

中文引用格式:张羽,黎之戌,钟玮,等. 相似情景知识迁移下工程人员安全事故主观概率仿真[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(7): 106-113.

英文引用格式:ZHANG Yu, LI Zhiwu, ZHONG Wei, et al. Simulation of subjective probability of safety accidents among engineering personnel based on similar scenario knowledge transfer[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(7): 106-113.

相似情景知识迁移下工程人员安全事故 主观概率仿真*

张羽¹副教授, 黎之戌¹, 钟玮², 贺娟茹³工程师

(1 西南石油大学 土木工程与测绘学院, 四川 成都 610500; 2 四川师范大学 党委学生工作部(处), 四川 成都 610066; 3 河南中天高新智能科技股份有限公司, 河南 郑州 450001)

中图分类号:X928.02

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.07.1047

资助项目:四川省社科规划项目(SC21B162);教育部人文社科项目(14XJCZH004);教育部合作协同育人项目(201802339011)。

【摘要】 为了研究规避行为下相似情景知识迁移对工程人员安全事故主观概率的影响,引入情景相似度变量,构建工程人员群体安全事故的主观概率演化模型,并进行仿真试验研究。研究结果表明:相似情景知识迁移会加速主观概率均值收敛,同时降低个体间和情景间的主观概率差异,但也会导致低估高事故率情景的情况;存在死亡人数最多的“高危”事故情景,其事故率在0.4~0.8之间;2种不同情景的死亡率差异较大情况下,仅在低死亡率情景的事故率高于高死亡率情景时,情景知识迁移才有助于降低损失;2种不同情景的死亡率接近且事故率差异较大时,知识的不完整迁移反而会造成更大损失。

【关键词】 情景相似度; 知识迁移; 工程人员; 安全事故; 主观概率; 规避行为; 元胞自动机(CA)

Simulation of subjective probability of safety accidents among
engineering personnel based on similar scenario knowledge transfer

ZHANG Yu¹, LI Zhiwu¹, ZHONG Wei², HE Juanru³

(1 School of Civil Engineering and Geomatics, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China; 2 Party Committee Student Affairs Department (Division), Sichuan Normal University, Chengdu Sichuan 610066, China; 3 Henan Zhongtian High-tech Intelligent Technology Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: To study the influence of similar scenario knowledge transfer on the subjective probability of safety accidents of engineers under avoidance behavior, the scenario similarity variable was introduced, and a subjective probability evolution model for safety accidents among engineering personnel groups was constructed and simulated. The results show that knowledge transfer in similar scenarios accelerates the convergence of the mean subjective probability, and reduces the subjective probability differences between individuals and scenarios, but also leads to the underestimation of accident rates in high-accident-rate

scenarios. There is a "high-risk" accident scenario with the largest number of fatalities, where the accident rate ranges from 0.4 to 0.8. When there is a significant mortality rate difference between two scenarios, scenario knowledge transfer reduces losses only if the low-mortality-scenario has a higher accident rate than the high-mortality one. With close mortality rates but greatly varying accident rates, incomplete knowledge transfer may cause greater losses.

Keywords: scenario similarity; knowledge transfer; engineering personnel; safety accidents; subjective probability; avoidance behavior; cellular automaton (CA)

0 引言

当前,国内建筑业安全事故仍时有发生,而不安全行为仍然是导致工程人员发生事故的重要原因。大量研究表明:风险感知对不安全行为具有重要影响^[1-2]。然而,公众对安全事件的风险感知却普遍存在偏差^[3]。深入探索风险感知偏差的形成与演化机制,对预防人因安全事故的发生具有重要意义。

学术界通常把风险感知分为个体对事件发生概率的感知和对后果严重程度的感知 2 个维度^[4]。前者也被称作主观概率估计,是决策中广泛应用的一种认知加工过程。现阶段的相关研究主要集中于动机、能力和采样 3 个方面。动机方面,陈庆等^[5]通过试验发现,有意识思维下,在积极事件中为他人作出的主观概率判断高于为自己作出的主观概率判断。孙庆洲^[6]研究认为,个体以不同损失为参照时,存在高估或低估事件发生概率的情况。RAUE^[7]和 SUN Qingzhou^[8]等均发现,风险偏好受到决策者和受益人之间的社会距离影响。刘晓东等^[9]认为,在预期效用值相近的情况下,避免后悔或追求欣喜是影响人们决策的主要因素。能力方面, SUTER 等^[10]认为,改变社会距离会使人们对事件发生的主观概率出现偏差。PACHUR 等^[11]发现人们在现实生活中不善于表征和理解概率信息,导致无法准确估计概率事件。杜秀芳等^[12]认为,在时间压力下个体的认知加工受到限制,更有可能依靠直觉和经验作出决策。采样方面, FIEDLER^[13]认为受环境结构的限制,个体很难从环境中采集到无偏的、有代表性的决策样本,即存在采样偏差。SANBORN 等^[14]通过实证研究发现,判断与决策中的许多偏见现象都源自于决策者将有偏差的不完全观测样本当成有代表性的整体。张羽等^[15-16]通过仿真研究探索了一般群体的主观概率偏差形成演化过程以及群体分组在其中产生的影响,发现个体死亡会导致群体主观概率低估和差异增大,但分组措施会降低此效应。

以上研究对深入理解和有效应对主观概率偏差

有一定借鉴,但未考虑情景相似性下的知识迁移以及规避行为的影响。现实中,当工程人员感知到较高风险时,会主动规避不安全行为的发生;同时建筑安全事故的发生情景可能存在相似性,如高处坠落和物体打击均与高度有关,这种相似性会导致安全知识在相似情景之间迁移,但尚未有以规避行为与知识迁移作为影响因素,对主观概率偏差的形成及演化产生影响的相关研究。因此,笔者拟在加入规避行为的基础上,提炼相似情景下工程人员事故主观概率演化过程,建立元胞自动机 (Cellular Automaton, CA) 模型,并进行仿真研究,以探究规避行为下相似情景知识迁移对工程人员主观概率偏差的影响,为安全心理和行为干预提供参考,也是“死亡悖论”相关研究的进一步延伸。

1 基于相似度的 CA 模型构建

1.1 情景相似度计算

文本相似度可采用基于词语的 Dice 系数进行计算^[17],该系数是一种集合相似度度量系数,被定义为:

$$N_s = \frac{2 | X \cap Y |}{| X | + | Y |} \tag{1}$$

式中: N_s 为文本相似度,取值范围为 $[0, 1]$; $| X |$ 和 $| Y |$ 为样本 X 和样本 Y 的元素个数; $| X \cap Y |$ 为样本 X 和样本 Y 之间的元素交集个数。分母中样本 X 与样本 Y 的共同元素存在重复计算,因此,分子系数取 2。

根据有关文献^[18-19]整理得出常见安全事故类型和工程人员的不安全行为表现,本文选择高处坠落、物体打击、起重伤害和坍塌 4 类情景作为建筑工程领域事故情景案例,将每类情景中的关键要素,即情景发生的高度、空间、场地、常见致因、动态过程、死亡人数、发生频率、事故等级作为相似度计算的依据,通过分析整理得出各个要素的具体特征。利用 Dice 系数计算 4 种情景不同要素之间的相似度,取各要素相似度平均值作为 2 情景之间的相似

度,最终结果见表 1。

表 1 情景相似系数

Table 1 Scenario similarity coefficient

相似系数	高处坠落	物体打击	坍塌事故	起重伤害
高处坠落	1	0.66	0.42	0.59
物体打击	0.66	1	0.51	0.67
坍塌事故	0.42	0.51	1	0.51
起重伤害	0.59	0.67	0.51	1

1.2 主观概率演化过程描述

现实中考考虑情景相似度下知识迁移的工程人员安全事故主观概率演化过程,并据此构建仿真模型,演化过程如图 1 所示。

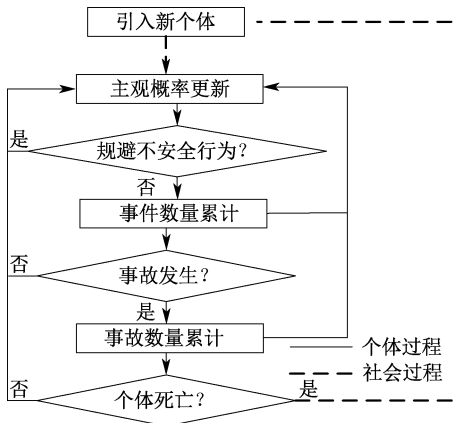


图 1 主观概率演化过程

Fig. 1 Subjective probability evolution process

事件判断阶段,依据工程人员(个体)在不同情景下的主观概率判断;若未实施不安全行为,则进入下一轮循环;反之,则个体经历的对应事件数量加 1,相似情景对应事件按相似系数比例增加,同时更新主观概率并进入事故判断阶段。

事故判断阶段,依据不同情景下的客观事故率判断;若不安全行为未导致事故发生,则进入下一循环;反之,则个体经历的对应事故数量加 1,相似情景的对应事故按相似系数比例增加,同时更新主观概率并进入死亡判断阶段。

死亡判断阶段,依据不同情景下事故的客观死亡率判断;若事故未导致个体死亡,则进入下一轮循环;反之,则引入新个体替代。

1.3 CA 模型构建

目前已有一些运用 CA 仿真研究工程人员行为的文献^[20-21]。CA 模型主要由元胞状态、元胞空间、元胞邻域以及演变规则 4 部分组成。CA 模型机制主要为:在模型二维/三维离散网格空间内,定义元胞个体与状态集合,其中包含位置、运动状态等属性,

后调整动态参数设定,确定时间步长,建立状态转移函数等;最后通过并行迭代计算,输出模型仿真趋势。

文中将 CA 模型表示为 $CA = (R, Q, B, f)$, 其中, R 为元胞空间, Q 为元胞状态集合, B 为元胞邻域, f 为元胞状态转换规则,具体如下:

1) 元胞。模型中以人形元胞代表社会中独立个体,且假设社会中个体总量保持不变,个体死亡后能在下一时刻及时补充。

2) 元胞空间。元胞空间是长宽均为 41 格、总计 1 681 格的正方形栅格无界空间。

3) 元胞状态。不同情景下的初始主观概率量 ($\text{Ini-Acciper-}\alpha, \text{IA}_\alpha$) 和主观概率量 ($\text{Acciper-}\alpha, A_\alpha$), 其中, $\alpha \in \{1, 2, \dots, n\}$, 分别表示不同情景;初始主观概率量是对应情景下的初始事故数量 ($\text{Ini-Accident-}\alpha, \text{IAD}_\alpha$) 与初始事件数量 ($\text{Ini-event-}\alpha, \text{IET}_\alpha$) 的比值,即 $\text{IA}_\alpha = \text{IAD}_\alpha / \text{IET}_\alpha$;综合初始主观概率量 ($\text{Ini-acciper}, \text{IA}$) 和综合主观概率量 ($\text{Acciper}, A$) 则是个体在不考虑情景相似性下对事故率的初始主观概率估计和主观概率估计。个体累积事故数量 ($\text{Accident-Num-}\alpha, \text{AN}_\alpha$) 和累积事件数量 ($\text{Event-Num-}\alpha, \text{EN}_\alpha$) 则分别表示从仿真开始到当前时点个体在不同情景下所经历的事故和事件的累积数量;个体的综合累积事故数量 ($\text{Accident-Num}, \text{AN}$) 和累积事件数量 ($\text{Event-Num}, \text{EN}$) 则分别表示从仿真开始到当前时点个体所经历的全部事故和事件数量。

其中, $(\sum_{\alpha=1}^n \text{IA}_\alpha) / n = \text{IA}$ 。

4) 转换规则。个体事故主观概率估计规则如下:

① 事件数量累积规则:

$$\text{EN}_i^{t+1} = \begin{cases} \text{EN}_i^t + 1, & \text{事件发生} \\ \text{EN}_i^t, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{EN}_{i\alpha}^{t+1} = \begin{cases} \text{EN}_{i\alpha}^t + 1, & \alpha \text{ 类事件发生} \\ \text{EN}_{i\alpha}^t + S_{(\alpha, \beta)}, & \beta \text{ 类事件发生} \\ \text{EN}_{i\alpha}^t, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m$, 其中, m 为元胞的总数量; EN_i^t 为元胞 i 在 t 时刻的综合事件累积数量; $\text{EN}_{i\alpha}^t$ 为元胞 i 在 t 时刻的 α 类事件累积数量; $S_{(\alpha, \beta)}$ 为 α 类事件与 β 类事件的相似系数,其中, $\alpha, \beta \in \{1, 2, \dots, n\}$, 且 $\alpha \neq \beta$, 当 $S_{(\alpha, \beta)} = 0$ 时表示 α 类与 β 类事件完全不相似,此时有 $\text{EN}_i^t = \sum_{\alpha=1}^n \text{EN}_{i\alpha}^t$; 当 $S_{(\alpha, \beta)} = 1$ 时表示 α 类与 β 类事件完全相同,此时有 $\text{EN}_i^t = \text{EN}_{i1}^t =$

$EN'_{i2} = \dots = EN'_{in}$ 。整个公式表明:若不安全行为发生,则综合事件数量加 1;若发生 α 类事件,则 α 类事件数量加 1;若发生 β 类事件,则 α 类事件数量加上 α 与 β 类事件的相似系数;其他情况则事件数量不变。

② 事故数量累积规则与事件数量累计规则相似。当 $S^*_{(\alpha,\beta)} = 0$ 时 $AN'_i = \sum_{\alpha=1}^n AN'^t_{i\alpha}$; 当 $S^*_{(\alpha,\beta)} = 1$ 时 $AN'_i = AN'_{i1} = 0'_{i2} = \dots = AN'^t_{in}$ 。

③ 主观概率更新:

$$A_i^{t+1} = \begin{cases} A'_0, & \text{死亡发生} \\ \frac{\sum IAD_{i\alpha} + AN'^{t+1}_i}{\sum IET_{i\alpha} + EN'^{t+1}_i}, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$
$$A'_{i\alpha} = \begin{cases} A'_{0\alpha}, & \text{死亡发生} \\ \frac{LAD_{i\alpha} + AN'^{t+1}_{i\alpha}}{IET_{i\alpha} + EN'^{t+1}_{i\alpha}}, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中: A_i^{t+1} 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻的综合主观概率量; A'_0 为元胞 i 死亡后其替代元胞 r 的综合初始主观概率量; $\sum IAD_{i\alpha}$ 为元胞 i 在所有情景下的初始事故数量; $\sum IET_{i\alpha}$ 为元胞 i 在所有情景下的初始事件数量; AN'^{t+1}_i 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻的综合累积事故数量; EN'^{t+1}_i 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻的综合累积事件数量; A_i^{t+1} 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻的 α 类主观概率量; $A'_{0\alpha}$ 为元胞 i 死亡后其替代元胞 r 的 α 类初始主观概率量; $IAD_{i\alpha}$ 为元胞 i 在 α 类情景下的初始事故数量; $IET_{i\alpha}$ 为元胞 i 在 α 类情景下的初始事件数量; $AN'^{t+1}_{i\alpha}$ 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻的 α 类事故累积数量; $EN'^{t+1}_{i\alpha}$ 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻的 α 类事件累积数量。当 $IET_{i\alpha}=IAD_{i\alpha}=0$ 时,表示不考虑初始主观概率。整个公式表明:若个体在事故中死亡,该个体被新个体替代,综合主观概率和不同情景下的主观概率均从初始值开始重新计算;若个体幸存,则上述主观概率更新为当前累积事故数加初始事故数量,再除以当前累积事件数加初始事件数量。

④ 不安全行为发生概率规则:

$$ER^{t+1}_{i\alpha} = 1 - \lambda_{i\alpha} A'^t_{i\alpha}, (\lambda_{i\alpha} \geq 0) \quad (6)$$

式中: $ER^{t+1}_{i\alpha}$ 为元胞 i 在 $t+1$ 时刻发生 α 类不安全行为的概率; $A'^t_{i\alpha}$ 为元胞 i 在 t 时刻的 α 类情景下主观概率值; $\lambda_{i\alpha}$ 为元胞 i 对 α 类事故的损失厌恶系数。 λ 数值越大,个体规避损失意愿也就越强;当 $\lambda = 0$ 时个体无规避行为。理论上, $A_\alpha = 1$ 时认为不安全行为一定导致事故发生,此时个体一定会规避不安全行为,即 $\lambda = 1$ 。但实际情况中,安全事故所带来

的严重损失可能使个体在 $A_\alpha < 1$ 时也作出规避行为,此时 $\lambda > 1$ 。事故所带来的损失越严重或者死亡率越高, λ 越大。假设个体发生不安全行为而不引发事故的收益为 P ,发生事故所带来的损失为 K ,显然 $P < K$ 。个体主观概率为 A ,只有当 $P \times (1 - A) > K \times A$,即 $A < P / (P + K) < 0.5$ 时,个体才有可能会发生不安全行为。因此, $\lambda = 2$ 更符合实际情况。规避不安全行为的个体被称为安全行为人。

5) 为便于研究,本文将上述模型作如下条件限制:① $IET_{i\alpha}=IAD_{i\alpha}=0$,表示不考虑元胞 i 在各种情景下的初始主观概率值;②把 2 种情景下事件之间的相似度系数和事故之间的相似度系数看作是相同的,即 $S_{(\alpha,\beta)} = S^*_{(\alpha,\beta)}$;③只考虑 2 种情景之间相似度,即 $n=2$ 。

2 安全事故主观概率仿真试验分析

2.1 主观概率演化模型仿真试验过程

利用 Netlogo 软件构建仿真试验平台,根据以上模型设定,确定本试验自变量包括不同情景下的事故率 (Accident-Rate- α , AR_α)、死亡率 (Death-Rate- α , DR_α) 和事件率 (Event-Rate- α , ER_α),以及时间 (Time, T)、初始人数 (Ini-Num, IN)、相似度 (Similarity, S);因变量包括不同情景下的主观概率平均值 (Mean- α , M_α) 及其离散系数 (Coefficient of Variation- α , CV_α),综合主观概率平均值 (Mean, M) 及其离散系数 (Coefficient of Variation, CV),群体幸存人数 (Number of Survivors, NS) 和个体平均知识量 (Average Knowledge, AK)。各变量名称、含义及其取值范围见表 2。

表 2 研究变量描述

Table 2 Study variable description	
变量	值域
事故死亡概率 R_α/DR	$[0,1]$
事故发生概率 AR_α/AR	$[0,1]$
事件发生概率 ER_α/ER	$[0,1]$
累计时间 T	$[0,1\ 000]$
初始个体数量 IN	$[0,1\ 000]$
情景相似度 S	$[0,1]$
群体幸存人数 NS	$[0,1\ 000]$
群体平均知识量, 即经历的事故数量 AK	$[0,+\infty]$
社会主观概率均值 M_α/M	$[0,1]$
社会主观概率离散系数 CV_α/CV	$[0,+\infty]$

仿真试验时间步长设置为 600,各情景事故率

初始值设为 0.007,死亡率初始值设为 0.003,初始主观概率按钮和替代元胞按钮关闭,损失厌恶系数 λ 取 2。考虑到群体人数增加可提升主观概率估计的稳定性与客观性,将初始人数设为 500,相关参数设置见表 3。

表 3 相关参数设置

Table 3 Settings of related parameters

试验	情景	死亡率	事故率	时间步数	相似度
1	1	0.003	0.4	600	0.1/0.5/0.9
	2	0.003	0.007		
2	1	0.003	0.001→1	600	0.1/0.5/0.9
	2	0.003	0.007		
3	1	0.003	0.001→1	600	0.1/0.5/0.9
	2	0.6	0.007		
4	1	0.003	0.8	50/300/ 600/1 000	0.01→0.99
	2	0.8	0.003		
5	1	0.003	0.1/0.3/0.5	600	0.01→0.99
	2	0.003	0.9/0.7/0.5		

试验步骤如下:

1) 试验 1 中,将情景 1 事故率设置为 0.4,情景间相似度分别为 0.1、0.5、0.9,其余变量取初始值,得到主观概率均值和离散系数见表 4。

表 4 试验 1 中主观概率和离散系数值

Table 4 Subjective probability and discrete coefficient values in Experiment 1

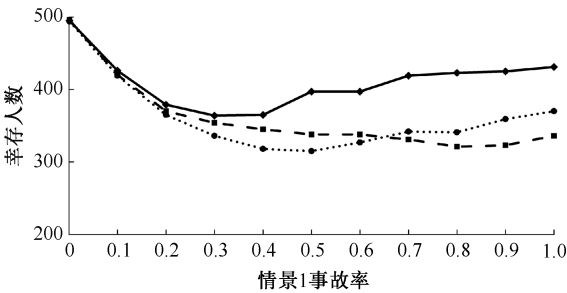
S	因变量	情景 1(L1)	情景 2(L2)	综合情景(L)
0.1	主观概率值	0.327	0.033	0.124
	离散系数	0.220	2.978	0.695
0.5	主观概率值	0.242	0.117	0.176
	离散系数	0.266	0.681	0.408
0.9	主观概率值	0.218	0.198	0.208
	离散系数	0.218	0.251	0.234

2) 试验 2 中,情景 1 事故率取 0.001,至 0.1 起以增量为 0.1 递增至 1;情景间相似度分别为 0.1、0.5、0.9;最终获得 33 组幸存人数和平均知识量样本,如图 2 所示。

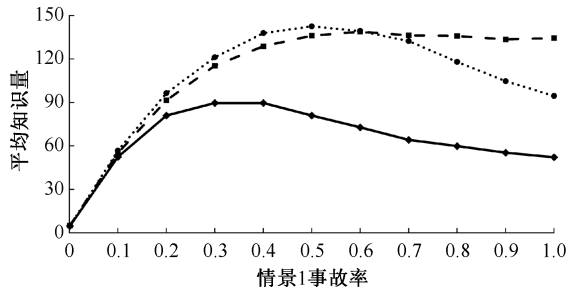
3) 试验 3 中,情景 2 的死亡率设为 0.6,其余变量同 2);得到 33 组幸存人数和平均知识量样本,如图 3 所示。

4) 试验 4 中,情景 1 事故率设为 0.8、死亡率为 0.003,情景 2 分别为 0.003 和 0.8;情景间相似度取 0.01,至 0.1 起以增量为 0.1 递增至 0.99;试验步数设为 50、300、600、1 000;得到 44 组幸存人数与平均知识量样本,如图 4 所示。

5) 试验 5 中,将情景 1 与情景 2 的事故率分别



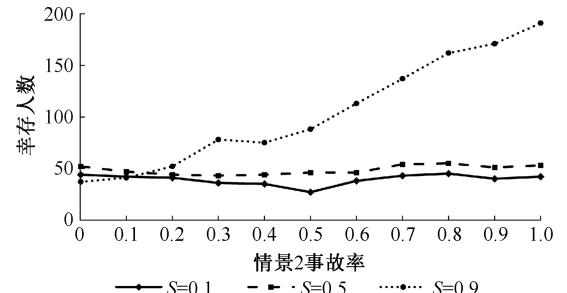
(a) 情景1事故率与幸存者人数分布



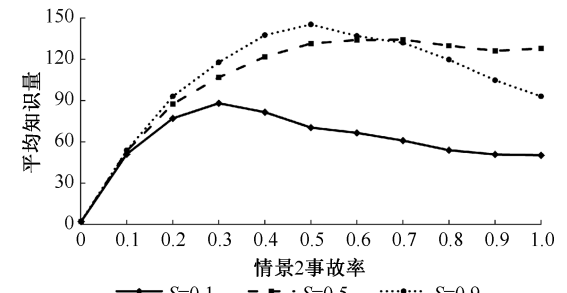
(b) 情景1事故率与平均知识量关联

图 2 试验 2 中事故率对幸存人数和平均安全知识量的影响

Fig. 2 Effect of accident rate on number of survivors and average amount of safety knowledge in Experiment 2



(a) 情景2事故率与幸存者人数分布



(b) 情景2事故率与平均知识量关联

图 3 试验 3 中事故率对幸存人数和平均安全知识量的影响

Fig. 3 Effect of accident rate on number of survivors and average amount of safety knowledge in Experiment 3

设为 0.1 与 0.9、0.3 与 0.7、0.5 与 0.5;得到 33 组幸存人数和平均知识量样本,如图 5 所示。

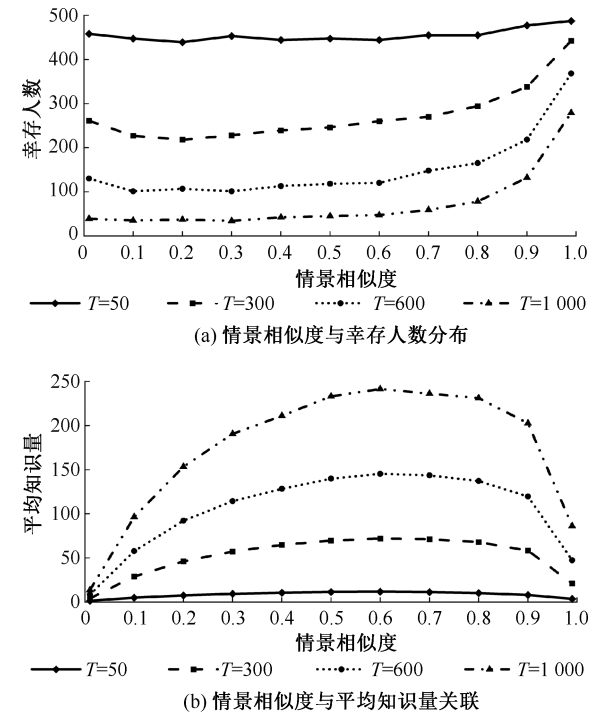


图 4 试验 4 中相似度对生存人数和平均安全知识量的影响

Fig. 4 Effect of similarity on number of survivors and average amount of safety knowledge in Experiment 4

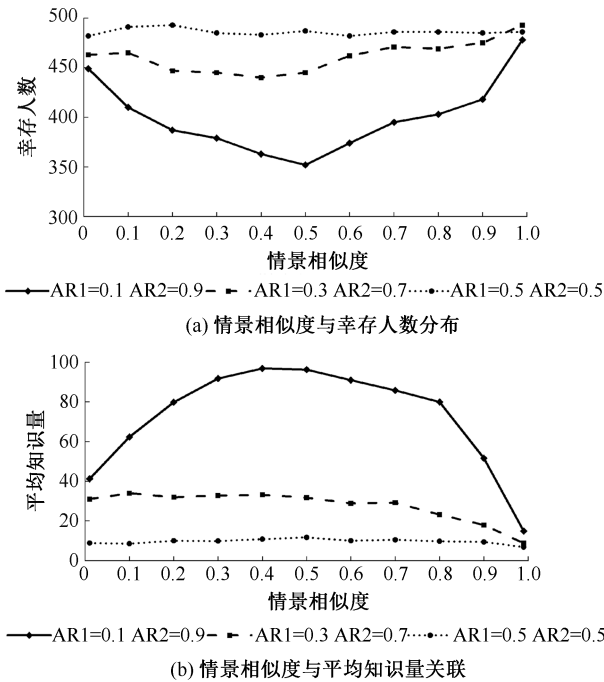


图 5 试验 5 中相似度对生存人数和平均安全知识量的影响

Fig. 5 Effect of similarity on the number of survivors and average amount of safety knowledge in Experiment 5

2.2 仿真结果分析

1) 由表 4 可知:随相似度增加, L_1 、 L_2 与 L 的差距缩小并收敛于中间值,表明情景相似度提升会加速主观概率均值向中间值收敛,但也会增大特定情景事故率的估计偏差;对比离散系数可知:相似度越大时, L_1 变化不明显, L_2 呈快速下降趋势, L 也呈下降趋势,三者逐渐收敛,说明情景相似度增加会降低个体间对小概率事件的主观概率估计差异,以及不同情景间的主观概率差异。综上,相似情景知识迁移可加速主观概率均值收敛,减少个体与情景间的主观概率差异,但也会导致低估高事故率情景的情况。

2) 由图 2a 可知:随着情景 1 事故率的增加, 3 类情景的生存人数均呈先骤降后缓增趋势,但上升拐点存在差异。数据表明: $[0.4, 0.8]$ 为“高危”事故率区间,该区间内死亡人数达到峰值。情景相似度为 0.1 时,生存人数最多,表明低情景相似度更利于降低死亡率,这可能归因于低情景相似度下特定情景事故的主观概率偏差较小。图 2b 显示:平均知识量随事故率增加,呈现先上升后缓降或趋稳的态势,表明个体经历的事故数量随事故率增加而先增后减,可能因为随着事故率增加规避效应逐渐占据主导地位,个体减少不安全行为,故经历事故数量下降,再次佐证“高危”事故率区间的存在。对比图 2a 和图 2b,发现生存人数与平均知识量大致呈负相关,这是由于幸存者经历事故较少,积累的知识量相对有限,再次证实了“死亡悖论”^[17]。综上,研究证实存在“高危”事故率区间,且不当的相似情景知识迁移可能加剧事故风险。

3) 由图 3a 可知:情景相似度为 0.1 和 0.5 时,生存人数总体平稳;相似度为 0.9 时,生存人数总体呈上升趋势;同时随着相似度增加生存人数总体增加。这是由于高情景相似度下,情景 1 事故率的提升能显著提高情景 2 的主观概率,从而减少情景 2 高危情景中的死亡人数,该效应在高事故率与高相似度条件下尤为明显。对比图 2b 和图 3b 发现,图形变化趋势相近,表明情景 2 死亡率的变动对平均安全知识的影响不显著。综上,在低死亡率情景中积累知识经验,并迁移至高死亡率情景,是降低事故损失的有效策略,且两者事故率差值越大,迁移效果越优。

4) 由图 4a 可知:随着累计时间增加,图形呈现 U 型变化,且高相似度一端更为陡峭,说明高相似情景知识迁移对生存人数的影响更为显著,且该效应随时间推移而更为明显。由图 4b 可知:平均知识量随情景相似度增加,呈现先增后减的态势,在相似度

为 0.6 附近达到峰值。表明情景相似度过低或过高时个体经历事故数量均较少。综上,针对高死亡率情景的知识迁移会显著降低死亡人数,而中等程度的情景知识迁移最有利于积累事故经验。

5) 由图 5a 可知:情景死亡率相同时,情景间事故率差距越大,情景相似度与幸存人数之间 U 型关系就越明显。由图 5b 可知:情景之间的事故率差异越大,情景相似度与平均知识量之间倒 U 型关系就越明显。综上,在死亡率相同但事故率差异较大情景下,应避免情景知识部分迁移的最劣情况出现。

3 结 论

1) 相似情景知识迁移,会加速主观概率均值收敛,同时降低个体间和情景间主观概率差异,但也会

导致低估高事故率情景的情况。在安全培训中应加强不同情景下事故过程的差异分析和对比学习,强化工程人员对高事故率情景的高风险感知。

2) 存在死亡人数最多的“高危”事故情景,其事故率在 0.4~0.8 之间。实践中应重点识别中等事故率情景,并采取针对性安全干预措施。同时建议修订高危作业评价标准,将中等事故率情景纳入高危作业进行管理。

3) 2 种不同情景的死亡率差异较大情况下,仅在低死亡率情景的事故率高于高死亡率情景时,知识迁移才有助于降低损失;当 2 种不同情景的死亡率接近且事故率差异较大时,知识的不完整迁移反而会造成更大损失。培训中应识别以上 2 类情况,选择性采取知识迁移或不迁移的策略,以降低事故损失。

参 考 文 献

[1] KOUANENAN D R, NGUEUTSA R, MBAYE S. Safety climate, perceived risk, and involvement in safety management[J]. Safety Science, 2015, 77: 72-79.

[2] 李华强, 龚乐, 范春梅. 药品安全事件中公众应对行为的形成机制[J]. 公共管理学报, 2019, 16(3): 97-107, 172-173.

LI Huaqiang, GONG Le, FAN Chunmei. The formation mechanism of the public's coping behavior in drug safety events[J]. Journal of Public Management, 2019, 16(3): 97-107, 172-173.

[3] 张羽, 赵碧柳, 刘红勇. 基于情绪分析的事故风险感知偏差研究[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(8): 16-22.

ZHANG Yu, ZHAO Biliu, LIU Hongyong. Study on accident risk perception bias based on emotion analysis[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(8): 16-22.

[4] 余建华, 孙丽. 国外风险认知研究: 回顾与前瞻[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 161-166.

YU Jianhua, SUN Li. A study of foreign risk perception: retrospect and prediction[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 161-166.

[5] 陈庆, 何泉, 陈广耀, 等. 复杂情境下不同角度及思维方式的决策表现差异: 决策视角-心理距离的作用[J]. 心理学报, 2017, 49(3): 383-392.

CHEN Qing, HE Quan, CHEN Guangyao, et al. The perspective-distance effect hypothesis: different perspectives and thinking modes lead to different decision-making performance in complex condition[J]. Acta Psychologica Sinica, 2017, 49(3): 383-392.

[6] 孙庆洲. 社会距离对概率估计偏差的影响: 情绪占优抑或认知占优? [D]. 上海: 华东师范大学, 2017.

SUN Qingzhou. Emotional Dominance or cognitive dominance? the effect of social distance on the biases of probability evaluations[D]. Shanghai: East China Normal University, 2017.

[7] RAUE M, STREICHER B, LERMER E, et al. How far does it feel? construal level and decisions under risk[J]. Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 2015, 4(3): 256-264.

[8] SUN Qingzhou, LIU Yongfang, ZHANG Huanren, et al. Increased social distance makes people more risk-neutral[J]. Journal of Social Psychology, 2017, 157(4): 502-512.

[9] 刘晓东, 刘力臻. 预期情绪动机观与经济决策悖论问题的消解[J]. 当代经济研究, 2017(7): 52-58.

LIU Xiaodong, LIU Lizhen. Resolving the paradox of expected emotional motivation and economic decision making[J]. Contemporary Economic Research, 2017(7): 52-58.

[10] SUTER R S, PACHUR T, HERTWIG R. How affect shapes risky choice: distorted probability weighting versus probability neglect[J]. Journal of Behavioral Decision Making, 2016, 29(4): 437-449.

[11] PACHUR T, SUTER R S, HERTWIG R. How the twain can meet: Prospect theory and models of heuristics in risky

- choice[J]. Cognitive Psychology, 2017, 93: 44–73.
- [12] 杜秀芳, 吴顺, 孙旭, 等. 思维风格、时间压力对道德决策的影响[J]. 中国特殊教育, 2018(11): 71–76.
DU Xiufang, WU Shun, SUN Xu, et al. The effects of thinking styles and time pressure on moral decisions[J]. Chinese Journal of Special Education, 2018(11): 71–76.
- [13] FIEDLER K. Beware of samples! a cognitive-ecological sampling approach to judgment biases[J]. Psychological Review, 2000, 107(4): 659–676.
- [14] SANBORN A N, CHATER N. Bayesian brains without probabilities[J]. Trends in Cognitive Sciences, 2016, 20(12): 883–893.
- [15] 张羽, 谯丽, 岑康. 死亡悖论视角下群体性主观概率偏差仿真研究[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(6): 37–43.
ZHANG Yu, QIAO Li, CEN Kang. Simulation research on group subjective probability deviation from a perspective of death paradox[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(6): 37–43.
- [16] 张羽, 刘伟, 谯丽, 等. 极端损失条件下分组群体的主观概率累积偏差仿真研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(7): 207–212.
ZHANG Yu, LIU Wei, QIAO Li, et al. Simulation study on subjective probability cumulative deviation of grouped population under extreme loss conditions[J]. Operations Research and Management Science, 2022, 31(7): 207–212.
- [17] 王春柳, 杨永辉, 邓霏, 等. 文本相似度计算方法研究综述[J]. 情报科学, 2019, 37(3): 158–168.
WANG Chunliu, YANG Yonghui, DENG Fei, et al. A review of text similarity approaches[J]. Information Science, 2019, 37(3): 158–168.
- [18] 张鉴. 建筑工人不安全行为发生机理与管理策略研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2021.
ZHANG Jian. Research on the mechanism of unsafe behavior of construction workers and management strategy[D]. Chongqing: Chongqing University, 2021.
- [19] 孙世梅, 赵金坤, 傅贵. 基于“2–4”模型的高处坠落事故行为原因研究[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(8): 23–28.
SUN Shimei, ZHAO Jinkun, FU Gui. Study on behavioral causes of falling accidents based on "2–4" model[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(8): 23–28.
- [20] CHEN Zeyou, ZHANG Zheyuan, XIANG Yong, et al. Research on the application of heterogeneous cellular automaton in the safety control and detection system of construction project implementation phase[J]. Electronics, 2023, 12(19): DOI:10.3390/electronics12194046.
- [21] RAYAN H A, MOHAMAD A N, GHIWA A, et al. An agent-based cellular automaton simulation model to study worker safety behavior on construction sites: the impacts of different social influence rules[C]. Computing in Civil Engineering 2023: Resilience, Safety, and Sustainability, 2023: 581–589.

作者简介: 张羽 (1986—), 男, 江西新余人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事安全知识与行为、安全监管博弈等方面的研究。E-mail: 307871884@qq.com。

