

现代设计丛书

创 新 设 计

——TRIZ:发明问题解决理论

檀润华 编著



机械工业出版社

创新设计的核心是在概念设计阶段产生新的有市场竞争力的概念或工作原理。本书认为发明问题解决理论(TRIZ)对“创新”有明确的定义、有较完整且可操作的原理,很适合我国企业产品创新的要求。因此,将它选为本书的核心理论。

本书采用了全新的理论体系,引出了新的设计理念及一系列新概念。是企业设计人员、管理人员和高等学校工科各专业教师、研究生、本科生的重要参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

创新设计:TRIZ 发明问题解决理论/檀润华编著.
北京:机械工业出版社,2002.2

(现代设计丛书)

ISBN 7-111-09796-3

I. ①创… II. 檀… III. 工业产品—设计—概论
IV. TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 002332 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:孙 薇 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民

封面设计:小 月 责任印制:黄永友

印 刷:北京北林印刷厂

发 行:新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·5 印张·14.2 千字

0 001—4000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993880、68326677—2721

编 委 会

主任委员	姚福生			
副主任委员	李 健	王文斌	段爱珍	陈立周
委 员	(以姓氏笔画为序)			
	邓家禔	王玉新	刘志峰	刘宏增
	刘 更	吴宗泽	芮延年	孟明辰
	姚振强	黄永友	黄洪钟	黄靖远
	檀润华			

序

21 世纪世界的一个巨大变革就是形成一个统一的全球市场，每一个国家都不可能离开这个全球市场求得自身的发展，都必须在这个全球市场的竞争中求得生存。这对我国制造业提出了严峻的挑战。

市场竞争的生命力在于产品的创新。任何科技成果要转变为有竞争力的商品，设计起着关键性的作用。设计是产品研制的第一道工序，设计工作的质量和水平，直接关系到产品的质量、性能、研制周期和技术经济效益。世界各国都十分重视产品的设计工作。

随着计算机技术的发展，特别是 CAD 技术的发展，设计手段发生了根本性变化，设计新理论、新方法、新技术不断涌现。广大工程技术人员渴望在“甩掉图板”的同时，更新设计思维，采用现代设计方法，真正提高产品开发能力和设计水平。为此，中国机械工程学会机械设计分会与机械工业 CAD 咨询服务中心联手，组织机械设计领域从事现代设计研究的、有专长的、有经验的专家、教授，编写一套《现代设计丛书》，以适应我国进入 21 世纪技术创新和振兴制造业以及进入 WTO 的需要。

由于现代设计涉及面广，本丛书选题较多，一时难以全部确定，原则上根据需要成熟一个确定一个，不追求系统和全面。因此，全套丛书的编写及出版将采取分批的方式进行。第一批已出版 6 册，它们是：《并行设计》、《虚拟设计》、《稳健设计》、《绿色设计》、《优势设计》、《模糊设计》。第二批将出版：《创新设计》、《产品概念设计》、《数字化设计》、《敏捷制造》、《协同设计》、《无网格方

法及其应用》、《合作产品商务》等。

江泽民总书记在全国技术创新大会上强调，我们既要充分估量新的科技革命带来的严峻挑战，更要珍惜它带来的难得机遇。我们必须抓住机遇，正确驾驭新科技革命的趋势，全面实施科教兴国战略，大力推动科技进步，加强科技创新，加速科技成果向现实生产力转化，掌握科技发展的主动权，在更高的水平上实现技术发展的跨越。我们希望通过《现代设计丛书》的出版，能为我国科技创新工程和“信息化带动工业化”做出一点应有的贡献。

科技部高新技术发展及产业化司司长

李健

2002年2月

前 言

产品创新是国家或地区竞争力的核心,不仅得到学术界,也得到各国政府的特别关注。创新设计的核心是在概念设计阶段产生新的有市场竞争力的概念或工作原理。然而,我国企业特别是机械行业,概念设计目前仍处于经验设计阶段,影响了产品的市场竞争力。推广应用较成熟的创新设计理论,提高产品的创新设计能力,对我国的产业调整,特别是机械行业的结构调整具有重要的意义。

国际上设计理论的研究已有多年的历史,并取得了丰硕的成果,这些理论在企业特别是在一些大企业的产品创新设计中起到了重要作用。尽管理论成果很多,还没有一种是全世界公认的最好的创新设计理论,企业需要选择,高等学校为了教学的需要也要选择。

本书在对比国际著名设计理论的基础上,认为前苏联 G.S.Altshuler 的发明问题解决理论 (TRIZ) 对“创新”有明确的定义、有较完整且可操作的原理,很适合我国企业产品创新的要求。因此,将它选为本书的核心理论。

本书共 9 章。第 1 章为绪论,主要介绍产品创新设计的基本概念、国际著名的设计理论、TRIZ 的基本内容;第 2 章介绍产品设计的基本概念;第 3 章提出新的设计理念——原理解的分级与理想解;第 4 章为产品进化过程分析,包括产品核心技术成熟度分析方法及产品进化的模式;第 5 章为设计中的冲突,介绍冲突的分类、冲突的描述、技术冲突及物理冲突;第 6 章介绍技术冲突解决的原理;第 7 章介绍物理冲突解决的分离原理;第 8 章提出一种基于 TRIZ 的概念设计过程模型,并用工程实例说明该模型的应用;

第9章为结论。

在国家自然科学基金、天津市自然科学基金、河北省自然科学基金、河北省教委基金等多方面的资助下,作者有幸成为 TRIZ 理论学习、研究、应用的探索者。现将学习、研究、应用中的体会、成果,汇同学者们的论文和著作中的部分观点与方法写成此书,以推动 TRIZ 在国内的应用。

刚刚开始 TRIZ 的学习时,我就被其深刻的内涵所吸引。2000 年在上海第一届国际机械工程大会和河北省机械行业技术创新研讨会上的发言、在石家庄国家级高新技术开发区、华北电力大学等地开办的讲座受到同行们的热情鼓励与关注,促使我尽快完成此书。

中国机械工程学会机械设计分会对本书的出版给予了有力的支持。张瑞红博士生、张雪松、吕维英、王永山、王彩虹、张清华、郭月红、曹国忠等硕士生为本书第6章选择了部分例题。在此一并致谢。

本人学习、研究、应用 TRIZ 的时间较短,书中有些观点如有不妥之处,欢迎批评指正。

檀润华

河北工业大学机械学院

2002·1

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 产品设计理论及其研究内容	1
1.2.1 工业界对设计者的要求	1
1.2.2 设计理论对工业界的影响	4
1.2.3 设计理论的研究内容	4
1.2.4 设计过程模型	5
1.2.5 创新设计的内容	8
1.3 著名的设计理论概述	9
1.3.1 Pahl 及 Beitz 的设计理论	9
1.3.2 公理性设计理论	10
1.3.3 质量功能布置(QFD)	11
1.3.4 TRIZ:发明问题解决理论	12
1.4 TRIZ:发明问题解决理论	14
1.4.1 TRIZ 的定义	14
1.4.2 TRIZ 主要研究内容	15
1.5 TRIZ 发展趋势	18
1.5.1 TRIZ 主要工具的完善	18
1.5.2 TRIZ 与 QFD 的集成	20
1.6 本章小结	20
第 2 章 产品设计的基本概念	21
2.1 概述	21
2.2 系统的基本概念	21
2.2.1 系统及其组成	21

2.2.2	系统的输入与输出	22
2.2.3	操作	23
2.2.4	设计目标	23
2.2.5	功能	24
2.3	设计任务	26
2.3.1	设计任务的提出	26
2.3.2	设计任务的表示	27
2.3.3	概念设计策略	29
2.3.4	概念设计过程与表示方法	30
2.4	设计中的可用资源	33
2.4.1	资源分类	33
2.4.2	资源分析	34
2.4.3	资源利用	37
2.5	本章小结	38
第 3 章	原理解的分级与理想解	39
3.1	概述	39
3.2	概念设计中的试凑法	39
3.2.1	设计实例	39
3.2.2	试凑法	41
3.2.3	头脑风暴法 (Brainstorming)	41
3.3	新概念分级	43
3.3.1	分级	43
3.3.2	工程实例	45
3.4	理想解	47
3.4.1	理想化	47
3.4.2	理想化水平	48
3.4.3	理想解的确定方法	49
3.5	本章小结	52
第 4 章	产品进化过程及进化定律	53
4.1	概述	53
4.2	产品进化过程实例	54
4.2.1	潜艇	54
4.2.2	自行车	55

4.3 产品进化过程曲线·····	56
4.3.1 通常的 S—曲线·····	56
4.3.2 TRIZ 中的 S—曲线·····	57
4.3.3 产品技术成熟度预测曲线·····	58
4.4 产品优化·····	60
4.4.1 稳健设计背景·····	61
4.4.2 参数设计·····	62
4.4.3 公差设计·····	62
4.4.4 杆构件的稳健设计·····	63
4.5 产品进化模式·····	66
4.5.1 产品进化的四个阶段·····	66
4.5.2 产品进化定律·····	67
4.5.3 技术系统进化模式·····	69
4.6 工程实例:滚筒型纺纱机·····	71
4.6.1 滚筒技术成熟度预测·····	71
4.6.2 产品进化模式的应用·····	72
4.7 进化理论的应用·····	74
4.7.1 定性技术预测·····	74
4.7.2 产生新技术·····	74
4.7.3 市场创新·····	75
4.8 本章小结·····	75
第 5 章 设计中的冲突 ·····	76
5.1 概述·····	76
5.2 产品的外部及内部特性·····	76
5.3 冲突及其分类·····	77
5.3.1 设计中的冲突·····	77
5.3.2 冲突的分类·····	78
5.4 冲突问题的结构·····	81
5.5 技术冲突的一般化·····	83
5.5.1 通用工程参数·····	84
5.5.2 应用实例·····	88
5.6 技术冲突的确定方法·····	89
5.6.1 物质—场分析基本符号·····	89

5.6.2 改进的符号系统·····	90
5.6.3 功能分类及技术冲突模型·····	91
5.6.4 工程实例·····	92
5.7 物理冲突·····	94
5.8 技术冲突与物理冲突·····	94
5.9 本章小结·····	95
第 6 章 技术冲突解决原理 ·····	96
6.1 概述·····	96
6.2 发明原理·····	96
6.3 冲突矩阵·····	121
6.3.1 冲突矩阵的组成·····	121
6.3.2 冲突矩阵的应用·····	122
6.4 技术冲突问题解决过程·····	123
6.5 本章小结·····	125
第 7 章 物理冲突解决原理 ·····	126
7.1 前言·····	126
7.2 物理冲突的类型·····	126
7.3 物理冲突解决方法·····	127
7.4 分离原理·····	129
7.4.1 空间分离原理·····	129
7.4.2 时间分离原理·····	130
7.4.3 基于条件的分离·····	131
7.4.4 总体与部分的分离·····	132
7.5 分离原理与发明原理的关系·····	132
7.6 本章小结·····	133
第 8 章 概念设计 ·····	134
8.1 概述·····	134
8.2 概念设计过程·····	134
8.3 汽车安全气囊·····	136
8.3.1 系统分析·····	136
8.3.2 技术冲突及消除·····	138
8.4 织物印花操作装置·····	140
8.4.1 问题分析·····	141

8.4.1 问题分析	141
8.4.2 伪冲突及解	143
8.4.3 原理解的确定	144
8.5 宇宙飞船陨石碰撞模拟器	145
8.6 计算机硬盘驱动器可靠性设计	146
8.7 破冰船	147
8.8 成功设计的要素	149
8.9 本章小结	150
第9章 结论	151
参考文献	153
附录 冲突解决问题矩阵	插页

第1章 绪 论

1.1 概述

从 20 世纪 90 年代开始,我国社会需求已经从对产品的数量型转向对其功能与质量型的需求。这种需求转换出现后,任何企业都面临如何寻找新的经济增长点的课题。对经历转换期的国家来说,面临的课题是如何培育新兴产业。

企业新的经济增长点就是开发生产适应新需求的产品。新兴产业就是指新产品开发方面特别活跃,新产品的市场份额愈来愈大,新产品的市场增长率极高的产业。企业如何视野开阔地组织新产品开发已经成为提高我国企业市场竞争力的关键。这些都是对设计理论研究提出的课题。

设计理论没有国界。国际上设计理论的研究已有多年的历史,并取得了丰硕的成果,这些理论在企业特别是在一些大企业的产品创新中起到了重要作用。尽管理论成果很多,还没有一种是全世界公认的最好的产品创新设计理论,工业界需要选择,高等学校为了教学的需要也要选择。

本章介绍创新设计的背景,设计理论的研究内容,国际上著名的设计理论,发明问题解决理论(TRIZ)的特点,以及选择 TRIZ 作为本书核心理论的原因。

1.2 产品设计理论及其研究内容

1.2.1 工业界对设计者的要求

人类一直从事设计。为了生存与适应环境,人类制造了各种各样的工具及人工制品。随着社会的变迁、经济的发展,人们喜欢

新奇及对客观世界评价标准不断变化的特征表现得愈来愈明显,已有的工具及人工制品要不断改善,新的设想、构思及产品要不断出现。

人类已从我们的祖先那里继承了“设计”的欲望,而且认为“设计”似乎不需要什么特殊的技艺。在基于“手艺”的社会里,“设计”与“制造”并没有分开,即在制造产品之前,不需要绘图,更不需要产品建模。如早期的制陶者根据经验与构思直接操作粘土,做出所需要形状的陶器,并没有事先绘制陶器的形状。

现代社会由于经济与科技的发展,产品愈来愈复杂,很多产品由成千上万个零部件组成,产品的设计与制造是完全分开的,即在完成产品设计之后,通常才开始产品制造。很多产品,其设计的周期远大于其制造周期。以汽车为例,一般新款汽车的设计要几年的时间,但如果采用分散网络化制造,也许几小时就可完成。

目前,由于经济全球化的发展,产品竞争愈演愈烈,产品具有市场竞争力的关键因素之一是满足用户需求。图 1-1 是用户对产品的满意度曲线,该曲线由日本的 Kano 博士于 20 世纪 70 年代提出,但今天仍有现实意义。图中,纵坐标表示顾客满意度,横坐标表示产品的技术水平。该图将产品或服务的质量分为三种:基本质量、规范质量和兴趣质量。

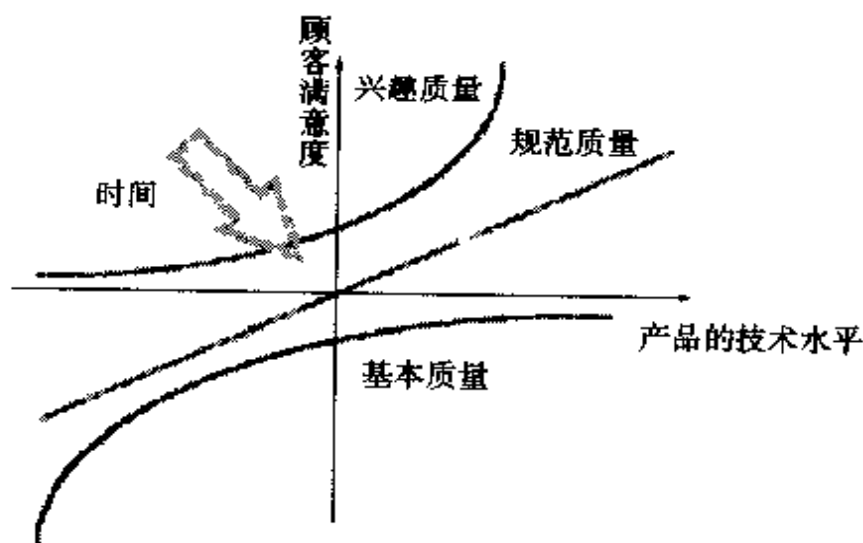


图 1-1 用户满意度曲线

(1) 基本质量 产品或服务对用户基本需求的一种体现。用户认为产品或服务达到该质量是理所当然的,如果产品或服务未能达到该质量,将会引起用户强烈的不满。如拥有私人轿车的用户认为,轿车应该容易启动、无剧烈的振动感、车内噪声较小,这些都是轿车的基本质量。

(2) 规范质量 产品或服务与用户需求呈线性关系。产品或服务的技术水平高,用户的满意度也高。轿车发动机应有优良的性能,但其性能与轿车的成本有直接的关系,普通型轿车的发动机性能综合指标不能与高档次轿车的发动机综合性能相比。对此,用户是理解的。

(3) 兴趣质量 产品或某方面服务的质量是用户未曾想到的,确实是需要的。对产品或服务产生兴趣质量的微小改进,就将引起用户满意度的较大提高。售价相当的轿车,“省油”对用户来说就是一种兴趣质量。

图中的箭头表示随时间的推移,产品或服务的兴趣质量将变成规范质量,规范质量将变成基本质量。因此,企业为了生存与发展,不得不经常推出新产品或提高已有产品的质量,以保持已占领的市场或开拓新市场。

为了生存与发展,现代企业必须快速、以适中的成本、高质量及良好的售后服务来推出新产品。产品首先是设计出来的,因此对设计人员也提出了高的要求,主要包括:

(1) 节省产品开发的资源 如节省开发时间、降低开发费用等。

(2) 改进产品的功能 如增加新的分功能,使产品对用户产生新的兴趣质量。

(3) 提高产品的可靠性 如在规定的期限内,尽可能降低产品失效的可能性。

(4) 减少产品全生命周期的成本 通过合理的设计降低产品从用户需求分析、设计、制造、销售到产品维护、产品淘汰的成本。

(5)缩短制造时间 通过合理的设计使制造更加方便。

由于对设计人员提出了越来越高的要求,传统的经验设计即试凑法愈来愈不能满足要求。设计人员迫切需要能指导其提高设计质量、减少设计时间、具有启发性、易操作的设计理论。

1.2.2 设计理论对工业界的影响

由于工业界具有需求的背景,目前,在全世界范围内的很多高校都在开展关于设计理论的研究,已发表了很多研究报告与论文,并有很多应用成果。总结这些研究结果可以看出,理论界试图对工业界的设计人员产生如下的影响:

1) 在一个公司或企业内如何设计产品,设计过程应包括哪些活动,哪些理论、方法及规则是实用的。

2) 公司或企业内部与外部的哪些人应该设计产品。

3) 在某公司或企业内应设计什么产品,如何根据公司或企业的目标、可用的资源、竞争者等的情况来定义待设计的产品,特定的产品什么时候开始设计,什么时候结束设计。

设计理论的研究虽已进行多年,研究结果多种多样,但还没有一种被全世界公认为最好或最适合于工业界应用的设计理论。完善已有的设计理论,提出更有应用前景的设计理论,在工业界推广应用已有的设计理论等一直是设计理论界的课题。

1.2.3 设计理论的研究内容

设计理论是研究产品设计的科学,涉及产品设计过程、设计目标、设计者、可用资源、领域知识等5个方面及其相互关系。

设计者是设计的主体,如一个或一组设计人员。可用资源是时间、空间、经费、计算机网络及设计软件等在设计中要用到的资源。领域知识是机械原理、机械零件、机构学、电工、电子等设计中要用到的专门知识。设计目标是对待设计产品的一种详细描述,如图样,数据文件等。设计过程是指设计者为完成设计所采取的一系列活动。所谓设计,是指设计者利用可用资源及领域知识,通过设计过程,将用户需求转变成待设计产品的一种详细描述的过程。

程,该描述可用于产品制造。设计理论的研究内容如图 1-2 所示。在设计理论所涉及的内容中,设计过程是其核心。

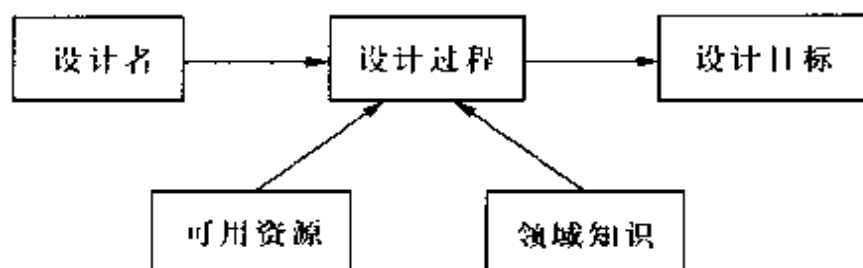


图 1-2 设计理论的研究内容

产品设计是一复杂的过程,不同的企业设计过程也不同。为了对这些不同的设计过程进行描述,需要采用设计过程模型,该类模型是工业界真实设计过程的一种抽象,并能回答真实设计过程中的问题。这些模型一方面应与工业界真实的设计过程基本相符,另一方面又要提出规范的或优化的设计过程,并为设计者提供设计方法与工具,以达到提高设计质量、降低设计成本、减少开发周期,提高产品竞争力等目的。后一方面正是成千上万的设计理论研究者研究工作的目标。

1.2.4 设计过程模型

经过多年的研究,已提出多个设计过程模型。英国 OPEN 大学的 Cross 将这些模型归为描述型 (Descriptive Models) 与规定型 (Prescriptive Models) 两类过程模型。前者对设计过程中可行的活动进行描述,后者规定设计过程所必须的活动。

图 1-3 为一种描述型设计过程模型。该模型强调在设计的前期产生一个原理解,然后逐步完善,如果经评价认为该解无效,则重新产生另一个解,即设计过程中的思维具有面向解的性质。图 1-3 所示的过程模型将设计过程分为问题分析、概念设计、技术设计和详细设计四个阶段。

问题分析是待设计的对象定义、确定各种约束、标准及可用资源等。

概念设计是要产生多个原理解,并经评价选定一个或几个可

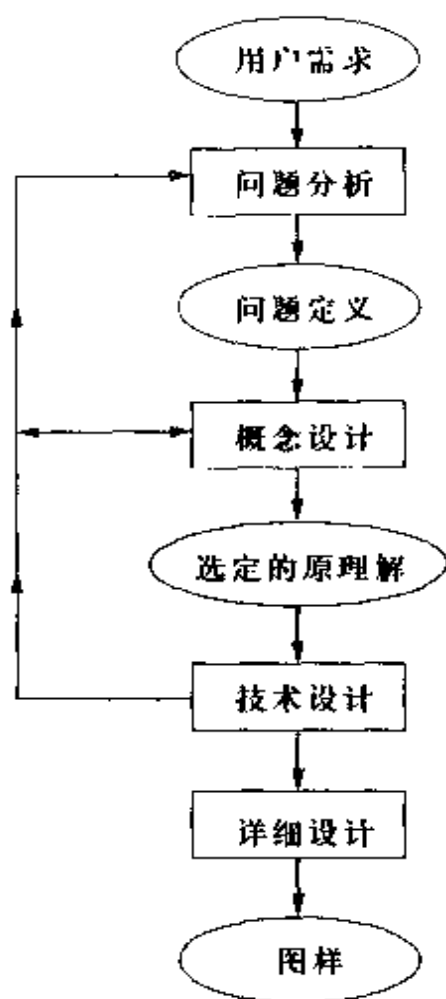


图 1-3 描述型设计过程模型(French 模型)

行的原理解。

技术设计是要完成产品的总体结构设计。如有几个可行方案,还须最后确定一个方案。

详细设计是完成全部生产图样及技术文件。

图 1-4 是一规定型设计过程模型。该模型由七个阶段组成,每一阶段都规定了任务及特定的工作结果。如第二阶段为查明待设计产品的功能及结构,其结果为特定的功能结构。

图 1-3 与图 1-4 所示的模型有明显的区别。图 1-3 并没有特别规定任务如何完成,如并没有明确提出采用什么方法得到待设计产品的原理解,而只是说明应该提出原理解,设计者可以尽情发挥。图 1-4 规定设计者必须如何做,如查明功能结构阶段规定

设计者必须确定待设计产品的功能结构,而不能用其他方法,虽然设计者不能尽情发挥,但工作阶段本身已被以往设计经验证明是合理的。

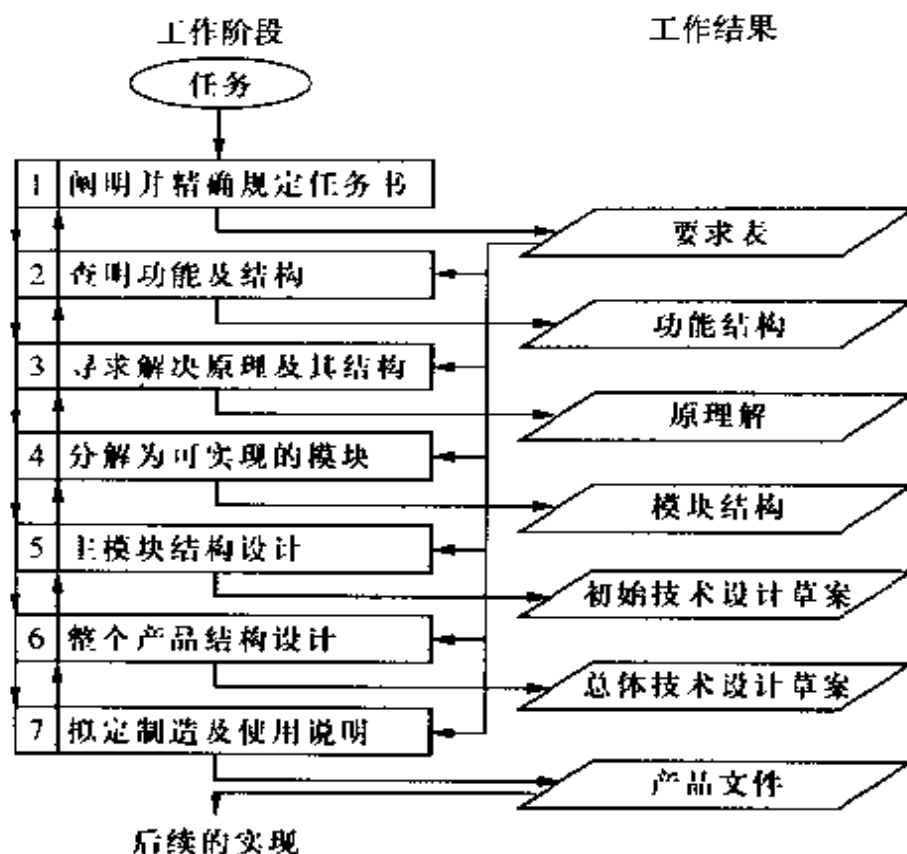


图 1-4 规定型设计过程模型 (VDI2221 设计过程模型)

对图 1-3、图 1-4 的分析不难发现,产品设计过程的核心是四个阶段:产品需求分析、概念设计、技术设计及详细设计。对于图 1-4 所示的设计过程,概念设计由查明功能及结构、寻求解决原理及其结构两阶段组成。在企业中,该四个阶段既可顺序进行,又可并行进行,如图 1-5、图 1-6 所示。前者为传统设计过程,后者在发达国家已广泛采用,是我国正在推广应用的并行设计过程。

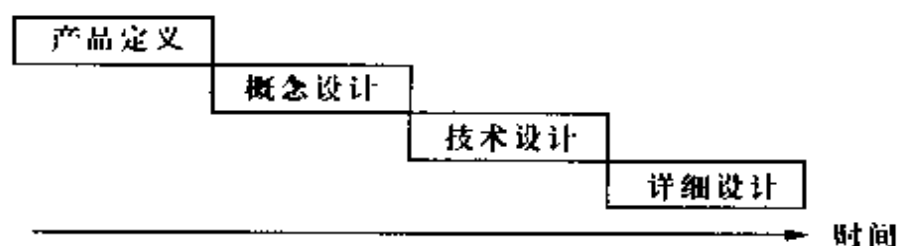


图 1-5 顺序过程模型

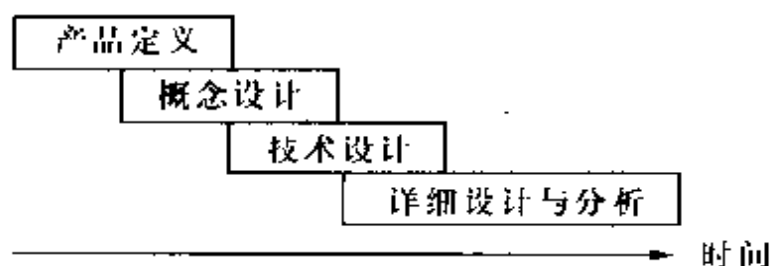


图 1-6 并行设计模型

1.2.5 创新设计的内容

对于机械设计而言, 技术设计与详细设计的重点就是用工程图学、机械零件、机械原理、理论力学、材料力学等基础知识完成产品的总装图、部件装配图、零件图及有关的设计与计算。这些可认为是常规设计内容。概念设计是构思及选择产品工作原理的阶段; 对于已有产品的改进设计, 主要是改进部分工作原理; 对于新设计, 要构思并选择全新的原理。因此, 产品创新的核心就是概念设计。

企业中产品的市场分析, 设计人员可能亲自完成, 也可能仅是参加。通过市场分析, 考虑竞争者的产品、本企业的综合能力与可能, 设计人员可以制定出作为设计已知条件的设计要求。之后是概念设计——构思及选择产品工作原理, 或称确定产品的原理解。最后是产品的常规设计, 常规设计的结果是图样及计算说明书, 也可以是用数据文件表示的图形与计算说明书。图 1-7 是简化的设计过程模型。



图 1-7 简化的设计过程模型

创新设计也是图 1-7 所示的设计过程, 但其的核心是概念设计过程。该过程所产生的新的原理解应具有市场竞争力及实际实现可能性。创新设计既适用于产品设计, 也适用于零部件设计。

一部分理论工作者研究普适性概念设计原理,如研究产品创新中的概念设计过程优化模型、创新的基本原理、基本方法和基本工具。而另一部分研究领域知识,如机械工程领域中的一部分研究人员专门研究机械机构创新原理。领域知识是普适性原理的支撑,普适性原理与领域知识相结合将促进产品创新。

企业的设计人员主要是在已有的普适性原理中选择指导意义明显、可操作性强、知识含量高的原理,与自己已掌握或通过学习可掌握的领域知识相结合,开发更多更好的产品,提高企业的竞争力。

1.3 著名的设计理论概述

当今世界市场竞争非常激烈,快速设计并推出新产品,已成为企业生存的关键。由于设计理论在产品创新中起着重要的作用,各国的理论工作者一直从事研究,并提出了多种设计理论。这些设计理论多是在不同的条件下相互独立地提出的,有些理论发表的文章较多,企业应用也较多,本书称这些理论为国际著名的设计理论。著名的设计理论特色鲜明,各有优缺点,本节作一介绍。

1.3.1 Pahl 及 Beitz 的设计理论

德国的设计理论是优秀设计过程所积累经验的总结。该理论的典型代表是 Pahl 及 Beitz 的普适设计方法学 (Comprehensive Design Methodology)。该设计方法学建立了设计人员在每一设计阶段的工作步骤计划,这些计划包括策略、规则、原理,从而形成一个完整的设计过程模型。一个特定产品的设计可完全按该过程模型进行,也可选择其中的一部分使用。

该方法中,概念设计阶段的核心是建立待设计产品或称技术系统的功能结构。产品首先由总功能描述,总功能可分解为分功能,各分功能可一直分解到能够实现为止。物料、能量、信号三种流作为输入与输出,将各功能有机地组合在一起就形成了产品的功能结构。图 1-8 是一种功能结构简图。

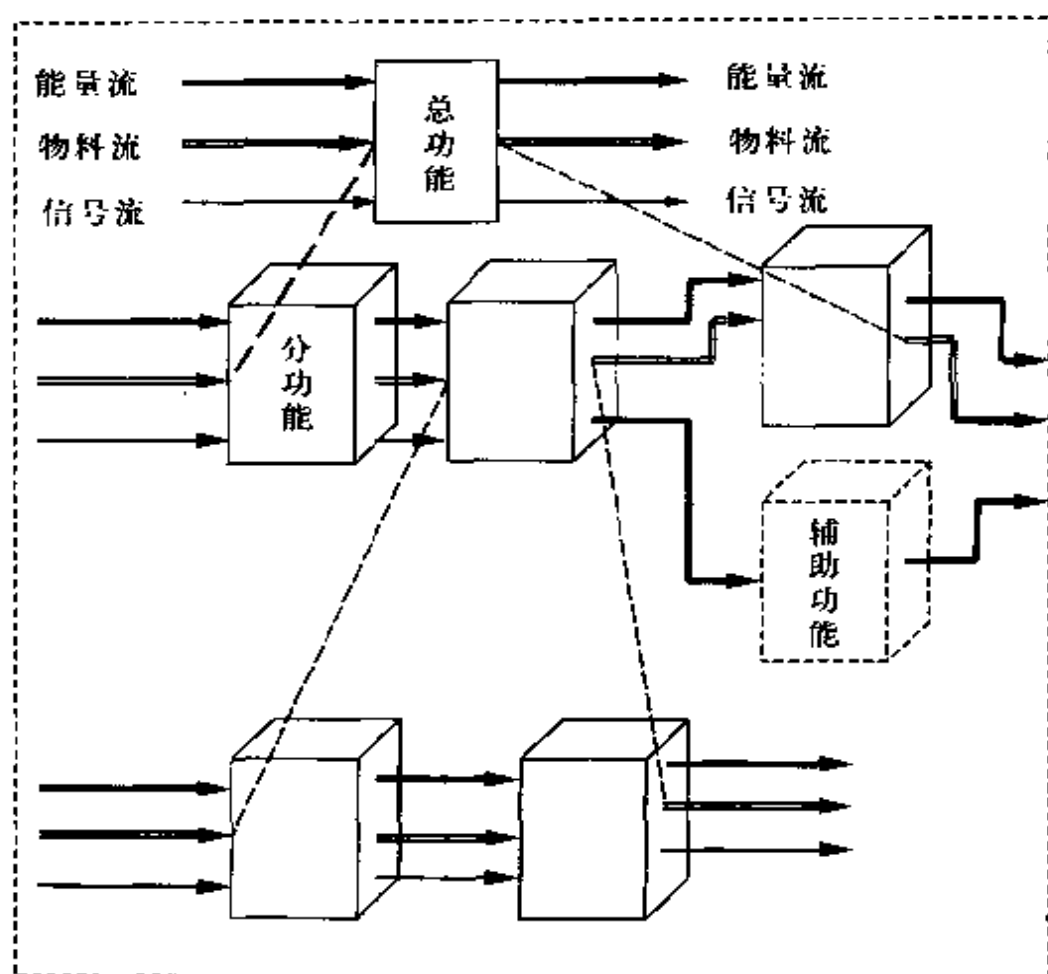


图 1-8 功能结构简图

目前全世界发表的很多论文、研究报告都引用 Pahl 及 Beitz 的研究结果,有些论文认为他们的理论是经典的设计理论。

该理论对产品的产品定义、技术设计和详细设计都很有效。但对于概念设计, Pahl 及 Beitz 理论的核心是建立待设计产品的功能结构,功能结构的实现就是新的工作原理。该理论所给出的建立功能结构的方法是一种基于经验的方法,没有太多的规则可遵循,对于经验不足的设计人员,或有一定的设计经验,但经验中知识含量不高的设计人员,该理论不一定有效。

1.3.2 公理性设计理论

公理性设计(Axiomatic Design)是美国 MIT,以 Suh 为首的设计理论研究小组所提出的设计理论。该理论认为设计过程如图 1-9 所示。

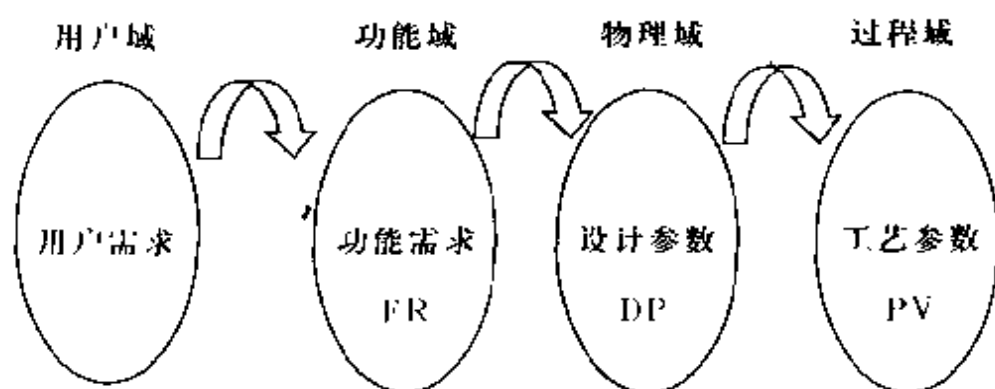


图 1-9 设计过程模型

概念设计主要涉及从功能需求到设计参数的转变。图 1-10 是对该转变的详细表示。公理性设计理论的核心为：在图 1-10 所示转换过程中的功能与设计参数应满足独立性与最小信息两条公理。如果这两条公理能满足，原理解是优化的解。公理性设计已有很多应用实例，美国一些企业及大学的学生采用该理论完成了一些产品的设计。

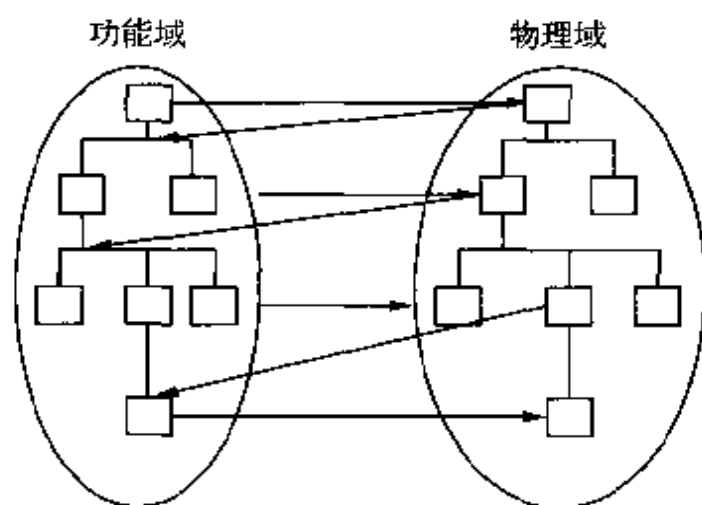


图 1-10 从功能域到物理域的转变

公理性设计理论的优点在于两条公理能指导设计者在设计过程中判断正在进行中的设计在结构上是否是优化的，但如果发现设计不满足独立性公理，设计者只能凭借经验去修改。

1.3.3 质量功能布置(QFD)

为了缩短产品设计周期，设计者应十分清楚用户对待设计产品的要求，根据这些要求明确设计要求，以此作为设计的出发点。

QFD(Quality Function Deployment)通过质量屋(HOQ, House of Quality)建立用户要求与设计要求之间的关系,并可支持设计及制造全过程。图 1-11 所示为 QFD 在设计制造过程中的应用。

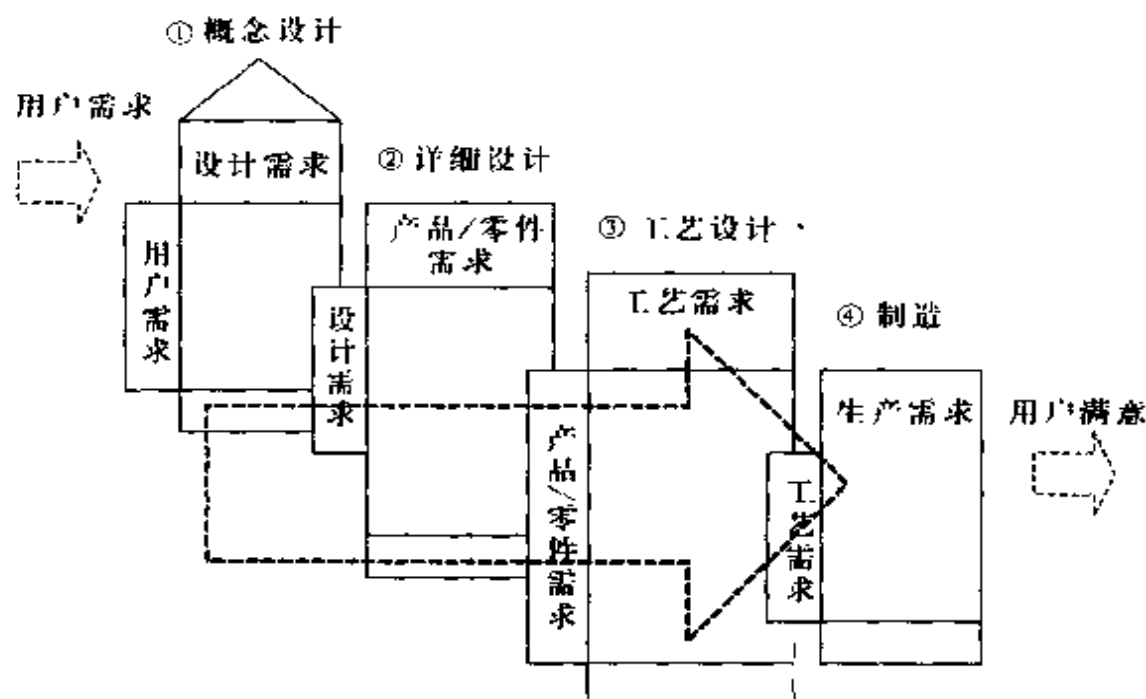


图 1-11 QFD 在设计制造过程中的应用

QFD 是日本的 Akao 于 1966 年提出的,经过不断完善,成为全面质量管理中的设计工具,并已在很多企业,如日本的造船、汽车等行业得到广泛应用,在美国及其他很多国家的企业中也有大量应用。概念设计阶段 HOQ 给出了待设计产品明确的设计要求,但并没有给出实现这些要求的具体方法与规则。

1.3.4 TRIZ:发明问题解决理论

TRIZ(Theory of Inventive Problem Solving) 是俄文中发明问题解决理论的词头。该理论是前苏联 G.S. Altshuler 及其领导的一批研究人员,自 1946 年开始,花费 1500 人·年的时间,在分析研究世界各国 250 万件专利的基础上所提出的发明问题解决理论。20 世纪 80 年代中期前,该理论对其他国家保密,20 世纪 80 年代中期,随一批科学家移居美国等西方国家,逐渐把该理论介绍给世界产品开发领域,对该领域已产生了重要的影响。

G.S. Altshuler 开始就坚信发明问题的基本原理是客观存在的, 这些原理不仅能被确认也能被整理而形成一种理论, 掌握该理论的人不仅能提高发明的成功率、缩短发明的周期, 也使发明问题具有可预见性。

发明问题解决理论的核心是技术系统进化原理。按这一原理, 技术系统一直处于进化之中, 解决冲突是其进化的推动力。进化速度随技术系统一般冲突的解决而降低, 使其产生突变的唯一方法是解决阻碍其进化的深层次冲突。

G.S. Altshuler 依据世界上著名的发明, 研究了消除冲突的方法, 他提出了消除冲突的发明原理, 建立了消除冲突的基于知识的逻辑方法, 这些方法包括发明原理(Inventive Principles)、发明问题解决算法(ARIZ, Algorithm for Inventive Problem Solving)及标准解(TRIZ Standard Techniques)。图 1-12 是应用 TRIZ 解决问题的简图。

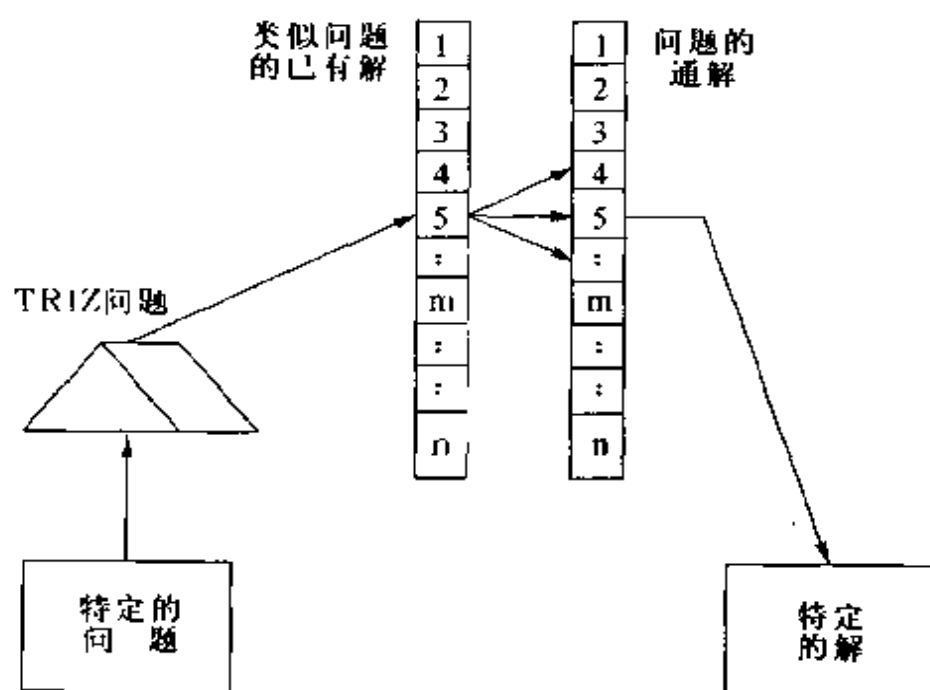


图 1-12 TRIZ 简化过程

如图 1-12 所示, 在利用 TRIZ 解决问题的过程中, 设计者首先将待设计的产品表达成为 TRIZ 问题, 然后利用 TRIZ 中的工具, 如发明原理、标准解等, 求出该 TRIZ 问题的普适解或称模拟解

(Analogous solution)。

TRIZ 是专门研究创新和概念设计的理论,已建立一系列的普适性工具帮助设计者尽快获得满意的领域解,不仅在前苏联得到广泛应用、在美国的很多企业特别是大企业,如波音、通用、克莱斯勒、摩托罗拉等的新产品开发中得到了应用,创造了可观的经济效益。

由于 TRIZ 将产品创新的核心——产生新的工作原理过程具体化,并提出了规则、算法与发明原理供设计人员使用,它已成为一种较完善的创新设计理论,因此本书选择该理论作为核心理论。

1.4 TRIZ:发明问题解决理论

经过 50 多年的发展,TRIZ 已成为技术问题或发明问题解决的强有力方法学,应用该方法学已解决了前苏联、美国、欧洲、日本等许多国家企业成千上万的新产品开发中的难题。本节介绍 TRIZ 的基本内容。

1.4.1 TRIZ 的定义

国际著名的 TRIZ 专家, 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系统化方法学。

1. 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。

2. TRIZ 是面向人的方法 TRIZ 中的启发式方法是面向设计者的,不是面向机器的。TRIZ 理论本身是基于将系统分解为子系

统,区分有益及有害功能的实践,这些分解取决于问题及环境,本身就有随机性。计算机软件仅起支持作用,而不能完全代替设计者,需要为处理这些随机问题的设计者们提供方法与工具。

3. 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) 解决问题的过程是一个系统化的能方便应用已有知识的过程。

4. 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) 未知所需要的情况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。

1.4.2 TRIZ 主要研究内容

德国的 Beitz 及 Pahl 将设计分为三类:新设计、适应性设计和变参数设计。新设计的核心是在概念设计阶段产生一个全新的原理解,以满足给定的设计要求;适应性设计的核心是对已有产品的工作原理作适当改进,以满足对产品新的要求;变参数设计是不改变已有产品的工作原理,而对其某些零部件改进设计。可以将这三类设计归为两类,即新设计与改进设计。新设计是产生新的工作原理并将其实现的设计;改进设计是对已有产品的改进。

作为一种方法学,TRIZ 对新设计与改进设计,在概念设计阶段为设计者提供了过程模型、工具与方法。

1.4.2.1 产品进化理论

TRIZ 中的产品进化理论将产品进化过程分为四个阶段:婴儿期、成长期、成熟期和退出期。处于前两个阶段的产品,企业应加大投入,尽快使其进入成熟期,以便企业获得最大效益;处于成熟期的产品,企业应对其替代技术进行研究,使产品取得新的替代技术,以

应对未来的市场竞争；处于退出期的产品使企业利润急剧下降，应尽快淘汰。这些可以为企业产品规划提供具体的、科学的支持。

产品进化理论还研究产品进化模式、进化定律与进化路线。沿这些路线设计者可较快地取得设计中的突破。

1.4.2.2 分析

分析是 TRIZ 的工具之一，包括产品的功能分析、理想解 (IFR, Ideal Final Result) 的确定、可用资源分析和冲突区域的确定。分析是解决问题的一个重要阶段。

功能分析的目的是从完成功能的角度而不是从技术的角度分析系统、子系统和部件。该过程包括裁剪 (trimming)，即研究每一个功能是否必需，如果必需，系统中的其它元件是否可完成其功能。设计中的重要突破、成本或复杂程度的显著降低往往是功能分析及裁剪的结果。

假如在分析阶段问题的解已经找到，可以移到实现阶段。假如问题的解没有找到，而该问题的解需要最大限度的创新，则基于知识的三种工具：原理、预测和效应等都可采用。在很多的 TRIZ 应用实例中，三种工具要同时采用。

1.4.2.3 冲突解决原理

原理是获得冲突解所应遵循的一般规律。TRIZ 主要研究技术与物理两种冲突。技术冲突是指传统设计中所说的折衷，即由于系统本身某一部分的影响，所需要的状态不能达到。物理冲突指一个物体有相反的需求。TRIZ 引导设计者挑选能解决特定冲突的原理，其前提是要按标准参数确定冲突。有 39×39 条标准冲突和 40 条原理可供应用。

1.4.2.4 物质—场分析

Altshuller 对发明问题解决理论的贡献之一是提出了功能的物质—场 (substance - field) 描述方法与模型。其原理为：所有的功能都可分解为两种物质和一种场，即一种功能由两种物质及一种场的三元件组成。产品是功能的一种实现，因此，可用物质—场分析

产品的功能,这种分析方法是 TRIZ 的工具之一。其模型如图 1-13 所示。

图中, S1 及 S2 为物质, F 为场。物质 S1 可以是被控粒子、材料、物体或过程,物质 S2 是控制 S1 的工具或物体,场 F 是用于 S1 与 S2 之间相互作用的能量,如机械能、液压能和电磁能等。图

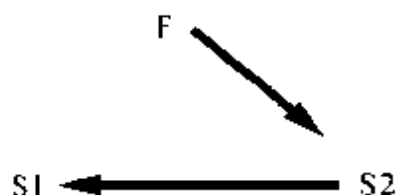


图 1-13 物质-场模型

1-13 可解释为:能量 F 作用于工具 S2,使 S2 变换 S1。

依据该模型,Altshuller 等提出了 76 种标准解,并分为如下五类:

- 1) 不改变或仅少量改变已有系统:13 种标准解。
- 2) 改变已有系统:23 种标准解。
- 3) 系统传递:6 种标准解。
- 4) 检查与测量:17 种标准解。
- 5) 简化与改善策略:17 种标准解。

由已有系统的特定问题,将标准解变为特定解即为新概念。

1.4.2.5 效应

效应指应用本领域特别是其他领域的有关定律解决设计中的问题。如采用数学、化学、生物和电子等领域中的原理解决机械设计中的创新问题。

1.4.2.6 ARIZ:发明问题解决算法

TRIZ 认为,一个问题解决的困难程度取决于对该问题的描述或程式化方法,描述得越清楚,问题的解就越容易找到。TRIZ 中,发明问题求解的过程是对问题不断描述、不断程式化的过程。经过这一过程,初始问题最根本的冲突被清楚地暴露出来,能否求解已很清楚,如果已有的知识能用于该问题则有解,如果已有的知识不能解决该问题则无解,需等待自然科学或技术的进一步发展。该过程是靠 ARIZ 算法实现的。

ARIZ(Algorithm for Inventive - Problem Solving)称为发明问题

解决算法,是 TRIZ 的一种主要工具,是发明问题解决的完整算法,该算法采用一套逻辑过程逐步将初始问题程式化。该算法特别强调冲突与理想解的程式化,一方面技术系统向着理想解的方向进化,另一方面如果一个技术问题存在冲突需要克服,该问题就变成了一个创新问题。

ARIZ 中,冲突的消除有强大的效应知识库的支持。效应知识库包含物理的、化学的、几何的等效应。作为一种规则,经过分析与效应的应用后问题仍无解,则认为初始问题定义有误,需对问题进行更一般化的定义。

应用 ARIZ 取得成功的关键在于没有理解问题的本质前,要不断地对问题进行细化,一直到确定了物理冲突。该过程及物理冲突的求解已有软件支持。

1.5 TRIZ 发展趋势

1999 年,MIT 公理性设计组的 Tate 在其博士论文中通过对世界著名流派的设计理论进行分析提出:尽管设计理论的研究已有 100 多年的历史,很多的研究成果已在工业界得到应用,但设计理论并未成熟,目前仍处于准理论阶段(a pre-theory stage);该理论在设计过程、设计目标、设计者、可用资源及领域知识等五个方面还有大量的问题有待解决。TRIZ 也是 Tate 所分析的理论之一,也处于发展阶段。

Savransky 博士认为,虽然经过了 50 多年的发展,作为一种技术本身,TRIZ 目前仍处于“婴儿”期,还远没有达到纯粹科学的水平,称之为“方法学”是合适的。

通过对 TRIZ Journal(<http://www.triz-journal.com>)上已发表 200 多篇文章的详细分析,认为 TRIZ 目前及今后的发展趋势为:TRIZ 本身的完善及新的研究分支两个方面。

1.5.1 TRIZ 主要工具的完善

TRIZ 目前的发展包括三个方面:物质—场模型的新型符号系

统,冲突及解决技术的进一步发展及 ARIZ 算法的改进。

图 1-13 是 Altshuller 本人提出的物质—场模型。该模型对于描述产品的一个功能是方便的,但一个产品往往有多个功能,该模型描述多功能时并不十分方便。因此,按照 Altshuller 物质—场原理提出新的适应性更强的符号系统是 TRIZ 本身的一个方向。如 Zinovy、Teminko 等人提出了新的符号系统。

一些作者认为冲突及解决技术中的 39 个标准参数或通用工程参数及 40 条解决原理还不完善。近年来 TRIZ 应用实例表明,有些设计中的明显冲突用 39 个参数不能描述,因此,也就不能选择冲突解决原理。如果增加冲突的标准参数个数,冲突矩阵如何改变? 40 条解决原理是否已覆盖了所有的设计问题,如果增加条数,冲突矩阵如何改变? 学者们对这些问题还都没有找到答案。

在实用中,ARIZ—85C 存在一些缺陷,如不易确定“小问题”。对 ARIZ 的改进有两种方案:一是因 ARIZ—85C 及以前的版本都由 Altshuller 本人提出及改进,后续的版本还由其本人进行;二是由其他人来完成。由于 Altshuller 本人的研究重点转入 TRTL(Theory of Development of a Strong Creative Personality),1989 年,Altshuller 正式允许他的学生们进行 ARIZ 的改进。

对 ARIZ—85C 的改进从以下四个方面进行:

1) 引入问题程式过程的内容。其一能对初始问题进行描述,这种描述有助于解决问题;能对问题所处的环境进行描述,以便能选择更有希望的问题陈述。

2) 应尽可能多地采用产生解的工具 (Solution - Generating Tools)。

3) 提供多种问题典型描述的菜单。

4) 使 ARIZ 应用更加方便,即采用结构化的方法,使微观算法、例题、定义等分开。

ARIZ—85C 后出现了若干个版本,如 ARIZ - KE - 89/90、ARIZ SMVA 91 (E)、ARIZ—An Americanized Learning Framework。

ARIZ—KE—89/90 与 ARIZ—85C 相似,只是增加了对问题所处环境的分析。ARIZ—SMVA 91(E)之前的版本都是基于手工设计的算法,该算法是一种基于计算机辅助设计的平台。ARIZ—An Americanized Learning Framework 之前的算法都是由前苏联 TRIZ 专家制定的,该算法的制定有美国人参加,因此,算法中包含了美国人的思维方式。

1.5.2 TRIZ 与 QFD 的集成

TRIZ 主要是解决设计中如何做的问题 (How),对设计中做什么的问题 (What) 未能给出合适的工具。大量的工程实例表明,TRIZ 的出发点是借助于经验发现设计中的冲突,冲突发现的过程也是通过对问题的定性描述来完成的。其他的设计理论,特别是 QFD 即质量功能布置恰恰能解决做什么的问题。所以,将两者有机地结合,发挥各自的优势,将更有助于产品创新。TRIZ 与 QFD 都未给出具体的参数设计方法,稳健设计却特别适合于详细设计阶段的参数设计。将 QFD、TRIZ 和稳健设计集成,有可能形成从产品定义、概念设计到详细设计的强有力支持工具。因此,已成为设计领域的重要研究方向。

1.6 本章小结

产品创新的核心阶段是产品的概念设计,概念设计的核心是产生新的、有竞争力的工作原理。本章通过对国际上著名设计理论优缺点的分析与比较,提出 TRIZ 理论起源于对全世界专利的深入研究与析,既实用,可操作性又强。本书将其选为创新设计的核心理论。

第2章 产品设计的基本概念

2.1 概述

为了满足日益增长的需要,人们要改造自然、创造新的或改进已有的人工制品,在这种改造与创新的过程中,诞生了很多的机器、设备与仪器,机器与设备又能生产很多人工制品以满足人们更多的需要。

机器、设备及仪器都是技术系统(简称系统),也是本书所说的“产品”。机器是以能量变换为主的系统,如机床、注塑机、压路机等;设备是以物料变换为主的系统,如化肥生产线、电视机装配线、水果清洗及分检生产线等;仪器是以信号变换为主的系统,如温度测试仪、地震测试仪、流量计等。

随着社会的发展,产品愈来愈复杂,产品的设计过程也愈来愈复杂。设计人员根据市场或潜在市场的需求,首先要抽象地研究产品及其功能、特性、原理和组成等,之后才是技术设计与详细设计。设计过程中的一些基本概念需要设计人员理解,以使所设计的系统或产品更好地满足市场要求。

本章介绍系统及其组成、系统的输入与输出、设计问题的提出以及设计中的可用资源等基本概念。

2.2 系统的基本概念

2.2.1 系统及其组成

系统是由子系统组成的,子系统在空间及时间上有机地联系在一起形成系统。子系统本身也是系统,又可向下分解,一直分解到元件及操作为止;系统是其更高的超系统的一部分。图2-

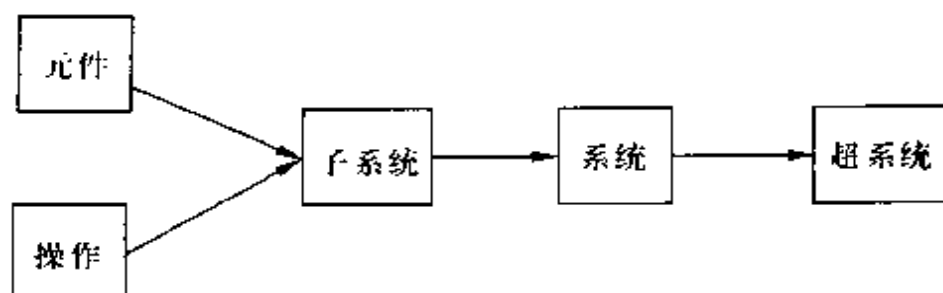


图 2-1 各种系统间的关系

1 是系统、子系统和超系统的一种描述。

元件及操作是构成子系统的基本单元。轴、齿轮、花键、箱体等都是元件的例子,夹紧、松开、旋转、输送等都是操作的例子。元件组成子系统的结构,操作组成子系统的动态行为,结构与动态行为有机结合形成子系统并能完成规定的任务。

一个子系统仅是系统的一部分,如安全气囊是一个子系统,它是汽车的一部分。而一辆汽车仅是城市交通系统中的一部分。相对于汽车,城市交通系统为超系统。

在设计过程中设计者要考虑子系统之间的关系,子系统与系统的关系,系统与超系统的关系,最后使被设计的系统取得最优的结果。

2.2.2 系统的输入与输出

系统存在输入与输出。输入来自于另一系统、操作者或环境,系统工作的结果输出到另一系统、人或环境。输入与输出之间的关系可以是静态的,也可以是动态的。

1. 静态关系

- (1) 组合 输入数大于输出数。
- (2) 相等 输入数等于输出数。
- (3) 分解 输入数小于输出数。

2. 动态关系

- (1) 不确定型 输出数取决于输入数。
- (2) 易变型 输出与输入之比取决于时间。

输入与输出之间的关系既可描述系统与超系统、环境之间的

关系,又可描述子系统之间、子系统与系统之间的关系。

原料或称原始物体是系统的主要输入,人工制品(简称制品)是其主要的输出。原料分为如下三类:

(1) 物质 任何具有质量并占有一定空间的东西,如汽车、计算机、桌子等都是物质。

(2) 场 指能量载体,如电场、磁场、重力场和温度场等。系统中的一个操作可将一种场转变成另一种场,或使场的参数发生变化。

(3) 信息 指令与数据等。

制品及原料是 TRIZ 中的通用术语,系统的目标就是将输入的处于原始状态的原料转变成处于理想状态的输出即制品。在 TRIZ 中,制品不仅是系统最终的输出,也可以是转变原料中间阶段子系统的输出。

2.2.3 操作

系统为了将输入的原料转变为制品,需要一系列操作。一个系统可以简单到仅有一个操作,也可以包含成千上万个操作。操作的集合称为操作序列,系统的操作序列分为刚性与柔性两类。

(1) 刚性序列 操作的具体动作及其之间的连接是事先规定的,具有可重复性。

(2) 柔性序列 在操作序列中,下一个操作的动作取决于上一个或几个操作的动作,即发生下一个操作时,它之前的操作必需满足特定的条件。

影响操作的因素很多,下面是常见的一些。

- 1) 所处的技术领域,如机械、化工、电子。
- 2) 基于物理、化学、生物等的主要动作。
- 3) 原料及制品的类型。
- 4) 操作发生的空间及时间。

2.2.4 设计目标

系统的存在有一定的目标,可以用特定的目标或一系列目标

表示。系统通常的目标是将原料变换成人们所需要的制品。在设计阶段,设计人员一般假设一些能满足用户或市场需求的目标。因此,目标是系统的一种状态,这种状态是可能的、能圆满实现的。

目标之间通过分层的关系联系在一起。父目标分解为两个或多个子目标,子目标是父目标的实现,父目标是子目标存在的原因。分解过程有多种方法,与/或树是常用方法之一,其中的“或”节点表示一个“父”目标可由不同的子目标实现;“与”节点表示“父”目标要由几个子目标共同实现。图 2-2 是机床必须安全的目标树。

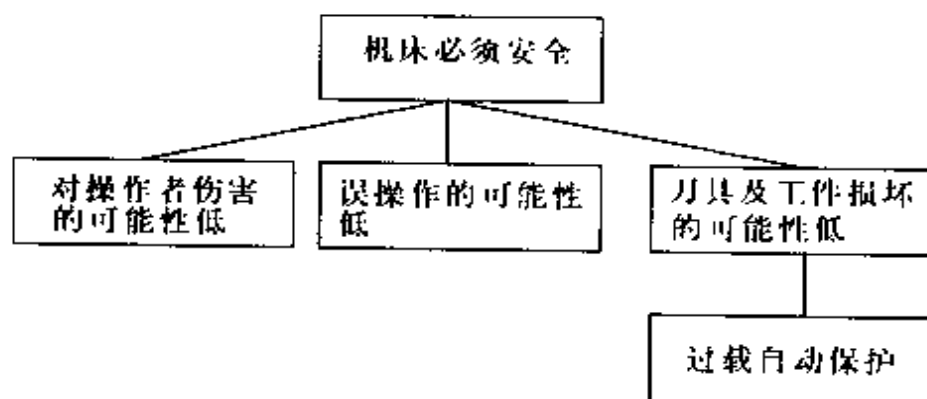


图 2-2 机床必须安全的目标树

例 2-1 轴类零部件实验台

设计用于轴类零部件实验的实验台,其输出为转矩。该实验台的一个目标是“简单可靠的实验装置”。为了清楚地理解该目标,现将该目标扩展为一目标树。

“可靠”可分解为“操作可靠”及“安全性高”。“简单”可分解为“生产简单”及“操作简单”。还可继续分解。实验装置目标树如图 2-3 所示。

2.2.5 功能

功能是从技术实现的角度对待设计系统的一种理解,是系统或子系统输入/输出时,参数或状态变化的一种抽象描述。为了使问题的解决简单方便,功能也要分为分功能,分功能分解为子功

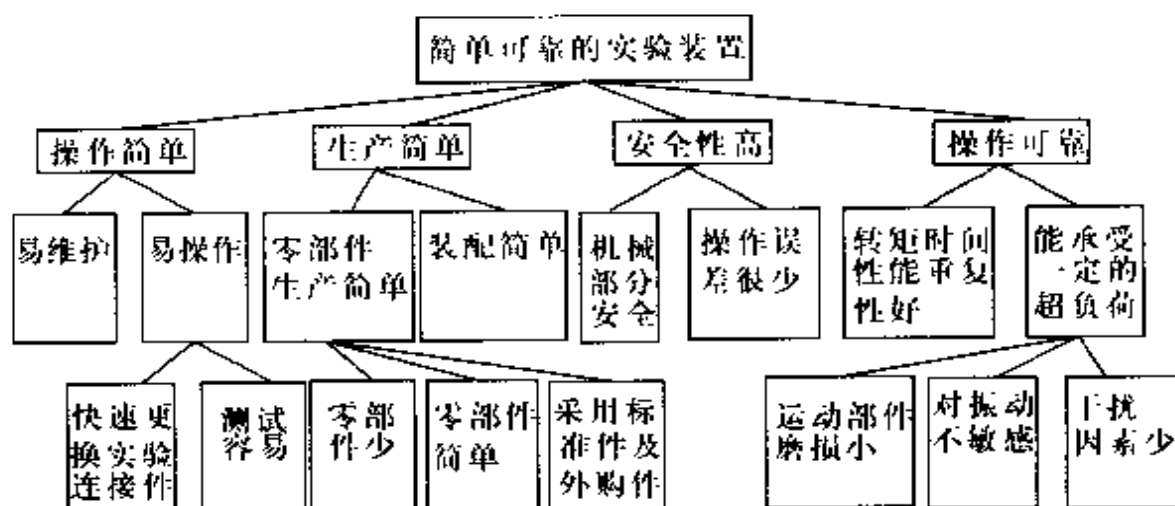


图 2-3 实验装置目标树

能，一直分解到支持功能或基本功能为止。基本功能是已有零部件、过程的抽象，或已容易实现。图 2-4 是功能分解树。

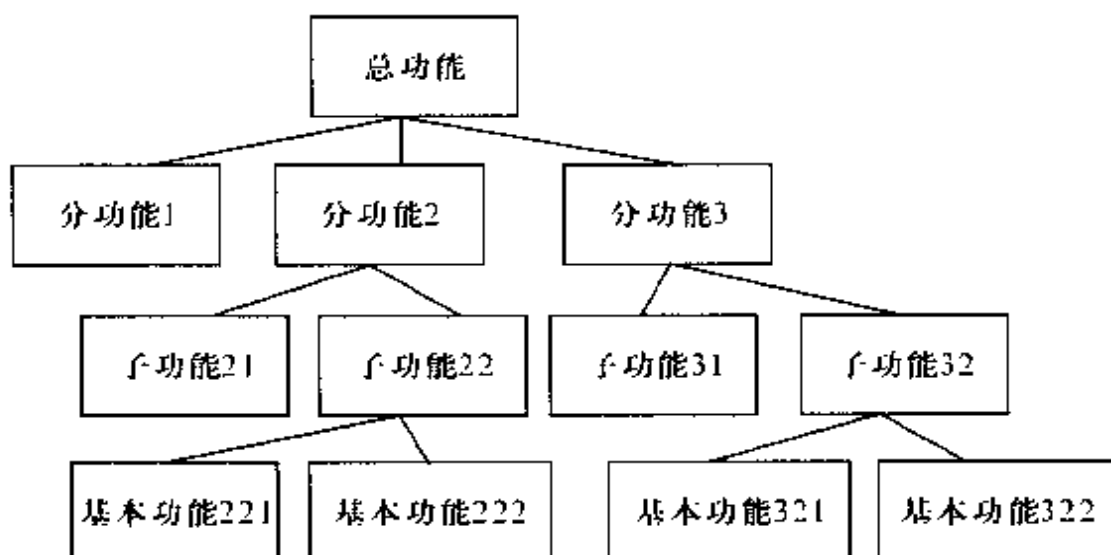


图 2-4 功能分解树

一个系统或子系统一般要具有多个功能，其中一个为主要功能或称主功能 (Primary Function, PF)，系统或子系统存在的意义在于实现该功能。其他功能为辅助功能，系统或子系统实现辅助功能的目的是为了更好地实现其主要功能。大多数功能都是有用功能 (Useful Function, UF)，但实现有用功能的同时，系统或子系统要产生一些危害环境、消耗资源或能量等的附加功能，这些称为有害功能 (Harmful Function, HF)。系统或子系统的主功能总是有用功

能。

汽车的部分功能为：

- (1) 主功能 运送人或货物。
- (2) 辅助功能 加减速、刹车、转向、传递动力、支撑货物及人等。
- (3) 有害功能 产生废气、产生噪声、磨损路面等。

改进设计中的很多问题是增加辅助功能，但同时不希望产生有害功能；或要消除有害功能，但不希望影响有用功能，最好是增强有用功能。

2.3 设计任务

2.3.1 设计任务的提出

无论是新设计还是已有产品的改进设计，设计任务或设计问题的提出来自企业上层的决策。正确的决策必须依靠全面的市场信息和科学的判断，以及企业领导对企业自身力量的认识和经营策略。

本企业产品特点、市场与用户需求信息是形成一项设计任务的推动因素，它通常出自于如下几个方面：

(1) 产品进化过程所处的阶段 产品处于进化之中，进化处于不同阶段的产品其设计任务也不同。如一个产品刚刚诞生，有很多不完善之处，设计任务往往是如何完善该产品的设计。一个投入市场很多年的产品，设计任务可能是要发现该产品核心技术的替代技术。

(2) 用户对现有产品的反映 通过对用户意见特别是批评的详细分析，发现产品存在的问题及可能的兴趣质量，改进设计。

(3) 竞争者的技术优势 企业要不断分析国内外竞争者产品的技术优势，对本企业产品的技术措施加以调整，以使产品保持某方面的竞争优势。

(4) 潜在用户的潜在需求 开发全新的产品，满足潜在用户

的潜在需求,这些用户包括政府及军队等。

(5) 新技术的发展 世界上有很多科学家从事知识创新,一些知识创新的结果具有潜在的市场价值,如一种新材料的合成原理已经提出,产品设计人员的任务可能是设计实现该原理的设备,以便生产该新材料。

2.3.2 设计任务的表示

不同的企业、不同的设计问题,给设计者下达设计任务的表示不同。作为一种特例,设计任务可能是国家领导人的一项声明,如1961年,美国总统肯尼迪确定了美国的一个目标“到本世纪末,要把人送上月球,并使其安全地返回地球”。该设计任务的目标是确定的,但实现该方法的方法并不确定,只有时间一个约束。对于设计者,任务是全新的,有一个确定的目标,一个约束,可以使用大量的金钱、原料及人员。但设计者要解决大量的问题。

作为另一种特例,设计任务可能是企业领导对某个产品一种新想法的实现。如生产家庭用晾衣服塑料夹子的一小企业经理,某天亲自晾衣服发现本厂生产的夹子夹紧力稍小,他告诉设计人员,要使夹子的夹紧力增大一些。对于设计人员,这是简单产品的改进设计问题,可用资源非常有限。

介于这两种特殊情况之间的设计任务书常用表格表示。如表2-1所示,该表是某管路配件公司的家用混水阀的设计任务书。

表 2-1 家用混水阀设计任务书

名 称	单手操作混水阀
流量/(L/s)	60.0
最大压力/MPa	0.6
工作压力/MPa	0.2
热水温度/℃	60
连接尺寸/mm	10
总体要求	外观美观,公司商标要永久清晰可见、产品2年后推向市场。 每件成本 160RMB,月生产能力 3000 件

表 2-2 需求质量与质量要素布置表

[illegible]

质量功能布置(QFD)中的质量屋是一种更为规范的设计任务表达方法,该方法的质量屋将用户需求转变成为设计要求。表 2-2 是一加工中心用快速夹紧装置的质量屋。快速夹紧装置是加工中心专用夹具上的一个部件,其设计属于新设计。用户要求:快速夹紧工件,产生足够的夹紧力,工作安全可靠,使用方便,体积小,成本低。根据该质量屋所规定的设计要求,设计人员可以开始概念设计。

一个产品任务书一般应包含设计目标、设计约束及要遵循的有关标准。设计任务书中并不包含什么是问题的解及获得解的方法,提出任务书的人也不知道解是什么。因此,设计人员要通过设计过程确定问题的解,这些解是用户或领导从来没有想到,或从来没有认为是可能实现的。最详细的设计任务书也不会清楚地表明解是什么,一个设计人员与另一个设计人员对同一设计问题的解一般是不同的,正是这种不确定性,使设计成为具有挑战性的活动。

2.3.3 概念设计策略

概念设计的策略可归为如下两类:

(1) 策略 1 设计过程要产生多个可能的解,经过分析、比较与评价确定一个较好的解,基于该解完成后续的设计内容。

(2) 策略 2 设计过程中只产生一个解,经过修改、完善与评价,如果该解是一个较好的解则进行后续的设计,反之,产生一个新解,一直找到一个较好的解。

第一类策略依据了“以问题为中心(Problem - Focused)”的设计思想,通过对问题(如用户需求)的抽象,产生一系列可能概念,即多个解,经过评价确定一个解。该策略特别适用于新设计,即产品或部件的核心技术采用了全新的原理。

第二类策略依据了“以产品为中心(Product - Focused)”的设计思想,即待设计产品的一个概念是在对已有产品的工作原理进行分析、总结的基础上提出来的。该策略特别适用于适应性设计及变参数设计,或改进设计。

如果采用第一种设计策略,可以采用经验法提出多个原理解;也可以采用设计理论的研究结果,如功能结构与形态学矩阵,功能方法树等提出多个原理解。

TRIZ 解决问题的过程是发现和解决设计中冲突的过程,这种过程特别适用于第二类策略。

2.3.4 概念设计过程与表示方法

图 2-5 是实现“传递转矩”这一功能的概念设计过程。

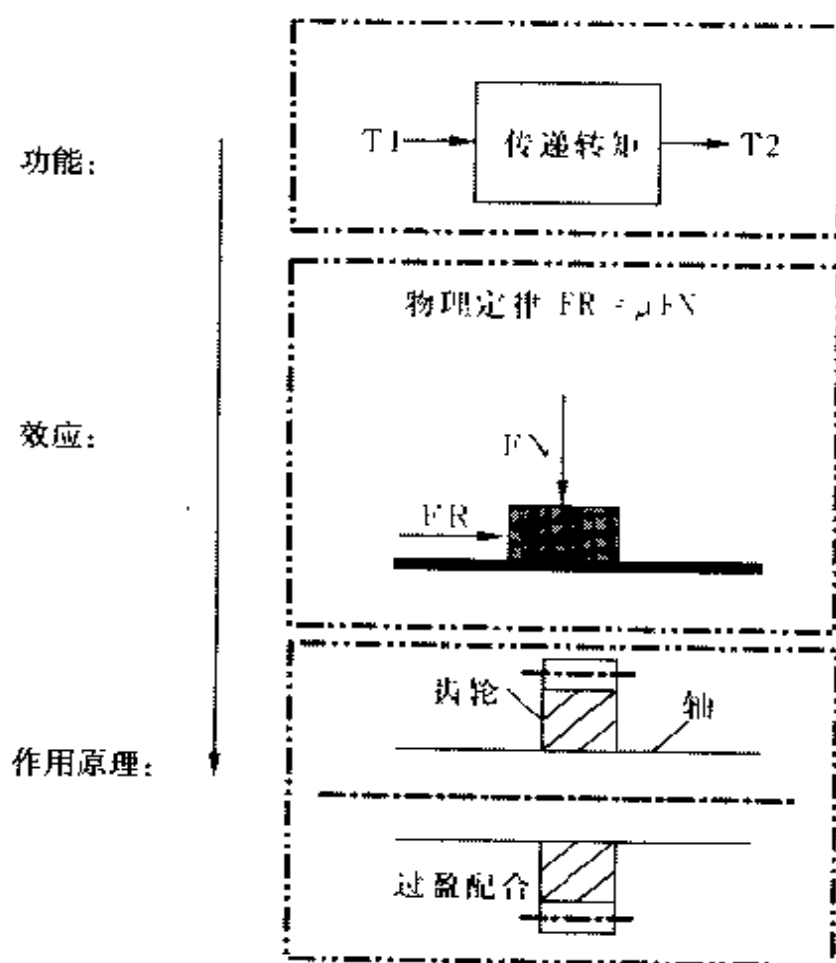


图 2-5 概念设计过程

根据图 2-5,概念设计首先要确定待设计系统的功能,之后是确定实现该功能的效应,最后确定作用原理。功能是系统输入与输出之间,以完成任务为目的的总的相互关系。效应是指将有关量联系起来的物理的、化学的、数学的和生物的有关定律。作用原理是将效应工程实现的最基本形式。

对于一个复杂的系统,其总功能要分解为分功能,分功能继续分解,一直到支持功能为止。支持功能已有零部件与之对应,或很容易实现。实现支持功能的过程是选择及组合效应的过程。用几何的、材料的形态去实现各种效应并使之组合,就产生了系统的作用原理。效应与作用原理都称为工作原理,工作原理既可用简图表示,也可用文字说明。

图 2-6 是一小型混凝土搅拌器驱动装置的三个作用原理图,经过评价可选出一个图作为概念设计结果。该结果是后续技术设计的已知条件。图 2-7 是一种原理解的技术设计结果的一部分。图 2-7 中装配图拆件的结果为详细设计。

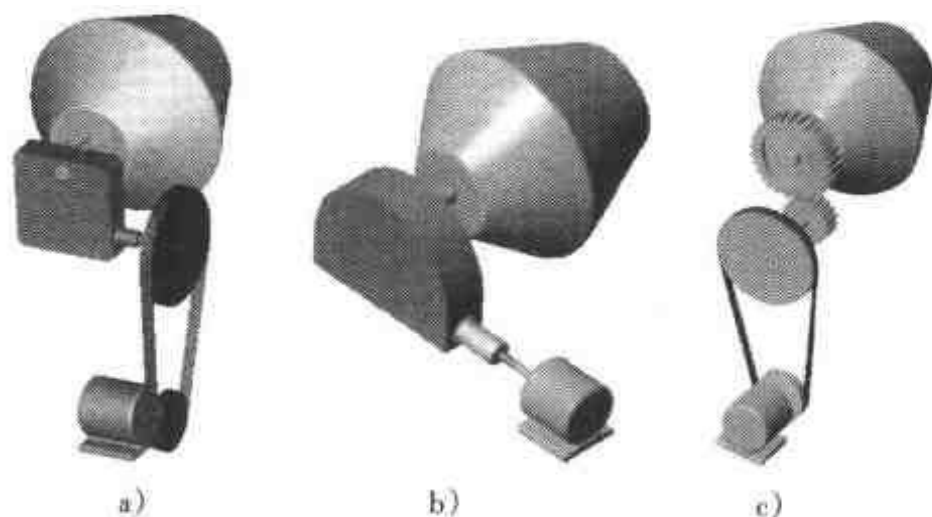


图 2-6 小型混凝土搅拌器驱动装置概念设计

图 2-8 是一种快速夹紧装置的功能方法树。该树已产生了 $6 \times 3 = 18$ 种原理解,有些原理解相融能作为选定的原理解案,有些不相融可放弃。图 2-9 是一种可能的工作原理,该原理虽不是概念设计的最终结果,但依据该结果设计人员已较容易完成概念设计。

创新设计的核心是原理创新,原理创新的关键是发现已有设计中存在的冲突及解决冲突。冲突往往是从功能的角度提出的,冲突的解决首先是提出新的效应,之后是作用原理。实践经验较丰富的设计人员大多能够完成从效应到作用原理的转变。TRIZ 的

重点是研究如何确定冲突，特别是提出解决冲突的效应。冲突的发现及解决既可用语言也可用图形表示。

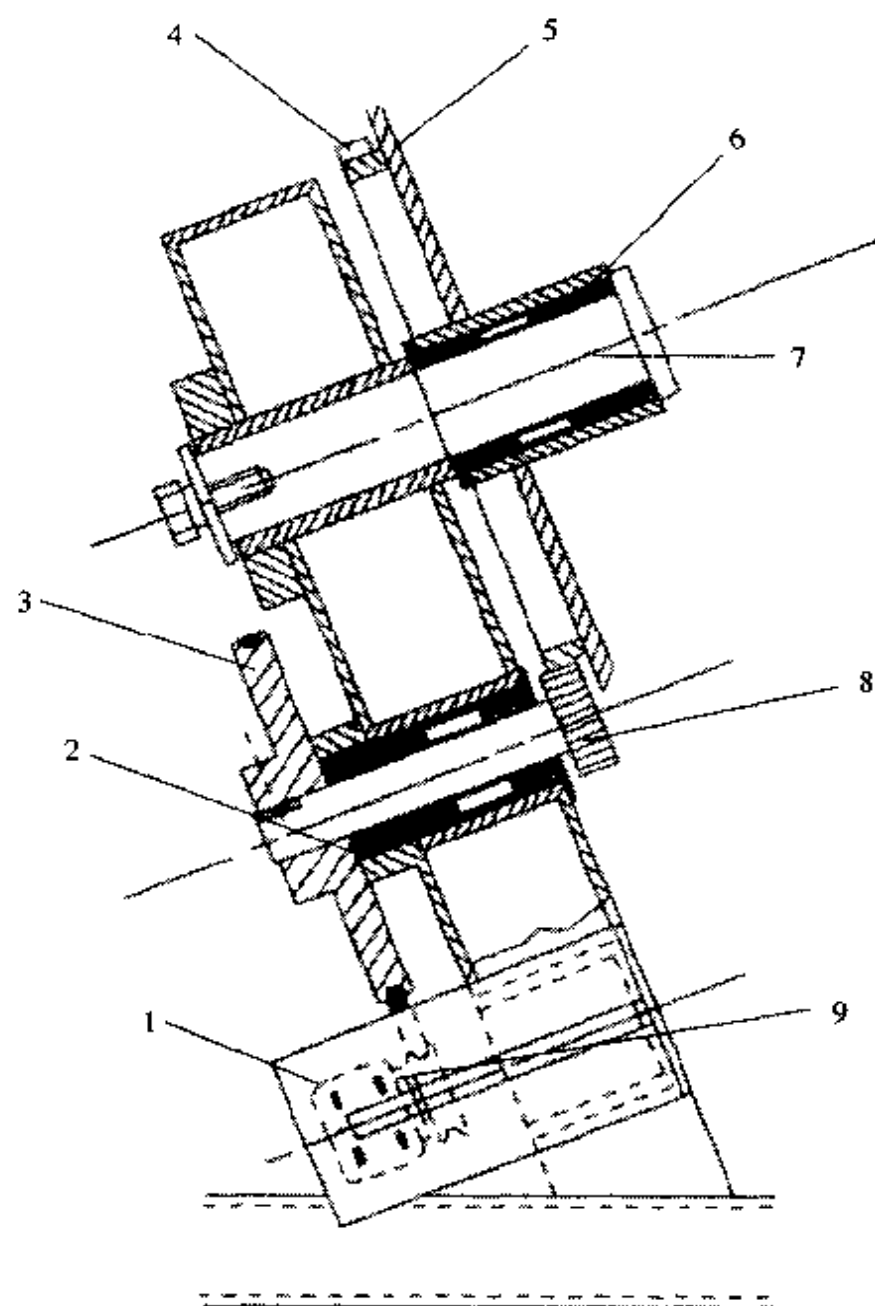


图 2-7 技术设计

1—电动机 2—带轮 3—紧固螺钉 4—圆柱齿轮 5—鼓形圆筒
6—轴承衬套 7—鼓形圆筒中心轴 8—小齿轮轴 9—皮带张紧狭缝

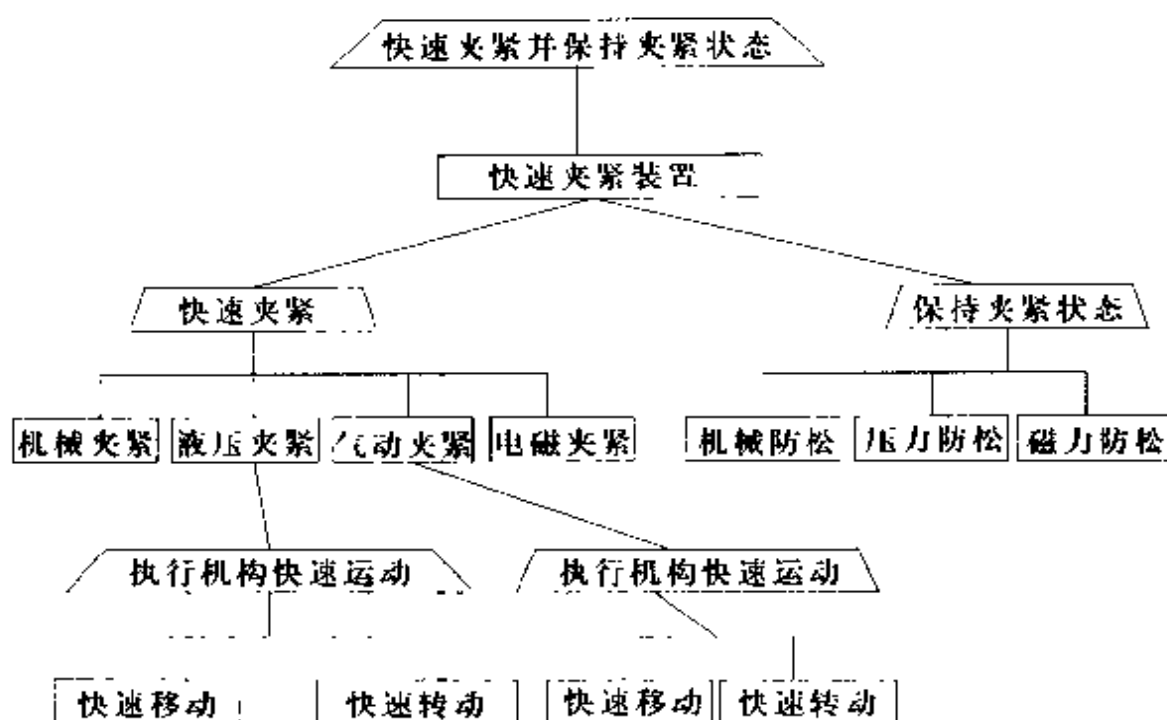


图 2-8 快速夹紧装置的功能方法树

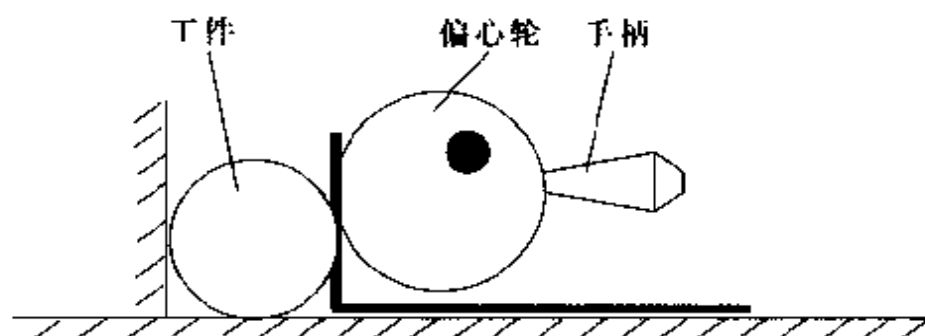


图 2-9 机械夹紧—机械防松

2.4 设计中的可用资源

设计中的可用资源对创新设计起着重要作用，问题的解越接近理想解(IFR)，可用资源就越重要。任何系统，只要还没有达到理想解，就应该具有可用资源。对资源进行分类，详细分析，深刻理解，对设计人员十分必要。

2.4.1 资源分类

设计中的产品是一个系统，任何系统都是超系统中的一部分，超系统又是自然的一部分。系统在特定的空间与时间中存在，要

由物质构成,要应用场以完成某种特定的功能。按自然、空间、时间、系统、物质、能量、信息和功能等,将资源分为八类,见表 2-3。

表 2-3 资源分类

序号	类 型	意 义
1	自然或环境资源	自然界中任何存在的材料或场
2	时间资源	系统启动之前、工作之后、两个循环之间的时间
3	空间资源	位置、次序、系统本身及超系统
4	系统资源	当改变子系统之间的连接、超系统引进新的独立技术时,所获得的有用功能或新技术
5	物质资源	任何用于有用功能的物质
6	能量/场资源	系统中存在的或能产生的场或能量流
7	信息资源	系统中任何存在或能产生的信号
8	功能资源	系统或环境能够实现辅助功能的能力

例:

自然资源:太阳能电池。

时间资源:厨房中米饭、炒菜一起做,节省了时间。

空间资源:本企业某种食品包装中有本企业其他食品的广告。

系统资源:扫描与打印的功能结合形成影印功能。

物质资源:扫雪车的废气用于被清扫雪的预处理。

能量资源:炼钢厂高炉余热发电。

信息资源:加工中心正在加工中的零件误差可用于在线补偿。

功能资源:按时间进行任务规划的软件要应用计算机内部的时钟。

在设计过程中,合理地利用资源可使问题的解更容易接近理想解,如果利用了某些资源,还可能取得附加的、未曾设想的效益。对资源及其利用的深入讨论是必要的。

2.4.2 资源分析

资源可分为内部与外部资源。内部资源是在冲突发生的时间、区域内存在的资源。外部资源是在冲突发生的时间、区域外部存在的资源。内部与外部资源又可分为直接应用、导出及差动资源三类。

2.4.2.1 直接应用资源

直接应用资源是指在当前存在状态下可被应用的资源。如物质、场(能量)、空间和时间资源都是可被多数系统直接应用的资源。

例:

物质资源:木柴可用作燃料。

能量资源:汽车发动机既驱动后轮或前轮,又驱动液压泵,使液压系统工作。

场资源:地球上的重力场及电磁场。

信息资源:汽车运行时所排废气中的油或其他颗粒,表明发动机的性能信息。

空间资源:仓库中多层货架中的高层货架。

时间资源:双向打印机。

功能资源:人站在椅子上更换屋顶的灯泡时,椅子的高度是一种辅助功能的利用。

2.4.2.2 导出资源

通过某种变换,使不能利用的资源成为可利用的资源,这种可利用资源为导出资源。原材料、废弃物、空气、水等,经过处理或变换都可在设计的产品中采用,而变成有用资源。在变成有用资源的过程中,必要的物理状态变化,或化学反应也是需要的。

导出物质资源:由直接应用资源,如物质或原材料变换或施加作用所得到的物质。如毛坯是通过铸造得到的材料,相对于铸造的原材料已是导出资源。

导出能量资源:通过对直接应用能量资源的变换、或改变其作用的强度、方向及其他特性所得到的能量资源。如变压器将高压变为低压,这种低电压的电能为导出资源。

导出场资源:通过对直接应用场资源的变换、或改变其作用的强度、方向及其他特性所得到的场资源。

导出的信息资源:通过变换设计不相关的信息,使之与设计相关。如地球表面电磁场的微小变化可用于发现矿藏。

导出空间资源：由于几何形状或效应的变化所得到的额外空间。双面磁盘比单面磁盘存储信息的容量更大。

导出时间资源：由于加速、减速或中断所获得的时间间隔。被压缩的数据在较短的时间内可传递完毕。

导出功能资源：经过合理变化后，系统完成辅助功能的能力。锻模经适当修改后，锻件本身可以带有企业商标。

2.4.2.3 差动资源

通常，物质与场的不同特性是一种可形成某种技术的资源，这种资源称为差动资源。差动资源分为差动物质资源及差动场资源两类。

1. 差动物质资源

(1) 结构各向异性 各向异性是指物质在不同的方向上物理性能不同。这种特性有时是设计中实现某种功能的需要。

例：

光学特性：金刚石只有沿对称面做出的小平面才能显示出其亮度。

电特性：石英板只有当其晶体沿某一方向被切断时才具有电致伸缩的性能。

声学特性：一个零件内部由于其结构有所不同，表现出不同的声学性能，使超声探伤成为可能。

机械特性：劈木柴时一般是沿最省力的方向劈。

化学性能：晶体的腐蚀往往在有缺陷的点处首先发生。

几何性能：只有球形表面符合要求的药丸才能通过药机的分检装置。

(2) 不同的材料特性 不同的材料特性可在设计中用于实现有用功能。

例：

合金碎片的混合物可通过逐步加热到不同合金的居里点，之后用磁性分检的方法将不同的合金分开。

2. 差动场资源 场在系统中的不均匀可以在设计中实现某些新的功能。

(1) 场梯度的利用 在烟囱的帮助下, 地球表面与 3200m 高空中的压力差, 使炉子中的空气流动。

(2) 空间不均匀场的利用 为了改善工作条件, 工作地点应处于声场强度低的位置。

(3) 利用场的值与标准值的偏差 病人的脉搏与正常人不同, 医生通过对这种不同的分析为病人看病。

2.4.3 资源利用

设计过程中所用到的资源不一定明显, 需要认真挖掘才能成为有用资源。下面是一些通用的建议:

- 1) 将所有的资源首先集中于最重要的动作或子系统。
- 2) 合理地、有效地利用资源, 避免资源损失、浪费等。
- 3) 将资源集中到特定的空间与时间。
- 4) 利用其他过程中损失的或浪费的资源。
- 5) 与其他子系统分享有用资源, 动态地调节这些子系统。
- 6) 根据子系统隐含的功能, 利用其他资源。
- 7) 对其他资源进行变换, 使其成为有用资源。

不同类型资源的特殊性能帮助设计者克服资源的限制。

空间:

1) 选择最重要的子系统, 将其他子系统放在空间不十分重要的位置上。

- 2) 最大限度地利用闲置空间。
- 3) 利用相邻子系统的某些表面, 或一表面的反面。
- 4) 利用空间中的某些点、线、面或体积。
- 5) 利用紧凑的几何形状, 如螺旋线。
- 6) 利用暂时闲置的空间。

时间:

- 1) 在最有价值的工作阶段, 最大限度地利用时间。

- 2) 使过程连续,消除停顿、空行程。
- 3) 变换顺序动作为并行动作,以节省时间。

材料:

- 1) 利用薄膜、粉末、蒸汽,将少量物质扩大到一个较大的空间。
- 2) 利用与子系统混合的环境中的材料。
- 3) 将环境中的材料,如水、空气等,转变成有用的材料。

能量:

- 1) 尽可能提高核心部件的能量利用率。
- 2) 限制利用成本高的能量,尽可能采用低廉的能量。
- 3) 利用最近的能量。
- 4) 利用附近系统浪费的能量。
- 5) 利用环境提供的能量。

在设计中认真考虑各种资源有助于开阔设计者的眼界,使其能跳出问题本身,这对于将全部精力都集中于特定的子系统、工作区间、特定的空间与时间的设计者解决问题特别重要。

2.5 本章小结

本章介绍了系统、功能、设计目标、设计任务的表示以及设计中的可用资源等概念,理解这些概念对于设计人员能进行成功的设计十分重要。

第3章 原理解的分级与理想解

3.1 概述

为了改造自然、征服自然,人类勤于思考、勤于创造。由于生产或生活条件不断改善的需求,人类的头脑每天都会产生成千上万的新设想,但仅有极少数设想经过不断的完善构成一种新概念,经过后续的实现变成一种新产品,从原子弹、飞机、轮船、汽车、家用电器、计算机到各种玩具等品种繁多的产品都是人类创造性的真实体现;但绝大多数设想由于不切实际或技术上不能实现而被抛弃。

对于机械工程领域,所谓的新概念是指新的工作原理,按照该原理工作的机器、设备、仪器具有市场竞争力,能为该产品的生产企业带来效益,能为该产品的用户提高生产效率、或降低生产成本、或减少生产周期做出贡献。

按传统的设计方法,产生新的工作原理的过程为试凑法或试验纠错法(Trial - And - Error Search Method)。第一个新的工作原理往往不一定采用,需要不断地产生新工作原理的设想,复杂程度不同,技术含量不同的产品所需的设想数也不同,最终选定一种工作原理。世界上的产品在不断更新换代,产品向理想化方向发展。

本章系统地介绍概念设计中的试凑法、根据产生工作原理的设想数对产品分级的概念及理想解的概念。

3.2 概念设计中的试凑法

3.2.1 设计实例

很多文章、专著对某个产品设计的描述只是结果,对概念设

计也是描述成功的工作原理，而对在这之前的一系列失败设计描述较少。为了说明传统设计中的试凑法，了解失败工作原理及由这些原理向成功工作原理的过渡是重要的。现用发明家 Egorov 的一发明实例来说明。

设计任务：设计一台机器，该机器用于将柔性好的细丝均匀且紧密地缠绕在内径为 2mm 的金属环上。

工作原理 1：Egorov 曾发明过一种特殊叉子，用该叉子作为手工作业工具，将一种细丝均匀地缠绕在直径较大的金属环上。如图 3-1 所示。由于以前的这种经验，Egorov 提出了如下的工作原理：设计一种与图 3-1 中的叉子相似的小叉子，把细丝事先绕到该叉子上，该叉子作为机器执行机构的一部分，执行机构模拟人手工绕线的动作实现机器自动绕线。但进一步的设计活动发现，小叉子使得问题更加复杂，该工作原理很难实现。

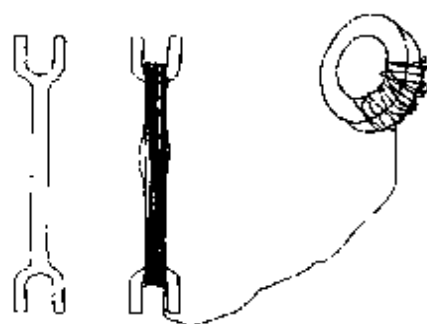


图 3-1 在圆环上缠绕细丝的叉子

工作原理 2：设计一种专用的针，针与细丝相连，金属环放在两个摆之间，让摆的运动带动针与线一起运动。调节两个摆的左右运动及与之配合的金属环上下运动可将细丝缠绕在金属环上。按该工作原理完成了设计并做出了样机。实验表明，缠绕过程中细丝经常处于松动状态，不能满足紧密缠绕的要求。多次改进设计及进行实验，仍不能达到要求。证明该工作原理或稍加改进不会满足要求。

工作原理 3：设计一种专用的钩针，使其作为机器执行机构的主要部分，该执行机构模拟人手钩毛衣的动作。Egorov 在长时间思考、设计、实验仍不能完成设计任务的情况下，一天在公园散步，见到公园里坐在长椅上的一位女士正在钩毛衣，其娴熟的动作及手中使用的钩针使他受到启发，从而构思出该工作原理。按

该原理完成设计并制造出样机,实验证明该原理非常成功。

该设计实例表明,按传统的设计方法,一项成功的设计往往要经历很长的时间、花费较多的代价,且设计人员的经验、素质等起着重要作用。

3.2.2 试凑法

对于用户新的需求、新的市场、或潜在的市场,设计人员往往首先根据已有的产品及已往的设计经验提出新产品的初步工作原理(如以初步原理草图的形式),经过不断的修改、完善、再修改、再完善、试制,如果试制证明设计已满足要求,则可转入生产,如不满足要求,可能还要返回到概念设计的起始点重新开始。

这一过程有明显试凑的特点,称为试凑法,其模型如图 3-2 所示。

模型中的“问题”即为设计要求,模型中的“解”指新概念或新的工作原理,该概念或工作原理的实现即为新产品。按该模型,概念设计过程就是设计人员从“问题”出发,寻找“解”的过程。设计人员首先根据经验,沿方向 1 寻找,该方向可能根本无法满足设计

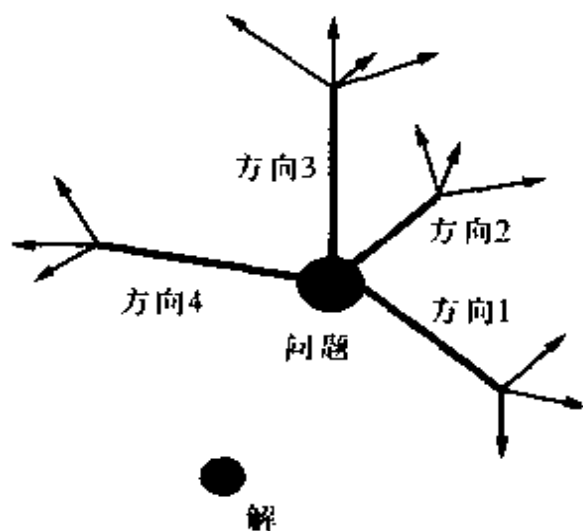


图 3-2 试凑法模型

要求,设计人员返回到起始点,沿方向 2 继续寻找,该方向也可能根本不能满足要求,设计人员再返回到起始点沿其他方向寻找,一直找到一个认为满意的“解”为止。由于设计人员不知道满“解”的位置,在找到该“解”或较满意“解”之前,一般要试凑多次。

图 3-2 所示的试凑法效率较低,为了提高其效率,需对其改进。

3.2.3 头脑风暴法 (Brainstorming)

1953 年,美国心理学家 Osborn 试图改进上述试凑法,提出了基

于小组参与的头脑风暴法。Osborn 认为一些人适合于提出新想法，而另一些人适合于分析新想法的可行性。因此，头脑风暴法分为产生想法与分析想法两个阶段。一般小组成员由 6 至 9 人参加。该方法的规则为：

1) 小组成员必须由不同领域的人员组成。

2) 为了产生尽可能多的想法，小组中的任何人可发表任何意见，包括错误的、可笑的、稀奇古怪的、甚至是荒谬的。所有的想法要记录下来。

3) 在产生一系列想法的过程中要保持和谐、平等自由与友好的气氛，不允许批评、讽刺、嘲笑。一个人提出的想法，其他成员可以发挥与延伸。

4) 在分析不同想法的过程中，看上去错误的、荒谬的想法也要加以分析。以便提出新的、确实可行的产品概念或工作原理。

图 3-3 为头脑风暴法示意图。

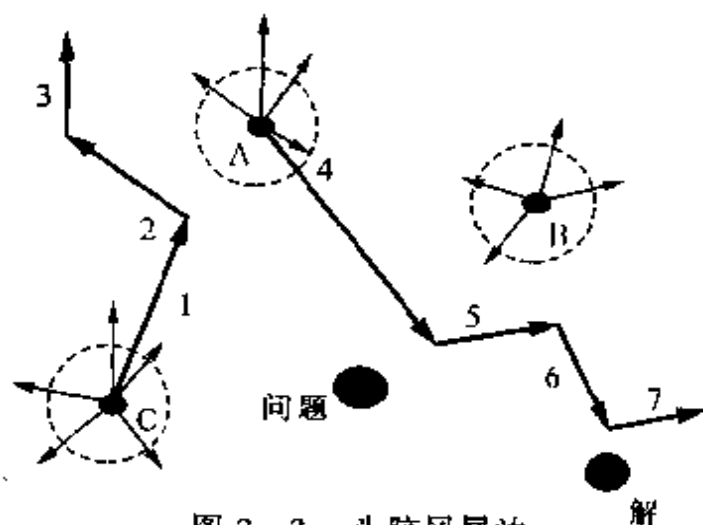


图 3-3 头脑风暴法

为了讨论问题方便，图中所示的小组有 A、B、C 三人参加。由于每人的知识结构不同，对同一问题求解的出发点也不同，每个人先是在自己所熟悉的领域（图中虚线圆所示的区域）及附近发表意见。C 沿方向 1 提出了设想，B 在此基础上向 2 方向延伸，A 又向 3 方向延伸，方向(1-2-3)形成了“设想链”(Chain of Ideas)。方向(4-5-6-7)形成了另一条设想链。小组讨论的结果可形成多条设

想链。经过对所有设想的分析,确定可行解,即选定工作原理。该解作为后续设计的出发点。

除头脑风暴法外,635法、陈列法、哥顿法等也都是小组成员参与的方法。

3.3 新概念分级

3.3.1 分级

TRIZ的一个重要成果是认为产品有级别,产品由低级向高级的方向发展。由于这种发展,产品才一直占领老市场或又赢得新市场。Altshuller通过研究表明,问题的解或概念分为五个级别,普通设计人员采用试凑法,在从产生最初的工作原理,到最终选定工作原理的过程中,根据所产生工作原理的个数,即解的个数决定解的级别。其级别与个数的关系见表3-1所示:

表 3-1 解的级别与工作原理数的关系

级 别	所产生工作原理个数
1	1 ~ 10
2	10 ~ 100
3	100 ~ 1000
4	1000 ~ 10 000
5	10 000 ~ 100 000 或更多

产品从低级向高级进化的过程中,高级别解的产生需要更多的知识。产品的级别还与问题的难易程度、知识来源等有密切的关系。描述如下:

(1) 1级(Level 1) 通常的设计问题,或对已有系统的简单改进。凭设计人员自身的经验即可解决,不需要创新。大约 32% 的解属于该范围。如用厚隔热层减少热量损失,用载重量更大的卡车改善运输的成本与效益比。

(2) 2级(Level 2) 通过解决一个技术冲突对已有系统进行少量的改进。采用行业中已有的方法即可完成。解决该类问题的传

统方法是折衷法。大约有 45% 的解属于该范围。如在焊接装置上增加一灭火器。

(3) 3 级(Level 3) 对已有系统有根本性的改进。要采用本行业以外已有的方法解决, 设计过程中要解决冲突。大约有 18% 的解属于该范围。如计算机鼠标, 山地自行车, 圆珠笔。

(4) 4 级(Level 4) 采用全新的原理完成已有系统基本功能的新解。解的发现主要是从科学的角度而不是从工程的角度出发。大约有 4% 的解属于该类。如内燃机, 集成电路, 个人计算机, 充气轮胎, 虚拟现实。

(5) 5 级(Level 5) 罕见的科学原理导致一种新系统的发明。大约有 1% 属于该类。如飞机, 计算机, 形状记忆合金, 蒸汽机。

从上述的描述可以看出, 解的级别越高, 获得该解时所需知识越多, 这些知识所处的领域越宽, 搜索有用知识的时间就越长, 如图 3-4 所示。表 3-2 是解分级的一个总结。

表 3-2 解的级别

级别	创新的程度	百分比	知识来源	参考解的数目
1	显然的解	32%	个人的知识	10
2	少量的改进	45%	公司内的知识	100
3	根本性的改进	18%	行业内的知识	1000
4	全新的概念	4%	行业以外的知识	100 000
5	发现	1%	所有已知的知识	1 000 000

该表表明, 产品设计中所遇到绝大多数问题或相似问题已被前人在其他地方或其他领域解决了。假如设计人员能按照正确路径, 从低级开始, 依据自身的知识与经验, 向高级方向努力, 可从本企业、本行业及其他

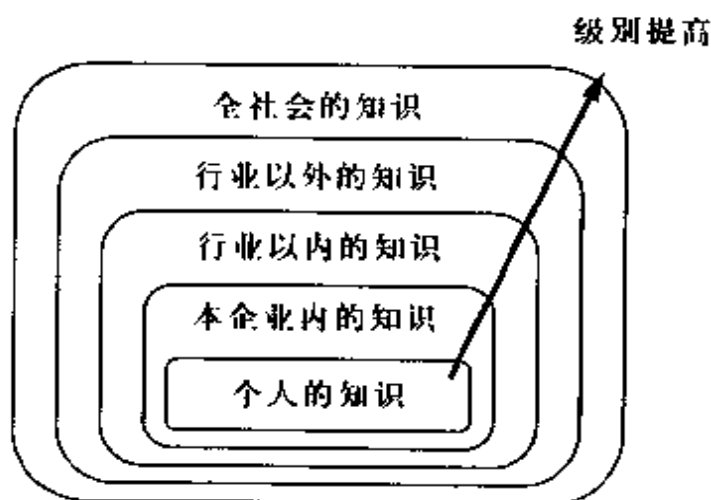


图 3-4 知识圈

行业已存在的知识与经验中获得大量的解,有意识地去发现这些解,将节省大量时间,降低产品开发成本。

3.3.2 工程实例

例 3-1

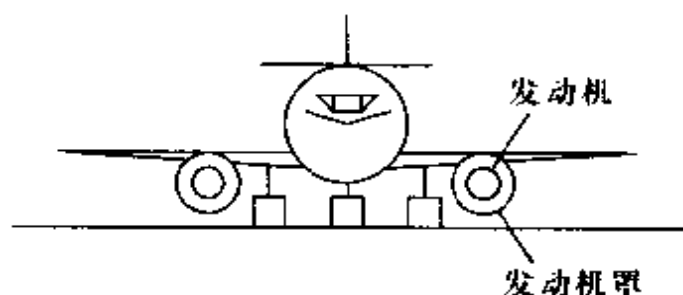
为压缩空气的储气罐设计一新型防护罩。目前的防护罩是金属制成的,成本高。新罩在满足安全性要求的前提下,要降低成本。

该问题一种可能的解是用工程塑料代替金属,新防护罩的形状可参照原设计,为增加刚度与强度,在其内壁适当增加加强筋就能满足要求。

该解的级别为 1 级。用塑料替代金属是一普遍接受的概念,设计很简单,个人即可完成。因此,解的级别属于 1 级。

例 3-2

波音公司改进 737 的设计时,需要将使用中的发动机改为功率更大的发动机。发动机功率越大,它工作时需要的空气越多,发动机罩的直径要增大。发动机罩增大,机罩离地面的距离就会减小,而距离的减小是不允许的。增加发动机功率所产生的技术冲突,如图 3-5 所示。现要求解决该问题。



该问题最后的解 图 3-5 增加发动机功率所产生的技术冲突为,增加发动机罩的直径,以便增加空气的吸入量,但为了不减小与地面之间的距离这一技术冲突,把发动机罩的底部由曲线变为直线。

通过改变发动机罩底部的形状,即将对称改为不对称,解决了增加空气吸入量,又不减小罩与地面的距离。该解属于 2 级。

例 3-3

自行车链条必须做环行运动,又必须有足够的刚度以能传递来自脚蹬的力。采用链板与滚子两种主要元件构成的链条解决了

整体具有柔性，局部具有刚度，即整体与局部具有相反的特性的问题。

链条所依据的工作原理或原理解属于 3 级。链条的发明对自行车成为普遍采用的交通工具起了重要作用。

例 3-4

制造金刚石刀具时，不希望金刚石内部有微小裂纹。需设计一种设备，利用该设备将大块金刚石沿已存在的微小裂纹的方向将其分解为小块。

在食品工业中，将胡椒的皮与子分开采用升压与降压原理。首先将胡椒放在一容器中，将容器中的空气升至 8kPa，之后快速降压，胡椒的皮与子就分开了。

采用同样的道理，设计一容器，将大块的金金刚石放入，之后升压（压力值可由实验得到），突然降压，大块金刚石将沿内部微裂纹分开。

通过升压/降压分解金刚石的原理来自于机械行业以外。因此，属于 4 级。

例 3-5

Karnopp 于 20 世纪 70 年代提出了汽车半主动悬架（Semi-Active Suspension）的概念。该悬架主要由弹簧及可控减振器组成，可控减振器按某种控制律输出控制力。与传统的被动悬架相比，该类悬架可以提高汽车的乘坐舒适性、操纵稳定性、减少车轮动载。图 3-6 是原理图。

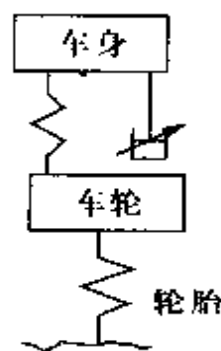


图 3-6 半主动悬架

经过近代 30 年的努力，基于该原理的半主动悬架已成功地用于高档商品轿车、赛车、重要的载重汽车之中，目前国际上半主动悬架的研究主要是降低成本、提高可靠性，已能装到普通轿车上。因此，该原理属于 5 级，它的提出对汽车工业的发展起了重要的作用。

3.4 理想解

把所研究的对象理想化是自然科学的基本方法之一。理想化是对客观世界中所存在物体的一种抽象,这种抽象客观世界既不存在,又不能通过实验验证。理想化的物体是真实物体存在的一种极限状态,对于某些研究起着重要作用,如物理学中的理想气体、理想液体,几何学中的点与线等。在 TRIZ 中理想化是一种强有力的工具,在创新过程中起着重要作用。

3.4.1 理想化

在 TRIZ 中,理想化的应用包含:理想系统、理想过程、理想资源、理想方法、理想机器和理想物质等。理想化的描述如下:

理想机器:没有质量、没有体积,但能完成所需要的工作。

理想方法:不消耗能量及时间,但通过自身调节,能够获得所需的效应。

理想过程:只有过程的结果,而无过程本身,突然就获得了结果。

理想物质:没有物质,功能得以实现。

理想化分为局部理想化与全局理想化两类。局部理想化是指对于选定的原理,通过不同的实现方法使其理想化;全局理想化是指对同一功能,通过选择不同的原理使之理想化。

局部理想化的过程有如下四种模式:

(1) 加强 通过参数优化、采用更高级的材料、引入附加调节装置等加强有用功能的作用。

(2) 降低 通过对有害功能的补偿,减少或消除损失或浪费,采用更便宜的材料、标准零部件等。

(3) 通用化 采用多功能技术增加有用功能的个数。如现代多媒体计算机具有电视机、电话、传真机、音响等的功能。

(4) 专用化 突出功能的主次。如早期的汽车厂要生产零部件,最后将它们组装成汽车,今天的汽车厂主要是组装汽车,而

零部件由很多专业配套厂生产。

全局理想化有如下三种模式：

(1) 功能禁止 在不影响主要功能的条件下，去掉中性的及辅助的功能。如采用传统的方法为金属零件刷漆后，从漆的溶剂中挥发出有害气体；采用静电场及粉末状漆可很好地解决该问题，当静电场使漆粉末均匀地覆盖到金属零件表面后，加热零件使粉末熔化，刷漆工艺完成，其间并不产生溶剂挥发。

(2) 系统禁止 如果采用某种可用资源后可省掉辅助子系统，一般可降低系统的成本。如月球上的真空使得月球车上所用灯泡的玻璃罩是多余的，玻璃罩的作用是防止灯丝氧化，月球上无氧气不会氧化灯丝。

(3) 原理改变 改变已有系统的工作原理，可简化系统或使过程更为方便。如采用电子邮件代替传统邮件，使信息交流更加方便快捷。

设计人员在设计过程开始需要选择目标，即将问题局部理想化还是将其全局理想化。通常首先考虑局部理想化，所有的尝试都失败后才考虑全局理想化。

3.4.2 理想化水平

技术系统是功能的实现，同一功能存在多种技术实现，任何系统在完成人们所需的功能时，都有负面作用。为了对正反两方面作用进行评价，采用如下公式：

$$\text{Ideality} = \sum UF / \sum HF \quad (3-1)$$

式中 Ideality——理想化水平；

$\sum UF$ ——有用功能之和；

$\sum HF$ ——有害功能之和。

该公式的意义为：技术系统的理想化水平与有用功能之和成正比，与有害功能之和成反比。当改变系统时，如果公式中的分子增加，分母减小，系统的理想化水平提高，产品的竞争能力增强。

增加理想化水平可用如下四种方式之一：

(1) $d(\sum UF)/dt > d(\sum HF)/dt > 0$ 式(3-1)中分子增加的速率高于分母增加速率。

(2) $d(\sum UF)/dt > 0, d(\sum HF)/dt < 0$ 式(3-1)中的分子增加,分母减少。

(3) $d(\sum UF)/dt = 0, d(\sum HF)/dt < 0$ 式(3-1)中的分子不变,分母减少,即有害功能减少。

(4) $d(\sum UF)/dt > 0, d(\sum HF)/dt = 0$ 式(3-1)中分母不变,分子增加,即有用功能增加,有害功能不变。

为使分析更加方便,将式(3-1)中的有害功能分解为代价与危害是方便的,将有用功能之和用效益之和来代替,如式(3-2)所示。

$$\text{Ideality} = \sum \text{Benefits} / (\sum \text{Expenses} + \sum \text{Harms}) \quad (3-2)$$

式中 Ideality —— 理想化水平;

Benefits —— 效益;

Expenses —— 代价;

Harms —— 危害。

代价包括原料的成本、系统所占用的空间、所消耗的能量及所产生的噪声等。危害包括废弃物及污染等。

式(3-2)的意义为产品或系统的理想化水平与其效益之和成正比,与所有代价及所有危害之和成反比。不断地增加产品理想化水平是产品创新的目标。

3.4.3 理想解的确定方法

3.4.3.1 理想解的定义

产品处于进化之中,进化的过程就是产品由低级向高级演化的过程。如数控机床是普通机床的高级阶段,加工中心又是数控机床的高级阶段。再如彩色电视机是黑白电视机的高级阶段,高清晰度彩电是一般彩电的高级阶段。在进化的某一阶段,不同产品进化的方向是不同的,如降低成本、增加功能、提高可靠性、减少污染等都是产品可能的进化方向。如果将所有产品作为一个整

体,低成本、高功能、高可靠性、无污染等是产品的理想状态。产品处于理想状态的解称为理想解(IFR, Ideal Final Result)。因此,每种产品都向着它的理想解进化。

理想解可采用与技术及实现无关的语言对需要创新的原因进行描述,创新的重要进展往往通过对问题深入的理解所取得。确认那些使系统不能处于理想化的元件是使创新成功的关键。设计过程中从一起点向理想解过渡的过程称为理想化过程。

理想解有如下四个特点:

- 1) 消除了原系统的不足之处。
- 2) 保持原系统的优点。
- 3) 没有使系统变得更复杂(采用无成本或可用资源)。
- 4) 没有引入新的缺陷。

当确定了待设计产品或系统的理想解后,可用上述四个特点检查,也要用式(3-1)和式(3-2)检查理想解是否正确。

例 3-6

考虑割草机作为工具,草坪上的草作为被割的目标。割草机在割草时发出噪声、消耗燃料、产生空气污染、甩出的草片有时会伤害推割草机的工人。假如设计者的任务是改进已有的割草机,设计者可能会很快想到要减少噪声、增加安全性、降低燃料消耗。但如果确定理想解,就会勾画出未来割草机及草坪维护工业的更佳蓝图。

用户需要的究竟是什么?是非常漂亮且不需要维护的草坪。割草机本身不是用户需要的一部分。从割草机与草坪构成的系统看,其理想解为草坪上的草长到一定的高度就停止生长。至少国际上有两家制造割草机的公司正在试验这种理想草坪的草种,该草种被称为“漂亮草种(Smart Grass Seed)”。

假定设计者的任务不是在公司或草坪维护工业水平上考虑问题,而要求减少割草机的噪声,其理想解为安静的割草机。噪声低与安静是不同的概念。为了达到低噪声的目的,设计人员要为

系统增加阻尼器、减振器等,这不仅增加了系统的复杂性,同时也降低了系统的可靠性。为了使割草机安静,设计人员要寻找并消除噪声源,这不仅提高了割草机的效率,也达到了最初要求降低噪声的目的。

3.4.3.2 理想解的确定

对于很多的设计实例,理想解的正确描述会直接得出问题的解,其原因是与技术无关的理想解使设计者的思维跳出问题的传统解决方法。

ARIZ 中给出了确定理想解的步骤,现描述如下:

- 1) 设计的最终目的是什么?
- 2) 理想解是什么?
- 3) 达到理想解的障碍是什么?
- 4) 出现这种障碍的结果是什么?

5) 不出现这种障碍的条件是什么?创造这些条件存在的可用资源是什么?

为了说明上述步骤的应用,Gasanov 给出了如下有趣的例题:

农场养兔子:兔子需要新鲜草,农场主既不希望兔子走得太远而不易被发现,又不希望花很多时间把鲜草送到兔子旁边。应用上述五步分析该问题并提出理想解。

- 1) 问题的最终目的是什么?兔子能够吃到新鲜的青草。
- 2) 理想解是什么?兔子永远自己吃到青草。
- 3) 达到理想解的障碍是什么?放兔子的笼子不能移动。
- 4) 出现这种障碍的结果是什么?由于笼子不能移动,可被兔子吃的草地面积不变,短时间内青草就被吃光了。

5) 不出现这种障碍的条件是什么?当兔子基本吃光笼子内的鲜草时,笼子移动到另一块有青草的地方。

创造这些条件存在的可用资源是什么?笼子本身按上轮子,兔子自己可推动其运动到有青草的地方。即兔子本身就是可用资源。

例 3-7

要研制一种新型润滑油,该润滑油是在一种已有润滑油的基础上,添加 2% 的金属粉末。当摩擦表面工作时,润滑油中的金属粉末能减少磨损。金属粉末的颗粒要很小,才能起到减磨的作用。

该问题的理想解是:金属粉末溶于传统润滑油的溶液。

例 3-8

暖房的房顶是由金属框架、玻璃或塑料布组成的。为了使暖房中作物在恒温状态下生长,目前大多数暖房的温度调节是靠手动方式。

该问题的理想解是:当暖房的温度升高到特定的温度时,房顶自己自动打开;当温度降低到特定的温度时,房顶自动关闭。

3.5 本章小结

发明创造是有级别的,级别越高,创新设计的过程越困难,则产品的市场竞争力越强。高级别产品的发明不仅需要设计人员自身的素质,更需要行业以外,或全人类的已有研究成果。企业要不断地吸收不同行业的知识创新成果,并在自己的产品中应用,以永远保持企业的市场竞争力。

发明创造的理想状态是理想解的实现,尽可能使企业的产品接近于其理想解是产品创新的指导思想。确定所设计产品的理想解是设计人员综合素质的体现。

第4章 产品进化过程及进化定律

4.1 概述

从历史的观点研究一类产品,如汽车、计算机、自行车、机床等,会发现这些产品今天的实现形式与其刚诞生时相比已有很大或根本性的变化。但这些产品的主要功能并没有变化,如汽车与自行车的主要功能是“运送货物与人”,计算机的主要功能是“代替人进行计算”,机床的主要功能是“加工零件”。人类需求的质量、数量及对产品实现形式的不断变化,迫使企业不得不根据需求变化及实现的可能,增加产品的辅助功能、改变其实现形式。即从历史的观点看,产品处于进化之中。

为了生存与发展,快速、有效地开发新产品是企业竞争中取胜的重要武器。世界上大多数的新产品是在老产品或当前产品的基础上开发出来的。企业在新产品研发决策过程中,要预测当前产品的技术水平及新一代产品可能的进化方向,这种预测的过程称为技术预测(Technology Forecasting)。

技术预测的研究起始于半个世纪以前。最初应用于军工产品,即对武器及部件的性能进行技术预测,后来也用于民用产品。在长期的研究过程中,理论界提出了技术预测的多种方法,图4-1被称为 Worlton 逻辑树,其内涵为不同预测方法的抽象描述。

树的最高层为预测方法,该方法被分为两大类:规范化方法(Normative)与探索性方法(Exploratory)。规范化方法的核心是“发现某个特征,确认使该特征能够实现的活动。”,即该方法倾向于提出促使理想特征实现的策略与过程,该类方法中的核心方法是形态分析法(Morphologic Analysis)。探索性方法通过对过去与将来

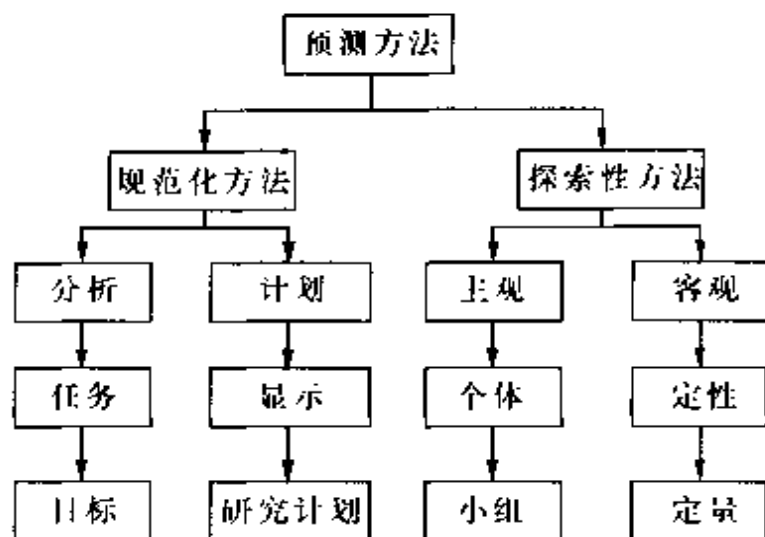


图 4-1 Worlton 逻辑树

从低级到高级进化的过程预测未来，该类方法中的核心方法为 S—曲线及 Delphi 法，前者为客观、定量法，后者为主观、小组法。

上述各种方法是西方世界提出的方法。MIT 的 Frauens 2000 年指出西方传统的技术预测存在如下 3 条缺点：

- 1) 预测所需要的准则太弱。
- 2) 支持提出及实现可能特征的工具集是有限的。
- 3) 确定目前产品功能的潜力主要取决于专家。

Frauens 还指出：前苏联 TRIZ 中的技术系统进化 (Technology System Evolution) 理论已提供了强有力的技术预测工具，这些工具包括产品进化定律及进化路线等。

本章系统地介绍 TRIZ 中的产品进化理论成果及应用实例。

4.2 产品进化过程实例

4.2.1 潜艇

公元前 332 年，亚历山大大帝命令其部下建造一只防水的玻璃桶，自己进入桶里，让部下们把桶放到海水下面，他记录了所见到的各种动物。亚力山大是早期进行水下探索的人之一。

1624 年，德雷贝尔建造了一个能在水中被驱动的防水舱，他让 12 人进入船体，并划六支桨推动这个装置。

1776年,布什内尔建造了一潜水器,用来攻击停在美国纽约港的英国军舰。这是第一艘参加战斗的潜水器。该潜水器像一只大木筒,里面有一张条凳,像自行车脚蹬似的东西驱动船体。该潜水器还配有罗盘、深度尺、驾驶装置、可变压舱、防水船体配件和一只锚。

19世纪末,现代潜艇之父霍兰主持建造了“霍兰”号潜艇。该潜艇在水下使用电动机,在水面巡航时使用蒸汽机,是第一艘能够下沉、潜行、上浮并发射鱼雷的潜艇。该潜艇没有潜望镜,艇员们要从平板玻璃向外观察。为了监测氧气含量,艇员们常把老鼠装在笼子里带上潜艇,如果老鼠死亡或接近死亡,说明氧气不足了,应赶快返航。1900年,美国海军购买了“霍兰”号潜艇,并且又订购了几艘同样的潜艇。

又经过了半个世纪,全世界第一艘核动力潜艇“鹦鹉螺”号诞生了,与柴油机驱动的潜艇不同,该潜艇可在水下连续呆几个星期。1954年,该潜艇在水下穿越了北极。

从产品的观点看,亚历山大大帝玻璃桶只是对海洋水下的初步探索,其核心技术是构造一个不漏水的水下空间;1624年的防水舱及1776年的潜水器其核心技术都是采用人工产生的动力驱动,潜水器中的罗盘等是对防水舱的不断改进;“霍兰”号潜艇的核心技术是采用机械驱动——电动机或蒸汽机驱动,能真正装备海军,因此是现代潜艇;“鹦鹉螺”号潜艇的核心技术是采用了核动力驱动,可在水下呆更长的时间。

4.2.2 自行车

自行车是1817年发明的。称为“木房子”的第一辆自行车由机架及木制的轮子组成,没有手把,骑车人的脚是驱动动力。从工程的观点看,该车不舒适、不能转向等。

1861年,基于“木房子”的新一代自行车设计成功,该车是现在所说的“早期脚踏车”,“木房子”的缺点依然存在。

1870年,被称为“Ariel”的自行车设计成功,该车前轮安装在

一个垂直的轴上,使转向成为可能,但依然不安全、不舒适、驱动困难。

1879年,脚蹬驱动、链轮及链条传动的自行车设计成功,该类车的速度可以达到很高,但该类自行车没有车闸,因此高速骑车时很危险。

1888年,车闸设计成功,前轮直径已变大,但零部件材料不过关,影响了自行车的速度。

20世纪,各种新材料用于自行车零件。

在自行车进化的过程中,全世界申请了相关专利1万件。

产品进化实际上是产品核心技术从低级向高级变化的过程。对于一种核心技术,产品应不断地对其子系统或部件进行改进,以提高其性能。设计人员不断的努力,是推动产品进化的根本动力。

4.3 产品进化过程曲线

4.3.1 通常的S—曲线

S—曲线通常如图4-2所示。图中横坐标为时间,即依据一项核心技术所推出的一系列产品的时间;纵坐标为产品的性能参数值,该参数值不能超过自然限制。从横坐标上将产品分为三个阶段:新发明、技术改进及技术成熟。

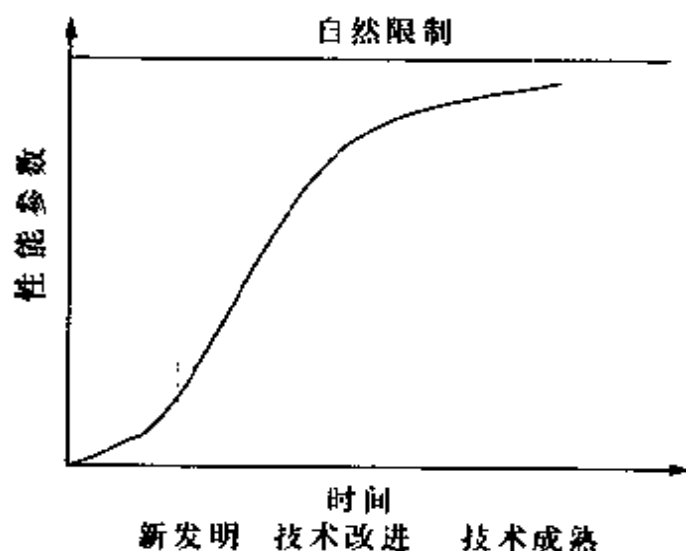


图 4-2 S—曲线

在新发明阶段,一项新的物理的、化学的、生物的发现,被设计人员转变成产品。不同的设计人员对同一原理的实现是不同的,已设计出的产品还要不断改善。因此,随时间的推移,产品的性能指标不断提高。

在上一阶段结束时，很多企业已认识到，基于该发现的产品有很好市场潜力，应大力开发。因此，将投入很多的人力、物力与财力用于新产品开发，新产品的性能参数快速增长。这就是技术改进阶段。

随产品进入技术成熟阶段，所推出的新产品性能参数只有少量增长。继续投入进一步完善已有技术的效益减少，企业应研究新的核心技术以在适当的时间替代已有产品的核心技术。

对于企业决策，具有指导意义的是能够确定曲线的拐点。第一个拐点之后，企业应从原理实现的研究转入商品化开发，否则，该公司将被恰当转入商品化开发的公司甩在后面。当出现第二个拐点后，产品的技术已进入成熟期，企业因生产该产品获取利润，同时要研究优于该产品工作原理的更高一级核心技术，以便将来在适当机会转入下一轮的产品竞争。

一代产品的发明要依据某一项核心技术，之后经过完善使该技术逐渐成熟。在这期间，企业要有大量的投入，但如果技术已成熟，推动技术更加成熟的投入不会取得明显收益。此时，企业应转入研究、选择替代技术或新的核心技术。该过程可用 S—曲线族表示，如图 4-3 所示。

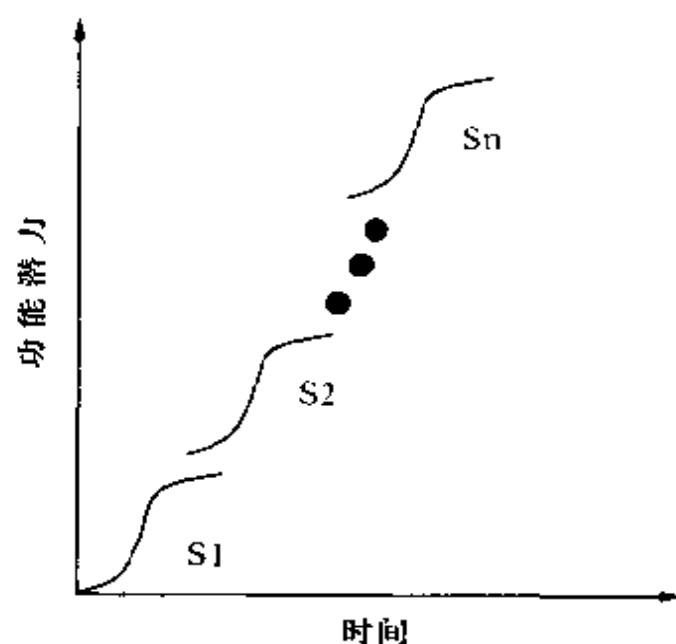


图 4-3 S—曲线族

4.3.2 TRIZ 中的 S—曲线

通过对大量专利的分析，Altshuller 发现产品的进化规律满足 S—曲线。但进化过程是靠设计者推动的，当前的产品如没有设计者引入新的技术，它将停留在当前的水平上，新技术的引入使其

不断沿某些方向进化。TRIZ 中的 S—曲线如图 4-4 所示。

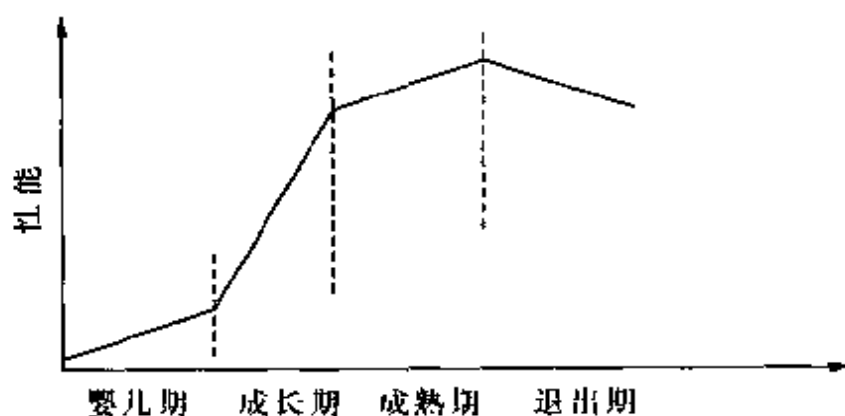


图 4-4 分段线性 S—曲线

图 4-4 是分段线性 S—曲线。其优越性是曲线中的拐点容易确定。图中将一代产品分为婴儿期、成长期、成熟期、退出期。确定产品在 S—曲线上位置是产品进化理论研究的重要内容，并称为产品技术成熟度预测。处于婴儿期及成长期的产品应对其结构、参数等进行优化，使其尽快成熟，以为企业带来利润。处于成熟期与退出期的产品，企业在赚取利润的同时，应开发新的替代技术，以便推出新一代产品，使企业在未来市场竞争中取胜。

4.3.3 产品技术成熟度预测曲线

企业在制定 R&D 计划时，知道自己的产品技术成熟度是正确决策的关键。但事实上，很多企业的决策并不科学。Ellen Domb 认为：“人们往往基于他们的情绪与状态来对其产品技术成熟程度做出预测，假如人们处于兴奋状态，则常把他们的产品置于‘成长期’，如果他们受了挫折，则可能认为其产品已处于退出期”。因此，需要一种系统化的产品技术成熟度预测方法。

Altschuller 通过研究发现：任何系统或产品都按生物进化的模式进化，同一代产品进化分为婴儿期、成长期、成熟期和退出期四个阶段，这四个阶段可用生物进化中的“S—曲线”表示，如图 4-4 所示。

四种曲线用于技术系统在“S—曲线”上所处位置的预测。这

四种曲线分别是：单位时间内的专利数、单位时间内的专利或发明级别、单位时间内的技术性能和单位时间内的利润。各曲线的形状如图 4-5 所示。收集当前产品的有关数据建立这四条曲线，所建立曲线的形状与这四条曲线的形状比较，就可确定产品的技术成熟度。

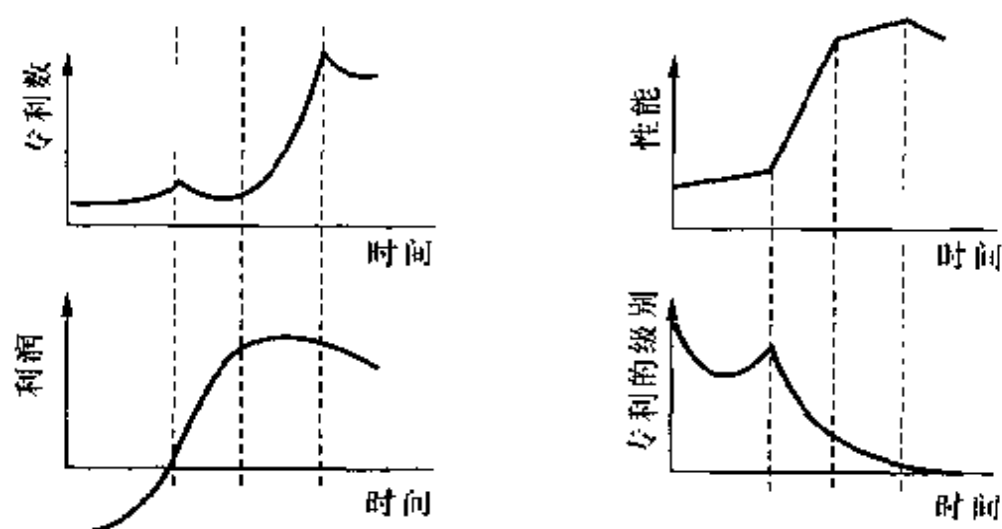


图 4-5 技术成熟度预测曲线

当一条新的自然规律被科学家揭示后，设计人员依据该规律提出产品实现的工作原理，并使之实现。这种实现是一项级别较高的发明，该发明所依据的工作原理是这一代产品的核心技术。一代产品可由多种系列产品构成，虽然产品要不断完善，不断推陈出新，但作为同一代产品的核心技术是不变的。

一代产品的第一个专利是一高级别的专利，如图 4-5“时间—专利的级别曲线”所示。后续的专利级别逐步降低。但当产品由婴儿期向成熟期过渡时，有一些高级别的专利出现，正是这些专利的出现，推动产品从婴儿期过渡到成长期。

图 4-5“时间—专利数”曲线表示专利数随时间的变化。开始时，专利数较少，在性能曲线的第三个拐点处出现最大值。在此之前，很多企业都为此产品的不断改进而投入，但此时产品已到了退出期，企业进一步增加投入已没有什么回报。因此，专利数降低。

图 4-5 中的“时间—利润”曲线表明：开始阶段，企业仅仅是投入并没有赢利。到成长期，产品虽然还有待于进一步完善，但产品已出现利润。之后，利润逐年增加，到成熟期的某一时间达到最大，之后开始降低。

图 4-5 中的“时间—性能”曲线表明，随着时间的延续，产品性能不断增加，但到了退出期后，其性能很难再有所增加。

如果能收集到产品的有关数据，绘出上述四条曲线，通过曲线的形状，可以判断出产品在 S—曲线上所处的位置。从而，对其技术成熟度进行预测。

图 4-6 表示了产品技术成熟度预测后的两种结果。如果产品处于婴儿期或成长期，则需要对产品进行优化，以改善已有的 S—曲线；反之，则需要产品创新，以产生新的核心技术，替代已有的核心技术，即使产品移入新的 S—曲线。

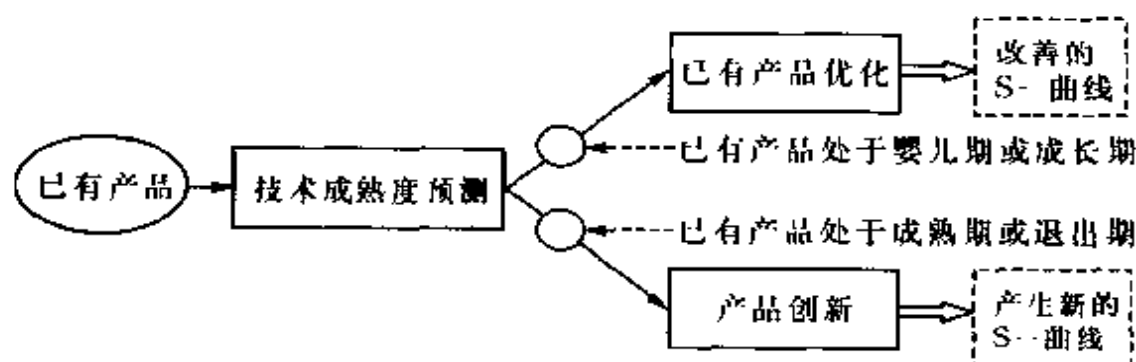


图 4-6 基于产品技术成熟度预测的产品 R&D 决策

4.4 产品优化

已有产品的优化是指产品的核心技术即工作原理不变，而对其实现技术进行优化，包括材料选择、加工工艺、结构的装拆、性能、造型等的优化，如图 4-7 所示。

已有大量的教材、参考书和论文等系统介绍过产品优化，故此处不再详细介绍，而只对参数优化中的参数稳健设计作一简单介绍。

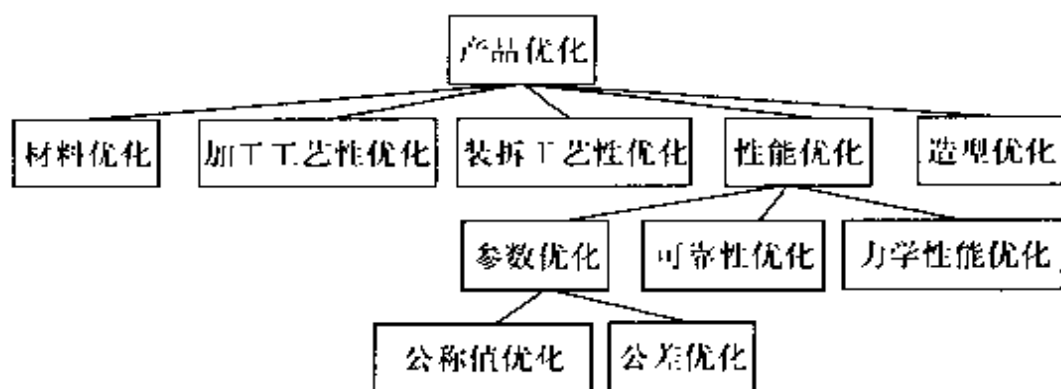


图 4-7 产品优化的内容

4.4.1 稳健设计背景

影响产品质量的变量分为两类：设计变量和干扰变量。设计变量指在设计过程中设计者可以控制的变量，如几何尺寸；干扰变量指在设计过程中设计者不可能或很难控制的变量，如工作环境中的温度、湿度。稳健设计是一种满足产品高性能、低成本、高抗干扰质量指标的设计方法。稳健设计方法可分为两类：一类是以经验或半经验为基础的方法，称为传统稳健设计法；另一类是以数学模型为基础的方法，称为现代稳健设计法。前一类包括田口稳健设计法、双响应面法，广义线性模型法等；后一类包括最小灵敏度法、容差多面体法、变差传递法等。

随着设计过程数字化的发展，基于数学模型是现代稳健设计的研究已经愈来愈受到学术界和工程界的重视。最小灵敏度法是在不考虑公差的情况下求设计变量的值，容差多面体法适用于公差设计问题，变差传递法是在已知公差的情况下求设计变量和干扰变量的值。现代稳健设计方法正处于发展之中，提出新的、适用性更好的方法一直是最活跃的研究课题。

本文将提出公差设计的最小偏差数学模型，该模型与最小灵敏度数学模型一起构成一种稳健设计新方法。该方法以反映待设计产品功能特性的数学模型为基础，与优化技术相结合，通过合理调整设计变量及控制其公差，使产品对于干扰变量的灵敏度最小，即当干扰变量的值与目标值发生偏差时，仍能保证产品质量。

4.4.2 参数设计

基于稳健设计原理,参数设计的基本思想是合理选择设计变量的公称值,使干扰变量对产品质量的影响达到最小,即产品质量对干扰变量的灵敏度最小。假设 f 代表产品功能特性,它是设计变量 x 及干扰变量 b 的函数。

$$f = f(x, b) \quad (4-1)$$

式中 x ——设计变量组成的向量, $x \in R^n$;

b ——干扰变量组成的向量, $b \in R^p$ 。

最小灵敏度设计是确定设计变量 x^* , 使得 f 对 b 灵敏度最小,那么稳健设计问题就转变为寻找 x^* 的问题。 x^* 可由模型(4-2)求出。

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^n \left| w_i \frac{\partial f(x, b)}{\partial b_i} \right|_{b=b^0} \\ \text{S.T. } f(x, b^0) \leq f^a \\ g_j(x, b^0) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m \\ x_L \leq x \leq x_U \end{cases} \quad (4-2)$$

式中 w_i ——干扰变量灵敏度的权值;

b^0 —— b 的估计值;

f^a —— f 的允许值;

g_j —— m 个约束条件;

x_U, x_L —— x 的上、下界。

4.4.3 公差*设计

工程中的一类问题要求特性函数在某一范围内变化,设计的目标是在保证质量的前提下,尽可能增大各参数值的公差,以降低制造成本。为此,提出如下的公差设计最小偏差数学模型。

进行公差设计时,首先分析各个设计变量在稳健 x^* 解附近对特性函数的影响趋势,影响趋势包括随着设计变量的增大,特性函数增大以及特性函数减小两种。一般参数的公差与公称值相比很小,可认为特性函数在公差带内的变化是单调的。

设 Δx^+ 、 Δx^- 为设计变量的上、下偏差, 如果特性函数是设计变量 x_i^* 的增函数, 则 x_{i-}^* 为 $x_i^* - \Delta x_i^-$, x_{i+}^* 为 $x_i^* + \Delta x_i^+$; 如果特性函数是设计变量 x_i^* 的减函数, 则 x_{i-}^* 为 $x_i^* + \Delta x_i^+$, x_{i+}^* 为 $x_i^* - \Delta x_i^-$ 。

公差设计的最小偏差数学模型可表示为如下一多目标优化问题:

$$\begin{cases} \min |f(x^*, b^0) - f_-^0|, |f(x^*, b^0) - f_+^0| \\ \text{S.T. } f(x^*, b^0) \geq f_-^0, f(x^*, b^0) \leq f_+^0 \\ g_j(x^*, b^0) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m \\ \Delta x_L \leq \Delta x^- \leq \Delta x_U, \Delta x_L \leq \Delta x^+ \leq \Delta x_U \end{cases} \quad (4-3)$$

式中 $x_-^* = [x_{1-}^*, x_{2-}^*, \dots, x_{i-}^*, \dots]$;

$x_+^* = [x_{1+}^*, x_{2+}^*, \dots, x_{i+}^*, \dots]$;

f_-^0 ——特性函数允许值的下界;

f_+^0 ——特性函数允许值的上界;

$\Delta x_L, x_U$ ——设计变量公差下界的下限和上限;

$\Delta x_L, x_U$ ——设计变量公差上界的下限和上限。

在模型 (4-3) 中, 如果特性函数只有上界或下界, 则该模型为一单目标优化问题。通过求解该模型可求出设计变量的上下偏差 Δx^+ 和 Δx^- 。

4.4.4 杆构件的稳健设计

现以三杆构件的设计为例说明设计方法的运用。三杆构件如图 4-8 所示。

杆②和杆③被首先固定在联结板上, 杆①的制造公差为 $\pm \delta$, 杆 1 太长、太短都会使它被强制联结到

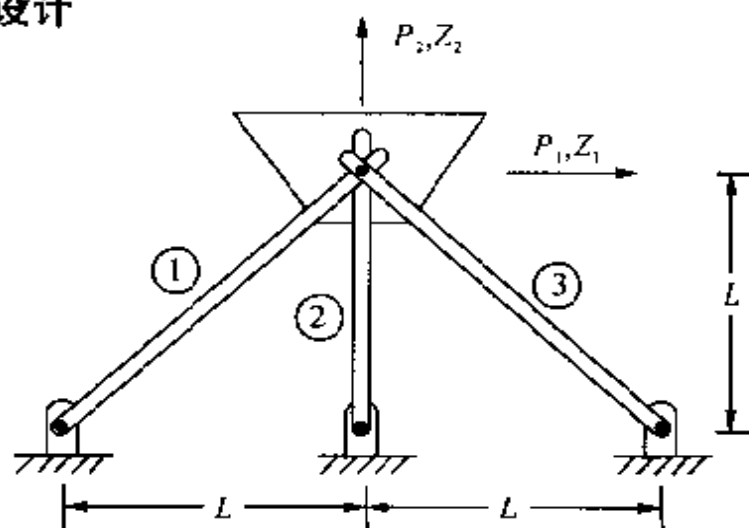


图 4-8 三杆构件

指定位置。构件受 x 、 y 向的载荷 P_1 、 P_2 。光学装置的支架要求 x 向的偏移 Z_1 限制在允许范围 Z_1^{all} 内。 Z_1 的制造公差 δ 是干扰变量, 公称值为 0 即 $\delta^* = 0$ 。设计变量是杆的截面积 A_i (杆 i 的截面积), $b = [A_1, A_2, A_3]$ 组成了设计变量的向量。

1. 参数设计 通过分析可以得到 Z_1 的数学表达式(4-4):

$$Z_1(b, \delta) = \frac{(2\sqrt{2}A_2 + A_1 + A_3)F_1 + (A_3 - A_1)F_2}{E(A_1A_2 + \sqrt{2}A_1A_3 + A_2A_3)} l + \frac{A_1(\sqrt{2}A_2 + A_3)}{(A_1A_2 + \sqrt{2}A_1A_3 + A_2A_3)} \delta \quad (4-4)$$

参数设计的目的是找到使 Z_1 对干扰变量 δ 灵敏度最小的设计变量, 根据构件的其他设计要求, 可以得到参数设计的数学模型:

$$\begin{cases} \min \left. \frac{dZ_1(b, \delta)}{d\delta} \right|_{\delta=\delta^*} \\ \text{S.T. } |Z_1(b, \delta^*)| \leq Z_1^{\text{all}} \\ V(b) \leq V_0 \\ |\sigma_i(b, \delta^*)| \leq \sigma_i^{\text{all}}, i=1, 2, 3 \\ b_L \leq b \leq b_U \end{cases} \quad (4-5)$$

式中 V_0 ——材料体积的上界;

σ_i ——杆 i 的强度;

b_U, b_L ——设计变量的上、下界。

载荷向量给定如下:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} + \delta \begin{Bmatrix} A_1 E/2L \\ A_2 E/2L \end{Bmatrix} \quad (4-6)$$

此例的数据如下:

$$P_1 = 44452.8 \text{ N}, \quad P_2 = -88905.6 \text{ N},$$

$$Z_1^{\text{all}} = 0.0254 \text{ mm}, \quad L = 254 \text{ mm},$$

$$\sigma_1^{\text{all}} = 34.3 \text{ MPa}, \sigma_2^{\text{all}} = 68.6 \text{ MPa}, \sigma_3^{\text{all}} = 34.3 \text{ MPa},$$

$$b_L = [64.516 \quad 64.516 \quad 64.516] \text{ mm}^2,$$

$$b_U = [6451.6 \quad 6451.6 \quad 6451.6] \text{ mm}^2,$$

$$E = 205.8 \times 10^3 \text{ MPa}, \quad \delta = 0,$$

$$V_0 = 3277.413 \text{ mm}^3$$

根据模型 (4-5) 即可求出稳健设计解 $b^* = [64.5, 5276.8, 5328.2] \text{ mm}^2$ 。

2. 公差设计 先分析各个设计变量在 b^* 附近对特性函数 Z_1 的影响趋势。由图 4-9 ~ 图 4-11 可以看出在 b^* 附近, Z_1 随着 A_1 、 A_2 的增大而增大, 随着 A_3 的增大而减小。所以 $b_-^* = [A_1 - \Delta A_1, A_2 - \Delta A_2, A_3 + \Delta A_3]$, $b_+^* = [A_1 + \Delta A_1, A_2 + \Delta A_2, A_3 - \Delta A_3]$ (假设公差对称分布)。因为 $Z_1(b_-, \delta)$ 小于 $Z_1(b_+, \delta)$, 而设计要求 Z_1 不大于它的允许值, 所以只要 $Z_1(b_+, \delta)$ 满足要求即可。

所以公差设计的数学模型为:

$$\begin{cases} \min |Z_1(b_+, \delta) - Z_1^{\text{all}}| \\ \text{S.T. } V(b_+) \leq V_0 \\ | \sigma_i(b_+, \delta) | \leq \sigma_i^{\text{all}}, i = 1, 2, 3 \\ \Delta b_l \leq \Delta b \leq \Delta b_u \end{cases} \quad (4-7)$$

式中 Δb_u —— 为设计变量公差的上限;

Δb_l —— 为设计变量公差的下限。

由此模型可求得 $\Delta b = [64.2, 8.3, 7.6] \text{ mm}^2$ 。

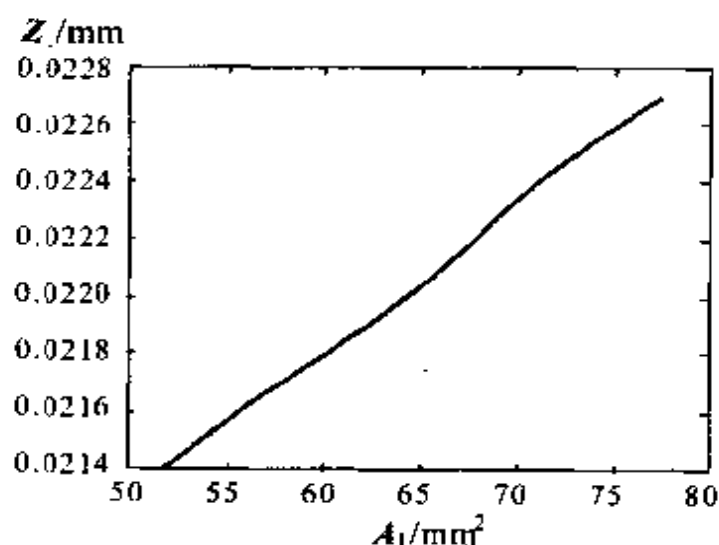


图 4-9 截面积 A_1 对 Z_1 的影响

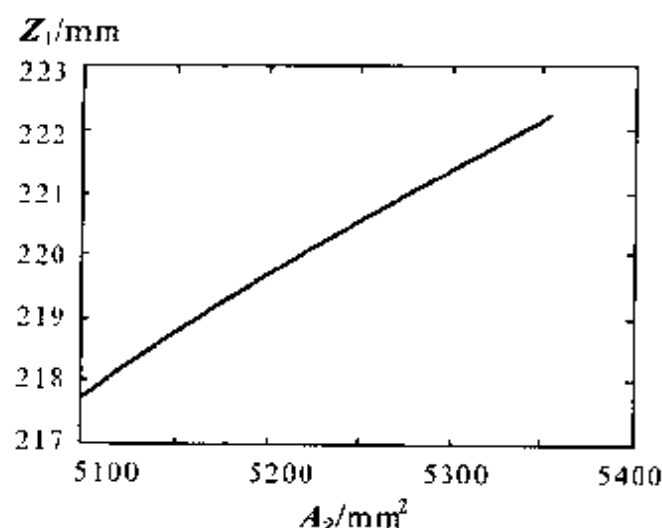


图 4-10 截面积 A_2 对 Z_1 的影响

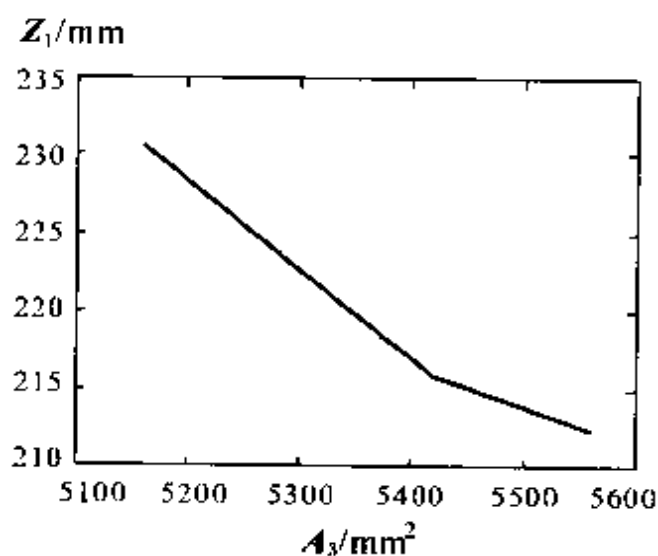


图 4-11 截面积 A_3 对 Z_1 的影响

4.5 产品进化模式

4.5.1 产品进化的四个阶段

从历史的观点看,产品进化分为如下四个阶段:

- 1) 为系统选择零部件。
- 2) 改善零部件。
- 3) 系统动态化。
- 4) 系统的自控制。

为系统选择零部件:飞机的发明是从 100 多年前开始的。当

时的发明人所考虑的问题是：飞行的部件是什么？发动机是否在机翼内？机翼是固定的还是活动的？如果是活动的，是否与鸟的翅膀相同？发动机的类型是什么？蒸气发动机还是电动发动机？经过多次实验，选用了固定式机翼及内燃机。

改善零部件：发明人改进组成技术系统的不同零部件，对其形状、各种关系进行优化，采用更合适的材料、尺寸等。对于飞机的改进，该阶段的问题是：一架飞机采用几个机翼，一个、两个还是三个；控制系统放在什么位置，前部还是后部；发动机的具体位置；螺旋桨应如何设计，是推动型还是拉动型；一架飞机应采用多少个齿轮，等等。经过该阶段的进化所设计的飞机与今天的飞机已很相似了。

系统动态化：在该阶段，很多采用刚性连接的零部件改为柔性连接，如发明了飞机的可伸缩起落架，能改变形状的机翼，机身的前部可上下移动，发明了使飞机垂直升降的发动机等。由于系统动态化进化，系统性能空前提高。

系统的自控制：这一进化步骤还没有广泛实现，但可从火箭、航天器的设计中看出该进化步骤已初露端倪，如运行中的航天器可对其自身的某些行为进行自组织。这只是该进化步骤的开始，未来的系统能自动地适应环境。

4.5.2 产品进化定律

通过对大量专利的分析，Altshuller 发现产品通过不同的技术路线向理想解方向进化，如图 4-12 所示，并提出了八条产品进化定律。

定律 1：组成系统的完整性定律。一个完整系统必须由四部分组成：能源装置、

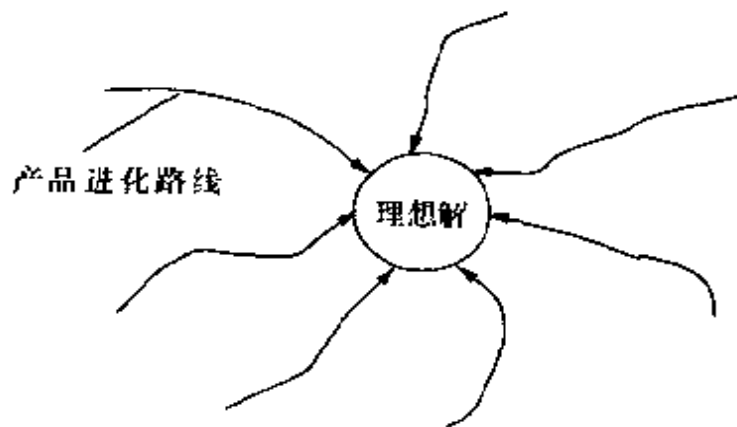


图 4-12 产品不同的进化路线

执行机构、传动部件和控制装置。

能源装置为整个系统提供能源,执行机构具体完成系统的功能,传动部件将能源装置中的能量传递到执行机构,控制装置对其他三个部分进行控制,以协调其工作。图 4-13 是一产品或系统的框图。缺少一部分的系统是不完整系统,会被竞争者的产品所替代而不能长久地生存下去。

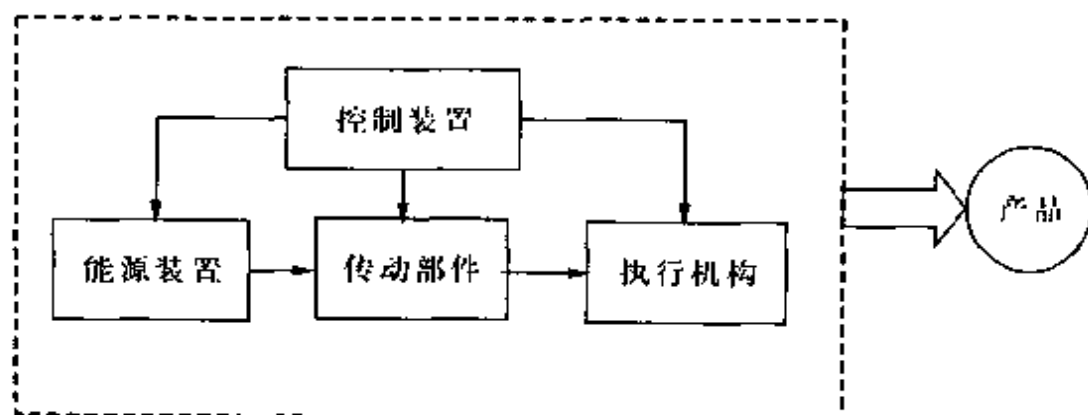


图 4-13 技术系统组成

定律 2: 能量传递定律。技术系统的能量从能源装置到执行机构传递效率向逐渐提高的方向进化。选择能量传递形式是很多发明问题的核心。

定律 3: 交变运动和谐性定律。技术系统向着交变运动与零部件自然频率相和谐的方向进化。

定律 4: 增加理想化水平定律。技术系统向增加其理想化水平的方向进化。

定律 5: 零部件的不均衡发展定律。虽然系统作为一个整体在不断改进,但零部件的改进是单独进行的,不同步的。

定律 6: 向超系统传递的定律。当一个系统自身发展到极限时,它向着变成一个超系统的子系统方向进化,通过这种进化,原系统升级到一种更高水平。

定律 7: 由宏观向微观的传递定律。产品所占空间向较小的方向进化。在电子学领域,先是应用真空管,之后是电子管,再后是大规模集成电路,就是典型的例子。

定律 8: 增加物质一场的完整性定律。对于存在不完整物质一场的系统,向增加其完整性方向进化。物质一场中的场从机械或热能向电子或电磁的方向进化。

4.5.3 技术系统进化模式

TRIZ 一直处于发展与完善过程中,20 世纪 90 年代,美国 Ideation Inc. 的 TRIZ 专家们,将 Altshuller 的产品进化四个阶段及八条定律发展成为技术系统进化的八种模式。这些模式更适合于技术系统及生产过程的创新。

模式 1: 技术系统的生命周期为出生、成长、成熟、退出。考虑到原有技术系统与新技术系统的交替,可描述为六个阶段。

阶段 1 系统还没有存在,但出现的重要条件已发现。

阶段 2 高级别的创新已出现,但发展很慢。

阶段 3 社会认识到新系统的价值。

阶段 4 初始系统概念的资源已用尽。

阶段 5 新一代产品开始出现,并代替原系统。

阶段 6 原系统的部分应用可能与新系统共同存在。

例:飞机

阶段 1 人类希望飞行的愿望失败了,但飞行成功的重要条件已发现。

阶段 2 怀特兄弟在一双翼飞机上以每小时 30 公里的速度成功地完成了飞行。

阶段 3 在第一次世界大战中飞机被用于战争。很多投资被用于飞机开发,其速度增加到每小时 100 公里。

阶段 4 采用木材与绳索所构成的飞机本体所能实现的空气动力学已达到极限。

阶段 5 采用金属本体的单翼飞机研制成功。

阶段 6 若干新型飞机已研制成功,但双翼飞机仍然存在。

模式 2: 增加理想化水平。

第一台计算机重数吨、需占用一大房间,但确实具有计算的

功能。目前的便携式计算机质量及体积都很小,且具有文字处理、数学计算、通信、绘图和播放多媒体等功能。

模式 3: 系统的不均衡发展导致冲突的出现。

不同的子系统具有不同的生命周期,某些子系统阻碍了系统整体的进化。产品进化中常见的错误是非关键子系统得到设计人员特别的关注。如设计人员努力开发更好的飞机发动机,但对飞机影响最大的是其空气动力学系统,因此,设计人员的努力对提高飞机性能的作用影响不大。

模式 4: 增加动态性及可控性。

早期的汽车是靠发动机的速度控制的,后来靠手工操纵齿轮变速器控制速度,之后是自动变速器。

模式 5: 通过集成以增加系统功能。

组合音响将 AM/FM 收音机、磁带机、VCD 机和喇叭等集成为一个系统,用户可根据需要选择自己需要的功能。

模式 6: 部件的匹配与不匹配交替出现。

早期的轿车采用板簧吸收振动,这种结构是从当时马车上借用的。随着轿车的进化,板簧与轿车的其他部分已不匹配,后来研制出轿车专用减振器。

模式 7: 由宏观系统向微观系统进化。

烹调用的灶具开始采用烧木材、或烧煤的炉子,之后的灶具烧气,后来出现了电加热灶具及微波炉。

模式 8: 增加自动化程度,减少人的介入。

最初洗衣服用搓板,后来出现了单缸、双缸洗衣机,之后是全自动洗衣机。

这八种模式导致产品不同的进化路线。通常,一个系统从其原始状态开始沿模式 1 和模式 2 进化,当达到一定的水平后将沿其余六种模式进化。每种模式都存在多条进化路线。进化路线的研究结果对指导产品创新具有重要意义。目前进化路线正在一些创新研究单位中进行研究,发表的研究结果较少。

4.6 工程实例:滚筒型纺纱机

纺织机械是一种典型的机械产品。企业的 R&D 部门需要制定长期的新产品开发策略。纺织机械很复杂,在其能被销售之前,需要有很长的开发周期,因此,需要确定预算及开发方向。错误的方向不仅导致短期效益的损失,还可能与竞争者们的技术产生巨大的差距,这对任何企业的发展都是致命的。下面以滚筒型纺纱机为例说明产品进化理论的应用。

4.6.1 滚筒技术成熟度预测

首先,从专利库中查出与该机器相关的 238 件专利,对每件专利进行详细的分析并确定其发明的级别。专利按 10 年分为一组,其性能确定为转子的速度,该速度相对于纤维长度与滚筒直径之比有一极限。效益不易算出,但可用所售出的设备台数近似估计。

图 4-14 是时间与专利数关系曲线。时间从 1940 年开始。图 4-15 是时间与专利的级别关系曲线。图 4-16 是时间—性能关系曲线。图 4-17 是时间—机器在世界市场上售出的台数关系曲线。图 4-18 是各种曲线的汇总。由汇总图可以看出,产品的技术已处于成熟期。

图 4-18 的预测结果表明,被预测的产品技术已处于成熟期,企业虽然可以继续生产该产品获取利润,但必须进行产品创新,寻找新的核心技术替代已经采用的技术,以使企业在未来的竞争

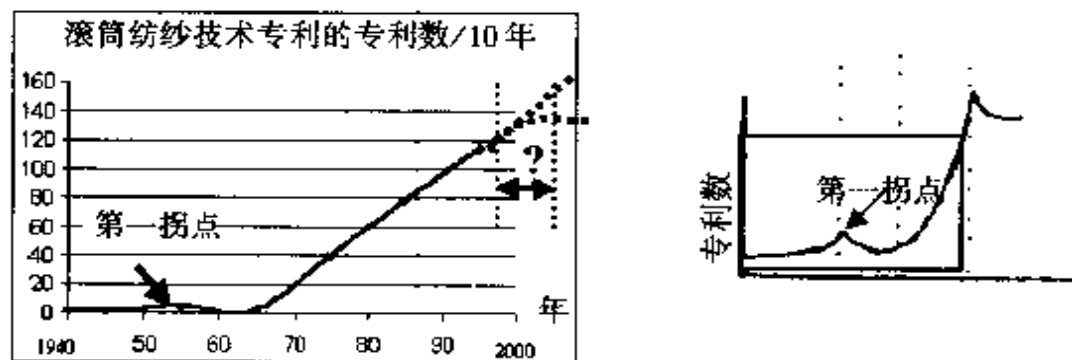


图 4-14 时间—专利数曲线

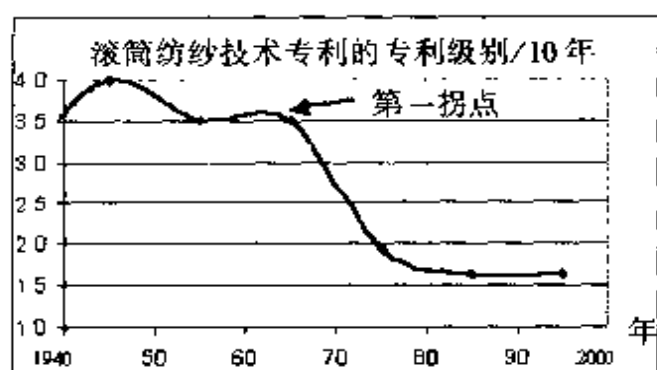


图 4-15 时间—专利级别曲线

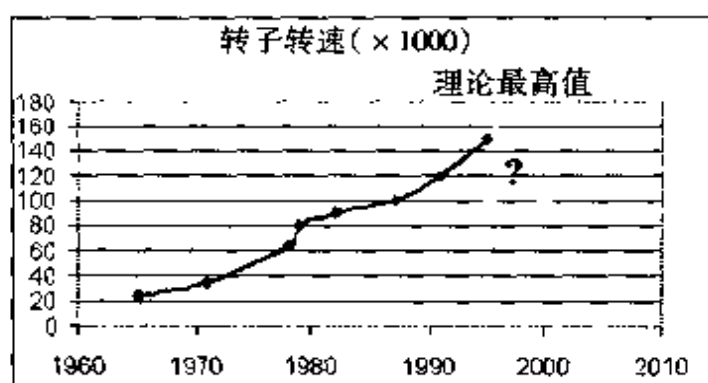
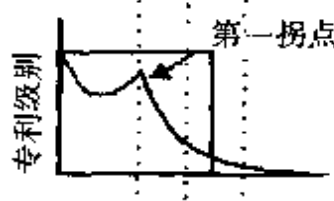


图 4-16 时间—性能曲线

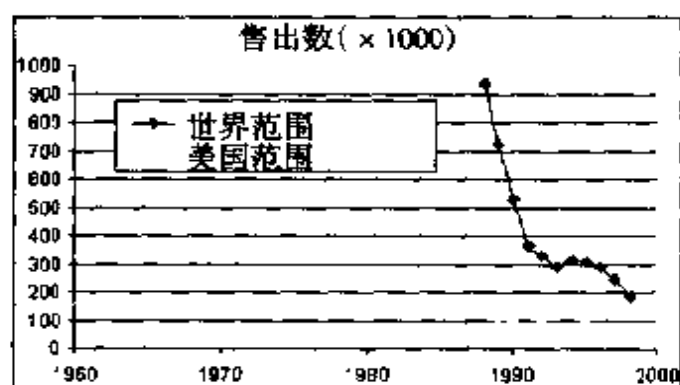
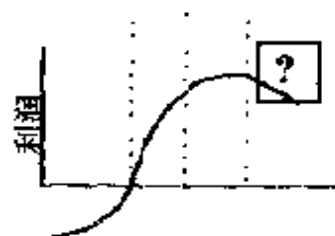


图 4-17 时间—机器售出的台数曲线



中不败。为了寻找新的核心技术,可按八种进化模式去探索。现以其中的一种模式来说明。

4.6.2 产品进化模式的应用

假定按进化的模式 4 即增加动态性及可控性确定寻找新的替代技术的可能方向。模式 4 可分为五条路线:使物体零件的部分可活动、增加自由度个数、变成柔性体、变成微小物体和变成场。图 4-19 是增加动态性的进化路线。

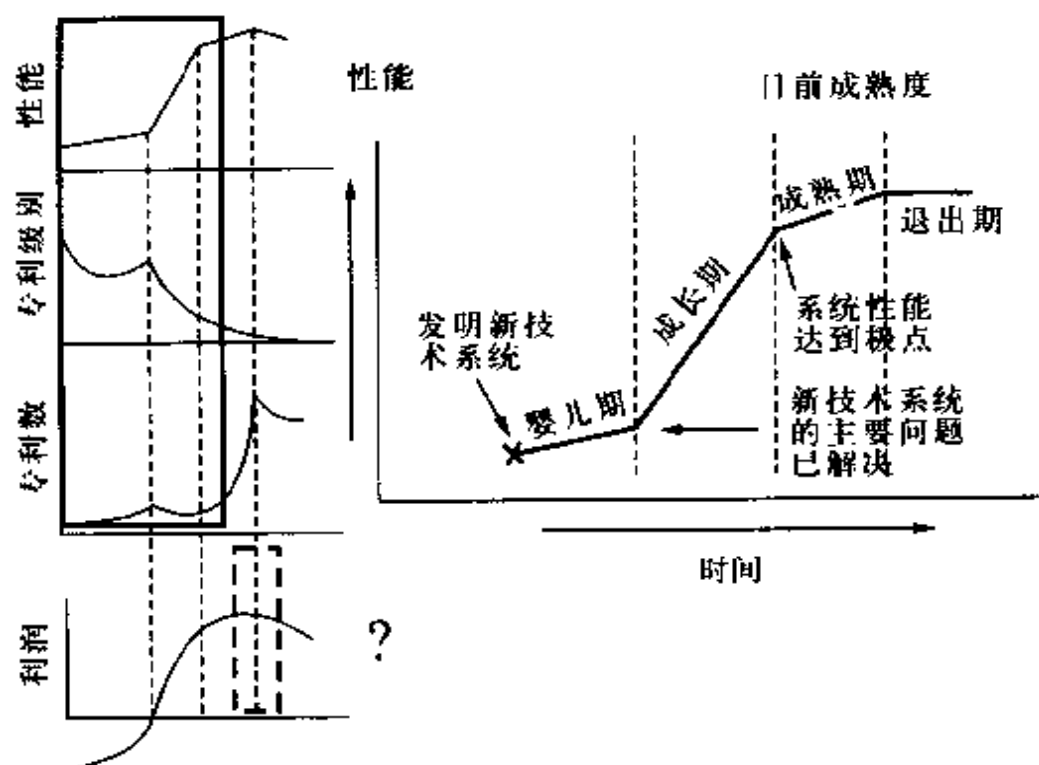


图 4-18 滚筒式纺纱机技术预测

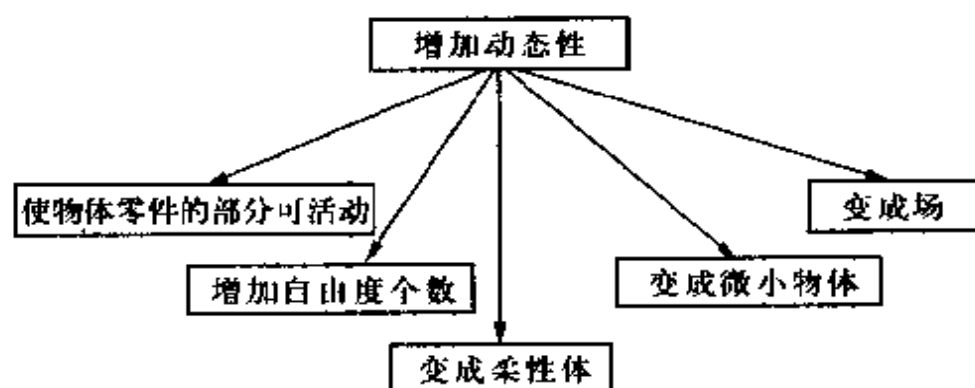


图 4-19 增加动态性的进化路线

按第 1 条路线，滚筒式纺纱机的核心部件是纱箱与滚筒，后者已是可活动的零件，因此，按该路线的进化已完成。

第 2 条路线应增加自由度的个数。前后的平动是可以增加的一个自由度，该自由度可在机器纺纱过程中或在调整时采用。

第 3 条路线为使系统的某一部分变为柔性体。用柔性材料制造的滚子还不存在。

第 4 条路线是使滚子变为微小物体，这似乎不能实现。

第 5 条路线是采用场。静电纺纱技术已进行过研究，但商品

化前景并不乐观。早期的涡流纺纱机采用气体抽纱, 纱线质量并不理想, 新型的纺纱机采用空气射流技术, 纱线质量提高。

从上面的分析可以看出: 采用第 5 条路线, 研究当前已有技术, 可能获得本产品的新的核心技术。

4.7 进化理论的应用

TRIZ 中的进化理论的主要成果为: S—曲线、产品进化定律及产品进化模式。这些关于产品进化的知识具有如下三方面的应用:

- 1) 定性技术预测。
- 2) 产生新技术。
- 3) 市场创新。

4.7.1 定性技术预测

S—曲线、产品进化定律及产品进化模式可对目前产品提出如下的预测:

- 1) 指出需要改进的子系统。
- 2) 避免对处于技术成熟期或退出期的产品大量投入进行改进设计。
- 3) 指出技术发展可能的方向。
- 4) 指出对处于婴儿期与成长期的产品应尽快申请专利进行产权保护, 以使企业在今后的市场竞争中处于最有利的地位。

上述四条预测将为企业设计、管理、研发等部门及企业领导决策提供重要的理论依据。

4.7.2 产生新技术

产品的基本功能在产品进化的过程中基本不变, 但其实现形式及辅助功能一直发生变化。因此, 按照进化理论对当前产品进行分析的结果可用于功能实现的分析, 以找出更合理的功能实现结构。其分析步骤为:

- 1) 对每一个子系统的功能实现进行评价, 如果有更合理的实现形式, 则取代当前不合理的子系统。

2) 对新引入子系统的效率进行评价。

3) 对物质、信息、能量流进行评价,如果需要,选择更合理的流动顺序。

4) 对成本或运行费用高的子系统及人工完成的功能进行评价及功能分离,确定是否用成本低的其他系统代替。

5) 评价用高一级的相似系统、反系统等代替 4) 中所评价的已有子系统的可能性。

6) 分离出能由一个子系统完成的一系列功能。

7) 对完成多于一个功能的子系统进行评价。

8) 将 4) 分离出的功能集成到一个子系统之中。

上述的分析过程将协助设计人员完成所选定技术或子系统的直接进化。

4.7.3 市场创新

质量功能布置(QFD)是市场研究的有力手段之一。目前,用户的需求主要通过用户调查法获得。负责市场调研的人员一般不知道正在被调研中技术的未来发展细节。因此,QFD 的输入,即市场调研的结果,往往是主观的、不完善的、甚至是过时的。

TRIZ 中的产品进化定律与进化模式是由专利信息及技术发展的历史得出的,具有客观及不同领域通用的特点。一种合理的观点是用户从可能的进化趋势中选择最有希望的进化路线,之后经过市场调研人员及设计人员等的加工将其转变为 QFD 的输入。

TRIZ 与 QFD 的结合是目前 TRIZ 研究中的一个热点。研究结果将成为市场创新的一种强有力工具。

4.8 本章小结

本章介绍了产品进化的基本概念、S—曲线、进化定律与进化模式,并用实例说明了进化理论的应用。企业的决策部门如能掌握这些理论,将使企业的研发决策更加科学合理,增加企业的创新能力及市场竞争力。

第5章 设计中的冲突

5.1 概述

在人类社会的发展及对宇宙中万物不断认识的进程中,形成了两种截然相反的世界观:唯物论与唯心论。唯物论的基础是矛盾的普遍性,而理想化是唯心论的基础。TRIZ 在解决问题的思想方法上是将矛盾与理想化有机结合从而形成一种强有力的发明问题解决思维方式。

产品是功能的实现。任何产品都包含一个或多个功能,为了实现这些功能,产品要由具有相互关系的多个零部件组成。为了提高产品的市场竞争力,需要不断对产品进行改进设计。当改变某个零件、部件的设计,即提高产品某些方面的性能时,可能会影响到与这些被改进设计零部件相关联的零部件,结果可能使产品或系统另一些方面的性能受到影响。如果这些影响是负面影响,则设计出现了冲突。

TRIZ 理论认为,发明问题的核心是解决冲突,未克服冲突的设计不是创新设计。产品进化过程就是不断解决产品所存在冲突的过程,一个冲突解决后,产品进化过程处于停顿状态;之后的另一个冲突解决后,产品移到一个新的状态。设计人员在设计过程中不断的发现并解决冲突,是推动其向理想化方向进化的动力。

本章介绍冲突及其类型、技术冲突、物理冲突的基本概念及确定冲突的方法。

5.2 产品的外部及内部特性

产品的质量取决于其性能,性能又称为特性或属性。产品的性

能有不同的分类方法,如表 5-1 是田口对产品性能的一个分类。

表 5-1 田口性能分类表

性 能 类	目 标	实 例
越接近公称值越好	以给定值为中心	唱盘的旋转速度
越小越好	尽可能地小	刀具磨损,成本
越大越好	尽可能地大	焊接强度
给定目标	0	绝缘体的热通量
小数	0~1	可靠性
操作窗口	尽可能大或长	市场占优势时间
尺度属性	—	低、中、高

Hubka 及 Eder 将产品的性能分为外部性能与内部性能两类。外部性能是指从产品外部可以看到或判断的性能,如功能、操作、制造和运输等。外部性能可能通过市场分析、竞争产品的分析及新技术的引入等确定。内部性能是指产品设计人员可直接控制的性能,如产品的尺寸、公差、强度、刚度及磨损等。内部性能是设计人员在设计过程中为了满足外部性能确定的。产品设计的过程实际上是将产品外部性能通过内部性能实现的过程。

从不同的观点看产品的外部性能是不同的。投资者认为利润、销售额、投资回收周期、成本及市场占有率是重要的外部性能。产品的用户认为重要的外部性能为产品的功能、耐用程度、人机性能及价格等。产品制造商认为产品开发成本、所需的人力资源和制造的复杂程度等是其重要的性能。社会认为对环境友好、满足某些法律是产品重要的外部性能。在综合不同对象所提出的产品外部性能的条件下,设计人员要提出产品的内部性能,这些内部性能往往存在冲突,由于冲突的存在就提出了创新设计的要求。

5.3 冲突及其分类

5.3.1 设计中的冲突

无论是新设计还是已有产品的改进设计,设计人员在设计过程中首先要保证或提高产品的某些内部性能,但这种提高往往导

致产品其他内部性能的降低,即设计中往往存在冲突,例 5-1 及例 5-2 是设计中存在冲突的例子。

例 5-1

飞机设计中如果使其垂直稳定器的面积加大一倍,将减少飞机振动幅值的 50%,但这将导致飞机对阵风或阵雨的敏感,同时增加了飞机的重量。

例 5-2

为了加快重型运输机装卸货物的速度,飞机上需要有移动式起重机,但起重机本身具有一定的重量,增加了飞机的额外负载。

冲突普遍存在于各种产品的设计之中。按传统设计中的折衷法,冲突并没有彻底解决,而是在冲突双方取得折衷方案,或称降低冲突的程度。TRIZ 理论认为,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。

5.3.2 冲突的分类

5.3.2.1 通常的分类

图 5-1 是冲突的一般分类。冲突分为两个层次,第一个层次分为三种冲突:自然冲突、社会冲突及工程冲突,该三类冲突中的每一类又可细分为若干类。在图 5-1 中冲突解决的容易程度自底向上、

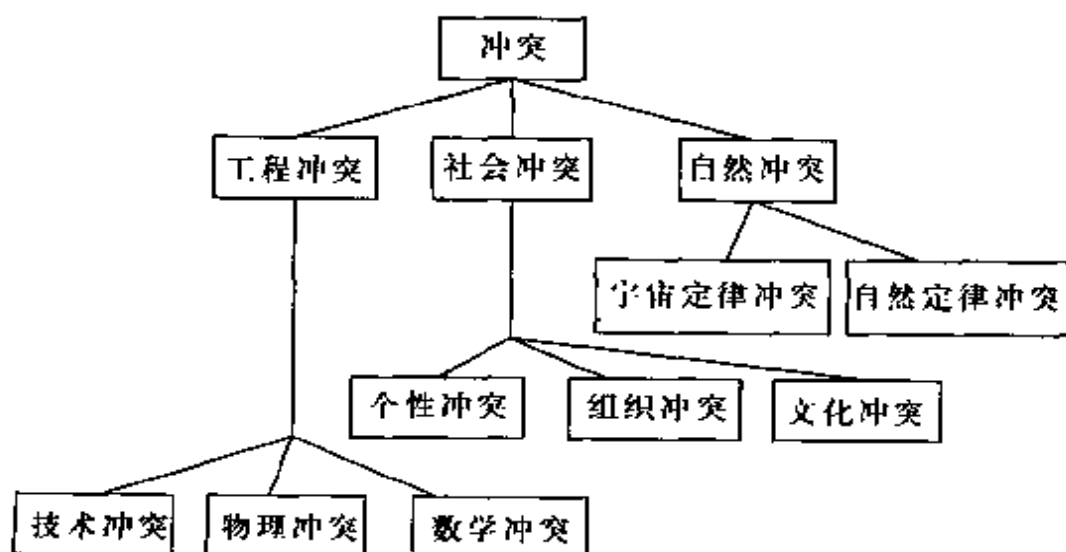


图 5-1 冲突分类树

自左向右,即技术冲突最容易解决,自然冲突最不容易解决。

自然冲突分为自然定律冲突及宇宙定律冲突。自然定律冲突是指由于自然定律所限制的不可能的解。如就目前人类对自然的认识,温度不可能低于华氏零度以下,速度不可能超过光速,如果设计中要求温度低于华氏温度零度或速度超过光速,则设计中出现了自然定律冲突,不可能有解,随着人类对自然认识程度的不断深化,今后也许会有突破。宇宙定律冲突是指由地球本身的条件限制所引起的冲突。如由于地球引力的存在,一座桥梁所能承受的物体质量不能是无限的。

社会冲突分为个性、组织及文化三类冲突。如只熟悉绘图,而不具备创新知识的设计人员从事产品创新就出现了个性冲突;一个企业中部门与部门之间的不协调造成组织冲突;对改革与创新的偏见就是文化冲突。

工程冲突分为技术冲突、物理冲突及数学冲突三类。其主要内容正是 TRIZ 研究的内容。

5.3.2.2 基于 TRIZ 的分类

G. S. Altshuller 将冲突分为三类,即管理冲突 (Administrative Contradictions)、物理冲突 (Physical Contradictions) 及技术冲突 (Technical Contradictions)。

管理冲突是指为了避免某些现象或希望取得某些结果,需要做一些事情,但不知如何去做。如希望提高产品质量、降低原材料的成本,但不知方法。管理冲突本身具有暂时性,而无启发价值。因此,不能表现出问题的解的可能方向,不属于 TRIZ 的研究内容。

物理冲突是指为了实现某种功能,一个子系统或元件应具有一种特性,但同时出现了与该特性相反的特性。物理冲突出现的几种情况:

- 1) 一个子系统中有用功能加强的同时导致该子系统中有害功能的加强。

2) 一个子系统中有害功能降低的同时导致该子系统中有用功能的降低。

技术冲突是指一个作用同时导致有用及有害两种结果,也可指有用作用的引入或有害效应的消除导致一个或几个子系统或系统变坏。技术冲突常表现为一个系统中两个子系统之间的冲突。技术冲突出现的几种情况:

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,或加强了已存在的一种有害功能。

2) 消除一种有害功能导致另一个子系统有用功能变坏。

3) 有用功能的加强或有害功能的减少使另一个子系统或系统变得太复杂。

5.3.2.3 工程实例

例 5-3

波音公司改进 737 的设计时,需要将使用中的发动机改为功率更大的发动机。发动机功率越大,它工作时需要的空气越多,发动机罩的直径要增大。发动机罩增大,机罩离地面的距离减小,而距离的减小是不允许的。

上述的改进设计中已出现了一个技术冲突,即希望发动机吸入更多的空气,但又不希望发动机罩与地面的距离减少。

例 5-4

图 5-2 是一种自行车车闸总成。目前的设计很容易受到天气的影响,下雨天,瓦圈表面与闸皮之间的摩擦系数降低,减少了摩擦力,降低了骑车人的安全性。一种改进设计为可更换闸皮型,即有两类闸皮,好天气用一类,雨天换为另一类。

设计中的技术冲突为:将闸皮设计成可更换型,增加了骑车人的安全性,但必须备有闸皮可用,还要更换,使操作复杂。

例 5-5

图 5-3 为斜拉桥。实际使用中希望桥所能承受的物体重量越大越好,但重量太大将有可能超过桥的强度所允许的范围,也

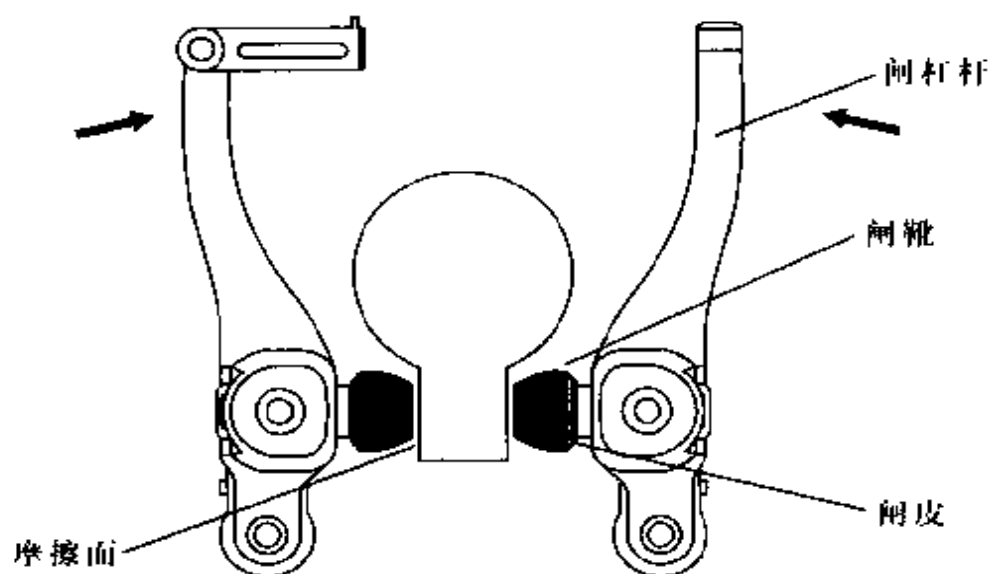


图 5-2 自行车车闸总成

就降低了桥的安全性。因此,存在技术冲突。

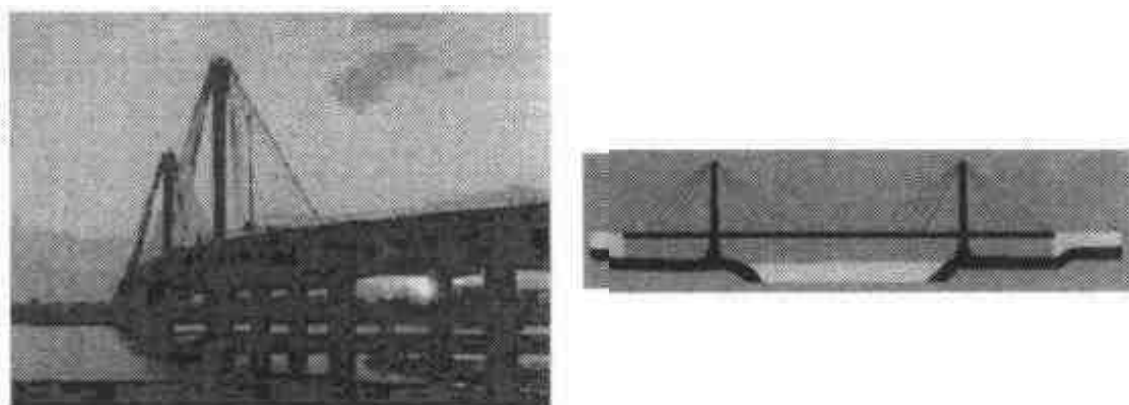


图 5-3 斜拉桥

对于不同的设计对象,根据其内部性能找出技术冲突,并用语言描述。TRIZ 理论对可能出现的冲突问题进行分类,以便设计者能根据问题的类型进行深入的研究并得出创新解。

5.4 冲突问题的结构

上述工程实例中的问题表面上都是产品结构存在的问题,但这些问题的本质是功能之间出现冲突所造成的,即产品是功能的实现。当有效功能 UF 与有害功能 HF 同时出现时,反应到产品结构的问题就是冲突。

世界上的产品千差万别,冲突的表现形式也不尽相同,TRIZ理论研究人员在对该问题深入研究的基础上,将冲突的表现形式归为点问题、对问题、线性问题、网络问题及星型问题几类。

为了用图形描述这些类型,定义如图 5-4 所示三个基本符号:

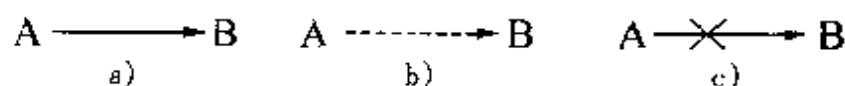


图 5-4 基本符号

其意义为: a)表示 A 导致 B b)表示 A 需求 B c)表示 A 消除 B

(1) 点问题 在一个子系统内部包含一个物理冲突为点问题。物理冲突是隐含的,但通常是导致问题的根本原因。如在一个子系统中希望增加一种有用功能 UF,但导致一种有害功能 HF,如图 5-5 所示,就构成一点问题。

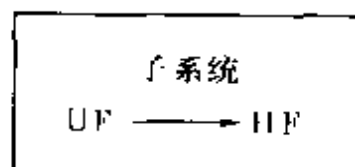


图 5-5 点问题

(2) 对问题 在被两个子系统实现的功能之间存在一个技术冲突为对问题(图 5-6)。表达方式为:

UF_n 导致或需求 HF_k ($k \neq n$, k 与 n 为不同的子系统序号)

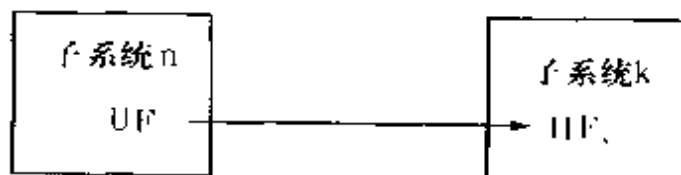


图 5-6 对问题

(3) 线性问题 在多于两个子系统之间,存在“链”式关系的技术或物理冲突为线性问题(图 5-7)。表达方式为:

UF_{n+1} 需求 UF_n , UF_n 需求 UF_{n-1}

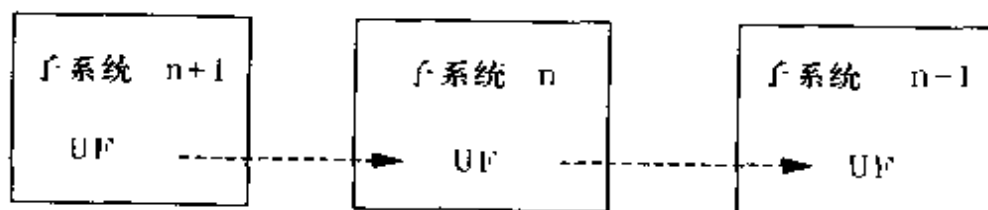


图 5-7 线性问题

(4) 网络问题(数学冲突) 是指多个具有相互关系的技术或物理冲突,形成一冲突环。网络问题如图 5-8 所示,如:

UF_n 导致 HF_k , HF_k 导致 UF_l , UF_l 导致 UF_r ,
 UF_r 需求 UF_n ($n \neq k \neq l \neq r$)

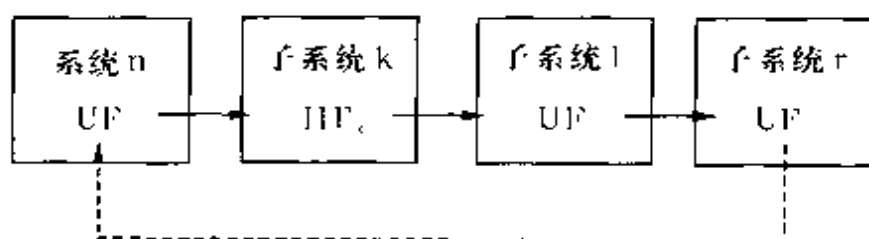


图 5-8 网络问题

(5) 星型问题 当一个子系统的某一功能改善后,另几个子系统的功能均变差。星型问题如图 5-9 所示,如:

UF_n 导致 HF_k 及 HF_p , UF_n 又需求 UF_l , UF_n 消除 HF_m
 ($n \neq k \neq p \neq l \neq m$)

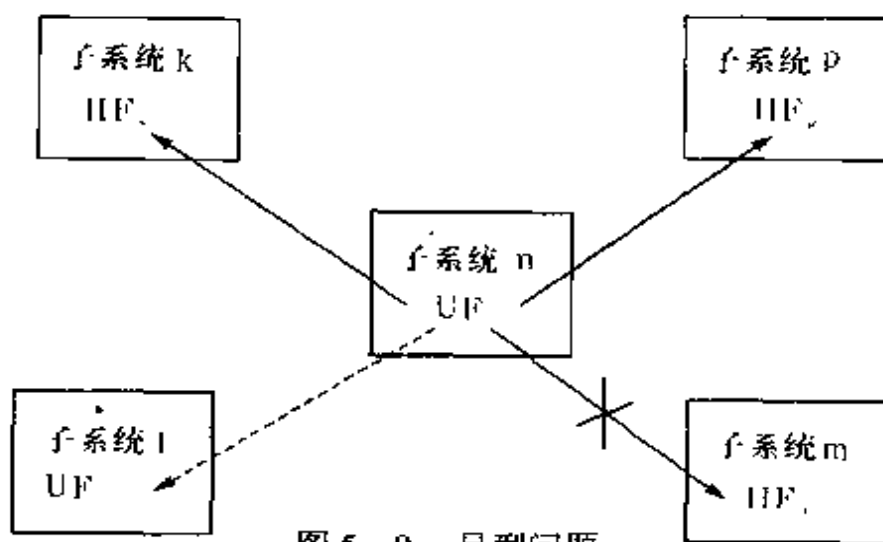


图 5-9 星型问题

TRIZ 解决问题时首先把问题转化为这些类型,这种转换的基础是在区分各子系统、各子系统的功能及可用资源等的基础上完成的。

5.5 技术冲突的一般化

通过对 250 万件专利的详细研究,TRIZ 理论提出用 39 个通用工程参数描述冲突。实际应用中,首先要把组成冲突的双方内

部性能用该 39 个工程参数中的 2 个来表示。目的是把实际工程设计中的冲突转化为一般的或标准的技术冲突。

5.5.1 通用工程参数

39 个工程参数中常用到运动物体(Moving objects)与静止物体(Stationary objects)两个术语,分别介绍如下:

运动物体是指自身或借助于外力可在一定的空间内运动的物体。

静止物体是指自身或借助于外力都不能使其在空间内运动的物体。表 5-2 是 39 个通用工程参数名称的汇总。

表 5-2 通用工程参数名称

序号	名 称	序号	名 称
1	运动物体的重量	21	功率
2	静止物体的重量	22	能量损失
3	运动物体的长度	23	物质损失
4	静止物体的长度	24	信息损失
5	运动物体的面积	25	时间损失
6	静止物体的面积	26	物质或事物的数量
7	运动物体的体积	27	可靠性
8	静止物体的体积	28	测试精度
9	速度	29	制造精度
10	力	30	物体外部有害因素作用的敏感性
11	应力或压力	31	物体产生的有害因素
12	形状	32	可制造性
13	结构的稳定性	33	可操作性
14	强度	34	可维修性
15	运动物体作用时间	35	适应性及多用性
16	静止物体作用时间	36	装置的复杂性
17	温度	37	监控与测试的困难程度
18	光照度	38	自动化程度
19	运动物体的能量	39	生产率
20	静止物体的能量		

下面给出 39 个工程参数的名称及意义:

1. 运动物体的重量 在重力场中运动物体所受到的重力。如

运动物体作用于其支撑或悬挂装置上的力。

2. 静止物体的重量 在重力场中静止物体所受到的重力。如静止物体作用于其支撑或悬挂装置上的力。

3. 运动物体的长度 运动物体的任意线性尺寸,不一定是最长的,都认为是其长度。

4. 静止物体的长度 静止物体的任意线性尺寸,不一定是最长的,都认为是其长度。

5. 运动物体的面积 运动物体内部或外部所具有的表面或部分表面的面积。

6. 静止物体的面积 静止物体内部或外部所具有的表面或部分表面的面积。

7. 运动物体的体积 运动物体所占有的空间体积。

8. 静止物体的体积 静止物体所占有的空间体积。

9. 速度 物体的运动速度、过程或活动与时间之比。

10. 力 力是两个系统之间的相互作用。对于牛顿力学,力等于质量与加速度之积,在 TRIZ 中,力是试图改变物体状态的任何作用。

11. 应力或压力 单位面积上的力。

12. 形状 物体外部轮廓,或系统的外貌。

13. 结构的稳定性 系统的完整性及系统组成部分之间的关系。磨损、化学分解及拆卸都降低稳定性。

14. 强度 强度是指物体抵抗外力作用使之变化的能力。

15. 运动物体作用时间 物体完成规定动作的时间、服务期。两次误动作之间的时间也是作用时间的一种度量。

16. 静止物体作用时间 物体完成规定动作的时间、服务期。两次误动作之间的时间也是作用时间的一种度量。

17. 温度 物体或系统所处的热状态,包括其他热参数,如影响改变温度变化速度的热容量。

18. 光照度 单位面积上的光通量,系统的光照特性,如亮

度,光线质量。

19. 运动物体的能量 能量是物体做功的一种度量。在经典力学中,能量等于力与距离的乘积。能量也包括电能、热能及核能等。

20. 静止物体的能量 能量是物体做功的一种度量。在经典力学中,能量等于力与距离的乘积。能量也包括电能、热能及核能等。

21. 功率 单位时间内所作的功,即利用能量的速度。

22. 能量损失 作无用功的能量。为了减少能量损失,需要不同的技术来改善能量的利用。

23. 物质损失 部分或全部、永久或临时的材料、部件或子系统等物质的损失。

24. 信息损失 部分或全部、永久或临时的数据损失。

25. 时间损失 时间是指一项活动所延续的时间间隔。改进时间的损失指减少一项活动所花费的时间。

26. 物质或事物的数量 材料、部件及子系统等的数量,它们可以被部分或全部、临时或永久的被改变。

27. 可靠性 系统在规定的方法及状态下完成规定功能的能力。

28. 测试精度 系统特征的实测值与实际值之间的误差。减少误差将提高测试精度。

29. 制造精度 系统或物体的实际性能与所需性能之间的误差。

30. 物体外部有害因素作用的敏感性 物体对受外部或环境中的有害因素作用的敏感程度。

31. 物体产生的有害因素 有害因素将降低物体或系统的效率,或完成功能的质量。这些有害因素是由物体或系统操作的一部分而产生的。

32. 可制造性 物体或系统制造过程中简单、方便的程度。

33. 可操作性 要完成的操作应需要较少的操作者、较少的步骤以及使用尽可能简单的工具。一个操作的产出要尽可能多。

34. 可维修性 对于系统可能出现失误所进行的维修要时间短、方便和简单。

35. 适应性及多用性 物体或系统响应外部变化的能力，或应用于不同条件下的能力。

36. 装置的复杂性 系统中元件数目及多样性，如果用户也是系统中的元素将增加系统的复杂性。掌握系统的难易程度是其复杂性的一种度量。

37. 监控与测试的困难程度 如果一个系统复杂、成本高、需要较长的时间建造及使用，或部件与部件之间关系复杂，都使得系统的监控与测试困难。测试精度高，增加了测试的成本也是测试困难的一种标志。

38. 自动化程度 是指系统或物体在无人操作的情况下完成任务的能力。自动化程度的最低级别是完全人工操作。最高级别是机器能自动感知所需的操作、自动编程和对操作自动监控。中等级别的需要人工编程、人工观察正在进行的操作、改变正在进行的操作及重新编程。

39. 生产率 是指单位时间内所完成的功能或操作数。

为了应用方便，上述 39 个通用工程参数可分为如下三类：

1) 通用物理及几何参数：No. 1 ~ 12, No. 17 ~ 18, No. 21。

2) 通用技术负向参数：No. 15 ~ 16, No. 19 ~ 20, No. 22 ~ 26, No. 30 ~ 31。

3) 通用技术正向参数：No. 13 ~ 14, No. 27 ~ 29, No. 32 ~ 39。

负向参数 (Negative parameters) 指这些参数变大时，使系统或子系统的性能变差。如子系统为完成特定的功能所消耗的能量 (No. 19 ~ 20) 越大，则设计越不合理。

正向参数 (Positive parameters) 指这些参数变大时，使系统或子系统的性能变好。如子系统可制造性 (No. 32) 指标越高，子系统

制造成本就越低。

5.5.2 应用实例

例 5-6

很多铸件或管状结构是通过法兰连接的,如图 5-10 所示。为了机器或设备维护,法兰连接处常常还要被拆开;有些连接处还要承受高温、高压,并要求密封良好。有的重要法兰需要很多个螺栓连接,如一些汽轮透平机械的法兰需要 100 多个螺栓。为了满足密封良好的要求,设计过程中要采用较多的螺栓。但为了减轻质量,或减少安装时间、或维修时减少拆卸的时间,则螺栓越少越好。传统的设计方法是在螺栓数目与密封性之间取得折衷方案。

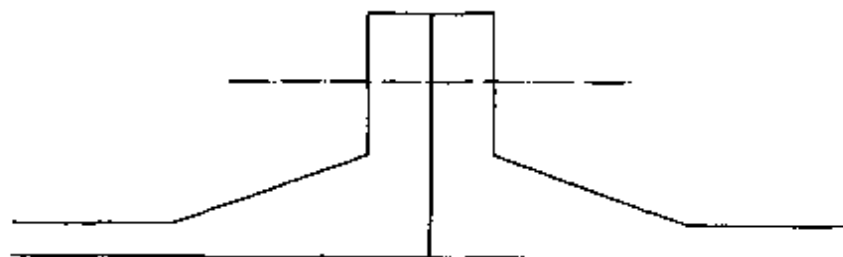


图 5-10 法兰的螺栓连接

本例的技术冲突为:

- 1) 如果密封性良好,则操作时间变长且结构的质量增加。
- 2) 如果质量轻,则密封性变差。
- 3) 如果操作时间短,则密封性变差。

按 39 个工程参数描述如下。

希望改进的特性:

- 1) 静止物体的重量。
- 2) 可操作性。
- 3) 装置的复杂性。

三种特性改善将导致如下特性的降低:

- 1) 结构的稳定性。
- 2) 可靠性。

5.6 技术冲突的确定方法

上述的例题中,技术冲突的提出为经验法,即针对具体问题,设计人员根据经验提出并用文字表述。TRIZ 理论中的一部分是研究物质—场分析,该分析方法已作为一种工具用于技术冲突的确定。

5.6.1 物质—场分析基本符号

产品是功能的实现。Pahl 及 Baitz 给功能如下定义:“系统的输入量和输出量之间的一般的、希望有的关系”。系统的总功能是总任务的描述,可分解为分功能,分功能是分任务的描述。这种分解可进行下去,一直到称为支持功能的最底层功能为止。支持功能是“一种通用部件、过程或子系统的通用模型”。Buur 提出功能用“动词+名词”表示,Hansen 认为用“动词+名词+形容环境的短语”表示更为方便,Kirschman 则用完整的句子表示功能。因此,功能的表示还没有一种标准化的方法。

作为 TRIZ 的基础,Altshuller 通过对功能的研究发现了如下的三条定律:

- 1) 所有的功能都可分解为三个基本元件。
- 2) 一个存在的功能必定由三个基本元件构成。
- 3) 将相互作用的三个基本元件有机组合将产生一个功能。

组成功能的三个基本元件分别为两种物质及一种场(two substances and a field)。物质可以是任何东西,如太阳、地球、轮船、飞机、计算机、水、X—射线、齿轮和分子等。场是能量的总称,可以是核能、电能、磁能、机械能和热能等。

在 TRIZ 中,功能的基本描述如图 5-11 所示。图中 F 为场,S1 及 S2 分别为物质。其意义为:场 F 通过物

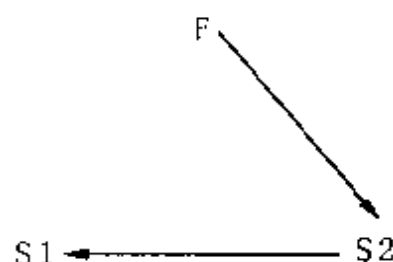


图 5-11 功能的基本图形表示

质 S2 作用于物质 S1 并改变 S1。

组成功能的每个元件都有其特殊的角色。S1 为被动元件,起被作用、被操作及被改变的角色。S2 为主动元件,起工具的作用,它作用、操作或改变被动元件 S1, S2 又常被称为工具。F 为使能元件,它使 S1 与 S2 相互作用。

一个待设计的系统可能有多个功能,在一个功能中作为被动元件的 S1 可能是另一功能中的主动元件 S2。这些功能的总体构成了待设计系统的总功能。

图 5-11 可解释为:人手产生的机械能(F)驱动牙刷(S2)刷牙(S1);电能(F)驱动车床(S2)车削工件(S1);机械能(F)驱动主轴(S2)带动三爪卡盘上的工件(S1)旋转。

5.6.2 改进的符号系统

物质—场分析的基础是用图形表示待设计系统。图 5-12 所示为 Altshuller 的功能图形表示, Zinovy、Terninko 等人又进行了发展,这里介绍新符号系统中的一部分。

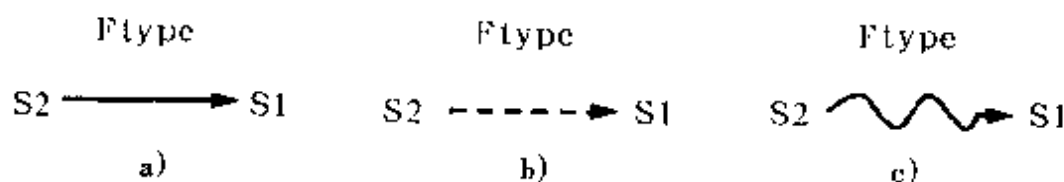


图 5-12 功能的图形表示

- 1) 需要的效应 (Desired effect); 
- 2) 不足效应 (Insufficient effect); 
- 3) 有害效应 (Harmful effect); 
- 4) 改变了的模型 (Changed model); 

Ftype: 场的类型。常用如下几种类型:

Me—机械, Th—热, Ch—化学, E—电, M—磁, G—重力

U: 有用效应。

H: 有害效应;

S1: 物质或元件, 系统作用的接受者;

S2: 物质或元件,使场作用于 S1 的动作发出者;

S3: 新物质。

5.6.3 功能分类及技术冲突模型

按物质—场分析方法,首先建立待设计系统的模型。一个系统往往包含多个功能,建立每个功能的模型是需要的。TRIZ 中将功能分为 4 类。

(1) 有效完整功能 该功能的三个元件都存在,且都有效,是设计者追求的效应。其模型如图 5-12a 所示。

(2) 不完整功能 组成功能的三元件中部分元件不存在,需要增加元件来实现有效完整功能,或用一种新功能代替。

(3) 非有效完整功能 功能中的三元件都存在,但设计者所追求的效应未能完全实现。如产生的力不够大、温度不够高等,需要改进以达到要求。模型如图 5-12b 所示。

(4) 有害功能 功能中的三元件都存在,但产生与设计者所追求效应相冲突的效应。创新的过程要消除有害功能。有害功能如图 5-12c 所示。

一个产品或系统往往是多个支持功能的实现。如果用图 5-12 所示的符号系统来表示这些支持功能时,图 5-12c 存在,则可判断系统或产品存在技术冲突,如图 5-13 所示。

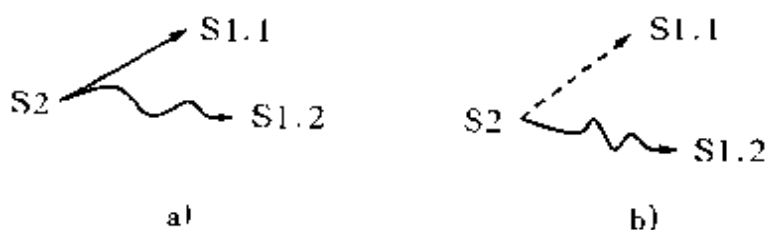


图 5-13 系统中的技术冲突

图 5-13a 可解释为:系统中同时存在有效完整功能及有害功能,如果改善有效完整功能,则可能加剧有害功能的负面效应,因此,存在技术冲突。图 5-13b 的意义为:系统中同时存在非有效完整功能及有害功能,如果改善非有效完整功能,则可能加剧有害功能的负面效应,因此,存在技术冲突。图 5-13 为技术冲突的一

种模型。

5.6.4 工程实例

例 5-7

汽车正面碰撞是造成交通事故 65% 伤亡的原因。很多的轿车安装有安全气囊, 对这些轿车所包含的交通事故调查发现, 安全气囊每保护 20 人, 就有 1 人不能受其保护而死亡, 而且死亡的人中一般身体较矮, 如儿童与妇女。

问题的分析: 轿车是一个系统, 但该特定问题只涉及到轿车的的一个子系统, 安全气囊与司机及前排乘客。该子系统所完成的一个功能是在汽车正面碰撞时保护司机与乘客, 但只保护了身体高的司机与乘客, 而有可能伤害身体矮的司机与乘客。该问题可用如图 5-14 的物质-场模型描述:

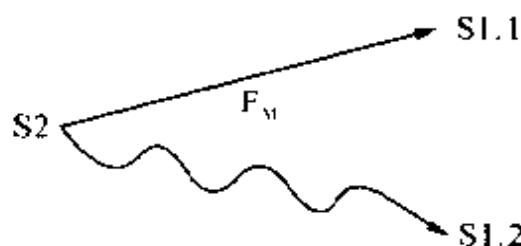


图 5-14 安全气囊与司机乘客物质-场模型

其中:

FM: 机械能。

S1.1: 身体较高的司机与乘客。

S1.2: 身体较矮的司机与乘客。

S2: 安全气囊。

如果要进行创新设计, 其标志是要彻底的克服现有设计中存在的冲突, 即新的安全气囊既要保护身体较高的司机与乘客, 又要保护身体较矮的司机与乘客。改进后的模型应该如图 5-15 所示。

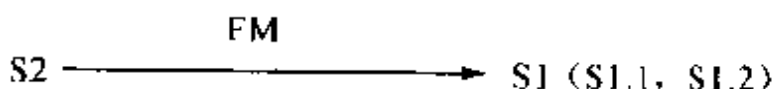


图 5-15 改进设计后的安全气囊子系统

例 5-8

图 5-16 为钢水搅拌器。添加剂通过入口进入到搅拌器内部,通过旋转的叶片与钢水充分混合。为了防止钢水融化叶片,在叶片内部有循环的冷却液,冷却液使叶片表面形成一保护层,从而保护叶片不被融化。现将该装置用物质—场表示,如图 5-17 所示。

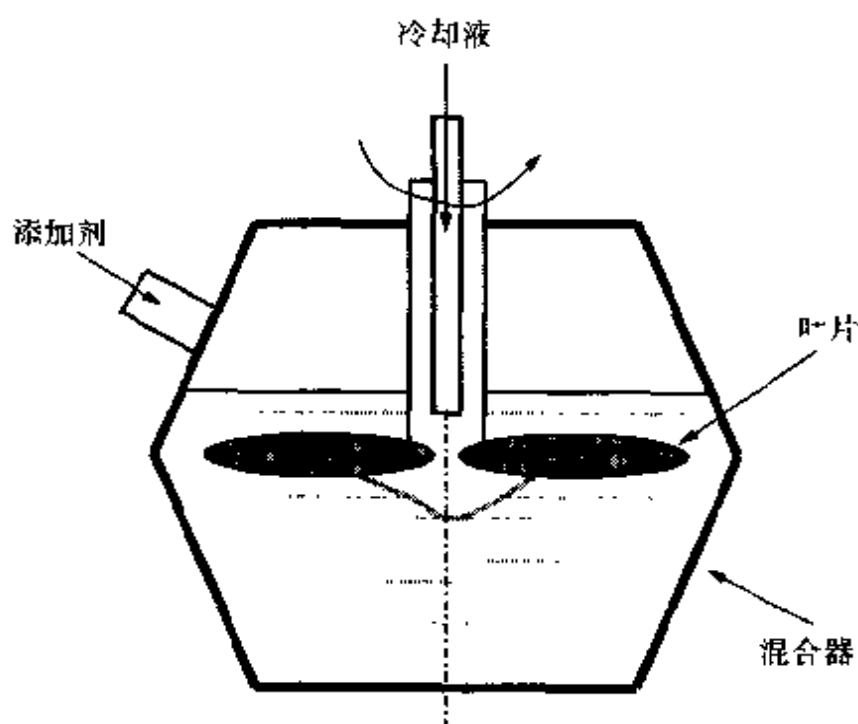


图 5-16 钢水搅拌器

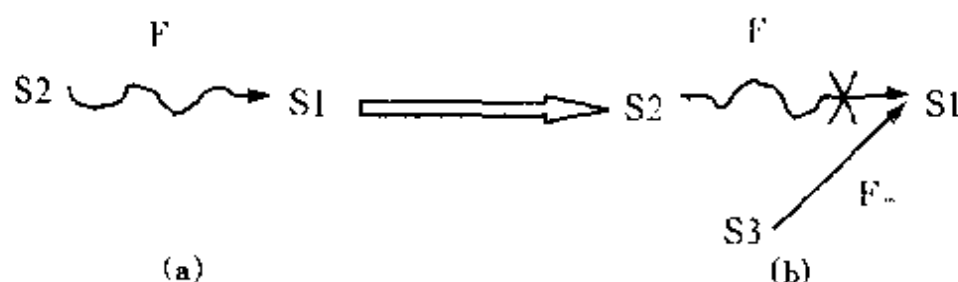


图 5-17 钢水搅拌器物质—场

图 5-17 中的符号为:

- 1) S1: 叶片。
- 2) S2: 钢水。
- 3) F_{Th} : 钢水中的热能。
- 4) F_{Th1} : 冷却液中的能量。

图 5-17a 表示在钢水中热能的作用下,钢水融化叶片。为了避

免这种现象,在叶片内部增加循环的冷却液,在叶片表面产生一保护层。

5.7 物理冲突

物理冲突的核心是指对一个物体或系统中的一个子系统有相反的、矛盾的需求。物理冲突的例子很多,如工程中的例子为:

侦察机应飞行的很快,以便尽快离开被侦察的地区,但在被侦察的地区上空又应飞行的很慢,以便多收集数据。

飞机的机翼应有大的面积以便起飞与降落,但又要较小以便高速飞行。

飞机发动机罩既应该加大直径,以便吸入更多的空气,但又应该减小直径,以增加该罩与地面的距离。

安全气囊应该安装以保护司机与乘客,但又不应该安装,目前的设计有时不能保护身材矮的司机及乘客。

生活中也有很多物理冲突的例子,如:

软件应容易使用,但又应有多项选择以能处理复杂的事物。

咖啡应尽可能热以保持其味道,但又不能太热以防止烫伤饮用者。

学习某种理论要彻底,但最好不花时间。

钢笔的笔尖应很细以便画出细线,但细笔尖易划破纸。

相对于技术冲突,物理冲突是尖锐的冲突,但设计中如果能确定物理冲突,较容易解决。物理冲突可通过对问题的详细分析及深刻理解的基础上确定,也可通过对已有技术冲突的进一步分析来确定。

5.8 技术冲突与物理冲突

技术冲突总是涉及到两个基本参数 A 与 B,当 A 得到改善时,B 变得更差。物理冲突仅涉及系统中的一个子系统或部件,而对该子系统或部件提出了相反的要求。往往技术冲突的存在隐含

物理冲突的存在,有时物理冲突的解比技术冲突更容易。

从技术冲突出发确定物理冲突的核心是确定另一参数或物体,该参数或物体控制着技术冲突的两个参数 A 与 B。

例 5-9

用化学的方法为金属表面镀层的过程如下:金属制品放置于充满金属盐溶液的池子中,溶液中含有镍、钴等金属元素,在化学反应过程中,溶液中的金属元素凝结到金属制品表面形成镀层,温度越高,镀层形成的速度越快,但温度高有用元素沉淀到池子底部与池壁的速度也越快。温度低又大大降低生产率。

该问题的技术冲突为:两个标准参数为生产率(A)与材料浪费(B),加热溶液使生产率(A)提高,同时材料浪费(B)增加。

为了将该问题转变成为物理冲突,选温度作为另一参数(C)。物理冲突可描述为:溶液温度(C)增加,生产率(A)提高,材料浪费(B)增加;反之,生产率(A)降低,材料(B)浪费减少;溶液温度既应该高,以提高生产率,又应该低,以减少材料消耗。

例 5-10

图 3-4 所示波音公司改进 737 设计过程中,出现的一个技术冲突为:既希望发动机吸入更多的空气,但又不希望发动机罩与地面的距离减小。

现将该技术冲突转变为物理冲突:发动机罩的直径应该加大,以吸入更多的空气,但机罩直径又不能加大,以不使路面与机罩之间的距离减小。

5.9 本章小结

冲突广泛存在于产品设计之中,彻底地解决冲突是创新设计的核心。本章介绍了冲突的分类,并详细介绍了技术冲突与物理冲突,用不同领域中的实例说明两种冲突的存在,还介绍了用物质-场分析方法确定冲突的过程。设计人员如能发现待设计产品或已有产品中的冲突,就完成了产品创新设计的关键步骤。

第 6 章 技术冲突解决原理

6.1 概述

在技术创新的历史中,人类已完成了很多产品的设计,一些设计人员或发明家已积累了很多发明创造的经验。进入 20 世纪,技术创新已逐渐成为企业市场竞争的焦点。为了指导技术创新,一些研究人员开始总结前人发明创造的经验。这种经验的总结可分为两类:适应于本领域的经验与适应于不同领域的通用经验。

第一类经验主要由本领域的专家、研究人员本身总结,或与这些人员讨论并整理总结。这些经验对指导本领域的产品创新有一定的参考意义,但对其他领域的创新意义不大。第二类经验由专门研究人员对不同领域的已有创新成果进行分析、总结,得到具有普遍意义的规律,这些规律对指导不同领域的产品创新都有重要参考价值。

TRIZ 的技术冲突解决原理属于第二类经验,这些原理是在分析全世界大量专利的基础上提出的。通过对专利的分析,TRIZ 研究人员发现,在以往不同领域的发明中所用到的规则并不多,不同时代的发明,不同的领域的发明,这些规则反复被采用。每条规则并不限于仅能用于某一领域,融合了物理的、化学的和各工程领域的原理,适用于不同领域的发明创造。

本章介绍技术冲突解决原理,又称发明原理。这些原理是 TRIZ 理论中关于问题的解决原理。

6.2 发明原理

在对全世界专利进行分析研究的基础上,Altshuller 等提出了

40条发明原理。实践证明这些原理对于指导设计人员的发明创造具有重要的作用。表6-1是40条发明原理的名称。

表 6-1 发明原理

序号	名 称	序号	名 称	序号	名 称	序号	名 称
1	分割	11	预补偿	21	紧急行动	31	多孔材料
2	分离	12	等势性	22	变有害为有益	32	改变颜色
3	局部质量	13	反向	23	反馈	33	同质性
4	不对称	14	曲面化	24	中介物	34	抛弃与修复
5	合并	15	动态化	25	自服务	35	参数变化
6	多用性	16	未达到或超过的作用	26	复制	36	状态变化
7	套装	17	维数变化	27	低成本、不耐用的物体代替昂贵、耐用的物体	37	热膨胀
8	质量补偿	18	振动	28	机械系统的替代	38	加速强氧化
9	预加反作用	19	周期性作用	29	气动与液压结构	39	惰性环境
10	预操作	20	有效作用的连续性	30	柔性壳体或薄膜	40	复合材料

下面将对各原理进行详细介绍,并包括工程实例。

1. 分割

1) 将一个物体分成相互独立的部分。

如用多台个人计算机代替一台大型计算机完成相同的功能;
用一辆卡车加拖车代替一辆载重量大的卡车。

2) 使物体分成容易组装及拆卸的部分。

如组合夹具是由多个零件拼装而成的;

花园中浇花用的软管系统,可根据需要通过快速接头连接成所需的长度。

3) 增加物体相互独立部分的程度。

如用百叶窗代替整体窗帘;

用粉状焊接材料代替焊条改善焊接效果。

例 6-1 可拆卸铲斗唇缘设计(图 6-1)

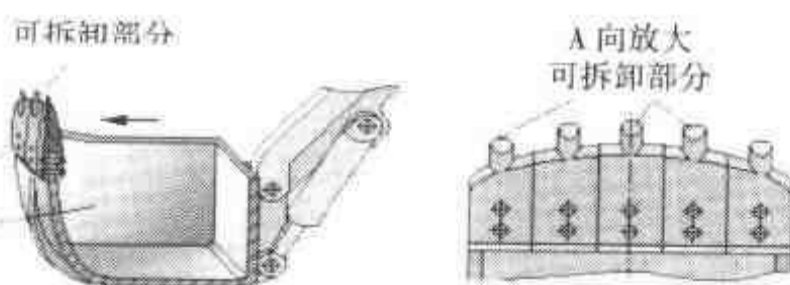


图 6-1 可拆卸铲斗

一个挖掘机铲斗的唇缘是由钢板制成的。只要它的一部分磨损或毁坏，就必须更换整个的唇缘。这是一项既费力又费时的的工作，而且挖掘机也不得不停止工作。

可使用“分割原理”来解决这一问题。将唇缘分割成单独的可分离的几部分。这样，可以快速方便地将毁坏或磨损的部分更换。

2. 分离(分开)

1) 将一个物体中的“干扰”部分分离出去。如在飞机场环境中，为了驱赶各种鸟，采用播放刺激鸟类的声音是一种方便的方法，这种特殊的声音使鸟与机场分离；将产生噪声的空气压缩机放于室外。

2) 将物体中的关键部分挑选或分离出来。

例 6-2 被绑缚的人造卫星(图 6-2)

可以使用同一个太空船操作几个位置的太空探测器吗？

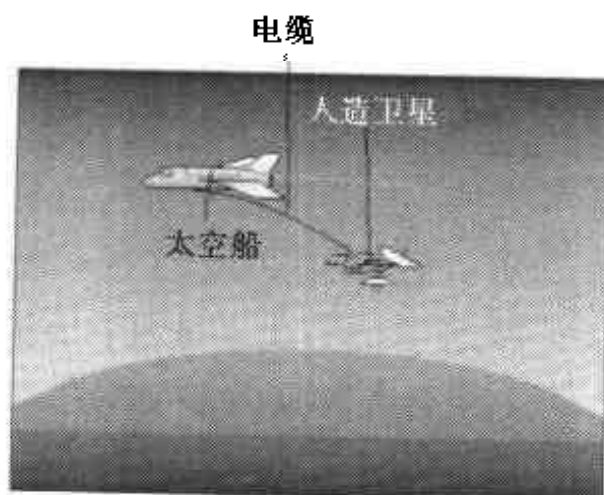


图 6-2 被太空船绑缚的人造卫星

建议使用分离原理和局部质量原理来改善太空船的使用。将太空船（母船有一个推进系统）定位在一个特定的轨道上，从母船发射一个被绑定的人造卫星。用光缆将其定位在第二个轨道。这样，可以从母船发出许多的

操作信号来操作几个位置的探测器。

3. 局部质量

1) 将物体或环境的均匀结构变成不均匀结构。如用变化中的压力、温度或密度代替定常的压力、温度或密度。

2) 使组成物体的不同部分完成不同的功能。如午餐盒被分成放热食、冷食及液体的空间,每个空间功能不同。

3) 使组成物体的每一部分都最大限度地发挥作用。如带有橡皮的铅笔,带有起钉器的榔头等。

该原理在机械产品进化的过程中表现的非常明显,如机器由零部件组成,每个零部件在机器中都应占据一个最能发挥作用的位罝。如果某零件未能最大限度的发挥作用,则应对其改进设计。

例 6-3 两列齿锯片(图 6-3)

当锯纤维材料,如木头时,如何保证表面的粗糙度?

建议使用增加维数原理和局部质量原理来提高切削的质量。可以使用双列齿。将锯齿制成高度不同,交叉排列的形状,短齿比长齿宽。长齿主要用来切削,短齿用来清洁切削表面。由于短齿能切去很薄的层,所以粗糙度减小。同时,切削速度也有明显提高。

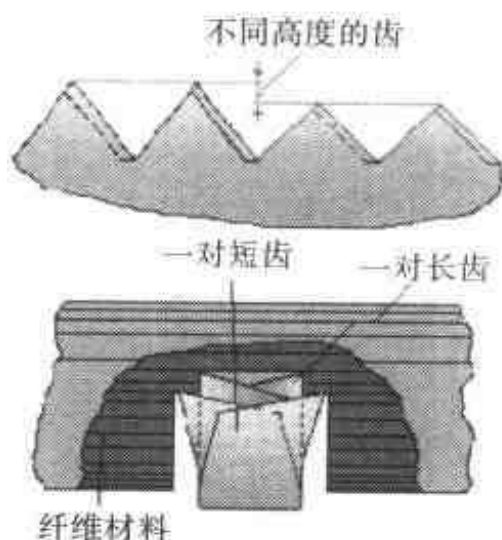


图 6-3 两列齿锯片

4. 不对称

1) 将物体的形状由对称变为不对称。如不对称搅拌容器,或对称搅拌容器中的不对称叶片;将 O 形圈的截面形状改为其他形状,以改善其密封性能。

2) 如果物体是不对称的,增加其不对称的程度。如轮胎的一侧强度大于另一侧,以增加其抗冲击的能力。

机械设计中经常采用对称性原理,对称是传统上很多零部件

的实现形式。实际上,设计中的很多冲突都与对称有关,将对称变为不对称就能解决很多问题。

例 6-4 不对称共鸣器设计(图 6-4)

可调电磁共鸣器(包括金属和绝缘筒)很大,并且为了达到好的调谐效果需要严格的垂直运动。

建议使用“不对称”原理和“维数改变”原理来改善设计。将金属筒中心线与绝缘筒的轴心线(两个筒的轴线未重合)偏离一定的距离。那么,通过旋转倾斜的筒可以产生共鸣器(和两筒的距离变化有关)得到很好的调谐效果。

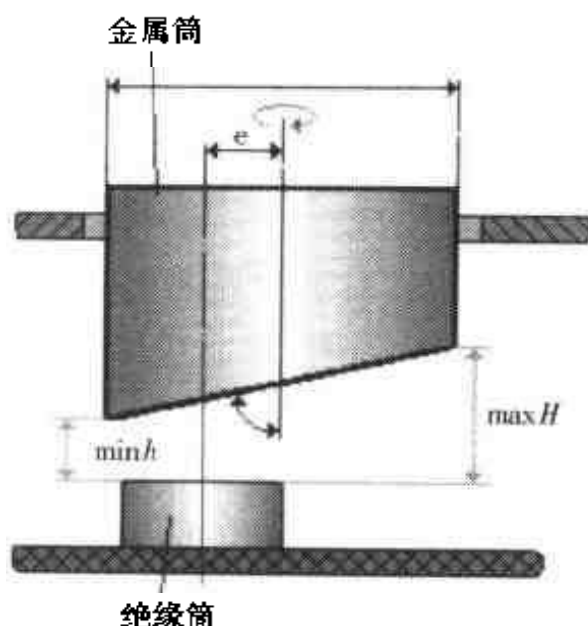


图 6-4 不对称共鸣器

5. 合并

1) 在空间上将相似的物体连接在一起,使其完成并行的操作。如网络中的个人计算机;并行计算机中的多个微处理器;安装在电路板两面的集成电路。

2) 在时间上合并相似或相连的操作。如同时分析多个血液参数的医疗诊断仪;具有保护根部功能的草坪割草机。

例 6-5 扩孔簧片(图 6-5)

要在木头或塑料上安装扩孔簧片,首先需要在材料上钻孔。这增加了安装紧固件的次数并且需要特殊的工具,所以

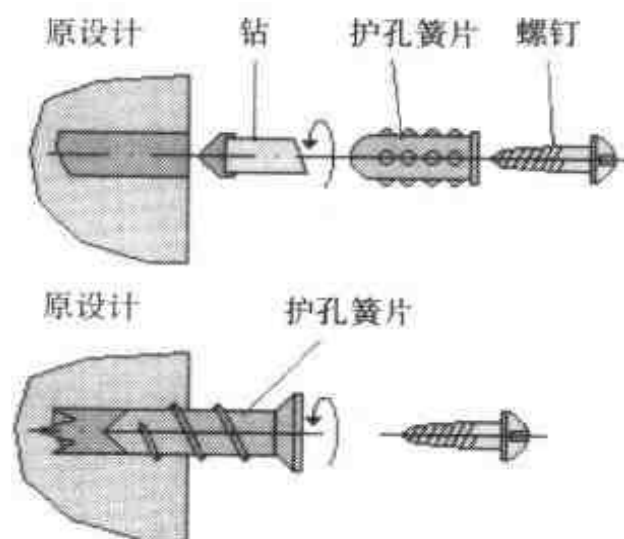


图 6-5 扩孔簧片

效率很低。

建议把扩孔簧片和钻连接起来。簧片由一个粗牙螺纹和一个切削端部组成。扩孔簧片靠十字形螺丝刀来安装。这种设计减少了安装的次数,而且也不需要特殊的工具。

6. 多用途

使一个物体能完成多项功能,可以减少原设计中完成这些功能多个物体的数量。如装有牙膏的牙刷柄;能用作婴儿车的儿童安全座椅。

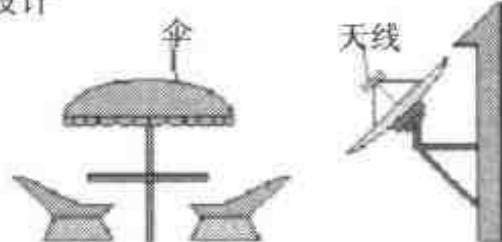
例 6-6 伞状天线(图 6-6)

天线与房屋的建筑一般是分离的。天线暴露在空气中,容易被腐蚀。

建议将天线设计成为多功能的。

将天线的金属板作为一个封盖,其形状和颜色由消费者选择,这样可以使天线充当花园里的遮阳伞。而且也能使天线免受空气腐蚀。

原设计



新设计



图 6-6 伞状天线

7. 套装

1) 将一个物体放在第二个物体中,将第二个物体放在第三个物体中,可进行下去。如儿童玩具不倒翁;套装式油罐,内罐装粘度较高的油,外罐装粘度较低的油。

2) 使一个物体穿过另一物体的空腔。如收音机伸缩式天线;伸缩式钓鱼竿;汽车安全带卷收器。

例 6-7 扭转轴设计(图 6-7)

对于扭转轴(弹性轴)而言,若需要旋转角较大则扭转轴将变得很长,这将需要很大的空间。如何能不减小旋转角而降低扭转轴的长度呢?

建议使用套装原理解决这个问题。将一根扭转轴的一半套在另一根之中。结果,扭转角度不变时,扭转轴所占的空间减少。

8. 质量补偿

1) 用另一个能产生提升力的物体补偿第一个物体的质量。如在圆木中注入发泡剂,使其更好地漂浮;用气球携带广告条幅。

2) 通过与环境相互作用产生空气动力或液体动力的方法补偿第一个物体的质量。如飞机机翼的形状使其上部空气压力减少,下部压力增加,以产生升力;升力涡改善飞机机翼所产生的升力;船在航行过程中船身浮出水面,以减少阻力。

例 6-8 浮动支撑 (图 6-8)

重载荷传送带经常在与传送滚子相接处断裂。

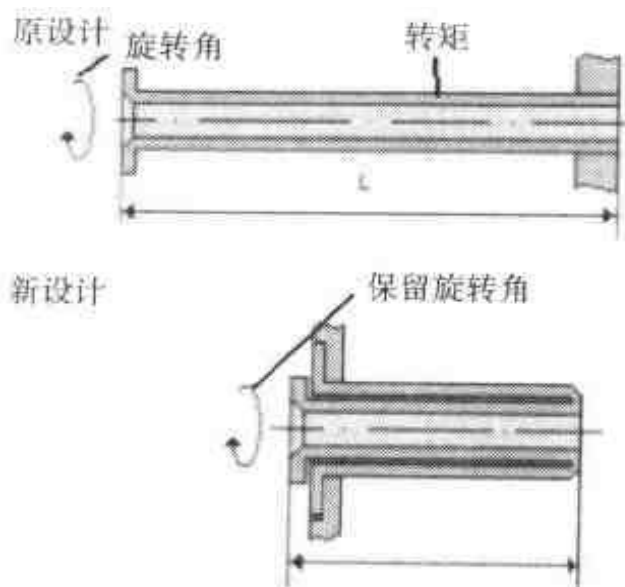


图 6-7 扭转轴

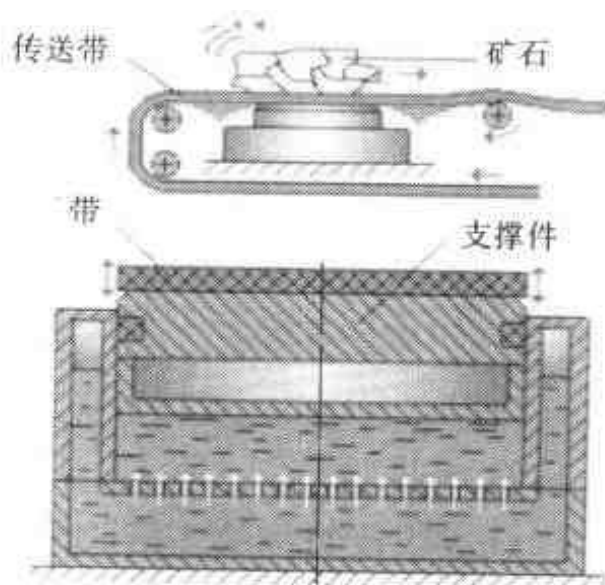


图 6-8 浮动支撑

建议使用气动和液压结构及质量补偿原理来改善支撑件的耐久性和抗振能力。应用浮力达到这一目的。将为浮动面设计的支撑件放在一个充满气体或液体的容器中。

9. 预加反作用

1) 预先施加反作用。如缓冲器能吸收能量,减少冲击带来的负面影响。

2) 如果一物体处于或将处于受拉伸状态,预先增加压力。如浇筑混凝土之前的预压缩钢筋。

例 6-9 切削机构中的预压缩弹簧(图 6-9)

在加工孔时,经常使用钻柄。但是,如果钻柄的刚度不足就会引起振动。

建议使用预加反作用原理减小振动。可以在切削力方向加一预压力(由一尺寸适当的压缩弹簧产生)以增加刚度,从而减少振动,提高加工精度。

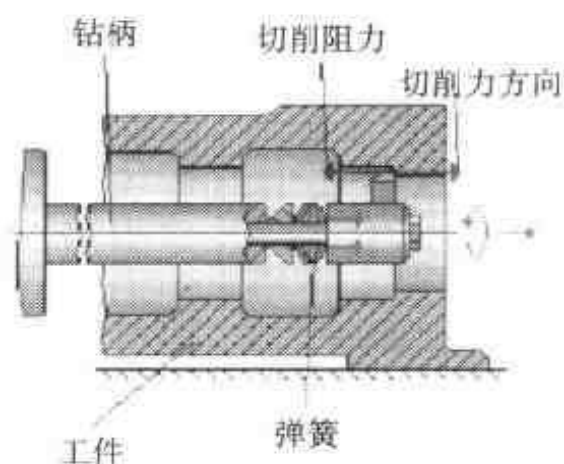


图 6-9 预压缩弹簧

10. 预操作

1) 在操作开始前,使物体局部或全部产生所需的变化。如预先涂上胶的壁纸;在手术前为所有器械杀菌。

2) 预先对物体进行特殊安排,使其在时间上有准备,或已处于易操作的位置。如柔性生产单元;灌装生产线中使所有瓶口朝一个方向,以增加灌装效率。

例 6-10 预着色(图 6-10)

代替手工用刷子对塑料件进行着色,其中一种方法是机械着色。

建议应用预操作原理与合并原理来改善着色过程。在分开的铸模的孔洞中预先加染料套(甚至预先将染料注入塑料中)。普通的印刷油墨(具有成型胶片样的流动性)就可以这样应用。合模后注入塑料(如聚苯乙烯)。零件的颜料具有较好的粘附性,因为颜料扩散到了表面内部。

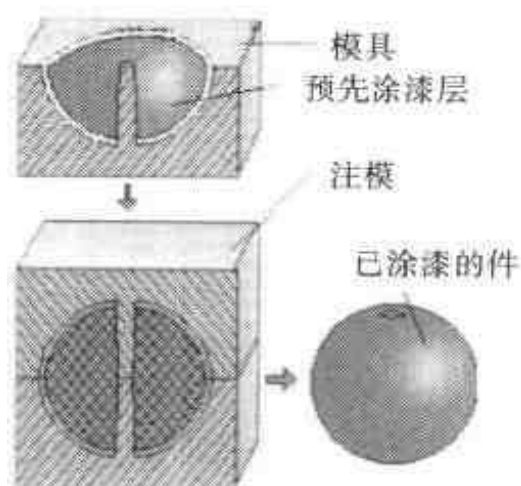


图 6-10 预着色

11. 预补偿

采用预先准备好的应急措施补偿物体相对较低的可靠性。如飞机上的降落伞。

例 6-11 汽车安全气囊(图 6-11)

如果碰撞发生在车前部,安全带可以保护驾驶员。然而,安全带对侧面碰撞不起作用。

建议使用侧面安全气囊。紧缩的气囊放在座位的后面。侧面碰撞时,气囊因充气而膨胀,这样可以避免乘客受伤。



图 6-11 安全气囊

12. 等势性

改变工作条件,使物体不需要被升高或降低。如与冲床工作台高度相同的工件输送带,将冲好的零件输送到另一工位。

例 6-12 汽车旋转装置(图 6-12)

要到汽车下面修理汽车,汽车必须停放在敞开的隧道上,或固定到液压平台上。而且进行修理时,机修工必须在头顶上操作,这很不方便也很不安全。

建议使用“等势”原理。将汽车固定到一个环形的旋转装置上,这样汽车就能够随意旋转甚至可以倒置,从而很好地改善了修理条件。

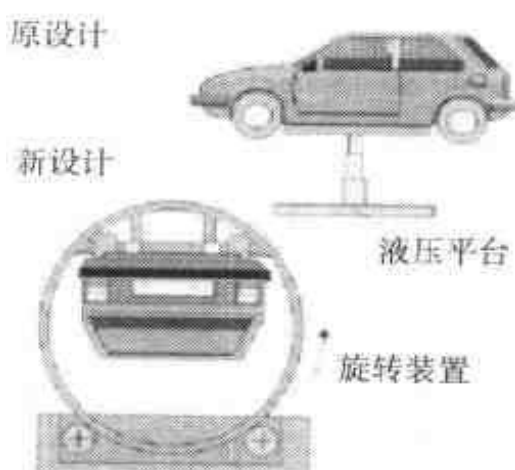


图 6-12 汽车旋转装置

13. 反向

1) 将一个问题说明中所规定的操作改为相反的操作。如为了拆卸处于紧配合的两个零件,采用冷却内部零件的方法,而不采用加热外部零件的方法。

2) 使物体中的运动部分静止,静止部分运动。如使工件旋转,使刀具固定;扶梯运动,乘客相对扶梯静止。

3) 使一个物体的位置颠倒。如将一个部件或机器总成翻转,以安装紧固件。

例 6-13 移动测试地面 (图 6-13)

为了测试拖拉机的性能,通常需要在各种各样的地形上进行测试,怎样才能减少测试地面的数量呢?

建议使用反向原理,让拖拉机静止而让测试地面移动。为了达到这个目的,需要将一个很大的由弹簧支撑的带有叶片的圆筒漂浮在池塘中,拖拉机在圆筒里行驶使得圆筒转动,而圆筒的转动使得水面产生波浪。波浪的起伏就像是各种各样的地形。

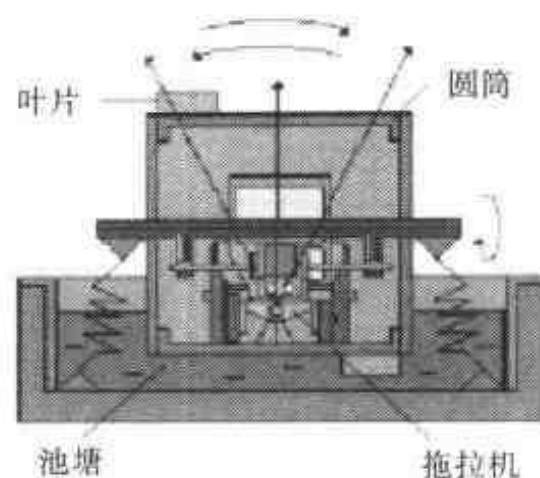


图 6-13 地面测试系统

14. 曲面化

1) 将直线或平面部分用曲线或曲面代替,立方形用球形代替。如为了增加建筑结构的强度,采用弧或拱。

2) 采用辊、球和螺旋。如斜齿轮提供均匀的承载能力;采用球或滚柱为笔尖的钢笔增加了墨水的均匀程度。

3) 用旋转运动代替直线运动,采用离心力。如鼠标采用球形结构产生计算器屏幕内光标的运动;洗衣机采用旋转产生离心力的方法,去除湿衣服中的部分水份。

例 6-14 球面接触(图6-14)

怎样才能提高齿轮副的承载

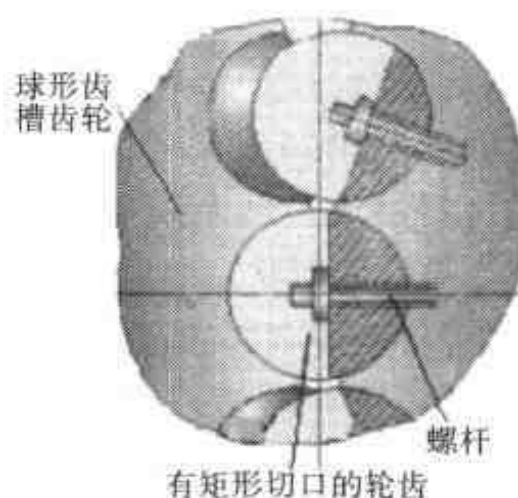


图 6-14 球面齿轮

能力?

建议用球体一曲面原理来改善齿轮副的承载能力。其中一个齿轮的齿槽设计成球形的,而另一个齿轮的轮齿被制成球状,结果,轮齿的接触面积增大,这样就减少了轮齿之间的接触应力,相同型号的齿轮能够承受更大的负载。

15. 动态化

1) 使一个物体或其环境在操作的每一个阶段自动调整,以达到优化的性能。如可调整驱动轮;可调整座椅;可调整反光镜。

2) 划分一个物体成具有相互关系的元件,元件之间可以改变相对位置。如计算机蝶形键盘。

3) 如果一个物体是静止的,使之变为运动的或可改变的。如检测发动机用柔性光学内孔检测仪。

例 6-15 螺旋角可变的螺杆输送机(图 6-15)

传送如矿物或化学药品之类的松散材料,传统的装置是螺杆输送机。为了更好地控制材料的输送速度和相对于不同密度的材料进行调节,希望输送机螺杆的螺旋角是可调的。

建议使用变参数原理和动态原理设计输送机。螺杆的表面使用如橡胶之类的弹性材料制成。两个螺旋弹簧控制螺旋的形状。弹簧沿着旋转轴的伸长/压缩可控制螺杆的螺旋角,从而控制松散材料的传送速度。

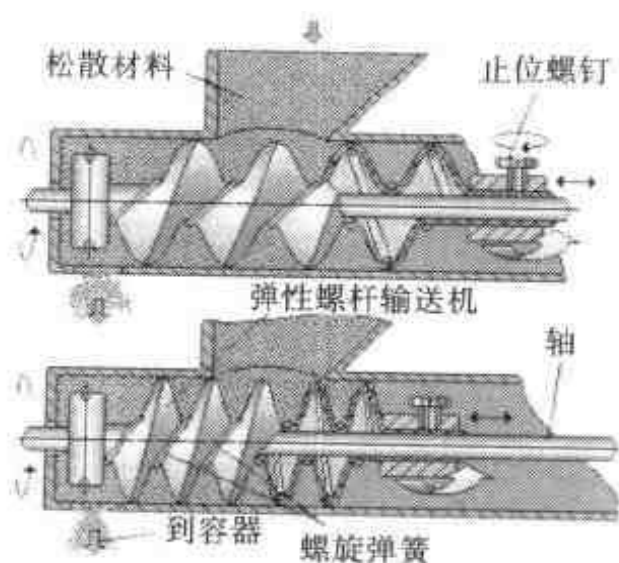


图 6-15 螺旋输送机

16. 未达到或超过的作用

如果 100% 达到所希望的效果是困难的,稍微未达到或稍微超过预期的效果将大大简化问题。

如缸筒外壁刷漆可将缸筒浸泡在盛漆的容器中完成,但取出缸筒后外壁粘漆太多,通过快速旋转可以甩掉多余的漆。

例 6-16 未完成的船(图 6-16)

依托河流所制造的船如果太大就不能穿过桥梁,那么怎么让它驶入大海?

建议先将未完成的船(没有上部结构)驶过桥梁,而船的上部结构通过公路运送到港口,并安装到船的甲板上。

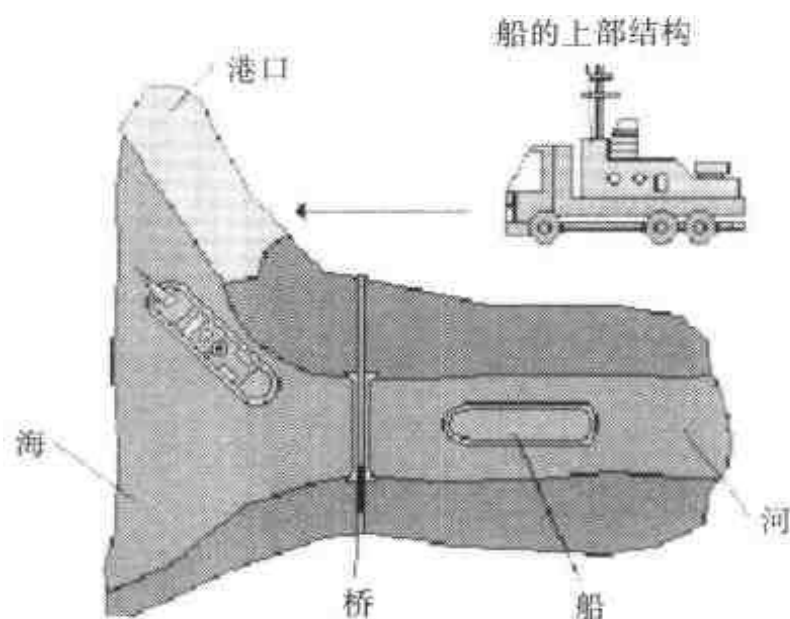


图 6-16 未完成的船

17. 维数变化

1) 将一维空间中运动或静止的物体变成在二维空间中运动或静止的物体,在二维空间中的物体变成三维空间中的物体。如为了扫描一个物体,红外线计算机鼠标在三维空间运动,而不是在一个平面内运动;五轴机床的刀具可被定位到任意所需的位置上。

2) 将物体用多层排列代替单层排列。如能装 6 个 CD 盘的音响不仅增加了连续放音乐的时间,也增加了选择性。

3) 使物体倾斜或改变其方向。如自卸车。

4) 使用给定表面的反面。如叠层集成电路。

例 6-17 矿车进入垂直面(图 6-17)

当空矿车和负载矿车在矿井中需要对调时,通过增加隧道宽度来解决是不理想的。因为隧道宽度的增大会使隧道顶部安全性降低。

建议应用维数变化原理、动态原理和分离原理来解决。可以通过垂直面来重新排列矿车,如图,将空车抓到负载车的上面,负

载车向前行，在合适位置将空车放下。这样矿车队列变得更为动态化，此过程中所有矿车就像一堆纸牌一样易操作。通过这种方法，可以大大改善矿井工人的安全。

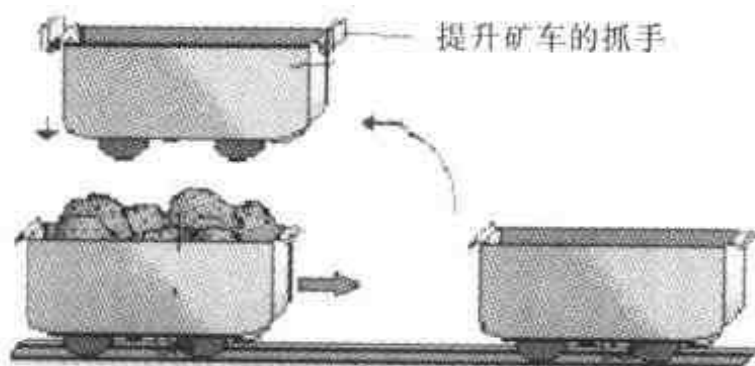


图 6-17 进入垂直面的矿车

18. 振动

- 1) 使物体处于振动状态。如电动雕刻刀具有振动刀片。
- 2) 如果振动存在，增加其频率，甚至可以增加到超声。如通过振动分选粉末。
- 3) 使用共振频率。如利用超声共振消除胆结石或肾结石。
- 4) 使用电振动代替机械振动。如石英晶体振动驱动高精度的表。
- 5) 使超声振动与电磁场耦合。如在高频炉中混合合金。

例 6-18 产品记数装置(图 6-18)

流水线上的机械计数系统长时间使用就会磨损。同时，由于灰尘的积累，光学装置的可靠性将降低。

建议用气流和产品间相互作用产生的声波来计数。让产品沿着一个路径传送，到达终点后和气流接近。产品和气流相互作用产生声波，声波通过麦克风转变成电信号，电信号可用来计数。

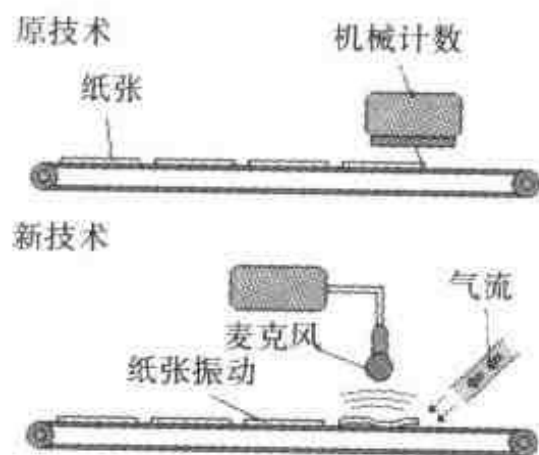


图 6-18 产品记数装置

19. 周期性作用

1) 用周期性运动或脉动代替连续运动。如使报警器声音脉动变化,代替连续的报警声音。

2) 对周期性的运动改变其运动频率。如通过调频传递信息。

3) 在两个无脉动的运动之间增加脉动。如医用呼吸器系统中,每压迫胸部 5 次,呼吸 1 次。

例 6-19 控制振动的方法(图 6-19)

如何控制车床进行金属切削时的振动呢?

建议用“机械振动”原理和“周期作用”原理。按预先确定的频率,短时间周期性的停止切削操作。切削数圈后,撤回刀具。切削圈数与车床的振动阻尼(刚度、转速和固有阻尼)及工件的材料有关。这种方法也可以防止切屑堆积在刀具边缘。

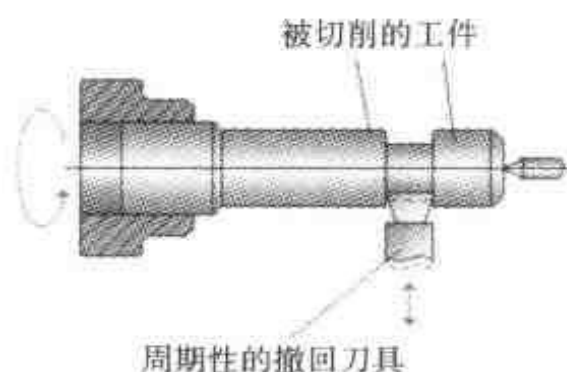


图 6-19 控制切削振动

20. 有效作用的连续性

1) 不停顿地工作,物体的所有部件都应满负荷地工作。如当车辆停止运行时,飞轮或液压蓄能器储存能量,使发动机处在一个优化的工作点。

2) 消除运动过程中的中间间歇。如针式打印机的双向打印。

3) 用旋转运动代替往复运动。

例 6-20 连续工作(图 6-20)

由于机器需要等待新毛坯进入工作面,所以流水线的生产效率受到限制。

建议加工毛坯时,让毛坯与工装一同运动。这项技术可用于

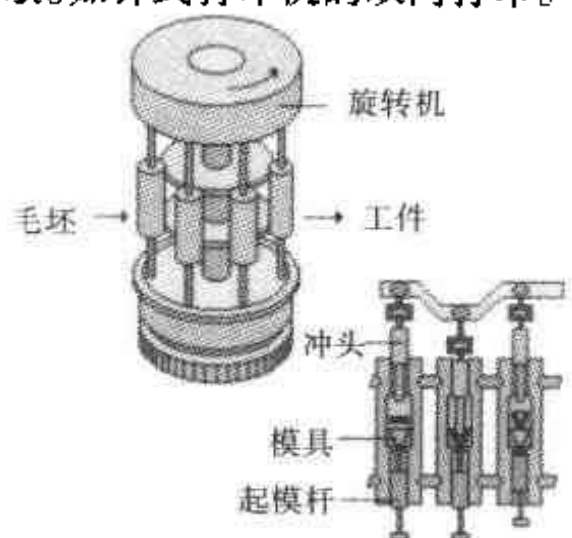


图 6-20 连续工作

回转机械中。由于减少了空转时间,使得旋转流水线的生产效率得到提高。

21. 紧急行动 以最快的速度完成有害的操作。如修理牙齿的钻头高速旋转,以防止牙组织升温。

例 6-21 高速切断管路
(图 6-21)

传统方法截断大直径薄壁管路时,管路变形与过度挤压是个大缺陷。

建议使用加速原理。刀具以极快的速度切削使管路没有时间变形(有一定惯性)。

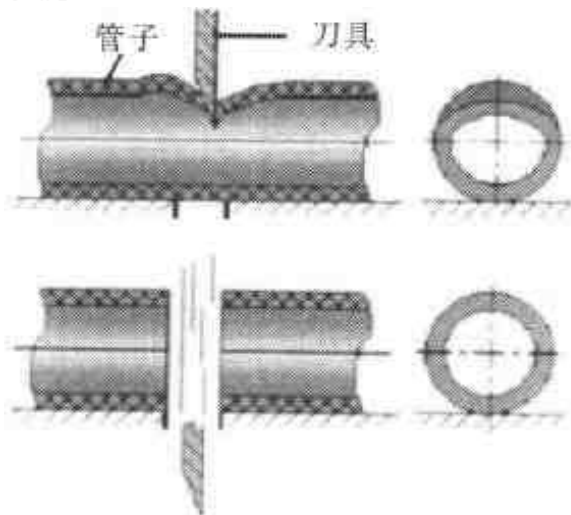


图 6-21 切断管路的方法

22. 变有害为有益

1) 利用有害因素,特别是对环境有害的因素,获得有益的结果。如利用余热发电;利用秸秆作板材原料。

2) 通过与另一种有害因素结合消除一种有害因素。如例 6-22。

3) 加大一种有害因素的程度使其不再有害。

例 6-22 废物利用(图 6-22)

热力发电站排出的气体必须经过净化,主要是除去其中的酸性成分,尤其是硫磺酞。同时,还要处理含有碱性炉渣和灰尘的污水。

建议使用“变害为益”的原理去除废物,提高净化率。可以用碱性污水吸收酸性气体。这样可以有效地抑制两种

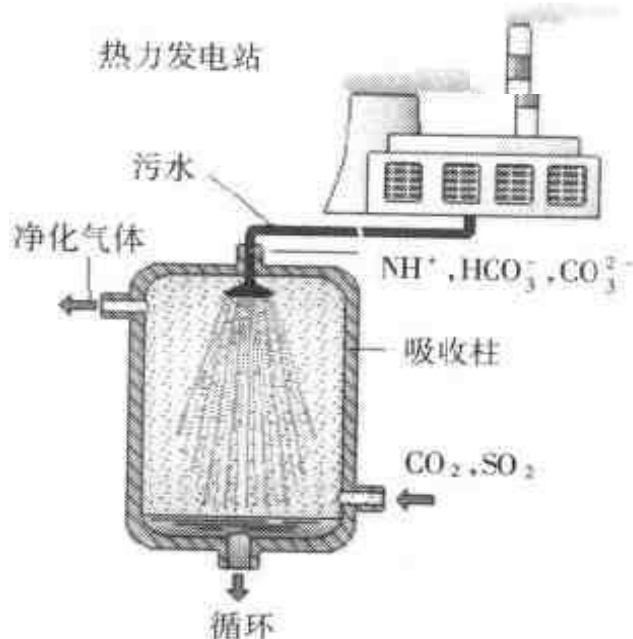


图 6-22 废物利用

污染物中的有害成分。

23. 反馈

1) 引入反馈以改善过程或动作。如音频电路中的自动音量控制;加工中心自动检测装置。

2) 如果反馈已经存在,改变反馈控制信号的大小或灵敏度。如飞机接近机场时,改变自动驾驶系统的灵敏度。

例 6-23 轧机钢板厚度控制 (图 6-23)

控制被轧钢板的厚度,重要的是控制钢板温度。最终的厚度是温度和接近辊子的板的厚度共同作用的结果。

建议使用“反馈”控制输出厚度。可以将接近辊子的钢板的厚度与加热器(电子枪)电子束的进给速度结合起来,电子束通过钢板被传感器监控。钢板越厚,接收到的辐射密度越低。那么发信号降低电子束的进给速度以增加钢板的温度。这种反馈控制改善了输出厚度的精度。

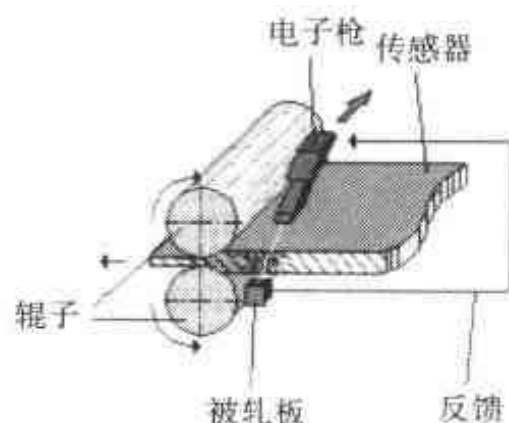


图 6-23 轧机控制

24. 中介物

1) 使用中介物传递某一物体或某一种中间过程。如机械传动中的惰轮。

2) 将一容易移动的物体与另一物体暂时接合。如机械手抓取重物并移动该重物到另一处。

例 6-24 抗磨喷嘴 (图 6-24)

当一种研磨剂喷

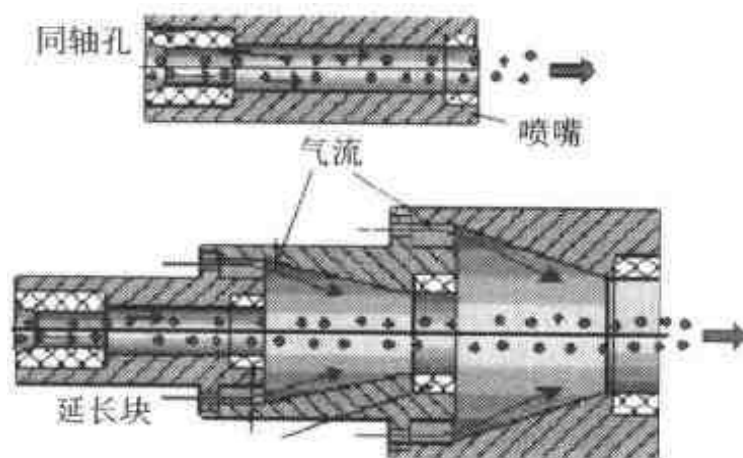


图 6-24 抗磨喷嘴

射器加速到高速时,喷嘴很快就会被磨损。

建议应用中介物原理来减小喷嘴的磨损。可以引进空气介质流来加速研磨剂。这些空气流,通过同轴孔(在喷嘴延长块中)流动,不仅加速了研磨剂而且保护了喷嘴壁少受磨损。

25. 自服务

1) 使一物体通过附加功能产生自己服务于自己的功能。如例 6-25。

2) 利用废弃的材料、能量与物质。如钢铁厂余热发电装置。

例 6-25 自服务挖掘机(图 6-25)

给挖掘机的铲斗提供气体润滑以减少土壤和铲斗的摩擦,也可以防止卸土时土壤附着在铲斗上。然而,在发动机上安装压缩机会增加能量的消耗。

建议使用“自服务”原理来解决问题。用作业时挖掘机悬臂的运动来给铲斗提供空气。这要通过在悬臂上安装一个双作用的气缸来实现。

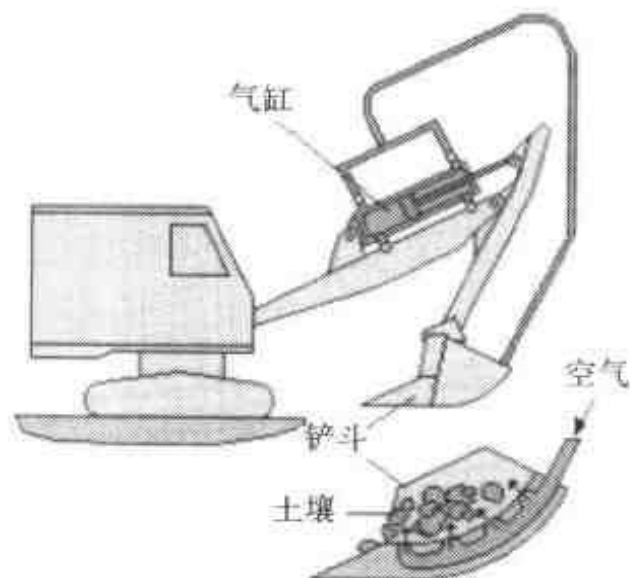


图 6-25 自服务挖掘机

26. 复制

1) 用简单的、低廉的复制品代替复杂的、昂贵的、易碎的或不易操作的物体。如通过虚拟现实技术可以对未来的复杂系统进行研究;通过对模型的实验来代替对真实系统的实验。

2) 用光学拷贝或图像代替物体本身,可以放大或缩小图像。如通过看一名教授的讲座录像可代替亲自参加他的讲座。

3) 如果已使用了可见光拷贝,用红外线或紫外线代替。如利用红外线成像探测热源。

例 6-26 人造岩石工作面(图 6-26)

钻头和发动机要在模拟自然岩石的人造工作面上测试。而且测试时要求的钻探转矩比工作时的大。

建议采用复制与复合材料原理设计一种人造岩石面。使用廉价的铅与钢夹杂物的混合物来制作高质量自然岩石的“复制品”。这种“复制品”能很好地满足测试要求。

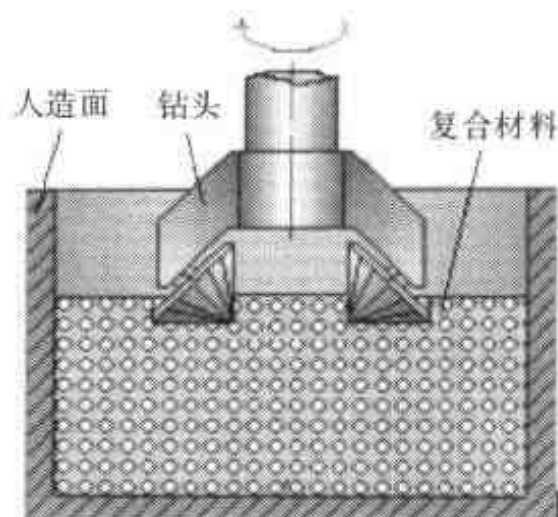


图 6-26 人造岩石工作面

27. 低成本、不耐用的物体代替昂贵、耐用的物体

用一些低成本物体代替昂贵物体,用一些不耐用物体代替耐用物体,有关特性作折衷处理。如一次性纸杯子。

例 6-27 泡沫塑胶飞机减速跑道(图 6-27)

有时,机场跑道太短,飞机会因无法着陆而造成严重事故。解决问题的一个可能办法是加长跑道,但是多建一段跑道耗时耗财,而且要多占土地。

建议用泡沫塑胶板铺一段跑道。如果飞机不能停在水泥跑道上,可以继续在塑胶跑道上减速。实验证明,一段 120m 的塑胶跑道足够使一架波音 727 停止运动。

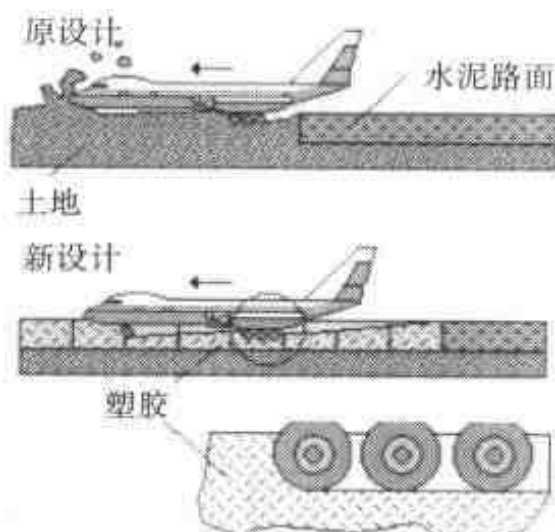


图 6-27 塑胶跑道

28. 机械系统的替代

1) 用视觉、听觉、嗅觉系统代替部分机械系统。如在天然气中混入难闻的气体代替机械或电器传感器来警告人们天然气的泄露。

2) 用电场、磁场及电磁场完成与物体的相互作用。如为了混

合两种粉末,使其中一种带正电荷,另一种带负电荷。

3) 将固定场变为移动场,将静态场变为动态场,将随机场变为确定场。

4) 将铁磁粒子用于场的作用之中。

例 6-28 磁场移去弹性外壳(图 6-28)

从成型机的轴上移去弹壳使用的是机械装置控制的推动器。这种装置可靠性低,而且弹壳经常被刺穿。

建议使用“机械替代”原理改善推动器的效率。用永久磁铁作为推动器放在磁场中提供推动力。反作用力由一个外部磁场(电磁铁)控制。

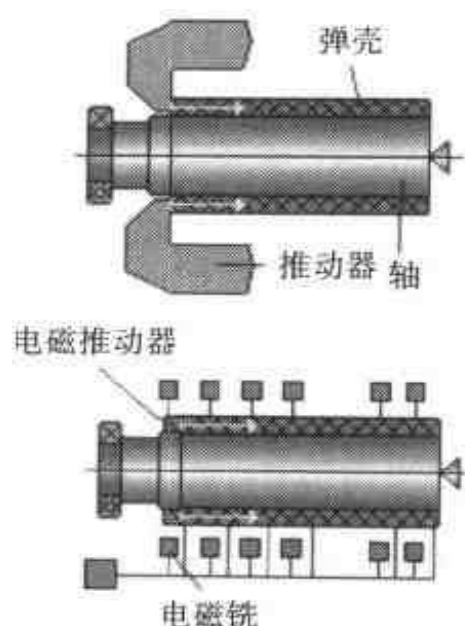


图 6-28 脱壳装置

29. 气动与液压结构

物体的固体零部件可用气动或液压零部件代替,将气体或液体用于膨胀或减振。如车辆减速时由液压系统储存能量,车辆运行时放出能量。

例 6-29 充气夹具(图 6-29)

怎么才能可靠地夹紧易碎件呢?

建议使用液动与气动原理及柔性壳和薄膜原理来发明一种夹具。在夹具主体的螺旋形或 Z 字形凹槽中缠绕一种能膨胀的外壳管子。提升负载时,

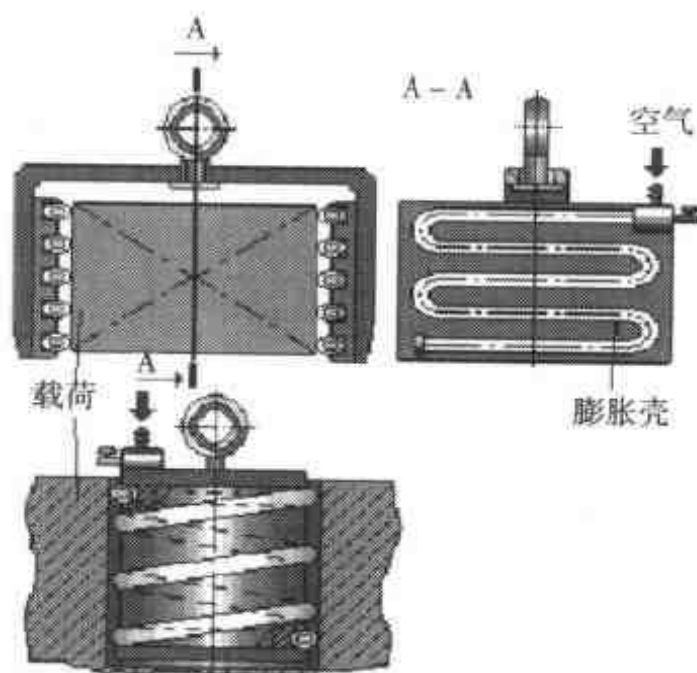


图 6-29 充气夹具

夹具放在凹室中,向壳体内提供压缩空气。管子内部的压力使夹具与负载紧密接触,沿着螺旋管表面的摩擦力增加,负载被提升起来。

30. 柔性壳体或薄膜

1) 用柔性壳体或薄膜代替传统结构。如用薄膜制造的充气结构作为网球场的冬季覆盖物。

2) 使用柔性壳体或薄膜将物体与环境隔离。如在水库表面漂浮一种由双极性材料制造的薄膜,一面具有亲水性能,另一面具有疏水性能,以减少水的蒸发。

例 6-30 压缩松软货物防止移动(图 6-30)

将松软货物装在容器中运输时,容器移动,货物就有可能运动,因此导致容器失衡。而且,由于静电积累也可能发生爆炸。

建议使用柔性外壳和薄膜原理、反作用原理来解决这一问题。用弹性封套来密封

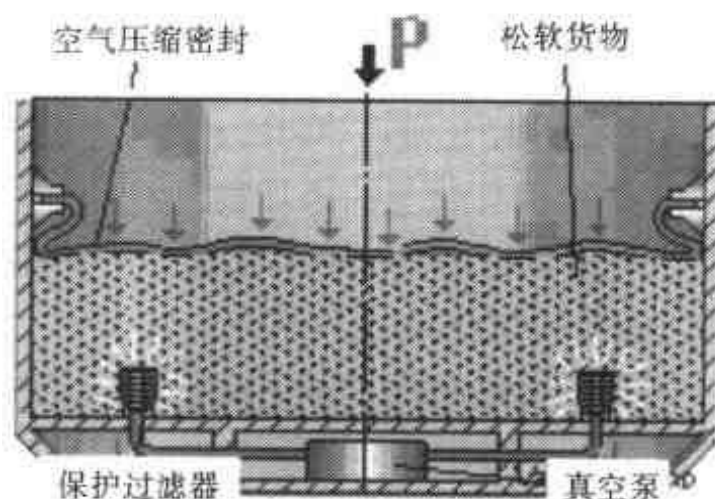


图 6-30 松软货物的运输

松软物质,在下面产生真空。于是,封套在空气压力作用下紧紧地压在货物上。这样,可以阻止货物的大范围移动。

31. 多孔材料

1) 使物体多孔或通过插入、涂层等增加多孔元素。如在一结构上钻孔,以减轻质量。

2) 如果物体已是多孔的,用这些孔引入有用的物质或功能。如利用一种多孔材料吸收接头上的焊料;利用多孔钯储藏液态氢。

例 6-31 用织物向轮子上粘贴钻石颗粒(图 6-31)

如何在金属轮的外表面粘一层钻石颗粒?

建议采用“多孔材料”和“中介物”原理来解决。金属轮的表面用多孔材料(如织物)制成。将钻石粉末粘在由溶液稍微弄湿的织物上,再将钻石粉末通过镀镍固定(多孔织物可使电解液不溶解而通过)在轮子表面。织物可以用像丙铜类的溶剂溶解掉。这样将使得工艺过程变得更加简单,且提高质量。

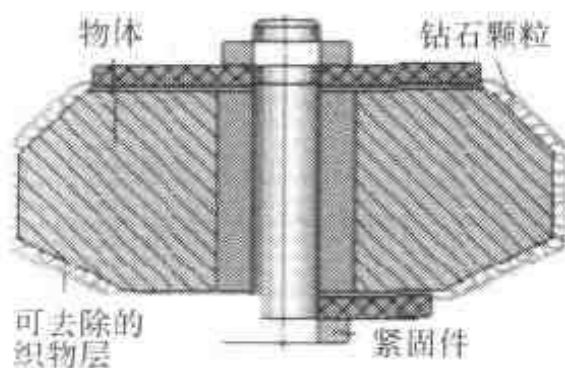


图 6-31 钻石粘贴

32. 改变颜色

- 1) 改变物体或环境的颜色。如在洗像的暗房中要采用安全的光线。
- 2) 改变一个物体的透明度,或改变某一过程的可视性。如采用透明绷带缠绕伤口,可以从绷带外部观察伤口变化的情况。
- 3) 采用有颜色的添加物,使不易被观察到的物体或过程被观察到。如为了观察一个透明管路内的水是处于层流还是紊流,使带颜色的某种流体从入口流入。
- 4) 如果已增加了颜色添加物,则采用发光的轨迹。

例 6-32 轻便辐射熨斗(图 6-32)

如何改善普通家用熨斗的设计?

建议使用改变颜色(透明)原理、改变维数原理来改善设计。用难熔的、透明的玻璃制成基座。被熨的织品直接通过热辐射加热,而不是通过金属基座加热。新设计的熨斗质量轻,加热快,能渗透到织品的整个表面。这样的熨斗既轻便,又节约时间。

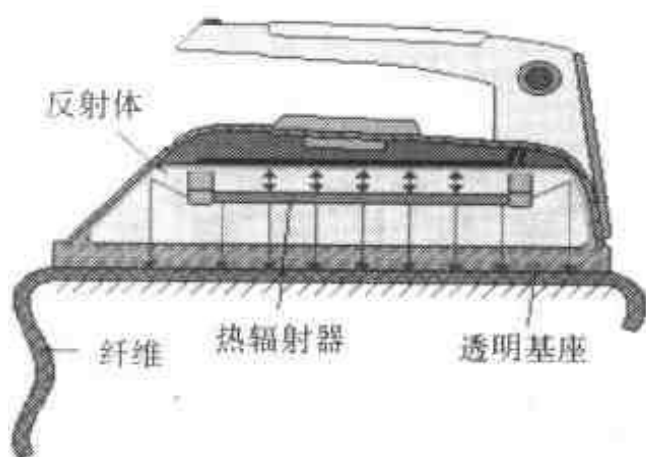


图 6-32 新型熨斗

33. 同质性

采用相同或相似的物质制造与某物体相互作用的物体。如为了减少化学反应,盛放某物体的容器应与该物体用相同的材料制造。

例 6-33 承载轴的设计 (图 6-33)

某传动轴包括一个两端都有头部的管道和内部的一个线圈。由于两头部分材料的强度比内部线圈的强度低很多而使得它的耐久性大大降低。

建议使用“同质性”原理来改善轴的设计。用和线圈同种材质来制作头部以消除耐久性问题。

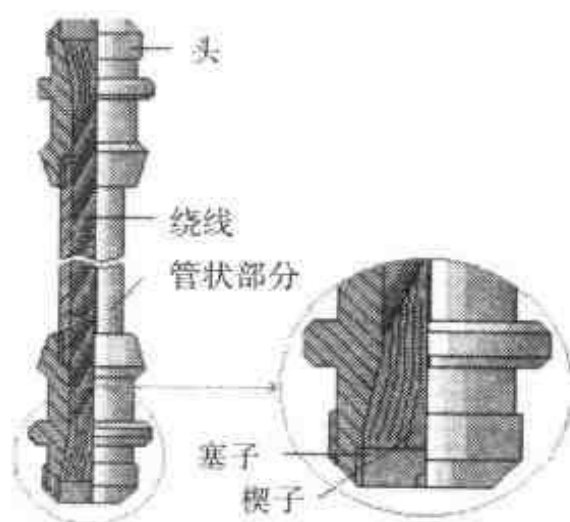


图 6-33 承载轴

34. 抛弃与修复

1) 当一个物体完成了其功能或变得无用时,抛弃或修改该物体中的一个元件。如用可溶解的胶囊作为药面的包装;可降解餐具;子弹壳。

2) 立即修复一个物体中所损耗的部分。如割草机的自刃磨刀具。

例 6-34 用铁粉代替沙子(图 6-34)

为了防滑,通常在柴油机车车轮前面的铁轨上撒上沙子。然而,每次都要使用新沙子。而且沙子容易进入车轮的轴套中,加速摩擦。

建议使用铁粉代替沙子来防滑。磁化装置在撒铁粉前将铁轨磁化。消磁装置将铁轨和使用过的铁粉消磁,并将铁粉收回箱子。

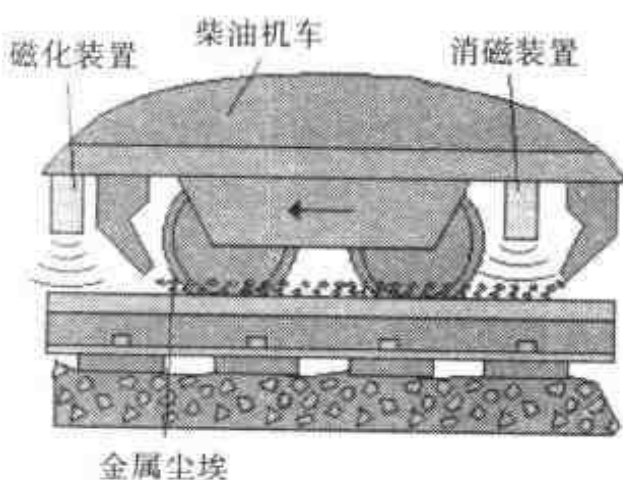


图 6-34 铁轨防滑

35. 参数变化

1) 改变物体的物理状态,即使物体在气态、液态、固态之间变化。如使氧气处于液态,便于运输。

2) 改变物体的浓度或粘度。如从使用的角度看,液态香皂的粘度高于固态香皂,且使用更方便。

3) 改变物体的柔性。如用三级可调减振器代替轿车中不可调减振器。

4) 改变温度。如使金属的温度升高到居里点以上,金属由铁磁体变为顺磁体;为了保护动物标本,需将其降温。

例 6-35 研磨剂硬化(图 6-35)

在钻探过程中,高温喷嘴将研磨剂喷到岩石表面。研磨剂可以循环使用。然而,由于热作用研磨剂被软化,这样钻岩石的效率就很低。

建议使用改变参数原理来提高钻岩石的效率。为了硬化研磨剂并且适当地瓦解物质,用水来冷却研磨剂。冷却后再利用的研磨剂可以提高钻探效率。

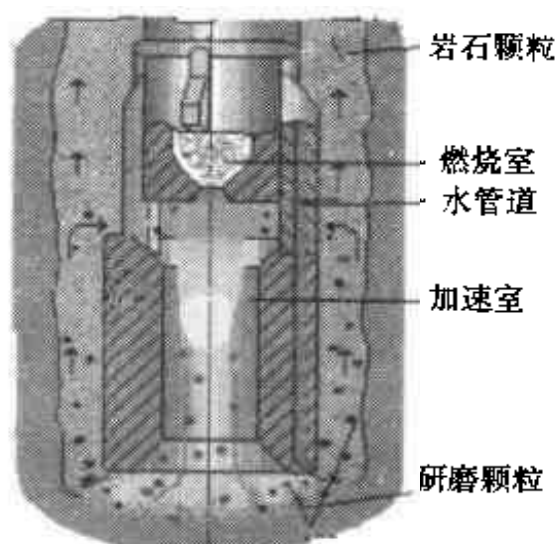


图 6-35 研磨剂硬化

36. 状态变化

在物质状态变化过程中实现某种效应。如合理利用水在结冰时体积膨胀的原理;热泵利用吸热散热原理。

例 6-36 弹簧端部的固定(图 6-36)

尽管设计者已经做出了各种努力,但是插入零件内的弹簧的末端仍随时可能脱落。

建议使用状态转换原理固定零件内弹簧的末端。在零件上做一个倒锥倾斜面的凹槽,其中用在一定温度下易熔金属填充,将

弹簧末端覆盖。当金属冷却后,填充物即形成一个不能脱落的塞子,将弹簧末端固定于零件之中。

37. 热膨胀

1) 利用材料的热膨胀或热收缩性质。如装配过盈配合的两个零件时,将内部零件冷却,外部零件加热,之后装配在一起并置于常温中。

2) 使用具有不同热膨胀系数的材料。如双金属片传感器。

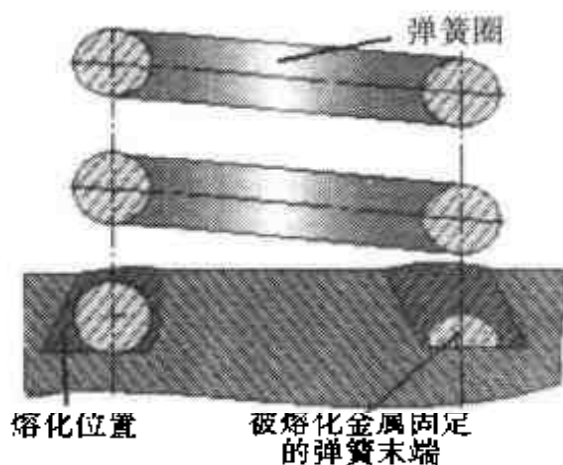


图 6-36 弹簧端部固定方法

例 6-37 热量测试仪 (图 6-37)

热量测试仪用来测量在化学反应期间里释放的热量。不过这种热量测试仪的反应速度不够快。

建议利用物质的热膨胀原理。热量测试仪敏感元件用长 $400\mu\text{m}$ 、厚 $1.5\mu\text{m}$ 的双金属板制成。在反应过程中,释放的热量将板加热,使板弯曲。控制系统用来决定板弯曲所需要的热量。这种热量测试仪的敏感度增加了 $5\sim 10\text{K}$ 。

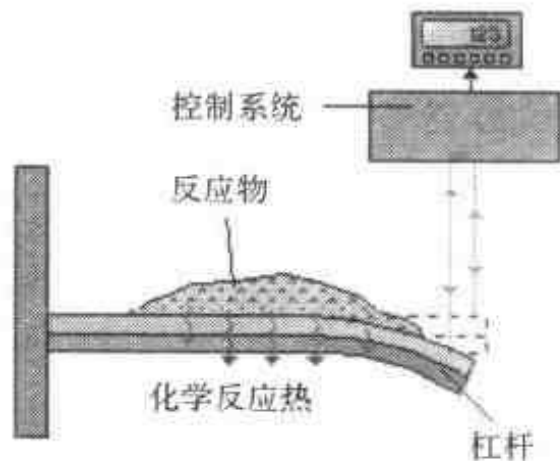


图 6-37 热量测试仪

38. 加速强氧化

使氧化从一个级别转变到另一个级别,如从环境气体到充满氧气,从充满氧气到纯氧气,从纯氧到离子态氧。

如为了获得更多的热量,焊枪里通入氧气,而不是用空气。

例 6-38 在氧化空气中焊接 (图 6-38)

如何防止金属液滴粘附到被焊的零件上? 用特殊液体在零件

表面上涂层有一个缺点，即当金属液滴落到涂层上时，涂层会分解成有毒物质。

建议使用强氧化剂原理来提高焊接工艺的安全性。在焊接区域内提供氧(或氮)，炽热的溅落的液滴会被覆盖上一层氧化物(或氮化物)。这既可以防止液滴粘附在零件上，又可以使焊接工艺无毒。

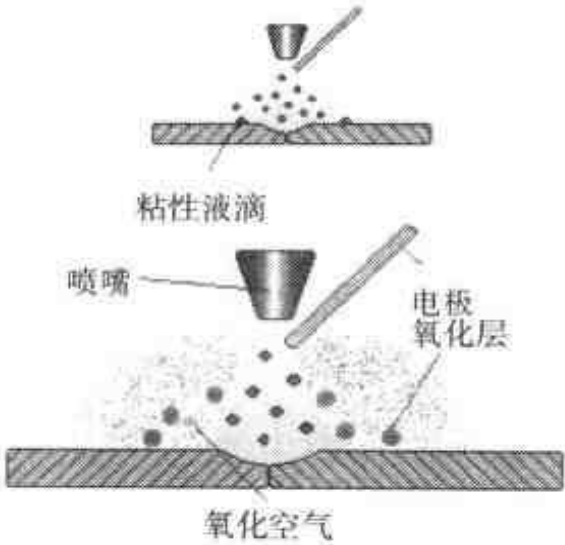


图 6-38 在氧化空气中焊接

39. 惰性环境

1) 用惰性环境代替通常环境。如为了防止炽热灯丝的失效,让其置于氩气中。

2) 让一个过程在真空中发生。

例 6-39 清洁过滤器(图 6-39)

在冶金生产中,往往使用从熔炉气体中分离出一氧化碳在燃烧室中燃烧来加热水和金属。在给燃烧室供气之前,应先将灰尘过滤掉。如果过滤器被阻塞,就应该使用压缩空气将灰尘清除。然而,这样形成的一氧化碳和空气的混合物容易发生爆炸。

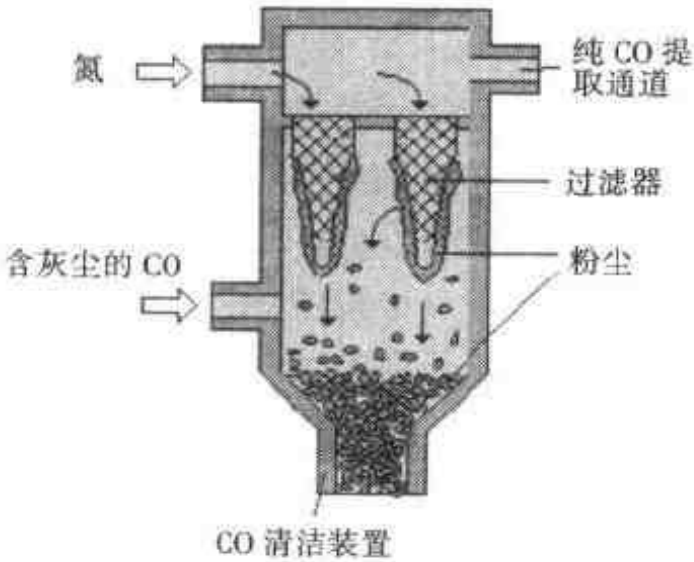


图 6-39 清洁过滤器

建议使用惰性气体代替空气。例如,将氮气通过过滤器以保证过滤器的清洁和工作过程的安全。

40. 复合材料 将材质单一的材料改为复合材料。如玻璃纤维与木材相比较轻,其在形成不同形状时更容易控制。

例 6-40 超级飞轮

为了提高飞轮积聚特殊能量的特性,应当使用密度低、强度高的材料来制造飞轮。

建议飞轮的轮缘用玻璃复合材料。这种材料比金属合金的密度低,但强度能满足要求。这种飞轮积聚的特殊能量将达 4000 kJ/kg 。



图 6-40 超级飞轮

上述这些原理都是通用发明原理,未针对具体领域,其表达方法是描述可能解的概念。如几个原理建议采用柔性方法,问题的解要涉及到在某种程度上改变已有系统的柔性或适应性,设计者根据该建议提出已有系统的改进方案,这将有助于问题的迅速解决。还有一些原理范围很宽,应用面广,既可应用于工程,又可用于管理、广告和市场等领域。

6.3 冲突矩阵

6.3.1 冲突矩阵的组成

在设计过程中如何选用发明原理作为产生新概念的指导是一个具有现实意义的问题。通过多年的研究、分析和比较,Altshuller 提出了冲突矩阵,该矩阵将描述技术冲突的 39 个工程参数与 40 条发明原理建立了对应关系,很好地解决了设计过程中选择发明原理的难题。

冲突解决矩阵为 40 行 40 列的一个矩阵,其中第 1 行或第 1 列为按顺序排列的 39 个描述冲突的工程参数序号。除第 1 行与第 1 列外,其余 39 行与 39 列形成一个矩阵,矩阵元素中或空、或有几个数字,这些数字表示 40 条发明原理中的推荐采用原理序号。图 6-41 为矩阵简图(详细的矩阵请见附录 A)。矩阵中的行所描述

的工程参数为冲突中恶化的一方，列所代表的工程参数是改善的一方。

应用该矩阵的过程为：首先在 39 个标准工程参数中，确定使产品某一方面质量降低（恶化）及提高的工程参数 B 及 A 的序号，之后将参数 B 及 A 的序号从第 1 行及第 1 列中选取对应的序号，最后在两序号对应行与列的交叉处确定一特定矩阵元素，该元素所给出的数字为推荐采用的发明原理序号。如希望质量提高与降低的工程参数序号分别为 No.5 及 No.3，在矩阵中，第 5 列与第 3 行交叉处所对应的矩阵元素如图 6-41 中的椭圆所示，该元素中的数字 14、15、16 及 4 为推荐的发明原理序号。

↓

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	...	No. 39
No. 1			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		35, 3, 24, 37
No. 2				10, 1, 29, 35			1, 28, 15, 35
No. 3	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		14, 4, 28, 29
No. 4		35, 28, 40, 29					30, 14, 7, 26
⇒ No. 5	2, 17, 29, 4		14, 15, 16, 4				10, 26, 34, 2
...							
No. 39	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 3		

图 6-41 冲突解决矩阵

6.3.2 冲突矩阵的应用

图 6-42 是一种开口扳手的示意图。图中，扳手在外力的作用下拧紧或松开一个六角螺钉或螺母。由于螺钉或螺母的受力集中到两条棱边，容易产生变形，而使螺钉或螺母的拧紧或松开困难。

开口扳手已有多年的生产及应用历史，在产品进化曲线上应该处于成熟期或退出期，但对于传统产品很少有人去考虑设计中的不足并且改进其设计。按照 TRIZ

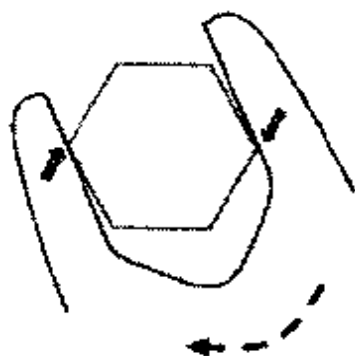


图 6-42 开口扳手

理论,处于成熟期或退出期的改进设计,必须发现并解决深层次的冲突,提出更合理的设计概念。目前的扳手可能损坏螺钉/螺母棱边,新的设计必须克服目前设计中的该缺点。现应用冲突矩阵解决该问题。

首先从 39 个标准工程参数中选择并确定技术冲突的一对特性参数:

- 1) 质量提高的参数:物体产生的有害因素(No.31)。
- 2) 带来负面影响的参数:可制造性(No.32)。

由冲突矩阵确定可用发明原理为:

No.4 不对称

No.17 维数变化

No.34 抛弃与修复

No.26 复制

对 No.17 及 No.4 两条原理的分析表明,板手工作面的一些点要与螺母/螺钉的侧面接触,而不仅是与其棱边接触就可解决该冲突。美国专利 US Patent 5 406 868 正是基于这种原理设计的,如图 6-43 所示。

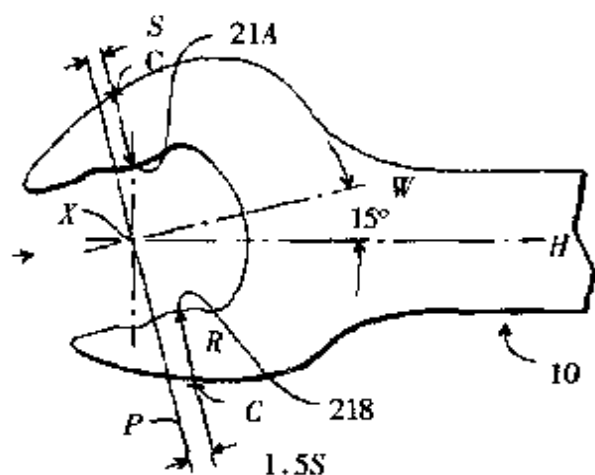


图 6-43 开口扳手美国专利

US Patent 5 406 868

6.4 技术冲突问题解决过程

Altshuller 的冲突理论似乎是产品创新的灵丹妙药,实际在应用该理论之前的前处理与应用之后的后处理仍然是关键的问题。图 6-44 表明了问题求解的全过程。

当针对具体问题确认了一个技术冲突后,要用该问题所处技术领域中的特定术语描述该冲突。之后,要将冲突的描述翻译成一般术语,由这些一般术语选择标准工程参数。由标准工程参数在冲突解决矩阵中选择可用解决原理。一旦某一或某几个原理被

应用40条原理

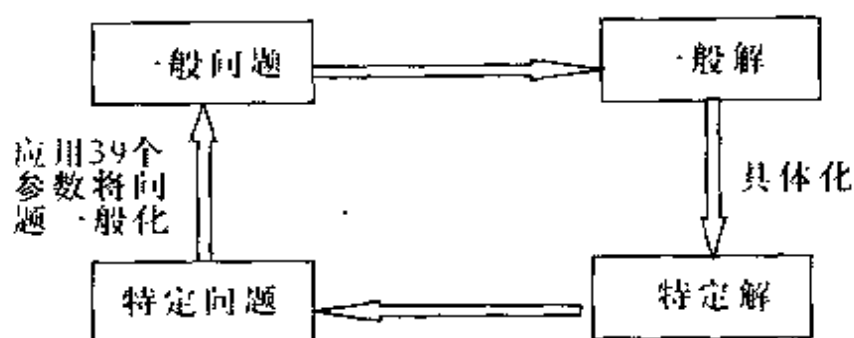


图 6-44 技术冲突解决原理

选定后，必须根据特定的问题应用该原理以产生一个特定的解。对于复杂的问题一条原理是不够的，原理的作用是使原系统向着改进的方向发展。在改进的过程中，对问题的深入思考、创造性和经验都是必须的。

可把上述技术冲突解决原理具体化为 12 步：

- 1) 定义待设计系统的名称。
- 2) 确定待设计系统的主要功能。
- 3) 列出待设计系统的关键子系统、各种辅助功能。
- 4) 对待设计系统的操作进行描述。
- 5) 确定待设计系统应改善的特性、应该消除的特性。
- 6) 将涉及到的参数要按标准的 39 个工程参数重新描述。
- 7) 对技术冲突进行描述：如果某一工程参数要得到改善，将导致哪些参数恶化。
- 8) 对技术冲突进行另一种描述：假如降低参数恶化的程度，要改善参数将被削弱，或另一恶化参数将被加强。
- 9) 在冲突矩阵中由冲突双方确定相应的矩阵元素。
- 10) 由上述元素确定可用发明原理。
- 11) 将所确定的原理应用于设计者的问题。
- 12) 找到、评价并完善概念设计及后续的设计。

通常所选定的发明原理多于 1 个，这说明前人已用这几个原理解决了一些特定的技术冲突。这些原理仅仅表明解的可能方

向，即应用这些原理过滤掉了很多不太可能的解的方向。尽可能将所选定的每条原理都用到待设计过程中去，不要拒绝采用推荐的任何原理。假如所有可能的解都不满足要求，对冲突重新定义并求解。

40 条原理在解决实际问题中被采用的频率不同，如图 6-45 所示。该图表明，原理 No. 35 被应用的频率最多，No. 20 被应用的频率最少。

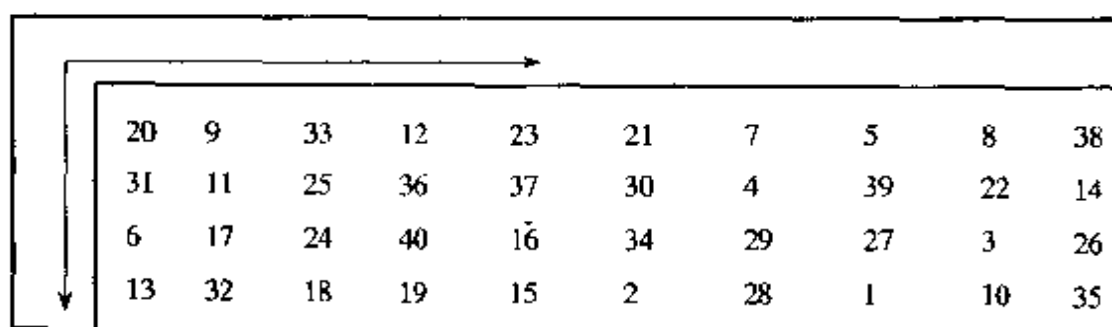


图 6-45 发明原理被应用的频率(箭头表示频率增加的方向)

6.5 本章小结

本章详细介绍了设计过程中技术冲突的解决方法。主要是应用突矩阵和阅读所有的 40 条发明原理两种方法，以找到一个最适用的原理。第二种方法似乎不太合理，但经验表明，不断地应用这些原理，将大大提高设计人员的创新能力。经过不断的努力，设计人员会记住主要的发明原理和它们的意义，并能够熟练地应用于解决实际问题。

第7章 物理冲突解决原理

7.1 前言

物理冲突是 TRIZ 要研究解决的关键问题之一。当对一子系统具有相反的要求时就出现了物理冲突。例如,为了容易起飞,飞机的机翼应有较大的面积,但为了高速飞行,机翼又应有较小的面积,这种要求机翼具有大的面积与小的面积同时存在的情况,对于机翼的设计就是物理冲突,解决该冲突是机翼设计的关键。与技术冲突相比,物理冲突是一种更尖锐的冲突,设计中必须解决。

本章介绍物理冲突的分类及解决原理。

7.2 物理冲突的类型

当对一子系统有相反的要求时就出现了物理冲突。出现物理冲突的子系统成为关键子系统 A,该子系统可以是任何的物质或场。物理冲突的一般描述方法为:

- 1) 关键子系统(名称)应该具有或已有(“有用”参数),以能满足(“第一条要求”)。
- 2) 该子系统(名称)不应该或不能有(“有害”参数),以能满足(“第二条要求”)。

括号内的内容应根据设计实例的具体名称更换。

上述的描述方法是一般方法, Savransky 等人对此给出了更为详细的描述。Savransky 将其归为若干类,本节分别介绍 Savransky 描述方法及 Terninko 描述方法。

Savransky 在 1982 提出了如下的物理冲突描述方法:

- 1) 关键子系统 A 必须存在, A 不能存在。

2) 关键子系统 A 具有性能 B, 同时应具有性能 - B, B 与 - B 是相反的性能。

3) A 必须处于状态 C 及状态 - C, C 与 - C 是不同的状态。

4) A 不能随时间变化, A 要随时间变化。

1998 年, Teminko 等提出了物理冲突描述方法, 该方法基于需要的或有害的效应将物理冲突分为三种:

1) 为了实现关键功能, 子系统要具有一有用功能 (UF), 但为了避免出现一有害功能 (HF), 子系统又不能具有上述有用功能。

2) 关键子系统的特性必须是一大值以能取得有用功能 UF, 但又必须是一小值以避免出现有害功能 HF。

3) 关键子系统必须出现以取得一有用功能, 但又不能出现以避免出现有害功能。

表 7-1 是常见的物理冲突。

表 7-1 物理冲突

几何类	材料及能量类	功能类
长与短	多与少	喷射与卡住
对称与不对称	密度大与小	推与拉
平行与交叉	导热率高与低	冷与热
厚与薄	温度高与低	快与慢
圆与非圆	时间长与短	运动与静止
锋利与钝	粘度高与低	强与弱
窄与宽	功率大与小	软与硬
水平与垂直	摩擦系数大与小	成本高与低

物理冲突的表达方式较多, 设计者可以根据特定的问题, 采取容易理解的表达方法即可。

7.3 物理冲突解决方法

物理冲突的解决方法一直是 TRIZ 研究的重要内容, Altshuller 在 20 世纪 70 年代提出了 11 种解决方法, 20 世纪 80 年代 Glazunov 提出了 30 种解决方法, 20 世纪 90 年代 Savransky 提出了 14 种解

决方法。本节介绍 Altshuller 的 11 种方法。

1. 冲突特性的空间分离 如采矿的过程中为了遏制粉尘,需要微小水滴,但微小水滴产生雾,影响工作。建议在微小水滴周围混有锥形大水滴。

2. 冲突特性的时间分离 根据焊缝宽度的不同,改变电极的宽度。

3. 将不同系统或元件与一超系统相连 传送带上的钢板首尾相连,以使钢板端部保持温度。

4. 将系统改为反系统,或将系统与反系统相结合 为防止伤口流血,在伤口处缠上绷带。

5. 系统作为一个整体具有特性 B,其子系统具有特性 -B 链条与链轮组成的传动系统是柔性的,但每一个链节是刚性的。

6. 微观操作为核心的系统 微波炉可代替电炉等加热食品。

7. 系统中一部分物质的状态交替变化 运输时氧气处于液态,使用时处于气态。

8. 由于工作条件变化使系统从一种状态向另一种状态过渡 如形状记忆合金管接头,在低温下管接头很容易安装,在常温下不会松开。

9. 利用状态变化所伴随的现象 一种输送冷冻物品的装置的支撑部件是冰棒制成的,在冷冻物品融化过程中,能最大限度的减少摩擦力。

10. 用两相的物质代替单相的物质 抛光液由一种液体与一种粒子组成。

11. 通过物理作用及化学反应使物质从一种状态过渡到另一种状态 为了增加木材的可塑性,木材被注入放入含有盐的氨水,由于摩擦这种木材会分解。

7.4 分离原理

现代 TRIZ 在总结物理冲突解决的各种研究方法的基础上,提出了采用如下的分离原理解决物理冲突的方法:

- 1) 空间分离。
- 2) 时间分离。
- 3) 基于条件的分离。
- 4) 整体与部分的分离。

通过采用内部资源,物理冲突已用于解决不同工程领域中的很多技术问题。所谓的内部资源是在特定的条件下,系统内部能发现及可利用的资源,如材料及能量。假如关键子系统是物质,则几何或化学原理的应用是有效的;如关键子系统是场,则物理原理的应用是有效的。有时从物质到场,或从场到物质的传递是解决问题的有效方案。

7.4.1 空间分离原理

所谓空间分离原理是将冲突双方在不同的空间分离,以降低解决问题的难度。当关键子系统冲突双方在某一空间只出现一方时,空间分离是可能的。应用该原理时,首先应回答如下问题:

是否冲突一方在整个空间中“正向”或“负向”变化?在空间中的某一处冲突的一方是否可不按一个方向变化?如果冲突的一方可不按一个方向变化,利用空间分离原理是可能的。

例 7-1

自行车采用链轮与链条传动是一个采用空间分离原理的例子。在链轮与链条发明前,自行车存在两个物理冲突,其一为了高速行驶需要一个直径大的车轮,为了乘坐舒适,需要一个小的车轮,车轮既要大又要小形成了物理冲突;其二骑车人既要快蹬脚蹬,以提高速度,又要慢蹬以感觉舒适。链条、链轮及飞轮的发明解决了这两组物理冲突。首先,链条在空间上将链轮的运动传递给飞轮,飞轮驱动自行车后轮旋转;其次链轮直径大于飞轮,链轮

以较慢的速度旋转将导致飞轮较快的旋转速度。因此,骑车人可以较慢的速度驱动脚蹬,自行车后轮将以较快的速度旋转,自行车车轮直径也可以较小。

例 7-2

潜水艇利用电缆拖着千米之外的声纳探测器,以在黑暗的海洋中感知外部世界的信息。被拖的声纳探测器与产生噪声的潜水艇在空间处于分离状态。

7.4.2 时间分离原理

所谓时间分离原理是将冲突双方在不同的时间段分离,以降低解决问题的难度。当关键子系统冲突双方在某一时间段只出现一方时,时间分离是可能的。应用该原理时,首先应回答如下问题:

是否冲突一方在整个时间段中“正向”或“负向”变化?在时间段中冲突的一方是否可不按一个方向变化?如果冲突的一方可不按一个方向变化,利用时间分离原理是可能的。

例 7-3

一加工中心用快速夹紧机构,在机床加工一批零件时,夹紧机构首先在一个较大的行程内作适应性调整,加工每一个零件时要在短行程内快速夹紧与快速松开以提高工作效率。同一子系统既要求快速又要求慢速,出现了物理冲突。

因为在较大行程内适应性调整与在之后的短行程快速夹紧与松开发生在不同的时间段,可直接应用时间分离原理。该机构的设计简图如图 7-1 所示。

图中长行程适应性调整由手柄完成,短行程快速夹紧与松开由液压系统完成。

例 7-4

折叠式自行车在行走时体积较大,在储存时因已折叠体积较小。行走与储存发生在不同的时间段,因此采用了时间分离原理。

例 7-5

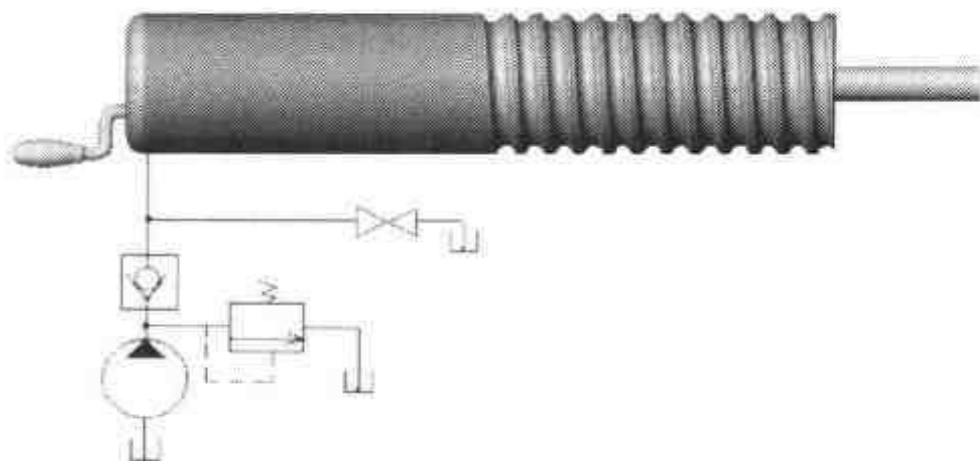


图 7-1 快速夹紧机构原理图

飞机机翼在起飞、降落与在某一高度正常飞行时几何形状发生变化,这种变化采用了时间分离原理。

7.4.3 基于条件的分离

所谓基于条件的分离原理是将冲突双方在不同的条件下分离,以降低解决问题的难度。当关键子系统冲突双方在某一条件下只出现一方时,基于条件分离是可能的。应用该原理时,首先应回答如下问题:

是否冲突一方在所有的条件下都要求“正向”或“负向”变化?在某些条件下,冲突的一方是否可不按一个方向变化?如果冲突的一方可不按一个方向变化,利用基于条件的分离原理是可能的。

例 7-6

水与跳水运动员所组成的系统中,水即是硬物质,又是软物质,这取决于运动员入水时的相对速度。相对速度高,水是硬物质,反之是软物质。

例 7-7

水射流既是硬物质,又是软物质,取决于水射流的速度。

例 7-8

输水管路冬季如果水结冰管路将被冻裂。采用弹塑性好的材料制造的管路可解决该问题。

7.4.4 总体与部分的分离

所谓总体与部分的分离原理是将冲突双方在不同的层次分离,以降低解决问题的难度。当冲突双方在关键子系统层次只出现一方,而该方在子系统、系统或超系统层次内不出现时,总体与部分的分离是可能的。

例 7-9

自行车链条微观层面上是刚性的,宏观层面上是柔性的。

例 7-10

自动装配生产线与零部件供应的批量化之间存在冲突。自动生产线要求零部件连续供应,但零部件从自身的加工车间或供应商运到装配车间时要求批量运输。专用转换装置接受批量零部件,但连续的将零部件输送给自动装配生产线。

7.5 分离原理与发明原理的关系

英国 Bath 大学的 Mann 通过研究提出,解决物理冲突的分离原理与解决技术冲突的发明原理之间存在关系,对于一条分离原理,可以有多条发明原理与之对应。表 7-2 是其研究结果。

表 7-2 分离原理与发明原理的关系

分离原理	发明原理
空间分离	1、2、3、4、7、13、17、24、26、30
时间分离	9、10、11、15、16、18、19、20、21、29、34、37
整体与部分分离	12、28、31、32、35、36、38、39、40
条件分离	1、7、25、27、5、22、23、33、6、8、14、25、35、13

只要能确定物理冲突及分离原理的类型,40 条发明原理及发明原理的工程实例可帮助设计者尽快确定新的设计概念。

例 7-11

图 3-4 所示波音公司改进 737 设计过程中,出现的技术冲突为:即希望发动机吸入更多的空气,但又不希望发动机罩与地面的距离减少。将该技术冲突转变为物理冲突:

发动机罩的直径应该加大,以吸入更多的空气,但机罩直径又不能加大,以不使路面与机罩之间的距离减少。

现采用空间分离原理来解决该物理冲突。空间分离对应的发明原理中有 No.4 不对称原理。按该原理,可以将对称设计改为不对称设计。图 7-2 是改进后设计方案(示意图)与改进前的比较。

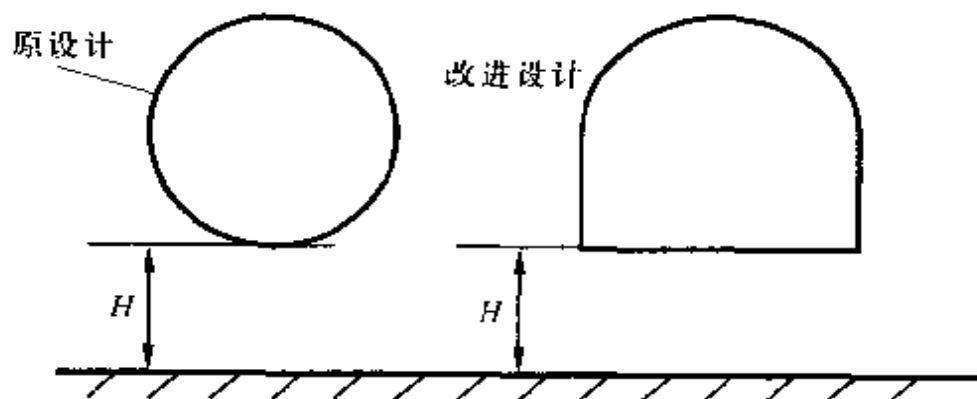


图 7-2 波音 737 发动机罩改进设计方案示意图

7.6 本章小结

设计中的很多问题最终都会转化为物理冲突,解决物理冲突成为创新设计的关键问题之一。本章系统的介绍了物理冲突的解决原理:Altshuller 的 11 种方法及分离原理,实践证明这些方法及原理是非常有效的。设计人员如能掌握,必将增加其创新能力。

第8章 概念设计

8.1 概述

概念设计首先要确定待设计系统的功能,之后是确定实现该功能的效应,最后确定作用原理。功能是系统输入与输出之间,以完成任务为目的总的相互关系。效应是指将有关量联系起来的物理的、化学的、数学的、生物的、几何的及材料的等有关定律。作用原理是将效应工程实现的最基本形式。如果实现待设计产品所有功能的效应都已确定,则产品的工作原理已经确定。

概念设计的核心是确定待设计产品新的、有市场竞争力的工作原理。如果已知某产品的工作原理,企业中的工程技术人员能够完成作用原理及后续的技术设计与详细设计。因此,本章主要介绍基于 TRIZ 的待设计产品新的或改进的工作原理产生的过程。其结果可用文字或简图表示。

8.2 概念设计过程

创新的核心是发现冲突及解决冲突。发现冲突是通过对已有系统或虚拟系统的分析得到的,冲突的解可通过解决技术冲突或物理冲突得到。因此,基于 TRIZ 的概念设计过程可围绕问题的分析与解决冲突来进行。图 8-1 是基于 TRIZ 的概念设计过程流程图。

分析是 TRIZ 的工具之一,包括产品的功能分析、理想解(IFR, ideal final result)的确定、可用资源分析及冲突区域的确定。分析是解决问题的一个重要阶段。

功能分析的目的是从完成功能的角度而不是从技术的角度

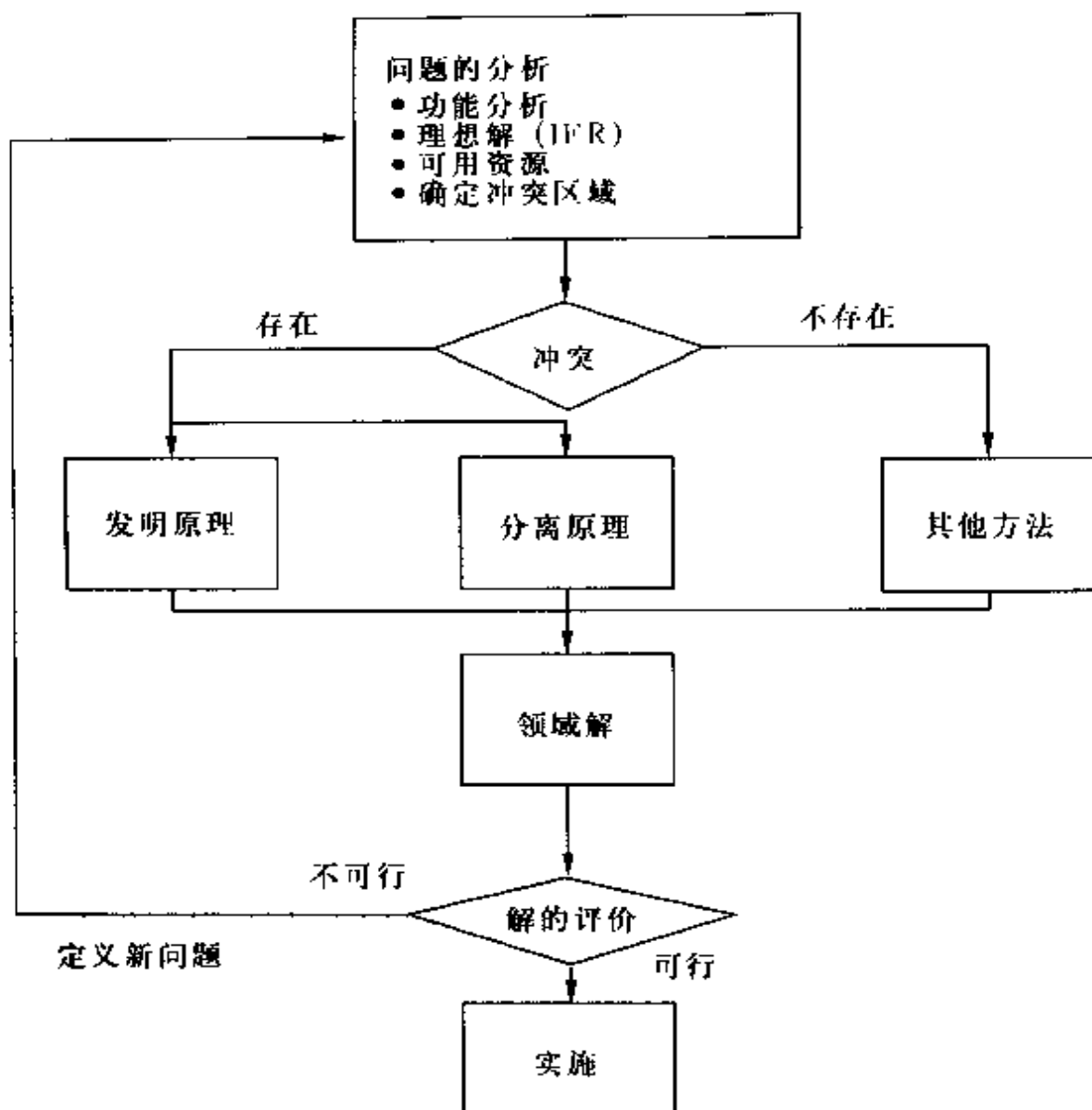


图 8-1 TRIZ 概念设计过程流程图

分析系统、子系统和部件。该过程包括裁剪(trimming),即研究每一个功能是否必需,如果必需,系统中的其他元件是否可完成其功能。设计中的重要突破、成本或复杂程度的显著降低往往是功能分析及裁剪的结果。

假如在分析阶段问题的解已经找到,可以移到实现阶段。假如问题存在冲突,TRIZ 中的发明原理、分离原理都是可用的工具,也可采用 TRIZ 中的其他方法,如效应知识库、ARIZ 算法等。

发明原理、分离原理、效应知识库和 ARIZ 算法等所得到的解

往往是通解，是设计思路，问题的领域设计人员还需根据本领域的特点将其具体化，即找到问题的特解。

所得到的原理解要通过评价确定是否满足要求，如果满足要求，则进行后续的设计工作，反之，要对问题进行再分析。

8.3 汽车安全气囊

汽车正面碰撞是造成交通事故 65% 伤亡的原因。安全气囊就是为了在汽车正面碰撞过程中最大限度的保护驾驶员及前排乘客。当驾驶员及乘客戴安全带时，安全气囊对人的保护效果应该最佳。但对很多装有安全气囊轿车的交通事故调查发现，安全气囊每保护 20 人，就有 1 人不能受其保护而死亡，而且死亡的人一般身体较矮，如儿童与妇女。

8.3.1 系统分析

轿车是一个系统，安全气囊只是其中的子系统，该子系统简图如图 8-2 所示。汽车是气囊的超系统，碰撞物可能是另一辆汽车或其他物体。气囊装在气囊筒内，气囊筒装在汽车方向盘前端。安装在汽车前端的传感器感受到汽车减速度信号，传给激发器并使气囊迅速膨胀并充满具有一定压力的气体，完全膨胀后，囊内压力要有所降低，气体的减振作用将保护碰撞到气囊上的司

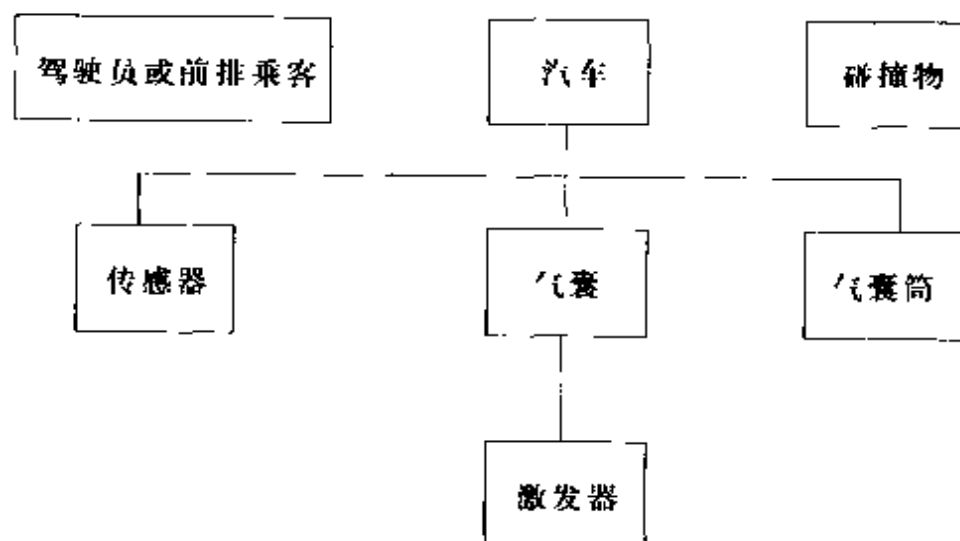


图 8-2 安全气囊子系统

机或乘客。

轿车安全气囊的功能是在汽车正面碰撞时保护司机与乘客,但目前的设计保护了身体高的司机与乘客,而有可能伤害身体矮的司机与乘客。其原因是身体矮的司机为了踩刹车及油门,身体较接近于方向盘,汽车碰撞时,气囊膨胀过程中,身体矮的司机可能碰上了气囊。膨胀过程中的气囊动能大,像是一个运动中的刚体,会伤害与其碰撞的司机。上身长、腿短的司机受伤害的可能性更大。妇女一般身体矮,儿童不仅身体矮而且经常不戴安全带,因此,容易受到伤害。

设安全气囊与司机和乘客组成一个系统。安全气囊目前的设计保护大部分司机与前排乘客,但有可能伤害身体矮的司机与乘客。该设计可用如下的物质——场模型描述:气囊 S2 在机械能 FM 的作用下迅速膨胀保护了司机与乘客 S1.1,却伤害了司机与乘客 S1.2。这说明,原设计存在技术冲突。

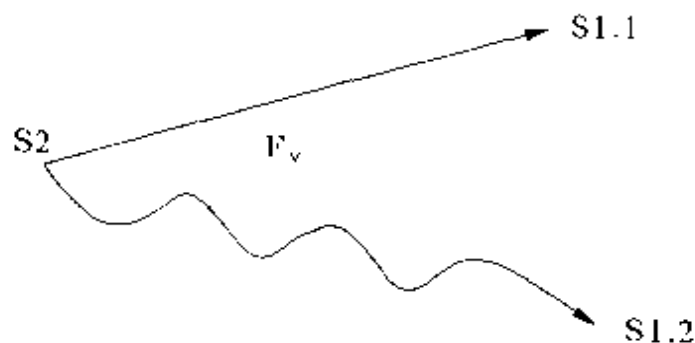


图 8-3 安全气囊与司机乘客物质—场模型

图中: FM 指机械能; S1.1 指身体较高的司机与乘客; S1.2 指身体矮的司机与乘客; S2 指气囊。

如果要进行创新设计,其标志是要彻底的克服现设计中存在的冲突,即新的安全气囊不仅要保护身体较高的司机与乘客,又要保护身体较矮的司机与乘客。改进设计后的最终模型应该如图 8-4 所示。

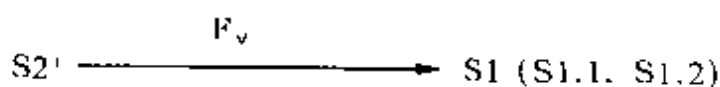


图 8-4 改进设计后的安全气囊子系统

8.3.2 技术冲突及消除

美国政府有关部门曾建议减少安全气囊功率的方法解决该问题。所谓的功率定义为气囊的膨胀力与膨胀速度之积。减少该功率使气囊膨胀速度减慢,可以保护身体矮的司机与乘客,但汽车在高速运行时如果发生碰撞,所有身材的司机与乘客均高速前倾,可能要碰撞到方向盘、仪表盘或挡风玻璃上,从而受到伤害,膨胀速度慢的气囊并不能有效的保护他(她)们。如果按该方法进行设计,设计中的技术冲突:减少气囊功率可以减少其膨胀速度,减少司机、乘客与气囊碰撞所造成的伤害;但汽车高速行驶过程的碰撞,由于气囊未能及时膨胀将会带来更多的伤害。如图 8-5 所示。

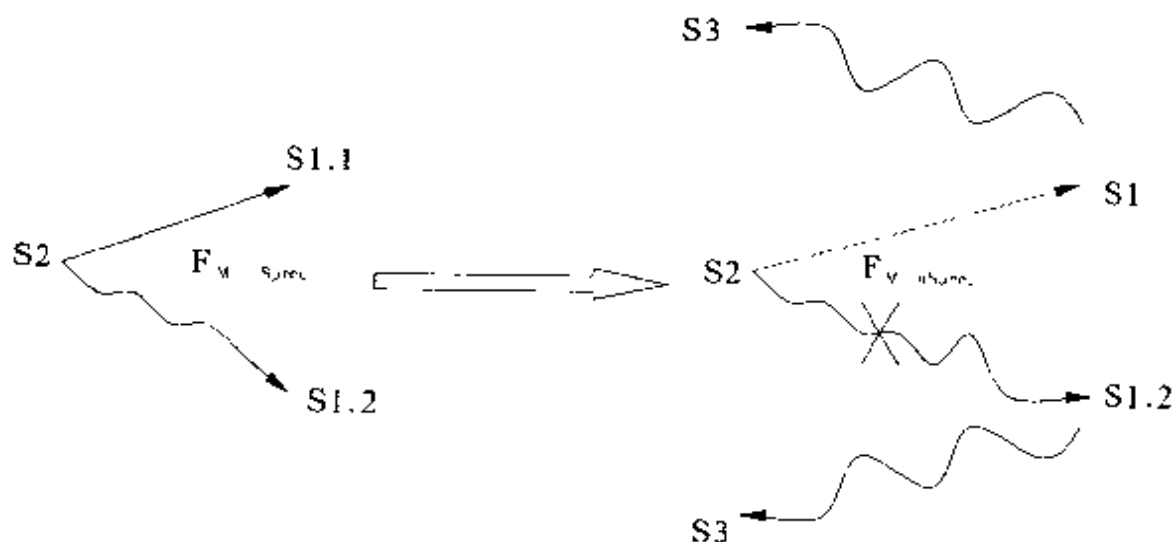


图 8-5 系统变换

图中 S3 是指方向盘、仪表盘或挡风玻璃等。

无论是原始设计还是改进建议,都存在技术冲突。现将技术冲突标准化并应用冲突矩阵确定可用的发明原理,通过这些发明原理去发现消除冲突的基本思路。

冲突的一方是要改变气囊的膨胀速度,以保护一部分司机与乘客;另一方是速度的改变使另一部分司机与乘客受到伤害。这一技术冲突可用 39 个标准工程参数中的第 15 及第 31 个参数描述。

No.15 运动物体作用时间:物体完成规定动作的时间及服务

期。两次误动作之间的时间也是作用时间的一种度量。

No.31 物体产生的有害因素：有害因素将降低物体或系统的效率或完成功能的质量。这些有害因素是由物体或系统操作的一部分而产生的。

由冲突矩阵可以查出，可用发明原理序号为：21、39、16 和 22。

1) No.21 紧急行动：以最快的速度完成有害的操作。

加快而不是减小气囊的膨胀速度，当完全膨胀后才出现身体矮的司机或乘客与其碰撞的可能，则能保护所有的司机或前排乘客。

2) No.39 惰性环境：用惰性环境代替通常环境。

在汽车碰撞过程中对人的伤害是由于膨胀过程中的气囊动能的作用，使其像一个刚体，如果某种物质能够软化气囊表面，使碰撞处于惰性的环境，就可保护司机与乘客。

3) No.16 未达到或超过的作用：如果 100% 达到所希望的效果是困难的，稍微未达到或稍微超过预期的效果将大大简化问题。

气囊体积减少，功率增加，使其迅速膨胀，可以保护司机与乘客。

4) No.22 变有害为有益

a) 利用有害因素，特别是对环境有害的因素，获得有益的结果；

b) 通过与另一种有害因素结合消除一种有害因素；

c) 加大一有害因素的程度使其不再有害。

增加气囊的膨胀速度，当其完全膨胀后司机或乘客才可能与气囊碰撞。

表 8-1 是采用发明原理消除技术冲突的一个总结。

表 8-1 所示的消除技术冲突的方法已给出了安全气囊改进设计基本思路，或已完成了概念设计的初步内容。根据这些思路，

表 8-1 消除技术冲突

发明原理序号与名称	消除技术冲突的方法
No. 21 紧急行动	加快而不是减小气囊的膨胀速度, 当完全膨胀后才出现身体矮的司机或乘客与其碰撞的可能, 则能保护所有的司机或前排乘客
No. 39 惰性环境	在汽车碰撞过程中对人的伤害是由于膨胀过程中的气囊的动能作用, 使其像一个刚体, 如果某种物质能够软化气囊表面, 使碰撞处于惰性的环境, 就可保护司机与乘客
No. 16 未达到或超过的作用	气囊体积减少, 功率增加, 使其迅速膨胀, 可以保护司机与乘客
No. 22 变有害为有益	增加气囊的膨胀速度, 当其完全膨胀后司机或乘客才可能与气囊碰撞

领域专家(安全气囊设计人员)可根据本企业设计与生产安全气囊的实际或根据可实现的能力进一步完善已提出的概念, 画出工作原理简图及实现简图, 完成概念设计。

8.4 织物印花操作装置

图 8-6 是织物印花操作装置原理图。该装置由橡胶辊、图案辊、染料溶液、染料槽及刀片组成, 橡胶辊与图案辊处于旋转状态, 并驱动待印花织物运动。待印花织物通过橡胶辊与图案辊之间时, 由于橡胶辊对图案辊的压力, 使图案辊的图案凹陷处出现真空, 真空使染料溶液吸附到织物上, 从而完成印花的功能。

本装置的制品是印花织物, 织物被两辊子驱动的线速度与织物成本有直接的关系。线速度越高, 生产率越高, 织物成本越低, 设备的生产能力越高, 这是任何企业都需要的。但提高线速度时, 织物上图案的颜色深度降低, 即制品质量降低。如何即提高织物的线速度, 又不降低制品质量, 是改进图 8-6 装置的设计应考虑的问题。

传统的改进设计有如下两种概念:

- 1) 增加图案辊凹陷部分的深度, 能容纳更多的染料溶液, 使

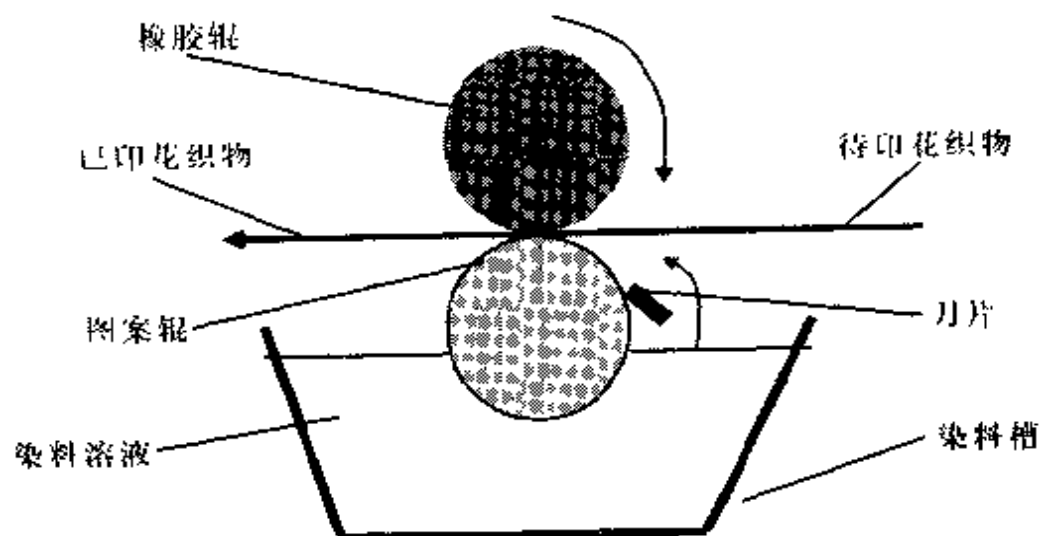


图 8-6 织物印刷操作装置及过程

高速运动的织物能吸附更多的染料溶液。实验表明实施这种概念是不成功的。

2) 降低染料溶液的粘度,使其在真空状态下更容易被吸附到高速运动的织物上去。但由于溶液粘度降低后,溶液中的溶质减少,尽管织物上吸附的溶液增加,但干燥后织物上所剩溶质减少,导致图案颜色深度降低。

上述两种概念均未成功。现采用 TRIZ 对该装置进行改进设计。

8.4.1 问题分析

1. 选择关键问题 如图 8-7 所示。

增加织物线速度	(+)增加了生产率
	(-)降低颜色深度

图 8-7

2. 确定有用功能 UF、制品及工具。

- 1) 有用功能 UF: 提高生产率。
- 2) 制品: 印上花的织物。
- 3) 工具: 织物印刷操作装置。

装置的线速度直接影响到织物上染料溶液的吸附量。

3. 确定有害功能 HF、制品及工具

1) 有害功能 HF: 减少溶液的吸附量。

2) 制品: 印上花的织物。

3) 工具: 织物印刷操作装置。

当装置的线速度增加时, 织物上的染料吸附量减少。

4. 发现有用功能及有害功能的通用部分 织物与织物印刷操作装置是有用及有害功能的通用部分。

5. 用图形表示冲突(图 8-8) 织物线速度增加, 导致生产率提高, 即有用功能得到加强, 但这种加强减少了溶液的吸附量, 即产生了有害功能。

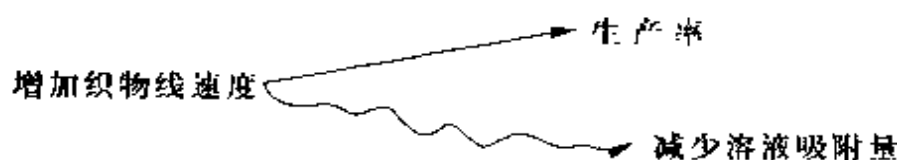


图 8-8 设计中的冲突

6. 去掉专业词汇, 重新定义关键问题 如图 8-9 所示。

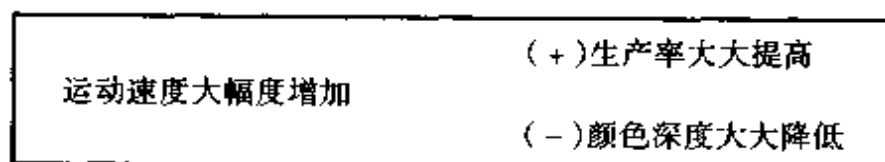


图 8-9

7. 建立初始功能冲突 IC-1 (Functional Initial Contradiction) IC-1:

假如线速度大大增加, 则 (+) 将获得高的生产率, 但 (-) 颜色深度将大大降低。

8. 关键问题的反问题 假如线速度降低到低于通常的速度以下, (-) 生产率将低于一般所希望的水平, 但 (+) 颜色深度不会降低到通常水平以下。

9. 用图形表示反问题(图 8-10)

10. 建立反问题的初始功能冲突 IC-2 IC-2: 假如线速度低

于通常的速度,则(+)将消除颜色深度降低,但生产率将降低。

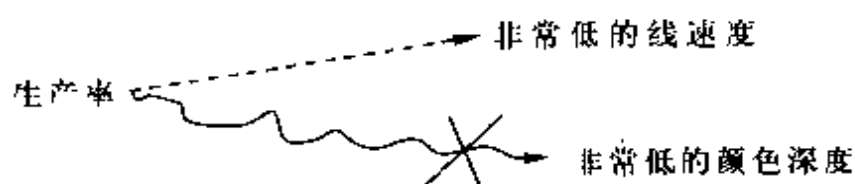


图 8-10 冲突的反问题

11. 问题的定义 一个由织物印刷装置及织物组成的技术系统将增加织物线速度。

IC-1: 假如线速度大大增加,则(+)将获得高的生产率,但(-)颜色深度将大大降低。

IC-2: 假如线速度低于通常的速度,则(+)将消除颜色深度降低,但生产率将降低。

在尽可能少地改变系统的条件下,(+)增加线速度,又不使织物颜色深度降低。

8.4.2 伪冲突及解

1. 伪冲突(PFC)的建立 织物印刷操作装置应提高工作的线速度,以提高生产率,同时要保证织物的颜色深度。

2. 试用冲突解决矩阵解决该冲突 选则标准工程参数表示上述冲突。

要改变的特性: 速度(No.9)

不希望的结果: 运动物体的质量(No.1)

由冲突解决矩阵查出: No.11、No.35、No.27 及 No.28 是推荐的发明原理。

(1) No.11 预补偿 采用预先准备好的应急措施补偿物体相对较低的可靠性。由该原理得到的可能解为:

1) 因为颜色深度随织物线速度的提高而降低,可能通过对织物进行化学预处理,改变织物对染料溶液在高速运动时的吸附性。

2) 可以在染料溶液中增加添加剂,改变溶液被高速运动的织物的吸附能力。

(2) No.35 参数变化 改变物体的物理状态,使物体在气态、液态和固态之间变化;改变物体的浓度或粘度;改变物体的柔性;改变温度。由该原理得到的可能解为:

1) 应用原理 11 已改变过织物或染料溶液的物理状态。

2) 目前的织物是由 50%的棉花、50%的聚酯组成的。因为聚酯对溶液的吸附能力差,为了增加其对溶液的吸附能力,织物可以变为由 100%的棉花组成。棉花的成本高于聚酯,因此,织物成份含量的改变将改变最终制品的性能及成本。

3) 在织物进入印花区之前,对织物进行预热,将有助于印制过程中织物对染料溶液的吸附能力。

4) 通过加热染料溶液,使其粘度由 2500cps 降低到 1000cps,这将改变染料溶液的流动性,提高高速运动织物的吸附能力。

(3) No.27 低成本、不耐用的物体代替昂贵、耐用的物体 用一些低成本物体代替昂贵物体,用一些不耐用物体代替耐用物体,有关特性作折衷处理。由该原理得到的可能解为:

装置中的刀片是金属制成的,可改用塑料件,不仅降低成本,而且提高工作的可靠性。

(4) No.28 机械系统的替代 用视觉、听觉和嗅觉系统代替部分机械系统;用电场、磁场及电磁场完成与物体的相互作用;将固定场变为移动场,将静态场变为动态场,将随机场变为确定场;将铁磁粒子用于场的作用之中。由该原理得到的解为:

目前装置中橡胶辊所采用的橡胶太硬,可换成较软的橡胶;或采用充气辊,以改变两辊的接触面积,改善织物对溶液的吸附性。

8.4.3 原理解确定

通过应用原理 11、35、27 和 28,分别得出了 2、4、1 和 1 个可能的解。通过对这些解的详细分析,取出可能实现的解进行实验表明,原理 28 所得到采用较软橡胶辊的效果好,能达到既提高线速度,又不降低织物颜色深度。因此,该解是概念设计的初步结果。

8.5 宇宙飞船陨石碰撞模拟器

为了模拟陨石在太空飞行中碰撞飞船，将一直径为 3~5 mm 的钢球放入一射流发生器中，经加速与假设的宇宙飞船壳体碰撞（图 8-11 所示）。如果钢球的速度为 8 km/s，钢球保持原来形状，但该速度应达到 16 km/s 才能正确地描述碰撞的实际情况。达到该速度时，组成该钢球的材料自行分离，而不能完成碰撞。现希望提出解决办法。

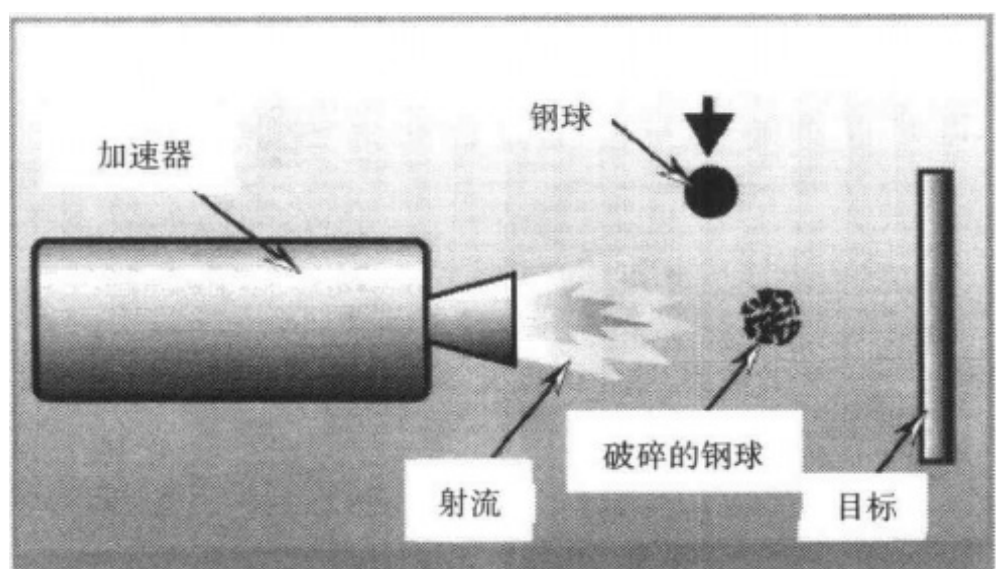


图 8-11 宇宙飞船陨石碰撞模拟器

1. 关键问题 在不对系统进行大的变化的条件下，加速钢球。射流发生器将钢球加速到 16km/sec 能满足碰撞速度要求，但钢球会破碎而失效。

2. 冲突区域 冲突区域是靠近钢球碎片的一层射流。

3. 理想解 (IFR) 高速运动的钢球能满足速度要求，但会破碎。处于冲突区域的气体如能产生一种指向钢球球心的压力，使欲破碎的钢球未破碎则能满足要求。

物理冲突为：钢球产生所需高速运动的同时会破碎。

4. 可用资源 在该区域中唯一可用的资源是组成射流的气体自身。外部资源应使冲突区域的气体产生一种指向钢球球心的

压力。

5. 消除物理冲突 时间分离：

在高速运动钢球碎片产生离心的时刻，又使其产生向心力使其不发生分离。

6. 工程解 在钢球表面有一爆炸物涂层。当高速运动的钢球欲破碎并发生分离的时刻，爆炸物产生内向爆炸，防止钢球破碎。如图 8-12 所示。

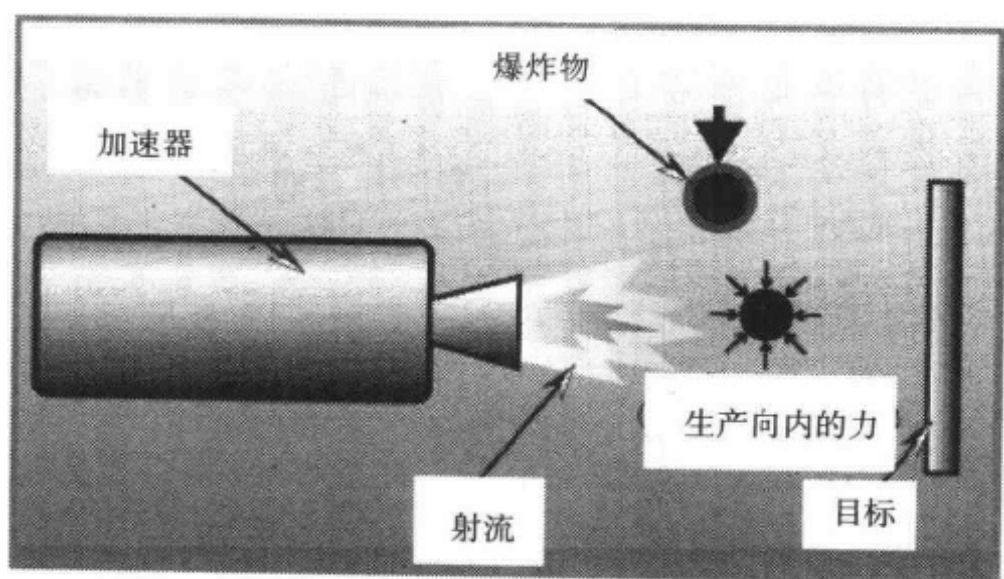


图 8-12 宇宙飞船陨石碰撞模拟器的工程解

8.6 计算机硬盘驱动器可靠性设计

计算机的硬盘驱动器有一动臂，可相对于储存数据的磁盘运动，磁盘在一电机的驱动下转动，动臂的端部为借助于磁场变化读/写数据的读/写头。由于气流的作用读/写头的表面与高速旋转的磁盘表面分开，两表面间的距离很小，之间的任何接触都会丢失数据。磁盘内有一未存有数据的区域，在该区域内，计算机在停止工作及启动时两表面可接触。读/写头停在该区域内时，原设计采用永久磁铁的锁紧机构。计算机外部力的作用如果传给读/写头，使其脱离该区域将导致数据丢失。如果外力大于锁紧力，会出现不能可靠工作的情况。因此，要进行适应性设计，以改善驱动

器的可靠性。

尽管硬盘驱动器系统包含多个功能,从上述的分析可见,与可靠性有直接关系的功能仅是“锁紧读/写头”这一功能。现应用物质一场分析的 4 步求解该问题,并给出简单的说明。

第一步:定义功能名称为“锁紧读/写头”。

F = 磁场, $S1$ = 读/写头, $S2$ = 磁铁。

第二步:用符号系统表示功能模型,如图 8-13 所示。

第三步:重新设计 $S2$ 及 F , 使
锁紧的程度随外力的增加而增大。 $S2 \xrightarrow{F_v} S1$

第四步:专门设计一种类似于 “安全带” 的锁紧机构就能满足要求。

图 8-13 锁紧读/写头模型

8.7 破冰船

冬季通过水路运输货物时,常用破冰船(图 8-14)穿过冰层封闭的航道。破冰船用尖而硬的船头,或使船头翘起、落下,船身左右摇摆,压破冰层,破冰船只能以较低的速度前进。现希望其速度增加。

增加破冰船前进速度通常的方法是增加其发动机功率,但发动机功率增加会带来一系列的

负而影响,如传动系统体积增加、船的质量增加等。因此,存在技术冲突。为了提高船速,必须克服技术冲突。

技术冲突为:速度与功率之间的冲突;生产率(生产能力)与功率之间的冲突。

在工程参数表中,速度是 No.9,生产率是 No.39,功率是

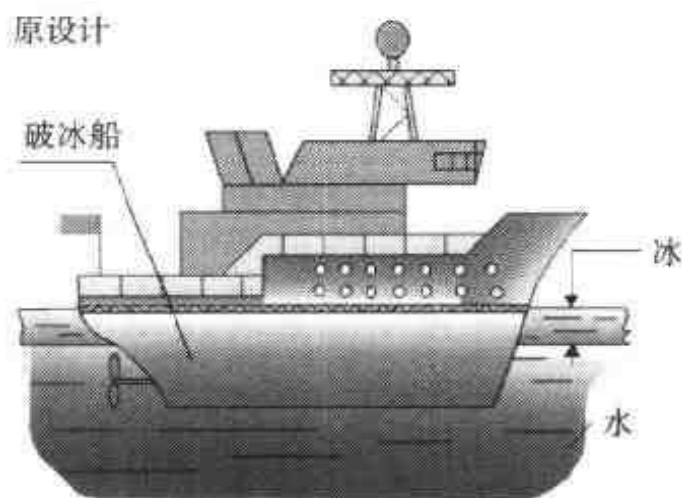


图 8-14 破冰船原设计

No.21。在冲突矩阵内可以找到相应的发明原理,见表 8-2。

表 8-2 技术冲突及解决方法

技术冲突	矩阵元素	选定的发明原理	发明原理名称
速度/功率	[9,21]	19	周期性作用
		35	参数变化
		38	加速强氧化
		2	分离
生产率/功率	[39,21]	35	参数变化
		20	作用的连续性
		10	预操作

1. No.19 周期性作用

- 1) 用周期性运动或脉动代替连续运动。
- 2) 对周期性的运动改变其运动频率。
- 3) 在两个无脉动的运动之间增加脉动。

目前的破冰船用尖而硬的船头,或使船头翘起、落下,船身左右摇摆,压破冰层。应用该原理可知,改变船头翘起与落下的频率、船身左右摇摆的频率或增加船头与冰之间的脉动性等,都有可能提高船的运行速度。

2. No.35 参数变化

1) 改变物体的物理状态,即使物体在气态、液态和固态之间变化。

- 2) 改变物体的浓度或粘度。
- 3) 改变物体的柔性。
- 4) 改变温度。

该原理建议改变船头与冰接触处的物理状态或密度等参数。

3. No.2 分离(分开)

- 1) 将一个物体中的“干扰”部分分离出去。
- 2) 将物体中的关键部分挑选或分离出来。

该原理建议分离船头与冰接触的部分。

4. No.10 预操作

- 1) 在操作开始前,使物体局部或全部产生所需的变化。
- 2) 预先对物体进行特殊安排,使其在时间上有准备,或已处于容易的位置。

该原理建议在破冰之前能对冰有一定的预处理。

对这几条原理详细分析表明:必须改变船与冰接触的部分。如果将与冰接触的部分全部移走,速度会提高,但船体冰层以下的部分将沉入大海。为了避免这种情况,将船体上下两部分用一垂直放置的刀片连接,在冰层以下的船仓放货物,

新设计

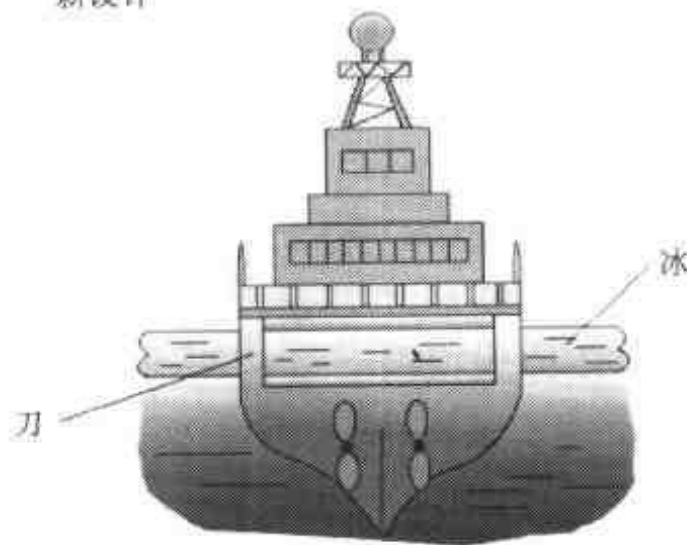


图 8-15 改进后的破冰船原理图

冰层上部可以容纳乘客或货物。刀片在行进中的破冰阻力减小,能使速度提高。改进后的破冰船原理图如图 8-15 所示。

8.8 成功设计的要素

通过汽车安全气囊、织物印花装置、航天器飞行模拟器、硬盘驱动器及破冰船等几个工程实例介绍了应用 TRIZ 解决不同工程问题的稍有变化的过程。不同的设计者应用 TRIZ 解决同一问题的结果可能是完全不同的。一个成功设计要素由如下公式描述:

$$S = P_c \times P_{KN} \times (1 + M) \times (1 + T)$$

式中 S ——成功的设计;

P_c ——个人解决问题的能力,包括创造力、查阅资料的能力和毅力等;

P_{KN} ——领域知识的水平与经验;

M ——TRIZ 方法论与哲学思想的运用;

T ——TRIZ 工具的运用。

从公式可以看出,成功的设计取决于设计者的素质、能力、领域知识水平、TRIZ 方法及工具的灵活运用。

8.9 本章小结

TRIZ 的哲学思想是产品向着理想解的方向进化,不断地解决冲突是产品进化的动力。

本章已详细介绍了一种概念设计过程模型、并以汽车安全气囊等不同领域中的工程实例、不同的求解问题风格介绍了上述模型的应用,并证明了 TRIZ 中发明原理、分离原理及物质-场分析等工具在产品创新中的有效性。

第9章 结 论

产品创新主要取决于概念设计。产生一个新概念的传统方法是试凑法,如图9-1所示。这种试凑的过程类似于艺术家的艺术创作,主要取决于灵感与经验。

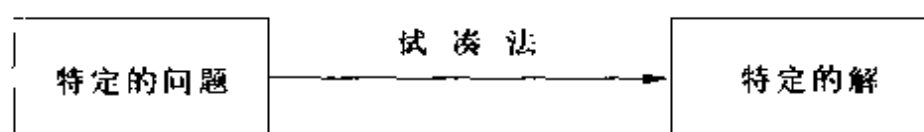


图 9-1 传统的产品创新方法

通过对全世界大量专利的分析与研究,Altshuller 所提出的发明问题解决理论 TRIZ 采用科学的思维方式,采用一系列工具,首先将特定的问题抽象成为标准的或一般的问题,然后采用标准的方法解决,最后得出特定的解。如图9-2所示。

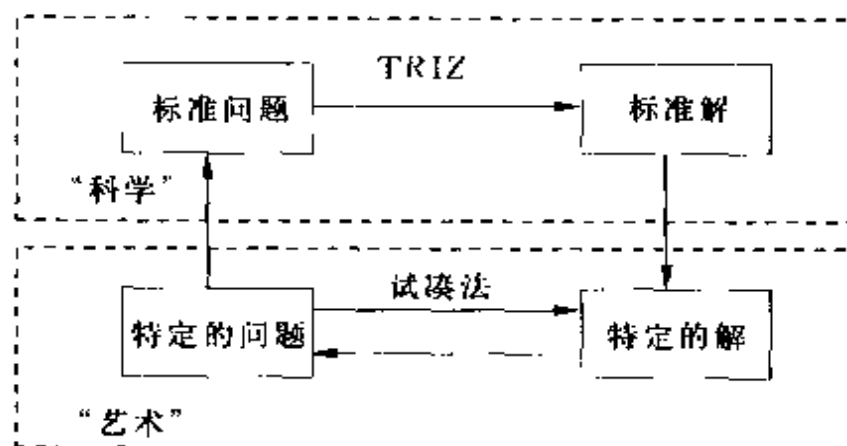


图 9-2 TRIZ 解决问题的过程

通过对专利的分析,Altshuller 得出了以下 3 条发现:

- 1) 类似的问题与解在不同的工业及科学领域交替出现。
- 2) 技术系统进化的模式在不同的工程及科学领域交替出现。
- 3) 创新所依据的科学原理往往属于其他领域。

依据这 3 条发现, Altshuller 等提出了一系列的概念与工具, 如图 9-3 所示。本书已详细介绍了 TRIZ 中的基本概念: 发明的级别、产品进化模式及理想化, 同时介绍了 TRIZ 中的部分工具: 冲突矩阵、发明原理、分离原理及物质-场分析。这些工具不是全部的 TRIZ 工具, 但是最基本的工具, 应用这些工具已经能帮助设计人员加快产品创新的周期, 提高创新水平。

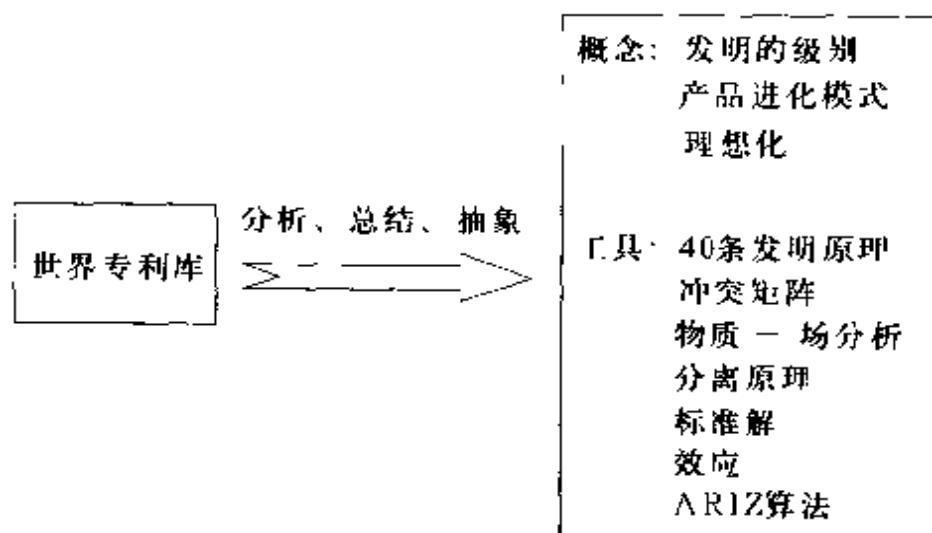


图 9-3 TRIZ 概念与工具

尽管 TRIZ 的研究已有 50 多年的历史, 取得了很多成果, 但还有很多问题有待解决, 很多的理论工作者正为之而努力。

TRIZ 自 20 世纪 80 年代中期传到美国后到现在十几年的时间中, 在美国已得到广泛的关注与应用, 特别是在工业界得到了很多的应用, 如在 Chrysler、Ford、Kodak、McDonnell-Douglas 和 Xerox 等大公司 & 很多中小企业都在应用。其结果是很小的投入, 很丰厚的回报。

美国的少数高校已为本科生及研究生开设 TRIZ 课程, 一些硕士生、博士生的课题也选择与 TRIZ 有关的研究或应用项目。

TRIZ 刚刚引入我国, 仅有为数不多的几个高校的研究小组从事 TRIZ 的研究, 企业对 TRIZ 理论几乎还不知道。理论工作者应加快 TRIZ 的学习与掌握的步伐, 并尽快在我国企业推广应用, 使之在我国企业的技术创新中发挥作用。

参 考 文 献

- 1 路甬祥. 工程设计的发展趋势和未来. 机械工程学报, 1997, 33(1): 1 ~ 8
- 2 谢友柏. 概念设计的基础——获取新知识的资源. 机械设计, 2001, 18(专集): 1 ~ 4
- 3 Altschuller, G. And suddenly the inventor appeared. Technical Innovation Center, Worcester, 1996
- 4 Altschuller, G. The innovation algorithm. Technical Innovation Center, Worcester, 1999
- 5 Savransky, S. D. Engineering of creativity. CRC Press, Boca Raton, 2000
- 6 Lee N., Aguayo I H. A New Model of the Conceptual Design Process Using QFD/FA/TRIZ. TRIZ Journal, July 1998
- 7 Tate D. A Roadmap for Decomposition: Activities, Theories, and Tools for System Design, Ph.D Thesis. Department of mechanical Engineering, MIT, 1999
- 8 Zinovy R. Tool. object, product(TOP) function analysis. TRIZ Journal, Sept., 1999
- 9 Terninko J. Su - Field Analysis, TRIZ Journal, Feb., 2000
- 10 Zlotin B, Zusman A. Problem of ARIZ enhancement, 2000
- 11 Marconi J.. ARIZ: The Algorithm for Inventive Problem Solving, An Americanized Learning Framework. TRIZ Journal, April, 1998
- 12 Terninko J. The QFD, TRIZ and Taguchi connection: customer - driven robust innovation, TRIZ Journal, January, 1998
- 13 Kim, Y.S. , Cochran, D.S. Reviewing TRIZ from the perspective of axiomatic design. J. Eng. Design, 2000, 11(1): 79 ~ 94
- 14 Iyav Loganathan S., Shahin T M M. Design Reuse: an overview. Proc Instn Mech Engrs, 1999, 213(Part B): 641 ~ 654
- 15 Prasad B. Review of QFD and related deployment techniques. Journal of Manufacturing Systems, 1998, 17(3): 221 ~ 234
- 16 Bode J, Fung R Y K. Cost engineering with quality function deployment. Computers and Engng, 1998, 35(3/4): 587 ~ 590
- 17 Kim J K, et al. A knowledge - based approach to the quality function deploy-

- ment. Computers and Engng, 1998, 35(1/2): 233 ~ 236
- 18 Cross N. Engineering Design Methods: strategies for product design. Chichester, Wiley 1991
 - 19 Maffin D.. Engineering Design Models: Context, Theory and practice. Journal of Engineering Design, 1998, 9. (4): 315 ~ 327
 - 20 Dixon, L. A., Colton J. S.. An Anchoring Adjustment Process Model for Re-design. Journal of Engineering Design, 1998, 9. (4): 297 ~ 314
 - 21 Shupe, J. A., Mistree, F., Sobieszanski - Sobieski, J.. Compromise: An Effective Approach for the Hierarchical Design of Structural Systems. Computer and Structures, 1987, 26. (6): 1027 ~ 1037
 - 22 Kirschman C. F., Fadel G. M.. Classifying Functions for Mechanical Design. ASME, Journal of Mechanical Design, 1998, 120: 475 ~ 482
 - 23 G. 帕尔, W. 拜茨, 工程设计学. 北京: 机械工业出版社, 1992
 - 24 Hansen C. T.. An Approach to Simultaneous Synthesis and Optimization of Composite Mechanical Systems. Journal of Engineering Design, 1995, 6. (3), 249 ~ 265
 - 25 檀润华等. 自底向上的适应性设计过程模型. 机械工程学报, 2000, 36 (1): 20 ~ 23
 - 26 檀润华, 谢英俊. 基于功率键图的概念设计. 机械设计, 1997, 14(7): 1 ~ 3
 - 27 檀润华等. 功率键合图在机械设计中的应用进展. 机械设计, 1999, 16 (7): 1 ~ 4
 - 28 檀润华, 陈鹰, 路甬祥. 产生多个设计方案的键合图方法. 机械设计, 1998, 15(1): 14 ~ 16
 - 29 檀润华. 产品设计过程、策略与方法综述. 机械设计, 2000, 17(11): 1 ~ 3
 - 30 檀润华等. 发明问题解决理论: TRIZ——TRIZ 过程、工具及发展趋势. 机械设计, 2001, 18(7): 7 ~ 11
 - 31 檀润华等. 发明问题解决理论: TRIZ——技术冲突及解决原理. 机械设计, 2001, 18(专集): 20 ~ 21
 - 32 张瑞红, 檀润华. 技术冲突解决原理及其应用. 机械设计, 2001, 18(专集): 142 ~ 143
 - 33 檀润华等. 产品设计中的冲突及解决原理. 河北工业大学学报, 2001, 30

(3) :1 ~ 6

- 34 Tan Runhua. The Conceptual Design Of A Fast Claspig Mechanism Based On Function Means Tree And TRIZ. TRIZ Journal, Oct., 2000
- 35 檀润华等. 概念设计中的功能方法树. 机械科学与技术, 2000, 19(4): 563 ~ 565
- 36 Tan Runhua. Quality Function Deployment In Bottom - up Process for Design Reuse, Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, 14(4): 390 ~ 393
- 37 张瑞红, 檀润华. 一种基于数学模型的鲁棒设计新方法及软件实现. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, (10)

