

文章编号: 1673-9469(2014)04-0098-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-9469.2014.04.024

# 基于未确知测度理论的高层建筑施工安全风险评价

郑超欣<sup>1</sup>, 徐迪<sup>2</sup>

(1. 河北工程大学 装备制造学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学 经济管理学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:** 本文在对高层建筑施工安全风险评价的研究中运用未确知测度(UM)理论, 经过综合分析高层建筑施工中安全事故的特点, 最终选取了5项一级指标和19项二级指标, 构建了高层建筑施工安全风险评价的指标体系; 用信息熵求各指标权重, 依照置信度识别准则判断风险等级; 并应用于工程实例, 成功判定出该工程的综合安全风险等级为Ⅲ级。结果表明, 此方法不但能求出高层建筑施工安全风险等级, 还可以客观反映施工中危险源的情况, 为高层建筑施工安全风险性评价提供有效参考。

**关键词:** 高层建筑施工; 风险评价; 未确知测度; 信息熵

中图分类号: TU714

文献标识码: A

## Security risk evaluation for high-rise building construction based on uncertainty measurement theory

ZHENG Chao-xin<sup>1</sup>, XU Di<sup>2</sup>

(1. College of Equipment Manufacturing, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. College of Economic Management, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** In this paper, authors applied the uncertainty measurement theory to the high-rise construction safety risk assessment study. Five first class indexes and the second index of 19 are chosen according to the characteristics and the cause of the safety accidents in the high-rise building. And an uncertainty measurement evaluation model based on the uncertainty measurement theory is proposed for predicting the construction risk of the high-rise building. The weight of each index is calculated by using the information entropy, and the risk grade is predicted in accordance with the confidence identify rules. A high-rise building is taken as an example, the comprehensive risk rating of the high-rise building is predicated successfully and its risk level is shown to be the grade III. The risk evaluations for the high-rise building construction not only include the risk grade of the high-rise building construction period but also reflect the dangerous sources during the high-rise building construction, which provide effective reference for the security risk evaluation of high-rise building construction.

**Key words:** high-rise building construction; risk evaluation; uncertainty measurement; information entropy

目前, 国内外学者已经对建筑施工安全评价进行了大量研究, 主要运用层次分析、灰色理论、人工神经网络、模糊综合评价等方法, 但是大多是以建筑总体的施工安全为主要研究对象, 没有针对高层建筑的具体特点开展深入研究<sup>[1]</sup>。本文以高层住宅建筑施工阶段中的安全因素为研究对象, 将未确知测度理论和信息熵理论用于其风险

评价中, 得出风险等级预测值, 为高层建筑施工安全管理作出正确决策提供依据。

### 1 未确知测度模型

设研究对象空间为  $U = \{x_1, \dots, x_m\}$ ,  $x_i$  表示第  $i$  个评价对象, 对每一个评价对象有  $n$  个评价指标, 指标空间为  $I = \{I_1, \dots, I_n\}$ ,  $x_{ij}$  是第  $i$  个评价对

象的第  $j$  个指标的评估值; 研究对象  $U$  处于某一状态, 其未知状态的集合简称未确知区间集<sup>[2]</sup>。

### 1.1 指标体系与评价等级的确定

评价对象  $x_i$  的指标  $I_j$  有  $k$  个评价等级  $c_1, \dots, c_k$ , 每个指标的类别标准已知。构成研究对象  $U$  的评价空间  $C = \{c_1, \dots, c_k\}$ , 满足:  $C = \bigcup_{i=1}^k c_i, c_i \cap c_j = \emptyset$ , 则称  $\{c_1, \dots, c_k\}$  为状态空间的分割; 这里评价类别向量  $\{c_1, \dots, c_k\}$  是有序的, 若  $c_i > c_{i+1}$  (或  $c_i < c_{i+1}$ ) 即  $c_i$  比  $c_{i+1}$  强 (或弱), 又称  $\{c_1, \dots, c_k\}$  是状态空间的一个有序分割<sup>[2]</sup>。

若已知  $m$  个评价对象  $x_1, \dots, x_m$  的指标, 则评价矩阵

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

### 1.2 未确知测度函数的构造

未确知测度函数  $\mu(x)$  是用  $[0, 1]$  上的一个数描述  $x_{ij}$  属于  $c_k$  类的程度, 称  $x_{ij}$  属于  $c_k$  类的未确知测度为  $\mu_{ijk}$ , 即  $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in c_k)$ , 且满足归一化条件, 即  $\mu_{ijk} \in [0, 1]$  且  $\sum_{k=1}^k \mu_{ijk} = 1$ ; 根据每个具体指标的变化特点选出与之相适应的未确知测度函数<sup>[2]</sup>。然后可求得单指标未确知测度矩阵

$$(\mu_{ijk})_{n \times k} = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1k} \\ \vdots & & \vdots \\ \mu_{in1} & \dots & \mu_{ink} \end{pmatrix}$$

### 1.3 指标权重的确定

当属性值  $x_{ij}$  和评价指标给定后, 属性权重也就相应的确定, 在属性测值的未确知测度中隐藏着, 故一般情况不适合再次人为规定, 应依据属性的实测值来确定各个指标的权重, 借用信息熵的概念来定义  $I_j$  的峰值<sup>[3]</sup>

$$V_{ij} = 1 + 1/\log k \sum_{k=1}^k \mu_{ijk} \log \mu_{ijk} \quad (1)$$

式中  $k$  是评价级别数目;  $V_{ij}$  的大小是指标  $I_j$  的重要性程度的反映。定义属性  $I_j$  的权重为

$$\omega_{ij} = V_{ij} / \sum_{j=1}^n V_{ij}, \sum_{j=1}^n \omega_{ij} = 1, \quad (2)$$

### 1.4 多指标综合测度矩阵

根据已经确定的指标权重, 可得到评价对象的多指标综合测度, 如下式

$$\mu_{ik} = \mu(x_i \in c_k) = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \mu_{ijk} \quad (3)$$

$(1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq K)$

### 1.5 识别与评价结果分析

由于评价类别  $\{c_1, \dots, c_k\}$  有序性, 很明显用最大测度识别是不合适的, 所以, 引入置信度识别准则, 若  $\{c_1, \dots, c_k\}$  满足  $c_i > c_{i+1}$ , 对置信度  $\lambda$  ( $0.5 < \lambda < 1$ ) 计算, 通常取 0.6 或 0.7<sup>[4]</sup>

$$k(x_i) = \min_{k=1}^k \mu_{ik}(c_k) \geq \lambda \quad (4)$$

## 2 实例研究

本文以高层住宅项目邢台市新世纪嘉园怡景苑 50#、51#楼施工为例, 该工程位于桥东区中兴大街北侧, 襄都路西侧, 建筑面积 24 493.18 m<sup>2</sup>, 剪力墙结构。其中 50#楼地上 18 层, 地下 2 层; 51#楼地上 17 层, 地下 2 层。该项目于 2013 年 2 月 1 日开工, 计划于 2015 年 2 月 4 日竣工。通过对 50#、51#楼施工过程中大量危险源的研究, 并结合前人研究成果<sup>[1, 5-8]</sup>, 筛选出具有代表性的评价指标, 建立了高层建筑施工安全风险评价的指标体系, 评价指标有五大类组成, 如图 1 所示。

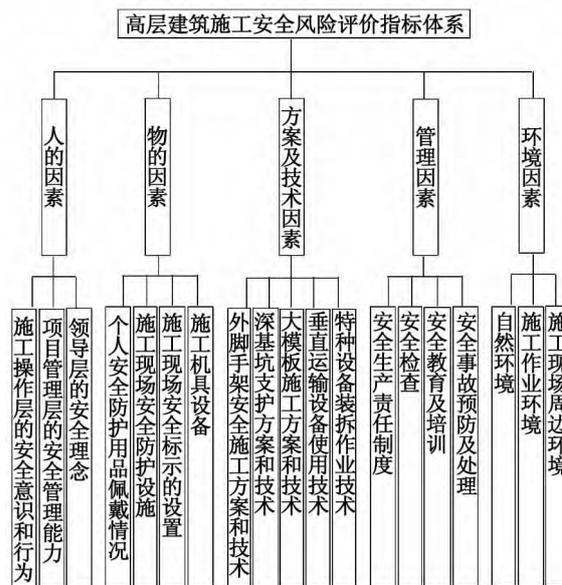


图1 高层建筑施工安全风险评价指标体系

Fig.1 Risk index system of high-rise building construction

在五大类评价指标中选取 19 项因素作为此次评价的影响因子, 分别用  $I_1, \dots, I_{19}$  表示。在评价过程中, 参考大量前人的研究成果<sup>[1, 5-8]</sup> 和专家建议, 并结合工程实例的具体情况, 运用赋值的方法将其

量化。通过分级标准化法将每个指标分为5级, 评判集为 $\{C_1, \dots, C_5\}$  即I、II、III、IV、V级, 分别表示安全风险低、安全风险较低、安全风险一般、安全风险较高、安全风险高。根据专家建议, 每级设置一个取值标准, 具体分级和赋值见表1。

结合工程实际, 根据调查结果和专家打分确定指标值, 其中安全评分表参考JPI-2011建设施工安全检查标准的相应打分项, 且做出了相应的调整和改进。具体各个评价指标的指标值详见表2。

表1 评价指标的等级标准

Tab. 1 Criterion table of high-rise building construction risk judgment grades

| 评价指标<br>安全级别           | 安全风险低<br>( $C_1$ ) | 安全风险较低<br>( $C_2$ ) | 安全风险一般<br>( $C_3$ ) | 安全风险较高<br>( $C_4$ ) | 安全风险高<br>( $C_5$ ) |
|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 施工操作层的安全意识和行为( $I_1$ ) | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 项目管理层的安全管理能力( $I_2$ )  | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 领导层的安全理念( $I_3$ )      | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 个人安全防护用品佩戴情况( $I_4$ )  | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 施工现场安全防护设施( $I_5$ )    | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 施工现场安全标示的设置( $I_6$ )   | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 施工机具设备( $I_7$ )        | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 外脚手架安全施工方案和技术( $I_8$ ) | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 深基坑支护方案和技术( $I_9$ )    | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 大模板施工方案和技术( $I_{10}$ ) | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 垂直运输设备使用技术( $I_{11}$ ) | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 特种设备装拆作业技术( $I_{12}$ ) | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 安全生产责任制度( $I_{13}$ )   | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 安全检查( $I_{14}$ )       | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 安全教育及培训( $I_{15}$ )    | $\geq 90$          | 80~90               | 70~80               | 60~70               | $\leq 60$          |
| 安全事故预防及处理( $I_{16}$ )  | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 自然环境( $I_{17}$ )       | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 施工作业环境( $I_{18}$ )     | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |
| 施工现场周边环境( $I_{19}$ )   | $\geq 9$           | 7~9                 | 5~7                 | 3~5                 | $\leq 3$           |

表2 评价指标调查统计表

Tab. 2 Statistics of high-rise building construction risk indicators

| 风险因素    | 评价指标                   | 评价指标赋值 |
|---------|------------------------|--------|
| 人的因素    | 施工操作层的安全意识和行为( $I_1$ ) | 6.5    |
|         | 项目管理层的安全管理能力( $I_2$ )  | 7.2    |
|         | 领导层的安全理念( $I_3$ )      | 7.8    |
| 物的因素    | 个人安全防护用品佩戴情况( $I_4$ )  | 72     |
|         | 施工现场安全防护设施( $I_5$ )    | 66     |
|         | 施工现场安全标示的设置( $I_6$ )   | 66     |
|         | 施工机具设备( $I_7$ )        | 7.5    |
| 方案及技术因素 | 外脚手架安全施工方案和技术( $I_8$ ) | 83     |
|         | 深基坑支护方案和技术( $I_9$ )    | 86     |
|         | 大模板施工方案和技术( $I_{10}$ ) | 81     |
|         | 垂直运输设备使用技术( $I_{11}$ ) | 87     |
|         | 特种设备装拆作业技术( $I_{12}$ ) | 81     |
| 管理因素    | 安全生产责任制度( $I_{13}$ )   | 74     |
|         | 安全检查( $I_{14}$ )       | 71     |
|         | 安全教育及培训( $I_{15}$ )    | 71     |
|         | 安全事故预防及处理( $I_{16}$ )  | 7.2    |
| 环境因素    | 自然环境( $I_{17}$ )       | 8.1    |
|         | 施工作业环境( $I_{18}$ )     | 7.9    |
|         | 施工现场周边环境( $I_{19}$ )   | 8.5    |

依据表 1 和表 2 构造出未确知测度函数, 详见图 2 和图 3。

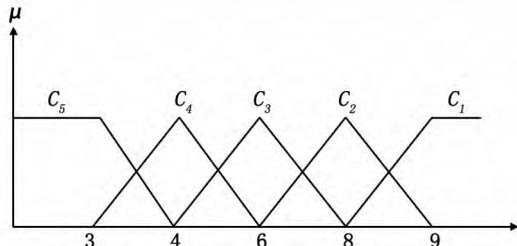


图2 评价指标 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_7$ 、 $I_{16}$ 、 $I_{17}$ 、 $I_{18}$ 、 $I_{19}$ 的未确知测度函数

Fig. 2 Uncertainty measurement function of  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_7$ 、 $I_{16}$ 、 $I_{17}$ 、 $I_{18}$ 、 $I_{19}$

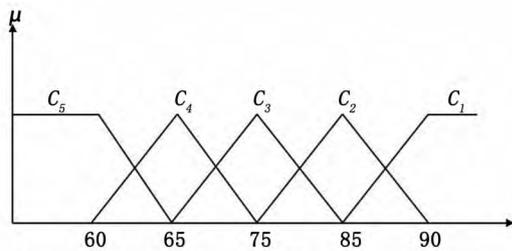


图3 评价指标 $I_4$ 、 $I_5$ 、 $I_6$ 、 $I_8$ 、 $I_9$ 、 $I_{10}$ 、 $I_{11}$ 、 $I_{12}$ 、 $I_{13}$ 、 $I_{14}$ 、 $I_{15}$ 的未确知测度函数

Fig. 3 Uncertainty measurement function of  $I_4$ 、 $I_5$ 、 $I_6$ 、 $I_8$ 、 $I_9$ 、 $I_{10}$ 、 $I_{11}$ 、 $I_{12}$ 、 $I_{13}$ 、 $I_{14}$ 、 $I_{15}$

参照表 1 和表 2 中给出的数据及图 2、图 3 求出单指标未确知测度评价矩阵

$$\mu_{jk} = \begin{pmatrix} 0 & 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.9 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.9 & 0 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.95 & 0.05 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

根据式 (1)、式 (2) 求出评价对象  $x$  对应的指

标权重向量为  $\omega_j = (0.051, 0.045, 0.062, 0.048, 0.062, 0.062, 0.051, 0.054, 0.054, 0.045, 0.045, 0.045, 0.062, 0.045, 0.045, 0.062, 0.068, 0.044)$

然后根据式 (3) 计算出多指标综合测度矩阵  $(\omega_{jk}) = (0.06, 0.47, 0.30, 0.17, 0)$

最后, 根据综合测度矩阵对评价对象  $x$  进行识别和排序, 取置信度  $\lambda = 0.7$ , 由式 (4) 求出

$$\lambda = 0.06 + 0.47 + 0.30 = 0.83 > 0.7$$

所以  $x \in C_3$ , 即新世纪嘉园怡景苑项目目前风险等级为 III 级, 安全风险一般。

综合分析计算结果发现, 该项目在施工阶段不存在特别突出的安全问题, 但是为了确保安全风险得到更为有效地控制, 应该制定完善的应急预案和安全管理措施, 将风险始终控制在可接受的范围内。

### 3 结语

本文这种模型适用于高层建筑施工安全风险状况的评价, 具有一定的可行性和科学性, 可为管理者提供决策依据, 具备一定的推广应用价值。在此需要特别说明的是, 考虑到不同地区各方面的实际情况不同, 在风险等级标准的划分和评价指标的选择上应进行必要地调整, 以便得到更加科学有效地评价结果。

### 参考文献:

- [1]徐蓉蓉. 高层建筑施工安全风险评价研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [2]刘开第. 不确定信息处理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [3]薛俊锋, 李莉, 赵子月, 等. 基于未确知测度的人才综合测评模型[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(4): 109-113.
- [4]郭章林, 雒燕. 未确知测度模型在城市燃气管道安全评价中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(7): 144-149.
- [5]廉凤梅. 高层建筑施工安全评价研究[D]. 辽宁: 辽宁工程技术大学, 2006.
- [6]杨红霞, 李玉萍. 环境控制对企业环境业绩的影响[J]. 河北科技大学学报, 2013, 34(4): 370-376.
- [7]孟祥磊. 基于未确知测度的施工安全分析模型及应用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [8]张军. 建筑施工危险源安全评价及管理的方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.

(责任编辑 刘存英)