

基于 DEMATEL-ISM 的建筑工人 不安全行为影响因素研究

李辉山, 蒋倩倩

(兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; E-mail: 2426162342@qq.com)

摘 要: 基于系统论、组织论、安全管理理论等理论基础, 分别运用 DEMATEL 法计算出 13 个影响建筑工人不安全行为的主要风险源的中心度、原因度, 区别出原因集合和结果集合; 应用修正阈值 λ 去除冗余因素, 得到 ISM 方法中的初始矩阵 M, 最终建立起 ISM 模型。通过 DEMATEL-ISM 综合建模将所有因素按层级结构分为三类, 针对每类因素的内部关系、关键因素提出不安全行为规范措施, 通过控制关键影响因素来约束建筑工人不安全行为, 为提高建筑施工安全提供可靠依据。
关键词: 不安全行为; 决策试验分析法 (DEMATEL); 解释结构模型法 (ISM); 规范措施

中图分类号: TU714 文献标识码: A 文章编号: 1674-8859(2019)04-143-05 DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2019.04.027

Research on the Influencing Factors of Construction Workers' Unsafe Behaviors Based on DEMATEL-ISM

LI Hui-shan, JIANG Qian-qian

(School of Architecture and Construction, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China, E-mail: 2426162342@qq.com)

Abstract: This article takes system theory, organization theory and safety management theory as the theoretical foundation, uses the DEMATEL method to calculate the center degree and reason degree of 13 major risk sources that affect the unsafe behaviors of construction workers, and distinguishes the cause set and the result set. The correction threshold is employed to remove the redundancy factors, so as to get the initial matrix M in the ISM method and finally establish an ISM model. Through the DEMATEL-ISM comprehensive modeling, all factors are divided into three categories. A few preventive measures of unsafe behaviors are proposed according to the internal relationship and the key factors of each type. These measures constrain the unsafe behaviors of construction workers by controlling the key influencing factors, which provides a reliable basis for improving the safety of building construction.

Keywords: unsafe behaviors; DEMATEL; ISM; normative measures

建筑工程安全生产事故严重威胁人民生命健康和财产安全。1998 年, Abdul.Raouf 提出多米诺骨牌原理, 88:10:2 的比值表明: 若以 100 起安全事故为例, 人的原因占 88 起, 物的原因导致的安全事故只占 10 起, 剩下 2 起才为不可避免事故。该理论一方面表明在安全建设中对人的不安全行为进行管理的必要性, 另一方面也表明大部分安全事故都是可以避免的。因此, 从生产活动中的个体出发, 减少或避免建筑工人的不安全行为, 激发工人主动参与安全活动对控制安全事故的发生十分有

必要。

目前关于建筑工人不安全行为的研究主要集中在建筑安全事故发生机理^[1,2]、传播路径^[3]和影响因素^[4]等方面, 但在关于影响因素的研究中, 各专家较为关注目标因素和决策因素之间的关系, 关于同一层级各因素之间的内部影响关联研究较少。同时在识别影响因素的过程中, 对组织协调方面的研究占大多数, 而低估了组织行为对安全产生的不利影响。鉴于此, 本文将影响因素识别的重点放到“人”上, 借助相关理论方法对建筑工人不安全行为的影响因素进行深入研究。

收稿日期: 2019-02-17.

1 建筑工人不安全行为影响因素识别

基于文献分析法^[5-9]和专家咨询法，从组织行为学角度出发，结合事故致因理论、危险源理论和安全管理等相关理论，主要针对人的不确定性识别提取建筑工人不安全行为影响因素，并形成初级风险因素表，其中包含 15 个影响因素。在甘肃、西安等地选取 10 名从事施工安全管理工作超过 3 年的安全管理人员并向其发放调查问卷，问卷调查反馈结果表明，应将作业环境因素和建筑工人对安全风险的敏感度因素合并为安全氛围因素，将安全教育培训因素并入安全管理行为因素中，最终确定了 13 个对建筑工人不安全行为产生重要影响的风险因素，其释义如表 1 所示。

表 1 建筑工人不安全风险因素及释义

风险因素	释义
工人素质 S ₁	工人心理素质、身体素质及其文化素养
组织机构设立 S ₂	促进安全生产的作业系统设置以及全员安全责任分配情况
安全氛围 S ₃	建筑工人对安全风险的敏感度和心理倾向；作业环境的安全水平
安全管理行为 S ₄	管理人员对相关安全制度的执行情况与效率，以及对建筑工人进行安全生产教育培训的效果
安全责任意识与态度 S ₅	建筑工人对安全的认知和能够依照安全规则行事、遵从领导管理，并积极使用安全护具的意愿
安全应急预案设立 S ₆	安全事故发生后可及时指导控制事态，使其良性发展的方案
安全示范 S ₇	管理人员和建筑工人之间以及各团体内部安全行为的相对影响力
安全投入 S ₈	为保证安全投入的一切人力、物力和财力，制定的相关激励政策
安全能力 S ₉	识别危险源和实施安全管理、并有效进行安全防範的综合素质
安全沟通 S ₁₀	管理人员安全领导力、与工人配合程度；群体沟通效率
专业水平 S ₁₁	能够保证建筑工人安全作业的技能水平
安全技术交底 S ₁₂	在生产活动开始之前，相关负责人对参与工人进行施工安全现状以及安全控制关键点的交底
安全参与行为 S ₁₃	除规定的施工任务以外，建筑工人主动参与安全管理的行为

2 基于 DEMATEL 与 ISM 的综合建模

2.1 理论定义

DEMATEL 法(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, 决策实验分析法)^[10]是一种研究复杂系统内决策问题诸要素之间因果关系的系统分析方法。该法用矩阵理论和图论作为辅助表达方式，通过中心度、原因度等指标的计算，定量分析及确定关键因素。

ISM 法 (Interpretive Structure Modeling, 解释结构模型法) 最先用于分析解决因素繁杂、结构复杂的社会经济系统问题，属于定性定量相结合的方

法^[11,12]。ISM 法基于复杂系统内各因素之间影响程度的大小建立邻接矩阵，进而求解可达矩阵，最终通过构造各因素之间的多级递阶模型和对影响因素的分级来展现各影响因素的内部关联。

2.2 DEMATEL-ISM 综合建模步骤

DEMATEL 方法可计算出某一具体因素在影响因素体系中的重要程度，但不能确定因素内在关联和层次结构划分，很难对因素进行有效管理和控制，因此还需运用 ISM 方法对系统结构分级，且两种方法结合可降低矩阵计算难度。同时引入阈值 λ 使系统层次划分更为直观，便于分析决策^[13]。具体步骤如下：

(1) 设定系统因素集 $S = \{S_i | i=1, 2, \dots, n\}$ ，本研究中 $n=13$ 。

(2) 利用专家咨询法确定各因素之间作用关系，得出关系矩阵 $X = [x_{ij}]_{n \times n}$ ， x_{ij} 表示因素 i 对因素 j 的影响程度。DEMATEL 模型中各值采用 1~5 打分法^[14] (0、1、2、3、4 分别代表影响效力从无、小、适中、大到极大)。

(3) 计算规范化影响矩阵 G 。计算公式为：

$$G = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n x_{ij}} R = [g_{ij}]_{n \times n} \quad (1)$$

式中， $\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n x_{ij}$ 为影响关系矩阵 X 的行和最大值。

(4) 计算综合影响矩阵 T 。计算公式为：

$$T = \lim_{n \rightarrow \infty} (G + G^2 + G^3 + \dots + G^n) = G(I - G)^{-1} = [t_{ij}]_{n \times n} \quad (2)$$

式中， I 为单位矩阵。

(5) 相关指标计算。影响度 E_i ，表示该要素对其他要素产生的作用程度大小；被影响度 E_i' ，表示该要素受其他各要素作用程度的大小；两者之和为中心度 Z_i ，两者之差为原因度 Y_i ：

$$E_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

$$E_i' = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

$$Z_i = E_i + E_i' \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

$$Y_i = E_i - E_i' \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

(6) 计算整体影响矩阵 F ^[15]。计算公式为：

$$F = I + T = [f_{ij}]_{n \times n} \quad (7)$$

(7) 引入阈值 λ 剔除冗余信息，得到最精简化的矩阵。根据试算，得到最为贴合本研究的阈值计算模型。计算公式为：

$$\lambda = \alpha + \beta \quad (8)$$

式中, α 、 β 分别为综合影响矩阵 T 中所有元素的均值和标准差。

(8) 运用阈值去除冗余因素, 得可达矩阵 M 。

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, & f_{ij} \geq \lambda \\ 0, & f_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (i, j=1, 2, 3, \dots, n) \quad (9)$$

式中, 1 表示两因素间有直接作用, 0 表示两因素间无直接作用。

(9) 层次化处理得到可达集 $L(n_i)$ 、先行集 $P(n_i)$ 和共同集 $C(n_i) = L(n_i) \cap P(n_i)$ 。

(10) 将集合 $L(n_i)$ 和集合 $C(n_i)$ 交集中包含因素对应的行和列在矩阵 M 中划除。

(11) 重复步骤 (9) 和 (10), 直到得到各层因素集 $N_q (q=1, 2, \dots, n)$, 且可达矩阵 M 中所有因素被划除。

(12) 根据步骤 (11) 得到的矩阵, 建立 ISM 模型。

3 基于 DEMATEL-ISM 的建筑工人不安全行为影响因素综合模型的建立

3.1 影响因素 DEMATEL 建模分析

通过对相关文献资料的查阅整理和问卷调查的筛选, 确定了 13 个对建筑工人不安全行为产生影响的风险因素, 得系统风险因素集 $S = \{S_i | i=1, 2, \dots, 13\}$ 。成立专家组对风险因素打分, 专家组成员 20 位, 其中包括建设、施工单位的总工、管理者等, 同时还包括一些进行建筑安全研究的学者。使用专家打分法执行式 (2) 和式 (3), 并运用 Matlab 软件编写矩阵计算命令, 得到矩阵 X 和矩阵 T , 再按照式 (3)~式 (6) 计算出各影响因素的相关指标如表 2 所示。

表 2 DEMATEL 建模分析结果

	E_i	E'_i	Z_i	Y_i		E_i	E'_i	Z_i	Y_i
S_1	2.048	0.000	2.048	2.048	S8	1.305	0.385	1.690	0.920
S_2	1.147	0.669	1.816	0.478	S9	0.347	0.920	1.267	-0.573
S_3	0.553	0.271	0.824	0.282	S10	0.778	1.775	2.553	-0.997
S_4	1.516	0.745	2.261	0.771	S11	1.156	1.161	2.317	-0.005
S_5	0.410	0.363	0.773	0.047	S12	0.819	1.156	1.975	-0.337
S_6	0.509	2.361	2.870	-1.852	S13	0.614	2.059	2.673	-1.445
S_7	1.448	0.782	2.230	0.666					

根据原因度正负将 13 个风险因素分为原因集合和结果集合。由表 2 可知, 原因要素有 7 个, 包括 S_1 工人素质、 S_2 组织机构设立、 S_3 安全氛围、 S_4 安全管理行为、 S_5 安全责任意识与态度、 S_7 安全示范、 S_8 安全投入。其中工人素质与安全投入因素为

诱发建筑工人产生不安全行为的主要动因, 在制定安全控制措施时应重点考虑。结果要素有 6 个, 包括 S_6 安全应急预案设立、 S_9 安全能力、 S_{10} 安全沟通、 S_{11} 专业水平、 S_{12} 安全技术交底、 S_{13} 安全参与行为, 这些结果要素对建筑工人不安全行为的影响较弱, 但更容易受到其他要素的影响而产生变化, 因此在实际管理时应适当关注和控制, 辅助提升管理效果。按中心度排序, 各因素从小到大依次为 S_6 、 S_{13} 、 S_{10} 、 S_{11} 、 S_4 、 S_7 、 S_1 、 S_{12} 、 S_2 、 S_8 、 S_9 、 S_3 、 S_5 。

3.2 影响因素 ISM 建模分析

运用 Matlab 软件求解出综合影响矩阵 T 中所有元素的均值 α 和标准差 β , 求出阈值 λ 如下:

$$\alpha=0.0748, \beta=0.0891, \lambda = \alpha + \beta = 0.164$$

执行步骤 (8) 去除冗余值得整体影响矩阵 M , 结果如下:

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

执行步骤 (9), 得第一次层次化处理的结果如表 3 所示。

表 3 一级分解结构

i	$L(n_i)$	$P(n_i)$	$C(n_i)=L(n_i)P(n_i)$
1	1, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13	1	1
2	2, 10, 12	2	2
3	3, 9	3	3
4	4, 6, 10, 11, 12, 13	1, 4, 8	4
5	5	5	5
6	6, 9, 13	1, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 13	6
7	6, 7, 10, 13	1, 7, 8	7
8	4, 7, 8, 9	1, 8	8
9	9	3, 6, 8, 9	9
10	6, 10, 11	1, 2, 4, 7, 10	10
11	6, 11, 13	4, 10, 11, 12	11
12	6, 11, 12, 13	1, 2, 4, 12	12
13	6, 13	1, 4, 6, 7, 11, 12, 13	6, 13

由上表结合步骤 (10) 可知, 可达集 $L(n_i)$ 与交集 $C(n_i)$ 交于因素 S_5 和 S_9 , 因此元素 S_5 和 S_9 组成第一级影响因素。将矩阵 M 中影响因素 S_5 和 S_9 映射

的行和列划除，得到更高一级的分解矩阵，将上述过程重复执行。经过多次层级划分，最终得到各层因素集 $N_q (q=1, 2, \dots, 7)$ ：一级节点 $N_1=\{5, 9\}$ ；二级节点 $N_2=\{3, 6, 13\}$ ；三级节点 $N_3=\{11\}$ ；四级节点 $N_4=\{10, 12\}$ ；五级节点 $N_5=\{2, 4, 7\}$ ；六级节点 $N_6=\{8\}$ ；七级节点 $N_7=\{1\}$ 。根据以上分析建立 ISM 模型如图 1 所示。

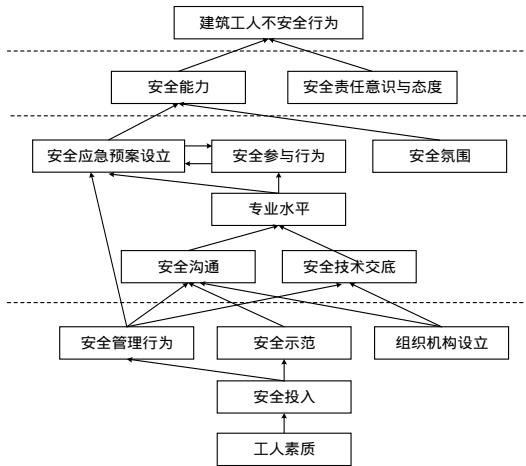


图1 影响因素ISM模型结构图

由影响因素 ISM 模型分析可知，工人素质、安全示范、安全管理行为等因素是建筑工人不安全行为的影响根源，充分证明了“人”的不确定性对安全影响的重要性。作为可变性较大、动态性较强的影响因素，如何有效对其跟踪控制成为关键。

3.3 影响因素 DEMATEL-ISM 综合建模分析

运用 DEMATEL 方法将影响因素分为结果集和原因集两类，并确定关键风险因素，ISM 建模方法则以递阶模型为介质，表现了因素间关系和其所构成的层级结构。DEMATEL-ISM 综合建模依照 DEMATEL 建模方法计算出综合影响矩阵 T ，经过对阈值 λ 的修正，去除冗余因素之后得到 ISM 建模方法中的整体影响矩阵 M ，最终可确定 13 个建筑工人不安全行为影响因素的多级递阶结构，结合中心度排序形成 DEMATEL-ISM 综合模型如图 2 所示。

由综合模型分析划分，将所有影响因素分为三类。

(1) 组织管理因素集。包含 5 个影响因素，且其均属于原因集合。其中“工人素质”为组织管理的重中之重，也是整个模型的起点，揭示了人对不安全行为的较强影响力，组织管理中应重点关注。具体实施过程中可通过加大安全投入比率帮助安全组织管理生效，同时要求组织机构的设立符合项目实况，将施工责任落实到建筑工人个人。通过

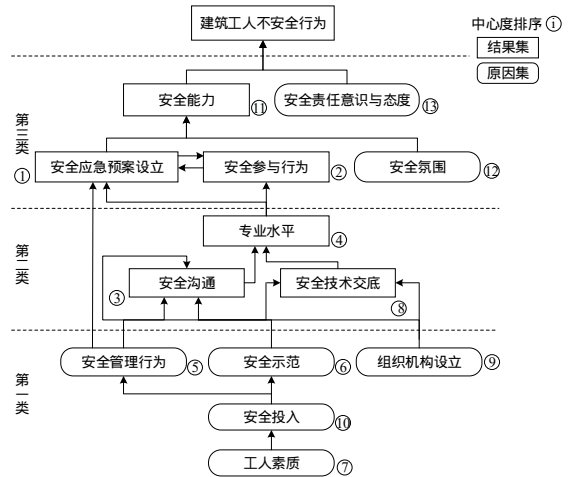


图2 影响因素DEMATEL-ISM综合模型

协调组织关系，对一线工人进行条理明晰的安全组织管理，尽量保证全员参与项目安全建设，充分发挥组织系统的力量。中心度排序表明安全管理行为的提高和安全示范作用的影响效力是约束建筑工人不安全行为的关键。

(2) 安全信息沟通因素集。由 3 个结果因素组成。该层因素处于综合建模中心，起到连接贯通作用。安全信息是安全管理中的一项重要资源，一旦沟通失效，安全隐患处理不及时，很有可能产生更为严重的安全后果。因此，项目各相关工作人员之间及时高效的沟通交流是安全的重要保障。为加强安全信息沟通，生产负责人员在实际操作之前应对建筑工人进行安全注意事项交底，保证全部相关人员的知情权，减少因交底不透彻对专业水平产生的不利影响。中心度排序表明安全沟通为第二层级中的关键因素，体现了信息流通是否有效及时将对建筑工人不安全行为产生重要影响。

(3) 组织行为因素集。该因素集合包含 2 个原因因素和 3 个结果因素。可通过提高建筑工人对安全风险的感知能力，端正其对安全帽、安全绳等安全护具的使用态度等措施形成良好的安全氛围，将安全氛围对建筑工人不安全行为的影响降到可控范围内。同时，管理人员应注重管理艺术的培养，通过安全应急预案的设立和对建筑工人自身专业素质和心理素质的培养，帮助建筑工人增强专业自信，提高其安全参与能力。中心度排序表明安全应急预案的及时设立和安全参与行为的提升可减少建筑工人不安全行为的产生。

4 建筑工人不安全行为规范措施

(1) 从组织管理方面来说，管理人员应注重

管理艺术的培养,不仅要对各项安全制度规定的执行情况进行管控,还要对一线工人的来源、质量等进行甄别,针对其接受能力和技能短板,制定切实可行的安全教育培训计划,定期检查培训效果,保证建筑工人拥有较高职业素养和正确的安全态度。班组长作为建筑工人和上级领导之间的连接桥梁,应拥有较为充足的安全知识储备和较高的安全操作技能水平,通过安全示范作用和榜样力量,积极调动引领全员参与到建设项目安全建设中。同时应尽量结合相关信息化手段高效识别危险源,通过事前控制达到预防,防止事故发生。

(2)从安全沟通方面来说,安全信息的及时高效流通和接收处理是避免安全事故发生的关键。因沟通的主体是人,在消息传达的过程中易出现信息变形失真,因此要求信息共享双方有较高的专业水平,同时要求建立合理的沟通机制,强化施工现场信息流通管理,尽量减少无效沟通。一方面,应重视安全技术交底,保证上岗人员充分了解现场安全状况和安全弱点所在;另一方面,管理人员应尽量提高与一线工人的沟通频率,及时发现并处理其中存在的不足,保证一线工人对环境的满意度,减少环境对建筑工人产生的负面影响。

(3)从个人、群体、组织3个组织行为层面分析,个体行为和群体行为相辅相成,前者是后者的基础,后者是前者的提升,两者又都和组织系统紧密联系。因此为保证系统的高效运转,应尽量使个体拥有与职业相配的专业素养和态度;使群体中个体之间信息交流通畅、内部成员之间相处协作顺利、成员有较强包容性。具体可通过安全预案和物质精神双激励机制的制定和强化“以人为本”安全氛围的具体措施来引导建筑工人安全责任意识与态度的形成,以此激发建筑工人个人的安全活动参与意愿,提高群体安全协作水平,增强组织施工安全指数。总之,在实际施工安全管理中,应力求个体行为和群体行为的辩证统一,最大限度发挥建筑工人的安全活动参与创造性和积极性。

5 结语

通过对相关知识载体的查阅和实践经验的结合,整理出了15个建筑工人不安全行为影响因素,并通过问卷调查最终确定了13个影响因素为使系统层次划分更为直观,在DEMATEL-ISM模型建立过程中引入阈值;同时,为得到更为贴合本文的理论模型,对阈值进行重新修正,便于得到可分析决

策的精简化矩阵。最终根据DEMATEL-ISM综合模型得出影响因素的层次结构和内在关联,对因素进行划分归类,并找出各类别的关键因素,进而提出建筑工人不安全行为治理措施。

参考文献:

- [1] Arlete Ana Motter, Marta Santos. The importance of communication for the maintenance of health and safety in work operations in ports[J]. Safety Science, 2017 (96): 117-120.
- [2] 祁神军,成家磊,等.安全态度、安全能力、不安全动机对建筑工人不安全行为的发生机理[J].华侨大学学报(自然科学版),2018,39(5):669-674.
- [3] 王丹,关莹,贾倩.基于社会网络分析的建筑工人不安全行为传播路径研究[J].中国安全生产科学技术,2018,14(9):180-186.
- [4] 杨振宏,丁光灿,张涛,向梦珂.基于SEM的建筑工人不安全行为传播影响因素研究[J].安全与环境学报,2018,18(3):987-992.
- [5] 叶贵,段帅亮,汪红霞.建筑工人不安全行为致因研究[J].中国安全生产科学技术,2015,11(2):170-177.
- [6] 叶贵,陈梦莉,汪红霞.建筑安全事故人为因素分类研究[J].中国安全生产科学技术,2016,12(4):131-137.
- [7] 马震.建筑工人风险容忍度对不安全行为影响问题研究[D].东北财经大学,2017.
- [8] 胡世广.基于行为分类的建筑工人不安全行为影响因素研究[D].重庆大学,2017.
- [9] 杨波涛.班组安全氛围对建筑工人安全行为影响研究[D].西安建筑科技大学,2018.
- [10] 周德群.系统工程方法与应用[M].电子工业出版社,2015.
- [11] 周炜,赵挺生,徐树铭,刘文.基于DEMATEL和ISM的建筑工人安全行为影响因素建模[J].土木工程与管理学报,2017,34(6):126-132.
- [12] 段占立,等.基于DEMATEL/ISM的高空坠落事故影响因素研究[J].价值工程,2018(33):212-215.
- [13] 杨姝,李俊龙.基于DEMATEL-ISM法的民航飞行员综合安全能力结构模型研究[J].安全与环境工程,2018,25(4):169-174.
- [14] 李明捷,石荣.基于集成DEMATEL-ISM的机坪容量影响因素分析[J].数学的实践与认识,2017(21):155-164.
- [15] 孙晶.复杂系统DEMATEL阈值确定方法研究[D].昆明理工大学,2018.

作者简介:

李辉山(1968-),男,高级工程师,硕士,研究方向:建设项目管理,工程造价;

蒋倩倩(1994-),通讯作者,女,硕士研究生,研究方向:工程项目管理。