

文章编号:1005-0523(2015)01-0042-07

# 轨道交通枢纽防灾能力评价

王 舸<sup>1</sup>,王彦琦<sup>1</sup>,刘 浪<sup>2</sup>,高建平<sup>1</sup>

(1.重庆交通大学土木建筑学院,重庆 400074; 2.重庆交通大学管理学院,重庆 400074)

**摘要:**轨道交通枢纽灾害发生具有关联因素多、影响范围广的特征。为了评价轨道交通枢纽防灾能力,对其运营状况进行了调研,并基于多灾种影响因素分析,建立了轨道交通枢纽防灾能力评价指标体系;采用层次分析法确定了评价指标权重系数,提出了轨道交通枢纽防灾能力综合指数,建立了基于应用灰色关联投影法的轨道交通枢纽防灾能力评价方法。最后通过实例计算与论证,验证了该方法的可行性与客观性。

**关键词:**轨道交通枢纽;防灾能力;评价;灰色关联投影法

**中图分类号:**U291.7;X951

**文献标志码:**A

换乘枢纽是轨道交通灾害的多发地点,轨道交通枢纽系统的防灾能力直接影响交通枢纽内乘客的安全以及整个城市公共交通系统的正常运营。开展轨道交通枢纽防灾能力研究,有助于完善轨道交通枢纽防灾减灾理论,促进安全保障技术的发展。

## 1 轨道交通枢纽典型灾害的确定

### 1.1 典型灾害识别

轨道交通枢纽灾害发生具有随机性、复杂性的特征。目前,国内对轨道交通枢纽防灾问题研究仍处起步阶段,尚没有形成规范的抗灾设计理论与安全综合评价方法。通过调研重庆轨道交通枢纽运营灾害,结合研究成果,应用历史记录法,确定灾害类型。

何理<sup>[1]</sup>、陈菁菁<sup>[2]</sup>、代宝乾<sup>[3]</sup>、Giampiero E G<sup>[4]</sup>、曾笑语<sup>[5]</sup>通过统计国内外轨道交通运营事故的发生比例,识别、分析轨道交通枢纽灾害危险因素,指出火灾、恐怖袭击为轨道交通枢纽主要灾害类型,地震、水灾发生概率相对较小,但事故影响后果严重。近年来,我国雷击灾害事件频繁发生,跨座式单轨结构的轨道交通系统容易遭受雷电的危害<sup>[6]</sup>。因此,确定轨道交通灾害类型:火灾、水灾、地震、雷击、恐怖袭击。

### 1.2 运营安全影响因素分析

轨道交通枢纽典型灾害受多种安全影响因素共同作用,人、物、环境与管理等主客观因素之间不和谐的关系将会导致轨道交通灾害事件的发生<sup>[7-9]</sup>。

## 2 轨道交通枢纽防灾能力评价指标的确定

基于轨道交通枢纽多灾种安全影响因素分析,应用哈顿矩阵原理划分轨道交通枢纽防灾能力一级指标:可预防灾害(火灾、水灾、恐怖袭击、雷击)事故前的预警能力 $B_1$ 、应急准备 $B_2$ 及不可预知灾害(地震)事故中的救援能力 $B_3$ ,并将具体的防灾措施作为评价防灾能力的三级指标,建立防灾能力评价指标体系<sup>[10-11]</sup>,

收稿日期:2014-10-25

基金项目:重庆市建设科技项目(城科字2012第13-2号)

作者简介:王舸(1989—),男,硕士研究生,主要研究方向为道路安全工程理论与技术;高建平(1965—),男,教授,博士,主要研究方向为道路安全工程、道路设计理论与高速公路运营管理。

见表2。

表1 轨道交通枢纽安全影响因素分析  
Tab.1 Analysis of rail transit junction's safety influence factors

灾害名称	影响因素	因素简介
火灾	电器火灾	电线、电缆、电气设备的违规使用
	易燃易爆危险品	枢纽内部燃料存储场所(火灾安全隐患)
	周边环境	周边存在较大火灾危险性的建筑、绿化带
	气象因素	雷击、台风等可能造成火灾的灾害天气
	人为因素	用火不慎、放火致灾、吸烟不慎人为致灾行为
	防火设施	主、被动防火设施故障、违规操作
	消防安全管理	消防设施维护、消防应急预案、消防培训与演练
恐怖袭击	建筑特性	人员荷载过大、换乘种类过多、重要设施暴露
	防护设施	安检监控设备、疏散诱导系统、避难空间破坏
	内部安全管理	安全责任制、应急预案等团队建设问题以及安全巡逻、培训演练、宣传教育等日常管理问题
雷击	供电系统	供电系统接地线的最大电阻、避雷器最大保护比等直击雷的防护
	系统防雷保护性	防雷系统接地线最大电阻、建筑物最大外接圆半径与消雷器的保护半径之比等防雷保护性
	监控系统	监控系统接地线的最大电阻、电涌保护器最大保护比、最小屏蔽效能
	通讯系统	通讯系统接地线的最大电阻、电涌保护器最大保护比、最小屏蔽效能以及建筑物最大外接圆半径与避雷带等保护半径之比
水灾	建筑物防水特性	外水系抬高、暴雨倒灌
	防水设施	防淹门系统、排水系统、水位监测系统、内部防渗漏系统故障、崩溃
	内部安全管理	组织管理机构、安全责任制等团队建设以及安全巡逻、设备维护保养、隐患整改落实等日常管理
地震	建筑物特性	周边土体岩层、地面建筑状况、防震结构特性
	防震设施	通讯设备、抗震等级、抗震构造、物资储备
	紧急救援力量	防震预案完善、救援装备齐整等内部救援力量及救援队伍的装备水平、到场时间等外部救援力量

### 3 轨道交通枢纽防灾能力评价模型

由于轨道交通枢纽防灾能力评价指标的重要程度、针对性、可比性不尽相同,轨道交通枢纽防灾能力符合灰色系统信息不完全的特征。

应用层次分析法<sup>[12-14]</sup>结合灰色关联投影法<sup>[15]</sup>建立以定量分析为主的轨道交通枢纽防灾能力评价模型,通过计算各指标之间的灰色关联度以及同级指标之间的权重,确定防灾能力综合评价指数。

#### 3.1 评价指标权重的确定

采用层次分析法确定评价指标的权重。根据三标度表的规则,把同级  $n$  个因子两两相互比较,构造三

标度判断矩阵  $A = a_{ij}$ , 确定最优传递矩阵  $C = c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left( \lg \frac{a_{ik}}{a_{jk}} \right) \quad \forall i, j, k = 1, 2, \dots, n$ , 在满足一致性检验后,确

定同级各指标的权重  $v_j = \frac{1}{\sum a_{ij}^*}$ , 其中  $a_{ij}^* = 10^{c_{ij}}$ 。

表2 轨道交通枢纽防灾能力评价指标

Tab. 2 The anti-disaster capacity evaluation index for rail transit junction

目标层	一级指标	二级指标	三级指标
轨道交通枢纽灾害防灾能力评价综合指标体系 A	预警能力 B <sub>1</sub>	火灾预警能力 C <sub>1</sub>	火灾自动报警系统设备的应用及维护 D <sub>1</sub> 火灾自动报警系统管理人员的判断及反应 D <sub>2</sub> 异常情况的报告及处理 D <sub>3</sub>
		通信信号预警能力 C <sub>2</sub>	列车自动控制系统预警设备的应用及维护 D <sub>4</sub> 列车自动控制系统管理人员的预警判断及反应 D <sub>5</sub> 异常情况的报告及处理 D <sub>6</sub>
		电力系统预警能力 C <sub>3</sub>	电力监测系统的应用及维护 D <sub>7</sub> 电力监测系统管理人员的预警判断及反应 D <sub>8</sub> 异常情况的报告及处理 D <sub>9</sub>
		水文地质预警能力 C <sub>4</sub>	地质水文监测设备应用及维护 D <sub>10</sub> 地质水文专家的参与及反应 D <sub>11</sub> 异常情况的报告及处理 D <sub>12</sub>
	轨道交通枢纽风雷预警能力 C <sub>5</sub>	轨道交通枢纽风雷预警能力 C <sub>5</sub>	地面的风速监测、水位监测、避雷设备的安置及维护 D <sub>13</sub> 监测人员的预警判断及反应 D <sub>14</sub> 异常情况的报告及处理 D <sub>15</sub>
		安保预警能力 C <sub>6</sub>	安检设备的应用及防护 D <sub>16</sub> 视频监控的运用及维护 D <sub>17</sub> 安保人员的安防预警能力 D <sub>18</sub> 安保人员对事故的判断和处理 D <sub>19</sub>
		相关制度的建立 C <sub>7</sub>	管理制度的编制落实与更新 D <sub>20</sub> 应急预案的编制与更新 D <sub>21</sub>
	物资保障 C <sub>8</sub>	物资保障 C <sub>8</sub>	应急物资准备 D <sub>22</sub> 个人防护装备 D <sub>23</sub> 通讯与报警系统设施 D <sub>24</sub> 应急专项资金储备 D <sub>25</sub>
		人力资源保障 C <sub>9</sub>	专业救援队伍组建 D <sub>26</sub> 专家数据库建设 D <sub>27</sub>
		应急指挥中心建立 C <sub>10</sub>	应急指挥中心机构设置 D <sub>28</sub> 中心设施设备的完善 D <sub>29</sub> 应急指挥中心机构职责的明晰 D <sub>30</sub>
	公众应急反应能力 C <sub>11</sub>	公众应急反应能力 C <sub>11</sub>	相关应急标志的完善布置 D <sub>31</sub> 公众应急知识宣传教育 D <sub>32</sub> 公众参与式的应急演练 D <sub>33</sub>
应急响应能力 B <sub>3</sub>		救援能力 C <sub>12</sub>	救援现场指挥协调能力 D <sub>34</sub> 专业救援队伍的快速反应能力 D <sub>35</sub> 专家支持情况 D <sub>36</sub> 现场应急物资的充分性 D <sub>37</sub>

### 3.2 基于综合评价的灰色关联投影法的轨道交通枢纽防灾能力评价

#### 3.2.1 防灾能力样本矩阵及标准矩阵的确定

通过调研轨道交通枢纽实际运营工作情况,确定防灾能力评价指标的样本矩阵  $M_{i \times n} = (m_{ij})_{i \times n}$ , 并建立标准矩阵  $N_{p \times n} = (n_{ij})_{p \times n}$ ,  $i = 0, 1; j = 1, 2, \dots, n; p = 1, 2, 3, 4, 5$ 。

为了使轨道交通防灾能力指标评价结果简单、明了,将各指标归一化,转变为在 [0, 1] 的范围内取值。取样本矩阵  $M$  和标准矩阵  $N$  归一化后分别记为:  $X_{i \times n} = (x_{ij})_{i \times n}$ ,  $Y_{p \times n} = (y_{ij})_{p \times n}$ , 其中:  $i=0, 1; j=1, 2, \dots, n; p=1, 2, 3, 4, 5$ 。

将各评价指标对应的防灾能力分为 I ~ V 5 个等级标准, I 级标准为评价最高的等级标准,表示三级防灾能力指标实施得全面或者防灾能力强,赋值为 5, V 级标准为评价最低标准,表示指标实施得片面或者防灾能力弱,赋值为 1, I 级以及 V 级之间元素变换依据如下公式:

对于上述轨道交通防灾能力的指标,其值越大表示轨道交通防灾综合能力高,则

$$y_{ij} = \frac{n_{ij} - n_{5j}}{n_{1j} - n_{5j}} \tag{1}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & m_{ij} \geq n_{1j} \\ (m_{ij} - n_{5j}) / (n_{1j} - n_{5j}) & n_{1j} > m_{ij} > n_{5j} \\ 0 & m_{ij} \leq n_{5j} \end{cases} \tag{2}$$

### 3.2.2 防灾能力灰色关联度判断矩阵的确定

轨道交通综合防灾能力由  $n$  个指标因素所确定 ( $n=37$ ), 向量  $x_1 = x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{1n}$  作为参考序列(主序列), 并且将 5 级分级标准向量  $y_t = y_{t1}, y_{t2}, y_{t3}, \dots, y_{tn} (t=1, 2, 3, 4, 5)$  组成被比较的序列(子序列), 最后进行关联分析计算得到各样本与评价标准的关联程度, 得

$$f_{ij} = \frac{\min_n \min_m |x_{0j} - x_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |x_{0j} - x_{ij}|}{|x_{0j} - x_{ij}| + \lambda \max_n \max_m |x_{0j} - x_{ij}|} \tag{3}$$

这里  $\lambda$  为分辨系数,  $\lambda=0.5$ , 其中  $x_{0j} = \max\{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{5j}\}$ , 得到由  $2 \times 37$  个数组成的多目标灰色关联度判断矩阵

$$F = \begin{pmatrix} f_{01} & f_{02} & f_{03} & \dots & f_{0n} \\ f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \end{pmatrix} \tag{4}$$

### 3.2.3 防灾能力灰色关联投影权值矢量的确定

根据求得的指标综合权重  $V_j$ , 利用公式(5)对轨道交通综合防灾能力指标进行单位化处理, 得到新的权重向量  $W_j$ , 再通过公式(6), 得到灰色关联投影权值矢量  $W'_j$ 。

$$W_j = V_j / \sqrt{\sum_{j=1}^n V_j^2}, j=1, 2, 3, \dots, n \tag{5}$$

$$W'_j = W_j^2 / \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j^2}, j=1, 2, 3, \dots, n \tag{6}$$

### 3.2.4 防灾能力加权灰色关联决策矩阵的确定

轨道交通防灾能力评价指标的加权向量为  $W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_n)^T$ , 得到加权灰色关联决策矩阵:

$$F' = F \cdot W = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w'_1 \\ w'_2 \\ \vdots \\ w'_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w'_1 & w'_2 & w'_3 & \dots & w'_n \\ w'_1 f_{11} & w'_2 f_{12} & w'_3 f_{13} & \dots & w'_n f_{1n} \end{pmatrix} \tag{7}$$

### 3.2.5 防灾能力灰色关联投影角的确定

理想样本  $F'_0 = (w'_1, w'_2, w'_3, \dots, w'_n)$  (综合防灾能力最高的样本)与轨道交通枢纽防灾能力评价样本  $F'_1 = (w'_1 f_{11}, w'_2 f_{12}, w'_3 f_{13}, \dots, w'_n f_{1n})$  之间的夹角  $\theta_1$  称为灰色关联投影角, 它们的夹角余弦越大, 表明评价样本与理想样本之间的变化方向愈一致, 即轨道交通枢纽防灾能力越强。夹角余弦为

$$\cos \theta_1 = \frac{\mathbf{F}_0' \cdot \mathbf{F}_1'}{\|\mathbf{F}_0'\| \cdot \|\mathbf{F}_1'\|} = \frac{\sum_{j=1}^n f_{1j} \cdot w_j'^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^n w_j'^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_j' f_{1j})^2}} \quad (8)$$

### 3.2.6 防灾能力灰色关联投影值的确定

根据轨道交通枢纽防灾能力评价样本  $\mathbf{F}_1' = (w_1' f_{11}, w_2' f_{12}, w_3' f_{13}, \dots, w_n' f_{1n})$  与理想样本  $\mathbf{F}_0' = (w_1', w_2', w_3', \dots, w_n')$  的余弦值, 可以求得评价样本在理想样本处的投影值, 即为其灰色关联投影值。

$$D = \|\mathbf{F}_1'\| \cdot \cos \theta_1 = \|\mathbf{F}_1'\| \cdot \frac{\mathbf{F}_1' \cdot \mathbf{F}_0'}{\|\mathbf{F}_1'\| \cdot \|\mathbf{F}_0'\|} = \sum_{j=1}^n f_{1j} \cdot \left( \frac{w_j'^2}{\sqrt{\sum_{j=1}^n w_j'^2}} \right) \quad (9)$$

即

$$D = \sum_{j=1}^n f_{1j} \cdot W_j' \quad (10)$$

### 3.2.7 轨道交通枢纽防灾能力的确定

通过上述步骤, 计算得到轨道交通枢纽防灾能力综合指数  $D$ 。参照轨道交通防灾能力分级标准(表3), 确定防灾能力的状态。

表3 轨道交通枢纽防灾能力分级标准

Tab. 3 Standard of rail transit junction's anti-disaster capacity hierarchy

轨道交通防灾能综合指数	状态
$D < 0.25$	轨道交通防灾能力弱, 需要立即采取措施提高
$0.25 \leq D < 0.50$	轨道交通防灾能力较弱, 需要采取措施提高
$0.50 \leq D < 0.75$	轨道交通防灾能力较强
$D \geq 0.75$	轨道交通防灾能力强, 总结经验

## 4 实例计算与分析

### 4.1 评价对象概况

以某市轨道交通枢纽防灾能力综合评价为例。该市轨道交通环线行程较长, 沿线途经了城市多个主要的客流集散中心, 与当地的公交系统、长途客运系统组成了快捷的交通网络。

### 4.2 轨道交通枢纽防灾能力评价指标权重的确定

对该市多个轨道交通枢纽进行评价, 记为 E, F, G。评价指标体系(表2)由4个指标层组成, 目标层为轨道交通枢纽综合防灾能力 A, 三级指标层由37个具体防灾措施( $D_1$ — $D_{37}$ )组成, 根据指标的判断矩阵, 计算确定三层指标( $D_1$ — $D_{37}$ )权重, 记为  $V$

$$V = (0.058, 0.024, 0.016, 0.058, 0.024, 0.016, 0.058, 0.024, 0.016, 0.058, 0.024, 0.016, 0.058, 0.024, 0.016, 0.041, 0.045, 0.038, 0.017, 0.006, 0.019, 0.026, 0.008, 0.017, 0.012, 0.043, 0.022, 0.009, 0.017, 0.033, 0.015, 0.015, 0.028, 0.023, 0.039, 0.014, 0.023)^T$$

### 4.3 轨道交通枢纽防灾能力灰色关联投影权值矢量的确定

根据公式(5)对  $V$  进行单位化处理, 再根据公(6), 确定该市轨道交通枢纽防灾能力第三层次指标( $D_1$ — $D_{37}$ )的灰色关联投影权值矢量, 记为  $W'$

$$W' = (0.094, 0.016, 0.007, 0.094, 0.016, 0.007, 0.094, 0.016, 0.007, 0.094, 0.016, 0.007, 0.094, 0.016, 0.007, 0.007, 0.049, 0.057, 0.040, 0.008, 0.001, 0.010, 0.019, 0.002, 0.008, 0.004, 0.052, 0.014, 0.002, 0.008, 0.030,$$

0.006,0.006,0.022,0.015,0.042,0.005,0.015)<sup>T</sup>

#### 4.4 轨道交通枢纽防灾能力灰色关联判断矩阵的确定

通过专家组对该市三级指标层的评估打分,根据公式(2)、(3)确定轨道交通枢纽E、F、G防灾能力灰色关联度判断矩阵  $F$ ,限于篇幅,省略矩阵部分数据。

$$F = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.708 & 0.705 & 0.553 & 0.703 & 0.648 & 0.463 & 0.478 & 0.410 & 0.825 & 0.925 & 0.850 & 0.833 & 0.778 & \dots & 0.743 & 0.650 & 0.523 & 0.665 & 0.705 & 0.848 & 0.750 \\ 0.521 & 0.657 & 0.561 & 0.489 & 0.711 & 0.190 & 0.594 & 0.163 & 0.927 & 0.562 & 0.598 & 0.399 & 0.043 & \dots & 0.512 & 0.558 & 0.433 & 0.155 & 0.772 & 0.809 & 0.464 \\ 0.575 & 0.183 & 0.571 & 0.272 & 0.822 & 0.416 & 0.380 & 0.069 & 0.065 & 0.488 & 0.751 & 0.227 & 0.586 & \dots & 0.412 & 0.372 & 0.875 & 0.795 & 0.080 & 0.578 & 0.789 \end{pmatrix}$$

#### 4.5 轨道交通枢纽防灾能力综合指数的确定

由轨道交通枢纽防灾能力灰色关联投影权值矢量以及防灾能力灰色关联判断矩阵,根据式(10),确定轨道交通枢纽防灾能力综合指数  $D = (1, 0.696, 0.532, 0.540)$ 。由结果可知,该市轨道交通枢纽E、枢纽F和枢纽G防灾能力综合指数在0.75与0.5之间,防灾能力较强,有较好的示范作用;而枢纽F和枢纽G防灾能力综合指数接近取值界限0.5,轨道交通枢纽防灾能力相对较弱,需要采取措施改进。

#### 4.6 实际运营情况与评价结果的比较

经调研可知:该市轨道交通枢纽运营至今,无重大灾害事件发生,运营状况良好。换乘枢纽E、枢纽F、枢纽G灾害防护设施齐全,灾害监测系统、通信系统、日常安全管理制度、专家数据库建设、内部安保人员管理、外部救援力量的配备较为完善。

枢纽F与枢纽G的安全事故隐患在于:跨座式单轨高架车站容易引发暴雨倾灌,以沙袋排水为主的水灾防护措施排水效率有限,可能造成泄水明沟涌水、地面渗水等水灾事件的发生;个别重要设备室未配备防火外门,无法有效阻止火势的扩散、蔓延。对比可知,评价结果与该市3个轨道交通枢纽实际情况较为相符,证明该方法具有可行性。

## 5 结论

1) 统计分析国内外轨道交通安全事故,应用历史记录法,结合相关文献资料,确定轨道交通枢纽主要灾害类型:火灾、恐怖袭击、地震、水灾和雷击。

2) 通过调研重庆轨道交通枢纽运营灾害,协同考虑人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不安全因素及管理缺陷,明确轨道交通枢纽安全影响因素有:人为致灾、周边环境、建筑防灾特性、主、被动防灾设施、内部安全管理、外部救援力量。

3) 轨道交通枢纽防灾能力评价指标体系应包括:灾前准备、灾害预警监测能力、枢纽安保能力、专家团队建设、救援能力建设等多方面。

4) 采用灰色关联投影法结合层次分析法可有效解决防灾能力评价指标无法量化的问题,防灾能力综合指数的提出解决了评价样本间关联度信息不完全的缺陷。评价结果与枢纽实际运营状况较为相符,证明该方法具有一定可行性。

#### 参考文献:

- [1] 何理,钟茂华,邓云峰.城市轨道交通危险因素分析[J].中国安全生产科学技术,2005,1(3):25-29.
- [2] 陈菁菁.城市轨道交通重大运营事故和灾害分析[J].城市轨道交通研究,2010,13(5):41-45.
- [3] 代宝乾,汪彤,丁辉,等.地铁运营系统危险有害因素辨识分析[J].中国安全科学学报,2005,15(10):80-83.
- [4] BEROGGI G E. Integrated safety planning for underground systems[J]. Journal of Hazardous Materials,2000,71(1-3):17-34.
- [5] 曾笑雨,刘苏,张奇.基于事故统计分析的城市轨道交通运营安全和可靠性研究[J].安全与环境工程,2012,19(1):90-94.
- [6] 李建平,任艳.轨道交通防雷电安全效益评估分析[J].气象与环境科学,2014,37(1):107-113.

- [7] 庄鹏,刘松涛,胡又咏,等.北京西直门多层地下交通枢纽的多灾种安全评价[C]//第2届全国工程安全与防护学术会议论文集.上册.北京,2010:167-175.
- [8] 田书,王冰玉.基于灰色模糊评价模型的矿区综合防雷有效性评价研究[J].硅谷,2012(6):95-95.
- [9] 黄颖.南昌轨道交通消防安全管理的思考[J].华东交通大学学报,2014,31(03):74-79.
- [10] 赵惠祥.城市轨道交通系统的运营安全性与可靠性研究[D].上海:同济大学,2006.
- [11] 袁孝伟.城市地铁应急能力评价指标体系研究[D].西安:西安科技大学,2011.
- [12] 潘晓东,隋永芹.基于层次分析法的城市交通系统抗灾风险分析[J].华东交通大学学报,2010,27(1):6-11.
- [13] 左军.层次分析法中判断矩阵的间接给出法[J].系统工程,1988,6(6):56-63.
- [14] 孙威武.确定评价因素权重向量的一种实用方法[J].中南财经政法大学学报,1993(1):112-115.
- [15] 周彪,周军学,周晓猛,等.城市防灾减灾综合能力的定量分析[J].防灾科技学院学报,2010,12(1):104-112.

## Anti-disaster Capacity Assessment of Rail Transit Junction

Wang Ge<sup>1</sup>, Wang Yanqi<sup>1</sup>, Liu Lang<sup>2</sup>, Gao Jianping<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. School of Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** Rail transit junction has the characteristics of multiple disaster factors and a large-scale influence. In order to evaluate rail transit junction's anti-disaster capacity under operational conditions, combined with investigation of Chongqing rail transit system, based on multiple disaster safety influence factors analysis, this study establishes the anti-disaster capacity evaluation index system for rail transit junction. Using the analytic hierarchy process to determine the weight coefficient of anti-disaster capacity indexes, it obtains the comprehensive indexes for disaster prevention capacity of rail junction and proposes an anti-disaster capacity evaluation method based on grey relation projection (GRP). Finally, the feasibility and objectivity of the proposed method has been verified by example calculations.

**Key words:** rail transit junction; disaster prevention ability ; assessment; grey relation projection method

(责任编辑 王建华)