



可拓学的基础理论与方法体系

蔡文*, 杨春燕*

广东工业大学可拓学与创新方法研究所, 广州 510006

* 联系人, E-mail: wcai@gdut.edu.cn; fly_swallow@126.com

2012-10-11 收稿, 2013-01-05 接受

国家自然科学基金(61273306, 70671031, 70271060, 70140003, 79870107, 79570020, 7920079, 7870014)、广东省自然科学基金(010049, 05001832, 10151009001000044)和广东工业大学校内团队基金资助

摘要 人类的历史, 是一部处理矛盾问题的发展史. 根据一定的程序解决矛盾问题, 利用计算机和网络, 帮助人们处理矛盾问题, 称为矛盾问题智能化处理. 为了实现矛盾问题智能化处理, 必须研究如何用形式化表示矛盾问题及其解决过程, 研究处理矛盾问题的规律, 建立处理矛盾问题的方法体系, 研制处理矛盾问题的计算机软件, 这就产生了一门新的学科——可拓学. 本文介绍可拓学的基础理论、方法体系及其应用情况, 并讨论其科学意义与未来发展.

关键词

可拓学
可拓论
可拓创新方法
基元
可拓集
可拓逻辑

环顾古今, 展望海内外, 人类的历史, 就是一部处理矛盾问题的发展史. 1983年, 中国《科学探索学报》发表了论文“可拓集合和不相容问题”^[1], 提出了用形式化方法处理矛盾问题这一研究方向^[2], 其目标是利用计算机帮助人类处理各行各业的矛盾问题, 称为矛盾问题智能化处理^[3]. 经过30年的研究, 形成了一门学科——可拓学^[4].

所谓矛盾问题, 是指在现有条件下无法实现人们要达到的目标. 例如, 要用一把只能称100 kg的秤去称一头远大于100 kg的大象; 要把靠左行驶的公路系统和靠右行驶的公路系统连接成一个大系统. 在生产、经济、军事、外交、管理甚至日常生活中, 都存在大量类似的矛盾问题. 过去, 是由聪明人冥思苦想提出解决这些问题的办法. 1976年开始, 我们研究处理这些矛盾问题的规律, 希望形成可操作的方法, 以帮助各领域解决矛盾问题.

为了实现矛盾问题智能化处理, 必须研究如何用形式化表示矛盾问题及其解决过程, 研究处理矛盾问题的规律, 建立处理矛盾问题的方法体系, 研制处理矛盾问题的计算机软件, 这就产生了可拓学(早

期称为物元分析^[5]). 可拓学的研究对象是矛盾问题, 基本理论是可拓论, 方法体系是可拓创新方法, 可拓论和可拓创新方法在各个领域的应用称为可拓工程. 可拓论、可拓创新方法和可拓工程构成了可拓学. 本文将介绍可拓学的基础理论、方法体系及其应用情况, 并讨论其科学意义与未来发展.

1 可拓论——形式化、定量化处理矛盾问题的理论

可拓论以基元为逻辑细胞, 建立解决矛盾问题的可拓模型, 研究基元的基本性质以及解决矛盾问题的集合论基础和推理形式, 它有3个支柱: 基元理论、可拓集理论和可拓逻辑.

1.1 可拓模型

数学, 存在矛盾方程和矛盾不等式, 以“无解”处理之. 但实际上, 其原型不少是有解的. 原因在于数学模型只考虑数量关系与空间形式, 撇开具体的事物. 但在解决矛盾问题的大量实例中, 可以发现, 处理矛盾问题, 必须涉及对象、特征和量值以及它们的

引用格式: 蔡文, 杨春燕. 可拓学的基础理论与方法体系. 科学通报, 2013, 58: 1190-1199

Cai W, Yang C Y. Basic theory and methodology on Extenics (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 1190-1199, doi: 10.1360/972012-1472

变化. 例如, 在曹冲称象中, 把大象变换为石头, 这是物的变换, 数学不研究这类问题; 要把高于门的柜子搬进房子, 必须“放倒”后搬进去, 但如何表示“放倒”? 数学也不考虑这些问题. 因此, 主要研究数量关系和空间形式的数学模型不能处理这类矛盾问题. 在可拓学的研究中, 通过对大量矛盾问题的分析, 抽象出有序三元组(对象、特征、量值), 称为基元, 作为形式化描述大千世界中的事物及其相互关系的细胞, 以基元为逻辑细胞建立解决矛盾问题的形式化工具——可拓模型, 用可拓模型去表示矛盾问题的处理过程.

信息, 可以用基元或其运算式表示, 利用基元表示信息, 称为信息元. 知识, 本质上就是信息元的关系式. 而解决矛盾问题的策略则是可拓变换(包括基元的变换、关联准则的变换和论域的变换)或其运算式. 于是, 可拓学以可拓模型为基础, 研究了可拓信息-知识-策略的形式化体系^[6], 这就为用计算机进行矛盾问题智能化处理构建了形式化的工具.

1.2 基元理论

为了让计算机能生成解决矛盾问题的策略, 就必须对物、事和关系进行研究, 我们发现, 把矛盾问题转化为不矛盾问题的变换来源于事物拓展的可能性, 称为可拓展性和共轭性. 对它们进行深入探讨是解决矛盾问题的基础工作之一^[7]. 根据事物的可拓展性和共轭性, 可以找到各种开拓的可能途径, 去解决矛盾问题. 于是在可拓学中, 建立了可拓展分析理论与方法和共轭分析理论与方法, 作为矛盾问题转化的依据.

(i) 基元的拓展分析原理. 要解决矛盾问题, 就必须跳出人的习惯领域, 拓展问题中的目标和条件. 为此, 可拓学研究了发散分析原理、相关分析原理、蕴含分析原理和可扩分析原理, 形成基元拓展分析理论, 解决“处理矛盾问题的策略从哪里来”的问题.

(ii) 物的共轭性理论. 系统论从系统性的角度研究物的结构, 考虑物的组成部分(硬部)与它们之间的关系(软部). 但是, 很多处理矛盾问题的解来源于物的非物质性部分、潜在的部分和对立的部分. 因此, 为了利用物的结构处理矛盾问题, 还必须发展系统论对物的结构的认识, 可拓学从物质性、系统性、动态性和对立性 4 个方面研究物的结构^[2]: 从系统性考虑, 分为硬部、软部和软硬中介部; 从物质性的角度

考虑, 分为物质性部分、非物质性部分及其中介部, 称为实部、虚部和虚实中介部; 从动态性的角度考虑, 分为潜部、显部和潜显中介部; 从对立性的角度考虑, 分为负部、正部和负正中中介部^[3]. 以此研究物的构成以及它们的相互转化, 形成共轭分析理论与方法, 作为解决矛盾问题的策略的另一来源. 下面阐述共轭分析原理.

原理 物具有共轭部, 且每对共轭部和它们的中介部之和都等于该物, 即若设某物为 O_m , 实部为 $re(O_m)$, 虚部为 $im(O_m)$, 虚实中介部为 $mid_{re-im}(O_m)$, 软部为 $sf(O_m)$, 硬部为 $hr(O_m)$, 软硬中介部为 $mid_{sf-hr}(O_m)$, 潜部为 $lt(O_m)$, 显部为 $ap(O_m)$, 潜显中介部为 $mid_{lt-ap}(O_m)$, 关于特征 c 的负部为 $ng_c(O_m)$, 正部为 $ps_c(O_m)$, 负正中中介部为 $mid_{ng-ps}(O_m)$, 则

$$\begin{aligned} O_m &= re(O_m) \oplus im(O_m) \oplus mid_{re-im}(O_m) \\ &= hr(O_m) \oplus sf(O_m) \oplus mid_{sf-hr}(O_m) \\ &= lt(O_m) \oplus ap(O_m) \oplus mid_{lt-ap}(O_m) \\ &= ng_c(O_m) \oplus ps_c(O_m) \oplus mid_{ng-ps}(O_m). \end{aligned}$$

(iii) 可拓变换理论. 矛盾问题用基元表示以后, 利用可拓展理论和共轭理论, 可以拓展出一批新的基元, 把问题原来的目标或条件变换为这些基元, 有可能解决矛盾问题. 因此, 解决矛盾问题的基本工具是可拓变换^[8], 它们把一个对象变为另一个对象或者分解为若干对象.

传统数学中论域不变的规定和准则固定的规定限制了人们解决矛盾问题的能力, 因此, 处理矛盾问题的可拓变换包括基元变换、关联准则变换和论域变换. 同时, 可拓学研究者研究了可拓变换必须遵循的规律, 形成系统的可拓变换理论. 这样, 人们就能先把要处理的矛盾问题通过可拓模型转化为可以操作的形式, 再通过可拓变换去生成解决矛盾问题的策略.

1.3 可拓集理论

(i) 可拓集. 在传统数学和模糊数学中, 康托(Cantor)集和模糊集是从静态的角度对对象进行分类. 但现实世界中, 对象具有某种性质的程度是可变的, 在某些变换下, 对象往往可以从不具有某种性质变为具有该性质, 或者从具有某种性质变为不具有该性质. 例如, 有的不合格工件通过再加工可以变为合格品. 用一把秤不能称大象, 是由于大象的重量远大于秤的称量. 但“曹冲称象”的故事使大象从不能“称”

变为能“称”. 也就是说, 在某些变换下, 有的对象的性质会随变换而改变.

在工程技术和活动中存在的矛盾问题, 很多可以通过可拓变换转化为不矛盾问题, 但从静态的角度对对象进行分类的康托集和模糊集不能描述这些现象, 因此, 无法成为使矛盾问题转化为不矛盾问题的集合论基础.

要建立用形式化解决矛盾问题的集合论基础, 必须发展对对象进行静态分类的康托集和模糊集, 研究变换下的分类, 为此我们建立了可拓集理论与方法, 作为描述变换下的分类的工具. 图1表述了康托集、模糊集和可拓集的区别与联系.

图1(a)描述了对“合格品”和“不合格品”进行的确定性分类; 图1(b)表示了对“高个子”和“矮个子”进行的模糊性分类; 图1(c)是对变换下的可拓分类的简化图示, 说明通过一定的变换, 可以把一部分不具有某种性质的对象(不合格品)变为具有某种性质的对象(合格品); 相反, 在一定变换下, 也可以把一部分具有某种性质的对象变为不具有某种性质的对象.

文献[1]提出了“可拓集”这一概念, 从变换的角度研究对象具有某种性质的程度及其变化, 并用关联函数进行定量化描述. 通过多年的研究, 可拓集的定义不断完善, 目前已经比较适合于描述变化的分类和分类的变化特别是矛盾问题的转化, 这就使对集合的研究从康托集和模糊集的静态分类发展为从变化的角度研究变换下对象的分类和分类的变化, 从而成为解决矛盾问题的集合论基础^[9]. 下面给出可拓集的定义.

定义 1. 设 U 为论域, u 为 U 中的任一元素, k 是 U 到实域 \mathfrak{R} 的一个映射, $T=(T_U, T_k, T_u)$ 是给定的变换, 称

$$\tilde{E}(T)=\{(u,y,y')|u \in U, y=k(u) \in \mathfrak{R}; T_u u \in T_U U, y'=T_k k(T_u u) \in \mathfrak{R}\}$$

为论域 U 上的一个可拓集, $y=k(u)$ 为 $\tilde{E}(T)$ 的关联函数, $y'=T_k k(T_u u)$ 为 $\tilde{E}(T)$ 的可拓函数. 其中 T_U, T_k, T_u 分别为对论域 U 、关联准则 k 和元素 u 的变换.

可拓集中, 用质变域和量变域表达事物的质变和量变及其变化过程, 使矛盾问题转化为不矛盾问题有了坚实的集合论基础^[10].

(ii) 关联函数. 在实变函数中, 实数轴上点 x 与有限区间 $X_0=(a,b)$ 之间的距离为

$$d(x, X_0) = \begin{cases} 0, & x \in X_0, \\ \inf_{y \in X_0} \rho(x, y), & x \notin X_0. \end{cases}$$

为了表示解决矛盾问题过程中的量变, 必须对实变函数中“距离”的概念进行拓广, 于是, 规定了“可拓距”的概念, 用负值表示区间内的点与区间的距离, 以此为基础建立了关联函数, 使表示事物具有某种性质的程度可以用关联函数的公式来表述, 不会出现“类内即为同”的情况. 下面是可拓距的定义.

定义 2. 设 x 为实轴上的任一点, $X_0=(a, b)$ 为实域上的任一区间, 称

$$\rho(x, X_0) = \left| x - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2}$$

为点 x 与区间 X_0 之可拓距.

把“距离”拓展为“可拓距”, 经典数学中的实变函数拓展为关联函数, 就使基于康托集的“类内即为同”拓展为可拓集的“类内也有异”的定量描述, 为表述解决矛盾问题过程中的量变和质变建立了可计算的公式. 下面介绍初等关联函数的公式.

论域 U 中一个对象关于某特征的量值符合要求的程度往往有满意的区间 $X_0=(a_0, b_0)$ 和可接受的区

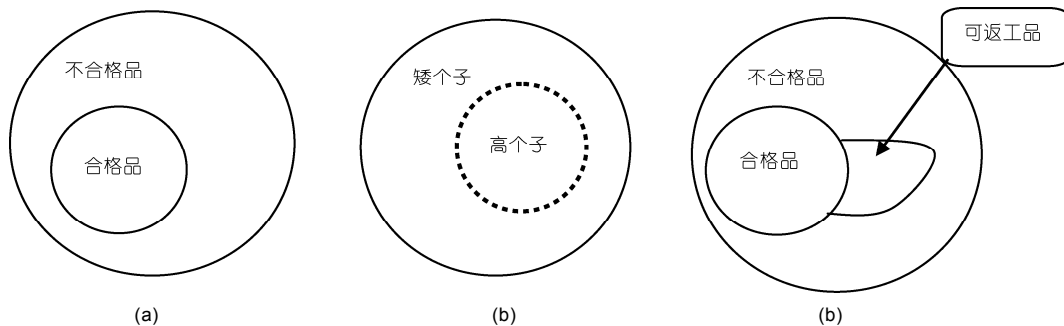


图1 3类基本集合

(a) 康托集; (b) 模糊集; (c) 可拓集

间 $X = \langle a, b \rangle$, 显然, $X \supseteq X_0$, 静态时对象关于某特征的量值在可接受区间内, 表示对象具有某种性质, 其程度用 $(0, +\infty)$ 间的实数表征, 这些对象构成“正域”. 此时称满意区间 $X_0 = \langle a_0, b_0 \rangle$ 为标准正域, 称区间 $X-X_0$ 为过渡正域. 设 $x \in X$, 即点 x 属于正域, 这时最优点在区间中点的初等关联函数规定为^[10]

$$k(x) = \begin{cases} \frac{\rho(x, X_0)}{D(x, X_0, X)}, & D(x, X_0, X) \neq 0, \quad x \in X, \\ -\rho(x, X_0) + 1, & D(x, X_0, X) = 0, \quad x \in X_0, \\ 0, & D(x, X_0, X) = 0, \quad x \notin X_0, \quad x \in X, \end{cases}$$

其中, $D(x, X_0, X) = \rho(x, X) - \rho(x, X_0)$.

类似地, 可以规定负域上的关联函数. 综合关于正域和负域关联函数的规定, 得到最优点在区间中点的关联函数如下:

$$k(x) = \begin{cases} \frac{\rho(x, X_0)}{D(x, X_0, X)}, & D(x, X_0, X) \neq 0, \quad x \in X, \\ -\rho(x, X_0) + 1, & D(x, X_0, X) = 0, \quad x \in X_0, \\ 0, & D(x, X_0, X) = 0, \quad x \notin X_0, \quad x \in X, \\ \frac{\rho(x, X)}{D(x, X, \hat{X})}, & D(x, X, \hat{X}) \neq 0, \quad x \in \mathfrak{R} - X, \\ -\rho(x, X) - 1, & D(x, X, \hat{X}) = 0, \quad x \in \mathfrak{R} - X. \end{cases}$$

在此基础上, 美国 Smarandache 教授^[11]又把关联函数拓展到二维、三维以至 n 维空间^[11].

模糊集研究了客观世界的模糊现象, 但由于隶属函数的主观性, 使模糊集的应用受到一定的限制, 可拓集的关联函数用历史资料或专业规范建立表述事物具有某种性质的程度的计算公式, 从而避免了人为的主观性.

1.4 可拓逻辑

为了处理矛盾问题, 必须考虑事物的内涵、外延及其变化, 但描述它们的辩证逻辑是用自然语言表达的. 要让计算机能操作, 必须使用形式化的语言, 而形式逻辑又不考虑事物的内涵及其变化. 因此, 可拓学把形式逻辑的形式化与辩证逻辑描述事物的内涵、外延及其变化相结合, 研究了以可拓推理和可拓变换为核心的可拓逻辑, 作为处理矛盾问题的推理工具. 可拓逻辑的特点如下.

(i) 在可拓逻辑中, 逻辑值随变换而改变; 从而可以表达量变, 也可以描述质变, 因而可以定量表达化矛盾问题为不矛盾问题的过程.

(ii) 建立基于可拓变换的推理规则, 使根据推

理生成解决矛盾问题的策略成为可能, 为利用计算机处理矛盾问题提供逻辑基础; 有一部分矛盾问题的处理, 不是采用直接的方法, 而是利用可拓变换的传导变换来达到. 因此, 在可拓学中, 特别研究了传导推理, 给出传导推理规则, 使利用传导变换处理矛盾问题能够通过计算机进行操作.

(iii) 命题的真假用“真度”衡量, 推理句的对错用“正确度”衡量; 在一定变换下, 真度和正确度会随变换而改变.

综上所述, 可拓学的理论体系如图 2 所示.

2 可拓创新方法——处理矛盾问题进行创新活动的体系

方法, 是理论和应用的桥梁. 根据可拓论, 我们建立了一批应用于解决矛盾问题的方法, 统称为可拓方法. 由于这些方法可用于创新活动, 因此, 又被称为可拓创新方法^[12], 包括基本方法、创意生成的方法、可拓数据挖掘方法和可拓思维模式.

2.1 基本方法

(i) 建立可拓模型和可拓信息-知识-策略形式化体系. 要解决矛盾问题, 首先必须用基元表示矛盾

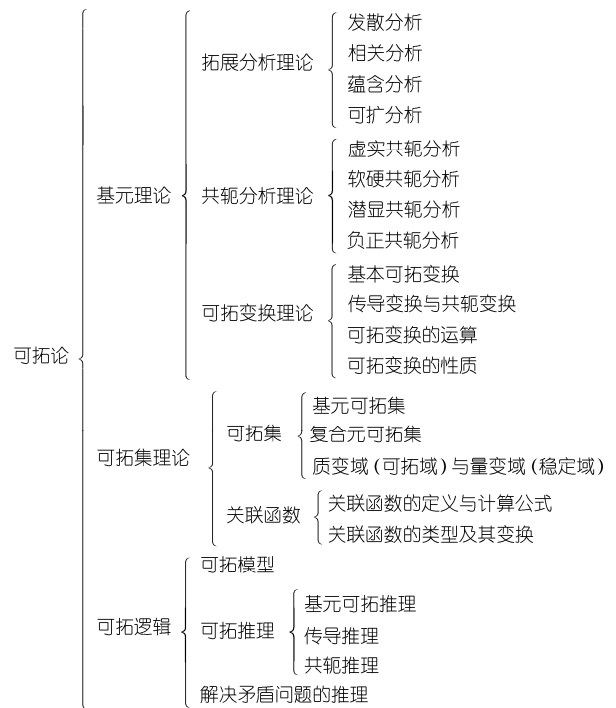


图 2 可拓论体系

问题, 建立相应的可拓模型:

$$P = g * l \text{ 或 } P = (g_1 \wedge g_2) * l.$$

把需要处理的问题通过可拓模型转化为计算机可以操作的形式, 使计算机能生成处理矛盾问题的策略. 同时, 研究了用基元表示信息、知识和策略的可拓信息-知识-策略形式化体系^[9], 作为用计算机处理矛盾问题的工具.

(ii) 基元的拓展分析方法. 用基元表述问题以后, 问题的目标基元和条件基元具有可拓展性, 从一个基元出发, 可以根据不同的可拓展性拓展出很多基元, 为解决矛盾问题提供多条途径. 基元的拓展方法包括发散树方法、相关网方法、蕴含系方法和分合链方法.

(iii) 物的共轭分析方法. 利用共轭分析理论, 可以对物进行共轭分析, 包括从物质性分析物的虚部和实部, 并用基元表示的虚实共轭分析方法; 从系统性分析物的软部和硬部, 并用基元表示的软硬共轭分析方法; 从动态性分析物的潜部和显部, 并用基元表示的潜显共轭分析方法, 从对立性分析物的负部和正部, 并用基元表示的负正共轭分析方法.

(iv) 可拓变换方法. 通过可拓变换方法, 可以使不相容问题转化为相容问题, 对立问题转化为共存问题、不可知问题变为可知问题, 不可行问题转化为可行问题, 假命题变为真命题, 错误的推理转化为正确的推理. 这些变换就是通常所说的点子、窍门和办法. 可拓变换包括 5 种基本变换(置换、增删、扩缩、分解和复制)、4 种运算方法(与、或、积、逆)、传导变换以及传导效应的计算方法等.

5 种基本变换如下所示.

(1) 置换变换: $T\Gamma = \Gamma'$.

(2) 增删变换: 增加变换 $T_1\Gamma = \Gamma \oplus \Gamma_1$, 删减变换 $T_2\Gamma = \Gamma \ominus \Gamma_1$.

(3) 扩缩变换: $T\Gamma = \alpha\Gamma$, 当 $\alpha > 1$ 时为扩大变换, 当 $0 < \alpha < 1$ 时为缩小变换.

(4) 分解变换: $T\Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n\}$, 其中, $\Gamma_1 \oplus \Gamma_2 \oplus \dots \oplus \Gamma_n = \Gamma$.

(5) 复制变换: 即 $T\Gamma^* = \{\Gamma, \Gamma^*\}$. 复制变换可细分为多种类型.

变换的 4 种运算:

(1) 变换 T_1 与 T_2 之“积”: $T = T_2 T_1$

(2) 变换 T_1 与 T_2 之“与”: $T = T_1 \wedge T_2$

(3) 变换 T_1 与 T_2 之“或”: $T = T_1 \vee T_2$

(4) 变换 T 之“逆”: T^{-1} .

可拓变换具有传导性: 设 $\Gamma_1, \Gamma_2 \in \{B\}$, 其中, $\{B\}$ 是基元的全体, 若存在某变换 ϕ , 当 $\phi\Gamma_1 = \Gamma_1'$ 时, 必有另一变换 T , 使 $T\Gamma_2 = \Gamma_2'$, 称 T 为由变换 ϕ 引起的传导变换, 记作 $\phi \Rightarrow T_\phi$.

与由 10 个阿拉伯数字和加、减、乘、除 4 种运算构成算术一样, 由基本变换、变换的运算和传导变换可以得到处理矛盾问题的各种变换.

(v) 优度评价方法. 由于事物的可拓展性, 因此, 解决矛盾问题的方案有很多, 必须进行评价, 采用较优的方案去实施. 优度评价方法是应用关联函数来确定待评对象关于某些衡量指标符合要求的程度. 针对衡量指标的实际要求, 可选择简单关联函数、最优点在正域区间中点的关联函数、最优点不在正域区间中点的关联函数、离散型关联函数、区间型关联函数等.

对多个衡量指标的情况, 根据实际问题的要求计算各待评对象的综合优度, 以判别待评对象的优劣或等级. 其中权系数的确定方法可根据具体问题选择合适的方法.

(vi) 可拓集方法. 集合是描述人脑对客观事物的分类和识别的方法. 可拓集方法是变换下事物的分类方法, 包括可拓分类方法、可拓聚类方法和可拓识别方法. 可拓集方法是可拓数据挖掘方法的基础, 是利用计算机对数据库中大量数据进行处理, 以获取可拓知识的依据.

2.2 创意生成方法

创意的生成方法包括处理矛盾问题的创意生成方法和新产品的构思方法.

(i) 处理矛盾问题的创意生成方法. 矛盾问题分为两类: 不相容问题和对立问题. 化不相容问题为相容问题的策略生成方法是可拓策略生成方法^[13], 化对立问题为共存问题的是转换桥方法^[14].

(1) 化不相容问题为相容问题的可拓策略生成方法. 不相容问题是指在现有条件下无法实现给定的一个目标. 其模型是 $P = g * l$, 表示在条件 l 下目标 g 不能实现的问题.

所谓可拓策略, 就是使不相容问题的相容度从小于等于 0 变为大于 0 的可拓变换或可拓变换的运算式, 称为不相容问题的解变换. 生成可拓策略的过程,

称为可拓策略生成。

策略生成是决策的难点。可拓策略生成方法是模仿人类的思维模式，以可拓学的基本理论为基础，用形式化和定性定量相结合的方法生成解决不相容问题的策略。它通过建立不相容问题的可拓模型，利用关联函数计算问题的相容度以判断问题的矛盾程度，对不相容问题进行拓展分析和共轭分析，得到一批可拓变换，再通过评价择优，选取解决不相容问题的较优可拓策略。

利用计算机帮助人类处理矛盾问题是研究可拓学的目标，从 1999 年开始，这项工作取得了初步的进展。用计算机进行可拓策略生成^[13]的基本步骤如下。

① 对实际问题界定目标和条件，然后用基元为基础的形式化体系建立问题的可拓模型。

② 根据实际问题确定造成不相容的特征，计算条件所提供的量值，和要达到问题的目标所需要的相应量值(或取值范围)，从而确定问题的核问题。

③ 建立不相容问题的相容度函数，通过计算判断问题不相容的程度。

④ 确定先对目标进行分析还是先对条件进行分析：a) 若目标不变，首先对问题的条件进行分析，则选择拓展分析中的相关分析，建立问题的相关网；b) 若条件不变，首先对问题的目标进行分析，则选择拓展分析中的蕴含分析，建立问题的蕴含树；c) 若目标和条件都需进行分析，则先执行 a)再执行 b)，合并建立问题的相关-蕴含树。

⑤ 对相关-蕴含树的树叶进行发散分析或共轭分析，然后进行可拓变换，再根据传导变换，形成传导变换蕴含树；由可拓变换和传导变换形成的树，通常称为可拓策略生成树。

⑥ 对变换后形成的问题，再计算其相容度函数的值，若其相容度由变换前的小于或等于 0 变为大于 0，则此可拓变换或变换的运算式即为解决不相容问题的可拓策略。

(2) 化不相容问题为相容问题的可拓策略生成方法是先发散后收敛的方法，它包括 4 个步骤：建立问题的可拓模型→拓展→变换→评价。

(3) 化对立问题为共存问题的转换桥方法。对立问题是指在现有条件下无法同时实现两个或多个目标，其模型是 $P = (g_1 \wedge g_2) * l$ ，表示在条件 l 下目标 g_1 和 g_2 不能同时实现。

处理对立问题有 3 种方法：① 一边倒的方法：只满足一方；② 折衷调和的方法：您 7 成，我 3 成；③ 转换桥方法：各行其道，各得其所^[14]。

转换桥方法是通过设置转折部，使对立双方的目标在不同的对象、特征或量值得到满足。转折部有连接的转折部或隔离的转折部。例如，香港特别行政区的汽车靠左行使，内地的汽车靠右行使，深圳的皇岗桥即为连接两个对立的交通系统成为共存系统的转换桥。“一国两制”是连接中国香港和大陆两个对立体制的转换桥。

给定对立问题 $P = (g_1 \wedge g_2) * l$ ， $(g_1 \wedge g_2) \uparrow l$ ，若存在变换 $T = (T_{g_1}, T_{g_2}, T_l)$ ，使 $(T_{g_1} g_1 \wedge T_{g_2} g_2) \downarrow T_l l$ ，则称 T 为问题 P 的解变换，它使 g_1 和 g_2 共存。解变换的变换对象，是使对立转化为共存的必不可少的构件，由于它们在解决对立问题的过程中起了转换的作用，所以化对立问题为共存问题的策略生成方法被形象地称为转换桥，记作 $B(g_1, g_2)$ 。转换桥一般是由转折部 Z 和转换通道 J 构成的，通常记作 $B(g_1, g_2) = Z \otimes J$ ，在有些情况下，可能不需要转换通道，此时转折部就是转换桥。

(ii) 新产品构思的 3 个创造法。新产品构思本质上也是寻求解决某个矛盾问题的创意。例如，要听千里外的家人讲话，在电话发明以前，这是一个矛盾问题。贝尔提出了电话的构思，解决了这个矛盾问题。要看万里外的足球赛，在电视出现之前也是一个矛盾问题，电视的构思解决了它。构思新产品，可以利用可拓展性或共轭性提出各种各样的方案。包括从需要出发的第 1 创造法、从已有产品出发的第 2 创造法和从缺点出发的第 3 创造法。

(1) 从需要出发的第 1 创造法：根据共轭性理论，需要可分为虚需要和实需要、软需要和硬需要、潜需要和显需要、负需要和正需要；利用基元的形式，从这 8 类需要出发可以得到大批满足需要的产品构思，再利用优度评价方法选取优度较高的方案进行设计。

(2) 从已有产品出发的第 2 创造法：把现有产品利用基元表示以后，根据基元的拓展方法——发散树、相关网、蕴含系和分合链，可以构思出大批新的产品，再通过优度评价选择较优的构思。

(3) 从缺点出发的第 3 创造法：把现有产品利用基元表示，特别是列出描述缺点的基元，根据基元拓展方法和可拓变换方法可以构思出一批克服缺点的新产品，再择其优者而用之。

2.3 可拓思维模式

解决矛盾问题的思维模式是可拓思维模式，包括菱形思维模式、逆向思维模式、共轭思维模式和传导思维模式。

(i) 菱形思维模式. 应用菱形思维模式解决矛盾问题的过程是：首先用基元来表示问题，从目标基元或条件基元出发，利用拓展分析方法，沿不同的途径，开拓出多个基元，从而获得大量解决矛盾问题的待用基元，这个过程是发散过程. 对拓展得到的基元进行可拓变换，再通过评价，得到少量超乎寻常的新观点、新思想、新方案. 这是收敛的过程. 发散和收敛相结合的过程就是一级菱形思维过程. 在解决矛盾问题时，有的需要采取“发散—收敛—再发散—再收敛……”的多次一级菱形思维过程，简称为多级菱形思维.

(ii) 逆向思维模式. 逆向思维是有意识地从常规思维的反方向去思考问题的思维方式，逆向思维模式包括利用反物元和非物元的逆向思维模式，利用逆事元的逆向思维模式，利用逆变换的逆向思维模式，利用逆蕴含的逆向思维模式.

(iii) 共轭思维模式. 共轭思维模式依据的是共轭分析原理和共轭变换原理. 应用这种思维模式可以更全面地利用物的结构，分析其优缺点，并根据共轭部在一定条件下的相互转化性，采取相应的变换去达到预定的目标.

(iv) 传导思维模式. 在解决矛盾问题时，如果实施某一变换不能直接解决矛盾，但由此产生的传导变换却可以使矛盾问题得以解决，这种利用传导变换解决矛盾问题的思维模式，称为传导思维模式^[15].

综上所述，可拓创新方法体系如图3所示.

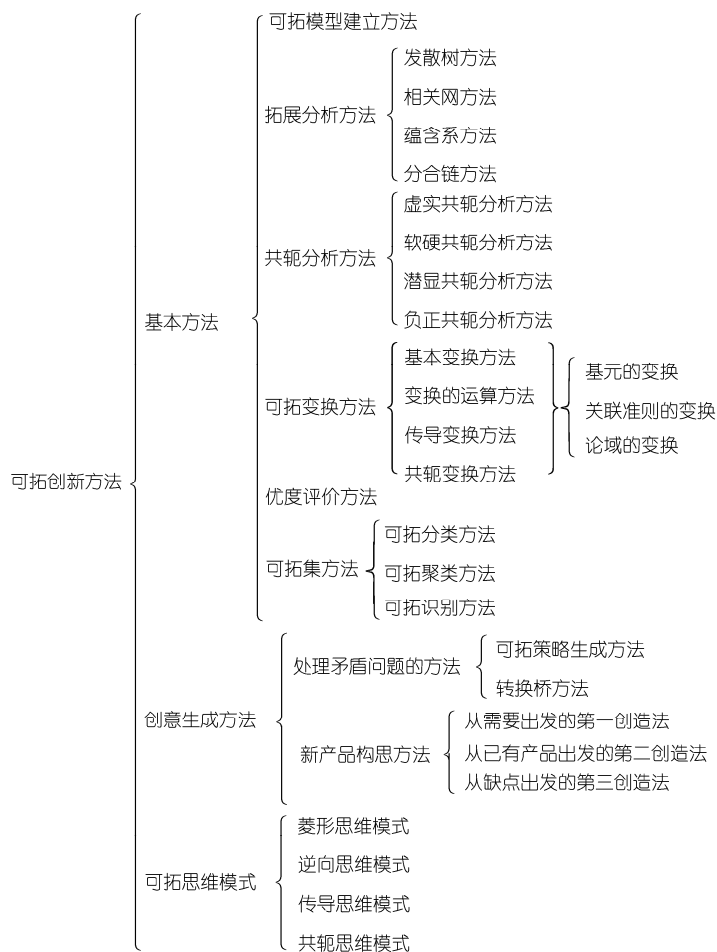


图3 可拓创新方法体系

3 可拓论和可拓创新方法的应用——可拓工程

把可拓论与可拓创新方法和具体的应用领域相结合,形成了一批可以操作的方法,特别是研究了设计^[16]、人工智能^[17]、控制^[18]与检测^[19]、管理^[20]等领域的应用方法,这些方法统称为可拓工程方法,如可拓检测方法、可拓控制方法、可拓策划方法、可拓营销方法等,它们被应用于工程、信息、经济与管理等多个领域,开始产生经济效益和社会效益.例如,浙江工业大赵燕伟^[16]的可拓配置设计,哈尔滨工业大学邹广天^[23]的可拓建筑设计,青岛大学杨国为^[24]的可拓概念设计等.利用上述可拓工程方法,研究者还研制了相应领域的可拓策略生成系统和可拓数据挖掘软件^[13,15-17].可拓数据挖掘^[21]是可拓学和数据挖掘结合的产物,它研究用可拓学的理论和方法,去挖掘各个领域的数据库或知识库中所积累的基于变换的知识,包括挖掘数据库中与解决矛盾问题的变换需要的信息和知识^[22].传统数据挖掘与可拓数据挖掘不同之处在于:以往的数据挖掘方法挖掘的是静态的知识,可拓数据挖掘方法挖掘的是变换下的知识,即可拓知识(包括动态知识)^[17,21].

4 可拓学的科学意义、国际影响与未来发展

4.1 可拓学对现有科学理论的拓展

可拓学在 5 个方面对现有的科学理论进行了拓展^[25,26]:

(i) 拓展了数学的研究范围.可拓学的研究对象是矛盾问题,这是对数学基本研究不矛盾问题的拓展,为了处理矛盾问题,可拓学把数学“研究数量关系和空间形式”拓展为研究“包括对象、特征和量值的三元组——基元”,从而可以用形式化研究物、事和关系,使数学模型拓展为解决矛盾问题的可拓模型.

(ii) 拓展了集合论.可拓集把研究静态分类的康托集和模糊集拓展为研究变换下的分类的可拓集.

(iii) 拓展了逻辑理论.可拓学研究者综合了形式逻辑形式化的长处和辩证逻辑研究事物的内涵、外延及其变化的特点,建立了可拓逻辑.

(iv) 拓展了函数论.可拓学把实变函数中“距离”的概念拓展为“可拓距”,把实变函数拓展为关联函数,从而使“类内即为同”的定性描述发展为“类内

也有异”的定量描述.

(v) 拓展了系统论.可拓学把系统论从组成部分和关系研究物的结构拓展为从物质性、系统性、动态性和对立性 4 个角度研究物的结构,形成了共轭理论与方法,对物的结构进行更全面地描述.

4.2 海外学者参与可拓学研究

可拓学诞生以后,从中国逐步走向海外.海外的学术刊物和国际会议论文集陆续发表了一批可拓学研究成果^[11,27-29],我国科学出版社 2003 年出版了英文版的专著《Extension Engineering Methods》^[30],又于 2013 年和美国的教育出版社联合出版英文版专著《Extenics: Theoy, Method and Application》^[31],中国台湾全华科技图书公司出版了繁体字版的可拓学专著^[32,33],这些工作把可拓学介绍到世界各地.

2006 年,美国新墨西哥州大学数学系系主任 Smarandache^[34]把可拓学介绍到美国,2012 年,由美国教育出版社出版了他撰写的可拓学专著,把关联函数的计算公式从一维拓展到多维;2010 年,印度 Sreenivasarao 等人^[27]撰写的论文进一步研究了可拓数据挖掘方法;2011 年,中国台湾的 Lee 和日本的 Terashima^[28]研究了把可拓创新方法应用于智能远程教学系统;2006 年,中国台湾的 Tao 和 Lee^[29]发表了论文,把可拓论应用于计算机分布系统.

2012 年,美国 Smarandache 和罗马尼亚科学院机电与机器人研究室主任 Vladareanu 等分别作为第一、二期“可拓学国际研究学者”到广东工业大学学习,研究可拓学.Vladareanu 与广东工业大学可拓学与创新方法研究所蔡文等签订了国际合作协议,把可拓论应用于机器人领域.他们回国后,Smardandache^[34]撰写了专著,Vladareanu 等人^[35]申请了可拓学应用于机器人的专利,这些工作对可拓学的发展起了推动作用.

4.3 可拓学的未来发展

(i) 把矛盾问题智能化处理发展为成熟的技术.当前,网络和计算机已渗透到人们生活和工作的各个层面,很多领域都要涉及矛盾问题的处理,创制能处理矛盾问题的智能机器将成为促进未来科学技术发展的重要工作.计算机智能化和创制智能机器的目的就是让计算机能够帮助人们处理各种各样的问题,特别是主观愿望与客观环境矛盾的问题,可拓学

将为此提供基本的工具. 因此, 把可拓论和可拓创新方法应用于计算机和网络智能化的研究将成为今后的前沿工作, 这些研究包括: (1) 研制能处理矛盾问题的智能计算机; (2) 研制能处理矛盾问题的智能机器; (3) 研制通用的可拓策略生成平台和在专业领域应用的可拓策略生成软件; (4) 可拓数据挖掘软件在多个领域得到应用; (5) 利用可拓论和可拓创新方法研究网络智能化的技术. 今后, 研制可拓软件并使之商业化将是可拓学应用研究的重要工作.

(ii) 可拓创新方法在多个领域得到应用. 包括: (1) 用形式化方法表述创造性思维的模式, 研究设计领域中产品概念设计方法和生产领域中解决矛盾问题的操作方法. (2) 在信息领域中, 可拓信息的基本理论与方法的深入研究, 将使可拓搜索方法、可拓诊断方法、可拓识别方法等进入多个领域, 使可拓创新方法在信息领域得到较广泛的应用. (3) 可拓控制的研究提出了解决控制领域中矛盾问题的新理论与方法. 随着研究的深入, 把不可控制问题转化为可控制问题的可拓控制将为控制领域提供新的控制方式. 可拓检测技术的研究将为使不可检测的问题转化为可检测的问题提供可行的方法和工具. 研究利用可拓控制和可拓检测的可拓机器人将成为新的增长点. (4) 网络世界的矛盾问题不计其数, 如信息的需要量和提供量过多的矛盾, 大世界和小世界的矛盾等, 这些矛盾问题将可以利用网络方法和可拓创新方法相结合的技术去处理. 未来, 能处理矛盾问题的可拓搜索引擎和网站的研究将成为网络领域新的研究方向. (5) 在管理领域中, 以处理矛盾问题为核心的管理可

拓工程理论与方法将逐步为管理者所接受和广泛使用.

(iii) 理论体系更加完善, 可拓学发展为成熟的学科. (1) 可拓论 3 个支柱的研究将更加深入发展, 从而成为公认的理论体系. 可拓集论的提出丰富了集合论, 在可拓集论的基础上, 将产生异于经典数学和模糊数学的可拓数学, 作为处理矛盾问题的定量化工具; 为了更好地使矛盾问题的解决过程定量化, 必将对异于实变函数和隶属函数的关联函数进行全面系统的研究, 形成关联函数论; 在基元理论的研究方面, 将会发展多维基元和复合元的可拓分析理论、共轭分析理论和可拓变换理论, 尤其是共轭分析的定量化及传导变换的定量化和可操作方法的研究, 使可拓学能为复杂矛盾问题的智能化处理提供更合适的工具; 可拓逻辑的研究目前还很初步, 今后必会对可拓逻辑体系, 特别是可拓推理体系进行全面深入的研究. (2) 由于各个专业领域中研制可拓策略生成系统、可拓数据挖掘软件、产品创新软件和能处理矛盾问题的软件的需要, 今后必然要研究能处理一般矛盾问题和专业领域中矛盾问题所需要的形式化模型、定量化工具、推理的规则和特有的方法. 从而使可拓创新方法发展为更为完整的通用可拓创新方法体系和专业领域中应用的可拓创新方法体系. (3) 由于矛盾问题广泛存在, 可拓学的应用必然导致对其理论和方法的深入研究, 与各个领域的交叉融合必然发展出多个分支(有关可拓学的参考资料请见可拓学主页: <http://web.gdut.edu.cn/~extenics/>), 形成不同领域的可拓工程理论体系和方法体系, 从而使可拓学发展为一门成熟的、多分支的学科.

参考文献

- 1 蔡文. 可拓集合和不相容问题. 科学探索学报, 1983, 1: 83-97
- 2 蔡文. 可拓论及其应用. 科学通报, 1999, 44: 673-682
- 3 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. 广东工业大学学报, 2011, 28: 86-93
- 4 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法. 北京: 科学出版社, 1997. 1-17
- 5 蔡文. 物元分析. 广州: 广东高等教育出版社, 1987. 1-8
- 6 杨春燕, 蔡文. 可拓信息-知识-智能形式化体系研究. 智能系统学报, 2007, 2: 9-11
- 7 蔡文. 物元模型及其应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1994. 21-61
- 8 蔡文. 可拓学概述. 系统工程理论与实践, 1998, 18: 76-84
- 9 杨春燕, 张拥军, 蔡文. 可拓集合及其应用研究. 数学的实践与认识, 2002, 32: 301-308
- 10 杨春燕, 蔡文. 可拓集中关联函数的研究进展. 广东工业大学学报, 2012, 29: 7-14
- 11 Smarandache F. Generalizations of the distance and dependent function in Extenics to 2D, 3D, and n -D. Globl J Sci Front Res, 2012, 12: 47-60
- 12 杨春燕, 李兴森. 可拓创新方法及其应用研究进展. 工业工程, 2012, 15: 131-137

- 13 李立希, 杨春燕, 李铎汶. 可拓策略生成系统. 北京: 科学出版社, 2006. 1–138
- 14 彭强, 何斌, 康志荣. 转换桥方法. 系统工程理论与实践, 1998, 18: 99–105
- 15 杨春燕, 蔡文. 可拓工程. 北京: 科学出版社, 2007. 169–182
- 16 赵燕伟. 机械产品可拓概念设计研究. 中国工程科学, 2001, 3: 68–71
- 17 蔡文, 杨春燕. 可拓学是人工智能的理论基础之一. 见: 涂序彦, 主编. 人工智能: 回顾与展望. 北京: 科学出版社, 2006. 275–283
- 18 王行愚, 李健. 论可拓控制. 控制理论与应用, 1994, 11: 125–128
- 19 余永权. 可拓检测技术. 中国工程科学, 2001, 3: 88–94
- 20 Cai W. Extension management engineering and applications. Int J Op Qu Manag, 1999, 5: 59–72
- 21 蔡文, 杨春燕, 陈文伟, 等. 可拓集与可拓数据挖掘. 北京: 科学出版社, 2008. 44–151
- 22 杨春燕, 李小妹, 陈文伟, 等. 可拓数据挖掘方法及其计算机实现. 广州: 广东高等教育出版社, 2010. 1–5
- 23 邹广天. 建筑设计创新与可拓思维模式. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38: 1120–1123
- 24 杨国为. 基于物元动态系统分析的智能化模型化概念设计. 计算机工程与应用, 2005, 41: 109–113
- 25 蔡文, 石勇. 可拓学的科学意义与未来发展. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38: 1079–1086
- 26 香山科学会议办公室. 可拓学的科学意义与未来发展——香山科学会议第 271 次学术讨论会. 香山科学会议简报, 2006, 260: 1–6
- 27 Sreenivasarao V, Srinivasu R, Ramaswamy G, et al. Research of distributed data mining knowledge discovery based on extension sets. Int J Comput Appl, 2010, 8: 12–17
- 28 Lee Y C, Terashima N. An Extenics-based intelligent distance learning system. Int J Comput Sci Netw Sec, 2011, 11: 57–63
- 29 Tao D F, Lee L T. An Extenics-based load balancing mechanism in distributed computing systems. Int J Comput Sci Netw Sec, 2006, 6: 70–76
- 30 Cai W, Yang C Y, Lin W C. Extension Engineering Methods. Beijing: Science Press, 2003
- 31 Yang C Y, Cai W. Extenics: Theory, Method and Application. Beijing: Science Press, 2013
- 32 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法. 台北: 中国台湾全华科技图书公司, 2001. 1–17
- 33 蔡文, 杨春燕. 可拓行销. 台北: 中国台湾全华科技图书公司, 2001. 1–29
- 34 Smarandache F. Extenics in Higher Dimensions. Columbus: Education Publisher, 2012. 1–12
- 35 Vladareanu L, Cai W, Yang C Y, et al. Method and device for extension hybrid force-position control of the robotics and mechatronics systems. Romania Patent, A20121077/28.12.2012

Basic theory and methodology on Extenics

CAI Wen & YANG ChunYan

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

Human history is a developing history of solving contradictory problems. Relevant processes about using computer and the Internet to solve contradictory problems are collectively referred to intelligent process of contradictory problems. In order to realize the intelligent process, we need to study the formalization of contradictory problems and its solving process, find rules of solving contradictory problems, establish method system of solving contradictory problems, and even produce software of solving contradictory problems, which gives rise to a new discipline—Extenics. This paper introduces basic theory, method system of Extenics and its applications, and discusses its scientific significance and future development.

Extenics, extension theory, extension innovation methods, basic-element, extension set, extension logic

doi: 10.1360/972012-1472