

产业组织与技术创新研究论丛

多属性决策分析方法与应用 ——基于属性间关联的研究

章玲 周德群 著



科学出版社

产业组织与技术创新研究论丛

多属性决策分析方法与应用

——基于属性间关联的研究

章 玲 周德群 著

国家社会科学基金重大项目 (项目编号: 08&ZD046)

国家自然科学基金 (项目编号: 71101070)

江苏省哲学社会科学基金 (项目编号: 08SJB017)

江苏省教育厅哲学社会科学基金 (项目编号: 08SJD6300063)

南京航空航天大学出版基金 (项目编号: NR2011041)

南京航空航天大学哲学社会科学基金 (项目编号: V0853-091,
S0758-091)

南京航空航天大学产学研理论研究专项 (项目编号: NC2012011)

资助出版



科 学 出 版 社
北 京

内 容 简 介

现实决策问题的决策属性偏好间往往存在交互作用,已有研究很少考虑交互作用,从而使得研究结论存在偏差。本书讨论了属性偏好间关联的基本理论、基于属性偏好间关联的多属性决策分析方法和模型、贫信息情形下基于属性偏好间关联的层次多属性决策方法等,并将上述理论和方法应用到煤炭企业跨区投资的时期选择和区位选择、企业创新投入成效测评等问题中。

本书可作为高等院校运筹学、管理科学、信息科学和系统工程专业的高年级本科生和研究生的参考书,也可作为工程技术人员、管理干部、教师以及相关学者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

多属性决策分析方法与应用:基于属性间关联的研究 / 章玲, 周德群著. —北京:科学出版社, 2013

(产业组织与技术创新研究论丛)

ISBN 978-7-03-036946-8

I. ①多… II. ①章…②周… III. ①决策学 IV. ①C934

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 043353 号

责任编辑:李 莉 / 责任校对:黄江霞
责任印制:徐晓晨 / 封面设计:蓝正设计

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>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2013 年 3 月第一次印刷 印张:9

字数:180 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

社会经济生活中的决策问题多为多属性决策问题。由于涉及多个决策属性，针对现实决策问题往往很难构建一组既全面又偏好相互独立的属性体系，如果考虑属性体系的全面性，就不得不降低对属性偏好独立性的要求。属性偏好关联关系很重要，它可以帮助决策者更好地理解决策问题，若忽略了这些关系会给决策结果带来严重的影响。

以城市低碳发展战略选择为例，它涉及的属性通常包括环境、经济、技术和社会四个方面。其中环境因素包括温室气体减排量、能源利用率和能源消耗指标等；经济因素包括低碳投资和国民经济评价价值等；技术因素包括清洁能源和低碳技术等；社会因素包括吸纳当地就业人数以及对地区发展的贡献。这些属性偏好间不满足完全独立性。例如，人们期望温室气体减排量大、低碳投资低以及吸纳当地就业人数多的城市低碳发展战略。但是仅温室气体减排量大，或者仅低碳投资低，或者仅吸纳当地就业人数多的发展战略都不是人们所期望的。在这种情况下，如何选择合适的方案作为城市低碳发展战略？很多类似的决策问题包含的方案集有限，很难应用统计分析的方式确定属性间的关联。而模糊测度理论用比较弱的单调性来代替可加性，可以用于对属性间关联建模。本书在模糊测度理论的基础上针对基于属性间关联的多属性决策分析问题进行研究。

本书第1章为绪论。讨论研究了考虑属性偏好间关联的多属性决策问题的重要性和必要性，对国内外相关研究现状做出了较为全面的评述，并概述了本书的主要内容和所采用的主要方法。

本书第2章为多属性决策分析中方案间关联研究。现有的考虑关联的多属性决策分析文献大都集中在对属性偏好间关联的多属性决策分析问题的研究上，而忽略了对方案间关联的探讨。本书第2章先讨论了方案间关联的定义，以及方案间关联、无关方案独立性和逆序之间的关系。然后通过案例分析和理论推导等方式讨论了线性分配方法(liner allocation method, LAM)、加权平均(weighted average, WA)方法和理想解(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)方法引入方案间关联和违反无关方案独立性的原因，并在此基础上提出两种WA的保序方法，同时指出绝对TOPSIS方法并不总是满足无

关方案独立性的,其决策结果仍然可能产生逆序,而成对比较 TOPSIS 方法的决策结果尽管保序,但其可能不满足传递性。

本书第 3 章为基于属性间关联的多属性决策分析理论。介绍了模糊测度和积分的定义、性质和分类。考虑到 λ 模糊测度常用于对考虑属性偏好间关联的多属性决策问题中属性和属性集的重要程度建模,推导了 λ 模糊测度及其 Möbius 变换和关联系数间的相互转换关系。由于常权决策容易导致决策属性间的互补性太强,在模糊测度理论和传统变权理论的基础上定义了基于关联的变权(R-变权)和基于关联的状态变权(R-状态变权),并指出传统变权和状态变权分别是 R-变权和 R-状态变权在决策属性间相互独立时的特例。

本书第 4 章为基于属性间关联的单层多属性决策分析方法。在模糊测度理论和传统决策方法的基础上,提出关联 WA(R-WA)方法、关联 LAM(R-LAM)方法、关联 TOPSIS(R-TOPSIS)方法和关联 ELECTRE(R-ELECTRE)方法。在 R-WA 方法的基础上定义关联群决策方法,在 Sugeno 积分的基础上定义有序 Sugeno(O-Sugeno)方法,以提高模糊测度和积分理论应用于实际决策问题的可行性。在 R-变权理论的基础上研究了考虑属性偏好间关联的变权多属性决策方法,并构建了优化模型来求解属性和属性集的权重。

本书第 5 章为基于属性间关联的层次多属性决策分析方法。在决策实验室分析(decision making trial and evaluation laboratory, DEMATEL)方法和解释结构模型(interpretive structural modeling, ISM)的基础上,讨论了二者集成的理论依据和可行性,并提出了集成 DEMATEL/ISM 方法划分复杂系统层次结构的新方法。考虑到实际决策问题中决策者通常难以给出参考方案和属性的偏好信息,在 R-变权理论和考虑属性偏好间关联的单层多属性决策方法的基础上研究了贫信息情形下考虑属性偏好间关联的常权/变权层次多属性决策分析方法。

本书第 6 章为属性间关联的多属性决策分析的煤炭企业跨区投资时期选择和区位选择。分析研究了煤炭企业跨区投资的重要性和必要性,讨论了煤炭企业跨区投资中的决策问题,并依据考虑属性偏好间关联的多属性决策分析方法研究了煤炭企业跨区投资的时期选择和区位选择问题。

本书第 7 章为基于属性间关联的多属性决策分析方法的文明城市测评。以省会/副省级文明城市测评为例,讨论了省会/副省级文明城市一级和二级测评指标偏好间的关联,在此基础上应用考虑属性偏好间关联的多属性决策分析方法评价了省会/副省级城市文明程度。

本书第 8 章为基于属性间关联的多属性决策分析方法的高科技行业创新投入成效测评。分析了高科技行业企业技术创新投入成效的影响因素,构建了高科技行业企业技术创新投入成效测评指标体系,并收集相关数据,应用考虑属性偏好间关联的多属性决策分析方法评价了“十一五”期间我国高科技行业企业的技术创

新投入成效。

本书属于“产业组织与技术创新研究论丛”系列专著之一。借本书出版的机会，作者谨对科学出版社对本书长期关注并付出大量智慧与艰辛的编辑同志表示衷心的感谢和敬意。

作者

2013年2月10日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 多属性决策分析的研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	3
第 2 章 多属性决策分析中方案间关联研究	11
2.1 方案间关联、无关方案独立性和逆序	11
2.2 线性分配方法中方案间关联研究	12
2.3 加权平均方法中方案间关联研究	15
2.4 理想解方法中方案间关联研究	22
2.5 本章小结	28
第 3 章 基于属性间关联的多属性决策分析理论	29
3.1 模糊测度和积分理论	29
3.2 基于属性间关联的变权理论	37
3.3 本章小结	41
第 4 章 基于属性间关联的单层多属性决策分析方法	42
4.1 关联线性分配方法	42
4.2 关联加权平均方法	46
4.3 关联理想解方法	60
4.4 关联 ELECTRE 方法	64
4.5 有序 Sugeno 方法研究	68
4.6 基于属性间关联的变权单层多属性决策分析方法	74
4.7 本章小结	76
第 5 章 基于属性间关联的层次多属性决策分析方法	77
5.1 集成 DEMATEL/ISM 的复杂系统层次结构划分	77
5.2 基于属性间关联的层次多属性决策分析模型	81
5.3 基于属性间关联的常权层次多属性决策分析方法	82
5.4 基于属性间关联的变权层次多属性决策分析方法	87

5.5 本章小结	90
第6章 属性间关联的多属性决策分析的煤炭企业跨区投资时期选择和区位选择	91
6.1 研究背景	91
6.2 煤炭企业跨区投资的决策分析	93
6.3 基于属性间关联的多属性决策分析方法的煤炭企业跨区投资时期选择	94
6.4 基于属性间关联的多属性决策分析方法的煤炭企业跨区投资区位选择	97
6.5 本章小结	101
第7章 基于属性间关联的多属性决策分析方法的文明城市测评	102
7.1 研究背景	102
7.2 省会/副省级文明城市指标间相互影响关系研究	103
7.3 省会/副省级文明城市测评	107
7.4 本章小结	110
第8章 基于属性间关联的多属性决策分析方法的高科技行业创新投入成效测评	112
8.1 研究背景	112
8.2 行业创新投入成效的影响因素分析	114
8.3 基于属性间关联的多属性决策分析方法的企业创新投入成效测评	117
8.4 我国高科技行业技术创新投入成效测评结果	120
8.5 本章小结	124
参考文献	126

第 1 章

绪 论

1.1 多属性决策分析的研究背景和意义

决策是人类一项最基本的活动^[1]，它广泛存在于社会生活和生产的各个环节。例如，人们在超市中日常用品的选择、投资理财产品的选择、就餐饭店的选择、工厂生产设备的购买、流水线的引进、人才的招聘、方针政策的制定以及战略部署等无一不涉及决策活动。

自第二次世界大战以来，线性规划、非线性规划、动态规划和网络计划等方法在军事和日常生产中的成功应用，引发了人们对单准则决策理论和方法的研究热潮^[2]，经管类院校和工科院校中普遍开设“运筹学”和“最优控制”等课程，以普及单准则决策理论和方法。随着社会的发展，人们逐渐意识到单准则决策仅是特殊情形下对决策问题的高度简化，是一种理想状态。我国学者冯尚友指出，单准则决策模型忽视了客观事物普遍存在的多准则性，它仅能满足简单系统的决策要求^[3]。法国经济学家 Pareto 于 1896 年从政治经济学角度首次提出了多准则决策分析(multi-criteria decision making, MCDM)，它把许多本质上不可比较的目标转换成一个单一的最优目标^[4,5]。此后，诸多学者从其他角度提出了 MCDM 问题。例如，Neumann 等从对策论角度提出了有多个决策者(decision maker, DM)且彼此之间有相互矛盾的 MCDM 问题^[6]，Kuhn 等从数学规划中的向量极值角度提出了 MCDM 问题^[5]，Zadeh 从控制论角度提出了 MCDM 问题^[2]等。国外著名学者 Zeleny 指出，由单准则决策分析转向 MCDM 的实际背景是运筹学和管理科学的应用从军事领域转向了生产领域^[2,4]。

依据决策方案是否有限，可将 MCDM 问题划分为多属性决策分析(multi-attribute decision making, MADM)问题和多目标决策分析(multi-objective deci-

sion making, MODM)问题^[7]。前者是指方案已知,由属性衡量,可从方案集中选择最适合方案的决策;后者是指方案未知,可由多个限定条件选择目标最优化的决策。文献[4]对 MADM 问题和 MODM 问题做了详细的比较。

由于工程、经济和管理中的诸多选择问题均可以抽象为 MADM 问题,长期以来,MADM 问题一直是决策分析领域的研究热点之一。有关这方面的文献每年大约有上百篇发表在 *Management Science*、*Fuzzy Sets and Systems*、*European Journal of Operational Research* 等权威期刊上。

目前,不考虑关联的 MADM 问题的研究趋于成熟,但学者们却长期忽视了对考虑关联的 MADM 问题(包括属性偏好间关联的 MADM 问题和方案间关联的 MADM 问题)的探讨。针对基于属性偏好间关联的 MADM(简称基于属性间关联的 MADM)而言,由于涉及多个决策属性,针对现实决策问题往往很难构建一组既全面又偏好相互独立的属性体系,但如果只考虑属性体系的全面性,就不得不降低对属性偏好间独立性的要求。文献[8]和文献[9]指出,属性间关联关系很重要,它可以帮助决策者更好地理解决策问题,若忽略了这些关系会给决策结果带来严重的影响。

MCDM、MADM 和基于属性间关联的 MADM 间的关系可用图 1.1 描述。

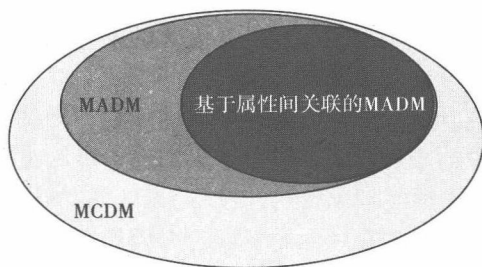


图 1.1 MCDM、MADM 和基于属性间关联的 MADM 间的关系

目前 MADM 的理论研究成果大多集中在不考虑属性间关联的 MADM 领域中,但不考虑属性间关联的 MADM 的应用成果却远远不如其理论研究成果丰富。文献[10]指出,不考虑属性间关联的 MADM 模型过于理想,所以很难应用于实际决策问题中。除应用前景不被看好以外,不得不考虑属性间关联的 MADM 模型和方法的决策结果存在悖论,例如,一些不考虑属性间关联的 MADM 方法[如层次分析(analytic hierarchy process, AHP)方法]的决策结果可能产生逆序^[11,12]。不考虑属性间关联的 MADM 方法应用于效用领域中,风险厌恶的不一致性问题、Ellsberg 悖论和 Allais 悖论等长期困扰着人们,至今还没有令人信服的解释方案^[13]。

与不考虑属性间关联的 MADM 理论相比较,基于属性间关联的 MADM 理

论具有以下优点:

(1) 基于属性间关联的 MADM 理论更科学。不考虑属性间关联的 MADM 理论对实际问题的描述过于理想, 基于属性间关联的 MADM 能更准确地对实际决策问题建模^[10, 14, 15], 其决策结果更具有科学性。

(2) 基于属性间关联的 MADM 理论更具有一般性。基于属性间关联的 MADM 理论并不是对不考虑属性间关联的 MADM 理论的否定, 而是不考虑属性间关联的 MADM 理论的更一般形式, 不考虑属性间关联的 MADM 理论是基于属性间关联的 MADM 理论的特例。

(3) 基于属性间关联的 MADM 理论能更充分地利用决策信息。Felix 等指出属性间的关联很重要, 它反映了属性的结构关系, 并且这些关联可以帮助决策者更好地理解决策问题^[16, 17]。基于属性间关联的 MADM 理论在不考虑属性间关联的 MADM 理论的基础上考虑了属性偏好间的结构关系, 更充分地利用了决策信息。

可以说, 对基于属性间关联的 MADM 的研究是推动 MADM 理论和实际决策问题进一步结合的必然趋势。在理论层面上, 一些学者已经充分认识到研究基于属性间关联的 MADM 的重要性, 并着手于这方面的研究。例如, 日本学者 Sugeno 提出了模糊测度、 λ 模糊测度和 Sugeno 积分等概念^[18]。Grabisch 定义了 k -可加模糊测度, 并指出随着 k 值的变化, 该测度可以表示任一类型的模糊测度^[19]。鉴于 Sugeno 积分适合集结序数信息的事实, Schmeidler 定义了 Choquet 积分^[20]。在应用层面上, 很多学者已经开始尝试用基于属性间关联的 MADM 理论解决实际决策问题。例如, Qnisawa 等应用基于属性间关联的 MADM 理论评价了公众对核能的态度^[21]。Chiou 等利用基于属性间关联的 MADM 理论选择了日本渔业的可持续发展战略^[22]。Miyajima 等应用基于属性间关联的 MADM 理论进行了图像识别等^[23]。

虽然已有学者认识到并开始研究基于属性间关联的 MADM 问题, 但这一领域还有许多深层次的理论问题有待进一步探讨。例如, 如何求解贫信息情形下基于属性间关联的单层/层次 MADM 问题? 考虑属性权重随属性取值变动时, 如何对基于属性间关联的单层/层次 MADM 问题进行建模和求解? 对基于属性间关联的 MADM 问题的深入研究不仅在理论层面上可以丰富 MADM 的理论研究成果, 更重要的是在实践层面上可以为实际决策问题的解决提供理论依据和方法支持。

1.2 国内外研究现状

依据产生关联的源头可将基于关联的 MADM 问题划分为关联源自决策方法

的 MADM 问题和关联源自决策属性偏好的 MADM(即基于属性间关联的 MADM)问题。基于属性间关联的 MADM 问题可按以下三种方式进行分类：一是依据关联是否可消除，基于属性间关联的 MADM 问题可划分为属性间存在可消除关联的 MADM 问题和属性间存在不可消除关联的 MADM 问题；二是依据属性权重是否随着决策状态的变化而变化，基于属性间关联的 MADM 问题可划分为基于属性间关联的常权 MADM 问题和基于属性间关联的变权 MADM 问题；三是依据决策问题是否具有层次结构，基于属性间关联的 MADM 问题可划分为基于属性间关联的单层 MADM 问题和基于属性间关联的层次 MADM 问题。依据上述分类，基于属性间关联的 MADM 问题可归纳为如图 1.2 所示。

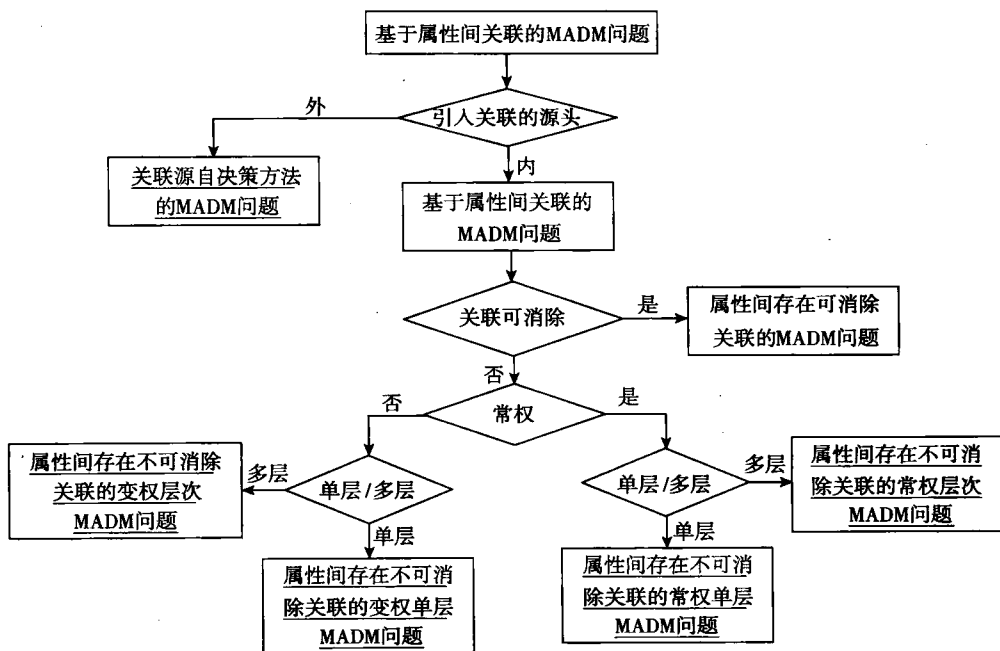


图 1.2 基于属性间关联的 MADM 问题的研究架构

与其他决策理论类似，基于属性间关联的 MADM 理论的研究目的是选择出符合决策者偏好的可行方案。现有基于属性间关联的 MADM 文献大都集中在对属性偏好间关联的 MADM 问题的研究上。

1.2.1 决策偏好理论研究

由于在诸多学科中有着广泛的应用背景，决策偏好理论一直是决策科学的研究热点和焦点^[24]。对决策偏好理论的讨论可以追溯到法国数学家 Bernoulli 的时

代, Bernouli 在 1738 年发表了论述偏好和效用函数可能形式的文章^[25]。到了 20 世纪 40 年代, Neumann 等在研究偏好关系的基础上提出了现代效用公理体系^[6]。与此同时, 管理学大师 Simon 提出了决策有限理性的概念, 引发了学者们对偏好传递性的争论^[25]。所谓的偏好传递性是指对于被选方案 x 、 y 和 z , 若 xRy 且 yRz , 那么有 xRz , 则说明偏好关系 R 具有传递性^[26]。在基数决策问题中偏好传递性通常总是成立的, 而在序数决策问题中偏好传递性并非总是成立的。因为在有限感知下, 一个“优于”关系能被一连串无差异关系所代替^[25]。社会选择理论是决策偏好理论的另一个重要分支。在社会选择理论框架下, Arrow 提出了著名的 Arrow 不可能定理^[25, 27]。Arrow 不可能定理是指同时满足以下四个原则的社会福利函数是不存在的^[27]: ①定义与包含个体序的所有逻辑上的可能组合; ②帕累托最优原则; ③无关方案独立性原则; ④非独裁性原则。在这四个原则中, “无关方案独立性”是最具有争议的^[28~31]。尤其是人们发现有些 MADM 方法的决策结果可能产生逆序以后, 在 MADM 领域对无关方案独立性原则展开了更多的讨论。

对逆序问题的探讨可以追溯到 Luce 和 Raifa^[12], 他们首次发现了 AHP 方法的逆序问题, 引起了学者们对 AHP 方法中逆序问题的深入研究^[12, 32~34]。针对 AHP 方法中的逆序问题, 目前有两种观点: 一种观点认为逆序是合理的, 例如, Saaty 认为不可能存在互不相关的方案, 所以逆序的存在是合理的^[34]; 文献^[35]认为逆序产生的根本原因是决策环境的变化, 管理上需要的是满意解, 而非最优解, 通过对逆序现象的分析, 往往可以为我们在不同情况下选择满意解提供更多的备选方案, 这恰恰说明逆序现象的产生是 AHP 方法解决决策问题的优点; 文献^[36]认为多属性和比例标度是 AHP 方法决策结果产生逆序的根本原因。另一种观点是, 大多数学者认为决策结果可能产生逆序会影响 AHP 方法在现实中的应用, 必须找到适当的方法克服逆序^[12, 32, 37~39]; 文献^[40]和文献^[41]认为用方案权向量的最大值代替权向量和对权向量进行规范化可以避免 AHP 方法发生逆序; 但文献^[42]认为文献^[40]的方法并不总能确保 AHP 方法满足无关方案独立性, 其决策结果也并不总是满足保序性。此外文献^{[43]~[45]}也对 AHP 的保序方法进行了深入研究。虽然研究 AHP 方法中的逆序问题的文献众多, 但至今学者们对如何解释和解决 AHP 方法中的逆序问题还没有达成共识。逆序问题并不仅仅存在于 AHP 方法中, 其他 MADM 方法[如 TOPSIS 方法^[33, 46~48]和消去与选择法(elimination et choice translating reality, ELECTRE)^[11]]的决策结果同样可能产生逆序。文献^[46]、^[48]、^[49]指出 TOPSIS 方法产生逆序的主要原因在于相对理想解(理想解和负理想解), 并给出了消除 TOPSIS 方法逆序的两种方案: 采用绝对理想解取代相对理想解进行决策分析可消除逆序^[46, 48, 49]; 采用相对理想解的 TOPSIS 方法对方案进行成对比较也可达到消除逆序的效果^[48]。文献

[11]指出 ELECTRE 的决策结果可能产生逆序,但它没有深入分析其产生逆序的原因。

总之, MADM 方法的逆序问题已经引起了学者们的广泛关注,但产生逆序的根本原因以及如何确保决策结果保序还有待进一步研究。

1.2.2 基于属性间关联的多属性决策分析理论研究

已有的基于属性间关联的 MADM 文献的研究成果集中在对基于属性间关联的常规 MADM 问题的研究上,下面分别对常规情形下属性间存在可消除关联的单层 MADM 问题、属性间存在不可消除关联的单层 MADM 问题和基于属性间关联的层次 MADM 问题的现有主要文献的研究成果进行综述。

1. 属性间存在可消除关联的单层 MADM 理论

早期, Carlsson 等研究了属性间存在可消除关联的单层 MADM 问题^[10, 14]。若关联由决策者的经验得到,通过关联矩阵将基于属性间关联的 MADM 问题转化成无关联的 MADM 问题进行求解^[16, 50, 51]。若属性初始权重向量为 W , 属性间关联矩阵为 D , W' 反映了消除关联后属性的权重向量, 则 $W' = D \cdot W$ 。利用 W' 和 WA 方法可对方案进行评价和选优。最初 Carlsson 等用该思想解决了属性偏好间存在线性可消除关联的 MADM 问题,不久后他们将该方法应用到属性偏好间存在非线性可消除关联、语言变量可消除关联和模糊可消除关联的 MADM 问题的求解中^[50~52]。利用关联矩阵求解基于属性间关联的 MADM 问题尽管简单,但决策者的工作量很大,对于包含 n 个属性的决策系统而言,决策者需要提供 $n^2 - n$ 个单位的关联信息。尤其是对于属性间存在非线性关联、语言变量关联和模糊关联的 MADM 问题,决策者需要确定属性间的 $n^2 - n$ 个关联函数或关联的隶属函数。

与 Carlsson 等不同, Felix 在 20 世纪后期研究了属性间关联是通过决策方案发生的 MADM 问题^[16],他通过定义各方案对属性的模糊支持集 S 和模糊阻碍集 D 划分属性间关联的类型。依据关联类型,选定相应的“合取-析取”算子将基于属性间关联的 MADM 问题转化为单属性决策问题进行求解。拟订决策方案、确定各属性的模糊支持集和模糊阻碍集以及依据属性间的关联类型选择适当的“合取-析取”算子是 Felix 方法的重点和难点。但现实中属性的模糊支持度和模糊阻碍度通常和决策者的性格及愿望存在很大的关系。Felix 和 Carlsson 等所给出的属性间存在可消除关联的 MADM 问题的求解方案的共同特点是其适合解决关联仅存在于两两属性之间的多属性决策问题。实际决策问题中关联也可能存在于三个及以上的属性间。且当决策方案数量有限时,决策属性间的关联很难用属性值变化趋势的相关性判定。而依据经验构建的关联矩阵主观性很强,因此,它

们通常难以在实际决策问题中应用。为此,学者们研究了基于模糊测度的多属性决策方法。

2. 属性间存在不可消除关联的单层 MADM 理论

1) 基于模糊测度理论的属性(集)权重的建模

为度量属性间关联的 MADM 问题中属性(集)的权重, Sugeno 等首次定义了用比较弱的单调性来代替可加性的一类集函数,称之为模糊测度^[18, 53]。对于属性集 S , 其模糊测度解释为 S 的权重。Marichal 对关联的类型进行了研究,总结出关联一般可以分为三类,即相关关联、冗余/互补关联以及偏好间的关联。这三种关联均可以用模糊测度进行建模^[54]。对含有 n 个决策属性的多属性决策问题而言,用模糊测度对属性(集)的权重建模,决策者需要确定 $2^n - 2$ 个参数。模糊测度的指数复杂性大大降低了模糊测度理论解决现实决策问题的可行性。为此, Sugeno 等提出了 λ 模糊测度^[55]、 k -可加模糊测度^[56~58]、 p -对称模糊测度^[59]和 k 准可加模糊测度^[60]等特殊类型的模糊测度,以减少决策者需要确定的参数,提高模糊测度应用于决策实际问题的可行性。其中 λ 模糊测度需要决策者确定的参数最少,它在现实中的应用最为广泛^[55, 61]。例如,对于含有 n 个决策属性的 MADM 问题,若用 λ 模糊测度对其属性(集)的权重建模,决策者需要确定 n 个参数。若用 k -可加模糊测度对其属性(集)的权重建模,决策者需要确定 $n + C_n^2 + \dots + C_n^k$ 个参数。 k -可加模糊测度的柔性最好,随着 k 值的不断变化,它可以反映任一类型的模糊测度。虽然学者们从理论上对各类模糊测度的定义和性质做了深入研究,但还没有文献关注如何针对实际问题选择合适类型的模糊测度对其属性(集)的权重进行建模的问题。

2) 基于模糊测度理论的属性(集)权重的确定

属性(集)权重的确定是应用基于属性间关联的 MADM 方法解决实际决策问题的关键。在假设决策者给出属性和参考方案基数偏好信息条件下,学者们深入探讨了属性(集)权重的求解算法。其中借用工程控制中的优化方法^[62, 63]求解属性(集)权重最早被人们提出并一直沿用至今。Hu 等指出工程控制优化方法容易陷入局部最优,并不适用于实际属性间关联的 MADM 问题中属性(集)权重的求解^[64]。而用启发式算法确定属性(集)权重可很好地弥补这方面的缺陷。为了提高计算精度和鲁棒性, Combarro 等指出可利用多种模糊测度的线性组合对属性(集)的权重建模,再通过遗传算法求解属性(集)权重^[13]。越来越多的学者意识到遗传算法是计算属性(集)权重的有效方法,但遗传算法计算属性(集)权重时无法克服“维数灾难”,并且只能找出一个可行解。

工程优化方法和启发式算法计算属性(集)权重受决策者和专家主观经验的影

响都很大,为此,Kojadinovic 提出了依据信息理论无导师学习算法确定属性(集)的权重^[65]。该方法的计算复杂度很大,Kojadinovic 也没有给出实现该算法的计算机程序。此外,还有一些学者指出可通过专家访谈直接得到属性(集)的权重^[66],该方法受专家主观经验的影响较大。

现有求解属性(集)权重的文献通常假设专家或决策者给出决策属性和参考方案偏好信息^[67],在此基础上构建优化模型求解属性(集)的权重。事实上,部分属性间的关联信息也可以通过文献资料分析得到(如城市低碳发展战略问题中部分属性偏好间关联信息可以通过有关城市低碳发展的文献获取)。文献分析得到的属性偏好间关联信息和决策者或专家给出的信息通常具有多样性(如属性权重信息、属性集权重信息、属性间关联程度信息等),如何收集这些信息并判定信息的一致性,以及如何对各类信息进行数学描述,并将各类信息应用于属性(集)权重计算方面还有待进一步研究。

3) 基于模糊测度理论的多属性决策集结算子和方法

在定义模糊测度的同时,Sugeno 定义了可测函数关于模糊测度的积分,即 Sugeno 积分。Sugeno 积分满足有界性和单调性等性质^[68~70]。它可作为基于属性间关联的 MADM 问题的集结方法。Sugeno 积分擅长集结序数信息,适合作主观评价。当模糊测度给定时,该积分很容易计算。但 Sugeno 积分的分辨率较低。与 Sugeno 积分不同,Choquet 积分适合作基数的集结算子^[71, 72],是属性间关联情形下的加权算术平均(weighted arithmetic averaging, WAA)方法^[73]的扩展。考虑到现实问题的复杂性和不确定性,谭春桥等研究了基于 Choquet 积分的语言变量多属性决策方法和直觉模糊数多属性决策方法^[74, 75],并用案例验证了该方法用于单方案选择的有效性。可见,现有文献在模糊测度理论和 Choquet 积分的基础上对属性间关联的方案排序做了深入研究,但还没有文献讨论属性间关联是否影响方案的独立性,以及属性间存在关联时如何选择最优方案组合等问题。

3. 基于属性间关联的层次 MADM 理论

基于属性间关联的复杂决策系统常用基于属性间关联的层次 MADM 理论建模。与基于属性间关联的单层 MADM 问题类似,依据属性间关联的类型同样可以将基于属性间关联的层次 MADM 问题划分为两类,即属性间存在可消除关联的层次 MADM 问题和属性间存在不可消除关联的层次 MADM 问题。前者的代表人物是 Saaty 等^[76, 77],他们最早注意到了属性间存在可消除关联的层次 MADM 问题,并建立网络分析(analytical network process, ANP)模型对这类问题进行求解。ANP 方法在思路上和 Carlsson 等利用关联矩阵求解属性间存在可消除关联的单层 MADM 问题的方法类似^[16, 50, 51],它适合描述两两属性间存在

线性静态可消除关联的层次 MADM 问题, 确定属性间和方案间的关联矩阵是该方法的关键和难点。

对属性间存在不可消除关联的层次 MADM 问题的研究可以追溯到 Qnisawa 等^[21], 目前对这一问题的解决主要有以下几种思路:

(1) 集成主成分分析、模糊测度和模糊积分理论解决属性间存在不可消除关联的层次 MADM 问题。通过统计数据得到系统的主成分并以此划分系统层次, 利用最小二乘方法得到底层属性(集)的重要程度, 利用模糊积分计算中间层决策属性的评价价值, 利用 WA 方法计算顶层属性的综合评价价值, 并以此对方案进行排序和选优。例如, Qnisawa 等利用模糊测度对属性(集)的权重建模, 并利用这一思路研究了公众对待核能的态度^[21]; Chiou 等利用 λ 模糊测度对属性(集)的权重进行建模, 用该方法研究了台湾渔业的可持续发展战略^[22]和宽带市场^[78]。

(2) 集成 λ 模糊测度和模糊积分理论解决系统具有给定层次结构的属性间存在不可消除关联的 MADM 问题。利用 λ 模糊测度对属性(集)的权重进行建模, 利用 Choquet 积分自下而上计算方案的综合评价价值。1993 年, Miyajima 等首次利用这一思路研究了图像识别问题^[23]。近年来 Tzeng 等利用这一方法解决了一些复杂的现实问题, 如移民对移入国的选择问题等^[66, 79]。该思路中由于各层属性间的关联不同, λ 值通常因层次而异, 这给决策者带来了一定的工作量。

(3) 集成 AHP 方法、 λ 模糊测度和 Choquet 积分解决属性间存在不可消除关联的层次 MADM 问题。利用 AHP 方法求出系统属性的权重向量 W , 利用最小二乘方法计算属性(集)的 λ 模糊测度 g_λ , 利用 Choquet 积分集成 W 和 g_λ 得到属性的新权重 W' , 利用 W' 和 WA 方法计算方案的评价价值。21 世纪初, 台湾学者 Chen 等最早提出了这一思路, 并用这一思路评价台湾宾馆的服务品质等^[80, 81]。该方法不仅要确定 λ 值、模糊测度, 还要请专家对属性重要程度的成对比较进行打分, 工作量较大。

此外, 还有 Chiang 利用神经网络的思想, 用模糊积分算子训练基于属性间关联的层次 MADM 以求解属性(集)的模糊测度^[82]。该算法的最大特点是需要的训练数据量大, 这一点对于客观事物的主观评价和决策问题很难实现。

根据以上综述, 不难得出 λ 模糊测度是描述属性间存在不可消除关联的层次 MADM 问题中属性(集)重要程度的最常用的一类模糊测度。尽管 λ 模糊测度的计算复杂度较小, 但它所蕴涵的信息量也小, 这样会导致大量信息的丢失, 影响决策结果的准确性。所以有必要探讨基于 k -可加模糊测度等其他类型模糊测度的属性间存在不可消除关联的层次 MADM 理论和方法。

尽管基于属性间关联的 MADM 研究发展得很快, 但由于其历史较短以及自身的复杂性和决策环境的不确定性, 基于属性间关联的 MADM 领域仍然存在许多有待进一步研究的问题, 本书将紧紧围绕基于属性间关联的 MADM 这一基本