞、细胞组合成组织、器官、系统,直至整个人体;个人组合成家庭,家庭组合成社会等。组合现象是极其复杂的,组合的可能是无穷无尽的,组合是事物整体或部分的叠加。即使是同样的部分,采取不同的组合就可以得到不同的事物。例如,同是由碳原子组成,以不同方式、不同晶格进行组合,就可以得到性能完全不同的金刚石和石墨。同样,在人类的创造性思

维中,组合的思维是最基本的,也是最容易形成和最容易实现的。将两个或两个以上已有事物的一部分或全部进行适当的组合,使得到的新事物在性质和功能等方面发生变化,以产生新的价值的创造技法就是组合创造法。这种组合可以使事物不同的特点、不同的优势共同发挥作用。

日本不仅在理论上提出“组合就是创造”的观点,而且在实践中也取得了巨大的成功,日本靠外来技术,组合出许多世界一流的产品。例如,其领先世界的合成纤维、钢铁等技术就是对欧美新技术的组合;又如,美国的阿波罗登月计划中,没有一项技术是新的突破,而是对现有技术进行了有机的组合。

由于组合创新技法是在一定的整体目的下利用现成的技术成果,因而往往并不十分需要建立高深的理论基础和开发非常专门的高级技术。这样,创造者就可在并不很高的知识基点上从事技术起点较高的创造发明。例如,橡皮和铅笔是两项不同的技术成果。一位贫穷的画家威廉把它们组合在一起,发明了把橡皮包在铅笔头上的铅笔。他获得了专利。他把这个专利和专利权卖给了拉巴地布铅笔公司,使该公司每年仅专利费一项收入,达50万美元。再如,1979年诺贝尔生理学医学奖获得者蒙斯菲尔,只是一个没有读过大学的普通技术工作者,使其夺冠的成就仅仅是把已有X射线的照相装置与电子计算机组合到一起,发明了“CT扫描仪”。这一仪器在诊断脑内疾病和体内癌变方面具有特殊的效能,“从而使医学界一向梦寐以求的理想成为现实”,因而被誉为20世纪医学界最重大的发明之一。

在各种创造中,组合创造是一种最常见的、效率最高、效益最好的创造方法。许多发明创造都是组合创造的结晶。有人对1900年以来的480项重大成果进行了分析,发现从1950年以后,组合型的成果的数量远远超过了突破型发明的数量,成为占主导地位的技术。组合型的技术发明使技术更加完善、成熟。

组合创造可以使已有事物,经过意义、功能、原理、构造、材料诸方面的组合变化,形成新的事物,从而使已有事物产生新的或更佳的功能和意义。组合创造可以小到两个相同零件的组合,如将两个齿向相反的斜齿轮进行组合,结果发明了可以克服轴向力的人字齿轮;也可以大到两种或两种以上不同技术系统的组合,如电子技术与机械技术的组合,其成果有数控机床、数控机群、无人驾驶飞机,又如现代航天飞机就是宇航技术和飞机技术的完美组合等。组合创造是无穷的。因此,组合思维方式和组合设计技巧是发明创造者的基本创造技能。科学大师爱因斯坦曾在前苏联《发明家》杂志的创刊号上发表的文章中说:“我认为,一个人为了更经济地满足人类的需要而找出已有装备的新组合的人就是发明家。”他还曾说过:“组合作用似乎是创造性思维的本质特征。”

科学技术发展到今天,激增的知识纵横成网,各种产物更是多得不得了,使组合创造的天地越加广泛,组合创造的成就越加辉煌,组合创造的方法也越加重

要。组合创造的常用组合方法有：主体附加法、异类组合法、同物自组法、重组组合法及信息交合法等。

5.6.1 主体附加法

鞋的发明，源于对脚的保护。光着脚走路、生产和作战，总不如脚登鞋靴舒适方便。怎样使消费者的双足得到更好的保护呢？发明创造者不妨想想这个问题。

生产名牌运动鞋的德国“芭芭拉”公司，不久前推出一种附加隐藏式电池和串灯发光装置的运动鞋。行走时，鞋跟触地便变幻发光闪亮，在夜间能远距离引起过往车辆驾驶员和行人注意，适合青年学生特别是晚间慢跑者穿着。这种“闪光芭芭拉”已在我国面市，不少军体院校纷纷慕名购买。

洋人能想出好主意，中国人也有妙招。以生产“登云牌”皮鞋而闻名的上海第一皮鞋厂与上海六家医院的专家们，共同研制出嵌有磁片的保健型“磁疗皮鞋”，令消费者耳目一新。

据专家们介绍，磁场对于人体十分重要，而我们所生活的空间，磁场在不断减弱，从而造成人体磁场弱化，电流变小，疼痛、疲劳、失眠等症随之容易而来。因此，向身体补充磁力线就有重要意义。比如人的脚底，在人体力学上是聚集倾向最大的部位，因而脚也是人体中最容易退磁的部位。新发明的保健型“磁疗”鞋，在鞋底内侧面针对脚底主要穴位部开孔，并嵌上专用磁片，使其对准脚底的穴位点，经常穿着便可抑制腿部退磁，有助于消炎、镇痛、降压和消除疲劳。由于皮鞋是人们穿着最多的鞋种，也是市场竞争激烈的一种商品，磁疗皮鞋“锦上添花”，前途将是一片光明。

无论是“闪光芭芭拉”还是“磁疗皮鞋”，都是“主体附加法”的应用实例。即在某种产品上附加一种新的成分，使主体产品的功能或性能略有拓宽，能给消费者在购买主体产品的同时获得锦上添花式的附加利益。

1. 基本原理

主体附加法就是在原有的技术思想中补充新内容；在原有的物质产品上增加新附件，即以某事物为主体，再添加另一附属事物以实现组合创造的技法。例如，给照相机增加闪光灯，为电视机添加遥控器，在汽车上加装刮雨器、保险杠，安装里程表、后视镜、空调、音响等都是主体附加；主体附加是为数最多的组合创造，这是因为围绕一个主体可以进行各种各样的添加。例如，以扇子为主体，我们可以把扇子和导游图、扇子和列车时刻表、扇子和市内交通图、扇子和学生常用数理化公式表、扇子和日历等组合在一起，使扇子增加了新的功能。

在主体附加的创造中，主体可以是任何事物。由辩证法可知，作为主体的世间万物都存在着早晚会出现的一些不尽如人意的地方，为了克服这些不足，人类

创造了许多种变革主体的方法，主体附加就是其中的一种科学而有效的方法，这里的附加是指针对主体事物存在的不足之处进行思想上、物质上或技术上的补充，通过添加所得的整体在功能与性能上超越主体原有的功能与性能，对主体的每一次添加或每一个添加都会推动主体向前迈进一步。例如，在洗衣机洗涤功能的基础上增加甩干功能、消毒功能，为电风扇增加摇头功能、定时功能等都是对洗衣机、电风扇等已有产品的完善。由此看来，主体附加的过程就是使事物得以改进、充实和完善的过程。

在进行主体附加法创造时，首先要有目的、有选择地确定一个主体。第二，运用缺点列举法全面分析主体在功能、性能或结构上尚存在的缺点和不足；或运用希望点列举法对主体提出种种希望。第三，根据不同的创造目的，选择合适的附加体。第四，在不改变或略微改变主体的前提下，将附加体与主体实施有机的组合。例如，电视机工作时，放射超紫外线和可见光，引起眼睛疲劳。要克服这一缺点，对电视机本身进行改革，技术难度很大，也不是一下子就能办到的事。能不能不改动电视机这个主体，而添加一种东西来克服这个缺点呢？日本已经设计出一种电视光栅过滤器，观看电视时，将它摆在荧光屏前，能削减 100% 的超紫外线，吸收 22.5% 的可见光及清除图像的闪烁和噪声。

2. 主体附加法的特点

(1) 主次分明 主体附加法是以原有物质产品或技术思想为基础，在不改变主体或略微改变主体的情况下，添加一种新的产品或技术思想，以克服原有主体存在的不足的创造过程。由此创造的组合体，在性能、功能或结构上主次分明。

例 5-34 20 世纪 90 年代以来，缺碘引起的疾病受到人们的普遍关注。过去，人们知道严重缺碘者会得甲状腺肿大，即大脖子病，病情厉害的还会痴呆。可是很少有人知道，缺碘的人再发生甲状腺肿大就可以导致自己的后代弱智，而且，胎儿期造成的智力残疾是不可逆的。据专家统计，缺碘地区新生儿比正常地区的新生儿平均智商损失 10%，所以需要人工补碘，进而开发出食用碘盐，加碘矿泉水等补碘的食物。开发的加碘盐、加碘矿泉水，其主体仍为盐或矿泉水，添加体为碘，主次非常分明。

例 5-35 日常学习中经常要用镇书石压书，这在家里是非常方便的，但学生在教室学习时带镇书石不方便，也不现实。为了克服这一缺点，内蒙古自治区巴盟司法处干部张紫晶，在文具盒上设计了两个形如回形针的卡子，文具盒具有了夹书的功能，并申请了实用新型专利。该设计的主体仍为文具盒，添加体为回形针似的卡子，主次分明。

(2) 功能或性能的扩大 主体附加的思想之一是补充、利用主体技术的思想，不会导致整个技术思想的大波动。主体上附加了添加体后，往往使主体的功

能得到增加或性能得到扩充。

例 5-36 杯子的基本功能是盛水、饮水，有人用主体附加法发明了磁化杯，在杯底和杯盖上各装一块磁铁，在磁场的作用下，使水的溶解度和溶解氧均有提高，使水与其他物质的浸润性和渗透性加强。人饮用磁化水后，有利于体内循环系统障碍物的溶解和排出，促进人体新陈代谢，具有保健功能。所以，添加为磁化杯后，其杯子的功能得到了扩充。

例 5-37 日本铃木油脂工业株式会社社长铃木三郎，访华时见到中国老年人玩的健身球，回去后便在健身球内部添加永久磁铁，在外表添加乳头状的小凸起，通过这种对主体的添加使健身球有了磁疗功能和刺激手上穴位的功能。

(3) 克服主体的缺点 主体附加的思想之二是针对主体在功能或性能方面的不足而展开的，所以，在主体上附加了添加体后，往往克服了主体存在的不足。

例 5-38 早先的足球门，仅有两根立柱和一根横梁。比赛时，当球紧贴立柱和横梁入门时，裁判员往往难以判断是否进球，经常引起比赛双方队员的争执。1905 年，在英国伦敦举行的一场比赛中，比赛双方又为一入球发生了争吵，裁判员左右为难，正在观看比赛的渔具厂老板急中生智，把自己生产的鱼网挂在球门上从而平息了一场争端。从此，足球门网应运而生。由此可以看出，足球门网是针对足球比赛中存在的不足而添加的。

例 5-39 洗衣机能洗净衣物的原因之一是通过水、衣物在转动过程中的摩擦作用。尽管在设计时考虑到衣物的相互交织，而采用正反转的设计，但在实际使用中，需要洗涤长条物品时，仍然常常将衣物绞在一起，减少了相互之间的摩擦作用，影响洗涤效果，为了克服这一缺点，有人想到添加一个小物品——洗涤网兜，在洗涤时把长条物品装到网兜里洗涤，较好地解决了存在的不足。

例 5-40 1902 年的一天，美国妇女玛利·安德逊乘车前往纽约。由于天下雨，一路上驾驶员神色紧张地驾驶着汽车，她自己也提心吊胆。过后她仍在思考这件事，想来想去，想到在一个木柄上钉上一根皮条安装在汽车上，用来拨开车窗上的雨水，后来，有人把这种手动拨雨器改装为电动刮雨器，并逐渐完善。添加了刮雨器后，克服了雨天驾驶汽车存在的看不清前方路面状况的不足。

3. 主体附加的方式

(1) 按主体与附加体之间的连接方式分

1) 混合式附加。指在某种液体或粉末状物体中添加某种成分以使原有物体的性能和功能得到改善和扩充的添加方式。在实施混合式添加时，必须考虑添加了附加体后，附加体的化学成分不能与主体的化学成分发生化学反应，以保证主次分明的特点。例如，加钙奶、加钙矿泉水、加碘盐等就是混合式添加的产物。

2) 连接式附加。指主体和附加体需要通过某种机械连接的方式实施添加的

附加方式。这种附加需要考虑主体和附加体之间的连接结构形式。例如，添加在汽车上的刮雨器、音响、里程表，自行车的车铃和车灯，跳绳绳子上的计数器等。

(2) 按附加体划分

1) 创新附加。附加体为前所未有的事物或是经过实质性改进的事物。例如，在步枪上添加的瞄准仪就是前所未有的事物，属创新附加。给戏剧、电影或电视打字幕也属于创新附加。

例 5-41 1953 年，戏曲文学作家石凌鹤改编的赣剧在南昌首演，石先生看到观众不能完全听懂演员的唱词，很着急，加点什么才能解决这个问题呢？石先生想出一个办法：在成匹的白布上用毛笔写上唱词，折叠成卷，演出时由专人在台侧楼顶随演唱依次展示唱词。这样一个主体附加解决了观众听不懂唱词的问题，此法深得戏曲界同行赞同，广为流行。之后，改为幻灯机放映字幕，现在又改为电子显示屏显示字幕。

2) 移植附加。附加体为已有的事物或在其他事物上添加过的事物。例如，为了工作方便，添加在梯子上的折叠小凳和用来放置各种工具的挂钩、小篮筐等都是已有的事物，属移植附加。

例 5-42 父母喂婴儿喝奶时，温度要合适，既不能太热也不能太凉。通常父母的做法就是用他们的舌头来感觉奶的温度，这样，一方面不卫生，容易传播疾病，另一方面也不方便。为此，有人想到在奶瓶上添加温度计，随时可以了解牛奶的温度，既卫生又方便。在奶瓶上附加温度计就是移植附加。

另外，一个主体可以附加多个附加体。一般情况下，附加体都是为主体服务的，一个主体可能有许多的不足，或者针对一个主体有多个希望，所以需要附加几个附加体来解决。例如，洗衣机上同时添加有定时器、水温表、洗涤小网兜等。一种事物也可以添加在多种不同的主体上，以解决不同主体存在的不足。添加以后所发挥的作用可以相同也可以不相同。例如，响铃可以添加在钟表上、车辆上、大门上等。

5.6.2 同物自组法

1. 基本原理

同物自组法是将两个或两个以上的相同或相似的事物进行组合，以图创新的一种技法。同物自组通过数量的变化来弥补原单件事物在功能或性能方面的不足，或求取新的功能。同物自组进一步利用了已有的事物，并使组合过程比较简单。

例 5-43 “多头插座”、“剪刀”、“对笔”、“双头刷子”、“双打钉书机”、“双体船”（图 5-4）、“双体汽车”、“三级火箭”、“双层汽车”、“多人自行车”、

“排笔”、“多屏电视机”、发射人造卫星的多级火箭、400个易拉罐组成的救生筏、子母灯、双向拉链等都是运用同物自组法得到的创造。

例 5-44 武汉保温瓶厂运用同物自组的创造思路设计出双胆保温瓶，可同时储存冷热两种饮料，深受消费者的欢迎，曾获轻工业部和湖北省优秀新产品奖。

例 5-45 普通电风扇只有一副叶片，只能向一个方向送风，加上摇头也只能在一个小



图 5-4 双体船（美海军“海上斗士”号）

范围内送风。台湾某公司运用同物自组的思路，提出三轴电风扇的新设想，经研制获得成功。它运用一个强力主马达经过精密特殊的传动，带动三副叶片同时运转送风，用电脑控制三副叶片作 360° 的回转或定点式三个方向同时送风。

2. 同物自组的特点

同物自组的创造目的是在保持事物原有功能或原有意义的前提下，通过数量的增加来弥补单一事物存在的功能或性能上的不足，或求取新的功能，或产生新的意义，而这种新功能或新意义是单个事物不具有的。其特点如下：

1) 自组对象是两个或两个以上相同的或相似的事物。

2) 组合过程中，参与组合的对象与组合前相比，基本原理和基本结构一般没有根本性变化，但其性能或功能发生较大的变化，或者克服了单一事物存在的不足。例如，万向联轴节的缺点之一就是，输入轴以恒角速度 ω 转动时，输出轴的转速是不恒定的，在 $\omega \cos \alpha$ 和 $\omega / \cos \alpha$ 之间变化，采用两个万向联轴节自组成如图 5-5 所示的双万向联轴节可以克服这一缺点。

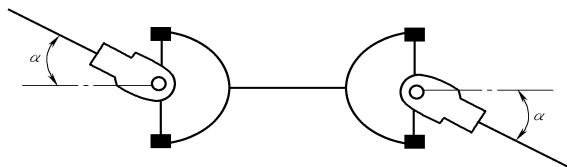


图 5-5 双万向联轴节

3) 同物自组往往具有事物的对称性或一致性趋向。

3. 同物自组的创造思路

通过同物自组进行创造似乎唾手可得，其实不然，成熟的创造决非易事。思

考的关键在于认清哪些事物进行自组能产生新的价值，而且可以实现自组，其创造思路如下：

1) 观察我们周围哪些事物是单独的，或处于独立状态。

2) 分析这些单独存在的事物通过自组可以解决什么问题，自组后是否更好或带来新功能、新意义。一般来说，任何事物都可以自组，但自组后的效果是很不一样的。例如，将两只手表放在一个盒子里，并命名为“对表”，将几支牙刷包装在一起，称之为“全家乐牙刷”，都算是同物自组，但其效果只是改变经营形象，并没有引起牙刷或手表性能和功能的改变，只能说是一种营销手段，其创造性很弱。所以，考虑同物自组首先要考虑同物自组的效果。

例 5-46 双纽扣设计的自组效果很好。普通的衣服都是一面是扣眼，一面缝纽扣，纽扣一旦缝结实了便不易取下或更换，一旦纽扣掉了，还需再次缝合；另外，在洗涤衣物时，纽扣的存在也会带来一些不便，尤其是在干洗衣物时，一般需把纽扣拆下来，待洗涤结束后再缝上，非常麻烦。辽宁抚顺市小学生李洪亮，利用同物自组法把两粒纽扣缝成一体，如图 5-6 所示，然后在衣服钉扣子的地方也缝出扣眼，再把这种缝成整体的纽扣扣上就行了，洗衣服时可以把纽扣摘下来。另外，人们可以按自己的兴趣随时更换各种扣子。这种活动纽扣获得了辽宁省青少年科学发明创造一等奖。

例 5-47 熔丝的自组思路也具有很好的自组效果。大家都有这种体会，用电负荷过大或瞬间电流太大将熔丝熔断时，为了尽快接通电源，经常需要既找熔丝又找改锥，弄得手忙脚乱，短者十几分钟，长者半个小时甚至更长时间。为了解决这一问题，新疆一青年将 12 根熔丝组合设计在一起，发明了能连续使用的熔丝盒，如图 5-7 所示。熔丝熔断时，待查明原因后只要转动一下熔丝盒上的旋钮，就接通了下一根熔丝，既方便又安全。

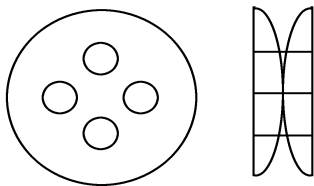


图 5-6 双纽扣自组

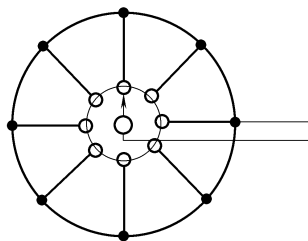


图 5-7 熔丝的组合

3) 选取自组目标后，建立自组关系，设计自组环节以实现事物的自组，要注意组合的关系和组合的环节越简单越好。

例 5-48 1987 年，武汉市四年级小学生王帆到她小姨家去玩，看到小姨绣

花累得手腕酸痛,当她了解到手腕酸痛的原因是绣花时穿接绣花针要反复转动手腕,绣花时间长了,自然会出现手腕酸痛的现象,她小姨说,“如果穿接绣花针时,手腕不用反复转动就好了。”王帆由此想到用两根针的自组发明了“双尖绣花针”,如图5-8所示,使手工刺绣工作效率提高1~2倍,此发明获得第四届全国青少年科学发明创造竞赛一等奖、中国发明协会金奖。这个自组的组合环节比较简单,而且组合效果也很好。

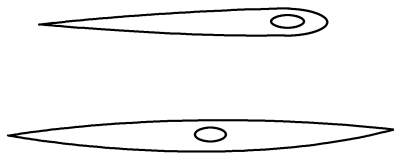


图 5-8 绣花针的组合

例 5-49 无线耳机的组合。电视给千家万户带来最新的信息、视听享受和无穷的欢乐,但是也给许多家庭带来烦恼:电视伴音往往使孩子无法静心学习,使老人无法入睡,甚至由于兴趣不同引起夫妻反目。于是有人发明了无线耳机。只要把发射器装在音频输出插孔上,把电视声音关掉,头戴无线耳机,就能清晰地听到电视伴音,完全不影响别人。但是,由于购买时每套无线耳机总是一个发射机配一副耳机,一般三口之家如一人要学习或睡觉,另两人中就只有一人能利用耳机看电视,如果再买一套将多出一个发射机造成浪费。广东某厂家就推出一个发射机配两副无线耳机的包装,使销售量大大增加。

5.6.3 异类组合法

1. 基本原理

异类组合法是将两种或两种以上的技术思想或两种或两种以上不同功能的物质产品进行组合,组合的结果是产生新的思想、新的概念、新的技术或新的产品。例如,蔬菜粉末加工新技术,就是制作速溶咖啡时所利用的冰冻干燥法同药物研碎法这两种不同技术思想的组合。

相对主体附加和同物自组来说,异类组合法的思维广度和深度更大,其创造性也更强。它可以把不同种类的事物合二为一,甚至可以把看起来风马牛不相及的东西组合在一起,并使组合体在功能或性能上发生变革。

异类组合的运用,体现了综合就是创造的原理。就是把研究对象的各个部分、各个方面和各种要素联系起来考虑,从而在整体上把握事物的本质和规律,不是主观地、任意地把不相干的部分、方面或因素连接。

2. 异类组合的目的和种类

(1) 异类组合的目的

1) 若干个事物的功能或特点通过组合汇集成一体,达到优化事物的目的,或者为了一事多能或一物多用。例如,比利时一家公司的设计师们将有轨电车、无轨电车、公共汽车和地铁的优点组合在一起研制出一种叫做“汽车地铁无轨

车”的新型交通工具，它由6节舒适的小车厢组成，宽大的窗户，使用无轨电车的轮子，沿混凝土导轨行驶，利用公共汽车的柴油机。

2) 将若干事物的功能或特点通过组合汇集成一体，创造出组合前完全没有的新功能或新特点。例如，我国工程师邵文古将现代高温气焊技术和陶瓷釉料的涂饰结合起来，使精细配制的硅酸盐彩釉粉剂与燃气一起，以极高的速度从喷枪口射出，形成 $1500 \sim 2800^{\circ}\text{C}$ 的高温火焰。运用这支绝妙的高温施釉画笔，可以绘制巨幅陶瓷壁画，用工少，成本低，从而发明了前所未有的陶瓷壁画新技术。

(2) 异类组合的种类

1) 原理的组合。原理的组合是指将某一事物的原理同别的事物的原理相互渗透、融会贯通，从而得出一种新方法或新理论。在事物的组合关系中，原理的组合是一种高层次的组合，具有组合对象难找、组合过程复杂的特点，但这种组合的创造性较强，可能会产生突破性的成果。例如，照相技术的发明和光的相干性的发现都在19世纪，自它们被发明和发现后，二者一直处于互不相干的状态。1947年，英籍匈牙利科学家丹尼斯·加波尝试将照相和光的相干性原理组合起来，结果发明了全息照相。

2) 结构的组合。结构的组合是指把两个或两个以上独立的事物组合成一个新的整体，以扬长避短。结构的组合可以用来解决很多实际问题，故组合出来的创造实用性较强。例如，把两个斜齿轮组成一个人字齿轮可以有效地克服轴向力。

3) 功能的组合。任何一种事物都不可能具备人们所需要的各种功能，所谓功能的组合就是把两种事物的功能组合起来。在生产实际和日常生活中，功能组合的机会很多，组合的环节简单，成功率较高。例如，有人将汽车和篮球架的两种功能进行组合发明了移动方便的车载篮球架。如由橡皮和铅笔组合而成的带橡皮的铅笔，由电热器与炊壶组合而成的电水壶。带日历的手表，带温度计的台历架，带有圆珠笔的钢笔等，都是由两种东西功能的组合。汽车是由发动机、离合器、传动装置等各部件组成，在功能上相互支持配合的发明创造的产物。

例 5-50 早先的机械加工工人在测量工件的直径时，先用卡钳测量工件的直径，然后再用刻度尺量卡钳钳口的距离，这才得出工件的直径，很不方便。美国人约瑟夫·洛奇·布朗通过组合把刻度尺、卡钳、游标这三种已有的量具一体化，通过功能的组合发明了游标卡尺，这一发明对提高整个机械工业的精度，发展互换式生产作出了巨大贡献。

例 5-51 纽扣和别针是两种不同的小商品，相互之间没有关系。国外有人设计了一种纽扣别针，把别针和纽扣的功能组合起来使用，这种简单方便、经济实惠、材料、颜色、形状各异的小饰品，只要插入西服的纽扣，便能起到点缀的作

用,给人以全新的感觉。

例 5-52 西欧“尤里卡”计划中研制一种组合式“多功能飞机”,它的机翼两端各安装一台能自转 90° 的发动机,起飞和降落时,两台发动机呈垂直向上的方向,能像直升飞机一样升降,飞到一定高度,两台发动机改呈水平向前的方向,能同普通飞机一样飞行。它的主要特点是所需升降场地小。

4) 材料的组合。材料是人们用来制作有用物件的物质,是构成创造思想、构成创造成果的物质基础。人们在进行创造时,总是先利用现有的材料,当现有的材料不能满足创造要求时,就需要对材料进行创造。其中,把两种或两种以上现有的材料组合起来解决问题的方法就是材料的组合。

例 5-53 输电线所用的电缆应同时具有导电性强和抗拉强度高的特点,现有的铜线导电性能好但抗拉强度不高。为解决这一问题,人们采用材料的组合发明了钢芯铜线,电缆的中心是钢外层是铜,由于交流输电的趋肤效应,电流主要沿导线表面流动,钢芯铜线在导电性能上没有降低的同时,大大提高了抗拉强度,通过组合满足了人们对电缆性能的要求。在各种组合中,材料的组合属于“想到容易做到难”的创造。

5) 成分的组合。成分指构成事物的各种不同的物质或因素,它直接关系着创造的原理与结构,成分的组合是利用已知的物质进行组合而作出的某一创造。例如,磁铁具有磁性,但比较脆,耐冲击性差,不如木头、塑料、橡胶等材料容易加工。于是,人们利用成分组合创造出了既具有磁性,又耐冲击、易加工的磁性塑料、磁性橡胶、磁性木料等新型材料。

3. 异类组合的方法

(1) 联想组合法 联想组合法就是运用联想进行组合的技法,通过联想把两个或两个以上的事物联系起来,然后再具体地组合在一起。在联想组合法中,联想是主要的,组合是次要的,联想决定组合,有什么样的联想,就有什么样的组合。例如,现代篮球是加拿大人詹姆士·奈斯密斯于1891年发明的,排球运动则是继篮球之后于1895年发明的。美国体操运动员乔治·尼森将弹簧垫、篮球与排球联想到一起,通过组合,创造出了太空玩的游戏。这是一种在弹簧垫上玩的游戏,一经发明,普及很快。

(2) 因果组合法 从事物的各种起因中发现组合之因,并循着组合之因进行组合创造的技法称为因果组合法。

例 5-54 在封建时期,很多国家都有这样的习俗,裤子是男人的专利、权利的象征,女人只许穿裙子,不许穿裤子,不论是平民百姓还是皇家贵族,一旦违例,就会受到各种各样的惩罚。尽管如此,还是有一些大胆的女子穿裤子,但穿着的方式与男子有所不同,如法国的皇后卡塔琳娜·冯梅迪齐酷爱骑马,而骑马不穿马裤很不方便,但她又不敢违背时俗,于是采用了组合的方法,在马裤的外

面套上了一条长裙以解决问题。后来，以此为契机，服装设计师组合创造出了集裙子与裤子特点于一身的裙裤。可以看出，卡塔琳娜的做法以至后来裙裤的发明，其起因就是女人只能穿裙子不能穿裤子的风俗。

例 5-55 爆炸产生的能量可以震动岩石发出电磁波，这是一种自然现象，究其原因，是这些岩石中有压电物质。压电物质受到压力就会产生电荷，发出电流。1986 年，前苏联科学家把爆炸和探矿组合起来，创造了“爆炸法探矿”技术，利用爆炸产生的能量震动岩石发出电磁波这一自然现象，通过对电磁波的波幅和频率加上收到信号的时间进行监测，来寻找有压电物质嵌留的复合矿。

(3) 直接组合法 直接组合法是指人们受到某种启发，或突发灵感，或出于某种需要，将两种或两种以上的事物直接组合到一起的组合创造法。直接组合法不拐弯抹角，不需要复杂的对接技术，用简单的组合解决问题。运用直接组合法需要考虑三个问题：哪些问题可以用直接组合法解决；由哪些事物直接组合；以及对组合对象如何进行直接组合。

例 5-56 如图 5-9 所示的两种产品，分别为台灯和钟表及台灯、收音机和钟表功能的直接组合。通过这种组合达到了一物多能的目的。

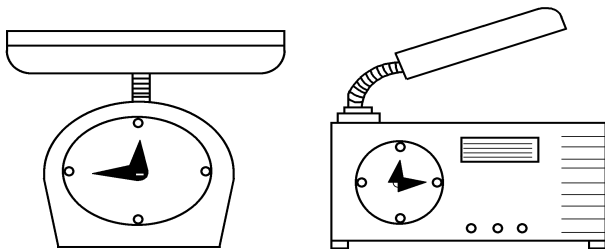


图 5-9 组合产品

(4) 渗透组合法 两种或两种以上的事物经过组合，在思想上、物质上、技术上互相渗透，达到你中有我，我中有你的地步就是渗透组合法。事物经过渗透组合后，其性能、功能、价值和作用都会发生显著的变化。

例 5-57 20 世纪 50 年代，日本从美国引进了“统计质量管理”的方法，经过一段时间的推广使用，发现这种方法对质量控制所起的作用十分有限，这时，经调研他们发现中国鞍山钢铁厂所采用的“两参一改三结合”的方法有助于质量管理的深入，于是，他们把上述中国和美国的两种方法经过渗透组合，创造出了“全面质量管理法”，此法既不同于“统计质量管理”，也不同于“两参一改三结合”，比二者都高出一筹。

(5) 互求组合法 互求的事物是指具有互补作用的事物，互求组合法就是把两个或两个以上有互求关系的事物组合起来，以更好地发挥事物原有作用或组合出新的作用的创造方法。

例 5-58 铅字的改进利用就是互求组合法。过去,印刷厂所用的铅字,若只用铅,则热胀冷缩,铅字容易变形,保证不了印刷质量。为了解决这一问题,人们在铅材料中加入了锑,其特性与铅相反,混合后,性能达到互补,从而保证了铅字的印刷质量。

例 5-59 我国的食疗法历史渊源,食疗要发挥其滋补、除病、健身之效果,组合显得非常重要。例如,在清炖甲鱼时,加入适量的茯苓可以抑制甲鱼损脾之弊,再加入点人参,可以增强甲鱼滋阴补血之功效。百合能清痰火、补虚损,蛋黄可除烦热、补阴血,百合与鸡蛋组合后,有滋阴润燥、清心安神的功效。食疗中的组合,体现了事物在组合创造中的互补性和依存性。

(6) 过渡组合法 过渡组合是为了达到某一目的而作出的暂时组合,目的一达到,这种组合就失去了作用。过渡组合创造有一定的期限性,属于权宜之计。例如,沙丁鱼和鲱鱼的组合:沙丁鱼在捕捞之后存活率很低,挪威人为了提高其存活率,常常在装沙丁鱼的船舱里放入几条鲱鱼,鲱鱼好动,不停地钻来钻去,在沙丁鱼中引起摩擦,沙丁鱼被搅得不得安宁,于是万分紧张,加速游动,因而减少了死亡率。沙丁鱼与鲱鱼的组合激发出其自身的活力。可见,组合也是生物生存的需要。

(7) 载体组合法 在创造学上,载体是指能接纳某一事物或某些事物的事物。载体和某一事物或某些事物的组合就是载体组合,实现这种组合的创造技法就是载体组合法。

例 5-60 花瓶式电话机的设计,就是以花瓶为载体,装入现有电话机的机芯和送话器,采用的是载体组合法。

例 5-61 中药和图画是两种不同的事物,山东画院的青年画家董广鲲以画为载体,尝试了中药和画的组合,用 80 多味中草药加工制作了中药画,纸棉绢绫均经过中药的熏制,画轴也是由中药制成。将此画挂在室内,可净化空气、驱蝇避蚊、灭菌强身、提神醒脑。

上述联想组合法、因果组合法、直接组合法、渗透组合法、互求组合法、过渡组合法及载体组合法是异类组合法的几种基本方法,应用它们可以作出各种各样的异类组合创造。但是,在运用以上各种方法的过程中,可能还会遇到许多需要综合运用其他知识和创造技法才能解决的问题,所以大家平时要注意知识的积累和各种技法的融会贯通。

5.6.4 重组组合法

1. 基本原理

任何事物都可以看成是由若干要素组成的整体,各组成要素之间的有序结合是确保事物整体功能或性能实现的必要条件。如果在不同层次上分解事物的组合

要素,有目的地改变事物内部结构要素的次序,按照新的方式、新的思想重新组合起来,以促使事物的功能或性能发生变革的技法称为重组组合法。

任何事物的构成都有其层次性和局限性,组合是建立在不同层次和不同局部上的,改变事物在不同层次、不同局部上的原有组合,就会引起事物不同的变化。

以内燃机为例,其组合的第一层次为:连杆机构、齿轮机构和凸轮机构,组合的第二层次为连杆机构中的气缸、活塞、连杆和曲轴,第二层次中的连杆又是由连杆头、连杆体、螺栓、螺母、垫圈等组成的,这构成了组合的第三层次,从这种意义上说,我们可以通过多层次的重组来改变整个内燃机的性能。如图 5-10 所示的对置式发动机,由于结构上的原因,在实际运用中经常发生故障,钢套、活塞经常出现裂缝、破碎等现象;后来,对其进行了变位重组,改成 V 形发动机后,上述现象基本消除。

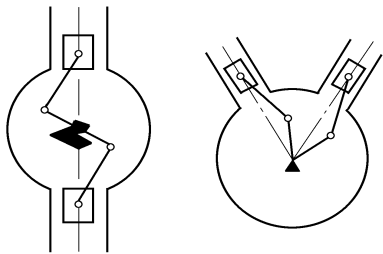


图 5-10 发动机

2. 重组组合法的特点

1) 组合在同一事物上进行,不增加新事物,主要是改变事物各组成部分间的相互关系。如儿童玩具“变形金刚”;分体组合家具;“万能自行车”等。

2) 重组组合能引起事物属性的变化。

例 5-62 前苏联电影艺术家曾作过一个试验,他们拍摄了 3 个电影镜头:①一个人在笑;②枪口对准了他;③他一脸恐惧。

按上述顺序放映,观众看到的将是一个懦夫的形象。如果将三个镜头重组,按照②、③、①的顺序放映,观众得到却是有人在开一场玩笑的印象。如果按照③、②、①的顺序重组,观众看到的将是一个面对枪口哈哈大笑的勇士。同样的三个镜头,仅仅改变一下组合的次序,就会给人以完全不同的感受,这就是电影剪辑(即重组组合)的魅力所在。

3. 重组组合的构思方式

(1) 变位重组 通过改变组成要素的相对位置进行重组构思。

例 5-63 自螺旋桨飞机发明以来,螺旋桨都是装在机首,两翼从机体伸出,稳定翼设在机尾。美国飞机设计师卡里格·卡图根据空气的浮力和气流推动原理,对螺旋桨飞机进行了结构上的重组,将螺旋桨放在了机尾,稳定翼装在了机头,设计出世界上首例头尾倒换的飞机。重组后的飞机有尖端悬浮系统和更趋合理化的流线型机身,因此,减小了空气阻力,提高了飞行速度,同时,排除了失速和旋冲的可能性,提高了飞行的安全性。

例 5-64 早期的双门电冰箱是上部为冷冻室，下部为冷藏室。这种结构的冰箱存在以下不足：空气流通的规律是热空气上流，而上部正好是冷冻室，造成冰箱比较费电；通常情况下，使用比较多的是冷藏室，而冷藏室在下部，造成取东西不太方便。通过变位重组把冰箱改成上“热”下“冷”式的结构，可以克服早期冰箱的不足，如图 5-11 所示。

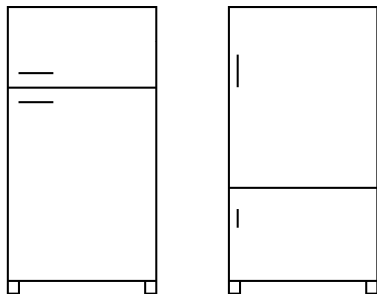


图 5-11 电冰箱结构图

(2) 变形重组 先对组成部分进行适当变形，然后进行重组。例如，以前电视机的显像管成弧状圆角形，扬声器为圆形，电视机也常设计成卧式结构。当人们将显像管研制成平面直角，扬声器变成管状后，平面直角立式电视机便出现了。

(3) 模块重组 把组成事物的各要素按模块化设计，使用时根据需要进行模块化组合。模块化结构有利于产品的标准化、通用化、系列化，有利于缩短设计的时间和试制时间。例如，电子领域的电子产品都采用模块化设计。

5.6.5 信息交合法

1. 基本原理

我们所处的世界，看似复杂，但其基本组成却非常简单，无非是 110 种元素的排列组合。由此看来，我们可以将整个世界的任何元素、任何结构、任何时空作为自由相干、自由组合的基本素材。

信息交合论认为：不同信息的交合可以产生新信息；不同联系的交合可以产生新联系。信息交合法以信息交合论为基础，在掌握一定信息的基础上，利用已有的和引进的信息进行交合或联系而获得新信息，实现新创造的一种创造方法。现实生活中不乏利用信息交合法成功地进行创造的实例。

信息交合法是一种立体的、动态的、多维的创造性系统构思方法，由我国创造学研究者许国泰创立。由于该方法神奇而实用，给人以耳目一新之感觉，所以又俗称“魔球法”。该方法对新产品的开发有重要作用，是中华文化沃土中孕育出的一朵奇葩，是对创造学的丰富和发展。

信息交合法的原理是在一个由多维信息坐标组成的全方位信息反应场（即为“魔球”，如图 5-12 所示）中，通过信息之间的广泛杂交来产生各种发明创造的奇特构想。

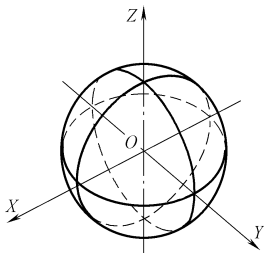


图 5-12 魔球

例 5-65 每个中国人都知道, 1993 年是鸡年, 但很少有人想到利用这个传统的机会赚钱。法国商人比尔 1992 年在中国考察时, 偶然听到几个中国人谈到, 过年时有带礼物走亲访友、互致问候的习俗。比尔对此很敏感, 特意了解了中国十二生肖的作用, 想出了把传统拜年和生肖联系在一起的点子。回国后, 他立刻制造出了一种引吭高歌的雄鸡形玻璃酒瓶, 在其中装上了法国白兰地, 然后, 比尔把这种商品销往东南亚等地区, 上市后十分抢手, 他也因此取得了巨大的成功。比尔成功之处在于他以酒为问题点, 拉出一条生肖线, 分别相干, 共 12 种, 选择了鸡和酒的交合, 把传统文化变成了钱。

2. 信息交合的方式

(1) 成对列举交合 明确创造意图后, 列举出所需的各种信息, 按照图 5-13 所示新式家具创意的例子中的方式使所列信息一一交合, 强制联想产生新的信息。这种方法可以用于定向交合也可以用于随机交合。

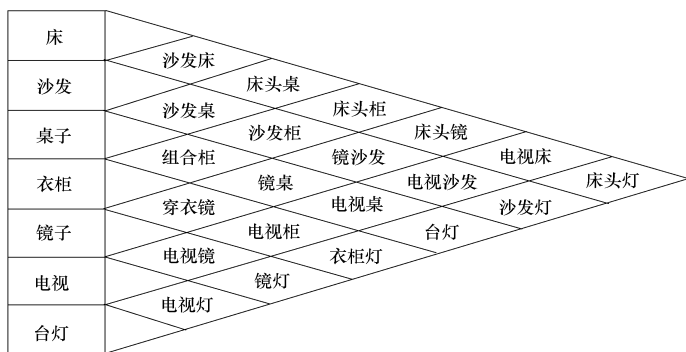


图 5-13 新式家具的创意

(2) 平面坐标交合 平面坐标交合法, 就是从两个方向列出信息元素后进行成对交合思考, 如图 5-14 所示。这种方法利用坐标系促使人们从意义上缩小不同事物之间的差距, 使原来无缘的事物建立起了联系, 并演变为新事物。

平面坐标交合法的操作可按下列步骤进行:

1) 列出交合元素。所列相交元素的范围要广, 不能局限在某一专业领域, 应包括名词、形容词等有关产品特性的词汇及二分之一左右的非商品元素和非人造元素。另外, 还应加入一些新材料、新产品等以得到新颖的设想。

2) 用坐标线使横、纵两轴上的所有元素彼此相交和自身相交, 得到若干个相交点。

3) 进行相交和判断, 并将相交和判断的结果按图 5-14 所示的标记符号, 画在相交点处, 相交时, 可以互换两个相交元素的位置。

4) 从坐标图中摘取有意义的相交结果。

5) 对有意义的相交结果进行可行性分析, 从中找出可行、自己又有能力承担的项目作为近期或长期的研究课题。

(3) 信息场立体交合法 信息场立体交合就是在确立一个问题点以后, 以此为中心分解拉出许多不同的各种变量坐标, 而每一变量坐标又可以不断分解设置下去, 然后用线线相干或面面相干的办法以求寻找新的创意的创造技法。

其操作步骤为:

- 1) 确定立体信息场的原点。
- 2) 根据信息接点的需要画几条坐标线。
- 3) 在各信息坐标线上注明有关信息。
- 4) 以一个坐标线上的信息为“母本”, 另一个坐标线上的信息为“父本”, 相交后即产生新信息。从这些新信息中可以发现某些有价值的新设想。

例 5-66 生产玩具的创意可以通过图 5-15 所示的信息场立体交合得到。

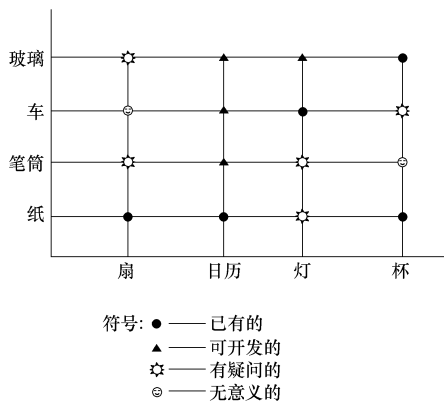


图 5-14 平面坐标交合

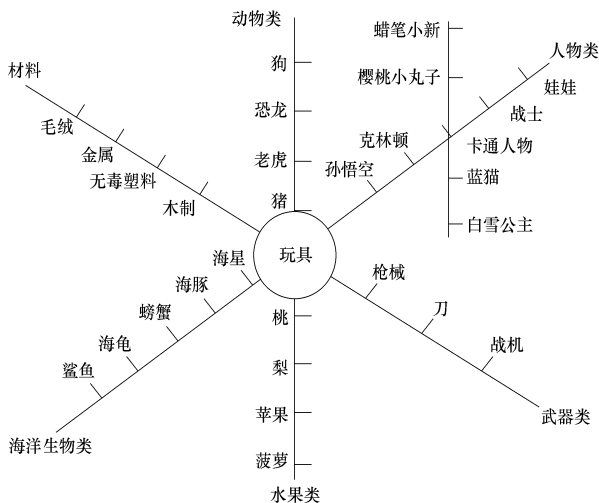


图 5-15 立体交合

同样，我们可以通过信息交合法的使用获得千万种新武器的创意。即以武器为问题点，拉出一条动物线、一条植物线、一条药物线、一条信息线、一条细菌线，使武器分别与上述各系统交合相干，从而得到千万种新式武器的创意；与一万种动物相干，可以产生一万种仿生武器的创意；与一万种植物相干，可以产生一万种植物武器的创意；与一万种药物相干，可以产生一万种药物武器的创意；与一万种信息相干，可以产生一万种信息武器的创意；与一万种细菌相干，可以产生一万种细菌武器的创意；不排除这些创意当中有不少废品，但其中也必有不少精品。

例 5-67 尽可能多地想出曲别针的各种用途。

1) 确定研究中心曲别针的各种用途。

2) 设立信息坐标。若二维坐标可以满足需要，则画出相互垂直的两坐标轴，见图 5-16。

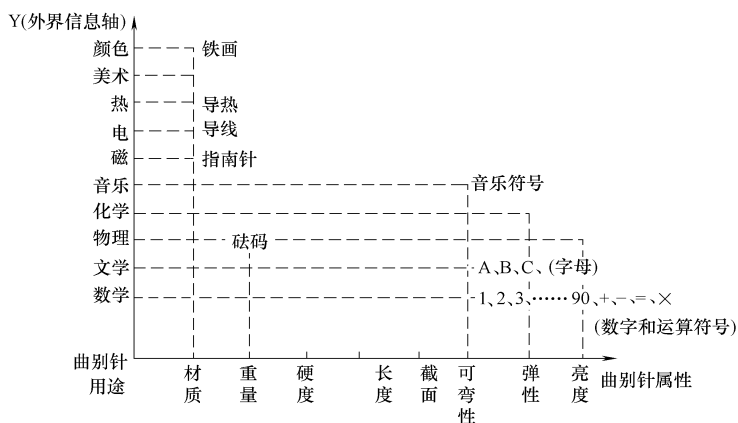


图 5-16 曲别针用途的信息反应场

3) 标注信息点。横轴作为曲别针的特征信息标，上面标有：材质、重量、长度、截面、硬度、可弯性、亮度等；纵轴作为外界信息标，上面标有：数学、文字、物理、化学、音乐等。

4) 信息交合。如将特征信息标上的可弯性与外界信息标上的数学交合，则曲别针可弯成 1、2、3、4、5、…、9、0，以及 +、-、×、÷、√、=、() 等所有的数字运算符号，从而可以表示出从 0 至无穷大的数字，又可表示各种数学运算；又如可弯性与外界信息标上的文字交合，则曲别针可弯成英、俄、日等各种外文字母，而这些字母又可组成单词、词组、句子等；可弯性还可与音乐交合，则曲别针可弯成各种音乐符号，可标出各种乐谱；材质与磁交合可做指南针，与电交合能制导线，与热交合能制成导热材料，与美术、颜色交合可制成铁

画，与化学交合可作为化学反应的材料；弹性与物理交合可制弹簧；重量与物理交合可制砝码等。

例 5-68 开发香肠系列产品。魔球的中心是香肠，围绕中心可设立 6 个信息标（见图 5-17）：①肉禽类；②药材类；③肠衣类；④水产类；⑤水果类；⑥形状类。然后，在每一信息标上注明标点。信息交合过程可按信息标展开，共分为三个方案。第一是肠衣开发方案，如：无毒塑料、高温纸、羊肠衣、牛肠衣、猪肠衣等；第二是形态开发方案，如：管状肠、方形肠、球形肠，再加上不同长度与规格的香肠；第三是材料开发方案，如：火腿肠、红肠、桔红肠（桔皮磨粉、白糖、瘦肉）、砂仁小肚、三丝果脯午餐肉肠。这样，除了肉、禽类系列香肠外，还可开发出水果、水产、健美、健脑、药膳及儿童营养系列香肠。

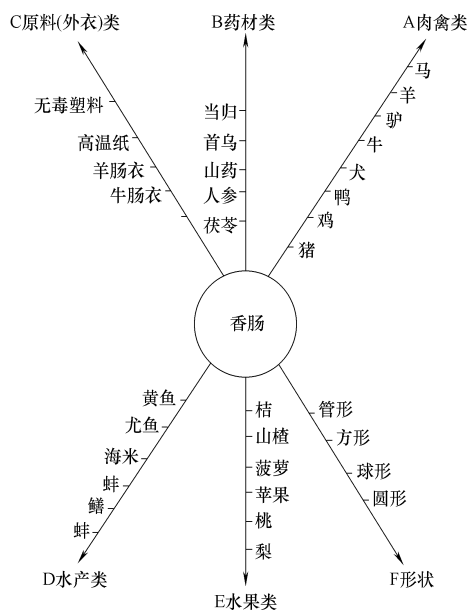


图 5-17 系列香肠信息反应场

如图 5-18 所示为“手表魔球”及开发手表系列产品的设想。由图可见，围绕“手表”这个中心，设立了 9 个信息标及 12 个小信息标，以此组成信息反应场。

根据以上魔球，能组合出的手表产品总数为：

$N = 20 \times 20 \times 15 \times 15 \times 11 \times 11 \times 11 \times 10 \times 10 \times 10 = 1191$ 亿种。进而可以从中挑出大量可开发的新产品，例如：

- 1) 适于儿童的，盘面有动画图案的石英电子机芯结构并带有儿童歌曲或音乐的儿童表。
- 2) 适于儿童生日用的，带有生肖图案并能奏出生日快乐乐曲的礼品表。
- 3) 适于婴儿出生时赠送的，带有生肖、出生日期、婴儿肖像、脚纹的、自出生日开始计时的能测生命节律的生辰表。
- 4) 带有星宿标记、神话图案或圣母的古典型机械表。
- 5) 带有反映现代派主题图案的豪华型，具有保值性，机械机芯型，音响、精雕外壳的高档情侣表。
- 6) 项链系列表。如：能夹入情侣肖像的，带有圣母像的或动画主题图案

8) 全密封衣扣式、液晶显示指针式电子表。

5.6.6 组合技法总结

1) 组合的意义: 经济效益和社会效益, 其次是学术价值。

2) 组合功效: 组合的根本目的就是为获取新的或更佳的功能和效果。

3) 组合限度: 组合不能理解为数量上的相加。组合不是 $1 + 1 = 2$ 的问题, 两种事物组合, 就要求功能上实现 $1 + 1 \geq 2$, 结构上实现 $1 + 1 \leq 2$ 。

4) 组合环节: 在组合中想方设法竭力减少中间环节, 另一方面巧妙借助中间环节, 乘机发挥。

5.7 本章小结

约里奥·居里曾说:“套上镣铐, 不可能作出标新立异的发明。”创造活动, 特别需要创造者主观能动性和创造性智慧的充分发挥。要达到充分发挥的程度, 必须有个性自由的创造环境和提供自由思考的思维空间。基于这种理念, 上述各节中讲述的头脑风暴法、列举法、组合法等均属创造学中自由思考型创造技法。它们借助想象、联想、发散思维等思维智慧, 来解决创造过程中的一些问题。

当今社会的进步与发展, 需要发明创造; 未来社会的进步与发展, 同样也需要发明创造。发明创造存在于一切领域、一切行业和一切学科之中。凡是有发明创造活动进行的地方, 作为具体指导发明创造行为的创造技法, 都能产生重要的作用。因此, 发明创造技法在发明创造实践中有着巨大的应用价值和广阔的应用领域。

创造学的研究成果告诉人们, 创造方法学的形成和发展, 既离不开对人类认识心理、创造心理和思维特点的研究, 也离不开对人类认识规律、创造规律和思维模式的探索。发明创造原理, 能够帮助人们揭示发明创造活动的规律; 而发明创造技法, 则能够帮助人们把过去认为是神秘莫测的创造发明术变成有规律可循、有步骤可依、有技巧可用、有方法可行, 且普通人都能理解并运用的技能和技术。

在科学技术突飞猛进、社会生活不断更新的当今时代, 好的方法将为人们展开更广阔的图景, 使人们认识更深层次的规律, 从而能更有效地改造世界。概括起来, 发明创造技法在创造方法学上的作用, 主要体现在以下三个方面: 一是有助于人们在发明创造活动中提出新问题; 二是有助于人们在发明创造活动中形成新概念; 三是有助于人们在发明创造活动中产生新设想。创造方法学认为: 发现新问题是创造的起点, 形成新概念是创造的关键, 提出新设想是创造的保证。但企业人员应注意, 在创造的过程中, 往往不是采用单一的创造技法, 而是两个或多个创造技法的协同应用, 才能实现理想效果。

参 考 文 献

- [1] 庄寿强. 创造学基础 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1990.

- [2] 肖云龙. 创造学 [M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2004.
- [3] 杨乃定. 创造学教程 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003.
- [4] 梁锡昌. 肖鹏东, 发明创造学 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [5] 于占元. 发明创造学原理与方法 [M]. 沈阳: 沈阳出版社, 1992.
- [6] 黄纯颖. 机械创新设计 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 刘仲林. 中国创造学概论 [M]. 天津: 天津人民出版社, 2001.
- [8] 罗庆生, 韩宝玲. 大学生创造学-技法训练篇 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001.
- [9] 刘玉岭. 实用发明创造工程学 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1993.

第 6 章 思维扩展法

6.1 概述

思维扩展法是一个很重要的创新方法。思维扩展法是指从已知信息出发，跳出原有的思维模式，尽可能向其他各个方向扩展以得到多种不同问题解的思维方式。扩展思维法是以发散思维为基础以拓宽思路来获得新的发现。

6.2 思维导图（Mind Map）

思维导图最初是 1999 年英国人托尼·巴赞（Tony Buzan）创造的一种笔记方法。托尼·巴赞认为：传统的草拟和笔记方法有埋没关键词、不易记忆、浪费时间和不能有效地刺激大脑四大不利之处，而简洁、效率和积极的个人参与对成功的笔记有至关重要的作用。在草拟和笔记的办法成效越来越小的情况下，需要一种可以不断增多回报的办法，这种办法就是思维导图。尽管思维导图的初始目的只是为了改进笔记方法，它的作用和威力还是在日后的研究和应用中不断显现了出来，被广泛应用于个人、家庭、教育和企业。托尼·巴赞认为思维导图是对发散性思维的表达，因此也是人类思维的自然功能。他认为思维导图是一种非常有用的图形技术，是打开大脑潜能的万能钥匙，可以应用于生活的各个方面，其改进后的学习能力和清晰的思维方式会改善人的行为表现。

6.2.1 思维导图的定义

思维导图有四个基本的特征：

- 1) 注意的焦点清晰地集中在中央图形上。
- 2) 主题的主干作为分枝从中央图形向四周放射。
- 3) 分枝由一个关键的图形或者写在产生联想的线条上面的关键词构成。比较不重要的话题也以分枝形式表现出来，附在较高层次的分枝上。
- 4) 各分枝形成一个连接的节点结构。

思维导图还可以用色彩、图画、代码和多维度来加以修饰，增强效果，以便使其更有兴趣，更美，更有特性。这些东西反过来会增大创作性、记忆力，特别是有利于调用信息。

思维导图帮助你在大脑存储能力和大脑存储效果之间作一个分别，思维导图会显示出存储能力，也可以帮助你达到存储效果。有效地存储数据会使你的能力翻倍。它就像是摆放整齐和不整齐的五金仓库之间的差别，或者一座有索引系统的图书馆和一座无索引系统的图书馆之间的差别。

6.2.2 作为放射性思维联想机器的大脑

人脑这台令人着迷的机器，它有五大功能——接收、保持、分析、输出和控制，详情如下：

- (1) 接收 任何感觉器官所感觉到的任何东西。
- (2) 保持 你的记忆，包括固位（存储信息的能力）和回忆力（可以调取被存储信息的能力）。
- (3) 分析 模式辨认和信息处理。
- (4) 输出 任何形式的联系或者创造性行动，包括思维在内。
- (5) 控制 指所有的精神和身体功能。

这五个功能都是彼此强化的。例如，如果产生了兴趣或者受到激励，并且接收过程与大脑功能互不冲突，接收数据就比较容易一些。有效地接收到信息之后，你会发现保持和分析信息也很容易。反过来，有效的保持和分析会增强接收信息的能力。

类似地，包含一系列复杂的信息处理活动的分析，要求对已经接收到的信息有保持的能力（保持和联想）。分析的质量会很明显地受到接收和保持信息的影响。

这三项功能都趋于指向第四项功能——输出，或者通过思维导图、说话、手势等，把已经接收、保持和分析过的信息表达出来。

第五项功能，控制，指大脑对精神和身体功能总的监控，包括总体健康状况、姿态和环境条件。这项功能尤其重要，因为健康的思维和身体是个基础，在这个基础上，接收、保持、分析和输出就可以发挥各自最大的潜力。

放射性思维（来自“发射”这个词，意思是“向各个方向传播或移动”，或者从一个既定的中心向四周放射）指的是，来自或连接到一个中心点的联想过程。“放射”的其他意思也都相关：“明亮地闪耀”，“散射着快乐和希望的明亮眼神”以及“陨石雨的中心落点”——与“思想的爆发”相似。

我们通过什么办法进入这种令人惊异的新思维方法呢？通过思维导图，因为它是放射性思维的外在表现。思维导图总是从一个中心点开始的。每个词或者图像自身都成为一个子中心或者联想，整个合起来以一种无穷无尽的分支链的形式从中心向四周放射，或者归于一个共同的中心。尽管思维导图是在二维的纸上面画出来的，但它可以代表一个多维的现实，包含了空间、时间和色彩。

6.2.3 什么是思维导图

思维导图是终极的组织性思维工具。而且，它用起来非常简单！

图 6-1 是一张最基本的思维导图“今天的计划”。从图中心发散出来的每个分支代表今天需要做的不同的事情，例如叫水暖工，或去百货商店购物。

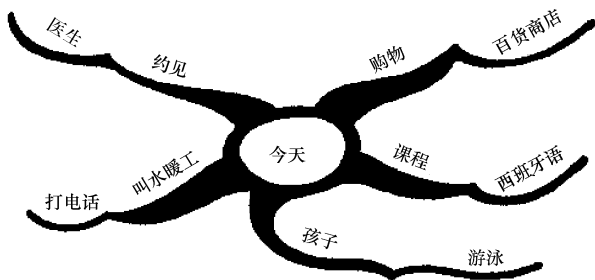


图 6-1 今天的计划的思维导图

要把信息“放进”你的大脑，或是把信息从你的大脑中“取出”，思维导图是最简单的方法——它是一种创造性的和有效的记笔记的方法，能够用文字将你的想法“画出来”。

所有的思维导图都有一些共同之处。它们都使用颜色，都有从中心发散出来的自然结构，都使用线条、符号、词汇和图像，都遵循一套简单、基本、自然、易被大脑接受的规则。使用思维导图，可以把一长串枯燥的信息变成彩色的、容易记忆的、有高度组织性的图，它与我们大脑处理事物的自然方式相吻合。

你可以把思维导图和一幅城市地图相比较。你的思维导图的中心就像城市的中心，它代表你最重要的思想；从城市中心发散出来的主要街道代表你思维过程中的主要想法；二级街道或分支街道代表你次一级的想法，依此类推。特殊的图像或形状代表你的兴趣点或特别有趣的想法。

就像一幅街道图一样，一幅思维导图将：

- 1) 绘出一个大的主题或领域的全景图。
- 2) 使你对行走路线作出计划或选择，让你知道你正往何处去或你去过哪里。
- 3) 把大量数据集中到一起。
- 4) 使你能够看到新的、富有创造性的解决途径，从而有助于解决问题。
- 5) 使你乐于看它、读它、思考它并记住它。

思维导图也是极佳的记忆路线图，这种把事实与思想组织到一起的方式，与你大脑自然的工作方式相符。这意味着你能够更容易地记住，过后也更容易回忆起来，这种方法比传统记笔记的方法更值得信赖。

思维导图能够在很多方面帮助你，这里只列出了一小部分。思维导图能够帮助你：

- 1) 表现出更多的创造力。
- 2) 节省时间。
- 3) 解决问题。
- 4) 集中注意力。
- 5) 对你的思想进行梳理并使它逐渐清晰。
- 6) 更好地记忆。
- 7) 更高效、更快速地学习。
- 8) 看到“全景”。
- 9) 与别人沟通等。

6.2.4 绘制思维导图的七个步骤

(1) 从一张白纸的中心开始绘制 从中心开始，可以使你的思维向各个方向自由发散，能更自由、更自然地表达你自己。

(2) 用一幅图像或图画表达你的中心思想 一幅图画抵得上 1000 个词汇，它能帮助你运用想象力。图画越有趣，越能使你精神贯注，也越能使大脑兴奋！

(3) 在绘制过程中使用颜色 颜色和图像一样能让你的大脑兴奋。颜色能够给你的思维导图增添跳跃感和生命力，为你的创造性思维增添巨大的能量。而且，它很有趣！

(4) 连接 将中心图像和主要分支连接起来，然后把主要分支和二级分支连接起来，再把三级分支和二级分支连接起来。依此类推。

如你所知，你的大脑是通过联想来思维的。如果你把分支连接起来，你会更容易地理解和记住许多东西。

把主要分支连接起来，同时也创建了你思维的基本结构。这和自然界中大树的形状极为相似。树枝从主干生出，向四面八方发散。假如大树的主干和主要分支、或主要分支和更小的分支以及分支末梢之间有断裂，那么它就会出现问题！如果你的思维导图没有连线，一切（特别是你的记忆和学习过程）都会崩溃。

(5) 让思维导图的分支自然弯曲而不是像一条直线 你的大脑会对直线感到厌烦。曲线和分支，就像大树的枝杈一样，更能吸引你的眼球。

(6) 在每条线上使用一个关键词 单个的词汇使思维导图更具有力量和灵活性。每一个词汇和图形都像一个母体，繁殖出与它自己相关的、互相联系的一系列“子代”。当你使用单个关键词时，每一个词都更加自由，因此也更有助于新想法的产生。而短语和句子却容易扼杀这种火花。标明关键词的思维导图就像有灵活关节的手，而写满短语或句子的思维导图，就像手被固定在僵硬的木板上一样！

(7) 自始至终使用图形 每一个图形，就像中心图形一样，相当于1000个词汇。所以，假如你的思维导图仅有10个图形，却相当于记了10000字的笔记！

6.2.5 绘制你的第一幅思维导图

我们以“水果”这个主题为例，调动你的想象和联想，绘制出一幅思维导图。图6-2是一幅简单的思维导图，但是你最好在自己绘制完之后再去看它。

第一阶段

先拿出一张白纸和一些水彩笔。把这张纸横放过来，这样宽度比较大一些（我们要画“风景”而不是要画肖像）。在纸的中心，画出能够代表你心目中“水果”的图像。使用水彩笔，尽可能地任意发挥。现在，给这幅图贴上标签：“水果”。

第二阶段

从“水果”图形中心开始，画一些向四周放射出来的粗线条。每一条线都使用不同的颜色。这些分支代表你关于“水果”的主要想法。在绘制思维导图的时候，你可以添加无数根线，但是，因为我们现在只是在做练习，所以我们把分支数量限制在五根以内。

在每一个分支上，用大号的字清楚地标上关键词。这样，当你想到“水果”这个概念时，这些关键词立刻就会从大脑里跳出来。

就像你看到的一样，此时此刻，你的思维导图基本上是由线和词汇组成的。那我们怎样才能改进它呢？

我们可以利用想象，使用思维的要素——图像来改进这幅思维导图。“一幅图顶1000个词汇”，它能够让你节省大量时间和精力，从记录数千词汇的笔记中解脱出来！同时，它更容易记忆。

在每一个关键词旁边，画一个能够代表它、解释它的图形。使用彩色水笔以及一点儿想象。它不一定非要成为一幅杰作——绘制思维导图并不是绘画能力的



图6-2 你的第一幅思维导图的基本结构（第二阶段）

测验！

第三阶段

现在，让我们用联想来扩展这幅思维导图。回到你绘制的思维导图上，看看你在每一个主要分支上所写的关键词。这些词是不是让你想到了更多的词？例如，假如你写下了“橘子”这个词，你会想到颜色、果汁、佛罗里达、维生素C等。

根据你联想到的事物，从每一个关键词上发散出更多的分支。分支的数量取决于你所想到的事物的数量——可能有无数个。但是，在这个练习中，请画出三个分支（图6-3）。

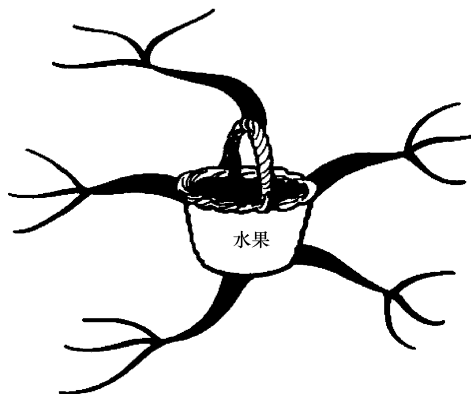


图 6-3 你的第一幅思维导图的基本结构（第三阶段）

然后完成与第一阶段相同的工作：在这些等待填充的线上清楚地写下每个关键词。用上一级关键词来触发灵感。别忘了在这些分支上再次使用颜色和图形。这样就完成了你的第一幅基本思维导图。

你会注意到，即便是在开始阶段，你的思维导图里也已经填满了符号、代码、线条、词汇、颜色和图像，这些都能使你大脑更高效、更愉快地工作。

6.2.6 用思维导图发掘你惊人的创造力

你是否感到你具有创造力？

在这一节中，思维导图将向你展示，你不仅具有创造力，而且具有惊人的创造力。为了证实这一点，让我们再做一下关于“水果”的练习。关于“水果”的思维导图，有五条分支从思维导图中心发散出来，每条分支的“末梢”又有三条小的分支，这是第三级联想。通过运用你的想象力，你给那些分支加上关键词和图形。这样做看起来简单，但是寓意深刻。一个简单的概念——“水果”，由此引发出五个主要想法。这样你第一次的创造成果就增加到了五个——你的创

造成果增加了 500%。

然后，你使用这五个新创造出的想法，把它们中的每一个都另外扩展出三个新想法，这样又增加了三倍，或者说增加了 300%！不到一会儿功夫，你从一个想法扩展出 15 个新想法，增加了 1500%。

现在问问你自己：“我能把最初扩展出来的 15 个关键词中的每一个再扩展五个吗？”你当然可以，那就会创造出 75 个。你还能把每一个再扩展五个吗？你还是可以的——又会有 375 个，这就比开始时的一个想法增长了 37500。你还能往下扩展吗？再往下呢？继续再往下呢？当然你还能。这样能继续多久？永远？产生了多少概念？无穷个（图 6-4）。

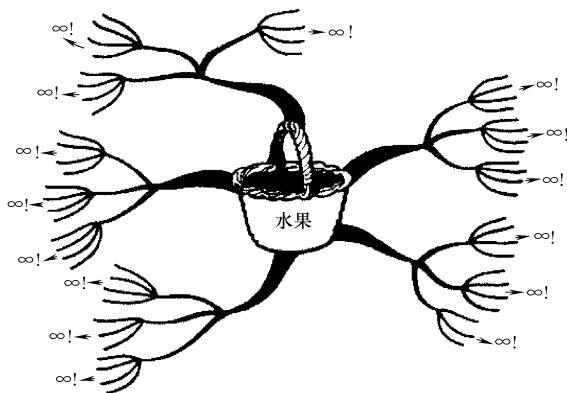


图 6-4 思维导图证明你有无穷大的创造力

这个新知识立刻就会有用了。你可以用它来增添你的自信心，确信自己总是能够找到合适的词汇，总是能够找到解决问题的方法；总是能够产生创造性的想法；你天生的联系事物的能力在任何环境下都能让你受益，你现在知道了你比想象的要聪明。

不知不觉地，你已经证明了自己拥有无限的创造力。当你每天为无法清理碗橱、无法看书、不能完成讨厌的工作而寻找各种各样的理由（都是借口）时，想一想你所拥有的无穷的创造力吧。

每当你有很多创造性想法时，你可以再运用你强大的联想力，寻找事物间的联系，然后产生出更好的想法，这些想法有助你解决问题、形成决策，并会给你带来好运。

这种无限联想的力量非常强大，它允许你在任何创造领域内产生出你想要的无数思想。它的优点就像抽奖一样：你拥有的彩票数量越多，你中奖的可能性就越大（你越能产生“赢”的主意）。

因此，思维导图是发掘你无穷创造潜能的最好方法。我们也就明白了为什么那些记笔记的人会遇到很多问题，而使用思维导图的人就不会遇到这些问题。

图 6-5 是通过“HAPPINESS（幸福）”单词的扩充，导致基本词汇的思维导图。

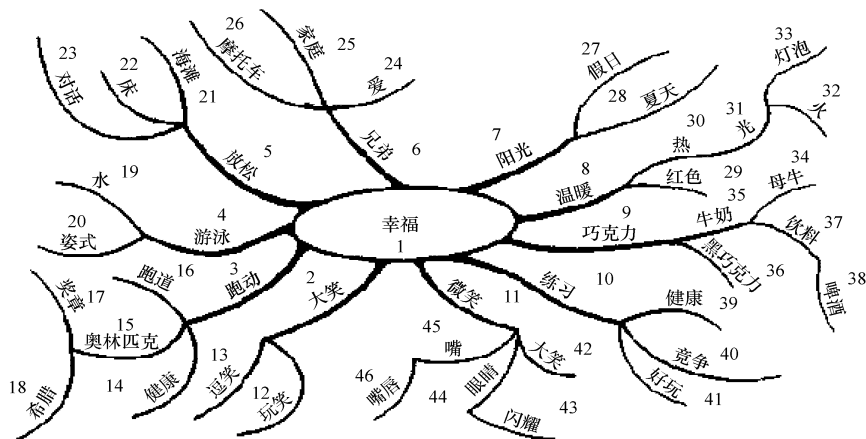


图 6-5 “HAPPINESS” 的思维导图

6.3 创造性思维导图

6.3.1 创造性思维导图制作的目的

创造性思维或者自由发挥思维导图有许许多多的目标。主要的目标如下：

- 1) 探索一个给定主题所有的创造性可能。
- 2) 把思维当中对这个主题以前的一些假设全部清除掉，从而让位于新的创造性思想。
- 3) 从正在进行的一些活动当中得出一些新的想法，或者从正在被创造或者改变着的物理现实当中生成一些想法。
- 4) 鼓励更一致的创造性思维。
- 5) 创造一些新的概念框架，以前的一些想法可以在里面重新加以组织。
- 6) 一旦闪现出思维的火花，应立即捕捉住，并生发下去。
- 7) 创造性地筹划。

6.3.2 作为创造性思维机制的思维导图

思维导图很适合创造性思维，因为它利用了所有一般认为与创造力相联的一些技巧，特别是想象力、思想的联想和弹性。

在心理学文献中，特别是在 E·保尔·托兰斯就创造性思维而进行的一系列测试的手册中，弹性已经被认为是创造性思维中至关重要的元素。其他一些重要的因素包括进行下列活动的能力：

- 1) 用以前存在的一些想法联想新的和独特的思想。
- 2) 在创造性思维当中使用不同的颜色。
- 3) 在创造性思维当中使用不同的外形。
- 4) 把异乎寻常的因素合并起来。
- 5) 放大并使用维度。
- 6) 调节概念位置。
- 7) 把先前的概念重新布置并联络起来。
- 8) 把先前的概念倒置过来。
- 9) 对好看的物体有反应。
- 10) 对情绪化的物体有所反应。
- 11) 对吸引视觉、触觉、听觉、嗅觉和味觉的物体有反应。
- 12) 使用可以内部互换的外形和代码。

看一看思维导图规则和普通的理论就可以看出，思维导图事实上是所有这些定义好的范围的复杂而漂亮的外部表现：它是完整的创造性思维过程的外部表现。

创造性思维和助记术原则有几乎一致的本质，可以确定思维导图就是这些思维形式的基本和自然的表现及工具。它还打下一个基础，人们可以说，与已经存在的大量有关创造力和记忆力的文献相反的是，这两个过程，它们不是分开的，彼此不容的，而且也不是很多理论家所认为的相互对立的；反而，它们都在事实上是同一过程的各个镜像。

一般认为，创造性天才通常都是心不在焉的，而且容易忘事。这无法解释这样一个事实，即：我们提到的一些特殊天才只在一些心理学家们认为非常重要，他们应该记住的东西上才爱忘事。如果注意力集中在他们的相对于创造性思想的主题的记忆力上面，我们会发现，这些记忆宽大无边，比起任何记忆专家来都毫不逊色。

6.3.3 创造性思维过程的几个阶段

正确地应用创造性思维的思维导图制作技巧，可以使各个思维导图的制作人

在同一个时间里，比传统的大型自由发挥小组产生多一倍的创造性思想。下面是创造性思维的思维导图制作过程的五个步骤。

1. 速射思维导图喷发

开始的时候，画一张近似的中央图（例如，如果你考虑在飞行科技中想出新办法，可以在中央画一对像协和飞机一样的机翼）。你画的图必须是在一张空白纸的中央，从这个中央开始，你能够想得起来的所有点子都应该沿着它放射出来。

你必须在不多于 20 分钟的时间内，让思想尽快地流动出来。由于大脑必须以高速工作，这就使大脑松开了平常的锁链，再也不管习惯性的思维模式，因而就激励了新的，通常也就是很明显的荒诞的一些念头。这些明显的荒诞的念头应该总是让它们进去，因为它们包括了新眼光和打破旧的限制性习惯的关键。引用哲学家鲁道夫·弗兰彻尔的话说：

“创造性思维可能就是简单的一个发现，即：按照原来的方式做完一些事情并没有什么特别的美德可言。”

把庞德著名的座右铭记下来也是很有用的：

“天才……就是一眼看出十件事情的本事，而普通人只能看出一件事情，有才干的人能看出二三件事情。再加上他能够把这种多重的感知用他那门艺术的材料表现出来的能力。”

之所以要用尽可能大的纸张，是因为巴赞的良言说：“思维导图会占去所有能用的空间。”在创造性思维当中，你需要尽可能多的空间，以便于激励大脑倾出越来越多的思想。

2. 第一次重构和修正

短暂地休息一下，让大脑安静下来，好好地思考一下到目前为止生成的许多思想。然后，你需要再画一张思维导图，在里面辨认出主干或者基本顺序思想，合并，归类，建立起层次，找到新的联想，在完整的思维导图中再一次考虑一开始认为是“愚蠢”或者是“荒诞”的一些想法。如我们所见，一个思想越是不正规，结果反而越是好。

在第一次重构阶段，你也许会注意到，一些类似甚至相同的概念出现在思维导图的外层上面。这些概念不能当作不必要的重复而删除。它们在根本上是“不尽相同”的，因为它们所附属的主干不一样。这些周边的重复反映了思想的重要，因为这些思想深埋在你的知识库里，可它们又在实际上影响到了你思维的每一个方面。

为了给这些概念适当的精神和视觉上的分量，应该在它们第二次出现的时候画上下划线，第三次出现的时候用一个几何图形圈出来。如果它们第四次出现的话，用一个三维的图形装在盒子里。

在思维导图里把这些相关的三维区连接起来，再把这道连接线加上维度，于是就可以再造一个精神框架，在以新的眼光来看旧事实的时候，使其产生闪光的洞察力。这一转移代表对整个思想结构作了一个很大、很快的重新组织。

从某种意义上讲，这种思维导图看起来可能是“违反了规则”，因为中央图和主干再也没有中心意义了。

然而，这样一幅思维导图根本没有打破规则；相反，它们极大地利用了规则，特别是有关强调重点和图形的那些方面。在思想的周边重复出现而找到的一些新想法可能会成为新的中心。按照大脑搜寻而后发现的工作机制，思维导图会在你目前思想的最遥远的各个角落进行搜寻，以期找到一个新的中心来替代旧的中心。久而久之，这个新的中心也会被更新、更先进的概念所替代。

3. 沉思

顿悟经常出现在大脑处于松弛、祥和与孤独状态的时候——也许是在散步、跑步、睡觉或者做白日梦的时候。这是因为大脑处于这样的状态时，会让放射性思维过程扩大到副脑的最边远的角落里去，因而就增大了新精神突破的可能性。

纵观历史，伟大的创造性思想家们都曾使用过这种方法。爱因斯坦告诉他的学生们说，沉思应该成为他们所有的思考活动的必要的一部分；发现了苯环的克库勒把沉思和白日梦编入了他每天的工作日程当中。

4. 第二次重构和修正

经过沉思以后，你的大脑会对第一个和第二个思维导图产生一个新的观点。这时候，你会发现，快速地画一张新的思维导图将非常有用，它可以巩固刚刚发现的新思想。

在这次重新构造阶段，你需要考虑第一、二、三步得到的所有信息，以便制作一张全面的思维导图。

5. 最后阶段

在这个阶段，你得寻找答案、决定或者办法了，这是你最初的创造性思维的目的所在。这一步常常包括了将最终的思维导图中分开的一些元素合并起来的工作，以期达到新的发现和大突破。

6.3.4 通过制作思维导图获取新的范式

在长时间深沉的创造性思维中，如果新的洞察力在第一次重构和修正阶段即告发现，则沉思也许会在集合新观点的基础上产生一个新的观点，这就是范式转移。

范式转移是指全球思维的转变，它对于已经在全球公认的一些假设提出异议，如达尔文的进化论和爱因斯坦的相对论，这些思维的范式代替了以前的范

式。思维导图是记录范式转移过程的重要工具。

对于那些创造性思维导图的制作者来说，新的意识本身即是在沉思过程当中，通过在旧范式里突然产生的顿悟而置入一个新的框架之中的。这样一来，思维导图的制作者就给他或她的思维增加了更大的维度，记录了范式转移的各个阶段，不仅对所研究的主题获得了助记的成果和宏观的见解，而且导致创造性的新思想，并最终获取了智慧。

6.3.5 创造性思维导图的好处

- 1) 它们自动地利用所有的创造性思维技巧。
- 2) 它们在思维导图制作者向前实现自己的目标时，产生不断增大的精神力量。
- 3) 它们让思维导图制作者一次看到很多的因素，从而就增大了创造性联想和高度集中可能性。
- 4) 它们让大脑能够把游离于思想边际、平日深埋不出的想法归结到一起，捕捉起来。
- 5) 它们增大了产生新的洞察力的可能性。
- 6) 它们加强和巩固了沉思过程，增加了生成新想法的可能性。
- 7) 它们让人轻松愉快，充满幽默，因而使思维导图的制作者极可能游离于常识之外，从而导致新思想的产生。

6.4 平行思维法与六顶帽子法

爱德华·德·波诺（Dr. Edward de Bono）被誉为 20 世纪改变人类思考方法的缔造者，是创造性思维领域和思维训练领域举世公认的权威，被尊为“创造思维之父”。欧洲创新协会将他列为人类历史上贡献最大的 250 人之一。他在世界企业界拥有广泛影响。德·波诺的代表作《水平思考法》和《六顶思考帽》被译成 37 种语言，行销 54 个国家，在这些国家的企业界、教育界和政界得到了广泛的推广和肯定。水平思考法在创新技法中属于直觉方法的转换型思维方法，它主要是通过修改垂直思维方法进而得到尽可能多的设想的一类方法。

6.4.1 引言

当一头非洲羚羊听到草丛里有什么响动的时候，它所有防范危险的神经都会立刻紧张起来，因此一旦看到狮子在草丛中出现，它就会迅速逃掉。这样的敏锐正是大脑保持高效运转的关键因素。

我们都没有三头六臂，不可能在同一时间对所有的方向都保持敏锐。这也正是为什么“六顶思考帽”是基础思考的原因。它允许大脑在不同时间对不同方向的敏锐度达到极至，而这种极至显然不可能在同一时刻达到。

1. 对水平思考的争论

西方思维的基本概念源于2300年前希腊的“三位一体论”，并建立在批判性和争论性的基础之上。

苏格拉底普遍地强调逻辑与辩论。在柏拉图所记载的苏格拉底对话中，有80%都没有建设性的结果。苏格拉底把仅仅指出什么是“错”的作为他的原则。他想通过指出对正义和爱等概念的不恰当运用，而澄清它们的正当用途。柏拉图相信“最后”的真理隐藏在现象背后。他有名的比喻就是关于一个被囚禁在洞穴里的人，这个人只能看见洞穴后的一堵墙，洞口燃烧着一堆火焰，当有人走进洞穴的时候，他的影子就被投射到那堵墙上，而这就是被囚禁的人所能看到的全部。柏拉图运用这个比喻来说明，我们整个一生中所能看到的只是真理的“影子”而已。

亚里士多德将逻辑思考加以系统化。从过去的经验中，我们可以聚集许多的“盒子”——定义、分类和原理。当我们遇到新的事物时，我们就判断出这些事物应该属于哪一个盒子。有的事物可以一半属于这个盒子，而另一半又属于那个盒子，或者什么盒子也不属于。

结果，西方思维就成了一种考察“是什么”的思维，是由分析、判断和辩论来决定的思维。

这也是一个优良实用的思维系统。但是，思维还有考察“能够成为什么”的一面，这一面包含了建设性思考、创造性思考以及“开创一条往前的路”。

1998年，爱得华·德·波诺博士受邀在澳大利亚关于展望联邦前景的宪法公约会议上做一个公开演讲并讲了下面一个故事：

很久以前，有一个人把他的汽车一半漆成了白色，另一半漆成了黑色。他的朋友问他为什么做如此奇怪的事情。他回答道：“因为不论什么时候我发生车祸，路两边的目击者在法庭上都会争论看到的车子是白色的还是黑色的，这十分有趣。”

会议结束时，主席安森尼·梅森先生告诉德·波诺他会记住这个故事，因为在一些争论中，争论的双方常常都是对的，但他们看到的都只是事物的不同侧面。

世界上许多文化，甚至是大多数的文化，都把争论看作是侵略性的、个人性的和非建设性的。因此，许多国家都准备推行“六顶思考帽”的水平思考法。

2. 变化中的世界

建立在争论基础之上的思维系统，如同一辆汽车的左前轮一样，都是必不可少的。它本身并没有错误，但仅有它是不够的。

当一个医生为一个出热疹的孩子进行诊断的时候，他的脑海里就会出现各种可能的“盒子”：这是阳光暴晒引起的？是食物过敏引起的？还是麻疹？于是，医生就会根据孩子的各种症状来进行判断。如果他判断孩子的症状正属于麻疹的情况，那他就会把对此病的治疗归类于“麻疹”的“盒子”，从而确切地知道该怎么做。这是传统思维方式的最典型的表现。

从过去的经验中，我们创造出各种标准，并对每一种新情况做出判断，再划入相应的“标准盒子”。一旦完成这样的判断，我们的行动就变得明确了。

这样的思维方式在一个稳定不变的世界中是行之有效的。在稳定不变的世界里，过去的标准仍然一成不变。但是在变化着的世界里，以往的俗套就行不通了。

我们需要开辟而不是判断往前的路。我们需要思考“能够成为什么”，而不仅仅是“是什么”。

但是西方思维（或者其他思维）的传统基础都不能提供一个简单的建设性的思维模式。“六顶思考帽”正是要解决这一问题。

6.4.2 什么是平行思考

假设有一座漂亮的大房子，一个人站在房子的前面，一个人站在房子的后面，另外两个人分别站在房子的左右两边。四个人看房子都有不同的视角，四个人都在争论自己看到的那一面是正确的一面。

如果运用水平思考，那么这四个人就会绕房子一圈，分别看到房子前后左右四个面。因此，在每一时刻每个人都对同一观点进行水平思考。

这种思考方法与促使每一方都固执己见的争论和冲突的思考方法几乎是相反的。因为每个人最后都看到了房子的所有面，房子得到了全面的观察。水平思考就意味着在任一时刻，每个人都能看到相同的方向。

但是水平思考的含义还不止这些。在传统思维中，如果两个人互相争论，那么每一方都试图证明对方是错的。但在水平思考中，两种观点不论如何相互冲突，都会被平行地、同等地对待。如果必须要在这两种观点中有所选择，水平思考也会为之做出努力。如果不能做出选择，那么水平思考就要开辟出一条涵盖两种可能性的路来。任何时候，我们强调的都是开辟一条往前的路。

1. 方向和帽子

水平思考要求任一时刻每个人都看着同一方向，但是这个方向是可以改变的。一个探险家可能被要求往北看或者往东看。这些是标准的方向标记。我们需

要一些思考的方向标记。思考者可以看哪些不同的方向呢？

这正是六顶帽子所要指示的。

在许多文化里，已经存在思考与“思考帽”之间的紧密联系。作为一种象征，帽子的价值在于它指示了一种规则。人们总要戴一定的帽子，而帽子的另一大优点则是可以轻易地戴上或者摘下。同时帽子也可以让周围的人看得见。正是由于这些原因，我选择帽子作为思考方向的象征性标记。

尽管我们有时戴着实际意义上的帽子，但这里所指的帽子一般都是假想的。会议室墙上的海报经常画着帽子以提示方向。我们有六种颜色的帽子来代表六个思考的方向，它们是白色、红色、黑色、黄色、绿色和蓝色。

2. 方向而非描述

我们必须明白六色帽子代表的是思考的方向而不是对已发生事件的描述。并不是因为每个人说他们喜欢什么，帽子便用来描述什么。帽子是用来指引思考方向的。

如果说“让我们戴上白色思考帽”，这意味着对信息的关注。每个人就要努力思考可获得的信息、所需要的信息、可能被问及的问题，以及其他获取信息的途径，等等。

如果说“现在戴上红色思考帽”，则是要求对某一特定事物运用感觉、直觉和情感。

如果说“这样的黑色帽子思考方法很好，现在让我们转向黄色帽子思考……”，这里，黑色帽子指的是小心谨慎地预见可能遇到的困难的思考方法，但其后主要的目的是转向黄色帽子的思考方向即考虑利益、价值等方面的问题。

明白描述与方向之间的区别非常重要。描述是指已经发生了什么，而方向是指将要发生什么。

“请你往东看”与“你一直在往东看”是两个截然不同的意思。

“我想请你炒几个鸡蛋”与“我看见你已经炒了几个鸡蛋”的意思也是截然不同的。

3. 不要对人们进行分类

我们可以通过一些实验来判断某个人是 A 类型的还是 B 类型的，或者进行类似的描述辨别。心理学家一直做的就是这类工作。但问题是，一旦人们被归入相应的“盒子”，他们就停在那里不动了。这又是一个“是什么”而不是“能够成为什么”的例子。

在跑步比赛中，一个瘦子可能击败一个胖子（“是什么”的问题）。但是如果胖子学会了骑自行车，那他就会击败瘦子（“能够成为什么”的问题）。

我们常常容易倾向于用帽子将人们进行描述和分类，比如“她是用黑色思

考帽的人”，或者“他属于绿色思考帽类型的人”。必须抵制这样的诱惑和倾向。帽子不是用来对人们进行描述和分类的，而是用来代表不同的行为模式。

确实，有的人一生都小心翼翼，有的人却乐于冒险，有的人喜欢思考，而有的人却注重现实。人们总是倾向于选择某种模式而不是其他模式，总是在某种模式上做得比其他模式上更好。但无论如何，帽子都不能用来对人们进行分类。

如果你驾驶一辆手控的汽车，你会运用所有的装置，使汽车引擎里所有的气缸都在点火。帽子是思考的方向，每个人都必须能够熟练地观看不同的方向。

由于上述原因，把帽子当作分类的标签是很危险的，因为这违背了思考系统力图促使每个人观看各个方向的主旨。

4. 使用思考帽的注意事项

当人们告诉我们，他们已经在使用六顶思考帽的方法时，我们常常要问他们是如何使用的，有时，会发现他们使用的方法并不正确。例如在一个会议中，有的人被指定用黑色思考帽来思考，有的人则用白色思考帽来思考，等等。人们于是就用这样的方法来贯穿整个会议。这实际上与六顶思考帽的正确使用方法背道而驰。水平思考的全部主旨就在于，使每个人的经验和智慧都运用到每个方向的思考之中。因此，在某一时间大家都应戴上黑色思考帽思考，在另一时间大家都应戴上白色思考帽思考。这才是水平思考的方法，这样才能使每个人的经验和智慧得到充分运用。

(1) 炫耀 许多人都说，他们非常喜欢争论，因为这可以显示出他们是多么聪明。他们可以赢得争论，击败对手。但是这样的争论毫无建设性的意义，只不过让有的人得以炫耀自己罢了。

但是水平思考法和六顶思考帽并不排除炫耀。现在，思考者可以通过在黄色思考帽、黑色思考帽等帽子下周全地思考来进行炫耀。你可以炫耀，因为你表现得像一个出色的思考者；你可以炫耀，因为你在会议上比别人思考得更好。这种炫耀与争论性炫耀的区别在于：我们的炫耀是建设性的，而不只是为了证明自己是正确的。

(2) 游戏实践 人们通过各式各样的努力来改变他人的个性。他们总相信，如果指出一个人的个性特征和弱点，那么这个人就会努力来弥补自己的缺点。但是，这种方法通常太慢，而且没有效果。

人们一旦被归入一定的“盒子”或者类型，他们也许会努力地弥补自己。但是这种弥补总是在提醒他们“他们是谁”，因而他们就会在自身的类型中陷得更深。

自从弗洛伊德以来，一直强调分析人类行为的深层动机和真相。而孔子的主张却与之相反。他不注重个性而直接注重行为，他鼓励你与自己的同事、下

属、上级以及家人和睦相处。孔子是为数极少的注重人的个性与心理的思想家之一。

六顶思考帽的方法就比较接近孔子的思想，它注重人的行为，而不分析行为背后的思想动机。它指明所有行动的规则，然后你只需要遵从这些规则。比如，你戴上黑色思考帽，即使显得如何具有攻击性，也不会有人阻止你。但是一旦戴上黄色思考帽，那就必须收敛起来，按照黄色思考帽的规则行动了。

六顶思考帽的方法直接关注和约束人们的行为，而不是力图改变人们的思想个性，所以它得到了广泛的接受。

把六顶思考帽看成一种游戏是很重要的。如果有人在玩游戏的时候不遵守规则，那他就会被认为是不合作。比如，我们要从小心谨慎的黑色帽子切换到考虑利益的黄色帽子思考时，却有人仍然在考虑潜在的危险，那他就会被认为拒绝继续参加这个游戏。促使人们“参加游戏”是改变其行为的有效方法。

(3) 结果 多年以来，使用六顶思考帽的方法已经取得了越来越显著的效果。来自各方面的反映可以分为以下四类：

1) 效力。通过运用六顶思考帽，团体中所有人的智慧、经验和知识都得到了充分的利用。每个人都朝着同一个方向努力。

一块磁铁能够有力地把微粒吸引到同一个方向，但是争论和自由讨论却不能达到这种效果。在争论中（比如法庭上），每一方都试图胜过对方。如果一方感觉到某一点有利于对方的话，那么这一点就不会被提及。争论的目的在于获胜，而不是如实地考察问题。

在争论中，人们总是隐藏不利于自己的信息和观点，这是很荒谬的。阳光聚焦后甚至能够熔化最坚硬的金属。同样，将许多人的精神力量集中起来就更容易解决好一个问题。

2) 节约时间。澳大利亚的奥普图斯（Optus，一家著名的通信设备公司——译注）曾经为一个重要的讨论花费数小时的时间。运用六顶思考帽的方法以后，仅在 45 分钟内讨论就得出了结果。

我们有来自各个方面的报道证明六顶思考帽的运用使得会议时间缩短了很多。现在，会议所花时间是原来的 $1/2$ 、 $1/3$ ，甚至 $1/4$ 。有的时候，比如在 ABB 公司，会议时间缩短为原来的 $1/15$ 。

在美国，经理们几乎把 40% 的时间都花在了会议上。如果六顶思考帽的方法使得所有会议时间减少到 70%，那么经理们就会多出 30% 的时间，而且不用花费任何额外的成本。

在争论的一般情况下，如果某个人说出一个观点，那么其他人必须做出回应，即使这仅仅是出于礼貌。但在平行思考中，情况并非如此。

在平行思考中，每一时刻的每个思考者都朝同一个方向看齐，所有的观点都

平行排列出来。你不需要对最后一个人的看法做出回应，你只需要另外排列出你的观点。最后，被讨论的问题就这样很快得到了全面的考察。

通常，如果有两个观点互相冲突，那它们会被提出来讨论。但在平行思考中，这两个观点都被并排在一起，稍后必须两者选其一，才会做出一个最后的结论。在平行思考中，并不是每一步都存在争论。

3) 消除自我。也许要进行迅速有效的思考，最大的障碍在于自我。人们总是倾向于在思考中维护自我——思考是用来攻击和打倒别人的，思考是用来得出自己的结论的，思考是用来向别人显示自己是多么聪明的，思考是用来表达个人对抗的。

一些人不同意某人的观点，仅仅是因为想拆别人的台。如果换一个人说出同样的观点，他们也许会完全赞成。我们通常并没有完全认识到自我意识对有效的思考而言，是多么具有破坏性。

在陪审团的审议中，常常有一两个人不管证据如何，都拒绝与其他陪审人员达成一致。曾有法官告诉我实际情况比人们意识到的还要严重。显然，这个问题破坏了陪审制度的基本价值。这也正是为什么一些国家对用六顶思考帽的方法来训练所有陪审员很感兴趣的原因。这有利于通过消除自我来加速审议达成一致的进程。

冲突和对立的思考加重了自我的问题，而六顶思考帽则消除了这一问题。六顶思考帽的方法使思考者的自我在每一顶帽子下面进行的出色思考中得到了表现。

六顶思考帽的方法提供了对事物客观中性的考察，而争论则不能提供。

(4) 一个时间做一件事情 思考最大的敌人就是混乱。我们总是企图在同一时间内做太多事情。我们寻找信息，我们受感觉的影响，我们追求新的思想和选择，我们必须小心谨慎，我们还要寻求利益……确实有太多的事情需要去做。

同一时间内用六顶思考帽来思考是很困难的。而一次只用一个则容易了很多。六顶思考帽的方法要求我们一个时间里只做一件事情。某个时间我们需要找出危险（黑色帽子方法），某个时间我们要追寻新的观点（绿色帽子方法），某个时间我们又需要关注信息（白色帽子方法）……我们不必在同一时间内做每一件事情。

不同的颜色将彼此区分开来。一个时间用一种颜色，到了最后所有颜色的效果都将达到。六顶思考帽也是如此，我们一个时间做一件事情，最后一幅完整的画面就会出现。

所有这一切都源于把思考类型加以区分的绝对生理需要。正如这样的道理，大脑通过不同的化学反应而具有发现危险或利益的敏感。

当你乘飞机降落，掠过汽车群的时候，如果你告诉自己注意黄色的车子，你就会发现黄色的车子在车群中突显出来。这就是大脑敏感的一个例子。

你不可能在同一时间内对所有方向都保持敏感，因此当我们试图在同一时刻内对所有方面进行思考，那我们将一无所成。

人们并不是因为争论有效可行才选择争论，他们只是别无选择而已。六顶思考帽提供了其他的途径。

6.4.3 六顶帽子，六种颜色

每一顶帽子都有一种颜色：白色、红色、黑色、黄色、绿色和蓝色。我们以颜色来命名每一顶帽子。

你也许可以套用希腊名字来命名每一顶帽子所代表的思想。这会给人以深刻印象，并取悦一些人。但是这样做并没有实用价值，因为这些名字太难记住了。

希望读者能够觉得思考帽和真的帽子一样形象。因此，以颜色来命名很重要。除此之外，还能有其他更好的区分帽子的方法吗？如果以形状来区分，也会造成一定的难度和混淆，而颜色就使得人们对帽子的想象容易多了。

每一顶帽子的颜色与其功能也是相关的。

白色思考帽 白色代表中性和客观。白色思考帽思考的是客观的事实和数据。

红色思考帽 红色代表情绪、直觉和感情。红色思考帽提供的是感性的看法。

黑色思考帽 黑色代表冷静和严肃。黑色思考帽意味着小心和谨慎。它指出了任一观点的风险所在。

黄色思考帽 黄色代表阳光和价值。黄色思考帽是乐观、充满希望的积极的思考。

绿色思考帽 绿色是草地和蔬菜的颜色，代表丰富、肥沃和生机。绿色思考帽指向的是创造性和新观点。

蓝色思考帽 蓝色是冷色，也是高高在上的天空的颜色。蓝色思考帽是对思考过程和其他思考帽的控制和组织。

如果你记住了每一种颜色和它所引起的联想，那就记住了每一顶帽子所代表的意义。你也可以想象成三对帽子：白色和红色，黑色和黄色，绿色和蓝色。

在运用中，我们总是以颜色而不是功能来指代帽子。对此我们有很好的理由。如果你要求一个人对某事做出情绪化的反应，你也许不会得到预期的答案，因为人们认为情绪化的反应是不对的。但是术语“白色思考帽”本身代表的是中性。你要求别人“暂时脱下黑色帽子”比要求他不要继续谨小慎微更为容易。颜色的中性消除了使用帽子的尴尬。思考成了一个运用一定规则的游戏，而不是

一件充满规劝和谴责的事情。所有的帽子都可以直接提到，比如：

——我希望你摘下黑色思考帽。

——让我们都戴上红色思考帽思考几分钟。

——这样进行黄色帽子思考很好。现在让我们戴上白色思考帽。

当你遇到一些人没有读过本书，也不清楚六顶思考帽的象征意义的时候，你解释每一种颜色与每一顶帽子的关联，就会很快使每一顶帽子变得风味十足。接着，你就可以给他们这本书读一读。六顶思考帽的说法传播得越广，运用也就越有效。最后，你坐在桌旁进行讨论的时候，就可以对“思考帽”称呼自如了。

6.4.4 如何使用思考帽

有两种使用思考帽的基本方法。一种是单独使用某顶思考帽来进行某个类型思考的方法；另一种是连续地使用思考帽来考察和解决一个问题。

1. 单独使用

在单独使用中，思考帽就是特定思考方法的象征。在对话或讨论的过程中，你可能遇到需要新鲜看法的情形：

——我想我们在这里需要戴上绿色思考帽来思考。

同样的会议中，过一会儿可能又有新的建议：

——对此我们也许应该戴上黑色思考帽来考虑。

思考帽可以这样人为转换正是其优点所在。没有思考帽，我们对思考方式的指向就是虚弱的、个人化的，比如我们只能说：

——我们这里需要一些创造性。

——不要如此消极。

在罗伯·巴伯罗任保德信（Prudential）保险公司总裁的时候，曾观察过他如何与其执行人员相处：他会提出一项建议，而他身边的人会指出代理商对此不会喜欢，或者这项建议过于冒险，或者可能不合法等。他总是仔细倾听这些意见，并说：“是的，这是很好的黑色思考帽。现在让我们试一试黄色思考帽。”

在日本，批评老板所说的话是不礼貌的。但六顶思考帽为谨慎的评论提供了中性的空间，比如：

——申特先生，我想在此按黑色思考帽的方法思考一下。

红色思考帽为深入个人的感觉、情感和直觉提供了独特的机会。人们通常不习惯于表达他们的感觉，而且一般礼节上也不宜询问别人的感觉。但是红色思考帽的形式和中性化却使得询问别人对某事的感受成为可能。

黄色思考帽促使人们思考问题的价值。一项建议可能会被立刻否决，因为它第一眼看上去就没有多少价值却有很多缺点。但是，经过黄色帽子思考的引导，这项建议可能会被发现还有很多的益处，比如：

——这项建议看起来没有什么前景。但是让我们戴上黄色思考帽来思考一下。

通常，要发现一个问题的好处比发现危险还要困难。在黄色思考帽中，却有可能做出深入的洞察。一些看似没有前景的事物实际上往往具有以前没有发现的很高价值。

白色思考帽帮助人们把纯粹的信息与判断区分开来。

白色思考帽的形式要求人们直接关注事实信息。你没有必要每次张口都要说明你运用的是哪一顶思考帽。就像提供给人们进行不同思考的思考工具一样，六顶思考帽可以根据你的需要随时取用。一旦人们经过了如何使用思考帽的训练，他们就会知道如何做出反应。我们不再需要含糊地说“请想一想这个”，我们现在可以用六顶思考帽来明确地指向特定的思考方式。

2. 连续使用

- 1) 六顶思考帽可以一个接一个地按序列使用。
- 2) 任意一顶思考帽都可以随你的需要经常使用。
- 3) 没有必要每一顶思考帽都要使用。
- 4) 可以连续使用两顶、三顶、四顶或者更多的思考帽。

有两种序列使用的类型：逐渐形成的和预先设定的。逐渐形成的序列使用中，你或者小组主持人选择第一顶思考帽。当这顶思考帽使用完毕以后，再选择下一顶，依此类推。除非你能熟练运用六顶思考帽的方法，否则，一般不会推荐这种序列使用法，这有两个原因：一是讨论组的成员可能会花费大量的时间来争论下一步使用什么思考帽，以致没有剩下多少时间来讨论问题本身；二是不论是谁来选择序列使用的思考帽，都会被看作想促使会议达到他预期的效果。因此，在你能够熟练使用六顶思考帽之前，最好实行预先设定的序列使用法。

通过最初的蓝色思考帽思考，预先设定的序列使用法在会议开始的时候就确定下来。这个序列使用的过程按此不断推进，根据具体情况的不同，可作轻微地变动。

3. 纪律

纪律是非常重要的。讨论组的成员必须遵循某一时刻指定的某一顶思考帽的思考方法。任何一个成员都不允许随便说：“这里我想戴上黑色思考帽思考。”这就意味着又回到了争论的模式。只有小组的领导、主席或者主持人才能决定使用什么思考帽。思考帽不能用来描述你想说什么，而是用来指示思考的方向。维持这样的纪律非常重要。运用这样的方法一段时间以后，人们就会发现遵循特定的思考帽方法容易多了。

4. 计时

一顶思考帽应该花多少时间才合适呢？我们认为时间短一些比较合适。因为

这就促使人们集中精力来解决问题，减少了无目的地耍嘴皮时间。通常只允许每个人讲1分钟。因此，如果讨论组有4个人，那么每一顶思考帽就只有4分钟的时间。如果在规定时间过后还有很好的意见被提出来，可延长一点时间。所以，如果在运用黑色思考帽的过程中有人提出了很好的看法，我们没有必要说：“对不起，时间到了。”我们可以把时间延长到这个看法被陈述完毕为止。

设定较短的时间，必要时稍作延长，这比设定较长的时间，让人们坐在那里考虑究竟说什么要好得多。

在计时方面，红色思考帽与其他思考帽不一样。红色思考帽只需要很短的时间，因为表达人的情感并不需要很多的解释。人们对感觉的表达应该简洁明了。而每个人1分钟的时间通常就足够了。

5. 指南

六顶思考帽的序列使用并没有一定的模式。凡在适合你的情况下都可以使用。有的模式适于考察问题，有的适于解决问题，有的适于协调争论，有的适于得出结论，等等。正如一个木匠必须对他使用的工具很熟悉一样，我们也必须学会熟练地使用六顶思考帽。

就像一本书的首页和末页一样，蓝色思考帽在讨论开始和结束的时候都必须使用。

首先使用蓝色思考帽是因为它指示了：

- 1) 我们为什么在这里讨论？
- 2) 我们思考的是什么？
- 3) 问题的表述是怎样的？
- 4) 有没有其他的表述方法？
- 5) 我们想达到什么样的结果？
- 6) 我们想在什么地方结束讨论？
- 7) 思考的背景是什么？
- 8) 序列使用思考帽的计划是什么？

而最后使用蓝色思考帽是因为它指示了：

- 1) 我们的讨论取得了什么样的成果？
- 2) 产生的效益如何？
- 3) 结论如何？
- 4) 怎样设计的？
- 5) 问题解决得怎么样？
- 6) 以下的步骤又是什么？

至于最先用完蓝色思考帽以后接着再用什么思考帽，就要看问题本身的性质是什么了。

可能用完蓝色思考帽以后需要接着用红色思考帽。这种情况下，一般是因为讨论组的成员已经对问题有了强烈的感觉。红色思考帽的使用在讨论一开始就有助于把每个人的感受表达出来。

但很多情况下，红色思考帽并不适于一开始就使用。例如，如果老板首先表达了他的感觉，那么其他人就会趋于赞成老板。而如果讨论组成员事先没有对问题产生强烈的感觉，也不适宜先用红色思考帽。过早地询问人们对问题的感觉是没有必要的。

在进行评估的情况下，有必要先用黄色思考帽，再用黑色思考帽。如果戴上黄色思考帽思考并不能发现问题的价值所在，那么讨论就不需要再进行下去。另一方面，如果黄色思考帽使你发现了问题的很多价值，那么再运用黑色思考帽来找出困难和障碍之所在，这时你会被激励着去克服困难，因为黄色思考帽已经使你看到了很多价值。但是，如果你发现困难以后就止步不前了，那么这种激励就完全没有用了。

有时，你会想在最后使用完蓝色思考帽以后再用一次红色思考帽，因为它此时反映了“思考的表现”：

- 1) 我们对自己的思考感觉怎样？
- 2) 我们对讨论的结果满意吗？
- 3) 我们做得很好吗？

这些只是一部分指南。正式的训练人员会在正规训练中给出全面的适用于不同情况的指南，以提供选择和实践的机会。

通常，任何适用于实际情况的“思考战略”都是有效的。

6. 团队和个人

团队的讨论和对话可以获得六顶思考帽带来的最大利益。在此情况下，六顶思考帽的方法提供了比争论和自由讨论更好的模式。

个人也可对自己的问题运用六顶思考帽的方法。这种方法减少了混乱，并保证问题得到全面的考察。

其他的报告和联络中也可运用六顶思考帽的方法。同样，这也保证了问题得到全面的考察。在报告中，六顶思考帽还使得问题所有“谨慎”的方面得以提出，并且不至于引起反对。

7. 团队中的个人

即使六顶思考帽是用在团队的讨论之中，团队的主席或主持人仍然可以要求每个人进行个人的思考。这会使得人们提出更多的见解。因为在团队讨论中，你总是忙于听取别人的意见，以致没有时间进行自己的思考。

——现在我们戴上黄色思考帽进行思考。在讨论前，我希望你们花两分钟的时间独立思考一下。

在绿色思考帽、黄色思考帽和黑色思考帽的思考中，这种个人思考尤其有用。

会议主席甚至会在戴上思考帽思考的中间要求大家进行个人思考，比如：

——现在我希望你们大家戴上绿色思考帽自己思考一会儿。我对目前提出的几种见解并不满意。

尽管大多数的团队都允许任何个人在相应的思考帽下自由地提出自己的见解，但是询问个别成员的看法也是可以的，比如：

——史密斯先生，我们还没有听到你的意见。你的黑色帽子思考对此问题看法如何呢？

——我想听听你的黄色帽子思考是怎么样的，亨利塔。

当确定使用什么思考帽以后，可以让全组的成员一个接一个地轮流进行个人思考。当个人思考时间被允许的时候，这尤其有用。

6.4.5 六顶思考帽的内容和概要

1. 白色思考帽

想象一下白纸和计算机打印输出。白色思考帽就像纸一样，与信息 and 数据直接相关。当我们使用白色思考帽的时候，每个人都只能把注意力直接放在信息上。

- 1) 我们有些什么信息？
- 2) 我们需要什么信息？
- 3) 我们缺乏什么信息？
- 4) 我们需要征询哪些信息？
- 5) 我们怎样去获取我们所需要的信息？

不论是可被检验的确切的事实和数据，还是无法测量的个人观点和情感等，都可以算作信息。如果你表达你自己的感受，那么你是在使用红色思考帽；但是如果你报告别人对事件的感受，那么你就是在使用白色思考帽了。

当被提供的两条信息互相冲突的时候，我们不必对此进行争论。除非必须在两者之间进行选择，我们可以把这些信息平行放置起来。

白色思考帽通常是用在思考过程一开始的时候，以便提供一个思考的背景。在思考过程快结束的时候也可以用它来作一下评估：我们的目标与现存的信息相符合吗？

白色思考帽是中立的。它客观地展示整个世界。虽然白色思考帽展示了正在运用的或者已被提出来的建议，但它并不是用于归纳某种观点的。

白色思考帽很重要的一点，就是描述出我们缺乏的和需要的信息。它阐明我们应该询问哪些问题，提供为获取信息所必要的手段（比如调查和问卷等）。

白色思考帽的直接目的就在于搜寻和展示信息。对于白色帽子，其思考法概要如下：

请想象一台按照要求给出事实和数据的电脑。电脑是中立、客观的。它不会提出解释和意见。戴上白色思考帽以后，思考者就应模仿电脑。

需要信息的人，应该采取集中式提问的方法来获得信息，填补资料的空缺。

在实践中，我们建立了双层式的信息系统。第一层是经过检验证实了的事实——一级事实。第二层是人们相信为真，但是未经检验的事实——次级事实。

关于事实的真实程度，我们有一个从“总是为真”到“从不为真”的排列。其间还有一些有用的层次，如“就整体而言”、“有时候”和“偶尔”。如果能适当地加以“组织”，并指出其真实程度如何，这类信息就可以在白色思考帽之下提出。

白色帽子思考法是一种训练和方向。思考者在提出信息时，要努力使自己更加中立和客观。别人会要求你戴上白色思考帽，你也可以要求他们这么做。你还可以自行选择戴上或者摘下。白色代表的就是中立。

2. 红色思考帽

想象一下火焰和温暖。想象一下感觉。戴上红帽子就使得你有机会表达自己的感觉、情绪和直觉，而且不用进行任何解释和修正。

在正式的商业会议里，通常不允许人们表达自己的情绪和感情。但实际上，这种情绪和感情仍然存在——只不过人们将其伪装在了逻辑里面。而红色思考帽就为这种感觉、情绪和直觉提供了唯一的特殊的表达机会。

直觉可以建立在大量的经验基础之上。比如：

——我觉得这个人是这项工作的最佳人选。

——我觉得这样做太冒险了。

——我的直觉告诉我这个解释太复杂了。

感觉都是有用的。但是，直觉却非总是正确的。当爱因斯坦否定了海森伯格的不确定性原理的时候，他的直觉也是错误的。

在红色思考帽下，各式各样的感觉都可以表达：热情的（比如，“我太喜欢这个了！”）、中立的、不确定的、怀疑的、混合的、不愉快的（比如“我不喜欢这个主意”），等等。不同的文化有不同的表达感觉的方式。在日本，表达感觉的方式很谨慎低调，人们常说“我还需要考虑一下”。而在美国，表达感觉就很直接大胆了，甚至可以说“这个主意真让人恶心”。

没有必要对自己的感觉进行任何解释和修正。实际上，会议主席也不会允许人们这样做。如果人们认为自己的感觉需要有所验证，那他们就只会提出经过验证的感觉。所以任何解释都是不必要的。任何时候，你都只需如实地表达出当时

的感觉。也许过 20 分钟，你的感觉就会有所变化了。因此，有的时候，有必要在会议一开始的时候就戴上红色思考帽表达自己的感觉，在会议结束的时候再戴上红色思考帽，看看自己的感觉是否已经变化了。

红色思考帽总是运用在特定的意见或情况之下。思考者不能随意改变自己的意见。

如果提出的要求是：“请戴上红色思考帽，讲一讲你对义务贡献的感觉。”那么，思考者就不能回答：“我很赞同这个主意，如果贡献是义务的话。”

红色思考帽究竟应该怎样使用，必须要有清楚的说明，否则会引起混乱。必要的话，会议主席可以把对一项建议的各种看法罗列出来，并对每一个看法都戴上红色帽子进行思考。

红色思考帽也可以包括“智力性的感觉”，这也是非常有效的：

——我感觉这项建议很有潜力。

——这个意见十分有趣。

——这个意见太不寻常了。

红色思考帽总是在个人基础上进行思考。在讨论中，每一个与会人员都会被轮流要求戴上红色帽子思考。

当被要求戴上红色思考帽提出看法时，与会人员不能说“不知道”这样的话。他们可以表达自己中立的、犹豫不决的、迷惑的、怀疑的以及混合的感觉等。

如果与会者的感觉是混合的，那么提问者可以询问混合的感觉包括哪些。

红色思考帽的目的就是让人们如实地表达出他们的感觉——而不是下一个结论。对于红色帽子，其思考法概要如下：

戴上红色思考帽让一位思考者能够说：“这就是我的感觉。”

红色思考帽让情绪和感觉合法地成为思考的重要部分。

红色思考帽让情感得以表露，因此它可以成为思考地图的一部分，也可以用来帮助选择地图上的路线。

红色思考帽提供了一个方便之门，让思考者可以自由进出情感的各种模式。没有红色思考帽，就不可能做到自由进出了。

红色思考帽可以让思考者提问，了解对方的情绪和感觉。

思考者在使用红色思考帽的时候，千万不要想为自己的感觉辩解，或者为它们找出逻辑的根据。

红色思考帽包含两类感觉。一类是普通的情感，包括强烈的恐惧、不喜欢和比较微妙的感觉（如怀疑）等；另一类是较复杂的感受，比如预感、直觉、知觉、品味、审美观和其他无从目测的感觉等。只要是适合这两类感觉的意见，都适用于红色帽子思考法。

3. 黑色思考帽

黑色思考帽是所有思考帽中使用得最多的。它也许是最重要的思考帽。黑色思考帽强调的是谨慎，戴上它就应该小心谨慎。它可以阻止我们去做不合法的、危险的、无利可图的、有妨害的事情。

黑色思考帽是教会我们更好地生存的帽子。动物必须学会辨别森林里哪些浆果是有毒的，学会对敌人的入侵保持预先的警惕。为了生存，我们必须小心谨慎。我们需要知道什么是应该避免的，辨别什么是有用的，什么是无效的。这都是我们如何生存的基本常识。有时候，一失足成千古恨，不论我们多有才华，都难以挽回一些错误了。

黑色思考帽也是西方文化的基础，因为它也是西方辩证批判思维的基础。传统辩证的基础是指出某些事情是多么地荒谬、矛盾。而黑色思考帽则指出：某些事情与我们的资源条件、政策、战略、伦理规范以及价值观等如何不相符合。

黑色思考帽是建立在大脑自然机制的基础之上的，这是一个关于“是否相符”的机制。大脑已经约定俗成地形成了一些定例：世界就是这个样子的。一旦我们遇到某些与定例不符的事情，我们就会觉得不自在。大脑的这个自然机制就保证了我们不犯错误。

食物是美味的，也是生活必需的。但是摄取过多的食物，会让你体重超标，甚至引起其他疾病。但这并不是食物的过错，而是吃得太多的过错。

同样，也有些人滥用黑色思考帽，以至于花费所有的时间来寻找错误。这样导致的结果并不是黑色思考帽本身的过错，而是滥用、过度使用和误用黑色思考帽的过错。

六顶思考帽的最大价值之一，就是每个人都会被指定时间来进行谨慎小心地审视和思考。但在这个指定时间之外，就不允许人们继续对每一个讨论点仍然进行批判性的思考了。

经验显示，那些养成了谨小慎微的习惯并以此出名的人，尤其欢迎六顶思考帽的方法。黑色思考帽使得他们批判一切、怀疑一切的能力发挥得淋漓尽致。但是，一旦从黑色思考帽转换到另一顶思考帽的时候，就不能再这样谨慎小心地思考了。在很多情况下，小心谨慎的思考者会惊奇地发现，他们在绿色思考帽下是如此富有创造力。对于黑色帽子思考法概要如下：

黑色帽子思考法强调谨慎。在思考的一些阶段，我们需要考虑风险、危险、障碍、潜在的问题，以及任何一项建议的负面因素。不经过充分的谨慎思考，就贸然采取行动是很愚蠢的。黑色思考帽就是为了避免危险和困难。它指出需要注意的事项。黑色思考帽把我们的注意力集中到值得警惕的事情上。

在决定是否采纳一个意见的时候，可以使用黑色思考帽：我们应该采纳这个意见吗？

在意见形成的时候，也可以使用黑色思考帽：我们需要克服改正的缺点有哪些？

黑色思考帽罗列出未来可能存在的风险和问题：如果我们采取行动，会在哪些地方出差错？

黑色思考帽也强调“符合”。这个意见符合我们过去的经验吗？符合我们的政策和战略吗？符合我们的伦理规范和价值观吗？符合我们的资源条件吗？符合已知的事实和他人的经验吗？

在黑色思考帽下，我们直接关注的是事情“谨慎”的一面。这是生存、成功和文明创造的基础。

黑色思考帽也可指出思考过程本身的错误。但它不等于争论，必须与争论区分开来。黑色思考帽的目的就是将谨慎的观点安放到地图上。

黑色思考帽如果只作为思考的唯一模式，那它就可能被过度使用和滥用。汽车本身不是危险的，但是疯狂开车却能造成危险。同样道理，滥用黑色思考帽毫无疑问会破坏它的价值。

4. 黄色思考帽

想象一下阳光。想象一下乐观。黄色思考帽就是要让人们努力去寻找任何一个建议可能带来的利益。在黄色思考帽下，思考者尽力地把建议付诸实践。

戴上黄色思考帽比戴上黑色思考帽要困难一些。我们的大脑里有一种自然的机制来避免危险，但黄色思考帽却没有这样的机制。因此，相对于黄色思考帽，很多人更善于使用黑色思考帽。

我们需要发展一种“价值敏感”。也就是说，对价值要像对危险一样敏感。这是必须养成的一个习惯。曾经有很多会议，在这些会议里，有许多出色的建议被提了出来。但不幸的是，甚至连提建议的人本身都没有意识到自己所提的建议的价值。如果你不能意识到哪些建议是好的，那么所谓的创造性的会议就是一句空话。这也是为什么价值敏感如此重要的原因。

黄色思考帽具有很高的价值，因为它促使人们去花时间寻找价值。黄色思考帽有时还能带给人们惊喜。一些看起来不怎么样的建议突然被发现了很高的价值。如果我们努力寻找，甚至在最糟糕的建议里面，也能找到它的一些价值。

黄色思考帽同样也有其逻辑基础。对价值的肯定应该有相应的理由。黄色思考帽是一种判断，不是神话。价值是什么？对谁有价值？在什么情况下有价值？价值怎样体现？还有其他价值吗？对于黄色帽子，其思考法概要如下：

黄色帽子思考法是积极而有建设性的。黄色代表阳光、光明和乐观。

黑色帽子思考法是一种负面的评估，而黄色帽子思考法是一种正面的评估。

黄色帽子思考法里有一个正面光谱，其范围的一端是逻辑与事实，另一端是

梦想、幻想和希望。

黄色帽子思考法会探寻事物的价值与利益，然后努力地为它们寻找合理的证明。黄色帽子思考法不仅仅要寻求安全、稳定的乐观期望，其他形态的乐观期望也属于黄色帽子思考法的范围。

黄色帽子思考是具有建设性和启发性的思考。它可以做出具体的建议和提案。它关心的是如何操作，如何让事情成功。建设性的黄色帽子思考的目标就是取得效果。

黄色帽子思考法具有前瞻性，寻求各种机会。它也允许幻想和梦想的存在。

黄色思考帽既不是红色思考帽那种纯粹的积极乐观的情绪，也不是绿色思考帽那种直接的创造新想法。

5. 绿色思考帽

绿色思考帽是充满生命力的思考帽。想象一下草木，想象一下生长，想象一下新发的绿叶和枝芽。绿色思考帽是创造性的思考帽。

绿色思考帽使我们提出新的想法。在绿色思考帽下，我们排列出各种可能的选择。这既包括原有的选择也包括新产生的选择。绿色思考帽让我们对提出的意见进行修正和改进。

绿色思考帽的价值就在于：让每个人都留出专门的时间进行创造性的思考。创造性不再是提建议的人本身的事情，坐在会议桌旁的每个人都可以创造新想法。当使用绿色思考帽的时候，每个人要么就努力创造，要么就保持沉默。而人们都不喜欢保持沉默，所以他们常常会跃跃欲试。

为创造性的思考留出特定的时间是非常重要的。这就承认了创造力是思考的一个关键成分。

“期望”也是同样重要。人们总是能把他们寄予期望的事情做好。他们也会擅长于玩创造性的“游戏”。结果，那些从来没有想过要创造的人也开始创造性地思考。他们的自信由此加强，很快就会和其他人一样有创造力了。

在绿色思考帽下，可以允许你提出各种“可能性”。可能性在思考中的角色比人们想象的还要重要。没有可能性，就没有进步。两千多年前，中国的技术远远超过西方的技术。但后来中国的进步似乎就停止了。通常的解释是，中国人不喜欢假设。没有可能性假设这一关键因素，进步就是不可能的。

有些人相信只有分析信息和逻辑推断才能产生思维创新，这其实是错误的。没有假设，我们甚至不能从新的角度来看待信息。

在绿色思考帽下，我们可以把建议的发展转化成为事实来考虑：“我们可以做这个，也可以做那个。”此时，对于黑色思考帽所提出的困难，我们也可以努力克服。绿色思考帽可以将提议作些改进以避免困难，也可以要求有其他的提议。

绿色思考帽不仅包括大胆的创造力，也包括审慎的创造力。

如果绿色思考帽提出了大量的建议和可能性，在会议时间内就可能无法全部地考虑。这时，就要用红色思考帽来挑选出感觉上比较适宜的建议。比如，挑选出成本较低的，或者容易试验的建议。而其他的建议可以以后再讨论。这样，就保证了有充足的精力来进行绿色思考帽的思考。对于绿色帽子，其思考法概要如下：

绿色帽子思考是创造性的思考。戴上绿色思考帽的人都必须提出创造性的意见。其余的人则必须将此人的意见看成是创见。最理想的情况，就是听者和说者都戴上绿色思考帽。

绿色象征肥沃、成长和种子。

寻找多种可能的选择是绿色帽子思考法的基本层面。这些选择都最好是超越了已知的和一般的范围。

创意暂停就是让思考者暂停在某一点上，考虑问题是否还有其他的选择。这个暂停不需要有任何的理由。

在绿色帽子思考法里，发展代替了判断。思考者将一个想法加以发展，以得出新的想法。

6. 蓝色思考帽

想象一下我们头顶上的天空，想象一下“全面纵览”。蓝色思考帽就是对思考的思考。

蓝色思考帽就像一个乐队的指挥一样。乐队指挥总是恰到好处地指挥乐队把音乐表现得最好。而蓝色思考帽扮演的正是这个指挥的角色。它能够有效地管理和组织思考，控制思考过程。

在讨论一开始运用蓝色思考帽，就可以把要讨论的问题进行定义和描述。蓝色思考帽把问题的各种定义寻找出来，指明思考的目标，以及讨论应该取得的成果。

蓝色思考帽可以安排思考过程中其他思考帽的使用顺序。即使不会用到思考帽，它也会详细说明其他的思考过程。蓝色思考帽是思考的“战略安排”。在讨论过程中，蓝色思考帽维持纪律，并保证每个人都在按照指定的思考帽模式进行思考。它还可以宣布更换思考帽。

一般说来，应该由会议主持人或者会议主席等人戴上蓝色思考帽。这是一个固定规则。此外，在蓝色思考帽的讨论过程中，其他人也可以对讨论进程提出建议。

在讨论结束前，可运用蓝色思考帽来总结讨论取得了哪些成果。这可以用概要、结论、决定或者解决方案等方式来进行总结。蓝色思考帽甚至还可以判定讨论毫无进展。最后，蓝色思考帽决定下一步做什么，是采取行动，还是进一步进

行思考。对于蓝色帽子，其思考法概要如下：

蓝色思考帽代表控制。蓝色帽子思考者可以自己组织思考。蓝色思考帽是关于解决问题的思考方法。

蓝色帽子思考者好比乐队的指挥，它指挥其他思考帽的运用。

蓝色帽子思考者将思考的主题加以定义。蓝色帽子思考设定集中思考的范围，定义问题，并提出疑问。它还决定思考必须完成任务。

蓝色帽子思考必须做出概要、纵览和结论。这些在思考过程中，以及讨论结束的时候，都可以进行。

蓝色帽子思考监督思考的过程，并确保人人遵守游戏的规则。蓝色帽子思考可以阻止争论，并坚持绘制地图式的思考。蓝色帽子思考可以加强这方面的训练。

蓝色帽子思考可以偶尔打断讨论的进行，要求使用某一顶思考帽。它也可以设定一个按部就班的思考方式，就像舞蹈家编排每一个舞步。

即使蓝色帽子思考已经指定为某人的工作，但其他每个人还是可以提出评论和建议的。

6.4.6 使用六顶思维帽的价值

六顶思维帽的第一个价值就在于它对即将扮演的角色都作了明确规定。思维的主要限制就是自我防御，我们很容易局限在自我的各种条条框框中，思维所导致的绝大多数实际错误都是由这种情况造成的。但是这些帽子却允许我们想和说任何事情，而在其他情况下这些事情都是我们不敢想和不敢于说的，因为那是在拿自己冒险。穿上小丑的服装使得你在扮演这个角色时可以任意地胡作非为。

第二个价值是投射注意力。如果我们的思维不仅限于被动的反应，则我们必须以某种方式把我们的注意力投射到某个方面上去。六顶帽给我们提供了一种投射注意力的方式，使得我们能够集中精力然后把它们分别投放到事情的六个方面上去。

第三个价值是方便。六种颜色的帽子的象征意义给我们提供了一种非常方便的形式，使我们能够请别人（包括你自己）轻而易举地变换思维类型。你可以请别人从反面角度考虑问题，当然也可以请他不要这样做。你可以请某人进行创造型思维，让他拿出自己的主意，你可以请人给出他或她的纯粹的感情方面的反应，等等。

第四个价值是它触及到大脑化学机制的可能基础问题，我们也许还要提出多少超出我们现有知识范围的要求，因为自我调节系统在理论上的需求已经证实了这样的推测。

第五个价值与设立游戏规则有关。人们在学习游戏规则方面都是好手，学习游戏规则是最有力的学习方式之一，所以他们玩起计算机来总是很顺手的。六顶思维帽为思维这种“游戏”制订了某些规则。思维这种特殊游戏在我们心目中就是“画地图”，这种辩论并没有什么共同之处。

6.5 KJ 法

6.5.1 什么是 KJ 方法

KJ 法是日本东京工业大学教授，人文学家川喜多二郎总结在尼泊尔长年对喜马拉雅山脉探险中积累的经验而获得的一种创造技法。KJ 法是以其姓名的首字母命名的。该创造技法 1965 年发表以后，很快得到了推广，是目前日本最流行的一种创造技法。日本职工在创造活动中选用这种技法进行创造的占 75%，居全国第一位。

所谓 KJ 法就是对未来、将来的问题，未知、未经历领域的问题，把与之有关的事实或意见、构思等作为语言资料收集起来，根据它们相互之间的亲和性进行集中，并绘制成亲和图（Affinity Diagram），以期明确应解决问题的所在和形态的一种方法。

此外它也是一种把不同类型人的意见、构思、经验作为语言资料收集起来，对其不加取舍地选择并全部采用，依靠语言资料相互之间的亲和性把它们统一起来，使其协同工作，以求得问题解决的“参谋筹划集团”的组织方法。

KJ 法在创新技法中属于直觉方法的范畴。使用 KJ 法可从杂乱无章的状态中收集的语言资料进行集中，依据相互之间的亲和性，明确应解决问题的方法。

6.5.2 KJ 方法和新 QC 七工具

构成 KJ 法的基础手法是亲和图。KJ 法就是累积使用这种亲和图以推进解决问题的方法。

就新 QC 七种工具来说，不仅仅是累积这种亲和图，还要和其他图法结合起来推进问题的解决。试比较以一下 KJ 法和统计方法，有表 6-1 所示的差别，又有图 6-6 所示的共同点。

在这里如表 6-1、图 6-6 所示，KJ 法是以和质量管理中的统计方法对比来掌握的，在认识其特征的同时，作为新 QC 七种工具之一，可与其他方法组合运用，以期提高解决问题时的有效性。

表 6-1 统计方法与 KJ 法的比较

统计方法	KJ 方法
1. 假设验证型 2. 把现象数量化,将资料作为数据掌握 3. 对掌握的问题进行分析,并分层 4. 抓理由 5. 西欧式的思考方法	1. 发现问题型 2. 不把现象数量化而是把数据以语言、文字等形式来掌握 3. 综合掌握,力求不同性质的综合 4. 以情感掌握 5. 以日语为基础的思考方法(据说西洋文字办不到)

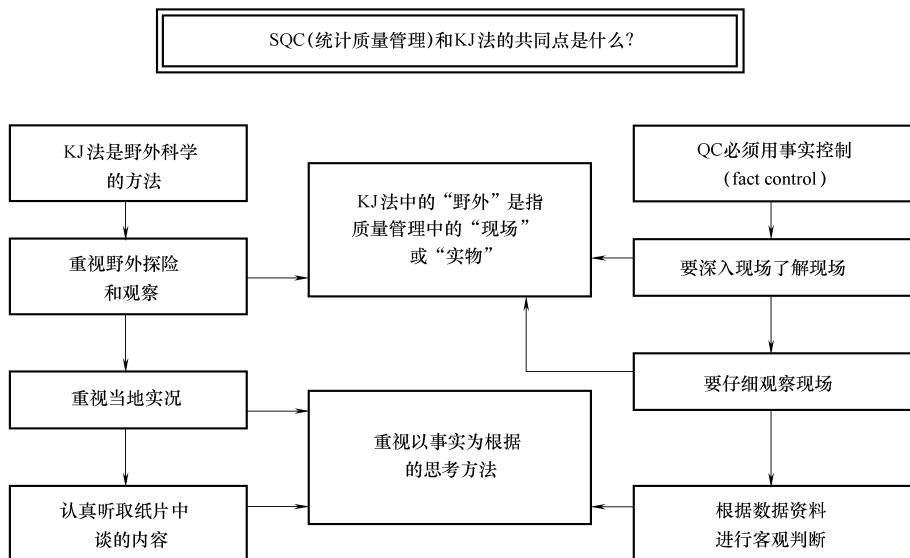


图 6-6 SQC 和 KJ 的共同点

6.5.3 什么是 KJ 法的亲和图

所谓 KJ 法 A 型图解 (affinity Diagram, 亲和图) 就是从未知、未经历的领域或未来、将来的事物等杂乱无章状态中, 宛如寻找傍晚天空中一两个星星的光亮一样, 把事实或意见、构思等作为语言资料来掌握, 把收集到的语言数据根据它们相互间的亲和性进行汇总的一种方法。

6.5.4 亲和图的用途

A 型图解（亲和图法）有如下用途：

1. 用于认识事实

对于未知的领域或未经历的领域，事实处于杂乱之中，什么事物处于怎样一种状态还很含混不清。掌握一个个的事实很重要，而了解它们都具有怎样的体系也是很必要的。此时，客观地按原状掌握事实资料是很重要的。如拿固有概念或假设去看问题就要犯不应犯的错误。KJ 法适用于掌握如下情况：例如掌握未知、未经历过的市场；对用户或对生产、销售一方来说掌握用户对用新生产方式生产出的产品的反应；当被委派去一个新厂或老厂工作时，掌握该厂的经营情况、管理情况等方面。

2. 用于确立思想观念

对于未知、未经验的领域有时处于一白纸状态，几乎不具有任何意见和想法。要从零开始，总结自己的想法。在这种情况下，要收集有关目标领域的事实资料、其他人的意见资料、自己本身的片断意见、构思的资料等。把这些资料用 A 型图解汇总，就可以把自己本身的想法有系统地建立起来。

接到一项全新任务，对该项工作的开展方法要归纳一个方针时正适合使用 KJ 法。

3. 用于打破现状

有一种根据历来的经验形成的固有观念，由于它的妨碍，使得事物不能顺利进展，于是就要打破它，并归纳出新的想法。虽然这时和 2 项一样，同时都是确立思想观念，但前者是从白纸状态开始，而这次是从打破现状开始，这是两者间最大的差别。把固有观念体系破坏得七零八落，造成思想的杂乱无章状态，在此基础上使用 A 型图解再构筑自己的思路。

4. 用于脱胎换骨

对于某个课题，有前人确立的思想体系或理论体系，学习它们遵循它们（超过它们），归纳出自己的思想体系或理论体系。在本质上和 3 项的以打破现状为目的的情况相同。

阅读前人的著作或若干篇论文，制成卡片，再把卡片零散分解，重新混合以后，用 A 型图解归纳出新的论点。这样就可以在采用其他人的意见和新构思的同时，形成自己的独自的观点。

5. 用于参谋筹划组织

不同性格的人集中起来意见会参差不齐，要组成一个互相理解、参谋筹划型的协作组织。为了一个共同的目的应用集体创造性思考法，成员之间互相提出自己的经验、意见、新构思等，把这些资料卡片化作为公共资料。再分别用 A 型

图解整理归纳自己的想法,并根据 A 型图解把自己的想法向其他成员说明,同时也听取其他成员的想法,以这种方式来推进相互理解和协作。它可应用于推进 QC 的计划小组、质量保证工程小组等跨部门的小组开始起步时的协作,或使现有的小组活跃化等方面,同时也可用于车间或 QC 小组间的协作,并调动其积极性等方面。

6. 用于贯彻方针

管理干部为了把自己的观念、方针贯彻给下级,只靠单方面的上意下达,有时会很顺利。要培养下级的接受态度来贯彻方针。

KJ 这种创造技法也属于对智力激励法改进的一种方案。其实施过程简单介绍如下。

- 1) 准备工作:主持人一名,与会者 4~8 人,准备好卡片和黑板。
- 2) 获取设想:按奥斯本智力激励法进行,以获取 30~50 条信息或设想为宜。
- 3) 制作卡片:将搜集到的信息或设想编成两行左右的短语,写到卡片上,每张卡片上写一条信息或设想,这样制作的卡片叫做“基础卡片”,每个与会者抄录一套。

- 4) 整理卡片:这时要分成三步来进行。

第一步,分成小组。由与会者按照自己的思路各自进行卡片分组,把内容在某点上相同的卡片归在一起,并给一个适当的合乎卡片内容的标题,写在一张卡片上,称为“小组标题卡”,不能归类的,每卡自成一组。

第二步,并成中组。将每个人所写的小组标题卡和自成一组的单卡都放在一起,让与会者共同讨论,将内容相近的小组卡归在一起,再给一个适当的标题,写在一张卡片上,称为“中组标题卡”,不能归类的自成一组。

第三步,归成大组。经共同讨论,再将中组卡和单卡放在一起并归成大组,再给一个适当的标题,从而获“大组标题卡”。

- 5) 综合求解:将整理出来的卡片,根据其隶属关系,固定于黑板或贴在大纸上,并用线条将有关项目圈联,即可形成综合方案的图解。然后按图解形成文字,以表述比较完整的新设想方案。

仔细研究,可以看出 KJ 法是将智力激励法的对设想整理评价的工作完善后的结果。

6.5.5 应用实例

图 6-7 表示以“今后的研究开发工作应当怎样进行?”为课题,实施累积 KJ 法第二循环 A 型图解的一部分。这个事例是由不同专业的工程师、研究人员 10 人组成一个小组实施。由此得出了集中不同工作性质的人员,可以在很广范围内统一这些人的意见的结论。

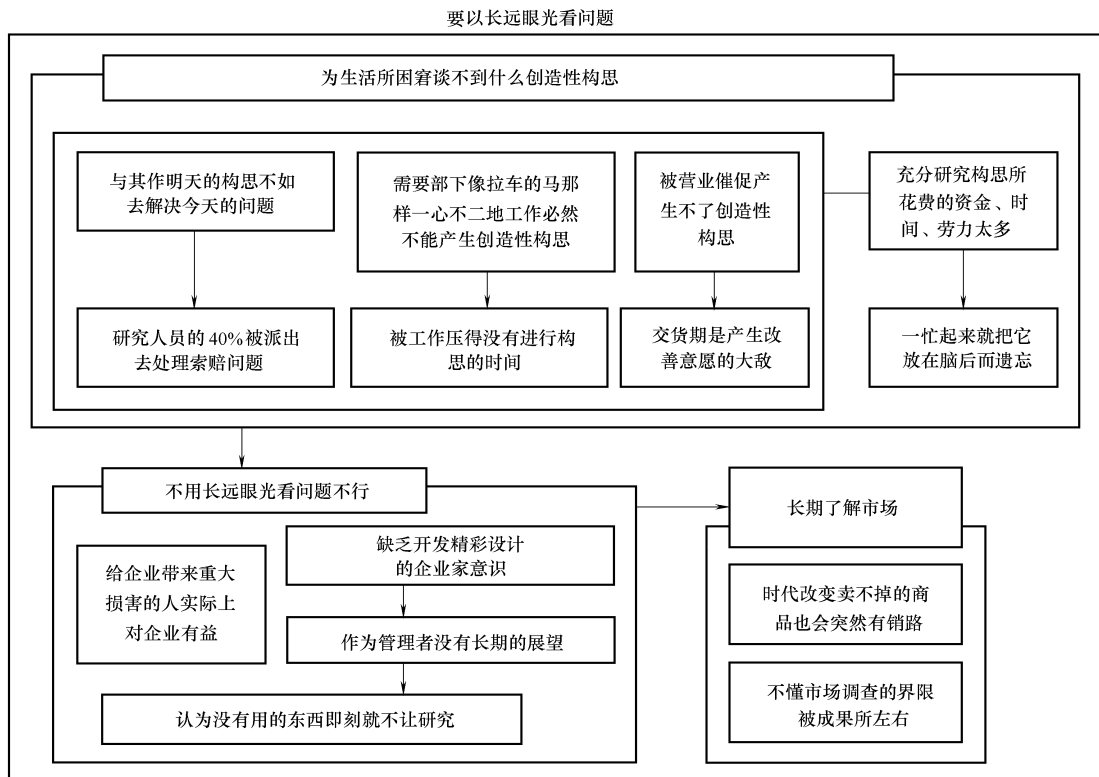


图 6-7 “今后的研究开发工作应当怎样进行?”掌握现状的例子

参 考 文 献

- [1] 赵国庆, 黄荣怀, 陆志坚. 知识可视化的理论与方法 [J]. 开放教育研究, 2005, 11 (1) .
- [2] Tony Buzan. The mind map book: how to use radiant thinking to maximize your brain's untapped potential [M]. London: BBC Books, 1993.
- [3] 东尼·博赞. 思维导图大脑使用说明书 [M]. 张鼎昆, 许克茹, 译. 北京: 外语教学与研究出版社, 2005.
- [4] 爱德华·德·波诺. 六顶思考帽 [M]. 冯杨, 译. 北京: 北京科学技术出版社, 2003.
- [5] 水野滋. 新 QC7 种工具 [M]. 刘纯礼, 金一, 译. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [6] 姚风云, 苑成存. 创造学理论与实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

第7章 系统化方法

7.1 概述

系统化设计法是德国帕尔（G·Pahl）和拜兹（W·Beitz）两位教授在总结前人理论和方法基础上提出的，他们认为作为跨学科的系统工程学说，为分析、规划、选择和优化复杂的工程系统提供了有效的方法和手段，它是一门正确处理在给定条件下创造出满足确定用途的最佳系统的艺术。

系统化方法是系统技术在产品设计过程的应用，是将设计看成由若干个设计要素组成的一个系统，每个设计要素具有独立性，各个要素间存在着有机的联系，并具有层次性，所有的设计要素结合后，即可实现设计系统所需完成的任务。其包含两层含义：

1) 把设计对象看作一个系统。即用系统的观点描述产品，产品是人造的、具体的、大都是动态的系统，是由一个有序的元素的整体组成，各元素在各自特性基础上是按照一定的关系有机连接到一起的，并且技术系统在功能、原理和结构等多个层面上都具有系统化结构。产品系统化设计首先就是系统在各个层面上的系统化结构求解问题。

2) 把产品设计过程看作一个系统。即用系统的进程步骤描述产品设计过程，产品设计可以按照问题分析、问题表达、系统综合、系统分析、评价和决策的步骤进行，每个步骤之间又相互提供信息或反馈，强调通过对设计过程的控制的多解基础上进行方案的优选。基于此思想产生了系统化产品设计过程模型。

系统化设计方法就是把设计对象看作是由互相关联又是独立的子系统组成的系统，通过应用系统化设计过程，形成分析、优选产品系统化结构的方法，其核心思想如图 7-1 所示。

系统化设计方法是研究如何通过对技术系统的合理设计实现其功能的过程和方法，由于每个设计者研究问题的角度以及考虑问题的侧重点不同，进行系统化设计时采用的具体研究方法亦存在差异，相应的产品系统化设计过程也不尽相同。

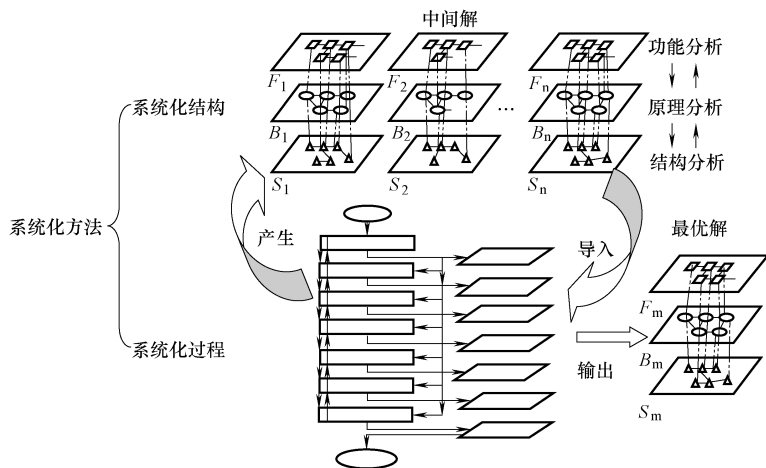


图 7-1 系统化方法的核心思想

7.2 系统化产品设计过程模型

系统化产品设计过程是以系统理论为基础，制订设计的一般模式，使设计工作具备条理性。德国工程师协会在这一设计思想的基础上，制订出技术系统设计和开发的一般设计进程（VDI2221）（图 7-2）。该过程把设计过程分为七个基本

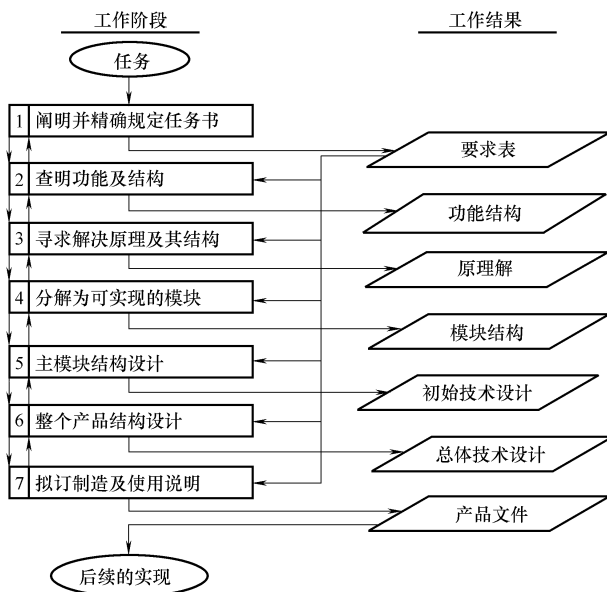


图 7-2 规定型设计过程模型（VDI2221 设计过程模型）

步骤，每个步骤有相应的任务和输出。Pahl 与 Beitz 通过把这些工作步骤与必要的决断步骤和通常的具体化阶段（概念设计、技术设计和详细设计）相连接提出了如图 7-3 所示的产品设计工作步骤流程。

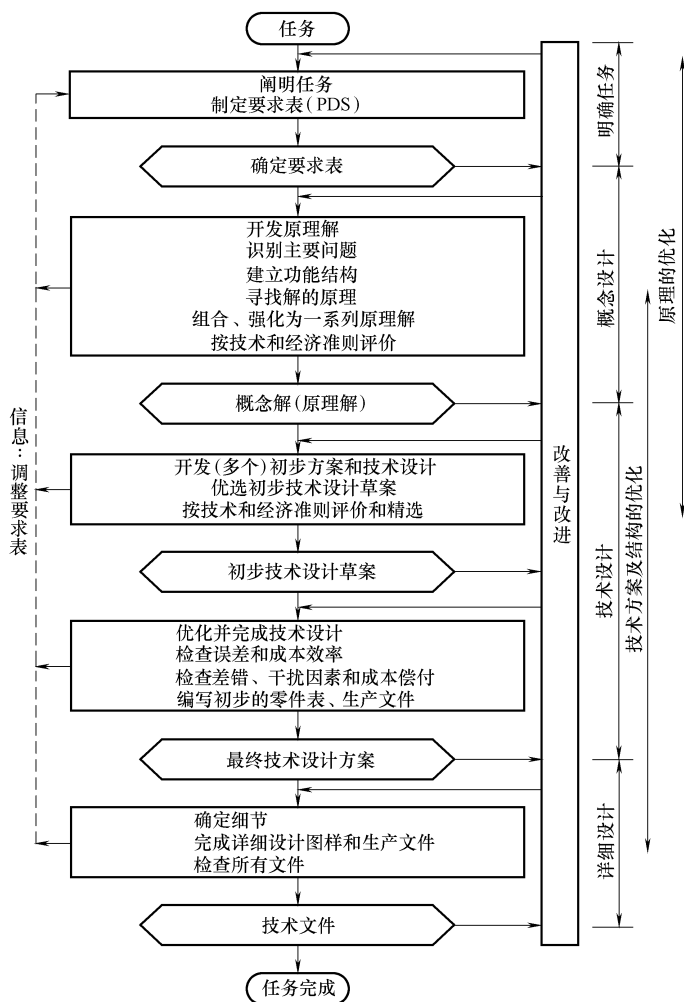


图 7-3 Pahl 与 Beitz 设计过程模型

在产品系统化设计过程中，产品的创新主要体现在概念设计阶段。概念设计也称为方案设计，在设计过程中是在阐明任务书之后，通过抽象化、建立功能结构、寻求合适的作用原理并将其组合，从而确定原理解（原理方案）。

在概念设计阶段有两个重要的工作：一是根据 PDS 设计产品功能结构，二是为产品功能结构确定原理解。产品功能的设计及功能结构的建立将在后面章节

介绍。原理解是实现某一功能的作用原理通过具体结构（实体）的物理实现。实现产品功能的作用原理，一般包含为实现一个功能所需的物理效应及几何、物料特征。在概念设计阶段应该引出多个解的变型（解空间），可以通过物理效应与几何和物料特征标志的变化和变异来建立解空间。而且为了实现一个功能，可以有多个物理效应在一个或多个功能载体上起作用。本章主要介绍以作用原理求解为核心内容的三种系统化方法：物理过程系统分析方法、形态学分析法和设计目录法。

7.3 物理过程的系统化分析

物理过程，即物理现象变化发展过程，它与某一段时间相对应，状态则与物理过程中的某个时刻相对应。任何一个物理过程均有始末两个状态及无数个中间状态，物体的状态通常用状态参量描述。对物理现象发生过程及机理的研究就是物理过程分析。对于很多技术系统而言，产品功能的实现伴随着物理过程的发生。相应的，一定的物理过程也会产生对应的功能，因此以实现产品功能为目的的产品设计过程中，可以通过分析物理过程来进行功能设计和求解。

物理过程分析发生在概念设计和技术设计阶段。其中在技术设计阶段，需要分析系统在执行功能过程中物理量对系统结构设计的影响，如机械传动设计中速度和加速度等对构件设计的影响。因此在技术设计阶段的物理过程分析是一种在总体设计方案已经确定的情况下的参数优化和分析验证的过程，在专业教材中已经详细介绍，本章主要是介绍在概念设计阶段物理过程分析的方法。

在概念设计阶段的物理过程分析总体上可以分为两种情况：

- 1) 由一个物理现象通过类比进行新功能与新产品的设计。
- 2) 已知功能如何通过设计找到相关的物理效应或效应组合。

德国学者 Rodenacker 提出“一切机械、仪器和设备都是以能够满足某一确定目标和功能的物理事件为基础”，也就是任何一项设计任务都可以看作是物理信息与设计措施相结合的结果，他用图 7-4 来说明物理试验与工程设计之间的联系。物理概念或物理定律可以产生新的功能，同时功能的实现又可以通过物理概念或物理定律实现特定的物理事件（需要执行的任务）。因此通过分析物理事件可以创新功能或创新功能的解。

机器制造方面的解多数都是以物理现象为基础的，除此之外，还有少量应用了化学或生物学的现象，本章所说的物理事件包含后者，因为所有的解在进一步实现过程中，都要以某种形式利用物理事件。

物理事件依靠物理效应的存在，并通过确定几何的和物料的特征标志而发生于作用关系之中。

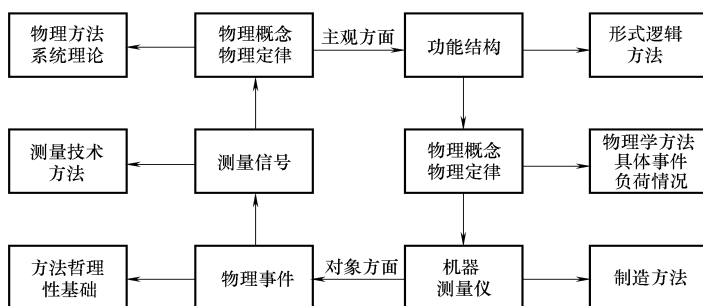


图 7-4 物理试验与工程设计的关系

物理效应可以通过将有关量互相联系起来的物理定律来描述，包括定量描述。例如，摩擦效应通过库伦摩擦定律 $F_f = \mu F_N$ 、杠杆效应通过杠杆定律 $F_a a = F_b b$ 、膨胀效应通过固体的线性膨胀定律 $\Delta l = \alpha l \Delta T$ 来描述（见图 7-5）。Rodenacker 和 Koller 首先汇编了这些效应。

分功能	物理效应 (不偏向于某种解)	作用原理 一个分功能的(物理效应以及几何的和物料的特征标志)
T_1 → 传递转矩 → T_1	摩擦效应 	
F_a → 放大 → F_b	杠杆效应 	
$\frac{\Delta J}{T}$ → 当 $T \geq T_0$ 时发出信号 → J	膨胀效应 	

图 7-5 由物理效应和结构特征标志构成的解的原理

效应（Effect）是按照科学原理的规定将输入流转化为输出流，它可以用一个三元组表示，即

$$Effect = \langle W_i, E, W_o \rangle \quad (7-1)$$

式中 E ——效应的名称，效应由 E 唯一标识， $E \in Name$ ；

W_i ——输入流集合，用名词表示；

W_o ——输出流集合，用名词表示。

依据效应 (E)，流域 (W) 中任一输入流 (W_i) 都存在且唯一存在输出流 (W_o) 与其对应，输入流集合 (W_i) 与输出流集合 (W_o) 相互独立，效应是输入、输出之间的关系，可用将输入流和输出流联系起来的科学原理来描述。因此如图 7-6 所示对任何效应进行建模都要求对上述三方面信息进行描述。按照包含信息不同，效应分为物理效应、化学效应、几何效应、生物效应等。

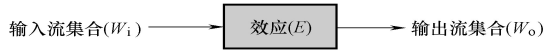


图 7-6 效应模型

一个产品功能的实现可以由一个效应实现，也可以由多个效应通过一定方式连接到一起组成效应链 (Effect Train) 来实现。效应组成效应链的基本条件是效应间输入与输出之间的相容性。因此效应推理的方法就是根据系统的输入与\或输出寻找能够实现相应物理量转化的效应的方法。例如双金属的作用方式，就是热胀效应和胡克效应构成的。考虑效应组合的可能性，因此分析物理现象和功能实现的物理过程可以得出很多原理解。

物理过程分析的本质是通过分析物理现象产生的原因和过程确定对应的物理效应，进而与物料结构相结合产生对应的作用原理的过程。分析物理过程进行原理解创新可以分为以下三种情况：

1. 分析物理现象产生新的工作原理

很多新的产品原理都是在一些物理现象或物理效应基础上发明出来的，例如微波炉的发明。1946 年，一个偶然的机会，斯潘瑟发现微波融化了糖果。事实证明，微波辐射能引起食物内部的分子振动，从而产生热量，类比同样需求可创造出具有同样原理的概念系统，如微波化冰等。基于此发现在 1947 年第一台微波炉问世。再如利用电磁感应涡流原理加热的高炉、电磁炉等，都是在同一物理现象基础上产生的同一物理量输出，但使用情景不同的技术系统。通过物理现象的物理过程分析进行功能或原理解创新的基本过程如图 7-7 所示。

2. 系统研究物理事件的已知效应产生不同的解

(1) 多变量函数或效应的变量消减法 通过研究与某一输出量相关的物理方程或效应，找出与之相关的物理量，分别以不同物理量为控制对象，其余为常量，可以得到不同原理解。当作为用于一个任务的解的物理效应或决定着它的物理方程已知，特别是当参与的物理量有若干个时，可以导出不同的解，这些解是通过保持其余影响量均不变，而只分析一个因变量和一个自变量之间的相互关系而得到的。例如有一个方程 $y=f(u,v,w)$ ，则可以分别固定三个变量 u, v, w 中两个，研究另一个与函数 y 之间关系。罗登纳克应用此方法，开发了四种原理不同的毛细管粘度计 (详见参考文献 [1])。在此以刚性转子动平衡设计为例：刚性转子动平衡的条件是：

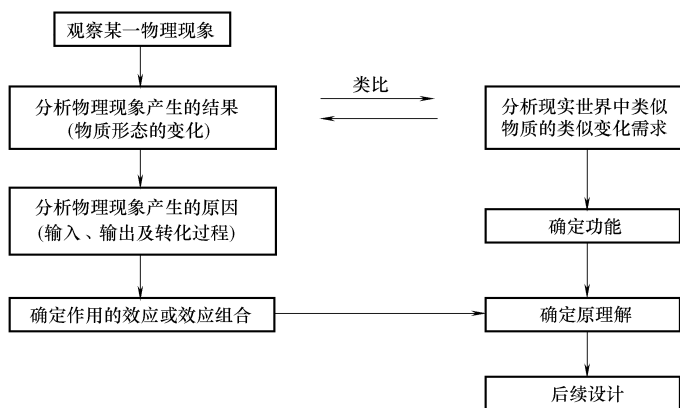


图 7-7 基于物理过程的功能或原理解创新过程

$$m_b \vec{r}_b = -m \vec{e} \quad (7-2)$$

式中 m_b ——平衡质量（添加为正，去除为负）；

$\vec{r}_b$ ——配重相对回转中心的矢径；

m ——转子平衡前质量（始终为正）；

$\vec{e}$ ——平衡前转子质心相对回转中心的矢径。

在转子一定的情况下， $m\vec{e}$ 为定值，因此可以得到至少两类转子静平衡的方案（配重方位已知）：

1) $\vec{r}_b$ 不变，只调节 m_b 。即转子上可以在确定部位增加或减少配重，转子结构简单，但需要不同质量的配重。

2) m_b 不变，只调节 $\vec{r}_b$ 大小。相对于上一种方法，配重简化为固定质量，但转子结构变得复杂，需要能够调节配重的径向位置。

(2) 多变量函数效应分解法 通过分析物理方程来获得新的或改进了的解时，还可以将已知的物理作用分解成单个效应。例如罗登纳克首先把复杂的物理关系分解成单个效应，用以构造崭新的仪器，或对已知仪器开发新的用途。文献 [1] 通过分析与螺纹间摩擦力有关的物理关系，把关系式各组成部分分别提取出摩擦效应、杠杆效应和楔效应公式，从不同效应出发分析螺纹防松的各种技术措施。

如图 7-8 所示弹性环轴毂连接，弹性环传递的最大转矩为

$$T = \frac{\pi}{2} \mu F_a d i_c / (\tan \alpha + 2\mu) \quad (7-3)$$

式中 T ——连接所能承受的最大转矩（N·mm）；

μ ——摩擦环与轴之间的摩擦因数；

i_c ——弹性化的有效对数；

F_a ——轴向压紧力（N）；

d ——轴的直径 (mm)。

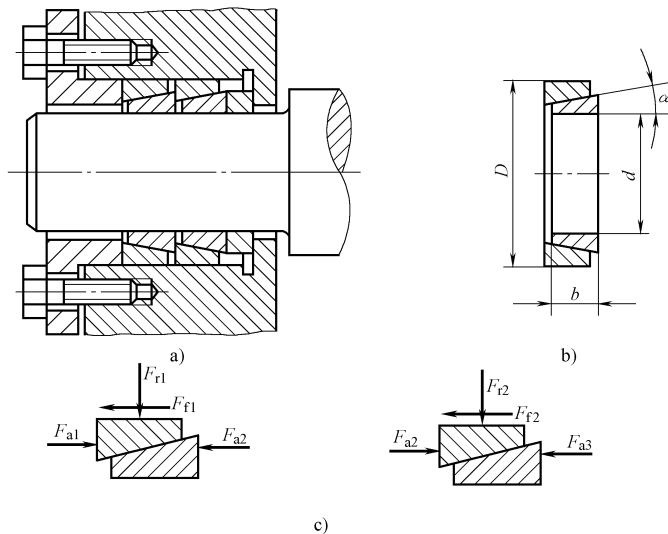


图 7-8 弹性环连接与环的分力

式 (7-3) 中含有下列单个效应:

1) 摩擦效应

$$F_{\text{fr}} = \mu F_a$$

2) 杠杆效应

$$T_{\text{fr}} = F_a d/2$$

3) 楔效应

$$T_{\text{TN}} \sim F_a / \tan \alpha$$

考察了单个效应之后, 可以得出传动提高承载能力的作用原理:

- 1) 利用摩擦效应, 提高摩擦因数可以提高摩擦力, 最终提高 T 。
- 2) 利用杠杆效应, 增大轴的直径可以增大转矩 T 。
- 3) 减小 α , 提高 T 。

3. 效应推理方法

当只有系统的输出与输入物理量, 而不能直接确定输入输出之间物理效应或关系式时, 需要依靠效应知识库进行相关效应的搜索以及效应链的创建。

根据系统的输入或输出流首先可以确定至少一种与该流有关的效应, 然后按照流匹配的原则可以找到理论上无限长的效应链。效应链的基本组成方式称为效应模式, 如图 7-9 所示有五种效应模式。

所谓流匹配原则就是基于邻接效应的输入流与输出流之间的相容性进行效应搜索, 即前一个效应的某个输出流能够作为后一个效应的一个输入流。基于流匹

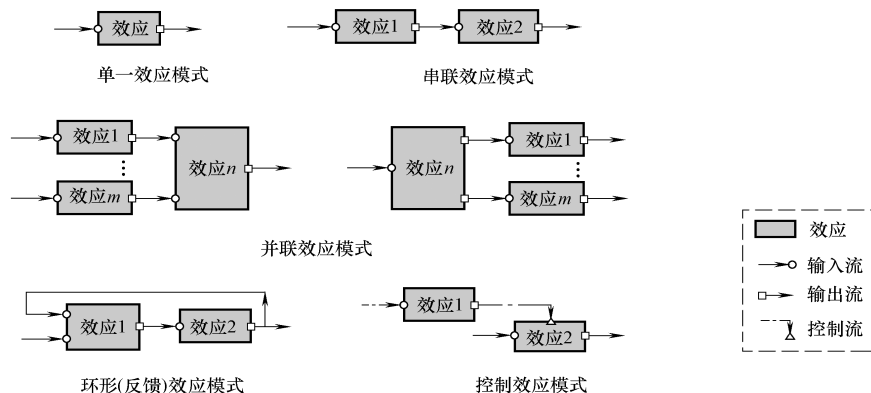


图 7-9 效应模式

配的效应推理可以有两种方式：

1) 正向推理方式。如图 7-10a 所示正向推理方式是已知待设计系统或子系统的输入，寻找效应链的过程，因此适用于以平台输出为输入的子系统的设计。

2) 反向推理方式。如图 7-10b 所示的反向推理方式是已知待设计系统的输出而逆向推理的过程，适用于输出为平台输入的子系统的设计。对于一个输入和输出都能够确定的子系统，两种效应推理方式都可使用。

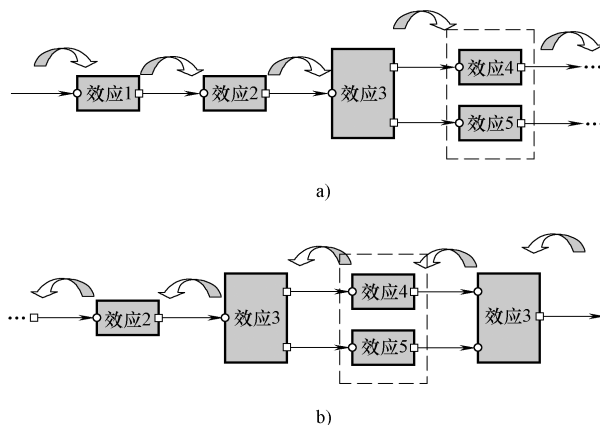


图 7-10 基于流匹配的效应两种推理方式

a) 基于流匹配的效应正向推理 b) 基于流匹配的效应反向推理

基于效应的推理理论上讲有无限多个解，尤其是当只规定子系统输入或输出时。为了限制系统的复杂性，效应链长度应尽可能短。

依据技术系统的输入或输出应用基于流匹配的效应推理可以查到很多潜在可用效应，从推理起点开始截取某段确定待设计子系统的输出，然后根据子系统输

人和输出,采用类比方法分析效应可能实现的功能。

流匹配原则还为我们提供了在已知各个子功能原理解之后,如何组织形成整体的原理解。而这个问题是形态学分析过程中一致性分析需要解决的问题。在把原理解按照功能结构组织成整体解过程中,只需检验各个部分原理解之间是否满足流匹配原则。

7.4 形态学分析法

7.4.1 形态学分析法概述

通用形态学分析法 (General Morphological analysis, MA) 是由美籍瑞士天体物理学家和天文学家弗雷茨·兹威基 (Fritz Zwicky) 提出的,用于构建和研究包含在多维、非量化复杂问题中的关系全集的方法。兹威基把这种方法用于很多领域,诸如天体的分类、喷气发动机与火箭推进系统的开发、空间旅行和居住的合理性等方面。他于 20 世纪 30 年代早期建立了形态学研究学会,并在此后近 40 年时间里推广形态学方法,直到 1974 年去世。

在第二次世界大战中,他参加了美国火箭研制小组。令人惊奇的是他在一周之内,交出了 576 种不同的火箭设计方案。这些方案几乎包括了当时所有可能制出的火箭的设计方案。后来才知道,就连美国情报局挖空心思都没能弄到手的德国巡航导弹 F-1 和 F-2 的设计方案,也包括在其中了。他的天才的构思技巧就是他创立的形态分析法。

形态学来自古希腊语 (morphe),意思是研究形状和结构。其关心的是对象的结构和组成部分的排列方式,以及这些组分如何配合在一起形成整体或完全形态。研究对象可以是物理的 (如生物体、人体或生态系统)、社会的 (如组织或利益相关架构) 或智力的 (语言形式,概念或思想系统)。

把形态学术语明确定义为科学方法的应该是 J. W. von Goethe (1749—1832),尤其是在他植物学中的比较形态学。现在,形态学涉及许多科学学科。在语言学和形态学中研究词的形成和词的每部分如何相互关联在一起。形态学用在诸如地质学、解剖学、动物学等特征结构是核心问题,并且没有必要量化的学科。

Fritz Zwicky 提出了形态学研究的通用形式:“形态学术语已经很早就许多科学领域用于指导研究结构相关关系,如解剖学、地质学、植物学和生物学等。可以对形态学概念进行推广和系统化,使之不仅仅包含对几何形状、地质、生物和一般材料结构,同样亦可以研究现象、概念和想法间更抽象的结构化关联关系。”现在文献中提到形态学分析方法一般都是指 Zwicky 的通用形态学分析法。

本质上来讲,形态学分析是确定和调查涉及某一复杂问题可能关系或配置的

全集，从这个意义上讲，通用形态学分析与分类学类似，但比后者更加通用化。

7.4.2 形态学方法的原理

用形态学分析法从确定和设计所研究复杂性问题的参数（或维度）开始，指定每个参数的对应值或情形的范围。通过在一个 n 维空间矩阵中设定不相容参数构建形态学盒（常被称为 Zwicky 盒）： n 维盒的每个单元包含每个参数的一个特定值或条件，表示复杂问题的某个特定状态或配置。从设计角度说，Zwicky 盒的每一维代表一个设计变量（或子系统），每个单元就是一种设计组合方案，Zwicky 盒就是所有可能设计组合方案的集合。

例如，想象一个简单的问题综合体，其可以定义为三维：色彩，质地和尺寸。如图 7-11 所示，颜色和质地又定义为包含 5 个离散值或条件（如颜色 = 红，绿，蓝，黄，棕），尺寸包含 3 个值（大、中和小）。那么该 Zwicky 盒就有 $5 \times 5 \times 3 = 75$ 个单元，每个单元包含 3 个条件（从每一维取一个值如红色、粗糙和大组合）。按照 Zwicky 的说法，该 3 维矩阵就是包含所有可能关系的形态学域，也就是他所说的“完整、系统领域覆盖”。

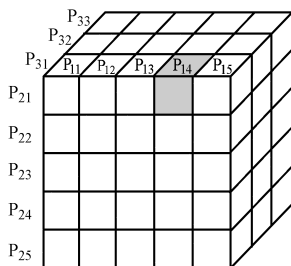


图 7-11 三个参数的 Zwicky 盒

Zwicky 盒中并非所有单元代表的设计组合都是可行的，需要检验每种配置，以确定哪些是或不是可能的、可行的、实用的和值得关注的配置等，以在形态学域确定“解空间”，因此解空间是形态学域内满足一定条件的配置子集。

在文献中出现较多的二维形态学矩阵实际上是形态学盒的变型形式，如图 7-12 所示，形态学矩阵分为左边第一列列出了设计的所有必要的参数，每个元素的同一行中右侧每个元素是获得该参数的每种可能途径。从右侧每一行取一个元素组合到一起就是 Zwicky 盒中的一个单元。例如前面三维 Zwicky 盒的例子可以得到二维形态学矩阵。如图 7-12 中阴影部分的组合对应图 7-11 中 Zwicky 盒上的阴影单元。

参数	参数可能取值				
P ₁	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
P ₂	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₅
P ₃	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃		

图 7-12 形态学矩阵

形态学方法相对那些结构化不强的方法有几个优点：Zwicky 称之为“全面研究”，是试图得到给定问题所有解的无偏见的途径，可以帮助发现不是太明显

或他人通过结构化不强的方法没有注意到的新的关系或配置。重要的是，它鼓励发现和研究边界条件，例如不同背景或因素的极限和极值。

另外形态学方法具有较强的可溯性，可以重现问题解产生的过程，而这对于一些复杂系统，尤其是存在一些不可量化的非稳定因素的系统，形态学分析可以再现系统设计过程，而传统的因果分析和模拟方法在这方面是很难实现的。

7.4.3 形态学分析的步骤

形态分析法是根据形态学来分析事物的方法，是把研究对象或问题分为一些基本组成部分；然后对每一个基本组成部分单独进行处理，分别得出各种解决问题的办法或方案；然后通过不同的组合关系得到多种总方案。所有的总方案中的每一个是否可行，必须采用形态学方法进行分析。Swichy 把形态分析法分为五个步骤：

- 1) 明确问题。确定要研究的对象和要达到的目标。
- 2) 问题分解。把问题分解成若干个基本组成部分，并对每个部分的特性（或方案）穷举求解。
- 3) 建立一个包含所有基本组成部分的多维矩阵，在这个矩阵中应包含所有可能的总的解决方案。
- 4) 检查这个矩阵中所有的总方案是否可行，并加以分析和评价。
- 5) 对各个可行的总方案进行比较，从中选出一个最佳的总方案。

形态学分析用于产品创新设计，可以按照 Swichy 的步骤进行，并且在系统化设计过程中，在问题分析、概念设计、技术设计以及详细设计过程中，都可以利用形态学分析方法分别进行分析。在问题分析阶段分析的对象是设计参数，产生更符合需求的 PDS；在概念设计阶段分析对象是产品功能结构及原理方案，产生优化的概念解；在技术设计阶段是分析实现概念的具体结构或参数，得到优化的初步技术方案；在详细设计阶段是分析产品具体结构和工艺路线，得到优化的详细结构。

形态学分析法最大的优点是对一项“未来技术”（即形态模型中的一个总方案）的可行性分析。不足的是当组合个数过多时，即总方案的个数太多时，可行性研究就比较困难。这种方法既可用来探索新技术，亦可以估计出实现新技术的可能性，为探索未来描绘出一幅清晰的因果。

形态学方法的理论基础是系统工程，是产品在各个层次上系统化结构的可分性决定了形态学方法分析的效果。形态学分析方法必须与系统设计过程紧密结合，才能起到其产生优化解的作用。

形态学分析方法的不足也是显而易见的，进行形态分析时需要尽可能多地列出所有可能的取值或解，而形态学方法对这些底层解的产生缺乏有效的工具，分析的效果决定于参与者的经验和知识。因此形态学分析方法是一种依靠直觉或灵

感进行创新的方法，只是通过把复杂系统分成相对独立的部分，降低了直接求解的难度，通过子系统解的组合大大扩大了解空间的范围。为了提高形态学分析的效果和效率，可借助头脑风暴法、TRIZ 等启发创新的思维技术和方法增加底层解的数量和质量。

下面以新型洗衣机设计的例子说明形态学分析方法的应用。

运用形态学分析法探索新型洗衣机的设计方案时，可以按以下方法进行：

1) 明确问题。从洗衣机的总体功能出发，分析实现“洗涤衣物”功能的手段，可得到“盛装衣物”、“分离脏物”和“控制洗涤”等基本分功能。以分功能作为形态分析的 3 个因素。

2) 问题分析。对应分功能因素的形态，是实现这些功能的各种技术手段或方法。为列举功能形态，应进行信息检索，密切注意各种有效的技术手段与方法。在考虑利用新的方法时，可能还要进行必要的试验，以验证方法的可利用性和可靠性。在上述的 3 个分功能中，“分离脏物”是最关键的功能因素，列举其技术形态或功能载体时，要针对“分离”二字广思、深思和精思，从多个技术领域（机、电、热、声等）去思考。

3) 列形态学矩阵并进行组合。经过一系列分析和思考，在条件成熟时即可建立起来表 7-1 所示的洗衣机形态学矩阵。

表 7-1 洗衣机形态学矩阵

问题(功能)	形态 1	形态 2	形态 3	形态 4
盛装衣物 A	金属桶	塑料桶	玻璃钢桶	木桶
分离脏物 B	摩擦分离	电磁振荡分离	热胀分离	超声波分离
控制洗涤 C	手控	机械定时器	电脑控制	

利用表 7-1，理论上可组合出 $4 \times 4 \times 3 = 48$ 种方案。

4) 方案评选

方案 A1—B1—C1 是一种最原始的洗衣机；

方案 A1—B1—C2 是最简单的普及型单缸洗衣机。这种洗衣机通过电动机和 V 带传动使洗衣桶底部的拨轮旋转，产生涡流并与衣物相互摩擦，再借助洗衣粉的化学作用达到洗净衣物的目的。

方案 A2—B3—C1 是一种结构简单的热胀增压式洗衣机。它在桶中装热水并加进洗衣物，用手摇动使桶旋转增压，也可实现洗净衣物的目的。

方案 A1—B2—C2 是一种利用电磁振荡原理进行分离脏物的洗衣机。这种洗衣机可以不用洗涤拨轮，把水排干后还可使衣物脱水。

方案 A1—B4—C2 是超声波洗衣机的设想，即考虑利用超声波产生很强的水压使衣物纤维振动，同时借助气泡上升的压力使衣物运动而产生摩擦，达到洗涤去脏的目的。

经过初步分析,便可挑选出少数方案进一步研究。为了便于技术经济分析,对选中的方案应设计出基本原理图。

7.5 设计目录

7.5.1 设计目录概述

设计目录是一种设计信息的载体,是一定设计任务或分功能的已知解或经过验证的解的汇编。它以图文表格的形式来表达设计信息,并按一定的方式对其分类组织。设计目录可以包含各种各样内容的信息和不同具体化程度的解。

设计目录按照其目的和内容可分为:

1) 对象目录:不针对具体任务的一般性信息的目录,如运动学目录、几何关系式目录、材料特性目录、设计目录、总类目录等。

2) 操作目录:系统性程序设计中的工作准则、步骤、方法等的目录,如构形变型的准则、方案的选择原则等的目录。

3) 解法目录:针对具体任务、具体功能的解法信息,它详细描述了解的信息,并包含有实现该解的路径。如力的放大、传动目录和方案设计目录等。

设计目录需要满足以下要求:

- 1) 可根据设计任务快速检索目录中汇编的解或数据。
- 2) 汇编入的解谱要是完备的,至少是开放的,可以进行补充。
- 3) 要尽可能不针对具体部门或工厂,有较好的通用性。
- 4) 既可用于传统设计过程,也可用于计算机辅助设计和创新。
- 5) 要用统一明确的定义和符号来表达信息。

德国的 Roth 及其合作者最早从事于设计目录的建立与开发,他把设计进程划分为任务阐明阶段、功能设计阶段和结构设计阶段。其进程方式的特点是应用目录设计的算法选择法(AAK),将设计过程精细地分解为明确定义的分步骤,并以设计目录的形式准备好解法或解元素,从而求得更多的解的组合。

浙江大学冯培恩教授对设计目录的结构、内容、构建和应用进行了系统化研究,重点研究了基于效应的原理方案设计目录及应用设计目录进行产品设计的过程。

7.5.2 设计目录的内容与编制

Roth 在设计目录的研究和应用方面作了大量细致的工作,他提出用图 7-13 所示结构来建立设计目录。设计目录中分别列有分类部分、主要部分和检索部分三部分。各部分中都用一些特征参量来描述。

- 1) 分类部分决定了如何系统建立目录,为了使目录适应不同设计阶段的信

息需求,在不同设计阶段需要选择不同的编排依据:在概念设计阶段,主要是为功能寻找对应的原理解或效应,因此应该选择功能作为解的编排(分类)依据。为了使解具有较广的适用性,宜选用通用功能作为编排依据。另外,也可以以与功能定义相关的特性作为编排依据,如能量、物料和信号的种类和特征标志、作用几何、作用运动和原理性的物料特性。在技术设计阶段编排设计目录应该以与技术设计求解过程直接相关的特征作为编排依据,如物料特性、连接的种类、联轴器的种类以及具体机械零件的特征等。

2) 主要部分包括目录内容本身。如具有通用功能的物理效应或解决原理,一般用公式和简图表达,也可用简单文字说明。同样,不同设计阶段主要部分内容抽象程度是不同的,但同一个目录下的内容抽象程度必须是一致的。

3) 检索部分汇编了各个对象的特性。根据这些特性提供的特征参量,可以在当前具体情况下选出合适对象。如在方案设计阶段使用时,对照是否符合这些特征参量来决定选用哪个物理效应或解的原理。显然,只能是选用那些有最多的特征参数相符的物理效应或解决原理。

4) 备注是对目录中对应条目的信息补充解释。

列入分类部分和检索部分中的特征参量(分别称为分类特征和检索特征)主要包括工程技术和物理方面的、工程化学方面的、人机关系方面的、经济方面的和信息技术方面的特征参量。例如,在工程技术和物理方面的特征有几何特征(长,宽,高,角度,形状等)、运动学特征(时间,行程,速度,加速度等)、动力学特征(力,质量,功率等)、强度特征(应力,变形等);工程化学方面的特征,如腐蚀、生锈等;人机关系方面的特征,如舒适性、视野、噪声、色彩等。

按照图 7-13 所示的结构,可以设计出针对不同阶段和问题的设计目录,图 7-14 是典型的应用物理效应所建立的设计目录结构(部分)。

分类部分			主要部分			检索部分					备注		
1	2	3	1	2	序号	1	2	3	4	5	1	2	3
					1								
					2								
					3								
					4								
					5								
					6								
					7								

图 7-13 设计目录的结构

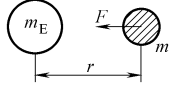
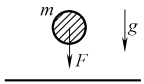
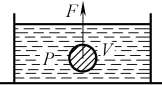
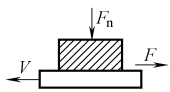
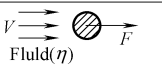
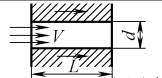
分类规则			解		解的特性		
力	物理规律	特殊效应	等式	例子	条件	特征尺寸	...
1	2	3	1	2	1	2	...
引力	引力定律	引力	$F = \Gamma \cdot \frac{m_E m}{r^2}$		两个重物	$\sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}$	...
		重力	$F = mg$				
		浮力	$F = \rho gh$		液体重物	$\sqrt[3]{V}$	...
摩擦力	库伦定律	滑动摩擦	$F = \text{sign}(V) \mu F_n$		一对固体	—	...
	牛顿定律	层流	$F = 6\pi\eta rV$		固体+液体	r	...
		紊流	$F = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} V^2 A$		固体+液体	l	...

图 7-14 典型的应用物理效应所建立的设计目录结构（部分）

7.5.3 应用设计目录进行系统化设计的一般过程

设计目录是条理化的已经验证的知识和经验总结,设计目录作用的关键是建立设计知识和设计问题之间的关联关系,并且目录还可以把一些约束信息一起加入,因此可以在设计的各阶段问题明确之后直接从设计目录中选择最接近的解。

不同研究者对设计目录研究的切入点和重点不同,得出的设计目录也差别很大,因此应用设计目录进行系统设计的过程也就不同。但他们的共同点是:都是把设计对象看作是由不同组成部分有机组合到一起的系统,都要经过一个系统化分析过程。因此设计目录法是一种基于知识的系统化设计方法,其设计过程解题的效用决定于设计目录的结构和容量。

如图 7-15 为应用设计目录进行系统化设计的一般过程。在设计转化的每一步都可以建立相应的设计目录作为求解过程的支持工具。当然并非所有设计都要建立每个环节的设计目录,不同研究者所针对的设计阶段和强调的重点不同,得出的设计目录也不一样,本设计过程只是说明了在产品设计过程中可以建立和使用的部分设计目录。对于具体的设计机构或人员可以根据自己专业特点选择其中一个或几个环节建立相应的设计目录,用来支持设计过程。

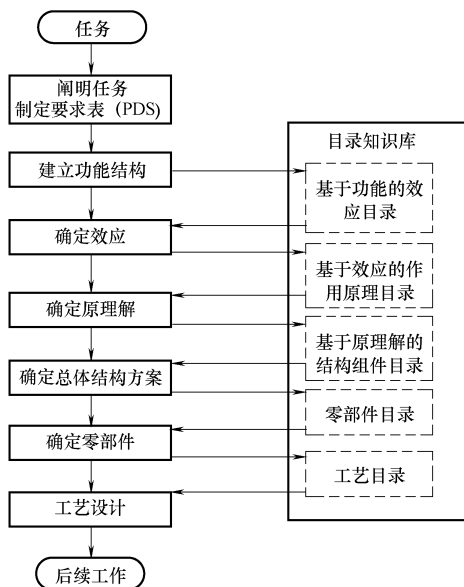


图 7-15 应用设计目录进行系统化设计的一般过程

7.6 本章小结

系统化方法是以系统论为基础,把设计对象和设计过程看作系统,通过对设计对象和设计过程的系统分析确定优化解的过程。系统化方法把设计对象看作是各个组成部分通过一定方式组合到一起的技术系统,首先对系统进行分解,之后对各个部分分别求解,每个部分都得出多种方案,然后利用各个部分之间的关联关系把部分解组合为多个整体解,最后对各个整体解进行评价和选择。

本章以系统化方法为主线,围绕产品设计中方案产生的不同机理,主要介绍了基于物理过程系统化分析、形态学分析和设计目录的设计方法。其中基于物理过程的系统化分析是从已有资源(效应、功能或输入输出特性)分析和演绎入手,通过类比设计、效应分解和效应推理方法得到新的功能或已有功能的多种原理解。另外,物理过程分析还为基于分解后子系统独立求解再组合整体解的方法(如形态学分析法)提供组合的依据。基于形态学的方法是一种基于直觉的系统化方法,在子系统求解过程中需要设计者的经验,但其子系统单独求解后组合多种方案的方法被广泛用于各种创新技法和设计过程之中。基于设计目录的方法弥补了形态学方法的不足,通过为设计的各个阶段建立设计目录的方式支持各阶段多种方案的产生,本质上是一种基于知识的设计,但设计的效果决定于设计目录的分类方式和容量。在系统化设计过程中不一定单独使用某种创新方法,可以几种方法组合使用,可以使得设计效果更好。

参考文献

- [1] G 帕尔, W 拜茨, 工程设计学—学习与实践手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 邹慧君. 现代设计方法讲座(三): 系统化设计法与可靠性设计法 [J]. 机械设计与研究, 1991(4).
- [3] 张家励. 设计方法学综论 [J]. 吉林工业大学学报(工学版), 1987(1).
- [4] 张家励. 一种新的设计信息库——设计目录 [J]. 吉林工业大学学报, 1987(3).
- [5] 仇成, 冯俊文, 高长青, 等. 机械产品概念设计的研究与发展趋势 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2007(10).
- [6] 林文强. 机械产品设计进程模式的探讨 [J]. 机械设计, 1989(3).
- [7] 姚致扬, 黄纯颖, 沈钢, 等. 机械传动原理方案设计目录结构模式的研究 [J]. 中国机械工程, 1998, 9(6).
- [8] W, Beitz, 冯培恩. 联邦德国设计方法学的现状和发展趋势 [J]. 机械设计, 1987(4).
- [9] 占向辉, 李彦, 贾爱军, 等. 面向创新设计的科学效应库研究 [J]. 工程设计学报, 2005(1).
- [10] 滕启. 设计方法学评述 [J]. 机床与液压, 2002(2).

- [11] 宾鸿赞. 机械制造工艺过程的形态学分析法 [J]. 中国机械工程, 1992, 3 (5) .
- [12] Tom Ritchey. General Morphological Analysis——A general method for non-quantified modeling [OL]. [http: //www. swemorph. com/pdf/gma. pdf](http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf).
- [13] 周志雄. 基于设计目录的概念设计自动化研究及其在新产品开发中的应用 [D] . 杭州: 浙江大学, 2003.
- [14] 谢友柏. 现代设计与知识获取 [J]. 中国机械工程, 1996, 7 (6): 36-41.
- [15] 沈敏德, 万金领, 李林. 基于设计目录的机械产品原理方案智能设计平台的研究 [J]. 机械设计, 2001 (4) .

第 8 章 公 理 设 计

8.1 概述

产品设计是运用科技知识和方法，有目标地创造工程产品构思和计划的过程。设计理论与方法是依据设计哲学的研究结果及设计的实践，建立分步的或细化的设计过程模型、研究过程模型的支持工具、开发工具软件。按照这种模型，设计人员可以分步骤地按规定完成设计所需要的所有活动，其中的各种工具可以支持设计人员更好地完成过程。设计理论和方法的应用可以减少产品开发资源（时间、金钱等）的使用、改善产品的功用、提高产品的可靠性、降低产品生命周期的成本，也可以有效缩短产品的制造周期。产品设计方法学是研究产品设计的过程、规律及设计中思维和工作方法的一门综合性学科，设计方法学的研究结果包括了设计理论与设计方法，设计理论是研究产品设计过程的系统行为和基本规律，设计设计方法是产品设计的具体手段，包括功能-结构方法、并行设计、面向 X 的设计、三次设计、可靠性设计、智能设计等。

二战以后的几十年来，各主要发达工业国家先后开始重视起对设计技术的研究，如英国从 20 世纪 60 年代开始，就以国家政策和财力来支持发展与推广设计新技术；德国提出“设计就是科学”，且其设计学的发展已初具规模；美国成立有“设计委员会”。日本同样也非常重视设计技术的发展，将设计看作是技术、经济、美学和人机学的一体化整体，并极力推广和采用新技术，从而大大提高了机械产品在国际市场的竞争力。在 20 世纪 80 年代，设计理论领域的主要研究内容是如何科学地描述设计过程。其中，美国麻省理工大学 Nam Suh 教授的研究最为突出，在多年研究成果的基础上提出了公理设计理论，最初目的是用于教育，指导设计者如何能够得到好的设计决策。他的主要研究工作是如何将设计的综合分析过程标准化，力图建立一种设计生产的理论规律——如何正确进行设计决策的基本理论方法，以及对比设计优劣的方法。在实际应用中提出了关系测量方法来判断设计的好坏。

Suh 教授以建立设计领域的科学基础为动力研究并提出公理设计理论，总结设计制造领域的理论规律，讲授和学习设计领域的相关科目和知识时更系统、更一般化、更准确。在设计领域 Suh 教授的观点可以总结为：设计是工程学应用的集中体现，工程学通过新产品开发、加工、软件、系统以及组织的建立来满足社

会的需求和期望，为社会发展做出贡献。公理设计理论没有将设计活动和设计群体的一般性活动联系在一起，而是把重点放在设计中如何正确地进行设计决策。

我国产品设计的发展经历了一个曲折的过程。以前都是凭借设计者的经验，以模仿为主，故局限性大。从20世纪60年代开始，加强了新产品的开发设计与实验研究工作，从而使设计从仿制和经验设计逐渐走向实验研究和计算分析阶段。到了80年代，开始在国内介绍一些国际上的先进技术与方法。同时将计算机引入设计领域，对设计工作的发展起了很大的推动作用。但是，我国在设计领域中仍存在很大问题，主要是对设计研究不够，已有的成果得不到有效地推广和应用，资金投入少，人员培训工作跟不上发展的需要，一直没形成开发新产品或更新老产品的设计和应变能力，对引进的先进技术和产品，更没有从设计的角度进行消化。

8.2 公理设计的创新过程

设计的过程一般分为：概念设计、技术设计和详细设计三个阶段。概念设计阶段的主要目标是提出满足客户要求和设计指标的方案，此阶段决定着产品80%以上的最终价值。技术设计阶段是将方案变成具体的产品结构和部件。对一些重要的设计性能，关键的设计参数也要在这个阶段确定下来。详细设计则确定所有的详细参数。尽管设计过程分为不同的设计阶段，但在各种设计阶段之间并无明确的界限，各个设计阶段都存在反馈过程。

设计活动是产品开发过程中最重要的环节之一。产品设计是一种创造性活动，其本质是创造和革新，它是一个有目的的人类主动行为，设计的目标是具有使用价值的产品。设计的一系列活动表现为设计过程。由于设计是人类大脑复杂思维过程的结果，所以搞清产品的设计过程，尤其是产品的概念设计过程，并使之规律化、系统化、模型化，成为开发新型计算机辅助支持工具的前提和基础，并日益受到广泛的关注。

产品概念设计是设计过程的初始阶段，其目标是获得产品的基本形式或形状。广义上的概念设计（图8-1）是指从产品的需求分析之后，到详细设计之前这一阶段的设计过程。它主要包括功能设计、原理设计、布局设计、形状设计和初步的结构设计五部分。这几个部分虽存在一定的阶段性和相互独立性，但在

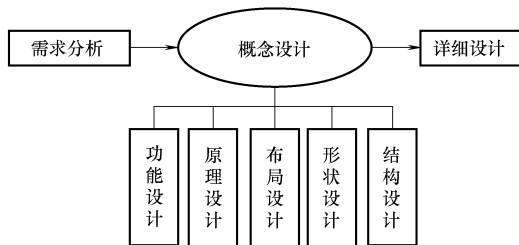


图 8-1 概念设计的定义

实际的设计过程中，由于设计类型的不同，往往具有侧重性而且互相依赖，相互影响。

概念设计是产品整个设计过程中一个非常重要的阶段。这一阶段的工作高度地体现了设计的艺术性、创造性、综合性以及设计师的经验性。实践表明，一旦概念设计被确定，产品设计的 60% ~ 70% 也就被确定了；然而，概念设计阶段所花费的成本和时间在总的开发成本和设计周期中占的比例通常都在 20% 以下。在设计过程中，概念设计又是最重要的阶段。因为概念设计决定了产品的基本特征和主要框架，在概念设计结束后，设计的主要方面就被决定下来了，而后续的过程只是保证概念设计结果对设计需求的满足。以知识为基础、以创新为灵魂的新产品竞争是 21 世纪全球化制造环境下企业技术竞争的核心。一个新产品在功能、原理、部件、形状、结构、人机关系、色彩、材料、工艺等任一方面的创新，都会直接影响产品的整体特性，影响产品的最终质量和市场竞争力。

公理设计理论认为，在设计过程中设计问题可分为 4 个域。通常概括为：用户域（Consumer Domain）、功能域（Function Domain）、结构域（Physical Domain）和工艺域（Process Domain）。每个域中都有各自的元素，即用户需求（Custom Needs）、功能要求（Function Require）、设计参数（Design Parameters）和工艺变量（Process Variables）。产品设计过程就是彼此相邻两个域之间参数相互转换的过程。相邻的两个设计域是紧密联系在一起的，两者的设计元素均有一定的映射关系，每相邻的两个领域之间的关系可以表示成如下：左侧设计领域表示要完成的或是想要完成的工作（要求），右侧设计领域表示实现功能要求的方法或要完成的工作。

概念设计过程可表述为两个映射过程（图 8-2 中前两部分）：即用户域到功能域的映射以及功能域到结构域的映射。用户域到功能域的映射过程最能体现设计者的创造能力，这一过程涉及到对设计思维规律和创造性机理的认识水平，以及自然语言到专业技术语言的转化。从功能域到结构域的映射，实际上是功能结构图中的每一个分功能与实现该部分功能的结构之间进行匹配的过程。

公理设计定义的四个设计域是通过映射机制相互联系的问题域概念模型。从概念设计的角度，功能域向结构域的映射就是建立功能-物理结构的过程，也是概念设计中进行功能分解、求解原理解的过程。公理设计定义了功能域和结构域两个相邻的设计域之间的映射关系：

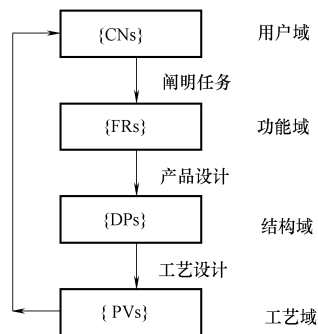


图 8-2 设计过程的参数变换模型

$$\{FRs\} = [A] \{DPs\} \quad (8-1)$$

通过上述关系式,可以对功能和物理结构同时进行分解,并建立功能结构和其对应实现物理结构之间的相互关系,根据该影响关系进行物理结构的集成,实现在保证功能独立的前提下进行结构的集成。

8.3 设计公理及其推论

Suh 教授通过对优劣设计的研究,分析两种不同类型设计方案的特征和属性,总结了两条基本的设计公理以评价设计的优劣。

公理 1 (独立公理) : 保持功能要求之间的独立性。

公理 1 主要说明功能要求和设计参数之间的关系,其焦点是功能要求和设计参数之间的变换关系。公理 1 通过分析功能要求和其他功能要求对应的设计参数之间的关系来间接地判断两个功能要求之间的独立性。设计人员需要选择一个最恰当的设计参数集合来满足各个功能要求之间的独立性。需要强调的是,独立公理的“独立”指的是设计的“功能”彼此独立,而不是“设计参数”彼此独立。

公理 2 (信息公理) : 设计包含信息量力求最少。

公理 2 表明在所有满足独立公理的设计中,包含信息量最少的设计是最优设计。它是用来对设计进行评价和比较的检测方法。根据公理 2 的要求,设计人员在设计中应当尽量简化设计工作和建立数学模型,以减少设计中各种因素的影响,同时也减少产生功能耦合的可能性。此外,公理 2 只处理预先确定好的功能要求和设计参数之间的关系,这样就不会对其他必需的功能要求产生影响。信息公理表明在满足功能独立的条件下,可以通过合并设计参数的方法减少信息量。

8.3.1 公理 1: 功能独立性公理

公理设计应用公理 1 对产品功能结构进行分析,通过定义功能要求和设计参数之间的相互影响关系,间接描述两个功能要求之间的相互作用。公理设计用公式的形式来描述功能要求和设计参数之间的关系:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ \vdots \\ FR_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_1 \\ \vdots \\ DP_n \end{Bmatrix} \quad (8-2)$$

矩阵 A 的元素根据方程 (8-3) 确定

$$\begin{aligned}\Delta FR_1 &= \frac{\partial FR_1}{\partial DP_1} \Delta DP_1 + \cdots + \frac{\partial FR_1}{\partial DP_n} \Delta DP_n \\ \Delta FR_2 &= \frac{\partial FR_2}{\partial DP_1} \Delta DP_1 + \cdots + \frac{\partial FR_2}{\partial DP_n} \Delta DP_n \\ &\vdots \\ \Delta FR_n &= \frac{\partial FR_n}{\partial DP_1} \Delta DP_1 + \cdots + \frac{\partial FR_n}{\partial DP_n} \Delta DP_n\end{aligned}\quad (8-3)$$

所以式中:

$$a_{ij} = \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \quad i = 1, 2, \cdots, n \quad j = 1, 2, \cdots, n \quad (8-4)$$

$$\text{设 } A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}, \text{ 称之为设计矩阵。}$$

依据式 (8-3), 在公理设计中每一个功能要求都能表示为设计矩阵中的某一行与相对应的设计参数相乘。式 (8-2) 和式 (8-3) 只表示了设计参数和功能要求之间的映射关系。式 (8-5) 和式 (8-6) 主要用来判断功能要求之间的独立性。

$$R = \prod_{\substack{i=1, n-1 \\ j=i+1, n}} \left(1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n A_{i1} \times A_{ij} \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^n A_{i1} \right)^2 \times \left(\sum_{i=1}^n A_{ij} \right)^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8-5)$$

$$S = \prod_{j=1}^n \left(\frac{|A_{ij}|}{\left(\sum_{i=1}^n A_{ij}^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (8-6)$$

对于任何一个给定的功能要求 FR_i 来讲, 其他设计参数变化对它的影响不能超出设计规定的 FR_i 的误差范围, 即

$$\delta FR_i \geq \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \left| \frac{\partial FR_i}{\partial DP_j} \Delta DP_j \right| \quad (8-7)$$

在一个设计中, 如果调整满足自身的设计参数而没有对其他的功能要求产生影响, 就能保证各个功能要求之间没有相互影响。根据设计矩阵的形式, 将设计分为三种: 非耦合设计、准耦合设计及耦合设计, 如图 8-3 所示。当设计矩阵为

对角阵时,表明功能要求通过设计参数可以满足其独立性原理,这样的设计为非耦合设计;当设计矩阵为三角阵时,设计参数必须按某一适当的顺序排列才能满足独立性原理,这样的设计称为准耦合设计;当设计矩阵为一般阵时,设计为耦合设计。

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \\
 \text{(非耦合设计)} & \text{(准耦合设计)} & \text{(耦合设计)}
 \end{array}$$

图 8-3 设计矩阵的三种形式

注: 1 表示强联系, 0 表示弱联系。

公理 1 表明: 功能要求过多、过高或过低、过少都不是好的设计, 两个或两个以上的相关功能要求, 应被一个相当的功能要求所代替。功能要求的独立性并不是要求每个零件只满足一个功能要求。恰恰相反, 如果一个零件能够相互独立满足所有必要的功能要求, 那么它就是一个最佳设计。不满足公理 1 的设计将产生功能耦合, 即这样的设计不能保证所设计的系统符合要求, 而且需要对设计参数进行循环设计。结构域中设计参数必须满足特定的情况才能达到优化设计的目的。

实际情况中, 设计中某些功能要求和设计参数的关系根本无法用公式的形式描述, 公理 1 只是提供了一种评判标准。实际设计矩阵的元素判断依据: 如果调整设计参数 DP_j , 功能要求 FR_i 相应地发生变化, 那么设计矩阵中的 a_{ij} 就是 1, 表示功能要求 FR_i 和 FR_j 是相关的; 否则 $a_{ij} = 0$, 表示两者不相关。由此可见, 设计矩阵是把功能要求之间的关系转换成功能要求和设计参数之间的关系, 通过分析判断功能要求和其他设计参数之间的关系间接判断两个功能要求之间是否相关联。

实际上, 很难做到各个级别的设计矩阵都是非耦合的, 但设计中应力求做到准耦合设计。在准耦合设计中, 应该根据 **FR** 和 **DP** 之间的关系, 按照一定的顺序确定设计参数。即首先确定设计矩阵中不对其他功能要求产生影响的设计参数, 选择受其他功能要求影响的设计参数时要预先考虑已经确定的设计参数对它们的影响, 这样提高了设计的合理性以及成功率。

8.3.2 公理 2: 信息最少公理

公理 2 从功能要求实现的预期效果角度定义信息含量。对于给定的 FR_i , 信息量 I_i 由满足一个给定 FR_i 的概率确定:

$$I_i = -\log_2 P_i \quad (8-8)$$

信息的单位是比特。选择对数函数是为了当有许多功能要求必须同时满足时, 可以将信息量相加; 也可以使用自然对数或常数对数。

如果有 m 个 **FR**, 则整个系统的信息量 I_{sys} 为

$$I_{\text{sys}} = -\log_2 P_{[m]} \quad (8-9)$$

其中 $P_{[m]}$ 是所有 m 个 **FR** 的联合概率。当所有的 **FR** 相互独立, 即设计为非

耦合设计时,

$$P_{\{m\}} = \prod_{i=1}^m P_i \quad (8-10)$$

则 I_{sys} 可以表示为

$$I_{\text{sys}} = \sum_{i=1}^m I_i = - \sum_{i=a}^m \log_2 P_i \quad (8-11)$$

当不是所有的 FR 都相互独立, 即设计为准耦合设计时,

$$P_{\{m\}} = \prod_{i=1}^m P_{i|\{j\}} \quad j = 1, 2, \dots, i-1 \quad (8-12)$$

其中 $P_{i|\{j\}}$ 是 FR_i 相对于其他所有相关 $\{FR_j\}$ 的条件概率。则 I_{sys} 可以表示为

$$I_{\text{sys}} = - \sum_{i=a}^m \log_2 P_{i|j} \quad j = 1, 2, \dots, i-1 \quad (8-13)$$

信息公理表明 I 最小的设计是最好的设计。当所有的概率为 1 时, 信息量为 0; 相反地, 当一个或多个概率为 0 时, 所需信息量为无穷大。也就是说, 概率越小, 设计人员就必须提供越多的信息来满足功能要求。

设计成功的概率越低, 设计越复杂, 也就是满足 FR 所需的信息量越高。对于一个产品, 当 FR 的公差很小时, 需要很高的精度。当产品有许多部件时, 由于部件数量的增加会造成一些部件不满足给定需求的可能性也增加, 这时也会出现设计复杂的情况。在这种意义上, 由于复杂系统可能需要更多的信息满足系统功能, 所以信息量是定量测量系统复杂性的方法。如果信息量低, 一个大系统也不一定是复杂的系统; 相反地, 如果信息量高, 小系统也有可能是复杂系统。也就是说, 系统的大小和复杂性是两个不同的概念。所以, 复杂性的概念是和 FR 的设计范围有关的: 设计范围越小, 越难满足 FR 。实际上, 成功的概率是由设计人员定义的 FR 设计范围和在给定范围内生产零件的系统能力的交集决定的。成功的概率可以通过对确定的 FR 的设计范围 (Design range, dr) 和系统可以提供的满足 FR 的系统范围 (System range, sr) 计算来得到。图 8-4 是对两个范围的图形表示。

纵坐标为概率密度 (Probability design), 横坐标为 FR 或 DP (取决于所在映射域)。在图 8-4 中, 对于特定的 FR , 在系统域内绘制系统概率密度函数 (System probability density function, system pdf)。设计域和系统域的交集称为公共域 (Common range, cr), 这是满足 FR 的区域。在公共域 A_{cr} 内的系统概率密度函数是满足给定目标的概率。则信息量可以表示为

$$I = \log_2 \frac{1}{A_{\text{cr}}} \quad (8-14)$$

根据信息含量的定义, 必须最大限度地使设计参数满足功能要求, 也就是说

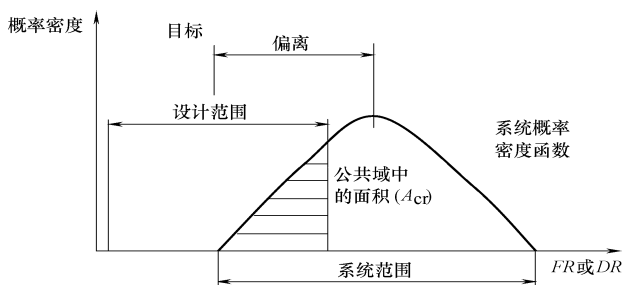


图 8-4 设计范围和系统范围示意图

最好的设计应该是设计参数能最大限度满足功能要求的设计。即使非工程信息含量的测量相对比较困难，但是公理 2 仍旧提供了选择最优方案的一种方法。

公理设计虽然提供了两条设计公理作为设计好坏以及优劣的判断依据，也给出了相应的定义公式，但是设计是一个主观的，以人为本的活动，因此很多情况下，设计很难用公式完全描述出来，这就需要设计人员有很丰富的设计经验、良好的专业知识以及大量的生活常识。此外公理设计并没有提供理论方法的支持以保证设计遵循设计公理。Suh 也承认公理设计没有提供任何既符合功能独立公理，又符合信息最少公理的方法。

8.3.3 设计公理的推论及相关设计理论

设计公理只是从理论的角度提出了设计的评判标准，它是设计的基本理论依据，是设计领域通用的一般化的理论，在实际应用中设计者将两个设计公理扩展、具体化，经过总结得出了一些推论和定理。这在实际设计中起到了指导作用。

推论 1（消除耦合）：在设计产生功能耦合或互相干扰时，设计者可以通过去耦或分离方案的某一部分或方面来实现功能独立。

推论 1 表明，通过去耦可以保证功能的独立性。去耦时设计系统必须分成更多的结构元件或有新的元素加入到现有的设计系统中。但是，并不是所有的情况都要去耦来解决功能耦合问题，在许多情况下采用结构分解就能解决。

推论 2（最少功能要求）：尽量减少设计中的功能要求和限制。

推论 2 表明，随着功能要求和限制的不断增加，系统变得越来越复杂，所包含的信息含量也就越多。所以，这个推论建议设计者在总体设计时或功能及结构特征参量力求最简洁。

推论 3（结构部件的合并）：在功能要求能够独立满足预期的设计方案时，可以将设计元素合并为一个简单的物理过程、装置或系统。

推论 3 表明，在没有功能要求耦合的情况下，结构元素的数量可以通过部件

合并来减少。但合并不能产生功能耦合以及增加设计的信息含量。

推论4 (使用标准件) : 在选择满足功能要求和限制的部件时尽量选择标准件和可互换件。

推论4也是一条最基本的设计准则,最大限度地使用标准零件、方法、操作、路线、生产和装配,这样可以降低产品成本。可互换件主要是考虑减少库存量、生产及服务工作,这就减少了信息含量。

推论5 (应用对称) : 在功能要求和限制已知的情况下尽可能选用对称结构、装配。

显而易见,对称结构的零部件易于生产和装配中定位。设计中不仅要尽可能地选用对称形状,而且孔洞及其他特征元素的定位也应选用对称结构。这样就减少了在生产使用过程中信息的需求量。使用对称零部件简化生产,降低制造难度和生产成本。

推论6 (最大公差) : 在满足功能要求的前提下选用最大公差。

这个推论是根据公理1、2共同作用得出的结果。公差减少生产难度增大,而且信息需求量增加;另一方面,公差太大,装配误差的积累导致功能要求不能满足。因此,公差应该在生产满足功能的零件的可能性一致的前提下,尽可能选用最大的。

推论7 (非耦合设计信息含量最少) : 在满足同一系列的功能要求时,非耦合设计所包含的信息比耦合设计包含的信息少。

这个推论也是根据公理1、2共同作用得出的结果。它表明,一般情况下非耦合设计所包含的信息量要比耦合设计包含的信息量少。也就是说,如果设计者设计的一个非耦合设计比某一耦合设计的信息含量还要多,那么设计者应该重新进行设计可以获得一个比这个耦合设计信息含量更少的非耦合或准耦合设计。

定理1 (耦合产生原因) : 在设计参数个数少于功能要求个数时,设计者的结果可能是耦合设计或功能要求不能够被满足。

定理2 (设计去耦) : 当耦合设计是由于设计参数少于功能要求而引起时,设计者可以通过增加设计参数去耦,一般功能要求和设计参数相等,此时设计矩阵为 $n \times n$ 的三角阵。

定理3 (更新设计) : 如果某一系统的功能要求因增加、替换或选择完全不同的功能要求而发生改变时,原有的设计方案不能满足新的设计要求,需要新的设计方案以满足设计要求。

8.4 公理设计分析过程模型

公理设计的目的是帮助设计人员提高设计决策能力,帮助设计人员在概念设

计阶段获得比较好的设计方案。公理设计的设计过程不仅仅是选择恰当的设计方案来实现设计目标,还是从基本的产品功能要求出发,利用“之字形”映射变换方法,进行功能分解、确定设计参数和工艺变量的一个从抽象到具体的设计过程,同时也是解决设计问题的过程以及设计信息组织成有机体的过程。设计公理只提供了在分解的每一级如何选择恰当的设计参数满足功能要求的方法,但并没有从理论上指导设计人员进行分解活动。Tate 提出了一套详细的分析方法,在考虑功能独立公理要求下指导设计者进行功能、物理结构分析。在每一级的分解过程中,设计者都应该考虑以下几个问题:

- 1) 设计是不是需要进行下一级的分解?
- 2) 如果分解,分解的顺序又是如何?对 *FR-DP* 应该先分解?
- 3) 用什么样的子功能要求来实现父功能要求?如何将父设计参数转换成下一级的子功能要求?
- 4) 在考虑到设计约束的限制条件下,如何选择正确的子设计参数?
- 5) 选择的设计参数是否能够将物理参数、结构参数合并成一个整体?

针对这些问题,公理设计构建了一个基本的设计分解框架,指导设计活动。在一个产品的设计过程中,设计者在不同的设计级别进行产品功能结构分解,在每一级解决上述设计中需要解决的问题,选择合适的设计参数来实现对应的功能要求。设计就是对产品从抽象到具体的一个详细的分解过程。除了设计公理,公理设计还提供了一个通用的设计分解框架,指导设计者进行功能分解,并进行合理的设计决策。

8.4.1 公理设计过程中的设计活动

公理设计构建了一个基本的设计分解框架指导设计活动。在一个产品的设计过程中,设计人员在不同的设计级别进行产品功能结构分解,在每一级中解决设计问题,选择合适的设计参数来实现对应的功能要求。设计就是对产品从抽象到具体的一个详细的分解过程。除了设计公理,公理设计还提供了一个通用的设计分解框架,指导设计人员进行功能结构分解,并进行合理的设计决策。通用设计分析框架描述了整个产品的设计过程,将设计人员的活动、工具以及设计理论有机组合在一起,保证设计人员在设计分解过程中能够做出合理一致的设计决策。设计过程涉及产品设计过程、设计决策规则 and 标准以及特殊领域设计工具和方法三个方面的内容,它提供正确的设计方法并以设计公理等理论为依据,帮助设计人员清楚地记录自己的设计活动,做出正确的设计决策,得到合理的设计结果。

公理设计定义产品的设计过程为设计人员开发或选择合适的方法实现一定目标,满足约束的设计活动集合。产品的设计过程就是设计人员人为的设计活动行

为, 产品的设计就是设计人员的活动结果。在公理设计过程中包括两类活动: 分解活动和分析活动。

分解活动包括:

- 1) 子功能要求的生成。
- 2) 设计参数的物理集成。
- 3) 设计过程分解顺序的确定。
- 4) 设计参数的描述 (设计参数的位置布置和尺寸链的定制)。
- 5) 设计约束向下一级的转化和生成。
- 6) 功能要求、设计参数、设计矩阵、设计约束的一致性判断。
- 7) 相应客户需求的确定。

分析活动包括:

- 1) 设计参数的综合分析。
- 2) 根据设计约束比较设计参数。
- 3) 耦合设计的降耦。
- 4) 耦合设计中设计参数的优化。
- 5) 非耦合与准耦合设计中设计参数值的调整和设定。

公理设计的整个设计过程可以概括为设计活动相互结合在一起形成的整体人为设计活动的过程。各个设计活动不是相互独立的, 它们之间有一定的因果关系和先后顺序, 按照这种因果关系以及一定的顺序结合成一个有机整体。每一个设计活动都有自己的评判标准或行为准则, 从整体上来讲, 分解活动首先要考虑的就是设计的“一致性”, 如果设计分解中低一级的设计决策和上一级的设计决策保持一致, 就减少了设计的重复, 提高了工作效率, 短时间, 保证能得到一个比较好的设计结果。

8.4.2 一致性

一致性是在分解过程中判定设计分解正确与否的依据。一致性定义为: 设计的子功能要求及其设计变量 (设计参数、设计约束等) 的分解必须与设计决策和等级结构树中上一级的表示内容相符合。在分解过程中, 好的设计决策能够帮助设计者在等级结构树每一级中抽象地描述一个设计目标, 但是, 设计的整个等级结构树描述了同一个设计的目标。

设计矩阵中的元素表示了功能要求和设计参数之间的关系, 下面利用设计矩阵表示设计参数的变化对功能要求的影响并详细说明一致性要求的产生和判断方法。一致性在任意两个相邻级别的设计分解过程中都必须进行分析、判断。

假设在完成某一级分解后, 功能要求和设计参数关系形式如下:

$$\begin{Bmatrix} \vdots \\ FR_{x,i} \\ FR_{x,j} \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots & \vdots & & \\ & A_{x(i,i)} & A_{x(i,j)} & \\ & A_{x(j,i)} & A_{x(j,j)} & \\ & \vdots & & \cdots \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \vdots \\ DP_{x,i} \\ DP_{x,j} \\ \vdots \end{Bmatrix} \quad (8-15)$$

在判断矩阵元素 $A_{x(i,j)}$ 和 $A_{x(j,i)}$ 时需要分析设计中的如下问题：当设计参数 DP_i 或 DP_j 变化时，功能要求 FR_j 或 FR_i 是不是也受到影响，即 DP_i 和 DP_j 两者之中某一个发生变化时，是否会影响另一个也要发生变化？设计矩阵的元素判断完成后，设计者通过设计公理分析设计的合理性，然后把设计矩阵调整成符合公理 1 的形式，根据调整后的设计矩阵描述的各个功能要求之间的关系，按顺序进行分解。

假设在下一级功能要求和设计参数均分解为两个子功能要求和子设计参数，分解之后功能要求和设计参数之间的关系如下：

$$\begin{Bmatrix} \vdots \\ FR_{x,i} \begin{Bmatrix} FR_{x,i,1} \\ FR_{x,i,2} \end{Bmatrix} \\ FR_{x,j} \begin{Bmatrix} FR_{x,j,1} \\ FR_{x,j,2} \end{Bmatrix} \\ \vdots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdots & \vdots & & \\ & A_{x(i1,i1)} & A_{x(i1,i2)} & A_{x(i1,j1)} & A_{x(i1,j2)} \\ & A_{x(i2,i1)} & A_{x(i2,i2)} & A_{x(i2,j1)} & A_{x(i2,j2)} \\ & A_{x(j1,i1)} & A_{x(j1,i2)} & A_{x(j1,j1)} & A_{x(j1,j2)} \\ & A_{x(j2,i1)} & A_{x(j2,i2)} & A_{x(j2,j1)} & A_{x(j2,j2)} \\ & \vdots & & \cdots & \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \vdots \\ DP_{x,i} \begin{Bmatrix} DP_{x,i,1} \\ DP_{x,i,2} \end{Bmatrix} \\ DP_{x,j} \begin{Bmatrix} DP_{x,j,1} \\ DP_{x,j,2} \end{Bmatrix} \\ \vdots \end{Bmatrix} \quad (8-16)$$

在这一级别，设计者需要做两个工作：确定功能要求和设计参数分解之后各自的设计矩阵，以及分解后的设计一致性。设计者首先要确定设计矩阵中的元素 $A_{x(ix,ix)}$ 和 $A_{x(jx,jx)}$ (x 代表 1 或 2)，并保证设计符合公理 1 的要求。即使分解后各自设计矩阵是三角阵或对角阵，但是如果分解的结果和上一级发生冲突，如 FR_{xi} 在上一级不受 DP_{xj} 的影响，可分解后， $FR_{xi,1}$ 和 $DP_{xj,2}$ 有关联，那么设计分解结果就发生不一致，所以在设计过程中，必须要考虑设计一致性，否则最终设计结果并不能保证是合理的。设计者通过比较式 (8-15) 中的设计矩阵元素 $A_{x(i,j)}$ 和式 (8-16) 中的设计矩阵元素 $A_{x(i1,j1)}$ $A_{x(i1,j2)}$ 以及式 (8-15) 中的 $A_{x(j,i)}$ 和式 (8-16) 中的 $A_{x(i2,j1)}$ $A_{x(i2,j2)}$

中的 $A_{x(j1,i1)}$ $A_{x(j1,i2)}$ 判断设计的一致性。
 $A_{x(j2,i1)}$ $A_{x(j2,i2)}$

在一个设计分解过程中主要包括功能要求分解、设计参数选择、设计矩阵确定以及设计约束精炼，一致性在这几种情况下都有可能发生。所以设计过程中的一致性分析大致可以概括为：功能要求一致性分析、设计参数一致性分析、设计矩阵一致性分析以及设计约束一致性分析。根据各种情况发生前后矛盾的不同具体情况，采用不同方法进行判断。

各种设计变量发生前后矛盾的具体情况如下:

◇**功能要求的前后矛盾**: 子功能要求与父功能要求——设计参数对所要求的功能不符; 功能要求分解后, 产生多余或不必要的子功能要求; 子功能要求没有完全实现预期父功能要求; 子功能要求描述父功能要求的形式和父设计参数实现父功能要求的方式不一致。

◇**设计参数的前后矛盾**: 设计参数实现功能要求的能力不足; 设计参数物理结构集成与父级别功能独立的要求产生矛盾; 父设计参数满足自身设计约束的要求, 但是子设计参数不满足自身设计约束的要求。

◇**设计矩阵的前后矛盾**: 在高级别设计矩阵中, 某一对功能要求和设计参数不相关, 在低一级设计矩阵中分解后的子功能要求和设计参数中至少有一对相关; 或者说对于上一级设计矩阵中的一个非对角线元素表示某一对功能要求和设计参数相关, 但是下一级设计矩阵没有一个元素来表示这个关系。

◇**设计约束的前后矛盾**: 子设计参数不满足从上一级设计参数提炼转化到下一级的约束条件。

保证设计矩阵一致性遵循的设计准则:

1) 设计公式中设计参数的抽象程度不一定是完全一样的, 有些设计参数需要分解有些就不需要分解。

2) 如果两个过程发生干扰, 那么设计者确定与此相关的非对角元素值为 1。

3) 在确定两对功能要求——设计参数对的关系时, 首先根据两者之间的相互影响, 确定与此相关的非对角线元素。

设计者有三种方法保证设计的一致性。第一种, 设计者可以从整体上忽略一致性问题。这种方法假设只有单个的设计人员来完成设计项目, 此时设计人员对整个设计非常清楚, 那么在整个设计过程中, 功能要求和设计参数的分析以及设计决策就可以保证一致性。另外一种方法是设计者通过比较分析新设计决策和原有设计决策, 确定前后设计决策是否保持一致。第三种方法是设计者通过分析可能导致不一致的设计决策, 判断设计的一致性, 并把出现设计不一致性的概率降到最小。设计者必须充分理解设计分解过程, 并应用设计分解模型提供的分析工具, 避免这些矛盾的产生。

8.4.3 设计过程模型

设计过程模型必须具备以下特征才能保证设计者在设计过程中高效率地利用可利用的资源、方法和工具, 同时也便于对设计过程解释和预测。设计过程模型主要包括以下几个特征:

1) **设计决策**: 设计过程的目的就是进行设计决策, 找到实现设计目标或是完成设计任务的解决方案。因此, 在设计的过程中, 设计者应该能够得到设计决

策要点和设计决策标准与规则。

2) **性能检测**: 设计过程的性能是通过对资源(时间、价值、人力等参数)的数量进行评估间接检测的, 这些参数通常用来表示实现设计目标或是解决设计问题、完成设计任务的程度。

3) **重复性**: 设计过程本身就是一个重复工作的过程。在设计的过程中, 相同的工作在不同的设计等级节点上重复进行, 完成不同设计任务。设计者应该清楚地确定出必要的重复工作, 避免那些不必要的重复工作, 这样就减少了设计的时间。

4) **设计活动的顺序**: 从整个设计过程来看, 设计的活动是相同的, 设计者在各个设计等级重复这些活动, 但是在每一个设计等级, 设计活动是具有先后顺序的, 它们之间存在因果关系, 设计必须按照这种先后设计顺序进行才能得到正确的设计结果。

5) **设计等级的范围和抽象程度**: 设计过程中设计者应在每一个设计等级完成这两个设计任务。设计等级的范围: 此级别的工作对整个设计的影响程度; 设计的抽象程度: 设计在此级别是概念阶段还是详细阶段或者说是从抽象到具体的程度。

6) **信息管理**: 设计者通过对设计项目的数据收集、分析, 进行设计的决策。设计信息在确定性、数量和相关性方面的变化都会对设计产生影响, 设计信息管理便于设计者及时根据变化对设计进行更改。

公理设计的过程模型按照设计活动的先后顺序详细地描述设计活动, 详细地阐述功能结构分解过程, 为设计者进行设计决策提供规则和指导, 检验设计决策的正确性, 这样可以提高设计者的工作效率。

设计过程模型制定分解规则, 在进行设计分解活动时帮助设计者进行设计决策, 以便正确地进行分解。从公理设计的角度来讲, 设计过程主要实现两个功能要求:

- 1) FR_1 : 实现预期功能要求。
- 2) FR_2 : 最少限度地使用资源。

整个设计过程中采用两种设计决策来进行实现上述两个功能要求。即设计的决策包括两种:

- 1) DP_1 : 设计中每一级的设计决策。
- 2) DP_2 : 设计级别之间的设计决策。

两个功能要求和设计参数之间的关系可以通过下面的公式表示:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (8-17)$$

式(8-17)表明在设计等级结构树中每一级的设计决策(功能要求和设计参数关系的确定)会影响下一级的分级过程和设计决策。如果某一级的设计决

策发生变化,那么设计分解过程肯定发生变化。分解过程中的设计决策(设计级别之间的设计决策)在设计每一级既不能保证得到产品的预期功能,又不能保证对它不产生影响。

充分理解整个设计过程有助于设计者非常迅速地完成设计。正确完成设计分解过程虽然不能保证设计结果符合设计公理的要求,但是这样可以保证设计者将更多精力放在设计的分析综合上,设计的主要工作是选择合适的设计参数来满足功能要求而不是反复地进行分解。设计者放在设计分解过程中的精力越多,对设计功能特性的影响越大,因为综合分析设计参数能确保设计的独立性。因此,公理设计过程模型制定设计准则,可以帮助设计者快速地完成设计分解,最大限度地得到满足设计公理要求的设计结果。

设计过程模型的规则用来指导设计者在分解过程中的活动,选择合适的方法来实现设计者的设计目标。这个规则包括以下几个方面:确定设计者的每一个设计活动、设计者的设计目标、设计者可以选择的方法以及如何应用这些方法实现设计的目标。相应地得到三种描述结果:

1) **设计目标的描述**:设计目标描述阐明了设计者的设计目的,即设计者既要满足整个设计的要求又要满足设计过程中某个特定的设计要求。

2) **设计者可选择方法的描述**:描述说明设计者可以获得的方法,例如确定实现某一个特定目标的方法或者确定进行下一个设计活动的可能性。

3) **选用方法实现结果的标准描述**:此描述和目标、方法的描述相关联。它确定了在设计者可以获得方法中哪一个最有可能实现预期的设计目标。

通过上述设计规则,设计者可以非常迅速地完成设计过程分解,提高了工作效率和准确性。

8.4.4 公理设计的分析过程模型

设计本身是一个主观活动,设计者的设计活动也是随意的。最初的设计矩阵只表示分解后功能要求之间的关系,是随机的,设计矩阵虽然可能不是三角阵,但是通过特殊的变换,某些设计矩阵能够转换成三角阵。只有通过分析之后,才能确定设计矩阵是否可以转化成三角阵。设计矩阵分析转化后的结果是三角阵,那么设计是准耦合设计,只要设计时按照一定的顺序分解,即先分解功能独立的功能要求,再根据该功能要求对其他功能要求的影响分解其他的功能要求,才能满足功能独立性要求。

公理设计分析过程将分析活动组合为一个有机的流程,分析每一级的设计决策是否符合公理1的要求,并确定满足设计分解结果的设计参数。其包括两个设计目的:确定、选择设计参数;设定设计参数的值,公理设计分析过程如图8-5所示。

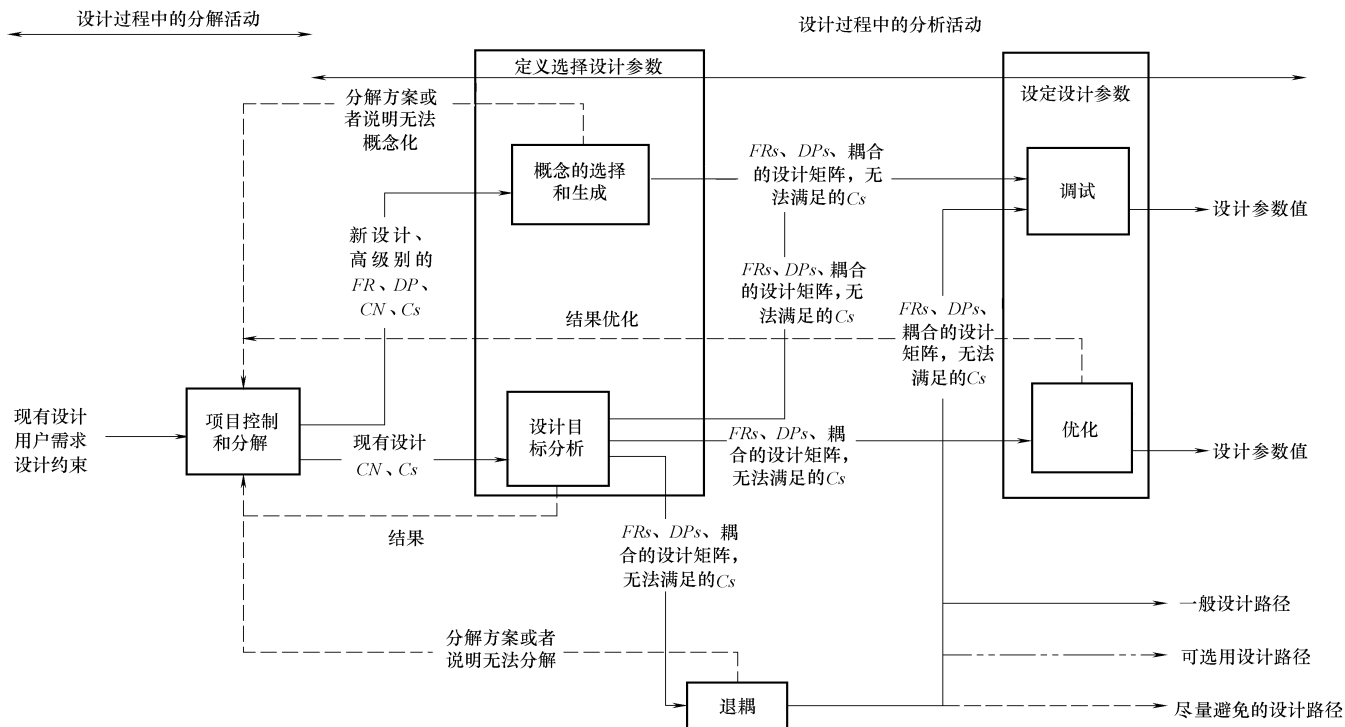


图 8-5 公理设计分析过程

公理设计既可以进行新产品的开发设计,同时也可以对现有产品进行改进。在进行产品开发时,设计者完成分解后,根据父设计参数、客户需求、设计约束选择适当的设计参数,如果设计参数满足设计的约束,设计是准耦合或非耦合的,设计者通过调试确定设计参数的值;否则设计者要重新进行设计分解直到获得符合功能独立公理的设计结果,只有每一级的设计分解结果满足功能独立公理的要求,才能进行下一级的分解。

在进行现有产品的改进时,设计者根据客户需求、设计约束、现有产品设计,进行设计目标分析,确定产品的组成部分来实现分解后不同的功能要求。如果设计是耦合的或不满足设计约束条件,那么设计者可以通过两条途径来进行产品的优化。第一条途径为可以利用退耦的方法,把耦合设计转换成非耦合或准耦合的,通过调试确定合适的设计参数值;第二条途径为设计无法转换成非耦合或准耦合设计,那就说明这里需要进行改进,利用其他的方法对产品重新设计改进。

功能独立性公理是设计者进行设计分析活动的依据,设计者每完成一级的设计任务,通过分析设计矩阵,确定功能之间的耦合关系,确保产品符合功能独立的要求。

设计矩阵每一个元素都具有一定的物理含义,它表示了设计参数和功能要求之间的影响关系,在变换过程中,每一个元素所对应的设计参数和功能要求不能发生变化,即行变换时,相应的列必须也发生变化。

公理1 功能独立性公理是设计者进行设计分析活动的依据,设计者每完成一级的设计任务,确定产品不同级别设计参数之后,都需要对功能独立性进行分析,确保产品符合公理1要求。设计者通过分析设计矩阵,确定功能之间的耦合关系。

设计矩阵的转换方法是:

第一步:找到设计矩阵中只包含一个非零元素的行,将该行和非零元素所在列放到第一行、第一列。

第二步:除去转换后的第一行、第一列,再找到只包含一个非零元素的行,将该行和元素所在列放到第二行和第二列。

第三步:按照这种方法重复进行直到最后一行和最后一列。

如图8-6所示,设计矩阵的第3行只包含一个非零元素 A_{33} ,所以将第三行和第三列转换到第一行、第一列;除去转换后的第一行、第一列,设计矩阵可以看成是一个 3×3 矩阵,在这个简化后的设计矩阵中 A_{22} 所在的行只有它一个非零元素,所以将原来矩阵 A_{22} 所在的行和列放在第二行和第二列,依此类推,就可以将随机矩阵转换成三角阵。

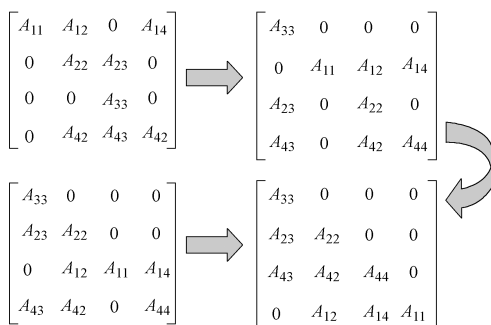


图 8-6 设计矩阵变换方法示意图

8.4.5 公理设计分解过程模型

公理设计中多个设计等级相互关联的分解活动联系起来实现分解过程，其目的是在满足公理 1 的条件下，设计者在每一级更快、更简单地完成设计决策，公理设计分解过程如图 8-7 所示。每一个设计活动都有自己的设计目的，设计者的决策应该非常明确。公理设计提供给设计者每一个设计活动的指导方针，架接起设计决策和设计目标之间的桥梁，帮助设计者更好地完成任务。通过对设计活动的分析，以输入、输出的形式描述设计活动以及分解过程中设计者需要考虑的关键性问题，详细说明整个设计分解过程。设计活动的描述完全体现了设计活动的目的，可供设计者选择的方法，实现设计目的的设计准则。

设计者进行分解前要根据设计分析的结果，即设计矩阵来确定设计的顺序，分解是在考虑上一级设计参数的前提下，将父功能要求分解成能够体现出父设计参数功能的最小子功能要求；一般设计者根据父功能要求——设计参数进行分解，但是设计者也可以参考与所分解功能要求相关的客户需求，将父功能要求分解成实现客户需求的最小子功能要求。分解同时需要将与功能要求相联系的设计约束转换成下一级的设计约束或是功能要求，这样就完成了功能分解，但是还必须检验子功能要求和父功能要求之间的一致性。分析过程中分析、确定合适的设计参数，验证设计矩阵和子设计参数的一致性。此外，确定设计参数之后，在分解过程中也可以设定设计参数的大小、布置和结构集成。分解设计过程有它自身的起点和终点，设计活动按一定的顺序进行。每一个设计活动看作是设计输入向输出的转变过程，设计者思考、解决典型设计问题来完成设计决策。

整个公理设计过程由分析过程和分解过程两部分组成，设计者不同的设计活动将这两个过程有机地结合在一起，并把整个设计过程标准化，可以适用于不同类型的设计，既可以进行产品的概念设计，又可以对产品的开发决策进行分析，同时还可以进行产品的详细设计。

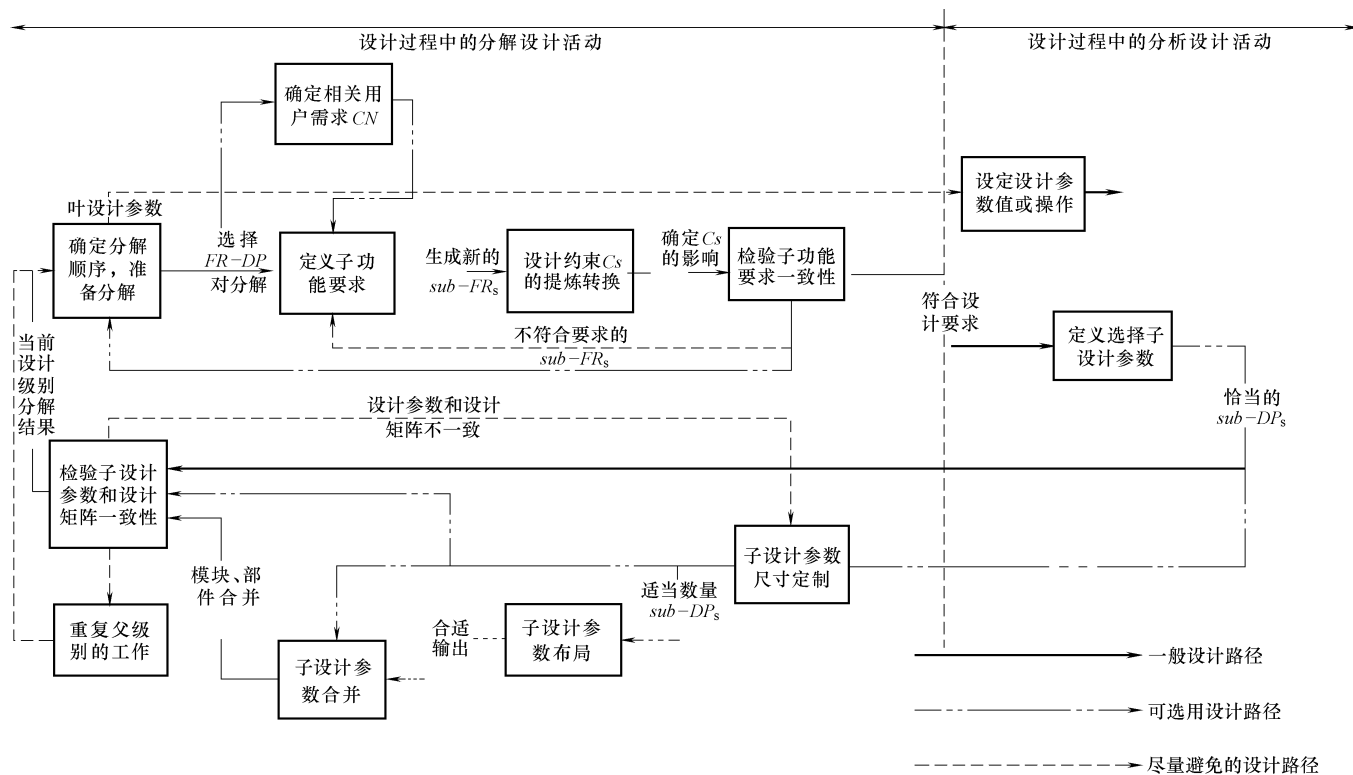


图 8-7 公理设计分解过程

公理设计的最终设计结果是满足功能独立公理和设计一致性要求的一系列叶设计参数来描述整个产品的组成或者结构特征。设计分解的每一级需要验证功能独立性，分解完毕需要验证设计的一致性，功能独立性通过每一级的设计矩阵验证，设计的一致性通过分析上下两级的设计矩阵验证，即从最高级开始，一直到设计分解完成，从最高级的设计矩阵扩展成一个只表示叶节点的功能要求和设计参数关系的最终设计矩阵。整个产品组成的确定过程根据叶设计参数对叶功能要求的影响关系表示的顺序进行，如图 8-8 所示。

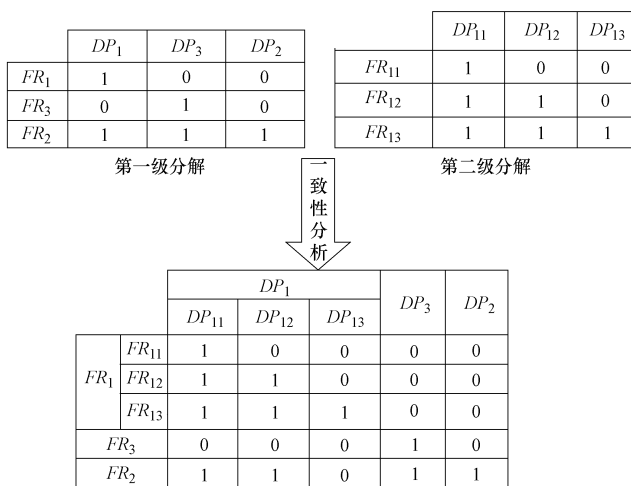


图 8-8 设计过程一致性分析示意图

注：图中“1”和“0”分别表示下一级分解设计参数和上一级中功能要求的相关和不相关。

8.5 公理设计实例分析

8.5.1 冷热水混水阀

冷热水混水阀是公理设计理论应用的典型案例，通过该案例可以充分体现出公理设计是如何辅助设计人员进行设计决策的。功能独立性公理辅助设计人员建立比较合理的产品设计方案，在备选的设计方案中，通过应用信息公理分析各个方案实现预期目标的能力，从而设计出高质量、高性能的混水阀。

冷热水混水阀在人们日常生活中随处可见，其主要功能是通过该阀门将冷热水进行混合并可以调整适当的温度和流量，以满足不同的人在用水时不同的要求。混水阀的输入为冷热水，其中热水温度一般在 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ ，因此，冷热水混水阀将高温热水与冷水混合，通过不同的混合比例实现温度的调节，再通过调节

出水量来实现流量的调节。根据功能独立性公理,混水阀在调节温度和流量时两个功能之间是不能产生相互影响的,即功能之间不能产生耦合。

FR_1 : 控制水流速度 (Q) 而不影响水流温度 (T)。

FR_2 : 控制水流温度 (T) 而不影响水流速度 (Q)。

早期的冷热水混水阀设计采用两个旋钮龙头分别控制冷水和热水流量 (如图 8-9 所示), 通过改变冷热水的混合比例来实现温度和流量的调节。但是, 此类设计存在一个典型的问题, 在使用过程中如果只调节一个水龙头的流量, 那么无法实现单独控制温度和流量, 即功能要求 FR_1 和 FR_2 产生了耦合, 混水阀使用非常不方便。

该种结构的混水阀在当前的市场上已经被淘汰, 市场上有很多种新型结构的混水阀, 本文混水阀的实例是以公理设计的功能独立性公理和信息含量最少公理作为设计决策的依据, 对混水阀结构进行改进。在发现耦合后, 如何解决耦合以及对方案进行集成和评价, 是公理设计应用的一个分析问题、解决问题的完整过程。

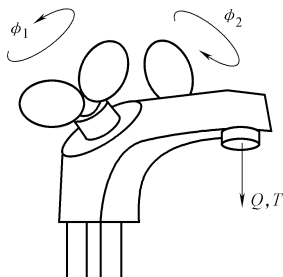


图 8-9 早期产生功能耦合的冷热水混水阀设计

首先, 分析图 8-9 中产生功能耦合的原因, 图 8-9 结构的表明实现水流量和温度的变化主要通过两个水龙头的旋转角度 (ϕ_1 和 ϕ_2), 根据公理设计建立混水阀功能要求和设计参数直接关系的设计方程:

$$\begin{bmatrix} Q \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} \quad (8-18)$$

由于两个水龙头分别控制冷、热水管, 仅调节某一个水龙头无法实现对水温 and 流量的分别控制, 因为当 ϕ_1 或 ϕ_2 角度变化时, 仅改变了冷水或者热水的流入量, 虽然通过改变了两者的混合比例, 但在温度发生变化的同时流量也发生变化, 即 ϕ_1 和 ϕ_2 的变化使水流的 Q 和 T 均受影响, 所以, 设计矩阵非对角线元素也为“1”, 功能要求 FR_1 (Q) 和 FR_2 (T) 产生了相互影响。因此, 图 8-9 设计方案中两个水龙头的选择角度 ϕ_1 和 ϕ_2 作为设计参数无法满足功能独立性要求。

根据上述分析, 产生功能耦合的原因是由于水龙头分别控制冷、热水的流入量, 因此, 如果能够两个水龙头分别控制冷、热水的混合比例以及混合后的温水量, 那么就能够分析控制水的流量和温度的变化, 其概念结构如图 8-10 所示。该设计中 Knob A 控制水流量 (Q), Knob B 控制冷、热水的混合比例, 即相应的设计方程如下:

$$\begin{bmatrix} Q \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{Knob A} \\ \text{Knob B} \end{bmatrix} \quad (8-19)$$

根据上述概念,对混水阀的结构进行详细设计,设计结果如图 8-11 所示。水龙头 A 是一个流量调节阀,位于混水阀结构的下游,水在流经水龙头 A 时已经进行了混合,因此,通过调节其选择角度 ϕ_1 ,就可以实现对流量的独立控制。水龙头 B 的功能是控制冷、热水的混合比例,由两个旋塞组成,并通过一根杆连接在一起,当杆旋转时与冷、热水相连的两个旋塞一个打开而另一个关闭,这样连接杆的旋转角度 ϕ_2 实现了对水温的独立控制。此时设计方程为

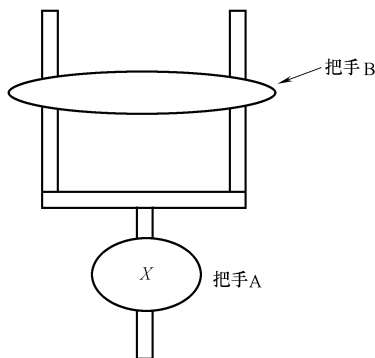


图 8-10 独立控制冷、热水温度和流量的混水阀概念结构

$$\begin{bmatrix} Q \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} \quad (8-20)$$

公理设计理论指出,如果在保证功能要求独立性的情况下,能将设计参数集成为一个完整的物理结构,会提高功能实现的能力,即减少设计的信息含量。虽然图 8-11 的设计方案满足功能独立性要求,但两个功能实现是由两个水龙头的旋转来控制,因此,需要进一步分析,是否能够将两个水龙头合并为一个物理结构,以提高设计的可靠性。

混水阀的功能是独立控制水的流量和温度,根据流体力学知识,在流体和压降相同的前提下,流速和管路的横截面积成正比。在保证功能独立性的前提下,设定设计参数分别为:

DP_1 : 横截面积总和 $(A_c) + (A_h) = f(A_c + A_h)$

DP_2 : 横截面积比值 $(A_c)/(A_h) = g(A_c/A_h)$

相应的设计方程可以记作:

$$\begin{bmatrix} Q \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} f(A_c + A_h) \\ g\left(\frac{A_c}{A_h}\right) \end{bmatrix} \quad (8-21)$$

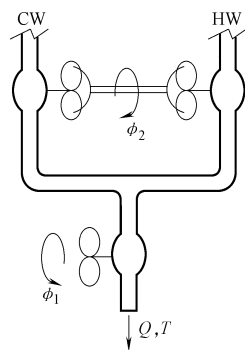


图 8-11 控制冷热水温度的混水阀结构

根据上述原理进行混水阀的技术设计,建立如图 8-12 所示的两种设计方案。两种方案均是采用改变冷、热水流入混水阀的出口

大小来控制流量和温度，只是具体实现方式存在差别。

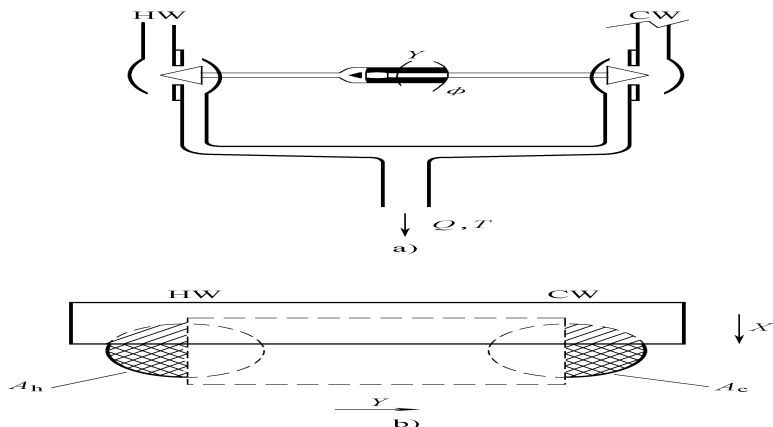


图 8-12 设计参数集成分析

a) 方案 1 b) 方案 2

方案 1 采用连杆连接冷、热水出口旋塞，连杆是一空心杆，内腔为反向双螺纹，冷水和热水的旋塞中某一个与螺纹连杆相连，而另一个则开螺纹，旋塞通过反向螺纹副作用实现同时开闭，保证出水截面积的总和增加而冷热水的比例不发生改变。在控制水温时，通过整体横向移动冷、热水旋塞，改变两个旋塞开合比例的大小。因此，式 (8-21) 可以改写为

$$\begin{bmatrix} Q \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \phi \\ Y \end{bmatrix} \quad (8-22)$$

方案 2 采用两个平板在同一平面的移动实现冷、热水出水口横截面的变化，此方案正如式 (8-22) 所示，水流量的变化是冷、热水横截面积之和为变量的函数，水温是冷、热水横截面积之比为变量的函数。上平板沿 X 方向移动改变了水流量，下平板沿 Y 方向移动改变了水温。因此，式 (8-22) 可以改写为

$$\begin{bmatrix} Q \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \quad (8-23)$$

通过设计参数合并为一个集成的结构，混水阀设计将两个水龙头合并为由旋塞或者平板组成的整体结构。但是，图 8-12 所示的两种混水阀设计方案中实现温度和流量控制时必须分别移动两个部件，其成功概论小于一个部件移动的设计方案。根据信息含量的定义，计算上述方案的信息含量：

假设移动一个部件实现对温度或者流量控制的概率为 90%，那么一个部件移动的混水阀设计的信息含量为 $I = \log_2(1/0.99)$ ；在保证功能独立性的前提下，

两个部件移动的混水阀设计的信息含量为 $I = \log_2(1/0.99) + \log_2(1/0.99) = 2\log_2(1/0.99) > \log_2(1/0.99)$ 。应用信息含量最少公理对混水阀设计进一步优化, 尽可能将功能实现的概论接近“1”, 得到性能更高的设计方案。

根据上述分析, 混水阀设计中某一部件具有多个自由度, 其单独的运动能分别改变水流横截面的总和、比值, 那么该设计的成功机率更大, 而且功能实现的能力更高。但是, 公理设计并没有一套完整的方法指导设计人员在设计参数合并时如何保证信息含量最少, 只能由设计人员根据自己的经验进行设计分析, 图 8-13 是单部件运动的混水阀设计方案。

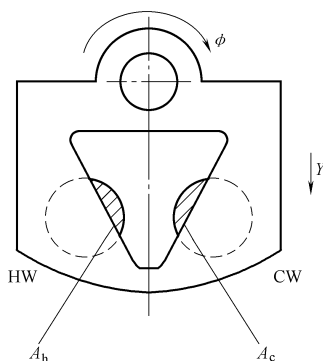


图 8-13 所示设计方案通过一个平板的旋转和平移实现横截面大小和比例的变化。图 8-13 单部件运动的混水阀设计方案
平板上开有三角形孔, 当冷、热水管对称位于平板中心线两侧时, 通过旋转平板的角度可以改变横截面的比值, 当平板整体沿 X 方向移动时可以改变水流量。

8.5.2 深水炸弹触发器的设计

海军在遭遇敌对情况的时候, 使用带爆炸物 (即弹头) 的深水炸弹来破坏敌人的潜艇。深水炸弹系统最重要的部分之一就是触发器, 它由一个机械时钟和压力传感器组成, 包括 350 多个零部件, 结构比较复杂。深水炸弹由舰艇专用发射器发射到水下击中目标, 只有当深水炸弹撞击到目标后, 触发器向引爆器送出信号, 引爆炸弹将目标炸毁, 如图 8-14 所示。已有的深水炸弹触发器结构复杂, 成本高, 可靠性差, 增加设计的工作量。因此, 该实例应用公理设计对触发器进行设计, 使得深水炸弹只有在击中目标时向引爆器送出信号, 并确定引爆弹头。

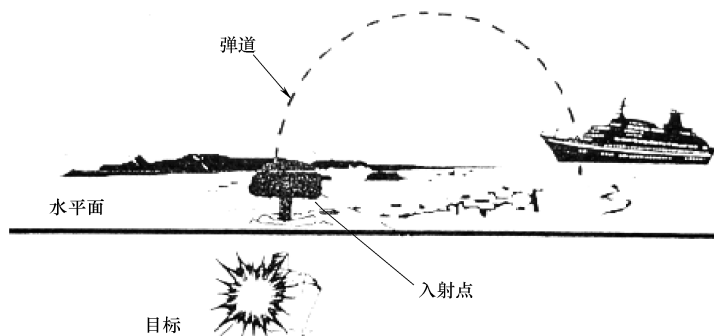


图 8-14 深水炸弹操作示意图

触发器由一个电源、三个独立的点火状态开关和一个点火信号组成，触发器运行特性示意图如图 8-15 所示。当达到点火状态要求后，触发器启动引爆器引爆弹头。出于安全考虑，从深水炸弹发射到引爆整个过程中，至少有一个点火状态开关处于水中时才能引爆炸弹。因此，如果炸弹不在水下时应该处于安全状态，不会发生爆炸。此外，触发器的传感器应该是稳定的，不能对潮湿、电磁辐射、黑暗、振动、加速、温度等干扰因素敏感而产生误操作。新型触发器的设计目标是开发一种只有在水下撞到目标物体后才能发生引爆信号的触发器，但是由于触发器是深水炸弹系统中的一个子系统，本文通过对深水炸弹系统进行功能结构分析，对深水炸弹系统整体进行改进，提高其工作的可靠性和稳定性。

1. 第一级分解

通过对触发器工作条件和工作要求分析，触发器的客户需求可以细分为如下三个：

CA₁：低成本和零件数量（零件数量越少其信息含量越小）；

CA₂：工作原理简单；

CA₃：工作原理可靠。

触发器设计最高层次的功能需求 FR 为：触发弹头的爆炸，传递发射筒的驱动气体压力到整个深水炸弹，使其加速并开始其弹道轨迹；

最高层次的设计参数 DP 选择为：一个电气系统和深水炸弹的发射器。为了进一步设计，可将总功能要求和设计参数分解为： FR_1 触发引爆器、 DP_1 电气系统； FR_2 发射深水炸弹、 DP_2 发射器。此时设计矩阵方程可以写为

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (8-24)$$

由设计矩阵看出，此次分解得到解耦设计，虽然是可接受的设计，但是还需要进行进一步的分解使得设计更为详细。

2. 第二级分解

根据上一级分析结果，功能要求 FR_1 和 FR_2 是相互独立的，因此在进一步分解时可以同时对 FR_1 和 FR_2 进行分解。首先将 FR_2 进行分解为： FR_{21} 提供力给发射装置、 DP_{21} 推进器； FR_{22} 向目标方向发射装置、 DP_{22} 发射筒； FR_{23} 向整个装置传递力、 DP_{23} 底盘。此时设计矩阵方程为

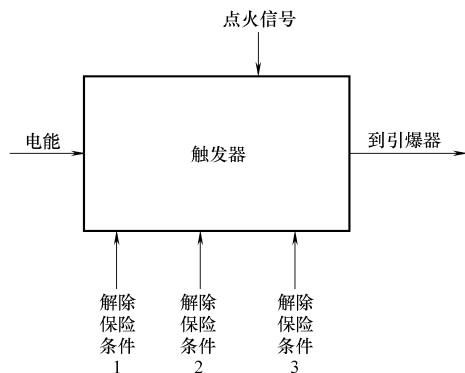


图 8-15 触发器运行特性示意图

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \end{Bmatrix} \quad (8-25)$$

由设计矩阵看出，此次分解保证了功能要求的独立性，得到一个非耦合设计，设计参数是可以直接实现的叶设计参数，所以不需要进行下一步的分解。但是，在具体确定实现 FR_2 的设计参数时，对上一级的客户需求进行分析，转换到下一级为对该级 FR_2 的全局约束条件：

- C_1 ：安全性；
- C_2 ：重量；
- C_3 ：重心位置；
- C_4 ：与底盘配合的外部尺寸；
- C_5 ：环境承受力。

根据图 8-15 所示的触发器工作状态，功能要求 FR_1 可以分解为： FR_{11} 提供电能、 FR_{12} 激发解除保险条件 1、 FR_{13} 激发解除保险条件 2、 FR_{14} 激发解除保险条件 3、 FR_{15} 发送点火信号。

通过对触发器的工作原理进行分析，只有当其所处的环境条件完全满足要求时才能实现上述分解的功能要求，因此，功能要求 FR_1 分解后的各子功能要求通过环境变量来实现，才能满足其安全性的要求。所以 DP_1 相应地分解为： DP_{11} 安瓿式电池、 DP_{12} 离开发射器口传感器、 DP_{13} 进入水下载感器、 DP_{14} 水压传感器和 DP_{15} 目标的撞击。该级别的设计方程为

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \\ FR_{14} \\ FR_{15} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \\ DP_{14} \\ DP_{15} \end{Bmatrix} \quad (8-26)$$

对上一级的客户需求进行分析，对触发器的主要要求是能够安全、准确地发出引爆信号，引爆炸弹炸毁目标。因此，触发器的约束条件主要是安全性和可靠性，具体设计约束如下：

C_1 安全性：只有当所有保险条件都接触后，才能向引爆器发信号，这样才能保证击中水下目标，因此，需要建立一个准耦合设计，即 FR_{15} 只有在 FR_{12} 、 FR_{13} 、 FR_{14} 均实现后才能启动引爆信号；

C_2 可靠性：各个状态传感器应该具有稳定、可靠的工作性能，因此采用电晶体控制的机械装置来提高实现功能的能力。

3. 第三级分解

为了进一步的具体设计，还可以将设计参数继续往下分解，以期获得更为详

细的设计。对于 FR_{11} ，只有发射后才提供电能，采用发射时产生的气压来激活电池，所以 FR_{11} 可以分解为： FR_{111} 感应发射事件、 DP_{111} 气体压力激活的机械运动； FR_{112} 供应电解液、 DP_{112} 破坏安瓿的机械冲击。此时设计矩阵方程为

$$\begin{Bmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \end{Bmatrix} \quad (8-27)$$

该级别分解为一个可接受的准耦合设计，设计参数是可以直接实现的叶设计参数，不需要继续进行分解。 FR_{11} 的实现原理如图 8-16 所示，发射时产生的压力气体从深水炸弹的尾部进入并引入到炸弹膛内，推动炸弹内部的活塞撞击安瓿式电池的尾部，将安瓿撞坏后电解液流出，电池被激活，为触发器各部件提供电能。

对于 FR_{12} ，更详细一层的功能要求可以描述为： FR_{121} 感应发射、 DP_{121} 感应发射筒的传感棒； FR_{122} 当深水炸弹离开发射筒时激发电路； DP_{122} 由传感棒激发的电路开关。此时设计矩阵方程为

$$\begin{Bmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \end{Bmatrix} \quad (8-28)$$

此时设计是一个满足独立公理的解耦设计，电路开关可以实现炸弹保险条件的转换，但是如何实现功能要求 FR_{121} 需要进一步分析，以确定如何应用传感棒感应和激活保险条件 1。

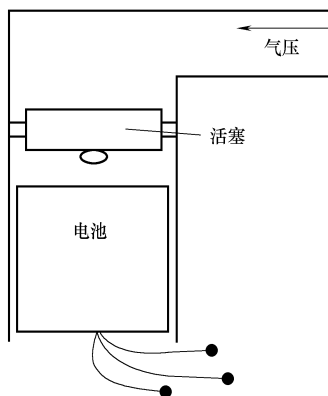


图 8-16 FR_{11} 的实现原理图

对于 FR_{15} ，更详细一层的功能要求可以表述为： FR_{151} 感应碰撞目标、 DP_{151} 加速计； FR_{152} 向引爆器发出信号、 DP_{152} 通过加速计激发的电路开关。此时设计矩阵方程为

$$\begin{Bmatrix} FR_{151} \\ FR_{152} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{151} \\ DP_{152} \end{Bmatrix} \quad (8-29)$$

4. 第四级分解

这一级主要是对 FR_{121} 和 DP_{121} 的分解，较低层级的功能要求和设计参数可以分别分解为： FR_{1211} 向发射筒推动感应棒、 DP_{1211} 活塞； FR_{1212} 当深水炸弹离开发射筒时伸展感应器、 DP_{1212} 膨胀气体； FR_{1213} 在发射后防止感应棒移动回来、 DP_{1213} 自锁机械装置。此时设计矩阵方程为

$$\begin{Bmatrix} FR_{1211} \\ FR_{1212} \\ FR_{1213} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{1211} \\ DP_{1212} \\ DP_{1213} \end{Bmatrix} \quad (8-30)$$

该设计矩阵也是一个能够满足独立公理的准耦合设计。功能要求 FR_{121} 的实现原理如图 8-17 所示。与功能要求 FR_{11} 类似,也是通过发射时产生的气压作为驱动力,推动深水炸弹膛内的活塞向外运动,将传感棒探出深水炸弹体外,沿着发射筒壁滑动;当发射完成时,炸弹飞出发射器时,由于传感棒失去了发射筒壁的束缚,活塞继续向外移动,将发射电路转换开关关闭。此外,此转换开关是一次性的,通过一个电子或机械机构将开关锁死。

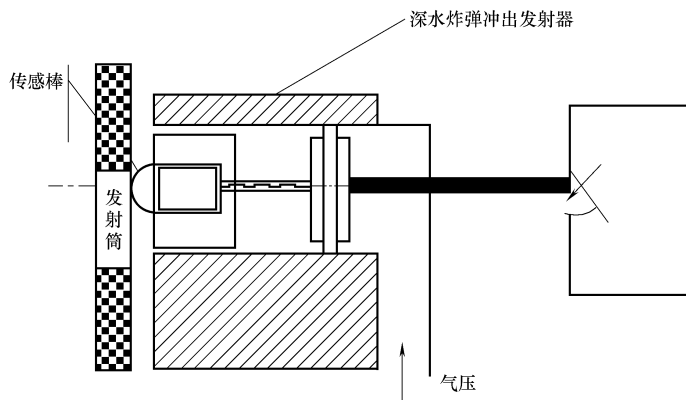


图 8-17 FR_{121} 实现原理图

至此为止,设计过程中分解得到的设计都能够满足独立公理,设计参数都是能够由可以实现的原理、方案或者零部件组成的叶设计参数,虽然不是完全的非耦合设计,但也是可以接受的准耦合设计。在实际设计过程中,由于产品结构的复杂多变性,很难得到绝对的非耦合设计,设计过程中一般做到准耦合设计即可。

8.5.3 闸阀结构合理性分析

国内某企业所生产的闸阀是阀门的一种,主要起到切断管路的作用,适用于高炉热风炉系统的烟道、冷风、助燃气、燃烧及煤气等管道,可对烟气、煤气、空气进行有效的切断。从公理设计角度,闸阀实现的用户需求是控制管路的通断,闸阀的工作环境比较特殊,用于毒性、污染气体的管路控制中,因此设计必须保证闸阀的整体密封性,设计约束为保证闸阀整体的密封。闸阀结构简单,实现的用户需求相对也比较直观,因此就闸阀的分析而言,不需要进一步分析闸阀的用户需求。重点是如何应用公理设计进行闸阀功能分解,并判断功能独立性和设计一致性,根据闸阀组成结构之间的关系确定设计的顺序。应用公理设计提供的设计框架,采用“之字形”变换方法,从功能分解的角度,将该种闸阀分解

为三级, 得到闸阀的功能要求和设计参数的分解图, 如图 8-18 所示。

1. 闸阀第一级结构分解

公理设计采用从产品抽象概括到具体组成结构或结构特征, 自顶向下的分解方法。闸阀的基本功能 FR : 气液体通断控制分解为三个功能要求: FR_1 启闭, FR_2 密封, FR_3 连接。相应的设计参数为: DP_1 起闭结构, DP_2 密封结构, DP_3 连接结构。通过分析设计参数和功能要求之间的关系得到了第一级设计矩阵:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8-31)$$

经过矩阵调整 (设计参数和功能要求的排列顺序的变化), 第一级功能要求和设计矩阵的关系为

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_3 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_3 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (8-32)$$

这一级主要是对闸阀功能的抽象概括, 将闸阀分解成了三个功能模块: 启闭结构、密封结构、连接结构。

2. 闸阀第二级结构分解

第二级结构分解是在考虑第一级设计参数前提下, 确定能够满足第一级设计参数的功能要求, 再根据分解获得的功能要求确定设计参数。实现设计参数 DP_1 (启闭结构) 必须具备以下功能: FR_{11} 通断, FR_{12} 驱动, FR_{13} 驱动装置的支撑; 相对应的设计参数为: DP_{11} 通断结构, DP_{12} 驱动结构, DP_{13} 驱动件支撑结构。这一级的设计矩阵为

$$A_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8-33)$$

设计参数和功能要求之间的关系为

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \end{Bmatrix} \quad (8-34)$$

设计参数 DP_2 (密封结构) 是指对阀体本身的密封以及管道连接处的密封, 所以, 将 FR_2 分解为: FR_{21} 阀体密封, FR_{22} 连接处密封。相应的设计参数为: DP_{21} 阀体密封结构, DP_{22} 接口密封结构。很明显 FR_{21} 和 FR_{22} 之间没有明显的干

扰, 所以这一级的设计矩阵为

$$A_{22} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8-35)$$

设计参数和功能要求之间的关系为

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \end{Bmatrix} \quad (8-36)$$

设计参数 DP_3 (连接结构) 是指闸阀通断阀和底座间的固定以及和管道间的连接。所以, 根据 DP_3 将 FR_3 分解为: FR_{31} 安装连接, FR_{32} 管道连接; 对应的设计参数为: DP_{31} 安装连接结构, DP_{32} 管道连接结构。很明显 FR_{31} 和 FR_{32} 之间也没有干扰, 所以这一级的设计矩阵为

$$A_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8-37)$$

设计参数和功能要求之间的关系为

$$\begin{Bmatrix} FR_{31} \\ FR_{32} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{31} \\ DP_{32} \end{Bmatrix} \quad (8-38)$$

设计参数 DP_{13} (驱动件支撑结构)、 DP_{21} (阀体密封结构)、 DP_{22} (接口密封结构) 及 DP_{31} (安装连接结构)、 DP_{32} (管道连接结构) 不需要进一步分解就可以满足功能要求, 所以, 这四个设计参数就是叶设计参数, 即闸阀的组成部分。

3. 闸阀第三级结构分解

第三级的结构分解主要是为实现设计参数 DP_{11} (通断结构) 和 DP_{12} (驱动装置) 进行功能分解。类似上述分解过程, 功能要求 FR_{11} (通断) 分解为: FR_{111} 固定方式和 FR_{112} 活动方式; 相应的设计参数为: DP_{111} 阀门主体和 DP_{112} 阀门芯。设计矩阵为

$$A_{31} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8-39)$$

设计参数和功能要求之间的关系为

$$\begin{Bmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \end{Bmatrix} \quad (8-40)$$

功能要求 FR_{12} (驱动) 分解为: FR_{121} 提供动力、 FR_{122} 传递动力、 FR_{123} 动力控制、 FR_{124} 辅助功能、 FR_{125} 动力传输、 FR_{126} 阀体密封; 相应的设计参数为: DP_{121} 动力源、 DP_{122} 传动装置、 DP_{123} 控制装置、 DP_{124} 辅助装置、 DP_{125} 动力传输结构、 DP_{126} 阀体密封结构。这一子级别的设计矩阵为

$$A_{32} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8-41)$$

经过调整，这一级的功能要求和设计参数之间的关系为

$$\begin{Bmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \\ FR_{123} \\ FR_{125} \\ FR_{126} \\ FR_{124} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \\ DP_{123} \\ DP_{125} \\ DP_{126} \\ DP_{124} \end{Bmatrix} \quad (8-42)$$

功能要求 FR_{11} 和 FR_{12} 分解后的节点均为叶节点，所以整个设计分析过程完成，设计分解的最终结果如图 8-18 所示。以上是整个闸阀的分解过程，但是还需要对设计结果进行进一步的分析，确定现有的闸阀结构是否满足公理设计的要求，并根据设计矩阵描述的设计参数和功能要求之间的关系，提出符合公理 1 思想的设计顺序。

功能分解得到了产品组成的等级结构图之后，如何应用得到的设计分析结果评价已有产品呢？设计者需要将设计参数和已有产品的各个组成部分联系在一起，判断产品的组成部件是否和各个设计参数一一对应，将产品的组成部件添加到设计的框架中，实现了一个具体的实例分析，根据设计矩阵进行设计的合理性判断。此外，根据叶设计参数之间的相互影响关系，可以确定除设计的顺序，先确定功能独立的叶设计参数，然后在考虑它对其他设计参数影响的前提下确定其他的设计参数方案。

由于闸阀的结构比较简单，实现的功能也相对较少，因此，在设计过程中没有出现功能耦合。在完成闸阀的功能结构分解后，设计者需求分析现有闸阀的实际结构和设计结果之间的对应关系，判断它现有结构的合理性，并根据叶设计参数之间的关系（相互影响关系），确定设计顺序。

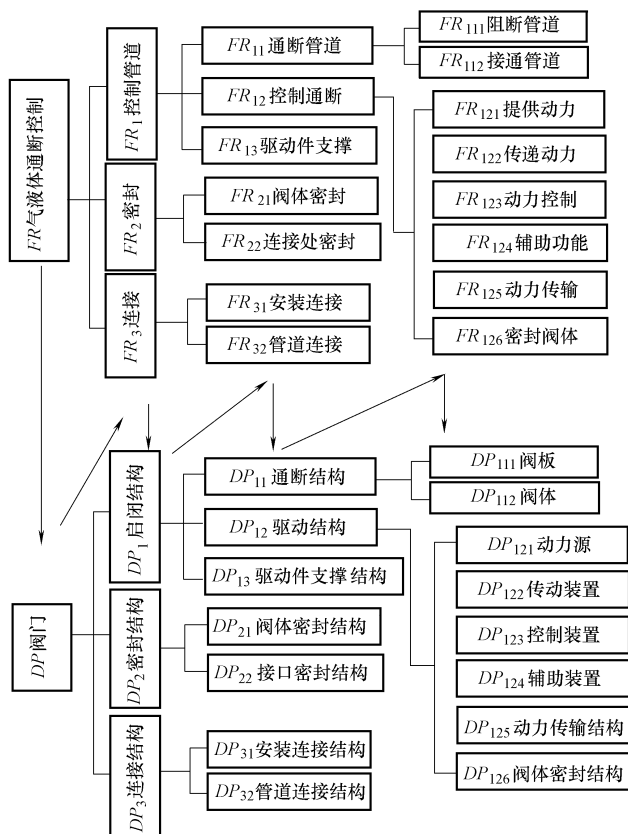


图 8-18 闸阀功能要求和设计参数分解等级结构

4. 闸阀结构的分析

现有闸阀主要结构如图 8-19 所示。分析分解结果和闸阀的组成，确定闸阀的设计结果和组成部分之间的对应关系为：阀门主体—阀体、阀门芯—阀板、动力源—电动装置+手柄（人力）、传动装置—减速器+链轮链条、动力控制—上下行程开关、辅助装置—配重、动力传输结构—阀杆、阀体密封结构—密封材料、管道密封结构—密封材料、阀体密封结构—阀盖、安装连接结构—底座、管道连接结构—法兰（焊接在阀盖上）、驱动件支撑结构—支架（设计参数中包括的两个阀体密封分别指整个阀门被包围成一个实体和如何密封因动力传输结构产生的缝隙，两者不在同一个设计分支上，虽然目的一样，但是实现方式不同）。因此，通过分析可知现有的闸阀结构符合公理设计的要求，是一个合理的设计。

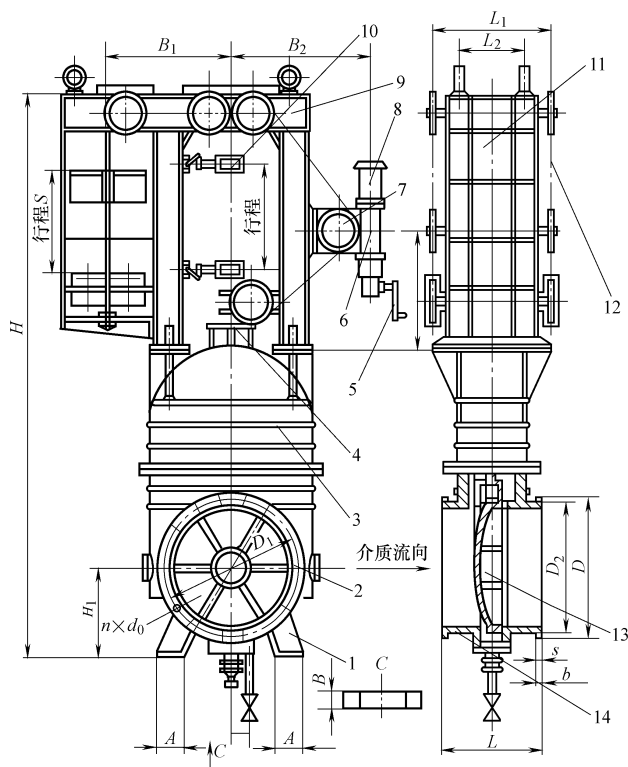


图 8-19 闸阀结构示意图

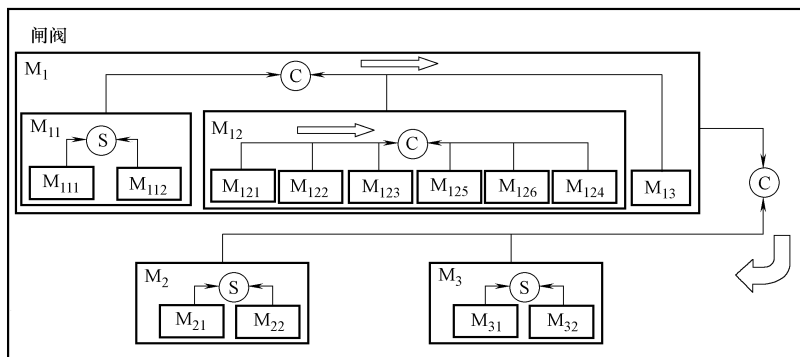
- 1—底座 2—法兰 3—阀盖 4—阀杆 5—手柄 6—传动装置 7—链轮 8—电动装置
9—支架 10—行程开关 11—配重 12—传动链条 13—阀板 14—阀体

在设计中，很难完全得到一个非耦合的设计，所以设计者在设计的过程中尽量获得准耦合的设计。准耦合设计的设计矩阵为三角阵，在选择设计参数时必须按照一定的设计顺序，考虑设计参数间相互影响的前提下才能保证各个功能之间的独立性。功能要求和设计参数之间的关系式 $FR_i = \sum A_{ij} \times DP_j$ 表明，设计矩阵中每一行中的元素表示每一个设计参数和该行对应的功能要求的关系；设计矩阵中的每一列代表每一个设计参数对整个设计的影响。

设计的最终结果是确定满足功能要求的产品的各个组成部分，即各个叶设计参数，因此，要确定各个叶设计参数的设计顺序，就必须根据各个级别的设计矩阵所表示的各个级别的功能要求和设计参数之间的关系，建立一个描述整个设计过程所有叶设计参数和功能要求之间关系的最终设计矩阵。通过分析最终设计矩阵中各个叶设计参数对应的各列中非对角线元素中的“1”的个数，确定出各个叶设计参数的影响程度，根据它们的对设计的影响程度，确定出设计的先后顺序。

表中深颜色的部分表示叶设计参数和自身所在分解级别的功能要求之间的关系；白色部分表示叶设计参数和其他功能要求之间的关系。深色部分的元素根据叶设计参数相关的设计矩阵确定，白色部分的元素则是从一致性角度考虑，根据上一级设计矩阵，确定叶设计参数和功能要求之间的关系。例如， DP_{11} （实现方式）的变化对 FR_{12} （驱动）产生影响，所以 DP_{111} （阀芯部分）和 FR_{125} （动力传输）之间有影响。

通过分析表 8-1，总结出一个描述闸阀设计顺序的流程图，如图 8-20 所示。根据闸阀设计的流程图，遵循从外向里的设计分析顺序，确定设计的顺序（图中的 M 代表设计参数，即各个级别的设计参数看成不同级别的模块）。整个闸阀由三个顺序模块 M_1 启闭结构— M_3 连接结构— M_2 密封结构组成，按照此顺序首先确定模块 M_1 ； M_1 由三个顺序模块 M_{11} 通断结构— M_{12} 驱动结构— M_{13} 驱动件支撑结构组成； M_{11} 由并行模块 M_{111} 阀门主体和 M_{112} 阀门芯组成，所以最先确定的是设计参数 DP_{111} 和 DP_{112} 。依此类推，得到整个闸阀结构的设计顺序，如图 8-21 所示。



M 表示各个级别的设计模块

S 表示并行模块（非耦合关系，不需要考虑先后设计顺序）

C 表示顺序模块（非耦合关系，需要考虑先后设计顺序）

➡ 表示设计顺序

图 8-20 闸阀设计流程图

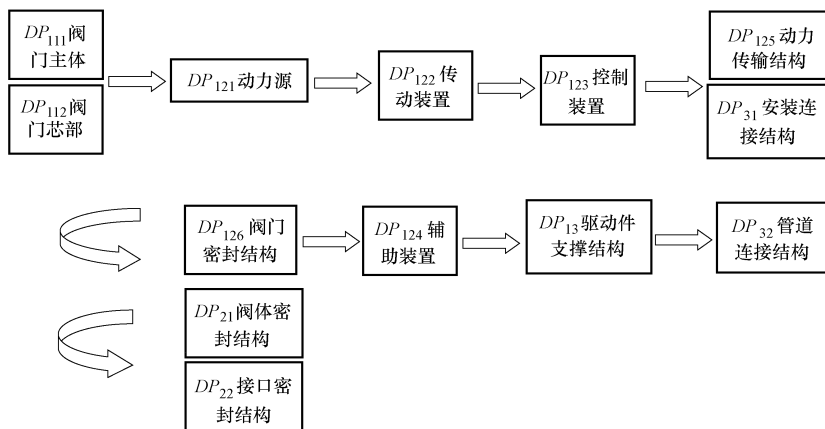


图 8-21 闸阀设计顺序图（并排表示没有先后顺序）

8.6 本章小结

公理设计是产品设计的基本设计理论。它提供了一种久经试用证明有效的、科学的、基本的方法帮助设计者进行设计决策。公理设计从系统级开始进行设计，通过“之字形”映射变换，利用设计过程模型，递归地在设计等级结构树中进行设计的决策，并应用设计公理对设计的决策进行评判，形成了一个从抽象到具体的设计过程。整个设计过程可以分为三个设计阶段：问题描述；概念生成；概念评价与选择。

本章以公理设计的设计过程模型实现产品的概念设计，最初的设计从用户需求分析开始，根据用户需求确定基本的功能要求；然后采用“之字形”映射变换进行设计分解活动和设计分析活动，从功能-结构两个设计域进行设计分析，并以功能独立性公理和一致性要求为评判依据，进行设计活动质量评判，得到比较满意的设计结果。

参 考 文 献

- [1] Tate derrick. A Roadmap for Decomposition: Activities, Theories, and Tools for System Design [D]. Cambridge: MIT, 1999.
- [2] 邓家杨, 产品概念设计—理论、方法与技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] Mats Nordlund. An Information Framework for Engineering Design based on Axiomatic Design [OL]. <http://w1.131.telia.com/~u13103746/thesis/index.htm>.
- [4] Suh N P. Design-in of Quality Through Axiomatic Design [J]. IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, 1995, 44 (2).

-
- [5] Suh N P. The principle of design [M]. New York: Oxford University Press, 1990.
 - [6] 齐从谦, 邵丹. 工程领域中的概念设计 & 创新 [OL]. <http://www.interoutstandingpaper.com/>
 - [7] 雷永刚, 彭颖红, 阮雪输. 机械产品概念设计: 综述与分析 [OL]. <http://www.cncmc.com/>
 - [8] 孔凡国, 邹慧君. 机械方案创新设计过程模型的研究 [OL]. <http://www.21-sun.com/knowhow/default.htm>.
 - [9] Martensson Par, Fagerstrom Jonas. Product Function Independent Features in Axiomatic Design [C]. The First International Conference on Axiomatic Design, ICAD2000: 70-74.
 - [10] Suh N P. Axiomatic Design: Advances and Applications [M]. New York: Oxford University Press, 2001.
 - [11] Kim Y S, Cochran D S. Reviewing TRIZ from the Perspective of Axiomatic Design [J]. Journal of engineering design, 2000, 11 (1): 79-94.
 - [12] Schreyer Matthias, Tseng Mitchell M. Hierarchical State Decomposition for the Design of PLC software by Applying Axiomatic Design [C]. The First International Conference on Axiomatic Design, ICAD2000: 264-268.
 - [13] Nam P Suh, Shinya Sekimoto. Design of Thinking Design Machine [J]. Annals of the CIRP, 1990, 39 (1): 145-148.
 - [14] Basem Said EL-Haik. Axiomatic Quality [M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2005.

第 9 章 六西格玛方法

9.1 概述

六西格玛可以被理解成是一种度量和技術方法，现在又成为一种管理系统。当绿带、黑带、黑带大师、项目负责人和发起者都接受了六西格玛作为度量和技術方法的培训以后，却很少有人能够意识到六西格玛是一个全面的管理系统。了解作为度量和技術方法的六西格玛，有助于开始将六西格玛理解成为一个管理系统（见图 9-1）。

9.1.1 六西格玛作为度量方法

用西格玛来度量一个流程的表现如何、一个改进的结果如何，是一种衡量质量的方法。企业用西格玛来衡量质量，因为它是一个标准，可以用来反映对于流程的控制程度，看它是否达到设定的绩效标准。

西格玛是一个通用的尺度，就像码尺上的英寸、天平上的盎司、温度计上的温度。通用的尺度像温度、质量和长度让我们可以比较不同的物体，而西格玛度量可以使我们能够比较不同的业务流程，以检验它们是否达到了事先设定的流程质量标准。

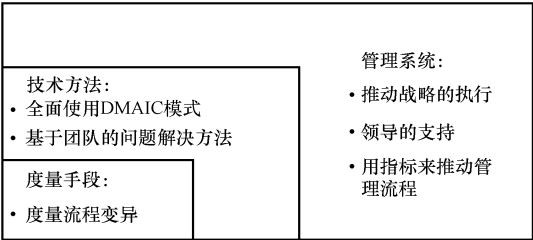


图 9-1 六西格玛的应用范围

西格玛的尺度衡量 DPMO (Defects Per Million Opportunities)，即每百万个机会里的缺陷数。六西格玛相当于每百万个机会中出现 3.4 个缺陷。使用六西格玛衡量方法可以比较不同的业务流程，这种方法是基于每百万个机会中出现的缺陷数的比较。

9.1.2 六西格玛作为技术方法

六西格玛技术方法建立于六西格玛的度量之上。六西格玛的实践者使用 DPMO 来测量和评价一个流程的表现，使用严谨的定义、测量、分析、改进、控制

模式 (Define, Measure, Analyze, Improve, Control, DMAIC) 来分析一个流程, 找出其不可接受的变异的来源, 并找到多种解决方法来消除或减少错误和变异。当改进措施执行以后, 就进入控制步骤以确保有一个持久的结果。

六西格玛方法不局限于 DMAIC, 其他一些解决问题的方法和技术在 DMAIC 框架下也会被经常用到, 用以扩展六西格玛项目团队可以使用的工具, 这些工具包括:

- 1) 发明问题解决理论 (Theory of Inventive Problem Solving, TRIZ)。
- 2) 精益 (Lean Production, LP)。
- 3) 福特 8Ds 规则 (Ford 8Ds)。
- 4) 5 个为什么 (5 Whys)。
- 5) 是/不是原因分析法 (Is/Is not Cause Analysis)。

采用西格玛尺度并将这些解决问题的方法融入到 DMAIC 之中去, 使得六西格玛方法成为一个强有力的解决问题和持续改进的方法。

显而易见, 采用一系列的衡量指标可以有效地帮助组织来理解和控制它的关键流程。同样, 这个严谨的解决问题的方法, 明显地增强了一个组织推进有价值改进的能力, 加强了基于问题出现的根本原因来解决问题的能力。

9.1.3 六西格玛作为管理体系

六西格玛作为一种最优的方法, 不仅是建立于一系列的度量基础之上的解决问题和改进流程的工具, 在最高层次上, 六西格玛已经被发展成为一个实用的管理系统。这个管理系统着重于管理和组织持续不断的业务改进, 主要注重以下四个方面:

- 1) 理解和管理客户的需求。
- 2) 整合关键流程来实现这些需求。
- 3) 利用严格的数据分析来了解和减少关键流程中的变异。
- 4) 推动对业务流程做出快速和持久的改进。

同样地, 六西格玛管理系统包含了六西格玛度量和六西格玛技术方法, 只有当六西格玛被当作一个管理系统而实施时, 才能对组织产生深远和巨大的影响。

9.2 六西格玛的框架

六西格玛 DMAIC 模型是针对企业现有流程和业务实施持续改进以不断提高竞争力的结构化方法。六西格玛的改进对象是产品的质量、成本以及产品或服务的交付期。六西格玛不仅是企业用于改进的有效方法, 而且它作为企业的实施战略直接与企业目标紧密相连。六西格玛以团队和项目为基础进行跨部门地改进

与企业利益和目标有关的流程以及其他业务。因此，要充分发挥六西格玛的强大作用，企业必须创造其必要的条件或者实施六西格玛的框架。

企业在以六西格玛作为一个管理策略时，首先就要考虑在企业中构建六西格玛的框架以作为其实施的基础。六西格玛框架至少应包括 5 个因素，即高层管理承诺、培训计划、项目组活动、测量系统和利益相关方参与，如图 9-2 所示。

许多大公司的实际运营将在三个层面操作，即研究与设计（R&D）、制造和事务。六西格玛在这三个层面都可以发挥它的作用，但是六西格玛在每一层面中的风格是不相同的。如六西格玛在 R&D 中经常被称为六西格玛设计（DFSS），而六西格玛制造和六西格玛事务则分别用于制造业和服务业中。

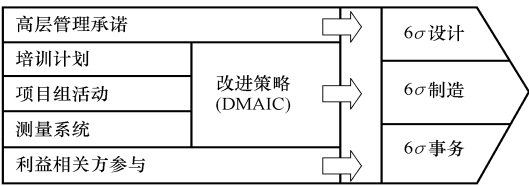


图 9-2 企业的六西格玛框架

9.2.1 高层管理承诺

在公司中推行六西格玛是一个战略管理的决策，它需要由高层管理发起。所有的框架元素以及结构化的改进策略（DMAIC）都需要高层管理的承诺才能得以成功地实施。如果没有高层管理强有力的承诺，这培训计划和项目组的活动很少会成功。尽管高层管理者并非每天直接活动于改进项目中，但其作为领导者的角色、项目的保证人和倡导者是非常重要的。

9.2.2 利益相关者参与

利益相关方包括企业员工、所有者、供应商和顾客。为了达成所设定的过程性能的改进目标以及完成六西格玛的改进项目，仅仅有高层管理的承诺是不够的，还必须有利益相关方的直接参与。

企业的员工是重要的利益相关方，在课程培训、项目组活动以及过程性能评价等方面企业员工是直接的参与者与实施者。企业中的项目组主要由他们组成，而且很多的重要项目必须通过他们积极的参与和实施才能完成。

供应商也需要参加到六西格玛活动中。一个六西格玛公司通常鼓励其重要的供应商也要拥有六西格玛程序。为了支持供应商推行六西格玛程序，常常使供应商分享他们的性能数据、分享六西格玛培训，以及邀请他们分享六西格玛项目报告会。企业这样做的目的就是要使由供应商所提供产品的变异在供应商的过程中通过供应商的六西格玛活动得到改进，最终确保性能的提高。

顾客在六西格玛的活动中也是重要的角色。顾客满意是六西格玛公司主要目

标之一。顾客将参与到识别产品和过程特性的关键顾客特性（Critical to Customer, CTC）的特殊活动中。CTC 是顾客观点上的 CTQ 的子集。完成识别 CTC 后，顾客还会被要求去指定特性的期望值，也就是特性的目标值和规格限。这些关键的信息将被用于六西格玛活动中对于过程性能测量的基础信息。

9.2.3 培训计划

在任何六西格玛程序中，一个全面的过程性能的知识、改进的方法、统计工具、项目团队的活动过程和顾客要求的部署等都是需要的。这些知识通过适当的培训计划而成为全体员工所共享的知识。

9.2.4 测量系统

一个测量系统是操作、程序、量具、人等的集合。六西格玛公司将提供一个有效的测量系统用于测量过程性能的西格玛水平。这个测量系统可以显示出不好的过程性能或者提供早期的问题将要到来的迹象。对于测量系统进行分析是必要的，其目的是保证测量系统的正确性。

9.2.5 项目小组活动

1. 项目小组活动的方式

对于希望导入六西格玛项目小组活动的公司，作为一个管理策略，可采用下面 7 步骤的程序以在公司内展开六西格玛项目活动。

1) 组织一个六西格玛小组并且建立一个长期的关于公司的六西格玛愿景。公司首先要指定几个人员组成六西格玛小组去掌握所有的六西格玛活动。然后这个小组将在高层管理者的直接领导下建立长期的关于公司的六西格玛愿景。六西格玛愿景要与改变、顾客和竞争密切相关，而且公司中的员工必须同意和尊重这个愿景。

2) 首先要对六西格玛倡导者进行六西格玛培训。展开对公司所有层次的员工进行适当的六西格玛知识培训。首先对高层管理者和主管（倡导者）进行培训。如果倡导者不理解六西格玛的含义，那么六西格玛就无法在公司内布置。随着倡导者的培训，对于绿带、黑带（黑带大师）也要必须进行培训。对黑带大师的培训还要通过专业的机构进行。

3) 选择一个六西格玛项目区域首先导入六西格玛。六西格玛根据其特性可以分为三个不同的部分，即针对研究与开发（R&D）领域的六西格玛设计（DFSS）、针对制造业的六西格玛制造和针对事务的六西格玛事务。在此情况下，CEO 将决定导入三个领域六西格玛的次序。通常，首先导入六西格玛制造是比较容易的，接着是事务领域和 R&D 领域，当然这还要根据企业当时的具体情况

而定。

4) 开始对绿带和黑带进行培训。绿带和黑带的培训对于六西格玛的成功是非常重要的因素。

5) 对所有相关区域部署关键质量特性 (CTQs)。任命几个黑带作为全职的六西格玛项目小组领导, 并且要求小组去解决一些重要的 CTQs 问题。CTQs 的展开对于公司所有部门都是相关的。这些 CTQs 的展开可以通过方针管理或者目标管理进行。当黑带产生后, 一些重要的 CTQs 问题可以交给黑带去解决。原则上黑带是项目组的领导而且对于质量改进是全职的。

6) 巩固六西格玛基础工作, 如统计过程控制 (SPC)、知识管理和数据库系统管理。为了稳固地导入六西格玛, 必须做一些基础工作。这些工作包括统计过程控制、知识管理和数据库管理系统。具体地就是, 有效数据的获得、数据存储、数据分析以及信息分发等。

7) 在每月中指定一个“六西格玛日”。在那一天高层管理者 (CEO) 必须亲自检查六西格玛项目小组的进程、组织汇报活动状况以及奖励取得的成就等。

2. 项目活动解决问题的过程

最初由摩托罗拉公司开发的六西格玛解决问题的程序是 MAIC, 即测量、分析、改进和控制。后来由 GE 公司提倡的六西格玛 DMAIC 程序取代了 MAIC 程序, 其中增加的“D”指的是定义。MIAC 或 DMAIC 都是主要用于制造业解决问题的程序。

3. 六西格玛项目小组与质量圈的区别

在六西格玛活动中, 有黑带领导的项目小组是团体的骨干, 而在全面质量控制 (TQC) 或 TQC 活动中, 质量圈小组是团体的骨干。在老的 TQC 或全面质量管理 (TQM) 的管理策略中, 通常有两种小组的工作形式, 即特别工作小组和质量圈小组。特别工作小组主要由工程师和科学家组成, 而质量圈小组是由生产线的操作者组成。但是在六西格玛项目组中是由工程师、科学家和操作者共同组成, 其领导者通常是黑带。对于六西格玛项目小组以及 TQC 的质量圈小组的人员组成、活动主题的选择和问题解决流程的区别见表 9-1。

表 9-1 六西格玛项目小组与质量圈小组的区别

分 类	六西格玛项目小组	质量圈小组
组织	工程师(或科学家)、操作者、几个绿带和一个黑带	操作者
主题选择	自顶向下, 公司的 CTQs	自底向上, 自选择
问题解决流程	DMAIC、DMADV、DMARIC	PDCA(或 PDSA)

4. 如何选择项目主题

六西格玛项目主题的选择是一个自顶向下的方法, 通常要解决的 CTQs 问题是由公司推荐的。项目主题的展开方法如图 9-3 所示。

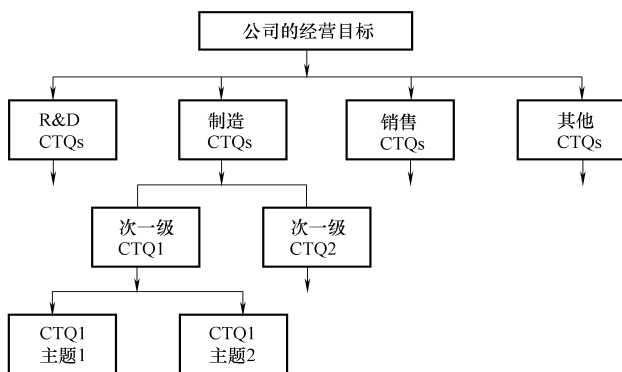


图 9-3 项目主题选择的展开

9.3 六西格玛方法中的重要概念

六西格玛的核心目标就是要改进过程的性能，并据此来达到三个分目标：减少成本、改进顾客满意度和增加利润。为了实现改进过程性能的目标，首先应理解与过程性能有关的基本概念。

9.3.1 过程

过程就是指将输入转换为输出的一系列活动。对于公司而言，输出主要是指硬件产品或与此相关的服务。

X 为可控输入变量

V 为不可控输入变量

```
graph LR; X1 --> Process[过程]; X2 --> Process; Xn --> Process; V1 --> Process; V2 --> Process; Vn --> Process; Process --> Y[输出Y<br/>(产品特性)];
```

图 9-4 输入、输出与过程的关系

如果是研究、设计或非制造业的服务等活动，虽然没有硬件产品的输出，但也是一个过程。输入、输出与过程的关系如图 9-4 所示。输入可以是活动、材料、机器、决策、信息、温度和湿度，输入既有可以进行物理控制的因素，也有不可控的噪声因素。这些变量经过过程转换后即变成了输出或产品特性。

任何一个给定过程将会有有一个或多个指定的特性与收集的数据相对应。这些特性的状况可以反映过程性能的状况。为了测量过程的性能，有关特性的数据是需要的。数据有两种类型，一种是连续性数据，另一种是离散性数据。连续性数据可以一个连续的范围内取任何测量值，如时间、温度、速度等；离散性数据也指计数型数据，如接受/不接受、好/坏等。

9.3.2 变异

任何过程或产品特性的数据值总是变化的，这是因为任何过程都包含许多变化源。如果产品的特性值是可以测量的，那么由多个变化源所引起的变异可以通过最适合观测的分布图形来将变异显现出来。变异是质量控制的障碍之一，通过使用六西格玛方法对过程性能的跟踪和改进，过程性能的变异就会减小。变异是过程性能三角形的关键因素（图9-5），其中“变异”涉及到测量的数值与目标值如何地接近，而“周期时间”和“产量”分别涉及“多么快”以及“多少”。

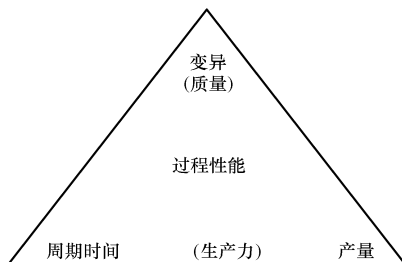


图9-5 过程性能要素

1. 普通原因和特殊原因

对于在过程中存在的许多变化源通常可以分为两类，即普通原因和特殊原因。如果过程仅有普通原因产生变异，那么这个变异随着时间有一个稳定的和可重复的分布，这时过程的状态称为“统计控制状态”。随机变异是过程的固有特性，除非改变过程或产品的设计，否则是不易改变的。如果仅有变异的普通原因，那么这个过程的输出是可以预测的，如图9-6所示。

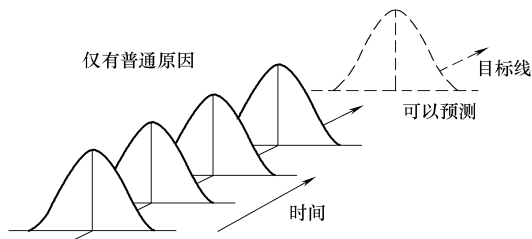


图9-6 仅有普通原因的统计控制状态

特殊原因是指由任何因素引起的变异，这个变异通常在过程中不出现。也就是说当它发生时它将改变过程的分布，除非所有变异的特殊原因被识别和处理，否则它们将持续地以不可预测的方式影响过程的输出。如果特殊原因出现，那么这个过程的输出随时间是不稳定的，如图9-7所示。

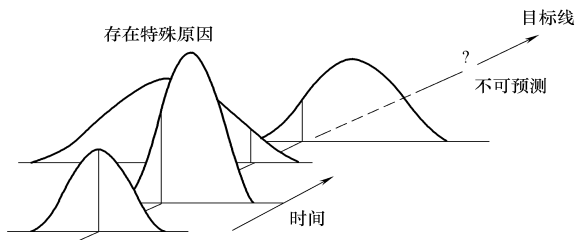


图9-7 存在特殊原因时的过程状况

任何一个过程状态可以区分为四种形式，这四

种状态以及应采取的对策见表 9-2。

表 9-2 对过程四种状态采取的对策

过程状态	应采取的对策
在控制状态下且能力充足	理想的状态,应维持
在控制状态下但能力不足	必须降低普通原因的变异
不在控制状态下但能力充足	必须矫正特殊原因
不在控制状态下且能力不足	既要矫正特殊原因也要降低普通原因的变异

2. 普通原因和特殊原因的判断

判断过程是否存在特殊原因或者过程是否处于失控状态,可以通过过程是否发生异常的变化来判断,如缺陷突然增多或者缺陷突然消失等。过程是否处于失控状态也可以通过对过程控制图的判断来确定。使用控制图时,一般将控制图中心线两侧到控制线按 $\pm 3\sigma$ 原则划分为 3 个区间,从控制线到中心线分别记为 A 区、B 区和 C 区,如图 9-8 所示。

借助于控制图的这种分区,便可以通过观察点在各区上的分布状况来判断过程是否受特殊原因的影响,即过程是否失控。

判断过程是否失控有八个准则,即:

准则一:有一点在 A 区以外。

这有可能是由测量误差或设备出错等原因引起的。

准则二:连续 9 点在 C 区或 C 区以外。

可能是由于设备不稳定、操作有误等原因所引起的。

准则三:连续 6 点持续上升或下降。

这种情况可能是由于过程偏移、量具需要调整或设备不稳定引起。

准则四:连续 14 点交替上升或下降。

可能是由于量具异常、或过程偏移引起。

准则五:连续 3 点有 2 点在 A 区。

可能是由于设备等的热变形或刀具磨损引起的。

准则六:连续 5 点有 4 点在 B 区或 B 区以外。

可能是由于过程的调整等原因引起的。

准则七:连续 15 点在中心线上下两侧的 C 区。

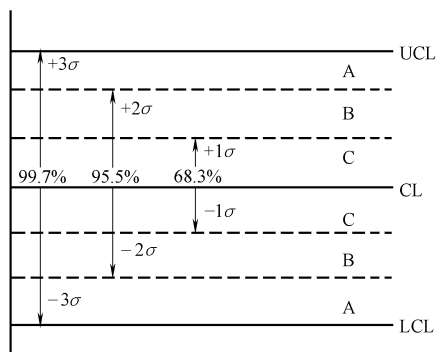


图 9-8 控制图及分区

可能是由于量具异常或过程偏移等原因引起。

准则八：连续 8 点在中心线两侧，但 C 区无点。

可能受两个或多个过程或循环的影响。

3. 使用控制图的两类错误

在使用控制图根据上述八个准则判断过程是否失控时，由于描在控制图上的点是通过抽样检验而得来的，它具有不确定性，因此应用控制图会存在两类错误：

(1) 虚发警报的错误 虚发警报也称第一类错误，即过程处于稳定的状态下，但由于纯粹的偶然原因而使点超出控制线。这时如果判过程失控，则就产生了第一类错误。

(2) 漏发警报的错误 漏发警报也称第二类错误，即虽然过程已失控，但是由于仍有大部分的质量特定值处于上下控制界限内，而且抽样没有抽到界外点的场合，则判断过程为处于控制状态，这时即为漏发警报。

质量管理大师朱兰（Juran）在其质量管理三部曲即质量策划、质量控制和质量改进（图 9-9）中指出，由特殊原因引起的偶发性质量问题将导致过程失控，这类原因主要是由于过程的作业条件即人、机、料、法和环境（4M1E）产生问题所致，并且可由作业人员进行解决和纠正。而导致慢性质量问题的普通原因是系统的原因，必须由管理层通过改变系统的性能，如产品改进设计、过程再设计以及更新设备等的方法来解决。

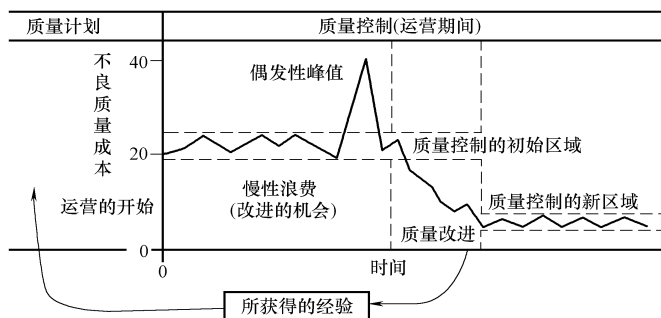


图 9-9 朱兰的质量管理三部曲

9.3.3 周期时间、产量和生产力

任何一个过程都有一个周期时间和产量（产能），过程的周期时间是指一个单元（或产品）完成所有输入到输出转换的平均时间。过程的产量就是涉及输入时间和工件输出的数量。一个高效的输入因素转换成产品必然会有一个较好的

产出。公司的生产力通常定义为输出性能的功能与其输入的比较。

9.3.4 顾客满意

顾客满意是指全部的顾客要求都得到满足。六西格玛强调顾客的要求必须通过测量、改进过程和产品,以及关键质量特性(CTQ)得到满足。在六西格玛中,顾客的要求要彻底地识别,为了改进和满足这些要求必须很好地将它们转换到重要的过程和产品特性中。顾客通常要求指定特性的期望值是什么,也就是目标值,以及对于特性的缺陷是什么,也就是规格限。这些关键的信息在对过程性能的测量中都是重要的基础。六西格玛的项目改进都是基于顾客满意而展开的,其最终目标是增加市场份额以及提高收益。公司收益的增加会促使公司作进一步的项目改进,这种循环可称为“六西格玛项目改进循环”,如图9-10所示。

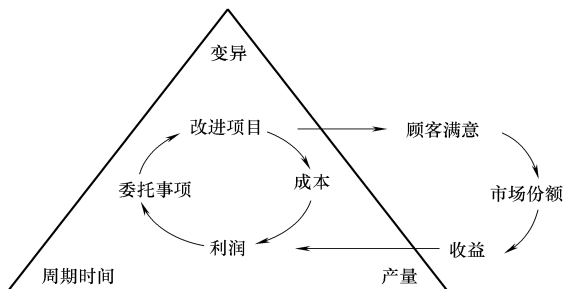


图 9-10 六西格玛项目改进循环

9.3.5 西格玛质量水平

西格玛(σ)是数理统计中的一个术语,即标准差。

其中, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$, 表征一组抽样样本数据的离散程度。

自然界中很多随机变量都服从或近似服从正态分布。产品在制造过程中最终参数的分布也是服从正态分布的,如图9-11所示。

规格限就是顾客对其所购买的产品或过程性能范围的公差要求,如图9-12所示。在此图中, LSL 表示公差的下限, USL 表示公差的上限, $Target$ 表示目标值。西格玛质量水平(也可称为西格玛水平)是从过程平均值(μ)到规格限的距离中所包含西格玛的倍数。

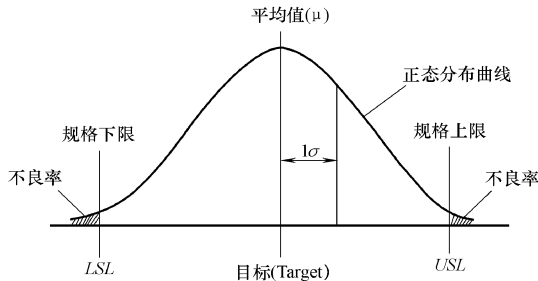


图 9-11 产品的正态分布曲线

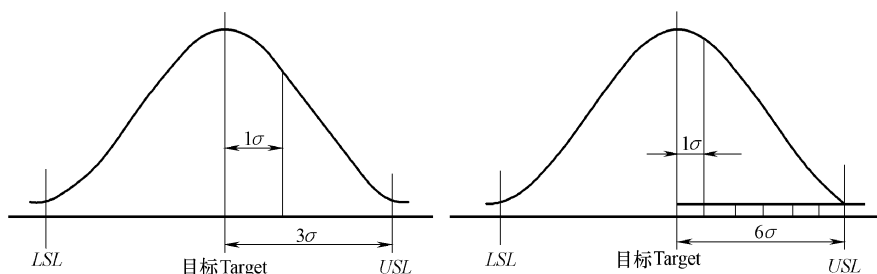
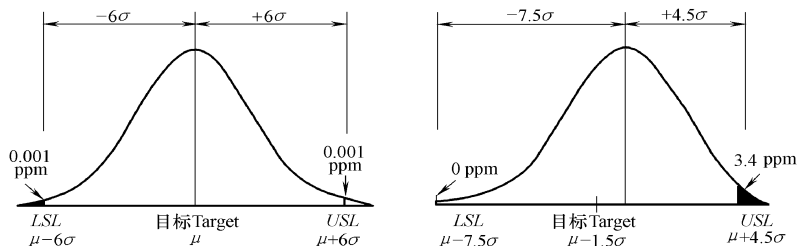


图 9-12 三西格玛和六西格玛质量水平

a) 3σ 时缺陷率为百万分之 66811 b) 6σ 时缺陷率为百万分之 3.4

在实际中，人们总是期望过程的平均值保持在目标值上。然而，在某一段时间内的过程平均值与另一段时间内的过程平均值由于各种原因存在着差异性，这就意味着过程均值在不断地围绕着目标值移动。为了表示过程均值所允许的最大移动，摩托罗拉公司将该移动值规定为 $\pm 1.5\sigma$ 。一般过程性能的西格玛水平都是在考虑过程均值已发生 $\pm 1.5\sigma$ 偏移量的前提下计算的，如图 9-13 所示。

图 9-13 在达到六西格玛水平时过程均值存在 1.5σ 的情形

在图 9-13 中，当过程达到六西格玛水平且过程均值相对目标值 (Target) 无偏移时，那么此时过程的缺陷率为百万分之 0.002 (即 0.002ppm)；如果过程均值相对目标值有 1.5σ 偏移时，则过程的缺陷率为 3.4×10^{-6} 。

对于产品的生产设备或过程而言，表述其生产具有一致性产品的能力水平通常用工程能力指数 (C_p 值) 来表示。其中， C_p 值也称短期过程能力， C_{pk} 值也称长期过程能力。

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} = \frac{(USL - LSL)}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$$

过程的能力指数就是产品的规格与过程的六倍标准差 (σ) 的比值。这一比值 (即 C_p 值) 预示着该过程产生缺陷的概率。

当过程具有不同的 C_p 值时其产生缺陷概率和坏质量成本是不同的, 见表 9-3 所示。

表 9-3 过程能力与缺陷概率的关系

σ 水平	C_p 值	C_{pk} 值	缺陷数 ($C_p, \times 10^{-6}$)	缺陷数 ($C_{pk}, \times 10^{-6}$)	劣质成本 (COPQ)
2	0.67	0.17	45500	308537	销售 30% ~ 40%
3	1	0.5	2700	66810	20% ~ 30%
4	1.33	0.83	63	6210	15 ~ 20%
5	1.67	1.17	0.57	233	10% ~ 15%
6	2	1.5	0.002	3.4	10% 以下

9.4 六西格玛方法

根据公司的具体情况, 六西格玛可以在公司的三个层面上操作, 这三个层面就是研究与设计、制造和事务, 它们所对应的六西格玛模型分别是为六西格玛设计 (DFSS)、六西格玛制造 (DMAIC) 和六西格玛事务 (TSS), 如图 9-14 所示。

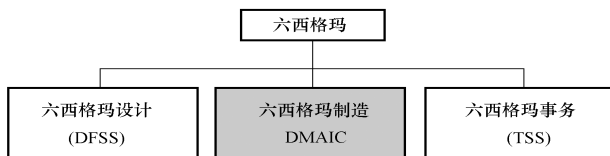


图 9-14 六西格玛模型

9.4.1 六西格玛设计

六西格玛设计 (DFSS) 是一个利用工具、培训和测量以在六西格玛质量水平上设计满足客户期望的产品和过程的系统化方法。DFSS 是通过以下几种框架进行部署和实施:

1) DMADV (Define-Measure-Analyze-Design-Verify), 即定义、测量、分析、设计和验证, 是摩托罗拉公司推荐的用于六西格玛设计的程序。其特点是最大限度地保持了与 DMAIC 程序的一致性。

2) IDOV (Identify-Design-Optimize-Validate), 即识别、设计、优化和确认。这是由 GE 公司推荐的程序。

3) DIDES (Define-Initiate-Design-Execute-Sustain), 即定义、发起、设计、实行和维持。这是由 Qualtec 咨询公司 (美国一家六西格玛咨询公司) 推荐的程序。

事务领域的六西格玛程序与制造或 R&D 领域的六西格玛程序有一些区别, Sung H. Park 推荐使用 DMARIC (Define-Measure-Analyze-Redesign-Implement-Control) 程序, 即定义、测量、分析、再设计、执行和控制。这里的“再设计”阶段的含义为对于事务 (如服务) 的工作系统进行再设计以改进事务的功能。

1. DMADV

六西格玛项目开始于建立一个项目章程。如果一个过程已经存在, 黑带需要对现有的过程确定是用 DMAIC 方法还是用 DFSS 方法进行改进。一个很好的方法就是直接地观察这一工序。如果没有过程存在, 考虑是否在别处存在着类似的过程; 如果存在, 则安排去观察它们, 也许在不同的地方存在子过程, 同时可以看到需要创造的部分。DFSS 的 DMADV 框架见表 9-4。

表 9-4 DFSS 的 DMADV 框架

定 义	定义设计活动的目标
测量	测量客户的输入, 以确定对于顾客什么是关键质量。当一个新的产品或服务被确定要设计时, 使用专门的方法
分析	分析产品和服务的创新概念, 以为客户创造价值
设计	设计新过程、产品和服务, 以提供客户价值
验证	确认新系统完成预期的情况。建立机制, 以保证持续优化性能

定义

在 DFSS 项目的定义阶段, 主要的任务是进行关键质量特性的识别, 即要交付以下内容:

- 1) CTQs 的明细表。
- 2) 识别“喜悦”(客户未意识到的 CTQs)。

测量

这个阶段就是要测量将要进行的项目 CTQs。从 DFSS 测量阶段要交付的内容是：

- 1) 对于新过程、产品的已验证数据。
- 2) 测量计划。

在定义阶段 CTQs 已经确定，但是它们是以客户声音（VOC）表达的。在测量阶段 CTQs，是在操作层面上加以定义。

这意味着团队为每个 CTQ 都要制定具体的指标，以有效地将它们转换为内部的要求，确定或创建数据的来源。当使用现有的数据时，一定要考虑数据的质量和范围的问题。也就是说，这些数据对于我们的目的适合吗？它们是准确和可靠的吗？它们能够覆盖一段时间的情况吗？等等。同时还要问：

- ①什么数据我们将需要但不存在？
- ②我们将如何收集它们？
- ③我们要求的样本大小是什么？
- ④对于这些数据合理的子群是什么？

由于顾客是你的重点，你需要确定如何测量顾客的满意度，还要调查和验证其结果。最后，应该编制一个收集数据的计划以验证测量系统的有效性。所有测量系统的一般属性应予以确认，如测量系统的准确性、重复性和再现性等。

分析

在分析阶段要选择一个所创造的高水平的设计概念。这个设计应能最好地满足 CTQs，为了达到这一目的，有必要将设计的某些特征与 CTQs 联系起来。

DFSS 在分析阶段采取的步骤是：

- 1) 选择一个有关需求的概念设计。
 - ①将 CTQs 映射到设计特征。
 - ②对于实现特征确定高水平的设计概念。
 - ③选择最佳概念。
- 2) 保证需求始终得到满足。
 - ①预测 CTQ 性能水平。
 - ②对比预测和需求。
 - ③修改设计概念。

设计

“设计”这一术语在 DMADV 中使用时更准确的称呼应称作“详细设计”，也正是在项目的这一阶段实际的产品或过程将被设计出来。DFSS 设计阶段的任务见表 9-5。

表 9-5 DFSS 阶段的任务

任务名称	资源名称	任务名称	资源名称
设计		从试验结果分析 CTQs	黑带,绿带
开发详细设计	过程专家,团队	修改设计直至试点的 CTQs 满足要求	过程专家,团队
预测 CTQs	黑带		
修改直至预测的 CTQs 满足要求	团队,过程专家	制定实施计划	团队,过程管理者,过程操作者
局部试点	过程管理者,过程操作者	FMEA	黑带,团队
		设计评审	发起者

验证

DMADV 的验证阶段与 DMAIC 的控制阶段非常相似。DMADV 验证阶段的任务见表 9-6。

表 9-6 DFSS 验证阶段的任务

任务名称	资源名称	任务名称	资源名称
制定控制计划	过程管理者	培训和移交给过程操作者	过程专家,过程操作者
实施 FMEA	过程管理者	使用控制计划监控过程	过程操作者,黑带
建立控制方法	过程管理者	项目评审	
确定数据收集工具	黑带	接受可交付物	发起者
过渡计划		横向展开	发起者,业务领导

2. IDOV

IDOV 的主要步骤如图 9-15 所示。要实施六西格玛有几个问题需要处理。也就是要顺利推行六西格玛，这些问题必须加以解决，其问题如下：

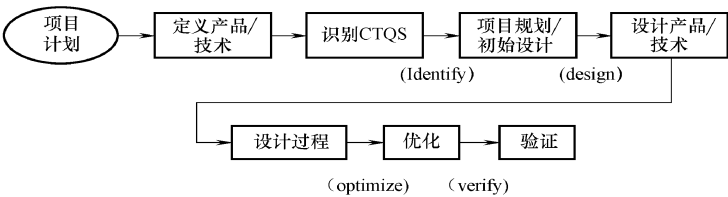


图 9-15 IDOV 步骤

1) 研究人员往往有抵制采用任何新的科学方法进入其研究活动的倾向。因此,在介绍了六西格玛进入其活动之前,应寻求他们的理解与合作。

2) 绿带或黑带的教育和培训是非常必要的,因为有许多科学的工具,如 QFD、DOE、仿真技术、鲁棒设计、回归分析等都可用于 R&D。

IDOV 的各个步骤可应用的主要方法如图 9-16 所示。

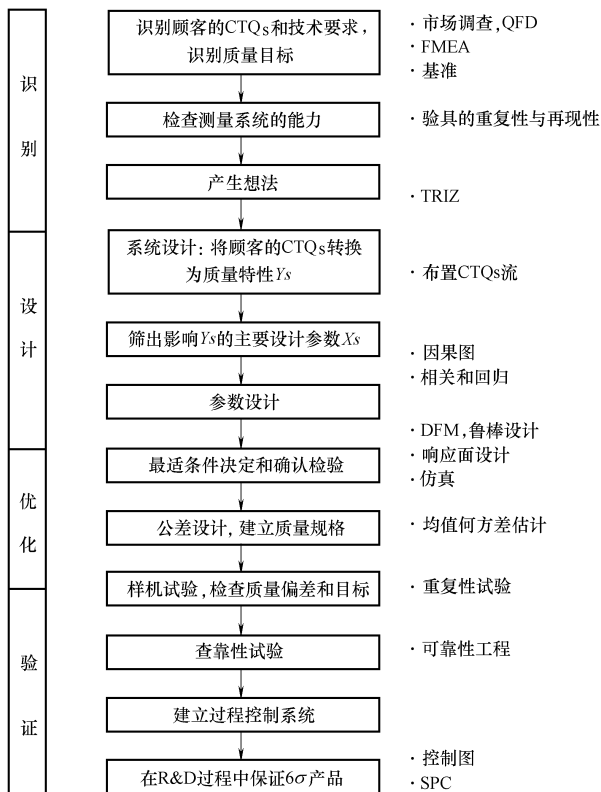


图 9-16 用于 IDOV 的方法

9.4.2 六西格玛制造

在六西格玛管理中,六西格玛制造 DMAIC 是针对现有过程进行改进的结构化的方法,如图 9-17 所示。DMAIC 作为一个突破的策略可用于改进变异、周期时间和产量等问题。

DMAIC 由 5 个阶段组成，其各阶段分别为定义（Define）、测量（Measure）、分析（Analyze）、改进（Improve）和控制（Control）。

1. 定义阶段（Define）

此阶段的目的是定义问题、识别需要改进过程的关键质量特性（Critical To Quality, CTQ）或关键过程特性（Critical To Process, CTP），并设定目标。在设定目标时，不仅要关注顾客的要求，也要关注世界级公司过程特性的基准。

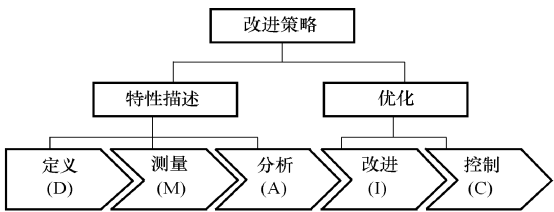


图 9-17 六西格玛改进策略

定义阶段的主要任务有：

- (1) 组建团队 团队宪章是团队、团队领导人、团队负责人、发起人和利益相关人之间建立对项目的明确理解，它包含一个文件化的业务案例、改进机会、目标、范围、时间期限和项目团队的成员。
- (2) 确定项目章程 见表 9-7。

表 9-7 团队宪章

(1) 业务状况 我们为什么要做此项目	(2) 机会陈述 我们正经历什么“痛苦” 问题出在哪里
(3) 目标陈述 我们要改善的范围和目标是什么	(4) 项目范围 我们有什么权利 我们关注的流程是什么 哪些不在范围之内
(5) 项目计划 我们怎样才能完成项目 我们什么时候能完成项目	(6) 团队选择 团队成员由哪些人组成 团队成员各自的职责是什么

(3) 进行 SIPOC 分析 分析 SIPOC（表示 Supply、Input、Process、Output 和 Customer）的目的是使相关者对现有流程有清晰的了解，以便发现问题或机会所处的位置。

绘制流程图是按自顶向下的次序逐级细化，最终结束于流程的功能展开图。

(4) 顾客声音（VOC）分析 在定义阶段，团队必须了解流程需要什么。这将包括倾听顾客的声音（VOC）和业务的声音（VOB），然后将它们转换成关

键质量特性（CTQ）和关键的流程特性（CTP）的测量指标，其关系如图 9-18 和图 9-19 所示。



图 9-18 由 VOC 到 CCR 再到 CTQ



图 9-19 由 VOB 到 CBR 再到 CTP

在定义阶段主要使用的工具有：帕雷托图、因果图、流程分析、直方图、柱形图、排列图、头脑风暴、时间序列图、质量成本分析和满意度调查等。

2. 测量阶段（Measure）

测量阶段的主要目的为确定过程的当前能力水平和界定问题范围。此阶段的任务就是选择过程输出及收集数据、测量系统分析以及确定当前过程的能力水平。

测量阶段主要使用的工具主要有流程图、因果图、帕累托图、FMEA、测量系统分析、正态性检验和过程的长期能力和短期能力等。

3. 分析阶段（Analyze）

分析阶段的主要目的为找出影响输出（ y ）的少数关键因素（ X_s ），即确定根原因和核心问题。该阶段的任务就是要识别自变量（ X_s ）以及分析变量来源。主要使用的工具有头脑风暴、相关和回归分析、方差分析（ANOVA）、区间估计、假设检验、试验设计、箱形图、散点图、帕雷托图、直方图、多变量图、QFD 和流程图等。

4. 改进阶段（Improve）

改进阶段的主要目的为拟定解决方案，评价改进结果是否满足要求（即解的评价）。此阶段的主要任务有三个方面，即建议解决方案、成本/收益分析和制订实施计划。主要使用工具有 DOE、方差分析（ANOVA）、正态分布、头脑风暴以及响应面法等。

5. 控制阶段（Control）

控制阶段的主要目标为保持改进成果，并使过程一直维持稳定的统计状态。该阶段的主要任务为对输入 X_s 建立控制标准和对输入 X_s 保持控制。控制阶段的主要工具有控制图、推移图、过程能力指数（ C_p ， C_{pk} ）以及统计过程控制（SPC）等。

六西格玛 DMAIC 模型的流程、各阶段的目标以及使用的主要工具分别如图 9-20 和图 9-21 所示。

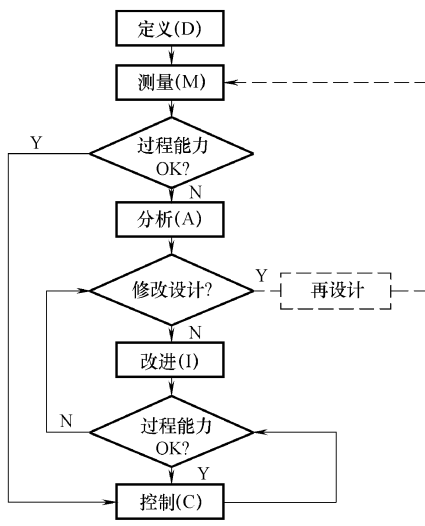


图 9-20 DMAIC 过程流程图

方法流程	阶段目标	主要工具
定义 (Define)	· CTQs · CTPs · 设定目标	· 帕雷托图 · 因果图 · 流程分析 · 直方图 · 柱形图 · 排列图 · 头脑风暴 · 质量成本分析 · 和满意度调查等
测量 (Measure)	· 当前能力水平 · 界定问题范围 (收集数据和信息)	· 流程图 · 因果图 · 帕累托图 · FMEA · 过程长期能力 · 短期能力等 · 正态性检验 · 测量系统分析
分析 (Analyze)	· 找出影响输出Y_s 的关键少数输入X_s	· 头脑风暴 · 帕雷托图 · 散点图 · 箱形图 · 直方图 · 方差分析 · 假设检验 · 相关和回归分析等
改进 (Improve)	· 制定解决方案 · 评价是否满足目标	· 头脑风暴 · DOE · 方差分析 · 正态分布 · 响应面法等
控制 (Control)	· 保持改进成果 · 维持过程稳定	· 控制图 · 推移图 · 过程能力指数 · 统计过程控制 (SPC)等

图 9-21 六西格玛各阶段目标和使用的主要工具

参 考 文 献

- [1] 托马斯·麦卡蒂, 洛兰·丹尼尔, 迈克尔·布雷诺, 等. 六西格玛黑带手册 [M]. 郑伟, 刘浩, 陈庆波, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [2] Sung H Park. Six Sigma for Quality and Productivity Promotion [M]. Tokyo: Published by the Asian Productivity Organization, 2003.
- [3] 苏秦. 现代质量管理学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 弗兰克·M·格里纳. 质量策划与分析 [M]. 何祯, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.
- [5] 管平生, SPC 统计制程管制 [M]. 厦门: 厦门大学出版, 2004.
- [6] 张根保, 何祯, 刘英. 质量管理与可靠性 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006.
- [7] 约瑟夫·M·朱兰, 等. 朱兰质量手册 [M]. 5 版. 北京: 中国人民大学出版社, 2003.
- [8] Kuo liang li. critical success factors of six sigma implementation and the impact on operations performance [D]. Cleveland: Cleveland and State University, 2002.
- [9] Thomas Pyzdek. The Six Sigma Handbook [M]. New York: McGraw-Hill Companies, 2003.
- [10] Dean H Stamatis. Six Sigma Fundamentals: A Complete Guide to the System, Methods and Tools [M]. New York: Productivity Press, 2004.

第 10 章 功能设计

10.1 概述

在工程设计领域，功能设计指的是对产品功能的创造性设计。功能设计起源于 1947 年，美国工程师麦尔斯（L. D. Miles）在进行价值工程研究中得出一个结论：“顾客购买的不是产品本身，而是产品所具有的功能”。从那时起，“功能”思想成为设计理论与方法最重要的概念。

伴随着人类生存能力增强，生产领域扩展，社会生产力逐渐提高，人类需求的质量、数量及对产品实现形式均在不断变化。原先需求所产生的功能单一产品已不能满足人类发展中新的需求，迫使企业不得不根据需求变化及实现的可能，增加产品的辅助功能，改变其实现形式。即从历史的观点看，产品处于进化之中。例如，从 1877 年爱迪生发明留声机将美好的音乐和歌声挽留、储存和再现，到在 1935 年柏林的收音机展览会上，录音电话和磁带首次被展示，并产生了“声音储存”媒介；从 1979 年 7 月面市的史上首台随身听——索尼 TPS-L2，产生 WALKMAN 的概念，到 D-50 这款携带式 CD 随身听，也即是后来的 Discman；从 1992 年诞生最早的 MD 录放和单放 MZ-1、MZ-2P，到 1998 年 8 月由韩国世韩（SEAHAN）公司推出世界上第一台 MP3 播放器 MP MAN、MPF-10，奠定了现代音声讯产品功能方面的发展基础。

功能设计是产品设计的重要阶段。功能设计法内容丰富，具体实施步骤并无统一模式，因为作为一种创新活动，设计工作不可能用统一的模式来框定。尽管如此，帕尔（G·Pahl）和拜茨（W·Beitz）在《工程设计学》一书中提出的功能分析方法目前仍是设计界公认的较有成效的方法之一。该方法的一般步骤可以归纳为：根据用户需求确定产品的总功能，并将总功能分解为分功能及功能元，功能与能量、物料、信号三种流组成的网络结构即为待设计产品的功能结构；确定每个功能元的原理解，并将所有功能元的原理解合成得到待设计产品的原理解。

在当今国际化的竞争环境下，产品创新设计是提高一个国家产业优势和竞争力的基础。产品创新首先是原理方案的创新，功能设计是实现产品原理方案创新的有效方法和途径。

10.2 功能

10.2.1 功能的内涵

《辞海》中对“功能”的解释是：“一为事功和能力，二为功效、作用”。德国工程师协会有关设计方法学的指导性文件 VDL 2222 对功能的定义为“一个系统为完成某项任务，而对输入、输出和状态参数之间的一般关系的抽象”。从狭义功能来理解，功能就是指产品的用途，即产品的实用性。它既包括产品的总体功能，又包括组成产品各部分特定功能的有机组合。

功能主要体现在四个方面：

(1) 实用功能 即是通过将设计思想转化为设计物，以满足人的种种物质需要，重在体现产品的实用价值。

(2) 认知功能 即通过视觉、触觉、听觉等感觉器官接受来自产品的各种信息刺激，形成整体认知，从而产生相应的概念。

(3) 象征功能 象征功能传达出设计物“意味着什么”的信息内涵，如：一辆汽车的豪华程度，不仅表现了它在实用功能方面的进步和完善，同时，还是汽车使用者经济地位和社会地位的象征。

(4) 审美功能 即产品内在和外在形式唤起的人的审美感受，以满足人的审美需求，体现了产品与人之间的精神关系。产品在使用过程中是否能唤起人的美感，是判断其是否具有审美功能的依据。

对某一产品而言，实用功能、认知功能和审美功能互相渗透、互相联系，而不能截然割裂；由于产品实用目的的差异，它们凝聚于设计中的比例会有所不同，如对于商品包装来说，轿车的认知功能和审美功能比卡车显得更为重要，这种比例的大小，并不表示次要地位的功能可有可无，而仅仅是显示了相对于其他功能的次要地位。

功能是产品与使用者之间最基本的一个关系。每一件产品均具有不同的功能，人们在使用一件产品的过程中，是经由功能获得需求的满足。

10.2.2 功能表示

功能表示的目的在于为功能的描述和处理提供语义和语法支持。功能表达方式基本上可以分为三类：

- 1) 输入输出流变化 (IOFT, input and output flow transformation)。
- 2) 输入输出状态变化 (IOST, input and output state transformation)。
- 3) “动词 + 名词” (VNP, verb-noun pair)。

其中, IOFT 和 IOST 表达方式比较复杂, 不适合于作为原理解的索引; VNP 表达方式符合设计人员的表达习惯。

以“动词+名词”的方式表达功能时, 动词为一主动动词 (active verb), 表示产品所完成的一个操作, 名词 (measurable noun) 代表被操作的对象, 是可测量的。例如产生力、分离混合物、降低温度等。

10.2.3 功能的分类

1. 按功能的重要程度划分

按照功能的重要程度来划分, 可以把产品的功能分为基本功能和辅助功能。基本功能指的是设计对象最主要的功能, 也是用户最关心的功能。无论产品的附加功能怎样扩充, 都不能替代其基本功能。

例如, 导航系统 GPS 在信息化时代里已摆脱其单一的功能, 向多功能进化。但是无论怎样进行功能上的叠加, 都不可能抹煞其作为 GPS 最基本的功能——定位和导航。

2. 按功能的性质划分

产品功能除了满足人的使用需求外, 还可能满足人的精神需要。所以从功能的性质角度, 可分为物质功能和精神功能。一般而言, 物质功能指产品的实际使用功能、材质功能, 以及产品的适用性、可靠性、安全性和维修性等客观性功能。精神功能则是指产品的外观造型给人的审美感受和产品的物质功能本身所表现出的审美反馈。例如, 审美、象征、教育等心灵感受。产品不仅要满足用户的物质功能要求, 还要切实考虑精神功能的体现, 达到理性和感性的和谐统一。

3. 按用户需求划分

从用户需求来划分, 可以把产品功能分为必要功能和不必要功能。必要功能属于用户实用性功能, 这种功能必须满足用户需求, 并被用户所承认。产品的功能不能满足用户需求, 就属于功能不足; 但如果反过来说, 有些产品的功能超过了用户需求范围, 则是不必要功能。

4. 按功能实现的手段划分

在数字化、虚拟化的今天, 现代设计领域越来越宽泛。除了我们熟知的产品设计、室内设计、服装设计、平面设计等常见领域之外, 还出现了软件设计、电路设计等新设计范畴。它们都有其特定的功能因素。因此, 按功能实现的手段来划分, 可以把功能划分为硬功能和软功能。硬功能指真实存在的实体功能, 而软功能是一种没有固定体态的软件功能, 其存在方式不是现实存在的直观事物, 而是虚拟化的、数据化的预先设定。

10.3 功能结构

功能是从技术实现的角度对待设计系统的一种理解，是设计中的一个重要方面。从系统的观点出发，可将系统的功能分为总功能和分功能。产品的总功能是指待设计产品或系统总的输入/输出关系。输入/输出的实体称为流。经过高层次的抽象，流分为物质流、能量流和信号流。输入/输出之间的转换可实现设计任务（功能），图 10-1 为系统功能示意图。

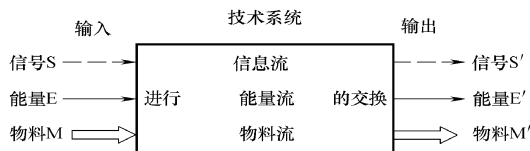


图 10-1 系统功能示意图

一般总功能不易实现，须通过功能分解建立功能结构。功能结构的建立是概念设计过程中最初的也是最重要的一步，是通过用户需求分析确定总功能，并将其分解为子功能，直到功能元的过程，如图 10-2 所示。

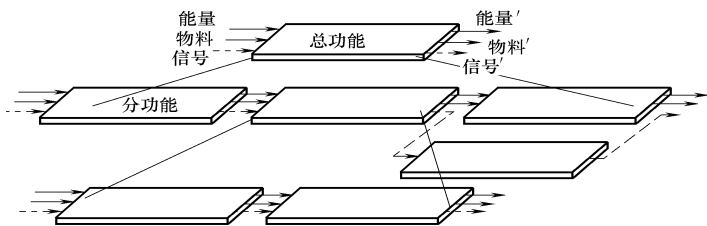


图 10-2 功能结构

功能结构是产品设计知识、设计意图的最直接表达，在产品设计和分析中具有重要的作用。其重要性主要体现在以下几个方面：

- 1) 功能结构将设计问题模块化、结构化，从而使设计问题转变为一系列容易求解的子问题。
- 2) 功能结构将设计信息在功能层次上得到抽象描述，从而使产品的概念设计活动更侧重于功能要求的满足，可以实现对产品更本质的分析和评价。
- 3) 功能结构将一个总体需求功能逐步地细化、具体化，从而可以建立各个子功能之间的关系。
- 4) 功能结构为后续的分析推理提供了基础，如行为仿真、设计评价、决策、修改等。
- 5) 功能结构作为下游设计活动的重要参考模型，为面向功能的产品设计过

程提供了基础。

6) 实现同一总功能的功能模型可能有多种, 对总功能的分解方式和分解深度的不同、子功能间连接形式和顺序的不同等均会产生不同的功能结构, 通过对功能结构的改变, 往往可以实现产品设计过程的创新和设计方案的优化。

功能结构的建立过程就是功能分解, 是通过分解来获得对所设计产品的清晰认识, 其本身是一个逻辑推理过程。实际的功能分解过程具有如下四个特征:

1) 功能结构是客观存在的, 只不过分解时还不被知道而已, 功能分解就是寻找和确定已存在的子功能。

2) 功能总是以流的存在为前提, 没有功能对象的存在, 功能也就没有意义。

3) 下层功能的组合实现上层功能要求, 上下层功能间具有一种因果关系, 上层功能限定了分解方向。

4) 一个功能的子功能间要么是因果关系, 要么是逻辑关系, 它显示了分解方式。

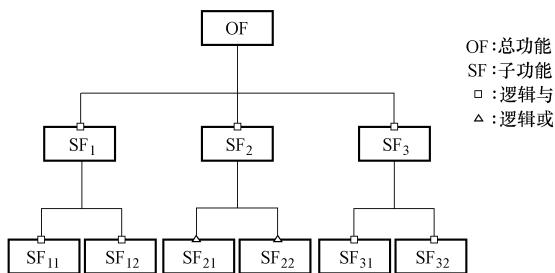


图 10-3 功能树

功能结构由功能树和功能链组成, 如图 10-3 和图 10-4 所示。在功能树中, 子功能间以逻辑与和逻辑或的关系联接, 描述子功能之间的纵向层次关系以揭示每一层的设计目的。在功能链中, 子功能间以串联、并联、环形和控制的关系联接, 描述功能树中同一层子功能之间的相互作用关系以揭示子功能间物理和逻辑组合的可能性。

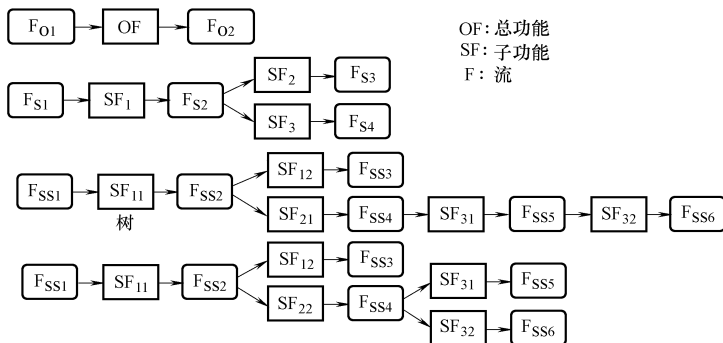


图 10-4 功能链

建立功能结构是使系统从抽象走向具体的重要环节之一，明确了实现系统的总功能所需的分功能、功能元及其顺序关系。建立功能结构实际上是对功能进行定义、整理和评估的过程。通过功能定义和功能整理，从定性的角度回答“对象有哪些功能”和“这些功能处于什么地位”的问题；通过功能评估，从定量的角度回答“对象的必要功能是多少”的问题。

功能定义，就是把设计对象所要求的功能进行抽象的描述，逐一下定义，把产品的物理特性分解、组合，逐项转换成各功能特征，以明确产品的本质，明确用户要求的功能，便于确定功能结构，便于进行功能评价。

功能定义的步骤如下：

- 1) 要明确产品的目的，也就是用户的基本需求，这是功能定义的前提。
- 2) 明确产品的整体功能，即产品的最基本功能，并且注意区别它与产品目的之间的差异。
- 3) 在功能整体定义的基础上，由上而下、由主到次地逐级为产品的各构成要素明确功能定义。
- 4) 找出那些受使用条件、使用时间、使用环境等限制而派生的次要功能。

功能整理是用系统的观点将已经定义了的功能加以系统化，找出各局部功能之间的层次和归属关系，搞清它们是如何组成与产品结构相应的体系来实现产品的总功能，进而整理出一个与产品结构（或要素）相应的功能系统来，并用图表形式表达，为功能评价和构思方案提供依据。通过功能整理可以确认必要功能，掌握功能区域，完善功能定义，明确设计构思。

功能整理的基本方法是运用 FAST 法（即功能分析系统技术）来绘制功能系统图。功能系统图由明确了相互关系的功能有规律地排列而成，它能清楚地反映出产品的设计构思和功能之间的逻辑关系，是产品的功能图样。

1) 编制功能卡片。将对象及其组成要素的所有功能定义一一编制成卡片，每张卡片记载一个功能。

2) 选出基本功能。先挑选出最基本的功能，也就是最上位功能，作为排列功能系统的基本起点。

3) 明确各功能之间的关系。随意抽取一张卡片，逐一提问“这个功能的目的是什么？”“实现它的手段是什么？”从而找出它的目的功能（即上位功能）和手段功能（即下位功能）。

通过功能定义和功能整理对功能进行定性分析之后，可利用功能系统图作为工具，依据目的手段的逻辑关系，逐级测算、分析，定出各级功能程度的数量指标。功能的数量指标有两类：一是对象现有的功能水平；二是对象应有的功能水平。

总体功能的量化应以使用者的合理要求为出发点，以一定的手段、方法，确

定其必要功能的数量标准,能在质和量两方面充分满足某些特定使用者(如细分市场用户等)的功能要求(包括合理的安全系统),而无过剩或不足。

依据“手段功能必须满足目的功能的要求”这一原则,运用目的-手段的逻辑判断,由上而下逐级推算、测定各级手段功能的数量标准,确保手段功能既充分又必要;同时还应注意各手段功能之间横向的动态平衡和合理匹配。

基于上述功能定义、整理和评估过程,建立功能结构的步骤如下:

1) 确定系统的总功能及输入、输出流。

功能是从技术实现的角度对待设计系统的一种理解,是系统或子系统输入、输出间流的类型、参数和状态变化的一种抽象描述。总功能就是用框图表示的能量流、物料流和信息流在通过技术系统时,输入和输出的转换。设计者从设计的需求出发,通过对设计需求的分析与总结,建立产品的需求模型。从需求模型出发,利用“黑箱法”抽象出此产品的总功能。

2) 将总功能逐级分解为子功能,建立功能树。

功能分解是在功能表达的基础上,应用逻辑分解的原理对产品的总功能进行逐级分解,使其得到合适的若干子功能,然后再对子功能进行进一步分解直到分解到简单的功能元。把分解的过程用树形结构表达出来,就得到了产品功能分解树。

3) 依据输入/输出流建立功能链。

考虑从输入到输出或到转换处对流的每个操作,按转换发生的顺序排列各功能元,依据输入/输出流建立功能链。

4) 基于上述功能树和功能链构建功能模型。

在实际设计过程中,由设计的需求模型出发可以抽象出产品的总功能。如何对系统的总功能进行分解,以及分解到何种程度为止,是一个复杂的问题。取决于问题的具体情况、复杂程度、设计者的经验和设计目的等多方面的因素。

功能到底分解到什么程度才不可再分,这是功能粒度问题,也是功能分解中较难把握的一个问题。通常情况下,系统的功能可分解为总功能、分功能、功能元三个层次。习惯上把功能层次中处于最低层的不可再分解或者不宜再分解的子功能称为功能元,即可以直接求解的功能单元。各个分功能或功能元的划分及其排列以一定的效应作为理论依据,加之设计者的经验,来确保设计过程中各个子功能和功能元在求解过程中有明确的解。如果一个子功能的实现,可以找到确定的效应和相应的物理结构,那么这个子功能就可以作为功能元,否则,需要继续分解。

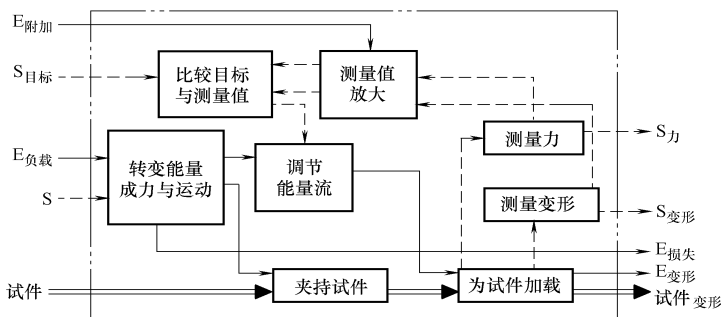
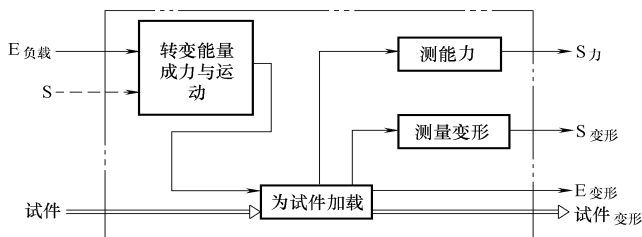
功能树和功能链根据已有信息和相关知识按因果关系链推理可能的功能分解路线,其对功能建模支持的关键在于为创造性思维提供环境和条件,功能建模的自动化很难实现,通常是以人机交互的方式来完成。功能设计一方面是对设计问

题认识的深化,另一方面其结果确定了设计的具体目标。在功能认识的基础上,接下来的任务就是寻求实现产品功能的设计方案。

图 10-5 ~ 图 10-7 是以拉伸实验装置为例建立功能模型的过程。图 10-5 是该装置的总功能,方框中的拉伸试件是对总功能的一种描述,其中拉伸是要进行的操作或处理,试件是操作或处理的对象。



描述总功能输入的能量、物料、信号分别是克服负载的能量、试件及控制信号。描述总功能输出的能量、物料及信号分别是试件的变形能、已变形的试件、检测到的试件受力及试件变形量。图 10-5 所示的总功能处于该装置最高层抽象,很难实现,需要进一步将其分解为较容易实现的分功能。图 10-6 是将总功能分解为 4 个分功能的模型。图 10-7 是将分功能继续分解为功能元后的模型,即功能结构。图 10-7 所示的功能结构中有 8 个功能元,每个功能元与已有部件或子系统对应,或较容易实现。因此,功能结构的建立提供了一种分别处理功能元的具体方法,使抽象的、复杂的设计问题能够实现。



10.4 功能求解与合成

功能元求解有如下 3 类方法：

1) 传统方法：文献检索法、自然系统分析法、已有技术系统的分析法、类比法、模型实验法等。

2) 基于直觉的方法：头脑风暴法、635 法、展示法、Delphi 法、共同研讨法、组合法等。

3) 推论法：物理过程的系统化研究、基于分类的系统化寻找、设计目录的应用等。

效应与产品之间存在关联性，可用于功能设计中原理的确定。通过设计目录、功能量矩阵等工具在效应知识库中进行效应的查找和组合，获得满足产品功能的原理解，统称为基于效应的功能设计。效应是发明问题解决理论（Theory of inventive problem solving, TRIZ）中一种基于知识的工具。TRIZ 将专利作为效应知识库中效应的主要信息源，通过专利分析，效应确定了专利中产品的功能与实现该功能的科学原理之间的相关性，将物理、化学等科学原理与其工程应用有机结合在一起，从本质上解释了功能实现的科学依据，有利于高级别创新解的产生。对于给定的功能，依据功能与效应、效应与结构之间的相关性进行功能求解。

确定了各功能元的解之后，通过合成确定系统原理解。表 10-1 是确定系统原理解的形态学矩阵法。

表 10-1 形态学矩阵

解		1	2	...	J	...	M
功能元	1	F1	S11	S12	S1j		S1m
	2	F2	S21	S22	S2j		S2m
	⋮						
	i	Fi	Si1	Si2	Sij		Sim
	⋮						
	N	Fn	Sn1	Sn2	Snj		Snm
			Ξ				Ψ

$$\text{原理解 } \Xi = S_{11} + S_{22} + \cdots + S_{n1}$$

$$\text{原理解 } \Psi = S_{11} + S_{2j} + \cdots + S_{nm}$$

表 10-1 给出了 2 个系统原理解 Ξ 与 Ψ 的合成过程。通过形态学矩阵将不同功能的不同解匹配可得到多个系统原理解。

10.5 方案评价

多方案选优指由 m 个方案 n 个准则的群体决策中, 需给出衡量群体决策者意见一致性的指标, 并以此指标解决在群体中寻求一致性意见的问题。

在产品定义和阐明任务阶段, 由下达任务的部门对产品以必达要求和愿望的方式提出各种要求, 即编写出要求表, 为便于后来的方案评价, 将提出的要求归为两类: 一是目标类要求, 即新产品需实现的功能目标; 二是约束类要求, 即产品实现其功能时在某方面的限制或约束。评价指标的权值选择一般受人的主观因素影响很大, 它不但与专业知识知识有关, 还需要丰富的实践经验, 全面衡量各项目标进行综合评价, 才能得到正确的方案选择。

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美国匹兹堡大学 Saaty 教授提出的一种系统分析方法, 它是定性分析和定量分析相结合的系统分析方法。AHP 被用来解决许多领域的多目标决策问题和冲突解决问题, 这些应用证明 AHP 是方案评价的有力方法。

AHP 方法的一个关键步骤是根据某种判别标度构造一个具有满意一致性的判断矩阵 $\mathbf{P}$, 则 $\mathbf{P}$ 的最大特征值对应的特征向量 $\boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$ 就是 m 个方案的重要性排序向量, 其分量 ω_i 就是第 i 个方案的重要性权值。

AHP 中采用了 1~9 比例标度对两两元素之间的重要程度赋值, 表 10-2 列出了 1~9 标度的含义。

表 10-2 1~9 标度的含义

标 度	含 义
1	两个元素具有同样的重要性
3	前者比后者稍重要
5	前者比后者明显重要
7	前者比后者强烈重要
9	前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
倒数	如元素 x_i 与元素 x_j 的重要性之比为 c_{ij} , 则元素 x_j 与元素 x_i 的重要性之比为 $c_{ji} = 1/c_{ij}$

例如, 如果认为元素 x_i 比元素 x_j 明显重要, 则它们的重要性之比的标度应取 5, 而元素 x_j 与元素 x_i 的重要性之比的标度应取 1/5。这样相对于某个准则, m 个比较元素将构成一个两两比较的比较矩阵

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1j} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2j} & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \cdots & c_{ij} & \cdots & c_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mj} & \cdots & c_{mm} \end{bmatrix} \quad (10-1)$$

其中, c_{ij} 是元素 x_i 与 x_j 相对于某个准则的重要性的比例标度。

显然比较矩阵具有下述性质:

$$c_{ij} > 0 \quad c_{ji} = 1/c_{ij} \quad c_{ii} = 1$$

矩阵 C 被称为正互反矩阵, 这样, 在计算过程中只需要给出其上 (或下) 三角的 $m(m-1)/2$ 个元素就可以了。也就是说只需要做 $m(m-1)/2$ 个判断即可。

在特殊情况下, 比较矩阵 C 的元素具有传递性, 即满足等式:

$$c_{ij} \cdot c_{jk} = c_{ik} \quad (10-2)$$

例如, 当元素 x_i 与 x_j 相比的重要性比例标度为 2, 而 x_j 与 x_k 的重要性比例标度为 4, 如果 x_i 与 x_k 的重要性比例标度为 8, 则它们之间的关系就满足式 (10-2)。当式 (10-2) 对 C 的所有元素均成立时, 比较矩阵称为一致性矩阵。但一般并不要求比较矩阵满足这种传递性和一致性。这是由客观事物的复杂性与认识的多样性所决定的。

对于某个准则的比较矩阵, 要求出 m 个元素对于该准则的相对权重 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$, 写成向量形式 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m]^T$ 。权重的计算方法有求和法、求根法、特征根法、对数最小二乘法 and 最小二乘法等。用求和法计算权重的步骤如下:

- 1) 将矩阵元素按列归一化。
- 2) 将归一化后的各列相加。
- 3) 将相加后的向量除以 m 即得到权重向量 ω 。

$$\omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{c_{11}}{\sum_{i=1}^m c_{i1}} + \frac{c_{12}}{\sum_{i=1}^m c_{i2}} + \cdots + \frac{c_{1m}}{\sum_{i=1}^m c_{im}}}{m} \\ \frac{c_{21}}{\sum_{i=1}^m c_{i1}} + \frac{c_{22}}{\sum_{i=1}^m c_{i2}} + \cdots + \frac{c_{2m}}{\sum_{i=1}^m c_{im}}}{m} \\ \vdots \\ \frac{c_{m1}}{\sum_{i=1}^m c_{i1}} + \frac{c_{m2}}{\sum_{i=1}^m c_{i2}} + \cdots + \frac{c_{mm}}{\sum_{i=1}^m c_{im}}}{m} \end{bmatrix} \quad (10-3)$$

多方案解的数目一般较大，其中有很多是理论上可以设想但实际上不可加工的，应尽可能早地缩减其数目。因此，最终的方案评价只是对那些经过筛选得到的、较为合理的设计方案进行的。根据已确定出各评价因素的权值，建立的方案评价表，按照表中权重及标准化数据确定产品最终原理解。

10.6 工程实例

10.6.1 中药搓丸机改进设计

中药中的丸剂有水丸、蜜丸、糊丸、蜡丸、浓缩丸等。由于中药特殊的加工工艺，浓缩丸的制备不能使用西药的通用加工设备实现。目前浓缩丸的制备普遍采用塑制法，其工作原理为将混合均匀的药料投入到药斗内，通过进药腔的压药翻板，在螺旋推进器的挤压下推出多条相同直径的药条。在自控导轮的控制下同步进入制丸刀后，连续制成大小均匀的药丸。其原理图如图 10-8a 所示，图 10-8b 为制丸机构示意图。该设备具有以下缺点：搓出的丸表面粗糙，圆整度差，丸重差异大，因而只能是中间丸型，然后还需要补重，例如搓制后 17g/百粒，还需补重至 21g/百粒。然后再经过选丸、干燥、过筛、上光、包衣等工序后方可最后成型。在此过程中，药丸需经过反复搬运，劳动强度大，而且增加了药物污染的可能性，质量不稳定。

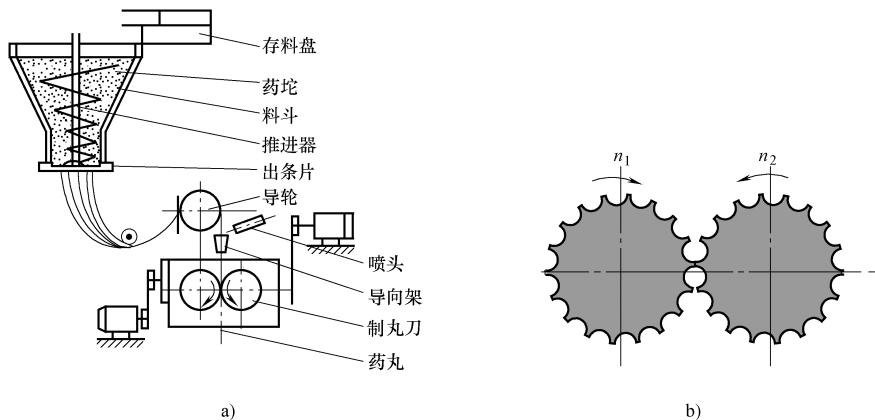


图 10-8 中药制丸原理

a) 工作原理图 b) 制丸机构示意图

获取用户需求信息，对原始的用户需求进行分类、整理和分析，形成系统的、有层次有条理的用户需求表，并用加权来表示用户需求的相对重要性，见表 10-3。

表 10-3 中药制丸机械用户需求竞争能力表

用户要求	用户要求权重	市场竞争能力		
		改进前	改进后	国内同类产品
1 故障率低	4.2	4.2	4.3	4.1
2 丸圆整度高	4.2	3.7	4.3	4
3 丸重差异小	4.2	4.3	4.3	4.2
4 丸表面光亮	4.6	4.3	4.7	4.2
5 丸粒坚实	4	3.7	4.1	3.9
6 提高生产效率	4.5	3.2	4.5	3.5
7 自动化程度高	4.3	4.0	4.4	4.1
8 连续生产	4.7	3.0	4.7	3.0
9 投料一次成丸	4.9	4.8	4.9	4.2
10 缩短工艺流程	4.5	4.0	4.6	3.7
11 工艺复杂度低	4	3.2	4.2	3.1
12 符合 GMP 标准	4.6	4.3	4.6	4.3
13 操作维护简便,易拆卸、清洗	3.8	4.0	3.9	3.8
市场竞争能力指数		0.78	0.89	0.77

基于中药制丸机械用户需求竞争能力表,确定设计要求为:投料后一次成丸、缩短工艺流程、连续制丸,丸型圆整,光滑,均匀,无需筛选,丸剂经干燥灭菌即可包装。

1. 功能结构的建立

图 10-9 是中药搓丸机的总功能模型。通过将总功能分解为分功能(图 10-10),最终得到的功能结构如图 10-11 所示。

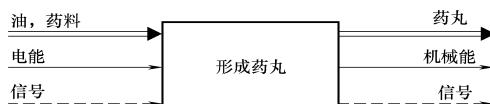


图 10-9 中药搓丸机的总功能

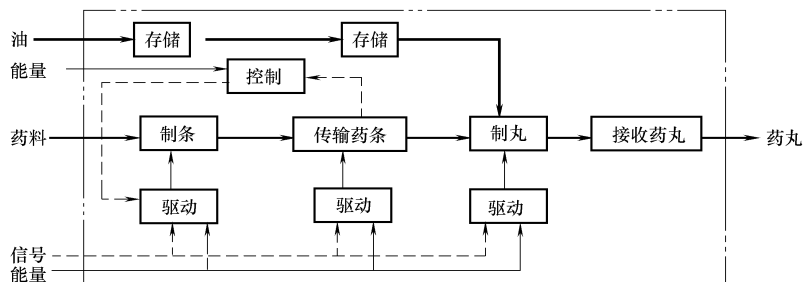


图 10-10 分功能示意图

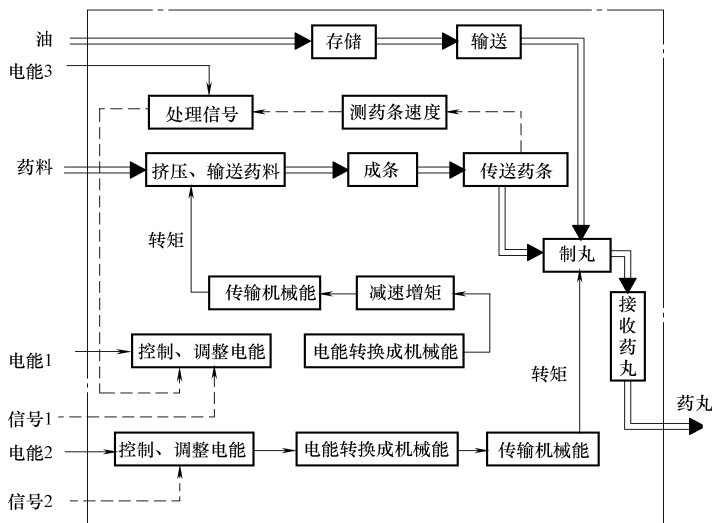


图 10-11 中药搓丸机的功能结构

2. 寻求各分功能的解

在图 10-11 的功能结构中，除了制丸功能以外的其他功能，例如挤压输送药料、成条、传输药条、接收药丸、存储油、输送油等功能，均可以用已有设备中的结构来实现。对于制丸功能，现有结构不能满足投料后一次成丸、缩短工艺流程、连续制丸的要求。因此需要对制丸功能寻求新的作用原理。

图 10-8b 所示的制丸原理，制出的药丸圆度和光亮度差，药丸制出后，还需

进行滚制。若在此基础之上将其与滚圆结构结合,形成搓丸滚圆结构,则可实现一次成丸。图 10-12 所示制丸原理采用两搓辊外啮合,若将两搓辊构成内啮合的搓丸结构,其重合度比外啮合的要大,同样条件下,药丸搓的时间要长,成丸效果要好,其结构示意图如图 10-13 所示。图 10-14 给出另一种制丸原理,三辊制丸结构。丸在螺旋搓辊的支撑和推动作用下向前滚动,辊 3 为托辊,起托住药丸的作用。该结果同样可以实现一次成丸。方案汇总表见表 10-4。

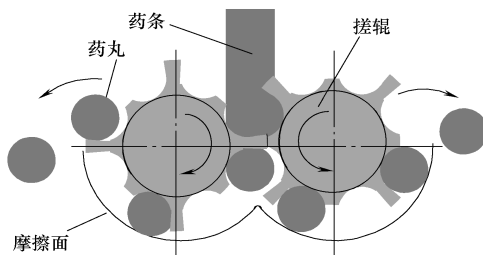


图 10-12 搓丸滚圆结构

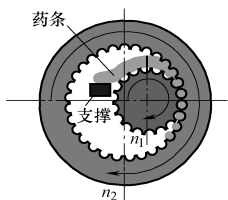


图 10-13 内啮合搓丸结构示意图

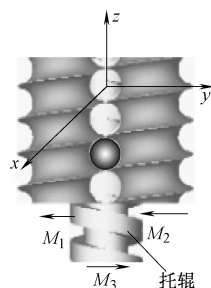


图 10-14 三辊制丸结构示意图

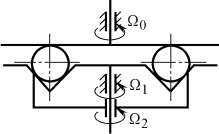
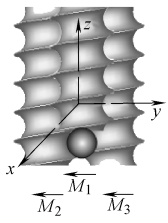
表 10-4 方案的总汇总表

制丸机构原方案	示意简图	改进后结构方案	示意简图
搓丸机构		制丸机分割结构	
		内啮合搓齿丸结构	
		搓辊材料的改变	
		用电磁力压丸	
		搓滚结构	

(续)

制丸机构原方案	示意简图	改进后结构方案	示意简图
对辊造粒		气体或液体压制	
挤出滚圆制丸结构		三辊制丸结构	
		不同直径搓辊	
三辊制丸结构		小托辊制丸结构	
		气体托丸搓丸结构	
		内啮合制丸	

(续)

制丸机构原方案	示意简图	改进后结构方案	示意简图
同轴三盘研磨		三同旋向螺旋 辊搓丸	

3. 方案评价

针对上面提出的制丸方案，应用层次分析法对其进行评价，选出最优方案。

(1) 建立递阶层次结构模型 将问题中所包含的因素划分不同的层次，用框图形式说明层次的递阶层次结构与因素的从属关系。中药机械制丸结构的层次结构如图 10-15 所示。

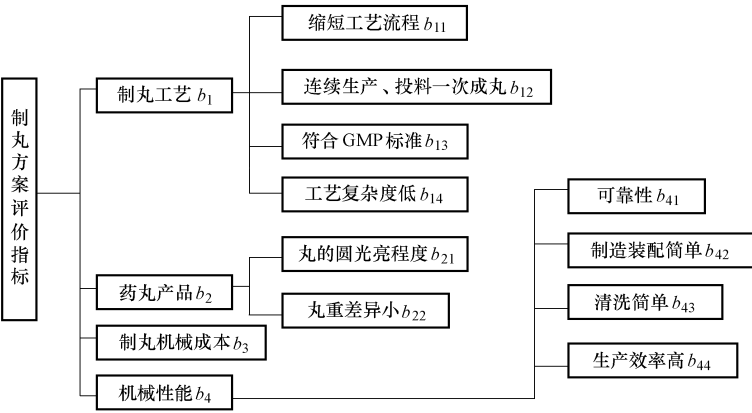


图 10-15 制丸结构的层次结构

(2) 建立判断矩阵 在图 10-15 所示的模型中，用层次分析法表示各因素对方案决策影响，可将各层因素两两进行比较，对重要性给出比较判断，将这些判断通过引入合适的标度用数值表示出来，构成比较矩阵，再通过计算将各因素的影响程度量化，见表 10-5 ~ 表 10-8 所示。从以下各表中，能得到各评价因素的权值，这些权值将应用在方案评价矩阵中。

表 10-5 下层权值计算

a	b_1	b_2	b_3	b_4	几何平均值	权值
b_1	1	2	8	3	2.632148	0.50
b_2	0.5	1	4	2	1.414214	0.28
b_3	0.125	0.25	1	0.5	0.353553	0.04
b_4	0.333	0.5	2	1	0.759836	0.18

表 10-6 下层总排序权值计算（一）

b_1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	几何平均值	权值	总权值
b_{11}	1	1	4	4	2	0.4	0.2
b_{12}	1	1	4	4	2	0.4	0.2
b_{13}	0.25	0.25	1	1	0.5	0.1	0.05
b_{14}	0.25	0.25	1	1	0.5	0.1	0.05

表 10-7 下层总排序权值计算（二）

b_2	b_{21}	b_{22}	几何平均值	权值	总权值
b_{21}	1	1	1	0.5	0.14
b_{22}	1	1	1	0.5	0.14

表 10-8 下层总排序权值计算（三）

b_4	b_{41}	b_{42}	b_{43}	b_{44}	几何平均值	权值	总权值
b_{41}	1	2	0.8	0.4	0.894427	0.187726	0.03
b_{42}	0.5	1	1	0.3	0.622333	0.130618	0.02
b_{43}	1.25	1	1	0.2	0.707107	0.148411	0.03
b_{44}	2.5	3.33	5	1	2.540664	0.533245	0.10

（3）方案评价矩阵 根据实际情况，建立的方案评价表见表 10-9。由表 10-9，根据权重及标准化数据，选出的方案为三辊制丸结构的权重最大，为 5.92，所以选出的方案为三辊制丸结构。因此，将三辊制丸结构作为最优方案，进行后续设计。

表 10-9 方案评价矩阵

项目	判断因素	权值 ω_i	内啮合搓齿丸结构	搓滚结构	三辊制丸结构
制丸工艺 b_1	缩短工艺流程 b_{11}	0.2	7	7	9
	连续生产、投料一次成丸 b_{12}	0.2	9	9	9
	符合 GMP 标准 b_{13}	0.05	3	3	4
	工艺复杂度低 b_{14}	0.05	5	6	9
药丸产品 b_2	丸的圆光亮度 b_{21}	0.14	5	2	9
	丸重差异小 b_{22}	0.14	4	4	8
制丸机械成本 b_3		0.04	4	5	6
机械性能 b_4	可靠性 b_{41}	0.03	5	5	8
	制造装配简单 b_{42}	0.02	5	5	6
	清洗简单 b_{43}	0.03	4	4	5
	生产效率高 b_{44}	0.1	4	4	5
方案权重值 $P_j = \sum \omega_i * P_{ij} (i = 1, 2, \dots, 11, j = 1, 2, 3, 4)$			4.03	3.65	5.92

(4) 确定原理解 图 10-16 为制丸功能的原理解。电动机通过联轴器带动托辊转动，托辊经传动齿轮带动两搓辊转动。药丸在搓辊螺旋的推动和托辊的支撑下，沿辊的轴线方向运动，在药丸达到圆、光、亮的程度时，药丸从两搓辊中掉下（托辊长度应小于搓辊长度），落入药丸接收滑道。

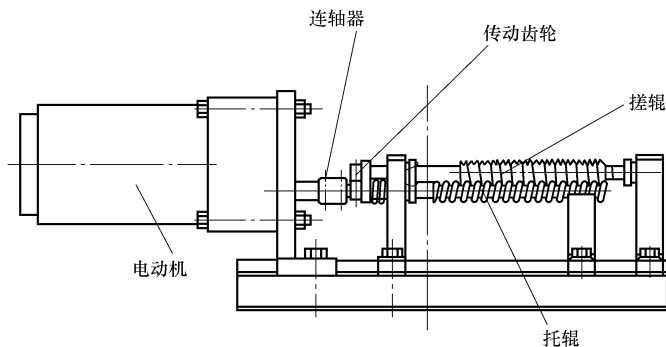


图 10-16 制丸功能原理解

10.6.2 适于残疾人的智能餐勺的概念设计

该产品的设计目标是为残疾人设计一种厨房用具装置。产品的主要市场是中

学生，另外还有那些患有类似的残疾，不能使用厨房用具的人。

表 10-10 列出了智能勺的客户需求。表中的重要度为 1 到 5，5 为最大值。产品的规范为主观的需求提供了一种量化的方法，并用来评估产品相对于特殊需求的性能，且包含了描述达到期望目标的度量标准和数值。相应于较为重要的需求产品规范以表格的形式列于表 10-11 中。

图 10-17 为该产品的总功能模型。在该装置中，功能定位为餐具。将该主功能分解为若干分功能，得到其功能结构如图 10-18 所示。利用所分解的功能，创建形态学矩阵。每个功能都分开来考虑，并采用头脑风暴法搜索必要的功能。表 10-12 显示了餐勺的部分形态矩阵。在形态矩阵中，一些比较合理且有希望应用的想法为：使用者手握的圆柱形体必须完全对称，而且必须容易制作；缺乏某种认知技能的人能够正确识别其工作面；能通过旋转来定位。

表 10-10 智能餐勺的客户需求

客 户 需 求	重要度	客 户 需 求	重要度
功能		安全性	
●提供正确的方向和锁定	5	●没有锋利边或尖角	4
●能舀起食物	5	●使用 FDA 改进材料	4
操作		加工性和维护性	
●不需要操作技能就可使用	5	●主要为木制设备	4
●在手摆放的任何位置上都起作用	5	●易清洗	3
●容易握住	3	人机性	
●容易拿起和放下	3	●与现存产品的形状相似	3
●对其他用具具有适应性	2	●手持舒适	3
●不影响吃饭的动作	4	成本低	5

表 10-11 智能餐勺的产品规范

号码	需 求	主要度量标准	目 标 值
1	不需要操作技能就可使用	操作所需要的步骤数	1
2	提供正确的方向和锁定	与水平面的夹角	0°
3	在手摆放的任何位置上都起作用	所能给予的手持方式数	3
4	没有锋利边或尖角	锋利边的数目	0
5	容易制作	加工设备的可获得性	普通的木制设备
6	低成本	低于 20 美元	10 美元

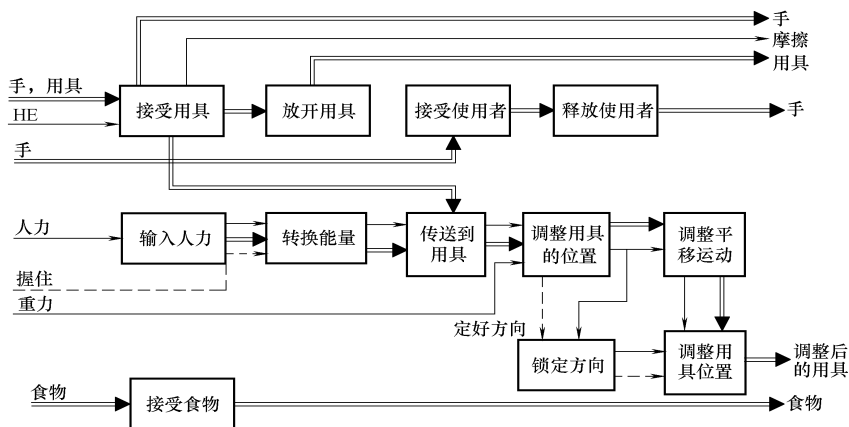
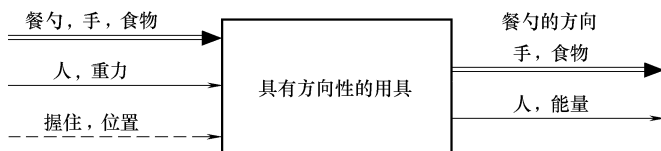


图 10-18 智能餐勺的功能结构

表 10-12 智能餐勺的形态矩阵

解 功能	1	2	3	4	5
转换能量	偏心移动块 	平移 	电 		
传送到用具	夹紧齿 	摩擦垫 	粘附 	磁力 	
调整用具	预定位 	锥形 	离心块 	轨道(固定) 	相对转动 

(续)

解 功能	1	2	3	4	5
锁定装置 (硬锁)	夹钳	摩擦	磁力		
					
重新定位 (软锁)	轮辐	旋转块	电磁场	滚销	螺钉
					
平移食物	轨道	使用者			
					
接受使用者 (形状)	圆柱状	环形状	三棱柱	外部手柄	变形柱体
					
(表面)	斑点	纹线			
					
接受用具	夹钳	永久性粘附	槽孔	磁力	
					
接受能量	离心块	控制杆	按钮	夹紧管	光电池
					

“硬锁”是表示两个表面不能产生相对转动的状态，而“软锁”表示部分的锁定，还存在有限的相对运动。前者主要用于单向运动，而后者主要用于方向连续的运动（餐勺与水平面的夹角始终接近 0° ）。如表 10-12 所示，销锁是一种完全的锁定，它与摩擦锁定和依靠磁场锁定不同。基于这些功能的解，就可以产生若干概念结构。由这些结构可以导出以下若干实例。

结构 1：组合手柄

组合手柄结构是所考虑的方案中最简单的一种。一般说来，该结构的设计目标是增大餐勺手柄的尺寸，提供一个舒适的手持面（见图 10-19）。它由三部分组成，如图 10-20 所示。

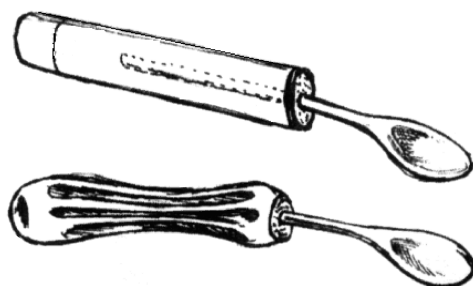


图 10-19 组合手柄结构（适合手以不同姿态把持）

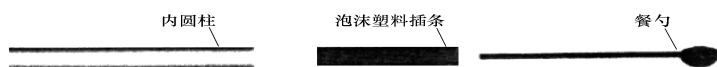


图 10-20 组合手柄结构分解图

结构 2：预调结构

图 10-21 的预调结构的目的是对餐勺进行调节，使其在使用前处于合适的位置。该方案主要依靠附于圆柱上使餐勺旋转到合适位置的偏心块（见图 10-22）。

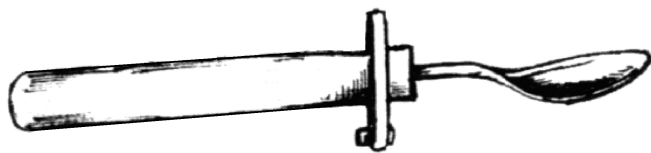


图 10-21 预调结构

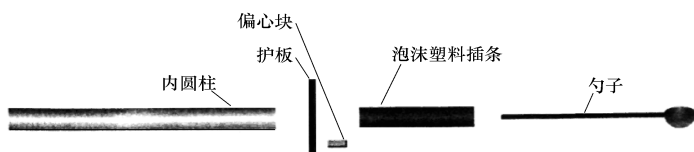


图 10-22 预调结构分解图

结构3：带有手锁结构的预调装置

图 10-23 所示带有手锁的预调结构可以使餐勺旋转到正确的位置，然后再将其锁定。通过两个托架使餐勺离开桌子的表面，然后再使餐勺和内圆柱相对于桌面转动，就可实现这些功能（见图 10-24）。这两个托架可以使餐勺和内圆柱不需要相对于桌子表面一定距离就能进行旋转和定型。当使用者把食物放到手巾或其他表面上，因而预调模块不起作用时，该功能就显得尤为重要。

在该结构中，护板被放到了圆柱的尾部，这样可以使其远离使用者的面部。尽管该位置对餐勺的使用并无太大的影响，但它可以使装置过渡得相对自然一些，并有助于餐勺保持平衡。

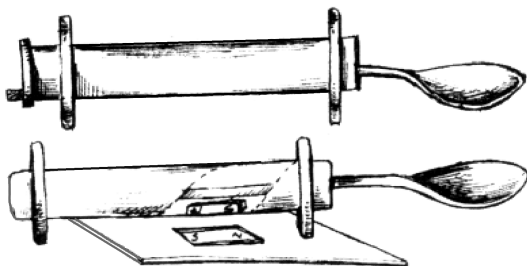


图 10-23 带手锁的预调结构（借助磁力和偏心定位块）

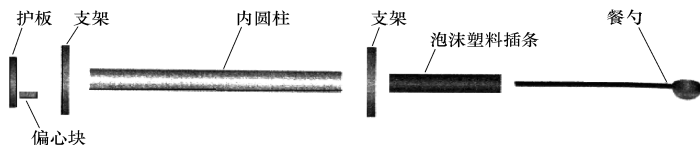


图 10-24 带手锁的预调结构分解图

结构4：采用重力锁定的预调结构

图 10-25 显示了采用重力（摩擦）锁定的预调结构。该体系采用机械锁定对餐勺定向，然后使其位置固定，因而是一种最为复杂和高级的结构。除了在内部圆柱上增加一个外部柱体，并将锁定装置安装到餐勺的后部之外，该结构基本上与预调结构相似。图 10-26 的分解视图显示了该结构的主要部件。

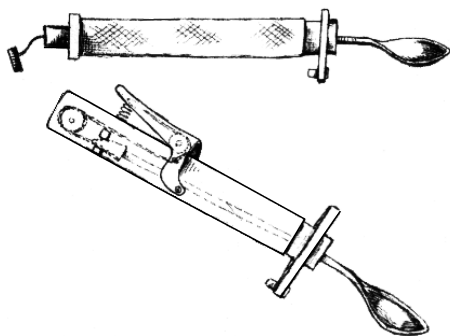


图 10-25 锁定预调结构（采用重力—摩擦锁和杠杆—摩擦锁定位方案）

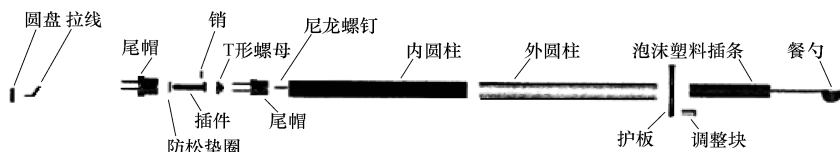


图 10-26 采用重力锁定的预定位装置的分解图

10.7 本章小结

从本质上来说，功能设计是一种系统设计的方法，也是一种最易产生创新构思的方法。未来产品创新的重要手段就是功能创新。设计者要基于扎实而广泛的知识基础上，融合创新意识、灵活的思维方法，以及对创造性功能、结构、材料等方面的认识和理解而进行功能创新。

产品是科学技术发展的实物载体。在现代产品功能逐渐丰富的今天，人们享受着科学技术所带来的愉悦生活的同时，更加注重产品性能的环保因素，从 20 世纪 80 年代的“绿色设计”，到 90 年代的“生态设计”，再到 21 世纪初的“可持续设计”，无不是在提醒着设计师和使用者对和谐社会的关注。这种趋势在产品功能上的体现：一方面是新的技术和材质的应用；另一方面是产品使用过程的绿色设计。从原先的“末端治理技术”发展为现在的“可循环回收技术”。

参考文献

- [1] Pahl G, Beitz W. Engineering Design-A Systematic approach [M]. 2nd ed. London: Springer Verlag, 2000.
- [2] Otto K, Wood K. Product design: techniques in reverse engineering and new product develop-

- ment [M]. New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [3] Shi B, Meerkamm H, Schweiger W. A multiple-view integration approach to innovative product design, International Conference on Mechanical-Electronic Engineering and Computer Application [C], Hong Kong, 2002, 1-7.
- [4] Boothroyd G. Product design for manufacturing and assembly [J]. Computer-Aided Design, 1994, 26 (7): 505-520.
- [5] 柯勒 R. 机械、仪器和器械设计方法 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1984.
- [6] Zavbi R, Duhovnik J. The analytic hierarchy Process and Functional Appropriateness of Components of Technical Systems [J]. Journal of Engineering Design, 1996, 7 (3): 313-327.
- [7] Partovi F Y, Hopton W E. The Analytic Hierarchy Process as Applied to Two Types of Inventory Problems [J]. Production and Inventory Management Journal, 1994, 35 (1): 13-19.
- [8] 刘万里, 雷洽军. 关于 AHP 中判断矩阵校正方法的研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17 (6): 30-39.
- [9] 陈迁, 浣尘. AHP 方法判别尺度的合理定义 [J]. 系统工程, 1996, 14 (5): 18-20.
- [10] 徐泽水. 关于层次分析中几种标度的模拟评估 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20 (2): 122-125.
- [11] Kevin N Otto, Kristin L Wood. 产品设计 [M]. 齐春萍, 宫晓东, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [12] Žavbi R, Duhovnik J. Conceptual design of technical systems using functions and physical laws [J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2000 (14): 69-83.
- [13] Koller R, Kastrup N. Principle Solutions for Design of technical Products [M]. 2nd ed, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1998.
- [14] Finkelstein L, Elhami M, Ginger R. Conceptual design of instrument systems utilizing physical laws [J]. Measurement-Journal of the International Measurement Confederation, 1998, 23 (1): 9-13.
- [15] Altshuller G. The Innovation Algorithm, TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity [M]. Worcester: Technical Innovation Center, INC, 1999.
- [16] Savransky S D. Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving [M]. Boca Raton: CRC Press, 2000, 144-150.

本书特色

- ☆ 本书针对企业需要制定技术创新战略以提高其市场竞争力，通过多个实例，为企业提供了多种发现问题、解决问题的方法。
- ☆ 本书详细介绍了多种创新技法，包括模糊前端过程与方法、问题发现方法、传统技法、基于头脑风暴的技法、四位扩展法、系统化方法、公理设计、六西格玛方法、功能设计技法。

上架指导：工业技术/创新设计

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
电话服务 网络服务
社服务中心：(010)88361066 门户网：<http://www.cmpbook.com>
销售一部：(010)68326294 教材网：<http://www.cmpedu.com>
销售二部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821 封面防伪标均为盗版

定价：34.00元

ISBN 978-7-111-30712-9



9 787111 307129 >