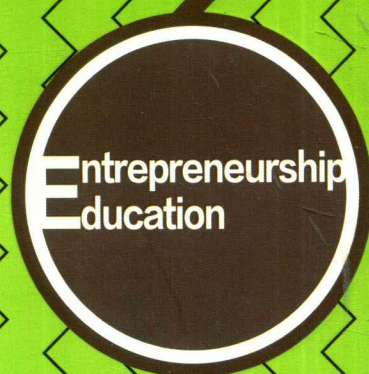


高等院校创新创业教育规划教材



INNOVATIVE DESIGN

Systematic Innovation Based on TRIZ

创新设计

TRIZ系统化创新教程

张换高 > 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

高等院校创新创业教育规划教材

创 新 设 计

——TRIZ 系统化创新教程

Innovative Design
—Systematic Innovation based on TRIZ

主 编 张换高
副主编 张建辉 张 鹏
参 编 刘 芳 杨伯军

机 械 工 业 出 版 社

创新设计是解决发明问题的创新方法与传统设计过程相结合,形成的以实现产品创新为基本要求的系统化设计方法及过程。本书以发明问题解决理论——TRIZ 为基本核心内容,面向产品设计各阶段,系统讲授产品创新设计中发现问题、分析问题和创造性解决问题的系统化方法。

本书以经典 TRIZ 为基础,结合国内外相关研究,按照解决发明问题的流程,系统地介绍发明问题的发现、分析与求解的工具和方法。全书内容共 20 章,分为 6 篇:创新设计概论篇、问题分析工具篇、发明问题求解工具篇、目标导向工具篇、设计流程与软件工具篇、创新设计知识拓展篇。

本书融入了作者及所在研究团队多年从事 TRIZ 研究、培训、教学和项目咨询的经验和心得,并结合了作者最新的研究成果,把通过根原因分析确定的冲突区域作为求解问题的切入点,为综合应用 TRIZ 求解工程技术问题提供了系统化方法。

本书面向高等院校本科生和研究生编写,同时也可作为 TRIZ 初学者及国家创新工程师认证(一级和二级)的技术创新方法部分的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

创新设计:TRIZ 系统化创新教程/张换高主编. —北京:机械工业出版社,2017.6

高等院校创新创业教育规划教材

ISBN 978-7-111-56371-6

I. ①创… II. ①张… III. ①创造学-高等学校-教材 IV. ①G305

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 078575 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:丁昕祯 责任编辑:丁昕祯 朱琳琳 任正一

责任校对:张 征 责任印制:李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.75 印张·1 插页·487 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-56371-6

定价:44.80 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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前言



本书由河北工业大学国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心的人员编写。河北工业大学国家技术创新方法与实施工具工程技术研究中心 2013 年 4 月被科技部批准正式纳入国家工程技术研究中心建设序列, 主要面向企业技术创新需求, 从事技术创新方法理论研究、工程化关键技术和计算机辅助创新软件开发及其推广应用工作。本中心是创新方法研究会技术创新方法专业委员会所在地, 在理论研究方面已形成 TRIZ、破坏性创新使能技术、功能设计、复杂性理论、产品平台设计、专利规避设计等富有特色且具有优势的研究方向, 建立了一种面向我国企业创新需求的技术创新方法体系。中心曾承担科技部、广东省、河南省、河北省、天津市、青海省、内蒙古自治区等省、市、自治区和中国化工集团、中船重工、原北车集团、三一重工、广州无线电集团、中钢集团、河北钢铁、长城汽车、天冠集团、新奥集团等大型企业的技术创新方法培训工作, 参与制定了创新方法国家标准。2011 年以中心牵头的技术创新方法推广与应用团队被科技部评为“十一五”国家科技计划执行优秀团队, 2013 年获得河北省科技进步一等奖, 2012~2013 年中心在技术创新方法理论研究、推广应用及创新人才培养等方面成果突出, 分别获得中国产学研合作创新成果奖和中国产学研合作创新奖。

本书结合了中心在本校本科生和研究生创新设计课程教学和对外技术创新方法培训的经验, 面向创新设计过程, 以问题形成、分析和求解过程为主线, 以发明问题解决理论 (TRIZ) 为核心内容, 面向在校本科生和研究生, 讲授创新设计理论和 TRIZ 的基本概念、过程和方法。

本书内容按照 40~56 学时编写, 对于创新设计课程学时数较少的院校, 采用本书可自行选择课堂讲授内容。

本书共 6 篇 20 章, 分为创新设计概论篇、问题分析工具篇、发明问题求解工具篇、目标导向工具篇、设计流程与软件工具篇和创新设计知识拓展篇。编写分工如下: 第 1 章绪论、第 2 章产品设计方法学概述、第 3 章 TRIZ 概述、第 5 章因果分析与冲突区域确定、第 7 章资源分析、第 15 章产品技术成熟度及其预测、第 16 章技术系统进化定律和进化路线以及附录由张换高编写; 第 14 章裁剪由张换高、张建辉编写; 第 10 章技术冲突解决理论、第 11 章物理冲突解决理论由张换高、张鹏编写; 第 4 章功能分析由张鹏、张建辉编写; 第 18 章发明问题解决的流程由刘芳、张换高编写; 第 6 章理想解分析、第 8 章 TRIZ 中的思维工具由张鹏编写; 第 19 章计算机辅助创新软件——Invention Tool 系列软件简介、第 20 章专利申请与规避由张建辉编写; 第 9 章效应知识库、第 17 章需求进化由刘芳编写; 第 12 章物质-场模型及其变换规则和第 13 章标准解由杨伯军编写。

本书第 5 章、第 7 章、第 14 章、第 18 章结合了作者团队最新研究成果, 其余各章也融

入了团队多年来的研究成果和心得。

感谢博士生刘力萌参与本书编写过程中的大量资料整理和文字编辑工作。感谢硕士生邱畅、邱亮、赵磊、王炎、郝明星、林娜、陶涛、郭洪奎等为本书翻译了大量资料和案例。

感谢中心曹国忠、孙建广、陈子顺、江屏、赵文燕等老师对本书内容提供了大量资料和建议。

最后感谢我们的导师檀润华教授对我们成长过程中的悉心指导和对本书的大力支持。

本书获得国家自然科学基金“机遇驱动的机械产品突破性创新设计方法研究”(51675159)，河北省社会科学项目“我省科技型中小企业创新能力培育对策研究”(HB17GL035)的支持。同时获得河北省高等教育教学改革研究项目“提升工科类本科生创新创业能力的培养模式研究”(2016GJJG030)和“机械设计制造及其自动化应用创新人才培养体系研究”(2012GJJG004)的支持。

编 者

目录

前言

第 1 篇 创新设计概论篇

第 1 章 绪论	3	2.3 典型创新思维简介	26
1.1 创新概述	3	2.4 常见的创新技法简介	30
1.2 问题及其解决原理	5	思考题	38
1.3 设计与创新设计	12	第 3 章 TRIZ 概述	40
1.4 本课程的性质、任务和研究内容	14	3.1 创新的规律性	40
1.5 创新设计研究展望	18	3.2 TRIZ 简史	41
思考题	18	3.3 TRIZ 解决问题的基本原理	42
第 2 章 产品设计方法学概述	19	3.4 TRIZ 理论体系	43
2.1 概述	19	3.5 TRIZ 基本概念	44
2.2 产品设计过程及理论简介	21	思考题	48

第 2 篇 问题分析工具篇

第 4 章 功能分析	51	6.3 理想解与最终理想解	80
4.1 功能结构	51	6.4 理想解分析的过程	82
4.2 物质-场模型和功能表达	60	思考题	84
4.3 功能模型分析	61	第 7 章 资源分析	85
4.4 案例分析：快速切断阀的功能模型	64	7.1 概述	85
思考题	67	7.2 资源分类	86
第 5 章 因果分析与冲突区域确定	68	7.3 资源分析方法	93
5.1 因果分析与冲突区域概述	68	7.4 案例分析	96
5.2 常用因果分析工具	69	思考题	98
5.3 基于根原因分析的最终冲突区域确定	72	第 8 章 TRIZ 中的思维工具	99
思考题	78	8.1 九窗口法	99
第 6 章 理想解分析	79	8.2 空间-时间-成本算子	100
6.1 理想化	79	8.3 聪明小人法	101
6.2 理想化水平	80	思考题	103

第 3 篇 发明问题求解工具篇

第 9 章 效应知识库	106	9.2 效应应用范例	108
9.1 效应	106	9.3 效应知识库及应用过程	110

9.4 案例分析：快速切断阀的改进设计	111	12.2 物质-场模型的类型	178
思考题	113	12.3 物质-场变换规则	180
第10章 技术冲突解决理论	114	思考题	186
10.1 冲突及其分类	114	第13章 标准解	187
10.2 技术冲突的通用化	115	13.1 概述	187
10.3 发明原理	118	13.2 76个标准解	187
10.4 冲突矩阵和技术冲突解决过程	162	13.3 标准解应用过程	196
10.5 案例分析	164	13.4 案例分析：昆虫危害粮食的问题	198
思考题	166	思考题	200
第11章 物理冲突解决理论	168	第14章 裁剪	201
11.1 物理冲突	168	14.1 概述	201
11.2 分离原理	169	14.2 裁剪规则和启发式裁剪问句	202
11.3 案例分析	173	14.3 裁剪对象选择	205
思考题	175	14.4 裁剪过程	208
第12章 物质-场模型及其变换规则	176	14.5 案例分析	210
12.1 物质与场	176	思考题	214

第4篇 目标导向工具篇

第15章 产品技术成熟度及其预测	216	16.4 技术系统进化理论的应用	238
15.1 产品技术成熟度	216	16.5 案例分析	240
15.2 产品技术成熟度预测方法	219	思考题	241
15.3 案例分析	224	第17章 需求进化	242
思考题	225	17.1 需求的定义	242
第16章 技术系统进化定律和进化路线	226	17.2 需求工程	242
16.1 概述	226	17.3 需求演变模型	244
16.2 技术系统进化定律与进化路线	227	17.4 需求进化定律	247
16.3 技术系统进化的四个阶段	237	思考题	248

第5篇 设计流程与软件工具篇

第18章 发明问题解决的流程	252	19.1 概述	269
18.1 概述	252	19.2 计算机辅助创新原理	269
18.2 TRIZ 解决发明问题的流程	252	19.3 基于 CAI 的辅助创新原理	273
18.3 ARIZ 算法	256	19.4 InventionTool 系统简介	275
18.4 案例分析：织物印染系统	263	19.5 工程案例：基于 CAI 技术的蝶阀密封结构创新设计	279
思考题	267	思考题	284
第19章 计算机辅助创新软件——InventionTool 系列软件简介	269		

第6篇 创新设计知识拓展篇

第20章 专利申请与规避	286	20.1 概述	286
--------------	-----	---------	-----

20.2 专利申请格式与内容简介	286	附录	297
20.3 专利申请一般策略	287	附录 A TRIZ 名词中英文对照及解释	297
20.4 专利侵权的判定	288	附录 B 常用物理效应和化学效应	300
20.5 专利规避基本知识	291	附录 C 发明专利请求书格式	303
20.6 专利规避案例分析	293	附录 D 冲突矩阵（见文后插页）	
思考题	296	参考文献	305

创新设计概论篇

创新设计属于设计方法学的范畴，区别于传统设计，是通过设计过程实现设计结果创新性为目的的设计方法学。百度百科把创新设计定义为：“充分发挥设计者的创造力，利用人类已有的相关科技成果进行创新构思，设计出具有科学性、创造性、新颖性及实用性产品的一种实践活动。”实际上创新性已经成为现代工业社会普遍性要求，创新已经成为现代设计的本质。

本篇结构如图 I - 1 所示。

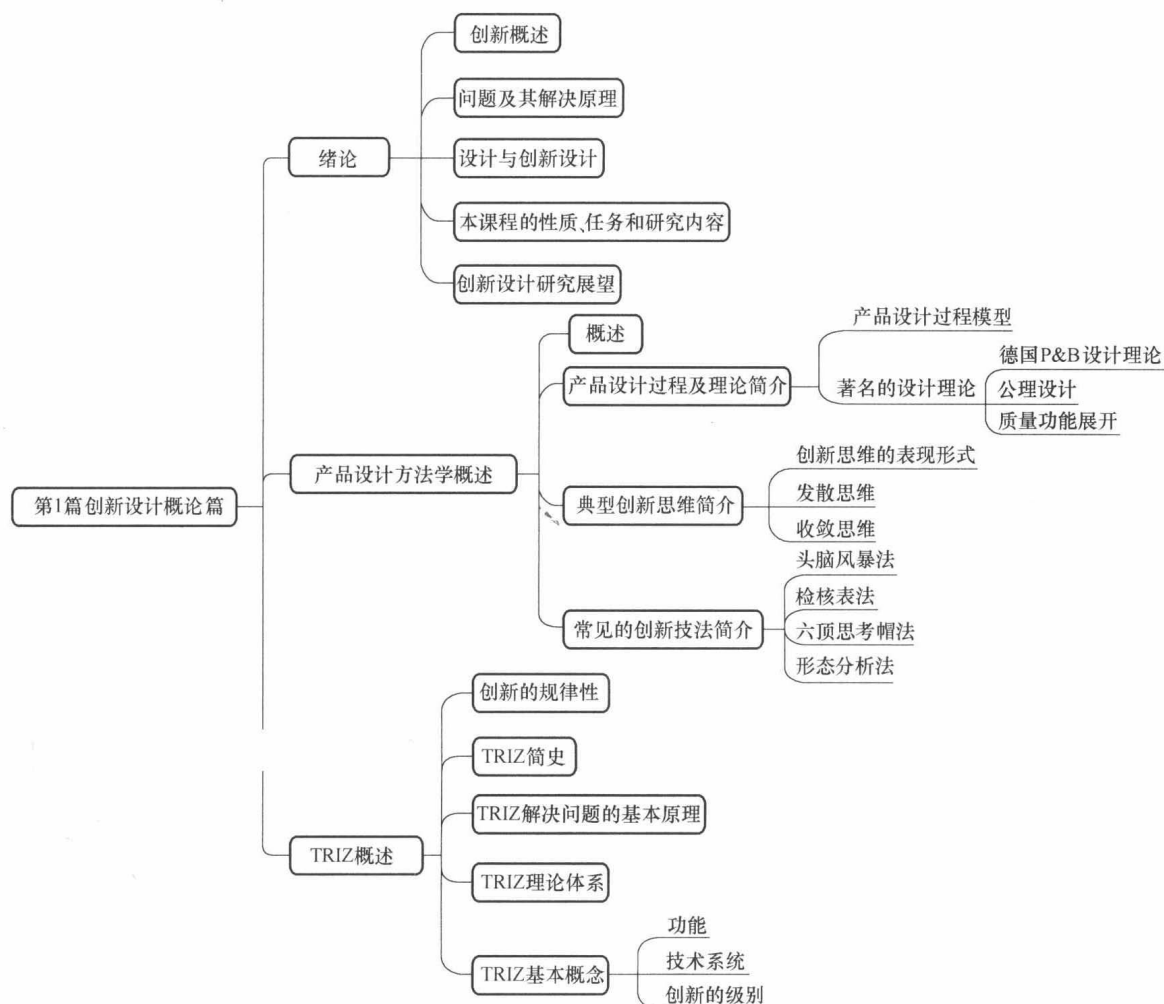


图 I - 1 第 1 篇结构

围绕创新设计相关概念和理论方法，本篇分为三章。

第1章绪论：主要介绍本书所涉及的一些基本概念、基础知识和作为本科课程应具有的地位和作用。包括创新概述；问题及其解决原理；设计与创新设计；本课程的性质、任务和研究内容；创新设计研究展望。

第2章产品设计方法学概述：主要概括介绍产品设计方法学的研究对象和部分成果，分为产品设计过程及理论、典型创新思维简介和常见的创新技法简介三部分，其中产品设计理论部分简要介绍德国P&B设计理论、公理设计和质量功能展开方法。典型创新思维主要比较发散思维和收敛思维。创新技法主要介绍头脑风暴法、检核表法、六顶思考帽和形态分析法。

第3章TRIZ概述：简要介绍创新的规律性、TRIZ简史、TRIZ解决问题的基本原理、TRIZ理论体系和TRIZ基本概念。

第1章

绪论



纵观人类发展历史，创新始终是一个国家、一个民族发展的重要力量，也始终是推动人类社会进步的重要力量。不创新不行，创新慢了也不行。如果我们不识变、不应变、不求变，就可能陷入战略被动，错失发展机遇，甚至错过整整一个时代。

——习近平

1.1 创新概述

当今世界，以信息技术为主要标志的科技进步日新月异，高科技成果向现实生产力的转化越来越快，初见端倪的知识经济预示人类的经济社会生活将发生新的巨大变化。同时世界经济一体化进程不断加快，国与国之间的竞争更趋激烈，各国都在抓紧制定面向新世纪的发展战略，争先抢占科技、产业和经济的制高点。

1.1.1 创新的含义

“创新”一词在古文献中出现很早，如《魏书》有“革弊创新”，《周书》中有“创新改旧”，其中创新都有创造或开始新事物的意思。在英语中 Innovation（创新）起源于拉丁语（“a novel change, experimental variation, new thing introduced in an established arrangement”），有三层含义：一是指全新的变化；二是实验变异；三是在已建立的秩序中引入新事物。上述三层含义在工程设计领域可以引申为创新的三个层次：突破性创新（radical innovation）、渐进性创新（incremental innovation）和集成创新（integrated innovation）。

创新目前还没有一个统一的定义，却又是一个普遍使用的概念。在商品经济社会之前，创新更多的是人们某种行为或活动的客观结果，“新”并不是目的，而是区别于已有的更加符合当时社会需求的结果。但是在商品经济社会，创新既是一种目的，又是一种结果，还是一种过程。“新”既是目的，也是结果，此时“新”的含义是指知识产权意义上的新，即在结构、功能、原理、性质、方法、过程等方面的、第一次的、显著的变化；“创”表明了“新”实现的困难，即需要经过一个开拓性的过程。

百度百科中把创新定义为：“以现有的思维模式提出有别于常规或常人思路的见解为导向，利用现有的知识和物质，在特定的环境中，本着理想化需要或为满足社会需求，而改进或创造新的事物、方法、元素、路径、环境，并能获得一定有益效果的行为。”在西方，创新理论的起源可追溯到1912年美籍经济学家约瑟夫·熊彼特（Joseph Alois Schumpeter, 1883—1950）的《经济发展理论》。在该著作中熊彼特提出创新就是建立一种新的生产函

数，即把一种新的生产要素和生产条件的“新结合”引入生产体系。创新有五种表现形式：引入一种新产品，引入一种新的生产方法，开辟一个新的市场，获得原材料或半成品的一种新的供应来源，新的组织形式。熊彼特的创新概念包含的范围很广，本质上是企业创新理论，涉及技术性变化的创新及非技术性变化的组织创新。

现代管理学之父彼得·德鲁克（Peter F. Drucker，1909—2005）指出：“作为一种经验规律，如果在产生一种新思想上花费一美元，则在对之进行研究以便把它转化为一种新发现或新发明，就必须花费十美元。在‘研究’上每用十美元，在‘发展’（‘开发’）上至少要花费一百美元。在‘发展’（‘开发’）上花费一百美元，则在市场上引进和建立一种新产品或一个新企业就需要花费一千或一万美元。而只有在市场上建立了一种新产品或一种新企业之后，才能说已有了一种‘创新’。”德鲁克的论断给产品创新又赋予了经济性的内涵，这正是商品社会创新的基本目的，创新不仅仅是为了“新”而“创”，更是为了从中获得收益。

1.1.2 创造、发明与创新的关系

在产品创新领域，与创新有关的另外两个基本概念为创造（Creation）与发明（Invention），上述德鲁克关于创新的论断实际上也揭示了创造、发明与创新的关系。图 1-1 表达了三者间的关系，即

创新 = 设想(理论概念) + 发明(技术发明) + 商业开发

- 1) 创造是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。
- 2) 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。
- 3) 创新是发明在某企业商品化开发，企业通过产品从市场获得了收益。《第五项修炼》一书的作者彼得·圣吉说：“当一个新的构想实验室证实可行的时候，工程师称之为‘发明’（Invention），而只有当它能够以适当的规模和切合实际的成本，稳定地加以重复生产的时候，这个构想才成为一项‘创新’（innovation）。”

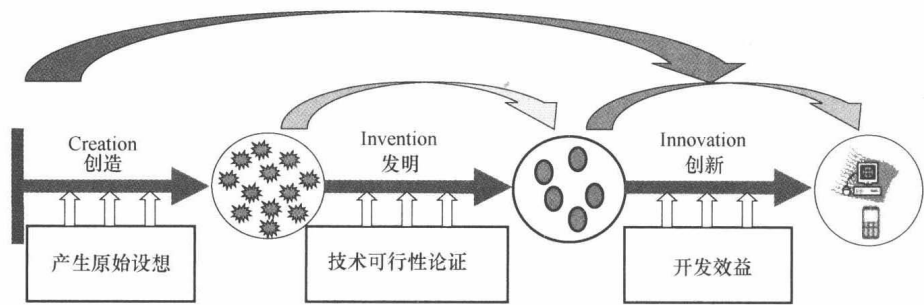


图 1-1 创造、发明与创新的关系

产生设想只是创新的必要开端，发明是设想的技术实现，真正让人们从创新成果中获益的是商品化后的产品。例如：CT（X 射线断层扫描仪）是由 EMI 公司的工程师豪斯菲尔德（N·Housfield）发明的，但是真正把它变成服务社会的机器的是通用电气公司；家用吸尘

器是由看门人斯潘格勒 (James Spangler) 发明的, 而被胡佛 (William Hoover) 成功商业化; 卡式录像机是索尼公司发明的, 但真正商品化是在松下公司。

1.1.3 产品创新过程模型

德鲁克对创新的论断实际上指的就是产品创新, 该论断首先揭示了产品创新经济性的内涵, 其次也揭示了产品创新的过程。

产品创新包含模糊前端 (Fuzzy Front End, FFE)、新产品开发 (New Product Development, NPD)、商品化 (Commercialization) 三个阶段, 如图 1-2 所示。模糊前端阶段要根据市场机遇产生多个设想, 并根据企业能力, 通过评价确定若干个设想, 针对这些设想启动新产品开发项目。新产品开发包括产品设计与制造, 该阶段通过概念设计、技术设计、详细设计、工艺设计及制造, 将上阶段输入的设想转变成产品, 并输出到商品化阶段。经过市场运作, 在商品化阶段将产品转变成企业效益, 从而完成产品创新的全过程。

在产品创新过程中技术创新主要体现在模糊前端与新产品开发阶段, 是通过不断发现并创造性地解决其中出现的技术问题而实现产品创新的。而商品化阶段遇到的障碍, 一方面可以用管理创新的方法解决, 同时也可以利用社会的技术环境, 创造更多的市场化途径。本书的研究内容集中在创新的前两个阶段: 模糊前端阶段创新设想的产生和新产品开发阶段问题的解决。

本书主要研究的是如何通过一个创新设计的过程, 达到产品创新的目的。鉴于本书主要面向工科专业的学生和工程师, 如何把产品市场化的问题不作为本书的研究内容。本书主要针对产品创新过程的前两个阶段涉及的技术创新的问题进行研究, 对于企业而言, 技术创新包括产品创新和工艺创新。两类创新都是最终缩短或消除客户需求与产品现状之间的距离的过程。

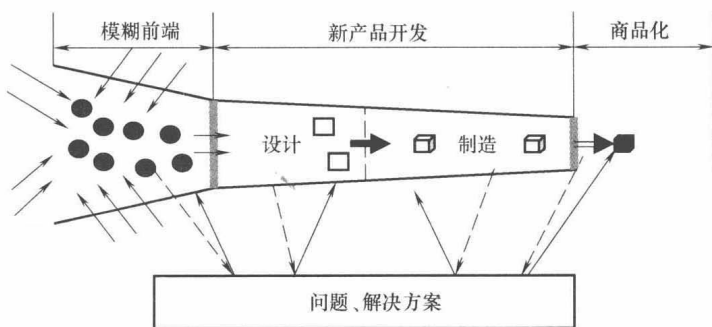


图 1-2 产品创新过程模型

1.2 问题及其解决原理

创新是一个复杂的过程, 需要不断地解决各阶段出现的问题: 在模糊前端主要是如何产生创新设想及创新设想如何选择的问题; 在产品开发阶段主要是如何把选定的创新设想变成真实产品的问题, 当然在开发的各个阶段问题又各不相同; 在商品化阶段主要是如何进行商业化运作使产品能够产生效益的问题。本节主要介绍问题的定义、分类以及解决问题的一般

过程和原理。

1.2.1 问题的定义

关于问题的定义，在不同的时期，不同的领域也并不相同。佐藤允一在其著作《问题解决术》一书中认为“问题就是目标与现状的差距，是必须要解决的事情”。简而言之，问题就是“期望状态”与“当前状态”相比较所存在的距离。该定义体现了问题动态发展的特性，适用于任何类型的问题。如图 1-3 所示，当前状态与期望状态之间存在距离 L ， L 即为问题。

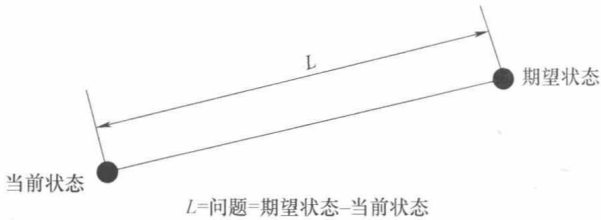


图 1-3 问题的图形表示

1.2.2 问题的分类

人们在生活中会遇到形形色色的问题，不同的分类标准可以得出不同的问题类型。

1. 原因导向型问题与目标导向型问题

佐藤允一在 1984 年根据问题产生的来源将问题划分为三类。

(1) 发生型问题 发生型问题是指已经发生或能够预先确定必然发生的问题，即“期望状态”与“当前状态”已经明确了的问题。从设计角度而言，发生型问题是指设计方案实施的结果没有达到设计目标或有异常产生。如图 1-4 所示，该类问题又可以分为未达问题和逃逸问题，前者是指期望的目标没有达到；后者是指随着时间的推移，系统状态逐渐偏离期望状态。解决该类问题的关键在于确定产生问题的根本原因。



图 1-4 发生型问题的两种类型

(2) 探索型问题 探索型问题是指虽然目前未发生问题，但若提高目标值或水平则会导致问题发生。该类问题可以理解为“当前状态”明确并且满足当前要求，“期望状态”是根据当前状态主观创造的高于现有水平的状态。从设计角度而言，探索型问题是在设计方案实施结果成功达到原定设计目标后，出于改善弱点、加强优点的目的人为提高设计目标导致的问题。

(3) 假设型问题 假设型问题也是目前未发生的问题，它是由于设定了至今所没有的、全新的目标而引起的问题。该类问题可以理解为因为“当前状态”与预计的“期望状态”距离太大，导致“当前状态”与“期望状态”关系模糊，“当前状态”对解决问题的可借鉴程度可忽略不计，即该类问题是“当前状态”与“期望状态”都不明确的问题。从设计角度而言，假设型问题是出于产品或工艺开发，或防范未来未知风险的目的，人为设定的问题，由于存在较大不确定性，现有设计方案很难作为研究起点。

如图 1-5 所示，按照问题解决的关键点，以上三类问题又可以归结为两类。

(1) 原因导向型问题 原因导向型问题是指“期望状态”与“当前状态”都明确，以

确定问题发生的原因是关键点的问题。发生型问题就是原因导向型问题，其解决的关键就是要通过问“为什么”找到问题产生的根本原因，从问题发生的点入手，消除问题发生的条件，以使问题得以解决。

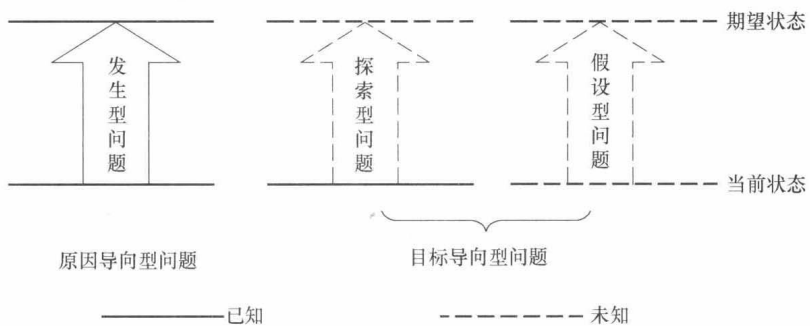


图 1-5 原因导向型问题和目标导向型问题

(2) 目标导向型问题 目标导向型问题是指“期望状态”需要首先进行设计才能产生问题的问题。探索型问题和假设型问题都属于目标导向型问题，如何创造性地产生期望状态本身就是一个困难问题。一般通过构建“如何改善（加强）”“如果……则……”提出改善点或创意，然后形成问题。

创新就是要解决以上两类问题，即在因果分析基础上解决原因导向型问题；通过技术和市场预测，解决预测未来产品的问题，实现目标导向型问题的解决。

2. 通常问题与发明问题

Savransky 在 2000 年按照解决问题的困难程度将工程问题分为两类：通常问题与发明问题。解决通常问题一般不具有创新性，创新设计就是要解决发明问题。

(1) 通常问题 通常问题是指所有解决问题的关键步骤及用到的知识均为已知的，解决该类问题只需要按照传统经验和做法，按部就班地完成即可。

例 1-1 如图 1-6 所示，根据带式输送机的阻力和速度选择电动机后设计减速器，在没有其他苛刻的设计约束前提下，任何一个合格的机械工程师都能够完成这项工作，因为该问题是机械科学已经解决了的问题，只需按照机械设计手册或教科书中的设计过程和知识完成即可，该问题属于通常问题。

(2) 发明问题 发明问题是指对于问题的解至少有一个关键步骤是未知、解的目标不清楚或含有相互矛盾的需求。所谓关键步骤是指如果缺少此步骤，则问题不能得到解决。对于那些应用常规经验和做法无法解决，或者会导致冲突发生的问题就是发明问题。

例 1-2 如图 1-7 所示，波音公司改进 737 的设计时，需要将使用中的发动机改为功率更大的发动机。发动机功率越大，它工作时需要的空气越多，就需要更大的整流罩进气口面积，常规解决

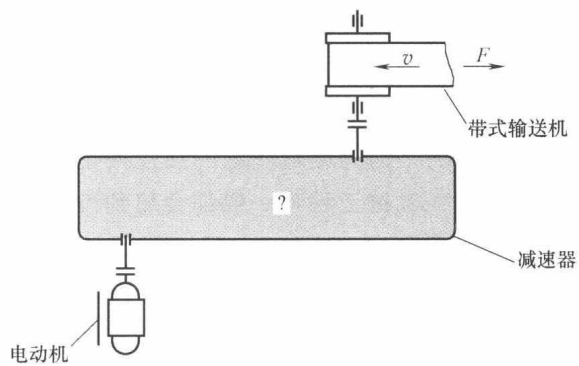


图 1-6 带式输送机减速器的设计问题

方法是增大发动机整流罩的直径，但是导致整流罩离地面的距离减小，距离的减小会影响飞机的安全，这是不允许的，即采用常规措施导致了改进目标与不期望次生结果的冲突，该问题属于发明问题。

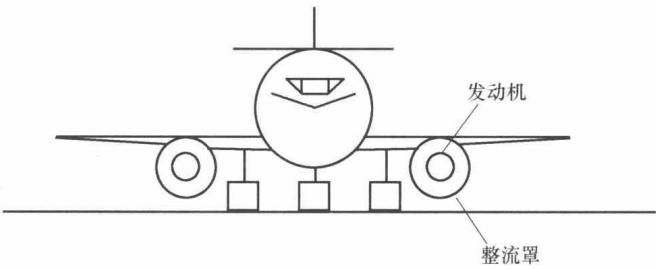


图 1-7 发动机整流罩的问题

当一个问题明确之后，判断一个问题是发明问题还是通常问题，要根据问题解决的方式以及解决的程度来判断：如果设计者应用已有知识、按照通常的经验和做法对系统进行设计或修改，期望目标能够达到并且在现有的约束条件下不产生其他次生问题，则该问题就是一个通常问题；反之，如果产生了次生问题或者按照通常的经验和做法无法达到期望的目标，则该问题将是一个发明问题。例如，对于例 1-1 的减速器设计，如果增加苛刻的空间约束，使得按照目前的材料和制造水平导致实现困难时，该问题就转化为发明问题。

1.2.3 问题解决的一般原理

人们解决问题是基于知识和经验的，问题的解不是凭空产生的，而是自觉或不自觉地应用了类比原理和过程。虽然心理学上有“顿悟”之说，但是“顿悟”也不是凭空产生的，其本质是在某种场景下发现了需解决的问题与某个类比物之间的相似性，进而从类比物中找到了问题的解。

如图 1-8 所示，问题解决的过程是经过第四步两次类比的过程。

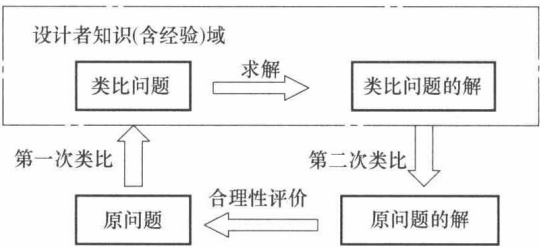


图 1-8 问题解决的类比原理

- 1) 第一步是根据个人或团队的知识经验去类比所定义的问题，把问题转化为个人/团队知识域中的问题。比如对于一个传动系统需要调速的问题，机械工程师和电气工程师首先会想到各自领域中常见的调速问题。如果问题比较复杂，会首先对问题进行分解，然后再对分解后的分问题进行类比分析。
- 2) 第二步是应用设计者熟悉的领域知识（经验）去求解转化后的问题。这一步往往是比较容易实现的，因为领域问题的解往往是设计者比较熟悉的，一般属于通常问题。例如：上述调速问题，机械工程师一般都会想到齿轮系的调速原理，而电气工程师一般都会想到电动机调频调速的原理。
- 3) 第三步是根据类比问题的解的原理，类比原问题的解。比如采用齿轮系调速原理完成原问题的调速设计，最直接的是寻找一个参数相近（类比原则）的已有变速器设计，根据实际要求，做变型设计。
- 4) 第四步是把得到的解按照原问题的约束进行评价，比如上述变速问题，如果有空

间、重量等方面的约束，可以用来评价得到的解是否合理。

1.2.4 问题求解的一般流程

从问题的定义看，解决问题本质上就是改变系统的当前状态到期望状态的过程。如图1-9所示，问题解决过程一般包括问题发现、初始问题定义、问题分析（最终问题定义）、问题解决四个步骤，其中问题解决可以按照上述步骤经两次类比完成。

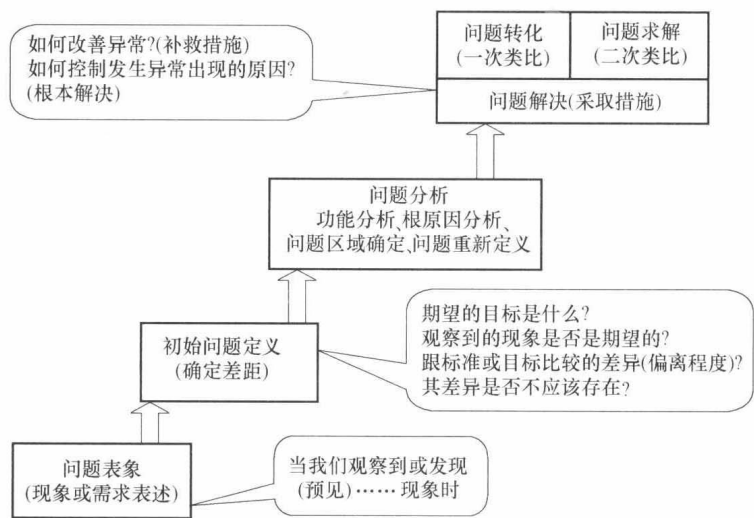


图 1-9 问题解决的一般过程

(1) 问题发现 在设计的不同阶段面临的问题是不同的，一般在设计开始阶段，问题主要来自两方面：一是用户需求，即从市场调研或用户反馈得到的关于某种产品的具体特性要求或对现有产品不满意的指标；二是设计者或企业领导者产生了某种设想，需要通过设计来实现，即从问题的定义的角度而言，也就是明确了设计对象期望的状态。

(2) 初始问题定义 问题定义是明确当前状态与期望状态的差距。因为设计对象往往是一个系统，初始问题反馈的信息往往是针对整个系统的，但是真正引起问题的原因可能只是系统中的某个局部子系统，因此该步骤主要是在系统层次上定义问题。

(3) 问题分析 问题分析是为了确定问题产生的原因，在基于对系统分解的基础上，缩小问题涉及的区域，最终确定导致系统问题发生的子系统，重新在子系统层次上定义问题。

(4) 问题解决 按照前述问题解决的原理通过两次类比实现问题转化和具体问题的求解。

1.2.5 问题求解过程中存在的困难

如上所述，问题求解包括问题发现、初始问题定义、问题分析、问题解决四个过程，其中问题解决又要通过两次类比才能够解决。任何一个环节的任务失败都会导致问题求解的失败。