

基于组合赋权-VIKOR 的地铁站内涝风险评估

陈 资, 马伟炼

(广东理工学院智能制造学院, 广东肇庆 526100)

摘 要: 为有效地降低和预防地铁站内涝事故的发生, 提出基于组合赋权-VIKOR 的地铁站内涝风险评估。首先, 从地铁站降雨情况、挡水能力、排水能力、安全疏散和安全管理 5 个方面, 构建风险评价指标体系; 然后, 用博弈论思想, 将层次分析法与 CRITIC 法所求得的权重进行优化重组; 最后, 应用 VIKOR 方法的利益值, 确定地铁站内涝风险评估等级。将所建立的模型应用于广州地铁 13 号线地铁站的内涝风险评价中, 得出各地铁站的内涝风险等级, 结果表明南岗站处于内涝高风险水平, 并通过制定有针对性措施, 保障该地铁站汛期的安全运营。该方法的评估结果与实际情况相符, 为地铁站内涝风险评估提供一种新的方法。

关键词: 地铁站; 内涝; 风险评价; VIKOR; 组合权重

中图分类号: X915.5

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2023)05-0038-06

Risk Evaluation of Waterlogging in Subway Stations Based on Comprehensive Weighting-VIKOR Method

CHEN Zi, MA Weiliang

(School of Intelligent manufacturing, Guangdong Polytechnic College, Zhaoqing, Guangdong 526100)

Abstract: To effectively prevent and reduce the occurrence of waterlogging accidents in subway stations, a risk evaluation model for waterlogging in subway stations based on the comprehensive weighting-TOPSIS method is proposed. First, the evaluation index system for waterlogging risk in subway stations was developed and consisted of five aspects: rainfall, water retention capacity, drain capacity, safe evacuation, and safety management. According to game theory, the weights obtained by the AHP and CRITIC methods were optimized and recombined to obtain a comprehensive weight. Finally, the benefit value of the VIKOR method was applied to determine the waterlogging risk level of a subway station. The model was applied to the waterlogging risk assessment of Guangzhou Metro Line 13, and the waterlogging risk grade and ranking for each subway station were obtained. The results show that the waterlogging risk level of Nangang station is high. Targeted measures should be formulated to ensure the safe operation of the subway station during the flood season. The evaluation results of this method are consistent with the actual situation. Therefore, a new method for waterlogging risk evaluation of subway stations is provided.

Keywords: subway station; waterlogging; risk assessment; VIKOR; combined weight

地铁是城市交通的动脉, 因其地势低洼、结构封闭等特点, 更容易遭受暴雨影响^[1]。地铁站内涝严重

危害乘客生命安全, 会带来巨大的经济损失, 因此进行科学合理的地铁站内涝风险评估, 对减少地铁站内

收稿日期: 2022-11-10 修回日期: 2023-05-06

第一作者: 陈资, 男, 硕士, 讲师, 主要研究安全工程管理, czi826_1@163.com

基金项目: 广东省科技创新战略专项资金立项项目(pdjh2021b0595)

引用格式: 陈资, 马伟炼. 基于组合赋权-VIKOR 的地铁站内涝风险评估[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(5): 38-43.

CHEN Zi, MA Weiliang. Risk evaluation of waterlogging in subway stations based on comprehensive weighting-VIKOR method[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(5): 38-43.

涝事故、提升地铁运营安全性具有重要意义。

目前，许多学者对地铁站内涝进行了研究：王军武等^[2]基于压力-状态-响应(PSR)和投影寻踪法，构建地铁车站暴雨内涝脆弱性评价模型；宋英华等^[3]用复杂网络理论的 Space-L 方法，对城市公共交通内涝脆弱性进行分析；蔡晶晶等^[4]从风险概率角度，对地铁路线进行防汛风险等级评估；LYU 等^[5]基于层次分析法和地理信息系统(GIS)，评估深圳地铁系统的内涝风险；WANG 等^[1]基于模糊层次分析法，提出了地铁系统内涝风险评估方法；杜发兴等^[6]利用复合权重集对，对暴雨期间地铁站点的防涝风险进行评价。上述研究将不同评价模型引入地铁站内涝风险评估工程实践中，均取得了一定的效果，但对于指标权重的确定多为主观赋权法，评价指标选取具有片面性，使评价过程主观性较强。

为此，本研究通过事故案例分析、查阅资料和专家咨询等多种手段，构建科学、合理的地铁站内涝风险评价指标体系；再利用博弈论思想，结合 AHP 法与 CRITIC 法，得到综合权重；利用 VIKOR 法计算各地铁站的群体效用值、遗憾值和利益值，并得出评价结

果。将此方法应用在实践中，取得了良好的效果，可为预防和控制地铁站内涝风险提供参考。

1 指标体系建立

建立科学、合理的评估指标体系，是对地铁站内涝风险等级评估的关键，会直接影响评定结果的可靠性和准确性。本研究以《地铁设计规范》(GB50157—2013)、《室外排水设计规范》(GB50014—2006)选取的指标为依据，参考地铁站内涝事故案例和国内外有关研究，从地铁站降雨情况、挡水能力、排水能力、安全疏散和安全管理 5 个方面，选取 18 个影响地铁站内涝风险的评价指标。其中，效益型指标即指标值越大风险越低型指标，成本型指标即指标值越小风险越低型指标。依据相关资料，把评价指标划分为 4 个安全级别，评价集为 $V=\{I, II, III, IV\}$ ，分别表示低风险、较低风险、中风险和高风险，其中定量指标采用实测值、定性指标采用打分制进行量化。采用 (7.5, 10]、(5, 7.5]、(2.5, 5]、(0, 2.5] 的分级方法，分别对应 I 级低风险、II 级较低风险、III 级中风险和 IV 级高风险，由专家根据实际情况赋值，具体评价指标和划分标准如表 1 所示。

表 1 地铁站内涝风险指标分级标准
Table 1 Grading standards for risk evaluation indexes of waterlogging in subway stations

准则	评价指标	指标类型	各等级分级标准			
			I (低风险)	II (较低风险)	III (中风险)	IV (高风险)
降雨情况	最大日平均降雨量 X_1/mm	成本型	[0, 50)	[50, 100)	[100, 250)	[250, 450]
	最大瞬时降雨量 $X_2/(\text{mm}\cdot\text{h}^{-1})$	成本型	[0, 5)	[5, 15)	[15, 50)	[50, 200]
挡水能力	出入口地势 X_3	效益型	明显高于周围地面	较高于周围地面	与周围地面齐平	低于周围地面
	出入口类型 X_4	效益型	隐藏式	全封闭式	半封闭式	敞开式
	出入口台阶高度 X_5/cm	效益型	[45, 80]	[30, 45)	[15, 30)	[0, 15)
	挡水墙的有效性 X_6	效益型	强	较强	较弱	弱
	地铁站区域绿化水平 X_7	效益型	高	较高	较低	低
	隧道防水质量 X_8	效益型	高	较高	较低	低
排水能力	排水管网密度 $X_9/(\text{km}\cdot\text{km}^{-2})$	效益型	[20, 40]	[14, 20)	[8, 14)	[0, 8)
	排水泵站排涝能力 X_{10}	效益型	强	较强	较弱	弱
	周边河道及排水渠距离 X_{11}/m	成本型	[0, 100)	[100, 250)	[250, 550)	[550, 1 500]
安全疏散	疏散采光及疏散指示 X_{12}	效益型	好	较好	较差	差
	应急照明和广播系统 X_{13}	效益型	好	较好	较差	差
	疏散通道距离 X_{14}/m	效益型	[1.8, 2.4]	[1.5, 1.8)	[1.2, 1.5)	[0, 1.2)
安全管理	应急预案演习次数 $X_{15}/(\text{次}\cdot\text{a}^{-1})$	效益型	[8, 12]	[4, 8)	[1, 4)	[0, 1)
	应急预案完善及执行程度 X_{16}	效益型	完善	较为完善	不太完善	无制度
	防汛设施维护保养情况 X_{17}	效益型	好	较好	较差	差
	应急救援队伍素质 X_{18}	效益型	好	较好	较差	差

2 指标权重确定

本研究采用层次分析法与 CRITIC 法的组合权重法确定指标权重, 将主观赋权法和客观赋权法优势互补, 既考虑了专家的主观经验, 又考虑了数据的客观真实性, 使得到的指标权重更加科学和准确。

2.1 层次分析法确定指标主观权重

层次分析法是一种简单实用、易于计算分析的多指标综合评价方法^[7], 其计算步骤如下:

- 1) 专家对指标两两比较, 构造判断矩阵 $R=(A_{ij})_{m \times n}$
- 2) 基于求和法确定判断矩阵 R 的最大特征值 $\lambda_{\max}$, 其所对应的特征向量为 $\omega_{j,s}$ 。对该向量进行归一化处理, 得到各个指标相应的权重。

- 3) 对判断矩阵 R 进行一致性判定。若一致性指标 $CR < 0.1$, 则认为 R 具有良好的一致性, 否则需进行修正。

2.2 CRITIC 法确定指标客观权重

CRITIC 法是根据真实数据的标准差来反映指标的冲突性, 以确定各指标权重^[8], 具体计算步骤可归纳如下:

- 1) 构造决策矩阵 $X=[x_{ij}]_{m \times n}$, 其中 X_{ij} 表示第 i 个样本第 j 个指标的得分值。
- 2) 无量纲化处理(正向化或逆向化处理)如下:

$$X_{ij} = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (\text{正}) \quad (1)$$

$$X_{ij} = \frac{x_{\max} - x_j}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (\text{逆}) \quad (2)$$

- 3) 计算指标之间的标准差以及相关系数如下:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_{ij})^2} \quad (3)$$

$$\rho_{ij} = \frac{\text{cov}(X_i, X_j)}{(\sigma_i, \sigma_j)} \quad (4)$$

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^m (1 - \rho_{ij}) \quad (5)$$

式中: σ_j 为第 j 个指标的标准差, ρ_{ij} 为评价指标 i 和 j 之间的相关系数, $\bar{X}_{ij}$ 为 X_{ij} 的平均值, $\text{cov}(X_i, X_j)$ 为决策矩阵 X 的第 i 行和第 j 行之间的协方差; C_j 为信息量衡量指标, 其值越大则表示第 j 个指标中包含的信息量越大, 它的相对重要程度越高。

- 4) 计算客观权重如下:

$$\omega_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (6)$$

式中, ω_j 为第 j 项指标的客观权重。

2.3 博弈论确定组合权重系数

博弈论是通过主客观权重组合优化、达到组合权重偏差最小化的综合赋权法^[9], 其步骤如下:

- 1) 设主观权重向量为 W_1 , 客观权重向量为 W_2 , 则主客观组合权重 W 的线性组合如下:

$$W = \alpha_1 W_1^T + \alpha_2 W_2^T \quad (7)$$

式中: α_1 与 α_2 为组合权重系数, $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。

- 2) 为确定最优组合权重系数, 需使得 W 与 W_1 、 W_2 差值的 2-范数最小, 有

$$\min \|W - W_i\|_2 \quad (i=1, 2) \quad (8)$$

根据矩阵微分性质, 计算最优权重系数如下:

$$\begin{bmatrix} W_1 W_1^T & W_1 W_2^T \\ W_2 W_1^T & W_2 W_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 W_1^T \\ W_2 W_2^T \end{bmatrix} \quad (9)$$

- 3) 将 α_1 与 α_2 归一化, 得到新的权重组合系数:

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_i}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (10)$$

$$W = \alpha_1^* W_1^T + \alpha_2^* W_2^T \quad (11)$$

3 VIKOR 法应用

VIKOR 法是一种简单可靠的多属性决策方法, 其基本思想是通过计算各个评价方案的群体效用值、遗憾值和利益值, 从而判断各个方案与理想方案的接近程度, 确定该方案的优劣程度^[10], 其基本步骤如下:

- 1) 建立初始评估矩阵 A 。假设有 m 个评价对象、 n 个评价指标, 则构成了 $n \times m$ 阶初始评估矩阵 $A=[a_{ij}]_{n \times m}$ 。其中, $j=(1, 2, \dots, n)$, $i=(1, 2, \dots, m)$, a_{ij} 为第 j 个待评价对象的第 i 个评价指标值。

- 2) 建立规范化矩阵 B , 对初始评估矩阵 A 进行无量纲处理。

对于越大越优的效益型指标, 有

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_j a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}} \quad (12)$$

对于越小越优的成本型指标, 有

$$b_{ij} = \frac{\max_j a_{ij} - a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}} \quad (13)$$

式中: b_{ij} 为 a_{ij} 的无量纲形式; $\min_j a_i$ 、 $\max_j a_i$ 分别为初始评估矩阵 A 第 j 列元素的最小值、最大值。

3) 确定正理想解 g_j^+ 和负理想解 g_j^- , 有

$$g_j^+ = \max_j b_{ij} \quad g_j^- = \min_j b_{ij} \quad (14)$$

4) 计算各待评价对象的群体效用值 S_i 和个体遗憾值 R_i , 有

$$S_i = \sum_{j=1}^n \omega_j \frac{g_j^+ - b_{ij}}{g_j^+ - g_j^-} \quad (15)$$

$$R_i = \max_j \omega_j \frac{g_j^+ - b_{ij}}{g_j^+ - g_j^-} \quad (16)$$

5) 计算各待评价对象的利益值 Q_i , 有

$$Q_i = \lambda \frac{S_i - \min S_i}{\max S_i - \min S_i} - (1 - \lambda) \frac{R_i - \min R_i}{\max R_i - \min R_i} \quad (17)$$

式中: λ 为决策机制系数, $\lambda \in [0, 1]$, 用于反映决策者的偏好。 $\lambda > 0.5$, 表示根据群体效益最大化进行决策; $\lambda < 0.5$ 则根据个体遗憾最小化进行决策; 一般取 $\lambda = 0.5$ 。

4 实际案例分析

广州市地处热带和亚热带季风气候区, 夏季容易受到季风和海陆风环流的共同影响, 发生大范围持续性大暴雨。广州地铁 13 号线全长 27.03 km, 起于鱼珠站, 止于新沙站, 共 11 个站点, 具体站点位置情况如图 1 所示。



图 1 广州地铁 13 号线站点分布

Figure 1 Diagram of distribution of stations in Guangzhou Metro Line 13

2020 年 5 月 22 日, 广州遭受极端暴雨天气, 部分地铁站降雨量超过 250 mm, 具体降雨分布如图 2 所示。此次暴雨造成车站发生雨水倒灌, 不得不停止运营数小时, 极大危害了乘客生命安全, 直接经济损失达数百万元。

本研究选择受灾较为严重的 6 座车站进行地铁内涝风险分析, 分别是南岗站、沙村站、白江站、新塘站、官湖站和新沙站。对于定量指标, 通过实地考

察和翻阅广州市水资源公告和相关规范等资料, 获取准确的数据; 对于定性评价指标, 由专家组进行评分。专家组共 5 人, 其中地铁安全管理人员 2 名, 灾害应急管理人员 2 名, 高校专业教师 1 名。各地铁站内涝风险评价指标的数据值如表 2 所示。

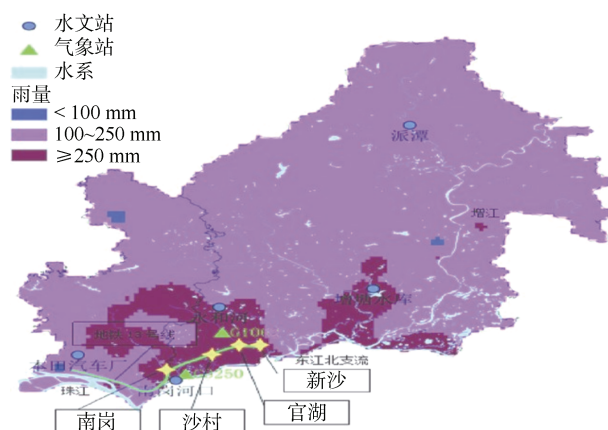


图 2 “5.22” 广州地铁 13 号线累积雨量分布

Figure 2 “5.22” Accumulative rainfall distribution for Guangzhou Metro Line 13

表 2 广州地铁 13 号线 6 个站点数据值

Table 2 Index data values of six metro stations in Guangzhou Metro Line 13

评价指标	地铁名称					
	南岗	沙村	白江	新塘	官湖	新沙
X_1	388.5	315.5	345.3	225.5	288.5	309.6
X_2	75	65	63	45	48	42
X_3	5.2	4.9	5.2	7.5	5.5	7.4
X_4	7.5	7	6.8	7.8	7.1	7.5
X_5	35	35	35	35	35	35
X_6	7.2	7.4	7.3	8.4	7.4	6.2
X_7	4.5	4.5	4.4	6.6	5.3	4.3
X_8	6.8	7.6	8.5	7.6	7.9	8.5
X_9	16.5	15.1	12.5	12.6	10.2	11.2
X_{10}	7.4	8.5	8.2	7.4	7.1	6.8
X_{11}	488.4	754.5	543.3	150.4	264.4	224.1
X_{12}	8.6	8.8	8.9	8.4	8.5	7.8
X_{13}	8.7	7.5	8.9	8.8	7.8	7.9
X_{14}	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
X_{15}	3	4	3	4	3	4
X_{16}	6.5	7.4	6	7.5	4.8	5.8
X_{17}	7.2	6.5	6.7	8.6	8.4	6.4
X_{18}	7.4	7.5	6.8	7.7	7.7	6.9

4.1 指标权重确定

利用公式(1)~(6)确定指标主客观权重, 并基于博弈

论思想,利用公式(7)~(11)确定权重组合系数 $\alpha_1=0.414$, $\alpha_2=0.518$,最终得到指标的组合权重,结果如表 3 所示。

表 3 指标组合权重

Table 3 Comprehensive weight of the assessment index							
指标	主观权重	客观权重	综合权重	指标	主观权重	客观权重	综合权重
X_1	0.111	0.107	0.109	X_{10}	0.066	0.045	0.054
X_2	0.094	0.084	0.088	X_{11}	0.073	0.062	0.067
X_3	0.074	0.102	0.090	X_{12}	0.009	0.013	0.011
X_4	0.068	0.052	0.059	X_{13}	0.008	0.016	0.013
X_5	0.041	0.03	0.035	X_{14}	0.012	0.022	0.018
X_6	0.075	0.084	0.080	X_{15}	0.056	0.034	0.043
X_7	0.055	0.032	0.042	X_{16}	0.063	0.075	0.070
X_8	0.051	0.063	0.058	X_{17}	0.034	0.042	0.039
X_9	0.065	0.075	0.071	X_{18}	0.045	0.062	0.055

4.2 风险等级确定

根据表 1 中地铁站内涝风险各个等级临界值建立初始评价矩阵,并由公式(14)~(17)计算各个等级临界样本的群体效用值 S_i 、个体遗憾值 R_i 和利益值 Q_i ,如表 4 所示。

表 4 地铁站内涝风险等级临界样本的评价结果

Table 4 Evaluation results of critical samples of risk grade of waterlogging in subway stations			
风险等级	S_i	R_i	Q_i
I (低风险)	0.231	0.035	0.278
II (较低风险)	0.430	0.046	0.427
III (中风险)	0.668	0.068	0.646
IV (高风险)	1.000	0.109	1.000

由表 4 得到地铁站内涝风险等级划分标准: I 级内涝风险 $0 \leq Q_i < 0.278$, II 级内涝风险 $0.278 \leq Q_i < 0.427$, III 级内涝风险 $0.427 \leq Q_i < 0.646$, IV 级内涝风险 $0.646 \leq Q_i < 1$ 。

4.3 内涝风险评价

根据表 2 中各地铁站数据值和组合权重,利用式(14)~(17)计算各地铁站群体效用值 S_i 、个体遗憾值 R_i 和利益值 Q_i ,并判定风险等级,如表 5 所示。

由表 5 可知:新塘站的内涝风险等级为 II 级,即较低风险;沙村站、白江站、官湖站和新沙站的内涝风险等级为 III 级,即中风险;南岗站的内涝风险等级为 IV 级,即高风险。各地铁站内涝风险的排序为:南岗站>白江站>沙村站>新沙站>官湖站>新塘站。对于高风险的南岗站,可以通过加强救援指挥调度能力和

应急管理队伍建设、增加地铁站区域绿化面积、加强对市政排水管网的改造及管理、设置大型移动式水泵等措施,保障车站汛期安全平稳运营。

表 5 地铁站内涝风险评估结果

Table 5 Evaluation results of waterlogging risk				
地铁站	S_i	R_i	Q_i	风险等级
南岗	0.437	0.094	0.650	IV
沙村	0.417	0.076	0.559	III
白江	0.429	0.083	0.598	III
新塘	0.314	0.054	0.407	II
官湖	0.399	0.070	0.520	III
新沙	0.393	0.075	0.540	III

4.4 结果对比分析

为了验证本研究方法的有效性,将本研究的方法与文献[11]中集对分析法和文献[12]中模糊综合评价的结果进行对比分析,如表 6 所示。

表 6 不同方法针对地铁站风险评价的结果对比

Table 6 Comparison of different methods for risk evaluation of waterlogging in subway stations			
地铁站	评价方法		
	集对分析法	模糊综合评价	本研究方法
南岗	III	III	IV
沙村	III	III	III
白江	III	III	III
新塘	II	III	II
官湖	III	III	III
新沙	III	III	III

由表 6 分析,可得如下内容:

1) 采用组合权重-VIKOR 理论方法与另外两种评价方法对沙村站、白江站、官湖站和新沙站内涝风险评价结果相同,表明该评价模型应用于地铁站内涝风险评价具有合理性和可行性。

2) 集对分析法与组合权重-VIKOR 理论在对南岗站的风险评价中结果存在差异,其主要原因是,集对分析法存在描述性不够细化、导致部分信息丢失等问题,而 VIKOR 法通过计算各地铁站的群体效用值、遗憾值和利益值,对评价对象的风险描述更全面。

3) 模糊综合评价与本方法对于新塘站和南岗站风险评价结果不同,分析其原因在于模糊数学评价法遵循最大隶属度原则,存在隶属函数静态化问题,相反,VIKOR 法通过构建等级临界函数,动态地划分等级边界。

5 结论

1) 基于地铁站降雨情况、挡水能力、排水能力、安全疏散和安全管理 5 个方面, 建立地铁站内涝风险评估指标体系, 并用博弈论结合的层次分析法和 CRITIC 法确定指标权重, 避免了单一方法确定权重值所存在的不足, 使得计算结果更为合理科学。

2) 提出基于组合权重-VIKOR 法的地铁站内涝风险评估模型, 应用该模型评估广州地铁 13 号线内涝风险, 确定南岗站内涝风险为高风险, 并制定针对性的解决措施, 为地铁的汛期安全运营提供科学而准确的数据依据。

3) 本研究仅对地铁站内涝风险的方法进行初步探索。由于地铁内涝的诱发机制及致灾因素的复杂性, 指标的选取还需要完善, 指标量化及权重的确定仍需继续研究和讨论。

参考文献

- [1] WANG G, LIU Y, HU Z, et al. Flood risk assessment of subway systems in metropolitan areas under land subsidence scenario: a case study of Beijing[J]. Remote sensing, 2021, 13: 1-33.
- [2] 王军武, 吴寒, 杨庭友. 基于投影寻踪的地铁车站工程暴雨内涝脆弱性评价[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(9): 1-7.
WANG Junwu, WU Han, YANG Tingyou. Vulnerability assessment of rainfall and waterlogging in subway stations based on projection pursuit model[J]. China safety science journal, 2019, 29(9): 1-7.
- [3] 宋英华, 李玉枝, 霍非舟, 等. 城区内涝条件下城市公交-地铁双层交通网络的脆弱性分析[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(2): 114-120.
SONG Yinghua, LI Yuzhi, HUO Feizhou, et al. Vulnerability of two-layer traffic network of bus and subway under waterlogging condition based on complex network theory[J]. Safety and environmental engineering, 2021, 28(2): 114-120.
- [4] 蔡晶晶, 张学华, 陈宁威, 等. 地铁运营期防汛风险评估[J]. 地下空间与工程报, 2019, 15(S1): 470-478.
CAI Jingjing, ZHANG Xuehua, CHEN Ningwei, et al. Flood prevention & risk assessment of metro in operating period[J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2019, 15(S1): 470-478.
- [5] LYU H M, ZHOU W H, SHEN S L, et al. Inundation risk assessment of metro system using AHP and TFN-AHP in Shenzhen[J]. Sustainable cities and society, 2019, 46: 102013.
- [6] 杜发兴, 吴厚发, 张书华. 基于复合权重集对模型的地铁防涝风险评估[J]. 水电能源科学, 2018, 36(6): 56-59.
DU Faxing, WU Houfa, ZHANG Shuhua. Application of compound weight set pair model in risk assessment of subway flood control[J]. Water resources and power, 2018, 36(6): 56-59.
- [7] 施莉娟, 张琦芮, 金建飞, 等. 基于模糊综合评价法的有轨电车运营风险评估[J]. 都市快轨交通, 2023, 36(2): 162-166.
SHI Lijuan, ZHANG Qirui, JIN Jianfei, et al. Risk assessment of tram operation based on the fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(2): 162-166.
- [8] DEMIR S, STAPPERS B, KOK K, et al. Statistical arbitrage trading on the intraday market using the asynchronous advantage actor-critic method[J]. Applied energy, 2022, 314: 118912.
- [9] 周雪, 左忠义, 程伟. 基于组合赋权云模型的铁路旅客运输安全评价[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(S1): 158-164.
ZHOU Xue, ZUO Zhongyi, CHENG Wei. Safety evaluation of railway passenger transportation based on combined weighting cloud model[J]. China safety science journal, 2020, 30(S1): 158-164.
- [10] Fei L, Deng Y, Hu Y. DS-VIKOR: A new multi-criteria decision-making method for supplier selection[J]. International journal of fuzzy systems, 2019, 21(1): 157-175.
- [11] ZHOU K. Application of set-pair analysis and extension coupling model in health evaluation of the huangchuan river[J]. Applied water science, 2022, 12(8): 198-126.
- [12] CHEN Z, SHI M, ZHOU J. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation method in eutrophication assessment for tributary bays in the Three Gorges Reservoir, China [J]. Water environment research, 2021, 93(6): 808-816.

(编辑: 王艳菊)