

高层建筑火灾安全疏散的改进灰关联评估模型

何嘉鹏, 张叶

(南京工业大学 城市建设与安全工程学院, 南京 210009)

摘要:通过研究高层建筑火灾时个人疏散时间,发现疏散成功与否取决于安全水平较低的影响因素,而传统的灰关联方法不能反映各点关联系数波动值对关联度的影响;另外,单一使用主、客观赋权方法也是影响火灾疏散评估准确性一个重要因素。在此分析基础上提出利用灰色相对欧几里德关联度解决各点关联系数波动值对关联度的影响;其次,利用斯皮尔曼等级相关系数组合主、客观权重,用互补的方法解决单一赋权的缺陷,并通过实例验证了改进灰关联评估模型的可行性。通过比较计算结果发现将组合权重和欧几里德关联度方法应用于高层建筑火灾安全疏散评估模型,能够提高评估结果的准确性,使评估模型与高层建筑火灾安全疏散特性相对应,并发现权重对评估结果有较大影响。

关键词:改进灰关联;高层建筑;安全疏散;评估

中图分类号:X913 文献标识码:A 文章编号:1006-7329(2008)05-0135-05

An Improved Grey Relation Model of Safety Evaluations of Evacuation from High-rise Building Fires

HE Jia-peng, ZHANG Ye

(College of Urban Construction and Safety Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, P. R. China)

Abstract:Based on a study of the time-process of individual evacuees in high-rise building fires, we found that the low-security influencing factor will affect the possibility of successful evacuation severely. The traditional grey relational grade cannot reflect the effect of the grey relational coefficient fluctuation. Moreover, the single weight calculation with a subjective or objective weight will also directly affect the evaluation result of safe evacuation during high-rise building fires. Based on these analyses, the grey Euclid relative grade was applied to indicate the effect of the grey relational coefficient fluctuation. The Spearman correlative rating coefficient was used to combine the subjective and objective weights to eliminate the deficiency of the single weight case. We discuss the possibility of applying the improved grey relational evaluation. Comparing the evaluation results, we found that the weight combination and grey Euclid relation applied in a safety evaluation model can improve evaluation result accuracy. The evaluation model thus corresponds to the characteristics of high-rise building fires and the weight set substantially affects the evaluation result.

Key words:improved grey relation; high-rise building; safe evacuation; evaluation

由于高层建筑火灾时安全疏散影响因素的复杂性,很难对所有因素进行量化。所以可以用一组覆盖高层建筑火灾安全疏散时部分已知信息组成的小样本,通过灰色关联计算,分析高层建筑火灾疏散安全状况^[1]。通过比较样本数列和建立的标准参考矩阵的关联度,划分安全等级并在评估对象中找出影响紧急疏散的关键因素,指出薄弱环节,找出改进措施,然后再

评估样本的安全疏散等级,直到目标系统的安全疏散等级达到安全。

在评估模型中有 n 个样本,灰关联度 \bar{r}_{j0} 的计算如式(1)所示^[2]:

$$\bar{r}_{j0} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_{j0}(k) \quad (1)$$

式中: $\xi_{j0}(k)$ 是第 j 个样本数列与标准数列之间的

* 收稿日期:2008-05-22

基金项目:江苏省自然科学基金(2008369)

作者简介:何嘉鹏(1957-),男,教授,主要从事建筑火灾与防排烟技术研究。(E-mail)zhangye.2002@163.com。

关联系数; m 是指评估样本的影响因素个数。

但式(1)存在两处明显缺陷:1)在高层建筑火灾安全疏散的评估系统中,各因素的影响程度是不一致的,但采用平均关联度的方法与此相矛盾,故在灰色关联度的计算中应增加各因素的权重影响。2)只要 $\sum_{k=1}^m \xi_{j_0}(k)$ 保持不变,无论关联系数 $\xi_{j_0}(k)$ 如何波动,其关联度都不会变化的,故式(1)不能反映各点的关联系数波动值对关联度的影响。

1 高层建筑安全疏散时间

安全疏散评估过程的核心就是通过比较可用安全疏散时间(ASET)和需要安全时间(RSET),只有当前者大于后者时,人员的安全才有保证。RSET由“疏散开始时间”和“人员移动时间”组成,“疏散开始时间”是指在人员开始疏散移动前的一段时间,其中也有许多的因素影响到人员的安全疏散,其中包括“感知时间”和“个人反应时间”^[3]。由于众多因素的限制,同一建筑内每个人或者说每一层的人的“感知时间”并不是一样的,一般都比报警时间要长。它与火灾探测系统、报警系统,起火地点,人员相对位置,管理状况及建筑物的使用特性等因素有关。由于“感知时间”不一样,“个人反应时间”的开始也不是同步的。“个人反应时间”的长短与当时人们所处的活动状态,建筑物的使用特性,人员特性,建筑物内的报警及管理系统类型,疏散诱导手段等因素有关^[4]。

高层建筑火灾安全疏散是一个综合过程,如果其中某个因素的安全性偏低,延长疏散时间,就增加人员疏散的危险性。这一特点类似于木桶理论,即事物的最终结果,往往受制于水平最低、影响最严重的因素。另外从对式(1)的分析中得知,各关联系数波动值对关联度的有影响,而且这一特点也与木桶理论相吻合。因此不仅从算法上而且从评估模型上分析得知,需要考虑各因素之间关联系数的波动。

2 权重的改进

对于平均权重一般采用式(2)所示的方法进行改进。

$$r_{j_0} = \sum_{k=1}^m \omega_j(k) \xi_{j_0}(k) \quad (2)$$

式中: $\omega_j(k)$ 是指与关联系数 $\xi_{j_0}(k)$ 对应的权重系数。

2.1 主、客观赋权方法的比较

目前赋权的方法可分为两类:主观赋权方法和客观赋权方法。主观赋权法认为权重的本质是各评价指

标相对于评价目标的相对重要程度的量化值。这种相对重要程度是客观存在的模糊概念,需要通过主观判断来获得。客观赋权法认为权重的大小取决于各评价指标属性值数列的离散程度的相对大小。如果其指标的各属性值存在差异越大,则该指标的权重值也就越大。

客观赋权法消除了主观赋权法的主观判断中存在的随意性,但没有考虑指标本身的重要程度,得到的权重也缺乏说服力。为了改善和提高权值的精确性,改变单一使用主观和客观确定权值的不足,需要用主、客观相结合的组合赋权的方法。基本步骤是:首先需要确定主观、客观赋权的方法,其次判断用不同种方法得到的权重是否一致,最后组合各权重值。

2.2 斯皮尔曼组合权重法

一种非参数统计方法——斯皮尔曼等级相关系数法用来判断主、客观赋权方法之间的一致性^[5]。一致性程度好,可以接受;否则需要调整相关的主、客观赋权方法。斯皮尔曼等级相关系数计算式^[6]如下所示:

$$\rho_{ab} = 1 - \left[\frac{6 \sum_{k=1}^m d_{abk}^2}{(m^3 - m)} \right] \quad (3)$$

式中: ρ_{ab} 为第 a 种主观方法与第 b 种客观方法之间的斯皮尔曼等级相关系数; d_{abk} 是指第 k 个因素的第 a 种主观方法权重排序值与第 b 种客观方法权重排序值的差值。

通过查等级相关系数临界值表得到临界值 ρ_a , 如果 $\rho_{ab} \geq \rho_a$, 表示一致性程度好,权重可以接受。然后比较赋权方法 a 和方法 b 之间的斯皮尔曼等级相关系数,找到最大值,接着计算该赋权方法与其他方法的斯皮尔曼等级相关系数,组成数列,将该数列归一化处理,得到修正权数列 $(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{a+b})$, 按式(4)计算得到组合权重 ω ^[5]。

$$\omega = (\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{a+b}) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{11} & \cdots & \eta_{1j} & \cdots & \eta_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \eta_{a+b,1} & \cdots & \eta_{a+b,j} & \cdots & \eta_{a+b,m} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: $\eta_{a+b,m}$ 是指由总共 $(a+b)$ 个赋权方法计算得到的 m 个因素的权重。

3 赋权关联度的改进

根据上文分析,式(1)不能反映各点关联系数波动值对关联度的影响,所以此处用相对欧几里德贴近度来反映各关联系数间的波动值,使灰色关联分析更趋合理^[7]。

定义 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_m\}$, A, B 是 U 的两个灰色因素集, 则 A, B 之间的相对欧几里德贴近度 $N(A, B)$ 可表示为^[8]:

$$N(A, B) = 1 - \left\{ \frac{\sum_{k=1}^m [U_A(\mu_k) - U_B(\mu_k)]^2}{m} \right\}^{1/2} \quad (5)$$

定义模糊集 $A_j = \{\xi_{j_0}(1), \xi_{j_0}(2), \dots, \xi_{j_0}(k), \dots, \xi_{j_0}(m)\}$, 表示 X_j 与 X_0 相关; 定义模糊集 B_l , 也是表示 X_j 与 X_0 相关, 假设理想情况是 X_1 与 X_0 的相关程度最大, 则 $B_l = \{1, 1, \dots, 1\}$ 。应用欧几里德贴近度计算式(5)改进关联度计算式(2), 得到式(6)如下:

$$r_{j_0} = 1 - \left\{ \sum_{k=1}^m [A_j(\xi_{j_0}(k)) - B_l(\xi_{j_0}(k))]^2 \cdot \omega(k) \right\}^{1/2} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \tilde{r}_{j_0} &= 1 - \left\{ \sum_{k=1}^m [r_{j_0} + \epsilon_{j_0}(k) - 1]^2 \cdot \omega(k) \right\}^{1/2} \\ &= 1 - \left[\sum_{k=1}^m \omega(k) \cdot (r_{j_0} - 1)^2 + \sum_{k=1}^m \omega(k) \cdot \epsilon_{j_0}(k) + 2(r_{j_0} - 1) \cdot \sum_{k=1}^m \omega(k) \cdot \epsilon_{j_0}(k) \right]^{1/2} \\ &= 1 - \left[(r_{j_0} - 1)^2 + \sum_{k=1}^m \omega(k) \cdot \epsilon_{j_0}(k) \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (11)$$

式(11)为灰色相对欧几里德加权关联度, 满足灰关联四公理: 规范性、偶对对称性、整体性和接近性。该式不仅考虑了样本数列与标准数列在各点的关联系数的加权值 r_{j_0} 对关联度的影响, 而且考虑了各点关联系数波动值 $\epsilon_{j_0}(k)$ 对关联度的影响。

4 算例分析

本文将组权和灰色相对欧几里德加权关联度的这

$$r_{j_0} = 1 - \left\{ \sum_{k=1}^m [\xi_{j_0}(k) - 1]^2 \cdot \omega(k) \right\}^{1/2} \quad (7)$$

设样本数列 X_j 与标准数列 X_0 在各点的关联系数 $\xi_{j_0}(k)$ 相对于由式(2)得到关联度 r_{j_0} 的波动值为:

$$\epsilon_{j_0}(k) = \xi_{j_0}(k) - r_{j_0} \quad (8)$$

那么 $\xi_{j_0}(k)$ 可以如下表示:

$$\xi_{j_0}(k) = r_{j_0} + \epsilon_{j_0}(k) \quad (9)$$

因为

$$\sum_{k=1}^m \epsilon_{j_0}(k) \cdot \omega(k) = 0 \quad (10)$$

所以由式(7)、(9)、(10)整理可以得到:

两种方法用于评估一个高层办公大楼的火灾安全疏散能力。标准数列见表 1, 每个因素都有 5 个等级, 其中的大部分数据来自《高层建筑防火设计规范》GB50045—95 和《火灾自动报警系统设计规范》GB50116—98, 还有一部分数据来自国外研究者的实测数据(如 Fruin, Fahy, Proulx)。按照该表收集样本数据得到表 2。

表 1 标准数列

一级评估因素	二级评估因素	很安全	安全	一般	不安全	最不安全	单位
安全疏散设施	楼梯坡度 ¹⁾	20	25	30	35	40	°
	疏散通道宽度	1.9	1.7	1.4	1.3	1.1	m
	楼梯间前室宽	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	m
	应急照明	35	30	24	10	5	勒克斯
	最长疏散距离	24	26	29	35	40	m
	安全疏散出口数量	5	4	3	2	1	个

注:1) 出自 Fahy, Rita F., & Guylene Proulx. Toward creating a database on delay times to start evacuation and walking speeds for use in evacuation modeling, Proceedings of the second international symposium human behaviour in fire, MIT, Cambridge.

2) 限于篇幅不能罗列出所有的 21 个二级评估因素, 只给出了标准矩阵的一部分

表 2 样本数列

一级评估因素	安全疏散设施	阻火与防排烟	消防疏散设施	室内报警 灭火系统	人员因素	管理及其它
样本数列	(40 1.9 1.5 30 24 2)	(4 1 000 1 3 4)	(3 25 1)	(3 3)	(2 5 0.5)	(2 4)

首先用斯皮尔曼组合赋权法确定各因素的权重。选择的合适的主观赋权方法是层次分析法^[9]和模糊层

次分析法^[10], 客观赋权方法是熵值法^[11]。层次分析法、模糊层次分析法与熵值法赋权后序列记为 $A、B、$

C,主、客观权重的斯皮尔曼等级相关系数 $\rho_{AC} =$ 权重,即由层次分析法得到的权重。

0.250 5, $\rho_{BC} = 0.344 2$ 都大于等级相关系数标准值

0.036 8,且 $\rho_{\max} = \rho_{BC}$,最后得到修正权向量 $(\beta_{AB} \beta_{BB} \beta_{BC}) = (0.323 7 0.503 1 0.173 2)$,按照式(12)计算得

到的组合权重集如表 3 所示,表 3 中还给出了未组合

$$\omega = (\beta_{AB} \beta_{BB} \beta_{BC}) \cdot \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \cdots & A_{21} \\ B_1 & B_2 & \cdots & B_{21} \\ C_1 & C_2 & \cdots & C_{21} \end{bmatrix} \quad (12)$$

表 3 评估因素权重

一级评估因素	一级权重		二级评估因素	二级权重		总目标 组合权重
	未组合	组合权重		未组合	组合权重	
安全疏散设施	0.339 9	0.282 1	楼梯坡度	0.117 3	0.144 9	0.038 5
			疏散通道宽度	0.102 5	0.14	0.033 8
			楼梯间前室宽	0.115 0	0.136	0.036 2
			应急照明	0.295 7	0.223 5	0.063 2
			最长疏散距离	0.195 4	0.191 7	0.049 2
			安全疏散出口数量	0.174 1	0.163 9	0.042 7
阻火与防排烟	0.110 1	0.149 3	楼梯间防排烟系统	0.350 5	0.268 3	0.034 1
			防火分区大小	0.161 6	0.169 3	0.026 3
			防火门	0.213 3	0.223 6	0.031 4
			吊顶材料	0.161 6	0.182	0.027 4
			楼板的防火等级	0.112 9	0.156 2	0.024 6
消防疏散设施	0.093 5	0.122 9	建筑周围的消防通道	0.310 8	0.324 4	0.043 9
			消火栓系统	0.195 8	0.258 6	0.033 5
			消防电梯	0.493 4	0.417	0.056 3
报警灭火系统	0.148 4	0.142 9	室内灭火系统	0.333 3	0.395 7	0.055 8
			火灾探测系统	0.666 7	0.604 3	0.091 7
人员因素	0.209 9	0.186 1	水平走道人流密度	0.25	0.268	0.039 6
			人员预动作	0.5	0.414 5	0.079 2
			人员分布	0.25	0.317 5	0.062 2
管理及其它	0.098 1	0.116 6	空间组织模式	0.75	0.631 2	0.078 5
			管理维护水平	0.25	0.368 8	0.052 7

然后使用加权关联度计算方法(式(2))和组合权重集(表 3)计算灰关联度,得到的关联度及评估等级如表 4 所示。

表 4 一级加权关联度和二级加权关联度及其评估等级

一级评估因素	二级加权关联度及评估等级	一级加权关联度及评估等级
安全疏散设施	(0.749 2 0.691 7 0.579 8 0.544 0 0.493 9) 很安全	
阻火与防排烟	(0.677 5 0.896 4 0.734 3 0.540 3 0.413 1) 安全	
消防疏散设施	(0.473 6 0.641 7 0.705 3 0.623 6 0.682 6) 一般	(0.627 0 0.714 2 0.678 1 0.558 4 0.457 8)
室内报警灭火系统	(0.333 3 0.500 0 1.000 0 0.500 0 0.333 3) 一般	安全
人员因素	(0.851 0 0.861 8 0.566 4 0.452 4 0.359 0) 安全	
管理及其它	(0.431 7 0.639 3 0.600 0 0.789 3 0.501 7) 不安全	

按照表 4 的结果得到一级评估因素和评估对象的等级,与未组合权重赋权的灰关联度计算结果比对(表 5),发现“消防疏散设施”这个一级评估因素的等级有

很大的变化,主要是由于“消防电梯”这个二级因素的权重由 0.493 4 降到了 0.417,而“消火栓系统”的权重上升了,避免了因素集中某个因素权重过大或过小而

失真,所以通过组权方法可以适当的改进权重。

接着使用灰色相对欧几里德关联度方法(式(11))和组合权重集(表 3)计算得到欧几里德关联度及评估等级如表 6 所示。

表 5 组权前后结果比较

一级评估因素	组合权重改进前	组合权重改进后
安全疏散设施	很安全	很安全
阻火与防排烟	安全	安全
消防疏散设施	最不安全	一般
室内报警灭火系统	一般	一般
人员因素	很安全	安全
管理及其它	不安全	不安全

表 6 一级欧几里德关联度和二级欧几里德关联度及其评估等级

一级评估因素	二级欧几里德关联度及评估等级	一级欧几里德关联度及评估等级
安全疏散设施	(0.629 4 0.628 4 0.565 7 0.493 2 0.440 2) 很安全	
阻火与防排烟	(0.641 2 0.824 2 0.702 5 0.533 3 0.410 9) 安全	
消防疏散设施	(0.456 7 0.568 5 0.635 3 0.616 6 0.582 6) 一般	(0.547 56 0.632 79 0.629 48 0.521 41 0.423 22)
室内报警灭火系统	(0.333 3 0.500 0 1.000 0 0.500 0 0.333 3) 一般	安全
人员因素	(0.802 2 0.785 4 0.561 4 0.450 7 0.358 6) 很安全	
管理及其它	(0.417 3 0.546 0 0.600 0 0.653 0 0.485 3) 不安全	

虽然安全等级与表 4 所示相同,但是每个低水平的二级评估因素产生的影响强于改进前,关联度都下降了,使评估系统对低水平因素的存在更加敏感。如果等级降到“一般”等级需要找出做改进的因素,那么通过基于木桶理论的灰色欧几里德关联就能更准确的找出最低水平的因素加以改进。从实例中可以发现在高层建筑火灾安全疏散评估中这样的改进措施是有效可行的。

5 结 论

1)使用斯皮尔曼组合权重法组合主观权重值和客观权重值,改善和提高了权值的准确性,解决单一使用主观、客观赋权方法的缺陷,明显的改进了评估结果,表明评估模型的赋权方法对评估结果有很大的影响,有必要找到客观准确的权重集。

2)使用相对欧几里德贴近度改进灰关联度计算式,克服了原灰关联公式不能反映各点关联系数波动的缺陷。计算结果表明由于低安全性因素的存在使相应的关联度下降,改进的灰关联计算式能突出低安全性因素的影响,反映出高层建筑火灾安全疏散特点。

3)文中建立的是一个二层的评估因素集,可以认为是一个静态评估,考虑到高层建筑火灾疏散的复杂性,在实际情况中随着火灾的发展每一阶段疏散人员依靠的疏散条件是不同的,可以按照火灾的发展和疏

散人员疏散行为这两个时间序列建立更为详细的安全疏散评估体系。

参考文献:

[1] 张叶,何嘉鹏,谢娟.高层建筑火灾中安全疏散的评价分析[J].中国安全科学学报,2006,16(8):115-118.
ZHANG Ye, HE Jia-peng, XIE Juan. Assessment and Analysis on Safe Evacuation from the Fire in High-rise Buildings[J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(8): 115-118.

[2] 肖新平,宋中民,李锋.灰技术基础及其应用[M].北京:科学出版社,2005.
XIAO Xin-ping, SONG Zhong-min, LI Feng. Base and Application of Grey Technology [M]. Beijing: Science Press, 2005.

[3] Purser DA, Bensilum M. Quantification of behaviors for engineering design standards and escape time calculations [J]. Safety Science, 2001, 38: 157-182.

[4] 张吉光,史自强,崔红社.高层建筑和地下建筑通风与防排烟[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
ZHANG Ji-guang, SHI Zi-qiang, CUI Hong-she. Ventilation and Smoke Control of Tall Building and Substructure[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.

(下转第 152 页)

- [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [4] 王文龙, 骆仲泐, 施正伦, 等. 煤粉高掺钙燃烧时煤灰矿物形成机理的热力学分析[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(18): 116-120.
WANG Wenlong, LUO Zhongyang, SHI Zhenglun, et al. Thermodynamic study on formation mechanism of coal ash minerals at high calcium content in PCC boilers [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(18): 116-120.
- [5] 施惠生. 高钙粉煤灰的本征特征与水化特性[J]. 同济大学学报, 2003, 31(12): 1440-1 443.
SHI Huisheng. Research on intrinsic characteristics and hydration properties of fly ash with high calcium oxide[J]. Journal of Tongji University, 2003, 31(12): 1440-1 443.
- [6] 施惠生. 高钙粉煤灰用作水泥混合材若干问题的探讨[J]. 水泥, 1997(5): 3-6.
SHI Huisheng. Study on the problems of high calcium fly ash as cement admixture[J]. Cement, 1997(5): 3-6.
- [7] 杨娟. 固硫灰渣特性及其用作水泥掺合料研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
YANG Juan. Study on properties and utilization of additive of cement of ashes from fluidized bed combustion [D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [8] 孙恒虎, 郑娟荣. 低温煤渣火山灰活性的机理研究[J]. 煤炭学报, 2006(12): 664-667.
SUN Henghu, ZHENG Juanrong. Study on volcanic ash reactivity of coal cinder at about 900°C [J]. Journal of China Coal Society, 2006(12): 664-667.
- [9] S TISMAS, A MOUSATSOU. High-calcium fly ash as the fourth constituent in concrete: problems, solutions and perspectives[J]. Cement & Concrete Composites, 2005, 27: 231-237.
- [10] V G PAPADAKIS. Effect of fly ash on Portland cement systems Part II. High-calcium fly ash[J]. Cement and Concrete Research, 2000, 30: 1 647-1 654.
- [11] 穆大鹏, 阎培渝. 高钙粉煤灰混凝土的强度和干缩性能[J]. 混凝土, 2004(11): 31-34.
MU Dapeng, YAN Peiyu. Strength and drying shrinkage of concrete containing high calcium fly ash[J]. Concrete, 2004(11): 31-34.

(编辑 胡玲)

(上接第139页)

- [5] 程卫民, 辛嵩. 安全综合评价中的组合赋权和变权[J]. 安全与环境学报, 2001, 1(6): 31-34.
CHENG Wei-min, XIN Song. Indices Combination and Variety Weight of Comprehensive Safety Assessment[J]. Journal of Safety and Environment, 2001, 1(6): 31-34.
- [6] 张小蒂, 李晓钟. 应用统计学导论[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 1998.
ZHANG Xiao-di, LI Xiao-zhong. The Introduction of Applied Statistic [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 1998.
- [7] 赵艳林, 韦树英, 梅占馨. 灰色欧几里德关联度[J]. 广西大学学报(自然科学版), 1998, 23(1): 10-13.
ZHAO Yan-lin, WEI Shu-ying, MEI Zhan-xin. Grey Euclid Relation Grade[J]. Journal of Guanxi University (Nat Sci ED.), 1998, 23(1): 10-13.
- [8] 胡淑礼. 模糊数学及其应用[M]. 四川: 四川大学出版社, 1994.
HU Su-li. The Application of Fuzzing Mathematics[M]. Sichuan: Sichuan University Press, 1994.
- [9] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
WANG Lian-feng, XU Shi-bo. The Introduction of Analytic Hierarchy Process [M]. Beijing: China Renmin University Press, 1990.
- [10] XIE Juan, HE Jia-peng, ZHANG Ye. Fuzzy Synthesis Assessment Analysis of Safety Evacuation in Subway Station Fire [C]//Progress in Safety Science and Technology (VOL. VI), Beijing: Science Press USA Inc. 2006: 338-341.
- [11] 王靖, 张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(2): 52-57.
WANG Jing, ZHANG Jin-suo. Comparing Several Methods of Assuring Weight Vector in Synthetical Evaluation [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2001, 30(2): 52-57.

(编辑 胡玲)