

机械工程技术人员必备技术丛书

机械创新设计与实例

于惠力 冯新敏 编著



机械工业出版社

本书在创新设计理论的基础上介绍了机械设计创新方法及实例。主要内容有：创新设计与技法，功能原理创新设计，机构创新设计，机械结构创新设计，机械传动的创新设计，造型创新设计，反求创新设计，仿生原理创新设计。本书以实用为主要目的，每章都配有实例。

本书可供初、中级的机械工程技术人員参考，也可供高等院校机械专业及近机类专业作为教材使用。

图书在版编目（CIP）数据

机械创新设计与实例/于惠力，冯新敏编著. —北京：机械工业出版社，2017.10

（机械工程技术人員必备技术丛书）

ISBN 978-7-111-57874-1

I. ①机… II. ①于… ②冯… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 209733 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：黄丽梅 责任编辑：黄丽梅 责任校对：王 延

封面设计：陈 沛 责任印制：张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·13.5 印张·291 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-57874-1

定价：49.00 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

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

前 言

创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力，一个国家的创新能力，决定了它在国际竞争和世界总格局中的地位，所以实施创新驱动发展战略，提高创新设计能力势在必行，迫在眉睫。

创新设计是指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、新颖性及实用成果性的一种实践活动。创新理念与设计实践相结合，发挥创造性的思维，才能设计出新颖、富有创造性和实用性的新产品。

为了让工程设计人员掌握一定的创新设计理论及方法，作者编写了本书。本书在编写过程中力求做到以下几点：

1) 以循序渐进、兼顾理论与工程应用的原则为出发点。本书内容讲解从概念出发，进而到设计理论，再到设计方法，并在其中穿插具体的创新设计实例，有很强的实用性。

2) 在内容的组织安排上，力求由浅入深，逐层推进，便于读者学习。本书内容按照读者学习的顺序进行编写，阅读本书，读者可以先掌握概念，再掌握理论，最后掌握方法和技巧，扎扎实实地学好每一步。

在本书的编写过程中，编者参阅了大量文献资料，引用了有关教材和参考书中的精华及许多专家、学者的部分成果和观点，书后以参考文献一并列出。在此特对有关作者致以真诚的感谢！

鉴于机械创新设计内容涉及面广，加之编者水平有限，书中难免会有不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 创新设计与技法	1
1.1 创新思维	1
1.1.1 思维及类型	1
1.1.2 创新思维的特点	3
1.1.3 创新思维的过程	5
1.1.4 创新思维的方式	6
1.2 创新技法	12
1.2.1 观察法	12
1.2.2 类比法	12
1.2.3 移植法	13
1.2.4 组合法	14
1.2.5 换元法	15
1.2.6 穷举法	16
1.2.7 集智法	17
1.2.8 设问探求法	18
1.2.9 逆向转换法	22
第 2 章 功能原理创新设计	24
2.1 功能原理设计的意义与方法	24
2.2 工艺功能设计方法	28
2.3 综合技术功能设计方法	33
2.4 功能组合设计方法	38
2.5 设计目录方法	40
2.6 功能元素方法	46
2.7 发明问题解决理论	46
2.8 公理化设计方法	55
第 3 章 机构创新设计	59
3.1 简单机构的设计	59
3.1.1 简单动作功能机构的特点和应用	59
3.1.2 机械零件自由度的分析	59
3.2 机构组合创新设计方法	62

3.2.1	机构串联组合方法	62
3.2.2	机构并联组合方法	63
3.2.3	机构叠加组合方法	69
3.2.4	机构反馈组合方法	70
3.3	机构变异设计	72
3.3.1	机架变异	72
3.3.2	运动副尺寸变异	76
3.3.3	构件的变异	77
3.3.4	机构的扩展	79
3.3.5	机构的等效代换	83
3.3.6	机构的移植	87
3.4	机构再生运动链方法	91
3.4.1	概述	91
3.4.2	确定原始机构找出一般化运动链	91
3.4.3	运动链连杆类配	93
3.4.4	组合运动链和优化运动链	94
3.4.5	实例分析	95
第4章	机械结构创新设计	97
4.1	结构方案的变异设计	97
4.1.1	工作表面的变异	97
4.1.2	轴毂连接结构的变异	99
4.1.3	联轴器连接方式变异	102
4.2	提高性能的设计	105
4.2.1	提高强度和刚度的设计	106
4.2.2	提高精度的设计	108
4.2.3	提高工艺的设计	112
4.3	适应材料性能的创新设计	116
4.3.1	扬长避短	116
4.3.2	性能互补	116
4.3.3	结构形状变异	119
4.4	结构的宜人化设计	119
4.4.1	适合人的生理特点的结构设计	119
4.4.2	适合人的心理特点的结构设计	122
4.5	模块拼接的结构设计	125
4.6	结构创新设计实例	126
第5章	机械传动的创新设计	134

5.1 传动类型分析	134
5.2 各种传动创新设计实例分析	135
5.2.1 齿轮传动	135
5.2.2 链传动	138
5.2.3 液力偶合器和液力变矩器	141
5.2.4 离合器	143
第6章 造型创新设计	146
6.1 造型设计的一般原则	146
6.2 实用性与造型	148
6.3 人机工程与造型	149
6.4 美观与造型	154
6.4.1 造型与形态	155
6.4.2 造型与材质	158
6.4.3 造型与色彩	159
6.5 安全性与造型设计	161
6.5.1 安全装置	161
6.5.2 防护装置	163
6.6 现代风格与仿生造型设计	164
第7章 反求创新设计	168
7.1 概述	168
7.1.1 反求问题的提出	168
7.1.2 反求设计的含义	169
7.2 反求设计的内容与过程	170
7.3 反求实例分析	177
第8章 仿生原理创新设计	182
8.1 仿生学与仿生机学简述	182
8.2 仿生机设计分析	184
8.2.1 仿生机手	184
8.2.2 步行与仿生机构的设计	188
8.2.3 爬行与仿生机构的设计	195
8.2.4 飞行与仿生机构的设计	200
8.2.5 游动与仿生机构的设计	203
参考文献	207

第 1 章 创新设计与技法

1.1 创新思维

创新思维是一种思维方法，而创新的核心就在于创新思维。创新思维是指在思考过程中，采用能直接或间接起到某种开拓、突破作用的一种思维；它既是一种能动的思维发展过程，又是一种积极的自我激励过程；它需要逻辑思维作为基础，也需要非逻辑思维在一定环节和阶段上发挥作用。

1.1.1 思维及类型

思维是抽象范围内的概念，观察的角度不同，思维的含义就不同，哲学、心理学和思维科学等不同学科对思维的定义也不尽相同。但综合起来，所谓思维，是指人脑对所接受和已储存的来自客观世界的信息进行有意识或无意识、直接或间接的加工，从而产生新信息的过程。这些新信息可能是客观实体的表象，也可能是客观事物的本质属性或内部联系，还可能是人脑产生的新的客观实体，如文学艺术的新创作、工程技术领域的新成果、自然规律或科学理论的新发现。

思维的产生是人脑的左脑和右脑同时作用和默契配合的结果。思维具有流畅性、灵活性、独创性、精细性、敏感性和知觉性的特征，根据思维在运作过程中的作用地位，思维主要有下述几种类型。

1. 形象思维

形象思维就是依据生活中的各种现象加以选择、分析、综合，然后加以艺术塑造的思维方式。它也可以被归纳为与传统形式逻辑有别的非逻辑思维。严格地说，联想只完成了从一类表象过渡到另一类表象，它本身并不包含对表象进行加工制作的处理过程，而只有当联想导致创新性的形象活动时，才会产生创新性的成果。形象思维又称为具体思维或具体形象的思维。它是人脑对客观事物或现象的外部特点和具体形象的反映活动。这种思维形式表现为表象、联想和想象。形象思维是人们认识世界的基础思维，也是人们经常使用的思维方式，所以形象思维是每个人都具有的思维方式。表象是指具体的性质、颜色等特征在大脑中的印记，如视觉看到的狗、猫或汽车的综合形象信息在人脑中留下的印象。表象是形象思维的具体结果。训练人的观察力是加强形象思维的最佳途径。

2. 抽象思维

抽象思维是思维的高级形式，又称为抽象逻辑思维或逻辑思维。抽象思维法就是利用概念，借助言语符号而进行的反映客观现实的思维活动。其主要特点是通过分析、综

合、抽象、概括等基本方法的协调运用，揭露事物的本质和规律性联系。从具体到抽象，从感性认识到理性认识必须运用抽象思维方法。如在齿轮传动中，能保证瞬时传动比的一对互相啮合的齿廓曲线必须为共轭曲线（概念），因为渐开线满足共轭曲线的条件，所以渐开线为齿廓的齿轮必能保证其瞬时传动比为恒定值（判断），这就是一种推理的过程。概念、判断、推理构成了抽象思维的主体。

3. 发散思维

发散思维又称多向思维、辐射思维、扩散思维、求异思维、开放思维等，是指对某一问题或事物的思考过程中，不拘泥于一点或一条线索，而是从仅有的信息中尽可能向多方向扩展，不受已经确定的方式、方法、规则和范围等的约束，并且从这种扩散的思考中求得常规的和非常规的多种设想的思维。它是以少求多的思维形式，其特点是从给定的信息输入中产生出众多的信息输出。其思维过程为：以要解决的问题为中心，运用横向、纵向、逆向、分合、颠倒、质疑、对称等思维方法，考虑所有因素的后果，找出尽可能多的答案，并从许多答案中寻求最佳，以便有效地解决问题。以汽车为例，用发散思维方式进行思考，可以想到有多种用途的汽车：客车、货车、救护车、消防车、洒水车、邮车、冷藏车、食品车等。另一个例子，大蓟花籽上有很多小勾能粘在衣服上，由此发明了尼龙拉链，这就可看成是辐射思维和横向思维的例子。

4. 收敛思维

收敛思维又称集中思维、求同思维等，是一种寻求某种正确答案的思维形式。它以某种研究对象为中心，将众多的思路和信息汇集于这一中心，通过比较、筛选、组合、论证，得出现存条件下解决问题的最佳方案。其着眼点是从现有信息产生直接的、独有的、为已有信息和习俗所接受的最好结果。在创造过程中，只用发散思维并不能使问题直接获得有效的解决。因为解决问题的最终选择方案只能是唯一的或是少数的，这就需要集聚，采用收敛思维能使问题的解决方案趋向于正确目标。发散思维与收敛思维是矛盾的对立与统一现象，二者的有效结合，才能组成创造活动的一个循环。收敛思维是利用已有知识和经验进行思考，从尽可能多的方案中选取最佳方案。以某一机器中的动力传动为例，利用发散思维得到的可能性方案有齿轮传动、蜗杆蜗轮传动、带传动、链传动、液力传动等。再根据具体条件分析判断，选出最佳方案，如要求体积小且减速比较大，则可以选择蜗杆蜗轮传动方案。

5. 动态思维

动态思维是一种运动的、不断调整的、不断优化的思维活动。其特点是根据不断变化的环境、条件来不断改变自己的思维秩序、思维方向，对事物进行调整、控制，从而达到优化思维目标。它是我们在日常工作和学习中经常应用的思维形式。

6. 有序思维

有序思维是一种按一定规则和秩序进行的有目的的思维方式，它是许多创造方法的基础。常规机械设计过程中，经常用到有序思维。如齿轮设计过程，按载荷大小计算齿轮的模数后，再将其标准化，按传动比选择齿数，进行几何尺寸计算、强度校核等过程，都是典型的有序思维过程。

7. 直接思维

直接思维是创造性思维的主要表现形式。直接思维是一种非逻辑抽象思维，是人基于有限的信息，调动已有的知识积累，摆脱惯常的思维规律，对新事物、新现象、新问题进行的一种直接、迅速、敏锐的洞察和跳跃式的判断。

8. 创造性思维

创造性思维是一种最高层次的思维活动，它是建立在前述各类思维基础上的人脑机能在外界信息激励下，自觉综合主观和客观信息产生的新客观实体，如创作文学艺术新作品、工艺技术领域的新成果、自然规律与科学理论的新发现等思维活动和思维过程。

9. 质疑思维

质疑是人类思维的精髓，善于质疑就是凡事问几个为什么，用怀疑和批判的眼光看待一切事物，即敢于否定。对每一种事物都提出疑问，是许多新事物新观念产生的开端，也是创新思维的最基本方式之一。

10. 灵感思维

灵感思维是一种特殊的思维现象，是一个人长时间思考某个问题得不到答案，中断了对它的思考以后，却又会在某个场合突然产生对这个问题的解答的顿悟。灵感思维是潜藏于人们思维深处的活动形式，它的出现有许多偶然因素，并不以人的意志为转移，但能够努力创造条件，也就是说要有意识地让灵感随时凸显出来。灵感思维具有跳跃性、不确定性、新颖性和突发性的特征。例如，有一次肖邦养的一只小猫在他的钢琴键盘上跳来跳去，出现了一个跳跃的音程和许多轻快的碎音，这些音符点燃了肖邦灵感的火花，由此创作出了《F大调圆舞曲》的后半部分旋律，据说这个曲子又有“猫的圆舞曲”的别称。

11. 理想思维

理想思维就是理想化思维，即思考问题时要简化、制定计划要突出、研究工作要精辟、结果要准确，这样就容易得到创造性的结果。

1.1.2 创新思维的特点

1. 创新思维具有开放性的特点

所谓开放性思维是指突破传统思维定势和狭隘眼界，多视角、全方位看问题的思维。具备了开放性的思维方式，就能够不断地有所发现、有所发明、有所创造、有所前进。任何创造性思维活动都是在一定的人类思想成果基础上进行的，都是对既定思维成果的丰富或扩张，是对原有知识界限的破坏和原有知识结构的补充。所以，创造性思维本质上是一种开放性思维。任何思维上的创造都必须以开放的思维为桥梁。任何创造性的思维成果，都是开放性思维方式的结晶。开放性主要针对封闭性而言。封闭性思维是指习惯于从已知经验和知识中求解，偏于继承传统，照本宣科，落入“俗套”，因而不利于创新。而开放性思维则是敢于突破定势思维，打破常规，挑战潮流，富有改革精神。

开发性思维强调思维的多样性，从多种角度出发考虑问题，其思维的触角向各个层

面和方位延伸，具有广阔的思维空间；开放性思维强调思维的灵活性，不依照常规思考问题，不是机械地重复思考，而是能够及时转换思维视角，为创新开辟新路。例：从“0, 1, 2, 4, 3, 7, 8, 1”中寻找规律，若按照常规，仅从数字本身上寻找规律，很难找出规律。突破数字的定势思维，而从构成数字的笔画形状进行思维，则就会很快发现它们规律，原来这是由曲线一直线交错排列的一组符号。当年，爱迪生让他实验室的一位大学生提供电灯泡体积的数据，这位新助手用高等数学的方法足足计算了几小时。爱迪生对此深感遗憾，因为在他看来，这种问题只需一两分钟就能解答，而且只需要小学生的知识就足够了，你知道用什么方法吗？

2. 创新思维具有求异性的特点

众所周知，我国学生以求同思维见长，求异思维见短。究其原因，除历史传统和文化背景外，主要是我国的应试教育造成的。由此可见，引导学生具有求异性思维的教育已成为摆在我们面前的一个亟待解决的突出问题。求异性主要针对求同性而言。求同性是人云亦云，照葫芦画瓢。而求异性则是与众不同、前人不同，是独具卓识的思维。

求异性思维强调思维的独特性，其思维角度、思维方法和思维路线别具一格、标新立异，对权威与经典敢怀疑、敢挑战、敢超越；求异性思维强调思维的新颖性，其表现为：提出的问题独具新意，思考问题别出心裁，解决问题独辟蹊径。新颖性是创新行为最宝贵的性质之一。例如，有一位家长带着儿子去池塘捉鱼。捉鱼前家长叮嘱儿子：“捉鱼时不要弄出声响，否则鱼就吓得逃往深处，无法捉了。”儿子照办了，果然他们满载而归。过了一些天，儿子独自去捉鱼，竟然捉得更多。家长惊喜地问：“你是怎么捉的？”儿子说，“您不是说一有声响鱼就逃往深处吗？我先在池塘中央挖了一个深坑，再向池塘四周扔石子。待鱼逃进深坑之后，捉起来就容易多了，就像是在瓮中捉鱼。”这则故事给予人们很多启示。其中，家长的经验是正确的，因为他是根据鱼儿的生活习性在捉鱼。儿子继承了家长的经验，但是没有迷信家长，而是用一种求异性的眼光看问题。因此，儿子的做法也是正确的，他也是根据鱼儿的生活习性在捉鱼。不同的是，家长掌握的是在岸上捉鱼的规律，孩子又找到一条在水中捉鱼的规律。

3. 创新思维具有突发性的特点

突发性主要体现在直觉与灵感上。所谓直觉思维是指人们对事物不经过反复思考和逐步分析，而对问题的答案做出合理的猜测、设想，是一种思维的闪念，是一种直接的洞察；灵感思维也常常是以一闪念的形式出现，但它不同于直觉，灵感思维是由人们的潜意识与显意识多次叠加思维而形成的，是长期创造性思维活动达到的一个必然阶段。

例如，伦琴发现 X 射线的过程就是一个典型的实例。当时，伦琴和往常一样在一个原定实验的准备，该实验要求不能漏光。正当他一切准备就绪开始实验时，突然发现附近的一个工作台上发出微弱的荧光，室内一片黑暗，荧光从何而来呢？此时，伦琴迷惑不解，但又转念一想，这是否是一种新的现象呢？他急忙划一根火柴来看一个究竟，原来荧光发自一块涂有氰亚铂酸钡的纸屏。伦琴断开电流，荧光消失，接通电流，荧光又出现了。他将书放到放电管与纸屏之间进行阻隔，但纸屏照样发光。看到这种情况，伦琴极为兴奋，因为他知道，普通的阴极射线不会有这样大的穿透力，可以断言肯

定是一种人所未知的穿透力极强的射线。经过 40 多天的研究、实验，终于肯定了这种射线的存在，还发现了这种射线的许多特有性质，并且命名为 X 射线。

事实上，在伦琴发现 X 射线之前，就曾有人见到过这种射线，他们不是视而不见，就是因干扰了其原定的实验进行而气恼，结果均失掉了良机。而伦琴则不同，他抓住了突发的机遇，追根溯源，终于取得了伟大的成功。

4. 创新思维是逻辑与非逻辑思维有机结合的产物

逻辑思维是一种线性思维模式，具有严谨的推理，一环紧扣一环，是有序的。常采用的逻辑思维方式一般有分析与综合、抽象与概括、归纳与演绎、判断与推理等，是人们思考问题常采用的基本手段。

非逻辑思维是一种面性或体性的思维模式，没有必须遵守的规则，没有约束，侧重于开放性、灵活性、创造性，如前文所介绍的联想、想象、直觉、灵感等思考方式。

在创新思维中，需要两种思维的互补、协调与配合。需要非逻辑思维开阔思路，产生新设想、新点子；也需要逻辑思维对各种设想进行加工整理、审查和验证。这样才能产生一个完美的创新成果。

1.1.3 创新思维的过程

1. 酝酿准备阶段

酝酿准备是明确问题、收集相关信息与资料，使问题与信息在头脑及神经网络中留下印记的过程。大脑的信息存储和积累是激发创造性思维的前提条件，存储信息量越大，激发出来的创造性思维活动也越多。

在此阶段，创造者已明确了自己要解决的问题。在收集信息的过程中，力图使问题更概括化和系统化，形成自己的认识，弄清问题的本质，抓住问题疑难的关键所在，同时尝试和寻求解决问题的方案和各种想法的可行性。

若问题简单，可能会很快找到解决问题的办法；若问题复杂，可能要经历多次失败的探求；当阻力很大时，则中断思维，但潜意识仍在大脑深层活动，等待时机。

2. 潜心加工阶段

在取得一定数量的与问题相关的信息之后，创造主题就进入了尝试解决问题的创造过程：人脑的特殊神经网络结构使其思维能进行高级的抽象思维和创造性思维活动。在围绕问题进行积极思索时，人脑对神经网络中的受体不断进行能量积累，为生产新的信息积极运作。潜意识的参与是这一阶段思维的主要特点。一般来说，创造不可能一蹴而就，但每一次挫折都是成功创造的思维积累。有时候，由于某一关键性问题久思不解，从而暂时地被搁置在一边，但这并不是创造活动的终止，事实上人的大脑神经细胞在潜意识指导下仍在继续朝着最佳目标进行思维，也就是说创造性思维仍在进行。

3. 顿悟阶段

顿悟阶段是创造性思维的突破阶段，是创造主题在特定的情境下得到特定的启发被唤醒，人脑有意无意地浮现某些新形象、新思想、新创意，使一些长期悬而未决的问题一念之下得以解决的现象。顿悟其实并不神秘，它是人类高级思维的特性之一。该阶段

的作用机制比较复杂，一般认为是与长期酝酿所积蓄的思维能量有关，这种能量会冲破思维定势和障碍，使思维获得开放性、求异性、非显而易见性。凯库勒是德国有机化学家，据说他在研究有机化学结构时，闭着眼睛能想象出各种分子的立体结构。他已经测定清楚：苯分子是由6个碳原子和6个氢原子组成的，但这些原子又是以什么方式组织起来的呢？1865年圣诞节后的一天，凯库勒试着写出了几十种苯的分子式，都不对。他困倦了，躺在壁炉旁的靠椅上迷迷糊糊地睡着了。“那是什么？”他眼前的6个氢原子和6个碳原子连在了一起，仿佛一条金色的蛇在舞蹈，不知因为什么缘故，蛇被激怒了，它竟然狠狠地一口咬住了自己的尾巴，形成了一个环形，然后就不动了，仔细一看，又好像是一只熠熠生辉的钻石戒指。这时，凯库勒醒了，发现原来这不过是一个奇怪的梦，梦中看到的环形排列结构还依稀记得，凯库勒立即在纸上写下了梦中苯分子的环状结构。有机化学中的重要物质苯的分子结构式就这样以梦的顿悟形式得到了解决。

4. 验证阶段

创造性思维不仅注重形式上的标新立异，内容上也要求精确可靠，所以还需要实践的验证。

1.1.4 创新思维的方式

创新能力的培养与提高离不开创新思维，所以很有必要了解、熟悉和掌握一些创新思维的方式。尤其是现在以创新为基本特征的知识经济时代，若能花一点时间系统地学一学创新思维方式，比自己再去慢慢摸索、体会与积累经验，效果会更好。

1. 利用事物的形象进行创新思维

事物的形象是指一切物体在一定空间和时间上所表现出来的各个方面的具体形态。它不仅包括物体的形状、颜色、大小、重量，还包括物体的声响、气味、温度、硬度等。利用事物的形象进行创新思维就是利用头脑中的表象和意象思维。表象是储存在大脑中的客观事物的映像，意象则是思考者对头脑中的表象有目的进行处理加工的结果。

利用事物的形象进行创新思维有联想思维和想象思维两种方式。

(1) 联想思维 人们根据所面临的问题，从大脑庞大的信息库中进行检索，提取出有用的信息。此时思路由此及彼地连接，即由所感知或所思的事物、概念或现象中，联想到其他与之有关的事物，这是正常人都具有的思维本能。一个人要会联想，要善于联想，必须要掌握一定的联想方式。

1) 相似联想。由一事物或现象刺激，想起与其相似的事物或现象。其主要体现在时间、空间、功能、形态、结构、性质等方面相似。相似中很可能隐含着事物之间难以觉察的联系。例如，通过相似联想，医生由建筑上的爆破联想到人体器官内结石的爆破，而发明了医学的微爆破技术。又例如，19世纪20年代，英国想在泰晤士河修建一条下水道，由于土质条件很差，用传统的支护开挖法，松软多水的河底很容易塌方，施工极为困难，工程师布鲁尔对此感到一筹莫展。一天，他在室外散步，无意中看见一只硬壳虫借助自己的坚硬的壳体使劲往橡树皮里钻。这一极为平常的现象触动了布鲁尔的创造灵感。他想，河下施工与昆虫钻洞的行为是多么相似啊，如果把空心钢柱横着打进

河底，以此构成类似昆虫硬壳的“盾构”，边掘进边建构，在延伸的盾构保护下，施工不就可以顺利进行了吗？这就是现在常用的“盾构施工法”。

2) 相关联想。利用事物之间存在着某种连锁关系，如互相有影响、互相有作用、互相有制约、互相有牵制等，一环紧扣一环地进行联想，使思考逐步地进行逐步地深入，从而引发出某种新的设想。例如，由火灾联想到烟雾传感器；由高层建筑联想到电梯。

3) 对比联想。在头脑中可以根据事物之间在形状、结构、性质、作用等某个方面存在着的互不相同，或彼此相反的情况进行联想，从而引发出某种新设想来。例如，由热处理想到冷处理，由吹尘想到吸尘等。21世纪避雷的新思路就是由对比联想而产生的。国际上一直通用的避雷原理是美国富兰克林的避雷思想，这种思想是吸引闪电到避雷针，避雷针又与建筑物紧密相连，这就要求建筑物必须安装导电良好的接地网，使电传入地，确保建筑物的安全。因此也就增加了落地雷的概率，产生了由避雷针引发的雷灾。这些灾害的发生引起了研究人员对避雷思想的反思。1996年中国科学家庄洪春从避雷针的相反思路研究，发明了等离子避雷装置，这种装置不是吸引闪电，而是拒绝闪电，使落地雷远离被保护的建筑物，特别适合信息时代的防雷需要。

4) 强制联想。将完全无关或关系相当偏远的多个事物或想法牵强附会地联系起来，进行逻辑型的联想，以此达到创造目的的创新技法。强制联想实际上是使思维强制发散的思维方式，它有利于克服思维定势，因此往往能产生许多非常奇妙的、出人意料的创意。

(2) 想象思维 从心理学角度来看，想象是对头脑中已有的表象进行加工、排列、组合而建立起新的表象的过程。想象思维可以帮助人发现问题，依靠想象的概括作用，可帮助人们在头脑中塑造新概念、新设想；想象是理性的先驱，想象可以帮助人们反思过去、展望未来。爱因斯坦曾说过：“想象力比知识更重要，因为知识是有限的，而想象力概括世界上的一切，推动着进步，并且是知识进化的源泉。严格地说，想象力是科学研究中的实在因素”。想象的类型包括以下几种：

1) 创造想象。在思维者的头脑中对某些事物形象产生了特定的认识，并按照自己的创见对事物进行整个或者部分抽取，再根据某种需要将其组成一种有自身结构、性质、功能与特征的新事物形象。

例如，《国外科技动态》2004(3)曾刊登一篇《关于新人力能源设计畅想》的文章，就是想象利用人体对路面不断施加的压力来发电。如图1-1所示，尽管电流很小，但非常频繁，若将这些电流存储起来，就足够供街灯、交通灯、建筑物内照明等使用。这一想象如果能付诸实施，那么人们就可以充分利用过去浪费掉的人体能量，朝着一个生态友好、自足的人类社会迈进。

2) 充填想象。思维者在仅仅认识了某事物的某些组成部分或某些发展环节的情况下，头脑中通过想象，对该事物的其他组成部分或其他发展环节加以填充补实，从而构成一个完整的事物形象。

人们在实践中得到的事物表象，由于受时间或空间的限制，常常只是客观事物的一

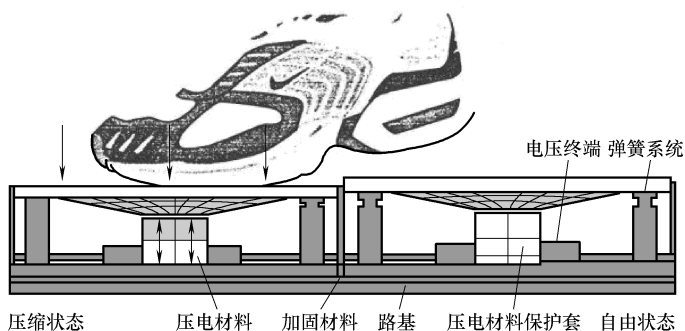


图 1-1 新人力能源设计畅想

个或几个部分，或片段，因而需要进行充填想象，以推知事物的全貌。如古生物学家根据一具古生物化石，就能凭想象推测这个古生物的原有形态；侦查人员根据目击者提供的犯罪现场情况，便能想象出罪犯的形体外貌。在科技杂志上看到某先进的设备照片，可以尝试用充填想象分析出内部结构。

例如，图 1-2b 所示是一种可能用来在玉器上刻画螺旋线的机器，是充填想象的产物。美国哈佛大学一个物理学研究生仔细研究了春秋时代陪葬用的装饰翡翠环（见图 1-2a），发现环上刻有螺旋线形花纹（有些与阿基米德螺旋线吻合到只差 $200\mu\text{m}$ ），这有力地证明它们是由复合机器制成的，并想象出该复合机器的结构形状，比西方世界出现的类似设备至少要早 3 个世纪。

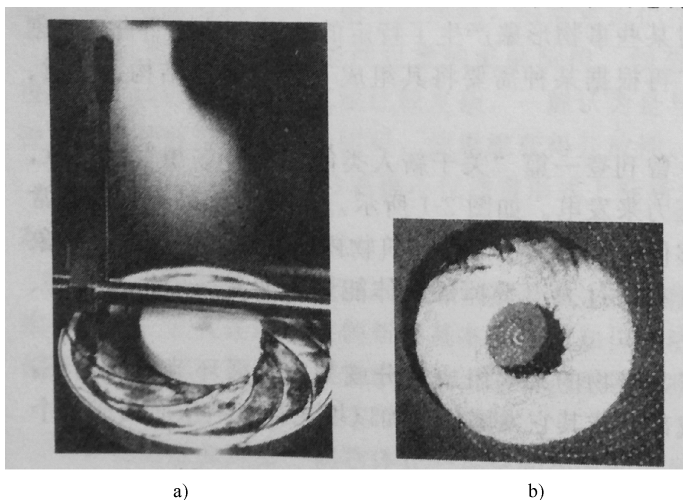


图 1-2 中国的复合机器

3) 预示想象。根据思维者已有的知识、经验和形象积累，在头脑中构成一定的设想或愿望，这些设想和愿望虽然现在还不存在，以后却有可能产生。

预示想象也称为幻想，是从现实出发而又超越现实的一种思维活动。幻想可以使人

思维超前、思路开阔、思绪奔放，因此在创新活动的初期，它的作用是很明显的。19世纪法国著名科学幻想作家儒勒·凡尔纳被称为“科学幻想小说之父”，其作品《神秘岛》、《地心记》、《海底两万里》等中的幻想产物，如电视机、直升机、潜水艇等都已成为现实。俄国著名化学家门捷列夫对凡尔纳的评价很高，认为他的作品对自己的研究很有启发，有助于自己思考问题、解决问题。

4) 导引想象。思维者通过在头脑中具体细致地想象和体验自己正进行顽强努力，完成某一复杂艰巨任务以及完成任务后的成功情景与喜悦心情，从而高度协调发挥自身潜在的智力与体力，以促进任务的顺利完成。

导引想象应用在医学中可以减轻病人的痛苦，有利于治疗，美国西雅图的湾景烧伤中心，烧伤病人接受虚拟现实疗法，以减轻伤口护理过程中造成的痛楚。病人带着头罩式的显示器，使用操纵杆操纵称为“冰雪世界”的程序，这一程序是专为解除烧伤病人的痛楚而设计的。研究表明，在痛苦不堪的伤口护理期间，这种导引想象的方法对减轻病人的痛苦很有效果。

(3) 形象思维能力的培养与提高 关于如何提高形象思维能力，提出以下几个方面仅供参考：

1) 要深入学习各种知识，包括不同学科的、不同领域的知识；应该不断注意积累各种实践经验；还必须养成善于观察、分析各种事物以及物体的结构特征的习惯，对各类事物形象掌握得越多，越有利于形象思维。这些知识、经验以及各种事物的形象特征将为形象思维奠定坚实的基础。

2) 要自觉地锻炼思维联想能力。应注重事物之间的联系，常做一些提高联想能力的训练，可以在两个事物或两个事件之间进行联想，或按时间顺序及空间顺序进行联想等。

例如，达·芬奇把铃声和石子投入水中所发生的现象联系在一起，联想到声音是以波的形式传播的；电报发明者塞缪尔·莫尔斯为不知如何将电报信号从东海岸发送到西海岸而苦思冥想，一天，他看到疲乏的马在驿站被换掉，因此就由驿站联想到增强电报信号，使问题得以解决。

3) 要自觉地锻炼思维想象能力。常选择一些问题展开想象，例如当你面对一个问题时，应向自己提出，我能用多少种方式来看待这个问题，我能用多少种方法解决这个问题；常在头脑中对一些事物进行分解、组合或增添，想象能生成一个什么样的新事物；经常欣赏艺术作品，并对结局展开几种可能的想象等。

2. 通过灵感的激发进行创新思维

灵感思维是指思维者在实践活动中因思想高度集中而突然表现出来的一种精神现象。灵感具有突发性、瞬间性、情感性（伴随激情）等特点。

激发灵感的方式有以下几种：

(1) 自发灵感 自发灵感是指在对问题进行较长时间执着地思考探索的过程中，需要随时留心或警觉所思考问题的答案或启示，有可能在某一时刻会在头脑中突然闪现。例如，英国发明家辛克莱在谈及他发明的袖珍电视机时说道：“我多年来一直在

想,怎样才能把电视机显像管的长尾巴去掉,有一天我突然灵机一动,想了个办法,将长尾巴做成 90° 弯曲,使他从侧面而不是从后面发射电子,结果就设计出了厚度只有3cm的袖珍电视机。”

可以看出对问题先是深思熟虑,然后丢开、放松,挖掘并利用潜意识,由紧张转入既轻松又警觉的状态,是产生和自发灵感的最有效方法。

(2) 诱发灵感 诱发灵感是指思维者根据自身、生理、爱好、习惯等诸方面的特点,采取某种方式或选择某种场合,例如散步、沐浴、听音乐或演奏等,以及西方的所谓三B思考法,即bed(躺在床上思考)、bath(沐浴时思考)、bus(等候或乘坐公共汽车时思考),有意识地促使所思考问题的某种答案或启示在头脑中出现。例如法国一数学家潘卡尔做出“不定三级二次型的算术变换和非欧几何的变换方法完全一样”的结论是在海边散步时突然领悟的。

(3) 触发灵感 触发灵感是指思维者在对问题已进行较长时间执着思考的探索过程中,需随时留心 and 警觉,在接触某些相关或不相关的事物时,有可能引发所思考问题的某种答案或启示在头脑中突然闪现,有些类似触景生情的感觉。另外,根据多人经验,同人交谈,也经常能起到触发灵感的作用。因为每个人的年龄、身份、文化程度、知识结构、理解能力等各不相同,思考问题的特点、方式和思路也会有差异。在交谈中,不同的思路、思考方式和特点互相融汇、交叉、碰撞或冲突,就能打破或改变个人的原有思路,使思想产生某种飞跃和质变,迸发出灵感的火花。我国古语说“石本无火,拍击而后发光”。例如,在1875年6月2日,贝尔和他的助手华生分别在两个房间里试验多任务电报机,一个偶然发生的事故启发了贝尔。华生房间里的电报机上有一个弹簧粘到磁铁上了,华生拉开弹簧时,弹簧发生了振动。与此同时,贝尔惊奇地发现自己房间里电报机上的弹簧也颤动起来,还发出了声音,是电流的作用把振动从一个房间传到了另一个房间。贝尔的思路顿时大开,他由此想到:如果人对着一块铁片说话,声音将引起铁片振动;若在铁片后面放上一块电磁铁的话,铁片的振动势必在电磁铁线圈中产生时大时小的电流。这个波动电流沿电线传向远处,远处的类似装置上不就会发生同样的振动,发出同样的声音吗?这样声音就沿电线传到远方去了。这不就是梦寐以求的电话吗!贝尔和华生按新的设想制成了电话机。

(4) 逼发灵感 逼发灵感指情急能生智,在紧急情况下,不可惊慌失措,要镇静思考、谋求对策,解决某种问题的答案或启示,此时有可能在头脑中突然闪现。被西方誉为创造学之父的美国人奥斯本曾说过:“舒适的生活常使我们创造力贫乏,而苦难的磨炼却能使之丰富。”“在感情紧张状态下,构想的涌出多数比平时快。……当一个人面临危机之时,想象力就会发挥最高的效用”。在日常所说的某人如何急中生智,就指的是“逼发灵感”。

(5) 灵感思维的培养 要有需要创新思维的课题;必须具备一定的经验与知识;要对问题进行较长时间的思考;要有解决问题的强烈愿望;要在一定时间的紧张思考之后转入身心放松状态;要有及时抓住灵感的精神准备和及时记录下来的物质准备。