

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.02.008

基于正态云组合赋权的水资源配置方案综合评价方法

龚艳冰^{1,2,3}

(1. 河海大学商学院, 江苏 常州 213022; 2. 河海大学统计与数据科学研究所, 江苏 常州 213022;
3. 常州市工业大数据挖掘与知识管理重点实验室, 江苏 常州 213022)

摘要:针对水资源配置方案评价过程中指标权重的模糊和随机不确定性问题,引入定性定量转换模型——正态云模型,提出一种基于正态云组合赋权和云相似度 TOPSIS 法的水资源配置方案综合评价方法。该方法利用逆向云生成算法将多个主客观权重进行信息融合,生成不确定正态云组合权重;通过计算水资源配置方案与理想方案综合云模型间的相对相似度对方案进行排序并确定最佳方案。利用所提出的方法对天津市水资源配置 8 种方案进行评价,并与其他 5 种水资源配置方案评价方法进行对比分析,结果表明:基于正态云组合赋权的水资源配置方案综合评价方法是可行且有效的,评价结果与实际相符;该方法可以有效避免对评价指标赋权的不确定性,有效地解决组合权重不确定信息的融合问题。

关键词:水资源配置方案;综合评价;正态云;组合权重;信息融合;天津

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2022)02-0056-06

Comprehensive evaluation method of water resource allocation schemes based on normal cloud combination weighting// GONG Yanbing^{1,2,3} (1. School of Business, Hohai University, Changzhou 213022, China; 2. Institute of Statistic and Data Science, Hohai University, Changzhou 213022, China; 3. Changzhou Key Laboratory of Industrial Big Data Mining and Knowledge Management, Changzhou 213022, China)

Abstract: Aiming at the fuzzy and random uncertainty of index weight in the evaluation process of water resources allocation scheme, a qualitative and quantitative transformation model, i. e., the normal cloud model, is introduced, and a comprehensive evaluation method of water resources allocation scheme based on normal cloud combination weighting and the cloud similarity TOPSIS method is proposed. Using the backward cloud generator algorithm, this method generates uncertain normal cloud combination weights through information fusion of multiple subjective and objective weights. By calculating the relative similarity of the comprehensive cloud model of water resources allocation schemes with that of the ideal scheme, the water resources allocation schemes are sorted and the best scheme is determined. Through application of this method to evaluating eight water resources allocation schemes in Tianjin, and comparison of this method with other five evaluation methods, the results show that the method is feasible and effective, and the evaluation results are consistent with the reality. This method can also avoid the uncertainty in evaluation index weighting, effectively solving the problem induced by uncertain information fusion of the combination weight.

Key words: water resources allocation scheme; comprehensive evaluation; normal cloud; combination weight; information fusion; Tianjin

水资源合理配置是实现区域或流域水资源可持续发展和水资源高效利用的有效调控手段,涉及社会、经济、资源与生态等多方面的因素^[1]。水资源配置方案具有多维度、多目标、模糊性和不确定性等特点,导致配置模型优化的可行性方案较多,管理者

难以对多个方案做出最优判断和选择,因此,建立科学合理且有效的水资源配置方案综合评价方法具有重要的价值。水资源合理配置方案的选择本质上是一个不确定条件下的多指标方案综合评价问题,而指标权重的合理性直接影响并决定多指标方案排序

结果的合理性和有效性^[2-3]。

指标权重问题的研究一直是水资源合理配置方案评价方法研究中的重要内容,目前关于指标权重确定的方法主要有3种:①主观赋权法,即通过决策者个人的主观偏好或经验给出指标权重的方法,例如,张阳等^[4]提出的基于层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)的主观赋权水资源配置方案评价方法。②客观赋权法,即依据给定的决策矩阵信息,建立数学模型计算权重的方法,例如, Srdjevic 等^[5]采用无偏熵值法确定指标权重,并基于逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)评估多种水资源管理情景获得方案排序;Zhang 等^[6]提出结合模糊物元模型和投影寻踪客观赋权的水资源配置方案评价方法;Jemmali^[7]利用多维水贫困指数测算非洲国家的水资源贫困状况,并对权重和聚合函数进行了敏感性分析;吴凤平等^[8]提出基于 Dempster-Shafer 证据理论客观赋权的水资源配置方案综合评价方法。③组合赋权法。该方法能够兼顾和平衡决策者的主观判断和客观评价,使多指标评价的排序结果更科学,例如,薛联青等^[9]提出三标度法和熵权组合赋权的水资源配置方案评价方法;张淑林等^[10]提出基于博弈论的 AHP 和层间相关性的重要性准则(criteria importance though intercriteria correlation, CRITIC)的 AHP-CRITIC 组合赋权水资源配置方案评价方法;孙国营等^[11]提出基于权重融合和灰色关联方法的水资源配置方案评价方法。

目前,国内外众多学者提出的组合赋权方法主要是基于加法合成法和乘法合成法的主客观组合赋权,目的是要兼顾主观权重和客观权重的优点,但是对于不同的主客观权重组合方法是否能够兼顾主观权重的优点,缺乏一个认可度较高的合理性解释^[12]。事实上,由于水资源配置方案评价问题一般都具有权重不确定和决策矩阵信息不精确等特点,因此,无论是专家经验给出的主观权重,还是基于决策信息的客观权重都存在不精确或不确定的问题,即权重是一个不确定值^[13]。针对在水资源配置方案综合评价中存在的权重不确定性问题,本文提出基于正态云组合赋权和云相似度 TOPSIS 法的水资源配置方案综合评价方法,通过逆向云生成算法将主客观权重信息进行融合,并通过计算备选方案与理想方案加权综合云模型间相似度值的大小对备选方案进行排序并确定最佳方案,从而有效地解决主观权重和客观权重的信息不确定和信息融合问题以及云组合赋权后不同评价方案之间的排序问题。

1 评价方法

1.1 正态云组合权重确定

正态云组合赋权法基本思想是将主观权重和客观权重看作围绕真实权重的一组云滴群,通过逆向云生成算法构成一个正态云组合权重,从正态云的形式上看既包含主观偏好又包含客观信息,这也说明了权重信息的模糊和随机不确定性,而正态云组合权重既满足合理性又满足可解释性。同时,通过对正态云组合权重和决策信息进行综合集成,得到的综合评价结果也是一个正态云,因此,建立在权重信息不确定基础上的评价结果,可以很好地反映综合评价中的模糊性和动态性,使得评价结果更符合实际^[14]。

假设有 n 个水资源配置方案和 m 个属性指标,方案 $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 对指标 $U_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 的标准化决策矩阵为 $V = (v_{ij})_{n \times m}$,现采用 k_1 种主观赋权方法(如 AHP、德尔菲法等)和 k_2 种客观赋权方法(如信息熵、CRITIC 等),得到指标权重为 $W = (W_1, W_2, \dots, W_K) (K = k_1 + k_2)$,其中 $W_k = (w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}) (k = 1, 2, \dots, K)$,则通过有限个(K)权重样本 W_k 构成如下指标权重矩阵:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ w_{K1} & \cdots & w_{Km} \end{bmatrix} \quad (1)$$

利用逆向云发生器算法^[15]生成各个属性指标的云组合权重 $W'_j = (E_{sj}, E_{nj}, H_{ej}) (j = 1, 2, \dots, m)$,其中 E_{sj} 、 E_{nj} 和 H_{ej} 分别为第 j 个属性指标云组合权重的期望、熵和超熵,具体过程如下:

a. 利用指标权重 W 计算水资源配置方案第 j 个属性指标权重的均值 Y_j :

$$Y_j = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{kj} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

b. 计算每个样本属性指标权重的一阶绝对中心距 M_j 和方差 S_j^2 :

$$M_j = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |w_{kj} - Y_j| \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (w_{kj} - Y_j)^2 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

c. 水资源配置方案第 j 个属性指标正态云组合权重 W'_j 的 E_{sj} 、 E_{nj} 和 H_{ej} 分别表示为

$$\begin{aligned} E_{sj} &= Y_j \\ E_{nj} &= \sqrt{\frac{\pi}{2}} M_j \\ H_{ej} &= \sqrt{|S_j^2 - E_{nj}^2|} \end{aligned} \quad (5)$$

1.2 综合云模型的构建

对于任意两朵正态云 $N_i(E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$ 和 $N_j(E_{xj}, E_{nj}, H_{ej})$, 则云模型的加法和数乘代数运算法则可定义为^[15]

$$N_i + N_j = N\left(E_{xi} + E_{xj}, \sqrt{\frac{1}{2}(E_{ni}^2 + E_{nj}^2)}, \sqrt{\frac{1}{2}(H_{ei}^2 + H_{ej}^2)}\right) \quad (6)$$

$$\lambda N_i = N(\lambda E_{xi}, \sqrt{\lambda} E_{ni}, \sqrt{\lambda} H_{ei}) \quad (7)$$

式中 λ 为常数, 且 $\lambda \in \mathbf{R}$ 。假定任意 l 个正态云 $N_1(E_{x1}, E_{n1}, H_{e1}), N_2(E_{x2}, E_{n2}, H_{e2}), \dots, N_l(E_{xl}, E_{nl}, H_{el})$ 和常数 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, l)$, 则 l 个正态云加权集成后的综合云模型 $N(E_x, E_n, H_e)$ 可以通过下列公式计算:

$$\begin{aligned} E_x &= \sum_{i=1}^l \lambda_i E_{xi} \\ E_n &= \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \lambda_i E_{ni}^2} \\ H_e &= \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \lambda_i H_{ei}^2} \end{aligned} \quad (8)$$

1.3 正态云模型相似度计算

不确定多属性综合评价过程中, 有两个关键问题, 一是属性指标权重的确定, 二是对方案进行量化比较或排序, 这涉及不同云模型间相似度的度量, 一个好的度量方法可以很大程度上提高评价的科学性和合理性。现有的云模型相似度度量方法主要有余弦相似度算法、期望曲线法、组合法、重叠法和组合模糊贴近度方法等。为了定量比较若干个评价方案的综合云云滴与评估标准云之间的关系, 本文采用龚艳冰等^[16]提出的组合模糊贴近度方法, 对于两个正态云模型 $N_i(E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$ 和 $N_j(E_{xj}, E_{nj}, H_{ej})$, 基于模糊贴近度的正态云模型相似度计算公式为

$$s(N_i, N_j) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\varphi(\xi)} - \varphi(\xi) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } \xi &= \frac{|E_{xj} - E_{xi}|}{\sqrt{E_{ni}^2 + H_{ei}^2} + \sqrt{E_{nj}^2 + H_{ej}^2}} \\ \varphi(\xi) &= \int_{-\infty}^{\xi} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \end{aligned}$$

式中 $\varphi(\xi)$ 为标准正态分布函数。

1.4 评价流程与步骤

基于正态云组合权重的水资源配置方案综合评价方法的基本思路为: ①在主观权重和客观权重给定的基础上, 通过逆向云生成算法将已有的各种主客观权重进行不确定正态云组合, 生成云模型组合权重; ②将云模型组合权重与评价方案的决策矩阵

进行信息融合生成综合决策, 得到各方案的综合云模型; ③通过计算各方案组合赋权与正、负理想方案组合赋权正态云模型间的相对相似度得到方案的排序结果, 组合权重兼顾主观权重和客观权重的优点, 使待评价对象的评价结果和区分度较为合理。因此, 该方法可为决策者进行不确定分析和理性判断提供决策依据。基于正态云组合权重的水资源配置方案综合评价方法的具体评价步骤如下:

步骤 1 针对 n 个待评价方案和 m 个属性指标的水资源配置方案多指标评价问题, 建立评价指标体系和方案关于属性指标的决策矩阵。将方案 $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ 关于属性指标 $U_j (j=1, 2, \dots, m)$ 的决策矩阵转换为标准化矩阵 $V = (v_{ij})_{n \times m}$, 分别以 $V^+ = (\max_i v_{i1}, \max_i v_{i2}, \dots, \max_i v_{im})$ 和 $V^- = (\min_i v_{i1}, \min_i v_{i2}, \dots, \min_i v_{im})$ 表示决策方案的正、负理想方案 A^+ 和 A^- 。

步骤 2 采用 k_1 种主观赋权方法和 k_2 种客观赋权方法, 得到指标权重矩阵 W 。

步骤 3 依据式(1)~(5)生成各指标正态云组合权重 $W'_j (j=1, 2, \dots, m)$ 。

步骤 4 依据式(8), 得到水资源配置方案 $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ 和正、负理想方案 A^+ 和 A^- 的正态云加权集成后的综合云模型, 分别为 $N_i(E_{xi}, E_{ni}, H_{ei})$ 、 $N^+(E_x, E_n, H_e)$ 和 $N^-(E_x, E_n, H_e)$ 。

步骤 5 利用式(9)分别计算方案 A_i 与正、负理想方案 A^+ 和 A^- 正态云模型间的相似度 $s(N_i, N^+)$ 和 $s(N_i, N^-)$ 。

步骤 6 计算水资源配置方案 $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ 和正、负理想方案 A^+ 和 A^- 综合云模型间的相对相似度 $D(N_i) = \frac{s(N_i, N^+)}{s(N_i, N^+) + s(N_i, N^-)}$, 其值越大, 对应的方案越优。

2 实例分析

以天津市 2010 年水资源配置方案评价为例, 从需水(基本节水、强化节水、现状污水回用量、加大污水回用量、现状海水利用量、加大海水利用量)和供水(引滦入津、南水北调中线、南水北调东线)两个方面考虑水资源配置方案, 共拟定 8 个待评价水资源配置方案, 如表 1 所示。综合考虑天津市的社会合理性、经济合理性、资源合理性和效率合理性 4 个方面建立评价指标体系, 其中社会合理性指标包括: 区域缺水率 U_1 、工业缺水率 U_2 、农业缺水率 U_3 ; 经济合理性指标包括: 单方水工业产出 U_4 、工业增加值增长率 U_5 、水利工程投资 U_6 ; 资源合理性指标为: 污水回用量 U_7 ; 效率合理性指标包括: 工业用水

表 1 天津市水资源配置方案集

Table 1 Water resources allocation schemes for Tianjin

供需措施	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6	方案 7	方案 8
引滦入津	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
南水北调中线	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
南水北调东线	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
基本节水	✓	✓	✓	✓				
强化节水					✓	✓	✓	✓
现状污水回用量	✓	✓			✓	✓		
加大污水回用量			✓	✓			✓	✓
现状海水利用量	✓		✓		✓		✓	
加大海水利用量		✓		✓		✓		✓

重复利用率 U_8 、农业灌溉水有效利用系数 U_9 、城市供水管网漏失率 U_{10} 。

针对上述评价指标体系,通过收集供需两方面的数据,得到天津市水资源配置方案的评价指标值,并进行归一化处理^[1],结果如表 2 所示。

分别采用主观赋权法: AHP 和改进的 AHP (IAHP) 及客观赋权法: 证据理论法、熵值法和投影寻踪法对 10 个指标进行赋权,结果如表 3 所示。5 种主客观赋权方法得到的各指标权重差异较大,对水资源配置方案结果的影响也比较大;各指标权重的波动性也很大,说明了指标权重的不确定性,不能用单一固定数值表示各指标权重。

采用本文提出的基于正态云组合赋权和云相似度 TOPSIS 法对天津市水资源配置方案进行综合评价。首先,计算主客观权重构成的正态云组合权重。利用逆向云生成算法,依据表 3 和公式(1)~(5)计算水资源配置方案各指标的正态云组合权重 $W' =$

$(W'_1, W'_2, \dots, W'_{10})$, 其中 $W'_1 = (0.090\ 9, 0.022\ 6, 0.003\ 8)$, $W'_2 = (0.090\ 9, 0.022\ 6, 0.003\ 8)$, $W'_3 = (0.089\ 8, 0.031\ 4, 0.005\ 2)$, $W'_4 = (0.111\ 0, 0.029\ 9, 0.005\ 0)$, $W'_5 = (0.105\ 4, 0.020\ 6, 0.003\ 4)$, $W'_6 = (0.100\ 5, 0.028\ 6, 0.004\ 8)$, $W'_7 = (0.132\ 8, 0.019\ 3, 0.003\ 2)$, $W'_8 = (0.110\ 7, 0.045\ 4, 0.007\ 6)$, $W'_9 = (0.085\ 3, 0.040\ 1, 0.006\ 7)$, $W'_{10} = (0.092\ 0, 0.032\ 8, 0.005\ 5)$

正态云组合权重将不同赋权方法得到的权重看成是一组云滴群,其权重是由不同云滴群所构成的正态分布形式表示的,将权重的模糊性和随机性关联在一起,显然正态云组合权重可以很好地反映权重的不确定性和波动性。

将上述正态云组合权重与评价指标值按照式(7)进行加权集成,得到水资源配置方案的正态云组合赋权值,并将上述云组合权重与正、负理想方案指标值按照式(8)进行综合集成,得到水资源配置

表 2 天津市水资源配置评价方案标准化指标值

Table 2 Standardized index values of water resources allocation schemes for Tianjin

方案	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}
1	0.1316	0.0000	0.2854	0.5266	0.3983	0.7442	0.3028	0.4848	0.4318	0.4000
2	0.2319	0.6113	0.2854	0.4999	0.5410	0.5595	0.3028	0.4848	0.4318	0.4000
3	0.3633	0.4366	0.4479	0.5061	0.4996	0.6296	0.6972	0.4848	0.4318	0.4000
4	0.4636	1.0000	0.4479	0.4734	0.6017	0.4479	0.6972	0.4848	0.4318	0.4000
5	0.3483	0.2379	0.5099	0.5480	0.4514	0.5491	0.3028	0.5152	0.5682	0.6000
6	0.4788	0.8906	0.5099	0.5208	0.5998	0.3674	0.3028	0.5152	0.5682	0.6000
7	0.6499	0.7041	0.7146	0.5317	0.5649	0.3924	0.6972	0.5152	0.5682	0.6000
8	0.7806	1.0000	0.7146	0.5054	0.6017	0.2558	0.6972	0.5152	0.5682	0.6000
正理想方案	0.7806	1.0000	0.7146	0.5480	0.6017	0.7442	0.6972	0.5152	0.5682	0.6000
负理想方案	0.1316	0.0000	0.2854	0.4734	0.3983	0.2558	0.3028	0.4848	0.4318	0.4000

表 3 各指标的主客观权重值

Table 3 Subjective and objective weights of each index

赋权方法	指标权重									
	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9	U_{10}
AHP	0.0496	0.0902	0.0272	0.1332	0.1332	0.0666	0.1670	0.1798	0.0543	0.0989
IAHP	0.1177	0.1073	0.1211	0.1484	0.1187	0.1568	0.1315	0.0355	0.0364	0.0266
证据理论法	0.1000	0.0460	0.1010	0.1040	0.1030	0.1010	0.1370	0.1040	0.1020	0.1020
熵值法	0.0872	0.0719	0.0992	0.0673	0.0703	0.0773	0.1301	0.1322	0.1328	0.1317
投影寻踪法	0.1000	0.0928	0.1007	0.1019	0.1016	0.1007	0.0984	0.1019	0.1010	0.1010

正、负理想方案的正态云组合赋权值,结果如表 4 所示。

表 4 理想方案正态云组合赋权值
Table 4 Normal cloud combination weight
of ideal schemes

指标	正理想方案	负理想方案
U_1	(0.0710,0.0199,0.0033)	(0.0120,0.0082,0.0014)
U_2	(0.0816,0.0228,0.0038)	(0.0000,0.0000,0.0000)
U_3	(0.0642,0.0265,0.0044)	(0.0256,0.0168,0.0028)
U_4	(0.0608,0.0221,0.0037)	(0.0525,0.0206,0.0034)
U_5	(0.0634,0.0160,0.0027)	(0.0420,0.0130,0.0022)
U_6	(0.0748,0.0247,0.0041)	(0.0257,0.0145,0.0024)
U_7	(0.0926,0.0161,0.0027)	(0.0402,0.0106,0.0018)
U_8	(0.0570,0.0326,0.0054)	(0.0537,0.0316,0.0053)
U_9	(0.0485,0.0302,0.0050)	(0.0368,0.0263,0.0044)
U_{10}	(0.0552,0.0254,0.0042)	(0.0368,0.0207,0.0035)

同样的,将正态云组合权重与方案评价指标值按照式(8)进行综合集成,得到 8 个方案与正、负理想方案的综合正态云分别为: N_1 (0.3803,0.0196,0.0033)、 N_2 (0.5278,0.0412,0.0069)、 N_3 (0.5009,0.0210,0.0035)、 N_4 (0.5448,0.0215,0.0036)、 N_5 (0.4614,0.0216,0.0036)、 N_6 (0.5209,0.0223,0.0037)、 N_7 (0.5920,0.0231,0.0038)、 N_8 (0.6153,0.0233,0.0039)、 N^+ (0.6691,0.0747,0.0125)和 N^- (0.3253,0.0513,0.0086)。

为了对各方案的综合云模型进行比较,采用基于云相似度 TOPSIS 法对方案排序。通过式(9)计算各方案与正、负理想方案加权综合云模型间的相似度 $s(N_i, N^+)$ 和 $s(N_i, N^-)$,并依据相对相似度 $D(N_i)$ 值的大小进行排序,相对相似度值越大方案越优,计算结果如表 5 所示。天津市 8 个备选水资源配置方案优劣排序结果为:方案 8、方案 7、方案 4、方案 6、方案 3、方案 5、方案 2、方案 1,即天津市最优水资源配置方案为方案 8,推荐方案为“引滦入津工程+南水北调中线工程+南水北调东线工程+强化节水+加大污水回用量+加大海水利用量”。

表 5 各方案与理想方案云模型间的相似度和排序
Table 5 Cloud model similarity between each scheme
and ideal scheme and scheme ranking

方案	$s(N_i, N^+)$	$s(N_i, N^-)$	$D(N_i)$	排序
1	0.0019	0.3649	0.0052	8
2	0.0106	0.1062	0.0905	7
3	0.0630	0.0125	0.8349	5
4	0.1576	0.0022	0.9862	3
5	0.0252	0.0497	0.3362	6
6	0.1012	0.0066	0.9389	4
7	0.3581	0.0003	0.9992	2
8	0.5024	0.0000	0.9998	1

为了进一步检验水资源配置云组合赋权综合评价方法的合理性与有效性,选取 AHP 赋权-模糊优

选法^[1]、AHP 赋权-TOPSIS 法^[4]、熵权-TOPSIS 法^[5]、投影寻踪赋权法^[6]、证据理论赋权-格序法^[8] 5 种代表性赋权综合评价方法对 8 种水资源配置方案进行排序,结果如表 6 所示。6 种综合评价方法得出的最优和次优方案均集中在方案 7 和方案 8,两个方案的优先顺序不尽相同,其评价结果非常接近,结合天津市的实际情况进行综合分析,最终选取方案 8 为最佳方案,说明本文方法是可行且有效的。在其他方案的排序上,前 5 种综合评价方法得到的排序结果不完全一致,排序结果差异比较大,主要原因是前 2 种综合评价方法采用 AHP 赋权容易受到主观因素的影响,在各子系统和整体系统判断矩阵均满足一致性条件下存在多种分配方法,选取的权重与真实的权重之间存在一定差异^[8];而后 3 种评价方法分别采用从信息熵、投影和证据推理 3 个不同角度计算得到的客观权重,忽略了权重本身的不确定性,容易产生信息损失。本文提出的云组合赋权方法能够将主观权重信息和客观权重信息融合在一起,既能最大限度地利用主客观权重信息,又能保持权重信息的不确定性,因此,优于其他综合评价方法。

表 6 天津水资源配置方案不同赋权方法排序结果比较
Table 6 Comparison of ranking results of different
weighting methods for water resources allocation
schemes for Tianjin

方案	AHP 赋权-模糊优选法	AHP 赋权-TOPSIS 法	熵权-TOPSIS 法	投影寻踪赋权法	证据理论赋权-格序法	云组合赋权-TOPSIS 法
1	8	8	8	8	8	8
2	7	6	7	7	7	7
3	6	5	6	6	5	5
4	5	3	5	5	3	3
5	4	7	4	4	6	6
6	3	4	3	3	4	4
7	1	2	2	2	2	2
8	2	1	1	1	1	1

3 结 语

科学合理地确定权重是水资源配置方案决策问题中的重点和难点问题,一方面受到个人偏好、经验等限制,权重存在不确定性,另一方面,关于属性指标的决策矩阵存在不确定性。本文提出了正态云组合赋权法,该方法充分考虑水资源配置方案指标权重的主观和客观信息,将主客观权重信息作为一组权重云滴群,通过逆向云生成算法进行融合和扩散,生成正态云组合权重。云组合权重将各类主客观权重进行有效的融合,避免了在水资源配置方案评价过程中的模糊性和不确定性,得到的权重结果更加

符合实际,提高了评价结果的可解释性。

现有水资源配置方案排序过程中,权重的主观性和影响因素的不确定性易造成评价结果客观真实性不足。采用基于正态云组合权重和云相似度TOPSIS法的水资源配置方案综合评价方法,将每个评价方案与正、负理想方案综合云模型间的相似度进行比较,同时考虑了评价结果的确定性与不确定性,克服了传统方法将不确定因素转化为确定因素带来的不利影响,对水资源配置方案综合评价更加客观全面。与其他方法相比较,本文方法计算简单,有利于决策者根据水资源配置方案排序结果进行进一步分析,提高水资源配置决策的准确性和科学性。

参考文献:

- [1] 杨丽美. 天津市水资源配置方案评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [2] 熊雪珍, 何新玥, 陈星, 等. 基于改进 TOPSIS 法的水资源配置方案评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(2): 14-20. (XIONG Xuezheng, HE Xinyue, CHEN Xing, et al. Evaluation on water resources allocation schemes based on improved TOPSIS[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2): 14-20. (in Chinese))
- [3] DING F, YAMASHITA T, LEE H S. Scheme choice for optimal allocation of water resources based on fuzzy language evaluation and the generalized induced ordered weighted averaging operator[J]. Fuzzy Information and Engineering, 2011, 3: 169-182.
- [4] 张阳, 张橙. 基于 TOPSIS-灰色关联度分析的水资源配置方案综合评价[J]. 统计与决策, 2017(18): 62-65. (ZHANG Yang, ZHANG Cheng. Comprehensive evaluation of water resources allocation scheme based on TOPSIS-grey correlation analysis[J]. Statistics and Decision Making, 2017(18): 62-65. (in Chinese))
- [5] SRDJEVIC B, MEDEIROS Y, FARIA A. An objective multicriteria evaluation of water management scenarios[J]. Water Resources Management, 2004, 18(1): 35-54.
- [6] ZHANG X, MENG Y, XIA J, et al. A combined model for river health evaluation based upon the physical, chemical, and biological elements[J]. Ecological Indicators, 2018, 84(1): 416-424.
- [7] JEMMALI H. Mapping water poverty in Africa using the improved multidimensional index of water poverty[J]. International Journal of Water Resources Development, 2016, 33(4): 649-666.
- [8] 吴凤平, 贾鹏, 张丽娜. 基于格序理论的水资源配置方案综合评价[J]. 资源科学, 2013, 35(11): 2232-2238. (WU Fengping, JIA Peng, ZHANG Lina. Comprehensive evaluation of water resource allocation schemes based on lattice-order theory[J]. Resources Science, 2013, 35(11): 2232-2238. (in Chinese))
- [9] 薛联青, 杨明智, 汤骅. 基于干旱等级划分的叶尔羌河流域水资源配置评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 91-96. (XUE Lianqing, YANG Mingzhi, TANG Ye. Evaluation of water resources allocation in Yarkand River Basin based on different dry grades[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(4): 91-96. (in Chinese))
- [10] 张淑林, 粟晓玲. 博弈论与 DS 证据理论耦合的黄河流域水资源配置方案评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(11): 123-133. (ZHANG Shulin, SU Xiaoling. Evaluation of water resource allocation scheme based on game theory and DS evidence theory in the Yellow River Basin[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Sciences Edition), 2019, 47(11): 123-133. (in Chinese))
- [11] 孙国营, 陕振沛, 孙新杰. 基于 TOPSIS-灰色关联方法的水资源配置评价模型研究[J]. 节水灌溉, 2019(7): 68-71. (SUN Guoying, SHAN Zhenpei, SUN Xinjie. Research on water resources allocation evaluation model based on TOPSIS-gray correlation method[J]. Water Saving Irrigation, 2019(7): 68-71. (in Chinese))
- [12] 李刚, 李建平, 孙晓蕾. 主客观权重的组合方式及其合理性研究[J]. 管理评论, 2017, 29(12): 17-26. (LI Gang, LI Jianping, SUN Xiaolei. Research on a combined method of subjective-objective weighing and the its rationality[J]. Management Review, 2017, 29(12): 17-26. (in Chinese))
- [13] 陈骥, 苏为华, 曾守桢. 基于自适应变权的群组评价方法与应用[J]. 统计研究, 2019, 36(4): 106-118. (CHEN Ji, SU Weihua, ZENG Shouzhen. Method of group evaluation based on adaptive variable weight and its application[J]. Statistical Research, 2019, 36(4): 106-118. (in Chinese))
- [14] 郑斯水, 顾圣平, 唐凤珍, 等. 基于云模型的水电站运行管理综合评价[J]. 水利经济, 2020, 38(3): 76-82. (ZHENG Sishui, GU Shengping, TANG Fengzheng, et al. Comprehensive evaluation of operation and management of hydropower stations based on cloud model[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2020, 38(3): 76-82. (in Chinese))
- [15] 李德毅, 杜鹄. 不确定性人工智能[M]. 第2版. 北京: 国防工业出版社, 2014.
- [16] 龚艳冰, 蒋亚东, 梁雪春. 基于模糊贴近度的正态云模型相似度度量[J]. 系统工程, 2015, 33(9): 133-137. (GONG Yanbing, JIANG Yadong, LIANG Xuechun. Similarity measurement for normal cloud models based on fuzzy similarity measure[J]. Systems Engineering, 2015, 33(9): 133-137. (in Chinese))

(收稿日期: 2020-12-29 编辑: 施业)