

基于直觉模糊熵的交叉评价方法

范建平 薛 坤 吴美琴

(山西大学经济与管理学院 太原 030006)

摘 要 对基于相对贴近度的第二目标模型进行模糊扩展,充分利用模糊信息,定义一种新的方法将三角模糊效率值转化为直觉模糊集,并用直觉模糊熵对模糊交叉效率进行集结,然后用三元有向距离指数对全局模糊效率值进行排序。最后用基于直觉模糊熵的交叉评价方法,对国家自然科学基金委员会管理科学部认定的管理科学与系统科学 10 种重要期刊在 2011 年的引证效率进行分析,以此来说明该方法的有效性与可行性。

关键词 模糊 DEA,交叉效率,相对贴近度,直觉模糊熵

中图法分类号 N945 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.02.048

Cross Evaluation Method Based on Intuitionistic Fuzzy Entropy

FAN Jian-ping XUE Kun WU Mei-qin

(School of Economics and Management, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract This paper endeavored to extend the secondary goal model based on the relative closeness to the fuzzy environment and made full use of fuzzy information. Then, this paper proposed a new method to convert triangular fuzzy efficiency to intuitionistic fuzzy set, so that it can integrate the fuzzy efficiency with intuitionistic fuzzy entropy. After that, ternary directional distance index was used to rank the whole fuzzy efficiencies. At last, the citation efficiencies of ten management science and system science journals which are identified as the important journals by Management Science Department of National Natural Science Foundation of China in 2011 were analyzed to illustrate the feasibility and validity of the proposed method.

Keywords Fuzzy data envelopment analysis, Cross-efficiency, Relative closeness, Intuitionistic fuzzy entropy

1 引言

由于现实的复杂性、主观认知的局限性以及信息缺失等原因,决策者获得的信息往往是模糊的。针对这类模糊信息,传统的数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)方法在评价同类型的具有相同投入和产出的决策单元(Decision Making Units, DMUs)的相对有效性时变得不再适用。1992 年, Sengupta^[1]将模糊集理论^[2]扩展到传统的 DEA 模型中,文献[3-10]分别使用不同的方法对不同的 DEA 模型进行模糊扩展和应用。文献[11-14]对 DEA 模糊交叉评价方法进行了研究。

模糊交叉评价可以将每一个提供权重的决策单元看作一个属性。Sirvent 和 León^[14]在对效率值进行集结时采用了简单算术平均的思想,忽略了属性的相对重要性。Zadeh 于 1969 年首先提出用模糊熵来描述信息的模糊性,模糊熵越大,信息越模糊。随后, Luca 等人^[15]给出了模糊熵的公理体系和定义公式。Burillo 等人^[16]首次将熵扩展到直觉模糊环境中,构造了直觉模糊熵公理体系。Hung 等人^[17]将隶属度、非隶属度和犹豫度作为概率测度,从概率的角度重新给出了直觉模糊熵公式。Wu 等人^[18]在经典的直觉模糊熵的基础上

提出了模糊加权熵,根据最小化熵的原则得到准则的最优权重。Mao 等人^[19]定义了一种直觉模糊交叉熵来测算不确定信息的区分力。高明美等人^[20]在其基础上考虑了犹豫度对模糊熵的贡献,构造了一个新的直觉模糊熵公式。Meng 和 Chen^[21]定义了一个新的直觉模糊熵,并提出了一种新的相似度测度法。

为充分利用模糊信息,并客观地对模糊交叉效率进行集结,本文提出一种基于直觉模糊熵的交叉评价方法。首先,用模糊数的比较规则对基于相对贴近度的第二目标模型进行模糊扩展,使得在评价决策单元时不会对其他决策单元产生影响;其次,定义一种新的方法将三角模糊效率值转化为直觉模糊集,用模糊效率值的下界表示被评价的决策单元隶属于有效的程度,用 1 减去模糊效率值的上界表示非隶属度,用直觉模糊熵对效率值进行集结;最后,用三元有向距离指数对模糊效率值进行排序,通过对管理科学与系统科学 10 种重要期刊的引证效率进行分析,来说明本文所提方法的有效性与可行性。

2 模糊 DEA 方法相关理论

2.1 模糊 DEA 模型

模糊 DEA 模型是在模糊集理论的基础上对 DEA 模型

到稿日期:2016-12-13 返修日期:2017-03-06 本文受山西省高等学校哲学社会科学研究项目(2017302)资助。

范建平(1975—),男,博士,副教授,主要研究方向为决策科学与技术,E-mail:fjp@sxu.edu.cn(通信作者);薛 坤(1991—),女,硕士,主要研究方向为决策科学与技术,E-mail:1095396552@qq.com;吴美琴(1980—),女,博士,讲师,主要研究方向为决策科学与技术,E-mail:wmq80@sxu.edu.cn。

的扩展。隶属度思想是模糊数学的基本思想,表示论域 X 对模糊子集的隶属程度,是 X 到 $[0,1]$ 的一个映射,用 $u_z(x)$ 来表示。比如,对于模糊子集“年轻”来说,30岁隶属于它的程度为50%,即0.5。模糊子集 Z 通常可以用一个三角模糊数 (c_l, a, c_r) 来表示。 a 为中点值,它隶属于 Z 的程度为1, c_l 和 c_r 分别为它的左扩散和右扩散,当 $c_l = c_r$ 时, Z 被称为对称三角模糊数,记作 $Z = (a, c)$ 。本文利用模糊数比较规则,要求投入和产出数据表现为对称三角模糊数,求解时涉及到决策者预先制定的一个位于0和1之间的可能性水平 h 。

假设有 n 个决策单元,每个决策单元有 m 个投入, s 个产出, $\tilde{x}_{ij} = (x_{ij}, c_{ij})$ 和 $\tilde{y}_{rj} = (y_{rj}, d_{rj})$ 表示 DMU_j 的第 i 个模糊投入和第 r 个模糊产出, c_{ij} 和 d_{rj} 表示 $\tilde{x}_{ij}$ 和 $\tilde{y}_{rj}$ 中心值的扩展。模糊CCR模型如式(1)所示,其中“ $\approx$ ”“ $\leq$ ”分别表示近似相等和近似小于; $\tilde{1} = (1, e)$, e 是预先设定的 $\tilde{1}$ 的扩展。

$$\begin{aligned} & \max \sum_{r=1}^s u_{rk} \tilde{y}_{rk} \\ & \text{s. t. } \sum_{i=1}^m v_{ik} \tilde{x}_{ik} \approx \tilde{1} \\ & \sum_{r=1}^s u_{rk} \tilde{y}_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_{ik} \tilde{x}_{ij}, j=1, \dots, n \\ & u_{rk}, v_{ik} \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Guo 和 Tanaka 利用模糊数的比较规则对模型(1)进行了转化。从图1可以看出,两个给定的对称三角模糊数 $\tilde{Z}_1 = (z_1, w_1)$ 和 $\tilde{Z}_2 = (z_2, w_2)$ 的比较,实际上就是它们的 h 水平截集的两个端点的比较。在模型(1)的目标函数中,最大化模糊变量在悲观情形下可以看作最大化 h 水平截集的左端点。模型(1)的等式约束表示找到一个 v_{ik} 使 $\sum_{i=1}^m v_{ik} \tilde{x}_{ik}$ 尽可能靠近 $\tilde{1}$ 但上限受限于 $\tilde{1}$,也就是说左端重合,右端尽可能靠近但是不超过 $\tilde{1}$ 。模型(1)可以转化为模型(2)。

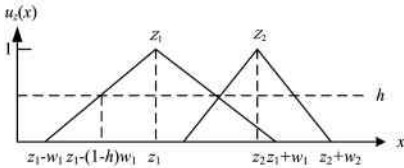


图1 模糊变量的比较

Fig. 1 Comparison of fuzzy variables

模型(2)中后两个约束等价于模型(1)中的不等式约束。

其中 g_k 表示满足模型(2)中第2个和第3个约束条件的 $\sum_{i=1}^m v_{ik} c_{ik}$ 的最大值, $e = \max(\max_{j=1, \dots, n} \max_{i=1, \dots, m} c_{ij} / x_{ij})$ 。

$$\begin{aligned} & \max \sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rk} - (1-h)d_{rk}] \\ & \text{s. t. } \sum_{i=1}^m v_{ik} c_{ik} \geq g_k \\ & \sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ik} - (1-h)c_{ik}] = 1 - (1-h)e \\ & \sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ik} + (1-h)c_{ik}] \leq 1 + (1-h)e \\ & \sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rj} + (1-h)d_{rj}] \leq \sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ij} + (1-h)c_{ij}] \\ & \sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rj} - (1-h)d_{rj}] \leq \sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ij} - (1-h)c_{ij}] \\ & j=1, \dots, n \\ & u_{rk}, v_{ik} \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Sirvent 等人^[14]根据CCR效率值的定义,对模糊交叉效率值进行了定义,即用 DMU_k 的权重依次对其他决策单元进行评价, DMU_j 的模糊交叉效率值表现为非对称的三角模糊数 $E_{kj} = (\eta_{kj}^L, \eta_{kj}^*, \eta_{kj}^R)$, 其中:

$$\begin{aligned} \eta_{kj}^* &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij}} \\ \eta_{kj}^L &= \eta_{kj}^* - \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rj} - d_{rj}(1-h)]}{\sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ij} + c_{ij}(1-h)]} \\ \eta_{kj}^R &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rj} + d_{rj}(1-h)]}{\sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ij} - c_{ij}(1-h)]} - \eta_{kj}^* \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 直觉模糊熵

直觉模糊集(Intuitionistic Fuzzy Set, IFS)是保加利亚学者 Atanassov^[22]对模糊集的扩展,即在单一标度(隶属度)的基础上增加了非隶属函数。它能够表示“非此非彼”的“中立状态”。例如,当一个直觉模糊集的隶属度为0.6,非隶属度为0.3时,它的犹豫度为0.1,因此可以用投票模型来解释:所有参与投票的人中,60%的人赞成,30%的人反对,剩余的10%选择弃权。

Atanassov 给出了直觉模糊集的定义。

定义^[22] 设 $U = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 是一个给定的论域,则 U 上的一个直觉模糊集 $C = \{(x, u_C(x), v_C(x)) | x \in U\}$ 。

其中, $u_C(x): U \rightarrow [0,1]$ 表示 C 的隶属度函数; $v_C(x): U \rightarrow [0,1]$ 表示 C 的非隶属度函数;且对于 C 上所有的 $x \in U$, $0 \leq u_C(x) + v_C(x) \leq 1$ 成立,由 $u_C(x)$ 和 $v_C(x)$ 组成的有序区间对 $(u_C(x), v_C(x))$ 为直觉模糊数; $\pi_C(x) = 1 - u_C(x) - v_C(x)$ 是给定对象 x 对 C 的犹豫程度。

模糊熵是 Shannon 信息熵在模糊数学领域中的扩展,被用来解释模糊集所包含的信息量,信息量越多,则模糊性越低,那么它能够给决策者提供的信息也就越多。模糊熵的度量主要从隶属度与非隶属的距离和犹豫度两方面来考虑。从投票模型来解释,当支持人数和否定人数所占的比重相同时,人们很难做出合理的判断;当弃权的人数占比较高时,说明大多数人处于犹豫的状态,也不利于决策者做出合理的推断。

为了同时从两个方面考虑模糊集所包含的信息量,高明美等人^[21]提出了一种改进的模糊熵公式。假设有 m 个方案、 n 个属性,第 i 个方案在第 j 个属性下的属性值表现为直觉模糊数 $C_{ij} = \{(x_i, u_C(x_{ij}), v_C(x_{ij})) | x_i \in U\}$, 则犹豫度为 $\pi_C(x_{ij}) = 1 - u_C(x_{ij}) - v_C(x_{ij})$, 第 j 个属性的直觉模糊熵为:

$$EE_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1 - |u_C(x_{ij}) - v_C(x_{ij})|^2 + \pi_C(x_{ij})^2}{2} \quad (4)$$

其中, $j=1, \dots, n$ 。从式(4)可以看出,当隶属度与非隶属度之间的距离 $|u_C(x_{ij}) - v_C(x_{ij})|$ 越小,犹豫度 $\pi_C(x_{ij})$ 越大,则信息越模糊, EE_j 越大,那么能够为决策者提供的有用信息就越少,属性 j 的权重就应该越小。因此,属性 j 基于直觉模糊熵的权重为:

$$w_j = \frac{1 - EE_j}{n - \sum_{j=1}^n EE_j} \quad (5)$$

2.3 三元有向距离指数

对模糊交叉效率进行集结后,每个决策单元的全局效率表现为非对称的三角模糊数,如何对非对称三角模糊数进行排序是本文要解决的问题之一。范建平等^[23]将 Song 等人^[24]提出的评价区间数优劣程度的有向距离指数扩展到了三元效率区间上。

假设有 m 个方案,每个方案在特定属性 a 下的取值表现为三元区间数据: $f(x_i, a) = [a^L(x_i), a^*(x_i), a^R(x_i)]$, $i = 1, \dots, m$, 满足 $a^L(x_i) \leq a^*(x_i) \leq a^R(x_i)$ 。其中 $a^*(x_i)$ 表示 x_i 在属性 a 下的最有可能的属性值, $a^L(x_i)$ 和 $a^R(x_i)$ 分别表示属性值的上下界,则在属性 a 下方方案 x_i 相对于方案 x_j 的三元有向距离指数定义为:

$$\begin{aligned} TDDI_a(x_i, x_j) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{12} \frac{a^R(x_i) - a^R(x_j) + a^*(x_i) - a^*(x_j)}{\max(a^R(x)) - \min(a^*(x))} + \\ &\quad \frac{1}{12} \frac{a^R(x_i) - a^R(x_j) + a^L(x_i) - a^L(x_j)}{\max(a^R(x)) - \min(a^L(x))} + \\ &\quad \frac{1}{12} \frac{a^*(x_i) - a^*(x_j) + a^L(x_i) - a^L(x_j)}{\max(a^*(x)) - \min(a^L(x))} \end{aligned}$$

其中, $\max(a^R(x)) = \max(a^R(x_1), \dots, a^R(x_m))$, $\min(a^*(x)) = \min(a^*(x_1), \dots, a^*(x_m))$, $\min(a^L(x)) = \min(a^L(x_1), \dots, a^L(x_m))$, $\max(a^*(x)) = \max(a^*(x_1), \dots, a^*(x_m))$ 。

且有:

- 1) 当 $\max(a^R(x)) = \min(a^*(x))$ 时, $\frac{a^R(x_i) - a^R(x_j) + a^*(x_i) - a^*(x_j)}{\max(a^R(x)) - \min(a^*(x))} = 0$;
- 2) 当 $\max(a^R(x)) = \min(a^L(x))$ 时, $\frac{a^R(x_i) - a^R(x_j) + a^L(x_i) - a^L(x_j)}{\max(a^R(x)) - \min(a^L(x))} = 0$;
- 3) 当 $\max(a^*(x)) = \min(a^L(x))$ 时, $\frac{a^*(x_i) - a^*(x_j) + a^L(x_i) - a^L(x_j)}{\max(a^*(x)) - \min(a^L(x))} = 0$ 。

根据以上定义,可得到:① $0 \leq TDDI_a(x_i, x_j) \leq 1$; ② 当方

案 i 在属性 a 下优于方案 j 时, $TDDI_a(x_i, x_j) \geq \frac{1}{2}$ 。 $TDDI_a(x_i, x_j)$ 仅表示方案 i 相对于方案 j 在属性 a 下的优劣程度,那么方案 i 在属性 a 下整体的有向距离指数可以表示为:

$$TDDI_a(x_i) = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1, j \neq i}^m TDDI_a(x_i, x_j) \tag{6}$$

根据 $TDDI_a(x)$ 的大小可以对三元效率区间值进行排序。

3 模糊 DEA 交叉评价步骤

3.1 基于相对贴近度的模糊交叉效率的测算

模糊 CCR 模型存在权重不唯一的情形,会造成模糊交叉效率值也不唯一,因此文献^[14]对 Liang 等人^[25]提出的仁慈型交叉效率模型进行了模糊扩展,用 α_j' 来表示 DMU_j 投入产出加权求和的离差, α_j' 的取值越小,说明 DMU_j 越有效。每个决策单元在保持自评效率值不变的情况下,使得除自己以外的所有决策单元的模糊投入产出的离差和最小,也就是使其他所有决策单元的效率和最大化。这种方法会对其他所有

的决策单元造成影响,并且较为极端,在实际问题中会给决策者带来困难。因此,本文对 Wang 等人^[26]提出的基于相对贴近度的第二目标模型进行模糊扩展,并利用模糊数比较规则来求解该模型。

首先,在对决策单元进行评价时,不考虑被评估决策单元对其他决策单元的影响,利用 TOPSIS 的基本思想,构造两个投入产出分别为模糊数的虚拟决策单元,即理想决策单元 (IDMU) 和负理想决策单元 (ADMU)。其中, IDMU 使用最小的模糊投入生产最大的模糊产出, ADMU 使用最大的模糊投入生产最小的模糊产出。其次,重新定义投入产出为模糊数的决策单元到虚拟决策单元的相对贴近度。与其他决策单元相比,如果被评估的 DMU_k 到 IDMU 的距离越小,到 ADMU 的距离越大,则认为它具有更好的表现。最后,通过决策单元之间的相互评价,得到模糊交叉效率矩阵。

要构造虚拟的决策单元,就要找到每一种模糊投入和产出中最大的投入和最小的产出。Wang 等人^[27]根据模糊数的性质,对模糊数的定量化排序方法进行总结,其思想主要是建立从模糊数到实数之间的一个映射关系。本文采用 Chang 等人^[28]提出的指数对模糊数进行排序。

定义 2^[28] 设 $u_Z(x)$ 表示模糊子集 Z 的隶属函数,则模糊子集 Z 对实数 R 的映射关系如下:

$$B(Z) = \int_{x \in \text{supp} Z} x u_Z(x) dx$$

其中, $\text{supp} Z$ 表示模糊子集 Z 的支撑集。 $B(Z)$ 的绝对值越大,表明模糊数 Z 越大。利用定义 2 可以得到所有的模糊投入和产出的最大值和最小值。

定义 3^[29] 对于两个模糊数 $\tilde{Z}_i$ 和 $\tilde{Z}_j$, 其 Hausdorff 距离记作 $D_F(\tilde{Z}_i, \tilde{Z}_j)$, 定义为:

$$\begin{aligned} D_F(\tilde{Z}_i, \tilde{Z}_j) &= \sup_{0 \leq \alpha \leq 1} \{ \max \{ \sup_{x \in (\tilde{Z}_i)_\alpha} \inf_{y \in (\tilde{Z}_j)_\alpha} |x - y|, \sup_{y \in (\tilde{Z}_j)_\alpha} \inf_{x \in (\tilde{Z}_i)_\alpha} |x - y| \} \} \\ &= \sup_{0 \leq \alpha \leq 1} \{ \max \{ |(\tilde{Z}_i)_\alpha^L - (\tilde{Z}_j)_\alpha^L|, |(\tilde{Z}_i)_\alpha^U - (\tilde{Z}_j)_\alpha^U| \} \} \end{aligned}$$

用相对贴近度 (Relative Closeness, RC) 来表示被评估的决策单元 k 相对于 IDMU 和 ADMU 的位置。本文对投入产出分别为模糊数的决策单元 k 的相对贴近度作如下定义:

$$\begin{aligned} RC_k &= \frac{D_k^{ADMU}}{D_k^{IDMU} + D_k^{ADMU}} \\ &= \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} D_F(\tilde{y}_{rk}^{\min}, \tilde{y}_{rk}) + \sum_{i=1}^m v_{ik} D_F(\tilde{x}_i^{\max}, \tilde{x}_{ik})}{\sum_{r=1}^s u_{rk} D_F(\tilde{y}_{rk}^{\max}, \tilde{y}_{rk}^{\min}) + \sum_{i=1}^m v_{ik} D_F(\tilde{x}_i^{\max}, \tilde{x}_{ik}^{\min})} \tag{7} \end{aligned}$$

决策单元之间的距离用 Hausdorff 距离来表示。由式(7)可知, RC_k 越大,决策单元离 ADMU 越远,离 IDMU 越近,说明 DMU_k 的表现越好。最大化 RC_k 等价于最小化到 IDMU 的相对贴近度。

对 Wang 等人^[26]提出的基于相对贴近度的第二目标模型进行模糊扩展,并利用模糊数的比较规则来求解该模型,模型如式(8)所示。在扩展的过程中,因为相对贴近度的定义中权重和距离均为精确值,因此目标函数和约束条件中的第一

个等式不需要进行模糊扩展。模型(8)中 β_k^* 是模型(2)中目标函数的最优值,因此约束条件中的第 2 个到第 5 个式子表示被评价的决策单元保持自评效率值不变。模型(8)中每个决策单元在保证自己自评效率值不变的情况下,尽可能接近 IDMU,远离 ADMU,不使用其他决策单元的投入产出数据,因此不会对其他决策单元产生影响。因为同时考虑了到 IDMU 和到 ADMU 的距离,所以得到的结果会更加合理。

$$\begin{aligned} &\max \sum_{i=1}^m v_{ik} D_F(\tilde{x}_i^{\max}, \tilde{x}_{ik}) + \sum_{r=1}^s u_{rk} D_F(\tilde{y}_r^{\min}, \tilde{y}_{rk}) \\ &\text{s. t. } \sum_{r=1}^s u_{rk} D_F(\tilde{y}_r^{\max}, \tilde{y}_{rk}^{\min}) + \sum_{i=1}^m v_{ik} D_F(\tilde{x}_i^{\max}, \tilde{x}_{ik}^{\min}) = 1 \\ &\sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rk} - (1-h)d_{rk}] = \beta_k^* \\ &\sum_{i=1}^m v_{ik} c_{ik} \geq g_k \\ &\sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ik} - (1-h)c_{ik}] = 1 - (1-h)e \\ &\sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ik} + (1-h)c_{ik}] \leq 1 + (1-h)e \\ &\sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rj} - (1-h)d_{rj}] - \sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ij} - (1-h)c_{ij}] \leq 0 \\ &\sum_{r=1}^s u_{rk} [y_{rj} + (1-h)d_{rj}] - \sum_{i=1}^m v_{ik} [x_{ij} + (1-h)c_{ij}] \leq 0 \\ &j=1, \dots, n \\ &v_{ik}, u_{rk} \geq 0 \end{aligned}$$

(8)

对模型(8)求解 n 次得到每个决策单元的最优权重,将其代入式(3)来评价其他决策单元。 DMU_j 的模糊交叉效率为非对称三角模糊数 $E_{kj} = (\eta_{kj}^L, \eta_{kj}^*, \eta_{kj}^R)$, 模糊交叉效率矩阵如表 1 所列。

表 1 模糊交叉效率矩阵
Table 1 Fuzzy cross efficiency matrix

评价决策单元 DMU_k ($k=1, \dots, j$)	被评价决策单元 DMU_j			
	1	2	...	j
1	$(\eta_{11}^L, \eta_{11}^*, \eta_{11}^R)$	$(\eta_{12}^L, \eta_{12}^*, \eta_{12}^R)$	...	...
2	$(\eta_{21}^L, \eta_{21}^*, \eta_{21}^R)$	$(\eta_{22}^L, \eta_{22}^*, \eta_{22}^R)$	...	...
...	...	...	...	...
j	$(\eta_{j1}^L, \eta_{j1}^*, \eta_{j1}^R)$	...	...	$E_{jj} = (\eta_{jj}^L, \eta_{jj}^*, \eta_{jj}^R)$

3.2 模糊交叉效率的集结

如表 1 所列,行表示提供权重的决策单元,列表示被评的决策单元,表中的每一个三角模糊数 $E_{kj} = (\eta_{kj}^L, \eta_{kj}^*, \eta_{kj}^R)$ 表示用 DMU_k 的权重对 DMU_j 进行评价。对表 1 转置后,行表示被评价的决策单元,列表示提供权重的决策单元,模糊交叉评价转化为一个模糊环境下的多属性决策问题。提供权重的决策单元为每一个属性,行和列的交点表示在每一个属性下对决策单元的评价值,如何对这些评价值进行集结是本节所要解决的问题。

在解释模糊集的隶属度时,利用百分制下每位同学的得分情况来表示该同学的细心程度,若得 80 分,则认为该同学隶属于细心的程度为 $80 \div 100 = 0.8$ 。本文采用相同的解释方法,用效率值来表示被评价的决策单元隶属于有效的程度。在基于效率论的 DEA 方法中,当决策单元的效率值为 1 时,认为它是 DEA 有效的,因此,当效率值为 0.8 时,该决策单元

隶属于有效的程度为 0.8,非隶属度为 0.2。Yang 等人^[30]对此持有相同的观点。

基于此,本文将模糊交叉效率矩阵转化为直觉模糊多属性决策表。即对任意的三角模糊效率值 $E_{kj} = (\eta_{kj}^L, \eta_{kj}^*, \eta_{kj}^R)$, 下界 $\eta_{kj}^* - \eta_{kj}^L$ 表示最低的效率值,表示决策单元 j 在属性 k 下肯定隶属于有效的程度,即隶属度 $u_k(DMU_j) = \eta_{kj}^* - \eta_{kj}^L$;效率值的上界表示效率值的最大值,用 1 减去效率值的上界表示在属性 k 下非隶属于有效的程度,即非隶属度 $v_k(DMU_j) = 1 - (\eta_{kj}^* + \eta_{kj}^R)$ 。当 $\eta_{kj}^* + \eta_{kj}^R > 1$ 时, $v_k(DMU_j) = 0$;犹豫度 $\pi_k(DMU_j) = 1 - u_k(DMU_j) - v_k(DMU_j) = \eta_{kj}^R + \eta_{kj}^L$,表示决策单元 k 评价 j 时的犹豫程度。

将模糊交叉效率的集结问题转化为直觉模糊环境下的多属性决策问题后, DMU_j 在第 k 个属性下的值可以表示为 $C_{jk} = \{DMU_j, u_k(DMU_j), v_k(DMU_j)\}$ 。

用直觉模糊熵来测算每个属性 k 下属性值的模糊性,属性 k 的直觉模糊熵为:

$$\begin{aligned} EE_k &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1 - |u_k(DMU_j) - v_k(DMU_j)|^2 + \pi_k(DMU_j)^2}{2} \\ &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1 - |2\eta_{kj}^* + \eta_{kj}^R - \eta_{kj}^L - 1|^2 + (\eta_{kj}^R + \eta_{kj}^L)^2}{2} \end{aligned}$$

$k=1, \dots, n$

(9)

式(9)中全面包含了模糊效率值的 3 个参数,即中间值和左右扩散。用式(5)计算任意属性 k 的模糊熵权 ω_k ,用模糊熵权对任意 DMU_j 的自评和他评模糊交叉效率矩阵进行集结。 DMU_j 的全局模糊交叉效率值为:

$$\begin{aligned} E_j &= (\eta_j^L, \eta_j^*, \eta_j^R) \\ &= (\sum_{k=1}^n \omega_k \eta_{kj}^L, \sum_{k=1}^n \omega_k \eta_{kj}^*, \sum_{k=1}^n \omega_k \eta_{kj}^R), j=1, \dots, n \end{aligned}$$

(10)

3.3 模糊交叉效率值排序

由式(10)计算所得的 DMU_j 的全局模糊交叉效率值表现为非对称的三角模糊数,中间值表示被评价决策单元最有可能的效率值,左右值分别表示中间值的左右扩散。本文用 2.3 节介绍的三元有向距离指数对全局模糊交叉效率值进行排序,在三角模糊交叉效率形式下有向距离指数的形式为:

$$\begin{aligned} TDDI(DMU_j, DMU_i) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{12} \frac{2\eta_i^* - 2\eta_i^R + \eta_i^L - \eta_i^L}{\max(\eta_i^* + \eta_i^R) - \min(\eta_i^*)} + \\ &\frac{1}{6} \frac{\eta_i^* - \eta_i^R}{\max(\eta_i^* + \eta_i^R) - \min(\eta_i^* - \eta_i^L)} + \\ &\frac{1}{12} \frac{2\eta_i^* - 2\eta_i^* - \eta_i^L + \eta_i^L}{\max(\eta_i^*) - \min(\eta_i^* - \eta_i^L)} \end{aligned}$$

(11)

其中, $\max(\eta_i^* + \eta_i^R) = \max(\eta_i^* + \eta_i^R, \dots, \eta_n^* + \eta_n^R)$, $\min(\eta_i^*) = \min(\eta_i^*, \dots, \eta_n^*)$, $\max(\eta_i^*) = \max(\eta_i^*, \dots, \eta_n^*)$, $\min(\eta_i^* - \eta_i^L) = \min(\eta_i^* - \eta_i^L, \dots, \eta_n^* - \eta_n^L)$ 。

$TDDI(DMU_j, DMU_i)$ 表示 DMU_j 关于 DMU_i 的有向距离指数,根据式(6)得到 DMU_j 关于全局的有向距离指数为:

$$TDDI(DMU_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, i \neq j}^n TDDI(DMU_j, DMU_i)$$

(12)

综上所述,本文提出的基于相对贴近度和直觉模糊熵的

模糊 DEA 交叉评价方法的步骤如下。

步骤 1 测算基于相对贴近度的模糊交叉效率值,得到模糊交叉效率矩阵。

1)根据定义 2 确定模糊投入和模糊产出的最大值和最小值,构造虚拟的理想决策单元和负理想决策单元。

2)根据定义 3 计算每个决策单元到虚拟决策单元的 Hausdorff 距离。

3)利用模型(2)求解模糊 CCR 模型目标函数的最优值 β_k^* 。

4)将 Hausdorff 距离和最优值 β_k^* 代入基于相对贴近度的交叉评价模型(8),得到每个决策单元的最优权重。

5)将每个决策单元的最优权重代入式(3)来对其他决策单元进行评价。

步骤 2 对模糊交叉效率值进行集结。

1)根据 3.2 节中的概述将模糊交叉效率值转化成直觉模糊数据。

2)根据式(9)计算每个提供权重的决策单元 k ,即属性 k 的直觉模糊熵。

3)利用式(5)计算属性 k 的模糊熵权。

4)利用模糊熵权集结模糊交叉效率值,得到任意决策单元关于全局的模糊交叉效率值。

步骤 3 使用模糊效率形式下的有向距离指数的公式(式(11)和式(12))对决策单元的全局模糊交叉效率进行排序。

4 实证分析

作为一门交叉学科,管理科学是在 20 世纪 80 年代以后才在中国得到了迅速的发展。国家自然科学基金委员会管理科学部从基金资助绩效评价的实际需求出发,遴选了管理科学类的 30 种重要期刊,这 30 种重要期刊是该学科领域中最新科研成果发布和前沿学术知识交流的重要平台。张紫琼等人^[31]将 30 种重要期刊分成管理科学与系统科学、科学与科学研究、经济学三大类。因为学科范围和期刊性质不同,导致不同类别的期刊指标在统计原则上存在较大的差异,所以不能将其作为同质化的决策单元来分析。本文对管理科学与系统科学类的 10 种重要期刊在 2011 年的引证效率进行测算,以此来说明本文所提方法的可行性与有效性。

4.1 指标体系的构建

指标体系的构建要遵循能够反映各期刊学术水平、有较好的统计源、符合学术期刊引证特点的原则。本文考虑了期刊投入的深度与广度,选取了如下投入、产出指标:

投入指标:来源文献量、基金论文比。万莉等人^[32]选择了相同的投入。来源文献量可以反映期刊投入的广度。基金论文比可以反映期刊投入的深度,其高低代表学术论文的质量,并且会直接影响其被引指标。

产出指标:总被引频次、影响因子、即年指标、引用刊数、学科扩散指标。使用这些指标分析学术期刊的引证效率具有很强的操作性^[32]。总被引频次、影响因子和即年指标可以反映期刊产出的深度,引用刊数和学科扩散指标可以反映期刊产出的广度。万莉等人^[32]选择篇均被引频次来分析引证效率。由于该指标的统计数据不可得,因而本文选择总被引频次。投入、产出指标的解释详见《中国科技期刊引证报告(扩刊版)》。

4.2 数据的来源与处理

本文的数据来源于《中国科技期刊引证报告(扩刊版)》,其可以全方位且完整地提供期刊所刊载的学术论文引用与被引用的数据,本文选择的 10 种重要期刊的数据均可从中获得。由于学术论文被引用存在一定的“时滞”效应,不同类别的期刊被引用峰值的出现时间不同,科技类期刊所刊载的学术论文从发表到被引用的峰值是在发表后的一到两年,期刊评价指标之一的影响因子的测算也是以两年为一个周期。因此,对于绝对量指标总被引频次和引用刊数,本文将三年内的数据构成一个对称三角模糊数作为该年的产出。例如,用 2011 年—2013 年的数据来表示 2011 年的总被引频次,将这三年数据的平均值作为模糊数的中间值(y_{ij}),将三年数据与平均值的最大差值作为模糊数中间值的扩展值(d_{ij}),除此之外的其他指标数据可以看作扩展值为 0 的对称三角模糊数。

4.3 管理科学与系统科学期刊引证效率分析

以 2011 年的数据为样本,采用本文提出的基于相对贴近度和直觉模糊熵的交叉评价方法测算 10 种重要期刊的引证效率,并与文献[14]中提出的方法进行对比,以说明本文方法的合理性和有效性。2011 年的投入产出数据如表 2 所列,最后两行表示虚拟的模糊决策单元。

表 2 管理科学与系统科学中 10 种重要期刊在 2011 年的投入-产出数据
Table 2 Input-output data of ten important journals in Management Science and Systems Science in 2011

期刊名称	来源文献量	基金论文比	影响因子	即年指标	总被引频次	引用刊数	学科扩散指标
系统工程理论与实践	294	0.942	0.966	0.095	(5344,370.667)	(1209,333,63,111)	14.91
系统工程学报	115	0.974	0.656	0.078	(1369,44)	(485,333,14,444)	10.38
运筹与管理	185	0.903	0.490	0.011	(1097,333,87,111)	(465,667,13,556)	10.22
中国管理科学	146	0.959	1.016	0.075	(2489,333,157,111)	(661,45,333)	4.89
管理工程学报	137	0.905	0.864	0.080	(1582,126)	(520,333,47,111)	3.66
管理科学学报	104	0.962	1.540	0.096	(2039,170.667)	(576,52)	4.27
系统工程	242	0.769	0.678	0.074	(2615,112)	(837,32)	10.38
管理学报	268	0.885	1.116	0.201	(1888,33,265,111)	(567,333,60,889)	3.87
工业工程与管理	138	0.862	0.641	0.043	(1034,59,333)	(413,333,24,889)	3.06
管理科学	73	0.904	1.526	0.192	(1327,667,180,22)	(486,333,61,111)	3.27
IDMU	73	0.769	1.540	0.201	(5344,370.667)	(1209,333,63,111)	14.91
ADMU	294	0.974	0.490	0.011	(1034,59,333)	(413,333,24,889)	3.06

从表 2 可以看出,各指标的最大值和最小值分布在不同 的期刊中,因此用 DEA 方法从多个指标来测算各个期刊的引

证效率,从而对期刊进行综合评价是有必要的。用 MATLAB 2013 对本文提出的方法和文献[14]提出的仁慈型交叉效率模型进行编程, h 分别取 0,0.2,0.4,0.6,0.8 和 1 后,得到 10 种重要期刊的平均引证效率,需要指出的是,因为投入数据均为精确值,因此引证效率表现为对称的三角模糊数,中间值的左右扩散相等。两种方法的对比结果如表 3 所列。

表 3 本文方法与文献[14]中方法的结果对比
Table 3 Comparison of the results between this method and ref. [14]

期刊名称	文献[14]的方法		本文方法			
	效率值	排序	效率值 中点	左右 扩散	有向距离 指数	排序
系统工程理论与实践	0.9665	1	0.9436	0.0026	0.7768	1
系统工程学报	0.9004	4	0.8393	0.0039	0.5865	4
运筹与管理	0.6853	8	0.6421	0.0015	0.2263	10
中国管理科学	0.8081	5	0.8086	0.0037	0.5303	5
管理工程学报	0.6648	10	0.6663	0.0058	0.2705	9
管理科学学报	0.9192	3	0.9262	0.0055	0.7450	2
系统工程	0.9390	2	0.9192	0.0033	0.7322	3
管理学报	0.6919	7	0.7126	0.0033	0.3551	7
工业工程与管理	0.6753	9	0.6828	0.0020	0.3006	8
管理科学	0.7840	6	0.7793	0.0059	0.4768	6

经过对比发现:用两种方法对 10 种重要期刊排序后,有 5 种期刊的排序结果发生了变化。在文献[14]的排序结果中,《系统工程》排在第 2 位,《管理科学学报》排在第 3 位,采用本文提出的方法时,两者的先后顺序发生了变化;文献[14]的排序结果中,《运筹与管理》排在第 8 位,《工业工程与管理》和《管理工程学报》分别排在第 9 位和第 10 位;而用本文提出的方法,《运筹与管理》排在第 10 位,后两者的排名提前。另外,将模糊交叉效率值的中点与仁慈型交叉效率值进行对比,结果表明前者普遍低于后者,这也符合本文的初衷,避免了效率值过于极端。

先使用本文提出的方法测算 10 种学术期刊的引证效率,再使用三元有向距离指数,得到的排序是合理的。从表 3 可以看出,《系统工程理论与实践》排在第 1 位,《管理科学学报》排在第 2 位,《系统工程》排在第 3 位。虽然前两者均为 NNS-FC 管理科学部认定的 A 级期刊,但是《系统工程理论与实践》由于是 EI Compendex 数据库收录的期刊,也是中国在管理类期刊中唯一进入国际 EI 检索的科技期刊,受到广泛的关注,近年来论文质量也不断提升,平均每期的发文章量也呈现上升趋势,被引量 and 影响因子不断增加。从投入产出数据中也可以看出,《系统工程理论与实践》的总被引频次、引用刊数和学科扩散指标均为最高,距理想决策单元最近,因而引证效率最高,将它排在第一位是合理的。《管理科学学报》是由 NNSFC 管理科学部主办的我国管理科学领域中的一级权威学术期刊,每期发文章量极少,所刊载的论文均能代表本学科领域中最具科学性、前瞻性、创新性与引导性的知识,在管理科学领域中具有很重要的地位。《系统工程》排在前 3 位似乎与自然科学基金委管理科学部认定的重要期刊排序等传统不符,只在 2011 年出现了这种情况。《系统工程》开设的栏目涉及理论综述、物流、金融系统、社会经济、生态环境、交通、信息管理、方法应用等方面,收录的学术论文知识覆盖面广,区域传播能力较强,学术论文作者的地区分布数仅次于《系统工程

理论与实践》和《系统工程学报》,且创刊时间较早,近年来学术影响力不断提高。排在中间的 4 种期刊与它们各自在管理学领域中的学术影响力大体上是一致的。排在后 3 位的依次为《工业工程与管理》《管理工程学报》《运筹与管理》。其中《工业工程和管理》和《运筹和管理》的创刊时间较短、经验欠缺,且都为双月刊,学术论文发表周期过长,被引受阻,这些都会影响期刊的被引指标,降低期刊引证效率。《管理工程学报》虽然是管理科学部认定的 A 级期刊,但是其区域传播能力较低,收录的学术论文作者的地区分布数仅高于《工业工程与管理》,且为季刊,这些是导致学术期刊引证效率低下的因素。

在实际决策活动和生产系统中,投入的产出往往具有“滞后性”,某一时点的产出数据并不能动态反映投入所带来的产出,通常会用模糊数据来表示。数据导向的基于直觉模糊熵的交叉评价方法可以充分利用模糊信息,客观地确定每一种投入产出的权重,在实际的效率测评过程中有更加现实的指导意义。

结束语 在实际的决策活动中,由于客观事物的不确定性或认知的局限性,人们获得的信息往往是模糊的,而传统的 DEA 方法只能用于处理精确数据。本文针对现有的模糊交叉评价方法存在的问题,在对决策单元进行评价时充分考虑了理想和负理想决策单元的距离,对基于相对贴近度的第二目标进行模糊扩展;然后充分利用模糊数据的不确定性,用直觉模糊熵对模糊自评和他评效率值进行集结,进而用三元有向距离指数对模糊效率值进行排序;最后考虑了期刊引用的“时滞”效应,采用本文提出的方法对国家自然科学基金委员会管理科学部认定的管理科学与系统科学 10 种重要期刊在 2011 年的引证效率进行分析,结果表明本文提出的方法是合理有效的。本文在测算模糊交叉效率时,利用模糊数的比较规则对基于相对贴近度的交叉效率第二目标模型进行模糊扩展。在未来的研究中,为了考虑信息的不确定性,可以利用截集等方法对不同的经典 DEA 模型进行改进,不断探索模糊数据包络分析模型对于不同类型的信息的适用性。

参 考 文 献

[1] SENGUPTA J K. A fuzzy systems approach in data envelopment analysis[J]. Computers & Mathematics with Applications,1992,24(8):259-266.

[2] ZADEH L A. Fuzzy sets[J]. Information and Control,1965,8(3):338-353.

[3] GUO P J, TANAKA H. Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method[J]. Fuzzy Sets and Systems,2001,119(1):149-160.

[4] KAO C, LIU S T. Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis[J]. Fuzzy Sets and Systems,2000,113(3):427-437.

[5] WU H P, XUAN G L, SHUAI X. A Confidence DEA Model for LR-Type Fuzzy Numbers[J]. Systems Engineering-Theory & Practice,2003,9(9):28-34. (in Chinese)

吴海平,宣国良,帅旭. 基于 LR 模糊数的置信 DEA 模型[J]. 系统工程理论与实践,2003,9(9):28-34.

[6] WANG Y M, LUO Y, LIANG L. Fuzzy data envelopment analysis based upon fuzzy arithmetic with an application to perfor-

mance assessment of manufacturing enterprises[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 5205-5211.

[7] LERTWORASIRIKUL S, FANG S C, JOINES J A, et al. Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2003, 139(2): 379-394.

[8] ZHOU Z B, SUN L, LIU D B, et al. Fuzzy Non-radial DEA/PS Model with Assurance Regions-an Empirical Analysis based on 24 Institutes of CAS[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(2): 75-84. (in Chinese)
周忠宝, 孙亮, 刘德彬, 等. 存在保证域的模糊非径向偏好 DEA 模型——基于中科院 24 个研究所的实证分析[J]. 中国管理科学, 2014, 22(2): 75-84.

[9] WANG M Q, LIANG L, LI Y J. Fuzzy Super-Efficiency DEA Model [J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(2): 117-124. (in Chinese)
王美强, 梁梁, 李勇军. 超效率 DEA 模型的模糊扩展 [J]. 中国管理科学, 2009, 17(2): 117-124.

[10] ZHOU Z B, LV S Y, MA C Q, et al. Fuzzy Super-Efficiency DEA Model with Assurance Regions [J]. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(6): 156-162. (in Chinese)
周忠宝, 吕思雅, 马超群, 等. 存在保证域的模糊超效率 DEA 模型[J]. 中国管理科学, 2011, 19(6): 156-162.

[11] HU Q H, XU Q, WANG Y M. Cross-Efficiency Evaluation Method of Fuzzy DEA Based on Fuzzy Expected Value[J]. Computer System & Application, 2014, 23(9): 224-229. (in Chinese)
胡庆红, 许强, 王应明. 基于模糊期望值的模糊 DEA 交叉效率评价方法[J]. 计算机系统应用, 2014, 23(9): 224-229.

[12] WANG M Q, LI Y J. Evaluation of Suppliers with Fuzzy Inputs and Outputs Based on DEA Game Cross-efficiency Model[J]. Industrial Engineering and Management, 2015, 20(1): 95-99. (in Chinese)
王美强, 李勇军. 输入输出具有模糊数的供应商评价——基于 DEA 博弈交叉效率方法[J]. 工业工程与管理, 2015, 20(1): 95-99.

[13] DOTOLI M, EPICOCO N, FALAGARIO M, et al. A cross-efficiency fuzzy data envelopment analysis technique for performance evaluation of decision making units under uncertainty[J]. Computers & Industrial Engineering, 2015, 79(2): 103-114.

[14] SIRVENT I, LEÓN T. Cross-Efficiency in Fuzzy Data Envelopment Analysis (FDEA): Some Proposals [M] // Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis. Springer Berlin Heidelberg, 2014: 101-116.

[15] LUCA A D, TERMINI S. A definition of nonprobabilistic entropy in the setting of fuzzy theory[J]. General Systems, 1972, 20(4): 301-312.

[16] BURILLO P, BUSTINCE H. Entropy on intuitionistic fuzzy sets and on interval-valued fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 78(3): 305-316.

[17] HUNG W L, YANG M S. Fuzzy entropy on intuitionistic fuzzy sets[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2006, 21(4): 443-451.

[18] WU J Z, ZHANG Q. Multi-criteria decision making method based on intuitionistic fuzzy weighted entropy[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(1): 916-922.

[19] MAO J J, YAO D B, WANG C C. A novel cross-entropy and entropy measures of IFSs and their applications[J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 48(2): 37-45.

[20] GAO M M, SUN T, ZHU J J. Revised axiomatic definition and structural formula of intuitionistic fuzzy entropy [J]. Control and Decision, 2014, 29(3): 470-474. (in Chinese)
高明美, 孙涛, 朱建军. 一种改进的直觉模糊熵公理化定义和构造公式[J]. 控制与决策, 2014, 29(3): 470-474.

[21] MENG F, CHEN X. Entropy and similarity measure of Atanassov's intuitionistic fuzzy sets and their application to pattern recognition based on fuzzy measures[J]. Pattern Analysis and Applications, 2016, 19(1): 11-20.

[22] ATANASSOV K T. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87-96.

[23] FAN J P, CHEN J, WU M Q, et al. Overall Performance Evaluation for DMUs with Ternary Efficiency Interval [J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(2): 153-161. (in Chinese)
范建平, 陈静, 吴美琴, 等. 三元效率区间下决策单元的全局绩效评价[J]. 中国管理科学, 2016, 24(2): 153-161.

[24] SONG P, LIANG J Y, QIAN Y H. A two-grade approach to ranking interval data [J]. Knowledge-Based Systems, 2012, 27(3): 234-244.

[25] LIANG L, WU J, COOK W D, et al. Alternative secondary goals in DEA cross-efficiency evaluation[J]. International of Production Economics, 2008, 113(2): 1025-1030.

[26] WANG Y M, CHIN K S, LUO Y. Cross-efficiency evaluation based on ideal and anti-ideal decision making units [J]. Expert System with Applications, 2011, 38(8): 10312-10319.

[27] WANG X, KERRE E E. Reasonable properties for the ordering of fuzzy quantities[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 118(3): 375-385.

[28] CHANG W. Ranking of fuzzy utilities with triangular membership functions [C] // Proceedings of International Conference on Policy Analysis and Systems. 1981: 272.

[29] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013: 20-25.

[30] YANG G L, YANG J B, LIU W B, et al. Cross-efficiency aggregation in DEA models using the evidential-reasoning approach [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 231(2): 393-404.

[31] ZHANG Z Q, ZHANG Z L, YE Q, et al. Study on Internal Structure of Important Management Periodicals Based on Cross-citation Network [J]. Science of Science & Management of S & T, 2010, 31(5): 66-70. (in Chinese)
张紫琼, 张自立, 叶强, 等. 基于互引网络的管理学部重要期刊内部关系研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2010, 31(5): 66-70.

[32] WAN L, CHENG H P. Research on Efficiency for Academic Journal Citation Based on Data Envelopment Analysis Approach [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2013, 32(12): 1295-1302. (in Chinese)
万莉, 程慧平. 基于 DEA 方法的学术期刊引证效率研究[J]. 情报学报, 2013, 32(12): 1295-1302.