

考虑决策者行为的水环境审计绩效异质信息 多指标综合评价

滕剑仑¹, 吴 坚^{2†}, 余高锋³, 蔡创能⁴

(1. 广西财经学院 会计与审计学院, 南宁 530003; 2. 上海海事大学 经济与管理学院, 上海 201306;
3. 三明学院 信息工程学院, 福建 三明 365004; 4. 三明学院 管理学院, 福建 三明 365004)

摘要: 针对水环境审计绩效评价中存在的模糊性、多指标、异质性等特点, 提出考虑决策者行为的水环境审计绩效异质信息多指标评价方法. 首先, 构建水环境审计绩效评价指标体系; 其次, 对异质评价信息采用实数、区间数、三角模糊数、语言变量和直觉模糊数5种不同类型数据表示和刻画, 并利用前景效用理论, 考虑决策者行为对水环境绩效评价的影响, 进而提出各个水环境审计绩效异质评价指标关于正负理想解的计算方法, 据此确定水环境审计绩效异质评价的水平, 并具体给出其评价步骤; 最后, 通过实例说明所提出方法的有效性和合理性.

关键词: 决策者行为; 异质评价; 水环境审计绩效; 前景理论

中图分类号: C934

文献标志码: A

Heterogeneous information and multitude index synthesis evaluation method of water environment audit performance under consideration of DM behaviors

TENG Jian-lun¹, WU Jian^{2†}, YU Gao-feng³, CAI Chuang-neng⁴

(1. School of Accounting and Audit, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530003, China; 2. School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; 3. School of Information Engineering, Sanming University, Sanming 365004, China; 4. School of Management, Sanming University, Sanming 365004, China)

Abstract: In order to deal with the fuzzy, multitude index and heterogeneous information in water environment audit performance, the heterogeneous information and multitude index synthesis evaluation method under the consideration of decision makers(DM) behaviors is proposed. Firstly, water environment audit performance evaluation index system is built. Then, five different types of index, including real number, interval number, triangular fuzzy number, linguistic variable and intuitionistic fuzzy number, are used to describe heterogeneous evaluation information. Furthermore, by considering the effect of DM behaviors on water environment audit performance evaluation and applying the prospect utility theory, a computing method is proposed for each water environment audit performance heterogeneous evaluation index with regard to positive and negative ideal solution. According to the computing method, the evaluation level of water environment audit performance with heterogeneous information is confirmed and the evaluation steps are instructed. Finally, a numerical example is given to illustrate the effectiveness and rationality of the proposed method.

Keywords: decision maker's behavior; heterogeneous evaluation; water environmental audit performance; prospect theory

0 引言

水环境审计绩效评价是衡量水资源是否被过度使用, 水资源的可持续性是否能得到保障的重要评价

方法. 相关资料显示, 水资源是社会、经济可持续发展的重要载体, 是建设生态文明的基础. 水环境质量的好坏是关乎民生的大事.

收稿日期: 2017-06-18; 修回日期: 2017-07-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71231003, 71571166); 福建省软科学项目(2017R0094); 福建省教育厅人文社会科学项目(JAS160509); 三明学院社会科学项目(A201620).

责任编委: 李登峰.

作者简介: 滕剑仑(1973—), 男, 副教授, 博士, 从事会计决策理论与方法的研究; 吴坚(1978—), 男, 教授, 博士生导师, 从事社会网络分析、群决策、多属性决策和综合评价方法等研究.

†通讯作者. E-mail: jyajian@163.com

目前,水环境审计绩效评价的内容主要涉及评价体系的构建,评价程序的设定,较少考虑因不同区域的差异性、审计主体的差异性、决策者偏好的差异性产生的评价结果的异质性.文献[1]仅仅考虑运用层次分析法将环境绩效审计指标划分为生命周期绩效指标、操作绩效指标和环境绩效指标,缺乏对指标的多样性和异质性进行分析;文献[2]在宏观指标的评价基础上,按照层次分析方法构建和评价环境绩效的效率指标和规模化指标,缺少评价不同个体的差异性分析;文献[3]进一步强调了政府在环境保护方面的作用,为此运用层次分析法和超效率模型说明政府建立环境保护评价模型的合理性和效果,但是评价模型过于简单,主观性较强;鉴于上述模型缺乏对经济、社会和自然环境的整体协调性的指标规划,文献[4]通过设立合规性、经济性、生态性和综合性指标,初步得出使用模糊判别方法与层次分析法结合可准确获得评价结果的结论,但是缺乏具体的方法描述;文献[5]仅细分了水环境的具体指标,将水环境指标分为定量指标(排放量、水资源分配和水资源经济效益指标)和定性指标(法律制度、内控制度和水环境披露指标),缺少对所获信息的处理;文献[6]仅结合具体的案例,按照压力-状态-响应框架划分环境绩效指标,并运用优值综合评价模型说明环境的改善程度,具体内容缺少普遍性.

综上所述,国内外水环境审计绩效评价主要采用层次分析法、超效率方法和“压力-状态-响应(Press-state-response, PSR)”模型等方法.上述方法难以解决因决策环境异质性、决策主体信息多样性表述方式产生的环境审计绩效评价的偏差性,因此评价的质量难以得到保证^[7-8].例如,可按照水污染程度定义三角模糊数(0.4, 0.54, 0.7),说明最可能污染的程度是0.54,最小污染是0.4,最大污染是0.7.对于定性指标,往往采用语言变量和直觉模糊数表示.例如,用高、较高的语言变量表示,或者对于防治污染措施满意程度,用0.5表示隶属度(或满意度),用0.3表示非隶属度(或不满意度),用0.2表示不确定信息,即可采用直觉模糊数(0.5, 0.3)表示.

本文在以下两个方面实现水环境审计绩效评价的准确性:1)考虑评价信息的多样性,即在评价指标中既有实数值、区间数、直觉模糊数,又有语言值,能够最大限度保留评价信息的完整性;2)在进行水环境绩效评价中更加贴近现实,充分考虑不同决策者的偏好,赋予不同指标未知权重^[9-11],使得评价结果更具有动态性和科学性,降低评价结果的主观性.

1 水环境审计绩效评价指标体系构建

现有文献[3,5,12-13]的环境审计绩效评价体系涉及了经济效益评价内容、水环境污染评价内容,较少提及社会效益评价内容,评价内容不够全面.为了全面衡量水环境变化带来的综合影响,反映水环境问题在经济、社会和自然环境中的综合影响,特将社会效益评价指标列入水环境审计绩效评价中.同时,现有的环境审计绩效评价较少考虑经济、社会和自然环境的内在联系,缺乏指标的综合评价结果.

依据当前经济、社会和自然环境的制度契约特征,水环境审计绩效评价体系可划分为:一级指标体系,包括经济效益评价指标、社会效益评价指标和资源保护绩效评价指标;二级指标体系,包括从属于经济绩效评价指标的水资源利用程度、废水净化率成本、水循环效率、水资源专项资金占财政支出的比例、企业水环境信息披露完整程度等;从属于社会效益评价指标,包括污染源在总量水源的比例、饮用水源问题引起的疾病率、区域内水法落实程度、居民饮水达标率、居民满意度等;从属于自然资源保护评价指标,包括重度污染企业在地区企业中所占比例、地下水流量净增率、区域内人均水资源占有率、区域生活居民用水结余边际增长率、区域工农业用水被停用次数等细分指标.具体指标如表1所示.

表1 水环境绩效审计评价指标体系

一级指标	二级指标	指标属性
经济效益指标	水资源利用程度	定性指标
	废水净化率成本	定量指标
	水循环效率	定性指标
	水资源专项资金占财政支出比例	定量指标
社会效益指标	企业水环境信息披露完整程度	定性指标
	污水水源在总量水源中的比例	定量指标
	饮用水源问题引起的疾病率	定量指标
	区域内水法落实程度	定性指标
资源保护绩效指标	居民饮水达标率	定量指标
	居民满意度	定性指标
	重度污染企业在地区企业中所占比例	定量指标
	地下水流量净增率	定量指标
	区域内人均水资源占有边际增加率	定量指标
	区域生活居民用水结余边际增长率	定量指标
	区域工农业用水被停用次数	定量指标

2 基于前景效用理论的异质信息多指标综合评价方法

制度契约^[14-15]认为,评价指标受限于评价主体的利益获取的积极性.因此,评价主体对损失和利益的评价成为最终决策的主要依据.按照不同主体对信息的理解,并加以归一化处理,然后根据前景理论模型考虑不同主体收益值和损失值,进行优化目标的设定,并取得最终的最优方案成为本文的主要研究方

法.

2.1 异质信息规范化

为消除不同物理量纲对决策结果的影响,受文献[16]方法的启发,对各指标评价信息进行规范化.以 x_{ih} 表示实数、区间数、直觉模糊数、三角模糊数和直觉模糊语言的基本形式, l_{ih} 为上述形式规范后的基本表示形式.

实数 $x_{ih} = d_{ih} (h \in C_1)$ 规范化为

$$l_{ih} = \begin{cases} d_{ih}/d_{\max h}, & h \in C_1^b; \\ 1 - d_{ih}/d_{\max h}, & h \in C_1^c. \end{cases} \quad (1)$$

其中 $d_{\max h} = \max\{d_{ih} | i = 1, 2, \dots, m\}$.

区间数 $x_{ih} = [e_{ih}, \bar{e}_{ih}] (h \in C_2)$ 规范化为

$$l_{ih} = \begin{cases} \left[\frac{e_{ih}}{\bar{e}_{\max h}}, \frac{\bar{e}_{ih}}{\bar{e}_{\max h}} \right], & h \in C_2^b; \\ \left[1 - \frac{\bar{e}_{ih}}{\bar{e}_{\max h}}, 1 - \frac{e_{ih}}{\bar{e}_{\max h}} \right], & h \in C_2^c. \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\bar{e}_{\max h} = \max\{\bar{e}_{ih} | i = 1, 2, \dots, m\}$.

三角模糊数 $x_{ih} = (a_{ih}, b_{ih}, c_{ih}) (h \in C_3)$ 规范化为

$$l_{ih} = \begin{cases} \left(\frac{a_{ih}}{c_{\max h}}, \frac{b_{ih}}{c_{\max h}}, \frac{c_{ih}}{c_{\max h}} \right), & h \in C_3^b; \\ \left(1 - \frac{c_{ih}}{c_{\max h}}, 1 - \frac{b_{ih}}{b_{\max h}}, 1 - \frac{a_{ih}}{a_{\max h}} \right), & h \in C_3^c. \end{cases} \quad (3)$$

其中 $c_{\max h} = \max\{c_{ih} | i = 1, 2, \dots, m\}$.

设基本语言标记集 $S_0 = \{s_1, s_2, \dots, s_L\}$ 规范化为

$$l_{ih} = \begin{cases} a_{ih}, & h \in C_4^b; \\ \text{Neg}(a_{ih}), & h \in C_4^c. \end{cases} \quad (4)$$

直觉模糊数 $x_{ih} = \langle \mu_{ih}, \nu_{ih} \rangle (h \in C_5)$ 本身介于 0 与 1 之间,无需规范化,这样根据式(1)~(4)可将 r_{jh} 规范化为 e'_{jh} . 类似地,可将 e_{ih} 、 e'_{jk} 和 r'_{ik} 规范化.为简化符号,将 e_{ih} 、 r_{jh} 、 e'_{jk} 和 r'_{ik} 规范化后的结果仍然分别记为 e_{ih} 、 r_{jh} 、 e'_{jk} 和 r'_{ik} .

针对异质信息,定义两个异质信息的距离,即 r_{jh} 与 e_{ih} 的距离 $d(r_{jh}, e_{ih})$,表示如下:

1) 若 r_{jh} 和 e_{ih} 都为实数,则有

$$d(r_{jh}, e_{ih}) = (e_{ih} - r_{jh})^2;$$

2) 若 r_{jh} 和 e_{ih} 都为区间数,则有

$$\begin{aligned} d(r_{jh}, e_{ih}) &= \\ d([r_{jh}, \bar{r}_{jh}], [e_{ih}, \bar{e}_{ih}]) &= \\ \frac{1}{2}[(r_{jh} - e_{ih})^2 + (\bar{r}_{jh} - \bar{e}_{ih})^2]; \end{aligned}$$

3) 若 r_{jh} 和 e_{ih} 都为三角模糊数,则有

$$\begin{aligned} d(r_{jh}, e_{ih}) &= \\ d((p_{jh}, q_{jh}, t_{jh}), (a_{ih}, b_{ih}, c_{ih})) &= \\ \frac{1}{3}[(p_{jh} - a_{ih})^2 + (q_{jh} - b_{ih})^2 + (t_{jh} - c_{ih})^2]; \end{aligned}$$

4) 若 r_{jh} 和 e_{ih} 都为语言变量,则有

$$d(r_{jh}, e_{ih}) = |\Delta^{-1}(r_{jh}, 0) - \Delta^{-1}(e_{ih}, 0)|.$$

5) 若 r_{jh} 和 e_{ih} 都为直觉模糊数,则有

$$\begin{aligned} d(r_{jh}, e_{ih}) &= \\ d(\langle t_{jh}, f_{jh} \rangle, \langle \mu_{ih}, \nu_{ih} \rangle) &= \\ \frac{1}{3}[(t_{jh} - \mu_{ih})^2 + (f_{jh} - \nu_{ih})^2 + (\gamma_{jh} - \pi_{ih})^2]. \end{aligned}$$

其中: $\gamma_{jh} = 1 - t_{jh} - f_{jh}$, $\pi_{ih} = 1 - \mu_{ih} - \nu_{ih}$ 为犹豫度.

2.2 计算各个方案的损益值

为了进行方案之间的比较,选择两个参考点,称为异质信息的正、负理想解,分别记为 $x^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+)$ 和 $x^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-)$,则有

$$x_i^+ = \begin{cases} d_i^+, & i \in C_1; \\ [e_i^+, \bar{e}_i^+], & i \in C_2; \\ (a_i^+, b_i^+, c_i^+), & i \in C_3; \\ s_i^+ \in S_h, & i \in C_4; \\ \langle \mu_i^+, \nu_i^+ \rangle, & i \in C_5. \end{cases} \quad (5)$$

其中

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \max\{d_{ij}\}, \quad e_i^+ = \max\{e_{ij}\}, \\ \bar{e}_i^+ &= \max\{\bar{e}_{ij}\}, \quad a_i^+ = \max\{a_{ij}\}, \\ b_i^+ &= \max\{b_{ij}\}, \quad c_i^+ = \max\{c_{ij}\}, \\ s_i^+ &= \max\{s_{ij}\}, \quad \mu_i^+ = \max\{\mu_{ij}\}, \\ \nu_i^+ &= \max\{\nu_{ij}\}. \end{aligned}$$

同理

$$x_i^- = \begin{cases} d_i^-, & i \in C_1; \\ [e_i^-, \bar{e}_i^-], & i \in C_2; \\ (a_i^-, b_i^-, c_i^-), & i \in C_3; \\ s_i^- \in S_h, & i \in C_4; \\ \langle \mu_i^-, \nu_i^- \rangle, & i \in C_5. \end{cases} \quad (6)$$

其中

$$\begin{aligned} d_i^- &= \min\{d_{ij}\}, \quad e_i^- = \min\{e_{ij}\}, \\ \bar{e}_i^- &= \min\{\bar{e}_{ij}\}, \quad a_i^- = \min\{a_{ij}\}, \\ b_i^- &= \min\{b_{ij}\}, \quad c_i^- = \min\{c_{ij}\}, \end{aligned}$$

$$s_i^- = \min\{s_{ij}\}, \mu_i^- = \min\{\mu_{ij}\},$$

$$\nu_i^- = \min\{\nu_{ij}\}.$$

设方案*i*与异质信息正理想解和负理想解的距离分别为

$$d(x_i, x^+) = \sum_{j=1}^m d(x_{ij}, x_j^+), \tag{7}$$

$$d(x_i, x^-) = \sum_{j=1}^m d(x_{ij}, x_j^-). \tag{8}$$

其中: $d(x_{ij}, x_j^+), d(x_{ij}, x_j^-)$ 为决策成员对方案*i*($i = 1, 2, \dots, n$)的各个属性值与 x^+, x^- 的距离,即

$$d(x_{ij}, x_j^+) = \begin{cases} (d_i^+ - d_{ij})^2, & i \in C_1; \\ \frac{1}{2}[(\underline{e}_i^+ - \underline{e}_{ij})^2 + (\bar{e}_i^+ - \bar{e}_{ij})^2], & i \in C_2; \\ \frac{1}{3}[(a_i^+ - a_{ij})^2 + (b_i^+ - b_{ij})^2 + (c_i^+ - c_{ij})^2], & i \in C_3; \\ \frac{1}{L^2}(\Delta^{-1}(x^+, 0) - \Delta^{-1}(x_{ij}, 0))^2, & i \in C_4; \\ \frac{1}{3}[(\mu_i^+ - \mu_{ij})^2 + (\nu_i^+ - \nu_{ij})^2 + (\pi_i^+ - \pi_{ij})^2], & i \in C_5. \end{cases} \tag{9}$$

$$d(x_j^-, x_{ij}) = \begin{cases} (d_{ij} - d_i^-)^2, & i \in C_1; \\ \frac{1}{2}[(\underline{e}_{ij} - \underline{e}_i^-)^2 + (\bar{e}_{ij} - \bar{e}_i^-)^2], & i \in C_2; \\ \frac{1}{3}[(a_{ij} - a_i^-)^2 + (b_{ij} - b_i^-)^2 + (c_{ij} - c_i^-)^2], & i \in C_3; \\ \frac{1}{L^2}(\Delta^{-1}(x_{ij}, 0) - \Delta^{-1}(x^-, 0))^2, & i \in C_4; \\ \frac{1}{3}[(\mu_{ij} - \mu_i^-)^2 + (\nu_{ij} - \nu_i^-)^2 + (\pi_{ij} - \pi_i^-)^2], & i \in C_5. \end{cases} \tag{10}$$

由各个方案相对于正理想方案得到 $d(x_i, x^+)$.以正理想方案为参考点,各个方案是损失的,从而得到

$$v^-(d(x_i, x^+)) = -\theta(d(x_i, x^+))^\beta. \tag{11}$$

由各个方案相对于负理想方案得到 $d(x_i, x^-)$.以负理想方案为参考点,各个方案是收益的,从而得到

$$v^+(d(x_i, x^-)) = (d(x_i, x^-))^\alpha. \tag{12}$$

因此,各个方案的前景综合值为

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi(w_j)v(x_i). \tag{13}$$

依据文献[17]求解各个方案的前景综合值最优解,构建如下非线性规划模型:

$$\begin{aligned} \max V &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi(w_j)v(x_i) = \\ &\lambda \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi^+(w_j)v_{ij}^+ + (1-\lambda) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi^-(w_j)v_{ij}^-. \end{aligned}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^m w_j = 1, w_j \geq 0; \\ w \in \Lambda; \\ \pi^+(w_j) = \frac{w_j^r}{(w_j^r + (1-w_j)^r)^{1/r}}; \\ \pi^-(w_j) = \frac{w_j^\sigma}{(w_j^\sigma + (1-w_j)^\sigma)^{1/\sigma}}. \end{cases} \tag{14}$$

其中: σ 和 r 为参数, Λ 为不完全权重信息集,利用lingo 19.0求解模型(14)得到最优解 w^* .因此,各个方案的综合前景值如下:

$$V(x_i) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \pi^+(w_j^*)v_{ij}^+ + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \pi^-(w_j^*)v_{ij}^- =$$

$$\lambda \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi^+(w_j^*)v_{ij}^+ + (1-\lambda) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi^-(w_j^*)v_{ij}^-. \tag{15}$$

由于决策者存在主观个体因素偏好,导致上述因素的偏好存在信息不完全的集合.因此,不同的群体对权重的要求的具体形式包括以下情形:1) $w_i > w_j$; 2) $w_i - w_j \geq a_j$; 3) $w_i \geq \beta_i w_j$; 4) $\gamma_i \leq w_i \leq \gamma_i + \xi_i$; 5) $\theta_i w_i \leq (\theta_i + \xi_i) w_j$; 6) $w_i - w_j \geq w_k - w_i, j \neq k$.其中 $a_j, \beta_i, \gamma_i, \theta_i$ 为非负常数.

根据上面的讨论,水环境绩效评价的具体步骤归纳如下.

- Step 1: 识别水环境审计绩效的评价指标;
- Step 2: 抽取水环境审计绩效的各个评价指标信息(或评价价值);
- Step 3: 利用式(1)~(4)将各个指标评价价值规范化;
- Step 4: 根据式(5)和(6)选取正、负理想解;
- Step 5: 根据式(11)~(13)建立模型(14),求解出各个方案最优前景综合值.
- Step 6: 结合式(15),计算各个方案的前景综合值,

据此得到最优方案.

3 实例计算与分析

3.1 实例计算

某一省对5个地区的水环境审计绩效进行评价, 邀请相关专家给出如下评价信息:

$F =$

$$\begin{bmatrix} S_3 & 235 & [0.2, 0.5] & 3.65 & S_2 & 0.86 \\ S_5 & 251 & [0.25, 0.47] & 3.73 & S_3 & 1.02 \\ S_2 & 207 & [0.18, 0.32] & 3.62 & S_2 & 0.91 \rightarrow \\ S_4 & 198 & [0.17, 0.45] & 3.81 & S_1 & 0.79 \\ S_3 & 217 & [0.21, 0.39] & 3.76 & S_2 & 0.82 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} [0.001, 0.006] & S_4 & [0.79, 0.92] & \langle 0.7, 0.1 \rangle \\ [0.0009, 0.003] & S_3 & [0.81, 0.95] & \langle 0.5, 0.2 \rangle \\ \leftarrow [0.0007, 0.007] & S_5 & [0.76, 0.90] & \langle 0.6, 0.3 \rangle \rightarrow \\ [0.0006, 0.008] & S_4 & [0.85, 0.95] & \langle 0.8, 0.1 \rangle \\ [0.0008, 0.007] & S_2 & [0.83, 0.94] & \langle 0.4, 0.4 \rangle \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1.01 & [0.01, 0.03] & [0.002, 0.004] \\ 1.32 & [0.02, 0.04] & [0.0014, 0.0027] \\ \leftarrow 1.54 & [0.01, 0.04] & [0.0018, 0.0031] \rightarrow \\ 1.36 & [0.015, 0.031] & [0.0017, 0.0035] \\ 0.98 & [0.016, 0.035] & [0.0023, 0.0041] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} [0.009, 0.0033] & (6, 7, 8) \\ [0.0024, 0.0029] & (4, 5, 6) \\ \leftarrow [0.0013, 0.003] & (5, 6, 7) \rightarrow \\ [0.0015, 0.0032] & (3, 4, 5) \\ [0.0021, 0.0037] & (2, 3, 4) \end{bmatrix}$$

根据式(1)~(4)对决策矩阵进行规范化, 结果如

下:

$F^1 =$

$$\begin{bmatrix} S_3 & 0.0637 & [0.4, 1] & 0.0499 & S_2 & 0.1569 \\ S_5 & 0 & [0.5, 0.94] & 0.0201 & S_3 & 0 \\ S_2 & 0.1752 & [0.36, 0.64] & 0.04987 & S_2 & 0.1078 \rightarrow \\ S_4 & 0.2111 & [0.34, 0.9] & 0 & S_1 & 0.2255 \\ S_3 & 0.1355 & [0.42, 0.78] & 0.0131 & S_4 & 0.1961 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} [0.25, 0.875] & S_4 & [0.8316, 0.9684] & \langle 0.7, 0.1 \rangle \\ [0.625, 0.8875] & S_3 & [0.8526, 1] & \langle 0.5, 0.2 \rangle \\ \leftarrow [0.125, 0.9125] & S_5 & [0.8, 0.9474] & \langle 0.6, 0.3 \rangle \rightarrow \\ [0, 0.925] & S_4 & [0.8947, 1] & \langle 0.8, 0.1 \rangle \\ [0.125, 0.9] & S_1 & [0.8737, 0.9895] & \langle 0.4, 0.4 \rangle \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.3442 & [0.25, 0.75] & [0.4878, 0.9756] \\ 0.1429 & [0.5, 1] & [0.3415, 0.8535] \\ \leftarrow 0 & [0.25, 1] & [0.4390, 0.7561] \rightarrow \\ 0.1169 & [0.375, 0.775] & [0.4146, 0.8537] \\ 0.3636 & [0.4, 0.875] & [0.5610, 1] \\ [0.5135, 0.8919] & (0, 0.125, 0.25) \\ [0.6486, 0.7838] & (0.25, 0.375, 0.5) \\ \leftarrow [0.3514, 0.8108] & (0.125, 0.25, 0.375) \rightarrow \\ [0.4054, 0.8649] & (0.375, 0.5, 0.625) \\ [0.5676, 1] & (0.5, 0.625, 0.75) \end{bmatrix}$$

由式(7)和(8)可知, 异质信息的正理想解 x^+ 和负理想解 x^- 分别为

$$x^+ = ((s_5, 0), 0.2111, [0.5, 0.94], 0.0499, (s_3, 0), 0.3442, [0.625, 0.8875], (s_5, 0), [0.8947, 1], \langle 0.8, 0.1 \rangle, 0.3636, [0.5, 1], [0.5610, 1], [0.5676, 1], (0.5, 0.625, 0.75)),$$

$$x^- = ((s_2, 0), 0, [0.34, 0.9], 0, (s_1, 0), 0, [0, 0.925], (s_1, 0), [0.8, 0.9474], \langle 0.4, 0.4 \rangle, 0, [0.25, 0.75], [0.3415, 0.8535], [0.3514, 0.8108], (0, 0.125, 0.25)).$$

依据相关实验选取 $\alpha = \beta = 0.8, \theta = 2.5$. 根据文献[18]和式(12)得到正前景值

$v^+(d(x_i, x^-)) =$

$$\begin{bmatrix} 0.0761 & 0.0123 & 0.0185 & 0.0083 & 0.0761 \\ 0.4416 & 0 & 0.0321 & 0.0019 & 0.2308 \\ 0 & 0.0616 & 0.0669 & 0.0521 & 0.0761 \rightarrow \\ 0.2308 & 0.0831 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0761 & 0.0409 & 0.0366 & 0.001 & 0.0761 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.0516 & 0.0645 & 0.2308 & 0.003 & 0.0658 \\ 0 & 0.2715 & 0.0761 & 0.0091 & 0.0437 \\ \leftarrow 0.0283 & 0.0208 & 0.4416 & 0 & 0.0551 \rightarrow \\ 0.0923 & 0 & 0.2308 & 0.0165 & 0.0958 \\ 0.0738 & 0.0212 & 0 & 0.0111 & 0.0658 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.1814 & 0 & 0.1067 & 0.0373 & 0 \\ 0.0444 & 0.1088 & 0 & 0.0829 & 0.1088 \\ \leftarrow 0 & 0.0625 & 0.0241 & 0 & 0.0359 \rightarrow \\ 0.0323 & 0.0213 & 0.0467 & 0.0093 & 0.2082 \\ 0.1981 & 0.0421 & 0.1357 & 0.0781 & 0.3299 \end{bmatrix}$$

代入式(11)得到负前景值

$$v^-(d(x_i, x^+)) = \begin{bmatrix} -0.5771 & -0.1168 & -0.0461 & 0 \\ 0 & -0.2075 & 0 & -0.0091 \\ -1.104 & -0.0123 & -0.2449 & 0 \\ -0.1904 & 0 & -0.0803 & -0.0206 \\ -0.5771 & -0.0401 & -0.0648 & -0.0127 \\ -0.1904 & -0.0344 & -0.2992 & -0.1904 \\ 0 & -0.2307 & 0 & -0.5771 \\ -0.1904 & -0.0815 & -0.4746 & 0 \\ -0.5771 & 0 & -0.6788 & -0.1904 \\ -0.1904 & -0.0089 & -0.4740 & -0.104 \\ -0.0207 & -0.2612 & -0.0046 & \\ -0.0091 & -0.2028 & -0.223 & \\ -0.0412 & -0.1512 & -0.4955 & \\ 0 & -0.2028 & -0.2644 & \\ -0.0036 & -0.2517 & 0 & \\ -0.272 & -0.0415 & -0.0488 & -0.8247 \\ 0 & -0.3393 & -0.1378 & -0.272 \\ -0.1563 & -0.1796 & -0.1953 & -0.5205 \\ -0.1637 & -0.7288 & -0.1193 & -0.0897 \\ -0.0766 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

在风险中性的情况下,令 $\lambda = 0.5$,则依据式(14)

可得,目标函数表示为

$$\begin{aligned} \max V = & 0.41235\pi^+(w_1) - 1.2243\pi^-(w_1) + \\ & 0.09895\pi^+(w_2) - 0.18835\pi^-(w_2) + \\ & 0.072\pi^+(w_3) - 0.21805\pi^-(w_3) + \\ & 0.03165\pi^+(w_4) - 0.0212\pi^-(w_4) + \\ & 0.22965\pi^+(w_5) - 0.5741\pi^-(w_5) + \\ & 0.123\pi^+(w_6) - 0.1777\pi^-(w_6) + \\ & 0.189\pi^+(w_7) - 0.9633\pi^-(w_7) + \\ & 0.4897\pi^+(w_8) - 1.0309\pi^-(w_8) + \\ & 0.0198\pi^+(w_9) - 0.0373\pi^-(w_9) + \\ & 0.1631\pi^+(w_{10}) - 0.53485\pi^-(w_{10}) + \\ & 0.22815\pi^+(w_{11}) - 0.4947\pi^-(w_{11}) + \\ & 0.11735\pi^+(w_{12}) - 0.3343\pi^-(w_{12}) + \\ & 0.15665\pi^+(w_{13}) - 0.64455\pi^-(w_{13}) + \\ & 0.11315\pi^+(w_{14}) - 0.34625\pi^-(w_{14}) + \\ & 0.3464\pi^+(w_{15}) - 0.85345\pi^-(w_{15}). \end{aligned}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} 0.75w_1 \leq w_3 \leq 0.9w_1, w_3 - w_2 \leq 0.05, \\ 0.8w_4 \leq 0.75w_3, w_6 - w_4 \geq w_5 - w_6, \\ w_7 - w_6 \leq 0.03, w_{13} - w_{12} \leq 0.03, \\ w_{13} \leq 0.9w_{14}, w_{13} + w_{14} \geq 0.9(w_{14} + w_{15}), \\ w_3 - w_9 \leq w_1 - w_3, 0.85w_8 \leq w_9 \leq 0.9w_8, \\ w_{10} - w_9 \leq 0.02, w_{12} - w_{10} \leq w_{11} - w_{12}, \\ 0.95w_{12} \leq w_{11}; \\ \pi^+(w_j) = \frac{w_j^{0.61}}{(w_j^{0.61} + (1 - w_j)^{0.61})^{1.6393}}, \\ \pi^-(w_j) = \frac{w_j^{0.69}}{(w_j^{0.69} + (1 - w_j)^{0.69})^{1.4492}}; \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0. \end{cases}$$

依据不同的权重表示方法,以及不同专家对相关权重的界定,获得权重关系式.

利用 lingo 19.0 计算出相应的权重,即

$$\begin{aligned} w_1 &= 0.0141, w_2 = 0.2644, w_3 = 0.0117, \\ w_4 &= 0.0068, w_5 = 0.0866, w_6 = 0.2557, \\ w_7 &= 0.0008, w_8 = 0.1318, w_9 = 0.1157, \\ w_{10} &= 0.0041, w_{11} = 0.0405, w_{12} = 0.0056, \\ w_{13} &= 0.0023, w_{14} = 0.0580, w_{15} = 0.0018. \end{aligned}$$

5个方案结果计算如下:

$$V(A_1) = -0.0572, V(A_2) = -0.2262, V(A_3) = -0.069, V(A_4) = -0.07, V(A_5) = -0.1163.$$

5个地区水环境审计绩效如下: $A_1 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_5 \succ A_2$.

3.2 对比分析

现有的环境审计评价方法主要使用层次分析法^[12],其信息主要为定性信息,主观性较大.本文采用的定量与定性信息结合的前景理论分析,考虑了不确定性对异质性信息主体决策的影响.文献[3]提出了模糊决策的设想,但是没有依据具体的信息特征提供有益的决策方法;文献[4]利用层次分析法对黄河水资源环境进行了评价,仅仅考虑了权重,结果较为粗糙,不能精确刻画异质性信息产生的决策差异.按照文献[4]的相关方法,上述5个地区的排序为 $A_1 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_5 \succ A_2$,按照文献[17]的相关方法,上述排序结果为 $A_1 \succ A_3 \succ A_4 \succ A_5 \succ A_2$.文献[4]主要采用了主观判断方法,缺乏信息的客观性.文献[17]主要考虑了常数权重,未能考虑不确定权重.因此,本文评价结果更加符合实际情况.

4 结 论

本文针对水环境审计绩效评价问题,提出了一种基于前景理论的异质性信息分析方法的评价方法。该方法考虑了指标体系中不同指标因为评价主体的风险偏好以及不同评价主体的认知程度而出现了指标权重评价差异性的问题。该方法能够解释制度契约在区域水环境评价中的影响程度,成为正确衡量区域水环境绩效评价的基础。该方法计算过程简单、可操作性和实用性强,且具有一定独特性。本文与其他相关论文相比,考虑了异质性信息的多样性和决策行为人的心理波动产生的权重的不确定性。因此,该方法是解决水环境绩效评价问题的优化方法之一,为深入开展保护水环境研究提供了较好的参考价值。此外,该方法涉及到定性和定量信息的综合处理,使得评价内容更加全面合理。

参考文献(References)

- [1] Thoresen J. Environmental performance evaluation-a tool for industrial improvement[J]. *J of Cleaner Production*, 1999, 7(5): 365-370.
- [2] Jiménez J D B, Lorente J J C. Environmental performance as an operations objective[J]. *Int J of Operations & Production Management*, 2001, 21(12): 1553-1572.
- [3] 杨瑞龙, 聂辉华. 不完全契约理论: 一个综述[J]. *经济研究*, 2006, 41(2): 104-115.
(Yang R L, Nie H H. Incomplete contracting theory: A survey[J]. *Economic Research J*, 2006, 41(2): 104-115.)
- [4] 宁雅楠, 王海, 乔建华. 用水审计制度初探[J]. *水利发展研究*, 2007, 7(6): 25-27.
(Ning Y N, Wang H, Qiao J H. Study on utility water audit[J]. *Water Resources Development Research*, 2007, 7(6): 25-27.)
- [5] John R. Coordinated international audit on climate change[EB/OL]. [2010-11-01][2017-06-17]. <http://publications.gc.ca/pub?id=9.693945&sl=0>.
- [6] Li D F, Huang Z G, Chen G H. A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2010, 59(4): 561-572.
- [7] 邵良杉, 赵琳琳, 温廷新, 等. 基于前景理论的区间直觉模糊双向投影决策方法[J]. *控制与决策*, 2016, 31(6): 1143-1147.
(Shao L S, Zhao L L, Wen T X, et al. Bidirectional projection method with interval-valued intuitionistic fuzzy information based on prospect theory[J]. *Control and Decision*, 2016, 31(6): 1143-1147.)
- [8] 张晓, 樊治平. 基于前景理论的风险型混合多属性决策方法[J]. *系统工程学报*, 2012, 27(6): 772-781.
(Zhang X, Fan Z P. Method for hybrid multiple attribute decision making based on prospect theory[J]. *J of Systems Engineering*, 2012, 27(6): 772-781.)
- [9] 李欢, 朱建军, 张世涛. 考虑双参照点累积前景理论的风险型群决策方法[J]. *运筹与管理*, 2016, 25(3): 117-124.
(Li H, Zhu J J, Zhang S T. Risk group decision-making method considering double reference point in cumulative prospect theory[J]. *Operation Research and Management Science*, 2016, 25(3): 117-124.)
- [10] Li D F, Wan S P. Fuzzy heterogeneous multiattribute decision making method for outsourcing provider selection[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(6): 3047-3059.
- [11] 俞雅乖, 刘玲燕. 基于层次分析法的水环境绩效审计评价指标体系研究[J]. *科技与管理*, 2015, 17(1): 45-51.
(Yu Y G, Liu L Y. Study on water environmental performance's index system in audit evaluation based on ANP method[J]. *Technology and Management*, 2015, 17(1): 45-51.)
- [12] 曹莉萍, 周冯琦. 我国生态公平理论研究动态与展望[J]. *经济学家*, 2016, 28(8): 95-104.
(Cao L P, Zhou F Q. Ecological justice theory survey and prospect in China[J]. *Economist*, 2016, 28(8): 95-104.)
- [13] 朱珠. 水资源环境绩效审计指标体系研究[D]. 南京: 南京审计学院审计与会计学院, 2015: 18-32.
(Zhu Z. The index system of water resource environmental performance audit [D]. Nanjing: School of Auditing and Accounting, Nanjing Audit University, 2015: 18-32.)
- [14] Canadian institute of chartered accountants[Z]. *CICA Handbook-Assurance*. Toronto: Canadian Institute of Chartered Accountant, 2011.
- [15] 张敏. PSR框架和优值综合评价模型下环境绩效审计评价探析[J]. *财会月刊*, 2017, 38(3): 94-98.
(Zhang M. Exploration on environment performance audit evaluation under the PSR framework and comprehensive evaluation model of optimal value[J]. *Finance and Accounting Monthly*, 2017, 38(3): 94-98.)
- [16] 余高锋, 李登峰, 叶银芳, 等. 考虑后悔规避的异质多属性变权决策方法[J]. *计算机集成制造系统*, 2017, 23(1): 154-161.
(Yu G F, Li D F, Ye Y F, et al. Heterogeneous multi-attribute variable weight decision making method consideration regret aversion[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23(1): 154-161.)
- [17] Liu H C. *FMEA using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach*[M]. Singapore: Springer, 2016: 117-130.
- [18] Li P, Yang Y, Wei C. An intuitionistic fuzzy stochastic decision-making method based on case-based reasoning and prospect theory[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017, 2017(6): 1-13.

(责任编辑: 闫 妍)