

# 可拓工程研究

杨春燕, 蔡文

(广东工业大学可拓工程研究所, 广州 510080)

**[摘要]** 介绍可拓工程研究的基本思想、工具和方法及其在检测、控制、管理、信息和计算机等领域的应用研究概况。

**[关键词]** 矛盾问题; 可拓集合; 可拓性; 可拓工程

## 1 引言

在工程技术和经济管理中, 人们常常会碰到各种各样的矛盾问题。例如, 用现有的传感器无法检测某些必须测定的特征的值, 或者在给定的环境下, 可以测定该特征的传感器无法使用。在搜索活动(如寻找罪犯、勘测矿藏、诊断故障等)中, 根据已有的少量信息, 无法确定要搜索的对象等。在控制领域中, 经常出现快速性、稳定性和准确性之间的矛盾, 传统的控制系统受其基于精确模型的形式逻辑方法的限制, 往往采取折中的做法, 不能很好地解决这类问题。十几年来, 不少学者利用可拓学<sup>[1,2]</sup>的基本理论和方法, 去研究这些矛盾问题, 进行了许多有益的探索。

可拓学是研究事物的可拓性与事物开拓的规律与方法, 并用于处理矛盾问题的一门新学科, 它的学科体系如图1所示。可拓工程<sup>[3]</sup>是可拓学的理论与方法在各领域中的应用。本文拟从可拓工程研究的基本思想、工具和方法出发, 介绍可拓工程在检测、控制、管理、信息和计算机等领域的应用研究概况。

## 2 可拓工程研究的基本思想、工具和方法

### 2.1 基本思想

可拓工程研究的基本思想是利用物元理论<sup>[4]</sup>、事元理论<sup>[5]</sup>和可拓集合理论<sup>[6]</sup>, 结合各应用领域的理论和方法去处理该领域中的矛盾问题, 以化不可行为可行, 化不可知为可知, 化不属于为属于, 化对立为共存。

1) 化不可行为可行 已知条件物元  $r = (N_0, c_0, v_0)$ , 在条件  $r$  下, 目的物元  $R = (N, c, v)$  无法实现, 即  $K(R, r) \leq 0$ , 此时称问题  $P = R * r$  为不相容问题。解决这类问题就是要寻求物元变换  $T$ ,  $T = (T_R, T_r)$ , 使问题的相容度  $K(T_R R, T_r r) \geq 0$ 。这类不相容问题在工程领域如检测、控制、设计等中比比皆是。

2) 化不可知为可知 勘探矿藏、诊断故障、搜索罪犯等过程中, 往往从已有的信息很难判断未知的事物。根据可拓方法, 可以利用信息的可拓性去解决这类问题。设已有的条件物元是  $r = (N_0, c_0, v_0)$ , 未知物元是  $R_x = (N_x, c, v)$  或  $R_x = (N, c, v_x)$ , 求  $R_x$  的问题  $P = R_x * r$  构成不相容问题。要通过  $R_x$  的变换, 或  $r$  的变换, 或  $R_x$  和  $r$  同时变换而使问题得到解决。

[收稿日期] 2000-09-01; 修回日期 2000-09-04

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(79870107)

[作者简介] 杨春燕(1964-), 女, 山东泰安市人, 广东工业大学可拓工程研究所副研究员

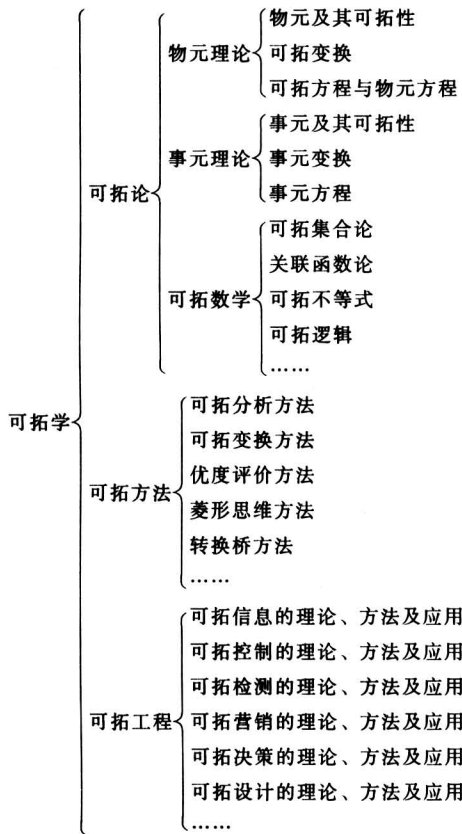


图 1 可拓学的学科体系

Fig.1 The science system of extenics

3) 化不属于为属于 设某研究对象的全体为论域  $U$ ,  $T$  为某一变换,  $k(u)$  为  $U$  到实域  $I$  的一个映射。在  $U$  上建立关于变换  $T$  的可拓集合

$$\tilde{A}(T) = \{(u, y, y') \mid u \in U, y = k(u) \in I, y' = k(Tu) \in I\}.$$

当  $T=e$  时, 称

$$A = \{(u, y) \mid u \in U, y = k(u) \geq 0\}$$

为  $\tilde{A}$  的正域, 表示具有某性质的元素的全体。

当  $T \neq e$  时, 称

$$A_+(T) = \{(u, y, y') \mid u \in U, y = k(u) \leq 0, y' = k(Tu) \geq 0\}$$

为  $\tilde{A}(T)$  的正可拓域, 表示不具有某性质的元素, 通过变换  $T$  变为具有某性质的元素的全体。

这种思想和方法可以应用到很多实际问题中, 例如, 某产品的市场是愿意购买且有能力购买该产品的人群, 当  $k(u) \geq 0$  时, 表示  $u$  是市场中的人; 当  $k(u) \leq 0$  时, 表示  $u$  不是市场中的人。若变换  $T$  使  $k(Tu) \geq 0$ , 则这些人的全体就是原市场关于变换  $T$  的可拓市场<sup>[7]</sup>。用可拓方法开拓市场, 就是寻求变换  $T$ , 使不是市场中的人变到

市场中。再如, 企业的管理者可以通过某种变换, 使不为他们控制的资源转化为该企业一定条件下可控制的资源, 即可拓资源<sup>[7]</sup>。

4) 化对立为共存 在管理、控制等领域中, 存在不少对立的问题, 例如要把两个不同运行规则的交通系统连成一个大系统, 就是一个对立问题。“狼鸡同笼”问题也是对立问题。这些对立问题, 可以是事物的对立、物元的对立或系统运行规则的对立。使对立问题转化为共存问题, 可以用转换桥方法<sup>[3]</sup>等去解决。

## 2.2 使用的基本工具

2.2.1 定性工具 物元和事元, 是可拓学的基本概念, 可拓变换是解决矛盾问题的基本工具, 可拓分析方法是寻求可拓变换的依据。利用它们可以从定性的角度分析事物开拓的可能性。

1) 物元和事元 物元是描述事物的基本元素, 用一个有序三元组  $R = (N, c, v)$  表示, 其中  $N$  表示事物的名称,  $c$  表示特征的名称,  $v = c(N)$  表示  $N$  关于  $c$  所取的量值。

事元是描述事件的基本元素, 用一个有序三元组  $I = (d, h, u)$  表示, 其中  $d$  表示动词,  $h$  是特征,  $u$  是  $d$  关于  $h$  所取的量值。

一个客观的物有无数特征, 用  $n$  维物元表示其有限特征及对应的量值, 即

$$R = \begin{bmatrix} N, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n \end{bmatrix}$$

一个动词也有很多特征, 以  $m$  维事元表示其有限特征所对应的量值, 即

$$I = \begin{bmatrix} d, & h_1, & u_1 \\ & h_2, & u_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & h_m, & u_m \end{bmatrix}$$

事和物的多特征性是解决矛盾问题的重要工具。

2) 可拓性 物元和事元都具有可拓性, 包括发散性、相关性、蕴含性、可扩性和共轭性。可拓性是进行可拓变换的依据。

3) 可拓变换 可拓变换包括元素的变换(物元变换和事元变换)、关联函数的变换和论域的变换, 它们都有 4 种基本变换(增删变换、扩缩变换、置换变换和分解变换), 可以进行变换的运算(积变换、与变换、或变换和逆变换)及复合变换。

利用可拓变换, 可以为矛盾问题转化为相容问题提供多条途径。

4) 可拓方程与物元方程 根据给定的两个要素  $\Gamma_1$  和  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_i \in \{R_i, I_i, k_i, U_i\}$ , 求未知变换  $T_x$ , 使  $T_x \Gamma_1 = \Gamma_2$ , 这类含有未知变换的等式称为可拓方程。求  $T_x$  的过程称为解可拓方程, 该变换称为该方程的解变换。

文献 [3] 把含有未知物元的物元等式称为物元方程。求物元方程的过程称为解该方程, 满足上述方程的物元称为该方程的解。

通过解可拓方程和物元方程, 使解不相容问题成为可能。

### 2. 2. 2 定量工具

1) 可拓集合 可拓集合是描述事物具有某种性质的程度和量变与质变的定量化工具。随着可拓工程研究的逐步开展, 可拓集合的概念也由文献 [4, 6] 的定义发展为如下定义:

定义 1 设  $U$  为论域,  $k$  是  $U$  到实域  $I$  的一个映射,  $T = (T_U, T_k, T_u)$  为给定的变换, 称

$$\tilde{A}(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$$

$$y = k(u) \in I, y' = T_k k(T_u u) \in I\}$$

为论域  $T_U U$  上的一个可拓集合,  $y = k(u)$  为  $\tilde{A}(T)$  的关联函数,  $y' = T_k k(T_u u)$  为  $\tilde{A}(T)$  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。

当  $T \neq e$  时, 称

$$A_+(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$$

$$y = k(u) \leq 0, y' = T_k k(T_u u) \geq 0\}$$

为  $\tilde{A}(T)$  的正可拓域;

$$A_-(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$$

$$y = k(u) \geq 0, y' = T_k k(T_u u) \leq 0\}$$

为  $\tilde{A}(T)$  的负可拓域;

$$A_+(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$$

$$y = k(u) \geq 0, y' = T_k k(T_u u) \geq 0\}$$

为  $\tilde{A}(T)$  的正稳定域;

$$A_-(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$$

$$y = k(u) \leq 0, y' = T_k k(T_u u) \leq 0\}$$

为  $\tilde{A}(T)$  的负稳定域;

$$J_0(T) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$$

$$y' = T_k k(T_u u) = 0\}$$

为  $\tilde{A}(T)$  的拓界。

·当  $T_U = e, T_k = e, T_u = e$  时,  $\tilde{A}(T) = \tilde{A} = \{(u, y) \mid u \in U, y = k(u) \in I\}$ 。

·当  $T_U = e, T_k = e$  时,  $T_U U = U, T_k k = k$ ,  $\tilde{A}(T) = \tilde{A}(T_u) = \{(u, y, y') \mid u \in U,$   
 $y = k(u) \in I, y' = k(T_u u) \in I\}$ ,  
 此可拓集合为关于元素  $u$  变换的可拓集合。

·当  $T_U = e, T_u = e$  时,  $T_U U = U, T_u u = u$ ,  $\tilde{A}(T) = \tilde{A}(T_k) = \{(u, y, y') \mid u \in U,$   
 $y = k(u) \in I, y' = T_k k(u) \in I\}$ ,  
 此可拓集合为关于关联函数  $k(u)$  变换的可拓集合。

·当  $T_u = e$  且  $T_U U - U \neq \emptyset$  时,  $T_u u = u$ ,  
 $T_k(u) = k'(u) = \begin{cases} k(u), & u \in U \cap T_U U \\ k_1(u), & u \in T_U U - U \end{cases}$ ,  
 $\tilde{A}(T) = \tilde{A}(T_U) = \{(u, y, y') \mid u \in T_U U,$   
 $y = k(u) \in I, y' = k'(u) \in I\}$ ,  
 此可拓集合为关于论域变换的可拓集合。

特别地, 当  $T_u = e, T_k = e$  且  $T_U U \subset U$  时,  
 $T_k k = k, T_u u = u, y' = k(u) = y'$ ,  
 $\tilde{A}(T) = \tilde{A}(T_U) = \{(u, y) \mid u \in T_U U,$   
 $y = k(u) \in I\}$ 。

由上述定义可见, 可拓集合描述了事物“是”与“非”的相互转化, 它既用来描述量变的过程(稳定域), 又用来描述质变的过程(可拓域)。越过零界或拓界所描述的质变点, 事物就产生质变。

当可拓集合中的元素  $u$  是物元时, 就形成物元可拓集合。物元可拓集合中每个元素——物元都有自己的内部结构, 它们是描述事物量的方面, 又体现事物质的方面, 并将两者有机结合的统一体, 其内部结构是可以改变的。由于物元内部结构的可变性、关联函数的可变性及论域的可变性, 导致了物元在集合中“地位”的可变性。因此, 物元可拓集合能较合理地描述自然现象和社会现象中各种事物的内部结构、彼此关系及它们的变化, 从而能描述解决矛盾问题的过程。

2) 关联函数<sup>[3]</sup> 在可拓集合中, 建立了关联函数的概念。通过关联函数值, 可以定量地描述  $U$  中任一元素  $u$  属于正域、负域或零界三个域中的哪一个, 就是同属于一个域中的元素, 也可以由

关联函数值的大小区分出不同的层次。为了建立实数域上的关联函数，首先把实变函数中距离的概念拓广为距的概念，作为把定性描述扩大为定量描述的基础。

定义 2 设  $x_0$  为实轴上的任一点， $X_0 = \langle a, b \rangle$  为实域上的任一区间，称

$$\rho(x_0, X_0) = \left| x_0 - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{b-a}{2}$$

为点  $x_0$  与区间  $X_0$  之距。其中  $\langle a, b \rangle$  既可为开区间，也可为闭区间，也可为半开半闭区间。

点与区间之距  $\rho(x_0, X_0)$  与经典数学中“点与区间之距离” $d(x_0, X_0)$  的关系是：

·当  $x_0 \notin X_0$  或  $x_0 = a, b$  时， $\rho(x_0, X_0) = d(x_0, X_0) \geq 0$ ；

·当  $x_0 \in X_0$  且  $x_0 \neq a, b$  时， $\rho(x_0, X_0) < 0, d(x_0, X_0) = 0$ 。

距的概念的引入，可以把点与区间的位置关系用定量的形式精确刻划。当点在区间内时，经典数学中认为点与区间的距离都为 0，而在可拓集合中，利用距的概念，就可以根据距的值的不同描述出点在区间内的位置的不同。距的概念对点与区间的位置关系的描述，使人们从“类内即为同”发展到类内也有程度区别的定量描述。

在现实问题中，除了需要考虑点与区间的位置关系外，还经常要考虑区间与区间及一个点与两个区间的位置关系。一般地，设  $X_0 = \langle a, b \rangle, X = \langle c, d \rangle$ ，且  $X_0 \subset X$ ，则点  $x$  关于区间  $X_0$  和  $X$  组成的区间套的位值规定为

$$D(x, X_0, X) = \begin{cases} \rho(x, X) - \rho(x, X_0), & x \notin X_0 \\ -1, & x \in X_0 \end{cases}$$

$D(x, X_0, X)$  就描述了点  $x$  与  $X_0$  和  $X$  组成的区间套的位置关系。

在距的基础上，文献 [3] 建立了初等关联函数：

$$k(x) = \frac{\rho(x, X_0)}{D(x, X_0, X)}$$

(其中  $X_0 \subset X$ ，且无公共端点) 用于计算点和区间套的关联程度。关联函数的值域是  $(-\infty, +\infty)$ ，用上述式子表述可拓集合中的关联函数，就把“具有性质  $P$ ”的事物从定性描述拓展到“具有性质  $P$  的程度”的定量描述。

在关联函数中， $k(x) \geq 0$  表示  $x$  属于  $X_0$  的程度， $k(x) \leq 0$  表示  $x$  不属于  $X_0$  的程度，

$k(x) = 0$  表示  $x$  既属于  $X_0$  又不属于  $X_0$ 。因此，关联函数可作为定量化描述事物量变和质变的工具。根据可拓集合的定义，对给定的变换  $T$ ，当  $k(x) \cdot k(Tx) \geq 0$  时，说明事物的变化是量变；当  $k(x) \cdot k(Tx) \leq 0$  时，说明事物的变化是质变。 $\tilde{A}(T)$  关于关联函数的变换及关于论域的变换的可拓函数与关联函数也具有上述性质。

3) 优度评价法<sup>[3]</sup> 利用可拓分析和可拓变换，可以为人们提供解决矛盾问题的多种方案或策略，但这些方案或策略等必须通过筛选才能应用。为此，利用可拓集合和关联函数建立了评价一个对象，包括事物、策略、方案等的优劣的基本方法——优度评价法。它的优点在于：在衡量条件中，加入了“非满足不可的条件”，使评价更切合实际；利用关联函数确定各对象的合格度和优度，由于关联函数的值可正可负，因此，优度可以反映一个方案或策略利弊的程度；由于可拓集合能描述可变性，因此，在引入参数  $t$  后，可以从发展的角度去权衡利弊。

4) 可拓不等式 解决矛盾问题，是可拓集合论产生的背景和应用的归宿，为此，首先要应用物元这一工具，建立形式化的问题模型，并通过可拓集合研究问题的相容度。对于不相容问题，利用关联函数建立含有未知变换  $T_x$  的可拓不等式，通过解可拓不等式，得到解变换集  $\{T\}$ ，其中的变换使不相容问题转化为相容问题。

定义 3 若问题  $P$  的核  $P_0 = g * l$  的相容度为  $K(g, l) \leq 0$ ，即问题  $P$  为不相容问题，则含有未知变换  $T_g$  或  $T_l$  的不等式  $K(g, T_l l) \geq 0$ ； $K(T_g g, l) \geq 0$ ； $K(T_g g, T_l l) \geq 0$  分别称为限制可拓不等式、对象可拓不等式和复合可拓不等式。满足不等式的变换  $T_l, T_g, (T_g, T_l)$  分别称为相应的可拓不等式的解变换。所谓解可拓不等式，以限制可拓不等式为例，就是对给定的不相容问题  $P = R * r$ ，求解变换集  $\{T_l\}$ ，使对  $T_l \in \{T_l\}$ ，有  $K(g, T_l l) \geq 0$ ，文献 [4] 研究了解法的详细过程。

根据可拓不等式的定义知，可拓不等式的解变换不是唯一的，全体解变换的集合，称为解变换集。求可拓不等式的解变换集的过程，也就是化不相容问题为相容的过程。

可拓不等式的解变换  $T$  有多个，但并非每个解变换的结果都一样好。因此，在求出解变换集

{T} 后,就要选取合适的衡量条件及权系数,对各解变换进行优度评价,选取优度较高的解变换作为可拓不等式的优解变换。

### 2.3 菱形思维方法

可拓工程研究的基本方法是可拓方法,其中有可拓分析方法(包括发散树、分合链、相关网、蕴含系、共轭对等),物元变换方法,优度评价方法等。在解决矛盾问题的过程中,首先利用可拓分析方法对问题进行发散分析,再利用物元变换方法形成解决矛盾问题的多种方案,最后利用优度评价方法进行筛选,选取优度较高的一个或几个方案进行实施。这种思维方法称为菱形思维方法。

由于人们的创造性思维过程就包括发散性思维和收敛性思维,所以菱形思维能很好地描述人们的创造性思维过程。建立菱形思维模型,可将人们的创造性思维形式化,以使最终用计算机模拟人的创造性思维过程成为可能。

## 3 可拓工程研究的领域

### 3.1 在检测领域中的应用

在检测过程中,人们经常遇到不可检测的特征的检测问题,如何使不可检测的问题转化为可检测的问题?广东工业大学余永权教授主持的广东省自然科学基金项目“可拓检测技术研究”提出了把可拓学的理论与方法应用于检测领域,使不可检测的问题通过物元变换方法转化为可以检测的问题。这种转换,单纯用形式逻辑的思维不可能解决,它需要创造性的思维,利用可拓方法,把约束条件的可变性和检测目标的迂回性结合起来,实现不可检测问题到可测问题的转换。文献[8]对可拓学在检测技术中的应用进行了研究,探讨利用物元理论和可拓方法,去解决检测问题中大量不可检测问题的可能性。文献[9]给出了可拓检测的基本概念、原理及架构,并提出了有关的实施办法。

### 3.2 在管理领域中的应用

管理,无论是环境的管理,组织的管理,矛盾与发展过程的管理,还是计划、组织、领导、决策和控制,都要碰到各种各样的矛盾问题。可以说,管理的过程就是解决矛盾的过程。

可拓学在管理领域中的应用,已承接了多项关于可拓决策和可拓营销的国家自然科学基金项目和省市项目,探讨了管理过程中处理矛盾问题的规律与方法,根据环境和组织的可拓性,探讨企业、市

场、产品等的可拓性。文献[10]讨论了处理矛盾问题的规律,用可拓方法建立了解决矛盾问题的物元模型,把解决矛盾问题的过程形式化;文献[11]建立了转换桥的基本概念,研究了解决对立问题和对立系统的转换桥方法;文献[12]等探讨了关键策略的生成方法和协调问题。这些研究是以可拓学的基本理论和方法,建立物元模型,通过物元的可拓性和物元变换,寻求解决矛盾问题的关键策略,提出了关键要素和关键策略的确定方法。文献[13]研究了新产品构思的可拓方法;文献[14]利用事元蕴含系建立了开拓市场的方法;文献[7]建立了以创新为核心,以创造产品一开拓市场一革新企业为主线的可拓营销理论与方法;通过讨论市场的可拓性,提出可拓市场的概念,研究了可拓市场的类型及确定可拓市场的方法;利用可拓集合的思想建立了可拓资源的概念,为资源研究提供了一种形式化、量化分析方法。

### 3.3 在控制领域中的应用

一个控制系统,往往存在各种各样的矛盾。例如,快速性、准确性和稳定性之间就存在着矛盾,而传统的控制系统受精确模型的形式逻辑方法所限,不能很好地解决这类问题。文献[15]把可拓方法引进了控制领域,提出了基于物元理论和可拓集合理论的一类新型智能控制方法,将矛盾问题通过适当的方法加以转化,成为相容问题,称之为可拓控制。可拓控制是华东理工大学的王行愚教授提出的,并完成了国家自然科学基金项目“可拓控制”。

可拓控制从信息转化的角度去处理控制问题,以控制输出信息的合格度作为确定控制输入矫正量的依据,从而使被控信息转换到合格范围内<sup>[16]</sup>。文献[17]提出了可拓语言控制器,文献[18]研究了可拓专家系统,文献[19]讨论了可拓信息控制,文献[20, 21]对可拓控制进行了进一步的研究。可拓CIMS、可拓优化、可拓信息集成等一系列可拓控制的新思想和新方法也先后被提出。[22]将可拓控制理论应用于计算机网络入侵检测方法的研究。

### 3.4 在信息领域中的应用

信息的可拓性是物元可拓性的具体体现,利用信息的可拓性,可以从已有的信息挖掘出很多有用的新信息。文献[23]研究了信息的可拓性,文献[24, 25]研究了可拓信息及其应用。大连海事大

学刘巍教授研制了“刑侦软件”，广州中医药大学黎敬波副教授等承接了国家自然科学基金项目“可拓方法在中医外感病因研究中的应用”，利用可拓方法和人体的已知信息探究中医外感病因。文献 [26] 研究了利用可拓方法诊断系统故障的问题；文献 [27] 研究了可拓方法在搜索领域中的应用；目前也有学者开始研究基于可拓方法的信息挖掘技术。这些工作都是利用信息的可拓性，去探求未知的信息、开拓新的信息。尽管这些工作还是很初步的，但它们表明，可拓方法在信息领域具有广泛的应用前景。

### 3.5 在计算机领域中的应用

文献 [28] 开始研究可拓方法的计算机实现问题；文献 [29] 研究了可拓语言；文献 [30] 探讨了可拓逻辑；文献 [31, 32] 讨论了可拓推理；台湾大同大学的黄有评教授利用可拓方法等研制了中国象棋软件，并在全国第八届可拓工程年会上演示；文献 [33] 利用可拓论研究了可拓知识库系统，讨论了可拓知识表示法，可拓知识库系统的特点与架构。这些工作为可拓方法的计算机实现打下了基础，也开创了可拓学在计算机领域中的应用。对可拓数据库和可拓知识库的探讨有助于信息挖掘的深入研究，利用可拓数据库和可拓知识库，将为人工智能研究开拓新的方法。

## 4 结束语

由于可拓工程的研究对象是矛盾问题，因此它的应用领域非常广泛，上述只是几个较有代表性的领域。目前也有很多学者把可拓工程应用于军事、经济、教育、医学和农业等领域，进行了很多有益的探索，限于篇幅，此不详述。总之，可拓工程的研究还很初步，但事实证明，它是一个非常有前途的研究方向，随着各工程领域参与研究的专家学者不断增加，在不久的将来，必将产生突破性的应用成果。

### 参考文献

- [1] 蔡文. 可拓论及其应用 [J]. 科学通报, 1999, 44 (7): 673~682
- [2] Cai Wen. Extension theory and its application [J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (17): 1538~1548
- [3] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1997
- [4] 蔡文. 物元模型及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994
- [5] 杨春燕. 事元及其应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (2): 80~86
- [6] 蔡文. 从物元分析到可拓学 [A]. 见: 从物元分析到可拓学 [C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 1~11
- [7] 蔡文, 杨春燕. 可拓营销 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2000
- [8] 魏辉, 余永权. 可拓物元变换方法在检测技术中的应用研究 [J]. 广东自动化与信息工程, 1999, 20 (4): 18~21
- [9] 余永权. 可拓检测技术 [R]. 广州: 全国第八届可拓工程年会大会报告, 2000
- [10] Wen Cai. Extension management engineering and applications [J]. International Journal of Operations and Quantitative Management, 1999, 5 (1): 59~72
- [11] 彭强, 何斌, 康志荣. 转换桥方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (2): 99~105
- [12] Cai Wen, He Bin, Zhang Yingli, et al. Key strategy and coordination problem [A]. 3rd International Conference on Management Science [C], July, 1998
- [13] 杨春燕, 何斌. 可拓方法在新产品构思中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19 (4): 120~124
- [14] 杨春燕. 利用事元蕴含系统寻找开拓市场的策略 [J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19 (8): 32~37
- [15] 王行愚, 李健. 论可拓控制 [J]. 控制理论与应用, 1994, 11 (1): 125~128
- [16] 王行愚, 李健, 胡琛. 可拓控制 [A]. 见: 从物元分析到可拓学 [C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 166~172
- [17] 胡琛, 王行愚. 可拓语言控制器的设计 [A]. 见: 从物元分析到可拓学 [C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 173~179
- [18] 徐顺喜, 王行愚. 可拓专家系统在 CIMS 中的应用 [A]. 呼和浩特: 1996 年中国智能自动化学术会议论文集 [C], 1996. 430~433
- [19] Li Jian, Wang Shenyu. Primary research on extension control information and systems [M]. New York: International Academic Publisher, 1991
- [20] 潘东, 金以慧. 可拓控制的探索与研究 [J]. 控制理论与应用, 1996, 13 (3): 305~311
- [21] 阳林, 吴黎明, 黄爱华. 可拓控制的物元模型及其控制算法 [J]. 系统工程理论与实践, 2000, 20 (6): 126~130
- [22] 金波, 胡琛, 王行愚. 入侵检测的可拓模型 [J]. 电器自动化, 1999, 20 (1): 77~79

- [23] 林伟初. 信息的可拓性 [A]. 见: 从物元分析到可拓学 [C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 185~190
- [24] Liu Wei, Ye Jian. Extension information [A]. In: Ju X F, ed. Proceedings of 96 International Conference On Management Science & Engineering [C]. Harbin: Institute of Technology Press, 1996
- [25] 刘巍, 张秀芳. 基于可拓信息的知识表示 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (1): 104~107
- [26] 杨春燕, 何斌. 系统故障的可拓诊断方法 [J]. 广东工业大学学报, 1998, 15 (1): 98~103
- [27] 林伟初. 搜索中的可拓方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (2): 131~134
- [28] 郭开仲. 用计算机处理不相容问题 [J]. 智囊与物元分析, 1986, (2): 41~48
- [29] 陈朝春, 林复华. 可拓语言的研究方向与展望 [J]. 智囊与物元分析, 1986, (3): 40~41
- [30] 何斌. 可拓逻辑研究提纲 [A]. 见: 从物元分析到可拓学 [C]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995. 260~263
- [31] 杜春彦. 基于物元可拓性的推理模型 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (2): 124~127
- [32] 何斌, 王若恩. 物元演绎推理 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (1): 85~92
- [33] 李立希. 可拓知识库系统初探 [R]. 广州: 全国第八届可拓工程年会论文, 2000

## Study on Extension Engineering

Yang Chunyan, Cai Wen

(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510080, China)

**[Abstract]** Extension engineering is the application technology of extension theory and extension method. It has been applied to some engineering fields such as detection, control, management, information and computer, etc.. In this paper, its basic ideas, tools, methods and applications will be introduced.

**[Key words]** contradictory problem; extension set; extensibility; extension engineering

## 欢迎订阅《航空制造技术》

《航空制造技术》是经国家科技部、新闻出版署审核批准的中央级期刊, 由中国航空工业第一集团公司主管, 原名为《航空工艺技术》。本刊创刊于1958年, 内容以先进性、实用性见长, 深受各界读者的好评。在航空、航天、军工领域及机床、模具、汽车、船舶等机械制造领域享有较高声誉。本刊现为中国科技论文统计用刊、中文核心期刊, 并被国外EI等知名检索机构收录。

本刊适用于航空、航天、兵器、汽车、造船、机床、模具、电子等军民品制造业。从事制造技术的工程技术人员、科研人员、管理人员、技术工人和大专院校师生均宜阅读。

本刊刊号CN11-4387/V, 国际标准刊号ISSN 1000-8756, 双月刊80页, 激光照排, 国际大16开本, 彩色精印, 逢单月出版, 单价4元, 全年价24元。2001年征订工作已经开始, 欢迎单位、个人订阅。全国邮局均可订阅, 邮发代号: 82-26。国内读者也可向本刊编辑部直接订阅。

杂志社备有1989~1999年精装合订本: 1989~1991年每册12元, 1992、1993年每册18元, 1994、1995年每册22元, 1996~1999年每册30元。合订本装帧实用美观, 欲购从速, 汇款时请注明所需年份及册数。

地址: 北京市340信箱航空制造技术杂志社, 邮政编码: 100024

电话: (010) 65728755, (010) 65761731 转 2358, 2332, 2627

传真: (010) 65728766

E-mail: amt@public.sti.ac.cn