

中文引用格式: 叶贵, 越宏哲, 冯新怡, 等. 建筑工人不安全行为的认知失效致因仿真研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(11): 6-12.

英文引用格式: YE Gui, YUE Hongzhe, FENG Xinyi, et al. Simulation study on causes of cognitive failure of construction workers' unsafe behavior[J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(11): 6-12.

建筑工人不安全行为的认知失效致因仿真研究^{*}

叶贵^{1,2}教授, 越宏哲^{1,2}, 冯新怡^{1,2}, 李元莉^{1,2}, 陈俐莹^{1,2}

(1 重庆大学 管理科学与房地产学院, 重庆 400045;

2 重庆大学 可持续建设国际研究中心, 重庆 400045)

中图分类号: X910

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn.1003-3033.2020.11.002

基金项目: 国家自然科学基金资助(71972020)。

【摘要】 为提升建筑施工安全管理水平, 有效降低建筑工人不安全行为, 梳理出影响建筑工人不安全行为认知过程失效的 7 类个体因素和 4 类环境因素, 建立认知过程失效致因的 4 阶段模型, 并采用软件 Matlab 仿真多因素导致认知失效的过程。结果表明: 环境因素通过影响个体因素作用于建筑工人的认知过程。安全意识、安全知识不足会导致建筑工人第 1 阶段的认知过程失效; 低估风险会导致建筑工人第 2 阶段的认知过程失效; 未选择安全动机和较低风险接受程度会导致建筑工人第 3 阶段认知过程失效; 未正确执行行动会导致建筑工人第 4 阶段认知过程失效。良好的主观规范有助于纠正建筑工人第 2 阶段的认知偏差。

【关键词】 建筑工人; 不安全行为; 认知过程; 个体因素; 环境因素

Simulation study on causes of cognitive failure of construction workers' unsafe behavior

YE Gui^{1,2}, YUE Hongzhe^{1,2}, FENG Xinyi^{1,2}, LI Yuanli^{1,2}, CHEN Liying^{1,2}

(1 School of Management Science and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2 International Research Center for Sustainable Built Environment, Chongqing University,
Chongqing 400045, China)

Abstract: In order to improve safety management in construction and effectively reduce unsafe behavior of construction workers, seven types of individual factors and four types of environmental factors affecting cognitive process failure of their unsafe behaviors were sorted out. Then, a four-stage causation model of failure was established, and Matlab was used to simulate process of cognitive failure caused by multiple factors. The results show that environmental factors affect workers' cognitive processes by influencing individual factors. Inadequate safety awareness and safety knowledge will lead to cognitive failure in first stage while underestimating risk is a main reason for it in second stage. Failure to choose a safe motivation and lower risk acceptance will lead to cognitive failure in third stage, and failure to perform actions properly leads to that in fourth stage. Moreover, good subjective norms help to correct cognitive bias in second stage of workers' cognitive process.

* 文章编号: 1003-3033(2020)11-0006-07; 收稿日期: 2020-08-07; 修稿日期: 2020-10-15

Keywords: construction worker; unsafe behavior; cognitive process; individual factors; environmental factors

0 引言

近年来,我国建筑业的安全事故形势依旧严峻。据统计,2018年,全国(不包括港澳台地区)共发生房屋市政工程生产安全事故734起、死亡840人,与上年相比,事故起数增加42起、上升6.1%,死亡人数增加33人、上升4.1%^[1]。**建筑工人的不安全行为是引起事故的主要原因和直接原因**^[2]。如果人的行为是不安全的,则是产生行为的认知过程出现了失效^[3-4]。

目前,国内外学者开展了大量的认知过程的研究,刘嘉伦^[5]指出,内部因素、外部因素都会导致工人认知失效,但文章对认知过程机制考虑不足;张孟春^[3]分析了建筑工人认知过程失效的原因,认为工人的不安全行为大多由工人选择应对环节失效导致,但没有系统考虑认知过程失效的影响因素;AJZEN^[6]和JIANG Zhongming^[7]等研究表明:安全意识、安全知识等因素对工人认知过程具有重要影响,但影响机制尚不明确。可见,以往文献对认知过程失效机制探索尚不明确,且没有结合影响因素进行考虑。认知失效发生在认知过程中,如果结合认知过程梳理影响因素,就能更好地探索建筑工人认知过程失效的原因,进而识别出建筑工人不安全行为的认知原因。

鉴于此,笔者拟探索构建建筑工人的认知过程模型,分析影响认知过程失效的个体因素和环境因素,采用软件Matlab模拟仿真,识别认知失效的原因,进而给出合理建议,以减少不安全行为的发生。

1 识别建筑工人认知过程影响因素

根据信息加工理论,认知过程指个体接受、编码、贮存、提取和使用信息的过程。认知心理学表明:建筑工人认知过程分为**获得信息、理解信息、选择响应和采取行动**4个阶段^[8]。结合认知过程,建筑工人不安全行为认知过程失效受到多种因素影响,包括个体因素和环境因素^[8]。

1.1 个体因素

个体因素指工人本身的安全意识、安全知识等影响认知水平的因素。在获取信息阶段,建筑工人从外界信息中感知风险。安全意识指警惕可能对自

己或他人造成伤害的建筑工地上潜在危险的心理状态^[7]。如果工人的安全意识较差,则他们对周围风险的警惕性不足,导致安全风险感知水平下降。经验会影响工人的风险感知,丰富的工作经验使工人对项目的潜在风险更加熟悉^[9]。安全知识是指理解、掌握和执行有关规章制度的能力和技能^[6]。安全知识水平低、经验不足的工人可能无法发现周围的风险。此外,生理因素会影响工人对危险的识别,工人喝醉酒或过度疲劳将无法正确识别风险,产生不安全行为。

在理解信息阶段,建筑工人考虑行为带来的危害及收益水平,需要进行思考、分析、推理;丰富的安全知识、良好的安全态度能增强工人对相关危害的了解^[6]。

在选择响应阶段,根据计划行为理论,影响工人行为选择的3个主要维度为态度、主观规范和知觉行为控制^[6]。态度在决策者的行为中起着重要作用,影响着安全或不安全选择的动机;主观规范是指感知他人对行为的期望,经理、工长的行为表现都会影响工人主观规范的形成,进而影响工人行为选择;知觉行为控制是指一个人对实施行为难易程度的感知,感知到的资源、设施会影响工人的知觉行为控制。

在采取行动阶段,技能水平、生理因素会影响工人行动的执行。CHANG Y H J^[10]指出,行动执行过程通常是以技能为基础;ZHANG Peiyao等^[11]用行为控制感知表征工人在执行行为时的能力。此外,疲劳可能会降低工人对危险情况作出充分反应的能力,工人过于疲劳时行动执行水平将下降。

1.2 环境因素

安全沟通、安全培训等因素会影响工人的个体因素^[12],笔者将他们界定为个体外的环境因素。安全沟通指工人与工友、管理者之间就安全问题信息交换的程度、频率和有效性,能够有效提升工人的安全知识。重复安全提醒、警告对提高工人的安全意识至关重要^[13]。

安全培训指安全会议上的针对性培训,能够有效改善工人安全意识,提高安全信息的掌握程度。定期进行安全培训将增强他们对风险的理解,树立良好的安全态度。

行为反馈是指管理者对工人行为表现的反馈,

包括经济奖励或处罚,口头赞扬或批评^[7]。行为反馈影响工人的安全态度,有助于提升主观规范。

示范作用意味着工人经常将工长和技术工人视为自己的榜样。工人观察并模仿工长和工友的行为,有助于形成主观规范。如果工长和技术工人忽略了一些安全问题,工人也会忽略类似问题。

至此,笔者识别了影响建筑工人不安全行为认

知过程的个体因素和环境因素,个体因素分别为安全意识、经验、安全知识、安全态度、主观规范、知觉行为控制、生理因素;环境因素分别为安全沟通、安全培训、行为反馈、示范作用。为详细讨论个体、环境因素对认知过程影响,构建建筑工人不安全行为认知过程失效多因素影响框架如图1所示。

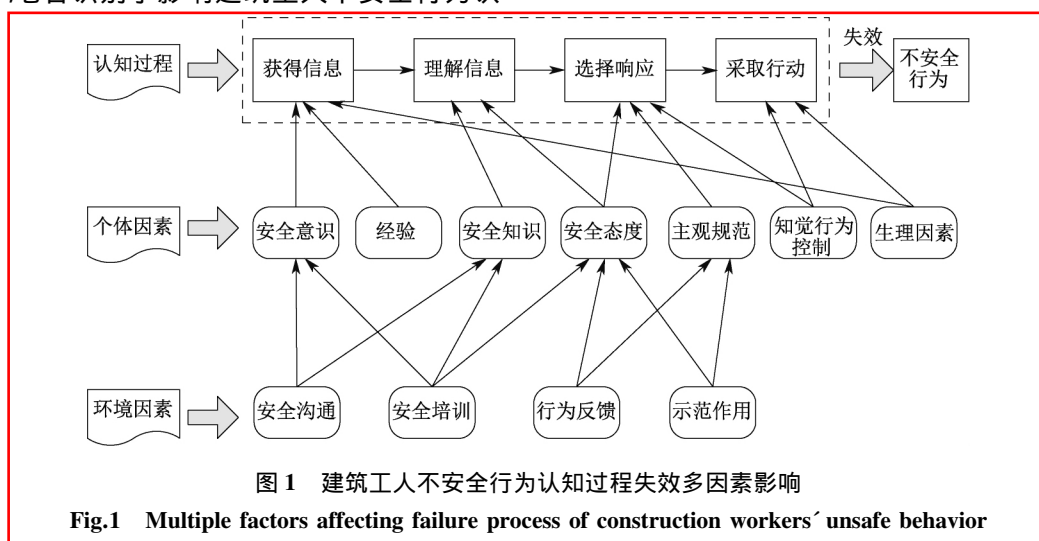


图1 建筑工人不安全行为认知过程失效多因素影响

Fig.1 Multiple factors affecting failure process of construction workers' unsafe behavior

2 认知过程4阶段模型构建

2.1 获得信息阶段模型构建

在获得信息阶段,建筑工人在安全意识、安全知识、生理状况都良好的情况下才能发现风险,否则不能发现风险^[10]。模型如下:

$$I_t = \begin{cases} 1 & \text{Rand}(0,1) \leq S_t \times L_t \times O_t \\ 0 & \text{Rand}(0,1) > S_t \times L_t \times O_t \end{cases} \quad (1)$$

式中: I_t 为工人在时间 t 内是否发现风险的二元指标, $I_t=1$ 为工人发现了风险, $I_t=0$ 为没有发现风险; S_t 为工人在 t 内的安全意识,工人安全意识越强,表示工人搜寻风险的能力越强; L_t 为工人在 t 内的安全知识,拥有的安全知识越多,工人认识风险的能力越强; O_t 为工人在 t 天的生理状况,值越大时工人的生理状况越好。

在开工前,管理者对工人进行安全培训并及时与工人沟通,工人的安全意识和安全知识将得到很大提升^[12-13]。模型如下:

$$S_t = a_1 \times C_t + a_2 \times T_t + S_0 \quad (2)$$

$$L_t = b_1 \times C_t + b_2 \times T_t + L_0 \quad (3)$$

式中: S_0 为初始安全意识,表示工人本身就有的安全意识; L_0 为初始的安全知识,表示工人进入项目前就有的安全知识; C_t 为工人在 t 内是否与管理者

沟通二元指标,1代表已沟通,0代表没有沟通; T_t 为工人在 t 内是否参与安全培训, a_1 和 a_2 分别为管理者沟通及参与安全培训对工人安全意识的提升作用; b_1 和 b_2 分别为管理者沟通及参与安全培训对工人安全知识的提升作用。

当工人发生危险后,对潜在危险的认知来源于外界环境,或来自暂时记忆、知识库的信息提取^[14]。工人上一天的风险感知将成为下一天暂时记忆、知识库的信息来源。因此,工人的信息感知模型如下式:

$$V_t = \begin{cases} \lambda \frac{1}{t-1} \sum_{k=1}^{t-1} V_k + (1-\lambda) A_t & (I_t = 1) \\ 0 & (I_t = 0) \end{cases} \quad (4)$$

式中: V_t 为工人在 t 内的风险感知; $\frac{1}{t-1} \sum_{k=1}^{t-1} V_k$ 为工人以往风险认知的经验之和; A_t 为当天的实际风险; λ 为工人的风险感知经验,风险感知经验越大,代表工人对过去信息的依赖越强。

当工人没有发现风险时,认为工人感知到的风险为0,当工人发现风险时,感知到的风险不为0。

2.2 理解信息阶段模型构建

在理解信息阶段,建筑工人是有限理性的个体^[8],会低估或高估风险,理解信息阶段模型如下式:

$$U_t = p_t V_t \quad (5)$$

式中: U_t 为工人在 t 内对风险的理解; p_t 为工人在 t 内的风险理解系数 $p_t > 1$ 表示工人理解的风险大于感知到的风险, 会高估风险 $p_t < 1$ 表示工人低估风险。

工人的风险理解系数与工人的安全态度、安全知识有关^[6, 15] 模型如下式:

$$p_t = p_{t-1} - c_1(E_t - E_{t-1}) + c_2(L_t - L_{t-1}) \quad (6)$$

式中: E_t 为工人在 t 内的安全态度, 越倾向于 0 时越安全, 越倾向于 1 时越不安全, 当 E_t 相比上一天降低时, 工人越倾向于风险规避, 越能认识到不安全行为的风险; L_t 为工人在 t 内的安全知识, 值越大, 工人越能认识到不安全行为的风险; c_1 、 c_2 分别为单位风险态度和安全知识的变化引起工人风险理解系数的增减。

2.3 选择响应阶段模型构建

在选择响应阶段, 工人可选择安全动机的响应, 也可选择综合动机的响应^[3], 当选择综合动机时, 工人以舒适、追求便捷等原因不选择安全行为。安全态度在行为选择中起到重要作用^[9] 模型如下式:

$$M_t = \begin{cases} 0 & \text{Rand}(0, 1) < E_t \\ 1 & \text{Rand}(0, 1) \geq E_t \end{cases} \quad (7)$$

式中 M_t 为工人在 t 内是否采取安全动机的二元指标, $M_t = 1$ 表示工人在 t 内以安全为动机, $M_t = 0$ 表示工人在 t 内选择综合动机。 E_t 越小, 工人选择安全动机的概率越大, 反之, 选择安全动机的概率越小。

选择安全动机时, 工人考虑自身的风险接受程度选择安全或不安全行为。工人的风险接受程度受到自身安全态度、主观规范影响, 模型如下式:

$$R_t = wE_t + (1 - w)N_t \quad (8)$$

式中: R_t 为工人 t 内的风险接受水平, 值越小, 能接受的风险水平越低; w 为工人自身安全态度的影响程度; N_t 为工人在 t 内的主观规范, N_t 和 E_t 值越小, 表示工人越倾向于安全, 否则越倾向于不安全, $N_t = 0.5$ 为适中水平。

管理者、工长的示范作用、行为反馈都有助于工人形成自身的主观规范, 模型如下式:

$$N_t = N_0 - d_1 \times F_t - d_2 \times D_t \quad (9)$$

式中: N_0 为工人初始主观规范; F_t 为工人 t 内接受的管理者、工长的行为反馈水平; D_t 为工人 t 内接受的管理者、工长的示范作用水平, 示范作用和反馈作用水平越高, 工人的主观规范越倾向于安全; d_1 、 d_2 分别为行为反馈水平、示范作用水平对工人主观规范的影响。

2.4 采取行动阶段模型构建

在采取行动阶段, 工人的生理因素、知觉行为控制会影响工人行动的正常执行^[16] 模型如下式:

$$g_t = \begin{cases} 1 & \text{Rand}(0, 1) < O_t \times H_t \\ 0 & \text{Rand}(0, 1) > O_t \times H_t \end{cases} \quad (10)$$

式中: g_t 为工人在 t 内能否正常执行行动的二元指标, 1 为行动可以正常执行, 0 为行动不能正常执行; H_t 为工人的知觉行为控制, 值越大对自身行动的控制越强, 当产生的 $(0, 1)$ 的随机数小于 O_t 与 H_t 的乘积时, 工人能正常执行行动。

2.5 工人是否采取不安全行为的判定

工人未选择安全的动机、未正确执行安全行为、风险接受程度比感知的风险水平大会导致不安全行为的发生, 即认知过程失效。因此, 不安全行为判定模型如下式:

$$B_t = \begin{cases} 1 & (\text{if } R_t > U_t \text{ or } M_t = 0 \text{ or } g_t = 0) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

式中 B_t 为工人是否采取不安全行为的二元指标, 1 为工人采取不安全行为, 0 为采取安全行为。

3 数值模拟仿真

取某项目实际工期 283 天为模拟时间, 初始参数的选择根据 CHOI^[15] 和 LIANG Huakang^[17] 等人经验数据的方法确定。工人的 E 取值为均匀分布 $(0.4, 0.9)$, 平均值高于 0.5 以反映工人的安全态度常常倾向于风险寻求^[15]。初始的 p_t 取值为均匀分布 $0.6 \sim 1.2$, 平均值低于 1.0 以反映工人常常低估感知到的风险, 且高估对环境的控制能力^[9]。初始的 L_t 和 E_t 取值为 0.8, 意味着工人在 80% 的情况下有足够的的安全知识和安全态度去处理和发现危险。初始的 O_t 取值为 0.8, 表示工人在 80% 的情况下有充足的生理条件发现危险和选择正确的行为。工人的不安全行为是孤立个体认知过程的表现, 也是与管理者、他人互动的结果^[18]。因此, w 取值为 0.5, 表示工人对风险接受的判断一半依赖于自身安全态度, 一半依赖于管理者对其形成的主观规范。 F_t 和 D_t 满足 $(0.1, 0.9)$ 的均匀分布, 0.1 和 0.9 这 2 种不同水平的数值反映管理者管理水平的差异性, 表明有些管理者管理水平较高, 有些管理水平较低, 更准确反映工地现场的状况。 A_t 满足 $(0.1, 0.5, 0.9)$ 的三角分布, 三角分布常用来模拟风险状况^[17]。最低值为 0.1 且最高值为 0.9 是为避免过

低或过高的极端情况。

4 结果分析

为有效反映建筑工人不安全行为在 4 阶段认

知过程中的认识失效原因,下面将分为 4 个阶段分别模拟和展开讨论。建筑工人不同认知阶段的个体内部因素、外部环境影响因素和不安全行为状况见表 1。

表 1 不同情况下建筑工人认知过程失效的原因

Tab.1 Reasons for workers' cognitive failure in different situations

对应情况	对应情况	情况 1	情况 2	情况 3	情况 4	情况 5	情况 6
失效阶段	失效阶段	获得信息阶段	理解信息阶段	选择响应阶段		采取行动阶段	—
判断 指标	A_i	0.480	0.439	0.439	0.453	0.534	0.439
	V_i	0	0.522	0.453	0.563	0.554	0.595
	U_i	0	0.343	0.573	0.495	0.533	0.478
	R_i	0.716	0.475	0.629	0.490	0.477	0.403
	M_i	1	1	1	0	1	1
	g_i	1	1	1	1	0	1
	B_i	1	1	1	1	1	0
个体 因素	E_i	0.931	0.656	0.465	0.245	0.743	0.578
	N_i	0.501	0.471	0.793	0.735	0.253	0.305
	L_i	0.852	0.861	1.107	1.106	0.832	1.134
	S_i	0.832	0.841	1.007	1.050	0.827	1.034
	O_i	0.932	0.784	0.875	0.952	0.576	0.864
外部 因素	C_i	0	0	0	0	0	1
	T_i	0	0	1	1	0	0
	F_i	0.235	0.345	0.121	0.078	0.578	0.345
	D_i	0.563	0.513	0.093	0.252	0.716	0.845

工人获得信息阶段认知失效原因表现为工人没有发现风险,如情况 1 所示,工地现场实际风险 A_i 为 0.480,风险存在; V_i 为 0,工人未发现风险,认知过程的第一阶段失效。结合表 1 中内容可以看出,个体内部因素($L_i=0.852$, $S_i=0.832$)较低,接近仿真的初始值 0.8,意味着工人当天的安全意识和安全知识没有得到明显提升。外部环境因素中 $C_i=0$, $T_i=0$ 代表工人未参加安全培训,没有与管理者进行充分安全沟通,这可能是工人缺乏安全意识和安全知识的原因。采用培训、充分沟通等外部环境措施手段能不断增强工人的安全信息水平,增强安全认知。

工人理解信息阶段认知失效原因表现为工人低估了风险。在情况 2 中,工人在认知过程的第一阶段发现了风险($V_i=0.522>0$),但理解的风险低于感知到的风险($U_i=0.343<V_i$),认为风险是不足为惧的,采取不安全的行为。这在以往的研究中普遍存在。张孟春^[19]研究的脚手架工人显著低估不使用安全带和高处抛扔物体 2 项不安全行为的危险,进而采取了不安全行为。个体内部因素中,安全知识、安全态度会影响工人对风险的理解,表 1 中工人 $L_i=0.861$ (接近初始值 0.8)在当天处于较低水平,安全态度为 $E_i=0.656>0.5$,倾向于不安全 2 项原

因共同导致对风险的低估。

工人选择响应阶段的认知失效原因表现为未选择安全动机和风险接受程度较低 2 类情况。在情况 3 中,工人在认知过程的第一阶段发现风险($V_i=0.453>0$),认知过程第 2 阶段高估了风险产生的危害($U_i=0.573>V_i$)。在选择响应阶段,选择安全动机的行为($M_i=1$)。在判断是否采取安全行为时,由于工人的风险接受程度很高,超过工人对风险的理解程度($R_i=0.629>U_i=0.573$),工人认为风险是可接受的,选择不安全行为,认知过程的第 3 阶段失效。在工人个体内部因素中,主观规范影响工人的风险接受程度,工人的主观规范较差($N_i=0.793>0.5$),进而风险接受程度较低。在外部环境因素中,工人当天受到的管理者行为示范和反馈作用水平较低($F_i=0.121$, $D_i=0.093$),进而形成较差的主观规范。因此,管理者和技术工人应以自身安全行动作为示范,树立安全榜样,影响安全行为表现较差的工人,帮助他们形成良好的主观规范,减少第 3 阶段的认知偏差。在情况 4 中,工人在认知过程第一阶段发现危险($V_i=0.563>0$),在第二阶段正确估计风险($U_i=0.495<V_i$)。但由于在个体内部因素中,工人的安全态度倾向于不安全($E_i=$

0.245), 在选择响应时, 选择不安全的行为动机 ($M_i = 0$) , 工人为追求便捷、舒适等条件, 采取不安全的行为, 认知过程第三阶段失效。因此, 管理者要改善外部设备, 给工人提供方便、便捷的条件; 要强调安全作业的重要性, 提高工人的安全态度, 鼓励工人采取更多的安全动机。

工人采取行动阶段认知失效原因表现为工人没有正确执行行动。在情况 5 中, 工人在认知过程第 1 阶段发现风险 ($V_i = 0.554 > 0$) , 在第 2 阶段正确估计风险 ($U_i = 0.533 < V_i$) , 在第 3 阶段选择安全的动机 ($M_i = 1$) 。但在采取行动阶段时, 没有正确执行行动 ($g_i = 0$) , 最后导致不安全行为的发生, 认知过程的第 4 阶段失效。在个体内部因素中, 工人不能正确执行行动可能与工人较差的生理状况有关 ($O_i = 0.576$) , 疲劳、喝酒等因素会导致工人较差的生理状况, 这与之前的研究一致^[16]。因此, 管理者要给工人创造良好的行动执行条件和环境, 提高任务执行能力。此外, 工人在疲劳时应适度休息, 实施工人轮岗制度, 避免工人在同一工作岗位工作过长时间, 将有助于工人正确执行安全行为。

结合 5 类建筑工人认知过程失效情况, 同一认知阶段失效也可能由多种原因导致, 如情况 3、情况 4 都是建筑工人没有选择不安全行为的响应, 一种是自身的风险接受程度较高, 没有选择安全行为; 另一种是根本没有考虑选择安全的动机。张孟春^[3] 研究显示, 选择应对环节的行为失效是不安全行为的最

主要原因, 笔者进一步说明选择应对环节的不同认知偏差下针对增强安全动机选择和降低工人自身风险接受程度的管理措施。以往文献认为一个认知阶段的认知偏差可能导致不安全行为^[7]。笔者认为认知偏差存在纠正效应, 如情况 6 所示。情况 6 中建筑工人低估风险产生的危害 ($U_i = 0.478 < V_i$) , 存在一定的认知偏差, 而管理者通过行为反馈、示范作用等外部管理措施告知工人风险的危害性, 工人的主观规范倾向于安全 ($N_i = 0.305 < 0.5$) , 认为风险是不可接受的 ($R_i = 0.403 < U_i = 0.478$) , 进而选择安全行为 ($U_i = 0$) , 认知偏差得到纠正。因此, 管理者应倡导安全行为规范, 对工人的不安全行为做到及时反馈、及时纠正, 进而减少认知过程第 2 阶段的认知偏差。

5 结 论

1) 建筑工人认知过程失效受到多类个体因素和环境因素影响, 不同认知阶段失效原因不尽相同。个体因素是影响建筑工人认知失效的直接原因, 环境因素是影响建筑工人认知失效的根本原因。管理者的行为反馈、示范作用对建筑工人认知偏差起到一定纠正作用。

2) 模型初始值是根据经验数据设立, 对不同项目来说可能存在差异, 未来的研究中将采用事件相关电位试验、安全行为量表等方式测量工人的个体内部因素和外部环境因素, 修正和检验模型。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅. 住房和城乡建设部办公厅关于 2018 年房屋市政工程生产安全事故和建筑施工安全专项治理行动情况的通报 [EB/OL]. [2019-11-19]. http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201903/t20190326_239913.html.
- [2] 郁润, 张知田, 郭红领. 数据驱动的施工现场工人不安全行为管理方法 [J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(8): 130-135.
YU Run, ZHANG Zhitian, GUO Hongling. A data-driven management approach of construction workers' unsafe behaviors [J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(8): 130-135.
- [3] 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(增 2): 297-305.
ZHANG Mengchun, FANG Dongping. Cognitive causes of construction worker's unsafe behaviors and management measures [J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(S2): 297-305.
- [4] 那赞, 栗继祖, 冯国瑞. 群体认知对个体不安全行为意向的跨层次影响 [J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(2): 13-19.
NA Yun, LI Jizu, FENG Guorui. A cross-level influence of group cognition on individual unsafe behavior intention [J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(2): 13-19.

- [5] 刘嘉伦. 建筑工人的安全认知偏差特性及形成机理研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
LIU Jialun. Study on the safety cognition deviation characteristics and formation mechanism of construction workers [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.
- [6] AJZEN I. The theory of planned behavior [J]. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 1991, 50(2): 179–211.
- [7] JIANG Zhongming, FANG Dongping, ZHANG Mengchun. Understanding the causation of construction workers' unsafe behaviors based on system dynamics modeling [J]. *Journal of Management In Engineering*, 2015, 31(6): 4014099.
- [8] 叶贵, 越宏哲, 杨晶晶, 等. 建筑工人认知水平对不安全行为影响仿真研究 [J]. *中国安全科学学报*, 2019, 29(9): 36–42.
YE Gui, YUE Hongzhe, YANG Jingjing, et al. Simulation study on influences of construction workers' bounded rational cognition on unsafe behaviors [J]. *China Safety Science Journal*, 2019, 29(9): 36–42.
- [9] WANG Jiayuan, ZOU P X W, LI P P. Critical factors and paths influencing construction workers' safety risk tolerances [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2016, 93: 267–279.
- [10] CHANG Y H J, MOSLEH A. Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents. part 1: overview of the IDAC model [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2007, 92(8): 997–1 013.
- [11] ZHANG Peiyao, LI Nan, JIANG Zhongming, et al. An agent-based modeling approach for understanding the effect of worker-management interactions on construction workers' safety-related behaviors [J]. *Automation in Construction*, 2019, 97: 29–43.
- [12] WACHTER J K, YORIO P L. A system of safety management practices and worker engagement for reducing and preventing accidents: an empirical and theoretical investigation [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2014, 68: 117–130.
- [13] FANG Dongping, WU Chulin, WU Haojie. Impact of the supervisor on worker safety behavior in construction projects [J]. *Journal of Management In Engineering*, 2015, 31(6): 04015001.
- [14] REASON J. Modelling the basic error tendencies of human operators [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 1988, 22(1/2/3/4): 137–153.
- [15] CHOI B, LEE S. An empirically based agent-based model of the sociocognitive process of construction workers' safety behavior [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2018, 144(2): 04017102.
- [16] SWAEN G M H, VAN AMELSVOORT L G P M, BÜLTMANN U, et al. Fatigue as a risk factor for being injured in an occupational accident: results from the maastricht cohort study [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, 2003, 60(S1): i88–i92.
- [17] LIANG Huakang, LIN K Y, ZHANG Shoujian. Understanding the social contagion effect of safety violations within a construction crew: a hybrid approach using system dynamics and agent-based modeling [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(12): 27.
- [18] LOMBARDI D A, VERMA S K, BRENNAN M J, et al. Factors influencing worker use of personal protective eyewear [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2009, 41(4): 755–762.
- [19] 张孟春, 方东平, 佟瑞鹏. 脚手架工人低估不安全行为风险的研究 [J]. *中国安全科学学报*, 2011, 21(8): 145–150.
ZHANG Mengchun, FANG Dongping, TONG Ruipeng. Study on underestimating risks of scaffolders to unsafe behaviors [J]. *China Safety Science Journal*, 2011, 21(8): 145–150.

作者简介: 叶贵 (1976—), 男, 四川三台人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事建筑安全、健康城市等方面的研究。E-mail: yegui760404@126.com。