

doi: 10.3969/j.issn.1007-7162.2013.01.002

运用可拓学与 TRIZ 方法解决矛盾问题

李苏洋¹, 杨春燕², 张晓伟¹, 唐文艳¹, 成思源¹

(广东工业大学 1. 机电工程学院 2. 可拓学与创新方法研究所 广东 广州 510006)

摘要: 对可拓学和发明问题解决理论 (Teoriya Rezhnija Inzheneryh Zadach, TRIZ) 方法进行比较, 提出运用可拓学与 TRIZ 相结合的方法解决矛盾问题, 并通过实际案例分别用可拓学和 TRIZ 理论进行分析. 结果表明, 可拓学与 TRIZ 方法在解决矛盾问题时存在异曲同工之妙, 可为设计人员提供更多的创新思路.

关键词: 可拓学; TRIZ 理论; 创新方法; 优度评价

中图分类号: G301; F019

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2013)01-0007-06

The Application of Extenics and the TRIZ Theory in Solving Contradictory Problems

Li Su-yang¹, Yang Chun-yan², Zhang Xiao-wei¹, Tang Wen-yan¹, Cheng Si-yuan¹

(1. School of Electromechanical Engineering, 2. Research Institute of

Extenics and Innovation Methods, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: By comparing extenics and the TRIZ theory, it proposed the method of combining extenics with the TRIZ theory to solve contradictory problems, and analysed some actual cases by using extenics and the TRIZ theory respectively. The results indicate that there exist some similarities between extenics and the TRIZ theory in solving contradictory problems, thus providing more innovative ideas for the designers.

Key words: extenics; TRIZ theory; innovation method; priority-degree evaluation

在市场及技术竞争日趋激烈的环境下, 产品更新换代的周期愈来愈短, 产品创新显得至关重要. 因此, 企业应该加快产品的创新力度, 领先抢占市场份额, 为企业带来更好的效益. 然而, 怎样创新和如何实现创新是解决产品创新问题的前提.

20 世纪 90 年代中后期, 一种用于解决创新性问题的方法——TRIZ 开始在欧美国家风行. TRIZ 是将原俄文字母转换成拉丁字母缩写 (Teoriya Rezhnija Inzheneryh Zadach) 的词头, 其英文缩写为 TIPS (Theory of Inventive Problems Solving), 意为发明问题解决理论. 该理论是前苏联 G. S. Ahshuller 等人自 1946 年开始, 在分析了世界上近 250 万份高水平发明专利的基础上, 提出的一门用于解决创新问题的方法体系, 主要研究发明创造和解决技术难

题的规律. TRIZ 认为创新是有规律可循的, 这些规律可以用于指导人们怎样创新和如何实现创新. 因此, TRIZ 方法引起了工业界的广泛关注和重视. 近年来, 许多世界级公司如波音、施乐、通用、西门子、福特、三星、LG、索尼、惠普、摩托罗拉等应用 TRIZ 进行产品创新, 并取得了巨大收益^[1-5].

无独有偶, 20 世纪 80 年代初期, 一门用于解决创意生成问题的理论和方法——可拓学在中国悄然诞生. 可拓学是由中国学者创立的新学科, 它用形式化的模型研究事物拓展的可能性和开拓新的规律和方法, 并用于处理矛盾问题. 该理论以蔡文教授为首自 1983 年开始, 通过对古今中外的奇谋妙计和解决矛盾问题的创意的分析总结, 抽象出共同的规律, 提出基本方法, 来处理矛盾问题和进行开拓创新. 可拓

收稿日期: 2012-11-12

基金项目: 国家科技部创新方法工作专项资助项目 (2011HM020300); 2011 年度广东省创新方法工作专项资助项目 (2011B061100001); 广东省省部产学研结合专项资金资助项目 (2011A091000040)

作者简介: 李苏洋 (1974-), 女, 讲师, 博士, 主要研究方向为产品创新设计、创新方法研究与应用、机械 CAD/CAE.

学认为,通过找到创意生成的规律和解决矛盾问题的方法,并让计算机和网络掌握这套方法,使人可以按照一定程序去解决矛盾问题,帮助人们提出创意、构思新产品、开拓新项目。目前,可拓学已进入计算机、管理、控制与检测以及其他领域的应用研究,并取得了一些成果^[6-10]。

可拓学和 TRIZ 理论起源不同,但宗旨都是为解决矛盾问题,实现产品创新。两者相比,具有一定的互补性。从解决矛盾问题的方法上看,可拓学更具有一般性,且指导具有高屋建瓴之感;而 TRIZ 更具有工程应用性,运用已有的矛盾矩阵、40 个发明原理、76 个标准解和 ARIZ 等能够处理工程技术的矛盾问题。

1 可拓学与 TRIZ 理论的比较

1.1 宗旨和理论体系不同

可拓学提出生成创意和解决矛盾问题的规律和方法,其宗旨是探讨形式化模型处理矛盾问题的规律,研究侧重于用计算机处理矛盾问题的基本理论、方法,并便于计算机操作,实现矛盾问题的智能化处理。可拓学经过近 30 年的发展已逐渐从理论研究走向应用研究,其理论体系包括可拓论、可拓创新方法及可拓工程 3 部分。可拓论提出了将事、物和关系用基本元来描述,将问题通过基本元来建立形式化的可拓模型,便于计算机操作。可拓创新方法提出了创意生成的多种可拓方法,如发散树、分合链、相关网、蕴含系、共轭对等方法以及基本变换、复合变换和传导变换等变换方法。可拓工程是用形式化的方法处理各领域中的矛盾问题,化不可行为可行,化不相容为相容,将可拓方法应用于工程技术、社会经济、医学、交通等领域,与各学科相结合,发展出各领域的应用技术。

TRIZ 是一套用于解决发明问题的系统化理论和方法体系。Ahshuller G S 通过对专利的研究、归纳和整理,发现解决发明问题的基本原理是客观存在的,同样的技术创新原理和相应的解决发明问题方案会在后来的一次次发明中被反复应用。因此,将这些客观存在整理成一套方法,对产品创新与矛盾问题的解决有重要的帮助。经过半个多世纪的发展,TRIZ 理论在一些西方国家得到了广泛的应用,创造出成千上万项重大发明。TRIZ 的方法体系包括两部分:问题分析和问题解决。问题分析的工具包括冲突分析、物质-场分析、功能分析和 ARIZ 算法,这些工具用于问题模型的建立、分析和转换,相当于可拓学

中的“形式化模型”。对应解决问题的基于知识的工具有 40 条发明原理、76 个标准解和效应知识库。

1.2 矛盾问题的分类和定义不同

可拓学认为矛盾问题分为 3 类,不相容问题、对立问题和客观矛盾问题。可拓学主要研究不相容问题和对立问题^[11-13]。不相容问题是指“已有的条件无法实现给定的一个目标”。对于不相容问题,找出矛盾问题的目标和条件,通过对目标的变换、条件的变换、目标和条件同时变换的 3 条路径进行拓展,并利用置换、删减、扩缩、分解、复制 5 种形式的基本变换和积、与、或、逆 4 种运算方式,可得到各种各样的创意。对立问题是指“已有的条件无法实现两个或多个对立的目标”。对于对立问题,利用连接或分隔的方法,构造转换桥,化对立问题为共存问题,使对立双方通过转换桥各行其道,各得其所,也就是所谓的双赢或多赢。

TRIZ 理论中将矛盾问题分为技术矛盾问题和物理矛盾问题。技术矛盾指系统中的问题是由两个参数导致互相制约的矛盾,即一个参数的改善会引起另一个参数的恶化。对于技术矛盾,首先定义问题的通用工程参数,然后利用矛盾矩阵表查找相应的 40 个发明原理,根据发明原理的提示得到解决方案。物理矛盾指系统中的问题是由一个工程参数导致的矛盾,是指技术系统中的某一个参数无法满足系统内相互排斥的、不同的需求。对于物理矛盾,主要采用分离原理进行解决,包括空间分离、时间分离、条件分离及整体与部分的分离。

1.3 解决矛盾问题流程不同

可拓学最重要的特点是它的可操作性,其基本理论和方法都是符号化、模型化的,以便计算机操作,人也可以利用程序提出解决问题的方案。这套程序主要通过 4 个步骤获得创意,即“创意生成四部曲”,包括建立模型、拓展、可拓变换和优度评价。

形式化模型是指采用形式化语言表达事、物、关系和问题,建立问题的可拓模型,表达解决矛盾问题的过程,表达量变和质变的过程以及临界状态,表达生成策略的过程和奇谋妙计。它是用符号方式反映研究对象内在关系的模型,因而是一种抽象模型。

所谓拓展,就是解决创意从何来的问题。可拓学认为,任何事物都是可以拓展的,通过 4 种拓展方法,对问题的目标或条件进行拓展,再利用 5 种基本变换和 4 种运算,能够找到解决矛盾问题的创意。

变换就是对于不同的矛盾问题,根据发散树的

6 个方向,通过变换及其运算,得到很多方案。最后对这些方案进行优度评价,由决策者先提出衡量创意优劣的条件,通过计算来判别各个方案的优度,从而选择出合适的创意,使矛盾问题转化为不矛盾问题,进行开拓创新。

利用 TRIZ 理论解决问题的方法可分为 4 步:定义问题、分析问题、分析解、选择最优解。定义问题是将一个待解决的实际问题转化为问题模型;分析问题是针对不同的问题模型,应用不同的 TRIZ 工具,得到多种解决方案;将这些解决方案应用到具体的问题中,得到问题的解决方案;最后从整体考虑决定保留或删除的解,选择最优解。TRIZ 的问题模型有 4 种形式:技术矛盾与物理矛盾、物质-场问题、知识与效应库和标准解法系统^[14-15]。对应这 4 种问题模型,TRIZ 提供相应的解题工具,矛盾矩阵、分离原理、知识与效应库和 76 个标准解。

矛盾矩阵主要用于解决技术系统中两个参数之间存在相互制约的矛盾问题,即系统中一个参数的改善导致了另一个参数的恶化而产生的矛盾。分离原理包括空间分离、时间分离、条件分离和整体与部分分离 4 种分离方法。主要用于解决技术系统中某一个参数无法满足子系统内具有相反要求的问题。物质-场用于解决技术系统中功能的某结构要素即两个物质和一个场出现了问题。然后利用标准解法的提示得到具体的解决方案。知识与效应库主要解决创新和发明问题。G. S. Altshuller 认为任意一个发明问题的解决方法都可能已经存在。对于某给定的问题,运用物理、化学和几何效应可以使解决方案更理想和简单地实现。

由以上分析可知,可拓学和 TRIZ 理论都是用于解决矛盾问题的理论和方法体系,二者在解决矛盾问题方面存在一定的内在联系,但各有千秋。不同的是,可拓学关于矛盾的分类是抽象的,更具有一般性,它强调解决矛盾问题可通过可拓变换进行转化,将矛盾问题化为不矛盾问题。TRIZ 理论关于矛盾的分类是具体的,主要针对工程技术中遇到的创新设计问题,TRIZ 理论解决矛盾问题常运用矛盾矩阵、分离原理、物质-场和 76 个标准解等可操作的工具。

2 应用案例比较

2.1 曹冲称象

2.1.1 可拓创新方法的解决思路

“曹冲称象”的故事为许多人共知。三国时期只有能称 100 kg 的小秤,不能称数千斤重的大象。曹

冲用船把大象换成等重的石头,用秤称石头而解决了这个问题。他解决这个矛盾问题的方法就是变换对象物,把大象置换为能称重的、与之重量相当的碎石块,可拓学中叫做置换变换法。“曹冲称象”属于不相容问题,即在当时给定的条件下无法达到人们要实现的目的。利用可拓创新方法对该矛盾问题进行创意解决。

1) 将问题形式化表示,问题 = 目标 × 条件。给定的目标是“称大象”,条件是“小秤”。

2) 该问题的核问题是:核问题 = 大象的重量大 × 秤的称量小。

3) 利用创意生成四部曲,即建立模型、拓展、可拓变换和优度评价。

(1) 建立形式化模型

可拓学中用于描述天下万物的基本元为物元,用 M 表示;描述天下万事的基本元为事元,用 A 表示;描述关系的基本元为关系元,用 R 表示。合称为基元,用 $B = (O, C, V)$ 表示,其中 O 为对象, C 为特征, V 为特征值。基元是可拓学的逻辑细胞。该问题中,大象和秤可分别用物元 M_1 、 M_2 来描述,目标“称大象”可用事元 A 来描述。

$$M_1 = (\text{大象}, \text{重量}, x \text{ kg}) = (O_{m1}, c_{m1}, v_{m1});$$

$$M_2 = (\text{秤}, \text{称量}, 100 \text{ kg}) = (O_{m2}, c_{m2}, v_{m2});$$

$$A = (\text{称}, \text{支配对象}, \text{大象}) = (O_a, c_a, v_a).$$

问题 = 目标 × 条件 = (称, 支配对象, (大象, 重量 x kg)) × (秤, 称量, 100 kg),

$$p = g \times l = ((O_a, c_a, v_a) \times (O_m, c_m, v_m)) = ((O_a, c_a, v_a) \times (O_{m1}, c_{m1}, v_{m1})) \times (O_{m2}, c_{m2}, v_{m2}).$$

(2) 进行拓展

大象的重量为 x kg,而具有重量这一特征的事物有很多,因此也可用等重的沙、等重的水、等重的石头、等重的一队人等来代替大象。此时,大象的物元 M_1 可拓展为: $M_2 = (\text{沙}, \text{重量}, x \text{ kg})$ 、 $M_3 = (\text{水}, \text{重量}, x \text{ kg})$ 、 $M_4 = (\text{石头}, \text{重量}, x \text{ kg})$ 、 $M_5 = (\text{一队人}, \text{重量}, x \text{ kg}) \dots\dots$

(3) 可拓变换

将大象的物元 M_1 变换为拓展后的物元,用物元 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 等代替大象的物元 M_1 。也就是说,将“称大象”这一目标通过变换转化为“称沙”、“称水”、“称石头”、“称一队人”等目标,而这个目标在给定条件下是可以实现的,称为相容问题。因此,不相容问题转化为相容问题,表明矛盾问题得到了解决。

(4) 优度评价

解决方案有很多个,必须进行评价,找可行、成本最少、耗时最短的创意去实施。由以上几种方案可知,用(一队人,重量, x kg) 变换(大象,重量, x kg) 的方案为最简单可行。一队人的重量不会刚好等于大象的重量时,可以附加一些小重物,使之相等。

2.1.2 TRIZ 理论的解决思路

常用于解决矛盾问题的 TRIZ 工具有: 40 条发明原理、76 个标准解和效应数据库。对于“曹冲称象”的这一问题的系统中有秤、大象和重力场,这是一个典型的可用物质-场模型来进行分析的关于测量方面的问题。该问题的物质-场模型如图 1 所示。

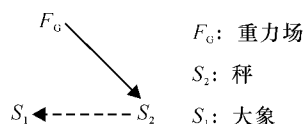


图 1 “曹冲称象”的物质-场模型
Fig. 1 Su-Fields Model of “Cao Chong Weighs the Elephant”

分析该物质-场模型可以发现,该系统有两种物质和一种场组成。两种物质分别为 S_1 与 S_2 , S_1 为物质或原料,即大象; S_2 为工具,即称大象的秤。 F_G 为重力场,如果秤的称量大小足够,则在重力场的作用下用秤称大象,实现测量大象重量的目的。因此,该系统是一个完整的物质-场模型。但由于在给定条件下秤的称量不足,无法实现预期目的,根据 TRIZ 理论对物质-场模型功能的分类,该系统属于非有效完整功能的物质-场模型,即功能中的 3 个元件都存在,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。

TRIZ 理论为物质-场模型提供了 76 个标准解对系统进行改善,从而使问题得以解决。“曹冲称象”这一问题属于检测与测量的范畴,因此可用 76 个标准解中第四类标准解进行分析。其中,根据采用间接法测量的 No. 43 和 No. 44 标准解的提示(No. 43: 替代系统中的检测与测量,使之不再需要; No. 44: 假如 No. 43 不可能,测量一复制品或肖像),将大象的重量复制为其它具有等重的物质如沙、水、石头、一队人等,通过测量复制品的重量来实现测量大象重量的目的。

2.2 波音 737 飞机引擎整流罩的改进

波音公司需要将 737 飞机的发动机改为功率更

大的发动机,以增加空气的吸入量,但要求飞机其他部分不变动,要求改进方案。

2.2.1 可拓创新方法的解决思路

问题分析: 发动机功率越大,它工作时需要的空气越多,发动机整流罩的直径越大。整流罩增大,其底部离地面的距离减小,将影响飞机的安全着陆,这是不允许的。因此,在“现有整流罩直径”的条件下无法达到“增大发动机功率”的目的,属于不相容问题。采用可拓创新方法进行分析。

1) 将问题形式化表示,问题 = 目标 \times 条件 = 增大发动机功率 \times 整流罩直径 D_0 , D_0 为现有整流罩直径。

2) 该问题的核问题: 核问题 = 发动机功率大 \times 整流罩直径小。

3) 利用创意生成四部曲: 建立形式化模型、拓展、可拓变换和优度评价。

(1) 建立形式化模型

事元

$$A = \left[\begin{array}{l} \text{增大, 支配对象, 功率 } P_0 \\ \text{接受对象, 发动机} \\ \text{程度, } P_1/P_0 \end{array} \right], \text{其中 } P_0 \text{ 和 } P_1$$

分别为原发动机功率和改进后发动机功率。

物元

$$M_0 = \left[\begin{array}{l} \text{整流罩, 直径 } D_0 \\ \text{形状, 圆弧} \\ \text{圆心 } O_0 \end{array} \right], \text{其中 } D_0 \text{ 为原整流}$$

罩直径。

(2) 拓展

利用可拓学的拓展分析原理,事物可从对象、特征和量值进行拓展发散,包括一对象多征、一征多对象、一征多值、一值多对象、一值多征、同征同值多对象和在不同情况下同对象同特征有多个量值。这 6 个方面的发散构成了一棵很大的树,叫做发散树^[16-17]。欲增大发动机功率,须增大整流罩直径。利用发散树对整流罩直径的量值进行拓展,增大局部整流罩直径,而保持整流罩与底部的距离不变。

(3) 可拓变换

根据可拓变换的基本变换,利用分解变换将整流罩结构进行分解,可分为上半部,下半部,左半部和右半部。由于该矛盾问题的核问题主要集中在上半部和下半部结构,因此,只考虑对上半部和下半部进行分解。即:

$TM_0 = \{M_1, M_2\}$ 其中

$$M_1 = \begin{bmatrix} \text{上半部 } O_1, \text{ 直径 } D_0 \\ \text{形状, 圆弧} \\ \text{圆心 } O_0 \end{bmatrix},$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} \text{下半部 } O_2, \text{ 直径 } D_0 \\ \text{形状, 圆弧} \\ \text{圆心 } O_0 \end{bmatrix}.$$

利用扩缩变换和置换变换:

$TM_0 = \alpha M_0 = M' = \{M'_1, M'_2\}$ 其中 α 为参数.

$$M'_1 = \begin{bmatrix} \text{上半部 } O'_{11}, \text{ 直径 } D_1 \\ \text{形状, 圆弧} \\ \text{圆心 } O_{11} \end{bmatrix} \quad \text{或}$$

$$M'_{12} = \begin{bmatrix} \text{下半部 } O'_{12}, \text{ 曲率半径 } \rho_1 \\ \text{形状, 曲线} \\ \text{曲率中心 } O_{12} \end{bmatrix}$$

$$M'_2 = \begin{bmatrix} \text{上半部 } O'_{21}, \text{ 曲率半径 } \rho_2 \\ \text{形状, 曲线} \\ \text{曲率中心 } O_{21} \end{bmatrix},$$

$$M'_{22} = \begin{bmatrix} \text{下半部 } O'_{22}, \text{ 直径 } D_2 \\ \text{形状, 圆弧} \\ \text{圆心 } O_{22} \end{bmatrix}.$$

将整流罩的物元 M_0 经过分解变换, 用物元 M_1 和 M_2 代替整流罩的物元 M_0 . 再将物元 M_1 和 M_2 经扩缩变换和置换变换, 得到变换后的物元 M'_1 和 M'_2 两种方案. 第一种方案 M'_1 是将整流罩上半部直径为 D_0 的圆弧变为直径为 D_1 的圆弧, 圆心位置为 O_{11} , 下半部则由圆弧变为曲率半径为 ρ_1 的曲线, 曲率中心为 O_{12} ; 第二种方案 M'_2 是将整流罩上半部直径为 D_0 的圆弧变为变为曲率半径为 ρ_2 的曲线, 曲率中心为 O_{21} , 下半部直径为 D_0 的圆弧变为直径为 D_2 的圆弧, 圆心位置为 O_{22} . 如图 2 所示.

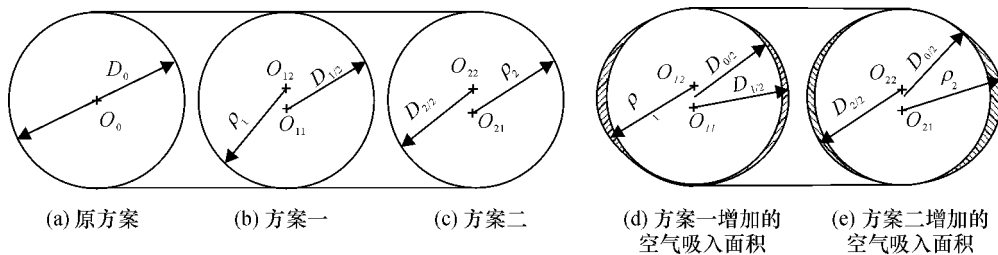


图 2 整流罩各方案的空气吸入面积

Fig. 2 Air suction area of the fairing for each scheme

(4) 优度评价

由图 2(d) 和 (e) 可知, 两种方案均可一定程度上增加空气的吸入面积(图中阴影部分表示增加的空气面积), 因此均为可行的解决方案.

2.2.2 TRIZ 理论的解决思路

问题分析: 增大发动机功率, 则需增大整流罩的直径, 但这样会缩小整流罩下边缘与地面的距离, 从而影响飞机的安全降落. 根据 TRIZ 理论对矛盾的定义, TRIZ 理论将矛盾分为两类, 即技术矛盾和物理矛盾. 技术矛盾指系统中的问题是由两个参数导致互相制约的矛盾, 即一个参数的改善会引起另一个参数的恶化. 物理矛盾指系统中的问题是由一个工程参数导致的矛盾, 即要求该参数同时表现出两种相反的性质或状态. 该问题中, “增大整流罩直径”与“缩小整流罩和地面间的距离”是一对技术矛盾. 该技术矛盾也蕴含着物理矛盾, 即“增大整流罩直径”和“减小整流罩直径”这一工程参数表现出两种相反的状态.

根据 TRIZ 理论, 可找到相应的工程参数, 改善

的参数为运动物体的面积(No. 5), 恶化的参数为运动物体的长度(No. 3), 查找冲突矩阵得到对应的发明原理有 4、14、15、18. 其中 No. 4 为不对称原理, 波音公司按照这一原理, 一方面将整流罩形状由对称调整为不对称, 另一方面改变截面形状, 以改善其密封性能. 最终设计为: 增加发动机罩的直径, 以便增加空气的吸入量. 但为了与地面保持一定距离, 将发动机罩底部由圆弧曲线设计为直线形, 有效解决了为提高发动机功率, “增大整流罩直径”与“缩小整流罩和地面间距离”的技术矛盾.

3 结论

本文比较了可拓学和 TRIZ 理论这两种比较成熟的创新理论和方法体系, 分析了这两种理论在解决矛盾问题上存在的区别和联系. 从理论基础来看, 可拓学比 TRIZ 理论更系统化和具有一般性, 可广泛应用于管理、控制、计算技术、人工智能、机械、电工等各领域出现的矛盾问题. 从应用方面来看, TRIZ 方法对解决工程问题中的矛盾问题具有较强的可操

作性. 因此, 如何取长补短, 有效结合这两种创新理论来解决各个领域的的矛盾问题是值得进一步研究的课题.

参考文献:

- [1] 熊开封, 张华, 崔鹏. 我国 TRIZ 理论研究综述 [J]. 包装工程, 2009, 30(1): 221-223.
Xiong Kai-feng, Zhang Hua, Cui Peng. Summarization of theoreticl research on TRIZ in China [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(1): 221-223.
- [2] 徐克庄. TRIZ 理论的研究应用概况(II) [J]. 杭州化工, 2008, 38(3): 1-4 9.
Xu Ke-zhuang. The overview of research and application of TRIZ theory(II) [J]. Hangzhou Chemical, 2008, 38(3): 1-4 9.
- [3] 周勇, 黄娜. 萃智(TRIZ) 理论及其发明问题解决程序 [J]. 科学与管理, 2009, 29(3): 17-21.
Zhou Yong, Huang Na. The process of problem solving in TRIZ [J]. Science and Management, 2009, 29(3): 17-21.
- [4] 郑称德. TRIZ 的产生及其理论体系 [J]. 科技进步与对策, 2002, 19(1): 112-114.
Zheng Cheng-de. Generation of TRIZ and its theory system [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2002, 19(1): 112-114.
- [5] 丁聪莉, 史翔, 贡智兵, 等. CAI 技术及其在机械产品创新设计中的应用 [J]. 机械设计, 2010, 27(9): 87-90.
Ding Cong-li, Shi Xiang, Gong Zhi-bing, et al. CAI technology and its application in innovative design of mechanical products [J]. Journal of Machine Design, 2010, 27(9): 87-90.
- [6] 蔡文. 创意的革命 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [7] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [8] 杨春燕, 李兴森. 可拓创新方法及其应用研究进展 [J]. 工业工程, 2012, 15(1): 1-8.
Yang Chun-yan, Li Xing-sen. Research progress in extension innovation method and its applications [J]. Industrial Engineering Journal, 2012, 15(1): 1-8.
- [9] 杨春燕, 李卫华, 李小妹. 矛盾问题智能化处理的理论与方法研究进展 [J]. 广东工业大学学报, 2011, 28(1): 86-93, 97.
Yang Chun-yan, Li Wei-hua, Li Xiao-mei. Recent research progress in theories and Methods for the intelligent disposal of contradictorg problems [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2011, 28(1): 86-93, 97.
- [10] 杨春燕, 蔡文. 可拓集中关联函数的研究进展 [J]. 广东工业大学学报, 2012, 29(2): 7-14.
Yang Chun-yan, Cai Wen. Recent research progress in dependent functions in extension sets [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2012, 29(2): 7-14.
- [11] 仇成, 冯俊文, 郭春明. 发明问题解决理论与可拓学的比较研究 [J]. 技术经济, 2008, 27(3): 70-73.
Qiu Cheng, Feng Jun-wen, Guo Chun-ming. Study on comparison of TRIZ and extenics theory [J], Technology Economics, 2008, 27(3): 70-73.
- [12] 宋守许, 袁小鹤, 刘涛, 等. 基于可拓与 TRIZ 理论的可拆卸性结构设计方法及应用 [J]. 2011, 10: 61-63.
Song Shou-xu, Yuan Xiao-he, Liu Tao, et al. Method and application based on extension and TRIZ theory for disassembly structure design [J]. Machinery Design & Manufacture, 2011, 10: 61-63.
- [13] 张祥唐, 陈家豪. 可拓方法与 TRIZ 方法在产品创新设计上的应用 [J]. 工业工程, 2004, 7(2): 33-37.
Zhang Xiang-tang, Chen Jia-hao. Application of extension theory and TRIZ to innovation design [J]. Industrial Engineering Journal, 2004, 7(2): 33-37.
- [14] 谭润华. TRIZ 及应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [15] 赵敏, 史晓凌, 段海波. TRIZ 入门及实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [16] 赵燕伟, 金方顺, 王万良, 等. 基于发散树思维方法的刀库概念设计 [J]. 广东工业大学学报, 2001, 18(1): 12-16.
Zhao Yan-wei, Jin Fang-shun, Wang Wan-liang, et al. Conceptual of tool storage based on divergence tree method [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2001, 18(1): 12-16.
- [17] 赵永赞, 王军, 赵民. 发散树思维方法在机械产品概念设计中的应用 [J]. 常熟高专学报, 2002, 16(2): 59-63.
Zhao Yong-zan, Wang Jun, Zhao Min. The application of comceptual design of mechanical products on the divergence tree thinking method [J]. 2002, 16(2): 59-63.