

## 引用本文

贾洪琛,陈钦佩,王皓轩,等.台风灾害应急物资需求预测研究[J].消防科学与技术,2026,45(8):134-139.

Jia Hongchen, Chen Qinpei, Wang Haoxuan, et al. Research on demand prediction of emergency supplies for typhoon disasters[J]. Fire Science and Technology, 2026, 45(8): 134-139.

## 台风灾害应急物资需求预测研究

贾洪琛, 陈钦佩, 王皓轩, 罗 昊

(应急管理部天津消防研究所, 天津 300381)

**摘 要:**针对台风灾害初期数据信息不全、传统预测方法依赖性强所导致的应急物资需求预测难题,本文对基于案例推理的预测模型进行了创新优化。首先,融合熵权法与主成分分析法确定灾害特征属性的权重,并通过加权距离实现案例相似度计算;其次,引入随机森林回归模型,结合人口与经济社会指标,构建基于事件后果的案例修正机制;进而采用多案例加权综合推理方法实现灾情后果预测,并整合物资需求标准进行需求总量估算。结果表明,该方法能够在数据有限的条件下有效预测应急物资需求,具有操作简便、适应性强的优势,可为灾害初期应急决策与物资调配提供可靠支撑。

**关键词:**台风灾害;物资需求预测;案例推理;案例修正机制

**中图分类号:**X913;X43 **文献标志码:**A **DOI:**10.20168/j.1009-0029.2026.08.0134.06

## Research on demand prediction of emergency supplies for typhoon disasters

Jia Hongchen, Chen Qinpei, Wang Haoxuan, Luo Hao

(Tianjin Fire Science and Technology Research Institute of MEM, Tianjin 300381, China)

**Abstract:** To address the challenge of emergency supplies demand forecasting in the early stages of typhoon disasters, where data are often incomplete and traditional methods are highly dependent on prior assumptions, this paper innovatively optimizes a case-based reasoning forecasting model. First, the entropy weight method and principal component analysis are integrated to determine the weights of disaster characteristic attributes, and case similarity is calculated through weighted distance metrics. Second, a random forest regression model is introduced, which incorporates demographic and socioeconomic indicators, to construct an event-outcome-based case revision mechanism. Furthermore, a multi-case weighted comprehensive reasoning approach is adopted to predict disaster consequences, and the total demand is estimated by integrating established material supply standards. The results demonstrate that the proposed method can effectively forecast emergency material needs under data-scarce conditions. It is operationally straightforward and highly adaptable, providing reliable support for emergency decision-making and material allocation during the initial disaster response phase.

**Key words:** typhoon disaster; material demand forecasting; case-based reasoning; case revision mechanism

据统计,1949—2023年,西北太平洋及南海海域年均生成台风约27个,其中近1/4登陆我国或对我国造成显著影响。台风灾害具有突发性强、破坏力大的典型特征,其应急物资需求呈现总量庞大、品类多样、时间紧迫等特点。在灾后初期信息获取受限的背景

下,若能快速、准确地实现物资需求预测,对于优化救援决策与提升物资调配效率具有关键作用。然而,传统预测方法普遍存在模型结构复杂、对历史数据依赖程度高等局限,难以有效适应灾害初期的应急响应需求。因此,构建适用于台风灾害的快速需求预测方

**基金项目:**国家重点研发计划项目(2024YFC3016800)

**作者简介:**贾洪琛,应急管理部天津消防研究所,助理研究员,主要从事火灾分析研判和灾情辅助决策方面的研究,天津市南开区卫津南路110号,300381, jiahongchen@tfri.com.cn。

**收稿日期:**2025-10-13; **修回日期:**2026-05-18

法,对于提升应急救援能力、遏制灾情蔓延态势具有重要的理论与应用价值。

国内外学者针对灾害应急物资需求预测已提出多种模型与方法,但多聚焦于地震灾害<sup>[1-3]</sup>,且普遍对数据完整性要求较高,难以直接用于数据有限的台风灾害初期快速预测。近年来,案例推理方法因能在信息不完整条件下进行预测,被逐步引入应急物资需求领域。在改进预测模型方面,Rui L<sup>[4]</sup>将案例推理与模糊推理结合,构建了应急物资预测模型;在需求预测方法方面,Zhang H Q等<sup>[5]</sup>建立了案例推理与多元线性回归相结合的预测模型;在优化案例检索方面,汪贻生等<sup>[6]</sup>提出了融合案例推理与灰色关联分析的算法。此外,张斌等<sup>[7]</sup>提出了基于精细网格的台风灾损空间模型及应急物资需求定性预测模型;王兰英等<sup>[8]</sup>基于直觉模糊案例推理构建了应急物资需求预测模型。

针对传统案例推理方法在特征权重设定上主观性较强的问题,本文在文献[9-11]的启发下,集成案例快速匹配与多维度修正技术,构建了适用于台风灾害应急物资需求的快速预测方法,旨在优化灾害初期的救援决策支持。

## 1 物资需求预测模型的构建

### 1.1 特征选择

现有研究多选取台风等级、登陆点等静态属性进行需求预测,然而台风灾害是一个动态演化过程,其灾情严重程度受台风强度、持续时间、致灾特性(风/雨)以及受灾地区防灾能力、人口密度等多因素共同影响。因此,有必要构建更为综合的特征属性体系,以提升预测的准确性。文献[10-11]从灾害等级、灾害性质、灾害持续时间及灾害所在地区4个维度提取台风特征属性,能够较全面地反映各类因素的影响。基于此,本文在特征选择方面直接采用文献[10]的特征属性方法,具体涵盖区块受灾地常住人口、灾害防御能力、台风等级、风雨影响及灾害持续时间等指标。在输出特征方面,本文仅选取与救援物资需求直接相关的紧急安置人数作为预测目标,具体如表1所示。

### 1.2 相似案例匹配

在案例推理中,通常通过计算目标案例与源案例集之间的距离实现案例匹配,而权重的合理分配能够有效提升案例检索的精度。

#### 1.2.1 加权欧氏距离和相似度

对于目标事件的输入特征向量 $x=[x_1, x_2, \dots, x_n]$ 和案例库中的向量 $y=[y_1, y_2, \dots, y_n]$ ,加权欧氏距离的计算见式(1)。

$$D_w(x, y) = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (x_j - y_j)^2}, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (1)$$

式中: $w_j$ 为第 $j$ 个特征的权重; $x_j$ 为目标事件的输入特征值; $y_j$ 为案例库中的特征值。

相似度通过距离的倒数或负指数函数计算得到,见式(2)。

$$S(x, y) = \frac{1}{1 + D_w(x, y)} \quad (2)$$

表1 台风灾害特征属性

Table 1 Characteristics of typhoon disasters

| 台风灾害特征属性          | 含义         |
|-------------------|------------|
| year              | 台风登陆时间     |
| $P^7$             | 七级风圈相对影响人数 |
| $T^7$             | 七级风圈平均影响时间 |
| $P^{10}$          | 十级风圈相对影响人数 |
| $T^{10}$          | 十级风圈平均影响时间 |
| $S_{\max}$        | 登陆过程极大风速   |
| $S_{\max - \min}$ | 极大、极小风速之差  |
| $P^R$             | 强降雨相对影响人数  |
| $PR_{\max}$       | 过程最大降雨量    |
| $H$               | 台风路径相对影响人数 |
| POP               | 紧急安置人数     |

#### 1.2.2 特征权重确定

1)熵权法。首先消除量纲影响,对输入和输出数据分别进行归一化。其中, $x_{ij}$ 为第 $i$ 个样本第 $j$ 个输入特征, $x'_{ij}$ 为标准化后的特征值,见式(3)和式(4)。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (3)$$

$$y'_{ik} = \frac{y_{ik} - \min(y_k)}{\max(y_k) - \min(y_k)} \quad (4)$$

计算输入特征熵值见式(5)~式(7)。

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (5)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} p_{ij} \ln p_{ij} \quad (6)$$

(若 $p_{ij} = 0$ ,令 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ )

$$e_k = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \frac{y'_{ik}}{\sum_{i=1}^n y'_{ik}} \ln \left( \frac{y'_{ik}}{\sum_{i=1}^n y'_{ik}} \right) \quad (7)$$

式中: $e_j$ 为第 $j$ 个输入特征; $e_k$ 为第 $k$ 个输出特征。

输入特征权重见式(8)。

$$w_j^{\text{input}} = \frac{1 - e_j}{\sum_{k=1}^K (1 - e_k)} \quad (8)$$

2)主成分分析法。该方法计算步骤如下。

步骤1:计算协方差矩阵,见式(9)。

$$C = -\frac{1}{n} X^T X' \quad (9)$$

步骤2:对 $C$ 进行特征分解,得到特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_j$ 和特征向量 $V$ 。

步骤3:计算各主成分的方差贡献率,见式(10)。

$$w_k^{\text{PCA}} = \frac{\lambda_k}{\sum_{j=1}^J \lambda_j} \quad (10)$$

步骤4:原始输入特征权重  $w_j^{\text{input}}$  等于特征向量绝对值加权和(按贡献率),见式(11)。

$$w_j^{\text{input}} = \sum_{k=1}^n |V_{jk}| \cdot w_k^{\text{PCA}} \quad (11)$$

3)混合权重法。熵权法虽然能够基于数据本身的统计特性自动确认权重且有一定的可解释性,但容易忽略特征的相关性;主成分分析方法通过提取输入特征的主成分并根据方差贡献率分配权重。综合两者的优点,构建混合权重,见式(12)。

$$W = \alpha W_{\text{PCA}} + (1 - \alpha) W_{\text{Entropy}} \quad (12)$$

式中: $\alpha$ 为权重影响系数; $W_{\text{PCA}}$ 为主成分分析法得到的权重; $W_{\text{Entropy}}$ 为熵权法得到的权重。

4)动态权重更新。动态更新权重能够适应数据分布变化或环境波动,提升系统实时性能。引入指数衰减法,新旧权重加权融合,近期数据影响更大,见式(13)。

$$W_t = \beta W_{\text{new}} + (1 - \beta) W_{t-1} \quad (13)$$

式中: $\beta$ 为衰减系数, $\beta \in (0, 1)$ ;  $W_{\text{new}}$ 为混合权重法得到的权重; $W_{t-1}$ 为上一时刻的权重; $W_t$ 为调整后当前时刻的权重。

### 1.3 案例修正

现实中完全相同的事件案例并不存在,因此直接套用相似案例的事故后果及应对方案缺乏科学性。在检索到相似案例的基础上,结合当前问题的具体情境,构建有效的案例调整方法,已成为案例推理研究的主要方向。目前,已有不少学者对案例调整方法展开了相关研究。本文在借鉴文献[7]和文献[11]相关思路的基础上,对其进行了改进。

#### 1.3.1 模型法修正

通过构建回归模型,建立历史案例库中各案例之间特征属性差值与灾害后果差值之间的映射关系。依据该映射关系,在求得相似案例与目标事件特征属性差值向量的基础上,进一步预测相似案例与目标事件灾害后果的差值。最后,将预测差值与相似案例的已知后果叠加,即可获得目标事件的预测后果。具体操作步骤如下。

首先,根据案例库数据创建案例间的差值数据集  $(\Delta X, \Delta Y)$ ,其中  $\Delta X = \{\Delta X^1, \Delta X^2, \dots, \Delta X^n\}$  表示输入特征差值集合, $\Delta Y$ 表示灾害紧急安置人数差值集合。具体计算见式(14)和式(15)。

$$\Delta x_i^k = x_i^k - x_j^k, i \neq j \quad (14)$$

$$\Delta y_i = y_i - y_j, i \neq j \quad (15)$$

式中: $i, j = 1, 2, \dots, m, m$ 为案例数; $x_i^k$ 为第*i*个案例

的第*k*个特征; $y_i$ 为第*i*个案例的安置人数。

随机森林回归模型数据预处理简单、抗过拟合能力强、精度和异常值鲁棒性高,本文采用该模型进行偏差值预测,见式(16)。

$$\Delta y_{\text{RF}}(X) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h_t(\Delta X_i) \quad (16)$$

式中: $T$ 为森林中决策树的总数量; $\Delta X_i$ 为一个输入样本的特征向量; $h_t(\Delta X_i)$ 为第*t*棵决策树对样本  $\Delta X_i$  的预测输出; $\Delta y_{\text{RF}}(X)$ 为随机森林对样本*X*的最终预测输出。

回归预测的紧急安置人数调整量计算见式(17)和式(18)。

$$\text{POP}^{\text{model}} = \text{POP}^s + Q \quad (17)$$

$$Q = \Delta y_{\text{RF}}(\Delta X_{\text{target}}) \quad (18)$$

式中: $\text{POP}^{\text{model}}$ 为通过模型调整后的预测紧急安置人数; $\text{POP}^s$ 为案例推理的相似案例紧急安置人数; $\Delta X_{\text{target}}$ 为目标灾害事件与相似案例的各属性差值; $Q$ 为回归预测的紧急安置人数的调整量。

#### 1.3.2 社会指标修正

人口密集程度与地区抗灾能力均与受灾人口数目密切相关。因此,本文选取地区人口密度及GDP总量的变化量作为影响因子,对受灾人口数量进行进一步修正,见式(19)和式(20)。

$$\delta = \frac{D^{\text{now}}}{D^s} \quad (19)$$

$$\varphi = \frac{\text{GDP}^{\text{now}}}{\text{GDP}^s} \quad (20)$$

式中: $\delta$ 为人口密度修正系数; $D^s$ 与  $D^{\text{now}}$  分别指代历史案例与当前目标案例所对应的受灾区域在台风发生前一年的地区人口密度; $\varphi$ 为抗灾能力修正系数; $\text{GDP}^s$ 与  $\text{GDP}^{\text{now}}$  分别指代历史案例与当前目标案例所对应的受灾区域在台风发生前一年的地区GDP数据。

基于单一案例的受灾人口估算公式见式(21)。

$$\text{POP} = \delta \varphi \text{POP}^{\text{model}} \quad (21)$$

式中: $\text{POP}$ 为预测的当前事件的紧急安置人数; $\text{POP}^{\text{model}}$ 为经回归模型修正后紧急安置人数。

#### 1.3.3 多案例修正

为降低单一案例特殊性所导致的评估偏差,本文采用多个相似案例进行综合研判。首先,确定各参与评估案例的权重,然后对其独立评估结果进行加权整合,最终得出目标台风紧急安置人数的综合评估结果,见式(22)和式(23)。

$$\text{POP}_{\text{predict}} = \sum_{i=1}^{\text{num}} (\theta_i \times \text{POP}_i) \quad (22)$$

$$\theta_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^{\text{num}} S_i} \quad (23)$$

式中:  $POP_{predict}$  为基于多案例修正的紧急安置人数;  $POP_i$  为基于第  $i$  个历史相似案例预测的紧急安置人数, 由式(21)计算得到;  $\theta_i$  为第  $i$  个相似案例的权重值;  $S_i$  为第  $i$  个案例与当前目标灾害事件的相似度; num 为参与评估的历史案例数。

#### 1.4 应急物资需求计算

参考文献[12]采用应急物资间接预测方法, 本文则围绕紧急转移安置人数这一灾情结果, 结合相应的物资种类与配置标准, 计算应对目标灾情事件所需的物资需求量。鉴于物资需求种类繁多, 本文选取饮用水、食品、帐篷、衣被、药品等若干具有代表性的生活类救灾物资进行分析, 其人均需求标准如表2所示。

表2 生活类救灾物资人均需求标准

Table 2 Per capita demand standard for life related disaster relief supplies

| 种类   | 饮用水/<br>L/(人·天) | 食品/<br>kg/(人·天) | 帐篷/<br>顶/人 | 衣被/<br>套/人 | 药品/<br>箱/人 |
|------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|
| 需求标准 | 2               | 1               | 1/10       | 1          | 1/1 000    |

## 2 应用实例与分析

### 2.1 数据准备

本文直接采用参考文献[10]构建的2010—2019年登陆广东省的23个台风作为台风灾害案例库。以2015年台风“彩虹”为目标灾害事件, 该台风共造成广东省、海南省、广西壮族自治区44万余人被紧急转移安置。选取广东省作为研究区域, 并按行政区划将其划分为21个区块, 即每个地级市代表一个区块。

### 2.2 应用流程

首先, 灾情信息进入相似案例检索环节, 与案例库中的历史数据进行比对。随后, 通过模型法修正、社会指标修正和多案例修正3种方式对检索结果进行综合调整, 以确保测算的准确性。最终, 基于修正后的数据, 完成紧急转移安置人数的测算, 并进一步用于物资需求的预测。具体流程见图1。

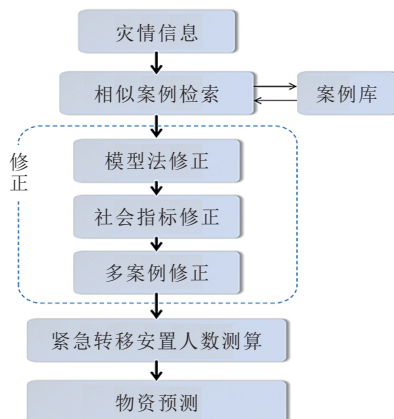


图1 应用流程

Fig. 1 Application workflow

### 2.3 相似案例检索

依据案例库中的案例数据, 分别采用熵权法、主成分分析法及混合加权算法, 按式(3)~式(12)计算表1中各项台风灾害特征属性的权重系数, 计算结果如表3所示。

表3 属性指标的权重系数

Table 3 Weight coefficients of attributes

| 特征属性          | 熵权法   | PCA   | 混合权重  |
|---------------|-------|-------|-------|
| year          | 0.051 | 0.086 | 0.072 |
| $P^7$         | 0.125 | 0.110 | 0.116 |
| $T^7$         | 0.090 | 0.091 | 0.091 |
| $P^{10}$      | 0.172 | 0.104 | 0.131 |
| $T^{10}$      | 0.117 | 0.108 | 0.112 |
| $S_{max}$     | 0.074 | 0.104 | 0.092 |
| $S_{max-min}$ | 0.127 | 0.105 | 0.114 |
| $P^R$         | 0.125 | 0.095 | 0.107 |
| $PR_{max}$    | 0.051 | 0.096 | 0.078 |
| $H$           | 0.067 | 0.101 | 0.088 |

一般情况下, 台风等级越高, 其所引发的灾情后果越为严重。然而, 受区域经济发展水平、城市建设状况等因素的影响, 相似强度的台风在不同年份所造成的实际灾害后果亦可能存在显著差异。由于本文已在评估体系的其他指标中纳入人口、经济等要素, 因此年份属性在权重分配中所占比例相对较低。

历史案例相似度的计算步骤如下。首先, 按式(1)采用加权欧氏距离评估目标事件与各源案例的匹配程度, 确定其邻近性; 然后, 应用案例相似度计算式(2), 求得各历史案例与目标事件的相似度数, 具体计算结果如表4所示。

表4 目标案例与源案例的相似度

Table 4 Similarity between the target case and the source case

| 年份   | 台风编号     | 紧急安置人数/万人 | 相似度    |
|------|----------|-----------|--------|
| 2014 | 1409 威马逊 | 16.50     | 62.39% |
| 2014 | 1415 海鸥  | 16.84     | 52.61% |
| 2013 | 1213 启德  | 34.60     | 38.82% |
| 2011 | 1117 纳沙  | 12.50     | 36.26% |
| 2016 | 1622 海马  | 10.60     | 36.07% |

### 2.4 修正

#### 2.4.1 模型法修正

根据式(14)、式(15)对案例库数据进行差值计算, 得到差值数据集, 并进行标准化处理。选取特征差值集合作为模型输入, 灾害紧急安置人数的差值集合作为输出。借助sklearn库中的随机森林回归模型进行训练, 决策树数量参数设为50。经模型修正后的紧急安置人数预测结果如表5所示。

表5 模型法修正结果

Table 5 Correction results of model method

| 台风编号    | 修正前紧急安置人数/万人 | 特征差值随机森林预测人数/万人 | 随机森林修正人数/万人 |
|---------|--------------|-----------------|-------------|
| 1409威马逊 | 16.50        | 6.93            | 23.43       |
| 1415海鸥  | 16.84        | 7.01            | 23.85       |

#### 2.4.2 社会指标修正

根据式(19)、式(20)计算得到人口密度修正系数 $\delta=1.019$ 和抗灾能力修正系数 $\varphi=1.092$ 。对经过随机森林算法修正的方案进行再调整,结果如表6所示。

表6 社会指标修正结果

Table 6 Correction results of social indicators

| 年份   | 台风编号    | 紧急安置人数/万人 | 相似度    | 社会指标再修正结果/万人 |
|------|---------|-----------|--------|--------------|
| 2014 | 1409威马逊 | 16.50     | 62.39% | 26.07        |
| 2014 | 1415海鸥  | 16.84     | 52.61% | 26.54        |

修正前后,相似案例的评估结果变化如下:台风“威马逊”的紧急转移安置人口预估值由修正前的16.50万人调整为26.07万人;台风“海鸥”则由16.84万人修正为26.54万人。

#### 2.4.3 多案例修正

选取相似度大于50%的“威马逊”与“海鸥”两个案例,分别基于单个案例计算其预测紧急转移安置人数,并按式(23)确定各案例的权重。进一步地,依据式(22)对两个案例的预测结果进行加权综合,得出目标台风紧急安置人数的综合评估值,结果如表7所示。

表7 综合修正结果

Table 7 Comprehensive correction results

| 年份   | 台风编号    | 修正前紧急安置人数/万人 | 修正后紧急转移安置人数/万人 |        |       |
|------|---------|--------------|----------------|--------|-------|
|      |         |              | 随机森林修正         | 社会指标修正 | 综合修正  |
| 2014 | 1409威马逊 | 16.50        | 23.43          | 26.07  | 26.29 |
| 2014 | 1415海鸥  | 16.84        | 23.85          | 26.54  |       |

#### 2.4.4 预测结果检验

模型预测准确性通过目标案例台风“彩虹”的预测灾情结果与实际观测结果之间的拟合优度进行评估,具体计算见式(24)。

$$P=\left(1-\frac{|Z-Z_0|}{Z_0}\right)\times 100\% \quad (24)$$

式中: $Z$ 为该灾情结果的预测值; $Z_0$ 为该灾情结果的实际值。

预测的准确率如表8所示。对台风“彩虹”的预测准确率高达90.5%。相较于传统方法,本方法以其时效性、高效性和易实施性,尤为适合灾害初期对应

急物资需求的快速预估。

表8 灾情结果预测的准确率

Table 8 Accuracy of disaster prediction results

| 参数             | 值     |
|----------------|-------|
| 紧急转移安置人数实际值/万人 | 24.00 |
| 紧急转移安置人数预测值/万人 | 26.29 |
| 准确度            | 90.5% |

#### 2.5 应急物资需求计算

台风“彩虹”的生活类应急物资需求量,可根据修正后的预测结果(即紧急转移安置人数)及人均每日物资需求标准进行测算,具体数量见表9。

表9 应急物资需求量预测结果

Table 9 Prediction results of emergency material demand

| 种类   | 饮用水/L/天 | 食品/kg/天 | 帐篷/顶   | 衣被/套    | 药品/箱  |
|------|---------|---------|--------|---------|-------|
| 总需求量 | 525 800 | 262 900 | 26 290 | 262 900 | 262.9 |

### 3 结 论

针对台风灾害初期信息不完备、传统预测方法数据依赖性高等问题,本文提出一种基于案例推理的应急物资需求快速预测方法。首先,融合熵权法与主成分分析法构建混合权重确定方法,以优化灾害特征属性的权重分配。其次,基于案例库中特征属性数据构建差值数据集,利用随机森林回归模型预测灾情结果偏移量,并结合人口、经济等社会指标建立案例调整机制,对相似案例的解决方案进行修正。为降低单一案例推理的不稳定性,采用多案例联合修正策略,以案例相似度为权重,对多个调整后的预测结果进行加权综合,实现对灾后紧急转移安置人数的预测。最后,结合物资需求标准,计算各类主要应急物资的需求量。该方法有效降低了对数据完整性的依赖,适用于灾害初期应急物资的快速预测,能够为救援决策与物资高效供应提供辅助支撑。

#### 参考文献:

- [1] 王国保,蔡水涌,杨红刚,等.基于地震初期的应急物资需求预测研究[J].地震工程学报,2025,47(4):925-936.  
Wang G B, Cai S Y, Yang H G, et al. Emergency material demand prediction based on the early stage of earthquakes[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2025, 47(4): 925-936.
- [2] 程梅.地震应急物资需求预测研究[D].廊坊:防灾科技学院,2025.  
Cheng M. Research on demand forecasting for earthquake emergency supplies[D]. Langfang: Institute of Disaster Prevention, 2025.
- [3] 焦志国.地震灾害下应急物资预测与分配问题研究[D].廊坊:防灾科技学院,2025.  
Jiao Z G. Research on the prediction and distribution of emer-

- gency materials under earthquake disasters[D]. Langfang: Institute of Disaster Prevention, 2025.
- [4] Rui L. Research on emergency supplies demand forecasting model[C]//2010 The 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation, 2010: 244-247.
- [5] Zhang H Q, Xu J Y. Research on emergency material demand forecasting model in disaster based on MLR-CBR[C]//International Conference of Logistics Engineering & Management. Chengdu:Southwest Jiaotong University, 2015: 2888-2994.
- [6] 汪贻生, 张英慧, 王金梅, 等. 基于CBR的突发事件应急物资动态需求预测方法研究[J]. 后勤工程学院学报, 2016, 32(6): 8-21.
- Wang Y S, Zhang Y H, Wang J M, et al. Dynamic demand forecasting method of emergency supplies based on CBR[J]. Journal of Logistical Engineering University, 2016, 32(6): 8-21.
- [7] 张斌, 陈建国, 吴金生, 等. 台风灾害应急物资需求预测模型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2012, 52(7): 891-895.
- Zhang B, Chen J G, Wu J S, et al. Emergency material demand forecast model for typhoon disaster response[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2012, 52(7): 891-895.
- [8] 王兰英, 郭子雪, 张玉芬, 等. 基于直觉模糊案例推理的应急物资需求预测模型[J]. 中国矿业大学学报, 2015, 44(4): 775-780.
- Wang L Y, Guo Z X, Zhang Y F, et al. An emergency supplies demand prediction model based on intuitionistic fuzzy case reasoning[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(4): 775-780.
- [9] 吴斯亮. 大型地震应急物资动态需求预测模型研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- Wu S L. Research of dynamic demand forecasting model for large earthquake emergency supplies[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [10] 胡凌锋. 基于案例推理的台风灾害应急物资需求预测研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- Hu L F. Research on the forecast of emergency materials demand for typhoon disaster based on case-based reasoning[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [11] 刘雅玉. 基于案例推理的台风灾害快速评估方法[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
- Liu Y Y. Rapid assessment of typhoon disaster based on case-based reasoning[D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [12] 兰培真. 基于GM(1, 1)模型的台风灾害救灾物资需求量预测[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2013, 18(6): 440-444.
- Lan P Z. Demand forecasting of typhoon disaster relief supplies based on GM(1, 1) model[J]. Journal of Jimei University (Natural Science), 2013, 18(6): 440-444.

(责任编辑:李艳娜)

(上接第133页)

## 参考文献:

- [1] 王玉晓, 孙军田. 网栅隔断式多功能烟热模拟训练系统应用技术研究[C]//2014中国消防协会科学技术年会, 2014: 87-90.
- [2] 张郑平, 吴慧斌. 烟热模拟训练评价考核系统的研究[J]. 工矿自动化, 2014, 40(12): 83-85.
- Zhang Z P, Wu H B. Research of evaluation and assessment system of smoke and heat simulation training[J]. Industry and Mine Automation, 2014, 40(12): 83-85.
- [3] 孙宗良, 盛文, 同伟. 模拟训练系统效能评估方法研究[J]. 空军雷达学院学报, 2009(5): 341-343.
- Sun Z L, Sheng W, Tong W. Research on effectiveness evaluation of simulative training systems[J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2009(5): 341-343.
- [4] 郝文柱. 浅谈消防设备和实战化训练对消防灭火救援能力的提升[J]. 中国设备工程, 2024(23): 245-247.
- Hao W Z. Discussion on the improvement of fire fighting equipment and actual combat training on fire fighting and rescue ability[J]. China Plant Engineering, 2024(23): 245-247.
- [5] 刘士建, 宋岩, 王善礼. 矿山救护队员训练和心理干预生理指标监测系统设计[J]. 山东煤炭科技, 2024, 42(1): 177-180.
- Liu S J, Song Y, Wang S L. Design of physiological indicator monitoring system for training and psychological intervention of mine rescue team members[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2024, 42(1): 177-180.
- [6] 张韧仁, 张忠秋. 国家跳水队队员备战国际大赛的身心状态及测评指标相关性探析[J]. 上海体育学院学报, 2017, 41(4): 88-94.
- Zhang R R, Zhang Z Q. Analysis of correlation between the physiological and psychological state and evaluation indexes of athletes in national diving team preparing for world sporting events[J]. Journal of Shanghai University of Sport, 2017, 41(4): 88-94.
- [7] 李恒. 新入职消防员职业体能训练管理体系构建研究[J]. 消防科学与技术, 2026, 45(S1): 186-191.
- Li H. Research on the construction of a professional physical training management system for newly hired firefighters[J]. Fire Science and Technology, 2026, 45(S1): 186-191.
- [8] 房娟, 景珂, 梁铭轩, 等. 消防救援人员自我效能感与心理健康的关系及职业倦怠的中介作用[J]. 职业与健康, 2026, 42(8): 1009-1012, 1019.
- Fang J, Jing K, Liang M X, et al. Relationship between firefighters' self-efficacy and mental health and the mediating role of burnout[J]. Occupation and Health, 2026, 42(8): 1009-1012, 1019.

(责任编辑:董里)