

安全信息认知的建筑工人不安全行为关键影响因素研究

——基于DEMATEL-ISM结构模型

袁雯

江西理工大学经济管理学院, 江西 赣州

收稿日期: 2024年4月16日; 录用日期: 2024年5月6日; 发布日期: 2024年5月16日

摘要

为深入理解建筑工人不安全行为形成机理及其关键影响因素, 本研究从安全信息获取、感知、认知、利用到安全行为执行五个方面提取影响因素, 构建了一个安全信息认知与建筑工人不安全行为分析框架。通过决策评价实验室与解释结构模型(DEMATEL-ISM)方法, 本研究揭示了各影响因素之间的因果关系及层次结构, 确定了外部环境、安全能力、安全意识、主观规范和不良心理状态等的关键影响因素。结果表明, 外部环境和安全氛围直接影响建筑工人的不安全行为; 主观规范、不良心理状态、安全态度和感知行为控制为中间层因素; 而安全意识、安全动机和安全能力构成了不安全行为的根本原因。据此, 提出加强安全意识教育、提高技术水平和倡导安全文化等管理建议, 旨在改善工人的心理状态, 从根本上降低不安全行为的发生。本研究对于理解和改进建筑行业工人的安全行为提供了有价值的理论指导和实践方向。

关键词

建筑工人, 安全信息感知, 安全信息认知, 不安全行为, DEMATEL-ISM模型

Research on the Key Influencing Factors of Unsafe Behavior of Construction Workers Based on Safety Information Cognition

—Based on DEMATEL-ISM Structural Model

Wen Yuan

School of Economics and Management, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou Jiangxi

Received: Apr. 16th, 2024; accepted: May. 6th, 2024; published: May. 16th, 2024

Abstract

To deeply understand the mechanisms behind construction workers' unsafe behaviors and their key influencing factors, this study extracts influencing factors from five aspects: safety information acquisition, perception, cognition, utilization, and safety behavior execution, constructing a framework for analyzing the relationship between safety information cognition and construction workers' unsafe behaviors. Employing the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Interpretative Structural Modeling (ISM) methods, this research reveals the causal relationships and hierarchical structure among these influencing factors, identifying external environment, safety capability, safety awareness, subjective norms, and adverse psychological states as key factors. The results show that the external environment and safety atmosphere directly affect construction workers' unsafe behaviors; subjective norms, adverse psychological states, safety attitudes, and perceived behavioral control are intermediate factors; while safety awareness, safety motivation, and safety capability constitute the fundamental reasons for unsafe behaviors. Based on these findings, management suggestions such as strengthening safety awareness education, improving technical levels, and advocating a safety culture are proposed to improve workers' psychological states fundamentally and reduce the occurrence of unsafe behaviors. This study provides valuable theoretical guidance and practical directions for understanding and improving the safety behaviors of workers in the construction industry.

Keywords

Construction Workers, Safety Information Perception, Safety Information Cognition, Unsafe Behavior, DEMATEL-ISM Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑业是国民经济的重要基石由于其固有的高风险特性始终处于安全生产的焦点。2022年以来,我国建筑行业发生的生产安全事故达到11,076起、死亡8870人,由此可见建筑安全生产形势依然严峻复杂[1]。深入分析表明,建筑工人的不安全行为是导致事故的核心因素[2],随着对建筑安全重视程度的提升,精准识别和有效管理工人的不安全行为已成为提升安全管理效能的关键[3]。

现有研究从多个维度探讨了不安全行为的影响因素,包括个体、组织管理与环境等[4],但仍存在一定的局限性。现有研究多集中于个体认知层面的分析,忽略了安全信息认知全过程对不安全行为的影响。因此,本研究提出了一个全新的研究框架,旨在全面解析安全信息从传递、感知到认知、利用及行为执行全过程中的作用机制,以及这一过程如何影响建筑工人的不安全行为。本研究构建了安全信息认知(Safety Information Cognition SIC)全过程的分析框架,通过综合分析现有实证研究成果,识别出关键影响因素。再采用决策评价实验室-解释结构模型(DEMATEL-ISM)方法,深入探讨因素之间的相互作用及其层次结构,从而揭示不同安全信息传递阶段中因素之间的关系和特性。本研究不仅明确了安全信息认知过程中的关键变量,还为理解这些变量如何共同作用于建筑工人不安全行为提供了新的视角。

综上所述,本研究的目的在于通过全面分析安全信息认知过程与建筑工人不安全行为之间的关系,为建筑行业的安全管理提供理论基础和实践指南。通过填补研究空白,本研究期望对建筑工人行为安全

管理的理论与实践均有所贡献，为后续相关研究奠定基础。

2. 建筑工人安全信息认知(SIC)过程

建筑工人不安全行为的产生是多重因素共同作用的结果。居捷等通过具体的不安全行为表现形式，从个体、环境和管理三个层面分析不安全行为影响因素；叶贵等基于事故系统理论将人的不安全行为影响因素分为人、物、管理和环境四个方面，构建不安全行为影响因素的框架[5]。大多数学者从个体认知过程探究不安全行为的形成机制，认为不安全行为是认知过程失效的结果，张孟春，方东平等从个体认知过程的环节识别不安全行为影响因素[6]。目前关于建筑工人行为安全管理研究仍停留在个体认知层面，不能系统且完整的解释各潜在影响因素的逻辑关系，未能从不安全行为本身出发探讨不安全行为的产生和完整的作用过程。安全信息是安全行为主体所处系统未来安全状态的相关信息集合，是安全行为主体的主观安全认识和系统(组织)客观安全状态的桥梁和纽带[7]。人的行为是内在信息认知过程的外在表现，人的行为失误其实质是人的信息处理过程的失误[7]，建筑工人不安全行为是个体安全信息能力失控、缺少或偏差的外在表现。

吴超构建的安全信息认知通用模型指出，安全信息认知过程包括4个要素即信源、信道、信宿和信馈[8]。信源载体经过噪声的干扰，被建筑工人的感知器官转化为感知信息，经由大脑的功能和知识储备，将感知信息进行进一步理解和认识形成认知信息，利用认知信息进行安全行为预测和决策，最后再通过身体采取行动，行为结果再次反馈到信宿及信源中，以此循环的安全信息认知一般过程。安全信息传递过程存在5级信息失真或信息不对称[8]，每阶段的认知失效都会导致建筑工人安全信息能力偏差导致获取的安全信息缺失且无法有效传递。建筑工人无法正确认知并且做出正确判断，由此做出不安全行为。

因此，基于安全信息认知过程，从安全信息获取、安全信息感知、安全信息认知、安全信息利用、安全行为执行五个方面分析建筑工人不安全行为发生机理得到安全信息认知 - 建筑工人不安全行为理论模型如图1所示。

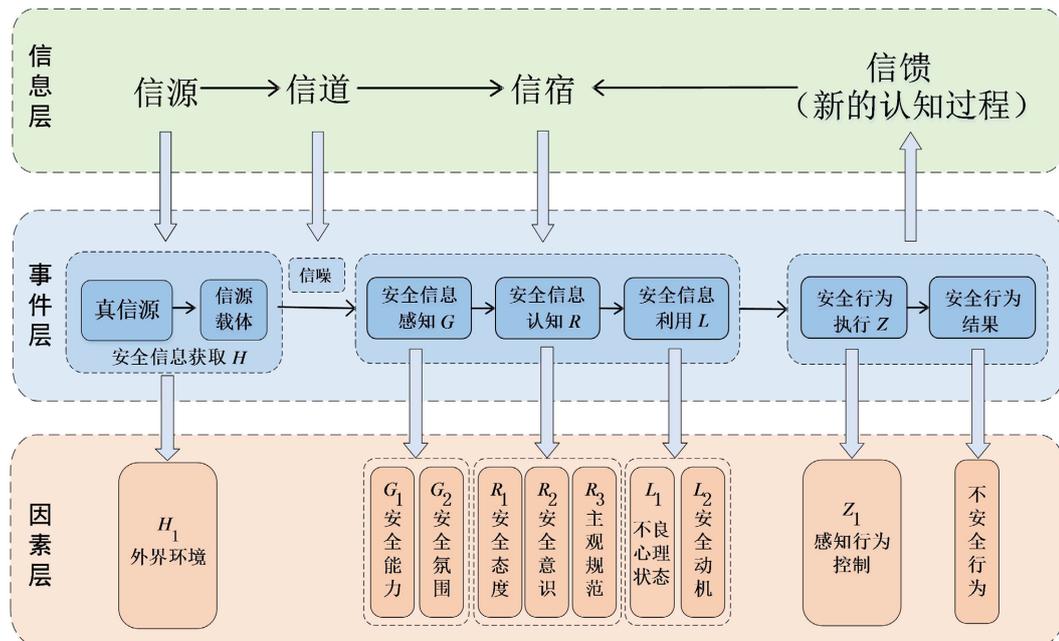


Figure 1. Theoretical framework of SIC and unsafe behavior of construction workers

图1. 安全信息认知 - 建筑工人不安全行为理论框架

SIC 与建筑工人不安全行为多因素分析

客观环境中安全信息的缺失或不对称性会影响建筑工人对安全信息的获取,从而导致不安全行为的发生[9]。由于建筑安全信息的多源异构性,及建筑工人协同合作的工作特征,极端天气环境、施工环境以及个人与工作匹配程度等外界因素无时无刻影响着系统安全状态。此外,建筑工人本身的安全知识储备和工作经验等直接影响安全信息的接收程度。安全感知到安全认知过程无法清楚准确的了解安全信息的传递过程,大多学者通过认知结果的外显行为表现去逆向推断具体认知过程。张孟春,方东平等提出了“发现信息-理解信息-思考应对-选择应对-实施应对”的认知过程环节[6]。当建筑工人受到压力、内心紧张、暴躁等不良心理状态时,潜意识里容易忽略或忽视信源载体上的关键安全信息,影响建筑工人对安全信息的解释、分析以及自身行为控制的能力。安全信息的利用与认知过程彼此交互进行最终做出行为决策执行安全行为。

表 1 为对这 5 个一级因素下的建筑工人不安全行为影响因素的细分整理。

Table 1. Influencing factors of unsafe behavior of construction workers

表 1. 建筑工人不安全行为影响因素

类别	编号	影响因素	指标说明
安全信息获取 H	H_1	外界环境	外界环境影响,如极端恶劣天气;个人防护装备不足;生产设备的安全隐患;奖惩制度;施工单位所属类型(政府或私人)等。
	G_1	安全能力	安全能力是组织或个体,整合和利用自身拥有的安全知识、工作经验、技能水平、价值取向、安全动机和安全态度等内在特质,预防危险、控制危险和降低危险损害的能力。
安全信息感知 G	G_2	安全氛围	建筑工人群体成员对所处工作环境中的风险和安全管理制度的共同认知,以及对其组织的安全实践、政策和程序的共同看法,反映员工对安全的态度、观念和价值观。
	R_1	安全态度	安全态度是建筑工人受到外界刺激后,依据自身积累的安全认知,对不安全行为的危险性及由此造成的后果的严重性做出综合判断,蕴含着个体的主观评价以及由此产生的行为倾向,包含对安全行为和风险感知的认知和情感态度。
安全信息认知 R	R_2	安全意识	建筑工人的安全意识是指建筑工人对施工过程中对人、物和环境中的潜在危险因素保持警惕的心理状态,包括对特定风险的认知、情感和意志的心理过程的总和。
	R_3	主观规范	建筑工人群体成员对组织或社会已有行为、价值评估对其决策产生的影响,个体做出相关安全决策前感知到来自主管、同事和家庭等社会群体的压力。
安全信息利用 L	L_1	安全动机	安全动机是建筑工人规避潜在安全风险的一种意愿程度,反映了建筑工人对建筑安全的重视程度,受到内部自身认知和外界环境影响,是不安全行为产生的直接动力。
	L_2	不良心理状态	当工作要求与个人资源、能力和需求不匹配时容易出现工作压力等有害身体或情绪的反应,继而导致工人注意力不集中、精力分散、情绪衰竭和认知障碍等问题。
安全行为执行 Z	Z_1	感知行为控制	感知行为控制指建筑工人对安全决策实施难度、自我能力和客观条件的预判,以及对自身能否胜任任务的感知,是指个体对某些行为的正确评估能力以及对其拥有执行能力的信念。

3. 基于 DEMATEL-ISM 的影响因素分析

3.1. 基于 DEMATEL 的影响因素关系分析

DEMATEL 模型是使用图论和矩阵工具来识别影响复杂系统的因素之间的逻辑关系。该方法通过分析系统中各影响因素之间的逻辑联系，构建直接影响矩阵。然后通过矩阵变换得到各影响因素的评价参数，包括影响程度、受影响程度、中心度和成因程度。确定各因素之间的因果关系及各因素在系统中的位置，识别关键因素。DEMATEL 模型的步骤如下：

1) 确定影响建筑工人不安全行为的因素为 f_1, f_2, \dots, f_n ，($n=9$)。

2) 邀请建筑专家学者对各因素之间的关系强度进行评分。评分规则为：无效应 0 分，弱效应 1 分，中等效应 2 分，强效应 3 分。取每位专家的平均分，得到影响因素之间的直接影响矩阵 Z 。

$$Z = [b_{ij}]_{n \times n} \quad (1)$$

b_{ij} 表示因素 i 对因素 j 的影响度。

1) 归一化直接影响矩阵 G (表 2):

$$G = \frac{Z}{\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}} \quad (2)$$

Table 2. Direct influence matrix of standardization of factors influencing unsafe behavior of construction workers

表 2. 建筑工人不安全行为影响因素标准化直接影响矩阵表

因素	H_1	G_1	G_2	R_1	R_2	R_3	L_1	L_2	Z_1
H_1	0.00	0.00	0.11	0.11	0.00	0.17	0.06	0.17	0.11
G_1	0.17	0.00	0.06	0.11	0.17	0.11	0.11	0.11	0.00
G_2	0.11	0.11	0.00	0.11	0.00	0.11	0.06	0.00	0.06
R_1	0.17	0.00	0.06	0.00	0.00	0.11	0.17	0.06	0.11
R_2	0.11	0.17	0.06	0.11	0.00	0.06	0.11	0.11	0.11
R_3	0.17	0.00	0.17	0.06	0.11	0.00	0.11	0.00	0.17
L_1	0.11	0.00	0.11	0.17	0.11	0.06	0.00	0.17	0.11
L_2	0.17	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.17	0.00	0.11
Z_1	0.11	0.00	0.00	0.06	0.11	0.17	0.11	0.06	0.00

2) 将归一化直接影响矩阵 G 转化为综合影响矩阵 T ：

$$T = \sum_{k=1}^n G^k = G(1-G)^{-1} \quad (3)$$

3) 根据 DEMATEL 模型，计算各因素的影响度(x_i)、被影响度(y_i)、中心度(m_i)、原因度(r_i)，公式如下：

$$\begin{cases} x_i = \sum_{j=1}^n (t_{ij}) (1 \leq i \leq n) \\ y_i = \sum_{j=1}^n (t_{ji}) (1 \leq i \leq n) \\ m_i = x_i + y_i \\ r_i = x_i - y_i \end{cases} \quad (4)$$

其中 t_{ij} 表示 b_i 对 b_j 的综合作用。

影响度、被影响度、中心度和原因度计算结果如表 3 所示。 H_1 、 L_1 、 L_2 、 R_3 四个因素的中心度较大，在建筑工人不安全行为的产生过程中发挥较大推动作用，必须引起高度重视。 G_1 、 R_2 、 L_2 三个因素的原因度较大，在安全信息传递过程与不安全行为关联性强，在不安全行为形成过程起着根本性作用，是不安全行为产生的底层原因。以上 6 个因素是安全信息认知过程中影响建筑工人不安全行为的关键因素，影响因素中心度 - 原因度图见图 2。

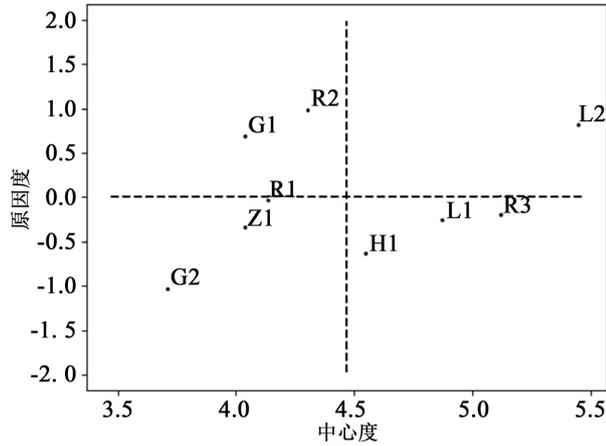


Figure 2. Centrality of factors influencing unsafe behavior of construction workers - causality diagram

图 2. 建筑工人不安全行为影响因素中心度 - 原因度图

Table 3. Calculation results of influence factor centrality and cause degree of unsafe behavior of construction workers

表 3. 建筑工人不安全行为影响因素中心度与原因度计算结果

因素	因素描述	被影响度	影响度	中心度	原因度	属性特征
H_1	外部环境	4.28	2.87	7.15	-1.41	结果因素
G_1	安全能力	1.39	3.42	4.81	2.03	原因因素
G_2	安全氛围	2.82	2.20	5.02	-0.62	结果因素
R_1	安全态度	3.30	2.65	5.95	-0.66	结果因素
R_2	安全意识	2.30	3.39	5.69	1.08	原因因素
R_3	主观规范	3.62	2.94	6.55	-0.68	结果因素
L_1	不良心理状态	3.47	3.31	6.79	-0.16	结果因素
L_2	安全动机	2.74	3.93	6.67	1.20	原因因素
Z_1	感知行为控制	3.32	2.53	5.85	-0.79	结果因素

3.2. 影响因素层次结构分析

ISM 模型用于分析复杂系统，理解因素之间的层次关系。将 DEMATEL 与 ISM 集成的模型同时考虑到层次联系和因果循环能够更全面地了解系统。ISM 模型是由一组专家评估各因素之间的联系，提供表明影响程度的评价或分数，使用二分类值(0 或 1)构建初始来表示这些评估。ISM 模型构造步骤如下。

将 DEMATEL 模型建立的综合影响矩阵 T 转化为 ISM 模型的初始可达矩阵, 根据知识或经验设置阈值 λ 过滤掉矩阵 T 中影响度较小的因素, 在此设置为 $\lambda = 0.3$:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, t_{ij} \gg \lambda \\ 0, t_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

- 1) 通过布尔代数算法将单位矩阵 I 加入到初始可达矩阵中, 得到可达矩阵 Z ;
- 2) 确定可达性集 $R(f_i)$ 、先行集 $S(f_i)$ 、和这两个集的交集集中的因子;
- 3) 当交集集合 $C(f_i)$ 等于可达集 $R(f_i)$, 即 $R(f_i) = R(f_i) \cap S(f_i) = C(f_i)$ 时, 因素 i 表示为一级因子。然后将该因素对应的行列从集合中移除, 重复此过程, 直到所有因素完成层次结构划分。

$$R(f)_i = \{f_i | f_i \in Z, Z_{ij} = 1\}, (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$S(f)_j = \{f_j | f_j \in Z, Z_{ji} = 1\}, (j=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

$$C(f)_i = R(f_i) \cap S(f_j) \quad (8)$$

- 4) 构建 ISM 分层递阶图。利用 MATLAB 软件计算, 最终将建筑工人不安全行为影响因素分为 4 个层级, 如图 3 所示。

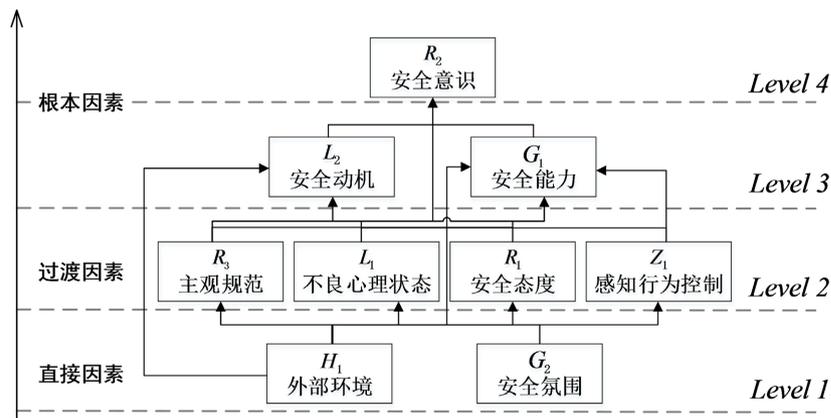


Figure 3. Schematic diagram of the influencing factors of unsafe construction workers in the process of safety information cognition

图 3. 安全信息认知过程建筑工人不安全影响因素层次结构示意图

直接因素包括外部环境 H_1 和安全氛围 G_2 , 直接影响着建筑工人行为安全。安全氛围的原因度值最大, 且小于零是主要结果因素, 说明组织安全氛围对不安全行为具有间接且长期的作用影响(计及组织氛围)。外部环境的中心度最高, 是直接因素层最关键的因素, 在安全信息获取阶段直接影响安全信息的准确性和完整性, 不利的施工环境和现场环境对建筑工人的生理和心理有很大影响, 进而影响工人的行为(建筑企业安全氛围)。为保证安全信息有效传递, 必须防止外部工作环境和组织安全氛围受到其他因素的干扰, 导致建筑工人不安全行为的产生。

过渡因素包括主观规范 R_3 、不良心理状态 L_1 、安全态度 R_1 和感知行为控制 Z_1 , 这 4 个中间因素原因度值均小于零属于结果因子, 表明这些因素更容易受到其他因素的影响, 在安全信息传递过程在各因素相互作用中发挥重要作用, 是控制建筑工人不安全行为的关键节点。

根本因素包括安全意识 R_2 、安全动机 L_2 、安全能力 G_1 , 其中安全意识原因度值大于零属于原因因

素,从根本上影响建筑工人不安全行为的产生。安全意识决定了安全信息的认知程度和深度,不安全行为的产生往往来自于安全意识不到位,即对潜在安全威胁缺乏警觉和戒备,是建筑工人不安全行为的最深层影响因素。加强管理人员及工人自身安全知识。技能的储备,培养安全意识才能从根本上减少安全事故的发生。

4. 研究结论

1) 从安全信息获取、安全信息感知、安全信息认知、安全信息利用、安全行为执行 5 个方面构建建筑工人不安全行为影响因素理论模型,提取出 9 个建筑工人不安全行为因素。

2) 结合 DEMATEL 模型,分析了各因素之间的相互作用,计算了 9 个不安全行为影响因素的影响程度和中心度。确定了各影响因素的重要程度、影响程度及其因果关系,其中外部环境、安全能力、安全意识、主观规范、不良心理状态、安全动机是安全信息认知过程中影响建筑工人不安全行为的关键因素。

3) 运用 DEMATEL-ISM 方法确定各影响因素属性特征,建立不安全行为层次结构递阶模型。结果表明:

① 外部环境和安全氛围是直接影响因素,保障工作环境建设安全氛围是加强安全管理的首要目标。积极、安全的组织价值观可以约束员工的行为,使其严格遵守行业标准,提高安全监管效率。

② 主观规范、不良心理状态、安全态度和感知行为控制是关键影响因素。企业及相关管理人员要特别重视建筑工人的心理状态,加强安全意识教育提高技术水平。工人对安全信息的判断和行为决策很大程度上依赖和参考群体内其他成员的想法与做法,以及组织管理者的要求和期望。

③ 安全意识、安全动机、安全能力是根本影响因素,提升安全能力培养安全意识正确引导工人行为举措是提高管理效率的关键。加强人员安全意识的培养,定期开展安全教育活动。通过安全教育,培养工人的规则意识和法律意识,培养技术人员的专业技能和应对安全事故的能力提高事故应急响应效率。

基金项目

江西省研究生创新专项资金项目江西理工大学校级研究生创新专项资金项目;编号:XY2022-S177;项目名称:城市更新背景下重大改造项目社会稳定风险评估与防控研究。

参考文献

- [1] 中华人民共和国应急管理部. 今年以来安全生产事故总量下降,重特大事故有所反弹[EB/OL]. https://www.mem.gov.cn/xw/xwfbh/2023n5y10rxwfbh/mtbd_4262/202305/t20230510_450044.shtml, 2020-06-19.
- [2] Heinrich, H.W. (1980) *Industrial Accident Prevention: A Safety Management Approach*. McGraw-Hill, New York.
- [3] Bohm, J. and Harris, D. (2010) Risk Perception and Risk-Taking Behavior of Construction Site Dumper Drivers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, **16**, 55-67. <https://doi.org/10.1080/10803548.2010.11076829>
- [4] 居婕, 杨高升, 杨鹏. 建筑工人不安全行为影响因子分析及控制措施研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(11): 179-184. <https://doi.org/10.11731/j.issn.1673-193x.2013.11.032>
- [5] 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. <https://doi.org/CNKI:SUN:LDBK.0.2016-04-029>
- [6] 张孟春, 方东平. 建筑工人不安全行为产生的认知原因和管理措施[J]. 土木工程学报, 2012, 45(S2): 297-305.
- [7] 王秉, 吴超, 黄浪. 一种基于安全信息的安全行为干预新模型: S-IKPB 模型[J]. 情报杂志, 2018, 37(12): 140-146. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-1965.2018.12.022>
- [8] 吴超. 安全信息认知通用模型构建及其启示[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(3): 5-11.

<https://doi.org/10.11731/j.issn.1673-193x.2017.03.001>

- [9] 李红霞, 李妍雯. 安全信息认知视角下矿工个体安全信息力影响因素研究[J]. 西安科技大学学报, 2019, 39(5): 867-874. <https://doi.org/CNKI:SUN:XXXB.0.2019-05-018>