

# 创新之道



## TRIZ 理论与实战精要

姚威 韩旭 储昭卫 著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

这是一本专门讲解如何灵活运用发明问题解决理论进行创新实战的著作。书中内容不仅涵盖国家科技部创新工程师一级和二级认证考试的所有理论知识点，而且提供了与产业和经济发展实际结合的教学与实战案例，还分享了在运用创新方法解决实际问题过程中的经验和体会，是一本兼顾理论与实践的“学用结合”的书籍。

本书分为问题分析篇、问题解决篇和实战案例篇，共12章。其中，问题分析篇包括TRIZ理论基础、系统功能分析与系统裁剪、系统因果分析、系统资源分析等内容；问题解决篇包括矛盾分析与发明原理、物-场模型及标准解、科学效应与知识库、S曲线及技术系统进化法则、最终理想解、创新思维方法等内容；实战案例篇包括TRIZ解题流程、应用TRIZ解题流程综合案例。

本书是浙江大学创新方法团队长期在教学和培训第一线从事创新方法相关工作的教师，根据多年研究及实践解题、培训辅导和教学经验的积淀之作，具有内容全面、循序渐进、结构合理、讲解细致、条理清晰、通俗易懂、专业性强等特点。

本书配套有TRIZ工具解题综合应用参考模板，学员可自行参考本书附录中的模板，也可向作者索要原始模板。本书还针对学习过程中的难点设置了部分练习，答案统一在附录中给出，供学员参考。书中提到的经典矛盾矩阵、2003矛盾矩阵以及功能及属性知识库等，读者可以通过网址www.cafetriz.com自行注册后查询。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

创新之道：TRIZ理论与实战精要 / 姚威，韩旭，储昭卫著. — 北京：清华大学出版社，2019  
ISBN 978-7-302-52519-6

I. ①创… II. ①姚… ②韩… ③储… III. ①创造学—研究 IV. ①G305

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 046194 号

责任编辑：杨如林  
封面设计：杨玉兰  
版式设计：方加青  
责任校对：徐俊伟  
责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈：010-62772015，[zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者：三河市铭诚印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：188mm×260mm 印 张：22.5 字 数：502 千字

版 次：2019 年 5 月第 1 版 印 次：2019 年 5 月第 1 次印刷

定 价：69.00 元

---

产品编号：079267-01

## 编委会

主 任：孟小军

副 主 任：陈敏玲 曹华芬 姚 威

委 员（按姓氏笔划排列）：

万延见 牛少凤 张奇鹏 金宏伟

周 苏 鲁玉军 褚 赟 戴银燕



## 序 1

我在浙江省科技厅工作期间，看过一本名为《创新思维与TRIZ创新方法》的书。TRIZ是俄文（发明问题解决理论）译为拉丁文的缩写。该书的核心观点是，创新是有规律可循的。TRIZ创新方法的主要作用就是解决创新问题，提高创新效率。据统计，应用TRIZ创新方法可以增加80%~100%的专利数量，并提高专利的质量，提升60%~70%的新产品开发效率，缩短50%的新产品上市时间。同时，几乎有三分之一的诺贝尔奖获得者靠科学创新方法实现研究的突破性进展。我深知，在创新时代掌握科学的创新方法对科技创新是何等重要。

好在中央政府对此早有认识。2007年，时任国务院总理温家宝同志对创新方法推广工作做出重要批示——“自主创新，方法先行”。此后，以TRIZ理论为重点的创新方法推广应用工作在全国各地陆续开展起来。这方面，在国家科技部的主导和创新方法研究会的推动下，各省市自治区相关部门和科技企业作了大量卓有成效的探索实践，使TRIZ作为一个理论“舶来品”，在中国“大众创业、万众创新”的肥沃土壤上，汲取了充沛的养分，取得了许多令人瞩目的成就，包括但不限于：科技部门创新方法推广机制的建立和完善，政产学研多主体间的配合和促进，企业内部创新方法的重视和实践，能传授并应用创新方法的人才的培养和锻炼。星星之火，已成燎原之势！

在新一轮世界科技浪潮来袭，我国产业亟待转型升级的大背景下，科技创新的重要性愈发凸显。而创新方法如何能够进一步为科技创新提供强有力的支撑？毋庸置疑，一套成熟的推广体系和优秀的师资队伍是其中的核心要素。浙江省作为我国创新方法推广应用工作的先进典型之一，积累了大量的推广培训和实战应用经验。现将其整理出版，是以TRIZ为代表的创新方法在我国开花结果的阶段性总结，对未来在全国范围内进一步推广应用创新方法，具有很大的借鉴意义。

本书的内容体系源自浙江省师资团队对创新方法的深入研究，体现了在解决实际工程问题过程中积累的宝贵经验，凝练了专家智库的集体智慧。书中包含了标准化的创新方法应用流程，对个别TRIZ工具进行了改善，辅以实战案例以及专家点评，是不可多得的“源于实践、高于实践”的优秀教材。本书适用于理论学习、实践辅导以及理论创新。衷心希望，无论是创新方法的初学者，还是工程创新领域的专家，都能从中获得收益。

日前，浙江省科技人才教育中心主任陈敏玲同志要我为这本带着浙江创新实践芳香的教科书写几句推荐辞，我难以推辞。写上几句很肤浅的话，谨表支持和鼓励，聊作为序。

浙江省政协副主席，曾任浙江省科技厅党组书记、厅长

Handwritten signature in black ink, reading '周国辉' (Zhou Yuhang).

2019年3月

## 序 2

自2007年我国三位知名科学家向时任国务院总理温家宝同志建议推广创新方法，并得到温总理给出“自主创新，方法先行”的重要批示后，国家科技部主导在全国启动了大力推广应用创新方法的专项工作，并组建了创新方法研究会具体负责全面推进。2008—2018年，全国各地围绕以TRIZ技术为重点的创新方法推广应用工作如火如荼地展开，并取得了很大成效。回眸十年，全国创新方法推广应用工作有许多值得欣喜之处，也存在亟待反思、稳固和提高之处。

让我们感到惊喜的是，在短时间内全国多个省份已培养出了一支优秀的创新方法师资队伍，借助这些师资力量并依托全国各地的科技部门、高校院所及相关企事业单位协同工作，成功培养了一支庞大的能熟练应用TRIZ技术的创新工程师队伍。正可谓“星星之火，可以燎原”，推广成效令人欣慰！

当然，在十年来的推广工作进程中也遇到了一些需要在后续工作中继续改善和提高的问题，包括完善推广体系、评估推广效果、规范考核办法等。进一步改善和提高推广成效的举措很多，其中一本优秀的推广教材是最为重要的举措之一。就目前市面上现存的TRIZ教材而言，主要有以下几类：翻译俄文、英文、德文专著，自行编写的教材，研究成果集合等。总体来看，这些教材在推广应用工作中发挥了积极的作用，但或多或少存在一些缺憾。首先，目前创新方法系列的教材、专著、论文集繁多，常见的就多达30余种，不同学习材料的内容选取范围差异较大，工具复杂，对提高工程师实战解题能力和解题效率帮助并不大或不够理想；其次，一些书籍偏重理论研究，部分翻译稿也仍存在“水土不服”的问题，不适合直接用于一线工程师学习；再次，部分教材和资料缺乏探究与质疑精神，存在“以讹传讹”的情况，对于材料中的一些流传已久的原始错误亟待改进。最后，TRIZ理论本身存在的缺陷的改进和研究成果并未及时体现到教材中，例如对矛盾分析的改进、对效应库的提升以及对工具使用流程的优化等。

正是基于对上述问题的反思，浙江省科技厅组织相关专家学者结合在浙江推广过程中的大量实践经验，请浙江大学的姚威老师及其团队牵头撰写了这部教材。这部教材立足实践，采用了自主开发的创新方法培训流程，在选取教学案例上吸收了来自培训学员的典型实际问题，同时有针对性地改进了部分工具。总之，对一线工程师学习TRIZ，应用其进

行实战解题，参加考试都有帮助。愿各位细细品读，为我国的自主创新能力提升贡献出一份力量。

中国创新方法研究会副理事长，曾任科技部中国21世纪  
议程管理中心副主任，创新方法研究会秘书长



2019年3月

## 前言

“技术系统的设计，在一百年前是一种艺术，现在已经成为精确科学……TRIZ理论的实质在于，它将从根本上改变产生新技术思想的流程。”

——根里奇·阿奇舒勒

在“创新驱动发展战略”已成为国家战略的今天，“是否要创新”已经不是问题，而“如何创新”才是所有企业和个人不得不面对和解决的问题。尤其在当前中美展开规模空前的贸易战的背景下更是如此。但由于缺乏理论指导，企业往往陷入“不会创新，不敢创新，害怕创新”的窘境，“不创新，等死；创新，找死”，如何破解这个难题呢？

一套行之有效的办法是推动创新工作顺利进行的保障，是让创新主体“善于创新、敢于创新和乐于创新”的关键。而TRIZ理论是当前最高效和实用的创新方法，是前苏联1500多名专家对海量专利文献搜集、研究、提炼和升华的结果。TRIZ是一整套创新方法体系，包含了大量实用的创新方法工具，可以针对实践中的各类工程技术问题进行剖析和解答。

但TRIZ的学习和掌握并不容易，其工具繁杂，流程琐碎，细节众多，如何能够让渴望创新的工程师们在最短的时间内掌握这套方法并迅速投入实践，这是个问题。

也许本书可以给此问题一个答案。本书作者基于相关创新方法的研究及使用者的经验总结，针对创新方法的学习和应用难点、重点撰写了本书，书内包含了大量原创教学和应用经验，便于学习者自学或参加培训学习。与市面已有同类书籍相比，本书具有理论及实践两方面的贡献：

**（1）理论方面。**首先，本书涵盖了国家创新工程师一级和二级培训中，需要学员掌握的所有理论知识点，并通过清晰的逻辑将繁杂的TRIZ工具合理地串联起来。读者，尤其是希望通过国家创新工程师二级考试的学员可以方便地在本书中查阅所有知识点，而无需再四处搜寻。其次，作者在融合解题实战经验和国内外TRIZ理论研究最新研究成果的基础上，对经典TRIZ工具及其使用流程进行了探索性的改进和优化，使之更符合中国人的思维方式和习惯。

**（2）实践方面。**本书引入了多次培训过程中积累的大量真实案例，并附上了TRIZ专家对学员使用TRIZ流程的点评和建议，对国家创新工程师二级学员有非常高的实践指导价值。此外，书中还精选了若干通俗易懂、饶有趣味的原创教学案例，能够为一级学员和

TRIZ科普工作者提供良好的支持。

最后，感谢浙江省科技厅及其下属的浙江省科技人才教育中心。浙江省全体创新方法师资团队成员和广大学员的大力支持。对本书的编写做出贡献的还有浙江省科技人才教育中心的陈敏玲主任、戴银燕副主任，以及褚赟、陈建民等长期负责浙江省创新方法培训的工作人员，中国计量大学的万延见老师、卢锡龙老师，浙江工业职业技术学院的张奇鹏老师等。此外，参与本书编写工作的还有浙江大学的胡顺顺博士、李恒博士、翁默斯博士、谢彦洁博士等，在此一并表示感谢。也祝愿各位读者学习愉快，学会创新，勇于创新，乐于创新！

作者

2019年3月

# 目 录

## 第 1 篇 问题分析篇

第1章 TRIZ理论基础 .....	2
1.1 TRIZ 理论的起源 .....	2
1.2 TRIZ 理论的传播 .....	4
1.3 TRIZ 理论的两大革命性贡献 .....	4
1.4 TRIZ 理论的基本概念 .....	5
1.4.1 发明等级 .....	5
1.4.2 技术系统 .....	8
1.4.3 理想度 .....	9
1.4.4 理想化最终结果 .....	10
1.5 本章小结 .....	10
第2章 系统功能分析与系统裁剪 .....	12
2.1 系统功能的定义 .....	12
2.1.1 功能的概念 .....	12
2.1.2 功能的分类定义 .....	13
2.2 系统功能分析 .....	14
2.2.1 组件分析 .....	14
2.2.2 相互作用分析 .....	16
2.2.3 建立功能模型 .....	16
2.3 系统裁剪 .....	19
2.3.1 系统裁剪的定义 .....	19
2.3.2 确定裁剪组件的原则 .....	19
2.3.3 实施裁剪的 3 个常见策略 .....	20

2.3.4	系统裁剪实战案例	21
2.3.5	系统裁剪的若干经验和注意事项	26
<b>第3章</b>	<b>系统因果分析</b>	<b>29</b>
3.1	常见的因果分析方法	29
3.1.1	5W1H (五个为什么)	29
3.1.2	FMEA (失效模式及影响分析)	30
3.1.3	鱼骨图分析	31
3.1.4	因果矩阵分析	32
3.1.5	故障树分析	33
3.1.6	DOE (试验设计)	34
3.2	因果分析的流程	34
3.2.1	第一步: 绘制因果链	35
3.2.2	第二步: 原因的规范化描述	36
3.2.3	第三步: 选择问题的薄弱点	38
3.3	因果分析案例	38
3.4	本章小结	40
<b>第4章</b>	<b>系统资源分析</b>	<b>41</b>
4.1	常见的资源类型	41
4.1.1	物质资源	41
4.1.2	能量资源	41
4.1.3	信息资源	42
4.1.4	时间资源	42
4.1.5	空间资源	43
4.1.6	功能资源	43
4.2	派生资源与差动资源的内涵及应用	43
4.3	改进型九屏幕法和扩展型资源列表	45
4.3.1	九屏幕法简介	45
4.3.2	扩展型资源列表	45
4.3.3	九屏幕法实例	46
4.4	系统三大分析方法总结与问题突破点的选取	48

## 第 2 篇 问题解决篇

<b>第5章 矛盾分析与发明原理</b> .....	<b>52</b>
5.1 工程参数和技术矛盾 .....	52
5.1.1 工程参数的基本概念 .....	52
5.1.2 疑难工程参数解析 .....	54
5.1.3 技术矛盾与物理矛盾 .....	55
5.1.4 提取矛盾练习 .....	56
5.2 发明原理 .....	57
5.2.1 40 个发明原理及其子原理详解 .....	57
5.2.2 疑难发明原理辨析 .....	79
5.3 2003 矛盾矩阵及应用 .....	80
5.3.1 经典矛盾矩阵简介 .....	80
5.3.2 2003 矛盾矩阵简介 .....	81
5.3.3 2003 矛盾矩阵应用流程及示例 .....	83
5.4 发明原理及矛盾矩阵实战演练 .....	87
5.4.1 坦克装甲改进问题 .....	87
5.4.2 开口扳手损坏问题 .....	89
5.5 物理矛盾和分离原理 .....	91
5.5.1 技术矛盾向物理矛盾转化 .....	91
5.5.2 空间分离原理 .....	92
5.5.3 时间分离原理 .....	93
5.5.4 系统分离原理 .....	93
5.5.5 条件分离原理 .....	95
5.5.6 分离原理解决物理矛盾练习 .....	96
5.6 本章小结 .....	96
<b>第6章 物-场模型及标准解</b> .....	<b>98</b>
6.1 物-场模型简介 .....	98
6.2 四种基本的物-场模型 .....	100
6.2.1 有效的完整物-场模型 .....	100
6.2.2 不完整的物-场模型 .....	100
6.2.3 有害的完整物-场模型 .....	100
6.2.4 效应不足的物-场模型 .....	101

6.3	标准解的定义和使用流程	103
6.4	76 个标准解详解	103
6.4.1	第一级：基本物-场模型的标准解	104
6.4.2	第二级：增强物-场模型的标准解	112
6.4.3	第三级：向双、多级系统或微观级系统进化的标准解	125
6.4.4	第四级：测量与检测的标准解	129
6.4.5	第五级：简化与改善策略的标准解	139
6.5	物-场模型及标准解实战演练	150
6.5.1	构建物-场模型训练	150
6.5.2	运用标准解解决问题训练	150
<b>第7章</b>	<b>科学效应与知识库</b>	<b>151</b>
7.1	科学效应与知识库简介	152
7.1.1	功能库	152
7.1.2	属性库	154
7.2	功能库和属性库的使用流程	158
7.3	科学效应与知识库实战案例	160
	绷缝机机体过热问题	160
<b>第8章</b>	<b>S曲线及技术系统进化法则</b>	<b>165</b>
8.1	S 曲线的定义及各阶段内涵	165
8.1.1	婴儿期	165
8.1.2	成长期	166
8.1.3	成熟期	166
8.1.4	衰退期	167
8.1.5	S 曲线族及实例	167
8.2	S 曲线的应用方式及价值	168
8.3	技术系统进化法则	169
8.3.1	生存法则	171
8.3.2	发展法则	174
8.3.3	技术系统进化法则实战案例	180
8.4	本章小结	184
<b>第9章</b>	<b>最终理想解</b>	<b>185</b>
9.1	寻求最终理想解的流程	186
9.2	理想化最终结果应用实例	187
9.2.1	眼镜	187

9.2.2	飞碟射击	189
9.2.3	练习题	191
<b>第10章</b>	<b>创新思维方法</b>	<b>192</b>
10.1	思维定势	193
10.1.1	从众型思维定势	194
10.1.2	书本型思维定势	194
10.1.3	经验型思维定势	194
10.1.4	权威型思维定势	195
10.2	STC 算子	195
10.2.1	STC 算子的基本内涵	195
10.2.2	STC 算子的实施步骤	196
10.2.3	STC 算子的应用案例——提高和膏机和膏均匀性	196
10.3	金鱼法	197
10.3.1	金鱼法的基本内涵	197
10.3.2	金鱼法的实施步骤	197
10.3.3	金鱼法的应用案例 1——如何用空气赚钱	198
10.3.4	金鱼法的应用案例 2——长距离游泳池	199
10.4	小人法	199
10.4.1	小人法的基本内涵	199
10.4.2	小人法的实施步骤	200
10.4.3	小人法的应用案例——水计量计	200
10.5	本章小结	201

## 第 3 篇 实战案例篇

<b>第11章</b>	<b>TRIZ解题流程</b>	<b>204</b>
11.1	TRIZ 解题流程概览	204
11.1.1	问题描述	205
11.1.2	问题分析	205
11.1.3	问题解决	205
11.1.4	方案汇总	205
11.2	工程问题描述	206

11.2.1	课题名称	207
11.2.2	摘要要求	208
11.2.3	SVOP 描述系统功能	208
11.2.4	系统工作原理	210
11.2.5	系统存在的问题	210
11.2.6	问题出现的条件和时间	210
11.2.7	已有解决方案评析	211
11.2.8	新系统要求	211
11.3	问题分析	212
11.3.1	解题流程简介	212
11.3.2	系统功能分析	212
11.3.3	系统因果分析	217
11.3.4	系统资源分析	219
11.3.5	确定问题解决突破点	219
11.4	问题解决	220
11.4.1	系统裁剪	221
11.4.2	物-场模型及标准解	228
11.4.3	运用科学效应及知识库	230
11.4.4	技术矛盾	231
11.4.5	物理矛盾与分离原理	235
11.4.6	九屏幕法	238
11.4.7	S 曲线及进化法则	239
11.4.8	创新思维之 STC 算子	241
11.4.9	最终理想解 (IFR)	243
11.5	方案汇总	244
11.5.1	方案汇总	244
11.5.2	产生的概念方案评价	244
<b>第12章</b>	<b>应用TRIZ解题流程综合案例</b>	<b>247</b>
12.1	降低智能锁电容式触摸按键故障率	247
12.1.1	工程问题解答摘要与总体描述	247
12.1.2	三大问题分析工具——功能分析、因果分析、资源分析	249
12.1.3	问题解决——系统裁剪、物-场与知识库	254
12.1.4	问题解决——技术矛盾与物理矛盾	262
12.1.5	问题解决——系统进化与创新思维方法	264

12.1.6	概念方案汇总、评价与总结	268
12.2	改善缝纫机牙架处漏油问题	273
12.2.1	工程问题解答摘要与总体描述	273
12.2.2	三大问题分析工具——功能分析、因果分析、资源分析	275
12.2.3	问题解决——系统裁剪、物-场与知识库	278
12.2.4	问题解决——技术矛盾与物理矛盾	283
12.2.5	问题解决——系统进化与创新思维方法	285
12.2.6	概念方案汇总、评价与总结	288
12.3	降低自动分拣机大转盘直线电动机的温度	291
12.3.1	工程问题解答摘要与总体描述	291
12.3.2	三大问题分析工具——功能分析、因果分析、资源分析	293
12.3.3	问题解决——系统裁剪、物-场与知识库	295
12.3.4	问题解决——技术矛盾与物理矛盾	298
12.3.5	问题解决——系统进化与创新思维方法	299
13.3.6	概念方案汇总、评价与总结	303

## 附 录

附录A	创新方法二级工程师答辩模板（参考）	306
附录B	学科效应库效应列表	324
B.1	物理效应库	324
B.2	化学效应库	326
B.3	几何效应库	327
附录C	习题参考答案	329
C.1	矛盾提取练习	329
C.2	分离原理解决物理矛盾综合练习	329
C.3	构建物-场模型训练	330
C.4	运用标准解解决问题训练解析	331
附录D	案例贡献者目录	338
参考文献		339



## 第3章 系统因果分析

所谓系统因果分析是以系统发展变化的因果关系为依据，抓住系统发展变化的主要矛盾（内因）与次要矛盾（外因/条件）的相互关系。

### 3.1 常见的因果分析方法

#### 3.1.1 5W1H（五个为什么）<sup>①</sup>

五个“为什么”分析，也叫六问分析法，是一种诊断性技术，被用来识别和说明因果关系链。该方法对任何选定的项目、工序或操作，都要从原因（何因 Why）、对象（何事 What）、地点（何地 Where）、时间（何时 When）、人员（何人 Who）、方法（何法 How）等六个方面提出问题并进行思考。其核心就是不断提问为什么前一个事件会发生，直到回答“没有好的理由”或直到一个新的故障模式被发现时才停止提问。

##### 1. 经典实例

丰田汽车公司前副社长大野耐一先生见到一条生产线的机器经常停转，修过多次仍不见好转。

- |               |                         |
|---------------|-------------------------|
| 问：“为什么机器停了？”  | 答：“保险丝断了。”              |
| 问：“为什么保险丝断了？” | 答：“因为超过了负荷。”            |
| 问：“为什么超负荷呢？”  | 答：“因为轴承的润滑不够。”          |
| 问：“为什么润滑不够？”  | 答：“因为润滑泵吸不上油来。”         |
| 问：“为什么吸不上油来？” | 答：“因为油泵轴磨损、松动了。”        |
| 问：“为什么磨损了呢？”  | 答：“因为没有安装过滤器，混进了铁屑等杂质。” |

##### 2. 解决办法

在油泵轴上安装过滤器。需要注意的问题是，提问一定要不断深入，不能在原地打转。不然就会出现下面的笑话。

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 问：“为什么买进（股票）？” | 答：“以为会涨啊！”  |
| 问：“结果呢？”       | 答：“它跌了。”    |
| 问：“然后呢？”       | 答：“我卖了”     |
| 问：“为什么卖出？”     | 答：“以为还会跌啊！” |

<sup>①</sup> 创新方法研究会·培训资料 [C]. 创新方法研究会专题培训, 2010.

问：“结果呢？”	答：“它涨了。”
问：“然后呢？”	答：“我又买了。”
问：“为什么又买进？”	答：“以为还会涨啊！”
问：“结果呢？”	答：“它又跌了。”
问：“然后呢？”	答：“我又卖了。”
问：“为什么又卖出？”	答：“以为还会跌啊。”
问：“结果呢？”	答：“它又涨了。”
问：“然后呢？”	答：“我又买了。”

### 3.1.2 FMEA ( 失效模式及影响分析 )<sup>①</sup>

FMEA ( Failure Mode and Effect Analysis ) 是一种可靠性设计的重要方法。它实际上是 FMA ( 故障模式分析 ) 和 FEA ( 故障影响分析 ) 的组合。它对各种可能的风险进行评价、分析，以便在现有技术的基础上消除这些风险或将这些风险减小到可接受的水平。

20 世纪 50 年代美国格鲁曼公司开发了 FMEA，用于飞机制造业的发动机故障防范。20 世纪 60 年代美国航空及太空总署 ( NASA ) 实施阿波罗登月计划时，在合同中明确要求实施 FMEA<sup>②</sup>。

要达到风险分析的基本目的，就要清楚：

- (1) 何种情况会产生故障？
- (2) 如果产生了故障会发生什么事情？并连锁发生什么事情？

FMEA 的意义在于把侧重事后处理转变为侧重事前预防。表 3.1 是两种分析方法之间的对比。

表 3.1 传统失效分析方法与 FMEA 的对比

传统方法	FMEA
问题的解决	防止问题的发生
浪费的监视	消除浪费
可靠性的量化	消除不可靠性

根据适用阶段的不同，FMEA 可以分为以下 4 种类型。

- (1) 系统 FMEA：应用于早期概念设计阶段的系统和子系统分析。
- (2) 设计 FMEA：应用于产品试制之前的产品设计分析。
- (3) 过程 FMEA：应用于生产制造和管理流程的分析。
- (4) 服务 FMEA：应用于服务流程的分析。

<sup>①</sup> 居季成，徐名聪，乔靓. 失效模式及后果分析的运用 [J]. 现代制造工程，2004 (11)：83-86.

<sup>②</sup> Countinho J S.Failure-effect analysis[J].Transactions of the New York Academy of Sciences，1964，26 (2)：564-584.

### 3.1.3 鱼骨图分析

鱼骨图是一个非定量的工具，它可以帮助人们找出引起问题（最终问题陈述所描述的问题）潜在的根本原因。鱼骨图分析模型如图 3.1 所示。

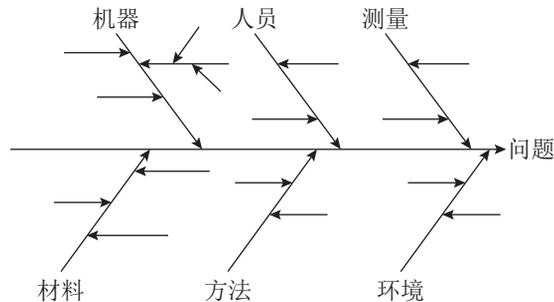


图 3.1 鱼骨图分析模型

图 3.2 所示是一个鱼骨图分析的案例。

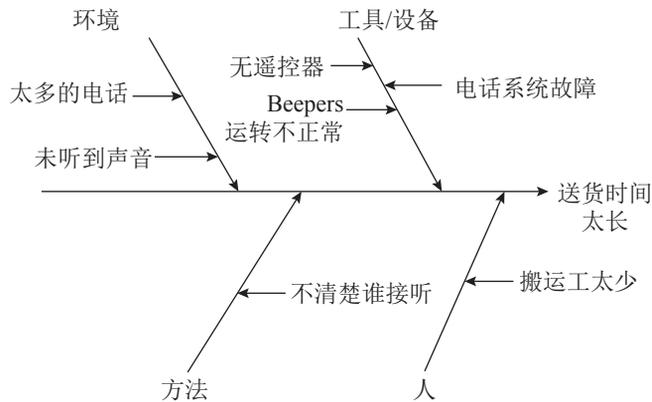


图 3.2 鱼骨图分析案例

使用鱼骨图进行原因分析时遵循以下步骤：

- (1) 首先确定主干骨和鱼头，鱼头表示需要解决的问题。
- (2) 其次是画出 6 条支骨，支骨与主干骨呈  $60^\circ$  角，分别表示问题分析的 6 个方面。6 条支骨分别为人 (man)、机 (machine)、料 (material)、法 (method)、环 (environment) 以及测量 (measurement)，即“5M1E”。
- (3) 运用头脑风暴等方法尽可能地找出每个方面的所有可能原因，并去除重复和无意义的内容。
- (4) 对找出的各项原因进行分类、整理，确定前因后果和从属关系，选取重要因素。
- (5) 按照因果关系顺序，依次画出支骨中的大骨、小骨，分别填写原因，并对重要的原因做出标识。

### 3.1.4 因果矩阵分析<sup>①②</sup>

因果矩阵是在鱼骨图的基础上，以矩阵的形式处理一些鱼骨图不方便处理的复杂问题的分析工具。该工具可用矩阵表示多维度数据，以便进行高维度的计算。

其绘制步骤如下：

- (1) 在矩阵图的上方填入过程输出缺陷的形式或关键过程输出变量。
  - (2) 确定每个输出特性或缺陷形式的重要度，并给定其权重（1 ~ 10，10 代表的重要程度最高）。
  - (3) 在矩阵图的左侧，列出输入变量或所有可能的影响因素。
  - (4) 评价每个输入变量或影响因素对各个输出变量或缺陷的相关关系。矩阵图中的单元格用于表明该行对应的输入变量的相关程度，一般将这种相关程度分为四类，并按照相关程度的高低自行赋分。
  - (5) 评价过程输入变量或影响因素的重要程度，将每个输入变量对应的相关程度得分值乘以该输入变量对应的输出变量的权重数，然后将每一行的乘积加起来，这个结果代表了该输入变量或影响因素的权重。以输出变量颜料为例： $10 \times 9 + 8 \times 3 = 114$ 。
  - (6) 考察每个输入变量或影响因素的权重数，权重较高的将是项目重点关注的对象。
- 表 3.2 为一个因果分析矩阵的应用示例。

表 3.2 因果矩阵分析表应用示例

序号		1	2	3	4	5	该输入变量的总重要度	
	输出	颜色	外观形状	尺寸	力学性能	表面质量		
	对产品质量影响（权重）	10	8	5	5	3		
输入变量	领料	◎	○				114	
	下料	○	○				48	
	清洗	◎			◎	◎	162	
	预制准备	◎		○	◎		150	
	预制过程					○	9	
	再清洗	◎				△	93	

注：图中◎为 9 分，○为 3 分，△为 1 分。

① 龚水莲, 周玲. 基于鱼骨图和因果矩阵表的方舱水密性改进 [J]. 指挥信息系统与技术, 2015, 6 (3) : 106-110.

② 马彦辉, 吕君, 穆菁等. 因果矩阵分析与工艺 FMEA 在航天型号生产过程检验点设置中的应用探究 [J]. 质量与可靠性, 2014 (5) : 8-10.

### 3.1.5 故障树分析<sup>①②</sup>

故障树分析是一种特殊的倒立树状逻辑因果关系图，它用事件符号、逻辑门符号和转移符号来描述系统中各种事件之间的因果关系。逻辑门的输入事件是输出事件的“因”，输出事件是输入事件的“果”。故障树也称“事故树”（Fault Tree Analysis, FTA）。图 3.3 所示是一个常见的故障树应用示例，其基本流程如下。

- (1) 熟悉系统：要详细了解系统状态及各种参数，绘出工艺流程图或布置图。
- (2) 调查事故：收集事故案例，进行事故统计，设想给定系统可能发生的事故。
- (3) 确定顶上事件：要分析的对象即为顶上事件。对所调查的事故进行全面分析，从中找出后果严重且较易发生的事故作为顶上事件。
- (4) 确定目标值：根据经验教训和事故案例，经统计分析后，求解事故发生的概率（频率），以此作为要控制的事故目标值。
- (5) 调查原因事件：调查与事故有关的所有原因和各种因素。
- (6) 画出故障树：从顶上事件起，逐级找出直接原因的事件，直至所要分析的深度，按其逻辑关系，画出故障树。
- (7) 分析：按故障树结构进行简化，确定各基本事件的结构重要度。
- (8) 事故发生概率：确定所有事故发生的概率，标在故障树上，并进而求出顶上事件（事故）的发生概率。
- (9) 比较：对可维修系统和不可维修系统进行讨论，前者要进行对比，后者求出顶上事件发生的概率即可。
- (10) 分析：原则上是上述 9 个步骤，在分析时可视具体问题灵活掌握，如果故障树规模很大，可借助计算机进行。目前我国故障树分析一般都考虑到第 7 步进行定性分析为止，也能取得较好的效果。

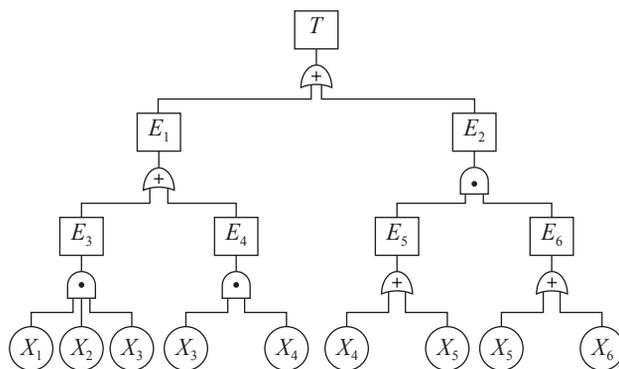


图 3.3 故障树应用示例

① Gofuku A, Koide S, Shimada N. Fault Tree Analysis and Failure Mode Effects Analysis Based on Multi-level Flow Modeling and Causality Estimation[C]// SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference. IEEE, 2006: 497-500.

② 朱继洲. 故障树原理和应用 [M]. 西安交通大学出版社, 1989.

### 3.1.6 DOE ( 试验设计 )<sup>①</sup>

DOE ( Design of Experiments ) 主要是为了实现以下目的:

- (1) 科学合理地安排实验, 从而减少实验次数, 缩短实验周期, 提高经济效益;
- (2) 从众多的影响因素中找出影响输出的主要因素;
- (3) 分析影响因素之间交互作用的大小;
- (4) 分析实验误差的影响大小, 提高实验精度;
- (5) 找出较优的参数组合, 并通过对实验结果的分析、比较, 找出达到最优化方案和进一步实验的方向。

常见的试验设计方法可分为两类: 一是析因法, 二是正交试验设计法。

#### 1. 析因法

(1) 定义。将所研究的因素按全部因素的所有水平 ( 位级 ) 的一切组合逐次进行试验, 称为析因试验, 或称完全析因试验, 简称析因法。它是研究变动着的两个或多个因素效应的有效方法。许多试验要求考察两个或多个变动因素的效应。例如若干因素对产品质量的效应, 对某种机器的效应, 对某种材料的性能的效应, 对某一过程燃烧消耗的效应等。

(2) 用途。析因法用于新产品开发、产品或过程的改进以及安装服务, 通过较少次数的试验, 找到优质、高产、低耗的因素组合, 达到改进的目的。

#### 2. 正交试验设计法

(1) 定义。正交试验设计法是研究与处理多因素试验的一种科学方法。它利用一种规范化的表格——正交表来挑选试验条件, 安排试验计划和进行试验, 并通过较少次数的试验, 找出较好的生产条件, 即最优或较优的试验方案。

(2) 用途。正交试验设计法主要用于调查复杂系统 ( 产品、过程 ) 的某些特性或多个因素对系统 ( 产品、过程 ) 某些特性的影响, 识别系统中更有影响的因素、因素影响的大小, 以及因素间可能存在的相互关系, 以促进产品的设计开发和过程的优化, 控制或改进现有的产品 ( 或系统 ) 。

## ↑ 3.2 因果分析的流程<sup>②</sup>

根本原因与结果之间存在的一系列因果关系, 构成一条或多条因果关系链, 因果分析就是通过构建因果链指出事件发生的原因和导致的结果的分析方法。因果分析的目的是:

- (1) 发现问题产生的根本原因;

<sup>①</sup> 道格拉斯 C. 蒙哥马利. 实验设计与分析 [M]. 傅珏生, 张健, 王振羽, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2009.

<sup>②</sup> 创新方法研究会. 培训资料 [C]. 创新方法研究会专题培训, 2010.

- (2) 寻找解决问题的“薄弱点”；
- (3) 为解决问题寻找入手点。

本书所介绍的因果分析与其他书籍中介绍的因果分析有所不同。本书根据辅导和咨询过程中学员们的反馈以及实际解决问题的需要，对传统因果分析进行了局部改进，重点强调在因果分析过程中要注意区分内因和条件（外因）。因此本书中所建议的改进型因果分析可以被称作“双因因果分析”。

### 3.2.1 第一步：绘制因果链

绘制因果链的目的是为了了解事件的根本原因，确定解决问题的最佳时间点。实施因果分析，首先要确定因果分析的起点，即问题（或结果）。所谓问题是指功能没有达到预计的效果，此参数表现出偏离目标值。之后要寻找导致问题的原因。所谓原因是指：某物体的某参数没有达到预计要求，直接导致结果的参数偏离目标。需要强调的是，因果关系是单向度的，在时间上原因一定是发生在结果之前的。原因导致结果，而不是相反。

因果分析的实施步骤为：

- (1) 从发现的问题即结果出发，列出导致问题的直接原因。
- (2) 以这些直接原因为结果，循环实施步骤1和步骤2，直至发现根本原因。
- (3) 根本原因的判定条件是：
  - ①当确实不能继续找到下一层的原因时；
  - ②当达到自然现象时；
  - ③当达到制度 / 法规 / 权利 / 成本等极限时。
- (4) 将每个原因与其结果用箭头连接，箭头从原因指向结果，即构成因果链。

在进行因果分析时，有两个要点。第一个要点是在寻找下一层原因时要注意区分内因和条件（外因）。内因是指由物质的属性等客观因素导致的原因；外因通常是指促使事件发生的条件。

唯物辩证法认为事物的发展是内外因共同起作用的结果。其中内因是事物发展的根据，是第一位的，它决定着事物发展的基本趋向；外因是事物发展的外部条件，是第二位的，它对事物的发展起着加速或延缓的作用。外因必须通过内因起作用。因此我们建议学员在进行因果分析时，要注意区分下一层的内因和条件（外因），这样每一步分析都至少会分出两个以上的内因和条件，最终形成一个倒金字塔形的树状结构。这样的分析有助于开拓思路，从而实现对问题全面深入细致的分析。

以灭火为例，常用的4种基本灭火方法有将温度降到燃点以下的冷却法，将可燃物与火源分开的隔离法，阻止空气进入燃区（或用惰性气体覆盖）的窒息法以及化学抑制法。前3种方法都是在阻断和控制燃烧的条件——燃点、可燃物和助燃条件，只有第4种化学抑制法才试图通过化学反应来改变内因（物质成分和属性）。例如，卤代烷灭火器在使卤代烷接触

高温表面或火焰时，分解产生的活性自由基，通过溴和氟等卤素氯化物的负化学催化作用和化学净化作用，大量扑捉、消耗燃烧链式反应中产生的自由基，破坏和抑制燃烧的链式反应，从而迅速将火焰扑灭。由于卤代烷灭火器对臭氧层破坏很严重，2010年开始我国已禁止使用。由此可见，在解决工程问题的实践过程中，很多时候控制条件比改变内因要容易，成本也低得多。因此，在因果分析中区分内因和外因（条件）是非常有必要的。

第二个要点是，因果分析必须达到三个终止条件之一时，对问题的分析才算有了足够的深度和广度，才能够中止分析。因此进行因果分析一定要有耐心，切不可中途随意终止分析。有时，仅深入、充分的因果分析就能够直接产生一些问题的解决方案。

### 3.2.2 第二步：原因的规范化描述

在描述原因时，建议使用规范化描述，客观的描述，不要带感情色彩，也不要加入预先设想的方案。通常用7个常用动词来进行原因的规范化描述。

#### 1. 缺乏

缺乏是指应该有（物体，以提供有用的功能），但是没有。

规范描述：缺乏—物体。

实例：几天前一个旧式小区中，没有安装防盗门窗的住户都遭窃了。

失窃的原因：缺乏—防盗门。

#### 2. 存在

存在是指需要某个物体，以提供有用的功能，但同时它产生了有害影响。

规范描述：存在—物体。

实例：没有失窃的人家以前经常抱怨，在炎热的夏季防盗门影响通风。

影响通风的原因：存在—防盗门。

有时物体提供了有用功能，但是其效果不令人满意，按照导致问题的功能参数特征，可将原因分为过度、不足、不稳定和不可控4种。

#### 3. 有害

有害是指某个物体提供的是有害功能。

规范描述：有害的一物体。

实例：汽车缩短了距离，改善了人们的生活品质，但是产生的尾气污染了环境。

污染环境的原因：有害的一尾气。

#### 4. 过度

过度是指有用的功能因其性能水平超过了上阈值而产生了负面影响（但不一定有害，如果产生有害影响就表述为有害了）。

规范描述：物体—参数—过度。

实例：有一家安装了一个很漂亮的防盗门，几天后这家的防盗门被盗走了。

防盗门被盗的原因：防盗门—美观—过度。

### 5. 不足

不足是指有用的功能，因其性能水平低于下阈值而效果不足（同过度一样，仅是效果不足而未产生有害影响，如果产生有害影响就表述为有害了）。

规范描述：物体—参数—不足。

实例：装了防盗门的有几家门被撬坏后也失窃了。

失窃的原因：防盗门—强度—不足。

实例：用老式电脑显示器，眼睛看久了很累。

眼睛累的原因：显示器—刷新频率—不足。

实例：手机用了两年后，需要经常充电。

需要经常充电的原因：手机电池—待机时间—不足。

### 6. 不可控

不可控是指有用的功能，但是无法有效地控制其性能水平。

规范描述：物体—参数—不可控。

实例：夏季南方城市的机场经常因恶劣天气造成大量航班延误。

航班延误的原因：机场—天气—不可控。

### 7. 不稳定

不稳定是指有用的功能，但是其性能水平不够稳定，带来了有害影响。

规范描述：物体—参数—不稳定。

实例：乘公交车上下班需要的时间不确定。

乘客所需时间不确定的原因：交通系统—畅通程度—不稳定。

不可控的原因有时是不稳定，后者更多强调自身的属性，前者更多强调难以避免受外在条件的影响。

对于以上提及的易于混淆的概念，可以进行以下辨析：

“存在”与“有害”的区别：“存在的”物体是为了提供有用功能而存在的，而且它确实也提供了有用功能，但是同时有副作用，即有害影响。“有害的”物体是完全不想要的，因为其提供的全是有害影响。

但“存在”与“有害”的描述可以转化，当“有害的”物体能够提供一些有用功能时其描述可转化为“存在”。当“存在的”物体的有用功能完全消失，其描述转化为“有害的”。

实例：汽车缩短了距离，改善了人们的生活品质，但是产生的尾气污染了环境。

污染环境的原因：有害的—尾气。产生尾气的原因：存在—汽车。

实例：现在，有的汽车生产厂家开始利用尾气，如制热。

环境污染的原因：存在—尾气。

### 3.2.3 第三步：选择问题的薄弱点

因果分析最终的目的是发现问题产生和发展因果链中的薄弱点，从而为问题解决找到突破方向。问题薄弱点的选择原则如下。

(1) 如果能够从根本原因（即分析停止时得到的原因）上解决问题，优选根本原因。

(2) 如果根本原因不可能改变或控制，那么沿原因链从根本原因向上逐个检查原因节点，找到第一个可以改变或控制的原因节点作为问题的薄弱点。

(3) 如果消除不良影响的成本比消除原因低，那么选择结果节点。

在上述操作后，如果选了多个问题薄弱点，那么可以优先选择其中具有容易实现、周期较短、成本较低、技术成熟等特征的原因节点。

## 3.3 因果分析案例

某在建大楼着火，其可能的火灾过程为：电线发生了短路，引燃了电线附近大量的可燃装饰材料，但报警器和灭火系统并未运作，导致火势蔓延迅猛，最终吞噬了整个大楼。

根据对大楼失火问题的详细分析，得出大楼失火原因分析的示意图和因果分析图，如图 3.4 和图 3.5 所示。

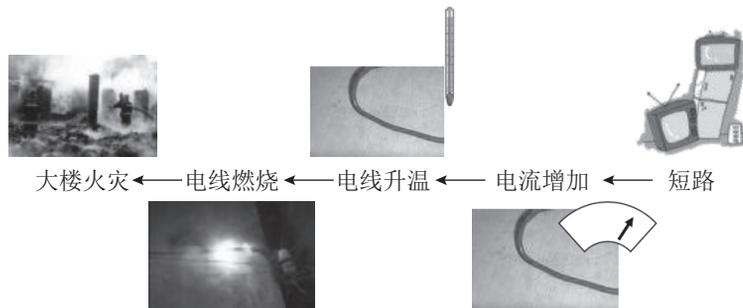


图 3.4 大楼失火的原因

在绘制因果分析图时有以下几个注意事项。

(1) 绘图方向和箭头方向不能搞错，是从上而下，“问题（结果）”在上方，箭头从“原因”指向结果。

(2) 在分析过程中，通过区分内因和条件来拓展思路，持续、深入地进行分析。例如第一层，导致“大楼失火”的原因，“电线燃烧 - 有害”这个有害因素一定是直接原因即内因，传统的因果分析基本到此为止不再横向拓展了，但事实上如果没有“靠近电线存在 - 易燃材料”“火情监测失灵”这两个条件，只“电线燃烧 - 有害”也不一定会酿成灾难。其实电线燃烧的风险是永远客观存在的，与其分析如何不让电线燃烧，还不如控制令其燃烧的条件，如使电线与易燃物分离，或加强火情监控等，这样可能更容易抑制灾难的发生。

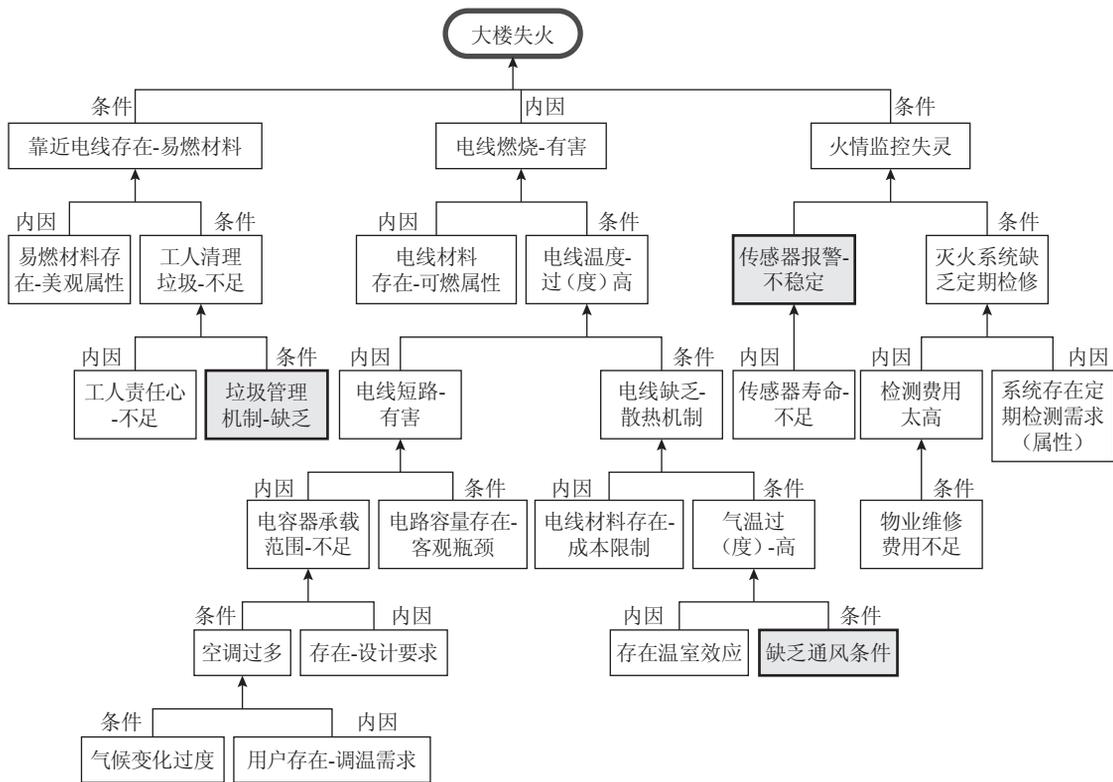


图 3.5 大楼失火的因果链分析图

(3) 对原因的描述尽量使用规范描述。

(4) 一定要分析到得到终止条件才能停止分析。如图3.5所示，最底层的根本原因中，“工人责任心-不足”“用户存在-调温需求”“缺乏通风条件”“物业维修费用不足”和“系统存在定期检测需求”属于“确实不能继续找到下一层的原因”的情况；“垃圾管理机制-缺乏”“电线材料存在-成本限制”“传感器寿命-不足”属于达到“制度/法规/权利/成本等极限”的情况；“气候变化过度”“存在温室效应”属于“达到自然现象”的情况。

(5) 关于问题薄弱点的选取。从图3.5所示根本原因中选为问题薄弱点的有两个：“垃圾管理机制-缺乏”和“缺乏通风条件”，之所以选择这两个是因为可以对它们进行干预和控制。而其他很多根本原因，例如“电线材料存在-成本限制”等属于达到“制度/法规/权利/成本等极限”的情况，“气候变化过度”“存在温室效应”等属于“达到自然现象”的情况，都很难对其进行干预。我们也试图选择“传感器寿命-不足”作为问题薄弱点，后来发现因为成本等原因，大规模替换传感器不现实，于是就退而求其次，向上一层，选择了“传感器报警-不稳定”，而改善传感器的报警机制是一个可行的选择。问题薄弱点一般选3~5个就够了，不宜太多，也不能太少。

### 3.4 本章小结

传统的因果分析，着力寻找系统中问题产生的根本原因并予以解决，在实际应用过程中取得了一定的效果，但是也存在一些先天的缺陷，例如可能会陷入到两种常见的偏差中，即“已知因果偏差”和“相关关系取代因果偏差”。已知因果偏差指，在因果分析的过程中，分析者只能根据已有的经验和知识分析出已知因果的关系，但无法分析出超出经验和知识范围的未知因果关系，故造成分析偏差；相关关系取代因果偏差指的是，以相关关系取代因果关系，从而导致偏差。

目前我们从以下几个方面针对传统的因果分析进行了改进：

一是鼓励进行“双因”分析即内因和条件（外因）都要考虑。如果同一个结果有多个原因，那么建议分析这些原因与所造成的问题现象之间、以及原因之间的关系。我们相信，通常只有一个内因（存在例外情况），其他是导致结果出现的条件。它们或呈现“与”关系——几个条件或原因同时存在，才会导致结果；也可能是“或”关系——几个条件或原因只要有一个存在，就会导致结果。必要时甚至可以补充每个条件发生的概率，以便区别处理。

二是强调“凡有异端，必有妖孽”。只要有任何反直觉的异常现象，就必须重视并挖掘其背后的原因，以消除“已知因果偏差”。如果因果关系不能确定，就需要增加其他方法分析，如鱼骨图、因果矩阵、失效模式及影响分析等定性分析方法，以及假设检验、柏拉图、实验设计与分析等定量分析方法。

三是强化对因果分析终止条件的判断，不达到终止条件一定不要终止分析。

不过，如何从根本上消除因果分析的弊端？最新研究成果是姚威、韩旭（2018）尝试以约束分析代替传统的因果分析。该研究从保证有用功能、消除和减弱系统有害功能的角度出发，去寻找客观约束，不再依赖对因果关系的主观判断，从而在规避了因果分析固有弊端的同时，也对解决实际问题大有帮助。应用约束分析能够有效地解决多种类型的问题，除了经典的矛盾类型问题（矛盾是负面功能约束的一种表现形式）之外，还可以应用于概念开发、检测测量，乃至管理问题。实际上，管理问题的问题系统错综复杂，能够得到的解决方案也许并不唯一。归根结底，管理问题的解决，本质就是寻找约束，并运用新资源加以解决。因此具有较大的应用潜力。

## 第5章 矛盾分析与发明原理

如前所述，TRIZ 理论认为“矛盾是发明问题的核心”。但在面对一个具体的发明问题时，矛盾不会自己主动出来站在我们面前。矛盾分析——也即如何准确而合理地将问题中蕴藏的矛盾抽取出来，将多样化的具体问题转化为规范的典型问题，这将直接影响到后续解决矛盾的效率和效果。在这一过程中最重要的是理解工程参数的概念并掌握其使用方法。

### 5.1 工程参数和技术矛盾

#### 5.1.1 工程参数的基本概念<sup>①</sup>

阿奇舒勒在对大量的发明专利进行分析后，总结出 39 个适用范围广泛的通用工程参数，并按其在技术系统中出现概率的大小，以递减的顺序从 1 至 39 给它们编号（1 代表出现频率最高）。当今的研究者将通用工程参数增加到了 48 个，并将原有的编号做了调整。本书选用最新的 48 个工程参数进行讲解，其名称、内涵及示例如表 5.1 所示。需要说明的是，在经典的 39 个工程参数之后增加的参数后面标注“\*”。

表 5.1 48 个通用工程参数的名称、内涵及示例

编号	工程参数名称	内涵及示例
1	运动对象的质量	略
2	静止对象的质量	略
3	运动对象的尺寸	运动对象的长、宽、高，两点之间的曲线距离，封闭环的周长等
4	静止对象的尺寸	静止对象的长、宽、高，两点之间的曲线距离，封闭环的周长等
5	运动对象的面积	运动对象的内外表面积、平面、凹凸面的面积等
6	静止对象的面积	静止对象的内外表面积、平面、凹凸面的面积等
7	运动对象的体积	运动对象所占据的空间
8	静止对象的体积	静止对象所占据的空间
9	形状	对象的外部轮廓以及几何造型
10	物质的数量	系统中能够被改变的原材料、物质或子系统的数量
11	信息的数量*	信息的数量，即系统内包含的抽象信息的总量。不同的系统其单位不尽相同，典型的例子如：计算机的硬盘是实在的物质，硬盘内的数据是抽象的信息，信息的数量用字节（bit，更大的单位有 KB/MB/GB/TB 等）表示

<sup>①</sup> 姚威，朱凌，韩旭. 工程师创新手册 [M]. 杭州：浙江大学出版社，2015.

续表

编号	工程参数名称	内涵及示例
12	运动对象的耐久性	运动对象正常发挥功能的作用时间或服务寿命，例如轿车行驶超过 60 万 km 后强制报废，此即其服务寿命
13	静止对象的耐久性	静止对象正常发挥功能的作用时间或服务寿命，例如冰箱的寿命在十年左右
14	速度	对象运动的速率。从广义上讲，可理解为一个作用（过程）与完成所需时间的比值
15	力	对象间相互作用的度量。力能改变对象的状态
16	运动对象的能量消耗	运动对象执行给定功能所需的能量，包括消耗超系统提供的能量，例如汽车耗油量
17	静止对象的能量消耗	静止对象执行给定功能所需的能量，包括消耗超系统提供的能量，例如冰箱耗电量
18	功率	对象在单位时间内完成的工作量或消耗的能量
19	应力	对象在单位面积上产生的作用力，或对象内各部分之间产生相互作用的内力，包括压强、张力、应力等，例如液体作用于容器壁上的力，或者烧制钢铁内部残留的应力
20	强度	表示工程材料抵抗断裂和过度变形的力学性能之一。常用的强度性能指标有拉伸强度和屈服强度（或屈服点）。铸铁、无机材料没有屈服现象，故只用拉伸强度来衡量其强度性能。高分子材料也采用拉伸强度。承受弯曲载荷、压缩载荷或扭转载荷时则应以材料的弯曲强度、压缩强度及剪切强度来表示材料的强度性能
21	稳定性	对象的组成、性状和结构在时间流逝和外力作用下保持不变的性质。对象磨损、分解、拆卸都代表稳定性下降
22	温度	狭义上的温度是对象分子运动水平的度量，此外还可以指热容等广义的热状态
23	照度	对象的亮度、照明质量、反光性等
24	运行效率 *	指资源的有效配置所实现的帕累托最优状态，即资源的任何重新配置，都不可能使任何一方收益增加而不使另一方的收益减少
25	物质的无效损耗	强调对所从事工作没有用处的物质方面的损耗
26	时间的无效损耗	强调对所从事工作没有用处的时间方面的损耗
27	能量的无效损耗	强调对所从事工作没有用处的能量方面的损耗
28	信息的损失	对象信息的损失，如气味、声音等感官信息
29	噪声 *	略
30	对象产生的外部有害因素 *	对象产生的任何形式的污染物，对环境或者超系统造成危害。例如发动机燃烧不充分排出的有毒尾气污染环境
31	对象产生的内部有害因素	对象产生的任何形式的污染物或有害作用，导致系统内效率降低或质量受损。例如发动机产生的多余热量积累导致内部过热损毁
32	适应性	对象能够积极响应外部变化的能力，或其能够在多种环境下以多种方式发挥作用的可能性。例如摩托罗拉公司曾经推出铱星手机，通过卫星传输信号，因此该手机能够在高山、峡谷、无人区等多种环境下发挥通信功能
33	兼容性 *	对象之间相互配合，无冲突工作的程度。该概念在不同的操作系统或平台上运行软件时广泛涉及

续表

编号	工程参数名称	内涵及示例
34	易操作性	用户对对象操作的难易程度，如傻瓜相机的易操作性比单反相机高
35	可靠性	对象无故障工作的概率
36	易维修性	略
37	安全性 *	对象保护自己的能力，免受未获准的进入、使用、窃取或其他不利影响。例如安全性的概念在网银等系统中运用广泛
38	易损坏性 *	对象在外界冲击或不利作用下损坏的可能性。例如瓷质的盘子比塑料盘子更易损坏
39	美观性 *	看上去让人舒服的程度，但取决于用户的主观感受及体验
40	作用于对象的外部有害因素	环境、超系统或其他子系统对对象的有害作用，可能导致功能退化。例如潮湿多雨的环境可能导致电子设备受潮失效
41	易制造性	略
42	制造精度	对象的实际特性与标准或规范特性之间的一致程度。例如瑞士手表的制造精度较高
43	自动化程度	略
44	生产率	单位时间内，系统执行功能或操作的数量；完成一个功能或操作所需的时间；单位时间的输出；单位输出的成本
45	装置的复杂性	略
46	控制的复杂性	略
47	检测的复杂性 *	略
48	测量精度	系统特性的测量结果与实际值之间的偏差程度，减小测量中的误差可以提高测量精度

下一节将依据工程参数定义对容易混淆的疑难工程参数进行辨析。

### 5.1.2 疑难工程参数解析

#### 辨析一：“12 运动对象的耐久性”与“35 可靠性”

“12 运动对象的耐久性”强调平均无故障工作时间（产品寿命），如某轿车产品寿命为 60 万 km，即该轿车行驶超过 60 万 km 后才需要强制报废。

“35 可靠性”强调（在产品寿命内）无故障工作的概率，如某轿车在 60 万 km 内，无故障行驶的概率极高，即表明可靠性高。

#### 辨析二：“37 安全性 \*”与“38 易损坏性 \*”

“37 安全性”强调对象保护自己，不受影响的能力。

“38 易损坏性”强调对象受到影响后不损坏的可能性。

#### 辨析三：“30 对象产生的外部有害因素 \*”“31 对象产生的内部有害因素”和“40 作用于对象的外部有害因素 \*”

“30 对象产生的外部有害因素 \*”强调由系统（对象）产生，作用于外部的有害因素。

“31 对象产生的内部有害因素”强调由系统(对象)产生,作用于系统内部的有害因素。

“40 作用于对象的外部有害因素\*”强调由外部(环境)产生,作用于系统的有害因素。

#### 辨析四：“18 功率”“24 运行效率\*”和“44 生产率”

“18 功率”强调单位时间内所做的功,也即系统利用能量的速率。

“24 运行效率\*”强调系统资源的最优化配置,以尽可能实现有用功能,去除有害功能或无用功能,从而实现效能最大化。

“44 生产率”强调单位时间内完成的功能或操作数,或完成指定动作的次数。

### 5.1.3 技术矛盾与物理矛盾

通过对大量发明专利的研究,阿奇舒勒发现,真正的发明往往需要解决隐藏在问题当中的矛盾。这意味着,矛盾是发明问题的核心,是否存在矛盾是区分发明问题与普通问题的标志,解决矛盾就成为 TRIZ 最根本的任务。

在熟悉了工程参数概念的基础上,TRIZ 理论将矛盾分为两类,第一类称为技术矛盾(technical contradiction),也就是当技术系统的某个工程参数得到改善时,可能会引起另外一个工程参数的恶化(不一定必然会恶化,而在于这种恶化是你想极力避免的),这种情况下存在的矛盾被称为“技术矛盾”。例如:增加坦克装甲的厚度,使得其抗打击能力得到提升,然而却引发了速度、机动性、耗油量等一系列指标的恶化;增大智能手机的触摸屏面积以利于用户操作,却导致了手机屏幕更加易碎,耗电量更大等副作用。总的来说,所谓“此消彼长”就是技术矛盾。

技术矛盾出现的三种常见情况如下:

- (1) 在一个子系统中引入一种有用功能,导致另一个子系统产生一种有害功能。
- (2) 消除一种有害功能,导致另一个子系统有用功能的减退。
- (3) 有用功能的加强或者有害功能的减少,使另外一个子系统变得太复杂。

与技术矛盾相对应的另一类矛盾是物理矛盾(physical contradiction)。物理矛盾的定义是为了实现某种功能,对同一个对象(或者同一个子系统)的同一个工程参数提出了互斥的要求。例如:为了增加飞机的巡航距离,需要携带更多的燃油以提供能源。但同样是为了增加飞机的巡航距离,需要减轻飞机的重量,在飞机整体材料重量不变的情况下就要求携带更少的燃油——为了实现增加巡航距离的目标,既需要飞机多带燃油以提供能源,又需要飞机少带燃油以减轻重量,这种对同一个参数提出截然相反的要求就是物理矛盾,即“左右为难”或“进退维谷”。

物理矛盾出现的两种常见情况如下:

- (1) 一个子系统中有用功能加强的同时导致该子系统有害功能的加强。
- (2) 一个子系统中有害功能降低的同时导致该子系统有用功能的减退。

### 5.1.4 提取矛盾练习

对矛盾进行分析，并从中提取工程参数，关键是要明确研究的系统（对象），并尝试将其中改善和恶化的方面用合适的工程参数进行描述。需要加以说明的是，用工程参数描述技术矛盾，这个过程没有标准答案，也不必拘泥于唯一的答案。可将你认为的矛盾统统列出，不确定性将可能因为在矩阵中所建议的发明原理重复出现而得以厘清，即对于同一问题，不同的矛盾可能会用到相同的发明原理，颇有所谓“殊途同归”之妙。

**训练题一：**每分钟都有大量陨石落在地球表面，对其成分和结构进行分析，能提供更多有关宇宙空间的信息，所以科学家需要在陨石坠落区域大范围地收集岩石并做出筛选。收集和筛选陨石越细致越好，但是耗费时间也更多。

**训练题二：**在餐厅中，服务生为了提高给顾客上菜的速度，每次跑堂手中托着的菜盘越多越好，但是这样更加难以掌握平衡，容易失手。

**训练题三：**在轮船设计的过程中，为了使其能够承载更多的货物，船身（船舱）的尺寸越来越大，但是在行驶过程中，水对船的阻力也随之变大。

**训练题四：**拖拉机的牵引能力指的是其发动机做有用功的功率。拖拉机的重量如果较轻，负载较重时履带可能会打滑，降低牵引能力。反之，如果增大拖拉机的重量，地面牵引性能得以加强，但却要耗费许多燃料在拖拉机自身的移动上。

**训练题五：**从卫星上发射信号时，希望频带较宽，信号也会较好，想要实现这两个目标就需要携带更多大功率的设备，导致卫星重量增加，提高火箭运载成本。

**训练题六：**开口扳手可以在力的作用下拧紧或松开一个六角螺栓，但是螺栓的受力集中在两条棱边，容易让棱边产生变形（被拧秃），想要改善这种情况，但市面上没有找到更合适的扳手。

**训练题七：**为了高效利用有限的市区土地，一座座摩天大楼拔地而起。但是过高的楼房会带来一系列的问题，比如地基不稳，抗震性能下降，影响周边建筑的采光等。

**训练题八：**很多铸件或管状结构是通过法兰连接的（如图 5.1 所示）。连接处常常要承受高温、高压，同时要求密封良好，因此在设计过程中采用了较多的螺栓来提升强度，以满足密封性要求。但是这样会导致部件重量增加，安装和维修时较为麻烦。

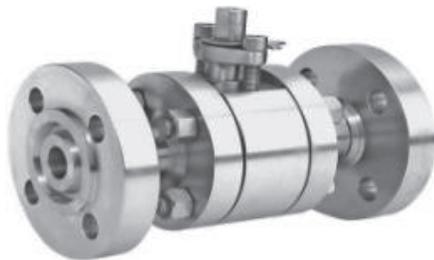


图 5.1 法兰连接示意图

（答案详见附录 C.1）

## 5.2 发明原理

提取工程参数是为了将具体问题转化为典型问题，进而找出典型问题所对应的典型解决方案。阿奇舒勒的研究表明，绝大多数专利都是在解决矛盾，而且相似的矛盾之间，其解决方案在本质上也具有一致性。TRIZ 理论从大量发明方案中总结、提炼出解决矛盾的 40 个发明原理。这也是在 TRIZ 理论发展过程中，阿奇舒勒最先得到的“解决问题的规律”。他发现，虽然不同的专利解决的是不同领域内的问题，但是它们使用的方法是具有相似性的，即一种方法可以解决来自不同工程技术领域的类似问题。将最常用的解决问题的普适方法总结出来，即成为 TRIZ 理论中的 40 个发明原理，其汇总表如表 5.2 所示。这 40 个发明创新原理具有良好的普适性，能够指导人们解决大部分的发明问题。

表 5.2 40 个发明原理汇总表

编号	名称	编号	名称	编号	名称
1	分割原理	15	动态性原理	29	气压或液压结构原理
2	抽出原理	16	不足或过量作用原理	30	柔性壳体或薄膜结构原理
3	局部特性原理	17	多维化原理	31	多孔材料原理
4	不对称原理	18	振动原理	32	变换颜色原理
5	合并原理	19	周期性动作原理	33	同质原理
6	多用性原理	20	有效持续作用原理	34	抛弃与再生原理
7	嵌套原理	21	急速作用原理	35	状态和参数变化原理
8	反重力原理	22	变害为益原理	36	相变原理
9	预先反作用原理	23	反馈原理	37	热膨胀原理
10	预先作用原理	24	中介原理	38	强氧化作用原理
11	预先防范原理	25	自服务原理	39	惰性介质原理
12	等势原理	26	复制原理	40	复合材料原理
13	反向作用原理	27	一次性用品替代原理		
14	曲面化原理	28	替换机械系统原理		

### 5.2.1 40 个发明原理及其子原理详解<sup>①</sup>

本节将对各发明原理（Inventive Principle, IP）的含义及应用实例进行详细介绍，读者也可以登录 TRIZ 网站查询，网址是 [www.cafettriz.com](http://www.cafettriz.com)。

#### IP1 分割原理（segmentation）

说明：在下面的子原理中出现的“对象”概念是指 object，不仅可以表示具体的、有形

<sup>①</sup> 姚威，朱凌，韩旭. 工程师创新手册 [M]. 杭州：浙江大学出版社，2015.

的“物”（物体或产品），而且可以表示抽象的、无形的“事”（组织方式、行为方式、流程）等。

### IP1-1 将一个对象分解成多个相互独立的部分

- 将学生分成不同的班级和年级，以便实施教学。

### IP1-2 将对象分成容易组装（或组合）和拆卸的部分

- 现代化的组合家具，可以有书柜、写字台、座椅、床铺等功能，能合能分，既能满足各种使用需求，又能产生不同的陈设效果，如图 5.2 所示。



图 5.2 现代化的组合家具

### IP1-3 增加对象的分解程度

- 一整块布做的窗帘→左右两块布做的窗帘→百叶窗，随着窗帘的分解程度不断增加，使用也更加便利，如百叶窗可以自由地调节采光区域。
- 微纳化工是一门研究微小尺度下化学反应的学科。它将传统的大规模操作分割成一个个微小的单元，着重对这些微小单元进行研究，使得反应速率、安全性、生产灵活性等方面都得到了很好的改善。同时，在微纳化工中，事故的发生一般只是在一个小小的试管中出现，规模不大，因此降低了危险性，方便处理，如图 5.3 所示。

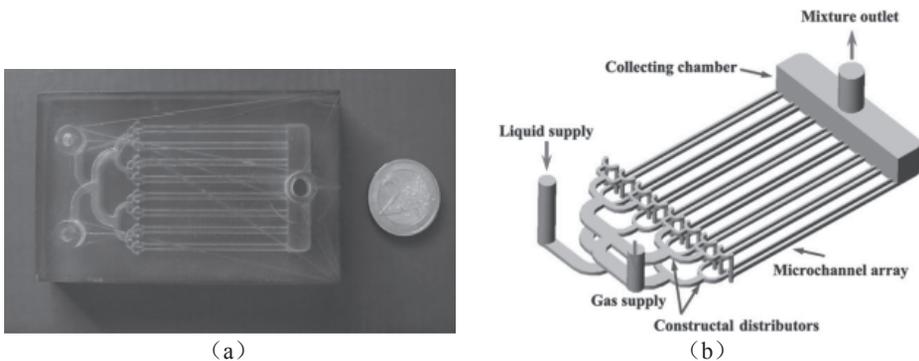


图 5.3 微纳化工反应容器

## IP2 抽出原理（separation）

### IP2-1 从对象中抽取出产生负面影响的部分或属性

- 在机场或车站的等候区域设立专门的吸烟室。
- 最初的空调是一体机，工作时压缩机会产生噪声。分体式空调将空调中会产生噪声和热量的空气压缩机部分放置在室外，将制造冷气的部分放置于室内，如图 5.4 所示。



图 5.4 分体式空调

### IP2-2 从对象中抽出有用的（主要的、重要的、必要的）部分或属性

- 稻田里的稻草人，是将人的外形抽取出来，起到吓走鸟类的作用。

### IP3 局部特性原理（local quality）

#### IP3-1 将对象、环境或外部作用的均匀结构变为不均匀结构

● 在矿井中为了减少粉尘，常常利用喷水装置向采掘机和运煤机喷出圆锥状的水雾。水雾中的水滴越小，消除粉尘的效果就越好。但是如果水滴太小的话，就很难迅速沉降下来，含有粉尘的小液滴就会被工人吸入到肺里造成危害。解决方案是用一层圆锥状的，颗粒较大的水雾包围在雾化较好的雾锥外围。这样一来，内层的小液滴负责吸附粉尘，外层的大液滴负责吸附内层的小液滴，而大液滴可以迅速地沉降下来，从而达到既能消除粉尘，又能迅速沉降的目的，如图 5.5 所示。

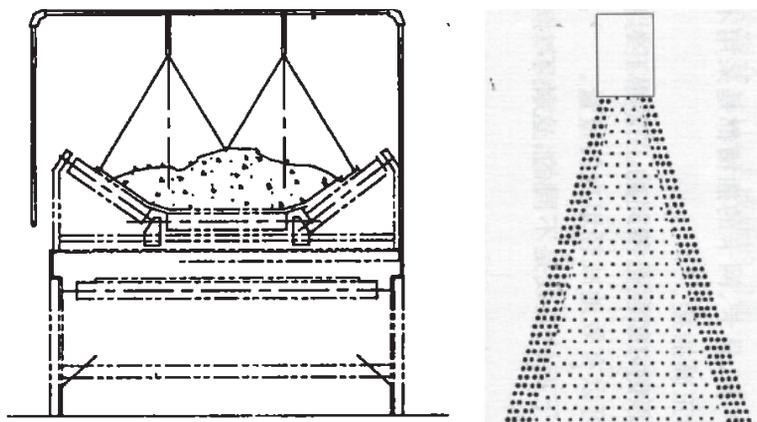


图 5.5 输煤系统水雾除尘及锥状水雾结构

#### IP3-2 使对象的不同部分具有不同的功能和特性

- 图钉一头尖（便于刺入物体内），一头圆（便于人手施加压力）。

- 羊角锤的一端用来钉钉子，另一端用来拔钉子，如图 5.6 所示。



图 5.6 羊角锤

### IP3-3 让对象的不同部分处于完成各自功能的最佳状态

- 可以在分层饭盒不同的间隔内放置不同的食物，盛粥和汤的区域关注密封性和保温性，盛菜的区域关注独立性，以使菜品味道不相互影响。

## IP4 不对称原理 (asymmetry)

### IP4-1 将对象（的形状或组织形式）由对称的变为不对称的

- USB 的接口采用不对称设计，只有当公口的方向正确时，才能顺利插入到母口中，否则母口将阻止公口的插入。这样的设计有效避免了在接头连接过程中连错错误的发生，如图 5.7 所示。

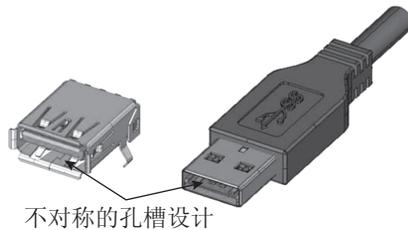


图 5.7 USB 接口的不对称设计

### IP4-2 如果对象已经是不对称状态，那么增加其不对称程度

- 最方便使用的零件是从各个角度都对称的零件，如人们在日常生活中使用的音频接口和音频插头在轴线上是 360° 对称的，无论插头怎么旋转都不会插错。但是如果零件因为其他限制无法做到对称性，那么需要夸大零件的不对称性，且不对称性越明显越好，如设计非对称的空、槽和凸台等，如图 5.8 所示。

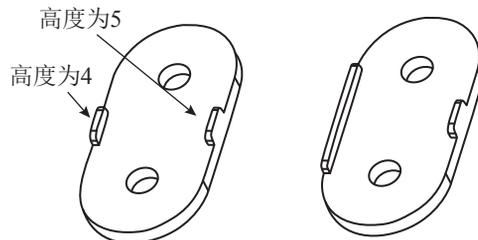


图 5.8 增加不对称程度的零件

## IP5 合并原理 (merging)

### IP5-1 在空间上将同类的(相关的、相邻的、辅助的)操作对象合并在一起

● 加工薄玻璃时,其四个边角很容易发生碎裂,故将多块玻璃用水作为黏合剂结合在一起,这样整体就变厚了,更易于磨削加工。在水干了之后玻璃可以自动分离。

● 水龙头原先有热水出口和冷水出口两个,为了方便洗澡时调节水温,将二者合并成一个有可旋阀的水管,可以自由地根据需要调节水温。

### IP5-2 在时间上将同类的(相关的、相邻的、辅助的)操作对象合并在一起

● 割草机后面放置一个收集袋,旋转刀刃割下草之后,草就被放入袋子中,收割和收集过程同步进行。

## IP6 多用性原理 (multi-functionality)

说明:如果一个对象同时有好几个功能,那么就不需要其他同功能的对象了,以减少冗余和浪费。

- 瑞士军刀、沙发床。
- 楼梯下的空间用于放书,楼梯和书柜合用,如图 5.9 所示。



图 5.9 楼梯书柜

## IP7 嵌套原理 (nested doll)

说明:嵌套原理最初被称为“套娃原理”,俄罗斯套娃(参见图 5.10 所示)是这个原理最生动形象的例子。



图 5.10 俄罗斯套娃

**IP7-1 把一个对象嵌入第二个对象，然后将这两个对象再嵌入第三个对象，以此类推**

● 传统容器型家具（如衣柜、书柜、杯子等）容腔无法改变，当闲置时占用空间大，外出携带、搬家时也会带来不便。嵌套原理的使用使得容腔内的空间能够得到灵活应用。以组合柜为例，当放置的物品少时，柜子能够层层嵌套，节省空间。当需放置大量物品时，柜子可以层层展开，如图 5.11 所示。



图 5.11 嵌套式家具

**IP7-2 使一对象穿过另一对象的空腔**

● 飞机起飞后将起落架收进机身内部。

**IP8 反重力原理 ( weight compensation )**

**IP8-1 将目标对象与另一个有提升力的对象组合，以补偿目标对象的重量**

● 鱼可以利用其身体中的鱼鳔来实现上浮和下潜。

**IP8-2 通过跟外部环境的相互作用（空气动力、流体动力或其他力）来补偿对象的重量**

● 飞机机翼的上表面是流畅的曲面，下表面则是平面。这样，机翼上表面的气流速度就大于下表面的气流速度，根据伯努利定律，机翼下方气流产生的压力就大于上方气流的压力，飞机就被这巨大的压力差“托住”了，从而补偿了自身的重量。

**IP8-3 利用环境中相反的力（或作用）来补偿系统消极的（负面的）属性**

● 利用船体周围的海水来冷却油轮中所装载的易挥发液体。

**IP9 预先反作用原理 ( preliminary counteraction )**

说明：预先了解可能出现的问题，并采取行动来消除出现的问题、降低问题的危害或

防止问题的出现。

- 火场逃生时，要将盖在自己身上的棉被淋湿，可在短时间内防止被火烧伤。

- 钢筋混凝土浇筑之后会受到持续的重力作用，有可能导致钢筋向下弯曲。所以在浇筑混凝土之前要对钢筋进行预压处理。由于钢筋将要承受向下的重力  $F_1$ ，我们预先施加一个适当的向上的力  $F_2$  使钢筋向上弯曲，这样就增加了钢筋混凝土结构的机械强度和耐用性，如图 5.12 所示。

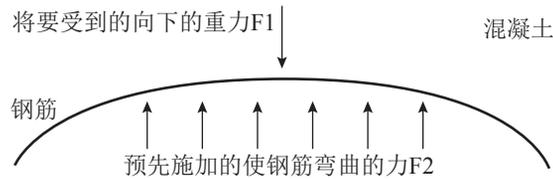


图 5.12 钢筋混凝土浇注示意图

### IP10 预先作用原理 (Preliminary action)

说明：在真正需要某种作用之前，预先执行该作用的全部或一部分。

#### IP10-1 预先（部分或全部）完成所需的作用

- 今天已经很少有人知道最早的邮票是以没有打孔的一整版的形式销售的，那时的用户不得不将邮票一张一张剪下来，再用胶水粘到信封上。现今的邮票都采用了预先作用，在贩卖的时候就已经打好了孔。

- “人”型锁能够在黑暗、视野不好的环境中，通过预先刻出的凹槽引导钥匙，使其最终能顺利插入锁孔，这种设计特别适合盲人，如图 5.13 所示。

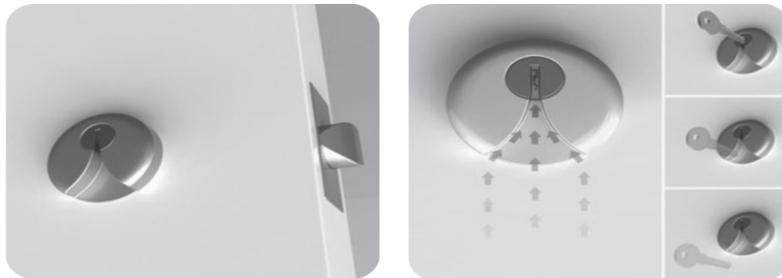


图 5.13 “人”型锁示意图

#### IP10-2 预先准备对象，以便能及时地在最佳的位置发挥作用

- 在商场每个楼层合适的位置安置消防栓和灭火器，必要的时候能够在最佳的位置方便人们救火。

- 战斗中，战士们会预先将手榴弹的后盖打开 (IP10-1)，放在触手可及的地方 (IP10-2)，以便迅速投弹。

### IP11 预先防范原理 (beforehand compensation)

说明：通过预先准备好的应急措施（例如备用系统、矫正措施等）来补偿对象较低的可靠性。

- 在珍贵林区周围预先设置没有任何植物的防火隔离带，防止火灾的侵扰和蔓延。
- 切菜时容易切伤手指，而防止菜刀切手的手指护具的使用通过预先防范避免了这一问题。将护具套在手指上，使手指处在护板后面，既保护了手指，又不影响手指在切菜时的灵活与协调，如图 5.14 所示。

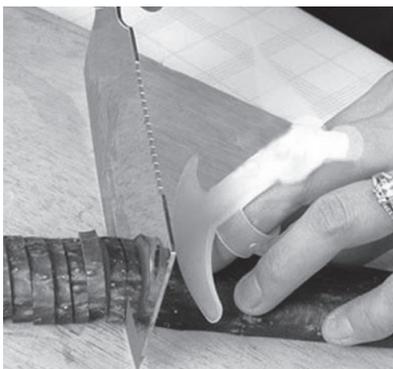


图 5.14 防切手护具

### IP12 等势原理 (equipotentiality)

说明：改变了工作条件，就没必要提高或降低对象（不易或不能升降的对象可通过外部环境的改变达到相对升降的目的）。

- 在修理大卡车时，将其用千斤顶抬高非常困难，而采取等势原理，在地板上设置一道沟渠，即可在不抬升汽车的情况下进入车底进行修理，如图 5.15 所示。



图 5.15 汽车修理部的地下修理通道

- 在两个不同高度的水域之间设置水闸，以便船只顺利通过，如图 5.16 所示。

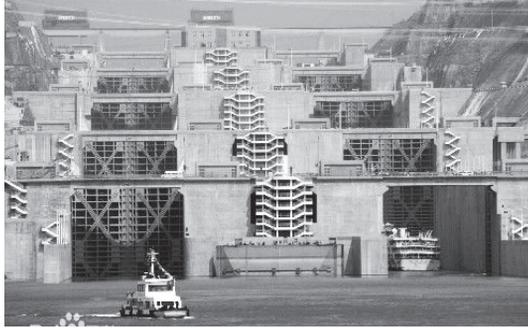


图 5.16 三峡工程五级船闸

### IP13 反向作用原理 ( the other way around )

#### IP13-1 不以常规行为完成动作，而是用一个反向动作的方式来替代

- 跑步机利用人与路关系的反向作用，使得一个不大的装置成为一条永远走不完的路，它可以让我们在斗室之内跑马拉松。

#### IP13-2 使得一个对象或环境通常可移动的部分固定，或者通常固定的部分变为活动

- 车削工艺中将刀具固定。在车床加工时，使工件旋转，而刀具固定。

#### IP13-3 把一个物体的空间位置（或过程）“倒置”或翻转

- 将路灯的灯泡向上，再用反射板把灯泡的光反射向下，而灯泡的余光可以用来装饰灯杆。此外，这种翻转式路灯还能有效地防止灯罩或灯泡被飞石击碎，如图 5.17 所示。



图 5.17 翻转式路灯

- 酒心巧克力。其常见的制作工艺是将液态巧克力浇铸成中空的瓶型，冷却后，灌上酒，接着继续加热其上部，挤压，使其光滑地衔接，封住瓶口。然而有没有可能消除昂贵的巧克力模具，消除封瓶的烦琐工艺？答案是将酒冰冻，然后用融化的巧克力铸模，酒在热巧克力内融化，同时融化的巧克力沿着冰酒模的表面冷却。可谓一举两得，大大省却了工艺，提高了效率。

## IP14 曲面化原理 (curvature increase)

**IP14-1 把对象的线性部件改成曲线形，把平坦的表面改成曲面；把形如立方体或平行六面体的部件变成球形结构**

- 流线型在汽车、潜艇、飞行器上的应用。

高速运动的物体受到环境的阻力很大，采用流线型外形可减小空气阻力，并给人舒服的视觉和触觉感受。这在汽车、潜艇、飞行器上都有应用。

**IP14-2 运用柱状、球状和螺旋状的结构**

- 螺旋形的楼梯可以大幅提高空间的利用率。
- 螺旋齿轮可以提供均匀的承载能力，如图 5.18 所示。



图 5.18 螺旋齿轮

**IP14-3 将线性运动变成圆周运动以便利用其产生的离心力**

- 滚筒甩干，利用湿衣服在滚筒内高速转动时水的离心力大于与衣服间的附着力，实现甩干。

## IP15 动态性原理 (dynamic parts)

**IP15-1 改变对象或者环境的特征使作用在任何阶段均能达到最佳性能**

● 奥德修斯太阳能飞机外形看上去像来自外星球的不明飞行物，它的机翼呈 Z 形，翼展长达 150m，而且机翼可以随着日光的消减而变形。这种设计独特的变形机翼使飞机可以在空中持续飞行 5 年。当有阳光时，飞机就会根据阳光的情况来调整机翼，以尽可能多地吸收太阳能。当处于黑暗中时，飞机就会将机翼变成水平直线保持平飞来保存能量，这时飞机的电动发动机将由储存在电池板中的能量来驱动，如图 5.19 所示。



图 5.19 奥德修斯太阳能机翼可折叠飞机

### IP15-2 把对象分解成可以在内部互相移动的部件

● 变焦镜头是在一定范围内可以通过变换焦距来得到不同宽窄的视场角、不同大小的影像和不同景物范围的照相机镜头。与固定焦距镜头不同，变焦距镜头并不是依靠快速更换镜头来实现镜头焦距变换的，而是通过推拉或旋转镜头或旋转镜头的变焦环来实现镜头焦距变换的，在镜头变焦范围内，焦距可无级变换。它省却了外出拍摄时需携带和更换多只不同焦距镜头的麻烦，如图 5.20 所示。



图 5.20 变焦镜头

### IP15-3 使一个本来固定的对象可移动或可自适性

● 活字印刷术。雕版印刷术是通过在版料上雕刻图文，然后用油墨转印到纸上，满足大批量印书的技术。但雕成的版很难进行修改，若雕错字或者需要修改，都不得不重新雕制一块新版，而且当书本页数很多时，需要雕刻的版的数目也很惊人。

北宋平民发明家毕昇发明了活字印刷术，用于印书的雕版由一个个单字组成，把每个字看成一个字格，这些字格是可以拆分的，拆分之后这些字就可以随意移动了。这样对雕版的修改就变得有针对性，只需要更换需要修改的字就行了。

### IP16 不足或过量作用原理 ( partial or excessive actions )

说明：如果完全达到想要的效果很困难，那么应当试着让要达到的效果略差或略超出预期效果，以使问题简化。

● 艺术雕刻。一尊雕塑的创作，艺术家不是让原料直接成形(从一个部位开始精雕细刻)，而是先用比较粗糙的手法雕刻出大致的外形轮廓，再逐步细化刀法。每次雕刻完成一个层次，而在最后一次雕刻之前的每一次都没有达到艺术家的创作要求。

● 卫星回收。废弃卫星回收有一种销毁方法是将导弹置于卫星轨道上撞击卫星。采用过量原则，让导弹从一开始就在比卫星靠外一点的轨道上运行，等到要撞击卫星时，使导弹减速，落回到卫星的轨道上，实现撞击。虽然刚开始导弹的运行速度快，且比目标轨道靠外，但采用过量原则设计的这种撞击方式显然提高了命中率。

## IP17 多维化原理 ( dimensionality change )

### IP17-1 将物体由一维运动变为二维运动，或由二维运动变为三维空间的运动

● 折叠式集装箱。普通集装箱提供了足够的空间，为运输的标准化作出了重要的贡献，但其体积庞大，在不用时非常浪费空间，是其最大的弊端之一。

折叠式集装箱被设计成可从二维展开到三维的模型。通过合理的机械结构设计，实现用节点可靠控制整个箱体形状的目标。不用时，采用二维放置以减少空间消耗，需要使用时，则打开成三维形状以提供符合标准的内部空间，如图 5.21 所示。



图 5.21 折叠集装箱

### IP17-2 利用多层结构替代单层结构

● 立交桥。

● “立体快巴”沿轨道行驶，上方可载客 1400 人，悬空的下方可让高度在 2m 以下的汽车正常通过，令塞车情况减少 20% 至 30%，而其造价仅是地铁的 10%，如图 5.22 所示。



图 5.22 立体快巴

### IP17-3 将对象倾斜或侧向放置

● 翻斗车运输货物时，车体后部的翻斗是水平状态的；而在卸货时，将翻斗用液压装置支撑到倾斜状态，货物即顺利卸车。

● 往汽车上装卸汽油桶的时候，在地面与车厢之间利用木板形成斜坡，使装卸变得容易，如图 5.23 所示。

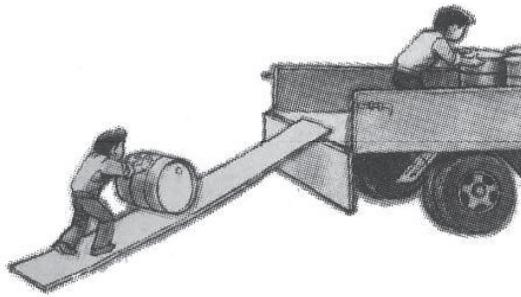


图 5.23 往汽车上装卸汽油桶

#### IP17-4 利用给定物体表面的反面

● 双头手电筒。普通手电筒只在其前端装有灯泡，如果在黑暗中跟在别人后面走，则当用灯光照亮前方时，脚下的灯光并不充足。双头手电筒利用了手电筒的尾部，倾斜 $45^\circ$ 后又安装了一个灯泡，这样手电筒照亮前方时也可照顾到脚下，方便跟在后面的人走路，如图 5.24 所示。



图 5.24 双头手电筒及照射效果

#### IP17-5 利用射到相邻区域或目前区域背面的光线

● 传说阿基米德用士兵们盾牌的背面汇聚阳光，将罗马舰队的帆点燃，从而挫败了罗马舰队的进攻。

### IP18 振动原理 ( mechanical vibration )

#### IP18-1 使对象发生振动

- 在浇筑混凝土的时候，利用振动式励磁机（激励器）去除混凝土中的孔隙。
- 振动盘是一种自动组装机件的辅助设备，能把各种产品有序排出来，它可以配合自动组装机将产品各个部位组装起来，成为一个完整的产品。振动盘料斗下面有脉冲电磁铁，可以使料斗作垂直方向振动，由倾斜的弹簧片带动料斗绕其垂直轴作扭摆振动。料斗内的零

件由于受到这种振动，会沿螺旋轨道上升，直至送到出料口。其工作目的是通过振动将无序的工件自动有序定向排列整齐，准确地输送到下道工序，如图 5.25 所示。

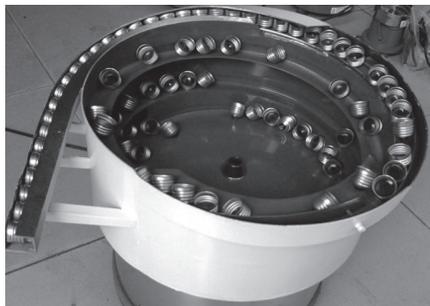


图 5.25 振动盘

### IP18-2 如果对象已经处于振动状态，则提高振动的频率（直至超高频）

- 超声波清洗机在将高频电能转换成机械能之后，会产生振幅极小的高频震动并传播到清洗槽内的溶液中，清洗液的内部分将不断地产生大量微小的气泡并瞬间破裂，从而将工件冲刷干净。

### IP18-3 运用共振现象

- 18 世纪中叶，法国昂热市一座 102m 长的大桥上有一队士兵经过。当他们在指挥官的口令下迈着整齐的步伐过桥时，桥梁突然断裂，造成大量官兵和行人丧生。究其原因共振造成的。因为大队士兵迈正步走的频率正好与大桥的固有频率一致，使桥的振动加强，当它的振幅达到最大以至超过桥梁的抗压力时，桥就断了。而现今，则可运用共振现象，定点拆除废弃的建筑物或桥梁，避免了爆破拆除带来的危险和污染。

### IP18-4 综合运用超声波振动与电磁场

- 利用超声波振动、电磁场耦合超声波振动和电磁场，在电熔炉中混合金属，使之均匀混合。

### IP18-5 利用压电振动代替机械振动

- 电子手表（压电共振）。

将石英晶片的极板上接上交流电场，当外加交变电压的频率与石英晶片的固有频率相等时，就会产生共振。这种现象称为“压电共振”。利用这种稳定的振荡特性，人们创造出了精度极高的电子表和石英钟。

## IP19 周期性动作原理（periodic action）

### IP19-1 将非周期性作用转变为周期性作用（或脉动）

- 在建筑工地上，利用打桩机周期性地作用于桩子，可以快速地将桩子打入地面。
- 当汽车在结冰的路面上制动时，利用“多次轻踩刹车的方式”可以避免打滑。

### IP19-2 如果功能已经是周期性运作，改变其周期（作用频率）

- 在不同的工作状态下，洗衣机（或洗碗机）会采用不同的水流喷射方式。

### IP19-3 利用脉动的间隙，来完成其他的有用作用

- 当过滤器暂停使用时，通过倒流将其冲洗干净。

## IP20 有效持续作用原理 ( continuity of useful action )

### IP20-1 让工作不间断地进行 (对象的所有部分都应一直满负荷工作)

● 光刻机是一种用于集成电路制造设备的器械，可在小芯片上制作成千上万的极微小的电子线路元件。最新款的光刻机 24h 不停歇地工作。4 个工作台轮换工作，在一个进行刻蚀时，另外几个进行 x、y 方向的校准以及后续操作，精密的构件使工作台可以骤停，无延时现象。一系列动作只需在几十微秒内即可完成。

● 寒玉床。“初时你睡在上面，觉得奇寒难熬，只得运全身功力与之相抗，久而久之，习惯成自然，纵在睡梦之中也是练功不辍。常人练功，就算是最勤奋之人，每日总须有几个时辰睡觉。要知道练功是逆天而行之事，气血运转，均与常时不同，但每晚睡将下来，睡梦中非但不耗白日之功，反而更增功力。”——金庸《神雕侠侣》

### IP20-2 排除无用的运作和中断 (消除空闲和间歇性动作)

● 老式打印机的打印头只能沿一个方向进行打印，打印头从初始位置开始打印，直到极限位置，然后需要快速回到初始位置 (称为回程)，以进行下一次打印。而新式打印机在回程的时候也能执行打印工作。

### IP20-3 用旋转运动代替往复运动

- 用计算机硬盘 (旋转运动) 代替磁带 (往复运动，需要倒带) 进行数据存储。
- 用绞肉机代替菜刀来剁肉馅。

## IP21 急速作用原理 ( hurrying or skipping )

说明：用尽可能短的时间，快速通过某个过程中困难的或有害的部分。也就是说，若某事物在给定的速度下会出问题 (发生故障，或造成破坏的、有害的、危险的后果)，则可以通过加快其速度来避免出现问题或降低危害的程度。

- 快速冷冻食物，避免细胞损坏，保持食物营养和口感。
- 通过超高温瞬时灭菌技术，使温度急速通过可能影响口感的温度区域，从而实现杀死病菌而不影响果汁或者牛奶的口感。

## IP22 变害为益原理 ( use harmful factors )

### IP22-1 利用有破坏性的因素，尤其是对环境的破坏性影响，以获得有用的效果 (变废为宝)

- 燃烧垃圾进行发电，燃烧后的灰分还可以作为化肥或制成建筑材料。

- 利用水蛭来吸取肿胀部位的淤血。

### IP22-2 通过跟其他负面的因素相结合，排除某个负面因素（负负得正）

- 潜水中使用氮氧混合气体。单独使用氧会造成中毒，但是，混合使用则可以使人在水下呼吸。

### IP22-3 维持或加大破坏性的因素直到它不再产生破坏性（以毒攻毒）

- 利用爆炸来扑灭油井大火。
- 利用极端的低温来冷冻已经被冻成块的材料，可以加速其恢复流动能力的过程。例如在寒冷的天气里运输砂砾时，砂砾很容易冻结成块，这时可以通过过度冷冻（使用液氮）使成块的砂砾变脆，易于碎裂。

## IP23 反馈原理（feedback）

### IP23-1 向系统中引入反馈，以改善性能

- 调节温度的锅能够根据锅内的温度来对比预定温度和调节火的大小。
- 调节放水的水龙头能够通过压力传感器在水放到一定量时切断供水。

### IP23-2 改变已存在的反馈方式、控制反馈信号的大小或灵敏度

- 啸叫现象的消除。我们使用麦克风的时候，音频信号由麦克风进入扩大机（功率放大器），再由扩大机推动喇叭（扬声器）向外播放，如果将麦克风对准喇叭，则喇叭的输出信号会再度进入麦克风而被扩大机反复放大。因此，当麦克风对准喇叭时，喇叭将会发出尖锐啸声，令人难以忍受，这就是所谓的啸叫现象。

扩声系统之所以产生过度的声反馈，是因为系统中某些频率信号过强，而反馈抑制器则可自动发现过于突出的声反馈频率并将其衰减下来，并且几乎不会对正常范围内的声音造成任何影响。其作用是改变已存在的反馈方式，通过检测并减小过度的反馈信号，达到消除啸叫现象的目的。

## IP24 中介原理（intermediary）

### IP24-1 利用中介物来转移或传递某种作用

- 用于演奏弦乐器的拨子（琴拨、拨弦片）。
- 在雕刻或开采石头的时候，利用凿子来控制力的方向。

### IP24-2 暂时把一个对象与另一个（很容易分离的）对象结合起来

- 饭店上菜的托盘。
- 药片上的糖衣，或者内部承载药物的胶囊。

## IP25 自服务原理 ( self-service )

### IP25-1 让对象进行自我服务, 具有自补充、自修复功能

- 记忆材料在一定条件下, 可以恢复其原来的形状等特性。
- 北京奥运会祥云火炬具有大小两个火苗, 在大火苗熄灭后, 小火苗会点燃大火苗。此外还具有收集余热的功能, 保持火炬长时间稳定燃烧, 如图 5.26 所示。



图 5.26 北京奥运会祥云火炬

### IP25-2 利用废弃的物质资源及能源

- 利用健身运动时产生的能量来发电, 保证一个小范围空间内的部分用电。
- 在收割的过程中, 将作物的秸秆粉碎后直接填埋作为下一季庄稼的肥料。

## IP26 复制原理 ( copying )

说明: 通过使用较便宜的复制品或模型来代替成本过高而不能使用的对象 (此处成本是一个宽泛的概念, 不仅指金钱, 还包括了时间和便利性等因素)。

### IP26-1 利用简易的廉价复制品, 代替难以获得的、复杂的、昂贵的、不便于操作的或者易损易碎的物体

- 服装店里的塑料模特 (代替真人模特), 或者大厅摆放的塑料花、塑料水果。
- 售楼处所摆放的建筑物模型。

### IP26-2 用按比例放大或者缩小的光学复制品替代实物

- 在黑夜测量电线杆的长度, 可以采用如下办法: 利用比例法通过测量影子长度, 计算得出电线杆的实际长度。只要分别测量出身高为  $a$  的人的影子长  $l_1$  和电线杆的影子长  $l_2$ , 设电线杆长度为  $x$ ,  $x/a = l_2/l_1$ , 即可求出  $x$ , 如图 5.27 所示。



图 5.27 测量电线杆高的示意图

**IP26-3 如果可见光复制品已被采用，可转向用红外或紫外线光的复制品**

- 在黑夜中，夜视仪利用红外线（检测热源）来观察物体。

**IP26-4 用数字模拟来代替实物**

- 在化学工程领域，常常采用计算机软件模拟实际的化工反应流程，为学生提供了成本较低，同时也非常安全的实习操作机会。
- 软件中的打印预览功能。

**IP27 一次性用品替代原理（cheap disposables）**

说明：用一组廉价的对象替代昂贵的对象，在某些性能上稍作让步。

- 一次性的餐具、水杯、医疗耗材、纸尿裤、纸内裤、打火机、照相机等。
- 在切割工具中（例如工业钻头、玻璃刀），常利用工业钻石代替天然钻石。

**IP28 替换机械系统原理（mechanical interaction substitution）**

**IP28-1 用光学、声学或嗅觉方法替代机械系统**

- 用“声学栅栏”（动物可听见的声学信号）代替真正现实中的栅栏，来圈住牛羊。
- 利用触摸屏技术（触觉设计原理）代替了原有的按键式机械结构。使手机变得更加易于操作、更加智能化，同时触屏的推广与使用也使手机增加了许多扩展功能，类似于手机阅读、网页浏览等功能也日趋完善。

**IP28-2 运用电场、磁场或电磁场与物体进行交换作用**

- 磁场感应涡流加热。利用电流通过线圈产生磁场，当磁场内的磁力通过含铁质锅底部时，即会产生无数之小涡流，使锅体本身自行高速发热，然后再加热锅内的食物。电磁炉工作时产生的电磁波，完全被线圈底部的屏蔽层和顶板上的含铁质锅所吸收。

**IP28-3 用移动场代替固定场，用动态场代替静态场，用结构化场代替非结构化场，用确定场代替随机场**

- 核磁共振成像。又称磁共振成像（NMR），是利用核磁共振原理，通过外加梯度磁场检测所发射出的电磁波，绘制物体内部的结构图像，在物理、化学、医疗、石油化工、考古等方面获得了广泛应用。将这种技术应用于人体内部结构的成像，就产生出一种革命性的

医学诊断工具。快速变化的梯度磁场的应用，大大加快了核磁共振成像的速度，这是用动态场代替静态场，用结构化场代替非结构化场的典型案例。

- 在通信系统中，利用定点雷达预测代替早期的全方位检测，可以获得更加详细的信息。这是用确定场代替随机场的典型案例。

#### **IP28-4 把场和能够与场发生相互作用的粒子（例如磁场和铁磁粒子）组合起来使用。**

- 用变化的磁场加热含铁磁粒子的物质，当温度达到居里点时，物质变成顺磁，不再吸收热量，从而实现恒温。

### **IP29 气压或液压结构原理（pneumatics and hydraulics）**

说明：利用气体或液体部件代替对象中的固体部件，例如充气结构、充液结构、气垫、液体静力结构和流体动力结构等。

- 机械千斤顶可以认为是固定传动结构，部件间存在一定的摩擦作用，在较大压力作用环境下，更容易磨损。液压千斤顶利用液体，虽然原理与机械千斤顶不同，但成功避免了固件部分的直接接触，因而更加灵活、耐用和有效。

### **IP30 柔性壳体或薄膜结构原理（flexible shells and thin films）**

#### **IP30-1 用柔性壳体、活动的盖子或薄膜替代通常的结构**

- 自行车的车座软垫可以使车垫变得柔软，坐上去更舒适。

#### **IP30-2 用柔性壳体、活动的盖子或薄膜把对象和外部世界隔离开来**

- 胶囊、蚊帐、塑料大棚。

### **IP31 多孔材料原理（porous materials）**

#### **IP31-1 给物体加孔或者运用补充的多孔物质（插入物，覆盖物等）**

- 活性炭的微观结构充满孔洞，其堆积密度低，比表面积大。活性炭主要用于脱色和过滤，吸收各种气体与蒸汽等。

- 蜂窝煤是横断面中部有多个垂直通风圆孔，状似蜂窝的圆柱形煤球，主要用于家庭生火、取暖。在圆柱形煤球内打上一些孔，可以增大煤的表面积，使煤能够充分燃烧。

#### **IP31-2 如果对象已经由多孔物质组成，那么小孔可以事先用某种物质填充**

- 多孔催化剂。催化剂一般可作为载体，令反应物在催化剂表面附着。化学反应速率有时候取决于反应物在催化剂表面的附着速率。将催化剂装多孔载体里，可增加催化剂的表面积，从而使反应物更容易在催化剂表面附着，在一定程度上加快了化学反应速率。

## IP32 变换颜色原理 ( optical property changes )

### IP32-1 改变对象或者其环境的颜色

- 迷彩服或者变色龙身上的颜色变化。

### IP32-2 改变对象或其环境的透明程度

- 将绷带做成透明的，这样就可以在不揭开绷带的条件下观察伤情。

### IP32-3 采用有颜色的添加物，使不易被观察到的对象或过程被观察到

● 水温感应喷头，在水温不同时喷头的颜色也不同。温度低的时候偏白色、蓝色，温度高的时候偏橙色、红色。这样用户不必用身体触碰就可根据喷头颜色来辨别水温。

### IP32-4 如果某种补充物已经得到运用，那么可增加其发光特性以提高可视性（考虑使用荧光物质）

- 在纸币中加入荧光物质，以提高纸币的防伪能力。
- 在无损检测中，利用荧光探伤法可以检测工件的表面缺陷。

## IP33 同质原理 ( homogeneity )

说明：与指定对象发生相互作用的对象，应该采用与指定对象相同的材料（或性质接近的材料）制成。

● 钻石的切割温度比较高，如果使用由其他材料制成的工具来切割金钢石，切割时的高温容易使金钢石和其他材料发生化学反应，而采用金刚石作为切割材料则可以避免。

● 用糯米制成的糖纸来包装软糖（糖纸和软糖都是可食用的）。与此类似，利用鸡蛋和淀粉来制造装冰激凌的容器（冰激凌和容器具有相同的特性——可以食用）。

## IP34 抛弃与再生原理 ( discarding and recovering )

### IP34-1 已经完成任务的部件和无用的部件自动消失，或在工作过程中自动改变（溶解、蒸发等）

● 多级火箭除第一级以外，其他级只是为了增加推进速度，当完成任务之后就会被舍弃，基本是坠入大气层烧毁。

● 可吸收外科手术缝合线具有生物可降解性。伤口缝合后，随着伤口的愈合，缝线自动在体内降解，这样就避免了拆线的痛苦。

### IP34-2 在工作时消耗或减少的部件应当被立即替换或自动再生

- 自动铅笔的铅芯头写完了，轻轻一按，就会得到补充，不需要削铅笔了。
- 自动步枪可以在发射一发子弹后自动装填下一发子弹。

## IP35 状态和参数变化原理 ( parameter change )

### IP35-1 改变对象的物理聚集状态 (例如在气态、液态、固态之间转化)

● 用液态形式运输氧、氮、天然气，从而取代气体形式的运输，可以减少货物的体积，提高运输效率。

● 向磁流变液施加磁场，可以在 1ms 内使其从自由状态变为固态；当磁场移去之后，又立即恢复液态，从而实现对流体的传动介质的控制。

● 用液态的洗手液代替固态的肥皂，在公共场所使用更加方便卫生。

### IP35-2 改变对象的浓度、密度和黏度

● 改变硫酸的浓度，不同浓度的硫酸有不同的性质。例如：稀硫酸具有强酸性，属于强电解质，可与比氢活泼的金属反应生成硫酸盐和氢气；而浓硫酸具有吸水性、强酸性（但它不能与比氢活泼的金属反应生成硫酸盐和氢气）、强脱水性、强氧化性以及难挥发性。

### IP35-3 改变物体的柔性 (或灵活性) 程度

● 通过硫化过程来提高天然橡胶的强度和耐久性。

● 改变自行车轮胎的充气程度 (柔性)，来控制其与地面的接触面积。

### IP35-4 改变物体的温度或体积

● 低温麻醉是在全麻基础上用物理降温法使人体温度降至预定范围，旨在降低组织代谢及耗氧，提高器官对缺氧的耐受性。降温方法有体表、体腔及血流降温等法。低温麻醉主要用于需短暂阻断循环的心血管手术，应预防室性心律失常、呼吸功能不全、冷反射等并发症。

● 陶瓷烧制时颜色釉对温度的变化十分敏感 ( “窑变” )，在不同的烧制温度下能呈现出不同的色彩，于是才有了色彩繁复、千变万化的瓷器。

### IP35-5 改变对象的压力

● 在烹饪牛肉的过程中，普通的制作方式难以使其熟透，通过高压锅，增加锅内部的压力以提高水的沸点，可以使牛肉得到充分的烹制，色香味俱全。

## IP36 相变原理 ( phase transitions )

说明：相是物理化学上的一个概念，它指的是物体的化学性质完全相同，但是物理性质发生变化的不同状态。在发生相变时，有体积的变化也有热量的吸收或释放，这类相变即称为“一级相变”（例如：在 1 个大气压 0℃ 的情况下，1kg 质量的冰转变成同温度的水，要吸收 79.6Cal 的热量，与此同时体积亦收缩。所以，冰与水之间的转换属于一级相变）。

在发生相变时，体积不变且没有热量的吸收和释放，只是热容量、热膨胀系数和等温压缩系数等物理量发生变化，这类变化称为二级相变（例如：正常液态氮与超流氮之间的转变、正常导体与超导体之间的转变、顺磁体与铁磁体之间的转变、合金的有序态与无序态之间

的转变等都是典型的二级相变的例子)。相变原理利用的就是相变过程中产生的各种效应,比如体积、辐射或热量吸收的改变等。

- 氟里昂在冰箱制冷中的应用。低压气态氟里昂进入压缩机,被压缩成高温高压的气体氟里昂;气态氟里昂流入室外冷凝器,放出热量,冷凝成高压液体氟里昂;高压液体氟里昂通过节流装置降压变成低温低压气液氟里昂混合物;气液混合氟里昂进入室内蒸发器,吸收热量,变成低压气体,重新进入了压缩机;如此循环往复即可制冷。

### IP37 热膨胀原理 ( thermal expansion )

#### IP37-1 加热时充分运用材料的膨胀(或缩小)特性

- 在过盈装配时,先冷却对象内部件使之收缩,加热外部件使之膨胀,装配完成后恢复到常温,这样内、外部件就实现了紧密装配。轴承、联轴器等与轴的联接常采用这种装配方式。

#### IP37-2 将几种热膨胀系数不同的对象组合起来使用

- 双金属片传感器的工作原理是,将两种不同膨胀系数的金属材料贴合在一起,这样当温度变化时双金属片会因发生不同程度的膨胀而弯曲,由此做出温控装置,如火灾报警器等,如图 5.28 所示。

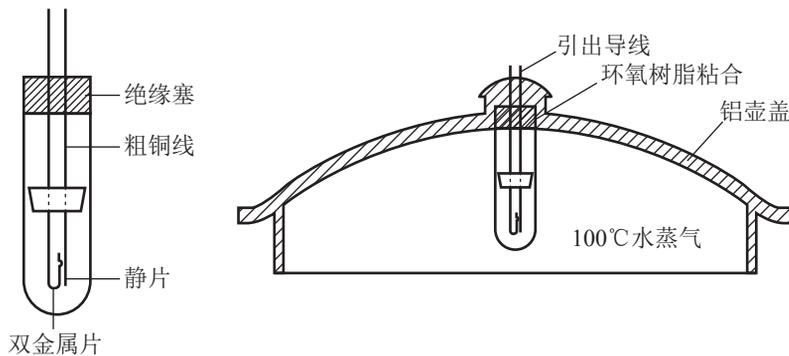


图 5.28 传感器及装配图

### IP38 强氧化作用原理 ( strong oxidants )

#### IP38-1 用富氧空气取代普通的空气

- 用双氧水消毒,利用其强氧化作用杀死细菌。

#### IP38-2 用纯氧取代富氧空气

- 乙炔切割中用纯氧代替空气,纯氧可以使乙炔燃烧更完全,能够提高乙炔燃烧的热效率。

### IP38-3 用离子化氧代替纯氧

● 传统空气过滤（净化）器为吸附型，是采用活性炭或其他多孔介质对气体中的有害物质进行吸附，实现空气净化。过一段时间以后介质的吸附能力就会达到饱和，需要对它加热处理（专业上称为再生），把吸附材料中的污染物赶出来，使材料重新具有吸附功能。负离子型空气过滤器是利用高电压的电离作用使空气产生负离子，负离子和空气中的污染物相互作用，从而达到净化空气的目的。

### IP38-4 用臭氧（臭氧化氧）代替离子化氧

● 在水处理过程中，利用臭氧杀菌系统杀灭水中的细菌。

● 臭氧是一种强氧化剂，同时具有抗炎和镇痛的作用。将臭氧气体通过细针穿刺注射入椎间盘髓核内，可以使髓核组织细胞逐渐脱水、萎缩，从而使椎间盘突出物缩小，减轻对神经根的压迫而达到治愈的目的，是目前公认治疗椎间盘突出症既免开刀又具有良好疗效的最佳手段。

## IP39 惰性介质原理（inert atmosphere）

### IP39-1 用惰性介质替代普通的介质

● 在食物的加工、储存和运输过程中，利用惰性气体进行保鲜。

● 引入惰性气体作为保护气体，利用其化学惰性，将高温熔化的金属与空气隔离开来，这样就可以避免金属被氧化，得到优质的铝镁合金。

### IP39-2 向对象中添加中性或惰性成分

● 用惰性气体充入灯泡内，可以延长灯丝的使用寿命。

● 将难以燃烧的材料添加到泡沫材料构成的墙体中，以形成防火墙。

### IP39-3 使用真空环境

● 食品采用真空包装袋，有利于保鲜。

● 水沸腾产生水蒸气并不一定要加热到 100℃，因为根据物理常识，在真空条件下，水的沸点会降低，因而只需消耗较少的能源即可产生水蒸气。据此原理制造出了真空锅炉。

## IP40 复合材料原理（composite materials）

说明：使用复合物质替代单种材料。

● 钢筋混凝土是由钢筋、水泥、小石头等物质组成的复合材料。

● 汽车轮胎是由橡胶、钢丝等组成的多层复合结构体。

## 5.2.2 疑难发明原理辨析

本节将对 5 对容易混淆的发明原理进行辨析。

### 辨析一：IP5（合并原理）与 IP6（多用性原理）的区别

IP5 是将时间或空间上相关的操作对象合并，要求对象间相关、相邻、相连；而 IP6 是将要实现的功能合并，这些功能间不一定要相互联系。

### 辨析二：IP9（预先反作用原理）、IP10（预先作用原理）、IP11（预先防范原理）的区别

IP9（预先反作用原理）：对象肯定要发生会产生有害作用的动作，因此预先施加反作用以抵消动作所产生的危害。

IP10（预先作用原理）：对象肯定要发生会产生有益作用的动作，因此预先施加作用以更有利于动作的发生。

IP11（预先防范原理）：强调针对系统中可靠性较差的部件或对象，做出预防或提供备用零件，以避免可能会发生的有害作用。也就是说，IP9 是一定会发生有害作用，因此采用预先反作用来减小或消除危害；IP11 是有害作用不一定会发生，但因为系统中部分部件或对象可靠性相对较差，易出现问题从而引发有害作用。因此 IP11 是针对上述部件与对象进行的防范，以此避免发生有害作用。

### 辨析三：IP25（自服务原理）的 2 号子原理与 IP22（变害为益原理）的区别

IP25（自服务原理）的 2 号子原理：强调对废弃资源的直接利用，并具有时间上的同时性。

IP22（变害为益原理）：强调对有害效应和物质的利用及转化，中间存在转化过程，不需要时间上具有同步性。例如太阳风飞船，太阳能资源本身不是废弃的，但太阳风暴是有害的，不过利用太阳风暴的能量可以驱动飞船飞行，故该原理源于 IP22 而不是 IP25。

### 辨析四：IP26（复制原理）、IP27（一次性用品替代原理）与 IP34（抛弃与再生原理）的区别

IP26 强调对复制品进行操作，复制对象的性能与原始对象要尽可能一致，原始对象不用承受作用，也不会遭到破坏；IP27 则将原始对象改换为一次性的，其承受相应的作用，也会遭到破坏，同时一次性的替代对象性能有所下降也是可以接受的。

与 IP26 和 IP27 相比，IP34 关注的是部件（而非整体）的抛弃和再生。

### 辨析五：IP35（状态和参数变化原理）、IP36（相变原理）与 IP37（热膨胀原理）的区别

IP35 是利用对象状态变化后的最终状态；IP36 则利用对象在相变过程中所产生的效应；而 IP37 是利用对象在加热过程中的体积变化（最简单的如热胀冷缩）。

## 5.3 2003 矛盾矩阵及应用

### 5.3.1 经典矛盾矩阵简介

1970 年，阿奇舒勒将 40 个发明原理与 39 个通用工程参数相结合，开发出了经典矛盾矩阵。建立矛盾矩阵的初衷是，针对某一对由两个此消彼长的工程参数确定的技术矛盾，解

决时用到某些特定的发明原理的次数明显比其他原理多。换言之，就是不同的发明原理对不同的技术矛盾解决的有效性是不同的。如果能够将这种对应关系体现出来的话，技术人员就可以直接选用对解决自己遇到的技术矛盾最有效的几个发明原理，而不用将 40 个发明原理逐个思考并尝试。

正是基于这样的考虑，经典矛盾矩阵是一个二维表格，使用者从纵向排列的 39 个工程参数中选出得到改进的一个，再从横向排布的 39 个工程参数中找到恶化的一个，在行列相交的一栏中找到对应的发明原理，经过几次尝试就可以找到典型解决方案。

经典矛盾矩阵有以下 3 个特点：

- (1) 整个矩阵表中存在少量的空白，意味着有少许矛盾没有相应的发明原理予以解决。
- (2) 矛盾矩阵中对角线元素是非对称结构，例如“功率”参数改善而“稳定性”参数恶化，与“稳定性”改善而“功率”恶化所对应的发明原理是不同的。
- (3) 矛盾矩阵对角线处的元素，实际上指同一个工程参数既要改善又要恶化（意味着物理矛盾的存在），没有提供相应的发明原理。在经典 TRIZ 理论中，物理矛盾的解决需使用分离原理（5.5 节将予以介绍）。

### 5.3.2 2003 矛盾矩阵简介

经典矛盾矩阵问世后，迅速吸引了创新技法研究者以及实际应用者的关注，并在实践过程中不断改进，于 2003 年公布了新版矛盾矩阵（请直接登录“创新咖啡厅”网站查询，网址 [www.cafettriz.com](http://www.cafettriz.com)）。相比于经典的矛盾矩阵，二者存在以下 3 点区别：

- (1) 增加了 9 个通用工程参数，矩阵的规模也随之扩展为  $48 \times 48$ 。结果是，矩阵中能容纳的矛盾关系增加了 1000 个左右，扩大了能够解决问题的范围。
- (2) 各栏所提供的发明原理数量有所增加，更重要的是不再留有空格，也即所有的矛盾（ $48 \times 48$ ）都能找到对应的发明原理予以解决。
- (3) 对角线处是物理矛盾的解决方案，也加入了相应的发明原理做为建议。如果将解决物理矛盾的发明原理单独列举出来，可以制作出一张“发明问题解决引导表”，能够更高效、有序地解决系统对同一个参数存在相反的要求而产生的物理矛盾，其完整版如表 5.3 所示。

表 5.3 发明问题解决引导表

通用工程参数名称	发明原理编号	通用工程参数名称	发明原理编号
运动物体的质量	35、28、31、8、2、3、10	物质（材料）的损失	35、10、3、28、24、2、13
静止物体的质量	35、31、3、13、17、2、40、28	时间的损失	10、35、28、3、5、24、2、18
运动物体的尺寸	17、1、3、35、14、4、15	能量的损失	35、19、3、2、28、15、4、13
静止物体的尺寸	17、35、3、28、14、4、1	信息的遗漏（损失）	24、10、7、25、3、28、2、32

续表

通用工程参数名称	发明原理编号	通用工程参数名称	发明原理编号
运动物体的面积	5、3、15、14、1、4、35、13	噪声 *	3、9、35、14、2、31、1、28
静止物体的面积	17、35、3、14、4、1、28、13	有害的扩散 (散发) *	35、1、2、10、3、19、24、18
运动物体的体积	35、3、28、1、7、15、10	(物体产生的) 有害副作用	35、3、25、1、2、4、17
静止物体的体积	35、3、2、28、31、1、14、4	适应性 (通用性)	15、35、28、1、3、13、29、24
形状	3、35、28、14、17、4、7、2	兼容性 (可连通性) *	2、24、28、13、10、17、3、25
物质(材料)的数量	35、3、31、1、10、17、28、30	可操作性 (易使用性)	25、1、28、3、2、10、24、13
信息的数量 *	2、7、3、10、24、17、25、32	可靠性	25、1、28、3、2、10、24、13
运动物体的耐久性 (实用时间)	3、10、35、19、28、2、13、24	易维修性	1、13、10、17、2、3、35、28
静止物体的耐久性 (实用时间)	35、3、10、2、40、24、1、4	安全性 *	28、2、10、13、24、17、3、1
速度	28、35、13、3、10、2、19、24	易损坏性 (易受伤性) *	31、35、13、3、10、24、2、28
力	35、3、13、10、17、19、28	美观 *	3、7、28、32、17、2、4、14
运动物体消耗能量	35、19、28、3、2、10、24、13	(物体对外部) 有害作用敏感性	35、24、3、2、1、40、31
静止物体消耗能量	35、3、19、2、13、1、10、28	可制造性 (易加工性)	1、35、10、13、28、3、24、2
功率	35、19、2、10、28、1、3、15	制造(加工)的精度	3、10、2、25、28、35、13、32
应力/压强	35、3、40、17、10、2、9、4	自动化程度	10、13、2、28、35、1、3、24
强度	35、40、3、17、9、2、28、14	生产率	10、35、2、1、3、28、24、13
结构的稳定性	35、24、3、40、10、2、5	装置(构造)的复杂性	28、2、13、35、10、5、24
温度	35、3、19、2、31、24、36、28	控制(检测与测量) 的复杂性	10、25、37、3、1、2、28、7
物体明亮度 (光照度)	35、19、32、24、13、28、1、2	测量难度 *	28、32、26、3、24、37、10、1
运行效率 *	3、2、19、28、35、4、15、13	测量精度	28、24、10、37、26、3、32

### 5.3.3 2003 矛盾矩阵应用流程及示例

本书以 2003 矛盾矩阵为基础进行介绍。具体来讲，运用 2003 矛盾矩阵的核心流程如下：

(1) 确定问题：通过对初始情境的剖析，明确地找出系统中存在的发明问题。

(2) 构建矛盾：运用通用工程参数重新描述发明问题，确定改善的工程参数和随之恶化的工程参数（如果该矛盾是由同一参数构成的则为物理矛盾）。

(3) 查询矩阵：查询 2003 矛盾矩阵，将改善和恶化的工程参数代入，得到相交方格处推荐的若干发明原理编号（物理矛盾则可直接将工程参数代入 2003 矛盾矩阵的对角线处寻求推荐的发明原理编号）。

(4) 应用所推荐的发明原理寻求解决方案，此步骤的核心是某个发明原理在具体问题中的应用和实现。

(5) 如果有多对矛盾，则重复第 2 ~ 4 步，直至完成。

在现实问题的分析过程中，有可能存在一个工程参数改善了，随之却有多个工程参数恶化的情况发生。此时，需要逐个尝试每一对参数可能的组合，直至找出合适的解决方案。下面以飞机机翼的进化问题为例<sup>①②</sup>，具体说明运用 2003 矛盾矩阵的基本流程。

初始情境：随着飞机进入喷气式时代，其飞行速度迅速提高。然而飞机在接近音速飞行时，飞机所遭受的空气阻力骤然增大，这就是所谓的“音障”。与此同时，机翼上会出现“激波”，使机翼表面的空气压力发生剧烈变化而造成气流的不稳定，如图 5.29 所示。

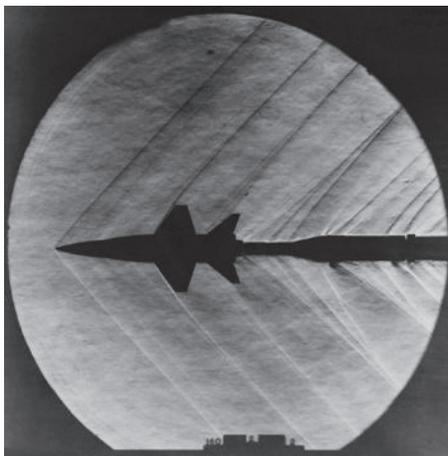


图 5.29 飞机在风洞试验中产生“激波”的示意图

为了突破“音障”，消除不稳定性，许多国家都在研制新型机翼。德国人阿道夫·布斯曼发现，把机翼做成向后掠的形式，像燕子的翅膀一样，可以延迟“激波”的产生，减小飞

① 张武城. 技术创新实施方法论 DAOV[M]. 北京：中国科学技术出版社，2011.

② “形形色色的机翼”，<http://www.afwing.com/intro/wings/wings-3.htm>.

机接近音速时的空气阻力。但是，向后掠的机翼比平直机翼，在同样的条件下产生的升力小，这使得飞机在起飞、着陆和低速巡航时燃料消耗大大增加。

步骤一：明确地找出系统中存在的发明问题。根据初始情境的描述可以提炼出发明问题，即将战斗机平直机翼改进为后掠式机翼之后，能够减小高速飞行过程中的空气阻力，突破音速，但是起飞、巡航过程中的升力减小，耗油量增加。

步骤二：运用通用工程参数重新描述发明问题。上述矛盾中，改善的工程参数是“40 作用于对象的外部有害因素”（即空气阻力），恶化的工程参数是“16 运动对象的能量消耗”（即耗油量）；另一组描述本发明问题的参数可以提取为，改善的工程参数是“14 速度”，恶化的工程参数是“16 运动对象的能量消耗”。

步骤三：查询 2003 矛盾矩阵。可以得到改善的 40 号工程参数与随之恶化的 16 号工程参数，二者交叉的方格内推荐的发明原理编号为 6、24、1、26、15、14、17、3。

步骤四：应用所推荐的发明原理寻求解决方案。上述推荐的发明原理具体如下，据此思考合适的实现路径以及解决方案。

IP6（多用性原理）——对解决本问题帮助有限。

IP24（中介原理）——对解决本问题帮助有限。

IP1（分割原理）——对解决本问题帮助有限。

IP26（复制原理）——对解决本问题帮助有限。

IP15（动态性原理）——通过对机翼的改造，使其成为活动部件，形成了可变式后掠翼，即在飞行的时候通过有效地控制机翼的形态，使之能够在比较大的范围内改变后掠角。后掠翼兼具平直翼和三角翼的优点，表现出很强的适应性。苏联图-160 式战斗机就采用了这种机翼，如图 5.30 所示。



图 5.30 苏联图-160 式战斗机

IP14（曲面化原理）——空气在翼尖绕流以及随之产生的涡流是飞机飞行过程中一个很重要的阻力因素，平直机翼或后掠式机翼都存在这个问题。运用曲面化原理，对机翼形状进

行改进，形成椭圆形机翼，使得靠近翼尖的地方空气绕流产生的阻力随之减小，如此便较好地降低了翼尖涡流的阻力问题，如图 5.31 所示。



图 5.31 英国“喷火式”战斗机

IP17（多维化原理）——不论是平直机翼还是后掠式三角翼，都可以看成是二维的机翼设计，根据多维化原理，为了彻底解决二维机翼所存在的矛盾，可以采用多种形式的三维机翼。例如：为了减少翼尖绕流，除了椭圆式机翼之外，还可以把机翼的顶端折起来，形成 C 形翼；进一步，把 C 形翼的顶端连接起来，就成为矩形翼。这些方法都可以有效地解决原有矛盾，如图 5.32 和图 5.33 所示。

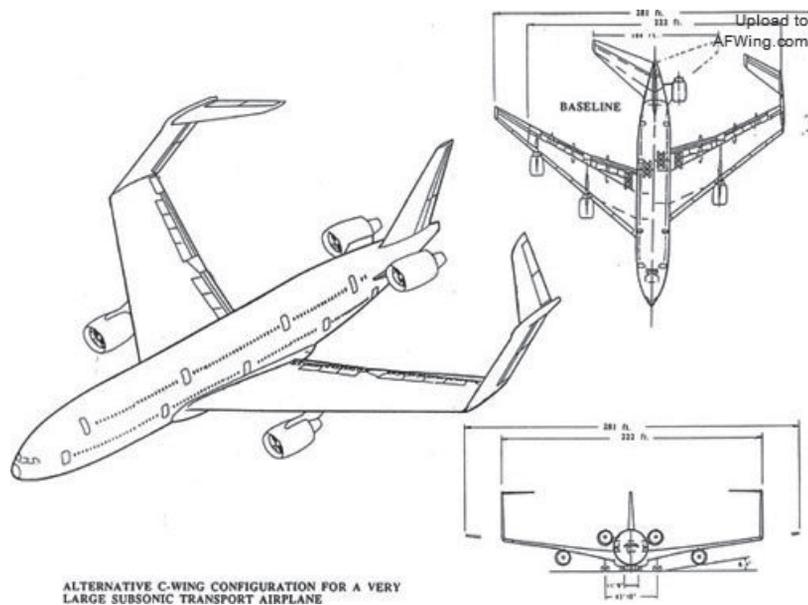


图 5.32 C 形翼飞机示意图

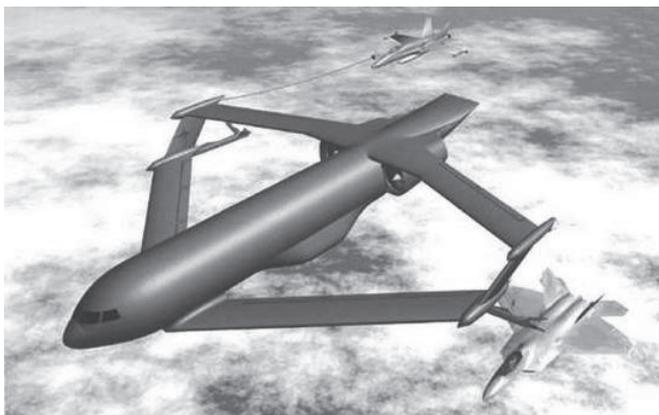


图 5.33 矩形翼飞机示意图

IP3（局部特性原理）——使得机翼的不同部分具有不同的特性。将平直机翼与后掠式机翼结合起来，使得新型机翼的某一部分具有平直机翼升力大的优点，而另一部分具有后掠式机翼阻力小的优点，如此梯形机翼的设计便随之产生，如图 5.34 所示。



图 5.34 梯形翼飞机示意图

需要指出，另一组描述本发明问题的参数可以提取为，改善的工程参数是“14 速度”，恶化的工程参数是“16 运动对象的能量消耗”，查询 2003 矛盾矩阵后也可得到一系列的发明原理，其中 IP15（动态性原理）与上述分析内容类似，不再重复；而其他发明原理对解决本例用处较小，在此从略。

以上示例，展示了通过运用 2003 矛盾矩阵解决发明问题的基本流程。整个流程较为清晰有效，也充分体现了矛盾矩阵和发明原理在解决创新问题时的威力，希望本书读者能够理解并熟练掌握该流程。

## 5.4 发明原理及矛盾矩阵实战演练

### 5.4.1 坦克装甲改进问题

在第二次世界大战的战场上，坦克作为陆战之王，受到了各个参战国家的极大关注。在不断改进的过程中，为了增加坦克的抗打击能力，最直接的方法就是增加坦克的装甲厚度，但这会导致坦克重量大幅增加，进而产生坦克机动性降低和耗油量增加等一系列问题。

本例中存在的发明问题已经明确，现运用通用工程参数重新描述。增加坦克的抗击打能力，可以提炼为“20 强度”的改善。与此同时，抗击打能力提升需要增加装甲厚度，从而引起了坦克全重的增加。所以，恶化的参数就是“1 运动对象的质量”。

查询 2003 矛盾矩阵，将“20 强度”代入纵向维度（改善参数），将“1 运动对象的质量”代入横向维度（恶化参数），得到相交方格内推荐的发明原理包括 40、31、17、8、1、35、3、4。应用所推荐的发明原理寻求解决方案：

IP40（复合材料原理）——应用该原理意味着用复合材料代替原来的均质材料，采用复合材料装甲不但能减轻重量、降低成本，而且可增加战斗负荷，提高战场生存能力。普通坦克常因中弹着火而严重毁损，而复合材料车体着火的装甲内壁温度不会明显升高，可防止乘员烧伤或引燃弹药。由于上述优点，近年来复合材料已成功用于现代坦克制造上，如 M1A1、T-80、豹 2 等坦克均不同程度地使用了复合材料，并且已由非承力部件逐步发展到用于主承力部件。

除此以外，复合材料还具有下述优点：对光波和雷达波反射比金属弱，并可吸收部分雷达波；具有材料性能和结构外形的可设计性，可制成具有最佳隐形结构的外形；可减少各发热部位的红外辐射和抑制车辆的推进噪声，使坦克的各种主、被动信号减少到最低限度。一些国家已经成功研制出可以吸收、屏蔽雷达的 Kevlar 纤维复合材料。美国研制的高强度 S-2 型玻璃纤维增强模压热固性复合材料、荷兰研发的超高强度聚乙烯纤维复合材料，都具有上述特点，是一种可供装甲车辆外壁使用的很有前途的隐形材料。

IP31（多孔材料原理）<sup>①</sup>——在坦克装甲改进方面，运用多孔材料和运用复合材料的本质思路是相似的。由于粉末冶金多孔材料中存在大量的孔隙，所以其比强度（强度与密度之比）大，广泛应用于机械工具和交通运输工具等领域。例如多孔钢的密度与致密材料相比能够减轻 34.2%。铝合金多孔材料或镁合金的 [质量] 密度可以小于  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，当材料的外表为致密时，则可以浮出水面。

IP17（多维化原理）——对解决本问题帮助有限。

IP8（反重力原理）——在水陆两用坦克上，本原理得到了广泛应用。例如在第二次

<sup>①</sup> <http://blog.cdstm.cn/373411-viewspace-165562>。

世界大战中，盟军为实施诺曼底登陆，对原有的谢尔曼坦克进行改进，设计出了 DD (duplex drive) 坦克。该坦克也被戏称为“唐老鸭坦克 (Donald Duck)”，其原理就是在坦克上加装了一个 9 英尺 (约 2.7m) 高的可折叠帆布框架，使其成为像船一样能漂浮在水面上的坦克。帆布框架的作用是，通过排开海水产生浮力，以补偿坦克的重量。

这套 DD 设备是匈牙利籍的英国工程师尼古拉斯·斯特劳斯勒的发明专利。DD 坦克的浮渡围帐的奥妙在于它是可以伸缩的。围帐的主体用经过防水处理的粗帆布制成，结合部位用橡胶密封条来密封。围帐的四周有 36 根橡胶管，利用压缩空气，可以使这 36 根橡胶管充气，使围帐升起来为坦克提供浮力，坦克在水中利用螺旋桨提供动力 (参见图 5.35)；把充气放掉后，围帐便收拢在车体的四周，可上陆继续前进，如图 5.36 所示。



图 5.35 DD 坦克入水形态



图 5.36 DD 坦克陆地形态

IP3 (局部特性原理) ——对解决本问题帮助有限。

IP1 (分割原理)、IP35 (状态和参数变化原理)、IP4 (不对称原理) ——将以上推荐的三条原理综合考虑，其可以提供的启示在于，能否设计一种这样的坦克装甲，使得其在平

时行进时保持低重量、低强度的状态，而在投入战斗、遭受打击的时候转换成高强度的状态（状态和参数变化原理）；为了达到这样的目标，应该将坦克的装甲分割为容易组装和拆卸的部分（分割原理），同时在重点部位多加防护（不对称原理）。图 5.37 所示的新型坦克正是这种想法的实现。

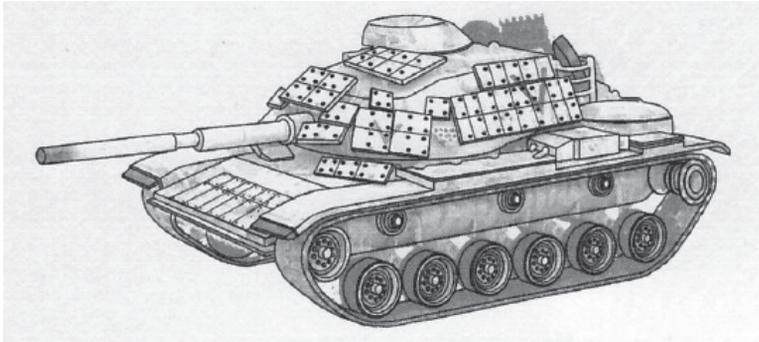


图 5.37 新型坦克示意图<sup>①</sup>

除此之外，还可能存在的改进方案包括：

灵敏装甲<sup>②</sup>与传统的被动式装甲不同，它可主动改变弹丸或射流的动量方向，若这种灵敏装甲的某部位受到破坏，还可自行修复。在灵敏装甲层下面有多个装有引发剂的小型球体，球体周围为单体材料。当弹丸撞击使球体破裂时，引发剂从球体中释放出来，与周围的反应物聚合，得到的高分子材料即可用以填补受攻击后装甲的缺陷。

## 5.4.2 开口扳手损坏问题

在使用开口扳手拧六角螺栓时，二者之间的作用力集中在螺栓棱边的顶点处，如图 5.38 中 A 所指示。这样的受力点可能造成扳手打滑，也会加快螺栓棱边顶点处的磨损，减少其使用寿命。

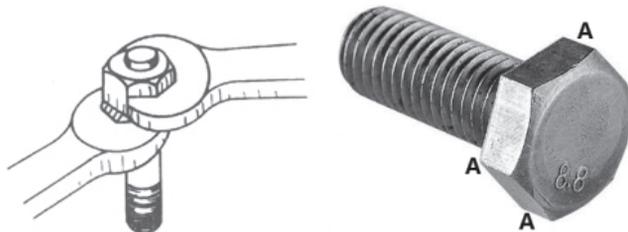


图 5.38 开口扳手及螺栓示意图

首先明确本例中存在的发明问题，矛盾集中于扳手与螺栓的作用点上。为了使扳手能够拧动螺栓，则二者必须接触；而为了使扳手不损伤螺栓，二者又不能接触，这样相互矛盾

① 李海军，丁雪燕. 经典 TRIZ 通俗读本 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2009，103.

② 中国复合材料信息网，<http://www.cnfrp.net/news/echo.php?id=46097&WebShieldSessionVerify=9AkJcRQvtbsVCoYIgNSI>.

的要求，构成的一对物理矛盾。

其次，运用通用工程参数重新描述发明问题。发明问题中所包含的物理矛盾，可以提取出的通用工程参数是“9 形状”。

查询 2003 矛盾矩阵，将工程参数“9 形状”代入对角线处，得到建议的解决物理矛盾的发明原理有 3、35、28、14、17、4、7、2。

应用所推荐的发明原理寻求解决方案。在综合考虑了各个发明原理之后，比较适合解决本例的是 IP14（曲面化原理）。为了使扳手和螺栓既接触又不接触，可以改变二者的接触面，使其曲面化，美国授权的 5406868 号发明专利就是该解法的具体实现，其具体发明如图 5.39 所示。



US005406868A

<p><b>United States Patent</b> [19] <b>Foster</b></p> <p>[54] <b>OPEN END WRENCH</b></p> <p>[75] Inventor: <b>Kenneth L. Foster</b>, Garland, Tex.</p> <p>[73] Assignee: <b>Stanley-Proto Industrial Tools, Div. of Mechanics Tools</b>, New Britain, Conn.</p> <p>[21] Appl. No.: <b>52,243</b></p> <p>[22] Filed: <b>Apr. 22, 1993</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Related U.S. Application Data</b></p> <p>[63] Continuation-in-part of Ser. No. 797,393, Nov. 25, 1991, abandoned.</p> <p>[51] Int. Cl.<sup>6</sup> ..... <b>B25B 13/08</b></p> <p>[52] U.S. Cl. .... <b>81/119; 81/186</b></p> <p>[58] Field of Search ..... <b>81/119, 121.1, 186</b></p> <p>[56] <b>References Cited</b></p> <p style="text-align: center;"><b>U.S. PATENT DOCUMENTS</b></p> <p>2,685,219 8/1954 Diebold . 3,242,775 3/1966 Hinkle . 3,908,488 9/1975 Andersen .</p>	<p>[11] <b>Patent Number: 5,406,868</b></p> <p>[45] <b>Date of Patent: Apr. 18, 1995</b></p> <p>3,908,489 9/1975 Yamamoto et al. . 4,512,220 4/1985 Barnhill, III et al. . 4,581,957 4/1986 Dossier . 4,765,211 8/1988 Colvin . 4,930,378 6/1990 Colvin . 5,239,899 8/1993 Baker ..... 81/186</p> <p><i>Primary Examiner</i>—D. S. Meislin <i>Attorney, Agent, or Firm</i>—Jones &amp; Askew</p> <p>[57] <b>ABSTRACT</b></p> <p>An open-end wrench is disclosed which can be used with a variety of fastener head shapes and which reduces marring or rounding-off of the corners of the fastener head. The wrench has a wrench cavity for receiving the fastener. The wrench cavity includes offset convex drive surfaces which have a radius of curvature equal to half of the fastener head width. Clearance surfaces are provided adjacent to and in continuously curving contact with the drive surfaces to accept the corners of the fastener head when force is applied to turn the fastener.</p> <p style="text-align: right;"><b>12 Claims, 2 Drawing Sheets</b></p>
---	---

图 5.39 美国授权 5406868 号专利

如图 5.40 和图 5.41 所示，根据曲面化原理改进后的扳手，其与螺栓作用时的着力点是 21A 及 21B，在保证与螺栓充分作用的同时又不会磨损螺栓棱边的顶点，较为完美地解决了该问题中存在的物理矛盾。

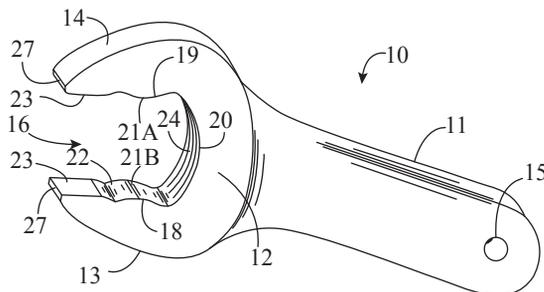


图 5.40 改进后的开口扳手示意图一

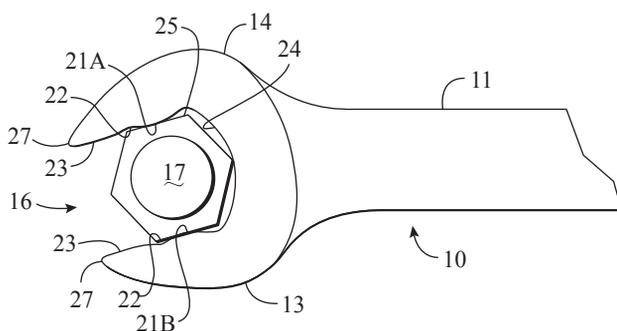


图 5.41 改进后的开口扳手示意图二

## 5.5 物理矛盾和分离原理

### 5.5.1 技术矛盾向物理矛盾转化

如 5.1.3 节所述，与技术矛盾相对应的另一种矛盾类型是物理矛盾（physical contradiction）。其定义为，为了实现某种功能，对同一个对象（或者同一个子系统）的同一个工程参数提出了互斥的要求。

中世纪时枪支的出现，极大地增强了各国军队的作战能力，成为战争史上最重要的发明。然而在实际应用过程中，出现了这样一对矛盾：最初的枪都是通过枪管从前面装填火药和子弹，为了减少士兵装弹的时间间隔，就要缩短枪管的长度，枪管越短就越容易装填；但是，减少枪管的长度，会导致步枪的射击精准度下降。在本例中，可以容易地得到这样一对技术矛盾：子弹发射时间间隔的改进，导致了子弹射击精度的恶化。然而，进一步的分析表明，技术矛盾的背后是更为尖锐的物理矛盾——步枪的枪管应该既长又短。这个矛盾在后来出现的“后膛填充式”枪支中被消除了，这种类型的枪既方便填充又不影响步枪的射击精准度。

由以上案例可以知道，技术矛盾的背后往往隐含着物理矛盾，技术矛盾一般都可以转化为物理矛盾加以解决。以上面有关技术矛盾的例子来说，坦克耐打击性的提升与机动性减退构成一对技术矛盾，但是其背后隐藏着的物理矛盾是“既要求坦克重量提升（装甲厚），同时又要求坦克重量减小（装甲薄）”；类似的，手机屏幕的易操作性与耗电量形成一对技术矛盾，然而其背后则隐藏着“手机屏幕既要大又要小”这样截然相反的要求。通过此种方式，技术矛盾能够转化为物理矛盾，因而物理矛盾是最尖锐、最核心的矛盾类型。TRIZ 提供了针对技术矛盾和物理矛盾的分析原则和解决办法，两种矛盾之间可以相互转化，其解决方案之间也存在着相关关系。

因此，物理矛盾通常成为解决问题的核心所在，克服更加核心的物理矛盾也预示着更高水平解决方案的出现。在绝大多数情况下，技术矛盾都可以转化为物理矛盾，因为通过分析

可知，构成技术矛盾的两个参数 A 和 B 可能都与另外一个参数 X 有关。也就是说，改善的参数 A 可能与 X 关联，恶化的参数 B 可能与 -X 关联，从而使发明问题中的技术矛盾转化为物理矛盾。

例如：某种金属零件在化学热处理过程中，需要被放入到含有镍、钴、铬等金属离子的盐溶液中，以便在零件表面形成化学保护层。化学反应的速度会随温度的升高而迅速增大，温度越高，处理速度越快，生产效率越高；但是，在高温条件下，金属盐溶液会发生分解，将近 75% 的化学物质会沉淀在容器壁和容器底部，造成损失和浪费。加入稳定剂也没有明显效果。如果降低温度的话，会使化学热处理过程的生产效率急剧降低。

在本例中，可以分析存在的技术矛盾并提取出相应的通用工程参数，其中改善的参数是“44 生产率”，恶化的参数是“25 物质的无效损耗”。与此同时，可以构造出如图 5.42 所示的逻辑链。

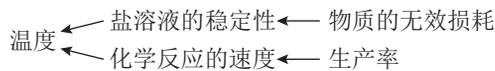


图 5.42 技术矛盾逻辑链示意图<sup>①</sup>

为了将该问题转化为物理矛盾，我们可以选择温度作为中间参数。物理矛盾的描述为：提高盐溶液的温度，生产率提高，物质的无效损耗增加；反之，降低盐溶液的温度，生产率降低，物质的无效损耗减少。因此，盐溶液的温度既应该高，又应该低——成功将技术矛盾转化为物理矛盾。

将技术矛盾向物理矛盾转化，有助于我们了解矛盾问题的本质。与此同时，研究者也建立了四个分离原理与 40 个发明原理之间的对应关系，这对迅速分析矛盾并加以解决大有帮助，如表 5.4 所示。

表 5.4 分离原理与发明原理之间的对应关系

分离原理		对应的发明原理
空间分离		1、2、3、17、13、14、7、30、4、24、26
时间分离		15、10、19、11、16、21、26、18、37、34、9、20
系统级别分离	转换到子系统	1、25、40、33、12
	转换到超系统	5、6、23、22
	转换到竞争性系统	27
	转换到相反系统	13、8
条件分离		35、32、36、31、38、39、28、29

除了应用发明原理，解决物理矛盾，一般更多的情况都会运用四大分离原理。

### 5.5.2 空间分离原理

如果在物理矛盾中，对某一参数的互斥要求存在于不同的空间中，也即在某空间中要

<sup>①</sup> 李海军，丁雪燕. 经典 TRIZ 通俗读本 [M]. 北京：中国科学技术出版社，2009.

求该参数为  $A$ ，在另外一个空间中要求该参数为  $-A$ ，则可以使用空间分离原理解决物理矛盾。例如在吃火锅的过程中，有人喜欢吃辣有人不喜欢。对待火锅口味是否辛辣的互斥要求存在于不同的空间中，因此引入鸳鸯锅，从空间上将两种口味分开，解决了以上矛盾。

再如，在利用轮船进行海底测量时，早期是将声呐探测器安装在船体某一部分，但在实际测量中，轮船上的各种干扰会影响到测量的精度和准确性。解决问题的方法之一就是声呐探测器单独置于船后千米之外，用电缆连接，使声呐探测器和轮船内的各种干扰在空间上得以分离，互不影响，来大大提高测试精度。

### 5.5.3 时间分离原理

如果在物理矛盾中，对某一参数的互斥要求存在于不同的时间内，也即在某时间段内要求该参数为  $A$ ，在另外的时间段内要求该参数为  $-A$ ，则可以使用时间分离原理解决物理矛盾。例如：飞机的机翼面积要加大，以加强升力；同时机翼的面积也要减小，以减小阻力。细致分析机翼面积这一参数中包含的物理矛盾，在起飞的时候面积要大，在高空巡航的时候面积要小，这是不同时间段内的要求，所以采用时间分离原理，设计了可调节面积的活动机翼。再比如日常生活中常用的伞，既要面积大以遮风挡雨，又要面积小方便携带，这二者是不同时间内的要求，所以运用时间分离原理，设计了折叠伞。下雨时撑起面积大，不用时收起面积小，完美地解决了物理矛盾，如图 5.43 所示。



图 5.43 可调节面积的活动机翼

### 5.5.4 系统分离原理

如果在物理矛盾中，对某一参数的互斥要求存在于系统不同的层次下（包括超系统、系统、子系统等不同级别），也即在某一层次下要求该参数为  $A$ ，在上一层次或者下一层次则要求该参数为  $-A$ ，则可以使用系统级别的分离原理解决物理矛盾。例如：自行车链条在整体上（系统级别）要求柔性，在牙盘和飞轮间起到良好的连结和传动作用；但在局部（子

系统级别)上又要求刚性,提升其强度和耐用性。这是系统不同层次对同一参数提出的要求。可以使用系统分离原理,设计出分段链接的链条,有效解决物理矛盾,如图 5.44 所示。手表链条、九节鞭、双节棍等结构都是类似思路的应用。



图 5.44 自行车链条

另一个系统级别分离的例子是光的波粒二象性,如图 5.45 所示。在宏观层次下,光体现出“波”的性质,能够产生干涉、衍射等效应;而在微观层次下,光体现出“粒子”的性质,拥有动量,能够产生光电效应等。

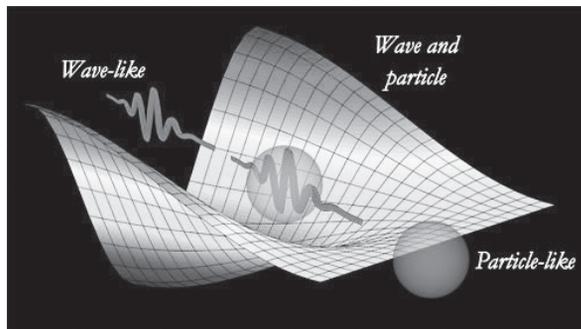


图 5.45 光的波粒二象性

万向管是一种常用于低压力的流体输送,向数控机床、工件刀具、机械等设备喷射油、水、气、冲剂等液体,具有长度、角度、口径可调整等优点的导向管,如图 5.46 所示。万向管可以实现 360° 全方位自有固定,冷却管弯曲的同时不会缩减内径,也不会打结或出现疲劳现象。通常用塑胶原料制作,具有抗化学性、油性、药品等优良特性,抗疲劳性、耐摩擦性和耐腐蚀性远胜于金属管线,因此可以长期固定而不易晃动和反弹。



图 5.46 伸直状态和弯曲状态下的万向管

实际上，万向管就是典型的系统级别分离原理应用案例。从万向管的单个“节”来看，呈现的是刚性状态，具有单一的自由度，而从万向管整体来看，则呈现一种柔性状态，自由度大大增加，如图 5.47 所示。



图 5.47 不同状态下的万向管

### 5.5.5 条件分离原理

夜间是交通事故发生的高峰期，而夜间的交通事故大多是由于不按照驾驶规范合理使用远光灯造成的。乱开远光灯会造成对向车辆的驾驶员眩晕，降低其反应的敏捷性，还可能短暂地失去行动能力。那么应该如何惩罚不合理使用远光灯的驾驶行为呢？

根据相关报道，交警采用了“角色互换”的办法来惩罚乱开远光灯的行为，让抓获到的乱开远光灯的驾驶员坐上“远光灯自愿体验椅”，进行“体验式处罚”，如图 5.48 所示<sup>①</sup>。



图 5.48 远光灯处罚体验执行现场

如果在物理矛盾中，对某一参数的互斥要求存在于不同的条件下，也即在某条件存在时要求该参数为 A，在另外的条件存在时要求该参数为 -A，则可以使用条件分离原理解决物理矛盾。需要指明的是，条件分离原理是对以上三个分离原理的总结和提炼，是解决物理矛盾的最根本思想，不同的时间、空间、整体和部分都可以看做是条件，将其单独列为分离

① <http://news.163.com/17/0216/12/CDD6JRG0000187R2.html>, <http://news.163.com/17/0918/16/CUKMDFAU000187VE.html>.

原理是因为其使用频率相对较高。

实例 1：水射流可以当作软质物质，用于洗澡时按摩；也可以当作硬质物质，以高压、高射速流用于加工或作为武器使用。这取决于射流的速度条件或射流中是否有其他物质。

实例 2：在厨房中使用的水池算子，对于水而言是多孔的，允许水流过；而对于食物残渣而言则是刚性的，不允许通过。

实例 3：汽车的安全带，在缓慢拉拽的条件下是可移动的，在突然猛烈拉拽的条件下是固定不动的。这样的条件分离就能保证驾驶员或乘客在平时可以方便地系好安全带，而在遭受冲击时，安全带也能提供充分的保护和固定作用。

实例 4：液体防弹衣的发明是运用条件分离原理解决物理矛盾的典型。众所周知，防弹衣需要由比较坚韧的材料制作，以便在受到打击时提供足够的保护，但同时也会导致穿戴不方便、敏捷行动受阻等问题。因此，对防弹衣材料的要求是既要坚韧又要灵活，这里存在物理矛盾。运用条件分离原理可知，互斥要求是在平时没有受到冲击的条件下，防弹衣呈柔性，便于穿戴和行动；在受到子弹尖锐打击的条件下，防弹衣呈韧性，能有效吸收冲击能量。因此发明出采用特殊聚合物填充的液体防弹衣，有效地解决了这一对物理矛盾。（高分子聚合物非牛顿流体在液体状态时具有一种特殊性质，即在缓慢柔和的外力作用下呈流动态，在急促强力的作用下呈凝固态，称为聚合物的粘弹性。）

## 5.5.6 分离原理解决物理矛盾练习

请尝试综合运用四大分离原理解决交通拥堵问题。

交通的本质是路权的分配。一方面希望车辆足够多，以充分利用道路运载能力；另一方面希望车辆足够少，以保持交通通畅。路权分配过程中对汽车数量的相反要求，成为其中的物理矛盾。请运用物理矛盾分离原理，尽可能多地提出不同类型的解决方案。

（答案详见附录 C.2）

## 5.6 本章小结

围绕矛盾矩阵和发明原理，在实际学习过程中存在一个认知难点，即在解题过程中如何将问题突破点转化为技术矛盾。

(1) 对于这个难点有两个构建思路，一是围绕需求试图构建新的解决方案构建矛盾。首先明确系统目标及其相关的性能指标，这个系统目标（性能指标）就是系统需要提高（改善、增强等）的参数，假设确定为参数 A；对于另一个可能会“恶化”的参数 B，要认识到，因为是构建新的解决方案，因此改善 A 只是可能会带来 B 参数的恶化，但关键是，B 参数的恶化是你想尽力避免的，显示了你的风险偏好。所以构建矛盾就可以简化为，明确你想要什

么，确定要改善的参数 A；确定你害怕什么，不要什么，确定“恶化”的参数 B。这样在矛盾矩阵中查到的对应原理一定是改善了 A，又满足你的偏好（不让 B 参数恶化）的发明原理。例如：解决机身发热问题，没有现成的解决方案，可根据上述思路构建矛盾：首先明确系统的目标是机身的温度要改善，所以改善的参数确定为“温度”；其次，系统已经很庞杂，需要一个简单的方案，不想或不能忍受新的方案让系统更复杂，于是“恶化”的参数选择“系统的复杂性”。这样在矛盾矩阵中查到的一定都是既改善温度，又不会使系统更复杂的发明原理。

第二个思路是对已有的解决方案进行改进。假设已经有了解决方案，那么改善的参数 A 就很容易确定了，而“恶化”的参数 B 可以根据实际中现有解决方案的缺陷来确定。例如：想一次多承载些货物，那么船的体积就要增大，但实际情况是船大了能耗也提高了，所以要改善的参数即为“运动物体的体积”，恶化的参数，按照实际情况可以表述为“运动物体消耗的能量”。

(2) 构建完技术矛盾后，可对技术矛盾进行转化，看改善和恶化的参数又都分别和哪些参数有关。当找到了呈现相反变化的统一参数后，就可以构建物理矛盾了。物理矛盾一般都和系统动力（例如动力轴的转速）或者系统的限制性因素（如温度或系统的规模如尺寸、面积和体积等）等有关。

(3) 通过所构建的矛盾查找发明原理，根据发明原理的提示构建解决方案。在构建解决方案的过程中要注意深入研习所选原理的内涵，正确运用原理构建解决方案，而不要仅凭原有经验对原理望文生义、断章取义。