

doi: 10.11731/j.issn.1673-193x.2024.09.018

# 基于EW-AHP与未确知测度的商业综合体火灾应急预案评估\*

苟鹏飞<sup>1</sup>, 张立宁<sup>2</sup>, 韩国波<sup>2</sup>, 安晶<sup>3</sup>, 国蛟倩<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081;

2. 华北科技学院建筑工程学院, 河北三河 065201;

3. 华北科技学院电信学院, 河北三河 065201)

**摘要:**为科学准确地对商业综合体火灾应急预案效果进行判断,采用熵权(EW)-层次分析法(AHP)和未确知测度方法对其进行综合评估。首先从5个方面构建商业综合体火灾应急预案评估指标体系,该指标体系包括商场消防组织机构分配合理性等16个具体二级指标。然后,以3座商业综合体火灾应急预案为研究对象,进行验证分析。研究结果表明:评估案例 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 的评估等级为优秀、优秀、良好,其中案例 $L_3$ 在火灾应急保障方面存在较多问题。研究结果可为城市商业综合体火灾应急预案编制以及消防管理提供决策参考。

**关键词:**商业综合体;火灾应急预案;层次分析法;熵权法;未确知测度

中图分类号:X913;TU998.1

文献标志码:A

文章编号:1673-193X(2024)-09-0150-06

## Evaluation of fire emergency plan for commercial complex based on EW-AHP and uncertainty measurement

GOU Pengfei<sup>1</sup>, ZHANG Lining<sup>2</sup>, HAN Guobo<sup>2</sup>, AN Jing<sup>3</sup>, GUO Jiaoqian<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Architectural Engineering College, North China Institute of Science and Technology, Sanhe Hebei 065201, China;

3. Telecommunications College, North China Institute of Science and Technology, Sanhe Hebei 065201, China)

**Abstract:** In order to scientifically and accurately evaluate the effectiveness of fire emergency plan for commercial complex, the entropy weight (EW) - analytic hierarchy process (AHP) and uncertain measurement methods were used for comprehensive evaluation. Firstly, an evaluation index system of fire emergency plan for commercial complex was constructed from five aspects, which included 16 specific secondary indexes such as the rationality of the allocation of fire protection organizational structures in shopping malls. Then, the verification analysis was conducted on the fire emergency plans of three commercial complexes as the research object. Research results indicate that the assessment ratings for cases  $L_1$ ,  $L_2$ , and  $L_3$  are Excellent, Excellent, and Good, respectively. Among these, case  $L_3$  has identified several issues in fire emergency preparedness. The research results can provide decision-making reference for the preparation of fire emergency plans for urban commercial complexes and their fire management.

**Key words:** commercial complex; fire emergency plan; analytic hierarchy process (AHP); entropy weight method; uncertain measurement

## 0 引言

近年来,随着我国经济的快速发展,商业综合体承载城市中大量的商业活动。与之同时,由于人员密集、火灾荷载大、发生火灾时人员疏散困难等特点,城市商

业综合体建筑一旦发生火灾,极易造成人员伤亡和财产损失。例如,2021年,大连市新长兴市场地下2层火灾,造成9人死亡,5人受伤<sup>[1]</sup>;2022年,韩国大田市奥特莱斯购物中心地下1层火灾,造成7人死亡,1人重伤等<sup>[2]</sup>。据统计,仅2013—2018年,我国国内(不含港澳

收稿日期:2024-01-22

\* 基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3005701);华北科技学院省级国际科技基地项目(20594501D);河北省高等学校科学技术研究项目(Z2020117);2021—2022年度河北省高等教育教学改革研究与实践项目(2021GJJG479)

作者简介:苟鹏飞,博士研究生,主要研究方向为工程安全控制,安全评价方法。

通信作者:韩国波,博士,副教授,主要研究方向为工程灾害应急管理。

台)城市商业综合体共发生火灾9 255起,造成114人死亡,直接财产损失达10.7亿元<sup>[3-4]</sup>。因此,2020年12月,应急管理部国家消防救援局下发通知,要求各级消防救援机构全力做好大型商业综合体火灾防控工作<sup>[5]</sup>。火灾应急预案作为应对火灾突发事件指挥调度的行为准则和行动指南,对挽救人员生命和减少财产损失有着非常重要的指导意义。因此,对商业综合体火灾应急预案深入进行研究,对应急预案的质量进行准确评估,是提高商业综合体火灾突发事件应对管理能力的重要举措。

目前,应急管理是国内外研究的热点之一。例如,Zhao等<sup>[6]</sup>使用证据推理的方法可以模拟真实的复杂系统,优化权重问题,提高应急预案评估的准确性;陈鹏冲等<sup>[7]</sup>应用Relief特征算法选取城市大面积停电应急能力评估指标,结合层次分析法进行实验验证,探究应急处置中的关键节点;路世昌等<sup>[8]</sup>通过搜集统计商业场所典型火灾案例,总结商业综合体火灾特点,提出控制和减少火灾隐患的措施及扑救初期火灾的应急预案;孙艺博<sup>[9]</sup>运用层次分析法和模糊评价法对西安市地铁火灾应急预案的质量进行评价,并提出优化方法以提升火灾应急预案质量;Xu等<sup>[10]</sup>从应急预案的一致性和完整性角度对我国国内(不含港澳台)多个省级突发公共事件

应急预案进行评价分析的定量研究。虽然众多学者针对火灾应急预案的编制工作进行了大量的研究,但在火灾应急预案的完备性、可操作性评估等方面的研究还较为少见。

基于此,本文提出并建立1种针对商业综合体火灾应急预案的综合评估模型,即首先构建商业综合体应急预案评估指标体系,在此基础上,进而采用熵权-层次分析法确定指标的权重,再结合未确知测度方法对商业综合体火灾应急预案进行综合评估,并以3座商业综合体火灾调查数据为例,进行实证分析。研究结果可为城市商业综合体火灾应急预案编制以及消防管理提供决策参考。

## 1 商业综合体火灾应急预案评估指标体系建立

构建科学的商业综合体火灾应急预案评估指标体系是其应急预案效果准确评估的前提,本文通过文献深入研究,并对有关学者在应急预案评估指标设计方面的成果进行比较,如表1所示。

本文商业综合体应急预案构建的具体流程如图1所示。

基于表1研究成果的对比分析,结合图1商业综合

表1 不同学者对应急预案评估指标的选择

Table 1 Selection of evaluation indexes of emergency plan by different scholars

研究人员	指标设计	研究人员	指标设计
李健等 <sup>[11]</sup>	科学性、完整性、衔接性	肖会敏等 <sup>[14]</sup>	准确性、合理性、高效性、完整性
彭恒明等 <sup>[12]</sup>	合理性、明确性、可操作性	李小飞等 <sup>[15]</sup>	完备性、可操作性、有效性、可量化性
马恒等 <sup>[13]</sup>	有效性、可操作性、经济性	安景文等 <sup>[16]</sup>	合法性、全面性、科学性、经济性、可操作性

体火灾应急预案流程,本文吸取已有研究成果并进行适当的调整与改进。以完备性(各指标应全面反映商业综合体火灾应急预案需要的功能,体系有层次性,同时是完整的系统)、科学性(指标的选择以科学为基础,客观、准确地反映商业综合体火灾应急预案的特征)、代表性(选取的指标既要能全面反映研究对象的各方面,同时避免碎片化)和可操作性(指标要可操作、可量化,符合实际情况)为商业综合体火灾应急预案评估指标选择的原则。

本文最终构建的商业综合体火灾应急预案评估指标体系为:组织机构及职责( $X_1$ )、火灾应急准备( $X_2$ )、火灾应急响应( $X_3$ )、火灾应急保障( $X_4$ )和后期处置( $X_5$ )5个一级指标体系构成。二级指标16个,包括商场消防组织机构分配合理性( $X_{11}$ )、消防职责分配明确性( $X_{12}$ )、商场与消防站协调有效性( $X_{13}$ )、应急预案程序合理性( $X_{21}$ )、防范措施有效性( $X_{22}$ )、消防宣传和应

急演练( $X_{23}$ )、火灾响应级别明确性( $X_{31}$ )、火灾响应程序合理性( $X_{32}$ )、人员疏散及时性( $X_{33}$ )、火灾应急响应及时性( $X_{34}$ )、消防物资保障( $X_{41}$ )、消防人员保障( $X_{42}$ )、消防技术保障( $X_{43}$ )、事故总结( $X_{51}$ )、应急状态恢复( $X_{52}$ )、后期处置明确性( $X_{53}$ )。商业综合体火灾应急预案评估指标体系如图2所示。

本文通过赋值法将定性评估指标转换为半定量指标,提高评估结果的客观性和可比性,根据某评估对象的该项指标处于优秀、良好、较差和极差的状态,分别对应(0.8,1.0]、(0.6,0.8]、(0.3,0.6]、(0.0,0.3]的赋值区间。

## 2 EW-AHP和未确知测度评估模型

### 2.1 单指标测度

假设评估对象 $R$ ,包含有 $n$ 个评估指标,分别用 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 表示,各指标共同构成指标空间 $X$ ,其中 $X_i$

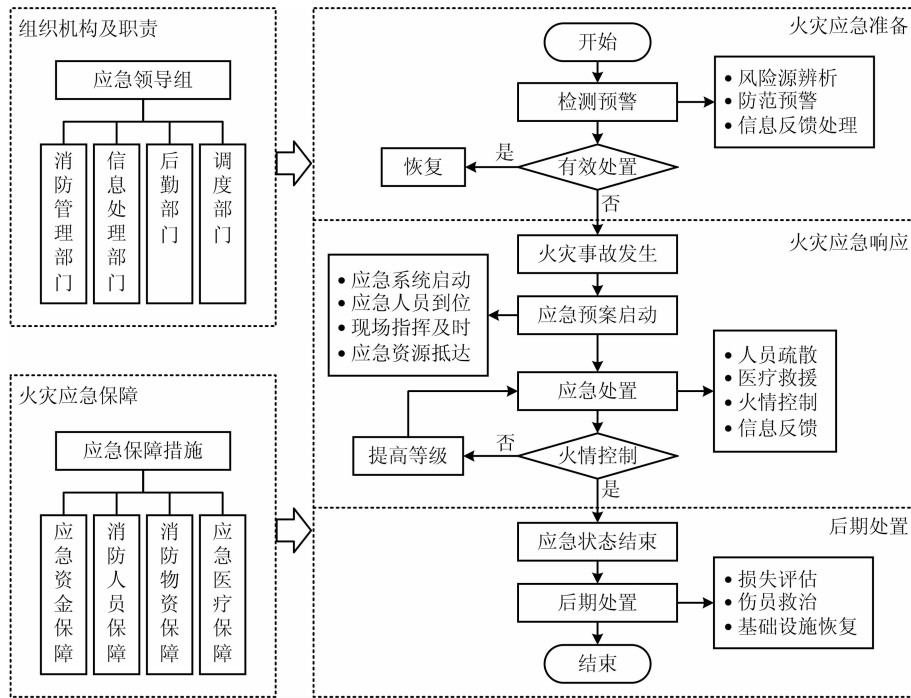


图 1 商业综合体火灾应急预案流程

Fig. 1 Flowchart of fire emergency plan for commercial complex

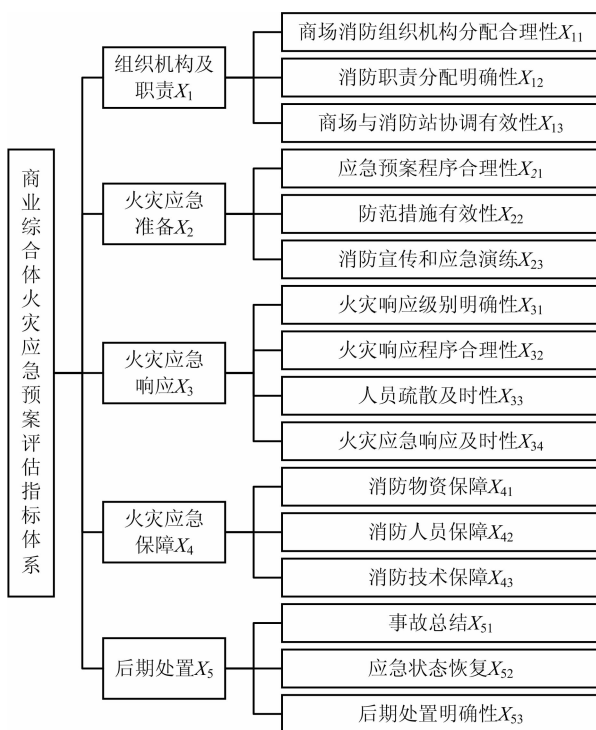


图 2 商业综合体火灾应急预案评估指标体系

Fig. 2 Evaluation index system of fire emergency plan for commercial complex

表示第  $i$  个评估指标的测量值。每个评估指标  $X_i$  包含有  $p$  个评估等级  $C_1, C_2, \dots, C_p$ , 各评估等级共同构成评估等级空间  $U$ 。设第  $k$  级比  $k+1$  级安全等级高, 即

$$C_k > C_{k+1}。$$

若  $\mu_{ik} = \mu(X_i \in C_k)$  表示评估指标  $X_i$  属于第  $k$  个评估等级  $C_k$  的程度, 且  $\mu$  满足式 (1) ~ (3) [17]:

$$0 \leq \mu(X_i \in C_k) \leq 1 \quad (1)$$

$$\mu(X_i \in U) = 1 \quad (2)$$

$$\mu(X_i \in \cup_{l=1}^k C_l) = \sum_{l=1}^k \mu(X_i \in C_l) \quad (3)$$

式中:  $i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, p$ 。

各单指标测度  $\mu_{ik}$  构成的评估矩阵如式 (4) 所示:

$$(\mu_{ik})_{n \times p} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1p} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{np} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $\mu_{ik}, \mu_{ik+1}$  分别为该测量值属于  $C_k$  和  $C_{k+1}$  等级的测度。

## 2.2 EW - AHP 组合赋权法

研究发现, 层次分析法权重赋值易受专家人为主观因素的影响。而熵权法基于数据计算权重, 结果虽然较为客观, 但同样可能由于自然条件和仪器设备的原因, 采集数据存在缺陷, 会导致权重结果出现误差 [18]。因此, 将熵权法的客观权重和层次分析法的主观权重相结合, 可以有效弥补二者的不足。本文采用熵权 - 层次分析法的权重确定过程如下。

### 1) 熵权法 (EW)

设  $\theta_i$  表示测度指标  $X_i$  与其他指标相比的相对重要

程度,要求  $\theta_i$  满足  $0 \leq \theta_i \leq 1$ , 且  $\sum_{i=1}^n \theta_i = 1$ ,  $\theta_i$  称为  $X_i$  的权重,  $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$  称为指标权重向量。利用熵权理论确定指标的权重<sup>[19]</sup>, 如式(5)~(6)所示:

$$v_i = 1 + \frac{1}{\lg P} \sum_{i=1}^P \mu_{ik} \lg \mu_{ik} \quad (5)$$

$$\theta_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (6)$$

式中:  $v_i$  表示第  $i$  个评定指标的偏差度;  $P$  表示有  $P$  个评估等级。

### 2) 层次分析法(AHP)

层次分析法(AHP)是1种主观赋权法,该方法首先将影响商业综合体火灾应急预案评估的因素按照9级标度法进行两两比较,构成判断矩阵;随后用方根法计算判断矩阵,得到各因素的权重,最后对判断矩阵进行一致性检验。当随机一致性比率  $CR$  小于0.1时认为层次分析排序的结果满足;否则,需调整判断矩阵的因子取值,重新计算。

### 3) 乘法合成归一化方法确定评估指标综合权重

本文运用乘法合成归一方法计算评估指标的综合权重,计算公式如式(7)所示:

$$\omega_i = \frac{(\alpha_i \cdot \beta_i)}{\sum_{i=1}^m (\alpha_i \cdot \beta_i)} \quad (7)$$

式中:  $\omega_i$  为第  $i$  个评估指标的综合权重;  $\alpha_i, \beta_i$  分别为第  $i$  个指标的主、客观权重;  $m$  为指标的个数。

## 2.3 多指标综合测度向量

令  $\mu_k = \mu(U \in C_k)$  表示评估对象  $R$  属于第  $k$  个评估等级的程度,则有式(8):

$$\mu_k = \sum \omega_i \times \mu_{ik} \quad (8)$$

$\mu_k$  满足  $0 \leq \mu_k \leq 1$  及  $\sum \mu_k = 1$  的未未知测度条件。

## 2.4 置信度识别准则

为给出评估对象应急预案质量的综合评估结果,引入置信度识别准则,避免最大隶属度原则的缺点<sup>[17]</sup>, 设  $\lambda$  为置信度 ( $\lambda \geq 0.5$ , 常取  $\lambda = 0.6$  或  $0.7$ ), 若  $C_1 > C_2 > \dots > C_p$ , 令  $k_0$  如式(9)所示, 则认为评估对象  $R$  属于第  $k_0$  个评估等级  $C_{k_0}$ 。

$$k_0 = \min \{k: \sum_{i=1}^k \mu_i \geq \lambda, (k = 1, 2, \dots, p)\} \quad (9)$$

$$\mu_{(ik)16 \times 4} = \begin{Bmatrix} 1 & 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0.5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix}^T$$

## 3.2 EW - AHP 组合赋权

采用乘法合成归一法将层次分析法(AHP)和熵权

## 3 实例应用

以廊坊地区3座商业综合体火灾应急预案为例(分别用  $L_1, L_2, L_3$  表示), 首先邀请5位从事应急管理工作的业内专家对其应急预案进行评估和判断打分, 为尽可能保证打分结果的客观性, 去除最高分和最低分, 取平均值作为各指标风险状况的实测值, 各评估案例实测值如表2所示。然后, 利用层次分析法结合熵权法对其火灾应急预案评估指标体系进行分析, 计算各个因素所占权重从而得到权重矩阵。最后, 结合未未知测度矩阵和权重矩阵, 计算各因素的评估结果以及应急预案整体评估结果。

表2 商业综合体火灾应急预案打分表  
Table 2 Scoring table of fire emergency plan for commercial complex

评估指标	$L_1$	$L_2$	$L_3$
商场消防组织机构分配合理性( $X_{11}$ )	0.80	0.80	0.75
消防职责分配明确性( $X_{12}$ )	0.80	0.90	0.70
商场与消防站协调有效性( $X_{13}$ )	0.75	0.75	0.75
应急预案程序合理性( $X_{21}$ )	0.90	0.80	0.80
防范措施有效性( $X_{22}$ )	0.80	0.85	0.80
消防宣传和应急演练( $X_{23}$ )	0.80	0.80	0.70
火灾响应级别明确性( $X_{31}$ )	0.70	0.80	0.60
火灾响应程序合理性( $X_{32}$ )	0.80	0.80	0.60
人员疏散及时性( $X_{33}$ )	0.80	0.75	0.70
火灾应急响应及时性( $X_{34}$ )	0.75	0.90	0.80
消防物资保障( $X_{41}$ )	0.90	0.80	0.70
消防人员保障( $X_{42}$ )	0.85	0.75	0.60
消防技术保障( $X_{43}$ )	0.80	0.75	0.75
事故总结( $X_{51}$ )	0.80	0.60	0.60
应急状态恢复( $X_{52}$ )	0.80	0.70	0.80
后期处置明确性( $X_{53}$ )	0.90	0.70	0.70

## 3.1 单指标测度函数

以  $L_1$  为例, 构建图2的指标的测度函数, 由表2的统计信息可以得出  $L_1$  单指标的评估矩阵为:

法(EW)进行耦合、确定指标综合权重。以评估对象  $L_1$  为例, 计算过程如下。

1) AHP 法确定评估指标的主观权重,按照层次分析法中的“9 级标度法”,通过专家对一级指标和二级指标中各个影响因子进行重要性评估,构建判断矩阵。通过求取权重向量,并进行一致性检验,确定一级指标中组织机构及职责、火灾应急准备、火灾应急响应、火灾应急保障和后期处置权重依次为 0.059 5、0.136 2、0.517 0、0.250 0、0.037 3。同理,可以确定二级指标中各指标的权重,最终各评估指标的主观权重,如表 3 所示。

表 3 商业综合体火灾应急预案评估指标的综合权重值

Table 3 Comprehensive weight values of evaluation indexes of fire emergency plan for commercial complex

评估指标	EW 法客观权重	AHP 法主观权重	综合权重
商场组织机构分配的合理性( $X_{11}$ )	0.066 6	0.021 0	0.022 0
消防职责分配明确性( $X_{12}$ )	0.066 6	0.025 0	0.026 3
商场与消防站协调有效性( $X_{13}$ )	0.033 8	0.013 6	0.007 3
应急预案程序合理性( $X_{21}$ )	0.066 6	0.048 0	0.050 6
防范措施有效性( $X_{22}$ )	0.066 6	0.057 1	0.060 2
消防宣传和应急演练( $X_{23}$ )	0.066 6	0.031 1	0.032 8
火灾响应级别明确性( $X_{31}$ )	0.066 6	0.123 8	0.130 4
火灾响应程序合理性( $X_{32}$ )	0.066 6	0.145 2	0.153 1
人员疏散及时性( $X_{33}$ )	0.066 6	0.090 0	0.006 0
火灾应急响应及时性( $X_{34}$ )	0.033 8	0.157 9	0.005 3
消防物资保障( $X_{41}$ )	0.066 6	0.083 8	0.088 3
消防人员保障( $X_{42}$ )	0.066 6	0.106 9	0.112 7
消防技术保障( $X_{43}$ )	0.066 6	0.059 3	0.062 5
事故总结( $X_{51}$ )	0.066 6	0.013 4	0.014 1
应急状态恢复( $X_{52}$ )	0.066 6	0.016 3	0.017 2
后期处置明确性( $X_{53}$ )	0.066 6	0.007 6	0.008 0

2) EW 法确定评估指标的客观权重。根据式(5)~(6),可计算得到各评估指标的客观权重如表 3 所示。

3) 采用乘法合成归一化方法确定评估指标的综合权重,即利用式(7)将主观权重和客观权重进行耦合,计算的综合权重如表 3 所示。由表 3 可知,火灾响应程序合理性( $X_{32}$ ),火灾响应级别明确性( $X_{31}$ ),消防人员保障( $X_{42}$ ),消防物资保障( $X_{41}$ )为综合权重较高的二级评价指标。

将评估对象  $L_1$  的火灾应急预案评估指标综合权重与其单指标测度评估矩阵进行相乘,得到样本  $L_1$  的多指标综合测度评估向量为 {0.841 8, 0.158 2, 0, 0}, 根据最大隶属度原则,其评估等级为 I 级。同理,可求出其他 2 个评估对象  $L_2$  和  $L_3$  的多指标综合测度评估向量及综合评估结果,如表 4 所示。

### 3.3 结果分析

由表 4 的综合评估结果可知,3 座商业综合体火灾应急预案评估等级分别为,优秀、优秀、良好。运用层次

表 4 商业综合体火灾应急预案综合评估结果

Table 4 Comprehensive evaluation results of fire emergency plans for commercial complexes

样本编号	综合未确知测度				EW - AHP 和未确知测度综合评估结果
	I ( $C_1$ )	II ( $C_2$ )	III ( $C_3$ )	IV ( $C_4$ )	
$L_1$	0.841 8	0.158 2	0	0	I
$L_2$	0.885 5	0.111 3	0.003 2	0	I
$L_3$	0.379 6	0.502 9	0.117 6	0	II

分析法与模糊综合评价法相结合的评价模型计算,结果与本文模型评价结果一致。其中,评估对象  $L_3$  的应急预案存在问题较多,火灾响应级别明确性和火灾响应程序合理性存在问题,且在火灾应急保障中存在较多问题,尤其缺少人员保障,存在单人管理区域过大,1 人担任多职的情况,应尽快进行整改,保障应急人员及物资的充足。评估对象  $L_1$  与评估对象  $L_2$  的应急预案总体情况较好,但也存在人员疏散指示不明确、应急指挥人员安排不合理等情况,需要引起重视。

### 4 结论

1) 本文从组织机构及职责、火灾应急准备、火灾应急响应、应急保障和后期处置 5 个方面出发,构建商业综合体火灾应急预案评估指标体系,包括一级指标 5 个,二级指标 16 个。

2) 构建基于熵权 - 层次分析与未确知测度的商业综合体火灾应急预案评估模型。将层次分析法(AHP)和熵权法(EW)相耦合,确定商业综合体火灾应急预案评估指标的综合权重,降低专家人为主观因素的干扰,再结合未确知测度方法确定各研究对象的多指标综合测度评估向量,并最终给出各商业综合体火灾应急预案评估等级。

3) 通过计算得到商业综合体火灾应急预案评价指标体系中,各一级指标权重排序为:火灾应急响应( $X_3$ ) > 火灾应急保障( $X_4$ ) > 火灾应急准备( $X_2$ ) > 组织机构及职责( $X_1$ ) > 后期处置( $X_5$ );二级指标中火灾响应程序合理性( $X_{32}$ ),火灾响应级别明确性( $X_{31}$ ),消防人员保障( $X_{42}$ ),消防物资保障( $X_{41}$ )为综合权重较高的评价指标。

### 参考文献

[1] 央视网. 辽宁大连新兴市场发生火灾 造成 9 人死亡 [EB/

- OL]. (2022-01-02) [2024-01-02]. [https://content-static.cctvnews.cctv.com/snow-book/index.html?item\\_id=2154383422866959714](https://content-static.cctvnews.cctv.com/snow-book/index.html?item_id=2154383422866959714).
- [2] 人民网. 韩国一购物中心发生火灾致7死1重伤[EB/OL]. (2022-09-27) [2024-07-27]. <http://korea.people.com.cn/n1/2022/0927/c407864-32535148.html>.
- [3] 应急管理部消防救援局. 中国消防救援年鉴(2018年卷)[M]. 北京:应急管理出版社,2018.
- [4] 应急管理部消防救援局. 中国消防救援年鉴(2019年卷)[M]. 北京:应急管理出版社,2019.
- [5] 应急管理部新闻宣传司. 应急管理部消防救援局要求加强大型商业综合体火灾防控工作[EB/OL]. (2020-12-15) [2023-12-15]. [https://www.mem.gov.cn/xw/bndt/202012/t20201215\\_375290.shtm](https://www.mem.gov.cn/xw/bndt/202012/t20201215_375290.shtm).
- [6] ZHAO X, DONG L A, YE X, et al. A data-driven emergency plan evaluation method based on improved RIMER[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2023, 238: 109472.
- [7] 陈鹏冲, 刘畅, 葛黄徐, 等. 城市大面积停电应急能力评估指标探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(6): 5-12.  
CHEN Pengchong, LIU Chang, GE Huangxu, et al. Research on evaluation indexes of emergency capability for urban large-scale blackout[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(6): 5-12.
- [8] 路世昌, 倪照鹏, 刘鑫, 等. 大型商业综合体消防安全管理探讨[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(12): 1752-1755.  
LU Shichang, NI Zhaopeng, LIU Xin, et al. Discussion on fire safety management of large commercial complexes[J]. Fire Science and Technology, 2019, 38(12): 1752-1755.
- [9] 孙艺博. 西安市地铁火灾事故应急预案质量评价与优化研究[D]. 西安:西北大学, 2019.
- [10] XU Y, LI J, LIU Y. Research on quantitative evaluation of provincial government plans for public health emergencies in China[J]. SSRN Electronic Journal, 2022: 246097950.
- [11] 李健, 徐艺, 刘亦文. 京津冀突发事件总体应急预案量化评价[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 147-150.  
LI Jian, XU Yi, LIU Yiwen, et al. Quantitative evaluation of overall emergency plans of Beijing-Tianjin-Hebei[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(1): 147-150.
- [12] 彭恒明, 王铁骊. 基于犹豫模糊语言集的核电厂场内应急预案评估研究[J]. 科技管理研究, 2021, 41(1): 181-186.  
PENG Hengming, WANG Tieli. Study on evaluation of the on-site emergency plan in nuclear power plant based on hesitant fuzzy linguistic term set[J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(1): 181-186.
- [13] 马恒, 王苏. 煤矿应急预案评估研究及在常村煤矿中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2017, 44(4): 115-119.  
MA Heng, WANG Su. Research on mine emergency plan evaluation and its application in Changcun coal mine[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2017, 44(4): 115-119.
- [14] 肖会敏, 刘云鸽, 翟婷, 等. 基于模糊一证据理论的突发事件应急预案评估[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(2): 321-328.  
XIAO Huimin, LIU Yunge, ZHAI Ting, et al. Evaluation of emergency based on fuzzy-evidence theory[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2021, 51(2): 321-328.
- [15] 李小飞, 张谈贵, 张学东, 等. 辐射事故应急预案的模糊综合评价[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(1): 4-7.  
LI Xiaofei, ZHANG Tangui, ZHANG Xuedong, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of radiation accident emergency plan[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2020, 32(1): 4-7.
- [16] 安景文, 安娴, 王龙康, 等. 基于犹豫模糊集的生产安全事故应急预案评估研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(5): 128-133.  
AN Jingwen, AN Xian, WANG Longkang, et al. Study on evaluation of emergency plan for work safety accident based on hesitant fuzzy set[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2017, 13(5): 128-133.
- [17] 迟鹏德, 曹庆贵. 基于未确知测度理论的矿工不安全行为风险评估[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(4): 120-125.  
CHI Pengde, CAO Qinggui. Risk assessment on unsafe behavior of miners based on unascertained measurement theory[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16(4): 120-125.
- [18] 刘云熹, 时德轶, 张鹏, 等. 城市灾害事故应急能力评估指标体系构建研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(1): 179-186.  
LIU Yunxi, SHI Deyi, ZHANG Peng, et al. Research on construction of index system for emergency capability assessment of urban disasters and accidents[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2024, 20(1): 179-186.
- [19] 张渺, 杨洪, 谢洁. 基于未确知测度与博弈论的地铁作业场所职业危害综合评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(增刊2): 158-165.  
ZHANG Miao, YANG Hong, XIE Jie. Comprehensive assessment of occupational hazards in metro workplaces based on unascertained measure and game theory[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2021, 17(Supplement 2): 158-165.

(责任编辑:高婧琦)