

城市轨道交通应急能力影响因素及评价研究^{*}

何景师 陈晓忠 脱 俗

(东莞职业技术学院, 523808, 东莞 // 第一作者, 副教授)

摘 要 为分析和评价城市轨道交通应急能力的影响因素, 构建了城市轨道交通应急能力影响因素三级指标。提出了一种集成 DEMATEL-ISM-TOPSIS (决策试验分析与评价-解释结构模型-优劣解距离) 法用于分析与评价, 厘清了评价因子的层级关系和主从逻辑关系以探究各指标的属性。通过原因度和中心度得分分析了城市轨道交通应急能力的关键因素和核心影响因素, 构建了应急能力因素象限分布图; 通过 ISM 分析了表层和深层次的影响因素, 基于各评价因子的逼近理想解对指标客观赋权; 最后对 3 条轨道交通线路打分评价, 表明了评价指标的适用性和研究方法的科学性。

关键词 城市轨道交通; 应急能力; 影响因素; 决策试验分析评价法; 解释结构模型法

中图分类号 U292.11

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.12.014

Research on the Influencing Factors and Evaluation of Urban Rail Transit Emergency Capability

HE Jingshi, CHEN Xiaozhong, TUO Su

Abstract In order to analyze and evaluate the influencing factors of urban rail transit emergency capability, a three-level index system for urban rail transit emergency capability influencing factors is constructed, and an integrated DEMATEL-ISM-TOPSIS method is proposed for analysis and evaluation. The hierarchical relationship and primary-secondary logical relationship of evaluation factors are clarified to explore the attributes of each indicator. The key factors and core influencing factors of urban rail transit emergency capability are analyzed through cause degree and centrality, and the quadrant distribution diagram of emergency capability factors is constructed. The superficial and deep influencing factors are analyzed through ISM. Based on the approximate ideal solution of each evaluation factor, the indicators are objectively weighted. Finally the three rail transit lines are scored and evaluated, which shows the

applicability of the evaluation index system and the scientific nature of the research method.

Key words urban rail transit; emergency capability; influencing factors; DEMATEL; ISM

Author's address Dongguan Polytechnic, 523808, Dongguan, China

城市轨道交通由于客流量大、作业空间狭小、设施种类多等特点, 一旦发生险情, 事故救援和人群疏散困难, 对乘客生命安全产生巨大威胁, 易引发严重的社会灾难。应急能力是城市轨道交通预防、处置安全风险和意外突发事件决策的重要依据, 当前, 我国城市轨道交通快速发展, 其应急能力和管理水平却远远跟不上城市轨道交通线路建设的发展和运营速度的提高。城市轨道交通的应急能力不仅与地方政府的城市应急能力息息相关, 更取决于城市轨道交通系统自身的应急能力、管理组织能力, 也与应急预案、监测、响应和事故处理能力息息相关。凡事预则立, 良好的应急能力能够减少事故发生的概率, 最大程度地降低事故的发生及其产生的后果, 避免引发更大的灾难。因此, 对城市轨道交通的应急能力因素进行识别和分析, 有利于准确评估城市轨道交通面对突发事件的应急能力和水平。精准识别影响应急能力的决策因素, 以便针对关键因素和重要因素分类施策, 有助于城市轨道交通运营企业开展安全生产和正确防范突发风险, 提高运营管理水平, 对保障城市和社会公共安全均具有重要意义。因此本研究拟构建城市轨道交通应急能力评价指标, 并提出一种集成方法来分析应急能力因素的重要属性、原因属性和结果属性, 以正确评价各指标的逻辑关系和层级关系, 进而对应急能力进行综合评价。

^{*} 广东省基础与应用基础研究基金联合基金项目(2019A151110909); 广东省教育科学“十三五”规划课题(2020GXJK218); 广东省教育科学规划课题(2021GXJK120)

1 城市轨道交通应急能力影响因素及评价指标

文献[1-3]指出城市轨道交通和铁路行车的运营安全和风险涉及人、设备、环境、管理等多方面的因素。我国城市轨道交通起步较晚,关于城市轨道交通应急系统的研究,文献[4]中最早提出了城市轨道交通的应急能力,从预警、防御、预案及组织体系等进行了定性分析;文献[5]分析了踩踏事件的风险传播和应急能力;文献[6]研究了城市轨道交通应急演练评估能力;文献[7]探讨了轨道交通应急预案的规范化建设。现有关于轨道交通应急能力因素研究的文献并不多。仅有的这些文献从不同角度构建了应急能力指标,通过评价方法计算指标权重和评价总得分,却忽视了研究应急能力因素之间属性、层级关系和逻辑关系等。基于前人研究的基础,结合对广州、深圳和东莞城市轨道交通从业人员的调研访谈,本文拟从城市轨道交通突发事件应急准备和预警能力、城市轨道交通“人、设、环、管”应急响应能力、事后恢复处理能力等这 3 个方面构建城市轨道交通应急能力影响因素评价方法。其具体包括 8 个二级指标和 26 个三级指标的评价指标。城市轨道交通应急能力影响因素分级指标如表 1 所示。

2 集成 DEMATEL-ISM-TOPSIS 法原理

DEMATEL-ISM 方法集中了 DEMATEL(决策试验分析与评价法)和 ISM(解释结构模型法)两种方法的优点,被应用于分析因素指标^[8]。本研究结合 TOPSIS(优劣解距离法)提出一种集成 DEMATEL-ISM-TOPSIS 方法,用 TOPSIS 得到各评价因子的逼近理想解,以此给各评价因子赋权并计算决策单元总得分。集成 DEMATEL-ISM-TOPSIS 法综合了 3 种方法的主要优点,将各指标的原因度和中心度得分进行排序,以分析应急能力因素中的重要属性、原因属性、结果属性和结构层级关系,并得到评价决策单元的总得分。其具体步骤如下。

2.1 建立直接影响矩阵

通过指标两两比较评分得到应急能力因素的相互影响关系评价矩阵 W ,得到规范直接影响矩阵 W_1 和综合影响矩阵 T 如下:

$$W_1 = \frac{W}{\max(\sum_{l \leq i \leq n} x_{ij})} \tag{1}$$

表 1 城市轨道交通应急能力影响因素分级评价指标

Tab. 1 Classification evaluation index of factors influencing urban rail transit emergency response capability

一级指标	二级指标	三级指标	因素序号
应急准备和 预警能力	应急组织和 制度建设	应急规章制度	s_1
		应急组织机构和人员构成	s_2
		应急知识培训教育	s_3
	应急预警和 宣传机制	预警设备启用机制	s_4
		应急预警监测上报和反馈	s_5
		应急预案编制	s_6
		乘客安全应急知识宣传	s_7
		演练计划和实施	s_8
	应急设施 设备	应急备用通信设备系统	s_9
		应急备用供电系统	s_{10}
		应急指挥监控系统	s_{11}
应急响应 能力	应急人力 保障	专业救援队伍	s_{12}
		应急安保力量	s_{13}
		应急志愿者	s_{14}
	应急环境 和场地	人群疏散组织能力	s_{15}
		应急通道设计和提示	s_{16}
		应急照明和导向设计	s_{17}
		疏散避难场地条件	s_{18}
		应急指挥多部门联动	s_{19}
	应急救援 行动管理	危险源监测收集	s_{20}
		事故信息发布与广播	s_{21}
应急救援物资储备		s_{22}	
事后恢复 处理能力	事后恢复运营	事后现场清理	s_{23}
		事后恢复运营秩序	s_{24}
	事故调查分析	事故危险源追踪调查	s_{25}
		应急救援评估	s_{26}

$$T = W_1(I - W_1)^{-1} = (t_{ij})_{n \times n} \tag{2}$$

式中:
 x_{ij} —— 应急能力因子 s_i 对因子 s_j 的直接影响;
 I —— 单位矩阵。

2.2 计算决策评价因子的影响度、被影响度、中心度和原因度

将 T 的因子 t_{ij} 按行、列分别相加得到影响度 F_i (因素 s_i 对其他因素的综合影响)、被影响度 E_i (受其他因素 s_i 的综合影响)。对 F_i 、 E_i 分别相加和相减得到中心度 M_i 、原因度 N_i 。

$$F_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, n) \tag{3}$$

$$E_i = \sum_{i=1}^n t_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \cdots, n) \tag{4}$$

$$M_i = F_i + E_i \tag{5}$$

$$N_i = F_i - E_i \tag{6}$$

M_i 反映了要素在整个风险体系中的重要性,其中具有较高中心度的因素更为重要。 N_i 反映了 s_i 对其他因素的纯粹影响, $N_i>0$ 表明该因素对其他因素影响大,称为原因因素; $N_i<0$ 表明其他因素对该因素影响大,称为结果因素。

2.3 绘制评价因子象限分布图

以 N_i 、 M_i 的数值为 X 、 Y 轴坐标,结合各因子在各象限的位置,分析各评价因子的地位与重要性。

2.4 构建可达矩阵

计算综合整体影响矩阵 H ,确立阈值得到可达矩阵 K 。

$$H = I + T = (h_{ij})_{n \times n} \tag{7}$$

$$K = (k_{ij})_{n \times n}, k_{ij} = \begin{cases} 1, h_{ij} \geq \lambda \text{ 时} \\ 0, h_{ij} < \lambda \text{ 时} \end{cases} \tag{8}$$

上式中 k_{ij} 表示因子 s_i 到 s_j 的关联关系, $k_{ij}=1$ 表示有关联,否则 $k_{ij}=0$; λ 为阈值,取值 $[0,1]$,通过 λ 得到的 k_{ij} 可以剔除影响矩阵中较小的因子。

2.5 构建多阶 ISM

对可达矩阵 k_{ij} 进行分解,对可达集 $R(k_i) = \{S_j \in n | k_{ij} = 1\}$ 和 先行集 $Q(k_i) = \{S_j \in n | k_{ji} = 1\}$ 的共同集进行抽取,如公式(9)所示,依次逐级抽取后根据它们的层级关系结构画出 ISM 共同集 A 如下:

$$A = \{s_j \in n | R(k_i) \cap Q(k_i) = R(k_i), i = 0, 1, \cdots, n\} \tag{9}$$

2.6 评价得分

将 M_i 、 N_i 的数值作为评价矩阵 R 的元素,得到矩阵 R ,将矩阵 R 标准化处理得到矩阵 Z , Z_{ij} 为矩阵 Z 中的元素,计算每一个评价对象与最优理想解、最劣理想解的距离 L_i^+ 和 L_i^- 。

$$R = \begin{bmatrix} M_1 & N_1 \\ M_2 & N_2 \\ \vdots & \vdots \\ M_n & N_n \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\max z_{ij} - z_{ij})^2} \tag{11}$$

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\min z_{ij} - z_{ij})^2} \tag{12}$$

计算理想解的贴近度 $C_i = \frac{L_i^-}{(L_i^- + L_i^+)}$,归一化

后得到指标权重。最后对每个评价单元的表现进行评分,得到每个指标的得分为 q_i ,最后计算评价单元的总分 Q 如下:

$$Q = q_i C_i \tag{13}$$

3 模型应用与评价

3.1 计算影响度、被影响度、原因度和中心度

用 0~5 来表示不同程度的影响关系等级指标,其中 0 表示几乎无影响,5 表示强烈影响。本研究邀请了 19 位专家进行评分,其中地铁一线操作人员 8 名、地铁管理人员 4 名,研究院所和高校 5 名、政府部门管理人员 2 名,取平均值得到评价矩阵 W 。根据公式(1)~(6)得到城市轨道交通应急能力各因素的影响度、被影响度、原因度和中心度数据如表 2 所示。

3.2 构造多层次 ISM

阈值 λ 经过试验取值 0.12,得到可达矩阵 K ,求解共同集合进行层级的抽取,最终得到城市轨道交通应急能力因素 ISM 如图 1 所示。

表 2 城市轨道交通应急能力各影响因素的影响度、被影响度、原因度、中心度数据

Tab. 2 Influence degree, degree of being influenced, causality degree and centrality degree of each influencing factor of urban rail transit emergency response capability

指标	应急能力各影响因素的影响关系等级指标值												
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}
F_i	1.75	1.28	2.01	1.76	1.52	1.83	1.16	1.45	1.66	1.04	1.3	0.93	0.87
E_i	0.28	0.85	1.28	1.62	1.96	1.39	0.75	0.88	1.1	0.53	1.2	0.75	1.43
M_i	2.02	2.13	3.29	3.39	3.48	3.22	1.91	2.34	2.75	1.56	2.51	1.67	2.3
N_i	1.47	0.43	0.72	0.14	-0.45	0.44	0.41	0.57	0.56	0.51	0.1	0.18	-0.56

指标	应急能力各影响因素的影响关系等级指标值												
	s_{14}	s_{15}	s_{16}	s_{17}	s_{18}	s_{19}	s_{20}	s_{21}	s_{22}	s_{23}	s_{24}	s_{25}	s_{26}
F_i	0.96	1.25	0.19	0.61	0.55	2.25	1.85	1.91	0.64	0.62	0.97	0.16	0.52
E_i	1.31	1.99	0.3	0.65	0.57	2.15	1.28	1.73	1.14	2.04	1.76	1.06	1.02
M_i	2.26	3.24	0.49	1.26	1.13	4.4	3.13	3.64	1.78	2.66	2.73	1.22	1.54
N_i	-0.35	-0.75	-0.1	-0.04	-0.02	0.1	0.57	0.18	-0.5	-1.42	-0.79	-0.9	-0.5

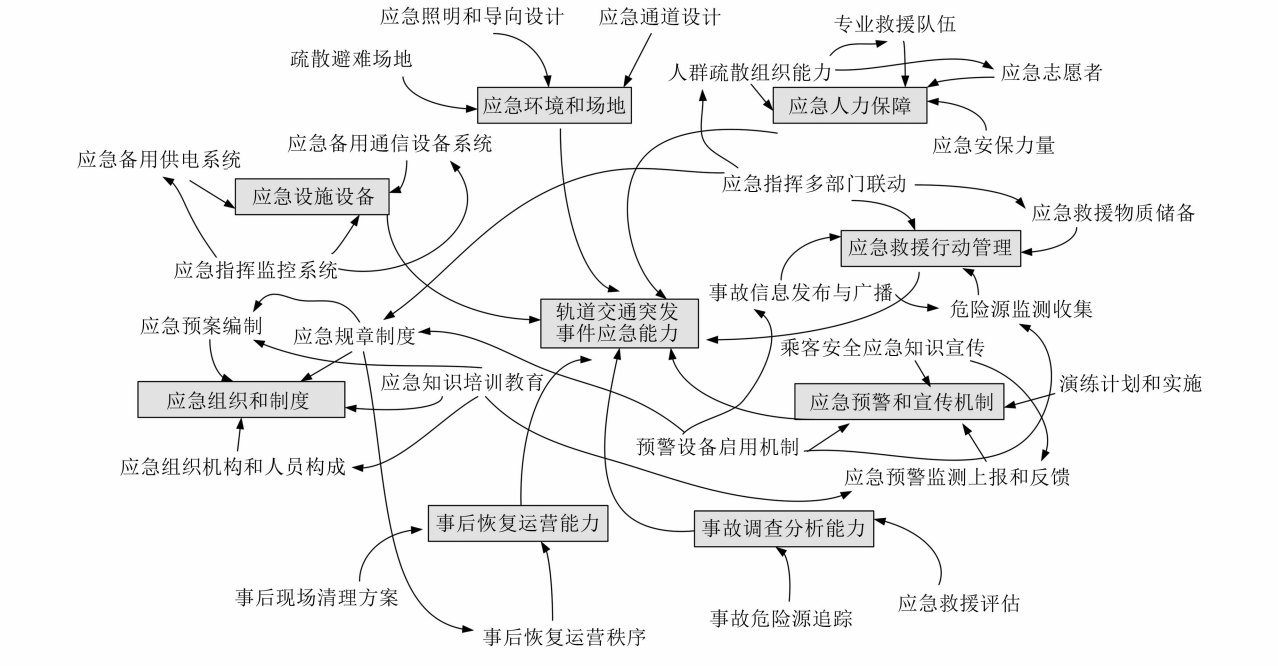


图 1 城市轨道交通应急能力因素的 ISM

Fig. 1 ISM (interpretation structure model) of urban rail transit emergency response capability factors

3.3 评价得分

依据公式(10)~(13)得到各应急能力因素的逼近理想解 C ,并对评价因素客观赋权得到指标权重值和线路评分。对珠三角相邻的3座城市的3条线路(线A、线B、线C)进行评分,指标权重值和线路评分见表3。最后得到3条线路各二级指标因素得分和评价总分如表4所示。根据计算结果显示,

线路C的应急能力评价总分为4.11,线路A、线路B得分分别为3.98、4.09。综合实际情况看,线路B所在的城市开通轨道交通的时间较短,目前只有1条线路,在应急组织和制度管理、应急预案和宣传机制、应急人力保障等相关方面还不很完善,得分相对较低。

表 3 珠三角 3 座相邻城市的 3 条线路指标权重值和线路评分表

Tab. 3 Table of index weight value and line scoring of three lines in three neighboring cities in Pearl River Delta

项目	应急能力各影响因素的权重值及评分值												
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}	s_{12}	s_{13}
C 得分	0.64	0.53	0.73	0.63	0.54	0.67	0.5	0.58	0.63	0.48	0.52	0.43	0.38
权重值	0.050	0.041	0.057	0.050	0.043	0.053	0.039	0.045	0.050	0.037	0.041	0.034	0.030
线 A 得分	3.5	4.2	4.8	3.8	3.9	4.2	3.9	3.5	4.3	4.7	4.3	4.3	4.8
线 B 得分	3.5	3.9	4.3	3.8	3.6	3.9	3.6	3.6	4.3	4.7	4.3	3.9	4.3
线 C 得分	3.5	4.2	4.5	3.9	4	4.5	4.2	3.8	4.3	4.3	4.3	4.2	4.5

指标	应急能力各影响因素的权重值及评分值												
	s_{14}	s_{15}	s_{16}	s_{17}	s_{18}	s_{19}	s_{20}	s_{21}	s_{22}	s_{23}	s_{24}	s_{25}	s_{26}
C 得分	0.41	0.47	0.29	0.35	0.34	0.71	0.68	0.67	0.32	0.34	0.41	0.18	0.29
权重	0.032	0.037	0.023	0.028	0.027	0.055	0.054	0.052	0.026	0.026	0.032	0.014	0.023
线 A 得分	4.3	4.5	4.7	4.4	3.8	3.8	3.6	3.7	4.3	4.3	3.9	3.8	3.7
线 B 得分	4.1	4.6	4.2	4.1	4	3.8	3.8	3.7	4.4	4.3	3.8	3.9	3.8
线 C 得分	4.3	4.5	4.8	4.4	4	3.8	3.7	3.9	4.1	4.3	3.7	3.7	3.7

表 4 珠三角 3 座相邻城市的 3 条城市轨道交通线路应急能力评价得分

Tab. 4 Evaluation scores of emergency response capability of three urban rail transit lines in three neighboring cities in Pearl River Delta

项目	应急能力影响因素(二级指标)								总分	排名
	应急组织和制度	应急预案和宣传机制	应急设施设备	应急人力保障	应急环境和场地	应急救援行动管理	事后恢复运营	事故调查分析		
线 A 得分	0.62	0.89	0.56	0.6	0.33	0.71	0.24	0.14	4.09	2
线 B 得分	0.58	0.85	0.56	0.57	0.32	0.72	0.23	0.14	3.98	3
线 C 得分	0.61	0.94	0.55	0.59	0.34	0.72	0.23	0.14	4.11	1

4 应急能力影响因素分析

4.1 评价因子属性和重要性分析

原因度表示应急能力因素评价矩阵的影响因素与其因素的影响关系。原因度>0 的城市轨道交通应急能力因素可以称为原因要素,原因度<0 的城市轨道交通应急能力因素称为结果要素。城市轨道交通应急能力因素原因度大于 0 的因素排序如下: $s_1 > s_3 > s_8 > s_{20} > s_9 > s_{10} > s_6 > s_2 > s_7 > s_{21} > s_{12} > s_4 > s_{19} > s_{11}$ 。这表明,应急规章制度、应急知识培训教育、演练计划和实施、危险源监测收集、应急备用通信设备系统、应急备用供电系统、应急预案编制、应急组织机构和人员构成、乘客安全应急知识宣传、事故信息发布与广播、专业救援队伍、预警设备启用机制、应急指挥多部门联动、应急指挥监控系统等这 14 个因素对其他因素的影响较大,是应急能力评价指标的原因要素,除此之外的其他 12 个应急能力因素称为结果要素。

中心度体现了城市轨道交通突发事件应急能力的各评价因素的重要性,按照中心度得分体现的城市轨道交通应急能力因素的重要性排序如下: $s_{19} > s_{21} > s_5 > s_4 > s_3 > s_{15} > s_6 > s_{20} > s_9 > s_{24} > s_{23} > s_{11} > s_8 > s_{13} > s_{14} > s_2 > s_1 > s_7 > s_{22} > s_{12} > s_{10} > s_{26} > s_{17} > s_{25} > s_{18} > s_{16}$ 。城市轨道交通突发事件应急能力因素指标中,应急指挥多部门联动、事故信息发布与广播、应急预案监测上报和反馈、预警设备启用机制、应急知识培训教育、人群疏散组织能力、应急预案编制、危险源监测收集、应急备用通信设备系统、事后恢复运营秩序、事后现场清理、应急指挥监控系统等 12 个因素的重要程度得分处于平均分以上,表明这几个因素在城市轨道交通突发事件应急能力中起着重要作用。

4.2 评价因素象限分布

根据 N_i 、 M_i 分布得到城市轨道交通应急能力影响因素分布如图 2 所示。

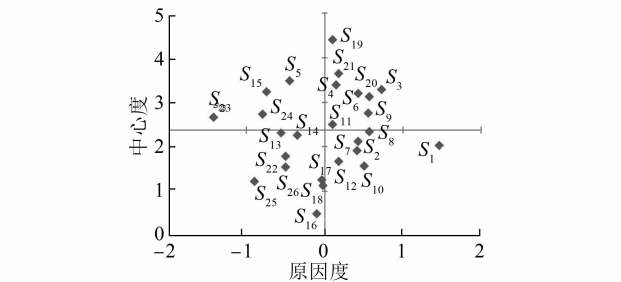


图 2 城市轨道交通应急能力影响因素分布图
Fig. 2 Distribution of factors influencing urban rail transit e-
mergency response capability

位于第一象限的轨道交通应急能力影响因素是关键因素,这些因素的中心度大于平均值,原因度>0,表明其重要程度和作用大,对其他因素影响也大,是决策评价矩阵的关键因素。关键因素根据中心度排名如下: s_3 、 s_{20} 、 s_9 、 s_6 、 s_{21} 、 s_4 、 s_{19} 、 s_{11} 。位于第二象限的属于结果型因素,这些因素重要程度相对较高,但是受其他因素影响大,属于结果型因素,包括: s_5 、 s_{15} 、 s_{23} 、 s_{24} 。位于第三象限的评价因素的原因度和中心度都较低,属于过渡型因子。位于第四象限的评价因素原因度>0,对其他因素影响大但中心度小,属于影响力型因素。

4.3 评价因子的逻辑层级关系分析

根据 ISM,最外层的结构因素是对应急能力有直接影响作用的因素,包括:演练计划和实施 s_8 、应急备用供电系统 s_{10} 、专业救援队伍 s_{12} 、应急志愿者 s_{14} 、应急通道设计和提示 s_{16} 、应急照明和导向设计 s_{17} 、疏散避难场地条件 s_{18} 、应急救援物资储备 s_{22} 、事后现场清理方案 s_{23} 、事后恢复运营秩序 s_{24} 、事故危险源追踪调查 s_{25} 、应急救援评估 s_{26} 等。底层影响因素包括:应急知识培训教育 s_3 、预警设备启用机制 s_4 、乘客安全应急知识宣传 s_7 、应急指挥多部门联动 s_{19} 、事故信息发布与广播 s_{21} 、应急规章制度 s_1 等。

对于外层的直接影响因素,如果发生突发事件,这些因素会直接影响城市轨道交通的应急能力从而

直接影响突发事件的处理结果。底层和中间层的其他因素则通过直接影响因素对应急能力产生影响。因此,要重视直接影响因素,针对这些因素逐一采取措施完善应急手段,以提高应急管理能力。

根据各因素的象限分布和因素解释结构模型,提升应急管理能力要注意以下方面:一是注意在事前应急准备和预警机制上,要合理编制预案,仔细论证所提出的应急预案是否是可操作性的,应仔细审查方案是否具有合理性,应急预案制定完成后要注重对员工应急知识的培训和教育,做到遇到突发事件临危不惧、熟悉应急流程和应急对策;二是通过完善相关应急指挥监控系统、应急通信设备系统,加强城市轨道交通危险源检测收集信息能力,及时动态监控城市轨道交通运营有可能出现的危险和意外情况,防患于未然;三是建立完善应急指挥多部门联动机制,根据危险级别制定预警设备启用机制,做到及时发布危险信息,避免隐报瞒报酿成更大事故,及时发布信息也有利于及时疏散人群、减少客流以便及时采取应对措施;四是完善城市轨道交通场所应急设备设施,如完善应急通道设计和提示,布局疏散避难场地、补充应急救援物资等。

5 结语

基于城市轨道交通安全因素、应急能力影响因素从应急准备和预警能力、人设环管应急响应能力、事后恢复处理能力 3 个一级指标构建了城市轨道交通应急能力指标,具体包括 8 个二级指标和 26 个三级指标。提出一种集成 DEMATEL-ISM-TOPSIS 法分析应急能力影响因素的重要属性、原因属性和结果属性,以正确评价各指标的逻辑关系和层级关系,进而对应急能力进行综合评价。通过模型得到城市轨道交通应急能力影响因素的影响度、被影响度,计算出体现城市轨道交通应急能力影响因素重要程度和作用大小的中心度指标,体现城市轨道交通应急能力影响因素对其他因素影响力的原因度指标。以城市轨道交通应急能力影响因素的中心度、原因度为坐标,把应急能力的影响因素划为四个象限,分为关键因子、影响力型因子、过渡型因子、结果型因子。构建了 ISM,分析了各因素的层级逻辑关系,得到轨道交通应急能力因素的逼近理想解并以此给各指标客观赋权。最后对 3 条线路进行打分评价得到总得分和二级指标得分,从而分析

各线路的不足之处。研究结果表明了评价指标的适用性和研究方法的科学性。

参考文献

- [1] DING X B, YANG X C, HU H, et al. The safety management of urban rail transit based on operation fault log[J]. Safety Science, 2017(94): 10.
- [2] 黎新华,李俊辉. 基于 DEMATEL 和 ISM 融合的城市轨道交通车站运营安全评价方法研究[J]. 铁道运输与经济, 2018(7): 116.
LI Xinhua, LI Junhui. A study on an assessment system on safe operation of urban rail stations based on DEMATEL and ISM[J]. Railway Transport and Economy, 2018(7): 116.
- [3] 何景师,戴航,刘小慧. 基于熵权-AHP 混合约束 DEA 法的铁路车务行车风险评价研究[J]. 铁道运输与经济, 2020(9): 99.
HE Jingshi, DAI Hang, LIU Xiaohui. A study on the risk evaluation of railway fleet operation based on the DEA method of entropy weight and AHP mixed constraint[J]. Railway Transport and Economy, 2020(9): 99.
- [4] 宋键,杨耀. 城市轨道交通应急体系研究[J]. 城市轨道交通研究, 2009(9): 7.
SONG Jian, YANG Yao. Research of emergency system in urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2009(9): 7.
- [5] 卢文刚,黄小珍. 基于 FCE 法的城市地铁踩踏事件应急能力评价研究——以广州地铁为例[J]. 中国行政管理, 2018(3): 145.
LU Wengang, HUANG Xiaozhen. Capability evaluation for urban subway stampede emergency response based on the FCE method—a case study of Guangzhou subway[J]. Chinese Public Administration, 2018(3): 145.
- [6] 李嵘,刘志钢,潘寒川,等. 基于 AHP-TOPSIS 的城市轨道交通应急演练评估研究[J]. 铁道运输与经济, 2020(1): 110.
LI Rong, LIU Zhigang, PAN Hanchuan, et al. A study on the evaluation of emergency drill for urban rail transit based on AHP-TOPSIS model[J]. Railway Transport and Economy, 2020(1): 110.
- [7] 刘煜,纪红波,张格学. 城市轨道交通运营企业应急预案体系规范化建设的探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2019(9): 10.
LIU Yu, JI Hongbo, ZHANG Gexue. Establishment of emergency plan system for urban rail transit operating enterprises[J]. Urban Mass Transit, 2019(9): 10.
- [8] 薛伟,耿志伟,王海滨,等. 集成 DEMATEL/ISM 的木材产业园消防风险影响因素研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2019(6): 99.
XUE Wei, GENG Zhiwei, WANG Haibin, et al. Research on factors influencing fire danger in wood industrial parks based on DEMATEL/ISM[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2019(6): 99.

(收稿日期:2020-06-22)