

中文引用格式:江新,张腾飞,陈婧,等. 复杂系统视角下洞室施工人员安全认知仿真研究[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(2): 22-30.

英文引用格式:JIANG Xin, ZHANG Tengfei, CHEN Jing, et al. Numerical study on safety cognition of cavern constructors from perspective of complex system[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(2): 22-30.

# 复杂系统视角下洞室施工人员安全认知仿真研究\*

江新<sup>1,2</sup>教授, 张腾飞<sup>\*\*2</sup>, 陈婧<sup>2</sup>, 赵力<sup>2</sup>, 邱国坤<sup>2</sup>, 王辉<sup>3</sup>

(1 三峡大学 水电工程施工与管理湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002; 2 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002; 3 长江水利水电开发集团(湖北)有限公司 扬子江工程咨询公司, 湖北 武汉 430014)

中图分类号: X948

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2024.02.0995

基金项目: 国家自然科学基金资助(52179136)。

**【摘要】** 为制定有效的安全认知提升策略及减少安全事故的发生, 需深入探究洞室施工人员安全认知的演化过程和特征。首先, 基于复杂社会技术系统和“2-4”模型(24Model)等相关知识, 识别安全认知影响因素, 构建洞室施工人员安全认知指标体系; 然后, 通过 Super Decisions 软件计算指标权重; 随后利用系统动力学(SD)理论, 明确各因素间的相互关系, 建立包含组织安全管理等4个子系统的SD仿真模型, 将以安全投入为基础的认知纠偏机制应用到SD仿真模型; 最后, 结合实际工程算例开展SD仿真以及敏感性分析。研究表明: 随着工程进展, 通过增加安全投入, 并发挥认知纠偏机制作用, 施工人员的整体安全认知由下降趋势转变为缓慢上升趋势; 组织安全管理对洞室施工人员安全认知影响程度最大, 结果与24Model的基本假设一致, 从而验证了SD仿真模型的科学性和有效性。

**【关键词】** 复杂系统; 洞室施工人员; 安全认知; “2-4”模型(24Model); 系统动力学(SD)

## Numerical study on safety cognition of cavern constructors from perspective of complex system

JIANG Xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Tengfei<sup>2</sup>, CHEN Jing<sup>2</sup>, ZHAO Li<sup>2</sup>, QIU Guokun<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>3</sup>

(1 Hubei Key Laboratory of Construction and Management in Hydropower Engineering, China Three Gorges University, Yichang Hubei 443002, China; 2 College of Hydraulic & Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang Hubei 443002, China; 3 Yangtze River Engineering Consultation Company, Changjiang Water Resources and Hydropower Development Group Co., Ltd., Wuhan Hubei 430014, China)

**Abstract:** To propose effective safety cognition strategies and reduce safety accident occurrence, it is urgent to investigate the safety cognition evolution process and characteristics of cavern constructors. Firstly, factors affecting safety cognition were identified based on a complex sociotechnical system and the

\* 文章编号: 1003-3033(2024)02-0022-09; 收稿日期: 2023-08-16; 修稿日期: 2023-11-18

\*\* 通信作者: 张腾飞(1999—), 男, 河南开封人, 硕士研究生, 主要研究方向为工程项目群管理、系统决策理论及安全评价。E-mail: 1265720166@qq.com。

24Model, then a safety cognition index system of cavern constructors was proposed. Subsequently, the weight coefficient was calculated by the Super Decisions software. Then, system dynamic (SD) theory was used to determine the interrelationship between factors. SD numerical model was developed including organizational safety management and other three subsystems, and a cognitive correction mechanism based on safety investments was applied to the SD numerical model. Finally, numerical simulations and sensitive analysis were performed by the SD model based on actual engineering examples. The results indicated that the overall safety cognition of cavern constructors changed from a downward trend to an upward trend by increasing safety investments and exerting the role of cognitive correction mechanisms with project processes. Organizational safety management has the greatest influence on the safety cognition of cavern constructors, which was consistent with the assumption of 24Model. Therefore, the scientific performance of the SD numerical model was validated.

**Keywords:** complex system; cavern constructors; safety cognition; "2-4" model (24Model); system dynamics (SD)

## 0 引言

“双碳”目标下,到2030年,抽水蓄能的总装机容量约为1.2亿kW。洞室群施工作为抽水蓄能电站建设的关键环节,各个施工要素之间相互作用,形成了一个复杂的社会技术系统。此外,由于施工人员规模庞大、素质参差不齐,加之施工安全事故时有发生,致使洞室群施工成为电站施工安全管理的关注重点<sup>[1]</sup>。人的不安全行为是导致事故发生的直接原因,然而行为是个体对内在信息认知的表现,而且认知的产生和运行是一个繁杂的系统<sup>[2]</sup>,目前尚无手段准确测量施工过程中工人的安全认知水平。因此,从复杂系统的角度探究安全认知的影响因素和动态演化特征,提高工人安全认知水平,预防施工安全事故的发生,对于高质量完成抽水蓄能电站建设具有重要意义。

在现代认知心理学中,认知是一个重要的概念,相关的心理学和神经科学研究已经证实了工作记忆和领域知识<sup>[3]</sup>、情绪<sup>[4]</sup>以及团队成员之间的认知交互<sup>[5]</sup>在个体认知行为中起到了关键作用。在建筑工程施工等相关研究领域,MA Hui等<sup>[6]</sup>指出,个体与社会环境的相互作用是导致安全认知波动的根本原因;YANG Jingjing等<sup>[7]</sup>发现,建筑噪声通过负面情绪影响工人的安全认知;仇国芳等<sup>[8]</sup>认为,施工人员个体状况直接影响工人对安全作业的认知和理解能力。在针对人员安全水平的模型仿真方面,YU Kai等<sup>[9]</sup>采用系统动力学(System Dynamics, SD)分析了煤矿工人安全行为的动态演化特征;王中邮等<sup>[10]</sup>运用SD工具构建了分析模型,以探究个体风险感知水平和客观风险水平差值的拟合过程。

上述研究相对分散,尚未明确分析施工人员安全认知随时间的变化特征,且往往仅关注风险感知或危险识别等安全认知的某个阶段,缺乏研究施工人员安全认知的系统性结构化问题。鉴于此,笔者拟从复杂系统视角,利用SD理论探究洞室施工人员安全认知演化特征,找出影响安全认知的主要因素,制定切实可行的安全认知提升策略。

## 1 施工人员安全认知影响因素分析

### 1.1 洞室施工人员安全认知影响因素识别

基于复杂社会技术系统理论,结合安全风险管理框架可知:系统的稳定性和原有秩序会随着社会技术环境的动态变化产生波动,进而导致组织和个人行为的失败<sup>[11]</sup>。同时,人的行为是个体认知和环境相互作用的结果。因此,可以运用该安全风险管理框架解释安全认知的形成过程。此外,结合“2-4”模型(24Model)在行为演化关系、事故原因追溯和事故预防对策制定方面的优势<sup>[12]</sup>,作为该框架的补充,用以识别底层的影响因素,如图1所示;还可以利用24Model的最基本假设,即任何事故都是组织事故,来验证后续计算或仿真结果。决策阶梯模型和人类信息加工模型等都是经典认知模型,主要涉及信息获取、信息理解、响应选择和执行阶段。第1阶段是信息获取,施工人员通过感官感知和记忆来获取外部环境中的信息;第2阶段是信息理解,将获得的信息与已有的记忆信息进行比较、整合和理解,形成一种固定的思维模式;第3阶段是选择响应,即选择将要执行的具体响应策略;第4阶段是执行,也就是采取实际行动。

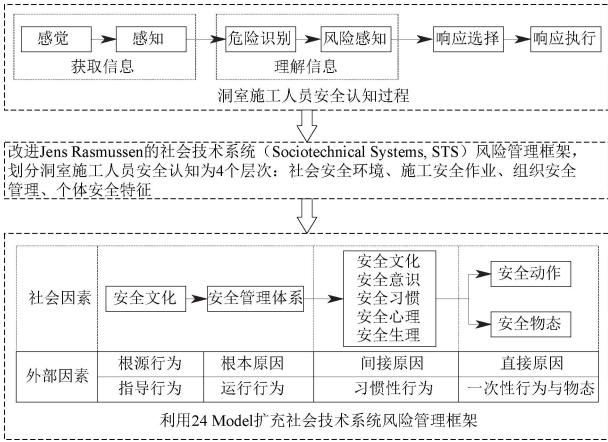


图1 洞室施工人员安全认知层次结构模型

Fig.1 Safety cognition hierarchical model of cavern constructors

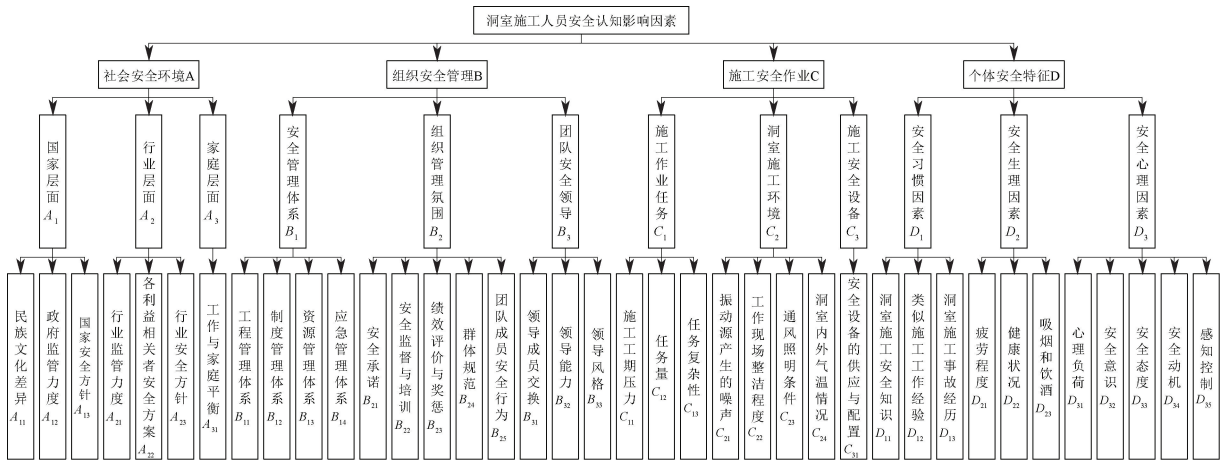


图2 洞室施工人员安全认知指标体系

Fig.2 Safety cognition index system of cavern constructors

## 2 施工人员安全认知 SD 模型建立

### 2.1 洞室施工人员安全认知因果关系分析

从复杂系统视角出发,安全认知是在4个子复杂系统的相互作用下形成的,每个子系统都对安全认知产生直接影响。此外,A通过B、C和D对安全认知产生影响;同样,B通过C和D对安全认知产生影响;C则通过D间接影响安全认知,如图3所示。以组织安全管理子系统为例,结合已建立的指标体系和图3,对其展开详细分析。通过安全监督与培训可以增强组织的安全文化氛围,从而提高组织的安全管理水平;而组织的安全管理水平可以通过影响个体的安全特征来间接影响施工人员的安全认知。综合考虑各个影响因素之间的相互联系和作用,可以形成洞室施工人员安全认知的整体因果关系,如图4所示。

### 1.2 洞室施工人员安全认知指标体系构建

基于前文提出的安全风险管理体系,采用复杂系统思维,修改安全风险管理体系,将其划分为社会安全环境、施工安全作业、组织安全管理和个体安全特征4个层次,并分别视为一个整体;接下来,结合24Model分析水利水电工程洞室施工事故报告和相关文献资料<sup>[13-14]</sup>,提取出影响洞室施工人员安全认知的因素;然后,对已确定的影响因素进行问卷调查分析,并进行信效度检验,以确保影响因素的合理性和可靠性。在原有安全风险管理体系的基础上,最终形成二级或三级指标,如图2所示。

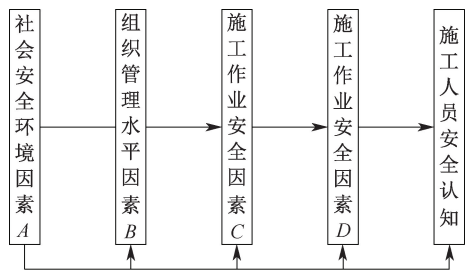


图3 影响因素与安全认知简化关系

Fig.3 Simplified relationships of influence factors and safety cognition

### 2.2 洞室施工人员安全认知仿真模型构建

#### 2.2.1 边界确定与基本假设

1) 边界确定。基于复杂性系统的视角,将洞室施工人员的安全认知系统作为建模对象,在该仿真模型中,包括社会安全环境、组织安全管理、施工安全作业和个体安全特征4个子系统作为模型边界。

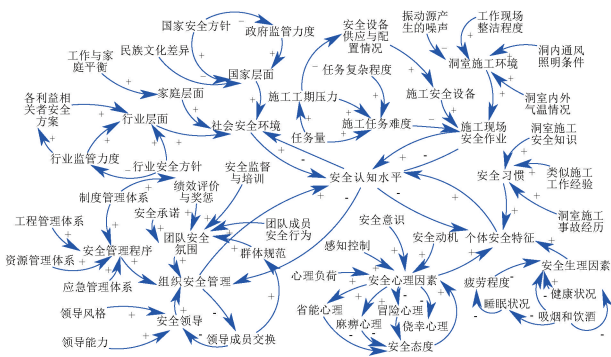


图 4 复杂系统视角下洞室施工人员安全认知因果关系  
Fig. 4 Causality diagram of safety cognition of cavern constructors from the perspective of complex system

2) 基本假设。基于以下假设进行分析。假设 1:仅考虑上述 4 个子系统对洞室施工人员安全认知的影响,不考虑其他变量的影响;假设 2:不考虑地震、自然灾害等极端灾害事件导致系统崩溃的情况;假设 3:工程建设的管理者对施工人员安全认知的调控作用有限,无法完全消除不良影响。

2.2.2 安全认知指标权重计算

利用 Super Decisions 软件计算未加权的超矩阵、加权的超矩阵和极限的超矩阵,得到洞室施工人员安全认知体系指标的权重见表 1。其中,组织安全管理指标权重最大,相较于其他指标更为重要,权重计算结果与 24Model 的最基本假设相契合。

表 1 洞室施工人员安全认知体系指标权重

Tab.1 Index weight of safety cognition index system of cavern constructors

一级指标	综合权重	二级指标	综合权重	三级指标	综合权重	一级指标	综合权重	二级指标	综合权重	三级指标	综合权重				
A	0.165 18	A <sub>1</sub>	0.067 54	A <sub>11</sub>	0.023 95	C	0.161 37	C <sub>1</sub>	0.073 97	C <sub>11</sub>	0.026 39				
				A <sub>12</sub>	0.024 29					C <sub>12</sub>	0.024 89				
				A <sub>13</sub>	0.019 29					C <sub>13</sub>	0.022 69				
		A <sub>2</sub>	0.076 55	A <sub>21</sub>	0.031 21			C <sub>2</sub>	0.059 28	C <sub>21</sub>	0.009 66				
				A <sub>22</sub>	0.023 91					C <sub>22</sub>	0.024 23				
				A <sub>23</sub>	0.021 43					C <sub>23</sub>	0.013 16				
		A <sub>3</sub>	0.021 10	A <sub>31</sub>	0.021 10			C <sub>3</sub>	0.028 12	C <sub>31</sub>	0.028 12				
		B	0.396 27	B <sub>1</sub>	0.091 57			B <sub>11</sub>	0.022 21	D	0.277 18	D <sub>1</sub>	0.080 46	D <sub>11</sub>	0.024 73
								B <sub>12</sub>	0.017 37					D <sub>12</sub>	0.028 15
B <sub>13</sub>	0.020 29					D <sub>13</sub>	0.027 59								
B <sub>14</sub>	0.031 71					D <sub>21</sub>	0.032 42								
B <sub>2</sub>	0.118 56			B <sub>21</sub>	0.021 61	D <sub>2</sub>	0.074 36	D <sub>22</sub>	0.025 00						
				B <sub>22</sub>	0.020 71			D <sub>23</sub>	0.016 94						
				B <sub>23</sub>	0.020 02			D <sub>31</sub>	0.025 46						
				B <sub>24</sub>	0.019 17			D <sub>32</sub>	0.024 14						
				B <sub>25</sub>	0.037 05			D <sub>33</sub>	0.021 14						
				B <sub>31</sub>	0.066 43			D <sub>34</sub>	0.029 02						
B <sub>3</sub>	0.186 14			B <sub>31</sub>	0.066 43	D <sub>3</sub>	0.122 35	D <sub>35</sub>	0.022 59						
				B <sub>32</sub>	0.059 86										
				B <sub>33</sub>	0.059 85										

2.2.3 安全认知 SD 存量流量图构建

为了解安全投入对施工人员安全认知的作用程度,通过调整安全投入并建立安全认知偏差纠正机制<sup>[15]</sup>,来控制安全认知的衰减过程。基于 4 个子系统的相互作用特点,利用 Vensim DSS 软件构建洞室施工人员安全认知的存量流量图,如图 5 所示。图 5 中包含了 5 个状态变量、10 个速率变量和 38 个常量等要素。

2.2.4 模型变量函数关系式定义

齐丽云等<sup>[16]</sup>研究发现,在安全管理或安全培训过程中,随着知识获取者对知识掌握程度提高,知识

增长速率逐渐减缓,并最终趋向于一个稳定值,在整个过程中,知识一直在不断增长。然而,如果长时间不运用所获得的知识,知识水平将逐渐下降。

根据确定的洞室施工人员安全认知影响因素,结合 SD 流量图和各指标权重,定义 SD 模型部分主要变量方程式如下:

$$I_k = \text{Delay1}(X_i \times W_{X_i}, t) \quad (1)$$

$$O_k = \text{if then else}(X \geq 0, \text{Delay1I}(X \times W_X + R_X + Y_X, T, 0), 0) \quad (2)$$

$$S_k(t) = \int_0^t (I_k(x) - O_k(x)) dx \quad (3)$$



速提升,并在第22天达到峰值。在第22天时,处于高认知负荷工作环境的工人群众,开始出现情绪懈怠和工作疲劳等负面影响,加之对已习得安全知识的遗忘,导致洞室施工人员的安全认知在此时间点出现下降,该时间点为关键转折点。在第22天到第100天内,应用认知纠偏机制前,安全认知持续下降;应用认知纠偏机制后,工人安全认知总体趋势由持续下降变为缓慢上升。需要注意的是,安全投入存在边际递减效应,即安全投入超过最优值时,增加安全投入成本,效果也不会显著提高。仿真结果基本符合2.2.4节中所述的知识势能曲线和现实世界中的已知特征,验证了文中所建立SD模型的有效性。

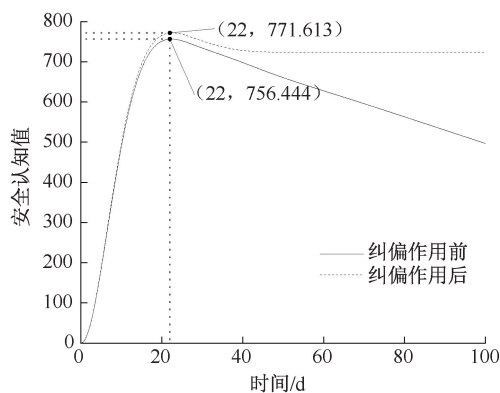


图6 纠偏作用前后安全认知对比仿真结果

Fig. 6 Comparisons of simulated safety cognition before and after deviation correction

### 3.2.2 子系统仿真结果分析

1) 社会安全环境子系统。工程建设过程中,国家、行业和其他安全监管部门对工程的建设极为重视。同时,政府和行业的法律法规要求项目管理人员要加强对新员工的安全教育培训和监督,这导致施工前期工人的安全认知迅速提升。然而,随着工程建设的进展,工人的安全认知开始持续下降。这可能是因为他们在家庭与工作平衡方面未能妥善处理,或受到不和谐的家庭氛围影响,从而严重降低了工人的安全认知水平。仿真结果如图7所示。

2) 组织安全管理子系统。安全教育是一种控制不安全行为的有效途径。安全常识培训和事故案例警示教育等能够提高工人对安全的认识,并使安全认知保持在较高水平。在工程施工前期,大多数企业会针对施工人员进行多次的安全培训和教育。然而,在实践中,安全教育并没有发挥出最大的效用。其原因在于,大部分企业通常只在工程项目前期进行安全教育,而在项目中期很少进行安全教育,导致施工人员在施工过程中的安全认知出现下降。

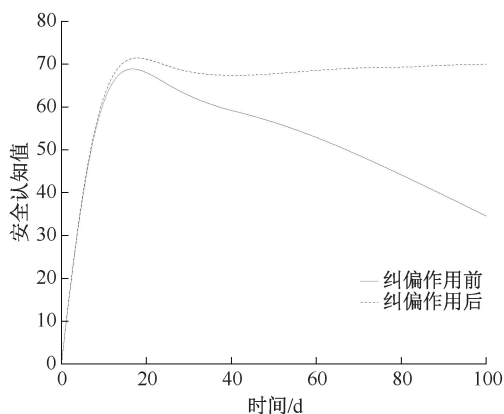


图7 纠偏作用前后社会安全环境对比仿真结果

Fig. 7 Comparisons of simulated social safety environment before and after deviation correction

仿真结果如图8所示。

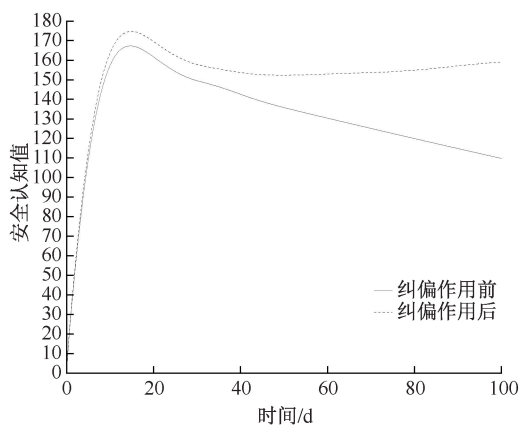


图8 纠偏作用前后组织安全管理对比仿真结果

Fig. 8 Comparisons of simulated organizational safety management before and after deviation correction

3) 施工安全作业子系统。对于大多数一线施工人员来说,他们面对陌生且危险的施工现场环境时,会极大地增强他们的安全警觉性。前期的高度安全警觉性促使工人的安全认知显著提高。然而,随着施工人员逐渐适应施工现场环境,他们的安全警觉性会有所下降。此外,洞室通常是封闭的狭小空间,工人需要面对地质情况的不确定性,且长期受到工期压力、施工设备噪声以及洞室内通风照明条件不佳等负面影响会分散工人的注意力,增加危险源的识别时间,从而导致工人的安全认知下降。仿真结果如图9所示。

4) 个体安全特征子系统。个体作为组织管理的重要对象,与组织安全管理子系统相似,受到企业安全教育和培训的影响,在施工前期个体的安全认知能够保持较高水平。然而,部分个体存在侥幸心理和乐观认知偏差,对于那些可能引发严重安全事

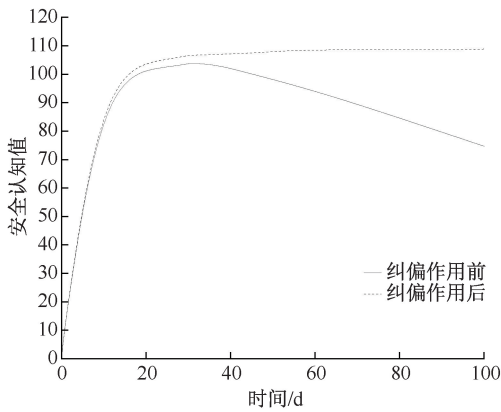


图9 纠偏作用前后施工安全作业对比仿真结果

Fig. 9 Comparisons of simulated construction safety operation before and after deviation correction

故且后果更为严重的危险情境,这些个体往往具有更高水平的安全认知。但是,在实际的施工现场中,普通工人很少从事特种作业任务,他们更常接触到看似不太可能导致严重事故的危险情境,导致这部分个体的安全认知低于平均水平。此外,由于地缘性和亲缘性的存在,施工企业中存在着大量的非正式工人团体,个体安全特征的动态波动会导致群体规范的不稳定性,从而影响整体安全认知,导致群体内部出现不可预测的不安全行为。仿真结果如图 10 所示。

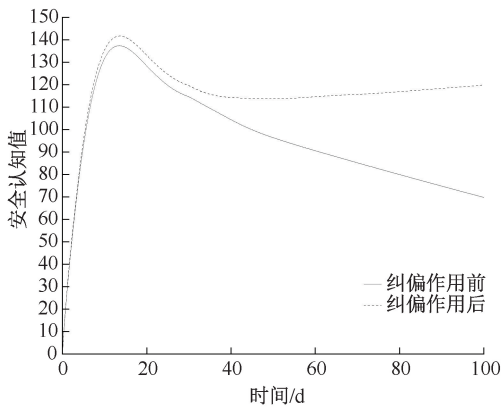


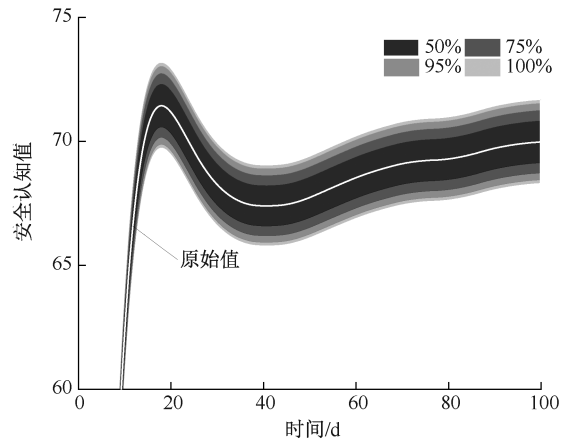
图 10 纠偏作用前后个体安全特征对比仿真结果

Fig. 10 Comparisons of simulated individual safety character before and after deviation correction

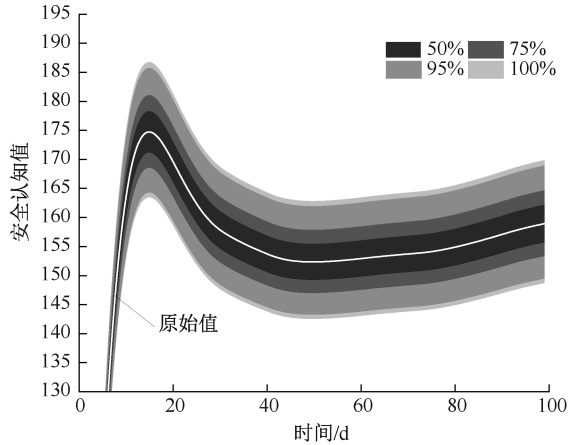
### 3. 2. 3 各子系统敏感性分析

为进一步确定影响安全认知的主要因素,以提高政策制定的有效性,基于前文仿真结果展开敏感性仿真分析。在敏感图中,不同颜色条带代表不同程度的敏感置信区间,条带带宽越大,敏感性越大。纠偏作用后各子系统常量初始值在变化 $\pm 10\%$ 时的敏感性程度如图 11 所示,图中颜色由深至浅分别代表 50%、75%、95% 和 100% 的模拟结果在平面上的投影范围。由于各子系统安全认知在 0 ~ 22 天内处

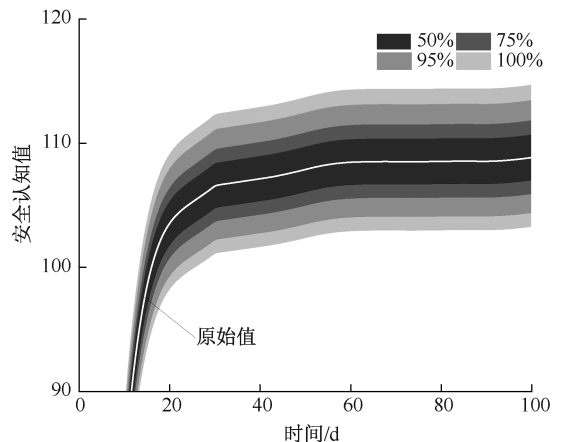
于快速增长阶段,各置信区间视觉上相互区分不明显,故选择 22 ~ 100 天为敏感程度主要观察区间。其中,社会安全环境子系统(a)的敏感性带宽约为 6.8,组织安全管理子系统(b)的敏感性带宽约为 20.3,施工安全作业子系统(c)的敏感性带宽约为 11.5,个体安全特征子系统(d)的敏感性带宽约为 17.4。最终可得各子系统敏感性排序为:(b)>(d)>(c)>(a),组织安全管理是最敏感的影响因素,敏感性分析结果符合事故致因 24Model 的最基本假设。



(a) 社会安全环境子系统



(b) 组织安全管理子系统



(c) 施工安全作业子系统



2) 安全认知的产生和运行过程中,组织安全管理是影响安全认知的主要因素。尽管个体是影响安全认知的最直接因素,但个体是组织的基础,且个体

因素中包含了难以改变的先天性特征,因此,在实际施工过程中,应通过合适的组织管理方法改善个体的后天性特征,提高施工人员安全认知水平。

### 参考文献

- [1] 樊启祥,林鹏,魏鹏程,等.水电工程安全事故发生机制与管理对策[J].中国安全科学学报,2019,29(1):144-149.  
FAN Qixiang, LIN Peng, WEI Pengcheng, et al. Hydropower engineering safety accident occurrence mechanism and management strategies [J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(1): 144-149.
- [2] 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 & System Safety, 2007, 92(8): 997-1013.
- [3] HAMBRICK D Z, ENGLE R W. Effects of domain knowledge, working memory capacity, and age on cognitive performance: an investigation of the knowledge-is-power hypothesis[J]. Cognitive Psychology, 2002, 44(4): 339-387.
- [4] PESSOA L. On the relationship between emotion and cognition[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2008, 9(2): 148-158.
- [5] 吕洁,张钢.知识异质性对知识型团队创造力的影响机制:基于互动认知的视角[J].心理学报,2015,47(4):533-544.  
LYU Jie, ZHANG Gang. The mechanisms of knowledge heterogeneity on creativity of knowledge teams: an interactive cognition perspective[J]. Acta Psychologica Sinica, 2015, 47(4): 533-544.
- [6] MA Hui, WU Zhiguo, CHANG Peng. Social impacts on hazard perception of construction workers: a system dynamics model analysis[J]. Safety Science, 2021, 138: DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105240.
- [7] YANG Jingjing, YE Gui, ZHANG Zhenyu, et al. Linking construction noise to worker safety behavior the role of negative emotion and regulatory focus[J]. Safety Science, 2023, 162: DOI: 10.1016/j.ssci.2023.106093.
- [8] 仇国芳,鱼馨水.基于粗糙集的建筑工人安全认知提升策略研究[J].工业工程与管理,2019,24(4):120-127.  
QIU Guofang, YU Xinsui. Safety cognition enhancement strategy of construction workers based on rough sets[J]. Industrial Engineering and Management, 2019, 24(4): 120-127.
- [9] YU Kai, CAO Qinggui, XIE Changzhen, et al. Analysis of intervention strategies for coal miners' unsafe behaviors based on analytic network process and system dynamics[J]. Safety Science, 2019, 118: 145-157.
- [10] 王中邮,张春颜.化学灾害中个体风险感知的系统动力学建模与仿真研究[J].科技管理研究,2020,40(9):163-169.  
WANG Zhongyou, ZHANG Chunyan. System dynamics modeling and simulation of individual risk perception in chemical disaster[J]. Science and Technology Management Research, 2020, 40(9): 163-169.
- [11] JENS R. Risk management in a dynamic society: a modelling problem[J]. Safety Science, 1997, 27(2/3): 183-213.
- [12] 傅贵,陈奕燃,许素睿,等.事故致因“2-4”模型的内涵解析及第6版的研究[J].中国安全科学学报,2022,32(1):12-19.  
FU Gui, CHEN Yiran, XU Surui, et al. Detailed explanations of 24Model and development of its 6<sup>th</sup> version[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(1): 12-19.
- [13] LIU Yang, YE Gui, XIANG Qingting, et al. Antecedents of construction workers' safety cognition: a systematic review[J]. Safety Science, 2023, 157: DOI: 10.1016/j.ssci.2022.105923.
- [14] 陈述,孙孟文,陈云,等.基于无监督 LDA 的水电工程施工安全事故致因分析[J].中国安全科学学报,2023,33(10):79-85.  
CHEN Shu, SUN Mengwen, CHEN Yun, et al. Causal analysis of construction safety accidents in hydropower projects based on unsupervised LDA [J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(10): 79-85.
- [15] 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.  
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.
- [16] 齐丽云,汪克夷,张芳芳,等.企业内部知识传播的系统动力学模型研究[J].管理科学,2008,21(6):9-20.  
QI Liyun, WANG Keyi, ZHANG Fangfang, et al. A research on the model of knowledge transfer based on system dynamics in the enterprise[J]. Journal of Management Sciences, 2008, 21(6): 9-20.

作者简介: 江新 (1966—),男,安徽寿县人,硕士,教授,主要从事工程项目群管理、系统决策理论及安全评价等方面研究。E-mail:zgsxdxjx@qq.com。

