多值中智多准则决策方法及应用

彭娟娟　王坚强　张帅　张文宇◎著

知识产权出版社
全国百佳图书出版单位

需要全本请访问 www.ertongbook.com

本专著的出版得到国家自然科学基金（71701065、71871228、51875503与51975512）与浙江省自然科学基金（LY20G010006）的资助

多值中智多准则决策方法及应用

彭娟娟　王坚强　张帅　张文宇◎著

知识产权出版社
全国百佳图书出版单位
—北京—

图书在版编目（CIP）数据

多值中智多准则决策方法及应用/彭娟娟等著．—北京：知识产权出版社，2020.4
ISBN 978-7-5130-6808-6

Ⅰ.①多… Ⅱ.①彭… Ⅲ.①决策方法—研究 Ⅳ.①C934

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2020）第 040039 号

内容提要

本书共 8 章，以现有的中智集与模糊集相关理论为基础，对多值中智多准则决策方法与应用展开了系统研究。本书定义了多值中智集成算子、多值中智距离测度、多值中智占优关系与多值中智可能度，分别提出了相应的基于集成算子、距离测度、占优关系与可能度的多值中智多准则决策方法，并应用于不同的实际决策问题。本书可作为科研机构与高等院校科研工作者研究决策问题的参考书，也可作为管理科学与工程专业学生的参考教材。

策划编辑：李 瑾　　**责任校对**：王 岩
责任编辑：韩 冰　　**责任印制**：孙婷婷

多值中智多准则决策方法及应用

彭娟娟 王坚强 张 帅 张文宇 著

出版发行：知识产权出版社有限责任公司　　**网　　址**：http://www.ipph.cn
社　　址：北京市海淀区气象路 50 号院　　**邮　　编**：100081
责编电话：010-82000860 转 8126　　**责编邮箱**：hanbing@cnipr.com
发行电话：010-82000860 转 8101/8102　　**发行传真**：010-82000893/82005070/82000270
印　　刷：北京九州迅驰传媒文化有限公司　　**经　　销**：各大网上书店、新华书店及相关专业书店
开　　本：720mm×1000mm　1/16　　**印　　张**：12.25
版　　次：2020 年 4 月第 1 版　　**印　　次**：2020 年 4 月第 1 次印刷
字　　数：205 千字　　**定　　价**：69.00 元
ISBN 978-7-5130-6808-6

出版权专有　侵权必究
如有印装质量问题，本社负责调换。

/前　言/

近年来，模糊多准则决策理论与方法被广泛应用于系统综合评价、旅游推荐、产品定价、风险投资以及医疗诊断方案评价等实际决策问题，其相关理论也被学者们深入研究。随着信息时代的来临，决策者个人知识结构、判断水平等主观能力持续提升，决策问题、决策环境等客观条件也日趋复杂，现有的模糊集理论已无法全面描述当前的决策信息。多值中智集作为决策理论的研究热点，不仅能从多个角度对事物进行评价，而且提供了更全面的模糊信息表达方式，有助于决策信息的收集与整理。因此，多值中智集的引入使决策者更容易且更准确地表达自己对事物属性的判断，从而对现实决策问题做出更合理、更有效的决策。本书结合中智集、单值中智集、直觉模糊集与犹豫模糊集的相关研究，提出一系列多值中智多准则决策方法，并应用于现实决策问题。本书可以作为管理科学与工程学科的科研工作者和研究生的参考书，也可以作为本科生与研究生决策方法相关课程的参考教材。

本书所提出的多值中智多准则决策方法是笔者近年来科研工作的概括和总结，主要包括以下几方面内容。

（1）基础理论：介绍了本书的研究背景、意义以及国内外研究现状，同时对直觉模糊集、犹豫模糊集以及中智集的定义、运算规则进行了简单的介绍，并对单值中智集运算规则存在的问题进行了分析，为后续研究提供了理论基础。

（2）基于集成算子的多值中智多准则决策方法：结合直觉模糊集、犹豫模糊集、单值中智集与T模、S模，定义了基于T模、S模的多值中智数的运算规则，并探讨不同T模与S模条件下的多值中智数的运算规则；定义了一系列基于T模、S模的集成算子，包括加权平均算子、几何平均算子、有序加权平均算子、有序几何平均算子、混合加权平均算子与混合几何平均算子；定义了指数加权平均算子与指数几何平均算子，同时分别提出了基于T模、S模集成算子的多值中智多准则决策方法与基于指数集成算子的多值中智多准则群决策方法，并结合实例对两种方法进行比较分析，验证所提方法的可行性和有效性。

（3）基于距离测度的多值中智多准则决策方法：定义了一般多值中智距

离、一般多值中智 Hausdorff 距离、一般加权多值中智距离与一般加权多值中智 Hausdorff 距离；结合所提距离公式，针对准则权重信息不完全确定的多值中智多准则决策问题提出了相应的决策方法，即基于 TOPSIS 的多值中智多准则决策方法；结合 VIKOR 方法原理，提出了基于 VIKOR 的多值中智多准则决策方法，得到最优折衷方案集，并用实例对两种方法进行比较分析。

（4）基于 ELECTRE 的多值中智多准则决策方法：结合 ELECTRE 方法原理，定义了多值中智数的一致性指数、非一致性指数与占优关系，讨论了相关性质，并结合 ELECTRE 方法原理，提出了基于占优关系的多值中智多准则决策方法，结合实例给出详细的决策过程。

（5）基于 QUALIFLEX 的多值中智多准则决策方法：结合 QUALIFLEX 方法定义了基于可能度的多值中智数偏好关系，给出了基于可能度的全序比较方法，讨论了相关性质，同时给出了多值中智数与理想解之间的距离；结合 QUALIFLEX 方法，分别提出了基于可能度的多值中智 QUALIFLEX 多准则决策方法与基于距离的多值中智 QUALIFLEX 多准则决策方法，并结合实例对两种方法进行比较分析。

（6）应用分析：将前面所提的一系列多值中智多准则决策方法应用于汽车零部件供应商选择问题，并结合已有方法进行比较分析，以验证方法的有效性和可行性。第 8 章对本书的主要工作进行总结，并对今后的研究方向做出展望。

本书对多值中智多准则决策方法及应用进行了系统研究，提出了一系列相应的多准则决策方法，并将其应用于汽车零部件供应商选择与其他实际决策问题。本书的研究内容不仅能丰富决策理论与方法体系，而且能提高实际问题的决策质量，具有重要的理论价值和现实意义。

本书是彭娟娟副教授博士阶段研究成果的总结，同时也体现了彭娟娟副教授与王坚强、张帅、张文宇三位教授合作的部分成果。本书的出版得到了国家自然科学基金项目（71701065、71871228、51875503 与 51975512）与浙江省自然科学基金项目（LY20G010006）的资助，特此致谢。同时，浙江财经大学的田超老师参与了本书的编辑与整理工作，在此表示感谢。若书中存在不足之处，殷切希望同行专家和广大读者批评指正。

彭娟娟

2020 年 3 月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

1　绪论 …… 001

1.1　引言 / 001

1.1.1　研究背景与意义 / 001

1.1.2　研究目的 / 002

1.2　国内外研究现状 / 003

1.2.1　直觉模糊多准则决策方法研究现状 / 003

1.2.2　基于犹豫模糊集的多准则决策方法研究现状 / 006

1.2.3　基于中智集的多准则决策方法研究现状 / 008

1.3　研究内容与本书结构 / 010

2　基本理论 …… 012

2.1　直觉模糊集 / 012

2.2　犹豫模糊集 / 013

2.3　中智集与单值中智集 / 015

2.4　T 模与 S 模 / 016

3　基于集成算子的多值中智多准则决策方法 …… 018

3.1　多值中智集 / 018

3.1.1　多值中智集定义 / 018

3.1.2　多值中智数的运算规则 / 019

3.1.3 比较方法 / 025
3.2 基于 T 模与 S 模的多值中智多准则决策方法 / 027
3.2.1 多值中智数的集成算子 / 027
3.2.2 基于 T 模与 S 模的多值中智多准则决策方法 / 042
3.2.3 案例分析 / 043
3.3 基于指数集成算子的多值中智多准则决策方法 / 046
3.3.1 指数集成算子 / 046
3.3.2 基于多值中智数的指数加权平均算子 / 047
3.3.3 基于指数集成算子的多值中智多准则群决策方法 / 054
3.3.4 案例分析 / 058
3.4 基于 Heronian 均值算子的多值中智多准则决策方法 / 066
3.4.1 模糊测度与 Choquet 积分 / 066
3.4.2 多值中智 Heronian Choquet 积分算子 / 067
3.4.3 基于 Heronian Choquet 积分算子的多值中智多准则决策方法 / 072
3.4.4 案例分析 / 073
3.5 比较分析 / 076
3.6 本章小结 / 078

4 基于距离测度的多值中智多准则决策方法 …… 079

4.1 多值中智集的距离 / 080
4.2 基于 TOPSIS 的多值中智多准则决策方法 / 096
4.2.1 决策方法 / 096
4.2.2 案例分析 / 099
4.3 基于 VIKOR 的多值中智多准则决策方法 / 103
4.3.1 决策方法 / 103
4.3.2 案例分析 / 105
4.4 比较分析 / 109
4.5 本章小结 / 112

5　基于 ELECTRE 的多值中智多准则决策方法 …… 113

5.1　赋值的占优关系 / 114
5.2　多值中智数的占优关系 / 116
5.3　基于 ELECTRE 的多准则决策方法 / 124
5.4　案例分析 / 127
5.5　本章小结 / 131

6　基于 QUALIFLEX 的多值中智多准则决策方法 …… 132

6.1　基于可能度的 QUALIFLEX 多值中智多准则决策方法 / 133
6.1.1　基于可能度的多值中智数偏好关系 / 133
6.1.2　基于可能度的 QUALIFLEX 多准则决策方法 / 138
6.1.3　案例分析 / 139
6.2　基于距离的 QUALIFLEX 多值中智多准则决策方法 / 144
6.2.1　多值中智数与理想解的距离 / 144
6.2.2　基于距离的 QUALIFLEX 多准则决策方法 / 145
6.2.3　案例分析 / 147
6.3　比较分析 / 151
6.4　本章小结 / 152

7　多值中智多准则决策方法在汽车零部件供应商选择中的应用 …… 154

7.1　汽车零部件供应商概况 / 155
7.2　汽车零部件供应商评价指标体系 / 155
7.3　基于多值中智数的汽车零部件供应商评价模型 / 158
7.4　案例分析 / 159
7.5　比较分析 / 162
7.6　本章小结 / 167

8 总结与展望 …… 168

8.1 本书的主要内容 / 168

8.2 进一步的研究方向 / 170

参考文献 …… 171

1 绪论

1.1 引言

1.1.1 研究背景与意义

在日益复杂的社会系统中，一项成功的决策往往需要考虑多个影响因素（准则）。这种同时涉及多个准则，从有限的备选方案中选择决策者最满意方案的决策问题被称为多准则决策（Multi-Criteria Decision-Making，MCDM）问题。

近年来，多准则决策（群体或单人）理论与方法已经成为现代决策科学的重要研究内容，得到了快速发展，并广泛应用于企业投资方案的选择、供应商的选择与人力资源的评价等多准则决策问题。因现实决策问题的复杂性与不确定性以及决策者知识结构、判断水平和个人偏好等主观因素的影响，决策者很难用单个精确的数值对相关方案的准则进行评价，或使用数值评价的成本过高。此时，针对方案的部分准则，决策者采用直觉模糊集、犹豫模糊集等更容易表达自己的判断结果。然而，在决策过程中，决策者选择的目标需要尽可能地避免失望或后悔，获得尽可能高的满意程度，但由于信息的不确定性和不完全可得性，当多个决策者对方案的准则进行评价时，存在一定程度的支持、反对和不确定，三个因素之间相互独立，取值范围都在[0,1]内，且三者之和可能大于或小于1。此时，采用模糊集及其扩展形式（直觉/区间值直觉模糊集、犹豫/区间值犹豫模糊集等）都无法较好地处理这类问题，而采用中智集（单值中智集、区间值中智集、多值中智集等）能准确地描述这类信息。与采用模糊集及其扩展形式相比，采用中智集可从多个角度

对事物进行评价，有助于信息的收集，并提供更全面的模糊信息表达方式，使决策者更容易且更准确地表达自己对事物属性的判断，从而对现实决策问题做出更合理、更有效的决策。例如，对医疗手术方案进行评价时，各相关科室专家根据自身知识背景，对手术难度、手术效果、术后并发症、医疗费用、住院时间等准则给出相应评价值，其既可以单独给出支持、反对或不确定程度，也可以同时给出支持和不确定程度等，且支持、反对和不确定程度三者相互独立，取值范围均在[0,1]内。同时，为了更准确地描述决策者的评价信息，可筛选若干有效的原始评价值等，以多值中智集的形式表示。除此之外，环境质量评价、城镇化程度评价和环境服务商选择等评价问题也可以采用多值中智多准则决策方法解决。

中智集及其相关多准则决策问题的研究才起步，涉及多值中智集的研究更少。多值中智集是直觉模糊集和犹豫模糊集的扩展，虽然基于直觉模糊集和犹豫模糊集的相关决策方法可以扩展到基于多值中智集的多准则决策问题中，但现有的关于模糊集及其相关多准则决策方法的研究还存在一些不足。同时，虽然多值中智集具有直觉模糊集、犹豫模糊集所不具有的特性，但若将直觉模糊决策方法直接应用到多值中智集决策环境中，则在大部分情况下是不可行的。此外，采用多值中智集对决策评价信息进行全面、准确的描述，能有效地提高决策的准确性。因此，对基于多值中智信息的多准则决策问题进行系统研究，不仅能丰富决策理论与方法，而且能提高实际问题的决策质量，具有重要的理论价值和现实意义。

1.1.2 研究目的

本书主要是针对多值中智集多准则决策问题，利用模糊集、直觉模糊集和犹豫模糊集等集合理论和方法，对多值中智集的运算规则、比较方法、距离以及相关测度等进行深入研究。根据中智集多准则决策问题的特点，借鉴现有不确定性决策理论的思想，提出一系列基于算子、测度、占优关系与可能度等的多值中智集多准则决策方法。同时，针对供应商选择、人力资源评价、科技项目评审等实际相关多准则决策问题，将所提方法应用到相关决策问题中，分析不同决策方法所得结果的差异，再与实际情形进行比较，以验证所提方法的有效性和可行性。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1.2 国内外研究现状

近年来，多准则决策问题研究已成为决策领域的研究热点，并取得了一些研究成果。然而，现有的多准则决策研究主要集中在模糊集、直觉/区间值直觉模糊集、犹豫/区间值犹豫模糊集等方面，这些表达方式还不能很好地表达决策者的意愿，如不同的专家会有不同的决策态度，有些趋于中立或不确定，有些趋于保守或反对，而有些则趋于冒险或支持。此时，中智集则是一种行之有效的解决办法。因此，下面分别从直觉模糊集、犹豫模糊集与中智集三个方面进行文献综述与分析。

1.2.1 直觉模糊多准则决策方法研究现状

1. 基于模糊数/区间值模糊数的多准则决策方法的研究现状

国内外有不少学者对准则权重系数确定或为模糊数且准则值为模糊数的多准则决策问题或群决策问题进行了研究[1-6]，如徐泽水、樊治平、李荣钧、李登峰、任雪昆、梁吉业、张尧、张强、徐玖平、刘业政、卫贵武、万树平、董九英、龚艳冰、魏翠萍、谭春桥、王坚强等。该部分的研究可以利用模糊数的排序方法，从而对决策方案进行排序[7]。但是仅利用模糊数进行决策有很大的局限性，现在更多的研究是对其进行扩展，以便更好地处理现实生活中的复杂问题。如 Renato 等[5]提出了一种基于前景理论和模糊数的复杂方法来解决不确定的多准则决策问题。Li[8]针对属性值是区间值直觉模糊数且偏好信息不完全的多属性决策问题，在非线性规划方法的基础上建立了接近程度来解决多属性决策问题。Li[9]针对属性值和权重均为直觉模糊数的多属性决策问题，提出了一种求解方法。Hu 等[6]提出了一种基于区间二型模糊数的多准则决策方法。

在实际决策中，决策者更容易给出准则权重系数的不完全确定信息，而对这种准则权重系数信息不完全确定且准则值为模糊数的多准则决策问题的研究并不很多，主要有徐泽水、梁昌勇、卫贵武、刘培德、王坚强等进行了相关的研究。王坚强[10,11]定义了模糊效用函数，提出了信息不完全确定的模

糊多准则 UTA 方法，避免了对模糊数进行规范化处理的不足。准则权重系数信息不完全确定且准则值为模糊数的多准则决策方法主要是通过构建优化模型求得最优权重系数，之后再进行集成。由于模糊数存在局限性，近年来多集中在对其进行扩展的研究。

2. 基于直觉模糊集/区间值直觉模糊集的多准则决策方法的研究现状

直觉模糊集由 Atanassov[12]提出，它同时考虑了隶属度、非隶属度和犹豫度这三方面信息，可描述非此非彼的模糊概念，是对 Zadeh 模糊集理论的扩展。由于直觉模糊集更容易用区间值表示，Atanassov 和 Gargov[13]提出了区间值直觉模糊集的概念，定义了基本运算规则[14]，它的灵活性和实用性引起了众多学者的关注。国内外众多学者对直觉模糊集/区间值直觉模糊集的多准则决策方法进行了大量研究并取得了不少成果。如徐泽水、李登峰、樊治平、陈剑、达庆利、刘思峰、魏翠萍、卫贵武、龚艳冰、丁德臣、巩在武、谭春桥、张玉忠、Szmidt、Kacprzyk、王坚强等，其研究主要集中在以下几个方面。

（1）直觉模糊集/区间值直觉模糊集的基本理论研究

直觉模糊集/区间值直觉模糊集的基本理论研究主要集中在性质、运算规则、集成算子、相似性测度、距离测度、关联测度、模糊熵、记分函数、包含度等方面。这方面的文献很多，如 Zhao 与 Wei[15]提出了基于直觉的 Einstein 混合集成算子；Reiser 等[16]概括了区间值直觉模糊集的含义、结构和性质，并对其进行了描述；龚艳冰等[17]定义了直觉模糊集的相似性测度；Zeng[18]在 Xu 和 Chen[19]有序加权距离算法的基础上，提出了其在直觉模糊和区间值直觉模糊环境下的新算法；Pal 等[20]讨论了直觉模糊集的不确定性；Szmidt 等[21]提出了针对直觉模糊集传递信息数量的测量方法；吕跃进和徐改丽[22]利用灰色关联度的思想来确定专家权重，优化准则权重系数，以此对方案排序；Zhang 和 Xu[23]利用直觉模糊集的相似度和准确度提出了一个新的排序规则；魏翠萍等[24]定义了区间值直觉模糊点算子和一系列记分函数；Pei 和 Zheng[25]针对直觉模糊提出了改进的记分函数和改进的准确度函数；Xu 和 Xia[26]提出了基于逐渐消除占优候选项的多准则决策方法；Yue 和 Jia[27]用脆值表示对每个属性的单个决定，提出了一个软计算模型；Zhang 等[28]提出一个新的区间值直觉模糊熵的定义和计算方法，利用区间值直觉模糊熵来评估

属性权重；Chen 等[29]利用余切函数提出新的区间值直觉模糊集的熵度量，克服了一些现存的区间值直觉模糊熵估量方法的限制，建立能确定熵权重的模型。

除此之外，直觉模糊集的集成算子以及应用也得到了大量的研究，如 Meng 和 Zhang[30]提出了广义直觉模糊混合 Choquet 平均算子；Li 和 He[31]提出了“与”模糊优先算子和“或”模糊优先算子；Yu 和 Xu[32]提出了新的直觉模糊数比较方法和直觉模糊优先集成算子以及直觉模糊有序加权平均优先集成算子；Meng 等[33]提出一个诱导广义区间值直觉模糊混合夏普利平均算子，在此基础上 Meng 等[34]进行了拓展，提出算术区间值直觉模糊广义夏普利 Choquet 算子和几何区间值直觉模糊广义夏普利 Choquet 算子；Wang 和 Liu[35]提出 Einstein 几何算子、区间值直觉模糊 Einstein 加权几何算子等；Zhou 等[36]提出连续区间值直觉模糊有序加权平均算子；Liu[37]提出 Hamacher 聚合算子，如区间值直觉模糊 Hamacher 加权算术平均算子、区间值直觉模糊 Hamacher 有序加权算术平均算子等；Qi 等[38]为了减少不公平参数的影响，提出基于高斯分布的一些区间值直觉模糊算子，并将相关算子应用到相应的多准则决策问题中；Su 等[39]提出了诱导广义直觉模糊有序加权平均算子；He 等[40]提出了基于直觉的中智平均算子，并应用于多准则决策问题。

（2）经典的多准则决策方法扩展到基于直觉模糊集/区间值直觉模糊集的多准则决策

已有不少多准则决策方法均扩展到基于直觉模糊集/区间值直觉模糊集的多准则决策中。如卫贵武[41]提出了基于投影的直觉模糊多准则决策方法；Wang 等[42]指出了现有直觉模糊记分函数的不足，给出了新的记分函数，针对区间值直觉模糊集提出了一种新的多属性决策方法；在直觉模糊集和交叉熵的基础上，Wang 和 Li[43]提出了记分函数法和加权记分函数法两种改进的多属性决策方法；Wu 等[44]提出基于 AHP 的区间值直觉模糊多准则决策问题；张尧和樊治平[45]基于随机占优思想，提出了具有混合信息的随机多属性决策方法；Liu 等[46]为了解决区间值直觉模糊多准则决策问题，引入拓展的 TOPSIS 方法；Joshi 和 Kumar[47]根据直觉模糊集的熵与距离，提出了基于 TOPSIS 的直觉模糊多准则决策方法。

（3）基于直觉模糊集/区间值直觉模糊集的群决策方法

一些学者将直觉模糊集/区间值直觉模糊集应用到群决策。如 Tan[48] 利用模糊测度定义了广义直觉模糊几何集成算子，较好地解决了多准则群决策中属性相依和专家偏好交互的问题；Xu[49] 提出了基于偏差的方法解决直觉模糊多准则群决策问题；Ye[50] 利用熵的权重模型来解决权重信息未知的情况；Wei[51] 定义了若干直觉模糊诱导几何集成算子，并将其扩展到区间值直觉模糊多准则群决策中；Yue 和 Jia[52] 根据 TOPSIS 方法，结合乐观系数解决了决策者的权重问题，提出了区间值直觉模糊数的群决策问题的解决方案；戚筱雯等[53,54] 针对决策信息为区间值直觉模糊数且属性权重完全未知的多准则群决策问题，分别提出了自收敛算法和基于信息熵的决策方法；Chen[55]、Wang 和 Liu[56] 提出了拓展的多维偏好分析的线性规划方法，在区间值直觉模糊框架下解决了多准则群决策问题；Wan 和 Dong[57] 基于 Karnik-Mendel 算法，定义了有序加权平均算子和混合加权平均算子，从而实现排序；Tan[58] 提出了 Choquet 积分的区间值直觉模糊多准则群体决策方法；Yadav[59] 提出了基于 ELECTRE 的直觉模糊多准则群决策方法。

虽然基于直觉模糊集/区间值直觉模糊集的决策方法有很多，但运算规则和比较规则还存在一些问题，主要是指使用不同的运算规则和比较规则将导致不同的决策结果。因此，寻求更合理、更适应的直觉模糊集/区间值直觉模糊集运算规则和比较规则已成为一个研究热点。除此之外，提出了很多解决问题的实际模型，怎样构造并选择适当的模型也成为当前的研究焦点。

1.2.2 基于犹豫模糊集的多准则决策方法研究现状

随着社会的快速发展，客观世界变得越来越复杂和不确定，由于人们思维能力和所掌握的知识水平的提高，用于表达信息的方式也发生了改变。在决策时，很多决策者常常在多个决策信息之间犹豫，同时决策者之间不能相互妥协，使得最终的决策结果难以达成一致[60]。于是，Torra[61] 提出了模糊集的另一种广义形式，即犹豫模糊集，犹豫模糊集的隶属度是几个可能的值的集合，更能表现出决策的实际情境。然而，由于犹豫模糊集理论比较新颖，对这方面的研究相对较少，且主要集中在运算规则、集成算子、相关测度和拓展形式等方面。

1. 犹豫模糊集运算规则与集成算子研究

Xia 和 Xu[62]根据犹豫模糊集与直觉模糊集之间的关系定义了犹豫模糊集的运算规则，但其不满足一些基本的运算性质；在此基础上，Xia 等[63]提出了一系列新的犹豫模糊信息集结算子，并且详细地讨论了这些算子的性质；Wei[64]提出了基于犹豫模糊优先级加权平均算子和犹豫模糊优先级加权几何算子的多准则决策方法；Yu 等[65]提出了基于广义犹豫模糊优先加权平均算子和广义犹豫模糊优先加权几何算子的多准则决策方法；针对准则关联的犹豫模糊决策问题，Zhu 等[66]提出了基于犹豫模糊几何 Bonferroni 平均算子和犹豫模糊 Choquet 几何 Bonferroni 平均算子的多准则决策方法；Yu 等[67]则提出了犹豫模糊 Choquet 积分算子，并讨论了准则间的关联性；金飞飞等[68]提出了犹豫模糊 Einstein 加权平均算子、犹豫模糊 Einstein 有序加权平均算子以及犹豫模糊 Einstein 混合平均算子，并将相关算子应用于多准则决策问题中；Liu 和 Sun[69]提出了广义幂犹豫模糊有序加权平均算子；Zhang[70]介绍了一些幂集结算子，并将这些算子扩展到了犹豫模糊环境；Zhang 等[71]针对犹豫模糊信息和区间值犹豫模糊信息，提出了一系列诱导的广义集结算子；Zhu 和 Xu[72]探讨了一些新的犹豫模糊 Bonferroni 平均算子，详细研究了它们的性质，并将其应用到多准则决策中；针对犹豫模糊元素的排序问题，Farhadinia[73]定义了一种新的记分函数，并将其应用到犹豫模糊多准则决策问题中。

2. 犹豫模糊集相关测度研究

在相关测度研究方面，Xu 和 Xia[74]定义了犹豫模糊距离公式，但这种距离计算公式需要对不同长度的犹豫模糊集进行人为转化，主观性太强，结果缺乏客观说服力；Peng 等[75]提出了一种广义的犹豫模糊协同加权距离测度；Baia[76]提出了区间犹豫模糊集的 Hamming 距离、Euclidean 距离、Hausdorff 距离、广义距离以及广义归一化距离相似度和广义归一化 Hausdorff 距离相似度；Zhang 和 Wei[77]在犹豫模糊集距离的基础上，提出了新的 E-VIKOR 方法和 TOPSIS 方法以解决犹豫模糊环境下多准则决策问题；Xu 和 Zhang[78]在犹豫模糊集的基础上，提出了一种基于 TOPSIS 的犹豫模糊多准则决策方法；Zhang 等[79]提出了一种改进的犹豫模糊距离测度，并建立了一种基于 TOPSIS 方法的犹豫模糊多准则群决策方法；同时，犹豫模糊集的一致性测度、关联系数、

熵与交叉熵以及相似度等也得到了相关的研究[80-82]；Farhadinia[83]在此基础上提出了新的犹豫模糊集熵算法，并将其推广应用于区间值犹豫模糊集；Chen 等[84]建立了犹豫模糊 ELECTRE I 方法，并将其应用到了多准则决策问题中；Zhang 和 Xu[85]提出了一种新的犹豫模糊集凝聚聚类算法，并将其拓展到了区间值犹豫模糊集。但是相关测度均是基于徐泽水与夏梅梅定义的距离提出的，在犹豫模糊元素不相等时，需要主观地加入相同的元素，存在很强的主观性，同时也给决策结果带来了一定的影响。

3. 犹豫模糊集扩展应用研究

在犹豫模糊集扩展研究方面，Wei 等[86,87]定义了区间值犹豫模糊集，其元素的隶属度是一系列属于[0,1]的区间数集合，并给出了几种集结算子；Zhang[88]提出了区间值直觉犹豫模糊集，并对其集结算子进行了研究；Zhu 等[89,90]向犹豫模糊集中加入非隶属度，从而提出双重犹豫模糊集；Huang 等[91]建立了双犹豫模糊有序加权平均算子和双犹豫模糊有序加权几何算子；Qian 等[92]提出了广义犹豫模糊集，其元素的隶属度可以是一系列模糊数的集合，如实数、区间数、犹豫模糊数或几者的并集，并提出了基于广义犹豫模糊数的多准则决策方法；Farhadinia[93]对犹豫模糊集进行扩展得到了高阶犹豫模糊集，介绍了高阶犹豫模糊集相关的信息测度并将其应用到多准则决策问题中；Zhao 等[94]提出了犹豫三角模糊集的概念，并在 Einstein 算子的基础上提出了犹豫三角模糊多准则决策方法。

犹豫模糊集作为模糊集的最新扩展形式，有其独特的优势，因此引起了众多学者的关注。然而，现有的研究基本上均是基于徐泽水提出的运算规则和距离公式，而这些运算规则和距离公式存在一定的局限性。因此，有必要对其基本的运算问题和距离测度问题进行系统的研究。

1.2.3 基于中智集的多准则决策方法研究现状

自从 Zadeh[95]于 1965 年引入模糊集理论以来，模糊集理论得到了广泛的应用和更深入的研究，然而，在现实生活中仍然存在模糊集理论无法处理的不确定信息。应用中智集理论可以解决此类问题。近年来，有部分学者对中智集理论进行了相关研究。Smarandache[96,97]于 1995 年提出了中智逻辑和中智

需要全本请访问 www.ertongbook.com