

# 基于 DEMATEL 和熵权法的脚手架施工安全风险 指标权重分析

王 婷, 曾凡奎

(西安工业大学建筑工程学院, 西安 710021)

**摘 要:**为定量分析影响脚手架施工安全风险因素,进而找出主要影响因素,并对此提出针对性的风险规避措施,采用熵权法和 DEMATEL 法从管理、设计、搭设因素 3 方面构建了脚手架施工安全风险指标模型。通过熵权法求得的熵权值来判断各因素对施工安全的影响程度,通过 DEMATEL 法计算出影响度、被影响度、中心度和原因度来确定各指标间的相互影响程度,同时,将两种算法结合使用得到了因素组合权重值,并最终确定了关键风险因素。结果表明,地基承载力不足、搭设不规范、构件单元尺寸过大三者的组合权重值较高,分别为 0.1570、0.1003 和 0.0991;其中,地基承载力不足受其他因素影响最为严重,其值高达 -1.4898。该结论为施工单位规避脚手架安全风险提供了方向,同时熵权法与 DEMATEL 法的集成运用可为其他领域定量分析提供技术路线。

**关键词:**脚手架施工安全;安全风险因素;熵权法;决策试验与评价实验法

**中图分类号:**TU7

**文献标志码:**A

## 引 言

脚手架作为建筑施工中一项重要的空中作业工具,可为外墙装饰、结构施工及建筑材料堆放提供辅助作业平台,在楼层高、跨度大及空间结构设计复杂的建筑施工中使用,因量大、要求高且搭设技术复杂,导致了施工难度明显增加,对架体安全性与稳定性也提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。近年来,由脚手架及模板支架所引发的坍塌及高处坠落等施工安全事故成为建筑施工中的重大危险源之一,如 2015 年 7 月发生在西藏林芝市的一起模板

支撑体系坍塌事故,造成 8 人死亡,5 人受伤;2016 年 1 月,唐山市丰润区某施工工地同样因模板支撑体系坍塌造成 5 人死亡。2017 年 3 月在湖北麻城一建筑工地发生脚手架垮塌造成 15 人被埋。这些事故给国家和人民的生命财产造成重大损失。因此,分析研究脚手架施工安全风险因素及其应对措施,对缓解脚手架坍塌所引发的重大安全事故具有重要意义。

本文基于现有研究成果,通过网络资源平台与查阅相关文献<sup>[24]</sup>的方法构建出影响脚手架施工安全的各风险因素体系,由于导致脚手架施工安全风险的因素很多

收稿日期:2018-03-14

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014JM2-5079);西安市 2014 年科技计划项目(CXY1432(1))

作者简介:王 婷(1993-),女,山西晋中人,硕士生,主要从事土木工程建设与管理方面的研究,(E-mail)287841379@qq.com;

曾凡奎(1982-),男,山东菏泽人,教授,博士,主要从事土木工程建设与管理方面的研究,(E-mail)fankuizeng@126.com

且关系复杂,为此对各因素进行科学量化分析,并从中找出关键风险因素至关重要。采用决策试验与评价实验法(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)法和熵权法对脚手架施工安全风险系统进行混合建模。利用熵权法确定各风险因素对脚手架施工安全影响的权值,通过 DEMATEL 法确定各因素间的影响程度值来修正熵权值,进而求得各风险因素的组合权重,从中找出重要的原因因素和结果因素<sup>[5]</sup>,为脚手架施工安全风险提供依据。

## 1 施工安全风险指标的选取与评价体系的建立

脚手架施工安全风险存在于方案设计与管理及现场搭设与管理两个阶段,因此,本文针对架体管理、方案设计与现场搭设三个层面对脚手架施工安全风险影响因素进行相关文献与网络资源的查阅,最终确定了影响脚手架施工安全的3个风险因素及各因素下的11个风险指标,并依据科学性、系统性的原则,建立了如图1所示的脚手架施工安全风险指标体系。

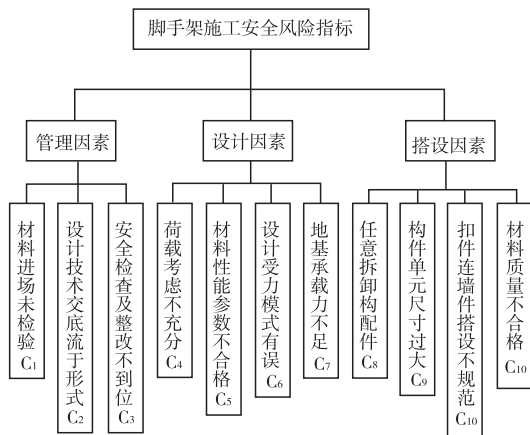


图1 脚手架施工安全风险指标体系

在管理因素方面,架体材料进场检查、报验、检测的制度不健全,项目各参与方安全检查及管理制度不够完善,不能对满堂支撑架定期进行安全生产考核<sup>[6]</sup>。此外,多数情况下的施工现场安全检查只是停留于形式,对检查出的安全隐患提出的改进措施得不到落实。

在设计因素方面,现行技术规范在进行荷载计算

时,将恒荷载与活荷载均简化为均布荷载,但在实际工程中,支撑架上的恒荷载可以看作为均布荷载,但活荷载并非均匀分布,其随着施工工序的变化而不断变化,而现行规范并未考虑到这一点,这就会在支撑架架体局部位置产生集中荷载或偏心荷载,进而造成荷载考虑不充分及设计受力模式有误的后果<sup>[7]</sup>。在设计材料性能参数方面,容易出现取值不当的现象,如设计计算规定采用 $\varphi 48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 的钢管与 $\varphi 48 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}$ 的钢管均可行,但二者截面面积相差13.2%,惯性矩相差11.5%。若在受力计算时忽略这一点,就会为后期的搭设使用埋下设计安全隐患。最后,在地基承载力参数取值方面,未考虑到地下水水位上升或雨雪天气等对地基承载力削弱的影响,致使承载力在设计计算时取值偏大。

在搭设因素方面,存在因工人无证上岗或安全意识不足而任意拆卸构配件,未按照专项施工方的要求对各杆件进行布设,致使出现各构件单元尺寸过大,扣件、连墙件等搭设连接不规范等违规现象。此外,在经过多次搭设使用及维护保养不到位的情况下,钢管、扣件等存在严重磨损与锈蚀变形,致使脚手架整体承载能力下降,极易造成局部或整体坍塌事故的发生。

## 2 基于熵权法和DEMATEL的混合建模分析

熵权法又称客观赋权法,即利用能反映各指标信息量大小的熵值确定各指标的熵权,但该方法没有考虑各因素间的相互影响关系<sup>[8]</sup>。而 DEMATEL 法通过运用图论与矩阵工具,构建能反映各因素间逻辑关系的直接影响矩阵,在计算各因素的影响度、被影响度、中心度及原因度的基础上,实现对各因素相互影响程度的排序与因果量化分析<sup>[9]</sup>。为此,将二者集成运用可使各因素权重分配更科学合理。熵权法-DEMATEL的具体建模过程<sup>[10]</sup>:

(1) 构建系统影响因素集  $C = \{C_j | j = 1, 2, \dots, n\}$ 。

$$b_{ij} = \frac{r_{ij} - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \quad (1)$$

(2)单指标评价,通过对专业人员发放问卷调查,得到各指标值构成的判断矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。对  $R$  进行归一化处理,进而得到归一化矩阵  $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 。

(3)计算熵值,按传统熵的定义计算:

$$H_j = \frac{-\left(\sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij}\right)}{\ln m} \quad (i=1, \dots, m; j=1, \dots, n) \quad (2)$$

式中:  $f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^m b_{ij}}$ , 当出现  $f_{ij} = 0$  时,  $\ln f_{ij} \rightarrow -\infty$ , 此时  $H_j$

无意义,故本文对  $f_{ij}$  进行修正,将其定义为  $f_{ij} =$

$$\frac{(1+b_{ij})}{\sum_{i=1}^m (1+b_{ij})}。$$

(4)计算熵权,各指标熵权集合为  $W_j^k = (k_j)_{1 \times n}$ , 其中,  $k_j$  计算公式为:

$$k_j = \frac{(1-H_j)}{(n-\sum_{j=1}^n H_j)} \quad (3)$$

(5)构建直接影响平均关系矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ , 其中,  $a_{ij}$  表示因素  $i$  对因素  $j$  影响程度的大小,当  $i=j$  时,  $a_{ij} = 0$ 。经专家打分后对各直接影响矩阵中的相同元素相加求均值,求得矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。

(6)对直接影响平均关系矩阵进行标准化处理,得到标准化直接影响矩阵  $N = (n_{ij})_{n \times n}$  及综合影响矩阵  $T = (t_{ij})_{n \times n}$ , 其计算公式为:

$$N = \lambda A, \lambda = \frac{1}{\max\left(\sum_{j=1}^n a_{ij}\right)} \quad (4)$$

$$T = \lim_{k \rightarrow \infty} (N^1 + N^2 + \dots + N^k) = N(1 - N)^{-1} \quad (5)$$

(7)依据综合影响矩阵,可求得各影响因素的影响度  $f_i$ 、被影响度  $e_i$ 、中心度  $r_i$  及原因度  $z_i$ 。在求得中心度  $r_i$  后可求得各指标权重值  $c_j$ 。其中,  $f_i$  表示因素  $i$  对其他因素的影响总和,  $e_i$  表示因素  $i$  受其他因素的影响总和,  $r_i$  表示因素  $i$  的重要性程度,  $z_i$  表示因素  $i$  与其他因素间的关系,若  $z_i$  大于零,表示  $i$  为原因因素,  $z_i$  小于零,表示

$i$  为结构因素。其计算公式分别为:

$$f_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$e_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$r_i = f_i + e_i \quad (8)$$

$$z_i = f_i - e_i \quad (9)$$

$$c_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad (10)$$

(8)求组合权重值。考虑到通过熵权法与 DEMATEL 法求取的权重值差别不大,为此,将熵权法获得的熵权值与 DEMATEL 法获得的中心度按照 1:1 的比例进行分配,其组合权重计算公式为:

$$W_i^s = 0.5 W_i^e + 0.5 W_j^k \quad (11)$$

式中:  $W_i^e$  为  $i$  元素通过 DEMATEL 法确定的指标权重,其计算公式为  $W_i^e = (c_i)_{1 \times n}$ ,  $W_j^k$  为  $j$  元素通过熵权法获得的指标权重,其计算公式为  $W_j^k = (k_j)_{1 \times n}$ 。

### 3 熵权法 - DEMATEL 法在脚手架施工安全风险分析中运用

#### 3.1 问卷设计及数据整理

通过对具有相应工作经验的  $m$  名专业人员发放 2 份问卷调查,第一份问卷调查是针对  $n$  个因素对脚手架施工安全风险的影响程度按照“没有影响”到“影响很大”的规则进行 1~5 范围的独立打分。第二份问卷调查是由  $m$  名专业人员分别对各因素间的影响程度按照 0,1,2,3,4 进行打分,其分别代表“没影响”、“低影响”、“中影响”、“高影响”与“极高影响”<sup>[11]</sup>。本调查在晋中市祁县二建公司开展,针对问卷一向该公司 10 名高层管理人员发放问卷调查表,问卷二向该公司工作年限为 5 年及以上的 60 名工作人员发放问卷调查表,经汇总整理后得到判断矩阵  $R = (r_{ij})_{10 \times 11}$  与直接影响平均关系矩阵  $A = (a_{ij})_{10 \times 10}$ 。

$$R = \begin{bmatrix} 3.0 & 2.5 & 2.5 & 3.5 & 2.0 & 4.0 & 3.2 & 5.0 & 4.6 & 3.2 & 4.8 \\ 4.0 & 3.8 & 2.4 & 4.7 & 2.5 & 4.8 & 3 & 4.8 & 4.7 & 2.8 & 4.0 \\ 3.2 & 3.5 & 2.0 & 4.2 & 2.8 & 5.0 & 2.8 & 4.5 & 4.3 & 2.0 & 4.2 \\ 2.0 & 4.2 & 2.0 & 4.5 & 3.2 & 5.0 & 2.5 & 4.0 & 4.5 & 1.5 & 3.6 \\ 3.1 & 4.5 & 2.2 & 4.0 & 2.8 & 4.5 & 2.2 & 4.2 & 3.0 & 1.3 & 3.8 \\ 4.0 & 4.0 & 3.0 & 3.8 & 2.5 & 4.0 & 3.0 & 5.0 & 3.2 & 2.5 & 4.2 \\ 3.4 & 3.7 & 2.5 & 3.9 & 2.0 & 3.8 & 3.1 & 3.9 & 4.2 & 2.7 & 3.5 \\ 4.2 & 4.9 & 3.5 & 4.0 & 3.2 & 3.7 & 2.3 & 3.5 & 4.1 & 3.0 & 3.5 \\ 2.5 & 3.6 & 3.6 & 4.2 & 3.5 & 4.0 & 2.4 & 3.0 & 4.3 & 2.9 & 4.0 \\ 3.0 & 3.2 & 3.0 & 4.4 & 3 & 5.0 & 1.8 & 4.2 & 3.8 & 2.3 & 4.2 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 3.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.2 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 2.6 & 2.8 & 3.5 & 3.2 & 2.8 & 3.5 & 1.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.6 & 0 & 2.2 & 3.3 & 3.8 & 3.6 & 2.7 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.3 & 3.6 & 3.4 & 1.6 & 2.3 & 1.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 1.2 & 0.8 & 1.6 & 2.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.1 & 2.5 & 0 & 3.2 & 0.6 & 2.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.9 & 0 & 3.8 & 2.7 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 1.7 & 0 & 0 & 2.4 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.5 & 3.5 & 2.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.9 & 0 & 0.4 & 1.5 & 1.8 & 2.7 & 0 \end{bmatrix}$$

3.2 熵权法分析

(2)式进行归一化处理与熵值的计算,得各因素熵值见

在求得判断矩阵  $R$  的基础上对该矩阵按式(1)、式 表 1。

表 1 各因素熵值

因素	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
熵值	0.9919	0.9932	0.9875	0.9909	0.9898	0.9855	0.9719	0.9917	0.9910	0.9908	0.9901

由式(3)得出的各因素熵权值见表 2。

表 2 各因素熵权值

因素	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$
熵权值	0.0644	0.0541	0.0994	0.0724	0.0811	0.1154	0.2235	0.0660	0.0716	0.0732	0.0788

3.3 DEMATEL 分析

础上,根据式(4)、式(5)可求出综合影响矩阵  $T$ 。

在获取直接影响平均关系矩阵  $A = (a_{ij})_{10 \times 10}$  的基

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.0007 & 0.2210 & 0.0067 & 0.0479 & 0.0635 & 0.0799 & 0.2284 & 0.2005 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1501 & 0.2019 & 0.2060 & 0.2854 & 0.1951 & 0.2950 & 0.1855 & 0.0082 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0005 & 0.1687 & 0.0051 & 0.1903 & 0.2298 & 0.2973 & 0.2826 & 0.1426 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0195 & 0.1984 & 0.1876 & 0.2493 & 0.1029 & 0.1936 & 0.1357 & 0.0049 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0032 & 0.0095 & 0.0306 & 0.0915 & 0.0652 & 0.1158 & 0.1381 & 0.0030 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1064 & 0.1514 & 0.0235 & 0.2121 & 0.0526 & 0.1683 & 0.0526 & 0.0035 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0134 & 0.0004 & 0.1295 & 0.0316 & 0.2207 & 0.1688 & 0.0237 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0001 & 0.0440 & 0.0013 & 0.1020 & 0.0260 & 0.0284 & 0.1328 & 0.0158 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0084 & 0.0003 & 0.1108 & 0.1823 & 0.1808 & 0.0477 & 0.0063 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0006 & 0.2009 & 0.0061 & 0.0710 & 0.1159 & 0.1545 & 0.1911 & 0.0046 \end{bmatrix}$$

通过求解综合影响矩阵  $T$ , 结合式(6)、式(7)、式(8)与式(9), 求得影响度、被影响度、中心度和原因度, 计算结果见表3。

表3 DEMATEL 分析结果

影响指标	影响度 $f$	被影响度 $e$	中心度 $r$	原因度 $z$	$W^s$
$C_1$	0.8485	0	0.8485	0.8485	0.0515
$C_2$	1.5274	0	1.5274	1.5274	0.0928
$C_3$	1.3169	0	1.3169	1.3169	0.0800
$C_4$	1.0919	0.2813	1.3732	0.8106	0.0834
$C_5$	0.4568	1.2176	1.6744	-0.7608	0.1017
$C_6$	0.7705	0.4675	1.2380	0.3030	0.0752
$C_7$	0	1.4898	1.4898	-1.4898	0.0905
$C_8$	0.5880	1.0649	1.6529	-0.4769	0.1004
$C_9$	0.3503	1.7342	2.0845	-1.3839	0.1266
$C_{10}$	0.5366	1.5631	2.0997	-1.0265	0.1275
$C_{11}$	0.7447	0.4132	1.1579	-0.3315	0.0703

### 3.4 组合权重分析

依据式(10), 并结合熵权法与 DEMATEL 法的分析结果, 可获得最终的组合权重值, 其计算结果见表4。

表4 组合权重值

因素 $B_i$	指标 $C_i$	熵权指标权重 $W^k$	DEMATEL 指标权重 $W^s$	指标组合权重 $W^*$	排序
管理因素 $B_1$	$C_1$	0.0644	0.0515	0.0580	11
	$C_2$	0.0541	0.0928	0.0735	10
	$C_3$	0.0994	0.0800	0.0897	6
设计因素 $B_2$	$C_4$	0.0724	0.0834	0.0779	8
	$C_5$	0.0811	0.1017	0.0914	5
	$C_6$	0.1154	0.0752	0.0953	4
	$C_7$	0.2235	0.0905	0.1570	1
搭设因素 $B_3$	$C_8$	0.0660	0.1004	0.0832	7
	$C_9$	0.0716	0.1266	0.0991	3
	$C_{10}$	0.0732	0.1275	0.1003	2
	$C_{11}$	0.0788	0.0703	0.0746	9

### 3.5 建模结论分析

(1)由表3可知, 在影响度方面, 设计技术交底流于形式、安全检查及整改不到位的影响度较大, 说明该三种因素对其他因素及对脚手架施工安全影响程度较深。因此应格外重视管理因素, 健全脚手架施工安全管理责任制和考核制度, 落实相应的技术交底工作, 同时要加强对施工作业人员及管理人员的安全思想教育<sup>[12]</sup>。在被影响度方面, 扣件、连墙件搭设不规范、构件单元尺寸过大的被影响度值较高, 其中心度值也位居前两位, 其原因分析有二者直接关系到架体承载力及稳定性问题, 扣件、连墙件搭设不规范主要表现为力矩拧紧程度不够, 位置设置不合理, 如在搭设方便的地方多设, 在不便的地方少设甚至不设, 由此会造成扣件、连墙件局部偏少, 受力不均衡的现象。构件单元尺寸过大表现为<sup>[13]</sup>: (a)立杆纵横向间距过大、步距设置不合理、垂直度偏差超过规范允许值。(b)大横杆、小横杆间距过大, 致使其抗弯能力不足。(c)横向斜撑由底层至顶层未按之字形进行连续布置。(d)剪刀撑未在外侧立面的两端均设置剪刀撑, 仅进行了单向设置, 难以有效发挥其对纵向刚性及稳定性的加强作用。因此在脚手架施工安全管理中应格外重视扣件、连墙件搭设不规范及构件单元尺寸过大的现象。在原因度方面, 材料进场未检验、设计技术交底流于形式、安全检查及整改不到位、荷载考虑不充分、设计受力模式有误为原因因素, 其余为结果因素, 因此在这些风险因素中, 应着重对原因因素进行风险识别与控制, 避免对其他因素造成负面影响<sup>[14]</sup>。结果因素容易受到原因因素影响进而给脚手架施工安全

带来风险,通过关注这些结果因素能够给风险管理的效果提供参考依据。

(2)由表4可知,各影响因素按照熵权指标权重与按照DEMATEL指标权重在排列顺序上存在较大差异,这是因为熵权指标权重是按照各风险因素对脚手架施工安全的重要性程度排序,而DEMATEL指标权重是在求取各因素的影响度与被影响度基础上得出,反映的是各因素间的相互影响关系,如在熵权指标权重中,排在首位的是地基承载力不足,但在DEMATEL指标权重中该因素排在了第六位,表明它对脚手架施工安全影响程度较高,但与其他因素间的相互影响程度一般,这是因为地基承载力的强弱是由人为因素与自然因素共同决定,与其本身所处的地质条件有很大关系,因此在对地基进行处理时,应将自然因素所产生的不利条件降到最低,并且要充分发挥人为因素。此外,该因素在指标综合权重中居于首位,说明它并未因与其他因素相互影响程度一般而降低其重要性,因此应对其进行着重分析。造成地基承载力不足很大程度上是由于在设计计算时参数取值偏大,未考虑除荷载以外的其他因素对地基承载力的影响,如雨雪天气及地下水位上升对地基土的侵蚀<sup>[15]</sup>。其次照搬类似项目脚手架地基承载力设计值或按所处地域土壤特征进行经验估算,未实事求是的考虑工程特点及实际工况进行地基承载力设计计算。还有最为重要的一点是在设计计算时,通常把脚手架与支撑架的基础作为一个独立基础作受力分析,未将其与周围混凝土板整体进行约束力分析,且忽略混凝土的抗拉强度,仅计算垫板四周按45°扩散到混凝土地板底的范围<sup>[16]</sup>。因此,在进行脚手架地基承载力设计时应尽可能全面、科学、有针对性的进行考虑。而在DEMATEL指标权重排序中,排在首位的是扣件连墙件搭设不规范,但它在熵权指标权重中排在第六位,其原因是由于该因素完全是由人为因素决定,受其他因素影响与被其他因素影响程度较高,因此通过该因素可检测识别是否存在其他风险因素。此外,该因素的指标综合权重值位居第二,因此它对脚手架施工安全影响程度较高,在搭设阶段应格外重视。

#### 4 结 论

(1)从管理因素、设计因素和搭设因素三个方面确

定了影响脚手架施工安全的11个指标体系,并对每个每个影响因素进行了详细阐述。

(2)利用熵权法建模确定了每个因素指标的熵值及熵权值,得出地基承载力不足与设计受力模式有误为指标体系中应重点考察且包含信息较多的因素。利用DEMATEL法建模得出了各风险因素的影响度、被影响度、中心度和原因度,详细剖析了各因素间的因果关系。

(3)将熵权法与DEMATEL法相结合,用DEMATEL法得出的中心度修正了熵权法确定的熵权值,不仅考虑了单个风险因素对脚手架施工安全的影响程度,还考虑了各因素间的相互影响关系。结果表明,地基承载力不足、扣件、连墙件搭设不规范、构件单元尺寸过大是影响脚手架施工安全的主要风险因素,为制定安全风险控制措施指明了方向。但本文并没有找出关键风险影响因素所产生的深层次原因,也没有针对性的提出规避及解决的措施,这将是今后研究的重要方向。

#### 参 考 文 献:

- [1] 沈志文.建筑施工脚手架安全管理中存在问题及对策措施[J].城市建设理论研究:电子版,2015(15):16-18.
- [2] 杜荣军.科学规范脚手架结构施工支架的设计和计算规定(6)[J].施工技术,2010,39(1):118-124.
- [3] 李红,樊燕燕,庞伟英.基于故障树法和贝叶斯网络的扣件钢管脚手架风险研究[J].工程管理学报,2015(3):105-109.
- [4] KARLSSON E,LÄRKERYD A,SJÖDIN A,etal.Scaffolding of a bacterial genome using MinIONnanopore sequencing[J].Scientific Reports,2015,5.DOI:10.1038/srep11996.
- [5] 梁子军,赵汝广,许广法.脚手架、模板支架倒塌事故的原因分析及防控对策[J].建筑安全,2016,31(8):74-77.
- [6] 林建坤.基于层次分析法(AHP)的脚手架工程危险源风险评价研究[J].四川建筑科学研究,2015,41(1):315-317.
- [7] PRATAMA M,ANAVATTI S G,LU J.Recurrent classifier based on an incremental metacognitive-based scaffolding algorithm[J].IEEE Transactions on Fuzzy Systems,2015,23(6):2048-2066.

- [8] 张军,谢洪平,张东,等.基于多级模糊数学和熵权法的输变电工程造价风险评价研究[J].陕西电力,2015,43(10):62-67.
- [9] CHANG S Y, CHANG S Y. A case study of using DEMATEL method to identify critical factors in green supply chain management [J]. Applied Mathematics & Computation, 2015, 256(C):394-403.
- [10] 孙瑞山,马广福.基于熵权和 DEMATEL 的管制员疲劳风险因素分析[J].交通信息与安全,2016,34(4):44-49.
- [11] 瞿英,路亚静,刘紫玉,等.基于 AHP—DEMATEL 法的权重计算方法研究[J].数学的实践与认识,2016,46(7):38-46.
- [12] 杜荣军.脚手架、支架工程安全的设计计算和施工管理要点(3)[J].施工技术,2016,45(24):139-143.
- [13] 郑霞忠,吴凯,陈述,等.基于 ISM 和 D-S 证据理论的手脚手架坍塌致因诊断[J].人民长江,2017,48(7):70-73.
- [14] 宋双双,左忠义.基于 DEMATEL-ANP 与熵权的社会风险评价指标权重分析[J].大连交通大学学报,2016,37(3):1-5.
- [15] 刘文杰.对因高架桥满堂支架地基加固导致索赔的处理[J].建筑经济,2013(1):72-76.
- [16] 张远松,庞小磊,王英.扣件式钢管脚手架常见安全隐患监理控制要点[J].水利水电技术,2016(s2):72-74.

## Weight Analysis of Safety Risk Index of Scaffolding Construction Based on DEMATEL and Entropy Weight Method

WANG Ting, ZENG Fankui

(School of Civil Architectural Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** In order to quantitatively analyze the risk factors affecting the construction safety of scaffolding, then find out the main influencing factors and put forward targeted risk aversion measures, the entropy weight method and DEMATEL are adopted to construct the construction safety risk index model of scaffold from three aspects of management, design and setting up factors. The entropy weight value obtained by entropy weight method can judge the degree of influence of each factor on construction safety. The degree of influence, the degree of centrality and the degree of cause calculated by DEMATEL method can be used to determine the degree of interaction among the indexes. At the same time, the two algorithms are combined to obtain the combined weight of factors, and finally determine the key risk factors. The results show that the combined weight values of insufficient bearing capacity of foundation, nonstandard erection and excessive size of component element are 0.1570 / 0.1003 / 0.0991 respectively, among which the deficiency of foundation bearing capacity is most seriously affected by other factors, whose value is as high as -1.4898. The conclusion provides a direction for the construction units to avoid the scaffolding safety risk, and the integration of entropy weight method and DEMATEL method also provide a technical route for quantitative analysis in other fields.

**Key words:** scaffolding construction safety; safety risk factors; entropy weight method; decision test and evaluation experiment method