

群决策理论与方法及实现

The Theory and Methods of Group Decision Making
with its Realization

徐玖平 陈建中 编著

Xu Jiuping Chen Jianzhong

Uncertainty Theory and Optimization Series

不确定理论与优化丛书

群决策理论与方法及实现

The Theory and Methods of Group Decision Making
with its Realization

徐玖平 陈建中 编著

Xu Jiuping Chen Jianzhong

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

群决策指多个决策者就同一问题共同作出的决策,在决策科学从理性决策到行为决策,从个体决策到群决策,从单一准则到多准则(多属性和多目标),从确定性到不确定性,从单一决策方法到综合系统决策方法,从狭义决策到广义决策的发展道路上,与智能决策一起构成决策科学的两个前沿方向,完善着其理论和方法论体系,其理论研究和应用研究成为当前管理学界、数学界、经济学界、社会学界和政治学界决策研究者共同关心的热点话题和前沿领域。

群决策的理论基础是社会选择理论、社会福利理论、现代效用理论和行为理论。其难点在于要找到比较衡量不同决策者效用的尺度,将在序数意义下归集个人偏好成为群体偏好,并在一定的假设条件下,量化偏好和效用,从而在基数意义下集结群体意见。群决策的方法论主要强调对于复杂多目标的半结构化和非结构化决策问题,由群体中多个具有不同偏好的决策个体作出具有一定一致性的选择决策。此外,群决策组织过程、群体一致性的评价以及在决策者部分理性条件下群决策的支持技术和方法也是本书的重要内容。本书正是按照从理论到方法和应用的逻辑关系来组织的。

群决策需要多学科、多领域知识的融合,如管理科学、心理学、组织行为学等;在现在强调决策的科学性和民主性的环境中,群决策的知识、方法是人们在各种管理决策工作中重要的和不可缺少的。本书可以作为高等院校管理科学、信息科学和系统工程等相关专业研究生和本科高年级学生的教材,也可作为相关专业的教师、科技人员、工程技术人员以及机构和企业管理者的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

群决策理论与方法及实现/徐玖平,陈建中编著. —北京:清华大学出版社,2009.4

(不确定理论与优化丛书)

ISBN 978-7-302-18255-9

I. 群… II. ①徐… ②陈… III. 群体-决策学-研究 IV. C934

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 113659 号

责任编辑:刘颖 王海燕

责任校对:赵丽敏

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:170×230 印 张:29 字 数:629 千字

版 次:2009 年 4 月第 1 版

印 次:2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:49.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:026927-01

不确定理论与优化丛书

在运筹学、管理科学、信息科学、工业工程、航天技术以及军事等众多领域都存在人为的或客观的不确定性,表现形式也多种多样,如随机性、模糊性、粗糙性以及多重不确定性.辩证地讲,不确定性是绝对的,确定性是相对的.不确定理论与优化不仅具有学术价值,而且具有广阔的应用前景.为了促进不确定理论、不确定规划、算法及应用的学术交流与发展,清华大学出版社决定出版《不确定理论与优化丛书》.本丛书将在编委会的指导下遴选书稿,指导思想是突出学术性、创新性、实用性,既出版有独到见解的学术专著,又出版实用案例分析和研究生教材.如您希望您的著作加入本丛书,请向编委会垂询. <http://orsc.edu.cn/use>.

丛 书 编 委 会

刘宝碇 (主编)

清华大学数学科学系

北京 100084

liu@tsinghua.edu.cn

刘 颖 (责任编辑)

清华大学出版社

北京 100084

liuy@tup.tsinghua.edu.cn

蔡开元 (北京航空航天大学)

曹炳元 (汕头大学)

哈明虎 (河北大学)

胡包钢 (中国科学院)

李洪兴 (北京师范大学)

李 军 (东南大学)

李少远 (上海交通大学)

李寿梅 (北京工业大学)

刘 克 (中国科学院)

刘彦奎 (河北大学)

陆 玫 (清华大学)

宋考平 (大庆石油学院)

唐加福 (东北大学)

唐万生 (天津大学)

吴从炘 (哈尔滨工业大学)

汪定伟 (东北大学)

汪寿阳 (中国科学院)

王熙熙 (河北大学)

谢金星 (清华大学)

徐玖平 (四川大学)

应明生 (清华大学)

张汉勤 (中国科学院)

张文修 (西安交通大学)

张 强 (北京理工大学)

不确定理论与优化丛书

Uncertainty Theory and Optimization Series

本丛书已出版书目:

- 第 1 卷:《不确定规划及应用》, 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲
- 第 2 卷:《不确定多属性决策方法及应用》, 徐泽水
- 第 3 卷:《实用马尔可夫决策过程》, 刘克
- 第 4 卷:《多目标决策的理论与方法》, 徐玖平, 李军
- 第 5 卷:《不确定理论教程》, 刘宝碇, 彭锦
- 第 6 卷:《基于粗糙集的不确定决策》, 张文修, 仇国芳
- 第 7 卷:《多属性决策的理论与方法》, 徐玖平, 吴巍
- 第 8 卷:《基于包含度的不确定推理》, 张文修, 梁怡, 徐萍
- 第 9 卷:《群决策理论与方法及实现》, 徐玖平, 陈建中

序

广义决策分析的范畴涉及运筹学的许多方面,如规划、图论、博弈论、库存论、排队论、可靠论、搜索论等。狭义决策分析是一类特殊的博弈活动,它是以决策者为一方,以决策环境为另一方的博弈。在现实社会中,不论是对个人、企业,还是大型工程系统、社会经济系统,几乎所有的决策问题都有多个,且通常是相互矛盾的准则。因此,就很自然涉及决策问题的一般范式,其中代表不同准则的指标均应达到最优,即多准则决策分析 (multiple criteria decision analysis, MCDA)。MCDA 面临的决策难题是准则间不可公度和矛盾性。所谓准则间不可公度是指各个准则没有统一的度量标准,因而难以进行比较。准则间矛盾性是指某些准则之间往往是冲突和矛盾的,因而难以用单一准则决策的方法对方案进行遴选。把主体关于客体的价值判断作为衡量事物好坏优劣的根本标准,以便在优劣之间作出选择或抉择,是人类最基本的实践活动之一。因此,MCDA 不仅是理论、方法、技术,而且还是处理决策问题的观点、看法、思路。如果缺少了对 MCDA 任务和目的的充分考虑,即使是运用严谨的理论和精确的方法均是在冒着毫无意义的风险。

MCDA 是为决策者作决策提供综合集成的思想观念、理论方法和技术路线,它以其独特的魅力引无数英雄尽折腰,多少人仁志士为之著书立说,也招致许多学术期刊和出版社频繁地发表和出版有关文章和著作。在这种态势下,要将一个全新的 MCDA 杰出研究工作征集成册,似乎是一种鲁莽和冒险。事实上,主要的思想已经建立多年了,也有很多好的书籍和评论^[1~5],但是这些书册所作出的贡献有多大呢?回答是不确定的。加之,MCDA 是如此的庞大,包含了不同领域的发展,以至几乎无望出现完整无缺的研究与实践相关的书籍。尽管如此,一个新而全面的关于 MCDA 杰出工作与赋予研究性结构有机结合的梳理是值得去为之付出与牺牲的。恰逢国家杰出青年基金和教育部优秀青年教师教学科研奖励计划的择优资助,清华大学出版社的大力支持,李军博士、吴巍博士、陈建中博士的鼎力协助,在阅读、参考大量有关的论文与著作以及领悟先哲们的理论与感受操作者的实践的基础之上,撰著了《多目标决策的理论与方法》《多属性决策的理论与方法》以及《群决策理论与方法及实现》套系著作。

本套系著作希望达到的目标:追溯 MCDA 的历程演进,激发读者的认知灵感;解读 MCDA 的理论原理,训练读者的理性思维;讨论 MCDA 的有效方法,培养读者的探索精神;陈述 MCDA 的广泛应用,树立读者的实践意识;分析 MCDA 的发展趋势,提高读者的创新能力。

本套系著作展现研究的成果:探析古今 MCDA 的净化演异,有助于读者更好地理解

MCDA 的体系结构; 构筑 MCDA 的系统理论, 有助于读者全面地研习 MCDA 的一般原理; 提供实践 MCDA 的有效技术, 有助于读者系统地掌握 MCDA 的基本方法; 展示应用 MCDA 的经典样板, 有助于读者有效地把握 MCDA 的操作技能.

本套系著作推出导研的理念: 有灵感才有伟大的思想, 从感性到理性; 讲理性才能产生的理论, 从理性到理论; 能实践才有有效的方法, 从理论到技术; 善总结才有广泛的应用, 从技术到实现.

一、历史演进

学科的发展似乎有两条通道: 一是先有伟大的思想, 才有深刻的理论, 再有有效的方法, 后有广泛的应用; 即从理论到实践, 从抽象到具体, 这好像是所谓学院派的做法. 二是先有人的感性认识, 才有人的实践活动, 再有人的理性认识, 后有人的理论总结; 即从实际到理论, 从特殊到一般, 这好像是所谓实干家的做派. MCDA 的发展, 激发了许多人去思考它的发展轨迹. 到底是哪一条通道, 人们难以归纳一条明确的路线, 细细想来真是有一点“先有鸡、还是先有蛋”的味道, 其实两者兼有之. 探析其通道原则是: 什么样的逻辑前提导致什么样的逻辑结论, 逻辑前提合理, 逻辑演绎正确, 逻辑结论有价值, 便是有用的、正确的学科发展路径; 总结其历史演进目的是: 在 MCDA 的传播、继承、发展、应用和创新过程中, 能发挥的作用.

伟大的思想 —— 灵感

伟大的哲学家 Plato(公元前 428—前 348)、Aristotle(公元前 384—前 322) 和 Thomas Aquinas 曾经论述过人类作决策的能力, 宣称在某种程度上这种能力是人与动物的分水岭. 著名的思想家 I. Loyola(1491—1556) 有一段关于决策的论述:

“考虑并计算出我可以从所列出的事务和职责中获得多少利益和效用……, 而且, 相反的, 同样的也会考虑其中的代价和风险. 在第二阶段做同样的事, 那就是, 找出没有它会得到的利益、效用以及相反的不利和风险. ……在考虑和计算了事情的各个方面以后, 弄明白更倾向于什么动机: 就这样, 根据最倾向的动机, ……, 对此事就可以做出进一步的决策了.”^[6]

另一位著名的思想家 B. Franklin(1706—1790) 曾在 1772 年 9 月 19 日给 J. Prestly 一封书信中说道:

“在对你如此重要的这件事情上, 你来征求我的意见, 可是由于还需要充分的前提假设, 所以我还不能对你的决定作出建议. 但是如果你仍请求的话, 我现在就告诉你我的方法……. 那就是: 先画一条线将一张纸分为两列; 在一列顶上标上赞成, 另一列标上反对……. 我一眼就可以看到所有的赞成和反对因子时, 就尽

力估计出它们各自的权重; 如果我发现两个因子, 一个赞成一个反对, 他们看起来不相上下, 那我就同时勾掉它们两个. 如果我发现一个赞成因子可以等价于两个反对因子, 我将它们三个一起勾掉. 如果我判断出其中有两个反对因子等价于三个赞成因子时, 勾掉它们五个; 就这样一直进行下去, 最后我就会发现平衡之处; 在经过一两天进一步考虑后, 每一边都不会再出现新的重要因子时, 我就可以作决定了. …… 在这种寻找对等的过程中我发现了它有很大的优点, 这或许可以叫做精神上的或谨慎的代数学. 我真诚地希望你可以作出最好的决定, 我亲爱的朋友, 我永远是你最诚挚的朋友.”^[7]

对某一决策是赞成或反对, 不同思想观点的作用是关键. 决策与很多思想行为存在着本质的联系, 这些为数众多的思想行为可以变成粗略的标准. 早期运筹学教科书提出先定义一个目标函数, 一个单一观点如综合利润指标, 而这个目标函数表示被考虑方案的优越度 (或非优越度), 然后取此目标的最大值 (或最小值) 进行决策. 这是非常简约的, 在某种程度上也是不合乎现实规律来考虑决策问题的方式. 因此, B. Franklin 的思想越来越引起了研究者和专家学者的注意, 是一种考虑到赞成因子和反对因子的综合观点, 换句话说就是 MCDA 的雏型.

不仅仅是哲学家对如何作决策进行了思考, MCDA 中很多重要技术的原形来自于一些如像福利分析、效用理论和投票导向的社会选择理论等所面临的现实问题^[8]. 将许多投票者或一个组织中的许多成员的判断和偏好集结成集体的偏好, 与在 MCDA 中决策者根据一系列互相冲突的准则设计出综合偏好的问题很类似^[9]. 公元 105 年出生的 P. Younger 写给 T. Aristo 的信中就提出了三重赞成投票策略, 是最早对投票系统感兴趣事件^[10]. 对投票系统感兴趣的早期人物 R. Llull(1232—1316) 和 N. Cusanus(1401—1464) 提出所谓优先选择方法 (outranking method), 比起 L. Borda(1733—1799), M. Caritat(1734—1794) 和 L. Condorcet 等人的工作在思想上要早得多^[11], 比 L. Borda(1733—1799) 至少早三个半世纪^[12]. L. Borda 的选择方法与现代效用和价值理论有一些相似之处, 就像 L. Condorcet 的方法和 MCDA 中的优先选择方法相似一样^[13].

在将个人偏好集结成为集体偏好的研究范围内, J. Bentham(1748—1832) 提出了利益积分, 通过集结一个团体的个人利益得到总体效用^[14]. 受 J. Bentham 文章的启发, F. Y. Edgeworth 尝试着寻找不同要素组合的竞争性平衡点. 他提出先为每个要素组合画出无差异曲线, 然后再画出目标曲线, 这一做法与 Pareto 解或有效集合的概念一致^[15]. V. Pareto(1848—1923) 给出了如下的集体满意度定义^[16]:

“当按照各种方法对当前情形作改变时, 都不可能使得集体中的每个人的满意度都增加或减少, 此时, 我们认为团体的成员达到了最大满意度. 这就是说, 任何偏离此位置的微小移动只可能增加其中某一部分人的效用, 总有一部分人赞成的同时又有另一部分人反对.”

通过这个定义很容易得到在 MCDA 中最基本的概念之一——优势原则. MCDA 从 F. Borel (1871—1956) 和 J. von Neumann (1903—1957) 的博弈论的产生和发展中受益^[17,18], 博弈论很多思想对 MCDA 的发展产生了很重要的影响.

深刻的理论——理性

MCDA 的基本问题就理论上讲是研究偏好. 比较经典的做法就是将偏好用效用函数表示, 这样就可以为每个方案赋予数值. 通常情况下, 假设一个方案的综合赋值可以看做是对每个所考虑属性的数值的加总, 由此而建立的早期经典模型比较简单, 条件要求也十分严格, 难以满足现实世界的情形. 因此, 很多研究工作均在说明什么条件下此经典模型成立, 新型的模型都是在经典模型的基础上对放宽条件进行研究.

事实上, 当选择模型时, 必须清楚决策者的偏好满足什么条件. A. Tsoukiàs 和 P. Vincke 对优先序模型提出了完整无遗的看法, 从典型的结果出发却到达了有关模糊逻辑和非典型逻辑的一些挑战性问题的边缘^[19,20]. 最初 MCDA 研究的重点是在新模型的建立上, 后来, 研究者渐渐地认识到每种方法下的基本条件和其特殊的公理体系必须变得更加明显, D. Bouyssou 和 M. Pirlot 等研究了用不同模型的公理基础来综合众多准则的偏好序^[21].

多属性效用理论 (multiple attribute utility theory, MAUT) 是 MCDA 试图为每一个方案赋上效用值, 并代表所考虑方案的偏好程度的真实数值. 虽然看起来此方法简单, 但是也提出了一些技术性难题. 第一个就是在确定或不确定决策中, 其公理基础和边际效用函数的构建, J. Dyer 讨论了效用函数与每一个单独的指标都有关的问题^[22]. Y. Siskos 和 N. Matsatsinis 给出了著名的模糊 MAUT 方法, 在集结-拆分理论和运用线性规划的基础上, 建立了能尽量与决策者在真实的初始决策或训练样本上的表达偏好相一致的 MAUT 模型^[23]. 这种集结-拆分理论可概括为: 怎样去评定决策者的偏好模型使其能推出真实或者最接近于真实的相似决策.

传统的决策模型是建立在一定约束条件下的目标函数的最大化或最小化, 一系列丰富的方法、技术已经得到了发展, 并将继续伴随着运筹学的发展而发展. 但是, 简单地将多个准则归并为单一准则, 使用单准则决策理论与方法来解决多准则决策问题不符合逻辑、不具有科学性. 因此, 就很自然地想到一个使代表不同目标都应该达到最优的决策通用形式. 要处理这一类型的问题, 不仅需要总结、概括处理单一准则决策理论与方法, 还需要引入新的方法、技术来根据决策者的偏好比较不同的目标, 于是经典多目标规划 (multiple objective programming, MOP) 就成为研究的主题.

MOP 可追溯到 1772 年 B. Franklin 提出多目标问题如何协调的问题, 1836 年 A. Cournot 从经济学角度提出了多目标问题的模型, 1896 年 V. Pareto 首次从数学角度提出的 Pareto 有效解的概念, 1951 年 T. Koopmans (1910—1985) 在他的论文《一个活动中有效组合的产量分析》中提出实际有效点的概念^[24]. 在商品坐标系中, 只要某个点一个货物净产出的增加是在另一个货物净产出的减少后才能实现的, 这个点就叫做有效点. 同年, H. W. Kuhn (1925 年出

生)和 A. W. Tucker(1905—1995)提出了向量最大化问题的概念^[25], 1953 年 K. J. Arrow 等从决策的角度抽象了有效点的概念, 多目标决策问题才逐渐受到人们的关注. 但是, 作为规范的决策方法正式引入决策科学领域则是在 20 世纪 60 年代, 并以 A. Charnes 和 W. Cooper 在目标规划方面的工作和 B. Roy 提出的淘汰选择法 (ELECTRE) 为代表^[26,27], 按照惯例 ELECTRE 方法被认为是 MCDA 的正式起点.

1972 年 J. L. Cochrane 和 M. Zeleny 在美国 South Carolina 的 Columbia 大学主持召开的多准则决策国际会议, 是 MCDA 的历史性标志^[28]. 1981 年 C. L. Hwang 和 K. Yoon 明确地将多准则决策问题分为多属性决策和多目标决策两类, 并分别进行研讨^[29]. 通常认为决策对象是离散的有限数量的备选方案的多准则决策就是多属性决策, 考虑如何在事先已经确定好的有限数目的备选方案中进行选择; 决策对象是连续的无限数量的备选方案的多准则决策则是多目标决策, 多目标决策问题中的方案却没有事先给定, 决策者要考虑如何在有限资源的限制条件下, 找到一个满意的方案.

随机性是在 1738 年 D. Bernoulli 提出效用概念和期望效用模型的基础上, 被引入决策的考虑范畴^[30]. 随后的 Bayes 理论提高了随机决策的客观性和准确性, 构筑了随机决策的基石^[31]. J. von Neumann 和 O. Morgenstern 总结了期望效用值理论, 建立了期望效用模型的公理体系, 证明了决策者最大化期望效用的结论^[32]. A. Wald 奠定了统计决策的基础, 将其用于随机策略方案的选择^[33]. D. Blackwell 和 M. A. Girshick 把主观概率和效用理论整合成一个求解统计决策问题的框架^[34]. L. J. Savage 扩展了期望效用模型, 并形成了主观期望效用模型的公理体系^[35]. 在不确定性和数学结构良好的随机试验中嵌入 Bayes 分析, 形成了统计决策理论, 使得随机决策理论在 20 世纪 60 年代取得长足进展, 出现许多面向实际应用的决策理论和方法^[36,37]. R. A. Howard 把系统分析方法引入决策理论, 从理论和应用两个方面推进 MCDA 的发展^[38].

1965 年 L. A. Zadeh 提出的模糊集理论被引入运筹学、管理科学、人工智能专家系统、控制理论、统计等诸多领域中, 用隶属函数来刻画元素对集合属于程度的连续过渡性, 将经典集合的二值逻辑推广到区间内的连续性逻辑^[41]. 这有助于改善过于简化的确定模型, 使人们对模糊问题可以定量描述和分析运算, 对包含人类活动在内的复杂系统, 提供了更符合实际且有效的模型. 1970 年 R. E. Bellman 与 L. A. Zadeh 提出了模糊决策的基本模型^[42], 对决策者不能精确定义的参数、概念和事件等, 可化成某种适当的模糊集合来处理. 1978 年 L. A. Zadeh 进一步提出可能性理论, 就随机和模糊现象在本质上进行了区别, 确立了用模糊集理论处理不确定决策的历史地位^[43], 迄今为止, 该理论已经渗透到 MCDA 的各个领域.

随机或模糊 MCDA 现已走向规范化, 它们着眼于提供决策方案全序或偏序的某种形式的保证或建议. 另外, 通过对属性间的关系分析来帮助决策者形成针对决策问题的最终解决方法, 是一个崭新的研究领域. 1982 年 Z. Pawlak 提出了粗糙集, 经过 Z. Pawlak、R. Slowinski、S. Greco 等人的杰出贡献, 在理论和应用方面取得了历史性的进展, 形成了对描述性 MCDA 以粗糙集方法为主体的讨论^[44~47]. 偏好信息和决策者的自然推理过程

比较接近,但是决策者一般擅长于进行决策而不是解释决策.决策者通过寻找能够很好地支持选择结果的规则来进行决策,在从决策范例中获得偏好信息后,很自然地就可以用“如果……那么……”的决策规则来建立偏好模型,这就使得基于决策规则的粗糙集理论在 MCDA 中地位凸显.

1948 年 D. Black 首次提出群决策概念,并依据成员行为准则分为两大类:一是从伦理道德出发,追求群体作为整体的利益,属于集体决策,即社会选择和社会福利问题;二是追求自身利益与他人对立的利益,即博弈问题^[39].1987 年 C. L. Hwang 将群决策定义为“将不同成员关于方案集中方案的偏好按某种规则集结为决策群体一致或妥协的群体偏好序”^[40].群决策是由一定组织形式的群决策成员,面对共同的环境,为解决存在的问题并要达到预定的目标,依赖一定的决策方法和方案集,按照预先制定的协同模式进行的决策活动.决策者针对共同的决策问题给出自己的判断和偏好,然后按照某种商定的预设规则进行群体意见的集结和方案的选择,由群体偏好进行排序选择,以给出方案的排序,或在不满足一致性的情况下调整决策者偏好,直到达成群体一致的决策为止.从早期投票理论中发展而来的社会选择理论、效用理论和行为决策理论是群决策的主要理论基础,根据不同特征分为序数方法、基数方法和不确定方法,群决策的组织、评价以及群决策的支持是其主要的实现框架.它的理论研究和运用研究成为当今管理学、数学、经济学、社会学和政治学共同关心的前沿课题.

有效的方法——探索

基于多准则决策模型的优先序,MCDA 的功能之一就是给出决策者的偏好和方案的执行结果.一个优先关系就是一组定义在所有可能的方案集 A 上的二元关系 S .如果有很充足的理由说明 a 至少是和 b 一样好,并没有理由驳倒此说法,那么 a 和 b 是等价的^[48].严格应用这种优先关系, J. Figueira 和 B. Roy 构造了淘汰选择法 (elimination et choix traduisant la réalité, ELECTRE)^[49]; J. P. Brans 和 B. Mareschal 建立了排序组织法 (preference ranking organization method for enrichment evaluations, PROMETHEE)^[50,51], B. Matarazzo 回顾评论了其他评价方法的丰硕成果^[52]. B. Roy 讨论了 MCDA 的理论假定,然后给出了这个领域的一般性看法. B. Roy 除了做出很多重要的理论贡献之外,还对 MCDA 的意义和价值作了思考,提出了一些被 MCDA 界广泛接受的重要概念^[53].

T. Saaty 提出了一个非常有名的方法论来建立效用函数,网络分析法 (the analytic network process, ANP) 是层次分析法 (analytical hierarchy procedure, AHP) 的推广. AHP 是一种结合两两比较和专家意见来解决定性和定性指标的测度和度量的方法. ANP 是一种相对度量的一般理论,通过单个优先比得到综合优先比来控制标准,从而实现相互联系要素影响力的相对测量. ANP 抓住了要素内部和要素之间的独立和反馈的特性.所以,在要素之间独立假设条件下的 AHP 方法是 ANP 方法的一个特例^[54].

C. Costa, J. Vansnick 和 J. Corte 基于加成效用模型提出了 MACBETH (measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique) 方法,这是一种只要求知道一个方案

对另一个在人们最注意的地方的不同价值而做出定性判断的方法,帮助个人或组织量化不同方案的偏好度.用简单的话来讲,MACBETH方法试图回答:在用程序产生直接的数字来代表他们的偏好的情况下,怎样建立各个方案的偏好度的距离,如何用一个加成效用模型来综合聚集这些定性的评估^[55~57].

在MCDA里,除了优先方法和多属性效用方法外,还有许多方法也已经被提出来.考虑到不确定性的MCDA问题,T. Stewart讨论了MCDA中的风险性和不确定性.区分清楚与决策者的估价和判断有关的内在不确定性和与对方案结果的不完全信息有关的外在不确定性是很有必要的.探讨四种处理外在不确定性的主要方法有:多属性效用理论及其延展;应用随机优势概念对方案进行两两比较;替代风险度量的运用;综合方案的设计.

很多现实世界的决策问题发生在复杂的环境下,其中存在互相矛盾的逻辑体系、不确定和不严密的信息、不同的积分,尤其是对基数估值的Choque积分和对序数估值的Sugeno积分^[58].H. Moshkovich, A. Mechitov和D. Olson提出了MCDA的口头决策方法^[59,60].这是一种MCDA倡导的方法,Oleg Larichev是后来杰出贡献者的代表.口头决策分析的基本思路是建立可以运用大多数用语言描述对决策者很自然的定性信息的决策模型,而且,标准的度量 and 偏好的启发应该在心理上成立.这些方法除了应该在数学上合理,还要检验决策者想法的一致性和提出明确的合理建议^[61].

C. W. Churchman和R. L. Ackoff等人在1957年就使用简单加权法来处理多属性决策问题^[62].1968年K. R. MacCrimmon总结了多属性决策方法和实践应用^[63].1973年K. R. MacCrimmon在著作《Multiple Criteria Decision Making》中按方法的结构、补偿性、输入偏好等进行了划分,全面论述了MCDA的方法^[64].M. Ehrgott和M. Wiecek引入数学方法来解决目标规划问题,充分展示了解决MOP的方法中一些概念、有效解集和非劣解集的性质、最优性条件、求解方法、有效集和非劣集的近似集合,和经专门结构化的问题(包括线性的和不连续的MOP问题)以及有选择的非线性MOP问题.多目标规划的主要任务就是寻找MOP问题的解决办法,特别是用合适的方法来寻找这些解决方案,所以一个决策者偏好的恰当表示是非常必要的.P. Korhonen提出了处理多目标规划问题的交互式方法的主要概念和基本思想.最基本的发现是,由于决策者在试图使互相冲突的一些标准达到最大化时,会有一个标准值的增加总是在承受另一个或一些其他指标值的减少,必须比较那些增加带来的好处和随之发生的那些标准值的减少所带来的坏处.多目标规划的重要假设是效用函数是未知的,因此,很早就提出了不少与决策者进行富有成效对话的方法.一方面,为决策者提供不受控制的解决方案的相关信息,另一方面,获得决策者偏好的有用信息.这种对话通常由专门的软件辅助,非常多地借助于图形来表示结果,它允许详细说明决策者经过很好的妥协后所接受的解决方案^[65,66].

MCDA需要大量的计算,专业软件使MCDA的发展如虎添翼.软件是MCDA发展的一个很重要的因素,但是,绝对不意味着有一个很好的软件就能正确使用MCDA方法.很明显,软件是一个工具,并只能作为一种工具来使用.在使用软件之前,有必要掌握所采用的

方法和了解要进行决策程序等方面的问题. 在谨慎阅读使用软件的说明之后, 会出现以下问题: 什么软件可以用于 MCDA? H. R. Weistroffer, C. H. Smith 和 S. C. Narula 提供了著名的 MCDA 软件包 [67].

广泛的应用 —— 实践

衡量 MCDA 发展的正确性和成功与否是在 MCDA 支撑下进行决策的数量和质量. 对 MCDA 来讲, 在某领域的成功应用, 区别了引人注意的结果和并不引人注意的结果, 即使这些对于 MCDA 来说不引人注意的结果, 对于数学、心理学或其他科学领域来说会引人注意. 在现实世界, MCDA 的应用问题为数众多, 而且涉及不同的领域. 在这里, 我们不可能覆盖到 MCDA 的每个应用领域, 只能涉及最重要的领域中的应用.

D. Diakoulaki, C. H. Antunes 和 António G. Martins 研究了 MCDA 在能源计划问题上的应用. 在现代科技发展的社会里, 关于能源计划的决策作起来会很复杂, 甚至有的时候呈现出非结构化的形式, 表现出技术发展的特色, 在不同市场形态中变化和出现新的社会关注. 不同组织作决策必须考虑评估的很多方面, 如技术、社会经济、生态环境, 以及从战术实施层到战略指挥层的不同水平, 不同的时间与结构. 因此, 能源计划问题与生俱来的就包含评价多方面性、互相冲突性、不匹配性. 考察随着能源因素、总体社会经济形态变化而普遍存在的变化, 应用于能源计划问题的 MCDA 会在多大的程度上受到影响, 以及在多大程度上适应于新的结构化和建模的需要 [68].

G. Munda 探索了 MCDA 在可持续发展上的应用. 可持续发展与环境问题有着很大的联系, 也就是说, 可持续发展概括了环境管理, 不仅考虑到了生态, 也考虑到了社会经济、技术和伦理道德的发展前景. 生态问题是第一个由 MCDA 得到解决的问题. 因此, 这一领域有很浓的传统, 有很多促进 MCDA 研究的因素都是来自于此. 可持续发展有广大的前景是十分显著的, 因为在考虑了其他标准后, 这些虽不是直接的、严格的环境因素但却与之密切相关, 提高了环境决策的质量. 在决定可持续实施的策略时, 应回答为什么要可持续等基本问题. 由此, 可持续问题有很强的矛盾冲突的特点. 所以, 在这种形势下, MCDA 作为一种适当的方法出现了 [69].

J. Clímaco 和 J. Craverinha 提出了在电信网络计划设计方面的 MCDA. 在这一领域的决策过程发生在持续复杂和嘈杂的环境里, 其中包含了众多的潜在竞争的要素. 电信网络这一领域不仅是不同社会经济必须作出决策的问题, 还是技术问题极为重要的领域. 复杂的社会经济环境和发展极为迅速的通信技术与通信服务的相互交互使得在作决策时常使用多指标评定. MCDA 在这一领域的贡献, 其重点在网络现代化问题和路由选择问题, 以及此领域的现在和未来的趋势 [70].

J. Spronk, R. Stuer 和 C. Zopounidis 讨论了 MCDA 在金融方面的贡献. 随着金融问题多方面特征的断定, 以及运用不同的 MCDA 方法, MCDA 在金融方面的贡献使得复杂的评估问题在评估中同时引入了定量 (如, 财务比率) 和定性标准, 以一种科学、明晰灵活的方式

结构化^[71].

未来的发展 —— 创新

在过去的十年里, MCDA 是一个发展很快的领域, 主要体现在理论和方法研究的进展快速、应用领域不断扩大. 由此可以得到一个总结性的结论: 未来的 MCDA 一方面是在理论和方法上的研究, 另一方面是与现实问题之间有重要联系的应用. 理论与方法发展的有用性只有通过将其付诸于现实应用后才能做出衡量, 合理可靠的理论背景才能保证运用 MCDA 处理具体问题的正确性.

不少 MCDA 专家认为: 应用研究不同于理论研究, MCDA 的应用研究范式必然不同于理论研究范式. 如果说 MCDA 的应用研究范式可以利用理论研究范式, 那就意味着 MCDA 的应用研究与理论研究十分类似, 这是不能接受的. 因此, MCDA 的理论研究范式, 不适用于 MCDA 的应用研究范式. 如果这样, 理论与应用的范式是水火不容, 没有必要探索一般 MCDA 的理论研究范式. 但也有一些 MCDA 专家认为: MCDA 只存在一种研究范式, 即脱离了经验主义的观察和对决策环境与政策的关心, 完全独立于时间和空间, 具有普适性. 如果是这种认识, 只有一种 MCDA 的研究范式, 其研究只要照搬便可, 根本没有必要称它为 MCDA 的理论研究范式.

显然, 实际情况不是这样简单与机械, 其关键在于, 用辩证唯物主义与历史唯物主义的观点看待 MCDA 的性质和对待 MCDA 的理论体系, MCDA 的研究对象是一定社会关系中人们为了满足各种需要利用有限资源进行生产与服务的决策实践活动, 以理论思维的方式把握人们在这种决策活动中的行为. 因此, 不论是人与人的关系, 还是人与物的关系, 以及物与物的关系, 其内容都应该在现实中存在原像, 它的概念、命题、原理, 都应该是逻辑与历史的统一. 逻辑的证明与实践的检验是在一定时空内进行与完成的, 同其他科学一样, MCDA 因社会历史条件限制, 所揭示的规律均是有条件的真理.

MCDA 作为一门学科, 虽然有着区别于其他学科的特定的研究对象、必须解决的基本问题、普遍适用的分析方法、共同采取的技术工具. 然而, 因环境的不同、事物发展阶段的不同, 所采取因时因事不同的形态是十分必要的. 因此, MCDA 应用研究的实际形态总是刻有时代和发源问题深刻印记的具体研究范式, 整个研究范式带有浓厚的实用主义色彩. 不同决策问题的主要矛盾与具体解决路径不尽相同, 那么, 有多少种决策问题, 就有多少种 MCDA 研究范式, 或者说具体的 MCDA 研究范式. 其实, 即使是共同的问题出现在不同的环境结构中, 共同的方法被用于分析不同的决策问题, 共同的技术工具在不同类型环境中的作用范围与方式, 均将有不同的结果. 甚至是面对同一种决策问题, 也有多种 MCDA 的研究范式. 当今主流 MCDA 与诸非主流 MCDA 的对峙, 就是例证.

MCDA 是一门综合性交叉学科、新兴学科; 从本质上讲属于理论与实践并重的科学, 对 MCDA 创新的理解既包括新理论、新方法, 也包括对其理论与方法的成功实践. 于是有人提出要“顶天立地”做 MCDA 工作的“学说”. 目前, 我认为在 MCDA 中所谓“顶天”就是在

G. B. Dantzing(1955)、L. A. Zadeh(1965)、Z. Pawlak(1982) 首创的随机、模糊和粗糙等概念的基础上^[41,42,72,73], 依据决策者的行为特征, 对不确定变量进行随机、模糊、粗糙度量, 构筑随机、模糊、粗糙 MCDA 统一模型, 讨论其广义与恰当有效解, 有效性条件, 存在性、几何性以及解集的性质; 结合 Genetic Algorithms、Neural Networks、Simulations 等算法, 形成新型求解不确定多目标决策的方法; 在抽象空间上建立不确定 MCDA 理论体系与一般算法。所谓“立地”就是抓准现实中具有实际意义的 MCDA 问题, 指导实践, 解决问题。结合具体对象, 研究特殊的不确定 MCDA 问题, 如不确定型群决策、不确定交通问题、多效益生产计划、资源的投入产出、不确定作业工序等, 研究特殊不确定 MCDA, 并付之实际应用。

但是, 对于一个研究者来讲, 既要“顶天”、又要“立地”, 实在是难了一点。理论与实践相结合, 是全社会完成的任务。顶天需要综合素质, 要练“轻功”, 需要理论积累, 需要抽象思维, 需要逻辑推理, 需要专门训练; 立地要有“土囤”, 有地心“引力”, 或多或少有点办法, 看似能够办到, 其实不然, 它同样需要综合素质, 只是侧重点不同而已。两者之间的研究水平孰高孰低难以断定。因此, 我们将沿着理论与应用研究两条路径探讨其最重要的研究思路与范式。

“立地”——应用研究, 其研究主题是问题框架, 充分利用已有和创造的知识、理论、方法、技术, 分析问题框架的结构, 运用模型群技术建立必要的集成模型群; 通过研究问题框架与模型框架的同构或同态性展开应用基础研究, 用计算机模拟来实现具体应用, 由实践或实际效果或效率来展示其先进性、实用性来验证应用研究的有效性, 同时为形成新的理论、方法与技术做个案准备。其代表人物: Frederick Winslow Taylor, Л. В. Канторович, 钱学森、华罗庚等。

“顶天”——理论研究, 针对具体的决策问题抽象决策科学问题, 其研究主题是建立必要合理的公理体系, 运用已有和创造的知识及理论, 定义决策科学的基本概念, 根据已总结的原理与原则, 建立决策概念模型、物理模型、数学模型; 通过有效的方法和技术对决策模型展开基础性研究, 主要的方法是数学方法与统计工具, 比如解的存在性、算法分析、计算有效性, 以及大范围的趋势判断等; 然后, 通过具体模型来讨论实际应用, 实现模型分析的现实意义以及算法分析的可操作性; 由对比类似模型方法示其先进性、实用性来验证模型有效性。最后形成新的决策理论、方法与技术。其代表人物: V. Pareto, von Neumann, O. Morgenstern, Gerard Debreu, K. J. Arrow, A. K. Sen 等。

二、科学建设

MCDA 在日常生活中随处可见, 有着悠久的历史 and 深厚的背景, 其问题的形式千差万别。早期研究者的工作涉及很多学科, 如管理科学、经济学、心理学、市场学、应用统计学、决策学等^[74,75]。对不同决策情形中的 MCDA 问题, 各个领域有自己独特的方法, 决策学中有最大最小法、先验概率、效用理论等; 经济学中有 Pareto 优化、von Neumann-Morgenstern 效

用、社会福利函数、成本效益分析等;统计学中有多元回归法、方差分析、因素分析等;心理学中有多维标度法、联合测量法等。

半个多世纪以来,在确定环境下 MCDA 的研究已经比较详尽。然而,这并不能完全解决人们在实际中遇到的多准则决策问题。许多不确定性现象不满足排中律,并非是一种非此即彼现象,它可能是也可能不是某类待定现象,其定量研究的逻辑基础绝非二值逻辑。因此,随着研究的深入,在不确定环境下 MCDA 的研究越来越受到重视。相对于经典 MCDA,不确定性 MCDA 是非经典的,它是在经典 MCDA 上的延伸和发展。其内容主要包括三部分,即随机型、模糊型以及描述性决策理论与方法。随机型决策的产生源于决策问题外部的不确定性;模糊型决策的产生属于决策问题内部的不确定性;描述性决策则是通过对已有决策范例的分析,推导出可以用于未知的新方案上的决策规则来进行决策。可以说,前两种决策是由决策问题结构不确定性产生的,而后一种决策则是在决策方案不确定性基础上建立起来的。在实际应用中,随机决策适用于决策准则不确定的情形,模糊决策适用于决策准则值不确定的情形,而描述性决策适用于通过决策方案范例对不确定的未知决策方案进行抉择的情形。由于群决策需要多个决策者共同作出,它要区别于个体决策理论的前提假设,如决策者理性假设、偏好的传递性等,对群决策理论层面、技术层面及其实现的深入讨论有助于群体抉择的情形。我们将从由浅入深、由简到繁、结构合理、阐述完整、凸显应用、提高技能的路径撰著《多目标决策的理论与方法》、《多属性决策的理论与方法》、《群决策理论与方法及实现》三部 MCDA 套系著作。

连续型决策 —— 多目标

多目标决策的传统研究仅仅局限于对确定性多目标决策问题的处理上,而在实际决策问题中普遍存在不确定性现象。随着人们对不确定性的认识逐渐深入,随机多目标决策及模糊多目标决策的研究也逐渐开展。《多目标决策的理论与方法》一书着重研究关于连续的、无穷个决策方案的决策问题,就若干个相互矛盾且不可公比目标的实际多目标决策问题,构建有效解概念及其解的存在性理论与求解算法来实现满意决策。在对传统多目标决策的理论基础和方法应用进行了全面梳理的基础上,总结了传统多目标决策方法的理论体系与计算方法。因人为因素或客观因素而引起的不确定多目标决策问题,分别从随机多目标决策及模糊多目标决策两个不同的角度出发,主要讨论两类多目标决策问题的模型和有关理论,以及求解模型的若干算法。

确定多目标决策

在经典的多目标决策模型中,一般来说涉及下列五个基本要素:决策变量 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$; 目标函数 $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x}))^T, m \geq 2$; 可行解集 $X \subseteq \mathbb{R}^n, X = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n | g_i(\mathbf{x}) \leq 0, h_r(\mathbf{x}) = 0, i = 1, 2, \dots, p, r = 1, 2, \dots, q\}$; 偏好关系:在像集 $\mathbf{f}(X) = \{\mathbf{f}(\mathbf{x}) | \mathbf{x} \in X\}$ 上有某个二元关系 $\prec$ 反映决策者的偏好;解的定义:如何在已知的偏好关系 $\prec$ 下定义

f 在 X 上的最好解.

确定多目标决策问题可描述为

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)) \\ \text{s.t.} \quad & x \in X \subseteq \mathbb{R}^n. \end{aligned}$$

多目标决策问题通常不存在能使得所有目标函数同时达到优化的解, 这是与传统的单目标决策问题在本质上的不同之处. 因此, 多目标决策问题的最优解通常是不存在的, 原则上多目标决策不研究最优解这类问题. 那么, 必有新的解的概念产生, 这一种解的概念就是有效解 (非劣解). 如果称某可行解 x 是有效解, 是指不存在另外的可行解 x' , 使得 x' 的各目标值 $f_k(x')$ 都不劣于可行解 x 的各目标函数值 $f_k(x)$, $k = 1, 2, \dots, K$, 且至少有某 k_0 使 $f_{k_0}(x')$ 的值要优于 $f_{k_0}(x)$. 当然在单目标决策中有效解与最优解等价, 这也充分说明有效解是最优解的扩展. 由于有效解集中有效解的数目非常多, 因此, 多目标决策中一个关键问题就是, 如何根据决策者的主观价值判断对有效解 (方案) 进行好坏的比较? 在各种数据和信息都被假定为绝对精确、目标和约束也都假定被严格定义并有良好的数学表示的前提下, 各种解的定义、有效性条件、解的存在性、解的几何性、解集的性质以及多种寻找有效解的算法将得到全面的探讨.

随机多目标决策

实际多目标决策问题中的目标函数、约束条件等有时很难用数学公式表示, 确定多目标决策模型不足以处理所有现实问题. 因此, 不确定多目标决策模型被提出, 随机多目标决策就是在经典决策分析得到比较广泛研究的一类不确定决策. 随机多目标决策模型可表示为

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x, w) = (f_1(x, w), f_2(x, w), \dots, f_m(x, w)) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} g_i(x, w) \leq 0, & i = 1, 2, \dots, p, \\ h_r(x, w) = 0, & r = 1, 2, \dots, q, \\ x \in \mathbb{R}^n. \end{cases} \end{aligned}$$

其中 w 为定义在概率空间 (Ω, F, P) 上的随机向量. 注意到对应于不同的样本点 w , 该模型的目标函数和约束条件也随之发生变化, 此时模型本身是没有任何意义的. 不能按照通常意义去理解该模型中的目标函数和约束条件, 必须把它归为新的一类规划问题并寻找相应的算法.

处理随机变量一般是等待观察到随机变量的实现以后作出决策, 或者是在观察到随机变量的任何实现之前就必须作出决策. 遵照这种思路, 该模型可以转换为分布问题、机会约束规划、相关机会规划等进行处理. 在确定性规划及机会约束规划中, 可行集在建模后实质上已经确定; 相关机会规划并不假定可行集是确定的, 只是要求在实际问题中尽可能得到实现. 这样, 随机多目标决策问题就可从最小风险问题、各种非交互式算法及交互式算法等方面进行研讨.