

中文引用格式:孙斌,李浩,毛占利,等. 基于序关系分析法的大型综合体火灾风险评估[J]. 中国安全科学学报,2025,35(2):81-88.

英文引用格式:SUN Bin, LI Hao, MAO Zhanli, et al. Fire risk assessment of large complex based on order relation analysis method[J]. China Safety Science Journal, 2025,35(2):81-88.

## 基于序关系分析法的大型综合体火灾风险评估\*

孙斌 副教授, 李浩, 毛占利 教授, 柏子聪, 刘彦谦

(中国人民警察大学 防火工程学院, 河北 廊坊 065000)

中图分类号:X932

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.02.0202

基金项目:河北省自然科学基金资助(G2021507001);中国人民警察大学重点专项课题(ZDZX202401)。

**【摘要】** 为准确识别和评估城市中大型综合体的火灾风险,从建筑防火、消防设施、电气防火、消防安全管理、应急处置与联动、消防技术服务6个维度构建包含32个二级指标的火灾风险评估指标体系;采用序关系分析法获得各指标的主观权重,引用熵权法确定各指标的客观权重,基于博弈论组合赋权法确定各指标的组合权重,并应用云模型理论量化分析某市大型综合体的火灾风险。结果表明:该模型不仅能够避免指标权重的主观局限性,还能考虑评估过程中的模糊性和随机性;该大型综合体的主要风险来自于消防技术服务和应急处置与联动,需采取相应的措施防患于未然;评价结果与实际情况相符,验证了该模型在大型综合体火灾风险评估的可行性。

**【关键词】** 大型综合体; 火灾风险评估; 序关系; 熵权法; 云图

### Fire risk assessment of large complex based on order relation analysis method

SUN Bin, LI Hao, MAO Zhanli, BAI Zicong, LIU Yanqian

(School of Fire Protection Engineering, China People's Police University, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** To accurately identify and evaluate the fire risk in large-scale urban complexes, a fire risk assessment indicators system was constructed, consisting of 32 secondary indicators across six dimensions: building fire protection, fire protection facilities, electrical fire prevention, fire safety management, emergency response and coordination, and fire protection technical services. The order relation method was employed to determine the subjective weights of each indicator, while the entropy weight method was used to calculate the objective weights. Subsequently, a game-theory-based combined weighting approach was utilized to derive integrated weights, and a cloud model was applied to quantitatively analyze the fire risk of a large complex in a specific city. The results demonstrate that this combining model not only mitigates the subjectivity limitations in indicator weighting but also accounts for the fuzziness and randomness in the evaluation process. The primary risks of the large complex stem from fire protection technical services as well as emergency response and coordination, requiring preventive measures. Furthermore, the evaluation results are consistent with the actual situation, validating the feasibility of the proposed model in assessing fire risks for large-scale urban complexes.

**Keywords:** large complexes; fire risk assessment; order relation; entropy weight method; cloud chart

# 0 引言

城市中大型综合体因其体量庞大、功能复杂及人员密集,一旦发生火灾,不仅极易造成众多人员伤亡,还可能导致巨额经济损失和重大社会影响。因此,有必要研究大型综合体火灾风险,以此强化消防安全管理,减少火灾带来的损失。

当前,国内外对大型综合体火灾风险评估进行了广泛研究。FANG Zheng 等<sup>[1]</sup>结合聚类与层次分析法评估了大型商场的火灾风险;LIU Fang 等<sup>[2]</sup>借助结构熵权法量化了大型商业建筑的火灾风险;LI Shiyu 等<sup>[3]</sup>基于灰色风险度法、层次分析法及模糊评价法,比对研究了 5 栋高层建筑火灾风险。WANG Yongyu 等<sup>[4]</sup>利用故障树分析法和层次分析法探讨了商业综合体的火灾隐患与环境风险;ISHOLA 等<sup>[5]</sup>应用改进方法评估了南非商业综合体的火灾风险;WANG Yijie 等<sup>[6]</sup>提出了基于模糊层次分析法和耦合修正的大型商业及高层建筑火灾风险评估模型;ZOU Quanle 等<sup>[7]</sup>使用安全检查表和结构熵权法建立了商场火灾风险评估模型;李英攀等<sup>[8]</sup>将层次分析法和熵权法结合以确定组合权重,并通过物元变换评估了大型综合体的火灾风险;张立宁等<sup>[9]</sup>运用文献综述法、未确知测度理论及熵权理论评估了地下商业综合体的火灾风险;肖国清等<sup>[10]</sup>结合贝叶斯网络、改进的火灾关联法和层次分析法提出了“双主线”大型城市综合体火灾风险评估模型;秦荣水等<sup>[11]</sup>应用模糊贝叶斯网络量化分析了城市商业综合体的火灾风险。

上述研究多采用单一的赋权方法,导致评估结果往往过于主观或过于依赖客观数据,缺乏全面性和科学性。大型综合体的火灾风险评估,不仅要考虑多种信息交融带来的不确定性问题,还需避免评估过于绝对化。鉴于此,笔者拟利用序关系分析法计算出主观权重,再用熵权法计算客观权重,随后结合博弈论算出组合权重,最后应用于云模型框架内,以期更为准确、可靠地评估大型综合体的火灾风险。

## 1 大型综合体火灾风险评估指标体系

大型综合体内部功能的复杂性和差异性对火灾风险评估提出了更高要求。例如:餐饮场所和仓储场所区存在更多火灾隐患,需更高效的灭火设施和更严格的防火分隔,KTV 等歌舞娱乐游艺场所则需特别注意电气火灾的风险,而电影院的安全疏散需求又与商业区有所不同。此外,各功能区的使用性

质和人员密度使得火灾应急预案和联动机制的制定更加复杂。这些功能的特殊性不仅增加了火灾预防和应对的难度,也对消防设施的配备和维护提出了更高要求。从 6 个维度建立的大型综合体火灾风险评估指标体系见表 1。

表 1 火灾风险评估指标体系

Table 1 Fire risk assessment indicator system

一级指标	二级指标	编制依据
建筑防火 $B_1$	耐火等级 $C_{11}$	文献[13-16]
	防火分隔 $C_{12}$	
	总平面布局与平面布置 $C_{13}$	
	建筑外保温 $C_{14}$	
	建筑内部装饰 $C_{15}$	
	安全疏散 $C_{16}$	
	避难设施 $C_{17}$	
消防设施 $B_2$	消防供水设施 $C_{21}$	文献[17-20]
	消火栓系统 $C_{22}$	
	自动喷水灭火系统 $C_{23}$	
	火灾自动报警系统 $C_{24}$	
	防烟排烟系统及通风、空调系统防火 $C_{25}$	
	建筑灭火设施配置与布置 $C_{26}$	
	消防电梯 $C_{27}$	
电气防火 $B_3$	消防电源 $C_{31}$	文献[12-13]
	消防配电 $C_{32}$	
	用电设施 $C_{33}$	
	电气火灾监控体系 $C_{34}$	
	防静电设施 $C_{35}$	
消防安全管理 $B_4$	单位消防安全职责 $C_{41}$	文献[12]和[21]
	消防安全责任人的职责 $C_{42}$	
	消防安全管理人的职责 $C_{43}$	
	部门负责人和员工职责 $C_{44}$	
	经营人员职责 $C_{45}$	
应急处置与联动 $B_5$	消防控制室值班员职责 $C_{46}$	文献[12]和[22]
	预案编制 $C_{51}$	
	预案演练 $C_{52}$	
	预案的宣贯和完善 $C_{53}$	
消防技术服务 $B_6$	联动机制的建立和运行 $C_{54}$	文献[22-24]
	建筑消防设施监测 $C_{61}$	

## 2 大型综合体火灾风险评估

以某地处城市商业中心的大型综合体为评价对象。邀请 4 位大型综合体消防管理人员和 4 位消防安全领域相关研究专家根据其经验,通过反复集中讨论对该大型综合体的指标序关系排序,并对评估体系中的二级指标打分。

2.1 序关系分析法确定主权重

2.1.1 序关系赋值表的建立

评估指标集  $\{X_1, X_2, \dots, X_l\}$  中,若评估指标  $X_i(i = 1, 2, \dots, l)$  的重要性程度高于  $X_j(j = 1, 2, \dots, l$  且  $j \neq i)$ ,则记为  $X_i \geq X_j$ ,序关系排序为: $X_1^* \geq X_2^* \geq \dots \geq X_l^*$ 。设  $X_k^*$  为指标的重要程度,相邻指标  $X_{k-1}^*$  与  $X_k^*$  的重要程度之比为  $R_k, R_k$  赋值标准采用比例标度<sup>[25]</sup>。各指标序关系赋值见表 2。

$$R_k = X_{k-1}^* / X_k^* (k = l, l - 1, \dots, 2) \quad (1)$$

表 2 指标序关系赋值与主权重

Table 2 Indicator order relation assignment and subjective weighting

一级指标	一级指标序关系值 $R_k$	一级指标主权重 $\omega_k$	二级指标	二级指标序关系值 $R_k$	二级指标主权重 $\omega_k$
$B_1$	1.0	0.09	$C_{11}$	1.0	0.06
			$C_{12}$	1.2	0.08
			$C_{13}$	1.1	0.09
			$C_{14}$	1.3	0.11
			$C_{15}$	1.4	0.16
			$C_{16}$	1.3	0.21
			$C_{17}$	1.4	0.29
$B_2$	1.1	0.10	$C_{21}$	1.0	0.06
			$C_{22}$	1.1	0.07
			$C_{23}$	1.3	0.09
			$C_{24}$	1.2	0.11
			$C_{25}$	1.5	0.16
			$C_{26}$	1.3	0.21
			$C_{27}$	1.4	0.3

续表 2

$B_3$	1.2	0.11	$C_{31}$	1.0	0.1
			$C_{32}$	1.4	0.14
			$C_{33}$	1.2	0.16
			$C_{34}$	1.6	0.26
			$C_{35}$	1.3	0.34
$B_4$	1.3	0.15	$C_{41}$	1.0	0.09
			$C_{42}$	1.2	0.11
			$C_{43}$	1.1	0.12
			$C_{44}$	1.3	0.16
			$C_{45}$	1.4	0.22
			$C_{46}$	1.4	0.3
$B_5$	1.4	0.21	$C_{51}$	1.0	0.19
			$C_{52}$	1.1	0.21
			$C_{53}$	1.3	0.27
			$C_{54}$	1.2	0.33
$B_6$	1.6	0.34	$C_{61}$	1.0	0.25
			$C_{62}$	1.4	0.34
			$C_{63}$	1.2	0.41

2.1.2 主观权重的计算

主权重直接反映专家对大型综合体火灾风险的主观评估,各指标的主观权重  $\omega_k$  表示为:

$$\omega_k = \left( 1 + \sum_{k=2}^l \prod_{i=k}^l R_i \right)^{-1} \quad (2)$$

$$\omega_{k-1} = R_k \cdot \omega_k (k = m, m - 1, \dots, 2) \quad (3)$$

由表 2 可知各指标的主观权重计算结果  $\omega_k$ 。一级指标权重与二级指标权重相乘为二级指标相对于评估目标的主观权重  $\omega_i$ ,结果见表 3。

表 3 二级指标评估数值与指标权重系数

Table 3 Secondary indicator assessment values and indicator weight coefficients

评估指标	专家								平均分 $F_i$	相对 $\omega_i$	信息熵 $e_j$	客观权重 $\omega_j$	组合权重 $\omega'$
	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7	专家 8					
$C_{11}$	9	7	8	8	8	8	8	8	8.000	0.003	0.301	0.029	0.005
$C_{12}$	9	8	8	9	8	8	9	8	8.375	0.004	0.311	0.029	0.006
$C_{13}$	9	8	8	9	8	8	9	8	8.375	0.006	0.311	0.029	0.008
$C_{14}$	8	8	9	9	8	9	9	8	8.500	0.008	0.314	0.028	0.010
$C_{15}$	9	9	8	8	8	7	9	9	8.375	0.012	0.310	0.029	0.013
$C_{16}$	9	9	8	9	8	9	9	8	8.500	0.021	0.314	0.028	0.022
$C_{17}$	9	9	8	9	8	9	9	8	8.625	0.036	0.317	0.028	0.035
$C_{21}$	7	7	8	8	7	8	7	7	7.375	0.004	0.285	0.030	0.006
$C_{22}$	7	8	8	7	7	8	8	8	7.625	0.005	0.291	0.029	0.007
$C_{23}$	7	8	7	8	6	8	8	7	7.375	0.008	0.284	0.030	0.010
$C_{24}$	8	8	7	8	8	8	7	8	7.750	0.013	0.295	0.029	0.015
$C_{25}$	9	7	8	7	8	8	7	8	7.750	0.018	0.294	0.029	0.019

续表 3

评估指标	专家								平均分 $F_i$	主观权重 $\omega_i$	信息熵 $e_j$	客观权重 $\omega_j$	组合权重 $\omega'$
	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	专家 5	专家 6	专家 7	专家 8					
$C_{26}$	8	8	8	8	8	8	7	8	7.875	0.028	0.298	0.029	0.028
$C_{27}$	7	7	7	8	7	8	8	8	7.500	0.050	0.288	0.030	0.048
$C_{31}$	5	4	4	4	6	6	5	6	5.000	0.013	0.215	0.033	0.014
$C_{32}$	4	5	6	4	5	4	5	6	4.875	0.018	0.211	0.033	0.020
$C_{33}$	4	5	5	6	4	4	5	5	4.750	0.029	0.207	0.033	0.030
$C_{34}$	4	5	6	5	6	6	6	5	5.375	0.044	0.227	0.033	0.043
$C_{35}$	5	5	6	4	4	4	6	5	4.875	0.057	0.211	0.033	0.055
$C_{41}$	5	6	6	4	5	5	5	4	5.000	0.019	0.215	0.033	0.021
$C_{42}$	5	6	6	5	5	4	5	4	5.000	0.019	0.215	0.033	0.021
$C_{43}$	6	5	5	6	5	4	5	5	5.125	0.027	0.219	0.032	0.028
$C_{44}$	5	4	5	4	4	5	5	5	4.625	0.035	0.204	0.033	0.035
$C_{45}$	5	5	4	4	5	4	5	6	4.750	0.039	0.207	0.033	0.038
$C_{46}$	4	4	5	5	5	6	5	5	4.875	0.058	0.212	0.033	0.056
$C_{51}$	4	5	4	5	5	4	4	4	4.375	0.042	0.196	0.033	0.040
$C_{52}$	5	4	4	5	4	4	5	5	4.500	0.046	0.200	0.033	0.045
$C_{53}$	5	4	5	4	5	4	4	4	4.375	0.055	0.196	0.033	0.053
$C_{54}$	4	4	4	4	4	5	5	5	4.375	0.072	0.195	0.033	0.068
$C_{61}$	4	4	5	4	4	4	4	3	4.000	0.063	0.183	0.033	0.060
$C_{62}$	4	4	4	4	5	4	4	4	4.125	0.069	0.187	0.033	0.066
$C_{63}$	4	4	4	5	5	4	4	3	4.125	0.083	0.187	0.033	0.078

### 2.2 熵权法确定客观权重

熵权法基于信息熵原理,通过量化指标差异性确定权重,信息熵越低,指标的重要性越高<sup>[26]</sup>,该方法有效减少了专家判断中的主观偏差,具有合理可行性。

#### 2.2.1 数据收集

将评估体系中二级指标的平均分  $F_i$  作为该指标的评估值。

#### 2.2.2 客观权重的计算

各专家评分所占的比重  $p_{ij}$ 、信息熵  $e_j$  和各指标的客观权重  $\omega_j$  分别表示为:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (5)$$

$$\omega_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (6)$$

式中: $x_{ij}$  为专家  $i$  对指标  $j$  的评分; $e_j$  反映指标数据的均匀程度,根据信息熵计算结果见表 3。

### 2.3 博弈论组合赋权

将相对主观权重  $\omega_i = [\omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{im}]$  和客观权重  $\omega_j = [\omega_{21}, \omega_{22}, \dots, \omega_{2m}]$  视为博弈双方,通过博弈论的原理分配两者之间的权重比例<sup>[27]</sup>。

利用矩阵微分性质,将该问题转化为最优化一

阶导数条件的线性方程组,求得线性组合系数  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ 。将  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别归一化处理,得到最优组合系数  $\lambda'_1$  和  $\lambda'_2$ 。通过下式计算组合权重  $\omega'$ 。主客观权重的综合结果见表 3。

$$\begin{bmatrix} \omega_i \omega_i^T & \omega_i \omega_j^T \\ \omega_j \omega_i^T & \omega_j \omega_j^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_i \omega_i^T \\ \omega_j \omega_j^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \lambda'_1 = \frac{|\lambda_1|}{|\lambda_1| + |\lambda_2|} \\ \lambda'_2 = \frac{|\lambda_2|}{|\lambda_1| + |\lambda_2|} \end{cases} \quad (8)$$

$$\omega' = \lambda'_1 \omega_i + \lambda'_2 \omega_j \quad (9)$$

### 2.4 云模型的建立

#### 2.4.1 构建标准云

在吸纳专家建议基础上,结合文献[28-29],将大型综合体火灾风险评估结果划分为安全、较安全、一般安全、较危险、危险 5 个等级,并划分区间。设超熵  $H_{e_0} = 0.06$ <sup>[30]</sup>,标准云参数表示为:

$$\begin{cases} E_{x_0} = \frac{Q_{\min} + Q_{\max}}{2} \\ H_{e_0} = 0.06 \\ E_{n_0} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{2.355} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $Q_{\min}$  和  $Q_{\max}$  分别为评估区间的上下限; $E_{x_0}$  为期望值; $E_{n_0}$  为熵。表 4 为标准云参数计算结果。

表 4 标准云参数

Table 4 Standard cloud parameters

评估等级	等级描述	评估区间	期望值	熵	超熵
I 级	危险	[0,2)	1	0.85	0.06
II 级	较危险	[2,4)	3	0.85	0.06
III 级	一般安全	[4,6)	5	0.85	0.06
IV 级	较安全	[6,8)	7	0.85	0.06
V 级	安全	[8,10)	9	0.85	0.06

表 5 各指标的云参数

Table 5 Cloud parameters of each indicator

一级指标	$(E_x, E_n, H_e)$	二级指标	$(E_x, E_n, H_e)$		
$B_1$	(8.49, 0.06, 0.53)	$C_{11}$	(8.00, 0.31, 0.13)		
		$C_{12}$	(8.38, 0.59, 0.52)		
		$C_{13}$	(8.38, 0.59, 0.52)		
		$C_{14}$	(8.50, 0.63, 0.56)		
		$C_{15}$	(8.38, 0.78, 0.55)		
		$C_{16}$	(8.50, 0.63, 0.56)		
		$C_{17}$	(8.63, 0.59, 0.52)		
$B_2$	(7.60, 0.07, 0.50)	$C_{21}$	(7.38, 0.59, 0.52)		
		$C_{22}$	(7.63, 0.59, 0.52)		
		$C_{23}$	(7.38, 0.78, 0.55)		
		$C_{24}$	(7.75, 0.47, 0.42)		
		$C_{25}$	(7.75, 0.71, 0.50)		
		$C_{26}$	(7.88, 0.27, 0.24)		
		$C_{27}$	(7.50, 0.63, 0.56)		
		$B_3$	(5.00, 0.13, 0.47)	$C_{31}$	(5.00, 0.94, 0.39)
				$C_{32}$	(4.88, 0.82, 0.44)
				$C_{33}$	(4.75, 0.71, 0.50)
$C_{34}$	(5.38, 0.78, 0.55)				
$C_{35}$	(4.88, 0.82, 0.44)				
$B_4$	(4.86, 0.12, 0.40)	$C_{41}$	(5.00, 0.63, 0.26)		
		$C_{42}$	(5.00, 0.63, 0.26)		
		$C_{43}$	(5.13, 0.55, 0.36)		
		$C_{44}$	(4.63, 0.59, 0.52)		
		$C_{45}$	(4.75, 0.71, 0.50)		
		$C_{46}$	(4.88, 0.55, 0.36)		
$B_5$	(4.40, 0.12, 0.53)	$C_{51}$	(4.38, 0.59, 0.52)		
		$C_{52}$	(4.50, 0.63, 0.56)		
		$C_{53}$	(4.38, 0.59, 0.52)		
		$C_{54}$	(4.38, 0.59, 0.52)		
$B_6$	(4.10, 0.08, 0.28)	$C_{61}$	(4.00, 0.31, 0.13)		
		$C_{62}$	(4.13, 0.27, 0.24)		
		$C_{63}$	(4.13, 0.55, 0.36)		

2.4.2 计算指标云参数和综合云参数

依据专家对该大型综合体的打分结果(采用熵权法),计算各二级指标的云参数。各一级指标的云参数及综合云参数为:

$$\begin{cases} S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right)^2 \\ E_{x_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \\ E_{n_j} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \right| \\ H_{e_j} = \sqrt{|S_j^2 - E_{n_j}^2|} \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} E_x = \frac{\sum_{j=1}^N E_{x_j} E_{n_j} \omega'_j}{\sum_{j=1}^N E_{n_j} \omega'_j} \\ E_n = \sum_{j=1}^N E_{n_j} \omega'_j \\ H_e = \frac{\sum_{j=1}^N H_{e_j} E_{n_j} \omega'_j}{\sum_{j=1}^N E_{n_j} \omega'_j} \end{cases} \quad (12)$$

式中: $S_j$ 、 $E_{x_j}$ 、 $E_{n_j}$  和  $H_{e_j}$  分别为第  $j$  个二级指标的标准差、期望值、熵值和超熵值; $N$  为二级指标个数; $\omega'_j$  为第  $j$  个二级指标的组权重; $E_x$ 、 $E_n$ 、 $H_e$  分别为综合期望值、综合熵值和综合超熵值。

各指标云参数见表 5,综合云参数结果为: $E_x = 5.41$ ,  $E_n = 0.59$ ,  $H_e = 0.45$ 。

2.4.3 云图对比

根据最大隶属度原则,对比该大型综合体火灾风险评估综合云图与标准云图中的位置确定最终评估结果可靠性方面的有效性,综合云图与标准云图如图 1 所示。评估结果显示为一般安全,安全等级较低。该大型综合体在消防技术服务和应急处置与联动 2 个方面存在明显不足,需进一步加强管理。

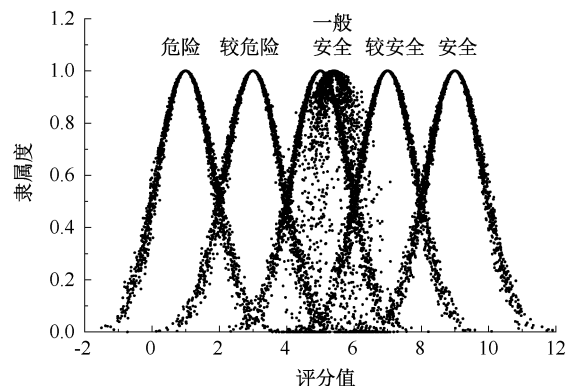


图 1 综合云图与标准云图

Fig. 1 Composite cloud diagram and standard cloud diagram

### 3 结 论

1) 从建筑防火、消防设施、电气防火、消防安全管理、应急处置与联动以及消防技术服务 6 个方面得到大型综合体火灾风险评估指标体系。

2) 基于序关系分析法,并结合博弈论的组合赋

权法,兼顾了主观与客观因素的平衡,云模型理论充分考虑了评价过程中存在的模糊性和随机性问题。

3) 某大型综合体的火灾风险评估结果为Ⅲ级,为“一般安全”;该大型综合体的消防技术服务和应急处置与联动方面存在明显的薄弱环节,建议加强相关措施。

### 参 考 文 献

- [1] FANG Zheng, CHEN Juanjuan, XIE Tao, et al. Fire risk assessment of malls based on the cluster analysis and AHP[J]. Journal of Northeastern University, 2013, 36(3): 442-447.
- [2] LIU Fang, ZHAO Shengzhong, WENG Miaocheng, et al. Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method[J]. Safety Science, 2017, 94: 26-40.
- [3] LI Shiyu, TAO Gang, ZHANG Lijing. Fire risk assessment of high-rise buildings based on gray-FAHP mathematical model[J]. Procedia Engineering, 2018, 211: 395-402.
- [4] WANG Yongyu, NI Xiaoyang, WANG Jie, et al. A comprehensive investigation on the fire hazards and environmental risks in a commercial complex based on fault tree analysis and the analytic hierarchy process[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(19): DOI: 10.3390/ijerph17197347.
- [5] ISHOLA F, OLADOKUN V, PETINRIN O, et al. A mathematical model and application for fire risk management in commercial complexes in South Africa[J]. Results in Engineering, 2020, 7: DOI: 10.1016/j.rineng.2020.100145.
- [6] WANG Yijie, HOU Linzao, LI Mian, et al. A novel fire risk assessment approach for large-scale commercial and high-rise buildings based on fuzzy analytic hierarchy process (FAPH) and coupling revision[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(13): DOI: 10.3390/ijerph18137187.
- [7] ZOU Quanle, ZHANG Tiancheng, LIU Wei. A fire risk assessment method based on the combination of quantified safety checklist and structure entropy weight for shopping malls[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 2021, 235(4): 610-626.
- [8] 李英攀, 李晓喆, 刘名强, 等. 基于物元分析的城市综合体建筑火灾风险评估研究[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2019, 53(3): 352-358, 372.
- LI Yingpan, LI Xiaozhe, LIU Mingqiang, et al. Fire risk assessment for large commercial complex based on matter element analysis[J]. Journal of Central China Normal University: Natural Sciences, 2019, 53(3): 352-358, 372.
- [9] 张立宁, 苟鹏飞, 安晶, 等. 地下商业综合体火灾风险评估[J]. 消防科学与技术, 2022, 41(3): 363-367.
- ZHANG Lining, GOU Pengfei, AN Jing, et al. Fire risk assessment of underground commercial complexes[J]. Fire Science and Technology, 2022, 41(3): 363-367.
- [10] 肖国清, 黄仁和, 邹端, 等. 大型城市综合体火灾风险评估研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(8): 137-142.
- XIAO Guoqing, HUANG Renhe, ZOU Rui, et al. Research on fire risk assessment of large urban complex[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2021, 17(8): 137-142.
- [11] 秦荣水, 石晨晨, 陈超, 等. 基于模糊贝叶斯网络的城市商业综合体火灾风险分析[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(12): 176-182.
- QIN Rongshui, SHI Chenchen, CHEN Chao, et al. Risk analysis on fire accident of urban commercial complex based on fuzzy Bayesian network[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(12): 176-182.

- [12] XF/T 3019—2023, 大型商业综合体消防安全管理规则[S].  
XF/T 3019—2023, Fire safety management rules for large commercial complexes[S].
- [13] GB 50016—2014 (2018 年版), 建筑设计防火规范[S].  
GB 50016—2014 (2018 Edition), Code for fire protection design of buildings[S].
- [14] GB 8624—2012, 建筑材料及制品燃烧性能分级[S].  
GB 8624—2012, Classification for burning behavior of building materials and products[S].
- [15] GB 50222—2017, 建筑内部装修设计防火规范[S].  
GB 50222—2017, Code for fire prevention in design of interior decoration of buildings[S].
- [16] GB/T 40248—2021, 人员密集场所消防安全管理[S].  
GB/T 40248—2021, Fire safety management of assembly occupancies[S].
- [17] GB 50974—2014, 消防给水及消火栓系统技术规范[S].  
GB 50974—2014, Technical code for fire protection water supply and hydrant systems[S].
- [18] GB 50084—2017, 自动喷水灭火系统设计规范[S].  
GB 50084—2017, Code of design for sprinkler systems[S].
- [19] GB 50116—2013, 火灾自动报警系统设计规范[S].  
GB 50116—2013, Code for design of automatic fire alarm system[S].
- [20] GB 51251—2017, 建筑防烟排烟系统技术标准[S].  
GB 51251—2017, Technical standard for smoke management systems in buildings[S].
- [21] GB 25506—2010, 消防控制室通用技术要求[S].  
GB 25506—2010, General technical requirements of fire control center[S].
- [22] GB/T 38315—2019, 社会单位灭火和应急疏散预案编制及实施导则[S].  
GB/T 38315—2019, Guidelines for preparation and implementation of fire fighting and emergency evacuation plans for workplaces[S].
- [23] XF 503—2004, 建筑消防设施检测技术规程[S].  
XF 503—2004, Testing code for fire protection systems[S].
- [24] GB 25201—2010, 建筑消防设施的维护管理[S].  
GB 25201—2010, Maintenance management for building fire equipments[S].
- [25] 任龙, 阳晓剑. 基于 G1 法的高层建筑火灾应急能力评价[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(5): 724—727.  
REN Long, YANG Xiaojian. High-rise building fire emergency capability assessment based on G1[J]. Fire Science and Technology, 2019, 38(5): 724—727.
- [26] LI Xiaojuan, ZHANG Zhou, JIM C Y. Optimizing the safety of residential quarters in China's compact cities: a safety systems engineering approach[J]. Safety Science, 2023, 163: DOI: 10.1016/j.ssci.2023.106114.
- [27] JU Weiyi, WU Jie, KANG Qingchun, et al. Fire risk assessment of subway stations based on combination weighting of game theory and TOPSIS method[J]. Sustainability, 2022, 14: DOI: 10.3390/su14127275.
- [28] XIE Shuyi, DONG Shaohua, CHEN Yinuo, et al. A novel risk evaluation method for fire and explosion accidents in oil depots using bow-tie analysis and risk matrix analysis method based on cloud model theory[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2021, 215: DOI: 10.1016/j.res.s.2021.107791.
- [29] 谢尊贤, 蔡二柱, 徐宝. 基于云模型-模糊理论的养老机构火灾安全风险预警系统[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(2): 588—598.  
XIE Zunxian, CAI Erzhu, XU Bao. Fire safety risk early warning system of elderly nursing homes based on cloud model-

fuzzy theory[J]. Journal of Safety and Environment, 2022, 22 (2): 588-598.

[30] GAO Shenyuan, HUANG Guozhong, XIANG Zhijin, et al. A novel risk assessment for cable fires based on a hybrid cloud-model-enabled dynamic bayesian network method [J]. Applied Sciences, 2023, 13 (18): DOI: 10.3390/app131810384.



作者简介: 孙斌 (1971—),男,山东淄博人,硕士,副教授,主要从事火灾风险评估、消防安全管理、智慧消防等方面的研究。E-mail: sunbin119@126.com。

## 2025 年《中国安全科学学报》征订启事

中国科技期刊卓越行动计划入选期刊  
安全科学领域高质量科技期刊分级目录 T1 级  
世界期刊影响力指数 (WJCI) Q2 区  
美国化学文摘社 (CAS) 数据库收录期刊

Scopus 收录期刊  
CSCD 核心期刊  
中国科技核心期刊  
全国中文核心期刊

学术性 权威性 应用性 信息性 国内外公开发行  
增强全民族安全科技文化意识 促进安全减灾环保科学综合发展

本刊竭诚为从事安全生产、应急管理、职业安全与卫生、防灾防损、个体防护等方面的专业人员,为注册安全工程师、科研人员、管理干部、安技人员,为高等院校有关师生,为与安全科学技术有关的专家、学者以及职业安全健康中介机构的评价师等服务。刊登主要内容有:

- 1) 安全科学基础理论和学科建设探讨,国内外安全科学进展及评述,新学科的建设及理论。
- 2) 防尘、防毒、噪声与振动控制、辐射防护、个体防护、锅炉与压力容器、防火防爆、矿业工程、机电等安全工程与职业卫生工程方面的新见解、新理论、新成果。
- 3) 矿业、冶金、建筑、交通、石化工业、能源、航空航天工业、江河海运、公路铁路运输、军工及火炸药产业、机械、水利电力、电子信息产业、有害物质储运、保险等领域的安全与卫生工程实践的新见解、新方法、新成果。
- 4) 安全系统工程、安全人机工程、安全管理科学、安全信息科学、安全人体工程学。
- 5) 安全经济学、安全教育学、安全心理学、安全生理学、安全思维学、安全行为学、安全风险学。
- 6) 应急救援、应急管理、防灾减灾、消防安全的理论与实践研究。
- 7) 安全监察理论及实践,安全伦理学,安全法学,现有安全生产、职业卫生方面的法律、法规、条例及标准研究。
- 8) 新技术应用在能量转换、交通运输、人为排放物质等领域风险辨识、风险评估、风险控制、风险后的平复等理论和实践,风险中人的作用研究,重大危险源的评估理论及实践。
- 9) 企业安全生产管理及企业(行业)安全与健康评价理论的探讨及实践,企业安全文化、职业安全健康管理体系等。
- 10) 安全文化、安全哲学、安全史学、安全社会学的研究与实践。

《中国安全科学学报》(CN 11-2865/X;ISSN 1003-3033;CODEN ZAKXAM),全年 12 期,每月底出刊,大 16 开本,国内每册售价 40.00 元,全年 480.00 元。

【订阅方法】请将征订回执单按要求填写清楚后发送至编辑部邮箱。

联系人:秦繁华 电话:86-10-64464783  
电子信箱:cssltj@263.net 网址:www.cssjj.com.cn

【银行汇款】户名:中国职业安全健康协会  
账号:0200006309026400165  
开户行:中国工商银行股份有限公司北京惠新支行