

可拓学丛书

可拓创新方法

杨春燕 著



科学出版社

可拓学丛书

可拓创新方法

杨春燕 著

国家自然科学基金资助项目
广东省科技计划项目

科学出版社

北 京

内 容 简 介

创新的核心是创意。创新方法是自主创新的根本之源。中国原创性学科可拓学告诉我们：创意的产生是有规律可循、有方法可依的！

可拓创新方法是用于生成创意的方法，它利用可拓学的基本理论，建立了方便、易学、易操作的模型化与定量化相结合的方法，它可以告诉你创新的手点在哪里，创意生成的依据是什么，创意生成的工具有哪些，创意如何评价选优等，可用于各领域的创新和解决矛盾问题。本书系统介绍了各种常用的可拓创新方法，分析透彻，可操作性强。为方便不同知识背景和不同层次读者的学习，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生、硕士研究生、博士研究生的选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

可拓创新方法/杨春燕著. —北京：科学出版社，2017.3
(可拓学丛书)

ISBN 978-7-03-051103-4

I. ①可… II. ①杨… III. ①创造学-产品设计 IV. ①G305

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016) 第 309156 号

责任编辑：王丽平 / 责任校对：张凤琴
责任印制：张 伟 / 封面设计：陈 敬

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 3 月第 一 版 开本：720 × 1000 1/16

2017 年 3 月第一次印刷 印张：13 3/4

字数：256 000

定价：79.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

《可拓学丛书》序一

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。可拓学的研究正是基于这种目的而进行的。

可拓学选题始于 1976 年,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应用研究,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,本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 年 6 月

《可拓学丛书》序二

“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、可拓创新方法、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，研究了定性与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与定量相结合的模型，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。

★ 可拓创新方法 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创新方法，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。

★ 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 年 6 月

前言

时光如梭。转瞬间，我专职从事中国原创性学科可拓学的理论、方法与应用研究工作已经整整 20 年了！其间经历了可拓学发展的各种顺境和逆境，见证了可拓学的成长壮大。

随着可拓学理论研究的不断完善，应用研究和普及推广工作日益迫切，国际化和社会化的任务也日益繁重。随着可拓学研究队伍的不断壮大，各领域应用可拓创新方法的人员越来越多，更迫切需要一本便于学习和应用的专门介绍可拓创新方法的著作。

本书是在 2007 年科学出版社出版的专著《可拓工程》、2014 年出版的《可拓学》，以及多年来为研究生开设“可拓创新方法”课程的讲义的基础上撰写而来的。写作本书的目的是为初学者提供可用于创新或解决矛盾问题的可操作方法，相关理论仅作为预备知识简单介绍。有需要深入学习可拓学理论的读者，可参考文献《可拓学》。

第 1 章介绍可拓创新方法概述，第 2 章介绍创新的入手点——可拓模型建立方法，第 3 章介绍创意生成的依据 (1)——拓展分析方法，第 4 章介绍创意生成的依据 (2)——共轭分析方法，第 5 章介绍创意生成的工具——可拓变换方法，第 6 章介绍创意的评价择优——优度评价方法，第 7 章介绍解决矛盾问题的可拓创意生成方法，第 8 章介绍产品可拓创意生成方法。各部分内容都以若干案例来帮助读者理解各种基本方法及其应用，每章后面都配备了思考与练习题。

本书也是我承接的国家自然科学基金资助项目 (61273306) 和广东省科技计划项目 (2012B061000012, 2016A040404015) 的有关研究成果的总结。期望本书能为高等院校和科研单位的教学科研人员、企业产品创新人员和管理者提供创新和解决矛盾问题的工具，更期望他们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创新方法。

感谢可拓学创始人蔡文研究员在本书写作过程中给予的大力支持，他为本书审稿，并提出很多宝贵的意见和建议！感谢国家自然科学基金委员会和广东省科学技术厅对我的研究工作给予的大力支持！感谢广东工业大学为我提供的宽松的科研

环境!感谢广东工业大学可拓学与创新方法研究所汤龙博士在本书修改过程中给予的大力支持!感谢我的研究生李志明、齐宁宁、廖勇强、罗良维为本书提供的部分案例!感谢广东工业大学计算机学院的李卫华教授和李小妹博士多年来的密切合作!

感谢科学出版社和《可拓学丛书》全体编委的辛勤工作!

在本书即将出版之际,要特别感谢与我风雨同舟 30 年、给予我无限包容与支持的先生王勇杰教授!是他的大力支持,才使我有勇气面对事业中的各种挫折,让我收获了丰硕的成果.

由于本人才疏学浅,疏漏乃至错误之处在所难免,恳请读者批评指正.

作 者

2016 年 3 月 10 日

主要符号说明

符号	意义
$M = (O_m, c_m, v_m)$	一维物元
$M(t) = (O_m(t), c_m, v_m(t))$	一维参变量物元
$A = (O_a, c_a, v_a)$	一维事元
$A(t) = (O_a(t), c_a, v_a(t))$	一维参变量事元
$M = \begin{bmatrix} O_m, & c_{m1}, & v_{m1} \\ & c_{m2}, & v_{m2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{mn}, & v_{mn} \end{bmatrix} = (O_m, C_m, V_m)$	n 维物元
$A = \begin{bmatrix} O_a, & c_{a1}, & v_{a1} \\ & c_{a2}, & v_{a2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{an}, & v_{an} \end{bmatrix} = (O_a, C_a, V_a)$	n 维事元
$R = \begin{bmatrix} O_r, & c_{r1}, & v_{r1} \\ & c_{r2}, & v_{r2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{rn}, & v_{rn} \end{bmatrix} = (O_r, C_r, V_r)$	n 维关系元
$B = (O, c, v)$	一维基元
(c, v)	特征元
$B(t) = (O(t), c, v(t))$	一维参变量基元
$B = (O, C, V) = \begin{bmatrix} \text{Object}, & c_1, & v_1 \\ & c_2, & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n \end{bmatrix}$	n 维基元

符号	意义
$B(t) = (O(t), C, V(t)) = \begin{bmatrix} O(t), & c_1, & v_1(t) \\ & c_2, & v_2(t) \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & v_n(t) \end{bmatrix}$	n 维参变量基元
$\{B\} = (\{O\}, C, V) = \begin{bmatrix} \{O\}, & c_1, & V_1 \\ & c_2, & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n, & V_n \end{bmatrix}$	n 维类基元
$T\Gamma = \Gamma'$	置换变换
$T_1\Gamma = \Gamma \oplus \Gamma_1$	增加变换
$T_2\Gamma = \Gamma \ominus \Gamma_1$	删减变换
$T\Gamma = \alpha\Gamma$	扩缩变换
$T\Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \cdots, \Gamma_n \Gamma_1 \oplus \Gamma_2 \oplus \cdots \oplus \Gamma_n = \Gamma\}$	分解变换
$T\Gamma = \{\Gamma, \Gamma^*\}$	复制变换
T_φ	主动变换 φ 的一阶传导变换
$T_{\varphi(n)}$	主动变换 φ 的 n 阶传导变换
$r_1 T_{r_2}$	Γ_1 的变换引起 Γ_2 的传导变换
$\varphi \Rightarrow_0 T_1 \Rightarrow_1 T_2 \Rightarrow \cdots \Rightarrow_{n-2} T_{n-1} \Rightarrow_{n-1} T_n$	φ 的 n 次传导变换
$T_2 T_1$	T_1 和 T_2 的积变换
T^{-1}	变换 T 的逆变换
$T_1 \wedge T_2$	T_1 和 T_2 的与变换
$T_1 \vee T_2$	T_1 和 T_2 的或变换
$c(\varphi) = c(B'_0) - c(B_0)$	φ 关于特征 c 对于基元 B_0 的主动变量
$c(T_\varphi) = c(B') - c(B)$	φ 关于特征 c 对于基元 B 的一阶传导效应
$\tilde{E}(T)$	可拓集
E_+	$\tilde{E}$ 的正域

续表

符号	意义
E_-	$\tilde{E}$ 的负域
E_0	$\tilde{E}$ 的零界
$E_+(T)$	$\tilde{E}(T)$ 的正可拓域
$E_-(T)$	$\tilde{E}(T)$ 的负可拓域
$E_+(T)$	$\tilde{E}(T)$ 的正稳定域
$E_-(T)$	$\tilde{E}(T)$ 的负稳定域
$E_0(T)$	$\tilde{E}(T)$ 的拓界
$\tilde{E}(B)(T)$	基元可拓集
$y = k(u)$	$\tilde{E}(T)$ 的关联函数
$y' = T_k k(T_u u)$	$\tilde{E}(T)$ 的可拓函数
$\langle a, b \rangle$	a 与 b 形成的区间, 既可表示开区间, 也可表示闭区间或半开半闭区间
$\rho(x, x_0, X)$	x 与区间 X 关于 x_0 的可拓距
$D(x, x_0, X_0, X)$	x 关于点 x_0 和区间 X 与 X_0 组成的区间套的位值
$P = G * L$	不相容问题
$P = (G_1 \wedge G_2) * L$	对立问题
$re(O_m)$	物 O_m 的实部
$im(O_m)$	物 O_m 的虚部
$hr(O_m)$	物 O_m 的硬部
$sf(O_m)$	物 O_m 的软部
$lt(O_m)$	物 O_m 的显部
$ap(O_m)$	物 O_m 的潜部
$psc(O_m)$	物 O_m 的正部
$ngc(O_m)$	物 O_m 的负部
$=$	相等
$\neq$	不相等

续表

符号	意义
$\sim$	相关
$\rightarrow$	有向相关
$\Rightarrow$	蕴含
$\vdash$	发散
$\oplus$	和
$\otimes$	积
$\ominus$	差
$//$	分解
$@$	存在、实现
$\bar @$	不存在、不实现
$\wedge$	与运算
$\vee$	或运算
$\neg$	非运算
$A \vdash B$	由 A 发散出 B
$\bar B$ 或 $\neg B$	B 的非基元
$\bar M$ 或 $\neg M$	M 的非物元
$\bar A$ 或 $\neg A$	A 的非事元
$\bar R$ 或 $\neg R$	R 的非关系元

目录

《可拓学丛书》序一

《可拓学丛书》序二

前言

主要符号说明

第 1 章 可拓创新方法概述	1
1.1 可拓学简介	1
1.2 可拓创新方法体系及其基本特征	3
1.3 可拓创新方法简介	5
1.4 可拓创新方法的应用研究概况	8
思考与练习	9
第 2 章 创新的入手点——可拓模型建立方法	10
2.1 产品的模型化表示 —— 物元	10
2.2 产品功能的模型化表示 —— 事元	15
2.3 产品结构的模型化表示 —— 关系元	18
2.4 复杂事物的模型化表示	21
思考与练习	25
第 3 章 创意生成的依据 (1)——拓展分析方法	26
3.1 发散树方法	26
3.2 相关网方法	35
3.3 蕴含系方法	40
3.4 分合链方法	47
思考与练习	55
第 4 章 创意生成的依据 (2)——共轭分析方法	56
4.1 物的共轭部与共轭规则	56
4.2 共轭对方法	59
思考与练习	68

第 5 章 创意生成的工具——可拓变换方法	69
5.1 基本可拓变换方法	70
5.2 可拓变换的运算方法	89
5.3 传导变换方法	96
5.4 共轭变换方法	103
5.5 复合变换方法	112
思考与练习	116
第 6 章 创意的评价选优——优度评价方法	118
6.1 预备知识	118
6.2 单指标优度评价方法	125
6.3 一级多指标优度评价方法	129
6.4 多级优度评价方法	134
思考与练习	144
第 7 章 解决矛盾问题的可拓创意生成方法	145
7.1 预备知识	145
7.2 问题的界定方法及问题的可拓模型	153
7.3 解决不相容问题的可拓创意生成方法	157
7.4 解决对立问题的转换桥方法	165
思考与练习	168
第 8 章 产品可拓创意生成方法	170
8.1 可拓创新四步法	170
8.2 第一创造法 —— 从消费者的需要出发生成新产品创意	176
8.3 第二创造法 —— 从现有产品出发生成新产品创意	183
8.4 第三创造法 —— 从产品的缺点出发生成新产品创意	190
思考与练习	200
参考文献	202

内容提要

可拓学是由中国学者蔡文研究员于1983 年提出的一门原创性横断学科, 该学科以形式化的模型, 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. 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.

创新的核心是创意. 创新方法是自主创新的根本之源. 可拓学告诉我们: 创意的产生是有规律可循、有方法可依的!

可拓创新方法是用于生成创意的方法, 它利用可拓学的基本理论, 建立了方便、易学、易操作的模型化与定量化相结合的方法, 它可以告诉你创新的入手点在哪里, 创意生成的依据是什么, 创意生成的工具有哪些, 创意如何评价选优等, 可用于各领域的创新和解决矛盾问题.

1.1 可拓学简介

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(也称可拓方法), 逻辑基础是可拓逻辑, 与各领域的交叉融合形成可拓工程. 可拓论、可拓创新方法和可拓工程构成了可拓学.

可拓学的学科框架如图 1.1.1 所示.

可拓学是数学、哲学与工程学交叉的一门新兴学科, 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.

1998 年, 中国科学院权威杂志《科学通报》发表“评‘可拓工程方法’”, 指出: “可拓学是一门充满生命力的新学科, 它的创立是中国人的骄傲, 它不仅属于中国, 更属于世界.” 1999 年, 发表“可拓论及其应用”; 2013 年, 发表“评可拓学”和特约评述“可拓学的基础理论与方法体系”, 全面介绍可拓学. 成果“可拓论及其应用”

已由我国最高科学技术奖获得者、中国科学院吴文俊院士为主任和中国工程院李幼平院士为副主任的鉴定委员会作出正式鉴定, 鉴定指出: “经历多年连续研究, 蔡文教授等人已经建立一门横跨哲学、数学与工程的新学科——可拓学, 它是一门由我国科学家自己建立的、具有深远价值的原创性学科。”

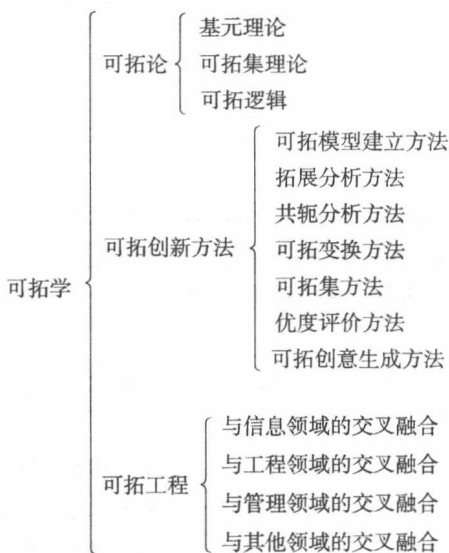


图 1.1.1.1 可拓学学科体系

2011 年, 成果“可拓论及其应用”获首届吴文俊人工智能科学技术奖创新一等奖。该成果由中华人民共和国科技部科技成果管理办公室正式向世界公布, 指出: “本项目是一项原始性创新研究, 在海内外同类研究中, 处于领先和指导的地位。目前, 很多领域的学者利用本项目的成果研究各自专业中的问题, 取得多项成果。海外不少学者前来学习本项目的成果, 并介绍到海外。可拓学已从理论研究发展到多个领域的应用研究, 它们有广阔的应用前景。”

国家自然科学基金委员会发布消息指出: “原创性学科可拓学的创立与发展表明: 中国人有能力进行原始性创新研究——国家自然科学基金是支持源头创新研究的有力保证。”

《人民日报》《光明日报》《科学时报》等曾先后对可拓学作出详细介绍 (见可拓学网站 <http://extenics.gdut.edu.cn/>)。

在理论研究方面, 自 1983 年以来, 可拓学研究者逐步建立了学科的理论体系和方法体系, 已在科学出版社等出版了 16 部专著 (包括《可拓学丛书》), 发表了一批论文, 还出版了英文版和繁体字版的专著。由中国的科学出版社和美国教育出版社联合出版的英文版专著 *Extenics: Theory, Method and Application*, 被美国国会

图书馆馆藏, 并作为 5 期国际可拓学研究学者的学习用书。

在应用研究方面, 中国科学技术协会在 2008 年和 2010 年的《学科发展报告》中发布了可拓学在计算机、管理、控制与检测等领域的应用研究成果, 包括在《可拓策略生成系统》《可拓集与可拓数据挖掘》《可拓营销》《可拓策划》《可拓数据挖掘方法及其计算机实现》《可拓设计》等一批专著和论文中, 可拓学研究者还申请了相关专利, 研制了一批可拓软件。

据不完全统计, 截至 2015 年, 国家自然科学基金资助的有关可拓学的理论研究和应用研究项目 73 项; 已有不同领域的 40 余本著作应用可拓学处理各专业的问题; 截至 2015 年, 有关可拓学的国内期刊论文共 4277 篇, 有关可拓学的博士、硕士学位论文共 1407 篇。

在队伍建设方面, 可拓学研究队伍已经遍布 20 多省市和海外, 民政部批准成立了中国人工智能学会可拓学专业委员会, 建立了专职从事可拓学研究的广东工业大学可拓学与创新方法研究所, 1993 年起, 通过招收国内和国际可拓学研究学者到研究所学习、研究可拓学, 培养可拓学研究骨干, 国内研究学者已经招收 19 期, 国际研究学者招收 5 期。国际学者包括美国、印度、罗马尼亚等国的教授、博士和工程师。美国教授回国后撰写了可拓学专著在美国出版, 罗马尼亚科学院教授与我们合作的成果获日内瓦国际发明博览会金奖。

在国际学术交流方面, 蔡文研究员和杨春燕研究员等可拓学研究者先后到西班牙、罗马尼亚、法国、美国和日本介绍可拓学, 两次到台湾举办可拓学讲习班, 在香港大学等介绍可拓学。首届“可拓学与创新方法国际研讨会”于 2013 年 8 月在北京成功召开, 可拓学正在逐步走向海外。

30 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, 相当一批学者参与了该学科的建设工作。随着研究的深入, 可拓学将在国民经济和社会发展中发挥积极的作用。

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。

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

1.2 可拓创新方法体系及其基本特征

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, 提出一种新的方法论, 形成了可拓创新方法体系, 如图 1.2.1 所示。