

Method of the Combination
Evaluation and Its Application

组合评价 方法及应用

张发明 著



科学出版社

组合评价 方法及应用

**Method of the Combination
Evaluation and Its Application**

张发明 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要分为五大部分：第一部分包括第1章，主要介绍组合评价的概念、组合评价类型的划分，并对经典组合评价的理论方法进行介绍与评述；第二部分包括第2章和第9章，主要是对组合评价的有效性和稳定性进行分析；第三部分包括第3章至第8章，主要是基于偏差熵的组合评价方法研究、融合相似性与差异性特征的组合评价研究、突出差异性和稳定性双重特征的组合评价研究、基于密度加权算子的组合评价研究、基于组合加权算子的组合评价研究、基于诱导密度算子的组合评价研究；第四部分包括第10章，主要是基于组合评价的实证研究；第五部分包括第11章，主要是对全书的总结和对今后研究的展望。

本书内容理论联系实践，内容新颖、丰富，不仅可以作为经济、管理和工业工程等专业的低年级本科生、研究生的教学参考用书，还可以为从事规划、评价等工作的理论工作者和实际工作者提供重要参考。

图书在版编目(CIP)数据

组合评价方法及应用 / 张发明著. —北京：科学出版社，2018.4
ISBN 978-7-03-053732-4

I. ①组… II. ①张… III. ①综合评价—研究 IV. ①F224.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 138697 号

责任编辑：马 跃 李 嘉 / 责任校对：王晓茜

责任印制：吴兆东 / 封面设计：润一文化

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年4月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2018年4月第一次印刷 印张：10 3/4

字数：216 000

定价：78.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

本书是在国家自然科学基金(编号: 71361021, 41661116)资助下的部分研究成果。

单一评价在社会、经济、管理及工程等领域有着广泛的应用背景,所以长期以来,该方向吸引着来自众多领域的大批学者的关注,迄今为止已取得较丰硕的研究成果,但在理论方面仍然存在着诸多的不足与挑战。组合评价是其中的一个重要研究方向。

随着人类活动日趋复杂,分工合作日益紧密,组合评价问题广泛存在于社会生活的各领域,组合评价具有不少优越性。首先,组合评价不仅能发挥各种单一评价方法的优势,而且能有效地弥补单一评价方法的劣势。其次,组合评价方法能够达到“ $1+1>2$ ”的效果,比单一评价方法更具有优越性,此外,组合评价方法能够避免人为因素对评价方法的选取进行操纵的可能性,更有利于得出公平、公正的结果,协调各方利益。因此,随着社会的发展,组合评价问题将会逐渐成为一种有效的评价形式存在于人类社会活动的各方面。特别是人类社会活动中一些重大评价问题,都将采用组合评价的解决方式,关于组合评价方法与应用研究已经引起人们的极大关注。本书系统地梳理和回顾组合评价理论与方法的发展历程,评述组合评价理论与方法存在的问题,并从组合评价方法的有效性分析、新的组合评价方法的提出、组合方法的稳定性分析和组合评价方法的实证研究这四个视角出发,对组合评价理论方法体系中的若干问题进行了尝试性研究与探索。

本书注重体系上的系统性、数学上的严谨性及内容上的可读性,突出对评价方法的分析、计算和对实证研究的对比分析。同时,为方便读者的阅读与学习,本书力求在保证体系完整的同时回避一些过分烦琐的数学证明,尽量给出实例,说明如何应用这些评价方法。

本书共分 11 章,第 1 章系统介绍组合评价的基本概念,对组合评价的概念及组合评价类型的分析进行阐述,从而使读者对本书所研究的组合评价有一个大致的了解。进一步对目前组合评价的理论方法进行文献综述,并针对现有的组合评价方法的研究进行评述,并对组合评价未来的可研究方向进行探讨,在此基础上提出本书的研究内容、思路与框架;第 2 章针对几种经典的组合评价方法的相对有效性进行研究,首先对有效性进行定义,并以此为依据对几种经典组合评价方法进行分析对比,得出排序结论,可为以后决策过程提供参考。第 3 章针对传统组合评价方法都只考虑偏差最小而忽略相容方法集质量特征的缺陷,探讨一种基于偏差熵的组合

评价方法；第4章针对组合评价的偏差最小化及差异最大化这两个主要目的，探讨一种融合相似性与差异性特征的组合评价方法，依据“横向求同、纵向求异”的新颖思想构建组合评价模型，最后，通过实际例子验证其有效性。第5章针对传统方法较少考虑组合评价的稳定性特征的不足，在传统的差异最大化的组合评价方法基础上，探讨一种突出差异性与稳定性双重特征的组合评价方法，并将其进行应用；第6章对传统的组合评价方法中所应用的一维密度算子进行拓展，探讨一种基于信息密度加权算子的组合评价方法，将二维密度算子应用于组合评价中，能够通过对相关参数的选择与调节以实现灵活集结的效果；第7章针对组合评价方法独有的特性，开发一种专门用于组合评价方法的信息集结算子——组合加权(combined weighted, CW)算子，能有效融合评价方法的同质性特征和异质性特征，并能够对评价信息进行二次集结，使最终评价结果更具稳定性；第8章对原有的应用于组合评价中的密度加权算子和组合算子进行拓展，探讨一种新的信息集结算子——诱导组合算子，其中的诱导组合分量能够有效融合评价方法的中心凝聚度和区分度的特征，具有直观明了的特点，在实际评价过程中具有一定的指导意义；第9章针对传统的组合评价方法较少考虑的稳定性，最终评价结果易受多种因素的影响，为了分析这些因素对评价结果的影响程度，有必要对组合评价方法的稳定性进行分析。首先，针对几种经典的组合评价方法，探讨一种综合方差均值和斯皮尔曼等级相关系数的稳定性测度方法，并以此为依据分别对这几种组合评价方法进行稳定性分析，最后给出相应结论；其次，针对基于CW算子的组合评价方法，从排序值角度探讨一种基于斯皮尔曼等级相关系数的稳定性测度方法，并对该方法以及平均值分别进行测度及对比分析；第10章结合理论联系实际的思想，将所提出的多种新的组合评价方法应用于实际的研究问题中，包括上市商业银行的绩效评价、互联网企业的信用评价及江西省重点开发区的经济发展指数评价，进一步验证新的组合评价方法的可行性和有效性；第11章对全书进行总结，并对下一步的研究进行展望。

本书组合方法模型、组合评价的稳定性分析及组合评价的实证分析的相关研究还在不断地深入，相关研究成果将会不断被发表。

在本书的编写过程中，我的研究生刘志平和王伟明等协助我做了大量工作，在此表示感谢！预祝他们在以后的学习、工作中顺利。另外，本书在撰写过程中参考了国内外大量的文献和研究成果，在此对相关的作者和研究人员表示诚挚的谢意。同时，对国家自然科学基金委员会的资助也表示衷心感谢。

本书研究面广，视角新颖。尽管在撰写过程中做了很大努力，但水平有限，书中难免存在问题和疏漏，敬请广大同行和读者批评、指正。

张发明

2018年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 组合评价的概念	1
1.2 组合评价的类型(模式)划分	2
1.3 组合评价理论方法综述 ^[2]	4
1.4 本书的研究意义及主要内容	16
1.5 本书研究的方法与思路	18
参考文献	19
第 2 章 几种组合评价方法的相对有效性分析	22
2.1 组合评价方法的相对有效性分析	22
2.2 几种常见的组合评价方法的相对有效性分析	25
2.3 本章小结	31
参考文献	31
第 3 章 基于偏差熵的组合评价方法及其应用	33
3.1 传统的组合评价模型	33
3.2 基于偏差熵的组合评价模型	34
3.3 算例分析	36
3.4 本章小结	38
参考文献	39
第 4 章 融合相似性与差异性特征的组合评价方法及应用	40
4.1 相似性特征组合评价模型	40
4.2 差异性特征组合评价模型	43
4.3 融合相似性与差异性特征的组合评价模型	44
4.4 算例分析	47
4.5 本章小结	49
参考文献	49
第 5 章 突出差异性与稳定性双重特征的组合评价方法	51
5.1 问题描述与基本思想	51
5.2 方法原理与算法	52
5.3 算例分析	57

5.4 本章小结	58
参考文献	58
第 6 章 基于信息密度加权算子的组合评价方法及其应用	60
6.1 问题描述	61
6.2 TDWA _{ce} 算子定义	61
6.3 基于 TDWA _{ce} 算子的组合评价信息集结	62
6.4 应用实例	65
6.5 本章小结	66
参考文献	67
第 7 章 基于 CW 算子的组合评价信息集结方法及应用	69
7.1 组合算子	70
7.2 基于 CW 算子的组合评价信息集结方法	73
7.3 算例分析	79
7.4 本章小结	82
参考文献	82
第 8 章 诱导组合算子及其在组合评价中的应用研究	84
8.1 问题描述	84
8.2 诱导组合分量的确定	86
8.3 基于诱导组合算子的信息处理流程	88
8.4 算例分析	92
8.5 本章小结	93
参考文献	94
第 9 章 几种组合评价方法的稳定性分析	96
9.1 几种经典组合评价方法的稳定性分析	96
9.2 基于 CW 算子的组合评价方法的稳定性分析	109
9.3 本章小结	119
参考文献	119
第 10 章 基于组合评价方法的实证研究	122
10.1 基于 CW 算子的上市商业银行绩效组合评价	122
10.2 基于偏差熵的互联网企业信用组合评价	136
10.3 江西省重点开发区经济发展指数组合评价	145
10.4 本章小结	159
参考文献	159
第 11 章 总结与展望	162

第1章 绪 论

组合评价是管理科学的一个重要研究内容，其理论和方法在政治、经济、文化和军事等领域的管理活动中都有很重要和广泛的应用，对管理决策、金融决策、投资决策、军事决策等实际问题均有重要的指导意义。由于各种方法的机理不同，方法的属性、层次相异，在应用各种方法进行评价时其结论往往存在差异。为了解决评价结论非一致性的问题，学术界提出了组合评价的研究思路。至今，关于组合评价的研究已经取得了丰富的成果。众多学者在评价方法权重的组合、评价结果的组合、评价方法本身的组合、评价方法的算子组合等分支领域都做了深入研究。现实生活中也存在着大量的应用组合评价方法的实践活动。不少有关绩效评价、竞争力评价、信用评价等的重大择优排序问题由于需要给出最为公正合理的结果，评价者必须兼顾到评价结果的客观性和全面性，为了避免单一评价方法的片面性，通常需要选取多种相容的单一评价方法进行组合评价。组合评价具有一定优势：①通过各种方法的组合，可以达到取长补短的效果。每种方法都有其自身的优点和缺点，它们适用的场合也并不完全相同。通过将具有同种性质的单一评价方法组合在一起，就能够使各种方法的缺点得到弥补，而同时兼有各种方法的优点；②通过各种方法的组合，可以利用更多的信息。不同的方法都是从不同的角度描述被评价对象的属性，一种方法只是反映事物的一个侧面，提供该事物的一部分信息，要反映事物的全貌必须从多角度、全方位进行研究，这样得到的信息就更能体现事物的本质和原貌；③通过组合可以得到一些良好的性质。组合中的各元素并不一定都具有某些优良的性质，但通过组合，却能得到一些良好的性质。因此，深入研究组合评价问题的基本理论及其方法应用具有重要意义。

1.1 组合评价的概念

在介绍组合评价概念之前，有必要先介绍一下综合评价的概念。郭亚军^[1]教授在《综合评价理论与方法》一书中对综合评价进行了定义，即综合评价是指对被评价对象所进行的客观、公正、合理的全面评价。目前，关于单一评价方法的研究已取得丰硕成果，据统计，国内外建立的单一评价方法已有数百种之多。单一评价是指从被评价对象主方中提取本质属性，使之转换成主观价值尺度，并用其度量被评价对象的行为过程，是根据确定的目标来测定被测对象的属性，并将

这种属性变成客观定量的评价值或主观效用的行为。凡是涉及优劣、贵贱、大小、美丑等比较判断的问题，都离不开综合评价的思想，可以说评价伴随着人类生活的始终。

通常，对于如人的身高、商品的价格、路程的长短等简单的判别问题，人们采用单一评价方法就能十分轻松、确定地给出答案。但是，当人们在进行重要问题的评价时，对评价结果的准确性、全面性的要求往往比较高。这时往往需要综合多种单一评价方法的结果，以得到更为科学的评价结果，这就构成了组合评价。现实生活中的各种复杂的问题，包括绩效评价、信用评价、生态评价、竞争力评价、创新能力评价等，不同的评价方法所得出的结论往往是不一致的。并且可以发现，由于每种评价方法的机理、出发点不同，单一评价方法只能从某一方面反映事物的情况。例如，客观评价方法通过各种数学模型完全地实现“让数据说话”，但其结论与实际的生活情况难免会有偏差；主观评价方法能综合各专家的意见并考虑现实情况，但是当各利益相关者的意见不一致时评价结果难以达成统一。在实际评价工作中，不同的利益相关者往往会为了达到想要的排序结果而对评价方法的选取过程进行操纵，毫无疑问，这使评价失去了应有的意义，同时也会使其他人的利益受损。为了达到公允的效果，有必要对多种评价方法进行组合，这样既能避免采取一种方法的片面性，又能防止评价者对单一评价方法的选取进行操纵。

1.2 组合评价的类型(模式)划分

组合评价方法是指通过对单一评价方法采用某种合适的方法进行组合，得出一个组合综合评价价值，然后按照组合综合评价价值的大小对研究对象进行评价的一种方法。根据组合的范围及组合的形式，组合评价方法可以分为广义组合评价方法与狭义组合评价方法。一般评价方法都包括了五个基本阶段，分为评价指标的选取、评价指标的无量纲化、评价信息的集结、评价结果的得出及评价结果的排序。与一般评价方法不同的是，组合评价方法还包括了两个步骤，即事前检验和事后检验。事前检验是指对多种单一评价方法进行筛选得出相容的方法集，事后检验是指对得出组合评价结果进行验证以确保组合评价方法的恰当性。在运用组合评价方法时，第一，要构建合适的指标体系，并进行数据的搜集和整理。第二，要根据研究对象选择多种合适的单一评价方法，至少选用一种主观赋权法和一种客观赋权法为宜，并通过计算得出结果。第三，进行组合评价的事前检验，当各单一评价方法在一定置信度水平下能通过检验时，则进行下一步组合评价。当不能通过事前检验时，则需要检验单一评价方法的计算结果，重新选择合适的单一评价方法直至能够通过检验。第四，根据构建的组合评价模型进行组合评价。第

五, 进行组合评价的事后检验, 当通过事后检验时, 则可进行组合评价的分析总结, 否则需要对模型的合理性及计算过程进行重新检查。具体如图 1.1 所示。

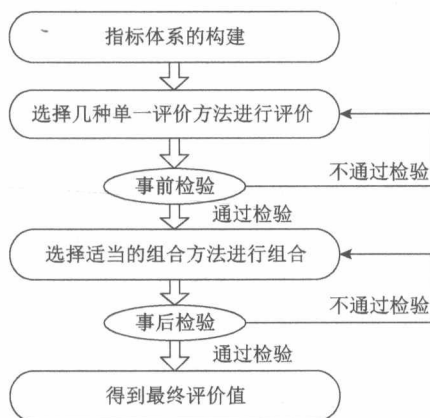


图 1.1 组合评价方法过程

根据组合评价的不同组合方式, 大致可以将组合评价方法分为三种类型, 即评价过程的组合、评价结果的组合及评价方法本身的组合。其中, 评价过程的组合和评价结果的组合都是属于狭义上的组合方法, 而评价方法本身的组合则是属于广义上的组合方法。

评价过程的组合主要指针对评价过程中某一环节的结果进行组合, 可以细分为无量纲化组合、赋权组合和算子组合。无量纲化组合是指对多种无量纲化方法进行组合, 包括线性无量纲化方法之间的组合、非线性无量纲化方法之间的组合及线性无量纲化方法与非线性无量纲化方法之间的混合组合。赋权组合主要是指对指标权重进行组合, 即首先采取多种单一评价方法对一个具有多属性指标的对象进行评价, 对不同指标赋予不同权重, 然后通过建立最优化数学模型, 来确定评价指标的组合权重以实现组合。这种方法在各类文献中比较多见, 具体可分为区分主客观权重的组合和不区分主客观权重的组合两类。算子组合的含义是指对多种信息集结算子进行组合, 以期得到更为稳健的集结值。

评价结果的组合是指选取多种单一评价方法对被评对象进行评价并得出评价结果, 再将评价结果进行不同的组合。按照评价结果的形式不同, 可分为排序值的组合和评价值的组合两类。

评价方法本身的组合即评价方法的集成, 是指广义上的组合。实质上是将多种评价方法思想融合开发出一种新型评价方法, 相比前两种, 第三种方法更为先进。主要可分为平行集成和嵌套集成两类, 其中, 平行集成中的每种单一评价方法的地位是平等的, 强调的是互相融合而达到优势互补的效果, 而嵌套集成中的多种单一评价方法具有主次之分, 一般由一个主体模型与多个辅助模型构成。

1.3 组合评价理论方法综述^[2]

在经济与管理活动中经常会遇到单一评价问题,如高校排名、项目择优、绩效评价等。单一评价是指在所构建的指标体系下遵循客观、公正、合理、全面的原则,进而对被评价对象进行评价^[1]。目前,对单一评价方法的研究已取得丰硕成果,据统计,国内外建立的单一评价方法已有数百种之多^[2]。按照赋权方法的不同可以将各种评价方法划分为主观赋权法如德尔菲法、层次分析法等和客观赋权法如主成分分析法、因子分析法、数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法等。Saaty^[3]教授首次提出了层次分析法,通过专家赋权的判断矩阵求取权重。Hotelling^[4]教授首次提出了主成分分析法,用较少的不相关的新变量替代原有变量,从而达到降维并保持大部分原始信息的效果。K. Pearson 和 C. Spearman 等提出了因子分析法,以较少的因子代表原有变量信息以实现降维,值得注意的是,因子具有一定的现实意义^[5]。Charnes 和 Cooper^[6]教授首先提出了 DEA 法,利用多项投入指标和产出指标间的对比来进行效率的测度。邓聚龙^[7]教授首次提出了灰色系统理论,创立了一种用于解决具有不确定性问题的新方法。此外,理想点法^①、熵值法、反向传播(back propagation, BP)神经网络法等也是应用的较为广泛的方法^[8-12]。理想点法是一种通过衡量评价值到各指标正、负理想点的距离来对各指标进行赋权的方法。熵值法的思想最早源于热力学,之后逐渐被引入到单一评价中用于度量权重所含有信息量的质量和大小,在数学规划中往往通过最大化熵值来构建目标函数。BP 神经网络法将大量信息处理单元相互连接,构建出一种非线性、自适应的智能人工神经网络系统,并模拟大脑的神经网络训练其进行信息处理和记忆的能力。

囿于篇幅,所有的单一评价方法不可能一一列出,只对一些常见且影响力较大的评价方法进行了介绍,具体可以参考李红等^[13,14]的相关综述文章。可以发现,由于人为选择的主观性,方法机理、分析视角的差异性,多种理论上可行的评价方法对同一对象的评价结论往往是不同的,即多方法评价结论存在非一致性问题^[15]。主观赋权法虽能利用专家的理论知识和丰富经验,但易受到人为主观判断的影响;客观赋权法虽能充分利用评价信息同时避免人为因素,但易受到数据随机误差的影响。事实上,主观赋权法和客观赋权法是属于两种评价机理不同的机制,互有长短,并不存在确定的衡量标准表明哪种方法更优或更劣;每种评价方法都各有侧重点,因此很难做到全面性评价;评价者在选取评价方法时也融入了个人偏好,这不可避免会导致其具有主观臆断性。因此为了排除采取单一方法评价时的各种不利因素,更好地综合单一评价方法的特点并达到优势互补的效果,众多学者们提出了“组合”的思想。结果表明,组合评价方法在解决评价结论非一致性问题

① 理想点法,也称逼近理想解排序法, technique for order preference by similarity to ideal solution, 即 TOPSIS。

上发挥着重大作用。陈国宏等^[16,17]利用漂移度假设对组合评价方法进行收敛性检验发现,经过多次组合后组合评价结果能最终趋于一致,这说明了组合评价方法比单一评价方法更具优势,评价结果更具有稳定性。徐强^[18]从经济学、信息学和博弈论角度对组合评价方法的研究意义进行了阐述,他认为通过各种方法的组合能够达到取长补短的好处,能从多角度、全方位对被评对象进行考察,且可以取得“ $1+1>2$ ”的系统效应。组合能减少系统误差和随机偏差发生的可能性,增强评价结果的稳健性,避免单一评价方法的片面性和不稳定性,对评价方法体系的完善具有一定的理论意义和实际意义^[19]。

通过网络检索可以发现,组合评价方法已被广泛研究且被采用,但目前对组合评价方法的研究进行概括性总结的文献却非常少;每一种组合评价方法之间都是零散且缺乏系统研究的,不少概念存在混淆,基于此,对各种组合评价方法研究进行细致梳理显得很有必要。本节将对组合评价主要分支领域的相关研究成果进行综述,主要从评价过程的组合、评价结果的组合和评价方法本身的组合等主要研究分支领域进行概要介绍;然后,对组合评价的研究现状进行综述;最后对组合评价理论方法的发展趋势进行评述。其一是可以帮助研究者了解现有组合评价方法的研究现状并把握未来研究方向,其二是可以帮助评价者迅速掌握每种组合评价方法的适用情况并发现其在发展过程中需重视的问题,本节针对组合评价问题从三个方面展开论述并进行归纳总结。

1.3.1 组合评价理论方法综述

国内外关于组合评价方法的研究进展不尽相同。图 1.2 列出了 1994~2014 年国内相关文献数量(在中国知网上以组合评价为关键词检索出的文献数量)和国外相关文献数量(在 Elsevier 数据库中以 combined evaluation 为关键词检索出的文献数量)的变动情况。

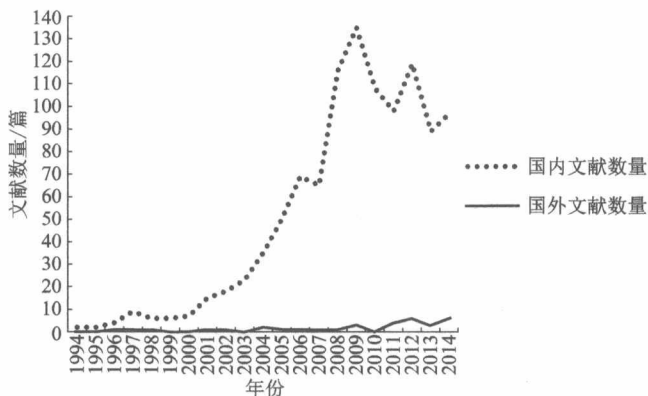


图 1.2 国内外关于组合评价的文献数量的比较

可以看出,国内关于组合评价的研究远多于国外,国内的相关文献数量最多可接近 140 篇,而国外文献数量最多不到 10 篇。此外,国内外研究的侧重点也有所不同。国外重点研究的是各单一评价方法的评价结论非一致性问题产生的内在原因,即通过一定方法来确定各单一评价方法对被评对象评价时的结果偏差,主要是采用计算机仿真等技术,具体可参考文献[20]、[21]。国内郭亚军教授也探讨了这方面问题,具体可参考文献[22],但国内研究并不局限于此。

为了更细致地分析国内关于组合评价的研究,图 1.3 列出了在中国学术期刊网中以组合评价为关键词进行搜索时,1994~2014 年的文献数量变化情况。

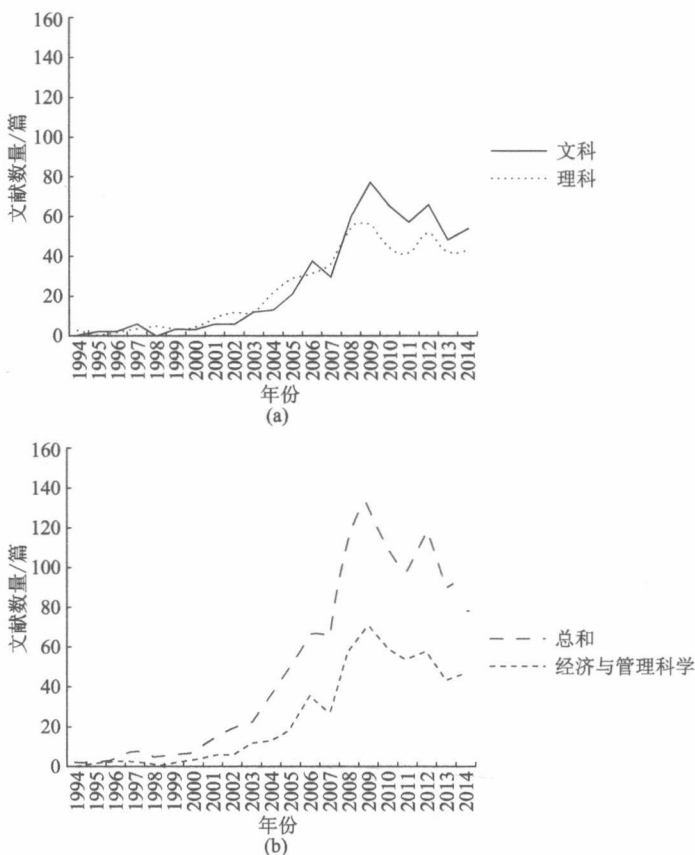


图 1.3 中国学术期刊网中以组合评价为关键词搜索出的文献数量

可以发现,1994~2014 年组合评价方面的文献数量总体呈上升趋势,且文科、理科及经济与管理科学增长趋势都与总和大体一致,这说明目前关于组合评价的研究已取得一定的成果并在各学科中得到了广泛应用。通过总结可以发现,组合评价方法大致可分为三类,即评价过程的组合、评价结果的组合和评价方法本身的组合。评价过程的组合即组合赋权,是指先选取多种单一评价方法对各指标进

行赋权,再通过一定的方法将指标权重进行组合,可分为区分主客观赋权法的组合和不区分主客观赋权法的组合两类;评价结果的组合是指选取多种单一评价方法对被评对象进行评价并得出评价结果,再将评价结果进行不同的组合,可分为排序值的组合和评价值的组合两类;评价方法本身的组合即评价方法的集成,实质是将多种单一评价方法的思想融合,开发出一种新型评价方法,可分为平行组合和嵌套组合两类,相比前两种,第三种组合方法更为先进。组合评价方法的具体分类如图 1.4 所示。

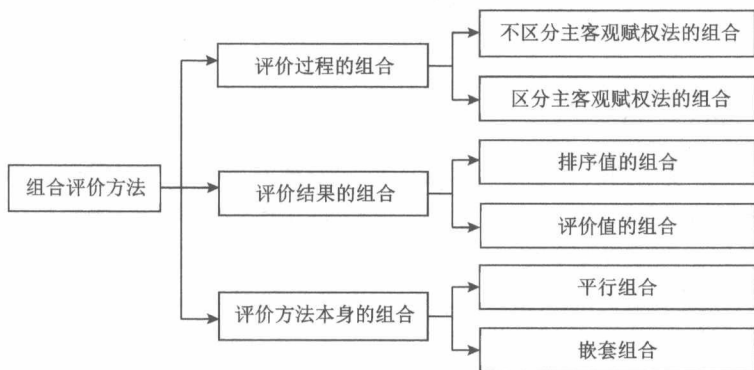
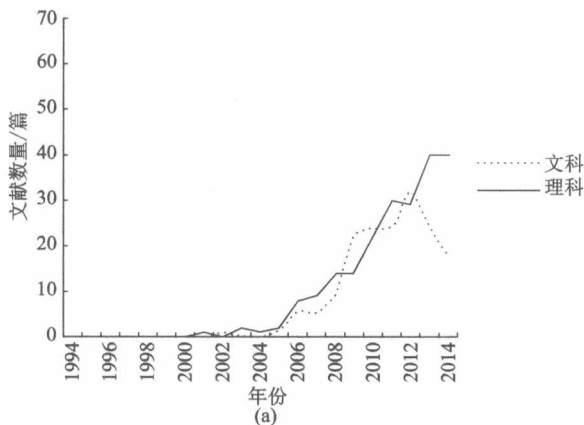


图 1.4 组合评价方法分类

1. 评价过程的组合

评价过程的组合主要是对评价过程中某一环节的结果进行组合的方法,其中组合赋权法是众多学者的研究重点。图 1.5 列出了在中国学术期刊网中以组合赋权为关键词进行搜索时 1994~2014 年的文献数量变化情况。



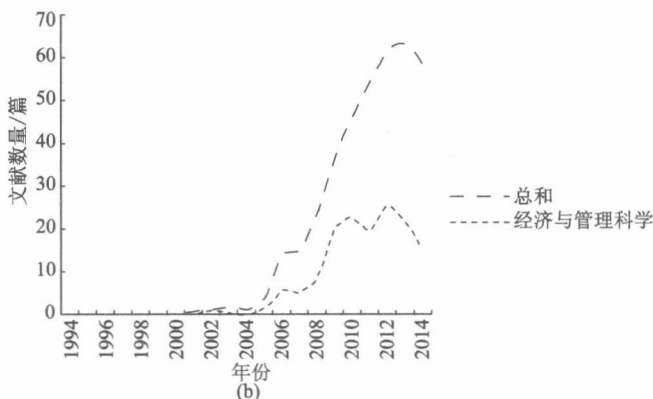


图 1.5 中国学术期刊网中以组合赋权为关键词搜索出的文献数量

可以发现,从 2006 年起组合赋权的研究逐渐发展,相应的研究文献数量迅速增加,且无论在文科、理科或经济与管理科学方面都得到了广泛应用。指标赋权法有主观赋权法和客观赋权法之分,为了达到优势互补的目的,学者们普遍达成的意见是主客观相结合的赋权法,这样一方面可以利用专家的知识、经验,使所赋权重具有“价值量”意义;另一方面可以充分挖掘数据中的信息,使所赋权重具有“信息量”意义。

有些文献的思路是先将主观赋权法和客观赋权法进行分类,然后再进行组合。许多实证研究都是首先采取主观赋权法如层次分析法得到权重 α_i ,再利用客观赋权法如熵值法得到权重 β_i ,最后综合权重得出结果可以采取德尔斐法^[23]、乘法组合法(表达式为 $w_i = \alpha_i^\sigma \beta_i^\mu / \sum_i \alpha_i^\sigma \beta_i^\mu$)、线性加法合成法(表达式为 $w_i = (\sigma\alpha_i + \mu\beta_i) / \sum_i (\sigma\alpha_i + \mu\beta_i)$),在简化情况下,权重系数 σ 、 μ 可以取为 1,但为了体现某种评价

目的,也可通过数学规划来求解。徐泽水和达庆利^[24]将主观权重和客观权重作为评价样本,以最小偏差作为目标函数构建数学规划模型来求解其相应的权重系数;陈华友^[25]则是根据离差最大化的目标函数进行数学规划;毛定祥^[26]利用最小二乘方法对指标进行赋权;陶菊春和吴建民^[27]则是根据优化理论对主客观下赋权进行组合。

有些方法的思路则不区分主观赋权法和客观赋权法,而是直接将多种方法进行融合。林元庆^[28]采用非线性规划模型并以最优权重与所有单一权重的离差和最小化为目标函数,求解得出最优权重;魏巍贤和冯佳^[29]从最终的单一评价价值尽量大的目标出发,通过求解各单一评价方法的权重矩阵的最大特征向量得出最终的组合权重系数;汪泽焱等^[30]以优化理论和 Jaynes 最大熵原理作为构建数学模型的基础,利用线性组合的方法求解出的指标权重最终能实现加权广义距离和最小化与权重不确定最小化这两个目标。张国权等^[31]从非线性角度构建了离差函数最小化和联合熵最大化的数学规划模型,所求得的指标权重能实现最小化偏差和降低不确定性的目的。

2. 评价结果的组合

评价结果的组合是指用各种单一评价方法对同一对象进行评价,再以某种形式将评价结果进行组合。数学符号表示为 $z_i = f(y_j, w_j)$,其中, y_j 为某单一评价方法的评价结果,具体可以分为评价值和排序值; w_j 为该单一评价方法的权重; f 则为某种形式的集结方式。

最早的研究是基于排序值的,即定序尺度。郭显光^[32]教授提出的平均值法、Borda法、Copeland法、模糊Borda法是最经典的组合评价方法,在实际中得到了广泛应用,如城镇化水平研究^[33]、城市群的低碳城市研究^[34]、区域技术创新能力研究^[35]。此外,其为其他一些基于排序值的组合评价方法也提供了一些新思路。基于奇异值分解(singular value decomposition, SVD)的多评价结论集结方法先利用矩阵论中SVD技术对多个不一致评价结论组成的数值矩阵进行奇异值的分解,并根据一致度与可信度两方面的要求确定出需保留奇异值的个数,最后得出原评价结论的近似结论矩阵^[36]。吴开亚等^[37]提出了基于集对分析方法的组合评价模型(combination evaluation model based on set pair analysis, CEM-SPA),从同一性、对立性和差异性三方面定量地描述排序值间的一致性信息,通过计算出两两构成的集对的联系度和一致性的隶属度函数来确定各种评价方法的权重。文献[38]研究了一种应用合作博弈来确定组合评价权重系数的新型方法,其思想源于传统的等权组合博弈解法(Shapley值法)。文献[39]对其进行了改进,将变权Shapley值思想应用到组合评价中。

但要注意定序尺度最大的缺陷就是容易造成部分信息的丢失,使结果失真。在实际应用中评价值比排序值包含的信息量更大,随后逐渐发展的研究都是基于评价值的,即定距尺度。彭猛业等^[40]在组合评价中引用了单一评价方法优劣判断理论,根据各种单一评价值与平均评价值的相关系数来对各种单一评价方法进行赋权。彭勇行^[41]提出了最小偏差平方和法,通过构建数学规划模型进行求解,使组合评价向量与多种单一评价值组成的向量之间的矢量差的平方和最小。基于整体差异的拉开档次组合评价法根据“少数服从多数,集体关注”的思想建立数学规划以最大限度地体现不同被评价对象之间的整体差异,即实现方差最大化^[19]。文献[42]、[43]考虑了在评价者存在意见分歧或冲突时的协商组合评价方法,将原有的多人参与的关于权重系数确定的协商问题拓展到多评价结论的组合问题。基于离差最大化的组合评价方法,利用了最大化总离差的思想,将各种单一评价值的权重进行组合^[44]。融合相似性与差异性特征的组合评价方法则从相似性和差异性两方面出发进行规划,求得各种单一评价方法的权重,通过偏差的均方差同时从内外部来衡量单一评价方法结果的波动性,通过方差来衡量单一评价方法评价结果的差异性^[45]。

此外,信息熵、粗糙集、偏好性、信息疏密度、投影寻踪等新颖概念也在组合评价中得到了体现。文献[46]提出了基于偏差信息熵的组合评价方法。文献[47]

提出了基于粗糙集的组合评价方法，思路是利用粗糙集方法进行约简，然后借助信息熵理论将所选方法的共性反映在组合权重上。陈国宏等^[17]通过计算机仿真技术研究每一种评价方法漂移度来确定每种评价方法的偏好，并根据漂移度来确定组合权重。同时，文献[42]、[43]从“软”的角度考虑了评价者的偏好。易平涛等^[48]从信息疏密偏好程度角度对组合评价方法进行优化，他们提出了基于多源密度信息集结算子的组合评价方法。文献[49]从降维的角度提出了基于投影寻踪和微粒群改进算法的客观组合评价模型。

目前大多数组合评价方法的研究都是基于静态假设的，而事实上评价过程是一直处于动态发展的。基于方法集化的动态组合评价方法^[50]和基于漂移度的动态组合评价方法^[51]则打破了原有静态组合评价的研究惯例，在吸收了郭亚军教授等的动态评价思想的基础上进行了深入拓展，将动态组合评价中的时间因素引入了组合评价方法中，为解决多种动态评价方法结论不一致的问题提供了新的解决思路，使其结果更接近现实情况，并在区域自主创新实力的研究中得到了广泛应用^[52]。

表 1.1 列出了各种组合评价方法所对应的参考文献并对其特点进行了总结。

表 1.1 各种针对评价结果的组合方法及其特点

评价结果的 组合方法	参考文献	特点
基于排序值 (定序尺度)	文献[32]	简单易行、应用广泛。Board 法能同时考虑排序值和评价值，但计算过于复杂，且易造成原有信息的丢失
	文献[36]	强化多种评价方法中的共线结论、弱化极端结论
	文献[37]	与单一评价方法具有较好的相容性，基于集对分析的组合评价方法比常用的平均值法更能充分利用一致性信息
	文献[38]、[39]	基于合作博弈的组合评价方法引用了博弈论中的思想，克服了当指标个数发生变化时组合权重缺乏稳定性的问题，使得单一评价方法所占的权重更合理
基于评价值 (定距尺度)	文献[40]	具有更佳的保距效果
	文献[41]	能充分挖掘各单一评价方法中的信息，避免主观性
	文献[19]	硬组合方法，能自动甄别奖惩，且组合结果精确、过程简捷、易于编程
	文献[42]、[43]	软组合方法，能对冲突意见进行协调，对冲突双方评价者的偏好信息进行考虑，最终达到优化组合评价结论的效果
	文献[44]	使最终的组合评价值尽量分散，以达到决策和排序效果
	文献[45]	同时考虑纵向差异性和横向相似性，体现横向求同、纵向求异的思想
	文献[46]	不仅考虑偏差的最小化，还考虑相容方法集的质量，使组合评价结果更加合理全面
	文献[47]	可以直接根据已有的评价信息进行数据的剔除，免去了搜集其他先验信息的步骤，节约时间成本，具有客观性
	文献[17]	能通过漂移度的测量来反映不同评价方法的偏好程度，具有客观性
	文献[48]	不再局限于简单线性加权的信息集结方法，具有强化一致性程度较高的方法，弱化一致性程度较低的方法的效果
	文献[49]	适用于复杂的非线性优化问题，达到降维效果，客观性强
	文献[50]、[51]	打破原有静态组合评价的模式，将动态组合评价中的时间因素引入到了组合评价方法中，使结果更加接近现实