

文章编号:1005-0523(2017)01-0124-08

基于IAHP和Vague集的高层建筑火灾风险评价

杨斯玲, 蒋根谋

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:针对高层建筑火灾风险评价存在模糊性和难以分辨性的问题,基于高层建筑火灾特点,从防火系统、灭火系统、消防施救设施、安全疏散和消防安全管理五个方面构建了高层建筑火灾风险指标评价体系。采用区间层次分析法(IAHP)给各指标赋权,结合Vague集理论建立了高层建筑火灾风险的改进模糊综合评价数学模型。最后进行实证分析,结果表明该方法能够有效反映高层建筑火灾风险情况。

关键词:高层建筑;火灾;风险评估;IAHP;Vague集

中图分类号:TU972

文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2017.01.019

随着中国经济的飞速发展,城市高层建筑以惊人的速度迅速发展,高层建筑火灾也呈逐年上升趋势。由于高层建筑楼层多、体积大、高度高、人员集中、垂直疏散距离长、火灾蔓延速度快、火灾扑救难度大等特点,一旦发生火灾,往往比一般建筑更复杂更易造成重大人员伤亡和财产损失。对高层建筑进行火灾风险评价,分析可能导致事故发生的重要因素,对高层建筑火灾的预防和控制具有重要的意义。

影响建筑火灾的因素众多,许多因素难以量化,且各个因素之间不都是相互独立的,存在一定模糊性。目前,国内外对高层建筑火灾风险评价的研究尚不系统,主要有王栗等利用灰色关联度分析法构建了高层建筑火灾系统的灰色关联评价模型^[1]。段美栋等建立了基于模糊网络分析法与误差反向传播BP神经网络的高层建筑火灾风险评估模型^[2]。辛晶等引入云理论将高层建筑火灾风险评价语言值转换为云的数字特征,建立了基于云理论的火灾风险评价模型^[3]。张立宁等利用未确知C-均值聚类智能化方法,构建了基于未确知聚类的高层建筑火灾风险评价模型^[4]。陈骥等引入集对分析的联系度模型,结合灰色关联度理论对高层建筑进行火灾危险性评价^[5]。刘云芬以可变模糊集理论为基础,建立了二级可变模糊评价模型评价高层建筑火灾风险^[6]。李小菊等结合模糊事故树及区间层次分析法对高层建筑火灾风险进行评价^[7]。高层建筑火灾风险评价是一个多因素多层次的综合评价问题,存在复杂性、模糊性和不确定性,传统的模糊集只根据正面信息来解决含糊性问题,忽略了反面和侧面的影响等,Gau等^[8]提出的Vague集是模糊集的一种推广形式,较传统模糊集更灵活,有利于对模糊信息的正确分析,已广泛应用于控制、决策等领域。本文以Vague集为原理,建立基于区间数AHP(IAHP)和Vague集的高层建筑火灾风险评价模型应用于高层建筑火灾风险评价。目的在于为高层建筑火灾风险评价方法的研究提供一种新的尝试,为采取合理的火灾防治技术和管理措施在理论上、方法上提供有益的指导。

收稿日期:2016-07-08

基金项目:江西省科技厅软科学一般项目(20161BBA10045);江西省自然科学基金(20151BAB216026);江西省教育厅青年基金(GJJ14405)

作者简介:杨斯玲(1985—),女,讲师,博士,研究方向为建筑经济,项目管理。

通讯作者:蒋根谋(1964—),男,教授,博士,研究方向为建筑施工,项目管理。

1 评价指标体系

1.1 评价指标体系的构建

构建高层建筑火灾风险评价指标体系,是对高层建筑进行火灾危险性评价的基础。根据高层建筑的火灾防火、灭火设计要求,结合高层民用建筑设计防火规范(GB50045-95(2005 年版))和建筑设计防火规范(GB50016-2014),参考文献[9-13],运用事故致因分析及专家调查等方法,从阻燃与防火系统、报警与灭火系统、人员疏散系统、消防施救设施 and 安全管理五个部分建立评价指标体系,见表 1。

表 1 高层建筑火灾危险性指标体系权重
Tab.1 Index system and weights of fire risk in high-rise building

目标层	一级指标层(准则层)	权重	二级指标层(方案层)	权重
高 层 建 筑 火 灾 风 险 (G)	阻燃与防火系统(N_1)	0.250	防火门(C_{11})	0.226
			防火墙与防火卷帘(C_{12})	0.312
			耐火等级(C_{13})	0.181
			防火分区(C_{14})	0.090
			火灾荷载(C_{15})	0.195
	报警与灭火系统(N_2)	0.221	室内外消防栓(C_{21})	0.491
			自动喷淋灭火和气体灭火(C_{22})	0.172
			火灾报警系统(C_{23})	0.252
			消防队(C_{24})	0.085
	安全疏散系统(N_3)	0.198	出口数目及宽度(C_{31})	0.338
			疏散标志(C_{32})	0.127
			疏散距离(C_{33})	0.088
			人员分布状况(C_{34})	0.289
			应急照明系统(C_{35})	0.159
	消防施救设施(N_4)	0.181	消防车辆通道(C_{41})	0.425
			消防施救楼电梯(C_{42})	0.315
			通风与排烟系统(C_{43})	0.249
	消防管理水平(N_5)	0.151	消防设备维护情况(C_{51})	0.105
			消防制度落实情况(C_{52})	0.652
			转值班情况(C_{53})	0.243

1.2 评价指标权重的赋值

指标体系建立后,要对各指标赋权,在众多赋权方法中,层次分析法(AHP)应用最为广泛,但其建立模型时使用的是传统的数学方法,处理的数据是“点数据”或“刚性数据”。区间层次分析法在传统 AHP 的基础上融入了区间数的特性,以区间数判断矩阵来取代传统的判断矩阵,是对 AHP 的改进,有效地表达专家对因素相对重要性的不确定性判断。目前用于区间数判断矩阵的计算方法有区间特征根法、区间数梯度特征向量法、最优传递矩阵法及随机模拟法等多种方法。其中区间特征根法法相对简单、实用和有效,能充分利用判

断矩阵的全部信息,计算精度较高。本文使用 IEM 法给各指标赋权,其基本概念和具体的权重赋值步骤如下^[14-15]。

设 $e=[e^-,e^+]=\{x(c_{ij})|0<e^-\leq x(c_{ij})\leq e^+\} (i=1,2,\dots,n;j=1,2,\dots,n)$,则称 e 为一个区间数。以区间数为元素的向量或矩阵称为区间数向量或区间数矩阵,它们的运算按普通数字矩阵或向量的运算定义。

若给定区间数判断矩阵 $E_i=(e_{ij})_{n\times n}=[E_i^-,E_i^+]$,其中 $E_i^-(e_{ij})_{n\times n}^-,E_i^+=(e_{ij})_{n\times n}^+$ 。

1) 求 E_i^-,E_i^+ 的 λ_{\max} 及相应归一化特征向量 x_i^-,x_i^+

$$x_i^- = \frac{1}{\sum_{j=1}^n e_{ij}^-}, x_i^+ = \frac{1}{\sum_{j=1}^n e_{ij}^+} \quad (1)$$

2) 由 $E_i^-(e_{ij})_{n\times n}^-,E_i^+=(e_{ij})_{n\times n}^+$ 计算系数 α 和 β

$$\alpha = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{j=1}^n e_{ij}^+}}, \beta = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{j=1}^n e_{ij}^-}} \quad (2)$$

3) 权重向量

$$w_i = [w_i^-,w_i^+] = [\alpha x_i^-, \beta x_i^+] \quad (3)$$

4) 求得的权重区间 w_i , 取其平均值作为各指标的权重, 即 $W_i = [w_i^-,w_i^+]/2$, 则相应各评价指标的权重向量为 $W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ 。

5) 参照 AHP 的矩阵一致性检验方法, 衡量区间矩阵的一致性^[16]。

2 评价模型的建立

2.1 Vague 集的基本概念

设 U 为一个论域, u 表示其中任一元素, U 中的一个 Vague 集 A 可用一个真隶属函数 t_A 和一个假隶属函数 f_A 表示, $t_A(u)$ 是从支持 u 的证据所导出的 u 的隶属度下界, $f_A(u)$ 则是从反对 u 的证据所导出的 u 的否定隶属度下界, 不确定部分 $\pi_A(u) = 1 - t_A(u) - f_A(u)$ 为 u 相对于 A 的犹豫度, $\pi_A(u)$ 值越大, u 相对于 A 的未知信息越多, 称闭区间 $[t_A(u), 1 - f_A(u)]$ 为 Vague 集 A 在点 u 的 Vague 值。 $t_A(u)$ 和 $f_A(u)$ 将区间 $[0, 1]$ 中的实数与 U 中的每一个元素联系起来。即 $t_A: U \rightarrow [0, 1], f_A: U \rightarrow [0, 1]$, 且 $0 \leq t_A(u) + f_A(u) \leq 1$ ^[17]。

1) 当 U 是连续的时候, Vague 集 A 可表示为

$$A = \int_U [t_A(u), 1 - f_A(u)] / u du \quad u \in U \quad (4)$$

2) 当 U 是离散的时候, Vague 集 A 可表示为

$$A = \sum_{i=1}^m [t_A(u_i), 1 - f_A(u_i)] / u_i \quad u_i \in U \quad (5)$$

式中 $t_A(u) + f_A(u) \leq 1$ 。若 $t_A(u) = 1 - f_A(u)$, 则 Vague 集退化为 Fuzzy 集。

2.2 Vague 集的应用

按照经典模糊综合评价模型的分析思路, 给出 Vague 集的应用步骤如下^[18]。

步骤 1, 对每个风险因素设定相应等级的评语集。评语集是由评审人对风险因素强弱给出的一种语言描述集合。根据高层建筑火灾风险评价的实际情况, 将各个评价指标的等级分为五级, 即 $V = \{\text{一级}, \text{二级}, \text{三级}, \text{四级}, \text{五级}\} = \{\text{高风险}, \text{较高风险}, \text{中等风险}, \text{较低风险}, \text{低风险}\}$; 同时邀请一定数量的专家选择合适的语言变量来表达评价意见。

步骤 2, 确定所有评价指标的权重。按照上文 1.2 节方法, 基于 IAHP 赋权重。

步骤 3, 构造 Vague 集评价矩阵。设评价指标 C_i 的二级指标 C_{ij} 的抉择评价集为 $V_k (k=1, 2, 3, 4, 5)$, 对其构造评价指标集 C 和 V 之间的 Vague 集评价矩阵为

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & r_{i13} & r_{i14} & r_{i15} \\ r_{i21} & r_{i22} & r_{i23} & r_{i24} & r_{i25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{in1} & r_{in2} & r_{in3} & r_{in4} & r_{in5} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中: r_{ijk} 表示二级指标 C_{ij} 关于评价集的相应评价, $r_{ijk} = [t_{ijk}, 1-f_{ijk}]$, 需组织专家针对每个指标按照评语集给予相应选择, 再对专家的选择结果归一化处理即可得到 t_{ijk} 、 $1-f_{ijk}$ 的值。组织一定数量的相关专家针对方案层每个指标按照评语集逐一进行选择, 为了更加真实地表示专家的犹豫度, 允许其选择放弃评价。例如有 10 位专家对防火门风险因素评价, 若 2 人选择较高风险, 5 人选择了中等风险, 2 人选择了较低风险, 1 人放弃评价, 则 $r_{11} = (r_{111}, r_{112}, r_{113}, r_{114}, r_{115}) = ([0.0, 0.1], [0.2, 0.3], [0.5, 0.6], [0.2, 0.3], [0.0, 0.1])$, 其他因素的评语可依此类推。

步骤 4, 根据风险因素的权重 w_i 和 Vague 集评价矩阵 R , 对各指标 C_{ij} 进行基于 Vague 集的综合评价

$$V_i = W_i \otimes R \quad (7)$$

式中: V_i 为抉择评语集 V 上的等级 Vague 集子集; “ \otimes ” 为 Vague 集矩阵相乘的运算符号, 具体运算规则如下

$$\text{数乘运算: } k \otimes A = [kt_A, k(1-f_A)], k \in (0, 1) \quad (8)$$

$$\text{乘法运算: } A \otimes B = [t_A t_B, (1-f_A)(1-f_B)] \quad (9)$$

$$\text{有限和运算: } A \oplus B = [\min\{1, t_A + t_B\}, \min\{1, (1-f_A) + (1-f_B)\}] \quad (10)$$

b_{ik} 表示等级 V_k 对综合评价所得等级 Vague 集 B_i 的评价值, 根据上述 Vague 集计算规则, 其值为

$$b_{ik} = [\min\left\{1, \sum_{j=1}^n W_{ij} t_{R_{ijk}}\right\}, \min\left\{1, \sum_{j=1}^n W_{ij} (1-f_{R_{ijk}})\right\}] \quad (11)$$

步骤 5, 基于 Vague 集排序计算最终的综合评价结果。若指标 $C_i = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$ 的权重向量为 W , 则 C_i 的总 Vague 集模糊评价矩阵为

$$P = W \otimes R \quad (12)$$

则最终得到的 Vague 集评价向量 $P = (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)$, 其中 $p_i = [t_{p_i}, 1-f_{p_i}]$ 。Vague 集的排序规则为: 设 $a = [a^-, a^+]$, $b = [b^-, b^+]$, 若 $[a^-, a^+]/2 \leq [b^-, b^+]/2$, 则 $a \leq b$ 。最后按照隶属度最大原则即可得到最终综合评价结果, 从而确定高层建筑火灾风险等级。

3 实证分析

3.1 工程概况

选取江西省南昌市红谷滩新区某住宅小区 6# 楼为案例分析的对象。该住宅小区 1#、2#、3#、5#、6#、7# 楼均为 24 至 30 层一类高层住宅建筑, 另有 22 栋多层住宅及商业楼, 幼儿园为 2 层建筑, 地下室为设备用房和人防地下车库。总建筑面积 175 858.82 m², 其中地下室建筑面积 39 818 m², 容积率 2.00, 建筑密度 28.35%, 绿地率 35.16%。

6# 住宅楼于 2012 年正式投入使用, 其地上 25 层, 地下 1 层, 建筑占地面积 358.67 m², 建筑面积 9 454.16 m², 建筑高度 77.8 m, 为一般高层。该建筑采用现浇钢筋混凝土剪力墙结构, 剪力墙抗震等级为四级。地下室采用主楼下为剪力墙结构, 其余为框架结构。该建筑结构的安全等级为二级, 结构设计使用年限为 50 年, 建筑构件的耐火等级为一级, 建筑物所用材料的燃烧性能和耐火极限均不低于相应耐火等级的防火规范要求。室外消火栓按距离不大于 40 米设置, 室内消火栓系统分区为地下室为低压区, 地上一层及以上为高压区。

3.2 IAHP 法确定指标权重

首先邀请 20 位有经验的专家对表 1 所列的评价指标进行两两比较, 通过适当的方法进行信息合成后, 分层逐一建立区间判断矩阵, 检查一致性并按照 IEM 法求权重(以消防管理水平(N_3)对其所属二级指标的判断矩阵为计算示例)

$$N_5-C = \begin{bmatrix} [1,1] & [\frac{1}{7}, \frac{1}{5}] & [\frac{1}{3}, \frac{1}{2}] \\ [5,7] & [1,1] & [2,4] \\ [2,3] & [\frac{1}{4}, \frac{1}{2}] & [1,1] \end{bmatrix}$$

将 N_5-C 所示的区间数判断矩阵拆分为两个矩阵,分别为

$$N_5-C^- = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} \\ 5 & 1 & 2 \\ 2 & \frac{1}{4} & 1 \end{bmatrix} \quad N_5-C^+ = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{2} \\ 7 & 1 & 4 \\ 3 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

根据式(1)求归一化特征向量为

$$x_5^- = [0.109, 0.650, 0.241]^T \quad x_5^+ = [0.099, 0.656, 0.245]^T$$

再根据式(2)求得 $\alpha=0.928, \beta=1.069$, 代入式(3)计算得权重

$$W_{N_5-C} = (k_5 x_5^- + m_5 x_5^+) / 2 = (0.104, 0.652, 0.243)^T$$

一致性检验指标 CR 满足 $CR < 0.1$, 即满足一致性检验。按照同样的方法得到 $G-N$ 、 N_1-C 、 N_2-C 、 N_3-C 、 N_4-C 权重向量, 最后结果列入表 1。

3.3 基于 Vague 集火灾风险评价

在获得各级指标权重后, 请专家通过实地考察对该建筑二级指标层(方案层)各指标的满足程度逐一给出 Vague 集值。将原始数据进行统计和处理后得到了所有风险因素的 Vague 值评价数据如表 2 所示。

表 2 专家对各风险因素的 Vague 值评语
Tab.2 Experts' evaluation on Vague sets of each factor

准则层	方案层(风险因素)	高风险	较高风险	中等风险	较低风险	低风险
N_1	C_{11}	[0.00,0.10]	[0.20,0.30]	[0.50,0.60]	[0.20,0.30]	[0.00,0.10]
	C_{12}	[0.00,0.20]	[0.20,0.40]	[0.20,0.40]	[0.40,0.60]	[0.00,0.20]
	C_{13}	[0.00,0.20]	[0.00,0.20]	[0.20,0.40]	[0.60,0.80]	[0.00,0.20]
	C_{14}	[0.10,0.20]	[0.10,0.20]	[0.20,0.30]	[0.50,0.60]	[0.00,0.10]
	C_{15}	[0.00,0.10]	[0.20,0.30]	[0.30,0.40]	[0.40,0.50]	[0.00,0.10]
N_2	C_{21}	[0.00,0.00]	[0.00,0.00]	[0.00,0.00]	[0.00,0.00]	[1.00,1.00]
	C_{22}	[0.30,0.40]	[0.20,0.30]	[0.30,0.40]	[0.10,0.20]	[0.00,0.10]
	C_{23}	[0.20,0.30]	[0.40,0.50]	[0.30,0.40]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]
	C_{24}	[0.10,0.20]	[0.40,0.50]	[0.40,0.50]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]
N_3	C_{31}	[0.10,0.20]	[0.10,0.20]	[0.60,0.70]	[0.10,0.20]	[0.00,0.10]
	C_{32}	[0.00,0.10]	[0.40,0.50]	[0.00,0.10]	[0.50,0.60]	[0.00,0.10]
	C_{34}	[0.00,0.10]	[0.20,0.30]	[0.70,0.80]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]
	C_{34}	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]	[0.60,0.70]	[0.00,0.10]	[0.30,0.40]
	C_{35}	[0.20,0.30]	[0.50,0.60]	[0.20,0.30]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]
N_4	C_{41}	[0.10,0.20]	[0.30,0.40]	[0.40,0.50]	[0.10,0.20]	[0.00,0.10]
	C_{42}	[0.20,0.30]	[0.40,0.50]	[0.20,0.30]	[0.10,0.20]	[0.00,0.10]
	C_{43}	[0.20,0.40]	[0.00,0.20]	[0.60,0.80]	[0.00,0.20]	[0.00,0.20]
N_5	C_{51}	[0.20,0.30]	[0.70,0.80]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]
	C_{52}	[0.00,0.10]	[0.20,0.30]	[0.60,0.70]	[0.20,0.30]	[0.00,0.10]
	C_{53}	[0.20, 0.30]	[0.50,0.60]	[0.20,0.30]	[0.00,0.10]	[0.00,0.10]

根据式(7)将 W_i 和表 2 内 Vague 集评价矩阵 R_i 相乘,遵循式(8)~式(10)的计算规则,便可分别求出一级指标对其所属二级指标的 Vague 集评语(见表 3)。

表 3 一级指标的 Vague 集评语
Tab.3 Evaluation on Vague sets of the first level indicators

目标层	准则层	高风险	较高风险	中等风险	较低风险	低风险
G	N_1	[0.009,0.159]	[0.156,0.305]	[0.288,0.438]	[0.402,0.551]	[0.000,0.150]
	N_2	[0.062,0.125]	[0.189,0.251]	[0.199,0.262]	[0.110,0.172]	[0.443,0.505]
	N_3	[0.067,0.168]	[0.182,0.282]	[0.470,0.570]	[0.097,0.197]	[0.087,0.187]
	N_4	[0.155,0.279]	[0.254,0.377]	[0.407,0.533]	[0.074,0.198]	[0.0000,0.124]
	N_5	[0.070,0.170]	[0.325,0.425]	[0.440,0.540]	[0.130,0.230]	[0.000,0.100]

由上述结果和各一级指标的组合权重,根据式(12),求得该高层建筑火灾风险评价的 Vague 集评价值 $P=[(0.068, 0.176), [0.212, 0.320], [0.349, 0.458], [0.177, 0.286], [0.115, 0.224)]$ 。按 Vague 集的排序规则发现,隶属度从大到小排序依次为:中等风险 >较高风险>较低风险>高风险>低风险,评价 Vague 集对应评语“中等风险”的隶属度最大,根据最大隶属度原则可知,此高层住宅楼的火灾危险等级为“中等风险”,即为第 3 级,属于国内建筑消防水平的普通水平。同时,排在第 2 位的“较高风险”的隶属度大于排在第 3 位“较低风险”的隶属度,说明此高层建筑楼的火灾风险性有向较高风险等级发展的趋势。

3.4 结果分析

从表 1 可知,在影响该高层建筑火灾风险的各因素中,建筑物防火能力、灭火能力和安全疏散能力指标权重较大,说明这 3 项指标对火灾风险影响较大。该高层建筑在日常火灾风险管理工作中应当加强这 3 个方面的管理检测力度,保障高层建筑消防安全。

由 $N_1=[(0.009, 0.159), [0.156, 0.305], [0.288, 0.438], [0.402, 0.551], [0.00, 0.150)]$ 可知,该建筑防火能力指标在第 4 级的隶属度最大,该指标的火灾风险评价为“较低风险”。这表明了该高层建筑防火能力方面做得比较规范。主要是因为该建筑物防火设计建筑分类为一类,耐火等级为一级,在防火分区、建筑结构等方面都做了很多有效的消防设计。

由 $N_2=[(0.062, 0.125), [0.189, 0.251], [0.199, 0.262], [0.110, 0.172], [0.443, 0.505)]$ 可知,该建筑灭火能力指标在第 5 级的隶属度最大,即火灾风险评价处于“低风险”等级,表明该建筑物的建筑灭火能力指标上是低风险的,符合国家相关要求。

由 $N_3=[(0.066, 0.168), [0.182, 0.282], [0.470, 0.570], [0.097, 0.197], [0.087, 0.187)]$ 可知,消防安全及疏散指标在第 3 级的隶属度远大于其它等级的隶属度,该指标的风险评价在第 3 级上。说明该建筑的消防安全及疏散处在“中等风险”等级,还有较大的进步空间,应确保疏散标志清晰、疏散通道畅通、应急照明系统可靠,以保证人员安全撤离。

由 $N_4=[(0.155, 0.279), [0.254, 0.377], [0.407, 0.533], [0.074, 0.198], [0.000, 0.124)]$ 和 $N_5=[(0.070, 0.170), [0.325, 0.425], [0.440, 0.540], [0.130, 0.230], [0.000, 0.100)]$ 可知,该建筑消防管理和消防施救设施风险处于“中等风险”。但是,排在第 2 位的“较高风险”的隶属度明显大于排在第 3 位“较低风险”的隶属度,说明此高层建筑的消防管理和消防施救设施风险有向“较高风险”等级发展的趋势。需要在落实安全管理制度、改善消防施救设施,提高安全管理水平等方面改进。在消防管理方面,消防控制室须有专门人员值班,定期进行火灾隐患的排查,开展安全防火教育及培训,增强人员消防安全意识及自救能力。在消防施救设施方面,建议该高层建筑应设一个长边消防车道,扑救面和登高作业场地,消防车道直线设置。同时,有必要建立专职消防救援队,提高自身消防救援能力。

4 结语

高层建筑火灾风险评价是一个典型的多目标模糊决策问题。在对风险因素对综合评价影响程度进行衡量时,提出了 IAHP 法,合理地解决了专家可能在两两比较时决策的不确定性和判断的模糊性。同时,为了避免传统模糊集理论信息不全面,易损失中间值等缺点,引入了具有更全面的信息刻画能力的 Vague 集理论。Vague 集同时包含了肯定与否定 2 个方面的信息,且其既能反映整体评价结果,还能对各个指标的隶属程度进行恰当反映,从而建立了一个科学的高层建筑火灾风险定量评价模型。实例分析表明,该模型适用于高层建筑火灾风险的评价,具有一定的可行性和科学性,可以作为一般高层建筑进行火灾风险评价的依据。

参考文献:

- [1] 王栗. 基于灰色关联度分析的高层建筑火灾风险评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(8): 83-89.
- [2] 段美栋, 姜东民, 丁伶, 等. FANP-BP 高层建筑火灾风险评估模型及应用[J]. 消防科学与技术, 2015, 34(11): 1530-1533.
- [3] 辛晶, 夏登友, 庞西磊, 等. 基于云理论的高层建筑火灾风险评估[J]. 消防科学与技术, 2011, 30(3): 258-261.
- [4] 张立宁, 张奇, 安晶, 等. 高层民用建筑火灾风险综合评估系统研究[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(5): 20-24.
- [5] 陈骥, 邹树梁, 唐德文, 等. 基于灰色关联度的集对分析方法在高层建筑火灾危险性评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(5): 136-141.
- [6] 刘云芬. 高层建筑火灾风险的二级可变模糊评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(3): 165-169.
- [7] 李小菊, 程奉梅, 宋云龙. 基于模糊事故树与区间层次分析法耦合的高层建筑火灾风险研究[J]. 消防技术与产品信息, 2015(3): 7-11.
- [8] GAU WL, BUEHRER DJ. Vague sets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1993, 23(2): 610-614.
- [9] LIU M, LO S M, HU B Q, et al. On the use of fuzzy synthetic evaluation and optimal classification for computing fire risk ranking of buildings[J]. Neural Comput & Applic, 2009(18): 643-652.
- [10] 龙腾腾, 王辉东, 王秋华, 张辉. 高层建筑火灾事故致因理论模型构建研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(5): 16-20.
- [11] 丁敏, 崔琳. 基于灰色层次分析的高层建筑火灾隐患评估[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(2): 158-162.
- [12] 上少军. 模糊综合评价方法在高层建筑防火安全评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2012(8): 167-170.
- [13] 丁元春, 翁发禄, 唐敏康. 基于突变理论的高层建筑火灾安全综合评价[J]. 建筑科学, 2012(2): 2-25.
- [14] 方正, 陈娟娟, 谢涛, 等. 基于聚类分析和 AHP 的商场类建筑火灾风险评估[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2015(3): 442-447.
- [15] 曹功立. 基于 FAHP——FCE 模型的高层建筑火灾风险评估研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [16] MA CHUN JIE, CAO GONG LI. An application of the FAHP to high-rise building fire risk indexes analyzing[J]. Advanced Materials Research, 2011, 63: 19-6329.
- [17] CHEN S M, TAN J M. Handling multi-criteria fuzzy decision-making problems based on Vague sets theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 67(1): 163-172.
- [18] 易欣. 基于 ANP 与 Vague 集的工程项目风险评价方法改进[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(2): 9-15.

Fire Risk Evaluation of High-Rise Buildings Based on IAHP and Vague Sets

Yang Siling, Jiang Genmou

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to carry out fire risk evaluation on the high-rise building, based on the characteristics of fire risk in high-rise buildings, an index evaluation system of fire risk in high-rise buildings is established from five aspects including fire prevention system, fire extinguishing system, safety evacuation, fire rescue facility and fire safety management. A melioration fuzzy comprehensive evaluation model for high-rise building fire risk assessment is then established by use of the interval analytic hierarchy process (IAHP) with all indices' weights in proper place and the Vague sets theory. Finally, the corresponding empirical analysis is conducted so as to verify the theory concerned. Results prove that the proposed method can accurately and effectively reflect the actual situation of the high-rise building fire risk.

Key words: high-rise building; fire; risk evaluation; interval analytic hierarchy process (IAHP); Vague sets

(责任编辑 姜红贵)