

可拓学丛书

可拓工程

杨春燕 蔡文著



科学出版社

www.sciencep.com

可拓学丛书

可拓工程

杨春燕 蔡文 著

国家自然科学基金资助项目

广东省自然科学基金资助项目

科学出版社

北京

内 容 简 介

可拓工程的基本思想是用形式化的方法处理各领域中的矛盾问题,研究如何化不相容为相容、化对立为共存、化不是为是。本书系统地阐述了可拓工程的理论基础、方法体系和应用领域,并给出可拓工程方法的应用案例。

本书理论与应用相结合,分析透彻,可操作性强。为方便不同知识背景和不同层次的读者学习,各部分内容都配备了通俗易懂的案例。本书适合高等院校师生、工程技术人员和管理决策人员阅读,特别适合作为高等院校相关专业本科、硕士、博士生的选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

可拓工程/杨春燕,蔡文著. —北京:科学出版社,2007

(可拓学丛书)

ISBN 978-7-03-019473-2

I. 可… II. ①杨… ②蔡… III. 拓扑-工程数学 IV. TB113

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第114451号

责任编辑:范庆奎 潘继敏/责任校对:张 琪

责任印制:赵德静/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版

开本:A5(890×1240)

2007年8月第一次印刷

印张:11 1/4

印数:1—2 500

字数:292 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

《可拓学丛书》序

人类的历史是一部解决矛盾问题、不断开拓的历史。可拓学研究用形式化的模型分析事物拓展的可能性和开拓创新的规律,形成解决矛盾问题的方法,对于提高人类智能有重要的意义。根据这些研究成果探讨用计算机处理矛盾问题的理论和方法,对于提高机器智能的水平有重要的价值。可拓学研究正是基于这种目的而进行的。

可拓学选题于1976年展开,1983年发表首篇论文“可拓集合和不相容问题”。十多年来,在广大可拓学研究者的努力下,经历了无数的艰辛,逐步形成了可拓论的框架,开展了在多个领域的研究,一个新学科的轮廓已经形成。

近年来,不少学者加入了建设这一新学科的行列。可拓学的应用研究和普及推广迫切需要一批介绍可拓学的书籍,供研究者参考。为此,我们组织了《可拓学丛书》的编写,希望通过这套丛书,把可拓学介绍给广大学者。

诚然,目前可拓学还未完全成熟,可拓学的研究水平还不高,理论体系还要进一步建设,应用研究还需深入进行,大量的问题尚待解决。因此,这套丛书只能起抛砖引玉的作用。我们希望通过这套丛书,为广大学者提供可拓学的初步知识和思维方法,并提供研究的课题。

我们相信,丛书的出版将会吸引更多学者加入可拓学的研究行列,成为可拓学研究的生力军,推动可拓学的完善和发展。我们也希望广大读者对本丛书提出宝贵意见,为可拓学的建设添砖加瓦。

中国人工智能学会可拓工程专业委员会主任
国家级有突出贡献的专家
新学科可拓学的创立者

蔡文

2002.6

《可拓学丛书》前言

“可拓学”是以蔡文教授为首的我国学者们创立的新学科, 它用形式化的模型, 研究事物拓展的可能性和开拓创新的规律与方法, 并用于处理矛盾问题。

经过可拓学研究者们的多年的艰苦创业、共同奋斗, 可拓学已初具规模, 包括可拓论、可拓方法、可拓工程等. 在理论和方法研究上取得了创新性、突破性的研究成果, 在实际应用中, 具有多领域、多类型的成功事例. 可拓学及其应用已引起国内外学术界的广泛关注, 具有一定的影响. 其主要成果如下:

★ 可拓论 包括基元理论、可拓集合理论和可拓逻辑.

基元理论提出了描述事、物和关系的基本元——“事元”、“物元”和“关系元”, 讨论了基元的可拓性和可拓变换规律, 研究了定性 with 定量相结合的可拓模型. 提供了描述事物变化与矛盾转化的形式化语言. 基元理论为知识表示提供了新的形式化工具, 可拓模型为人工智能的问题表达提供了定性 with 定量相结合的模型, 对人工智能的发展有重要的意义.

可拓集合论是传统集合论的一种开拓和突破. 它是描述事物“是”与“非”的相互转化及量变与质变过程的定量化工具, 可拓集合的可拓域和关联函数使可拓集合具有层次性与可变性, 从而为研究矛盾问题, 发展定量化的数学方法——可拓数学和可拓逻辑奠定基础.

可拓逻辑是研究化矛盾问题为不矛盾问题的变换和推理规律的科学, 它是可拓学的逻辑基础.

★ 可拓方法 是可拓论应用于实际的桥梁. 在可拓学研究过程中提出了基于可拓论的多种可拓方法, 如发散树、分合链、相关网、蕴含系、共轭对等方法; 优度评价、真伪信息判别等评价判别方法; 基本变换、复合变换和传导变换等可拓变换方法; 菱形思维方法及转换桥方法等综合方法.

★ 可拓工程 将可拓方法应用于工程技术、社会经济、生物医学、交通环保等领域, 与各学科、各专业的方法和技术相结合, 发展出各领域的

应用技术, 统称为“可拓工程”。可拓工程研究的基本思想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。近年来, 可拓学在计算机、人工智能、检测、控制、管理和决策等领域进行的应用研究取得了良好的成绩。实践证明, 可拓学的发展及应用, 具有广阔的前景。

《可拓学丛书》的出版, 总结了多年来可拓学在理论和应用上的研究成果, 这对于可拓学的应用和普及具有重要的意义。它将推动可拓学研究的深入和发展。虽然可拓学研究目前已经取得了初步的成绩, 但是还有许多工作要做, 也可能遇到各种各样的困难和挫折。尽管科学的道路是不平坦的, 但前途是光明的。特赋诗一首以祝贺《可拓学丛书》的出版:

人工智能天地广,
可拓工程征途长。
中华学者勇创新,
敢教世界看东方。

中国人工智能学会荣誉理事长

《可拓学丛书》编委会主任

涂序彦

2002.6

前 言

可拓学创立于 1983 年. 20 多年来, 可拓学已初步形成了它的理论框架, 并向应用领域发展, 不少学者和专业技术人员开始研究应用可拓学的基本理论去解决实践中碰到的各种矛盾问题. 可拓学研究的现状表明, 可拓学的应用研究和实际应用的阶段已经到来.

把理论应用于各实际领域的关键在于方法. 为了使更多的学者能运用可拓学的基本理论去处理所在领域的矛盾问题, 我们总结了多年来的研究工作, 从可拓学的基本原理出发, 完善和发展了可拓方法, 它是可拓论应用于实际的桥梁. 把可拓方法与各实际领域相结合, 去解决其中的矛盾问题的方法, 统称为可拓工程方法.

为便于读者学习, 本书第 1 章简要介绍可拓学的概况, 第 2 章介绍可拓工程的理论基础——可拓论, 第 3 章介绍可拓工程的方法基础——可拓方法, 第 4 章介绍矛盾问题的求解方法, 第 5 章介绍可拓工程方法与技术. 各部分内容都以若干案例来帮助读者理解可拓学的基本方法和可能的应用. 我们期望高等院校和科研单位的教学科研人员能将这些方法与自己的研究领域相结合, 提出更多适合于各专业的可拓工程方法.

本书是作者承担和参加的国家自然科学基金资助项目 (70671031, 70271060, 70140003, 79870107) 和广东省自然科学基金资助项目 (05001832, 010049) 的有关研究成果的总结, 作者冀求以此拙作作为引玉之砖, 以使更多领域的学者利用可拓工程方法去处理所在领域的矛盾问题, 同时, 我们也希望这本书能成为可拓学通向应用之路的桥梁.

本书是《可拓学丛书》之一. 作者感谢国家自然科学基金委员会和广东省自然科学基金委员会对我们的研究工作给予的大力支持! 感谢广东工业大学为我们提供的良好科研环境, 感谢科学出版社和《可拓学丛书》编委会全体编委的辛勤工作.

由于作者才疏学浅, 疏漏乃至错误之处在所难免, 恳请读者批评指正.

作 者

2007.1.26

目 录

《可拓学丛书》序

《可拓学丛书》前言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 可拓学的研究概况与发展历程	1
1.2 可拓学的理论框架	2
1.3 可拓学的方法论体系	5
1.4 可拓学研究的科学意义	9
1.5 可拓工程研究现状	14
第 2 章 可拓工程的理论基础——可拓论	18
2.1 基元的概念	18
2.2 可拓分析原理	25
2.3 共轭分析原理	40
2.4 可拓变换原理	45
2.5 复合元	67
2.6 可拓集	71
2.7 关联函数	82
2.8 可拓逻辑简介	97
第 3 章 可拓工程的方法基础——可拓方法	112
3.1 拓展分析方法	112
3.2 可拓变换方法	125
3.3 共轭分析与共轭变换方法	138
3.4 可拓集方法	146
3.5 优度评价方法	161
3.6 可拓思维模式	169

第 4 章 矛盾问题的求解方法	183
4.1 矛盾问题的界定及其可拓模型	183
4.2 矛盾问题的运算、拓展与变换	194
4.3 不相容问题的求解方法 —— 可拓策略生成方法	201
4.4 对立问题的求解方法 —— 转换桥方法	212
4.5 矛盾问题智能化处理的初步研究	223
第 5 章 可拓工程方法与技术	229
5.1 可拓信息 - 知识 - 策略的形式化体系	229
5.2 可拓策略生成系统的实用技术	240
5.3 可拓数据挖掘方法	259
5.4 可拓营销方法	270
5.5 可拓策划方法	294
5.6 可拓设计方法	313
5.7 可拓控制与可拓检测方法简介	326
5.8 可拓方法在识别、搜索和诊断中的应用	331
参考文献	345

第 1 章 绪 论

1.1 可拓学的研究概况与发展历程

可拓学是由中国学者于 1983 年提出的一门原创性横断学科,它以形式化的模型,探讨事物拓展的可能性以及开拓创新的规律与方法,并用于解决矛盾问题^[1~3]。所谓矛盾问题,就是指在现有条件下无法实现人们要达到的目标的问题。

矛盾问题比比皆是。处理矛盾问题,有无规律可循?有无理论可依?能否建立一套方法,最终实现利用计算机来帮助人们处理它们?这是可拓学研究的出发点。

20 多年来,可拓学从一个人的学术思想、一篇论文,发展成为一门具有较成熟理论框架的新学科。一批学者参与了该学科的建设工作。全国可拓学学者成立了二级学会——中国人工智能学会可拓工程专业委员会,召开过 11 届全国年会;科学出版社正在陆续出版《可拓学丛书》。该学科已发展到多个领域的应用研究,如可拓设计、可拓信息、可拓控制、可拓检测,特别是在人工智能和计算机技术中的应用研究、管理可拓工程以及在中医药研究中的应用等,并从中国大陆发展到中国香港、台湾地区以及日本、美国和英国等地。在我国,广州、大连、台湾、哈尔滨、北京、上海、浙江、武汉、西安等 20 多个省市的可拓学研究者都参与了建设新学科的工作。随着研究的不断深入,可拓学将在国民经济和社会发展中发挥积极的作用(详细资料参见可拓学网页 <http://web.gdut.edu.cn/~extenics/>)。

经过多年的努力,可拓学研究工作经历以概念与思想的提出、基础理论框架的建立为主的两个阶段。目前,开始进入应用研究和理论研究相结合的阶段。但是,要使可拓学成为一门成熟的学科,还要做大量艰苦、认真的工作。

2004 年 2 月,以中国科学院吴文俊院士和中国工程院李幼平院士为首的鉴定委员会认为“经过 20 多年的连续研究,蔡文教授等已经建立了

一门横跨哲学、数学和工程学的新学科,它是由我国科学家自己建立的、具有深远价值的原创性学科”^[4]. 并指出,可拓学具有形式化、逻辑化和数学化的特点.

2005 年,香山科学会议第 271 次学术讨论会“可拓学的科学意义与未来发展”^[5]取得了如下共识:

(1) 可拓学是以矛盾问题为研究对象、以矛盾问题的智能化处理为主要研究内容、以可拓方法论为主要研究方法的一门新兴学科. 矛盾问题智能化处理的研究对现代科学的发展具有重要意义.

(2) 关于可拓学的“定位”: 认同可拓学是哲学、数学和工程学的交叉学科; 由于可拓学的研究对象存在于各个领域中, 因此, 讨论中比较赞同把可拓学定位于如同信息论、控制论和系统论那样的横断学科.

由于可拓学是中国原创的新学科, 正在逐步由中国走向世界. 因此, 目前国际可拓学的研究水平, 中国仍处于领先地位, 还代表着国际最新的进展. 如果在可拓学研究方面加强研究力度, 有可能取得走在世界前列的突破性技术成果.

可拓学是数学、哲学与工程学交叉的一门新兴学科, 它与控制论、信息论、系统论一样, 是一门涉及范围广泛的横断学科. 如同有数量关系与空间形式的地方, 就有数学的存在一样, 有矛盾问题存在的地方, 就有可拓学的用武之地. 它在各门学科和工程技术领域中应用的成效, 不在于发现新的实验事实, 而在于提供一种新的思想和方法.

为了解决具体的矛盾问题, 必须研究能处理一般矛盾问题和领域中矛盾问题所需要的形式化模型、定性和定量相结合的可操作工具、推理的规则和特有的方法. 对处理矛盾问题的研究, 正如上述的鉴定委员会所指出的“到现在为止, 我们还没有见到国内外有人做过如此全面、深入的类似工作”.

1.2 可拓学的理论框架

目前已初步确定了可拓论的核心是基元理论、可拓集理论和可拓逻辑^[6], 建立了以它们为支柱的可拓学理论框架, 初步研究了各支柱的构成、基本概念和有关内容. 如图 1.1 所示.

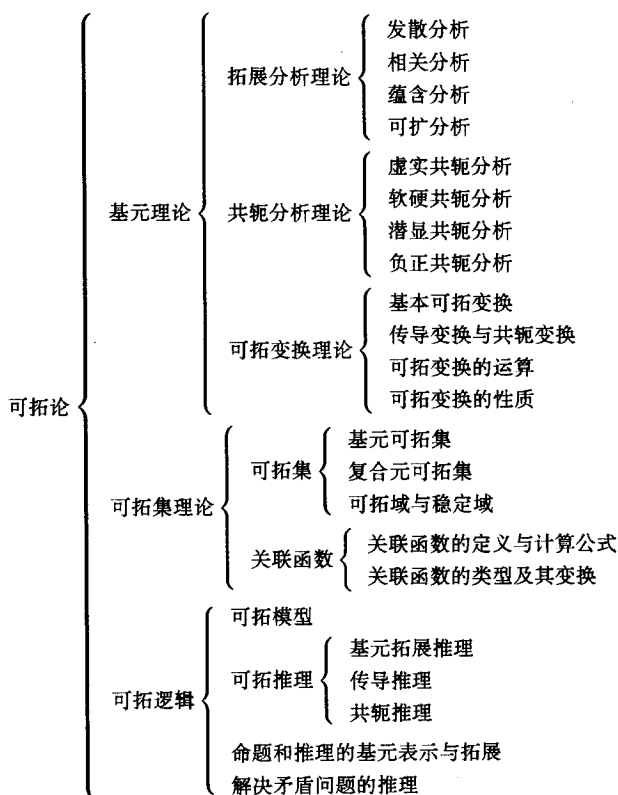


图 1.1 可拓论框架

1. 建立了基元理论

在可拓学中,建立了物元、事元和关系元(统称为基元)等作为可拓学的逻辑细胞,基元概念把质与量、动作与关系的相应特征分别统一在一个三元组中,可以形式化描述物、事和关系;利用它们描述万事万物和问题,描述信息、知识和策略;研究了基元的可拓性和变换以及运算的规律;建立了把数学模型拓广的可拓模型,去表示矛盾问题及其解决过程,从而作为处理矛盾问题的形式化工具。研究了基元的可拓性理论和物的共轭性理论,探讨了可拓变换的类型和性质,提出了可拓变换理论。它们统称为基元理论。到目前为止,基元理论和可拓模型的研究已比较全面。

2. 建立了可拓集和关联函数

康托集是对确定性事物的分类, 已发展数千年的数学就以康托集为基础. 扎德提出的模糊集描述了模糊性的事物, 是模糊数学的基础. 康托集和模糊集表达的事物性质是固定的, 而解决矛盾问题, 必须考虑事物性质的变化, 有关的事物要从不具有某种性质变为具有某种性质; 问题要从矛盾变为不矛盾. 由于康托集和模糊集无法描述在一定条件下非与是的转化, 因而, 无法作为解决矛盾问题的集合论基础. 这就导致了需要研究对事物进行可变性分类的集合论.

在康托集和模糊集之后, 文献 [1] 提出了表述事物性质变化的集合概念——可拓集, 它的提出把辩证法关于矛盾转化和变换的思想引入集合论. 以基元为元素的基元可拓集把质与量综合考虑, 使解决矛盾问题的理论与方法有了集合论的基础. 目前, 对其性质也有了初步的研究. 但对于以基元和系统为元素的可拓集还研究得不多.

为了定量地描述事物性质的变化, 表达量变和质变, 在可拓学中, 研究了关联函数及定量化的计算公式, 以关联函数值表征事物具有某种性质的程度. 关联函数的计算公式使人们可以根据专业知识和历史资料, 客观地进行计算, 从而摆脱主观因素的过分干预. 目前, 已经建立了低元低维关联函数的计算公式, 比较详细地研究了它们的性质, 但对于多元多维和区间关联函数的计算公式及其性质还有待深入研究.

在空间形式、概率和规划中矛盾问题的形式化、量化研究还很罕见. 今后, 必须在可拓集和关联函数的基础上, 研究有关可拓几何、可拓代数和可拓概率等的基本概念、理论和方法.

3. 建立了可拓逻辑

解决矛盾问题的工具是变换和推理. 现有的形式逻辑不考虑事物的内涵和外延, 因此, 无法表达物、事、关系和特征的变换以及变换所引起的其他物、事、关系和特征的传导变换. 辩证逻辑研究了事物的变化和发展, 讨论了量变和质变、事物的内涵和外延. 但由于它是用自然语言表达的, 因此, 不能进行推理和计算, 更不能由计算机操作. 所以, 在可拓学中, 探索了新的逻辑——可拓逻辑, 它利用形式逻辑形式化的优点和辩证逻辑研究事物及其变化的长处, 结合为以解决矛盾问题的变换和推理

为核心的可拓逻辑。

目前,已经建立了可拓逻辑的基本概念,研究了一批基元和复合元的可拓推理规则及解决矛盾问题的推理形式。但从总体考虑,尚缺乏深入的体系化研究工作,特别是可拓推理的研究还处于很初步的水平。

1.3 可拓学的方法论体系

到目前为止,可拓学研究了描述现实世界中的事物和关系、信息和知识及问题的形式化方法,研究了事物拓展的可能性——拓展性以及用形式化表示拓展性的方法,即拓展分析方法;研究了从物质性、动态性、对立性和系统性分析物的结构的共轭性,建立了基元的拓展分析理论与方法以及物的共轭分析理论与方法,提出了矛盾问题转化的基本方法,包括化不相容问题为相容问题的可拓策略生成方法、处理对立问题的转换桥方法和从整体出发,考虑处理复杂问题的关键策略与协调方法。

可拓学从新的角度为人们认识和分析现实世界、解决现实世界中的矛盾问题,提出了一种新的方法论。

可拓学方法论^[7]是在可拓学的思想体系指导下产生和形成的,其基本特征如下。

(1) 形式化、模型化特征:社会科学研究矛盾问题采用自然语言。为了使人们能够按照一定的程序推导出解决问题的策略,为了让计算机帮助人们生成解决矛盾问题的策略,可拓学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,表达量变和质变的过程及临界状态,表达策略的生成方法和奇谋妙计的生成过程,从而能描述解决矛盾问题的过程。它是用符号方式反映研究对象内在关系的模型,是一种抽象模型。

(2) 可拓展、可收敛特征:在一定条件下,任何对象都是可拓展的,拓展出来的对象又是可收敛的,这是可拓学方法论的重要特征,它符合人类解决矛盾问题的“发散→收敛”的思维模式,称为菱形思维模式。多级菱形思维模式表达了“发散→收敛→再发散→再收敛”的过程。由于人们的创造性思维过程包括发散性思维和集中性思维,所以它将可以作为研究思维过程,特别是创造性思维过程的形式化工具。

(3) 可转换、可传导特征:可拓学研究事物的质与量的可变性、“是”

与“非”的可转化性, 不仅研究直接变换和变换的形式化, 而且研究变换的传导作用. 用形式化、定量化的工具研究化不相容问题为相容问题的策略生成、化对立问题为共存问题的转换桥, 以及传导矛盾问题求解的方法, 是可拓学方法论的重要特征.

(4) 整体性、综合性特征: 可拓学用形式化模型从四个角度对物的整体进行了共轭分析, 研究全面认识物的共轭分析方法, 既体现了中国古代的系统观和整体论的思想, 也结合了还原论的分析方法; 基元概念体现了质与量动作、关系与相应的特征值的有机结合, 利用全征基元又可从整体的角度分析事物及关系; 在可拓集中, 用关联函数值的变化表达了量变与质变的过程, 而对论域的变换又体现了从整体的角度处理矛盾问题的思想.

图 1.2 是可拓方法体系的结构.

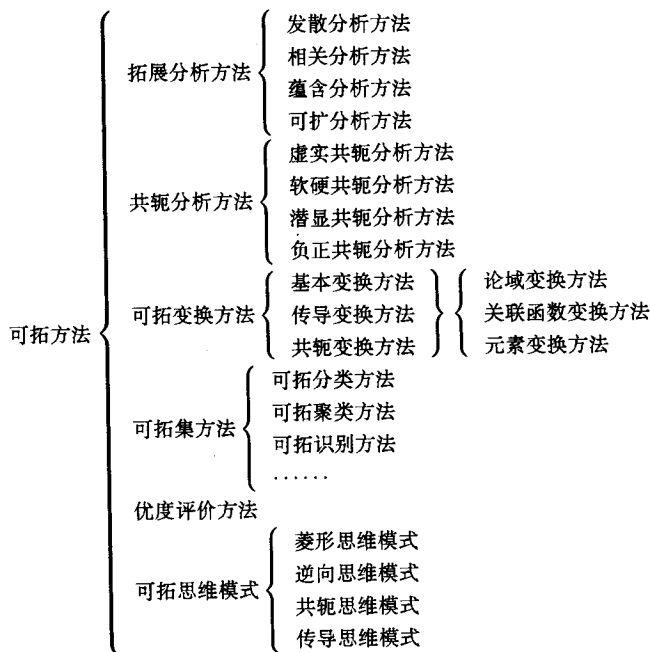


图 1.2 可拓方法体系的结构

1. 拓展分析方法

在处理矛盾问题的过程中, 要把事、物和关系看成可以拓展的. 解决

矛盾问题,就是要根据事、物和关系的可拓性,变换问题的目标或条件,使目标得以实现.为使解决矛盾问题的过程形式化,用基元作为描述物、事和关系的形式化工具,研究了表达事、物和关系拓展规律的拓展分析方法.该方法为人们提供了解决矛盾问题的各种可能路径,可以使人们摆脱习惯领域的束缚,更是利用计算机处理矛盾问题、提高机器智能水平的重要方法.

2. 共轭分析方法

对物的结构的研究,有助于利用物的各个部分及各部分之间的相互关系去解决矛盾问题.物具有物质性、系统性、动态性和对立性,统称为物的共轭性.根据物的共轭性,利用物元和关系元作为形式化工具,对物的虚部与实部、软部与硬部、潜部与显部、负部与正部进行的形式化分析的方法,称为共轭分析方法.通过对物的各共轭部及其相互关系和相互转化的分析,可以得到解决矛盾问题的多种策略.共轭分析方法立足于整体论与还原论相结合的思想,为人们全面分析物的结构提供了新的视角,也是某些解决矛盾问题的奇谋妙计的源泉.

3. 可拓变换方法

使矛盾问题转化的工具是变换.变换包括直接变换和间接的传导变换.不少解决矛盾问题的策略是通过与问题的目标或条件相关的事、物或关系的变换产生的.因此,在解决矛盾问题的方法中,既要研究直接的变换,也要研究间接的传导变换;既要研究数量的变换,也要研究特征的变换和对象本身的变换.

在对变换的研究中,既要讨论其变换的形式,也要讨论变换的主体、方法、工具、时间和地点,即需要从定性和定量两个角度去研究变换的形式和内涵.基于研究对象间的相关性,还必须研究传导变换的形式、内涵和传导效应.在可拓学中把所采用的变换统称为可拓变换.

从变换的方式考虑,可拓变换方法包括基本可拓变换方法、变换的运算方法、变换的复合方法和传导变换方法.从变换的对象考虑,可拓变换方法包括论域的变换方法、关联准则的变换方法和论域中的元素的变换方法,包括基元及其要素的变换.如果变换的对象是物,根据物的共轭分析,可拓变换方法还包括共轭部的变换和共轭部的传导变换.

对可拓变换方法的研究,为把解决矛盾问题的过程形式化提供了可操作的工具.

4. 可拓集方法

可拓集方法是从动态的、转化的角度对研究对象进行分类、识别和聚类等方法.可拓集是以可拓变换和关联函数为基础的集合.针对不同的可拓变换,可拓集有不同的可拓域和稳定域,从而有不同的分类、聚类和识别结果,它形式化和定量化地揭示了矛盾问题的转化过程和转化结果,使分类、聚类和识别等具有动态性和可转化性,更符合人类思维模式和实际情况.

为了解决矛盾问题,必须建立能表达在某种变换下事物性质的量变和质变的计算公式.在可拓学中,建立了描述距离的新概念“距”和“侧距”,以突破经典数学中区间内的点与区间的距离均为零的规定.以此为基础建立的关联函数,就可以定量地描述“类内也有异”的客观现实,进而描述量变和质变的过程.

5. 优度评价方法

优度评价方法是综合多种衡量条件对某一对象、方案、策略等的优劣程度进行综合评价的实用方法.关于一个对象的评价往往不能只考虑有利的一面,还要考虑不利的一面.例如,某企业生产某产品,虽然可以赢利很多,但废气对环境的污染十分严重,另一个产品虽然赢利没那么多,但无公害.对应该生产何种产品,必须考虑利弊双方,进行综合评价,最后才能得到合适的筛选方案.此外,在评价时,往往要考虑到动态性和可变性,对潜在的利弊进行考虑.优度评价方法恰恰具备了这方面的优点,它利用关联函数来计算各衡量条件符合要求的程度.由于关联函数的值可正可负,因此这样建立的优度可以反映一个对象利弊的程度,使得评价更符合实际.

6. 可拓思维模式

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.菱形思维模式把拓展方法与收敛方法相结合,是模型化、定性分析与定量计算相结合解决矛盾问题的方法.逆向思维模式是有意识