

# 基于熵权可拓理论建筑施工项目安全风险评价

李万庆<sup>1</sup>, 闫方<sup>1</sup>, 孟文清<sup>2</sup>, 刘博<sup>1</sup>

(1. 河北工程大学 经济管理学院, 河北 邯郸 056038; 2. 河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:**针对当前建筑施工项目中安全风险现状,综合考虑人员、材料、机械设备、技术、环境、管理等六大影响因素,构建安全风险评价指标体系,通过采用熵权理论计算指标权重,引入物元可拓理论综合评价模型,得到建筑施工项目安全风险等级。最后通过实例验证了模型的可靠性和科学性,为建筑施工项目安全风险评价提供借鉴。

**关键词:**可拓理论;熵权;建筑施工项目;安全风险评价

**中图分类号:**TU7

**文献标识码:**A

## Evaluation of security risk in building construction project based on entropy weight and extension theory

LI Wan-qing<sup>1</sup>, YAN Fang<sup>1</sup>, MENG Wen-qing<sup>2</sup>, LIU Bo<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** Focusing on the current situation of security risk management in building construction project, security risk evaluation indexes system is established through comprehensive consider six major factors as follow personnel, materials, mechanical equipment, environment and management. The weight of each index can be gotten by information entropy, applying extension theory to evaluate risk and the level of risk in building construction project is obtained. Finally, an example is provided to verify reliability of the method, giving some reference for security risk evaluation of building construction project.

**Key words:** extension theory; entropy weight; building construction project; evaluation of security risk

建筑施工项目领域一直是安全风险密集、安全事故多发的高危领域。现代化的建筑为满足客户日益增长的多功能需求和自身的美观性,以及工人自身素质的良莠不齐,导致建筑施工项目在建造管理过程中,由于人材机以及其他因素造成建筑施具有很大风险。所以加强建筑施工项目的安全风险管理,对我国的经济和社会有着重大意义。目前建筑施工项目安全风险的指标权重确定方法,主要是基于专家打分法,通过处理专家给出的判断数据得到指标权重,而该方法在打分过程中带有很强主观性,难以客观反应指标的实际情况。针对此,本文提出熵权可拓评价方法,将

基于熵确定指标权重与可拓评价方法相结合,使风险评价结果更加科学、客观。

### 1 熵权可拓模型的建立

#### 1.1 确定经典域

根据物元可拓理论和建筑施工项目的自身特征,将待评价的建筑施工项目安全风险分为  $m$  个级别,并用其  $n$  个特征  $c_1, c_2, \dots, c_n$  和相应的量值  $v_1, v_2, \dots, v_n$  描述出来,即得到经典域物元  $R_j$ 。

$$R = (N_j, C, V_j) =$$

$$\begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_{j1} \\ & c_2 & v_{j2} \\ & M & M \\ & c_n & v_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j, & c_1, & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2, & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & M & M \\ & c_n, & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中  $N_j$ —建筑施工项目安全风险等级,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $v_{jk}$ —特征  $c_k$  在  $j$  等级上的值域,  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $a_{jk}, b_{jk}$ — $c_k$  取值范围的上限和下限,  $k = 1, 2, \dots, n$ 。

1.2 确定节域

$$R_p = (N_p, C, V_p) = \begin{bmatrix} N_p & c_i & v_{p1} \\ & c_2 & v_{p2} \\ & M & M \\ & c_n & v_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p, & c_1, & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2, & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & M & M \\ & c_n, & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中  $N_p$ —建筑施工项目安全风险等级的全体;  $v_{pk}$ — $N_p$  关于特征  $c_k$  值域,  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $a_{pk}, b_{pk}$ — $c_k$  所取值范围的上限和下限,  $k = 1, 2, \dots, n$ 。

1.3 确定待评物元

$$R = (N, C, V) = \begin{bmatrix} N & c_i & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & M & M \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中  $v_k$ — $N$  关于特征  $c_k$  所取值,  $k = 1, 2, \dots, n$ 。

1.4 确定安全风险指标的关联度

建筑施工项目的第  $k$  个指标关于建筑施工项目安全风险等级  $j$  的关联函数  $r_{jk}(v_k)$ 。

$$r_{jk}(v_k) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_k, v_{jk})}{|v_{jk}|}, & v_k \in v_{jk} \\ \frac{\rho(v_k, v_{jk})}{\rho(v_k, v_{pk}) - \rho(v_k, v_{jk})}, & v_k \notin v_{jk} \end{cases} \quad (4)$$

式中  $\rho(v_k, v_{jk}) = \left| v_k - \frac{1}{2}(a_{jk} + b_{jk}) \right| - \frac{1}{2}(b_{jk} - a_{jk})$ ;  $|v_{jk}| = |b_{jk} - a_{jk}|$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$

$\rho(v_k, v_{pk}) = \left| v_k - \frac{1}{2}(a_{pk} + b_{pk}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pk} - a_{pk})$ 。

1.5 运用熵权法确定权重系数

根据建筑施工项目各特征的关联函数值  $r_{jk}(v_k)$  构建权重判断矩阵  $R$ 。

$$R = (r_{jk})_{n \times m} \quad (j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

计算评价指标的熵权  $\omega_j$ 。

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^k (1 - H_j)} \text{且满足 } \sum_{j=1}^k \omega_j = 1 \quad (6)$$

根据熵的定义,  $H_j = -\frac{1}{\ln y} \sum_{j=1}^y f_{jk} \ln f_{jk}$ , ( $k = 1, 2, \dots, n$ );

若  $f_{jk} = 0$ , 则  $\ln f_{jk}$  无意义, 所以对传统的  $f_{jk}$  进行如下修正:  $f_{jk} = (1 + r_{jk}) / \sum_{j=1}^y (1 + r_{jk})$ 。

1.6 确定建筑施工项目安全风险等级

计算待评建筑施工项目安全风险物元  $N$  关于风险级别  $j$  的加权关联度  $k_j(N)$ 。

$$k_j(N) = \sum \omega_j r_{jk}(v_k) \quad (7)$$

$$k_j = \max \{ k_j(N), j = 1, 2, \dots, m \} \quad (8)$$

判定物元  $N$  的安全风险是属于  $j$  类。

2 工程应用

2.1 评价指标的选取

在人—机—环境系统理论和人机工程学事故致因理论的基础上, 从人员、材料、机械、技术、环境、管理因素分析可能影响施工项目安全的因素。依据参考文献[5]中的建筑施工项目安全风险影响因素, 构建如下指标体系, 见表1。

表1 建筑施工项目安全风险评价指标体系

Tab. 1 Construction project safety risk assessment system

目标层	一级指标	二级指标
建筑施工项目安全风险因素	人员因素 $C_1$	工人操作熟练程度 $C_{11}$
		特种作业持证上岗比例 $C_{12}$
		组织指挥能力 $C_{13}$
		经安全培训的工人 $C_{14}$
		类似工程经验 $C_{15}$
	材料因素 $C_2$	安全设施的投入比例 $C_{21}$
		安全防护完善程度 $C_{22}$
		安全物质良好程度 $C_{23}$
	机械设备因素 $C_3$	机械设备安全使用 $C_{31}$
		机械设备性能 $C_{32}$
		设备检修力度 $C_{33}$
	技术因素 $C_4$	施工组织设计 $C_{41}$
		分部安全技术交底 $C_{42}$
		工程设计的优良程度 $C_{43}$
	环境因素 $C_5$	施工现场情况 $C_{51}$
气候条件 $C_{52}$		
管理因素 $C_6$	工程地质条件 $C_{53}$	
	安全操作规程完善情况 $C_{61}$	
	安全管理机构及岗位设置 $C_{62}$	
		安全生产事故报告与处理 $C_{63}$

本文以河北省某施工单位的施工项目为例,其安全风险数据见表 2。

运用比例转化法,对原始数据进行标准化处理,将样本数据伸缩至区间[0,1],见表 3。

2.2 建筑施工项目安全风险的经典域

将项目的安全风险划分成 5 个等级:高风险、较高风险、一般风险、较低风险及低风险,其对应的取值区间为(0,0.3]、(0.3,0.5]、(0.5,0.7]、(0.7,0.9]、(0.9,1]。例如人员因素各等级的经典域物元。

$$R = \begin{bmatrix} c_{11} & \langle 0,0.3 \rangle & \langle 0.3,0.5 \rangle & \langle 0.5,0.7 \rangle & \langle 0.7,0.9 \rangle & \langle 0.9,1 \rangle \\ c_{12} & \langle 0,0.3 \rangle & \langle 0.3,0.5 \rangle & \langle 0.5,0.7 \rangle & \langle 0.7,0.9 \rangle & \langle 0.9,1 \rangle \\ c_{13} & \langle 0,0.3 \rangle & \langle 0.3,0.5 \rangle & \langle 0.5,0.7 \rangle & \langle 0.7,0.9 \rangle & \langle 0.9,1 \rangle \\ c_{14} & \langle 0,0.3 \rangle & \langle 0.3,0.5 \rangle & \langle 0.5,0.7 \rangle & \langle 0.7,0.9 \rangle & \langle 0.9,1 \rangle \\ c_{15} & \langle 0,0.3 \rangle & \langle 0.3,0.5 \rangle & \langle 0.5,0.7 \rangle & \langle 0.7,0.9 \rangle & \langle 0.9,1 \rangle \end{bmatrix}$$

2.3 建筑施工项目安全风险的节域

人员因素的节域。

$$R = \begin{bmatrix} P & c_{11} & \langle 0,1 \rangle \\ & c_{12} & \langle 0,1 \rangle \\ & c_{13} & \langle 0,1 \rangle \\ & c_{14} & \langle 0,1 \rangle \\ & c_{15} & \langle 0,1 \rangle \end{bmatrix}$$

2.4 评价指标关联度计算

根据式(4),计算出人员因素各个评价指标关于安全风险的关联度,见表 4。

2.5 确定评价指标的权系数

根据式(5)、式(6)求得各二级指标的权重  $\omega_1$ 。

$$\omega_1 = (\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{13}, \omega_{14}, \omega_{15}) = (-0.2101, 0.1348, 0.2976, 0.1515, 0.2060)$$

2.6 评价指标加权关联度

根据式(7),求得人员因素指标的加权关联度,同理求出其他因素加权关联度,见表 5。

表 2 建筑施工项目安全风险因素统计表

Tab.2 Statistics construction project safety risk factors

项目	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>43</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	C <sub>53</sub>	C <sub>61</sub>	C <sub>62</sub>	C <sub>63</sub>
1	中	56	76	57	73	86	83	良	63	中	55	86	良	82	86	优	85	良	86	71

表 3 原始数据归一化处理结果

Tab.3 Normalized results of raw data

项目	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>21</sub>	C <sub>22</sub>	C <sub>23</sub>	C <sub>31</sub>	C <sub>32</sub>	C <sub>33</sub>	C <sub>41</sub>	C <sub>42</sub>	C <sub>43</sub>	C <sub>51</sub>	C <sub>52</sub>	C <sub>53</sub>	C <sub>61</sub>	C <sub>62</sub>	C <sub>63</sub>
1	0.6	0.56	0.76	0.57	0.73	0.86	0.83	0.8	0.63	0.6	0.55	0.86	0.8	0.82	0.86	0.95	0.85	0.8	0.86	0.71

表 4 二级指标 C<sub>1i</sub>与各等级的关联度

Tab.4 Correlation with the level of secondary indicators C<sub>1i</sub>

等级	高风险	较高风险	一般风险	较低风险	低风险
C <sub>11</sub>	-0.428 6	-0.200 0	0.500 0	-0.200 0	-0.428 6
C <sub>12</sub>	-0.371 4	-0.120 0	0.300 0	-0.241 4	-0.435 9
C <sub>13</sub>	-0.657 1	-0.520 0	-0.200 0	0.300 0	-0.368 4
C <sub>14</sub>	-0.385 7	-0.140 0	0.350 0	-0.232 1	-0.434 2
C <sub>15</sub>	-0.614 3	-0.460 0	-0.100 0	0.150 0	-0.386 4

表 5 一级指标的加权关联度

Tab.5 Weighted correlation of level indicators

	高风险	较高风险	一般风险	较低风险	低风险
人员因素	-0.520 7	-0.328 9	0.118 4	0.010 5	-0.403 8
材料因素	-0.759 3	-0.663 0	-0.438 3	0.342 6	-0.279 6
机械设备因素	-0.426 6	-0.197 2	0.388 6	-0.197 6	-0.428 4
技术因素	-0.754 7	-0.656 6	-0.427 6	0.358 6	-0.284 6
环境因素	-0.874 6	-0.824 5	-0.707 5	-0.211 8	0.207 2
管理因素	-0.736 2	-0.630 7	-0.384 5	0.299 1	-0.290 5

表6 工程1 建筑施工项目安全风险等级综合加权关联度

Tab.6 Construction project integrated security risk rating weighted correlation of engineering 1

总加权关联度	高风险	较高风险	一般风险	较低风险	低风险
$r$	-0.759 9	-0.663 8	-0.436 4	0.093 8	-0.130 6

根据二级指标确定的加权关联度,构建一级指标权重判断矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} -0.520 7 & -0.328 9 & 0.118 4 & 0.010 5 & -0.403 8 \\ -0.759 3 & -0.663 0 & -0.438 3 & 0.342 6 & 0.279 6 \\ -0.426 6 & -0.197 2 & 0.388 6 & -0.197 6 & -0.284 6 \\ -0.754 7 & -0.656 6 & -0.427 6 & 0.358 6 & 0.207 2 \\ -0.874 6 & -0.824 5 & -0.707 5 & -0.211 8 & -0.290 5 \\ -0.736 2 & -0.630 7 & -0.384 5 & 0.299 1 & 0.113 1 \end{bmatrix}$$

根据式(4) - (7),计算得到综合加权关联度,见表6。

## 2.7 评价项目安全风险等级

根据式(8)可知,一级指标综合关联度最大值0.093 8,对应较低风险经典域,据判断建筑施工项目安全风险评价等级为较低风险。

## 2.8 评价结果分析

该项目的施工现场安全检查评分表得分是76分,评价结果是合格,与熵权可拓评价方法得出的结论基本一致。该项目安全风险等级是较低风险。在人员因素和机械设备因素方面是一般风险,材料因素、技术因素、管理因素方面是较低风险,环境因素方面是低风险。所以该工程项目应该在人员因素和机械设备因素方面加大投入力度,如选取操作熟练程度高的施工人员、提高特种作业人员持证上岗比例以及施工人员都经过安全培训后再上岗,这样可以降低由于人的因素给项目造成的安全风险。

## 3 结语

综合考虑建筑施工项目管理过程中的众多影响因素,建立了全面、系统的安全风险评价指标体系,真实、客观的反映出项目的风险情况。熵权可拓评价方法科学、客观的确定了指标的权重,避免

了一些方法的主观随意性,在具体建筑施工项目安全风险评价中应用简便,并且能够准确得项目的安全风险级别。为以后建筑施工项目安全管理提供了新的借鉴。

## 参考文献:

- [1]蔡文. 可拓工程方法[M]. 北京:科学出版社, 1997.
- [2]杨玉中, 吴立云, 黄卓敏. 矿井通风系统评价的可拓方法[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(1):126-130.
- [3]李剑. 一种改进的建设工程项目风险评价方法[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2014, 31(2):110-112.
- [4]王夏林, 严宝文. 基于熵权的可拓理论在地灾危险性评价中的应用[J]. 人民长江, 2012, 43(21):70-74.
- [5]梁桂兰, 徐卫亚, 谈小龙. 基于熵权的可拓理论在岩体质量评价中的应用[J]. 岩土力学, 2010, 31(2):535-540.
- [6]李万庆, 郭海燕, 孟文清, 等. 基于灰色聚类-SPA的建筑施工项目安全风险评价[J]. 数学实践与认识, 2012, 42(8):168-173.
- [7]李张苗, 寇新建, 蒋萌, 等. 钢结构施工过程人因失误因素AHP分析[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2014, 31(1):17-19.
- [8]安娟. 基于ACO-SVW的建筑施工项目安全风险预测[D]. 河北:河北工程大学, 2011.
- [9]王飞, 魏国兴. 基于SVM的建筑施工项目安全风险评价[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2011, 12:959-962.
- [10]黄仁东, 张小军. 基于熵权物元可拓模型的隧道瓦斯等级评价[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(4):77-82.
- [11]孙秀玲, 褚君达, 马慧群, 曹升乐. 物元可拓评价法的改进及其应用[J]. 水文, 2007, 27(1):4-7.

(责任编辑 刘存英)