

● 消防理论研究

基于层次分析法的公众聚集场所火灾风险评估

张宏卫

北京市石景山区消防救援支队,北京 100042

摘要:公众聚集场所一旦发生火灾,极易造成群死群伤的灾难性后果,加强公众聚集场所消防安全管理具有十分重要的意义。以改进的火灾风险评估指标体系为基础,运用层次分析法确定各指标对火灾风险的影响权重,明确火灾风险分级标准和风险控制措施,建立火灾风险评估模型,并对某商务酒店进行火灾风险评估,确定其相应的火灾风险等级。

关键词:火灾风险评估;层次分析法;公众聚集场所;消防工程

中图分类号:X932;TU998.1 **文献标志码:**A **文章编号:**2097-0900(2022)12-0034-05

0 引言

随着我国经济发展和建筑技术的不断进步,公众聚集场所数量不断增加,超高、超大、设计新颖的建筑大量涌现。这些场所在人们的生产生活中发挥着越来越重要的作用,带来的消防安全问题也日益严重,并越来越受到人们的重视。

火灾风险评估通过对特定对象的火灾风险进行科学评估,以达到预防和减少火灾事故发生的目的,从而最大限度降低火灾带来的人员伤亡和财产损失^[1]。它不仅可以作为消防安全管理工作的客观依据,还有助于及时发现消防管理中存在的不足和薄弱环节,有针对性地提出改善消防安全水平的措施^[2]。目前,我国的一些研究机构和学者已对公众聚集场所的火灾风险评估进行了研究,并提出不同的评估方法^[3]。这些方法大体可分为3类,即:资料审查、现场检查等定性评估方法;专家评价法、火灾风险指数法^[4]、模糊综合评价^[5-7]以及消防安全工程评估方法等半定量评估方法;事件树、事故树、火灾动力学模拟和实体火灾试验等定量评估方法^[8]。

由于定量评估方法需要花费大量的人力、物力,在应用中往往受到一定限制^[9],目前在实践中大量使用的还是半定量评估方法^[10-11]。

笔者采用基于层次分析法的评估模型对公众聚集场所进行火灾风险评估,结合公众聚集场所消防安全现状,对其火灾风险评估指标体系进行改进,提出一个合理、简单易行、操作性强的层次结构模型。在此基础上,对模型中各项参数给出合理的权重,计算公众聚集场所的火灾风险指数,对其火灾风险等级进行评判,从而建立合理的火灾风险评估模型。之后,利用该评估模型对某商务酒店进行火灾风险评估,确定其风险水平。

1 建立公众聚集场所火灾风险评估模型

1.1 公众聚集场所火灾风险评估指标体系构建

根据危险源辨识理论,影响公众聚集场所火灾风险的危险因素包括第一类火灾危险源和第二类火灾危险源。第一类火灾危险源是指评估对象中存在的可能意外释放的能量或危险物质;第二类火灾危险源是使消防安全技术措施或管理措施失效的因

收稿日期:2022-04-03

作者简介:张宏卫(1983—),男,河南光山人,初级专业技术职务。

素,包括人员疏散、建筑防火措施、消防安全管理和消防救援力量等。将公众聚集场所火灾风险作为一级指标,上述5个方面作为二级指标,对公众聚集场所火灾风险评估具体指标进行分析。

1.1.1 火灾危险源

公众聚集场所的火灾危险源主要指第一类火灾危险源,三级评估指标包括可燃物、助燃物和点火源。通过调查研究国内外公众聚集场所重特大火灾事故的起火原因可知:此类场所的点火源主要有电气线路、吸烟、易燃易爆危险品、用火不慎、厨房等正常用火、纵火及其他固定或移动火源;可燃物有建筑构件等固定火灾荷载、家具等移动火灾荷载、纸张等临时火灾荷载;助燃物有室内空气、从门窗等开口进入的空气及其他助燃物。将上述三级指标对应的危险因素作为四级指标。

1.1.2 人员疏散

评估公众聚集场所人员疏散情况需考虑人员特性和安全疏散设施两个三级指标。人员特性的四级指标包括建筑内人员密度和人员逃生能力;安全疏散设施的四级指标包括建筑物内的疏散通道设置情况、安全出口设置情况、应急照明系统、疏散指示标志和消防应急广播。

1.1.3 建筑防火措施

建筑防火措施包括主动防火措施和被动防火措施两个三级指标。主动防火措施的四级指标包括火灾自动报警系统、消火栓系统、自动喷水灭火系统、防排烟系统、灭火器;被动防火措施的四级指标包括建筑防火间距、建筑耐火等级、防火分区、防烟分区、防火分隔与封堵、消防车道。

1.1.4 消防安全管理

公众聚集场所消防安全管理主要考虑消防安全检查情况和消防安全制度及落实两个三级指标。消防安全检查情况的四级指标包括火灾隐患排查情况、火灾隐患处置情况;消防安全制度及落实情况的四级指标包括落实消防安全责任制、制定消防安全管理制度、制定应急预案、消防安全教育、消防技能培训、消防演练、火灾危险源管理、初起火灾处置能力、组织人员疏散能力、企业或义务消防队灭火救援。

1.1.5 消防救援力量

公众聚集场所的消防救援力量主要考虑消防队伍应急响应和消防力量及装备两个三级指标。消防队伍应急响应的四级指标包括消防救援队伍出警响

应速度、消防救援队伍到场时间、灭火救援技战术、灭火救援开展情况;消防力量及装备的四级指标包括消防救援队伍警力是否充足、装备是否齐全。

综合上述5个方面的指标分析结果,确定公众聚集场所火灾风险评估模型如图1所示。

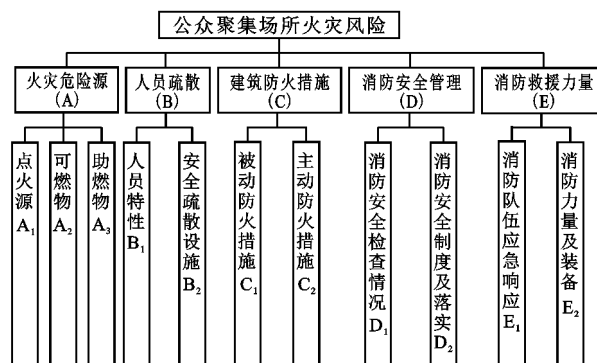


图1 公众聚集场所火灾风险评估模型

1.2 基于层次分析法的指标权重确定

层次分析法是一种主客观相结合的半定量分析方法,它采用运筹学原理,通过对指标重要性的相互比较,合理给出各指标的权重,目前广泛用于火灾风险评估模型中的指标权重确定^[12-13]。

1.2.1 二级指标权重的确定

利用层次分析法确定指标权重时,需要先对指标的重要性进行互相比。设上一层级的某个因素对应的下一层级有 n 个指标,各指标对上层因素影响的重要程度可能各不相同,需要对指标的重要性进行两两比较,并将比较结果构造成判断矩阵,以便利用矩阵运算得出各指标的权重值。影响公众聚集场所火灾风险大小的5个二级指标分别为:火灾危险源、人员疏散、建筑防火措施、消防安全管理、消防救援力量。对上述指标的相对重要性进行分析,可得到判断矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 7 & 9 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 3 & 5 \\ 1/3 & 3 & 1 & 5 & 7 \\ 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

通过求解矩阵 R 的特征向量,并进行归一化处

理,得到二级指标 A、B、C、D、E 的权重值分别为 0.744 7,0.047 1,0.193 7,0.011 4,0.003 1。

1.2.2 三级指标权重的确定

根据建立的层次分析模型,分别对 5 组三级指标的相对重要性进行分析,得到以下判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 \\ 1/3 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} \\ d_{21} & d_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 7 \\ 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

计算上述矩阵的特征向量并进行归一化处理,得到各三级指标的权重值,见表 1。

表 1 各三级指标权重

一级指标	二级指标	三级指标	权重值
公众聚集场所火灾风险	火灾危险源 A	点火源 A ₁	0.835 4
		可燃物 A ₂	0.154 3
		助燃物 A ₃	0.010 3
	人员疏散 B	人员特性 B ₁	0.038 5
		安全疏散设施 B ₂	0.961 5
	建筑防火措施 C	被动防火措施 C ₁	0.038 5
		主动防火措施 C ₂	0.961 5
	消防安全管理 D	消防安全检查情况 D ₁	0.900 0
		消防安全制度及落实 D ₂	0.100 0
	消防救援力量 E	消防队伍应急响应 E ₁	0.980 0
		消防力量及装备 E ₂	0.020 0

1.2.3 一致性检验

计算各判断矩阵的最大特征值,利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率对矩阵一致性进行检验。一致性指标 $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$,其中 n 为矩阵阶数, λ 为矩阵最大特征根,随机一致性指标 RI 见表 2。

表 2 随机一致性指标 RI 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

当一致性比率 $CR = CI/RI < 0.1$ 时,矩阵满足一致性检验的要求,可以用归一化的特征向量作为

指标的权重;如果不满足一致性检验要求,则需要对指标的比较结果进行调整,直到满足一致性检验为止。(1) 对矩阵 R 进行一致性检验。矩阵 R 的特征值 $\lambda = 5.237 5, n = 5$,则 $CI = 0.059 375$ 。查表得 $RI = 1.12$,所以 $CR = CI/RI = 0.053 01 < 0.1$,故合理。(2) 对矩阵 A 进行一致性检验。矩阵 A 的特征值 $\lambda = 3.064 9, n = 3$,则 $CI = 0.032 45$ 。查表得 $RI = 0.58$,所以 $CR = CI/RI = 0.055 95 < 0.1$,故合理。(3) 矩阵 B 、 C 、 D 、 E 均为二阶矩阵,且为完全一致性矩阵,故不必进行一致性检验。

综上,各判断矩阵设置较为合理,可以利用求得的权重值进行后续计算。

1.3 火灾风险分级

采用 5 分制对三级指标进行赋值,具体赋值过程如下:(1) 按照评估模型中的四级指标对被评估对象进行现场消防安全检查,记录检查结果;(2) 某个三级指标对应的四级指标总数为 N ,根据消防安全检查情况,存在风险的指标数为 M ,定义风险因素比 r_i 为实际存在风险的指标数与总指标数之比,即 $r_i = M/N$ 。(3) 计算 r_i 的值,根据表 3 中 r_i 的取值范围对三级指标的风险指数大小进行赋值。

表 3 火灾风险指数赋值

r_i 值	[0,0.2)	[0.2,0.4)	[0.4,0.6)	[0.6,0.8)	[0.8,1]
火灾风险指数	1	2	3	4	5

三级指标共有 11 项,依次设其风险指数值为 $R_j (j=1, \dots, 11)$,权重为 w_j ,得到各二级指标的风险值为:

$$R_i = \sum_j R_j \times w_j \quad (7)$$

设二级指标 A、B、C、D、E 的风险值为 R_a 、 R_b 、 R_c 、 R_d 、 R_e ,权重值分别为 w_a 、 w_b 、 w_c 、 w_d 、 w_e ,则总火灾风险:

$$Risk = \sum_i R_i \times w_i \quad (8)$$

式中, $i = a, b, c, d, e$ 。

将火灾风险分为 5 个等级,具体分级标准见表 4。根据模型确定的权重值和火灾风险赋值,计算出被评估对象总体火灾风险指数,再根据表 4 判定火灾风险等级。

2 评估模型的工程应用实例

以某商务酒店为例,通过实际调查和现场询问等方式,对酒店的各项风险因素即评估指标体系中

的四级指标进行分析。三级指标 A_1 包含的火灾风险因素总数为 7, 根据现场安全检查情况, 酒店实际存在的火灾风险因素数量为 4, 二者比值为 $4/7$, 再对应表 3 的赋值标准, 得到指标 A_1 的火灾风险指数为 3。同理, 得到其他指标的火灾风险指数值。该酒店各项风险因素检查情况和三级指标的赋值结果见表 5。

表 4 火灾风险分级

风险等级	风险度	分值	风险特征描述
I 级	高	[5,4)	火灾风险高, 停止场所经营活动, 全面彻底整改
II 级	较高	[4,3)	火灾风险较高, 火灾风险处于很难控制的水平, 应当采取全面措施对建筑设计、主动防火、危险源、消防管理和救援力量等进行加强
III 级	中等	[3,2)	火灾风险中等, 火灾处于较难控制的水平, 应当采取必要措施加强消防基础设施和消防管理水平
IV 级	较低	[2,1)	火灾风险较低, 火灾风险处于可控制的水平, 在适当采取措施后能达到可接受水平, 风险控制重在局部整改和加强管理
V 级	低	[1,0)	火灾风险低, 火灾风险处于可接受水平, 风险控制重在维护和管理

表 5 某商务酒店风险因素检查结果和三级指标赋值

二级指标	三级指标	四级指标	有风险	三级指标赋值
火灾危险源	点火源	电气线路	√	3
		吸烟	√	
		易燃易爆危险品		
		用火不慎		
		厨房等正常用火	√	
	助燃物	纵火		2
		其他点火源	√	
		固定火灾荷载	√	
		移动火灾荷载	√	
		临时火灾荷载	√	
		室内空气	√	
		从门窗等开口进入的空气		
		其他助燃物		

人员疏散	人员特性	人员密度	√	3
		人员逃生能力		
	安全疏散设施	应急照明系统	√	5
		疏散指示标志	√	
		消防应急广播	√	
		安全出口设置		
建筑防火措施	被动防火措施	疏散通道设置	√	2
		建筑防火间距		
		建筑耐火等级		
		防火分区		
		防烟分区		
	主动防火措施	防火分隔与封堵	√	4
		消防车道	√	
		火灾自动报警系统		
		消火栓系统	√	
		灭火器	√	
消防安全管理	消防安全检查情况	自动喷水灭火系统	√	1
		防排烟系统	√	
	消防安全管理制度及落实	火灾隐患排查情况		3
		火灾隐患处置情况		
		落实消防安全责任制		
		制定消防安全管理制度		
		制定应急预案		
		消防安全教育		
		消防技能培训		
		消防演练		
		火灾危险源管理	√	
		初起火灾处置能力	√	
		组织人员疏散能力	√	
		企业或义务消防队		
		灭火救援	√	
消防救援力量	消防队伍应急响应	消防救援队伍出警响应速度		1
		消防救援队伍到场时间		
		灭火救援技战术		
	消防力量及装备	灭火救援开展情况		1
		消防救援队伍警力		
		消防救援队伍装备		

二级指标的火灾风险指数值通过相对应的三级指标值乘各自的权重, 然后求和得到; 建筑的总体火灾风险值等于每个二级指标指数值乘各自的权重并求和得到。经计算, 该酒店的火灾风险值为 3.465, 根据表 4, 该场所的火灾风险等级为 II 级, 火灾风险处于较高水平。建议根据四级指标检查情况, 针对存在问题的风险因素, 采取相应措施进行控制, 以降

低火灾风险,提高消防安全水平。

3 结论

以改进的火灾风险评估指标体系为基础,结合公众聚集场所火灾风险特点构建了风险评估模型,并运用层次分析法确定了各指标的影响权重。通过现场消防安全检查对指标进行赋值,并确定了火灾风险分级标准,将公众聚集场所的火灾风险分为5级。运用该模型对某商务酒店进行火灾风险评估,通过现场检查的方法对指标风险值进行量化,运用模型计算出建筑总体火灾风险指数,确定该场所火灾风险等级为Ⅱ级,风险水平较高。

该模型能够较为全面地反映公众聚集场所存在的消防安全问题,并提出针对性改进措施,能够适用于此类场所的火灾风险自查和火灾风险管理,从而有效预防和控制火灾事故的发生。

参考文献:

- [1] 范维澄,孙金华,陆守香,等. 火灾风险评估方法学[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] SUN X Q, LUO M C. Fire risk assessment for super high-rise buildings[J]. Procedia Engineering, 2014, 71: 492-501.
- [3] 刘勇,施式亮,徐志胜. 城市综合体火灾风险研究综述[J]. 消防科学与技术,2018,37(1):110-114.
- [4] LAU C K, LAI K K, LEE Y P, et al. Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach[J]. Fire Safety Journal, 2015, 78(11): 188-195.
- [5] 杜红兵,周心权,张敬宗. 高层建筑火灾风险的模糊综合评价[J]. 中国矿业大学学报,2002,31(3):242-245.
- [6] 王海涛. 基于模糊综合评价法的公众聚集场所火灾风险评估[J]. 武警学院学报,2014,30(2):43-46.
- [7] 邵望定. 基于模糊综合评价的高层建筑火灾风险评估模型[J]. 武警学院学报,2015,31(2):68-70.
- [8] 袁杰,申世飞. 基于火灾统计的公众聚集场所火灾风险指标和评估模型研究[J]. 安全与环境学报,2013,13(1):250-253.
- [9] 田玉敏. 建筑火灾风险评估体系的建立与应用探讨[J]. 中国安全科学学报,2008,18(8):74-79.
- [10] 姜学鹏,韦云龙,卢颖. 城市火灾风险评估指标体系及应用[J]. 消防科学与技术,2019,38(3):321-326.
- [11] 翟磊. 城市综合体火灾风险指标标准化评价体系建立及应用分析[J]. 消防技术与产品信息,2018,31(5):9-12.
- [12] 徐坚强,刘小勇. 基于层次分析法的建筑火灾风险评估指标体系设计[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2019,41(4):345-351.
- [13] 李强,张源. 基于模糊层次分析法的高层建筑火灾风险评估[J]. 武警学院学报,2010,26(2):34-36.

AHP-based Fire Risk Assessment of Public Gathering Places

ZHANG Hongwei

Shijingshan Fire and Rescue Division, Beijing 100042, China

Abstract: Once a fire breaks out in a public gathering place, it is easy to cause mass death and injury. Therefore, it is of great significance to strengthen fire safety management in such places. Based on the improved fire risk assessment index system, a fire risk assessment model was established, in which analytic hierarchy process was used to determine the influence weight of each index on the fire risk, and the fire risk classification standard and risk control measures were clarified. The fire risk assessment of a business hotel was carried out, and the corresponding fire risk level was determined.

Key words: fire risk assessment; analytic hierarchy process; public gathering places; fire protection engineering

(责任编辑 李 蕾)