

基于MCCPI的 综合评价理论 及其经济管理应用实例

武建章 周一萍 镇鹏 董俊婕 / 著

中国财经出版传媒集团

 经济科学出版社
Economic Science Press

基于 MCCPI 的综合评价理论 及其经济管理应用实例

武建章 周一萍 镇 鹏 董俊婕 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 MCCPI 的综合评价理论及其经济管理应用实例/
武建章等著. —北京: 经济科学出版社, 2018. 6

ISBN 978 - 7 - 5141 - 9221 - 6

I. ①基… II. ①武… III. ①企业管理 - 经营决策 -
研究 IV. ①F272. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 076754 号

责任编辑: 周国强

责任校对: 杨 海

责任印制: 邱 天

基于 MCCPI 的综合评价理论及其经济管理应用实例

武建章 周一萍 镇 鹏 董俊婕 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcs. tmall. com](http://jjkxcs.tmall.com)

固安华明印业有限公司印装

710 × 1000 16 开 15.75 印张 280000

2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 9221 - 6 定价: 78.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn)



武建章

管理学博士，宁波大学商学院副教授，讲授了《运筹学》《管理信息系统》《决策支持系统》《智能算法及应用》《信息经济学》等本科与研究生课程。主要研究方向为多准则决策、综合分析与评价，先后在*IEEE Transactions on Fuzzy Systems*、*Fuzzy Sets and Systems*、*Information Sciences*和《系统工程理论与实践》等期刊上发表学术论文多篇，国家级出版社出版专著4部。主持或完成了国家自然科学基金青年项目、面上项目，中国博士后科学基金项目，浙江省哲学社会科学规划重点项目，浙江省自然科学基金等多个项目。

周一萍

宁波大学商学院研究生。

镇 鹏

宁波大学商学院研究生。

董俊婕

宁波大学商学院研究生。

基于MCCPI的
综合评价理论
及其经济管理应用实例

封面设计：陈宇琰

前 言

随着社会经济环境的日益复杂，人们在决策或综合评价时经常要涉及多个相互关联的决策或评价准则，需要综合考虑各个方案在关联准则上的评价信息。如何合理描述普遍存在于准则间的相互关联关系，并有效集成这些准则上的关联评价信息就成了多准则决策与综合评价方法的主要任务。

基于非可加测度和非线性积分的信息集成与分析模式是实现上述关联多准则决策与评价的有效途径之一。非可加测度拓展自经典可加测度（即准则权重向量），可以柔性描述决策准则间任意（互补、冗余、独立）关联关系。而拓展自经典勒贝格积分（即加权算术平均）的非线性积分，包括肖凯积分（Choquet integral）、菅野积分（Sugeno integral）、泛积分等诸多形式，可以灵活有效地集成关联决策与评价信息。在诸多非线性积分中，因肖凯积分具有很好的公理化特性和集成函数性质，被广泛采纳并应用于多准则决策与综合评价。

非可加测度确定方法是这一决策与评价模式理论研究与实践应用的核心问题之一。非可加测度确定方法基于评价者对评价准则的相对重要性及交互作用程度的主观判断信息来确定出最合适的非可加测度。评价者的主观判断信息可以分成隐性偏好信息和显性偏好信息两类，隐性偏好信息通过一些典型决策实例的综合评价值来间接反映评价者对准则间重要性和关联程度的判断和偏好，而显性偏好信息则是对准则间重要性和关联程度的直观表述。多准则关联偏好信息（multiple criteria correlative preference information, MCCPI）就是一类特殊的显性关联偏好信息。

本书旨在系统总结基于评价者显性偏好信息的非可加测度确定方法及其多准则关联决策与综合评价理论与方法，并选取经济管理领域中的典型案例来实例分析基于 MCCPI 这一特殊显性偏好信息的综合评价理论与方法，以期丰富多准则决策与综合评价的理论方法体系和实践应用范围。

本书内容包括以下三个部分。

第一篇是基础理论。首先，介绍非可加测度的定义及其等价表示形式、非线性积分的各种类型。介绍特殊类型非可加测度的定义，并分析其数学性质及其适用的决策情境，说明沙普利（Shapley）重要性及交互作用指标的多准则决策与评价分析的适用性。其次，综述基于隐性和显性偏好信息的非可加测度确定方法。基于隐性偏好信息的确定方法包括最小二乘法、最大分割法、TOMASO 法、最大熵方法等方法。基于显性偏好信息的确定方法包括基于菱形成对比较法的一系列非可加测度确定方法。

第二篇是基于 MCCPI 的决策与评价方法。阐述 MCCPI 及其关联多准则综合评价理论与方法。介绍 MCCPI 这一特殊关联偏好信息的定义和数学性质，MCCPI 的获取途径与方法，基于 MCCPI 的多种非可加测度确定方法，以及基于 MCCPI 的关联多准则决策与综合评价方法的计算步骤和实施过程。

第三篇是经济管理应用实例。详述基于 MCCPI 的综合评价方法的各应用实例。选取了区域可持续发展、智慧城市、电子商务、上市公司绩效、自然资源离任审计、农村金融效率等经济管理领域中典型实例，来详细介绍基于 MCCPI 的综合评价方法的实施步骤、评价结果分析和对策建议。

本书受到国家自然科学基金项目（71671096、71201110）、浙江省自然科学基金（LY16G010001）、浙江省哲学社会科学规划重点课题（16NDJC017Z）、宁波大学与中国社科院合作共建中心预研究项目（ZX2015000099）、宁波大学商学院精品学术著作项目、2017 年度宁波大学大学生科技创新（SRIP）项目的支持与帮助。

在本书相关实例文献调查、数据整理和结果分析等方面，董俊婕、陆玉文、蔡慧琴、闫雨濛、傅伟伟、刘叶、周一萍、镇鹏等研究生做了大量的工作和努力。

在此，还向本书撰写和出版过程中给予帮助和支持的同仁、朋友和家人表示感谢。

限于作者的学识与水平，书中难免存在错误和纰漏，恳切希望批评指正。

| 第 1 章 | 绪论 / 1

- 1.1 国内外研究现状分析 / 2
- 1.2 本书的主要内容与体系 / 9

第一篇 基础理论

| 第 2 章 | 非可加测度与非线性积分 / 13

- 2.1 非可加测度的定义及其表示形式 / 13
- 2.2 非线性积分的类型 / 15
- 2.3 概率型交互作用指标及其公理化特征 / 17
- 2.4 非线性积分的集成特性 / 20
- 2.5 特殊类型的非可加测度 / 22

| 第 3 章 | 基于隐性偏好信息的非可加测度确定方法 / 38

- 3.1 最小二乘法 / 40
- 3.2 最大分割法 / 45
- 3.3 TOMASO 方法 / 47
- 3.4 最大熵方法 / 51

3.5 Kappalab 软件包及应用 / 55

| 第 4 章 | 基于显性偏好信息的非可加测度确定方法 / 58

- 4.1 菱形成对比较方法 / 58
- 4.2 基于 DPC 的 2 序可加测度确定方法 / 61
- 4.3 基于 DPC 与最大熵原则的 2 序可加测度
 确定方法 / 66
- 4.4 基于 AHP 的 2 序可加测度确定方法 / 69

第二篇 基于 MCCPI 的决策与评价方法

| 第 5 章 | MCCPI 及其获取工具 / 75

- 5.1 细化偏好菱形 / 75
- 5.2 二维 MCCPI 刻度表 / 78
- 5.3 数值算例 / 79

| 第 6 章 | 基于 MCCPI 的 2 序可加测度确定方法 / 83

- 6.1 1 序可加测度确定方法 / 83
- 6.2 2 序可加测度确定方法 / 84
- 6.3 数值算例 / 88

| 第 7 章 | 基于 MCCPI 的一般非可加测度确定方法 / 95

- 7.1 算法模型及步骤 / 95
- 7.2 数值算例 / 97

第三篇 经济管理应用实例

| 第8章 | 基于 MCCPI 的舟山群岛可持续发展能力综合评价 / 105

- 8.1 引言 / 105
- 8.2 文献综述 / 106
- 8.3 指标体系构建 / 108
- 8.4 评价过程 / 111
- 8.5 结论 / 121

| 第9章 | 基于 MCCPI 的 B2C 电子商务网站用户体验综合评价 / 124

- 9.1 引言 / 125
- 9.2 文献综述 / 126
- 9.3 指标体系构建 / 128
- 9.4 评价过程 / 130
- 9.5 结论 / 137

| 第10章 | 基于 MCCPI 的宁波市智慧城市发展水平综合测度 / 140

- 10.1 引言 / 141
- 10.2 文献综述 / 142
- 10.3 指标体系构建 / 143
- 10.4 评价过程 / 146
- 10.5 结论 / 155

第 11 章	基于 MCCPI 的汽车整车业上市公司绩效的综合评价 / 158
	11.1 文献综述 / 158
	11.2 指标体系构建 / 160
	11.3 评价过程 / 161
	11.4 结论 / 170
第 12 章	基于 MCCPI 的自然资源资产离任审计综合评价 / 172
	12.1 文献综述 / 172
	12.2 指标体系构建 / 174
	12.3 评价过程 / 176
	12.4 结论 / 186
第 13 章	基于 MCCPI 的 A 区农村金融效率综合评价 / 187
	13.1 文献综述 / 188
	13.2 指标体系构建 / 189
	13.3 评价过程 / 191
	13.4 结论 / 199
第 14 章	基于 MCCPI 的共享单车企业竞争力评价 / 201
	14.1 引言 / 202
	14.2 文献综述 / 203
	14.3 指标体系构建 / 204
	14.4 评价过程 / 206

14.5 结论 / 212

| 第 15 章 | 基于 MCCPI 的港口企业竞争力评价研究 / 214

15.1 引言 / 214

15.2 文献综述 / 215

15.3 指标体系构建 / 217

15.4 评价过程 / 220

15.5 结论 / 225

参考文献 / 228

第 1 章

绪 论

随着社会经济环境的日益复杂，人们在决策或综合评价时经常要涉及多个相互关联的决策或评价准则，需要综合考虑各个方案在关联准则上的评价信息。如何合理描述普遍存在于准则间的相互关联关系，并有效集成这些准则上的关联评价信息就成了多准则决策与综合评价方法的主要任务。

基于非可加测度和非线性积分的决策与评价模式是实现上述任务的有效途径之一。非可加测度，拓展自经典可加测度（即决策准则的权重向量），可以柔性描述决策准则间任意（互补、冗余、独立）关联关系。而拓展自经典勒贝格积分（即基于决策准则权重向量的加权算术平均算子）的非线性积分，包括肖凯积分、菅野积分、泛积分等诸多形式，可以灵活有效地集成关联决策与评价信息。在诸多非线性积分中，因肖凯积分具有很好的公理化特性和集成函数性质，被广泛采纳并应用于多准则决策与综合评价理论与实践。但是，在实际应用中，这一模式需要对每个决策准则子集的测度进行赋值，面临着指数级复杂性，极大地限制了其实际应用能力。

为克服这一指数级复杂性，学者们进行了两个方面的工作。

一方面，提出了多种特殊类型的非可加测度，来减少所涉及参数的数量。例如， λ -测度只需要 n 个参数，但表述能力存在极大缺陷。其后提出的可分解测度，可能性测度，及其对偶测度——必要性测度，也面临着类似情况。现在常用的 k 序可加测度、 p 对称非可加测度、 k 宽容与 k 不宽容非可加测度等则在减少参数的同时保留了较好的表述能力。

另一方面，大量的文献对非可加测度确定方法进行了研究。综合来看，

非可加测度的确定方法可以分成基于隐性和显性偏好信息两类。

基于隐性偏好信息的确定方法以历史决策数据构成的训练集为基础，利用遗传算法、最小二乘法、梯度下降法、最大分割法等优化算法生成非可加测度。训练集由典型决策方案以及决策者对这些方案的期望评价或偏好序来构成，这些关于决策方案的偏好信息也可以看作是决策者对决策准则重要性和交互作用偏好信息的一种间接反映。从算法角度来看，这类方法是“有导师学习方法”，需要一定数量的历史决策案例才能模拟出决策者对关联决策准则的偏好信息。

基于显性偏好信息的确定方法则直接基于决策者对各决策准则相对重要性以及准则间关联关系的主观判断，不再需要决策方案训练集，只要求所求得的非可加测度能有效拟合决策者显性偏好信息。近年来国内外学者对这一类型的非可加测度确定方法有所侧重，出现了不少优秀的研究成果。

本书所研究的多准则关联偏好信息（multiple criteria correlative preference information, MCCPI）就是一类特殊的显性关联偏好信息。MCCPI 可以通过细化菱形形成对比较法和二维刻度表来获取，进而通过构建合适的变换公式、原则和模型将这些信息转换成最优非可加测度。本书重点介绍基于 MCCPI 的多种非可加测度确定方法及其关联多准则决策与综合评价理论与方法，并选择经济管理领域的一些典型综合评价问题来阐述该方法的应用步骤和结果分析。

1.1 国内外研究现状分析

1.1.1 非可加测度定义及其特殊类型

非可加测度（nonadditive measure），或称模糊测度（fuzzy measure），或称肖凯容度（Choquet capacity），以关于集合包含关系的单调性取代了经典测度可加性，单调性意味着子集的权重不能因为新准则的加入而减少。

对决策准则集的每一子集赋予测度值，虽能柔性的描述决策子集之间的各种交互作用，但也面临着指数级的复杂性。

为解决这一指数级复杂性,减少确定的参数数量,众多学者提出各种特殊类型的非可加测度。菅野 (Sugeno, 1974) 提出了满足 λ -可加性的 λ -测度。确定 λ -测度只需 n 个参数。但 λ -测度在表示能力方面存在着一个重要缺陷 (王熙照, 2008; 武建章和张强, 2014): 只能表示各准则间的一类交互作用,即要么全部准则间存在正的交互作用、要么全部为负的交互作用、要么全部彼此完全独立。扎德 (Zadeh, 1978) 提出了满足模糊可加性的可能性测度,及其对偶测度,必要性测度。确定这组对偶测度也只需 n 个参数。韦伯 (Weber, 1984) 拓展了以上两种特殊的非可加测度,提出基于 t -余模算子的可分解测度, λ -测度与可能性测度分别是满足 λ -和、逻辑和的可分解测度。确定可分解测度也只需 n 个参数,但存在着与 λ -测度类似的缺陷,极大地限制了非可加测度的表述能力。

为了减少所需参数的同时,能有效描述准则间的交互作用,格拉比施 (Grabisch, 1997) 从集函数的默比乌斯表示形式出发,提出了 k 序可加测度的定义。 1 序可加测度就是经典的可加测度,随着 k 的增加, k 序可加测度的参数增多,其表现能力会逐渐增加, n 序可加测度就是一般的非可加测度。 2 序可加测度在解决了算法复杂性的同时,很好地保证了测度的表述能力,因此在实际中有广泛的应用。米兰达等 (Miranda, Grabisch & Gil, 2002) 基于无差异子集的概念拓展了经典的对称测度,提出了 p 对称非可加测度,用于描述匿名决策等特殊的多准则决策类型。马里沙尔 (Marichal, 2007) 提出的 k 宽容与 k 不宽容非可加测度则分别描述只需要满足 k 个决策准则即可,不满足 k 个决策准则时即否决的决策环境。 k 宽容与 k 不宽容非可加测度是一组对偶测度。确定 k 序可加测度、 p 对称非可加测度、 k 宽容与 k 不宽容非可加测度这三类特殊测度时所需的参数数量与 k 或 p 的值有直接的关系 (武建章和张强, 2014)。

1.1.2 非线性积分的类型及其理论拓展

非可加测度柔性描述了关联决策准则的重要性及准则间的交互作用,而基于非可加测度的非线性积分则可以作为集成函数来得到各方案的综合评价值。

非线性积分是基于非可加测度的各种积分形式的统称。主要包括：肖凯积分 (Choquet, 1953)、菅野积分 (Sugeno, 1974)、泛积分 (Wang, Leung & Wong et al, 2000)、对称菅野积分 (Grabisch, 2003b)、(N) 模糊积分 (赵汝怀, 1981)、类肖凯积分 (Mesiar, 1995)、上积分 (Wang et al, 2000)、下积分 (Wang, Li & Lee et al, 2008)、可能性积分 (王熙照, 2008)、基于集合划分的非线性积分 (王熙照, 2008)、广义勒贝格积分 (Zhang, Mesiar & Li et al, 2011)、通用积分 (Klement, Mesiar & Pap, 2010) 等。

从结构形式上来看, 各种离散型非线性积分的主要区别体现在其涉及的数学运算上。例如, 菅野积分涉及“取大”与“取小”两种运算, 肖凯积分涉及“加”和“乘”运算, 泛积分涉及“泛加”与“泛乘”运算, 广义勒贝格积分则涉及“伪加”与“伪乘”运算。在诸多非线性积分形式中, 菅野积分和肖凯积分具有良好的集成性质 (Grabisch & Raufaste, 2008; Marichal, 2000a, 2000b; Marichal, 2001)。

在诸多非线性积分形式中, 肖凯积分和菅野积分在多准则决策分析中有较为广泛的应用 (Grabisch, 1995a, 1996; Grabisch, Sugeno & Murofushi, 2000b)。肖凯积分是于 1953 年由学者肖凯提出 (Choquet, 1953)。施迈德勒 (Schmeidler, 1986, 1989) 于 1986 年对肖凯积分进行研究并应用于不确定性决策, 并于 1989 年对其特征进行公理化描述, 为后续研究提供了较好的理论基础。室伏与菅野 (Murofushi & Sugeno, 1989) 对肖凯积分可以作为一种基于非可加测度的非线性积分形式进行了解释。菅野积分于 1974 年由日本学者菅野提出。自 1985 年以来, 该积分被推广应用于木材质量评估 (Ishii & Sugeno, 1985)、工业产品设计评价 (Knoue, Anzai & Tsuchiya, 1992)、核能源应用的公众态度评估 (Onisawa, Sugeno & Nishiwaki et al, 1986)、彩色图像的主观评估 (Tanaka, Kazuhiko & Michio, 1991) 等多准则决策分析领域。格拉比施 (Grabisch, 1995a, 1996) 对这两种积分与传统的集成函数之间的关系进行分析, 并对它们在多准则决策中应用进行回顾与总结。自此以后, 这两种积分在多准则分析领域, 尤其是多准则决策中的应用更加广泛 (Grabisch & Labreuche, 2008; Grabisch et al, 2000b)。马里沙尔 (Marichal, 2000a, 2000b, 2001) 对肖凯积分和菅野积分作为多准则决策分析中集成函数的集成性质进行了公理化描述。

对营野积分的理论拓展主要有两类方式：一是对“取大”和“取小”两种算子进行拓展，如替换为 t -余模或 t -模，得到泛积分 (pan-integrals) (Wang & Klir, 1992; Wang, Wang & Klir, 1996); 二是对非可加测度和被积分函数的值域进行各类模糊集合的拓展 (Zhanga & Guob, 1995; Zhang & Wang, 1993; Zhanga & Guo, 1995; Cho, Lee & Lee et al, 2001; Zhanga & Guob, 1995; Guo & Zhang, 1998; Ban & Fechete, 2007)。

肖凯积分的拓展情况类似于营野积分的拓展，也可以归结为两类：一是将传统的加、减运算进行拓展，如替换为 t -余模或 t -模，得到类肖凯 (Choquet-like) 积分；二是将其值域进行拓展，进而得到集值肖凯积分 (Jang, Kil & Kim et al, 1997)、区间值肖凯积分 (Zhang, Guo & Liu, 2004)、模糊值肖凯积分 (Wang, Yang & Heng et al, 2006)。

对肖凯积分的拓展还有一特殊的方向，即基于非单调非可加测度肖凯积分的拓展。非单调非可加测度 (Rong, Wangb & Henga et al, 2005) 是指非空有限集上空集函数值为零的集函数，不再强调其必须满足规范性和单调性。基于非单调非可加测度的肖凯积分不再满足递增性，被称为非单调肖凯积分 (Waegenaere & Wakker, 2001)。这类积分已拓展至区间值和模糊集合领域 (Meyer & Roubens, 2006; Yang, Wang & Heng et al, 2007)。

1.1.3 决策准则间的概率型交互作用指标

在现有的非可加测度理论框架下，准则间关联关系的类型和程度通常利用概率型交互作用指标 (Grabisch & Roubens, 1999b) 来显性刻画。

概率型交互作用指标主要是在合作博弈理论 (cooperative game theory) 环境下提出的，包括沙普利交互作用指标 (Grabisch, 1995a)、班茨哈夫 (Banzhaf) 交互作用指标 (Grabisch & Roubens, 1999b)、链 (chaining) 交互作用指标 (Marichal & Roubens, 1999)、默比乌斯表示 (Möbius representation) (Grabisch, Marichal & Roubens, 2000a)、交互作用量指标等主要类型。

在交互作用公理化特性研究方面，格拉比施与劳宾斯 (Grabisch & Roubens, 1999a) 则对沙普利交互作用指标和班茨哈夫交互作用指标进行了公理化描述，指出二者均满足线性公理、单调性公理、有效性公理、对称性