

基于 TOPSIS 法的城市内涝事件应急群决策研究

谢以恒¹, 沈菊琴¹, 吴征¹, 朱叶松²

(1. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100; 2. 安徽工程大学 数理学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 为满足城市内涝的应急决策需求,减少内涝损失,提出了基于 TOPSIS 法的城市内涝事件应急群决策模型。一方面,针对城市内涝事件的发生具有不确定性、复杂性和阶段性的特点,采用区间灰数描述待评价应急方案的评价指标属性值和评价指标权重;另一方面,为有效协调多目标之间的错综复杂的关系,引入 TOPSIS 法进行方案评价,根据加权规范化矩阵确定方案的正理想解和负理想解并计算相对接近度,并与决策者权威性权重融合得到综合群体决策相对接近度,根据可能性矩阵的排序向量的大小对方案进行排序择优。通过案例分析结果表明:模型具有可行性和现实意义,能够为城市内涝事件的应急决策提供理论参考。

关键词: 城市内涝; 应急决策; TOPSIS 法; 群决策

中图分类号: TV877

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)01-0104-05

Study of urban waterlogging events emergency group decision based on the TOPSIS method

XIE Yiheng¹, SHEN Juqin¹, WU Zheng¹, ZHU Yesong²

(1. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. School of Mathematics and Physics, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

Abstract: In order to meet the emergency decision-making needs of urban waterlogging and to reduce losses, a urban waterlogging Emergency Group Decision Model based on the TOPSIS method was developed. On the one hand, due to the urban waterlogging occurrence with characteristics of uncertainty, complexity and periodicity, the interval grey number was used to evaluate attributes and weights of indices for the emergency plans needed to evaluation. On the other hand, in order to coordinate the complex relationship between multiple objectives effectively, the TOPSIS method was introduced to evaluate the schemes. After building weighted standardized matrix, use TOPSIS method to determine the program's positive and negative ideal solutions, to calculate the relative proximity, and to comprehensively integrate with decision-maker's authoritative weight and obtain relative proximity of group decision-making, then to rank and select the best plan according to the vector order of possible matrix. By analyzing a particular case, the results indicated that, the method was feasible and practical, which can provide a theoretical reference for the emergency decision of city waterlogging events.

Key words: urban waterlogging; emergency decision; TOPSIS method; group decision

1 研究背景

城市内涝主要是指短时间内较大强度降雨或者连续性降水超过排水能力导致的城市范围内的洪涝灾害。近年来极端天气事件频发^[1-2],尤其是高强度暴雨和长时间持续性降水给城市带来了巨大损

失。2016年6月中旬至7月,全国大范围降雨,湖北、安徽和江苏等地纷纷变成了“水城”。但是,随着我国城市化进程的快速发展,城市建筑物和人口密集,开发区域不断扩大,建设全面的防涝工程措施困难^[3-4]。因此,当城市出现严重内涝时,采取内涝

收稿日期:2016-08-11; 修回日期:2016-11-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41271537); 国家社会科学基金重大项目(12&ZD214)

作者简介:谢以恒(1987-),男,江苏南京人,硕士研究生,主要研究方向为会计学。

通讯作者:沈菊琴(1962-),女,江苏张家港人,教授,博士生导师,主要研究方向为环境会计与资产管理。

应急决策是普遍采用和有效的办法^[5-7]。然而,在内涝应急实践中暴露出缺乏科学有效的决策方法的指导^[8-9]。因此,本文针对城市内涝的不确定性、复杂性和阶段性的特点^[10],提出基于 TOPSIS 法的城市内涝事件应急群决策模型。

在城市内涝事件发生时或者出现征兆时,为了及时应对险情和尽可能减少损失,需要选择出最优应急方案。TOPSIS 法又称逼近于理想解的排序方法,其主要原理是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序,从而选择出较优的方案的一种决策方法。

城市内涝应急管理涉及各种因素,各因素之间又存在着各种错综复杂的联系^[11],因此,需要系统科学的决策理论进行指导,应急群决策作为一种有效的应急决策指导方法,将其与 TOPSIS 法结合能够选择出最优应急决策方案,能够有效减少城市内涝带来的损失。

城市内涝应急决策最主要的特征是决策过程呈现较强的阶段性和动态性特征,决策掌握的信息不完全,决策者对事件所造成的影响范围、人员伤亡和财产损失等无法准确预估,只能用区间灰数的形式估计出来。

受邀的决策专家由于来自不同领域,在衡量他们的权威性时,需要用区间灰数表达出来。所以,在城市内涝应急决策过程中,各应急方案评价指标的属性值、属性权重和决策者权威性权重全部是区间灰数群决策问题,结合 TOPSIS 法提出针对城市内涝事件应急群决策模型,对应急方案进行排序从而达到方案优选的目的。

2 模型构建

根据城市内涝事件的发生具有不确定性、复杂性和阶段性的特征,运用区间灰数可以描述应急方案中的信息。在城市内涝事件群决策问题中,设 $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ 为城市内涝应急决策中,决策者制定的城市内涝应急方案集合,其中, $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 表示第 i 个城市内涝应急方案。 $G = (G_1, G_2, \dots, G_m)$ 为应急方案评价指标集合,其中, $G_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 表示第 j 个评价指标。 $D = (D_1, D_2, \dots, D_k)$ 为参与城市内涝应急方案决策者集合,其中, $D_q (q = 1, 2, \dots, k)$ 表示第 q 个决策者。在城市内涝应急决策中,由于决策者需要的信息缺失,相应预估方面的数据只能以区间灰数表示。因此,设 $u_{ij}^{(q)}(\otimes) \in [u_{ij}^{(q)}, \bar{u}_{ij}^{(q)}]$ 表示决策者 D_q 在城市内涝应急方案 P_i

下评价指标 G_j 的属性值,其中, $0 \leq u_{ij}^{(q)} \leq \bar{u}_{ij}^{(q)}$ 。 $\omega_j^{(q)}(\otimes) \in [\underline{\omega}_j^{(q)}, \bar{\omega}_j^{(q)}]$ 表示决策者 D_q 在城市内涝应急决策中赋予评价指标 G_j 的权重值,其中, $0 \leq \underline{\omega}_j^{(q)} \leq \bar{\omega}_j^{(q)} \leq 1$ 。 $\alpha_q(\otimes) \in (\underline{\alpha}_q, \bar{\alpha}_q)$ 表示参与城市内涝应急方案决策者 D_q 的权威性权重值,其中, $0 \leq \underline{\alpha}_q \leq \bar{\alpha}_q$ 。

2.1 属性值规范化处理

基于 TOPSIS 法的应急群决策模型研究的基本思路是首先运用区间灰数灰色极差变换法对决策者 D_q 的决策矩阵 $R^q = (u_{ij}^{(q)}(\otimes))_{n \times m}$ 进行规范化处理,消除不同量纲的影响。一般决策属性分为效益型和成本型两种,对于效益型指标,进行规范化处理的公式为:

$$\begin{cases} \underline{x}_{ij}^{(q)} = (u_{ij}^{(q)} - z_i^{(q)}) / (\bar{z}_i^{(q)} - z_i^{(q)}) \\ \bar{x}_{ij}^{(q)} = (\bar{u}_{ij}^{(q)} - z_i^{(q)}) / (\bar{z}_i^{(q)} - z_i^{(q)}) \end{cases} \quad (1)$$

对于成本型指标,进行规范化处理的公式为:

$$\begin{cases} \underline{x}_{ij}^{(q)} = (\bar{z}_i^{(q)} - u_{ij}^{(q)}) / (\bar{z}_i^{(q)} - z_i^{(q)}) \\ \bar{x}_{ij}^{(q)} = (\bar{z}_i^{(q)} - \bar{u}_{ij}^{(q)}) / (\bar{z}_i^{(q)} - z_i^{(q)}) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\underline{x}_{ij}^{(q)}, \bar{x}_{ij}^{(q)}$ 为运用区间灰数灰色极差变换法对属性值进行规范化处理后的数值; $\bar{z}_i^{(q)} = \max_{1 \leq j \leq m} (\bar{u}_{ij}^{(q)})$, $z_i^{(q)} = \min_{1 \leq j \leq m} (u_{ij}^{(q)})$; ($i = 1, 2, \dots, n$)。

将决策者 D_q 对于不同评价指标的权重与规范化决策矩阵 $R_*^q = (x_{ij}^{(q)}(\otimes))_{n \times m}$ 对应相乘,得到加权规范化决策矩阵 $Y^q = (y_{ij}^{(q)}(\otimes))_{n \times m} = (\omega_j^{(q)}(\otimes) X_{ij}^{(q)}(\otimes))_{n \times m}$ 。

2.2 确定群体决策相对接近度矩阵

运用 TOPSIS 法确定决策者正理想解(最优解)和负理想解(最劣解),具体的计算过程为设决策者 D_q 在各个内涝应急方案下的加权规范化决策矩阵 Y^q 下的属性向量为 $y_i^{(q)}(\otimes) = (y_{i1}^{(q)}(\otimes), y_{i2}^{(q)}(\otimes), \dots, y_{im}^{(q)}(\otimes))$ 。对加权规范化决策矩阵 Y^q 的属性,设 $^+ y_i^{(q)} = \max\{(\underline{y}_{ij}^{(q)} + \bar{y}_{ij}^{(q)})/2\}$, 其对应的属性值为 $[^+ \underline{y}_{ij}^{(q)}, ^+ \bar{y}_{ij}^{(q)}]$, 所以决策者 D_q 正理想解为 $^+ y^{(q)}$:

$$^+ y^{(q)} = \{^+ y_1^{(q)}, ^+ y_2^{(q)}, \dots, ^+ y_m^{(q)}\} \quad (3)$$

对加权规范化决策矩阵 Y^q 的属性,设 $^- y_i^{(q)} = \min\{(\underline{y}_{ij}^{(q)} + \bar{y}_{ij}^{(q)})/2\}$, 其对应的属性值为 $[^- \underline{y}_{ij}^{(q)}, ^- \bar{y}_{ij}^{(q)}]$, 所以决策者 D_q 负理想解 $^- y^{(q)}$ 为:

$$^- y^{(q)} = \{^- y_1^{(q)}, ^- y_2^{(q)}, \dots, ^- y_m^{(q)}\} \quad (4)$$

分别计算决策者 D_q 在应急方案 p_i 下相对正理想解的距离和相对负理想解的距离,根据 TOPSIS 方法计算各个应急方案相对正理想解的距离 $^+ d_i^{(d)}$,

计算公式为:

$${}^+d_i^{(q)} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j^{(q)} + \bar{\omega}_j^{(q)})/2 \times [(\underline{y}_{ij}^{(q)} - {}^+y_{ij}^{(q)})^2 + (\bar{y}_{ij}^{(q)} - {}^+y_{ij}^{(q)})^2]}/2 \quad (5)$$

各个应急方案相对负理想解的距离 ${}^-d_i^{(q)}$,计算公式为:

$${}^-d_i^{(q)} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j^{(q)} + \bar{\omega}_j^{(q)})/2 \times [(\underline{y}_{ij}^{(q)} - {}^-y_{ij}^{(q)})^2 + (\bar{y}_{ij}^{(q)} - {}^-y_{ij}^{(q)})^2]}/2 \quad (6)$$

式中: $(\omega_j^{(q)} + \bar{\omega}_j^{(q)})$ 为决策者 D_q 在城市内涝应急决策中赋予评价指标 G_j 的权重值。

计算决策者 D_q 在应急方案 P_i 下的相对接近度 $C_i^{(q)}$,确定群体决策相对接近度矩阵 C 。其中,相对接近度 $C_i^{(q)}$ 的计算公式为:

$$C_i^{(q)} = {}^-d_i^{(q)}/{}^+d_i^{(q)} + {}^-d_i^{(q)} \quad (7)$$

式中: ${}^+d_i^{(q)}$, ${}^-d_i^{(q)}$ 分别为各个应急方案相对正理想解和负理想解的距离。

将(7)式计算的结果群体决策整理得到相对接近度矩阵 C 为:

$$C = \begin{bmatrix} C_1^{(1)} & C_1^{(2)} & \dots & C_1^{(k)} \\ C_2^{(1)} & C_2^{(2)} & \dots & C_2^{(k)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n^{(1)} & C_n^{(2)} & \dots & C_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$P_{12} = \begin{cases} 1 & a_1 > b_2 \\ (b_1 - a_2)^2/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_1 < a_2 < b_1 < b_2 \\ 1 - (b_2 - a_1)^2/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_2 < a_1 < b_2 < b_1 \\ (a_1 + b_1 - 2a_2)(b_1 - a_1)/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_2 < a_1 < b_1 < b_2 \\ (2b_1 - b_2 - a_2)(b_2 - a_2)/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_1 < a_2 < b_2 < b_1 \\ 0 & a_2 > b_1 \end{cases} \quad (10)$$

对 n 个区间灰数进行两两比较^[13-14],可以得到一个 $n \times n$ 的可能性矩阵,借鉴模糊互补判断矩阵的思想可以得到可能性矩阵的排序向量 e_i :

$$e_i = \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{i=1}^n P_{iu} + \frac{n}{2} - 1 \right) \quad (11)$$

式中: n 为区间灰数的个数; P_{iu} 为区间灰数 $r_i(\otimes) \geq r_u(\otimes)$ 的可能性。

根据公式(11)计算的排序向量 e_i 的大小对各个应急方案进行排序,选取排序向量最大的作为最优的应急方案。

3 算例分析

某日凌晨3时30分,据气象台预报,武汉市中

2.3 根据综合群体决策相对接近度对方案排序

将决策者 D_q 的权威性权重值 $\alpha_q(\otimes) \in (\underline{\alpha}_q, \bar{\alpha}_q)$ 与群体决策相对接近度 $C_i^{(q)}$ 融合得到应急方案 P_i 的综合群体决策相对接近度 $S_i^*(\otimes)$:

$$S_i^*(\otimes) = \sum_{q=1}^k \alpha_q(\otimes) C_i^{(q)} \quad (9)$$

由式(9)得到的综合群体决策相对接近度是一个区间灰数,借鉴文献[12]中相互交叉和相互包含的区间灰数排序方法进行排序,由于每个决策者在区间灰数涵盖数值集合中可能的取值的可能性相等,所以区间灰数的排序问题可以简化为区间数的排序问题。

具体的计算公式为:

设区间灰数 $r_1(\otimes) = (a_1, b_1)$, $r_2(\otimes) = (a_2, b_2)$,则 $r_1(\otimes) \geq r_2(\otimes)$ 的可能性 P_{12} 的公式为:

$$P_{12} = \begin{cases} 1 & a_1 > b_2 \\ (b_1 - a_2)^2/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_1 < a_2 < b_1 < b_2 \\ 1 - (b_2 - a_1)^2/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_2 < a_1 < b_2 < b_1 \\ (a_1 + b_1 - 2a_2)(b_1 - a_1)/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_2 < a_1 < b_1 < b_2 \\ (2b_1 - b_2 - a_2)(b_2 - a_2)/[2(b_1 - a_1)(b_2 - a_2)] & a_1 < a_2 < b_2 < b_1 \\ 0 & a_2 > b_1 \end{cases} \quad (10)$$

心城区将有一次暴雨过程,市防汛机动抢险队负责常青路铁路下穿涵洞段易涝点的应急抢险,其收到信息后进行备勤。4时40分城区开始出现陆续降水。5时15分,气象台发布黄色预警信号。针对大雨可能引起的内涝,依据实际情况制定了3种应急方案,假设方案 P_1 、 P_2 、 P_3 对应一级、二级和三级内涝应对方案。为尽可能科学有效地进行内涝应急,减少损失,邀请3位不同领域的专家评估应急方案。

假设对应急方案的评估主要从受灾面积 G_1 (10^6 m^2)、受灾人数 G_2 (10^4 人次)、财产损失 G_3 (10^4 元)和方案的实施成本 G_4 (10^4 元)4个方面衡量。由于事件的动态发展,无法搜集到各方面完整的数据,因此决策者评价各个指标的属性值用区间

灰数表示,并给出了评价决策矩阵,见表 1。

步骤 1:对决策者评价矩阵进行规范化处理得

各决策者分别给出的 4 个评价指标的权重区间

到规范化矩阵 $R_*^q = (x_{ij}^{(q)}(\otimes))_{n \times m}$

灰数为:

$$\omega^{(1)}(\otimes) \in ([0.24, 0.28], [0.23, 0.27], [0.20, 0.24], [0.28, 0.34])$$

$$\omega^{(2)}(\otimes) \in ([0.27, 0.31], [0.22, 0.26], [0.25, 0.31], [0.22, 0.26])$$

$$\omega^{(3)}(\otimes) \in ([0.28, 0.33], [0.20, 0.24], [0.30, 0.34], [0.16, 0.20])$$

各决策者的权威性权重区间灰数为:

$$\alpha(\otimes) \in ([0.25, 0.35], [0.35, 0.45], [0.25, 0.35])$$

按照基于 TOPSIS 法的城市内涝事件应急群决策方法的步骤如下:

表 1 决策者评价决策矩阵

决策者应急方案	G_1	G_2	G_3	G_4	
D_1	P_1	[2,4]	[0.5,1]	[30,45]	[20,30]
	P_2	[5,7]	[2,3]	[40,50]	[35,50]
	P_3	[8,12]	[3.5,5.5]	[50,70]	[45,60]
D_2	P_1	[1,1.5]	[0.5,1.2]	[20,30]	[25,30]
	P_2	[2,4]	[1.5,2]	[40,60]	[30,40]
	P_3	[5,11]	[2.5,4.5]	[65,80]	[35,60]
D_3	P_1	[1.5,3]	[0.5,1]	[10,15]	[15,20]
	P_2	[3,5]	[1.5,2]	[20,30]	[20,40]
	P_3	[6,9.5]	[2,3]	[35,50]	[30,50]

$$R_*^1 = \begin{bmatrix} [0.800, 1.000] & [0.900, 1.000] & [0.625, 1.000] & [0.750, 1.000] \\ [0.500, 0.700] & [0.500, 0.700] & [0.500, 0.750] & [0.250, 0.625] \\ [0.000, 0.400] & [0.000, 0.400] & [0.000, 0.500] & [0.000, 0.375] \end{bmatrix}$$

$$R_*^2 = \begin{bmatrix} [0.950, 0.100] & [0.825, 1.000] & [0.833, 1.000] & [0.857, 1.000] \\ [0.700, 0.900] & [0.625, 0.750] & [0.333, 0.667] & [0.571, 0.857] \\ [0.000, 0.600] & [0.000, 0.500] & [0.000, 0.250] & [0.000, 0.714] \end{bmatrix}$$

$$R_*^3 = \begin{bmatrix} [0.812, 1.000] & [0.800, 1.000] & [0.875, 1.000] & [0.857, 1.000] \\ [0.563, 0.812] & [0.400, 0.600] & [0.500, 0.750] & [0.286, 0.857] \\ [0.000, 0.438] & [0.000, 0.400] & [0.000, 0.375] & [0.000, 0.571] \end{bmatrix}$$

将规范化矩阵与评价指标的权重相乘得到加权规范化决策矩阵 Y^q :

$$Y^1 = \begin{bmatrix} [0.192, 0.280] & [0.207, 0.270] & [0.125, 0.240] & [0.210, 0.340] \\ [0.120, 0.196] & [0.115, 0.189] & [0.100, 0.180] & [0.070, 0.213] \\ [0.000, 0.112] & [0.000, 0.108] & [0.000, 0.120] & [0.000, 0.128] \end{bmatrix}$$

$$Y^2 = \begin{bmatrix} [0.257, 0.310] & [0.182, 0.260] & [0.208, 0.310] & [0.189, 0.260] \\ [0.189, 0.279] & [0.138, 0.195] & [0.083, 0.207] & [0.126, 0.223] \\ [0.000, 0.186] & [0.000, 0.130] & [0.000, 0.078] & [0.000, 0.186] \end{bmatrix}$$

$$Y^3 = \begin{bmatrix} [0.227, 0.330] & [0.160, 0.240] & [0.263, 0.340] & [0.138, 0.200] \\ [0.158, 0.268] & [0.080, 0.144] & [0.150, 0.255] & [0.046, 0.171] \\ [0.000, 0.145] & [0.000, 0.096] & [0.000, 0.128] & [0.000, 0.014] \end{bmatrix}$$

步骤 2:根据公式(3)和(4)分别确定 3 个决策者的正理想解和负理想解:

$$+y^{(1)} = ([0.192, 0.280], [0.207, 0.270], [0.125, 0.240], [0.210, 0.340])$$

$$-y^{(1)} = ([0.000, 0.112], [0.000, 0.108], [0.000, 0.120], [0.000, 0.128])$$

$$+y^{(2)} = ([0.257, 0.310], [0.182, 0.260], [0.208, 0.310], [0.189, 0.260])$$

$$-y^{(2)} = ([0.000, 0.186], [0.000, 0.130], [0.000, 0.078], [0.000, 0.186])$$

$$+y^{(3)} = ([0.227, 0.330], [0.160, 0.240], [0.263, 0.340], [0.138, 0.200])$$

$$-y^{(3)} = ([0.000, 0.145], [0.000, 0.096], [0.000, 0.128], [0.000, 0.014])$$

根据公式(3)和(4)分别计算各个应急方案相对正、负理想解的距离:

$$\begin{aligned}
 {}^+d^{(1)} &= \{0, 0.009, 0.034\}, \\
 {}^-d^{(1)} &= \{0.034, 0.008, 0\} \\
 {}^+d^{(2)} &= \{0, 0.006, 0.036\}, \\
 {}^-d^{(2)} &= \{0.036, 0.015, 0\} \\
 {}^+d^{(3)} &= \{0, 0.007, 0.039\}, \\
 {}^-d^{(3)} &= \{0.039, 0.014, 0\}
 \end{aligned}$$

计算相对接近度 $C_i^{(q)}$, 确定群体决策相对接近度矩阵 C :

$$C = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.471 & 0.000 \\ 1.000 & 0.286 & 0.000 \\ 1.000 & 0.333 & 0.000 \end{bmatrix}$$

步骤3: 根据公式(9) 确定综合群体决策相对接近度 $S_i^*(\otimes)$:

$$\begin{aligned}
 S_1^*(\otimes) &\in [0.850, 1.150] \\
 S_2^*(\otimes) &\in [0.301, 0.410] \\
 S_3^*(\otimes) &\in [0.000, 0.000]
 \end{aligned}$$

步骤4: 对区间灰数两两比较, 由公式(11) 得到可能性矩阵的排序向量 $e = (0.417, 0.250, 0.083)$ 。

步骤5: 由排序向量 $e_1 > e_2 > e_3$ 可知, 在此次城市内涝事件中, 方案 P_1 为最优方案。

4 结 论

(1) 针对城市内涝事件的发生中存在着信息缺失和不确定性的特征, 本文对各应急方案评价指标的属性值、属性权重和决策者权威性权重全部采用区间灰数进行衡量, 减少了传统单一确定数值的决策结果的不科学性, 提高了应对决策问题中的不可预测状况的能力, 得到的权重结果也较为客观真实, 提高了评价结果的可信度。

(2) 考虑到城市内涝应急决策实际问题中的不确定性和复杂性, 本文将 TOPSIS 法与群决策方法相结合构建了应急决策模型, 根据决策者给出的各个待评价方案评价指标的权重, 计算各个方案的综合群体决策相对接近度和可能性矩阵的排序向量, 并根据排序向量的大小确定最优决策方案。该模型综合考虑了决策信息的客观性和决策者的决策偏好, 兼顾了多个评价指标的平衡, 计算简单、方便, 能够

帮助决策者科学快速地做出应急决策, 提高城市内涝事件的响应速度。

(3) 本文建立的应急决策模型是建立在相关部门已经制定多个待评价应急方案的基础上, 所得到的最优应急方案是反映待评价应急方案的相对优劣。因此, 合理制定相关应急方案是科学决策的前提, 二者相辅相成, 也是运用本文模型评价的前提之一。

参考文献:

- [1] 李 范, 马 驰, 黄德生. 全球极端天气研究的情报学分析[J]. 现代情报, 2012, 32(9): 9-15.
- [2] 张景奇, 娄成武. 城市治理视野下我国大城市内涝防治研究[J]. 上海行政学院学报, 2014, 15(4): 31-39.
- [3] 王伟武, 汪 琴, 林 晖, 等. 中国城市内涝研究综述及展望[J]. 城市问题, 2015(10): 24-28.
- [4] 卢文刚. 城市内涝灾害管理的问题及对策——以广州市为例[J]. 中国行政管理, 2014(1): 106-108.
- [5] Kerr R A. Humans are driving extreme weather; time to prepare[J]. Science, 2011, 334(6059): 1040-1040.
- [6] Su Boni, Huang Hong, Li Yuntao. Integrated simulation method for waterlogging and traffic congestion under urban rainstorms[J]. Natural Hazards, 2016, 81(1): 23-40.
- [7] 叶丽梅, 周月华, 向 华, 等. 基于 GIS 淹没模型的城市道路内涝灾害风险区划研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(6): 1002-1008.
- [8] 王刚桥, 刘 奕, 杨 盼, 等. 面向突发事件的复杂系统应急决策方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(10): 2449-2458.
- [9] 刘 丹, 王红卫, 祁 超, 等. 基于多主体的应急决策组织建模[J]. 公共管理学报, 2013(4): 78-87.
- [10] 黄泽钧. 关于城市内涝灾害问题与对策的思考[J]. 水科学与工程技术, 2012(1): 7-10.
- [11] 丁继勇, 王卓甫, 郭光祥. 基于贝叶斯和动态博弈分析的城市暴雨内涝应急决策[J]. 统计与决策, 2012(23): 26-29.
- [12] 谢乃明, 刘思峰. 考虑概率分布的灰数排序方法[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(4): 169-175.
- [13] 张志勇, 吴 声. 基于白化权函数的区间灰数关联度模型[J]. 中国管理科学, 2015, 23(1): 154-162.
- [14] 李佳俐, 程 涛. 基于区间灰色关联度的食品产业集群发展评价方法[J]. 统计与决策, 2016(4): 84-87.