

中文引用格式:周青超,叶春明,耿秀丽. 基于 IT2F-BWM-MABAC 方法的应急物流设施选址方案评价[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(4):226-231.

英文引用格式:ZHOU Qingchao, YE Chunming, GENG Xiuli. Evaluation of emergency logistics facility location plan based on IT2F-BWM-MABAC method[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(4):226-231.

基于 IT2F-BWM-MABAC 方法的应急物流设施选址 方案评价*

周青超, 叶春明** 教授, 耿秀丽 教授
(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

中图分类号: X913.4 文献标志码: A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.04.0310

基金项目: 国家自然科学基金资助(72271164); 上海市哲学社会科学一般项目(2022BGL010)。

【摘要】 针对不确定环境下应急物流设施选址方案评价问题, 提出一种基于区间二型模糊集(IT2F)-最优最劣法(BWM)-多属性边界近似区域比较法(MABAC)的应急物流设施选址方案评价方法。首先, 针对应急物流设施选址方案评价过程中评价信息的模糊不确定性问题, 采用 IT2F 处理, 并利用 MABAC 对选址方案排序; 然后, 针对传统的 MABAC 中属性权重需要从外部获得的问题, 采用基于 IT2F 的 BWM 确定属性的权重; 最后, 将所提方法应用于某城市应急物流设施选址方案评价研究, 并验证所提选址方法的可行性和有效性。结果表明: 所提方法能够解决不确定环境下应急物流设施选址问题, 同时能够保证方案评价的质量。

【关键词】 区间二型模糊集(IT2F); 最优最劣法(BWM); 多属性边界近似区域比较法(MABAC); 应急物流设施选址; 方案评价

Evaluation of emergency logistics facility location plan based on IT2F-BWM-MABAC method

ZHOU Qingchao, YE Chunming, GENG Xiuli

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: This paper proposed an evaluation method for emergency logistics facility site selection schemes in uncertain environments based on IT2F-BWM-MABAC. Firstly, in response to the fuzzy uncertainty problem of evaluation information in the evaluation process of emergency logistics facility site selection schemes, an IT2F set was used for processing, and the site selection schemes were ranked in MABAC. In order to address the issue of obtaining attribute weights from external sources in traditional MABAC, BWM based on IT2F was adopted to determine the weights of attributes. Finally, the method proposed in this article was applied to the evaluation of emergency logistics facility location schemes in a certain city, and the feasibility and effectiveness of the proposed location method were verified. The results show that the proposed method can solve the problem of emergency logistics facility location selection in uncertain environments while ensuring the quality of scheme evaluation.

* 文章编号: 1003-3033(2024)04-0226-08; 收稿日期: 2023-10-13; 修稿日期: 2024-01-22

** 通信作者: 叶春明(1964—), 男, 安徽宣城人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事工业工程、行为运作管理方面的研究。E-mail: yechunming334@163.com.

Keywords: interval type-2 fuzzy (IT2F); best-worst method (BWM); multi-attributive border approximation area comparison (MABAC); site selection of emergency logistics facilities; scheme evaluation

0 引言

近年来,各类突发事件频发,造成严重的人员伤亡、经济损失和社会负面影响,对突发事件的防范和应对变得越来越重要。应急物流设施可在短时间内组织和协调各种资源,保障救援、救灾和恢复工作顺利进行。所以,加快应急物流设施建设,可大大减少突发事件造成的损失^[1]。

应急物流设施建设的核心是选择合适的位置^[2]。关于选址问题的研究,多属性决策得到了广泛应用^[3]。而目前多属性决策在选址中的应用还存在3点不足:一是不能准确表达选址方案评价过程中评价信息的模糊性和不确定性;二是属性的数量过多时,难以保证选址属性权重的准确性;三是需要选择合适的方法对选址方案排序。针对方案评价过程中信息的模糊性和不确定性问题。ZADEH等^[4]提出模糊集理论,模糊集使用 $[0,1]$ 中一个清晰的数字作为隶属度值,通常很难获得模糊集的精确隶属函数。二型模糊集作为模糊集的扩展,将模糊集的隶属度进行模糊化处理,在处理不确定方案评价问题上具有更高精度和灵活性。但使用二型模糊集常常导致大量计算。区间二型模糊集(Interval Type-2 Fuzzy, IT2F)可有效地减少计算复杂度,是目前最常用的二型模糊集。利用IT2F作为评价信息处理方案评价问题已得到广泛应用^[5]。针对选址属性权重的计算问题,一些学者利用层次分析法(Alytic Hierarchy Process, AHP)计算选址属性的权重^[6],但当方案评价过程中属性个数较多时,AHP很难保证一致性检验要求。RAZAEI^[7]提出最优最劣法(Best-Worst Method, BWM),该方法简化了属性间的比较过程,能够保证结果的可靠性。目前,BWM方法在决策领域得到了得到了广泛应用^[8]。多属性决策选址方案评价过程中的最后一步是对选址方案排序。考虑到应急物流设施选址是一个复杂的多属性决策问题,利用多属性边界近似区域比较法(Multi-attributive Border Approximation Area Comparison, MABAC)方法^[9]对备选方案排序,在复杂多属性决策问题中得到了广泛应用^[10-11]。

鉴于此,笔者拟提出一种基于IT2F-BWM-MABAC的应急物流设施选址方案评价方法,首先,

采用IT2F改进BWM计算各属性的权重;然后,利用IT2F作为评价语言纳入MABAC中,并对备选方案排序;最后,将该方法应用于某城市应急物流设施选址实际案例中,并与AHP-MABAC方法对比分析,验证所提方法的可行性和有效性。

1 基于 IT2F-BWM 计算属性权重

使用传统的BWM方法进行属性间对比时,采用1~9个刻度打分,但在应急物流设施选址过程中,评价信息具有模糊性和不确定性,因此,采用IT2F改进BWM方法计算,保证所求权重的准确性。根据IT2F的7个粒度的语义量化表^[12],得出BWM中量化值与语义评价标度的对应关系,见表1。

表1 BWM中IT2F对应的语义量表

Tab.1 Semantic scales corresponding to IT2F

| 量化值 | 具体说明 |
|----------------------------------|------------------------------|
| $((0,0,1;1), (0,0,0.5;0.5))$ | 表示属性 C_i 强烈劣于属性 C_j |
| $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | 表示属性 C_i 明显劣于属性 C_j |
| $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | 表示属性 C_i 稍微劣于属性 C_j |
| $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ | 表示属性 C_i 与属性 C_j 同等重要 |
| $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | 表示属性 C_i 稍微优于属性 C_j |
| $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | 表示属性 C_i 明显优于属性 C_j |
| $((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ | 表示属性 C_i 强烈优于属性 C_j |

将IT2F与BWM相结合计算属性的权重,具体步骤如下:

步骤1:在属性集 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 中选取最优选址属性 C_B 和最劣选址属性 C_W 。

步骤2:经专家讨论,采用IT2F进行评价,确定最优选址属性 C_B 相比于其他所有选址属性 C_i 的偏好程度,构建IT2F比较向量 $D_B = (d_{B1}, d_{B1}, \dots, d_{Bn})$,其中, d_{Bi} 代表最优选址属性 C_B 与其他选址属性 C_i 相比的偏好程度。根据IT2F的去模糊化转换方法^[12],得出IT2F的去模糊化结果 $R(\tilde{A})_{B_i}$ 。

步骤3:同理,确定其他所有选址属性 C_i 相比于

最劣选址属性 C_w 的偏好程度,构建 IT2F 比较向量 $D_B = (d_{1w}, d_{2w}, \dots, d_{nw})$, 其中, d_{iw} 表示其他选址属性 C_i 与最劣选址属性 C_w 相比的偏好程度。根据 IT2F 的去模糊化转换方法^[12], 得出 IT2F 的去模糊化结果 $R(\tilde{A})_{iw}$ 。

步骤 4: 下式为 IT2F-BWM 模型, 使用 Matlab 求解得出应急物流设施选址属性的权重 $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ 。

$$\begin{aligned} & \min \xi \\ & \text{s. t.} \\ & \left| \frac{w_B}{w_j} - R(\tilde{A})_{Bi} \right| \leq \xi, \text{ for all } j \\ & \left| \frac{w_j}{w_w} - R(\tilde{A})_{iw} \right| \leq \xi, \text{ for all } j \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (1)$$

2 基于 IT2F-MABAC 的排序方法

IT2F 在处理评价信息时解决了语言变量的个体性差异问题, 能够更好地表达语言变量的多含义的特征。采用 IT2F 处理 MABAC 中备选方案在每个属性下的评价值, 确保了评价信息的准确性。IT2F 对应的评估语义量表见表 2。

表 2 IT2F 对应的评估语言量表

Tab. 2 Evaluation language scale corresponding to IT2F

| 语言变量 | 对应的 IT2F |
|------|--|
| 很低 | $((0, 0, 1; 1), (0, 0, 0.5; 0.5))$ |
| 低 | $((0, 1, 3; 1), (0.5, 1, 2; 0.5))$ |
| 稍低 | $((1, 3, 5; 1), (2, 3, 4; 0.5))$ |
| 一般 | $((3, 5, 7; 1), (4, 5, 6; 0.5))$ |
| 稍高 | $((5, 7, 9; 1), (6, 7, 8; 0.5))$ |
| 高 | $((7, 9, 10; 1), (8, 9, 9.5; 0.5))$ |
| 很高 | $((9, 10, 10; 1), (9.5, 10, 10; 0.5))$ |

其具体步骤如下。

步骤 1: 给出方案 X_i 在属性 C_j 下的评价值 x_{ij} , 用 IT2F 表示, 构建决策矩阵 $Z = [x_{ij}]_{m \times n}$ 。

步骤 2: 根据 IT2F 的去模糊化转换方法^[12], 将矩阵中的 IT2F 转化为精确值 $R(\tilde{A}_{ij})$ 。对去模糊化的初始决策矩阵 $Z = [R(\tilde{A}_{ij})]_{m \times n}$ 进行规范化处理。如果是效益型属性采用式 (2) 计算, 如果是成本型属性采用式 (3) 计算, 最后得出规范化矩阵 $N = [n_{ij}]_{m \times n}$ 。

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \quad (2)$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \quad (3)$$

式中: $x_i^+ = \max(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ 为在属性 C_j 下的各备选方案最大评价值; $x_i^- = \min(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ 为在属性 C_j 下的各备选方案最小评价值。

步骤 3: 根据基于 IT2F-BWM 方法求得的属性权重, 构建加权决策矩阵 V , 按下式计算 V 中每个元素的值 v_{ij} 。

$$v_{ij} = w_i \cdot (n_{ij} + 1) \quad (4)$$

式中: m 为方案个数; n 为属性个数。

步骤 4: 根据下式计算每个属性的边界近似区域, 确定边界近似区域决策矩阵 G 。

$$G_i = \left(\prod_{j=1}^m v_{ij} \right)^{1/m} \quad (5)$$

步骤 5: 加权决策矩阵与边界近似区域决策矩阵之间的距离矩阵 Q 。

$$Q = V - G = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \dots & g_n \\ g_1 & g_2 & \dots & g_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_1 & g_2 & \dots & g_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: g_i 在属性 C_j 下的边界近似区域; 备选方案 X_i 可能属于边界区域 G 、上边界区域 G^+ 或下边界区域 G^- , 即 $X_i \in \{G \cup G^+ \cup G^-\}$, 备选方案属于哪个区域由下式决定。

$$A \in \begin{cases} G^+, & q_{ij} > 0 \\ G, & q_{ij} = 0 \\ G^-, & q_{ij} < 0 \end{cases} \quad (7)$$

步骤 6: 通过下式对距离矩阵 Q 的每一项元素求和, 得到备选方案的最终函数值 S_i , 根据函数值大小对备选方案排序, S_i 越大表示方案 X_i 越优。

$$S_i = \sum_{j=1}^n q_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

3 应急物流设施选址方案

某城市在每年 7—9 月处于台风多发区域, 为减少台风带来的损失, 降低台风对居民生活的影响, 该城市准备建造一个应急物流设施。综合考虑该市的实际情况, 合适的选址区域有 4 个 (X_1, X_2, X_3, X_4)。采用文中所提应急物流设施选址方法, 对选址区域 $X_i (i=1, 2, 3, 4)$ 排序, 6 个专业属性 $C_j (j=1, 2, 3, 4,$

5,6),以选择合适的方案,具体应急物流设施属性见表3。

表3 应急物流设施属性描述

Tab.3 Description of emergency logistics facility attributes

| 属性 | 属性描述 |
|----------------|------------------------------------|
| 设施建筑结构坚固 C_1 | 应急物流设施的建筑结构应该坚固可靠,能够承受灾害带来的冲击和压力 |
| 交通便利程度 C_2 | 应急物流设施应该位于交通便利的地方,以保证物资的快速运输 |
| 基础设施 C_3 | 应急物流设施应该有稳定的供水、供电等基础设施,以保证设施运行的连续性 |
| 面积充足 C_4 | 应急物流设施需要充足的面积,以储存大量的物资和设备 |
| 距离灾害区域较远 C_5 | 应急物流设施应该远离可能受到影响的灾害区域,以免设施也受到影响 |
| 周边环境安全 C_6 | 应急物流设施周边环境应该安全稳定,以保证设施运行的安全性 |

经专家组讨论,得出 C_2 为最优属性, C_6 为最劣属性,采用区间 IT2F 评价属性间的比较关系,将其他属性 C_i 分别与 C_2 和 C_6 对比,得出的比较结果见表4。根据 IT2F 的去模糊化转换方法^[12],将表4中的 IT2F 进行去模糊化处理,结果见表5。

根据式(1)的 IT2F-BWM 模型,使用 Matlab 求得各属性的权重,计算得出 $w_1=0.316, w_2=0.356, w_3=0.196, w_4=0.0612, w_5=0.0378, w_6=0.0336$ 。

表6 专家组给出的区间二型模糊方案评价信息

Tab.6 Evaluation information of interval type II fuzzy schemes provided by expert group

| 选址方案 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| X_1 | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((0,0,1;1), (0,0,0.5;0.5))$ |
| X_2 | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ |
| X_3 | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ |
| X_4 | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ |

表7 方案的区间二型模糊评价信息去模糊化处理

Tab.7 Interval type II fuzzy evaluation information defuzzification processing of scheme

| 选址方案 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X_1 | 8.540 | 9.667 | 6.750 | 4.750 | 2.75 | 0.208 |
| X_2 | 6.750 | 9.667 | 4.750 | 4.750 | 1.083 | 1.083 |
| X_3 | 6.750 | 8.540 | 6.750 | 2.750 | 2.750 | 2.750 |
| X_4 | 8.540 | 6.750 | 4.750 | 6.750 | 1.083 | 4.750 |

利用式(2)和式(3)对去模糊化的初始决策矩阵进行规范化处理,具体见表8。根据基于区间二

表4 BWM 中各选址属性的比较信息

Tab.4 Comparison information of various site selection attributes in BWM

| C_i | 最优属性 C_2 | 最劣属性 C_6 |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| C_1 | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ |
| C_2 | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ | $((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ |
| C_3 | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ |
| C_4 | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ |
| C_5 | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ |
| C_6 | $((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ | $((3,5,7;1), (4,5,6;0.5))$ |

表5 BWM 中 IT2F 转为精确值

Tab.5 Conversion of interregional type II fuzzy sets to accurate values in BWM

| C_i | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 最优属性 C_2 | 1.083 | 4.750 | 2.750 | 6.750 | 8.540 | 9.667 |
| 最劣属性 C_6 | 8.540 | 9.667 | 6.750 | 2.750 | 1.083 | 4.750 |

根据专家讨论给出方案 X_i 在属性 C_j 下的评价值为 x_{ij} , 评价值用 IT2F 表示,具体见表6。根据 IT2F 的去模糊化转换方法^[12],将表中评价值 x_{ij} 进行去模糊化,具体见表7。

型模糊 BWM 方法求得的属性权重,利用式(4)计算加权决策矩阵 V 中每个元素的值 v_{ij} ,具体见表9。

表8 规范化的决策矩阵

Tab.8 Normalized decision matrix

| 选址方案 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X_1 | 0.881 | 1 | 0.692 | 0.481 | 0.269 | 1 |
| X_2 | 0.660 | 1 | 0.427 | 0.427 | 0 | 1 |
| X_3 | 0.691 | 1 | 0.691 | 0 | 0 | 1 |
| X_4 | 1 | 0.760 | 0.492 | 0.760 | 0 | 0.508 |

表9 加权决策矩阵

Tab.9 Weighted decision matrix

| 选址方案 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| X_1 | 0.594 | 0.712 | 0.332 | 0.090 | 0.048 | 0.066 |
| X_2 | 0.525 | 0.712 | 0.280 | 0.0871 | 0.038 | 0.066 |
| X_3 | 0.534 | 0.712 | 0.331 | 0.061 | 0.038 | 0.066 |
| X_4 | 0.632 | 0.627 | 0.292 | 0.107 | 0.038 | 0.050 |

利用式(5)和式(6),得出加权决策矩阵与边界近似区域决策矩阵之间的距离矩阵 Q ,具体见表10。

表10 加权决策矩阵与边界近似区域决策矩阵之间的距离矩阵

Tab.10 Distance matrix between weighted decision matrix and boundary approximation region decision matrix

| 选址方案 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X_1 | 0.0247 | 0.022 | 0.024 | 0.006 | 0.008 | 0.004 |
| X_2 | -0.045 | 0.022 | -0.028 | 0.002 | -0.002 | 0.004 |
| X_3 | -0.035 | 0.022 | 0.024 | -0.024 | -0.002 | 0.496 |
| X_4 | 0.062 | -0.063 | -0.016 | 0.023 | -0.33 | -0.012 |

表11 备选方案的最终函数值

Tab.11 Final Function Values for Alternative Solutions

| S_i | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 |
|-------|-------|--------|--------|--------|
| 函数值 | 0.089 | -0.046 | -0.011 | -0.008 |

通过式(8)计算得出各选址区域的最终函数值 S_i ,根据函数值大小对各选址区域排序,得出 $S_1 > S_4 > S_3 > S_2$,所以应急物流设施应该建立在区域 X_1 。

TAPAS等^[13]采用AHP-MABAC方法来对备选方案排序。采用应急物流选址数据,利用AHP-MABAC方法与文中方法对比。将IT2F引入AHP中,构建专家评价矩阵见表12。从表12可以看出,采用AHP方法需要36次属性对比,而BWM只需11次属性对比。通过IT2F的去模糊化转换方法^[12],将IT2F去模糊化,见表13。再利用Matlab计算得出各准则权重分别为 $w_1 = 0.290, w_2 = 0.333, w_3 = 0.174, w_4 = 0.092, w_5 = 0.075, w_6 = 0.036$ 。与文中利用基于IT2F-BWM方法求出的属性权重排序结果一致,根据表6与表7,利用式(2)一式(8)计算选址区域 X_i 的函数值,具体计算结果见表14。根据函数值得出的排序结果为 $S_1 > S_4 > S_3 > S_2$,所以,选择区域 X_i 为选址地点。所提方法与对比方法所求出的排序结果一致。但对比方法使用AHP计算属性的权重,当属性越多时,AHP方法复杂,所要进行属性间的对比越多于BWM方法。因此,当属性过多时,对比方法明显不适用。

表12 AHP评价矩阵

Tab.12 AHP evaluation matrix

| C_i | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| C_1 | 1 | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $1/((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $1/((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $1/((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $1/((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ |
| C_2 | $1/((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | 1 | $1/((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $1/((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $1/((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $1/((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ |
| C_3 | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | 1 | $1/((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $1/((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $1/((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ |
| C_4 | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | 1 | $1/((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | $1/((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ |
| C_5 | $((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | 1 | $1/((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ |
| C_6 | $((7,9,10;1), (8,9,9.5;0.5))$ | $((9,10,10;1), (9.5,10,10;0.5))$ | $1/((5,7,9;1), (6,7,8;0.5))$ | $((1,3,5;1), (2,3,4;0.5))$ | $((0,1,3;1), (0.5,1,2;0.5))$ | 1 |

表13 AHP评价矩阵中的IT2F去模糊化

Tab.13 Defuzzification of interval type II fuzzy sets in the AHP evaluation matrix

| C_i | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|-------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|
| C_1 | 1 | 1.083 | 1/1.083 | 1/2.750 | 1/6.750 | 1/8.540 |
| C_2 | 1/1.083 | 1 | 1/2.750 | 1/6.750 | 1/8.54 | 1/9.667 |
| C_3 | 1.083 | 2.750 | 1 | 1/1.083 | 1/2.750 | 1/6.750 |
| C_4 | 2.750 | 6.750 | 1.083 | 1 | 1/1.083 | 1/2.750 |
| C_5 | 6.750 | 8.540 | 2.750 | 1.083 | 1 | 1/1.083 |
| C_6 | 8.540 | 9.667 | 1/6.75 | 2.750 | 1.083 | 1 |

表 14 对比方法中备选方案的最终函数值

Tab. 14 Final function values of alternative solutions in comparison methods

| S_i | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 |
|-------|-------|--------|--------|--------|
| 函数值 | 0.935 | -0.050 | -0.022 | -0.012 |

4 结 论

1) 运用 IT2F 表示选址过程中专家的评价信息,使得不确定信息得以更加准确地表达。利用

IT2F 改进 BWM 方法来计算选址属性的权重,能够保证当属性过多时计算简便和结果可靠。利用 IT2F 改进 MABAC 对选址方案排序,可为应急物流设施的选址提供新的解决思路。

2) 应急物流设施的选址过程相对复杂,要考虑选址过程中的多个方面,所以,在未来方法的创新上,需要构建更加科学全面的属性评价体系,可将应急物流设施选址问题引入到大群体决策方法中,以保证选址结果更加可靠。

参 考 文 献

- [1] 闫森,齐金平. 考虑需求不确定的多级应急物流设施选址研究[J]. 运筹与管理,2022,31(9):7-13.
YAN Sen, QI Jinping. Research on the location selection of multi-level emergency logistics facilities under uncertain conditions[J]. Operations Research and Management Science, 2022,31(9):7-13.
- [2] 谷玲玲,耿秀丽. IIF-ER 方法在应急物流设施选址中的应用[J]. 中国安全科学学报,2018,28(9):183-188.
GU Lingling, GENG Xiuli. Application of interval intuitionistic fuzzy and evidence reasoning in location selection of emergency logistics facilities [J]. China Safety Science Journal, 2018,28(9):183-188.
- [3] 邝雨婕,赵佳虹. 连续时变风险下危险物品储运选址-选线问题[J]. 中国安全科学学报,2022,32(4):185-191.
KUANG Yujie, ZHAO Jiahong. Location and routing of dangerous goods storage and transportation under continuous time-varying risks [J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(4):185-191.
- [4] ZADEH L A. Fuzzy sets[J]. Inform and Control, 1965,8(3):338-353.
- [5] 王恒,姚艳霞,于姗姗,等. 基于区间二型模糊超效率 SBM 模型的燃煤发电企业碳减排效率评估研究[J]. 热力发电,2022,51(1):69-78.
WANG Heng, YAO Yanxia, YU Shanshan, et al. Evaluation of carbon emission reduction efficiency of power plants based on IT2F super-efficiency SBM model [J]. Thermal Power Generation, 2022,51(1):69-78.
- [6] PAN Xiaohong, WANG Yingming, HE Shifan. The evidential reasoning approach for renewable energy resources evaluation under interval type-2 fuzzy uncertainty[J]. Information Sciences, 2021,576:432-453.
- [7] REZAEI J. Best-worst multi-criteria decision-making method[J]. Omega, 2015,53:49-57.
- [8] 金腾宇,耿秀丽,章慧慧,等. 基于犹豫模糊 BWM 与 MOORA 的多属性决策方法[J]. 机械设计与研究,2021,37(5):1-5.
JIN Tengyu, GENG Xiuli, ZHANG Huihui, et al. Multiple attribute decision making method based on hesitant fuzzy BWM and MOORA [J]. Mechanical Design and Research, 2021,37(5):1-5.
- [9] PAMUCAR D, CIROVIC G. The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attribute border approximation area comparison (MABAC)[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(6):3 016-3 028.
- [10] LUO Suizhi, PEDRYCZ W, XING Lining. Selection of data products: a hybrid AFSA-MABAC approach [J]. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2022,4(13):1-19.
- [11] HASHEMIZADEH A, JU Yanbing, BAMAKAN S M H, et al. Renewable energy investment risk assessment in belt and road initiative countries under uncertainty conditions[J]. Energy, 2021, 214: DOI:10.1016/j.energy.2020.118923.
- [12] GONG Xiaomin, YANG Man, DU Puliang. Renewable energy accommodation potential evaluation of distribution network: a hybrid decision-making framework under interval type-2 fuzzy environment [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 286: DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124918.
- [13] TAPAS K, MANIK C D. Selection of commercially available electric vehicle using fuzzy AHP-MABAC[J]. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, 2019,100(3):1-7.

作者简介: 周青超 (1992—),男,江苏盐城人,博士研究生,研究方向为多属性决策、服务设计、机器学习等。E-mail:zqc1165771460@163.com。