



技术创新方法培训丛书·中国科学技术协会资助

仪器仪表创新方法概论

——TRIZ在仪器仪表领域中的应用

朱险峰 傅星 © 主编

Innovation in Instrumentation with
TRIZ: An Introduction



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

技术创新方法培训丛书·中国科学技术协会资助

仪器仪表创新方法概论

——TRIZ 在仪器仪表领域中的应用

主编 朱险峰 傅 星

参编 王 仲 陈 治 宋 乐



机械工业出版社

本书详细地介绍了经典 TRIZ 理论的基本概念、原理和方法,并结合大量实际案例,介绍如何使用 TRIZ 解决实际技术问题。

全书共分七章,第 1 章概述了创新方法发展的历史、现状及趋势,重点介绍 TRIZ 的基本概念、核心内容及应用;第 2 章介绍冲突的概念,详细地介绍了技术冲突和物理冲突的概念和解决方法;第 3 章介绍物-场模型分析方法,对物-场模型的构建、标准解及应用进行了详细地描述;第 4 章介绍科学效应库的概念及应用;第 5 章介绍发明问题解决算法 (ARIZ) 的概念及应用方法;第 6 章介绍技术系统进化定律;第 7 章通过实例演示如何使用 TRIZ 解决仪器仪表领域实际技术问题。

本书由中国科学技术协会资助,由天津大学精密仪器与光电子工程学院的多位教师总结多年来创新方法教学经验而编写。书中收集了国内外仪器仪表领域和创新方法研究的最新进展,以及作者的部分研究成果。本书主要用于仪器仪表行业工程技术人员学习和研究 TRIZ 理论使用,也可以供机械、电子、医疗仪器等行业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

仪器仪表创新方法概论: TRIZ 在仪器仪表领域中的应用/朱险峰,傅星主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 5

技术创新方法培训丛书·中国科学技术协会资助
ISBN 978-7-111-42002-6

I. ①仪… II. ①朱… ②傅… III. ①创造学-应用-仪器-系统设计-研究 ②创造学-应用-仪表-系统设计-研究 IV. ①TH7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 063833 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: 王小东 责任编辑: 王小东

版式设计: 潘蕊 责任校对: 丁丽丽

封面设计: 张静 责任印制: 乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13 印张 · 1 插页 · 320 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-42002-6

定价: 29.80 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

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

序

国际学术界对创新型国家给出的定义是：把科技创新作为基本战略，大幅度提高科技创新能力，形成日益强大的竞争优势的国家。这样的国家具有如下特征：创新综合指数明显高于其他国家，科技进步贡献率在70%以上，研发投入占国内生产总值的比例一般在2%以上，对外技术依存度指标一般在30%以下。目前世界上公认的创新型国家有20个左右，包括美国、日本、芬兰、韩国等。近年来，我国科学研究与发展经费投入不断增加，在“十五”期间，年均增长率为22.2%，至2005年总支出达到2450亿元，占当年国内生产总值的1.34%，但这仍然低于2%这一指标。

国家主席胡锦涛于2006年1月9日在全国科技大会上宣布，中国将在2020年建成创新型国家，使科技发展成为经济社会发展的有力支撑。温家宝总理在2007年先后两次对创新方法工作做出重要批示，要求高度重视。王大珩、刘东生、叶笃正三位科学家提出了“自主创新，方法先行。创新方法是自主创新的根本之源”这一重要观点。遵照温总理批示精神，科学技术部、发展改革委、教育部和中国科协四部门共同印发了《关于加强创新方法工作的若干意见》，并于2008年10月9日共同召开会议，正式成立创新方法部际联席会。2008年10月10日由中国科协学会学术部主办了全国学会创新方法培训班，随后委托全国10个专业学会在全国范围内推广创新方法的普及、培训和研究的试点工作。

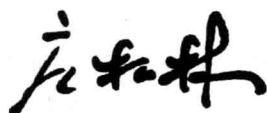
中国仪器仪表学会作为第一批开展创新方法培训工作的试点单位之一，学会领导高度重视，组建了由理事长庄松林院士和秘书长吴幼华亲自主持的组织机构，由学会专家委员会具体承担，并在天津大学精密仪器与光电子工程学院组建了第一个科技创新方法培训基地。2008年12月19日在天津大学举办了首期科技创新方法培训班，培训对象为天津仪表集团公司，之后，分别于2009年6月在北京仪表集团公司、2009年7月在上海自仪集团公司和精科集团公司、2009年11月在川仪集团公司、2009年12月在北京电力集团公司、2010年4月在吴忠仪表集团公司、2010年6月在丹东仪表基地、重庆川仪集团相继开展了仪器仪表行业科技创新思维和创新方法的培训工作。其间，通过与仪器仪表行业的技术人员相互交流，了解了一线技术人员的需求，为日后的培训和推广积累了经验，通过深入上述企业调研，建立了仪器仪表行业难题库，为在仪器仪表行业深入开展科技创新方法的研究工作奠定了基础。

科技创新包括创新思维、创新方法和创新工具三个方面的内容。首先，如何转变技术人员在解决技术难题时固有的思维模式，主动自觉地在科技创新工作中运用科学的方法是培训和交流中遇到的最多的问题，也是科技创新工作中要解决的首要问题；其次，熟练地掌握创新方法，灵活地将其应用到解决实际技术难题的实践中去，提高创新工作的效率，使得运用创新方法的人得到实惠，是科技创新工作顺利开展的关键；再次，提高和拓展创新工具的功能和水平，丰富创新工具的种类，为各领域各行业的创新工作提

供科学的信息，是科技创新工作的基础和保障。

自主创新，就是从增强国家创新能力出发，进行原始创新、集成创新和在引进先进技术基础上的消化吸收再创新。加强自主创新是我国科学技术发展的战略基点。中国仪器仪表学会作为国内仪器仪表行业的专业学会，肩负着增强本行业自主创新能力，提高本行业从业技术人员的创新意识和水平，为本行业以及其他行业研发出更多更实用的仪器和系统的义务和责任。我们希望，通过本书的出版以及本书引发的对创新方法研究的深入，仪器仪表学会能够为我国仪器仪表行业乃至整个国家科技创新能力的增强做出应有的贡献。

让我们为早日将中国建成创新型国家而共同努力！



中国仪器仪表学会理事长

2012 年 12 月 30 日

前言

纵观人类发展的历史,可以说创新是人类社会进步的根本动力。旧石器时代,人们利用打制法制作的工具解决了食物的采集问题,使人类社会得以生存;新石器时代,人们利用磨制法制作的工具解决了食物的生产问题,使人类进入了农业社会;青铜器时代,冶炼技术使农业和手工业得到了较快的发展,也推动了社会制度和政权的建立;铁器时代,坚硬的铁制工具使生产力得到极大的提高,同时促进了社会经济的发展,加速了奴隶制社会的瓦解。而后,中国的四大发明改变了整个世界的许多事物的面貌和状态,并对人类社会的发展产生了巨大的影响。在近代,三次工业革命,即以蒸汽机为代表的第一次工业革命、以电气为代表的第二次工业革命、以计算机技术为代表的第三次工业革命,将人类文明向前推进了一大步。近些年来,半导体技术、原子能技术、航天技术、生物工程技术、海洋工程技术、新材料技术、纳米技术、网络技术等的涌现,使人类在不断的发明和创新的活动中进入了21世纪。

创新活动的执行主体归根结底是从事创造性活动的人,或者称为人才和科技人才。成为创造性人才应该具备的必要条件是创造意愿(或称为创造意识)、创新能力(包括创造能力和完成能力)以及创新成功的保障条件(即软硬件环境,包括物质的、制度的、政策的、文化的环境等)。其中,创造意愿既需要自身的主观能动性,也需要外界通过各种形式去启迪和唤醒;创新能力构成的核心是创造性思维,该能力提升的途径是丰富个人知识、掌握恰当的方法和技巧;保障条件是创新活动所处的环境,受社会大环境和局部小环境的影响,与社会的需求、经济的发展、国家的安全等因素有关。

在人类的创新活动中,普遍思考的问题首先是创新是否有规律可循、创造能力在后天能否得到提高等。为回答这些问题,众多研究者都在致力于创新方法的研究,力图使人们方便地摆脱在面临创新问题时无从下手、不知所措的困境,并使参与创新活动的人们能够借助一些规律和方法,解决创新中的问题。在这些研究中,Alex Osborn的头脑风暴法(Brainstorming)、Genrich Saulovich Altshuller的发明问题解决理论(TRIZ)、Sidney J. Parnes的创意解难(Creative Problem Solving)、Tony Buzan的思维导图(Mind Mapping)、Edward De Bono的水平思考法(Lateral Thinking)和六顶思考帽(Six Thinking Hats)最为流行,受到人们的广泛关注并被积极应用。

其中,TRIZ主要针对产品发展过程中的创新设计问题,通过定义产品设计中存在问题的理想化目标来明确产品发展方向,并通过解决具体设计中存在的冲突来实现理想化目标。TRIZ在解决问题之初,要求人们首先抛开各种客观限制条件,通过理想化来定义问题的最终理想解(IFR),以明确理想解所在的方向和位置,保证在问题解决过程中向着此目标前进,从而避免了传统创新设计方法中缺乏目标的弊端,提升了创新设计的效率。如果将TRIZ创造性解决问题的方法比做通向胜利的桥,那么最终理想解就是这座桥的桥墩。经过六十多年的发展,TRIZ已成为解决发明问题的强有力方法学,而

且在前苏联、美国、欧洲、日本等许多国家和地区的企业被广泛应用,解决了成千上万个新产品开发中的难题。

仪器仪表科技的前沿水平,是一个国家科技水平和国力的重要标志,仪器仪表领域的创新必将大大推动科技和经济的发展。从中国国家统计局的统计数据来看,2009 年固定资产投资中的上万亿元来自进口,其中 60% 为进口仪器设备,进口科学仪器总额为 1000 亿元,而且年增长率约为 30%;特别是大多数领域的高端测量仪器 100% 依赖进口,而涉及国家安全的核心仪器,如超高频、超高精度、超高分辨率的测量仪器,则被禁运。因而,快速提高我国仪器仪表产业的技术水平,是我国科技和生产的迫切需要,而提高产业水平,创新人才是必要条件。本书的目的,主要是针对中国仪器仪表行业创造性人才的培养,重点从创造意愿和创新能力方面提供参考,为推动我国仪器仪表科技的发展做出贡献。本书以 TRIZ 作为主要内容,通过大量与仪器仪表有关的实例,说明 TRIZ 的内涵和应用方法,希望本书有助于仪器仪表行业从事创造性工作的人们掌握创新方法的理论知识和创造技法,提高创新工作效率;更希望有助于那些对发明创造有所畏惧或感到无从下手的人们打破思维惯性、主动地投身到发明创造的活动中来。

全书共分 7 章,第 1 章由傅星教授编写,概括介绍创新方法发展的历史、现状及趋势,重点介绍 TRIZ 的基本概念、核心内容及应用;第 2 章由陈治博士编写,介绍冲突的概念,并详细介绍技术冲突和物理冲突的解决方法;第 3 章由宋乐博士编写,介绍物-场模型分析方法,并对物-场模型的构建方法、标准解及应用进行详细描述;第 4 章由王仲教授编写,介绍科学效应库的概念及应用;第 5 章由朱险峰博士编写,介绍发明问题解决算法(ARIZ)的概念及应用方法;第 6 章由朱险峰博士编写,介绍 TRIZ 给出的技术系统进化定律;第 7 章由傅星教授、朱险峰博士、陈治博士等人编写,通过实例演示 TRIZ 在解决仪器仪表领域实际技术问题时的应用。

当然,TRIZ 仅仅是众多创新方法中的一个,而且 TRIZ 本身也在不断地发展和完善。因此,我们在学习和运用 TRIZ 时,重要的是探讨和发现其中的方法和规律,即不仅要掌握 TRIZ 中已有的原理、模型和规则,还要学会其中分析问题和解决问题的方法。只有这样,才能在进行发明创造时,引导我们的思维,拓展思路,进而提高效率,达到目标。

本书在中国科学技术协会技术创新方法培训丛书指导委员会及编委会专家的指导下完成,得到创新方法工作专项(项目编号:2010IM021300)的资助,由天津大学精密仪器与光电子工程学院的教师总结多年的创新方法教学经验合作编写。书中收集了国内外仪器仪表领域创新方法研究的最新进展和本团队研究的部分成果。由于时间紧迫,水平有限,错误和不足之处在所难免,敬请指正。

编 者

目 录

序

前言

第1章 概论 1

1.1 创新方法的发展现状及趋势 1

1.1.1 创新在人类发展中的重要性 1

1.1.2 创新方法研究现状 4

1.1.3 创新方法的发展趋势 5

1.2 TRIZ 的基本概念 6

1.2.1 TRIZ 的由来及定义 6

1.2.2 TRIZ 的方法概述 8

1.3 TRIZ 的核心 8

1.3.1 冲突 8

1.3.2 资源 9

1.3.3 最终理想解 9

1.4 TRIZ 的体系结构 11

1.5 TRIZ 在仪器仪表行业的应用 14

第2章 冲突与冲突解决原理 16

2.1 引言 16

2.2 冲突的分类 17

2.3 技术冲突的解决方法 18

2.3.1 40 个发明原理 18

2.3.2 39 个工程参数 21

2.3.3 技术冲突问题的求解过程 23

2.3.4 冲突矩阵 24

2.3.5 应用实例 24

2.4 物理冲突的解决方法 28

2.4.1 物理冲突的 11 种分离方法 28

2.4.2 四大分离原理 29

第3章 物-场模型分析法 30

3.1 引言 30

3.2 物-场模型的建立与一般解 32

3.2.1 物-场模型的建立 32

3.2.2 物-场模型一般解的应用 35

3.3 标准解及使用流程 39

3.3.1 标准解及其类型 39

3.3.2 第1类标准解(物-场模型的

建立和拆解) 40

3.3.3 第2类标准解(物-场模型
的改进) 44

3.3.4 第3类标准解(系统转换) 52

3.3.5 第4类标准解(检测和测量) 54

3.3.6 第5类标准解(简化与改进标
准解的策略) 61

3.3.7 标准解的使用流程 67

3.4 工程案例 69

3.4.1 轴类零件加工表面振纹检测
的问题 70

3.4.2 井下原油黏度在线测量的问题 71

第4章 功能代码表与科学效应库 75

4.1 引言 75

4.2 他山之石,可以攻玉 76

4.2.1 同一效应的不同应用 76

4.2.2 不同效应的同一应用 80

4.3 梳理“效应”,事半功倍 83

4.3.1 功能代码表与科学效应库 83

4.3.2 功能代码表与科学效应库应
用举例 91

4.4 “效应”不断,功能无边 93

第5章 发明问题解决算法 96

5.1 ARIZ 简介 96

5.2 ARIZ 的结构 98

5.3 ARIZ 文本 101

5.4 ARIZ 应用案例 104

第6章 技术系统进化论 115

6.1 引言 115

6.2 技术系统进化定律与进化路线 117

6.3 技术系统的 S 曲线进化定律 119

6.4 提高理想度定律 120

6.5 子系统不均衡进化定律 121

6.6 增加动态性(灵活性)定律 124

6.6.1 增加动态性(灵活性)的进化
路线 124

6.6.2 使用智能材料 128

6.6.3 非线性进化路线	129	7.1.1 问题描述	148
6.7 向超系统进化定律	130	7.1.2 用传统方法解决该问题的过程 ...	148
6.7.1 向超系统进化路线(单-双-多 路线)	131	7.1.3 用 TRIZ 方法解决该问题的过程 ...	151
6.7.2 材料进化	135	7.2 用技术冲突解决原理提高大型容器 容积检测速度	154
6.8 向微观水平进化定律	137	7.2.1 问题描述	154
6.9 完整性定律	139	7.2.2 用 TRIZ 解决问题	154
6.10 缩短能量传输路径定律	140	7.3 用 TRIZ 技术系统进化论预测内窥镜 的进化方向	156
6.11 增加物-场交互作用定律	141	7.3.1 内窥镜技术背景	156
6.11.1 复杂物-场	142	7.3.2 内窥镜涉及的主要技术领域	158
6.11.2 加强物-场	144	7.3.3 系统进化定律和进化路线回顾 ...	158
6.11.3 双物-场和多物-场及进化到 微观水平	144	7.3.4 内窥镜技术进化大趋势	159
6.12 节律和谐性定律	144	7.3.5 用技术系统进化定律做指导预 测内窥镜的未来进化	162
6.13 进化路线和进化定律的相互作用	147	附录	169
第 7 章 TRIZ 在仪器仪表行业的应 用实例	148	附录 A 40 个发明原理	169
7.1 用科学效应库进行液面探测技术 的概念设计	148	附录 B 科学效应和现象解释	181
		参考文献	196

第 1 章 概 论

1.1 创新方法的发展现状及趋势

1.1.1 创新在人类发展中的重要性

从一般意义上说,创新是人们追求新事物、谋求发展的主要行为。从一个国家的发展、国民经济建设、国家安全,到一个行业的发展和完善,再到一个企业的发展和壮大,再具体到一个人的进步,发明和创新同样都具有重要意义。

早在公元前 1 世纪,人们就已发现通过球形透明物体去观察微小物体时,可以使其放大成像。后来,随着人们对球形玻璃表面使物体放大成像规律的逐步认识,到 16 世纪 90 年代,荷兰和意大利的眼镜制造者就造出了类似显微镜的放大仪器(见图 1-1a)。17 世纪初,意大利的伽利略和德国的开普勒在研究望远镜的同时,采用逆向思维,利用反向原理,通过改变物镜和目镜之间的距离,得出了合理的显微镜光路结构(见图 1-1b)。17 世纪中叶,英国的胡克和荷兰的列文胡克,都对显微镜的发展做出了卓越的贡献(见图 1-1c)。1665 年前后,胡克在显微镜中加入粗动和微动调焦机构,增加了显微镜的动态性能,适应性增强;增加了照明系统,使显微镜应用时具有自服务功能,不再依赖外部光线;增加了承载标本片的工作台,将样品夹持固定装置与显微镜合并,使显微镜具有了多用途性(见图 1-1d)。这些部件经过不断改进,形成了现代显微镜的基本组成部分,而这些改进都是在克服了一个又一个技术方面的冲突(矛盾)之后实现的。1673~1677 年期间,列文胡克制成了单组元放大镜式的高倍显微镜,其中 9 台保存至今。胡克和列文胡克利用自制的显微镜,在动、植物机体微观结构的研究方面取得了杰出成就。

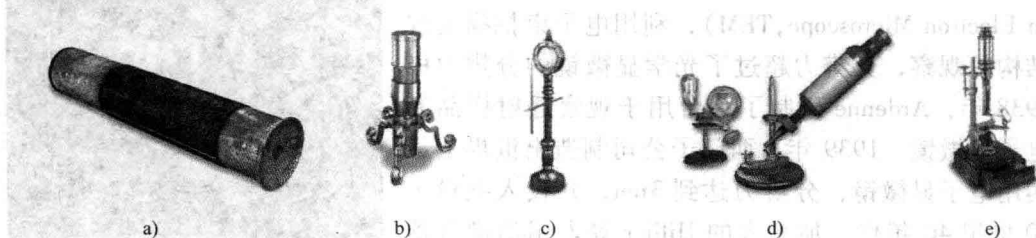


图 1-1 早期显微镜

18 世纪,使用最广泛的是卡夫(Cuff)显微镜(见图 1-1e)。1761 年英国人 George Adams 为英王 George III 制造了一台精美的银显微镜(见图 1-2a)。

由于显微镜的分辨力与物镜的数值孔径成反比,即数值孔径越大,可以分辨两个物点的间距越小,也就是能够看清更小的细节。而物镜的数值孔径受到介质折射率的限制(在以空气作为介质时,数值孔径的极限值为 1.4),因此,在 19 世纪,出现了高质量消色差浸液物镜。这种显微物镜用折射率比空气高的液体作为介质,使显微镜观察微细结构的能力大为提

高。1827 年阿米奇第一个采用了浸液物镜。目前,采用折射率高的溴萘作为介质的显微物镜(溴萘的折射率为 1.66,空气的折射率为 1.0,所以数值孔径值可大于 1.4),已使提高数值孔径进而提高显微镜分辨能力的问题得以解决。到 19 世纪 70 年代,德国人阿贝奠定了显微镜成像的古典理论基础,更促进了显微镜制造和显微观察技术的迅速发展。

历史上最精美的显微镜应属 Wenham 的显微镜(见图 1-2b)。

在显微镜本身结构发展的同时,显微观察技术也在不断创新:1850 年出现了偏光显微术,1893 年出现了干涉显微术,1935 年荷兰物理学家泽尔尼克创造了相衬显微术,他为此在 1953 年获得了诺贝尔物理学奖。

古典的光学显微镜只是光学元件和精密机械元件的组合,它以人眼作为接收器来观察放大的像。后来,人们在显微镜中加入了摄影装置,以感光胶片作为可以记录和存储的接收器,现代又普遍采用光电元件、电视摄像管和电荷耦合器等作为显微镜的接收器,配以微型电子计算机构成完整的图像信息采集和处理系统,使光学显微镜的性能和功能都发生了很大的变化。现代光学显微镜如图 1-2c、图 1-2d 所示。

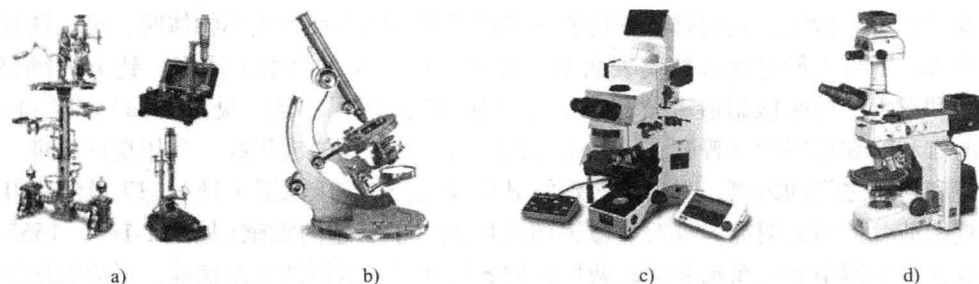


图 1-2 显微镜发展

随着科学研究的深入,微观世界的影像受到关注,特别是对纳米尺度结构和特征的观测日趋紧迫,而光学显微镜由于受到光学衍射极限的限制,不可能实现这方面的观测,于是人们又开始寻求场的帮助。1933 年,人们在“磁透镜”、“极靴”等研究的基础上制造出了世界上第一台透射电子显微镜(Transmission Electron Microscope, TEM),利用电子束扫描实现微观结构的观察,分辨力超过了光学显微镜的分辨力极限。1938 年,Ardenne 研制了一台用于观察透射样品的扫描电子显微镜。1939 年,西门子公司制造出世界上最早的实用电子显微镜,分辨力达到 3nm,并投入批量生产。20 世纪 40 年代,加拿大的 Hillier 等人用消像散器补偿电子透镜的旋转不对称性,使电子显微镜的分辨力达到了 $10\text{\AA}$,达到了现代水平。英国剑桥大学的 Charles Oatley 等人 1948 年起围绕扫描电子显微镜开展了大量的工作,奠定了现代扫描电子显微镜的基础,并于 1952 年制造出了第一台扫描电子显微镜(Scanning Electron Microscope, SEM)(见图 1-3)。

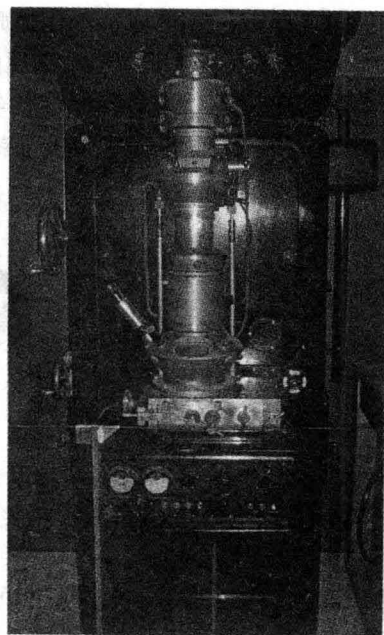


图 1-3 第一台电子显微镜

虽然扫描电子显微镜突破了光学衍射极限,实现了纳

米量级的分辨力,但利用它来观测样品时,需要对样品做一些处理,并且它仅能在真空条件下应用,这就在某种程度上限制了它的应用。因此人们又在寻求其他的方法解决这些问题。1982年,IBM公司在瑞士苏黎世实验室的科学家 G. Binning 和 H. Rohrer 利用量子力学中的隧道效应,发明了扫描隧道显微镜(Scanning Tunneling Microscope, STM),这是人类获得具有原子级分辨力的实空间图像的第一台仪器(见图 1-4),人们借此获得了材料表面的单个原子图像,1986年两人因此获得了诺贝尔物理学奖。而 STM 也有一个不足,就是它只能测量导电的样品,对于非导体无法实现测量。为了弥补这个不足,他们又利用一个高灵敏度的微悬臂梁探针,发明了原子力显微镜(Atomic Force Microscope, AFM)(见图 1-5),使观测的样品范围扩大,并得到了广泛的应用。原子力显微镜直至今日仍是纳米测量领域最常用的仪器之一。在随后的数年间,人们相继研制出扫描近场光学显微镜(Scanning Near-field Optical Microscope, SNOM)、摩擦力显微镜(Friction Force Microscope, FFM)、磁力显微镜(Magnetic Force Microscope, MFM)、静电力显微镜(Electrostatic Force Microscope, EFM)、扫描热显微镜(Scanning Thermal Microscope, SThM)、扫描离子电导显微镜(Scanning Ion Conductivity Microscope, SICM)等,组成了扫描探针显微镜(Scanning Probe Microscope, SPM)家族,在微、纳米测量领域发挥了重要的作用。

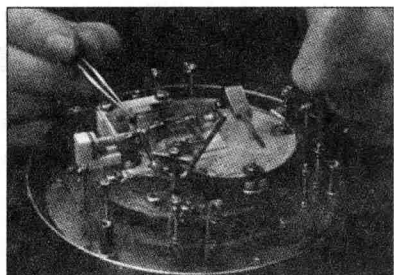


图 1-4 第一台扫描隧道显微镜

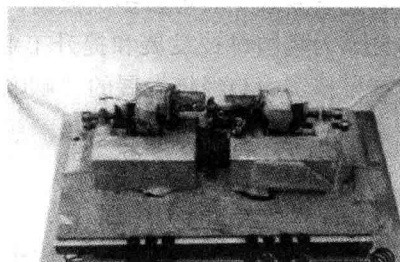


图 1-5 第一台原子力显微镜

纵观显微镜发展历史,在其发展的这几百年间,经历了光学显微镜、电子显微镜、扫描探针显微镜等几个重要的发展时期。最初的光学显微镜只能做简单的观察,装有浸液物镜的显微镜提高了放大倍率,扫描电子显微镜和扫描探针显微镜突破了光学衍射极限,进一步提高了放大倍率。从中不难发现如下现象:

- 1) 每一类显微镜从发明到发展的过程显示其技术在不断地进化,代表主流的性能不断增强。
- 2) 每一类显微镜进化的趋势是有规律的,以性能参数为例,即在初始阶段发展缓慢,而后有一个快速的提升,之后又变得缓慢。
- 3) 技术的每一个进步都是在解决了某些难题后发生的,这些难题通常表现为技术上的冲突。

通过对不同领域、不同程度的发明、创新过程进行分析和归纳,人们发现许多发明和创新都有相似的思维方式和解决方法,同时人们在长期的社会实践中认识到,创新要从思维、方法和工具三个方面进行认识和研究,才能使人类的科技创新实实在在地开展,使人类社会不断进步。具体地说:

科学思维的创新是科学研究取得突破性、革命性进展的先决条件。科学思维始终贯穿于

科学研究的全过程。没有思维的创新，就不可能有科技的进步。

科学方法的创新是取得科技重大进步的必由之路。近代以来，科学方法的创新与科技进步间的关系更加密切。

科学工具的创新是开展科学研究和实现发明创造的必要手段。科学的进步在很大程度上是被科学仪器的发明所推动的。

人类文明发展的每一次科技进步均伴随着科学的发现或技术的发明，可以说，科技创新对于人类社会的发展和进步起到了促进作用，是人类文明不可缺少的组成部分。

弗兰西斯·培根提出了一个重要的哲学概念——实验是自然科学的基础。伽利略把这一哲学概念变成了可以实践的科学方法，并且提出了科学实验的两个基本要素：用科学仪器进行测量和用数字记录（表达）测量的结果，使实验的结果成为可以定量比较和精确计算的数据。

著名科学家门捷列夫说：“没有测量，就没有科学”。正如测量科学的先驱开尔文所说：“一个事物你如果能够测量它，并且能用数字来表达它，你对它就有了深刻的了解；但如果你不知道如何测量它，且不能用数字表达它，那么你的知识可能就是贫瘠的，是不令人满意的。测量是知识的起点，也是你进入科学殿堂的开端。”

著名光学专家王大珩曾多次强调，仪器仪表往往被看做科研和工业生产的“配角”，然而它早已成为我国科技发展和提升工业产品质量的核心组成部分，作用举足轻重。事实证明，中国科技实力与经济发

1.1.2 创新方法研究现状

几种典型的创新方法见表 1-1。

表 1-1 几种典型的创新方法

发 明 人	方 法 名 称	时 间	网 址
Alex Osborn	头脑风暴法 (Brainstorming)	1930 年代	http://www.brainstorming.co.uk
G. S. Altshuller	发明问题解决理论 (TRIZ)	1940 年代	http://www.aitriz.org
Sidney J. Parnes	创意解难 (Creative Problem Solving)	1950 年代	http://www.mlcreativity.co.uk
TonyBuzan	思维导图 (Mind Mapping)	1960 年代	http://mind-mapping.co.uk
Edward De Bono	水平思考法 (Lateral Thinking)	1960 年代	http://www.indigobusiness.co.uk
Edward De Bono	六顶思考帽 (Six Thinking Hats)	1980 年代	http://www.indigobusiness.co.uk

几种典型创新方法的简介如下：

头脑风暴法 (Brainstorming) 出自“头脑风暴”一词，是由美国创造学家 Alex Osborn 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)。前者是在专家群体决策尽可能激发创造性，产生尽可能多设想的方法，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。

发明问题解决理论 (TRIZ) 作为本书讨论的主要内容，将在 1.2 节及其他章节详述。

美国学者 Sidney J. Parnes 提出的创意解难 (Creative Problem Solving) 教学模式，是发展

自 Osborn 所倡导的头脑风暴法及其思考策略。此模式重点在于解决问题的过程中, 问题解决者应以有系统有步骤的方法, 找出解决问题的方案。

思维导图又叫心智图(Mind Mapping)是英国的 Tony Buzan 提出的, 他也因此以大脑先生闻名国际, 成为了英国头脑基金会的总裁, 是“心智文化概念”的创作人。思维导图是表达发射性思维的有效的图形思维工具, 简单却又极其有效。思维导图运用图文并重的技巧, 把各级主题的关系用相互隶属与相关的层级图表现出来, 把主题关键词与图像、颜色等建立了记忆链接。思维导图充分运用左右脑的机能, 利用记忆、阅读、思维的规律, 协助人们在科学与艺术、逻辑与想象之间平衡发展, 从而开启了人类大脑的无限潜能。思维导图因此具有人类思维的强大功能。

水平思考法(Lateral Thinking), 又称为戴勃诺理论、发散式思维法、水平思维法, 是英国心理学家 Edward De Bono 所倡导的广告创意思考法, 因此, 此方法通常又被称为戴勃诺理论。水平思考法是针对垂直思维(逻辑思维)而言的, 它不是过多地考虑事物的确定性, 而是考虑多种选择的可能性; 关心的不是完善旧观点, 而是如何提出新观点; 不是一味地追求正确性, 而是追求丰富性。

六顶思考帽(Six Thinking Hats)也是英国心理学家 Edward De Bono 开发的一种思维训练模式, 或者说是一个全面思考问题的模型。六顶思考帽提供了“平行思维”的工具, 避免将时间浪费在互相争执上, 它强调的是“能够成为什么”, 而非“本身是什么”, 是寻求一条向前发展的路, 而不是争论谁对谁错。运用六顶思考帽, 将会使混乱的思考变得更清晰, 使团体中无意义的争论变成集思广益的创造, 使每个人变得富有创造性。

1.1.3 创新方法的发展趋势

在社会经济发展的不同阶段, 对管理方法等软科学的研究也不同。在生产力不太高、成本和浪费较多的经济发展早期阶段, 人们关注的是如何提高生产效率, 降低成本, 增强产品的市场竞争力; 在生产力得到大幅度提高、产品众多的经济高速增长阶段, 人们关注产品的质量, 通过保证产品的高质量来保持产品的竞争力; 在产品质量普遍提高、日趋成熟的经济发展阶段, 人们又开始关注产品的创新, 通过新产品的开发来保持企业的竞争力。在上述的每一个阶段, 都出现了很多为产品服务的管理方法, 其中以精益生产、Six Sigma、TRIZ 为典型代表。

精益生产(Lean Production)是及时制造, 消灭故障, 消除一切浪费, 向零缺陷、零库存进军。日本丰田汽车公司的生产方式就是这种最适用于现代制造企业的一种生产组织管理方式。精益生产的特点是, 综合大量生产与单件生产方式的优点, 力求在大量生产中实现多品种和高质量产品的低成本生产。

Six Sigma 的名字源于统计学。Sigma 是正态分布的标准差, 是对过程质量特性值变异的衡量, 如果过程质量特征值服从正态分布, 比如公差范围处于过程质量特征值分布的左右两侧 6 倍标准差(Six Sigma)的位置, 则即使考虑过程分布均值出现一些漂移(一般假设为 1.5 倍标准差), 出现缺陷的概率也不过是 3.4×10^{-6} 。因此, Six Sigma 这个名字代表了一个很高的质量水平。不过, 上述只是 Six Sigma 管理的一种统计解释, 所谓 Six Sigma 管理, 其内涵远远超出了统计意义。Six Sigma 管理的目的旨在持续改进企业业务流程, 实现客户满意的管理方法, 它通过系统地、集成地采用质量改进流程, 实现无缺陷的过程设计, 并对现有

过程进行过程定义、测量、分析、改进、控制,消除过程缺陷和无价值作业,从而提高质量和服务、降低成本、缩短运转周期,达到客户完全满意,增强企业竞争力。

TRIZ 主要针对产品发展过程中的创新设计问题,通过定义产品设计中存在问题的理想化目标来明确产品发展方向,并通过解决具体设计中存在的冲突来实现理想化目标。

1.2 TRIZ 的基本概念

1.2.1 TRIZ 的由来及定义

TRIZ 是俄文 теории решения изобретательских задач 的英文音译 Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch 的缩写,英文全称是 Theory of the Solution of Inventive Problems(发明问题解决理论)。TRIZ 由一位俄国学者根里奇·阿奇舒勒(Genrich Saulovich Altshuller,又译阿利赫舒列尔)及他的同事于 1946 年最先提出的。他们最初是从 20 万份(另一种说法是 250 万份)专利中取出符合要求的 4 万份作为各种发明问题的最有效的解,然后从这些最有效的解中抽象出了 TRIZ 解决发明问题的基本方法,这些方法又可以普遍的适用于新出现的发明问题,协助人们获得这些发明问题的最有效的解。

1990 年以后 TRIZ 才走出前苏联,为美国、日本、欧洲及太平洋周边的国家所接受,并迅速发展。Michael A. Orloff 在“*Inventive Thinking through TRIZ*”(2006)一书中描述:TRIZ 是 21 世纪初唯一的发明和工程创新的结构化理论。

TRIZ 专家(TRIZ master),Savransky 博士给出了 TRIZ 的如下定义:TRIZ 是基于知识的、面向人的发明问题解决的系统化方法学。

人类社会的进步与发展、自然科学的重大理论突破,都是在发现并确认理论与实际的冲突基础上,经过长时间的争论及反复的实验验证才形成的。例如,基于麦克斯韦经典电磁理论推演出的黑体辐射定律在长波区的实验中暴露了冲突,在原有的理论框架下解释这一冲突的努力均未成功,普朗克提出了能量的变化不连续,引入了普朗克常数的概念,解决了这个冲突,进而导致了量子论的诞生。

TRIZ 将冲突提到核心问题的层面是科学而严谨的,TRIZ 中描述的冲突本质上就是哲学上所说的“矛盾”。任何人只要以一种常态的心理观察世界的话,都会承认这一点,那就是万事万物都以某种方式发生一定联系,不仅任何事物内部存在着矛盾的对立面,而且任何事物在一定的条件下又与其他的事物构成矛盾的对立面。矛盾无所不在,无论何时何地,任何事物都存在着这样或那样的矛盾,无论是简单的事物还是复杂的事物,这就是矛盾的普遍性。虽然说 TRIZ 是基于知识的、面向人的发明问题解决的系统化方法学,但是它严谨科学的理论体系、清晰准确的概念定位、极富逻辑性且高效的工具都是设计哲学的科学体现。

冲突普遍存在于各种产品的设计之中。按传统设计中的折中法,冲突并没有彻底解决,而是在冲突双方取得折中方案,或称降低冲突的程度。TRIZ 认为,产品创新的标志是解决或移走设计中的冲突,而产生新的有竞争力的解。设计人员在设计过程中不断的发现并解决冲突是推动产品进化的动力。

经过六十多年的发展,TRIZ 已成为发明问题解决的强有力方法学,该方法学已在前苏联、美国、欧洲、日本等许多国家的企业应用,解决了成千上万新产品开发中的难题。

例如,电子式电动调节阀(见图1-6)需要阀门定位准确、定位迅速,阀门的定位动作过程是,由电子控制信号通过放大电路带动电动机运转,再通过机械传动机构带动阀块移动,当到达预定的位置时,停止阀块的运动,以保持一定的开度,从而产生阀门开度的变化。

上述定位动作存在的问题如下:

1) 在这个过程中,如果使阀块的运动速度增大,就可以使阀门开度变化的速度快,进而提高阀门的定位速度;而速度的增加又会使阀块难于停止在预定的位置。这中间存在冲突:增加定位速度的同时,会使定位精度变差;如果采用制动机构辅助定位,制动机构的扭矩要相应增大,可能会带来体积增大、功耗增加等后果。即,一个参数改善的同时,另一个参数恶化。

2) 增加电动机的输出扭矩,就要增加电动机的功率,电动机功率的增加使得散热问题突出。也即,一个参数改善的同时,另一个参数恶化。

又例如,飞机发动机罩形状的设计问题(见图1-7):由于飞机的运载能力的不断增大,要求发动机的功率增大以适应运载能力的需求,而发动机功率增大使得发动机罩的直径增大;由于发动机位于机翼下方,直径的增大必然造成机翼的高度增高,机翼的增高使得机身增高,整机重心增高,以至影响飞机的稳定性和安全性。同样的是,动力性能参数改善的同时,稳定性参数恶化。

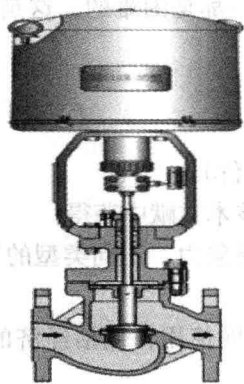


图 1-6 电子式电动调节阀

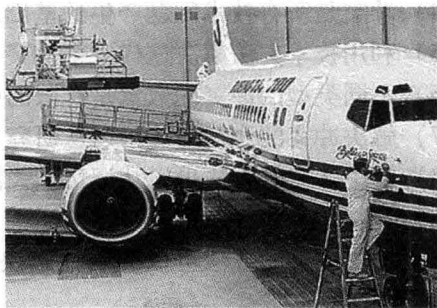


图 1-7 喷气式发动机

TRIZ 将该类问题进行分析和归纳,并对冲突的解决给出了解决原理(40 个发明原理),利用这些发明原理,可以方便地找出冲突问题的解决方案。例如,在解决飞机发动机罩形状设计的问题时,工程师们将发动机罩设计成不对称形状,既满足了大功率发动机对直径的要求,又满足了飞机稳定性对重心的要求。这一创新设计为后来的大型喷气式客机的广泛应用奠定了技术基础。

TRIZ 是基于知识的方法:

1) TRIZ 是发明问题解决启发式方法的知识。这些知识是从全世界范围内的专利中抽象出来的,TRIZ 仅采用为数不多的基于产品进化趋势的客观启发式方法。

2) TRIZ 大量采用自然科学及工程中的效应知识。

3) TRIZ 利用出现问题领域的知识,这些知识包括技术本身、相似或相反的技术或过程、环境、发展及进化。

4) TRIZ 是面向人的方法,即 TRIZ 中的启发式方法是面向设计者的,不是面向机器的。

TRIZ 是系统化的方法:

1) 在 TRIZ 中,问题的分析采用了通用及详细的模型,该模型中问题的系统化知识是重要的。

2) 解决问题的过程系统化,以方便地应用已有的知识。

TRIZ 是发明问题解决理论:

1) 为了取得创新解,需要解决设计中的冲突,但解决冲突的某些步骤是不知道的。

2) 未知的解往往可以被虚构的理想解代替。

3) 通常理想解可通过环境或系统本身的资源获得。

4) 通常理想解可通过已知的系统进化趋势推断。

1.2.2 TRIZ 的方法概述

1. TRIZ 的基本理念

1) 所有系统(不仅是技术系统)的开发都是为了实现一定的功能(有用功能),而且开发都依照一定的规律(可认知的)。

2) 所有系统在有效期内都试图增强它们的有效性,而且有效性可以用系统的正因子(有用功能)和负因子(有害功能)的比值来表示。

3) 所有系统和部件的开发相对于同环境的其他系统来说都是困难的,这是系统有效性增长和技术问题解决慢的主要原因。

4) 冲突是所有技术问题产生的基础。

5) 利用技术方法解决这样一个冲突就是一个发明。

6) 不同类型的冲突的数量是有限的(问题预测和答案评价)。

7) 解决冲突的合适方法可以从研究足够数量的专利和技术文献中获得。

8) 解决冲突的方法可以从记忆、关注力、联想能力、想象力、不同类型的智力(心智)等方面获得。

9) 解决冲突的方法可以和其他解决复杂问题的方法共同使用,包括经济的、技术的,甚至是政治的。

2. TRIZ 所依据的重要原理

1) 问题及其解在不同的工业部门及不同的科学领域重复出现。

2) 技术进化模式在不同的工业部门及不同的科学领域重复出现。

3) 发明经常采用不相关领域中所存在的效应。

3. 影响创新思考过程的障碍

1) 思维惯性(Psychological Inertia): 以往的经验,固有的思维。

2) 有限的知识领域: 学科、专业。

3) 试错法(Trial and Error Method): 效率低下,低水平重复。

1.3 TRIZ 的核心

1.3.1 冲突

冲突: