

可拓学丛书

可拓设计

赵燕伟 苏楠 著



科学出版社

www.sciencep.com

可拓学丛书

可拓设计

赵燕伟 苏楠 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

可拓设计是以设计对象、设计系统、设计过程中的矛盾问题为研究对象,通过对设计问题的形式化表示、建模、变换、推理、评价与决策,寻求最佳设计方案的现代设计理论与方法。本书将可拓设计方法应用在设计思维、概念设计、配置设计、模块化设计、变型设计和优化设计等方面,着重研究设计领域矛盾知识的表达、聚类、推理、变换、演化等问题,并在典型产品上加以应用,反映了可拓设计在智能化处理矛盾问题的广阔前景。

本书可供从事机械工程、人工智能、计算机技术、系统工程、管理工程、建筑设计、工程数学及相关专业的科研、管理和工程技术人员参考阅读,特别适合高等院校相关专业的本科、硕士研究生和博士研究生作为选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

可拓设计/赵燕伟,苏楠著. —北京:科学出版社,2010.5

(可拓学丛书)

ISBN 978-7-03-027245-4

I. 可… II. ①赵…②苏… III. ①拓扑-应用-机械设计:计算机辅助设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 069131 号

责任编辑:孙 芳 房 阳/责任校对:张小霞

责任印制:赵 博/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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 5 月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2010 年 5 月第一次印刷 印张:9

印数:1—2 500 字数:278 000

定价:50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

《可拓学丛书》编委会

主 任：涂序彦

副 主 任：于景元 钟义信

常务副主任：蔡 文

编 委：（以姓氏笔画为序）

丁朝模 于景元 王万良 史开泉

刘 巍 杨春燕 杨益民 张士行

陈 俊 陈文伟 钟义信 贺仲雄

涂序彦 黄有评 蔡 文

《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,1983年发表首篇论文“可拓集合和不相容问题”.十多年来,经历了无数的艰辛在广大可拓学研究者的努力下,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可拓学的思维方法,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——“物元”、“事元”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 定理相结合的可拓模型。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,可拓集合的质变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,化不相容为相容,化对应为共存。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

目前,我国正处于扩大内需、加快基础设施建设和产业转型升级的关键时期,对先进装备有着巨大的市场需求,迫切需提升装备制造业的创新设计水平,开发具有自主知识产权的创新产品.产品创新不仅仅指技术创新,更重要的是方法创新、思维创新.创新设计的瓶颈往往是过分因循于成熟的设计经验所致.事实上,很多新的功能和方案往往存在于“灵机一动”的瞬间.因此,思维创新的重要任务就是如何将这种难以捉摸的智力活动转化为容易操作的设计方法,通过将设计过程中的矛盾问题进行创造性地求解,来生成新的设计方法.

可拓设计是智能化处理设计对象、设计系统、设计过程中矛盾问题的现代设计方法.从知识驱动的角度,研究设计过程模型建立、知识聚类、方案推理、设计变换、设计优化和评价等内容,并寻求最佳设计方案的全新现代设计理论与方法.它致力于研究、分析和解决设计中矛盾问题的原创性设计理论,与其他设计方法的最大区别在于其形式化、模型化、定性与定量相结合;可拓设计基元模型避免了经典集合下常常舍去一些实际内容的缺点,也避免了设计过程的形式化、量化不足的缺陷;为设计中矛盾问题的描述、分析与解决提供了一种新的科学理论与工具.

全书共分 11 章.第 1 章总体阐述可拓设计的基本理论范畴、研究特色、方法学体系和研究前景;第 2 章研究可拓设计的知识模型;第 3 章研究可拓设计的思维方法;第 4 章研究可拓设计的聚类方法;第 5 章研究可拓设计的信息物元推理方法;第 6 章研究可拓设计的信息关系元推理方法;第 7 章研究可拓设计中不相容问题的求解方法;第 8 章研究可拓设计中对立问题的求解方法;第 9 章研究可拓设计的评价方法;第 10 章研究可拓设计的模糊物元优化方法;第 11 章开发可拓设计系统.

自 1999 年以来,作者将可拓学引入到产品设计领域,相继完成两项可拓设计主题的国家自然科学基金项目,率先提出了一系列独到的可拓设计方法.本书是国家自然科学基金项目“基于可拓逻辑的产品族适应性

设计理论与方法(50575207)”与“基于可拓学理论的智能化概念设计方法研究(50175103)”、CAD&CG 国家重点实验室开放课题“可拓决策在机械产品方案设计中的应用(A97S03)”、浙江省自然科学基金项目“机械产品方案设计可拓决策及其在智能 CAD 中应用(597077)”、浙江省科技计划项目“框架式减振油锯产品研制及其优化配置(2009C22G1310002)”、浙江省自然科学基金项目“面向绿色适应性设计的基元建模及其可拓变换方法研究(Y1090364)”和浙江工业大学专著出版基金资助下取得的研究成果。作者衷心感谢国家自然科学基金委员会多年来对可拓设计研究工作的大力支持!

本书作为研究团队多年来共同努力的成果,培养了一批从事可拓设计理论与应用研究的年轻学者和工程技术人员,他们是:苏楠、陈建、金方顺、吴杰雨、刘海生、魏云冰、王广鹏、王正初、黄凤立、周鹏、唐辉军、邢莉、张峰、李小川、赵福贵、张美艳、占胜、洪欢欢等,他们的研究作为本书的完成做出了贡献。

本书撰写工作得到了可拓学创始人——广东工业大学蔡文研究员,以及杨春燕研究员、国防科学技术大学陈文伟教授、浙江工业大学王万良教授等专家学者的关心和指导,在此表示深深的感谢!

由于作者水平有限,不妥之处在所难免,恳请读者不吝批评赐教。

作 者

2010 年 1 月于杭州

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 可拓设计描述	2
1.2 可拓设计的研究范畴	3
1.3 可拓设计的创新特色	5
1.4 可拓设计方法学体系	7
1.5 可拓设计研究前景	9
第 2 章 可拓设计的知识模型	12
2.1 设计信息元与可拓设计信息元	12
2.2 可拓设计的知识表示	22
2.3 可拓设计的知识分类	29
2.4 可拓设计的知识挖掘	32
2.5 油锯产品配置过程的可拓设计方案挖掘	46
第 3 章 可拓设计思维方法	56
3.1 可拓设计的菱形思维模型	56
3.2 菱形思维拓展过程	58
3.3 菱形思维收敛过程	65
3.4 加工中心刀库方案的多级菱形思维设计	70
第 4 章 可拓设计的聚类方法	75
4.1 产品模块划分与聚类	75
4.2 基于关联函数的可拓聚类方法	77
4.3 通用特征模块分析与调配	86
4.4 油锯产品族可拓设计聚类的实现	89

第5章 可拓设计的信息物元推理方法	98
5.1 功能信息物元网络的构建	98
5.2 信息物元推理模型的分析	101
5.3 可拓设计的激励推理方法	105
5.4 基于信息物元的减速器实例推理设计	109
第6章 可拓设计关系元实例推理方法	120
6.1 基于改进距的关系元推理模型	120
6.2 异对象设计信息元特征匹配算法	125
6.3 基于相似度的特征关系元搜索方法	127
6.4 基于信息关系元的配置方案选择	133
6.5 油锯产品族配置设计的关系元推理	137
第7章 可拓设计中的不相容问题求解方法	153
7.1 不相容设计问题的形式化建模	153
7.2 设计变换中的相容度函数建立	154
7.3 不相容设计问题的蕴含分析	155
7.4 不相容设计问题的可拓变换	156
7.5 振动盘设计中的不相容问题求解实例	159
第8章 可拓设计中的对立问题求解方法	171
8.1 转换桥方法的基本概念与定义	171
8.2 共存度函数与可拓变换函数	172
8.3 运用转换桥解决对立设计问题的策略与流程	175
8.4 油锯产品设计过程的对立问题消解	176
第9章 可拓设计的评价方法	191
9.1 多目标可拓综合评价方法	191
9.2 基于遗传算法的动态权重分配	196
9.3 基于关联函数的手机性能可拓综合评价	199
9.4 阀门产品质量的可拓综合评价	202
第10章 可拓设计的模糊物元优化方法	205
10.1 模糊物元分析理论	205
10.2 单目标模糊关系物元优化	209
10.3 多目标模糊关系物元优化	211

10.4 刀库概念设计的模糊物元优化.....	217
第 11 章 可拓设计系统	231
11.1 复杂产品的可拓设计平台.....	231
11.2 可拓设计方案生成系统.....	233
11.3 可拓设计方案转换系统.....	244
11.4 可拓设计方案评价与优化系统.....	256
参考文献.....	266

第 1 章 绪 论

随着计算机技术的发展,设计领域的矛盾问题智能化处理方法逐渐进入人们的视野.在这一背景下,有三个问题亟待解决:是否存在专门解决设计中的矛盾问题的方法?这种解决方法能否构成一个完整的体系,并具有很强的内在逻辑性和可操作性?这种解决方法能否通过软件系统实现?

针对第一个问题,可拓学创始人——蔡文,以及杨春燕等通过研究新产品构思的规律,提出了基于可拓学的三个创造法,初步将可拓工程方法应用到新产品开发过程,使人们看到应用可拓学基本理论处理产品设计中的矛盾问题是完全可行的^[1,2].

针对第二个问题,作者从设计方法学的角度,认为可拓设计属于智能设计范畴,是解决智能化设计的矛盾问题的新方法^[3],并在国内首次承接第一个可拓设计方面的国家自然科学基金项目“基于可拓学理论的智能化概念设计方法研究(50175103)”,以及一批省部级项目,集中研究了可拓设计思维^[4~6]、可拓概念设计^[7~9]、可拓配置设计^[10,11]、可拓变型设计^[12]和可拓优化设计^[13~15]等方面,并为创新设计提供理论上的依据,形成了一套完整、具有内在逻辑体系的可拓设计理论体系^[16].

第三个问题是当前可拓设计研究的重中之重,也是可拓学不断向前发展的一个瓶颈.虽然国内尚未形成具有良好人机交互、商业化可拓设计软件,但针对产品可拓设计中的关键技术难点开发了一系列原型软件系统,初步与工程应用相结合.在产品族评价方面,合肥工业大学开发出绿色电冰箱产品族评价系统.在产品多方案生成方面,广东工业大学已经研制出“可拓策略生成系统”软件,并初步应用于企业资源中的矛盾问题分析与自动求解.浙江工业大学开发了“基于可拓逻辑理论的智能化概念设计系统”软件,该系统详细设计并实现了可拓实例推理、模糊物元优化、设计布局知识熔接、可拓综合评价与决策等子系统.

综上所述,研究和发展可拓设计理论与方法,形成一种解决矛盾问题

的特有设计方法工具,发展和完善智能设计,具有重要的学术价值和广泛的应用前景.

1.1 可拓设计描述

可拓设计是研究广义设计对象、设计系统、设计过程中矛盾问题的形式化表示、建模、变换、推理、评价与决策,并寻求最佳设计方案的全新智能设计理论与方法.可拓设计这门新兴的现代设计方法伴随着可拓理论的完备、计算机科学和其他相关设计科学的发展而日臻完善.

可拓设计的理论基础有以下几个方面.

1. 可拓设计知识与建模

可拓设计知识是描述设计过程中矛盾问题的知识,是可变的知识,区别于经典设计理论和模糊设计理论中对知识静态的、不变的、非矛盾前提的知识^[17].可拓知识形式化地描述设计对象中主客观矛盾问题(不相容问题)和主观矛盾问题(对立问题),通过客观矛盾问题的基元、复合元模型得以体现.何斌等^[18]首次提出物元命题、事元命题、事物元命题的概念,初步建立描述设计中复杂问题的事物元模型.

可拓设计知识建模阶段研究的重点是:利用发散树、分合链、相关网、共轭对和蕴含系等可拓工程方法,针对设计目标、条件、约束、规划与标准,表达设计对象和设计过程中存在的深层次复杂矛盾问题,着重对设计需求、认知、功能、原理、性能、结构、环境等上游设计知识进行研究,给出初始设计方案;利用设计适应度、关联度、满意度和变换粒度等表达设计过程中的复杂定量关系,研究矛盾问题状态转换机制,建立矛盾问题的模型和问题的形式化解决方案,统一描述可拓设计中的定性定量矛盾问题.

2. 可拓设计域及关联函数

可拓设计域及其变换重点研究不同设计空间 n 维基元可拓集合、论域划分、正负可拓域和正负稳定域的映射关系,从主客观和定性定量角度提出的可拓设计关联度、适应度和满意度等粒度关系和变换关系,传导变换、共轭变换、拓展变换研究设计空间的映射变换规律,给出可拓设计变

换的基本规则。

对可拓设计域的研究主要有两个方面:设计域的分类及设计域之间的映射。从可拓基元理论和复合元理论出发,研究设计过程中的需求基元、功能基元、原理基元、结构基元、行为基元、状态基元及其复杂的联系,利用基元复合元的可拓变换,研究异同设计空间的传导规律和变换规则,对于不相容基元和对立基元,通过不相容反馈及相容度改变的方法使其转化为相容问题,揭示设计任务、设计对象、设计过程中可拓变换的共性规律,并在产品设计中加以验证。

3. 可拓设计推理

可拓设计推理着重分析设计命题、推理的基元表示和拓展机理,研究设计问题的拓展推理、共轭推理和传导推理过程,探索针对复杂、动态设计系统的矛盾问题链解决途径,创建可拓设计推理、完善可拓设计的实例推理、规则推理和模型推理等方法。作者等^[19]首次采用多级菱形思维研究可拓进化设计规律,解决非逻辑思维知识的获取和利用,并应用于产品故障诊断;杨国为等^[20]给出了基于物元的与或网启发式可拓搜索算法、可拓关系继承推理和相关记忆可拓继承推理算法。

在建立设计需求、产品结构及产品适应度的基础上,依据基元复合元的可拓性,对设计对象和任务、设计过程的关联性、设计方案的满意性进行可拓分析,从而产生一系列相适应的推理规则和配置实例,通过拓展推理、共轭推理和传导推理等方法实现设计平台的快速配置,进而实现对设计需求的快速响应。

1.2 可拓设计的研究范畴

1.2.1 可拓设计的基本理论

可拓设计的理论基础来自于可拓论^[2],是以可拓论为基础的智能设计方法。可拓设计为研究设计矛盾问题的建模、求解、转化的定性定量相结合,提供了完整的理论体系(图 1.1)。

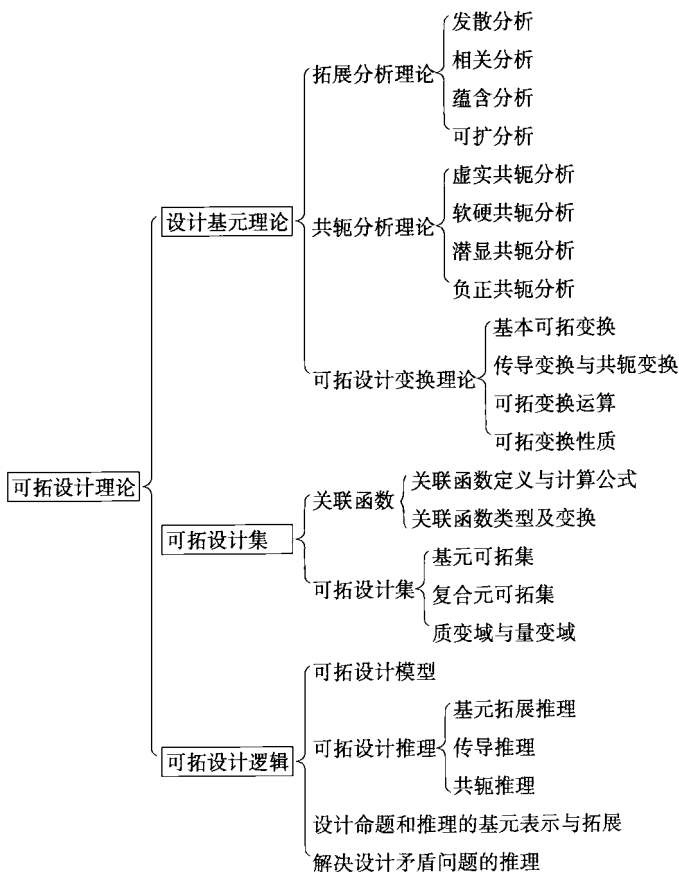


图 1.1 可拓设计理论体系

1.2.2 可拓设计的研究方法

可拓设计通过建立描述设计过程中的事物和关系、信息和知识及问题的形式化模型——可拓模型,研究设计对象拓展的可能性——可拓性及用形式化表示可拓性的方法——拓展分析方法;研究了共轭分析方法,从物质性、动态性、对立性和系统性分析物的结构;通过基元的拓展分析和共轭分析研究设计过程中的矛盾问题转化的方法,并将其运用到产品设计的各个阶段(图 1.2)。

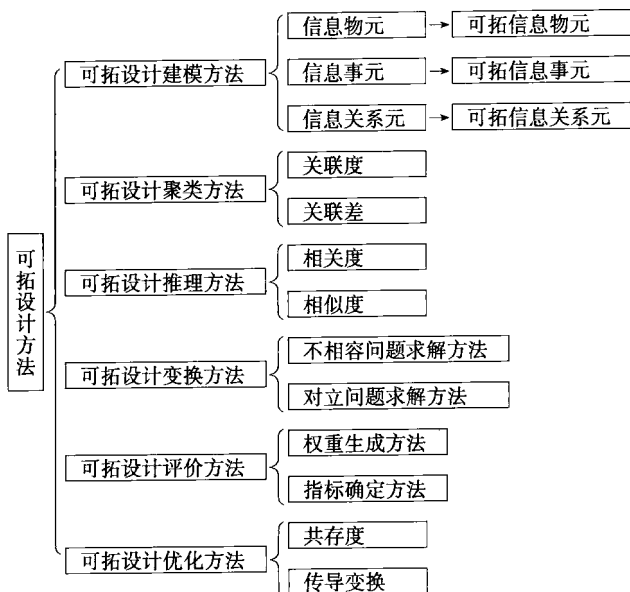


图 1.2 可拓设计研究方法

1.3 可拓设计的创新特色

可拓设计着眼于设计过程中的矛盾问题,从知识驱动的角度,研究设计过程设计模型建立、设计知识分类、设计方案推理、设计方案变换、设计方案优化和设计方案评价等内容。

利用可拓逻辑理论解决产品设计的重点是如何实现设计过程中的矛盾知识相容,尽管现有的产品设计方法已经开展这方面的研究,但由于以下三个方面的制约,使得设计过程仍然存在一些矛盾问题需要用更好的方法加以解决。

1. 动态变化的知识

现有的某些设计方法对新增加的设计特征一般采取在需求数据库中的静态表达的办法,无法实现新需求的有效识别和对带有一定矛盾前提的定制需求进行合理的变换和近似,容易产生对新需求的误解,从而无法得到准确的结构而影响设计的准确性。