



基于直觉模糊信息的多指标综合评价理论、方法与应用

Multi-index Comprehensive Evaluation Theory, Method and Application Based on Intuitionistic Fuzzy Information

曾守桢 著

 科学出版社

国家社科基金后期资助项目

基于直觉模糊信息的多指标 综合评价理论、方法与应用

曾守桢 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

针对评价信息为直觉模糊数的多指标综合评价问题,本书讨论了问题研究的重要性、必要性和实际意义;从直觉模糊信息的集成方法、信息测度方法、交互式综合评价等内容进行了深入的理论和应用研究,提出了一系列直觉模糊环境下的评价理论、方法和模型;并将上述理论和方法应用于解决基于直觉模糊环境下的风险投资项目评估、人才选拔、教学评价等实际问题,对于解决现实中大量存在的直觉模糊信息的综合评价问题具有实际借鉴作用和指导价值,同时有利于提高综合评价方法的实用性和科学性特征。

本书可作为高等院校统计学、管理科学、信息科学和系统工程专业高年级本科生和研究生的参考书,也可作为工程技术人员、科技工作者、教师及相关学者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基于直觉模糊信息的多指标综合评价理论、方法与应用/曾守桢著. —北京:科学出版社, 2017.2

国家社科基金后期资助项目

ISBN 978-7-03-051904-7

I. ①基… II. ①曾… III. ①直觉-模糊信息-指标-综合评价-研究
IV. ①G201 ②C813

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 038315 号

责任编辑: 王丽平 / 责任校对: 邹慧卿

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>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 2 月第 一 版 开本: 720 × 1000 B5

2017 年 2 月第一次印刷 印张: 13 1/4

字数: 251 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

国家社科基金后期资助项目

出版说明

后期资助项目是国家社科基金项目主要类别之一，旨在鼓励广大人文社会科学工作者潜心治学，扎实研究，多出优秀成果，进一步发挥国家社科基金在繁荣发展哲学社会科学中的示范引导作用。后期资助项目主要资助已基本完成且尚未出版的人文社会科学基础研究的优秀学术成果，以资助学术专著为主，也资助少量学术价值较高的资料汇编和学术含量较高的工具书。为扩大后期资助项目的学术影响，促进成果转化，全国哲学社会科学规划办公室按照“统一设计、统一标识、统一版式、形成系列”的总体要求，组织出版国家社科基金后期资助项目成果。

全国哲学社会科学规划办公室

2014年7月

本书同时获得

浙江省高校人文社会科学重点研究基地(浙江工商大学统计学)资助

前 言

作为经济统计学的一个重要分支,多指标综合评价越来越引起社会的关注,其理论与方法广泛应用于经济、管理、工程和军事等诸多领域.综合评价的实践活动使人们不断认识到:由于客观环境和问题的复杂性,以及人的思维能力和知识水平的差异性,通常人们对评价事物的直觉判断存在着一定的犹豫度或不确定性.作为传统模糊集的扩展,直觉模糊集同时考虑了隶属度、非隶属度和犹豫度这三个方面的信息,能有效刻画这类犹豫度或不确定性,是一种度量模糊不确定信息的新工具.直觉模糊集的提出,可以说是在模糊系统理论发展过程中的一大理论突破,克服了传统模糊集二分法的局限,能够比较方便、灵活地描述模糊性和不确定性,尤其是能够描述专家在判断过程中的犹豫度,因此受到了理论与应用研究工作者的广泛关注.

基于精确值的多指标综合评价的研究已经取得了比较丰硕的成果,但基于模糊信息,尤其是基于直觉模糊信息的多指标综合评价的研究还显得薄弱,虽然在理论方法和应用方面取得了一些进展,但是这些研究成果还没有形成系统的研究,还有较多的问题亟待解决.针对现有研究的薄弱之处,本书按照“从理论、方法到应用”的思路对基于直觉模糊信息的多指标综合评价问题进行系统研究.

本书内容共八章.第一章为绪论,主要讨论了基于直觉模糊信息的多指标综合评价问题研究的重要性和必要性,指出了问题研究的重要意义,对国内外相关研究做出了系统全面的评述,并在此基础上提出了本书的研究内容、思路和主要方法.

第二章为直觉模糊集成算子研究.信息集成技术是多指标综合评价的核心,是综合评价理论研究的一个重要领域,本章从数据结构特征、指标关联等角度对直觉模糊信息集成方法展开研究.首先提出了基于“数据结构”的信息集结思路,构造了直觉模糊依赖型集成算子,该集成方法体现了算子权重与待集成直觉模糊数之间的联系;然后提出了直觉模糊有序加权平均-加权平均(IFOWAWA)算子,该集成算子具有很强的扩展性,与其他的集成算子结合能生成许多兼顾各种特征的合成算子;针对专家在给出“评估值”的同时,还需以类似“熟悉程度”等形式说明自己评判的可靠性的评价问题,提出了一种考虑专家置信水平的直觉模糊集成方法,并研究了其在博士学位论文评审中的应用;针对指标具有关联作用的情形,提出了一种基于 Zhenyuan 积分的直觉模糊集成算子,该算子有效地改进了现有集成算子(如直觉模糊奇异积分算子)的缺陷,能全面度量指标之间的关联性测度.

第三章为直觉模糊距离测度研究.距离测度公式的选择直接影响到决策的最终

结果,如何科学合理地构造直觉模糊距离测度已成为国内外研究的热点问题.基于有序加权的思想,本章首先提出了直觉模糊有序加权距离(IFOWD)测度,该测度能有效融入专家的风险决策态度.在IFOWD测度的基础上,进一步提出了直觉模糊混合加权距离(IFHWD)测度,并研究了基于IFHWD测度的群体意见修正反馈机制,利用自收敛算法进行反复调整,可快速提高群体的共识水平;最后研究了基于几何加权视角和诱导标量思路的直觉模糊距离测度方法.

第四章为基于直觉模糊判断矩阵的交互式群评价方法.本章首先分析了交互式群评价的基本原理与方法,指出了一般交互式群评价的决策过程中存在的局限性,在此基础上提出了基于相似性和相容度的直觉模糊判断矩阵交互式评价方法,利用专家个体判断偏好的一致性水平与群体综合偏好的相似性和相容程度,提出了交互式过程中专家的权数构造与权重修正方法和专家意见修正反馈方法,最后通过案例分析说明该章模型与算法的有效性.

第五章为权重信息不完全的直觉模糊综合评价方法.针对专家权重完全未知的直觉模糊多指标综合评价问题,首先定义了直觉模糊向量投影的概念,提出了一种基于专家个体评价值与理想评价值之间的投影值大小来确定专家权重的方法,并提出了一种基于理想值投影方法的方案新的排序方法;针对指标权重部分未知和完全未知的两种情形,通过数学规划最优模型确定指标的权重,进而提出了基于相似度的直觉模糊多指标综合评价方法.

第六章为几类复杂直觉模糊综合评价方法.本章提出了基于子群的直觉模糊群体评价思路,构造了“链式专家”的意见修正子群间意见的方法,并提出了基于信息熵理论的直觉模糊链式子群评价方法;提出了一种改进的直觉模糊MULTIMOORA群体评价方法,该方法可有效解决专家权重因素对于决策结论的主观影响及其结论鲁棒性问题,由此获取的决策结论更为准确;基于专家个体与群体评价意见偏差达到最小(即共识最大)的准则,构建了一个最优规划模型求解客观权重,并将主观权重与客观权重有效集结,提出一种兼顾专家权威与群体共识的直觉模糊多指标综合评价机制.

第七章为基于区间直觉模糊的多指标综合评价方法.本章首先研究区间直觉模糊集的集成方法,提出几种新的区间直觉模糊集结算子;研究了区间直觉模糊集的距离测度方法,并研究了区间直觉模糊距离测度在综合评价问题的应用;针对指标权重信息不完全情形下的区间直觉模糊评价,提出了一种改进的区间直觉模糊投影方法,并提出了一种基于投影模型的指标权重优化模型;最后提出了一种改进的贴近度的方案排序方法.

第八章为本书结论与展望.本章指出了本书的主要研究成果和研究局限,并对后续研究工作进行了展望.

本书是国家社科基金后期资助项目的研究成果,也得到了浙江省高校人文社会

科学重点研究基地 (浙江工商大学统计学) 资助. 尽管在撰写过程中做了很多努力, 但由于水平有限, 书中难免存在疏漏, 敬请广大同行和读者批评指正. 另外, 本书方法和模型及其实证分析的相关研究还在不断的深入研究中, 相关研究成果将陆续发表.

作者

2017 年 12 月 1 日

目 录

前言	
第一章 绪论	1
(一) 研究背景	1
(二) 研究意义	4
(三) 国内外研究现状	5
(四) 研究内容	10
(五) 研究目标、研究思路与研究方法	13
(六) 研究工作创新性与特色说明	14
第二章 直觉模糊集成算子研究	16
(一) 直觉模糊集理论	16
(二) 直觉模糊有序加权平均-加权平均集成算子	23
(三) 直觉模糊依赖型集成算子	30
(四) 基于置信水平的直觉模糊集成方法	40
(五) 指标具有相互关联的直觉模糊集成方法研究	46
第三章 直觉模糊距离测度研究	60
(一) 直觉模糊有序加权距离测度	60
(二) 直觉模糊混合加权距离测度及在群体共识中的应用	77
(三) 直觉模糊诱导有序加权距离测度	89
第四章 基于直觉模糊判断矩阵的交互式群评价方法	99
(一) 直觉模糊判断矩阵	99
(二) 交互式群评价的基本原理与方法	100
(三) 基于直觉模糊判断矩阵的交互式群评价方法	101
第五章 权重信息不完全的直觉模糊综合评价方法	117
(一) 基于投影法的专家权重未知的直觉模糊综合评价方法	117
(二) 指标权重未知的直觉模糊综合评价方法	124
(三) 部分权重信息下直觉模糊交互式综合评价方法	129
第六章 几类复杂直觉模糊综合评价方法	139
(一) 基于子群的直觉模糊链式评价方法研究	139
(二) 基于 IFPOWA 算子的 MULTIMOORA 直觉模糊综合评价方法研究	147

(三) 兼顾权威与共识的直觉模糊综合评价方法	156
第七章 基于区间直觉模糊的多指标综合评价方法	161
(一) 区间直觉模糊加权集成方法	161
(二) 区间直觉模糊信息测度方法及其应用研究	167
(三) 基于投影模型的区间直觉模糊评价方法	178
第八章 本书结论与展望	185
(一) 本书的主要研究成果	185
(二) 本书的主要贡献	186
(三) 本书的局限与后续研究工作建议	186
参考文献	188
索引	199

第一章 绪 论

(一) 研究背景

多指标综合评价作为人们日常生活、工作、学习的一项基本活动, 存在于我们和外部世界、事物发生联系的一切行动之中. 多指标综合评价技术是一种定量认识客观实际的手段, 能够使我们从纷繁的现象中把握事物的整体水平. 多指标综合评价技术是管理学方法体系的一个重要分支, 可广泛地应用于各类社会经济现象的定量综合评价活动中. 可以说各种评价活动已经渗入到社会生活的各个角落, 例如, 人们日常生活中经常遇到的判断问题: 同类食品中哪个品牌的好? 哪个高等院校的声望高? 哪家上市公司的绩效好? 哪个地区发展 (或建设) 得好? 等等. 对于食品品牌的判断就要综合比较各品牌的口感、营养成分、价格等方面的差别; 对于高校声望的判断就要综合考虑各高校的在校学生规模、教学质量、科研成果、校址的地理位置等方面的差别; 对于上市公司绩效的判断就要综合考虑企业的财务管理、营销管理、人力资源管理与开发等方面的差别; 对于国家或地区发展好坏的判断就要综合考虑经济、文化、社会、环境、生态等方面的差别. 还有诸如经济效益评价、市场化进程测评、信息化测评、竞争力评价、环境质量评价、小康社会评价、和谐社会评价等. 解决上述问题的过程就是一个多指标综合评价的过程, 也是一个有限方案的评价决策过程.

从 20 世纪 80 年代开始, 一些有影响的论文和专著逐渐面世, 例如, 苏为华^[1]的《多指标综合评价理论与方法研究》, 苏为华、陈骥、朱发仓^[2]的《综合评价技术的集成与扩展问题研究》, 邱东^[3]的《多指标综合评价的系统分析》, 秦寿康^[4]的《综合评价原理与应用》, 郭亚军^[5]的《综合评价理论、方法及研究》等一系列著作^[6~10], 在理论层面对多指标综合评价技术进行了系统的研究和探索. 应用层面的研究则更为活跃, 特定研究领域的多指标综合评价方法的应用已经成为学位论文的重要选题之一, 苏为华^[11]根据“中国博士学位论文全文数据库”及“中国优秀硕士学位论文全文数据库”的资料, 统计了 2002~2012 年来有关综合评价主题的学位论文数量, 达 3159 篇. 多指标综合评价方面的论文经过多年的发展, 基本形成多指标综合评价的研究体系, 而且评价方法也实现了多学科、多领域的交叉与整合.

多指标综合评价的新思想、新观点、新方法层出不穷、日渐增多, 近年来有复杂之势. 在传统的综合评价中, 评价指标、原始数据、指标权数、评价参数、评价结果等通常是以点值 (实数) 的形式表现的. 相应地, 综合评价模型与方法也大多是基

于这种“点值”的统计数据而设计的。但随着社会的发展、科学技术的进步,评价环境越来越复杂,评价者往往受到自身一些主观和客观因素的影响,如知识结构、判断水平和个人偏好等所做出的评价很大程度上具有不确定性或模糊性。另外,在日常生活中,由于模糊性现象大量存在于客观世界,评价和决策问题本身的模糊性使得人们所接触到的大量信息大多数都是模糊和不确定的,致使我们所要认识的对象的数量方面并非总是以“0 和 1”这种二值逻辑的形式表现的。例如,老年、青年这对概念,80 岁算老年,70 岁也算老年,但是 58 岁呢?20 岁算青年,那么 30 岁呢?40 岁呢?又如,居民收入有“高”“低”之分,年收入在 5 万元以上算高吗?年收入 10 万元以上算不算高?显然这些概念的外延边界十分模糊,高收入与低收入之间并没有截然明确的界限,老年与非老年之间同样没有明确的边界线。

1965 年,Zadeh^[12]提出了模糊集理论,将取值仅为 1 或 0 的特征函数扩展为可在闭区间 $[0,1]$ 中任意取值的隶属函数。这一理论的提出,为我们描述模糊现象提供了有效的方法和工具,该理论已应用于现代社会的各个领域。这对于实际多指标综合评价问题的发展具有重要意义,因为在很多情况下,被评价对象的某一方面价值水平的高低,本身就是模糊的。例如,在城市现代化水平评价中,何为现代化城市?人均 GDP (国内生产总值) 达到多少才叫现代化?生活环境处于何种状态才叫现代化?显然,这些都是模糊的概念,借助模糊数学的多指标综合评价方法就有可能解决这些实际评价问题。

模糊集的核心思想是把取值仅为 1 或 0 的特征函数扩展为可在闭区间 $[0,1]$ 中任意取值的隶属函数。然而,模糊集的隶属函数值仅仅是一个单一的值,模糊集采用单一标度(隶属度或者非隶属度)表示模糊现象的两个对立面。这一思路是建立在二分法的基础之上的,无法表达其中立状态(也就是既不支持也不反对)。可以说,模糊集只能描述“亦此亦彼”性,无法描述“非此非彼”性。

由于社会经济环境的日益复杂性和不确定性,人们在对事物的认知过程中,往往存在着不同程度的犹豫或表现出一定程度的知识缺乏,从而使得认知结果表现为肯定、否定或介于肯定与否定之间的犹豫性。例如,在各种选举投票事件中,除了支持与反对两个方面,经常有弃权情况发生。因此,传统的模糊集理论因其不能完整地表达所研究问题的全部信息而受到越来越多的制约和挑战。

Atanassov^[13,14]对传统的模糊集进行了拓展,提出了直觉模糊集的概念。由于直觉模糊集同时考虑了隶属度、非隶属度和犹豫度这三个方面的信息,可以同时表述支持、反对、中立三种状态,克服了模糊集二分法的局限,把“非此非彼”性也包含在内,因此它比传统的模糊集能够更细腻地描述和刻画客观世界的模糊性本质。这也符合中国传统哲学重视两个极端状态之间的中间状态的思想。作者认为,这种基于直觉模糊信息的评价技术是有着广泛的应用领域和应用前景的。一方面,从数据采集工作的非全面、评价参数信息的不充分性、主观评分的指标、原始数据中的

质度变量 (具有程度差异的定性变量) 以及指标权重的模糊性等方面来看, 直觉模糊形式的数据表达格式更加符合综合评价的实际情况. 另一方面, 综合评价反映的是一个价值判断的认识过程, 因此对于一个综合评价体系而言, 提供一个三参数的直觉模糊数方式表达的评价结果在许多场合比提供一个点值的评价结果更加令人信服和可接受. 这时, 用直觉模糊集来表达评价者的这种评价信息就相当合适. “实数”“模糊数”与“直觉模糊数”三种评价数据之间的关系见图 1-1.

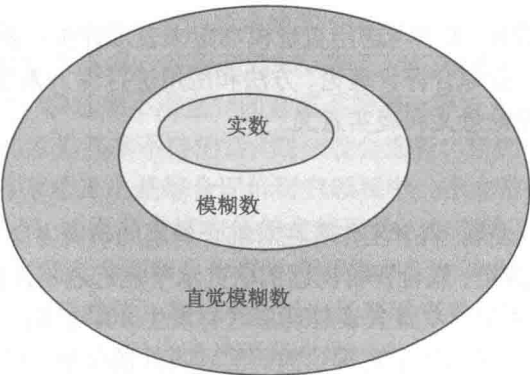


图 1-1 三种评价数据之间的关系

对于“数”与“多指标综合评价”两者的关系, 可以这样形容: “数”是多指标综合评价方法的根, 是多指标综合评价活动进行的前提, 而多指标综合评价活动反过来是“数”的结果承载形式. 具体展开来说, 多指标综合评价活动包含了指标体系的设计与筛选、指标数据的收集与整理以及评价结果的分析. 这三个过程都是基于“数”的过程, 都是通过“数”蕴含的实际意义的变化来分析、解释现实现象. 反过来, “数”只有通过多指标综合评价活动才能体现出其存在的必要性. 因为综合评价活动通过对客观存在的评价对象做出分析、评价, 以及给出结论, 所以其有明显的现实意义, 作为“数”的结果承载形式, 它赋予了“数”背后的含义, 离开多指标综合评价活动的背景, “数”将成为纯粹的、数学上的“数”, 失去价值性的特点.

随着“数”的结构与形式越来越复杂, 多指标综合评价方法的发展也将越来越快, 而且这种发展是颠覆性的. 主成分分析、数据包络分析、模糊评价等现代多指标综合评价方法将不断发展, 对于单指标评价技术也会有所促进. 进一步地考虑到大数据的背景, 多指标综合评价的方法首先是朝着能处理更多、更复杂数据的方向发展的.

近 20 多年来, 有关直觉模糊集理论的研究已受到国内外相关领域学者的极大关注, 并且已被应用于决策分析、医疗诊断、逻辑规划、模式识别、机器学习和市场预测等诸多领域^[15]. 随着对直觉模糊集理论研究的不断深入及应用范围的不断

扩展, 研究基于直觉模糊信息的综合评价理论与方法显得越加重要. 然而基于直觉模糊的特征进行综合评价, 国内外尚无该方面的系统研究, 本书将致力于把直觉模糊型数据形式应用到多指标综合评价的系统研究中去, 希冀能为多指标综合评价的发展尽自己的一点微薄之力.

(二) 研究意义

基于上述研究背景, 本书考虑用直觉模糊集来表示评价信息的不确定性, 对直觉模糊环境下的多指标综合评价理论、方法和应用进行深入系统的研究, 因而本书的研究具有重要的理论意义和现实意义.

1. 理论意义

经过近几十年的发展, 科学工作者在对综合问题的研究方面已经取得了很大进步, 但就其研究现状来看, 综合评价问题的研究水平还远远不能满足时代发展的需要, 评价结果与事实不符、决策失误等现象时有发生. 其根本原因在于大多数研究者只注重方法的应用, 而忽视了对理论的研究和方法的创新. 有些研究成果只注重确定性因素的影响, 而忽略了不确定性因素的存在, 从而影响了评价的科学性. 这主要是由于多年来, 人们习惯于确定性因素的分析方法, 在面对真实含义不是很清楚的不确定性因素时, 没有前期的理论和方法可供参考, 从而难以开拓新的研究途径, 大多利用研究确定性因素的方法进行处理, 得到一些近似的结果, 这是很难达到理想水平的.

可以说, 对综合评价问题的研究, 特别是基于不确定环境下的模糊综合评价的研究是推动综合评价与现实决策问题进一步相结合的必然趋势. 理论层面上一些学者已经充分认识到这个问题的重要性, 并且开始着手这方面的研究. 例如, 陈骥^[9]对基于区间信息的综合评价问题进行深入研究, 提出了几种新的排序方法, 为区间数综合评价问题的排序方法研究奠定了理论基础; 孙利荣^[10]对函数型数据的综合评价问题进行了系统分析和研究.

Atanassov^[13,14]于1986年提出了具有更强表达力和灵活性的直觉模糊集, 并且在评价与决策领域、医疗诊断、模式识别等方面得到了广泛应用. 从已有的成果来看, 大多是针对基于区间数、模糊数、语言信息的综合评价问题进行演绎, 但基于直觉模糊信息评价方法的研究尚不多见. 而且, 虽然依靠统计技术、模糊数学理论和计算机技术, 逐渐解决了几类不确定信息下的多指标综合评价问题, 但是通过对已有研究文献的梳理, 不难发现这一领域还有许多深层次的理论、方法问题有待进一步研究和探讨.

本书正是在此背景下, 综合运用统计理论、系统科学、模糊数学、运筹学、优

化理论和技术、计算机科学等多学科知识,对直觉模糊不确定信息综合评价问题的理论和方法进行系统研究,丰富和完善模糊综合评价的理论和方法,提出一系列综合评价方法,来增强模糊综合评价算法的实用性和灵活性,为不确定环境下的综合评价问题开创一个崭新的研究视角,也为未来该问题的进一步研究提供一些有益的参考和借鉴。

2. 现实意义

由于评价问题和评价对象本身的复杂性和不确定性及人类思维的模糊性,往往存在不同程度的犹豫或表现出一定程度的知识缺乏,在这种情形下,专家可能更喜欢用“喜欢或不喜欢”“满意或不满意”“同意或不同意”等方式给出自己的意见。如果专家连上述形式的意见都拿不准的话,则一般会选择“弃权”的方式。因此,如何集成上述形式的专家意见也是综合评价研究领域中的一个非常有意义的研究课题。事实上,在这种情形下,根据直觉模糊集的隶属函数、非隶属函数、不确定函数的含义,可以将上述专家意见分别转化为直觉模糊集中三个函数的函数值,从而构造出反映专家意见的直觉模糊集。本书系统提出了基于直觉模糊的多指标综合评价方法,得到了一些具有实际应用价值的研究成果,可以为政府、企业等组织决策的科学性、合理性和有效性提供有力的数值分析和方法支持。通过大量算例,将直觉模糊不确定的综合评价方法应用于社会经济生活和各种实际评价决策问题中,辅助相关管理人员进行决策,这对于提高决策质量、降低决策风险具有非常重要的实际意义。

(三) 国内外研究现状

基于直觉模糊信息的多指标综合评价问题是当前模糊综合评价理论的一个研究热点,本节简要概述国内外学者相关的主要研究成果,大体分为以下四个方面。

(1) 直觉模糊信息集成方式研究。信息集成是综合评价理论研究的一个重要领域,为了得到每个方案的综合评价价值,我们需要集成各个评价者对每个方案的评价价值,因此信息集成是综合评价必不可少的工具。近年来,基于直觉模糊信息的集成方法越来越受到广泛关注。Xu^[16]将经典的信息集成算子,即算术加权平均(AWA)算子和有序加权平均(OWA)算子^[17],推广到直觉模糊集,提出直觉模糊加权平均(IFWA)算子、直觉模糊有序加权平均(IFOWA)算子和直觉模糊混合平均(IFHA)算子,并研究了它们的性质。后来一些学者对其进行了拓展和丰富,如Xu和Yager^[18]给出直觉模糊加权几何(IFWG)算子、直觉模糊有序加权几何(IFOWG)算子和直觉模糊混合几何(IFHG)算子,并研究了它们的性质。此外,他们还将IFHG算子应用到直觉模糊多指标(属性)综合评价问题中。Wei^[19]拓展了

诱导有序加权几何 (IOWG) 算子在直觉模糊和区间直觉模糊集中的应用, 提出两个新的集成算子, 即导出直觉模糊有序加权几何 (I-IFOWG) 算子和导出区间直觉模糊有序加权几何 (I-IIFOWG) 算子, 来分别进行直觉模糊和区间直觉模糊信息集成, 并研究了它们的性质及其在直觉模糊多属性群决策问题和区间直觉模糊多属性群决策问题中的应用. Zhao 等^[20] 拓展了广义有序加权平均 (GOWA) 算子在直觉模糊和区间直觉模糊集中的应用, 提出一些新的广义集成算子, 如广义直觉模糊加权平均 (GIFWA) 算子、广义直觉模糊有序加权平均 (GIFOWA) 算子、广义直觉模糊混合平均 (GIFHA) 算子、广义区间直觉模糊加权平均 (GIIFWA) 算子、广义区间直觉模糊有序加权平均 (GIIFOWA) 算子、广义区间直觉模糊混合平均 (GIIFHA) 算子等, 并将它们应用到直觉模糊多属性决策和区间直觉模糊多属性决策问题中. Xu 和 Yager^[21] 给出两种新的集成算子, 即动态直觉模糊加权平均 (DIFWA) 算子和不确定动态直觉模糊加权平均 (UDIFWA) 算子, 来分别进行动态 (多决策时段) 的直觉模糊信息和区间直觉模糊信息集成, 并基于这些算子分别建立了动态多属性决策方法和不确定动态直觉模糊决策方法. Zeng 和 Su^[22] 提出直觉模糊有序加权距离 (IFOWD) 算子, 并研究了其性质和在群体决策中的应用. 为了反映决策者的风险偏好, Liu 和 Wang^[23] 给出一种直觉模糊点运算并应用于多准则决策. 基于 Einstein 模, Wang 和 Liu^[24] 给出一种新的直觉模糊决策信息集成规则. 基于阿基米德 T 模和 S 模, Beliakov 等^[25] 给出两种直觉模糊运算规则. 此外, 考虑到评价指标存在关联的情况, 相关学者将 Choquet 积分应用到直觉模糊信息集成中, 提出一些新的集成算子, 如直觉模糊 Choquet 平均 (IFCA) 算子^[26]、直觉模糊 Choquet 几何 (IFCG) 算子^[27], 这些算子不仅考虑了指标本身或顺序的重要性, 还反映了指标本身或顺序的关联性. 通过客观确定集成数据的权重信息, Xu 和 Yager^[28], Xu^[29] 分别给出直觉模糊 Bonferroni 集成算子和直觉模糊幂均融合算子.

(2) 直觉模糊信息测度研究. 距离测度和相似度是直觉模糊集理论中非常重要的两个信息度量工具, 已被广泛应用于各个领域, 如模糊识别、医疗诊断、聚类分析、图像处理和决策分析等. 寻求一个合理又有效的测度方法是近年来直觉模糊集理论研究的热点课题, 引起了广大研究人员和学者的关注. Bustince 和 Burillo^[30] 定义了两种直觉模糊集距离测度, 即标准 Hamming (汉明) 距离和标准欧氏 (Euclidean) 距离. 然而这两种距离测度没有考虑犹豫度, 仅考虑了直觉模糊集中的隶属度和非隶属度. Szmidt 和 Kacprzyk^[31] 从直觉模糊集的几何解释出发, 建议将犹豫度考虑在直觉模糊集距离测度中, 并对上述标准 Hamming 距离和标准 Euclidean 距离作了修正, 给出基于隶属度、非隶属度和犹豫度的距离测度. 基于 Hausdorff 距离, Grzegorzewski^[32] 定义了区间值模糊集之间的距离. Li 和 Cheng^[33] 给出直觉模糊集的相似度公式, Liang 和 Shi^[34] 证明该相似度存在的局限性并给出新的直觉模糊相似度公式. Mitchell^[35] 从概率角度修正了 Li 和 Cheng 的相似度公式并将其应

用于模糊识别. Hung 和 Yang^[36~38] 分别从不同的距离公式定义了带有参数的直觉模糊相似度公式. Li 等^[39] 对直觉模糊集的相似度公式进行了比较和总结. Xu 和 Chen^[40] 基于不同的距离公式, 建立了一系列直觉模糊集和区间直觉模糊集的相似度公式. Liu^[41] 系统地给出模糊集的熵、距离和相似度的公理, 并讨论了它们之间的关系. Ye^[42] 把模糊集上的余弦相似度公式拓展到直觉模糊集上, 并和现有的直觉模糊相似度公式进行了对比分析. 基于有序距离测度的思想^[43,44], Zeng 和 Su 提出直觉模糊有序距离测度^[22] 和直觉模糊混合距离测度^[45].

(3) 交互式群综合评价方法研究评述. 文献 [46] 提出基于目标达成度和目标综合度的交互式多目标决策方法. 文献 [47] 利用目标方案与正理想点和负理想点的夹角余弦, 定义了目标贴近度, 进而提出一种基于目标贴近度的多目标决策方法. 文献 [48] 提出一种基于目标贴近度和目标满意度的交互式多目标决策方法. 文献 [49] 提出一种自收敛算法的交互式决策方法. 文献 [50] 提出一种迭代算法, 能自动完成个体意见的一致化, 不需要专家修改决策信息. 文献 [51]~[53] 针对决策者给出对方案的偏好是判断矩阵形式的决策问题来进行研究, 其中文献 [51] 研究交互式决策中专家动态权重及其确定方法, 以共识度水平作为判断交互式决策是否终止的依据, 在满足共识度水平的要求之前, 每轮决策均要求权重最小的专家重新给出判断矩阵, 然后据此得出新一轮决策的专家权重和共识度水平, 依此循环直至满足共识度要求. 文献 [52] 给出一种基于残缺互补判断矩阵的交互式群决策方法. 文献 [53] 研究两类残缺区间数判断的偏好集成, 提出一种不同残缺偏好信息的交互式群决策方法. 文献 [54]~[60] 主要研究决策者给出的决策矩阵为精确数、三角模糊数和混合信息的多属性决策问题, 其中文献 [54] 针对决策者效用信息、属性权重信息以及决策者的权重信息均不完全的情况, 给出一种基于数学规划模型的交互式多属性群决策方法. 文献 [55] 提出基于方案达成度和方案综合度的交互式多属性决策方法. 文献 [56] 针对一类指标 (属性) 权重部分已知, 评价者的权重为精确数或三角模糊数, 指标评价值为三角模糊数的多属性群评价问题, 提出一种基于拓展的 TOPSIS 方法和混合加权平均算子的交互式多属性群评价方法. 文献 [57] 提出一种多轮交互逐步逼近满意解的多属性群决策的综合方法, 运用扩展的 TOPSIS 方法对备选方案排序, 并设计了群体满意度等软指标, 分析和判断群体意见一致性的达成, 最终通过计算得出群体满意的方案排序. 文献 [58] 研究属性权重、方案效用和决策者权重未事先确知的群体多属性决策问题, 通过方案之间的两两比较, 确定方案间的偏爱强度区间, 借助于一致性检验和净偏爱强度, 构造了一种交互式的群体多属性决策方法. 文献 [59] 对混合型多属性群决策群体一致性问题进行了研究. 针对区间数、模糊数和语言决策信息, 文献 [60] 对基于有序加权距离测度群体一致性问题进行了研究. 文献 [61]~[64] 主要研究语言型多属性决策问题, 其中文献 [61] 提出一种部分权重信息下语言型多属性决策问题的交互式方法, 该方法通过不断地