

# 基于聚类分析和 AHP 的商场类建筑火灾风险评估

方正<sup>1</sup>, 陈娟娟<sup>1</sup>, 谢涛<sup>2</sup>, 万欣<sup>1</sup>

(1. 武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 湖北省消防总队, 湖北 武汉 430072)

**摘 要:** 根据商场类建筑的火灾特点,以半定量和定性相结合的层次分析法建立了商场类建筑火灾风险评估体系.采用专家问卷调查的方式,利用层次分析法和聚类分析确定了评估体系中的指标权重值,然后根据评分手册对指标因子进行打分,计算出火灾风险评估值,进而确定建筑物的火灾风险等级.将此体系运用到武汉某服饰商城,验证了该评价体系的实用性和可靠性.该评价体系不仅可用于我国消防评估,还可广泛用于保险等相关行业.

**关 键 词:** 商场;火灾风险评估;聚类分析;AHP;专家权重系数

中图分类号: TU 998.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)03-0442-06

## Fire Risk Assessment of Malls Based on the Cluster Analysis and AHP

FANG Zheng<sup>1</sup>, CHEN Juan-juan<sup>1</sup>, XIE Tao<sup>2</sup>, WAN Xin<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Fire Department of Hubei Province, Wuhan 430072, China. Corresponding author: CHEN Juan-juan, E-mail: A20020810@163.com)

**Abstract:** According to the fire characteristics in malls, AHP (analytic hierarchy process), which has the advantages in both semi-quantitative methods and qualitative methods, was used to establish fire risk assessment system. Through collecting expert questionnaires, the AHP and cluster analysis were integrated to calculate the index weight value in the system. According to the grading manual, this paper scored each index and calculated the values of the fire risk assessment to confirm the fire risk level of buildings. The practicability and reliability was verified by applying the assessment system in a clothing store in Wuhan. And the assessment system can be used not only in fire evaluation, but also in the insurance and others.

**Key words:** malls; fire risk assessment; cluster analysis; AHP; expert weight coefficient

随着经济的快速增长,中国商业已由以前单一的商店发展为形式多样、功能复杂的商业群,出现了大量的大型综合超市、地下商城、购物中心等.此类变化无疑对消防工作提出了新的挑战.由于近几年大型商场的重、特大火灾时有发生,人们对商业建筑的消防安全关注度持续增加.火灾风险评估对于改善消防安全环境、科学规划消防设施建设、降低火灾发生频率、减少火灾损失等具有重要意义<sup>[1]</sup>,同时它不仅可以为保险核保提供决策依据,还可以使政府、公众及单位了解其消防安全状况.

建筑火灾风险评估的主要难点就是指标体系

的确定和风险大小计算方法<sup>[2]</sup>.目前有不少学者在研究建筑火灾风险评估指标体系方面取得了可观的成果,但几乎都没有按照建筑物的使用性质来进行科学分类,如李引擎、季广其等曾将工业与民用建筑划分为四大类十二子类,但却共用一套火灾风险评估体系,这样对判断矩阵进行打分时就不能按照建筑物类别来赋值,将影响后续计算某一类建筑物指标权重的准确性.同时,目前风险大小的计算多采用打分值与权重的乘积表示,未考虑问卷的可靠性和专家背景等因素.本文根据田玉敏等<sup>[2]</sup>提出的根据建筑物的占用性质对主要的建筑类别进行划分,针对商场类建筑建立了

相应评估体系,在权重确定过程中对专家进行了排序计算,排除了个人主观因素,增加了评估结果的准确性和科学性.

# 1 基于 AHP 的火灾风险评估体系

## 1.1 层次分析法的步骤

层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)的主要步骤如图 1 所示.

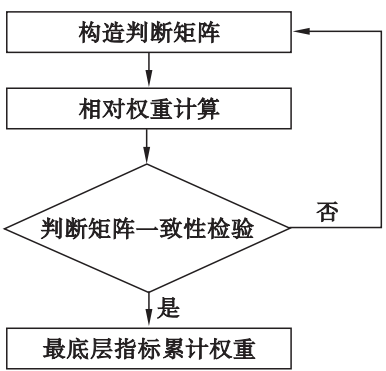


图 1 层次分析法主要流程图  
Fig. 1 Flow chart of AHP

层次分析法应用广泛,最初用于 OHS,后来 Padma 等采用层次分析法通过对肩膀和颈部的骨骼肌肉风险分析开发了一种援助系统<sup>[3]</sup>. Badri 等基于多标准评价分析方法和专家判断开发了 OHS 风险评估程序<sup>[4]</sup>,Nefeslioglu 等基于改进的 AHP 法开发了针对自然灾害的决策系统<sup>[5]</sup>. Saman 等在建设工程计划和预算的安全风险评估中采用 AHP 法<sup>[6]</sup>建立了安全评估框架.

## 1.2 层次分析法的不足与改进

层次分析法在建筑火灾风险评估体系的运用属于多指标的综合评价,主要存在以下几点不足:

1) AHP 一定程度上提高了评价的客观性,但由于因素较多,标度工作量较大,容易引起标度专家判断失误.若忽视标度专家的数量和质量,将严重影响判断矩阵的合理性.

2) AHP 建立火灾风险评估体系时,若不区分建筑物的使用性质而共用一套体系,那么专家在执行判断矩阵标度工作时会因为指标归属模糊而对指标重要程度的比较失准.

一个可靠的多指标综合评价结果依赖于科学、准确构造的判断矩阵,为此提出以下改进方法:

1) 预先对评估对象进行充分的调查和研究,挑选行业内经验丰富且能够胜任该工作的专家;问卷填写前对整个评价体系进行现场解释和说

明,并完成对问卷的筛选,增加判断矩阵中标度值的合理性;

2) 建立专门的商场类建筑的火灾风险评估体系及相应的打分手册.

## 1.3 商场类建筑的火灾风险评估体系

根据《建筑设计防火规范》GB50016—2006 防火规范及消防验收规范,筛选出指标因子,筛选原则:①火灾主因;②方便打分.将各影响因子归入评价体系,然后通过分析其相互关联作用情况,参照层次分析法的递阶层次结构将商场类建筑的评价系统分为一个目标层、三个准则层,再将剩余因素分为一级指标和二级指标.最后,将由由此建立的评估体系经几轮行业内学者专家开会修改讨论最终形成.该体系比较全面地反映了各个指标对商场类建筑进行火灾风险评估时产生的影响,同时也让一个较为复杂的评估体系层次分明,商场类建筑火灾风险评估体系模型详见图 2.

# 2 火灾风险评估体系指标权重计算

## 2.1 调查问卷

根据商场类建筑火灾评估体系模型设计了相应的专家问卷调查表,依据 Saaty<sup>[7]</sup>提出的 1~9 标度法对评估体系判断矩阵中的各指标元素进行重要程度比较,填写问卷调查表.为此分别在宜昌消防支队、黄石消防支队和武汉消防支队召开了 3 次会议,针对性地邀请了该领域中有着丰富经验的专家到会进行问卷调查的现场填写.

会议现场先向各位专家介绍评估体系指标及问卷调查表,然后由专家现场填写,问卷完成时间约为 1.5 h.此次收集调查问卷共 36 份,并对其进行编号.经过对问卷的初步筛选,去掉某些未填写完整、存在严重问题及判断矩阵一致性极差的问卷,最后整理出 26 份有效问卷.

## 2.2 专家个体排序向量

由于评估体系中的判断矩阵与判断矩阵中所需标度的指标较多,问卷数量大,导致了部分专家填写的判断矩阵无法通过一致性检验.数据处理选择 yaahp 软件(层次分析法软件),将一致性比例阈值设为 0.20,最大一致性比例设为 0.10 来调整判断矩阵.经过调整后,计算出商场类建筑火灾风险评估体系的专家个体排序向量,即每位专家的指标权重计算结果.

每位专家的个体排序向量对综合排序向量(即最终指标权重值)的影响大小,称为专家的自身权重.由于每位专家个人的经历、经验、文化背

景不相同,对评判方案了解程度的不同,以及专家自身的偏好等因素的干扰,对于同一个问题的评判很有可能产生较大的不一致,专家个体排序向量会不同,则每位专家的自身权重不同.



图 2 商场类建筑火灾风险评估体系模型  
Fig. 2 Fire risk assessment model for shopping malls

2.3 SPSS 专家聚类分析

1) 聚类分析步骤. 聚类分析 (cluster analysis)是根据事物本身的特性来研究个体与个体之间分类的方法. 聚类分析的原则是将个体中有较大相似性的归为同一类,而不同类别之间需要存在较大的差异性. 现以专家个体排序向量为样本来对专家进行分类,分类步骤为:导入专家个体排序向量数据;然后确定聚类公式;最后聚类分析,输出聚类结果.

SPSS 统计分析软件提供了多种个体样本间距离计算的方法,以及类与类间的距离计算方法<sup>[8]</sup>. 变量距离测度的公式采用广泛使用的欧式平方距离,通过对 7 种类间距离测度方法对比计算以后,选用 ward 法(离差平方和法). 因为该方法产生的孤类最少,在对专家进行归类时,不会出现数量较多的孤立专家,这样既达到了聚类的目的,同时也尽可能的让每一位专家的个体排序向量结果能够充分的参与到综合排序的计算中去.

2) 聚类分析结果. 聚类结果中,SPSS 提供的

树形图能直观地反映出聚类的全过程,在此图上用一把尺子垂直地放在图上左右移动,与尺子相交的每一根横线就是一类;每根横线左端与之联系的各观测量就是分到该类的成员. 图 3 横坐标的数字所表示的是距离,是按照比例进行了重新标定转换为 1~25 的数值,但不影响对分类结果的观察与分析. 可以看出分为 2,3,4,5 类时,类间距离都比较大,但是 5 类以上的区别就不是很明显.

通过表 1 可知,整个聚类过程中,系数从 0.002 开始变到 0.600. 起初变化不大,约为 0.01,最多为 0.03. 从第 22 阶开始,变化加剧,上下阶系数变化幅度为 0.06,说明前面阶段做的聚类比较稳定,而到了第 23 阶时就不稳定了,故聚类在 22 阶终止. 21 阶是 10 和 11 的聚类,10 和 11 应该作为一类. 22 阶是 2 和 18 的聚类,结合树状图坐标值,10 和 11,2 和 18 都在 10~15 这个距离阶段里. 故以 10~15 的距离划分,2 和 18 及所在其他群集成为一类,10 和 11 聚为一类,剩下的为

一大类.这样就聚成了三类,即将26位专家分为3类,结果如表2所示.

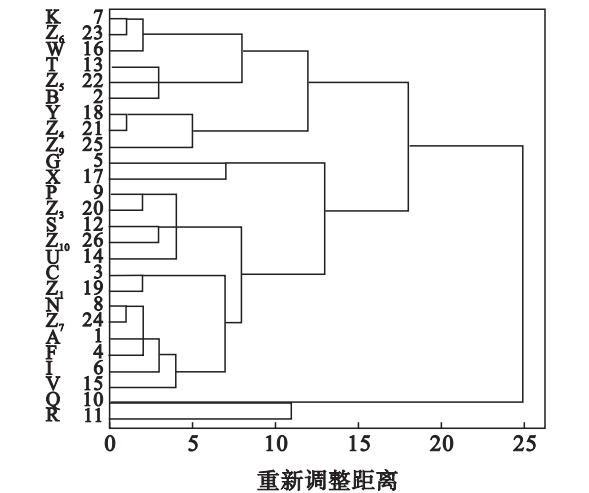


图3 SPSS 聚类分析树状图  
Fig. 3 SPSS cluster analysis tree

表1 聚类表  
Table 1 Clustering tables

阶	群集组合		系数	首次出现阶群集		下一阶
	群集 1	群集 2		群集 1	群集 2	
1	7	23	0.002	0	0	6
2	8	24	0.006	0	0	4
3	18	21	0.011	0	0	16
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	1	5	0.438	19	18	24
24	1	2	0.500	23	22	25
25	1	10	0.600	24	21	0

表2 商场类建筑专家分类结果  
Table 2 Expert classification for marketplaces

类群编号	每一类包含专家编号
1	A C F G I N P S U V X Z <sub>1</sub> Z <sub>3</sub> Z <sub>7</sub> Z <sub>10</sub>
2	B K T W Y Z <sub>4</sub> Z <sub>5</sub> Z <sub>6</sub> Z <sub>9</sub>
3	Q R

2.4 专家权重系数

对专家进行分类后,可借此来确定各个专家的权重系数.假设  $s$  个专家的个体排序向量通过聚类分析后划分为  $t$  个类别,其中第  $p$  类中包含  $\varphi_p$  个个体排序向量,则  $\varphi_p$  为类别  $\Omega_p$  的类容量.类别  $\Omega_p$  中所包含的个体排序向量的个数  $\varphi_p$  与  $s$  的比值称为类别  $\Omega_p$  中某一个体排序向量的置信因子,用  $\alpha_i$  来表示,即  $\alpha_i = \varphi_p / s$ .

专家的权重系数确定原则:某一类容量相对

其余类都较大时,则表明该类中的个体排序向量是符合较多专家的评价意见,对应专家的权重系数就应该较大;反之则较小.即专家  $i$  的权重系数  $\lambda_i$  与其个体排序向量置信因子  $\alpha_i$  成正比:  $\lambda_i = k\alpha_i$  ( $k$  为比例系数),显然  $\sum_{i=1}^s \lambda_i = 1, \lambda_1 : \lambda_n = \alpha_1 : \alpha_n$ .由上式得

$$\lambda_i = \frac{\alpha_i}{\sum_{j=1}^s \alpha_j}.$$

(1)

对于同一类别中的个体排序向量因为其置信因子相同,有

$$\sum_{j=1}^s \alpha_i = \sum_{q=1}^t \varphi_q \alpha_i = \frac{\sum_{q=1}^t \varphi_q^2}{s}.$$

(2)

由式(1)与式(2)可以推出:

$$\lambda_i = \frac{\varphi_p}{\sum_{q=1}^t \varphi_q^2}.$$

(3)

通过式(3)可求出各位专家的自身权重系数.

2.5 火灾风险评估体系指标的权重确定

由于商场类建筑的火灾风险评估体系会有多个判断矩阵,因此需要先对群组判断矩阵进行合并,然后才能计算出一个综合的指标权重结果.对于群组判断矩阵的处理,分为综合判断矩阵法和综合排序向量法,但是由于前者是将若干个判断矩阵“合成”一个综合的判断矩阵,然后再计算权重,其合成后的综合判断矩阵的一致性根本无法得到保证,甚至会比未合成前的对应判断矩阵的平均一致性比例还要高,所以由保序性原则出发,采用了综合排序向量法.通过分析,由于权重的计算结果较符合实际判断,样本数据有较好的一致性,故采用各个判断矩阵的加权算术平均值作为综合排序向量.

2.6 火灾风险评估体系综合风险值的确定

采用专业人士打分法,对评估体系的最底层的子项指标进行现场打分,分值的确定参考《建筑设计防火规范》等设计规范及各地的消防验收规范、消防管理细则等汇总编订的《商场类建筑打分手册》.评估体系中的每一指标的满分定为10分,对某一建筑打分后,其总得分确定方法如式(4)所示:

$$AS = \sum_{i=1}^n index_i \cdot s_i.$$

(4)

式中:AS(aggregate score)是指该类建筑的总得分;index<sub>*i*</sub>则是指各个指标项( $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}$ )的权重

值; $s_i$  是每一指标的对应得分. 根据得分可以确定建筑物的火灾危险等级. 根据实际打分对比,现初步将火灾危险等级分为五档,具体见表 3.

表 3 火灾危险等级评定表  
Table 3 Fire risk ranking

火灾风险等级	危险程度	AS 分值
I	极小性火险	$9 \leq AS \leq 10$
II	低度火险	$7 \leq AS < 9$
III	中度火险	$6 \leq AS < 7$
IV	高度火险	$5 \leq AS < 6$
V	极度火险	$AS < 5$

通过计算得出某一建筑物火灾风险评估体系的总得分 AS,便可以查阅表 3,得到对应的建筑

表 4 武汉某服装商城消防安全打分表  
Table 4 Fire safety marking table of a Wuhan clothing store

指标	指标权重	指标得分	指标	指标权重	指标得分	指标	指标权重	指标得分	指标	指标权重	指标得分
$A_{11}$	0.013 4	7	$A_{32}$	0.034 3	7	$B_{24}$	0.014 4	8	$C_{23}$	0.017 2	8
$A_{12}$	0.006 6	8	$A_{33}$	0.038 8	7	$B_{25}$	0.013 6	9	$C_{24}$	0.026 8	5
$A_{13}$	0.013 0	9	$A_{34}$	0.025 7	2	$B_{26}$	0.013 8	9	$C_{31}$	0.018 3	10
$A_{14}$	0.009 1	7	$B_{11}$	0.056 6	6	$B_{27}$	0.015 3	9	$C_{32}$	0.028 3	6
$A_{15}$	0.009 3	5	$B_{12}$	0.041 4	8	$B_{28}$	0.008 2	9	$C_{33}$	0.014 2	8
$A_{16}$	0.008 9	5	$B_{13}$	0.063 4	8	$B_{29}$	0.016 5	9	$C_{34}$	0.027 0	10
$A_{17}$	0.013 8	4	$B_{14}$	0.033 0	6	$C_{11}$	0.013 9	7	$C_{41}$	0.020 4	8
$A_{18}$	0.011 2	8	$B_{15}$	0.034 2	8	$C_{12}$	0.017 7	10	$C_{42}$	0.024 7	10
$A_{21}$	0.021 9	9	$B_{16}$	0.021 0	10	$C_{13}$	0.018 1	8	$C_{43}$	0.025 7	5
$A_{22}$	0.029 0	4	$B_{21}$	0.025 7	10	$C_{14}$	0.022 8	10			
$A_{23}$	0.034 3	7	$B_{22}$	0.019 7	8	$C_{21}$	0.009 7	6			
$A_{31}$	0.021 2	5	$B_{23}$	0.025 0	9	$C_{22}$	0.023 1	5			
AS = 7.46											

## 4 结 论

- 1) 基于层次分析法基本原理,根据建筑物特性,建立了相应的火灾风险评估指标体系,这样能针对性地对判断矩阵打分,增加了各个指标权重的准确性.
- 2) 数据处理采用更科学、严谨的方法. 首先是问卷调查方面,采用现场填写,减少了被调查者的随意性,并在统计计算前对问卷进行筛选;然后是指标权重计算方面,先计算火灾风险评估体系中专家的个体排序向量,再利用聚类分析把专家进行分类,根据聚类结果给出专家自身权重系数,最后在此基础上得出一个综合的指标权重值.
- 3) 该评价体系运用到实际工程中,能给出较合适的火灾风险评价,具有较好的实用性. 未来应

火灾风险等级.

## 3 实际工程运用

武汉某服饰商城地处汉正街黄金地段多福路,交通十分便利,人流量大,总建筑面积约 21.89 万  $m^2$ ,建筑 9 层,其中 -2F 为车库及设备房, -1F ~ 7F 主营服饰类,8F 主要为餐饮,9F 为办公区. 经过对该商城实地调查,对照《商场类建筑打分手册》对该商城的火灾风险评估体系中各指标进行打分,具体得分情况如表 4 所示.

根据式(4),计算出服装批发广场的总得分为 7.46. 由表 3 可知,该服装商城的火灾风险等级为 II 级,该结果与消防部门的判断一致.

把该评估体系更多地投入到实际工程中,进一步了解指标打分实际操作难易度、可行性高低,从而对评估体系进一步调整、优化.

### 参考文献:

[1] Xin J,Huang C F. Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and application in fire risk management[J]. *Fire Safety Journal*,2013,62:72-78.

[2] 田玉敏,蔡品菁. 建筑火灾风险评价方法及其软件系统研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2011,19(1):118-125. (Tian Yu-min, Cai Jing-jing. Study on software application system of fire risk assessment method for buildings [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2011, 19(1): 118-125.)

[3] Padma T, Balasubramanie P. Knowledge based decision support system to assist work-related risk analysis in musculoskeletal disorder [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2009,22(1):72-78.

[ 4 ]

Badri A,Nadeau S,Gbodossou A. Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation [J]. *Accident Analysis and Prevention*,2012,48;223 - 234.

[ 5 ]

Nefeslioglu H A,Sezer E A, Gokceoglu C,et al. A modified analytical hierarchy process (M-AHP) approach for decision support system in natural hazard assessment[J]. *Computers & Geosciences*,2013,59;1 - 8.

[ 6 ]

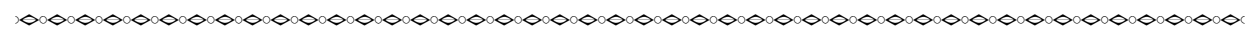
Saman A, Murat G, Rifat S. Safety risk assessment using analytic hierarchy process ( AHP ) during planning and budgeting of construction projects [ J ]. *Journal of Safety Research*,2013,46;99 - 105.

[ 7 ]

Saaty T L. How to make a decision — the analytic hierarchy process [ J ]. *European Journal of Operational Research*, 1990,48(1) :9 - 26.

[ 8 ]

卢纹岱. SPSS 统计分析 [ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2012.  
( Lu Wen-dai. SPSS statistical analysis [ M ]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2012. )



( 上接第 422 页 )

[ 6 ]

Luo Y Z ,Wu A X ,Liu X P,et al. Stability and reliability of pit slopes in surface mining combined with underground mining in Tonglushan mine [ J ]. *Journal of Central South University of Technology*,2004,11 ( 4 ) :434 - 439.

[ 7 ]

Sobotka Z. Stability of slopes and stresses on the principal slip surface [ J ]. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*,1977,16(1) :244.

[ 8 ]

Zhao X D,Li L C, Tang C A, et al. Stability of boundary pillars in transition from open pit to underground mining [ J ]. *Journal of Central South University*,2012,19 ( 11 ) :3256 - 3265.

[ 9 ]

Wang D,Cao L Z,Piao C D,et al. Study on high and steep slope stability of surface mine based on RFPA-SRM [ J ]. *Journal of Coal Science and Engineering* ,2011,17 ( 2 ) :119 - 123.

[ 10 ]

Yushin V, Geza N, Yushkin V, et al. Measurement of rock movement under blasting in surface mines [ J ]. *Journal of Mining Science*,2010,46(5) :516 - 524.

[ 11 ]

Ren G F,Kui X K. Study on the law of mining damage with the combination of underground mining and open-pit mining [ C ]//2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE). Chengdu,2010;1 - 4.

[ 12 ]

任凤玉,韩智勇,赵恩平,等. 诱导冒落技术及其在北洛河铁矿的应用 [ J ]. *矿业研究与开发*,2007 ( 1 ) :17 - 19.  
( Ren Feng-yu, Han Zhi-yong, Zhao En-ping, et al. Induced caving technique and its application in Beiminghe iron mine [ J ]. *Mining Research and Development*, 2007 ( 1 ) :17 - 19. )