

组合评价方法研究综述

张发明¹, 刘志平²

(南昌大学经济管理学院, 江西 南昌 330031)

摘要: 目前针对组合评价方法研究的概括性文献相对较少, 在阅读大量国内外有关文献的基础上, 对组合评价方法研究进展进行了综述. 首先介绍了一些常见的单一评价方法; 然后着重针对组合评价方法的研究思路进行了细致梳理, 主要从评价方法过程的组合、评价方法结果的组合以及评价方法本身的组合三方面进行论述; 最后针对本文内容进行总结, 分别从已有组合评价的研究状况和未来组合评价的可拓方向两方面展开评述.

关键词: 组合评价; 综述; 评价过程; 评价结果; 评价方法

中图分类号: C931 文献标识码: A 文章编号: 1000-5781(2017)04-0557-13

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2017.04.012

Combined evaluation methods: A literature review

Zhang Faming¹, Liu Zhiping²

(School of Economics & Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: So far there is little literature that summarizes combined evaluation methods researches. The paper makes a comprehensive review of combined evaluation methods on the basis of large quantities of relevant domestic and foreign literature. Firstly, some common comprehensive evaluation methods are introduced; then research ideas in this area are combed from three perspectives, namely the combination of evaluation processes, the combination of evaluation results, and the combination of evaluation methods; finally comments are made on current combined evaluation methods researches and possible directions of future researches are proposed.

Key words: combined evaluation; review; evaluation progress; evaluation results; evaluation methods

1 引 言

在经济与管理活动中经常会遇到综合评价问题, 比如高校排名、项目择优、绩效评价等. 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^[1]. 目前关于综合评价方法的研究已取得丰硕成果, 据统计, 国内外建立的综合评价方法已有数百种之多^[2]. 按照赋权方法的不同可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、数据包络法、灰色关联法等). Saaty首次提出了层次分析法, 通过专家所赋权的判断矩阵求取权重^[3]; Hotelling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; Pearson等人提出了因子分析法, 以较少的因子代表原有变量信息以实现降维, 且因子具有一定现实意义^[4]; Charnes等人

收稿日期: 2015-09-11; 修订日期: 2016-03-12.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71361021; 71001048; 71261007); 江西省教育厅科技重点资助项目(GJJ150027); 江西省社科学“十二五规划”重点资助项目(15ZQZD01); 江西省学位与研究生教改研究重点资助项目(JXYJG-2014-002); 南昌大学研究生创新专项资金资助项目(cx2015083).

首先提出了数据包络法(DEA),利用多项投入指标和产出指标间的对比进行效率测度^[5,6];邓聚龙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^[7]。此外,TOPSIS法、熵值法、BP神经网络法、群体评价法、动态评价法等也是应用较为广泛的评价方法。TOPSIS法是一种通过衡量评价值到各指标正、负理想点距离的指标赋权法^[8];熵值法的思想最早源于热力学,之后被引入综合评价中用于度量权重所含信息量的质量和大小,在数学规划中往往构建熵值最大化的目标函数^[9];BP神经网络法将大量信息处理单元相互连接构建一种非线性、自适应的智能人工神经网络系统,并模拟大脑神经网络训练其进行信息处理和记忆^[10,11];群体评价法打破单一评价主体模式,让不同评价主体参与评价过程使评价结果更加客观公正^[12];动态评价法不再局限于静态评价,在评价过程中引入时间因素^[13,14]。

囿于篇幅,所有的综合评价方法不可能一一列出,只介绍了一些常见且影响力较大的评价方法,更具体可参考苏为华、李红等人的相关综述文章^[15,16]。可以发现,由于人为选择的主观性,方法机理的差异性等,多种理论上可行的评价方法对同一对象的评价结论往往不同,即多方法评价结论存在非一致性^[17]。主观赋权法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影响;客观赋权法能利用评价信息同时避免人为因素,但易受到数据的随机误差影响。事实上,主观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,因而很难做到全面性评价。评价者在选取评价方法时融入了个人偏好,不可避免具有主观臆断性。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,众多学者提出了“组合”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发挥着重大作用。陈国宏等人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最终能趋于一致,说明组合评价比单一评价方法的结果更具稳定性^[18,19];徐强从经济学、信息学和博弈论角度阐述了组合评价方法的研究意义,认为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取得 $1+1>2$ 的系统效应^[20]。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和实际意义^[21]。

通过网络检索可发现,关于组合评价方法的研究及应用相对较多,但目前对组合评价方法研究进行概括性总结的文献却较少。鉴于每一种组合评价方法之间都较为零散且存在不少概念混淆,对各种组合评价方法研究进行细致梳理显得很有必要。笔者试图针对组合评价方法研究从三个方面展开论述并进行归纳总结,这样一方面能够帮助研究者了解组合评价方法研究现状并把握未来研究方向;另一方面可以使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使用过程中需重视的问题。

2 组合评价方法综述

关于组合评价方法的研究,国内外的进展不尽相同。图1列出了1994年~2014年国内相关文献数量(知网中以“组合评价”为关键词进行检索)和国外相关文献数量(Elsevier数据库中以“combined evaluation”为关键词进行检索)。

由图1可以看出,国内关于组合评价的研究远多于国外。国内相关文献数量接近140篇,而国外文献数量不足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“评价结论非一致”产生的内在原因,即主要采用计算机仿真等技术来确定各单一评价方法对被评对象评价时的结果偏差^[22,23],郭亚军教授也探讨了这方面问题^[24],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2列出了在“中国学术期刊网”以“组合评价”为关键词进行搜索时,1994年~2014年的文献数量变化情况,并细分为文科、理科、总和以及经济与管理科学四大类。由图2可以发现,1994年~2014年组合评价方面的文献数量不断增加。文科、理科以及经济与管理科学增长趋势都与总和大体一致,说明目前关于组合评价的研究已取得一定成果并在各学科中得到了广泛应用。

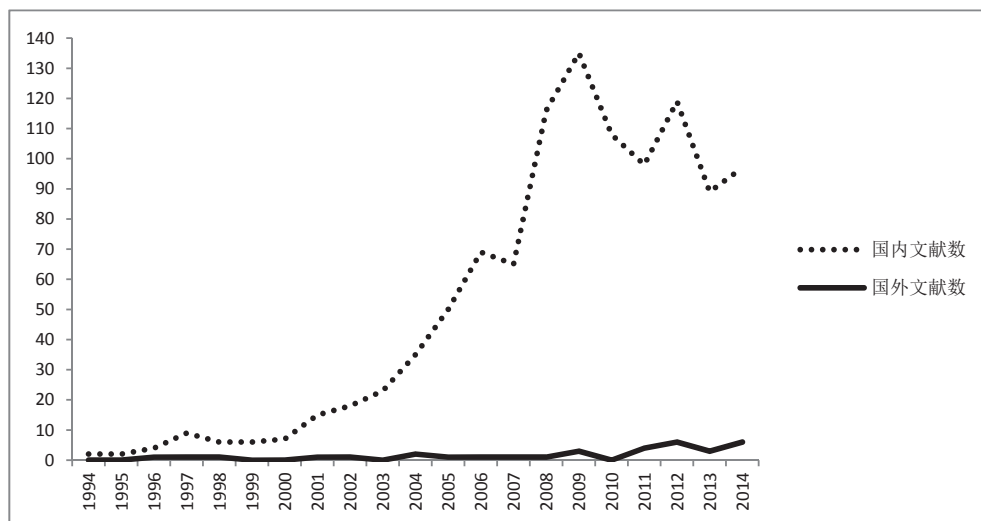


图1 国内外关于“组合评价”的文献数比较

Fig. 1 The article number about combined evaluation (Domestic V.S Foreign)

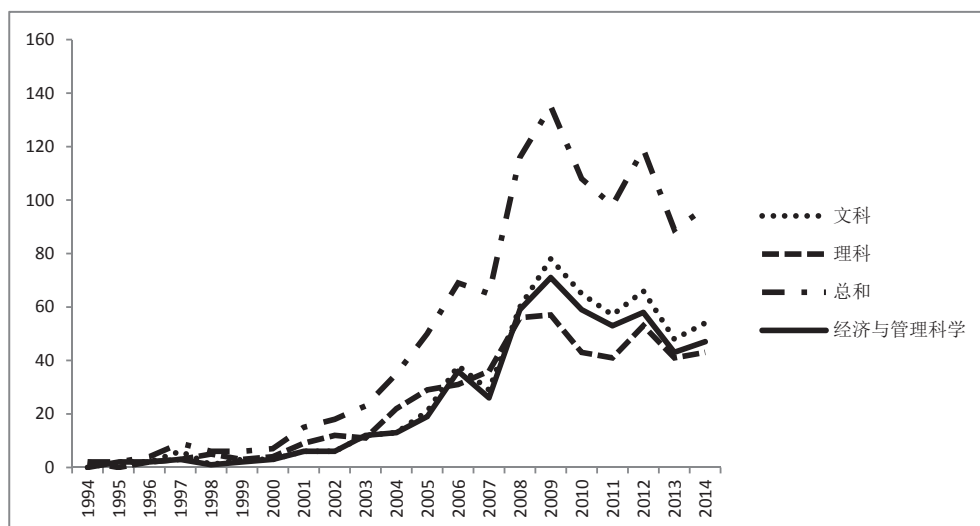


图2 “学术期刊网”中以“组合评价”为关键词搜索的文献数量

Fig. 2 The article number in CNKI as the key word is combined evaluation

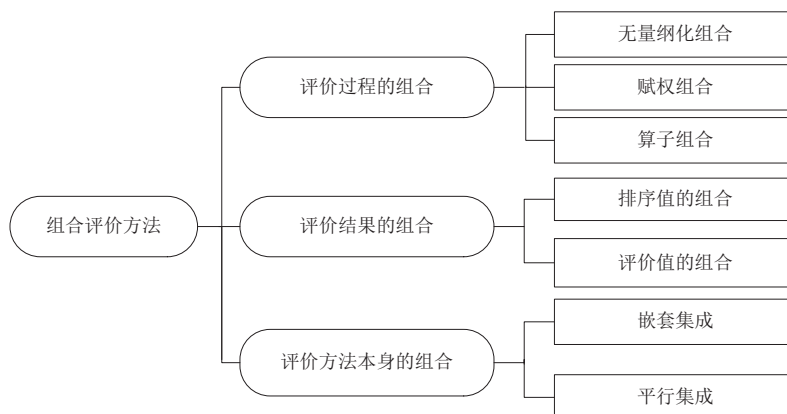


图3 思路框架图

Fig. 3 The frame of research planning

通过总结可发现组合评价方法大致分为三类,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.评价过程的组合是指对评价过程某一环节的结果进行组合,包括无量纲化组合、赋权组合和算子组合,其中赋权组合又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.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集成,实质上是将多种评价方法思想进行融合以开发一种新的评价方法,分为平行集成和嵌套集成两类.相比而言,第三种方法更为先进.本文的整体思路框架如图3:

2.1 评价过程的组合

评价过程的组合是指对评价过程中某一环节所产生的结果进行组合.评价过程应包括指标体系构建、指标预处理、赋权以及评价信息集结等环节^[1,16].基于此,评价过程的组合主要包括无量纲化组合、赋权组合以及算子组合.

无量纲组合是指不同的无量纲化方法之间的组合.在多指标综合评价中,原始指标由于量纲影响而存在着不可公度性,因而有必要进行指标无量纲化.常见的方法有标准化处理法、极值处理法、线性比例法、归一化处理法、向量规范化和功效系数法.理想无量纲化方法是不存在的^[25],但为了逼近理想性质,郭亚军等人构造了一种“极标复合法”的无量纲化组合方法,其在保留极值处理法和标准处理法的共同性质的同时,能在“能量守恒性”和“区间稳定性”之间寻找一种新的平衡.目前大多数研究思路是对无量纲化方法进行改进,而对无量纲化组合的研究涉及较少.

算子组合是指不同的信息集结算子之间的组合.单一信息集结算子主要有WAA、WGA、MIN、MAX、OWA以及DM等.每一种信息集结算子只侧重单方面,将其组合有利于达到优势互补的效果.目前关于信息集结算子的组合研究较为成熟,相对普遍的方式是以OWA或DM算子作为基础算子并与其他算子进行组合,如徐泽水等人基于组合思想将WGA算子和OWGA算子融合提出了组合加权几何平均(CWGA)算子^[26];易平涛等人研究了基于DWA的5种合成算子,其能兼顾各分算子的特点,使集结值更具稳健性^[27].

赋权组合是指对指标权重进行组合,更常见的说法为“组合赋权”,是近些年众多学者的研究重点.图4列出了在“中国学术期刊网”以“组合赋权”为关键词进行搜索时,1994年~2014年的文献数量变化情况,同样分为文科、理科、总和以及经济与管理科学四大类.由图4可以发现,从2000年起关于组合赋权的研究逐渐深入,相应文献数量迅速增加,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.指标赋权法有主观和客观之分,为了达到优势互补目的,众多学者达成的共识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.

在赋权组合评价中,有些文献思路是先将主观和客观赋权法分类后再进行组合.大多实证研究先采取主观赋权法(如AHP法等)得到权重 α_i ,再利用客观赋权法(如熵权法等)得到权重 β_i ,最后综合权重的得出可采取德尔菲法^[28]、乘法组合法(表达式为 $\omega_i = \alpha_i^\sigma \beta_i^\mu / \sum_{i=1}^n \alpha_i^\sigma \beta_i^\mu$)、线性加法合成法(表达式为 $\omega_i = (\sigma\alpha_i + \mu\beta_i) / \sum_{i=1}^n (\sigma\alpha_i + \mu\beta_i)$).简化情况下,权重系数 σ 、 μ 可取值为1,为了体现某种评价目的,也可通过数学规划进行求解,例如徐泽水等人将主观权重和客观权重作为评价样本,将最小偏差作为目标函数构建数学规划模型以求解相应权重系数^[29];陈华友根据离差最大化的目标函数进行数学规划^[30];毛定祥利用最小二乘法对指标进行赋权^[31];陶菊春等人根据优化理论对主客观权重进行组合^[32].

有些方法的思路是不区分主客观赋权法,而是直接将多种方法融通合成.杨善林等人综合考虑权重本身的一致性和随机性,通过建立约束非线性优化模型求解得出最优权重^[33];魏巍贤等人从最终综合评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组合权重系数^[34];汪泽焱等人以优化理论和Jaynes最大熵原理作为构建数学模型的基础,利用线性组合方法求解指标权重,该方法能实现加权广义距离和最小和权重不确定最小的目标^[35];张国权等人从非线性角度构建离差函数最小和

联合熵最大的数学规划模型, 所求指标权重能达到偏差最小和降低不确定性的目的^[36]。

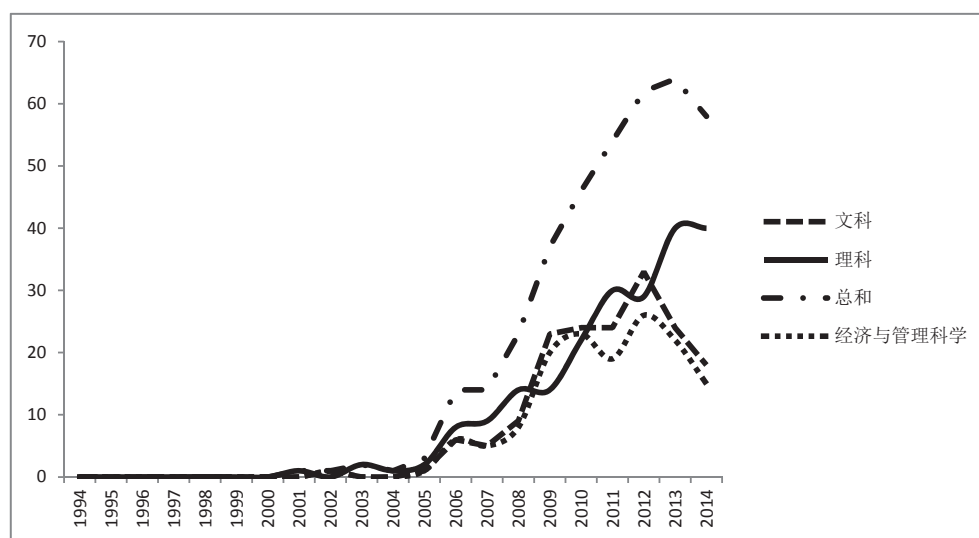


图4 “学术期刊网”中以“组合赋权”为关键词搜索的文献数量

Fig. 4 The article number in CNKI as the key word is combined weight

2.2 评价结果的组合

评价结果的组合是指用各种单一综合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 $z_i = f(y_j, \omega_j)$, 其中 y_j 是指某单一方法的评价结果, 具体可分为评价值和排序值; ω_j 是指单一评价方法的权重; f 表示某种形式的集结方式.

关于评价结果的最早研究是针对排序值的组合, 即“定序尺度”. 郭显光教授提出的“平均值法”、“Borda法”、“Copeland法”、“模糊Borda法”是最为经典的组合评价法^[37], 并在实际中得到广泛应用, 如城镇化水平研究^[38]、城市群的低碳城市研究^[39]、区域技术创新能力研究^[40]等. 此外, 其他基于排序值的组合评价方法也提供了一些新思路. 基于奇异值分解的多评价结论集结法(SVD法)先利用矩阵论中奇异值分解技术对多个不一致评价结论组成的数值矩阵进行奇异值分解, 然后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^[41]; 吴开亚等人提出了基于集对分析法的组合评价模型(CEM-SPA)^[42], 从同一性、对立性和差异性三方面定量地描述序值间的一致性信息, 通过计算两两构成集对的“联系度”和“一致性”的隶属度函数来确定各评价方法的权重; 陈衍泰等人研究了一种应用合作博弈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)^[43]; 邹筱等人改进了上述新型方法, 将变权Shapley值思想应用到组合评价中^[44].

但要注意的是, “定序尺度”最大的缺陷是易造成部分信息丢失, 使评价结果失真. 在实际应用中评价值比排序值包含的信息量更大, 之后的研究更多是针对评价值的组合, 即“定距尺度”. 彭猛业等人在组合评价中引用了综合评价方法优劣判断理论, 根据各单一评价方法的评价值与平均评价值的相关系数对各单一评价方法进行赋权^[45]; 彭勇行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, 使得组合评价向量与由多个单一评价方法的评价值构成的向量之间的矢量差平方和最小^[46]; 郭亚军等人提出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模型以最大限度体现不同评价对象之间的整体差异, 即实现方差最大化^[21]; 易平涛等人考虑了评价者存在意见分歧或冲突时的协商组合评价方法, 将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中^[47,48]; 李珠瑞等人提出的基于离差最大化的组合评价方法利用了总离差最大的思想将各单一评价方法的评价值的权重进行组合^[49]; 张发明提出的融合相似与差异特征的组合评价方法从相似性和差异性两方面进行规划以求解各单一方法的权重, 并分别采用偏差的均方差和方差同时从内外部衡量单一方法评价结果的波动性和差异性^[50].

表1总结了各种针对评价结果的组合评价方法所对应的文献及相应特点.

表 1 各种针对评价结果的组合评价方法及其特点
Table 1 The features of results-based combined evaluation methods

	参考文献	特点
基于排序值 (定序尺度)	文献[37]	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[41]	强化多评价方法中的共线结论、弱化极端结论;
	文献[42]	与单一评价方法具有较好的相容性, 比常用的平均值法更能充分利用一致性信息;
	文献[43,44]	引用博弈论的思想, 能克服指标个数发生变化时组合权重缺乏稳定性的问题, 评价方法权重更合理;
基于评价值 (定距尺度)	文献[45]	具有更佳的保距效果;
	文献[46]	能充分挖掘各单一评价方法中的信息, 避免主观性;
	文献[21]	“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[47,48]	“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[49]	能使最终组合评价值尽量分散, 以达到决策和排序效果;
	文献[50]	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”思想;
	文献[51]	不仅考虑偏差最小, 还考虑相容方法集的质量, 使得组合评价结果更加合理全面;
	文献[52]	可直接根据已有的评价信息进行数据剔除, 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[19]	通过漂移度来反映不同评价方法的偏好程度, 具有客观性;
	文献[53]	不再局限于简单线性加权的信息集结方法, 具有强化一致性较高的方法, 弱化一致性较低的方法的效果;
	文献[54]	适用于复杂的非线性优化问题, 能达到降维效果, 客观性强;
	文献[55,56]	打破原有静态组合评价模式, 将动态中的时间因素引入组合评价方法中, 使结果更加接近现实;

此外, 信息熵、粗糙集、漂移度、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体现. 张发明提出了基于偏差信息熵的组合评价方法^[51]; 陈衍泰等人提出了基于粗糙集的组合评价方法, 先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^[52]; 陈国宏等人通过计算机仿真技术研究单一评价方法的漂移度以确定组合权重^[19]. 同时, 易平涛等人从“柔性”角度考虑了评价者的偏好^[47,48]; 郭亚军等人从信息疏密偏好程度角度对组合评价方法进行优化, 提出了基于多源密度信息集结算子的组合评价方法^[53]; 柳玉鹏等人从降维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方法^[54].

目前大多数组合评价方法都是基于静态假设, 而事实上评价过程是一直处于动态发展的. 基于方法集的动态组合评价方法^[55]和基于漂移度的动态组合评价方法^[56]打破了原有静态组合评价的研究惯例, 在吸收郭亚军等人的动态评价思想基础上深入拓展, 将动态中的时间因素引入到了组合评价方法中, 这为解决多种动态评价方法结论不一致的问题提供了新思路, 并在区域自主创新实力研究中得到了广泛应用^[57].

2.3 评价方法本身的组合

评价方法本身的组合又称为方法集成, 是指将方法与方法之间评价思想进行融合使之达到“有机组合”. 需要区分的是, 组合只涉及局部环节的“重组”, 而集成是在各个环节中对评价方法因地制宜的“再造”, 是广义上的组合. 集成不涉及评价方法的过程和结果的细分, 而是从系统的角度创新性地对原有评价方法进行拓展. 杜栋分别对层次分析法(AHP)、模糊综合评判法(FCE)、数据包络法(DEA)、人工神经网络评价法(BP)、灰色综合评价法(GRA)这五种较主流的综合评价方法两两集成, 提出了集成方法能够取长补短的观点^[58], 该结论表明集成方法相比前两种组合类型而言更具优势.

图5列出了在“中国学术期刊网”以“方法集成”为关键词进行搜索时的文献数, 细分为总和以及经济与管理科学两类. 由图5可以发现, 国内关于方法集成的研究相对较少, 但不排除有些学者的研究体现了集成思想, 只是没有明确指明属于方法集成技术. 总体而言, 目前由于方法集成还属于新兴领域, 还有很多可以不断深入研究的方面.

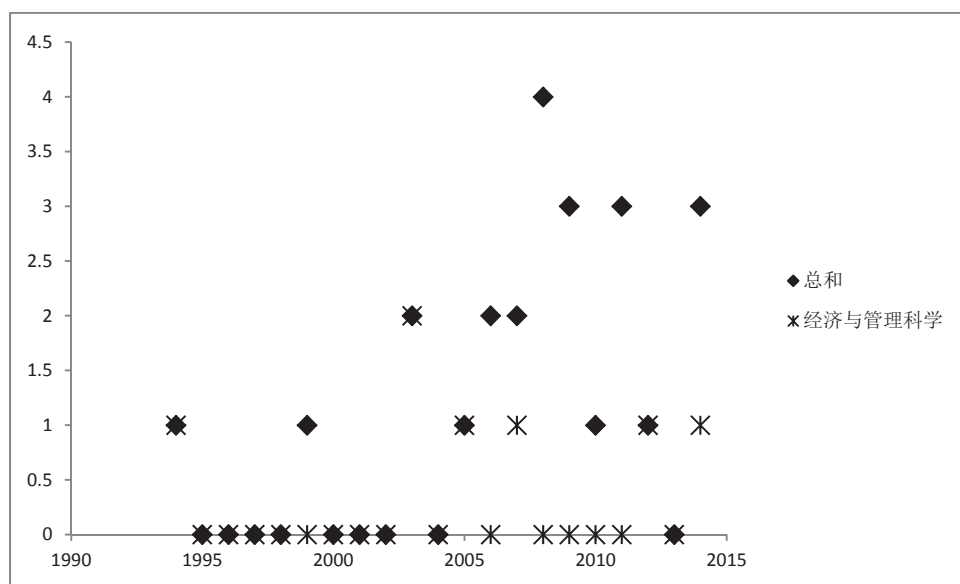


图5 “学术期刊网”中以“方法集成”为关键词的文献数

Fig. 5 The article number in CNKI with the key word “ methods integration”

评价方法的集成可分为平行集成和嵌套集成. 平行集成强调评价方法之间的地位平等, 能实现彼此融合, 是一种独立的集成方法. 姚升保提出了模糊层次逼近理想点法(FH-TOPSIS), 将层次分析法和逼近理想点法进行有机结合, 省去了元素间两两比较的步骤, 同时融合了层次分析法的系统化、层次化和逼近理想点法的几何意义明确的优点^[59]. 类似的, 宴永刚等人在区域低碳竞争力评价研究中基于集成思想构建的AHP-EM-TOPSIS模型, 同时融合了AHP(主观赋值法)、EM(客观赋值法)和TOPSIS法的优点^[60]. 肖庆业总结的第一类集成方法有AHP+GRA、DEA+GRA和AHP+DEA+GRA, 其思路是先利用AHP法或DEA法求取权重, 然后计算加权关联度, 并根据其大小对各被评价对象进行优劣排序和级别分类^[61]. 屠星月等人在农产品市场价格预测中将时间序列组合预测方法与RBF神经网络进行集成构建了一种新的预测模型, 能够综合利用计量经济预测模型预测的线性部分和RBF神经网络预测的非线性部分以达到提高精度的目的, 该方法中的计量经济预测模型能兼顾各个模型的隐含信息, RBF神经网络能弥补前者在非线性预测中的不足, 实现计量经济模型与智能模型互补的效果^[62]. 倪渊等人在人力资源评价中采用了一种新的AERS模型, 可以将层次分析法(AHP)、信息熵(Entropy)、雷达图(Radar Chart)和支持向量机(SVM)进行有机集成. 在该模型中, 基于AE的组合赋权法能利用主客观相结合的思想确定指标权重, 雷达图能处理指标间具有较强关联性的非线性问题, 支持向量机能解决数据挖掘中的小样本和非线性问题, 这四种方法的集成能实现优势互补、弥补不足的效果^[63].

嵌套集成中评价方法之间并不是平等的, 可看成是一个主体模型与多个辅助模型的融合. 程晓娟等人在对我国煤炭产业的生态效率进行评价时建立了一种基于PCA-DEA的集成方法模型, 辅助模型PCA主要是为了弥补主体模型DEA在处理相关性强的输入输出数据方面的不足^[64]; 肖庆业归纳的模糊DEA法将DEA分析从确定性条件扩展到模糊条件, 其中DEA为主体模型, L-R型三角模糊数等为辅助模型^[61].

3 结束语

3.1 现有研究总结

在研究“评价结论非一致性”问题上, 众多学者试图从评价过程的各个环节探讨不同评价方法产生不一致结论的内在原因, 并提出了组合评价是解决上述问题的一种较为可行的办法. 总体而言, 组合评价方法大

致可分为三类:

1) 对单一评价方法的评价过程进行组合, 包括无量纲化组合、赋权组合和算子组合. 无量纲化组合的优点是能尽可能逼近理想无量纲化的性质, 但其稳定性和总量恒定性问题仍有待深入探讨. 赋权组合的优点是计算比较简单, 能同时考虑主客观赋权法, 但该方法仅适用于具有多指标且指标体系相同的被评价对象. 由于不同的评价方法对指标体系的建立有不同的要求, 当指标个数发生变化时, 其结果易缺乏稳定性, 因此赋权组合的适用性具有一定局限性. 算子组合能融合多种信息集结算子的特点, 实现优势互补, 增强集结值的稳健性, 但计算过程较为复杂.

2) 对单一评价方法的评价结果进行组合, 包括排序值组合和评价值组合. 最简单的是平均值法, 随后出现了依据不同评价目标建立规划模型的“硬”组合方法, 以及基于协商视角的“柔”组合方法. 评价目标由偏差平方最小化扩展为离差最大化、方差最大化、熵值最大化等. 此外, 组合评价方法也向动态评价、评价者偏好、漂移度、信息疏密程度、投影寻踪等方面进行了拓展. 虽然目前关于评价结果的组合研究比评价过程的组合研究更为深入, 但大多数组合评价方法都是侧重各种组合模型的介绍和应用, 对于评价方法组合的可行性研究相对较少.

3) 对评价方法本身的组合, 往往意味着将多种评价方法的思想进行融合以开发出一种新的评价方法, 即方法集成. 方法集成包括平行集成和嵌套集成, 其优点是综合考虑了评价过程的各个阶段, 能充分发挥各种评价方法的优势; 不足之处是在实际应用中难以把握各种评价方法之间融合的契合点, 未来需要更多相关技术支持.

此外, 一些学者还引入了组合评价方法的事前事后检验. 事前检验是指在一定标准下采用某种方法对各种单一评价方法进行筛选. 陈国宏等人提出的“相容方法集”是指在给定某个阈值后, 利用各评价方法间的相关系数进行模糊聚类, 并剔除其他不相容方法^[17]. 较多学者采用KENDALL一致性检验系数^[65,66]以及SPEARMAN等级相关系数^[67]来检验几种综合评价方法的一致性. 事后检验是指采用某种方法对组合评价结果与各单一评价方法的结果的吻合性进行检验, 进一步验证组合评价结果的有效性. 李珠瑞等人建立的组合误差平方和法^[49]、郭亚军等人提出的组合评价相对有效性法^[68]等都是属于较新颖的事后检验法, 但有关其实际的应用研究仍需进一步完善.

由于组合评价属于一个新的研究领域, 目前仍存在一些理论及应用问题:

第一, 理论与实际无法很好地结合. 目前许多学者集中于提出各种新的组合评价方法并通过算例验证其有效性, 却没有对各种方法的理论基础和适用范围进行具体阐述. 组合评价缺乏一个整体的方法体系研究, 使得评价者在选取组合方法时缺乏统一标准.

第二, 没有达到真正的“有机”组合. 目前大多数研究都是对各种新的组合模型进行建立和分析, 而没有对其效果进行深入探究. 很多组合方法实际上属于简单的“叠加”组合, 只是为组合而组合, 并没有实现真正意义上的“有机”组合.

第三, 多种组合方法评价结论非一致性. 组合评价方法带来了新的不一致性问题, 必须要认识到组合评价方法不一定优越于单一评价方法. 此外组合评价方法的计算过程繁杂, 这无疑加重了评价者的工作量.

第四, 关于组合评价方法的研究不够全面. 目前关于组合评价方法性质的研究主要集中于一致性和有效性, 不可避免具有片面性. 衡量一种组合评价方法好坏与否不应仅考虑这两方面, 还应考虑一致性、稳定性、灵敏性、高效性、可拓性等.

3.2 未来研究展望

目前关于组合评价的研究主要集中于指标权重和评价结果的组合, 而方法集成的研究相对较少. 事实上, 组合评价在广义上应涵盖评价过程的各个方面, 不应仅局限于简单的狭义组合. 组合评价技术应向其他方面进行拓展, 具体可借鉴思想较为成熟的综合评价方法研究, 一般情况下, 综合评价方法的各种扩展方面也可在组合评价的相同方面应用扩展. 但在实际中应结合组合评价本身特点进行研究, 注意组合评价与单

一综合评价方法的区别. 总体而言, 未来组合评价的可拓展方向主要包括以下几方面:

1) 评价主体方面. 目前的研究主要针对单一评价主体展开, 不可避免具有片面性, 而以群组为评价主体的组合评价方法则能聚集更多方面的信息, 克服个体评价时认识的片面性, 减少与实际情况的偏差, 同时可避免评价活动过程中(例如评价指标的建立, 权重的确定和评价方法的选择)的个人因素, 减少主观臆断和个人色彩对评价结论的影响. 可依据实际情况在评价的不同环节进行相应的群组评价, 例如指标建立时可以考虑一部分群体, 而在权重确定时又可以考虑另一部分群体. 群组评价从统计学角度可理解为是通过增加独立实验的次数以提高样本指标的代表性, 每一个个体的评价意见视为一次独立实验, 增加具有异质性的个体可以达到增加实验次数的目的.

2) 时间维度方面. 传统的组合评价方法都是在静态基础上展开, 很少从动态视角研究组合评价方法. 社会经济现象一直处于不断发展的状态中, 组合评价方法也应与时俱进, 从动态的角度更真实地反映现实. 狭义动态是指最终的组合评价结果的动态变化, 即采用相同的方法产生被评价对象在不同时点的序列值; 广义动态是指对组合评价的各个环节进行动态化, 根据事物不同的发展阶段采用不同的指标体系、不同的权重确定方法、不同的信息集结方法, 且参与组合评价的方法种类和个数均需根据实际情况进行相应调整. 需注意的是, 动态组合评价必须保证评价结果具有延续性, 即在不同的时间点上具有可比性.

3) 数据表现形式方面. 目前的组合评价方法都是针对实数型数据, 缺乏针对评价结果为区间数、模糊数和语言变量等形式的组合评价方法研究. 在评价过程中由于事物的复杂和不确定性、评价者知识的有限性以及环境的可变性, 评价者通常倾向于或者只能通过一种不确切的数据形式来表达决策信息. 单纯地用实数点值表示评价结果易造成评价信息失真, 而采用区间数、模糊数和语言变量等形式可尽量避免信息丢失, 使结论趋近真实. 此外, 未来研究中可以多加考虑混合信息的情形, 即评价结果同时存在不同形式的数据.

4) 信息集结方法方面. 目前在组合评价中应用最为广泛的是算术加权平均算子和有序加权平均算子, 这两种算子都具有普适性, 但却没有充分体现组合评价方法的特性. 相关文献开始尝试将密度算子应用到组合评价中, 但仍处于不成熟阶段, 可改进的空间比较大. 组合评价中应该因地制宜地采取合适的信息集结算子, 除了一般的信息集结算子(如WAA、WGA、OWA、MIN、MAX等), 还可向密度算子(DM)、诱导密度算子(I-DM)及它们的混合算子进行深入拓展, 即根据评价值的性能、位置、分布特征、信息疏密程度等进行组合评价信息集结. 此外, 也可根据组合评价本身的需要开发新的信息集结算子.

5) 组合思想方面. 大多数的组合评价方法都属于“硬”组合思想, 即通过各种数学模型得出最终结果. 这难免具有不合理之处, 在实际决策过程中人为因素也很重要且不容忽视. 一些学者已开始从“柔性”角度展开组合评价研究, 即从评价者偏好性、协商一致等方面融入“柔性”组合思想. 相对于“硬性”的组合评价方法, “柔性”角度的组合评价思想更能体现人理思想, 使评价者的决策活动更具有灵活性. 考虑到“软”、“硬”思想各有优缺点, 最好的方式是“软硬结合”的组合思想, 这样既能体现客观事理性又能考虑人为主观因素, 达到优势互补, 有利于得出更加贴近现实的结果. 此外, 大多数方法依据“少数服从多数”的思想进行评价, 但是少数人的评价结果也可能是正确的, 因此在进行组合评价时不应完全忽略少数人的评价结果.

参考文献:

- [1] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用. 北京: 科学出版社, 2007.
Guo Y J. Theory, Methodology and Application of Synthesis Evaluation. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [2] Chen Guohong, Chen Yantai. The research progress & development trend of comprehensive evaluation methods//Proceedings of 2002' International Conference on Management Science & Engineering. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2002.
- [3] Saaty T L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. Management Science, 1986, 32(7): 841-855.
- [4] Dallas E J. Applied Multivariate Method for Data Analysts. Duxbury: Thomson Learning, 1998.
- [5] Cooper W W, Wei Q, Yu G. Using displaced cone representation in DEA models for non-dominated solution in multi-objective programming. Systems Science and Mathematical Sciences, 1997, 10(1): 41-49.

- [6] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E L. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429–444.
- [7] Deng J L. Introduction to grey system theory. *The Journal of Grey System*, 1989, 1(1): 1–24.
- [8] 李 刚, 迟国泰, 程砚秋. 基于熵权TOPSIS的人的全面发展评价模型及实证. *系统工程学报*, 2011, 26(3): 400–407.
Li G, Chi G T, Cheng Y Q. Evaluation model and empirical study of human all-round development based on entropy weight and TOPSIS. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(3): 400–407. (in Chinese)
- [9] Lian J, Shi Z, et al. Information entropy, rough entropy and knowledge granulation in incomplete information systems. *International Journal of General Systems*, 2006, 35(6): 641–654.
- [10] 孙建业, 王 辉. BP神经网络算法的改进. *系统工程与电子技术*, 1994, 16(6): 41–46.
Sun J Y, Wang H. The improvement of learning algorithm of BP neural networks. *Systems Engineering and Electronics*, 1994, 16(6): 41–46. (in Chinese)
- [11] Changxue J F, Abhirami C G, Alice E S, et al. Practical guidelines for developing BP neural network models of measurement uncertainty data. *Journal of Manufacturing Systems*, 2006, 25(4): 239–250.
- [12] 张发明, 郭亚军, 易平涛. 序关系分析下的多阶段交互式群体评价方法. *系统工程学报*, 2011, 26(5): 702–709.
Zhang F M, Guo Y J, Yi P T. Multi-phase interactive group evaluation method based on rank correlation analysis. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(5): 702–709. (in Chinese)
- [13] 张发明, 孙文龙. 改进的动态激励综合评价方法及应用. *系统工程学报*, 2015, 30(5): 711–718.
Zhang F M, Sun W L. Improved dynamic incentive comprehensive evaluation method and its application. *Journal of Systems Engineering*, 2015, 30(5): 711–718. (in Chinese)
- [14] 郭亚军, 胡 蕾, 王志刚. 具有三次差异驱动特征的动态综合评价方法. *系统工程学报*, 2011, 26(4): 546–550.
Guo Y J, Hu L, Wang Z G. Method of dynamic comprehensive evaluation based on three stage difference driving features. *Journal of Systems Engineering*, 2011, 26(4): 546–550. (in Chinese)
- [15] 李 红, 朱建平. 综合评价方法研究进展评述. *统计与决策*, 2012(9): 7–11.
Li H, Zhu J P. Reviews of comprehensive evaluation method research. *Statistics and Decision*, 2012(9): 7–11. (in Chinese)
- [16] 苏为华, 等. 综合评价技术的扩展与集成问题研究. 北京: 中国统计出版社, 2007.
Su W H, et al. *Extension and Integration Research of Comprehensive Evaluation Technique*. Beijing: Chinese Statistical Press, 2007. (in Chinese)
- [17] 陈国宏, 李美娟. 基于方法集的综合评价方法集化研究. *中国管理科学*, 2004, 12(1): 101–105.
Chen G H, Li M J. The research on the comprehensive evaluation method integration based on method set. *Chinese Journal of Management Science*, 2004, 12(1): 101–105. (in Chinese)
- [18] 陈国宏, 李美娟. 组合评价收敛性验证的计算机模拟实验. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(5): 74–82.
Chen G H, Li M J. The simulation experiment on verifying the convergence of combination evaluation. *Systems Engineering: Theory and Practice*, 2005, 25(5): 74–82. (in Chinese)
- [19] 陈国宏, 李美娟, 陈衍泰. 单一方法评价结论漂移性的测度研究. *中国工程科学*, 2004, 6(3): 58–63.
Chen G H, Li M J, Chen Y T. The research on measurement of drift in the evaluation conclusion of single method. *Engineering Science*, 2004, 6(3): 58–63. (in Chinese)
- [20] 徐 强. 组合评价法研究. *江苏统计*, 2002(10): 10–12.
Xu Q. Research of combined evaluation method. *Jiangsu Statistic*, 2002(10): 10–12. (in Chinese)
- [21] 郭亚军, 易平涛. 一种基于整体差异的客观组合评价法. *中国管理科学*, 2006, 14(3): 60–64.
Guo Y J, Yi P T. Whole diversity-based reasoning for objective combined evaluation. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14(3): 60–64. (in Chinese)
- [22] Clemen R T, Winkler R L. Assessing dependence: Some experimental results. *Management Science*, 2000, 46(8): 1100–1115.
- [23] Steiger N M, Wilson J R. An improved batch means procedure for simulation output analysis. *Management Science*, 2002, 48(12): 1569–1586.
- [24] 郭亚军. 综合评价结果的敏感性问题及其实证分析. *管理科学学报*, 1998, 1(3): 28–35.
Guo Y J. Sensibility and practice analysis of comprehensive evaluation result. *Journal of Management Sciences in China*, 1998, 1(3): 28–35. (in Chinese)
- [25] 郭亚军, 易平涛. 线性无量纲化方法的性质分析. *统计研究*, 2008, 25(2): 93–100.
Guo Y J, Yi P T. Character analysis of linear dimensionless methods. *Statistical Research*, 2008, 25(2): 93–100. (in Chinese)

- [26] 徐泽水, 达庆利. 一种组合加权几何平均算子及其应用. 东南大学学报, 2002, 32(3): 506–509.
Xu Z S, Da Q L. Combined geometric averaging operator and its application. Journal of Southeast University, 2002, 32(3): 506–509. (in Chinese)
- [27] 易平涛, 郭亚军, 张丹宁. 密度加权平均中间算子及其在多属性决策中的应用. 控制与决策, 2007, 22(5): 515–519.
Yi P T, Guo Y J, Zhang D N. Density weighted averaging middle operator and application in multi-attribute decision making. Control and Decision, 2007, 22(5): 515–519. (in Chinese)
- [28] 王 菲. 战略性新兴产业识别研究. 财会通讯, 2012(21): 89–91.
Wang F. The research of identifying strategic emerging industries. Communication of Finance and Accounting, 2012(21): 89–91. (in Chinese)
- [29] 徐泽水, 达庆利. 多属性决策的组合赋权方法研究. 中国管理科学, 2002, 10(2): 84–86.
Xu Z S, Da Q L. Study on method of combination weighting. Chinese Journal of Management Science, 2002, 10(2): 84–86. (in Chinese)
- [30] 陈华友. 多属性决策中基于离差最大化的组合赋权法. 系统工程与电子技术, 2004, 26(2): 194–197.
Chen H Y. Combination determining weights method for multiple attribute decision making based on maximizing deviations. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(2): 194–197. (in Chinese)
- [31] 毛定祥. 一种最小二乘意义下主客观评价一致的组合评价方法. 中国管理科学, 2002, 10(5): 95–97.
Mao D X. A combinational evaluation method resulting in consistency between subjective and objective evaluation in the least squares sense. Chinese Journal of Management Science, 2002, 10(5): 95–97. (in Chinese)
- [32] 陶菊春, 吴建民. 综合加权评分法的综合权值确定新探. 系统工程理论与实践, 2001, 21(8): 43–48.
Tao J C, Wu J M. New study on determining the weight of index in synthetic weighted mark method. Systems Engineering: Theory and Practice, 2001, 21(8): 43–48. (in Chinese)
- [33] 石 莉, 杨善林, 马 英, 等. 一种新的组合权重集结方法及合理性评价研究. 系统工程学报, 2012, 27(4): 481–491.
Shi L, Yang S L, Ma Y, et al. A novel method of combination weighting for multiple attribute decision making. Journal of Systems Engineering, 2012, 27(4): 481–491. (in Chinese)
- [34] 魏巍贤, 冯 佳. 多目标权系数的组合赋值方法研究. 系统工程与电子技术, 1998, 20(2): 14–16.
Wei W X, Feng J. Study on multiobjective weights combination assigning method. Systems Engineering and Electronics, 1998, 20(2): 14–16. (in Chinese)
- [35] 汪泽焱, 等. 一种基于熵的线性组合赋权法. 系统工程理论与实践, 2003, 23(3): 112–116.
Wang Z Y, et al. A method of determining the linear combination weights based on entropy. Systems Engineering: Theory and Practice, 2003, 23(3): 112–116. (in Chinese)
- [36] 张国权, 李文立, 王明征. 基于离差函数和联合熵的组合赋权方法. 管理学报, 2008, 5(3): 376–380.
Zhang G Q, Li W L, Wang M Z. Combination weighting approach based on deviation function and joint-entropy. Chinese Journal of Management, 2008, 5(3): 376–380. (in Chinese)
- [37] 郭显光. 一种新的综合评价方法-组合评价法. 统计研究, 1995, 12(5): 56–59.
Guo X G. A new comprehensive evaluation method-combined evaluation method. Statistical Research, 1995, 12(5): 56–59. (in Chinese)
- [38] 周永卫, 范贺花. 城镇化水平评价指数体系构建与实证. 统计与决策, 2015(7): 58–61.
Zhou Y W, Fan H H. The construction of index system and empirical research of urbanization level. Statistics and Decision, 2015(7): 58–61. (in Chinese)
- [39] 李从欣, 李国柱. 京津冀城市群低碳城市组合评价研究. 调研世界, 2015(1): 51–55.
Li C X, Li G Z. The combined evaluation research of low-carbon urban agglomeration including Beijing, Tianjin and Hebei. The World of Survey and Research, 2015(1): 51–55. (in Chinese)
- [40] 刘丙泉, 吕高羊. 区域技术创新能力组合评价研究——以我国12个副省级以上城市为例. 河南科学, 2014, 32(8): 1618–1623.
Liu B Q, Lü G Y. The combined evaluation research of regional technology innovation ability: A case study on 12 vice provincial cities of our country. Henan Science, 2014, 32(8): 1618–1623. (in Chinese)
- [41] 郭亚军, 易平涛. 基于奇异值分解的多评价结论集结方法. 东北大学学报, 2007, 28(2): 278–281.
Guo Y J, Yi P T. A multi-evaluation conclusion aggregation method based on singular value decomposition. Journal of Northeastern University, 2007, 28(2): 278–281. (in Chinese)
- [42] 吴开亚, 金菊良, 王文圣. 基于集对分析的组合评价模型及其应用. 数学的实践与认识, 2013, 43(3): 1–6.
Wu K Y, Jin J L, Wang W S. Combination evaluation model based on set pair analysis and its application. Mathematics in Practice and Theory, 2013, 43(3): 1–6. (in Chinese)

- [43] 陈衍泰, 陈国宏, 李美娟. 应用合作博弈确定组合评价权重系数的方法研究. 中国管理科学, 2005, 13(3): 89–94.
Chen Y T, Chen G H, Li M J. Research on determining weights of combination evaluation Method using cooperative games. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(3): 89–94. (in Chinese)
- [44] 邹筱, 赵锋. 基于变权Shapley值的合作博弈赋权方法. 统计与决策, 2010(8): 156–158.
Zhou X, Zhao F. The determining weights method using cooperative games based on variable weight shapley value. Statistics and Decision, 2010(8): 156–158. (in Chinese)
- [45] 彭猛业, 楼超华, 高尔生. 加权组合评价法及其应用. 中国卫生统计, 2004, 21(3): 146–149.
Peng M Y, Lou C H, Gao E S. Combinatorial evaluation method of weighting average and its application. Chinese Journal of Health Statistics, 2004, 21(3): 146–149. (in Chinese)
- [46] 彭勇行. 国际投资环境的组合评价研究. 系统工程理论与实践, 1997, 17(11): 13–17.
Peng Y X. The combinational evaluation research of the international investment environment. Systems Engineering: Theory and Practice, 1997, 17(11): 13–17. (in Chinese)
- [47] 易平涛, 郭亚军. 双方冲突特征下多评价结论协商组合评价方法. 系统工程理论与实践, 2006, 26(11): 63–72.
Yi P T, Guo Y J. A method of multi-evaluation conclusions bargaining combination under the feature of conflict between two parties. Systems Engineering: Theory and Practice, 2006, 26(11): 63–72. (in Chinese)
- [48] 易平涛, 郭亚军, 张丹宁. 意见分歧特征下多评价结论协商组合方法. 东北大学学报, 2006, 27(12): 1389–1392.
Yi P T, Guo Y J, Zhang D N. Combination bargaining method for multi-evaluation conclusions characterized by disagreement. Journal of Northeastern University, 2006, 27(12): 1389–1392. (in Chinese)
- [49] 李珠瑞, 马溪骏, 彭张林. 基于离差最大化的组合评价方法研究. 中国管理科学, 2013, 21(1): 174–179.
Li Z R, Ma Xi J, Peng Z L. Research on the combination evaluation method based on maximizing deviations. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21(1): 174–179. (in Chinese)
- [50] 张发明. 一种融合相似与差异特征的组合评价方法及应用. 系统管理学报, 2013, 22(4): 498–504.
Zhang F M. A combined evaluation method integrating similarities and differences and its application. Journal of Systems & Management, 2013, 22(4): 498–504. (in Chinese)
- [51] 张发明. 一种基于偏差熵的组合评价方法及应用. 技术经济, 2011, 30(5): 77–80.
Zhang F M. Combination evaluation method based on deviation entropy and its application. Technology Economics, 2011, 30(5): 77–80. (in Chinese)
- [52] 陈衍泰, 陈国宏, 李美娟. 综合评价方法分类及研究进展. 管理科学学报, 2004, 7(2): 69–79.
Chen Y T, Chen G H, Li M J. Classification & research advancement of comprehensive evaluation methods. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(2): 69–79. (in Chinese)
- [53] 易平涛, 高立群, 郭亚军. 基于多源密度信息集结算子的组合评价方法. 系统工程与电子技术, 2009, 31(12): 2882–2887.
Yi P T, Gao L Q, Guo Y J. Combined evaluation based on multi-sources information density aggregation operator. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(12): 2882–2887. (in Chinese)
- [54] 柳玉鹏, 李一军. 基于降维思想的客观组合评价模型. 运筹与管理, 2009, 18(4): 38–43.
Liu Y P, Li Y J. Objective combined evaluation model based on dimension reduction. Operations Research and Management Science, 2009, 18(4): 38–43. (in Chinese)
- [55] 李美娟, 陈国宏. 基于方法集化的动态组合评价方法研究. 中国管理科学, 2013, 21(2): 132–136.
Li M J, Chen G H. A dynamic combinational evaluation method based on integrated methods set. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21(2): 132–136. (in Chinese)
- [56] 李美娟, 陈国宏. 基于漂移度的动态组合评价方法研究. 中国管理科学, 2015, 23(1): 141–145.
Li M J, Chen G H. A dynamic combination evaluation method based on drift. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(1): 141–145. (in Chinese)
- [57] 徐林明, 孙秋碧, 李美娟. 基于方法集化的区域自主创新实力动态组合评价研究. 福州大学学报, 2014, 28(6): 31–39.
Xu L M, Sun Q B, Li M J. The dynamic combination evaluation research of regional independent innovation based on methods set. Journal of Fuzhou University, 2014, 28(6): 31–39. (in Chinese)
- [58] 杜栋, 吴炎. 从评价方法的组合评价到两两集成. 统计与信息论坛, 2008, 23(5): 5–8.
Du D, Wu Y. From “combination evaluation” to “one-one integrating” of evaluation method. Statistics & Information Forum, 2008, 23(5): 5–8. (in Chinese)
- [59] 姚升保. 基于集成评价方法的企业技术创新项目决策. 科研管理, 2010, 31(5): 102–107.
Yao S B. Enterprise’s technology innovation projects decision-making based on integrated evaluation method. Science Research Management, 2010, 31(5): 102–107. (in Chinese)

- [60] 宴永刚, 马 铭. 基于AHP-EM-TOPSIS组合评价方法的区域低碳竞争力评价研究. 科技管理研究, 2015, 35(7): 39–45.
Yan Y G, Ma M. Research on the evaluation indicator system of regional low carbon competitiveness based on AHP-EM-TOPSIS resultant evaluation methods. Science and Technology Management Research, 2015, 35(7): 39–45. (in Chinese)
- [61] 肖庆业. 南方地区退耕还林工程效益组合评价研究. 北京: 北京林业大学. 2013, 12.
Xiao Q Y. Benefit Combination Evaluation Research for Conversion of Cropland to Forest Program in Southern China. Beijing: Beijing Forestry University, 2013, 12. (in Chinese)
- [62] 屠星月, 薛佳妮, 等. 基于时间序列与RBF的农产品市场价格短期预测模型. 广东农业科学, 2014, 41(23): 168–173.
Tu X Y, Xue J N, et al. Short-term forecast of agricultural products price based on time series and RBF. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(23): 168–173. (in Chinese)
- [63] 倪 渊, 林 健. 中层管理者胜任力组合评价模型及实证研究. 系统工程, 2012, 30(1): 1–7.
Ni Y, Lin J. Combined evaluation model of the middle-level manager's competence and its empirical study. Systems Engineering, 2012, 30(1): 1–7. (in Chinese)
- [64] 程晓娟, 韩庆兰, 全春光. 基于PCA-DEA组合模型的中国煤炭产业生态效率研究. 资源科学, 2013, 35(6): 1292–1299.
Cheng X J, Han Q L, Quan C G. The ecological efficiency of the coal industry based on PCA and DEA modeling. Resources Science, 2013, 35(6): 1292–1299. (in Chinese)
- [65] 曾宪报. 关于组合评价法的事前事后检验. 统计研究, 1997, 14(6): 56–58.
Zeng X B. Testing before and after the combinational assess about combined evaluation. Statistical Research, 1997, 14(6): 56–58. (in Chinese)
- [66] 朱 琳. 几种组合评价法及其应用分析. 统计与信息论坛, 2005, 20(3): 89–92.
Zhu L. A few combinatorial assesses approaches and some comments on the aspect of their application. Statistics & Information Forum, 2005, 20(3): 89–92. (in Chinese)
- [67] 刘艳春. 一种循环修正的组合评价方法. 数学的实践与认识, 2007, 37(4): 88–94.
Liu Y C. A kind of combination evaluation method that revise circularly. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(4): 88–94. (in Chinese)
- [68] 郭亚军, 马赞福, 张发明. 组合评价方法的相对有效性分析及应用. 中国管理科学, 2009, 17(2): 125–130.
Guo Y J, Ma Z F, Zhang F M. Validity analysis of several kinds of combination evaluation methods. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(2): 125–130. (in Chinese)

作者简介:

张发明 (1980—), 男, 江西临川人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 综合评价与决策支持, Email: zfm1214@163.com;

刘志平 (1992—), 女, 江西吉安人, 硕士生, 研究方向: 综合评价与决策支持, Email: 13077913051@163.com.