

中文引用格式:韩豫,乐银,李家猛.事故应急信息的自动化处理机制:来自 ERPs 的证据[J].中国安全科学学报,2025,35(9):236-243.

英文引用格式:HAN Yu, LE Yin, LI Jiameng. Automatic processing mechanism of accident emergency information: evidence from ERPs [J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(9): 236-243.

事故应急信息的自动化处理机制: 来自 ERPs 的证据*

韩豫^{1,2}教授,乐银¹,李家猛¹

(1 江苏大学 土木工程与力学学院,江苏 镇江 212013;2 江苏大学 应急管理学院,江苏 镇江 212013)

中图分类号:X928.04

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.09.0984

基金项目:国家自然科学基金资助(72071097);教育部人文社会科学研究规划基金资助(20YJAZH034);江苏大学
应急管理学院专项科研项目(KY-B-10)。

【摘要】 为揭示当事人事故应急信息处理的深层机制,更有针对性地提高其应急行为能力,减轻事故伤害,基于内隐记忆和自动化加工理论,采用事件相关电位(ERPs)技术开展行为脑神经试验,以信息判断的“反应时”和“准确率”作为信息处理能力的评价依据,以 ERPs 成分中的 P200 成分(P2)、P300 成分(P3)、晚期正电位(LPP)表征被试认知和情绪加工过程,探究当事人对事故应急信息的自动化加工机制及其影响因素。研究结果表明:频发事故应急情境中,经验引导的内隐记忆使被试的早期注意更加敏感,大脑意识加工成分减少,信息加工自动化特征显著,消耗较少的注意资源;偶发事故应急情境更容易引发被试的恐慌情绪,增加认知资源的占用,造成认知固化和黏着,抑制信息自动化加工。

【关键词】 事故应急信息; 信息处理; 内隐记忆; 自动化加工; 事件相关电位(ERPs)

Automatic processing mechanism of accident emergency information:
evidence from ERPs

HAN Yu^{1,2}, LE Yin¹, LI Jiameng¹

(1 Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China;

2 School of Emergency Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: This study aimed to uncover the underlying mechanisms of emergency information processing during accidents and to improve the emergency response capabilities of individuals, thereby reducing injury severity. Based on theories of implicit memory and automatic processing, ERPs technology was employed in behavioral and neural experiments. The "reaction time" and "accuracy" were used as measures of information processing capacity. The ERP components P200 (P2), P300 (P3), and Late Positive Potential (LPP) were used to reflect the participants' cognitive and emotional processing. This study explored the automatic processing mechanisms of emergency information and identified its influencing factors. The results show that in frequent accident scenarios, experience-guided implicit memory enhances early attention sensitivity. This reduces conscious brain processing, automates information processing, and demands fewer cognitive resources. Conversely, infrequent accident scenarios trigger panic emotions,

increase cognitive resource consumption, lead to cognitive fixation and attachment, and inhibit the automation of information processing.

Keywords: accident emergency information; information processing; implicit memory; automatic processing; event-related potentials (ERPs)

0 引言

当前,建筑、煤矿等行业安全事故频发,伤亡人数长期居高不下,安全形势复杂严峻。事故调查发现,当事人应急行为能力不足是导致事故伤害扩大的主要原因^[1]。更严峻的是,事故现场环境复杂危险、信息模糊不清,在巨大的时间、心理等多重压力影响下,当事人对事故应急信息的处理过程受到严重干扰,致使应急失败,造成更严重的后果。此外,进一步调研发现,具有良好素养、经验丰富、情绪稳定的工人往往表现出更好的事故应急信息处理能力,在事故发生时能够高效地进行应急处置,有效阻止损害扩大。因此,有必要深入探索当事人对事故应急信息的自动、高效处理机制及相关影响因素。

近年来,事故情境中的应急行为研究主要聚焦当事人的过程行为反应^[2]。如通过试验方法测量当事人应急过程中的生理反应^[3]、情绪变化^[4]、行为表现^[5]等来衡量其应急行为能力,但此类研究只关注到各相关因素对行为结果产生的影响,并未深入分析应急处置过程中的深层信息处理机制。值得注意的是,已有研究表明:人的认知活动存在自动化现象,能够无意识地提高特定场景中的行为表现^[6]。内隐记忆被认为是自动化加工的基础,它是一种通过经验积累或反复训练形成的、个体自身难以察觉的记忆形式。当个体再次遇到相同或类似情境时,这种记忆能促使其表现出更优的行为^[7]。例如:精英运动员可通过反复训练动作技能,在其专长领域呈现认知加工自动化现象,表现为注意资源消耗逐渐减少甚至不需要消耗^[8]。听觉启动对口语发音学习有积极作用,学习者可以通过大量重复的方法促进口语的反应速度和准确度^[9]。这种自动化特征对事故情境中的应急过程具有良好的适应性。已有研究指出,在事故情境下,当事人的认知加工表现出一定程度的自动化特征,内隐记忆较高的个体自动化行为特征更为显著,消耗较少的注意资源,在应急反应速度和行为选择准确性上表现更好^[10]。因此,进一步深入探索当事人对事故应急信息的自动化加工过程对提高应急行为能力具有科学支撑作用。此外,有研究表明:大脑的知觉加工过程

是基于认知与情绪的相互作用^[11]。事实上,情绪会对个体的认知产生重要影响。情绪唤醒会激活与内隐记忆相关的神经系统,从而影响内隐记忆提取过程^[12],如积极情绪能够促进记忆的可提取性,提高个体的记忆广度,而消极情绪则会抑制内隐记忆的表现,导致认知扭曲。然而,由于突发事件具有的不确定性及动态性等特点,事故应急要求当事人必须快速而准确地完成对信息的分析和判断,并进行决策。这使得对事故应急信息的处理区别于以往研究中的信息处理,相关研究成果也不完全适用事故应急情境。总之,以往较少关注到事故应急情境中当事人的信息处理能力,对更深层次自动化信息加工机制的分析较少,记忆和情绪对个体事故应急信息处理能力的影响机制也有待进一步探索。

事件相关电位(Event-Related Potentials, ERPs)技术是一种通过记录大脑反应的神经生理信号来研究人的心理过程和大脑功能的方法,在行为研究中被广泛应用^[13]。它从脑电(Electroencephalogram, EEG)信号中提取特定认知事件的电位成分,并据此提供大脑认知过程的生理和心理反应信息。相关研究证实,利用 ERPs 技术能有效揭示当事人事故应急信息的自动化处理机制^[14]。然而,现有研究多以行为学指标(如反应时、准确率)来考察个体的信息处理过程^[15]。基于这些指标的研究仅仅反映了行为反应认知加工的最终输出结果,难以精细捕捉毫秒级时间尺度下的自动化加工动态神经机制。

鉴于此,笔者拟借助内隐记忆和自动化加工理论,结合事故应急情境特征,聚焦于事故应急的信息处理过程,通过 ERPs 技术来研究分析当事人的行为表现和脑认知差异性,揭示当事人对事故应急信息更深层的自动化处理机制,以期为提高当事人的应急行为能力提供科学理论和方法指导。

1 事故应急信息处理试验研究框架

1.1 试验目的

调查发现,由于个体差异性,同一事故对不同工人的伤害和后期影响具有差异性,且不同事故类型下的伤害程度也不相同。深入调查发现,事故经验丰富、心理素质较好的工人受到事故的影响较小。

这可能与当事人的内隐记忆和情绪有关。同时,调查还发现,在事故应急过程中工人存在下意识反应,显著影响其对事故信息的处理过程。因此,通过模拟频发和偶发 2 种类型事故应急场景,深入剖析内隐记忆和情绪作用下个体对事故应急信息的自动化处理机制。

1.2 试验被试选择

课题组前期研究^[16]发现,工人的个体经验、工作技能等差异明显,使得试验结果会受到个体特质差异的显著影响,不利于对信息加工特性和规律的一般性探索。同时,这类差异会限制研究结论的普适性,无法广泛推广应用于不同群体,而土木工程相关专业的硕士研究生具备施工现场实习经历和相关安全培训知识,与工人在专业知识背景和工作场景上具有相似性,能够较好地模拟工人的行为和心理状态。因此,基于学生样本的研究得出的结论能够推广至工人群体,并有效指导工人行为。且相关研究亦有以学生作为被试并取得了良好效果^[17]。此外,学生的认知水平较高、个体差异小、心理状态稳定,有助于试验的开展并获取准确的 EEG 数据,提高了研究结果的可靠性。因此,选择综合素质更好、个体特征差异较小的土木工程相关专业的硕士研究生作为被试。同时,考虑到现实工人群体以男性为主,为更契合真实面临事故时的人群性别结构比例,试验主要以男性作为被试。

在 ERPs 研究中,20 个试验被试是常见的样本量,可有效揭示大脑信息加工规律。一方面,由于 ERPs 研究注重信号的生理基础和神经机制,小样本量也可很好地反映特定认知或情感过程的脑部活动特征。另一方面,ERPs 技术的时间分辨率高,即使样本量较小,也能精准捕捉大脑活动的变化,确保结果的可靠性。因此,试验最终收集有效被试数据 20 份(男生 15 名、女生 5 名)。

1.3 试验设备及素材

试验采用 EEG 设备,该设备使用 64 通道的盐水电极帽以及 N300 的放大器。试验素材来自自主研发的虚拟现实(Virtual Reality,VR)安全培训系统中的施工突发事故情境。根据住建部事故类型统计^[18],将安全事故试验素材分为频发事故和偶发事故。所有试验素材均为图片材料,经过统一处理,保持画质、长宽比例、对比度等参数相同。使用 E-prime2.0 进行试验设计和刺激呈现,并展现在分辨率为 1 920×1 080 的 22 英寸显示器上。采用 Net

Station5.0 采集 EEG 试验数据。

1.4 试验任务

采用被试间试验设计,通过双任务范式模拟突发事故应急情境。被试需要进行安全知识问答以模拟日常工作,尽可能快速准确地回答与施工安全相关的问答题。在此过程中会随机出现不同的事故情境以模拟突发事故应急,事故情境上方会显示事故名称,要求被试在有限时间内判断事故情境与事故名称是否一致,并进行按键反应(要求尽可能缩短时间形成压力,以更加契合真实事故应急的紧迫性)。“1”键表示一致,“2”键表示不一致。

1.5 试验指标确定

1) 行为数据指标确定。通过模拟当事人事故应急时的应急反应和信息判断来反映其事故信息处理能力。而事故应急信息“判断”的时效性和“抉择”的科学性是评价事故应急信息处理过程的外在表现,故以“反应时”和“准确率”作为事故应急信息处理能力的评价依据。

2) EEG 数据指标确定。在 ERPs 分析中,P200 成分(P2)是刺激诱发的潜伏期在 200 ms 左右的早期正波,该成分与目标刺激的早期注意相关,能够反映信息的识别速度,可作为考察注意的有效指标。P2 波幅越大,占用的注意资源越多。P300 成分(P3)是潜伏期约 300 ms 的正波,该成分是衡量认知加工的重要指标,与注意资源分配、抑制加工等高级认知过程有关。P3 波幅越大,任务占用的认知资源也更多。晚期正电位(Late Positive Potential, LPP)是 300 ms 后的晚期正波,该成分对情绪强度敏感,能反映动机强度和信息加工程度。高冲突的刺激会诱发更大的 LPP 波幅。综上,P2、P3、LPP 这 3 个 ERPs 成分可表征认知加工和情绪加工的心理过程,故选作 EEG 数据指标。

EEG 数据记录参照国际 10-20 拓展系统。试验前,测量被试头围并选择合适的电极帽,放入配置好的 KCL 溶液中 5 min,并将电极点和头皮间的电阻保持在 50 kΩ 以下,采样频率设置为 1 000 Hz。EEG 数据截取时间为刺激材料呈现前 200 ms 至呈现后 800 ms,刺激呈现前 200 ms 为基线。

1.6 试验程序

正式试验前,被试需进行 2 min 的练习试验,以熟悉试验流程。此前,主试将向被试介绍试验流程及注意事项,被试了解后开始练习试验。练习试验的试验素材与正式试验不同,其余均保持一致。

正式试验采用被试间试验设计,从而避免被试个体因素(如年龄、人格特质和知识背景)对试验结果造成不利影响。为避免试验顺序、试验长度可能导致的潜在效应(如疲劳、学习效应),提高试验效率,每位被试均单独进行试验并且缩短试验时长,试验前确保被试充分了解试验过程及注意事项,试验流程如图 1 所示。

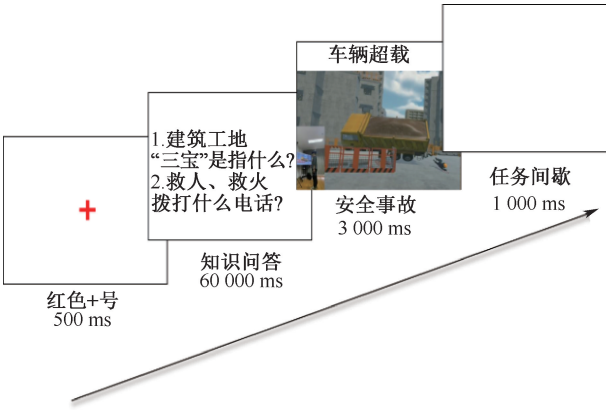


Fig. 1 Experimental process

试验中,首先在屏幕中央呈现+号,持续 500 ms,以起到提醒作用。接着是安全知识问答,被试按照要求尽可能快速准确地回答安全知识问题,持续时间为 60 000 ms。在此过程中会随机出现事故情境图片,被试需根据自己的认知结果尽快作出响应,若超出 3 000 ms 未作出反应,则认为该试次响应失败。每完成一次响应后,会有 1 000 ms 的任务间歇空屏,至此该试次结束,系统随机切换下一试次的刺激材料。整个试验共包含 16 个试次,试验结束后,每位被试会获得相应报酬。

2 事故应急信息自动化处理机制

2.1 行为数据分析

按照事故频率特征分类对试验结果进行独立样本 *T* 检验分析,得到显著性 *p* 值、均值 *M*、标准差 (Standard Deviation, *SD*)。同时,为对比事故特征差异下被试应急事故信息处理的差异性结果,按照事故特征分类绘制被试事故应急信息处理的准确率和反应时的差异对比,分别如图 2、图 3 所示。由此发现,频发事故和偶发事故的事故特征差异下,被试信息判断的反应时 ($p = 0.001 < 0.05$) 和准确率 ($p = 0.001 < 0.05$) 均存在显著性差异。具体表现为被试在应对频发事故应急信息判断的反应时 ($M = 1\,115.64, SD = 34.33$) 显著低于应对偶发事故的反

应时 ($M = 1\,297.83, SD = 31.64$);被试应对频发事故应急信息判断的准确率 ($M = 83.13, SD = 10.94$) 显著高于应对偶发事故的准确率 ($M = 70.63, SD = 10.16$)。因此,事故发生频率对事故应急信息处理的速度和准确率具有显著影响。

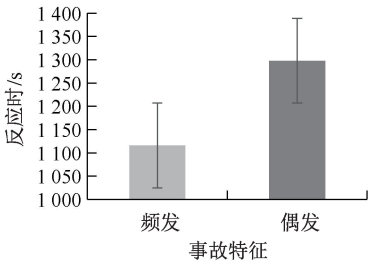


图 2 信息判断反应时差异对比

Fig. 2 Comparison of reaction time differences in information processing

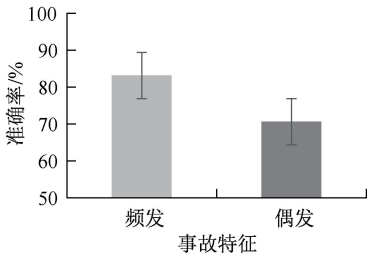


图 3 信息判断准确率差异对比

Fig. 3 Comparison of accuracy rate differences in information judgment

2.2 来自 ERPs 的证据

将采集的 EEG 数据导入 EEG lab 进行初步处理,包括降低采样率、滤波、去除眼电伪迹、去除其他伪迹、分段、基线校正、叠加平均等。同时,考虑到外部或生理因素干扰,导致部分数据超出了正常 EEG 信号的范围,无法准确反映真实的大脑活动。因此,为提高研究结果的可靠性,本文将波幅大于 $\pm 80\,\mu\text{V}$ 的数据归类为“其他伪迹”,并进行剔除。

根据相关研究,P2 成分通常在额区和中央区较明显,而 P3、LPP 成分主要分布在额区、中央区和顶区^[19]。因此,最终选取额区 F3、Fz、F4、中央区 C3、Cz、C4 和顶区 P3、Pz、P4 作为分析电极点,绘制出频发事故和偶发事故下各电极点的 EEG 波形,额区、中央区和顶区的平均波形分别如图 4—图 6 所示。图中,0 ms 前的波形差异由刺激材料呈现前大脑的神经元活动差异引起,反映基线水平的波动。该差异在数据处理时已对其进行基线校正,不会对数据的有效性产生影响。

初步数据处理结束后,利用 IBM SPSS Statistics

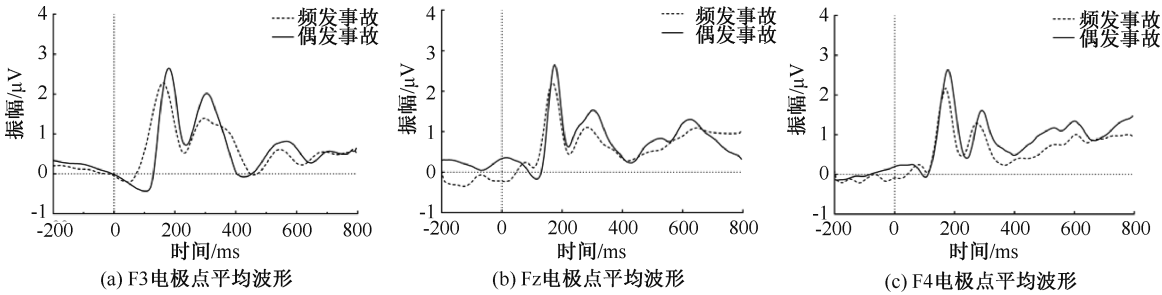


图4 额区平均波形

Fig.4 Average waveform of frontal region

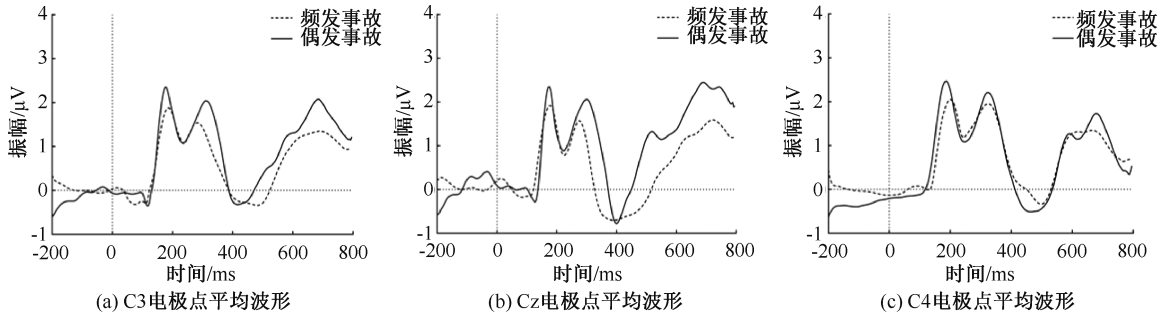


图5 中央区平均波形

Fig.5 Average waveform of central region

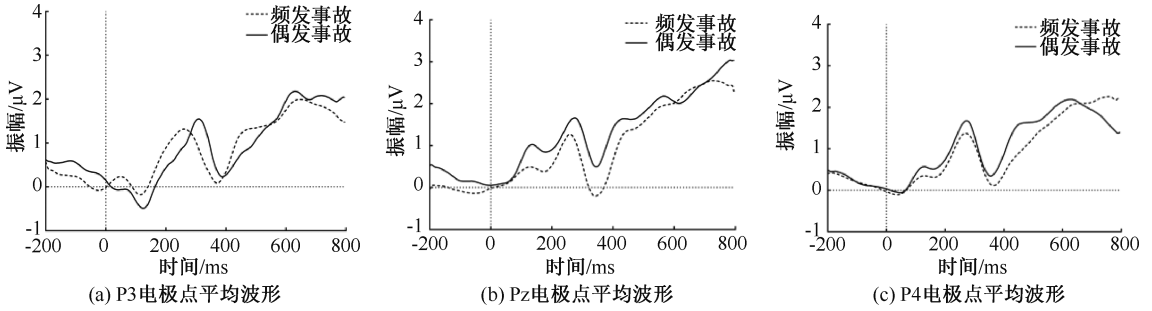


图6 顶区平均波形

Fig.6 Average waveform of top region

软件对 ERPs 数据进行重复测量方差分析,得到统计量 F 值、显著性 p 值、均值 M 、标准误 (Standard Error, SE)。

1) P2 成分分析。对 P2 平均波幅进行 2(事故特征:频发、偶发) $\times$ 2(脑区:额区、中央区)重复测量方差分析,结果表明:事故特征的主效应 [$F(1, 19) = 4.513, p = 0.041 < 0.05$] 显著,偶发事故诱发的 P2 波幅 ($M = 1.889, SE = 0.084$) 显著大于频发事故 ($M = 1.617, SE = 0.071$);脑区的主效应 [$F(1, 19) = 9.531, p = 0.053$] 不显著。事故特征与脑区的交互效应 [$F(1, 19) = 4.914, p = 0.03 < 0.05$] 显著,偶发事故下额区诱发的 P2 波幅 ($M = 2.073, SE = 0.085$) 显著大于中央区 ($M = 1.793, SE = 0.097$)。

2) P3 成分分析。对 P3 平均波幅进行 2(事故

特征:频发、偶发) $\times$ 3(脑区:额区、中央区、顶区)重复测量方差分析。结果表明:事故特征的主效应 [$F(1, 19) = 12.440, p = 0.03 < 0.05$] 显著,偶发事故诱发的 P3 波幅 ($M = 1.836, SE = 0.412$) 显著大于频发事故 ($M = 1.696, SE = 0.447$);脑区的主效应 [$F(2, 38) = 9.363, p < 0.05$] 显著,中央区诱发的 P3 波幅 ($M = 1.726, SE = 0.024$) 显著大于额区 ($M = 1.496, SE = 0.022$) 与顶区 ($M = 1.586, SE = 0.018$)。事故特征与脑区的交互效应 [$F(2, 38) = 4.914, p = 0.01 < 0.05$] 显著,偶发事故下中央区诱发的 P3 波幅 ($M = 1.963, SE = 0.046$) 显著大于额区 ($M = 1.853, SE = 0.042$) 和顶区 ($M = 1.796, SE = 0.051$)。

3) LPP 成分分析。对 LPP 平均波幅进行 2(事故特征:频发、偶发) $\times$ 3(电极的前后分布:额区、中

央区、顶区)重复测量方差。结果表明:事故特征的主效应[$F(1,19)=12.073, p<0.05$]显著,偶发事故诱发的 LPP 波幅($M=2.636, SE=0.431$)显著大于频发事故($M=2.496, SE=0.427$);脑区的主效应[$F(2,38)=3.187, p=0.058$]不显著。事故特征与脑区的交互效应[$F(2,38)=2.620, p=0.065$]不显著。

3 事故应急信息的自动化加工效应分析

试验结果证实了事故频率对应急信息处理过程有显著影响,证明了事故频率特征导致的经验差异会影响应急信息处理过程。具体表现为:被试对频发事故的应急信息处理速度更快、准确率更高,表现出认知资源消耗更少的自动化特征。研究还发现,事故诱发的负面情绪会影响事故应急信息处理的速度与准确率。因此,从自动化加工和内隐记忆影响的角度,结合事故情境中认知与情绪变化,深入讨论事故信息的深层自动化处理机制。

3.1 内隐记忆对自动化加工的促进效应

P2 成分与早期注意相关,反映了大脑对信息的自动化加工过程和脑干网状激活系统的意识输出^[20]。频发事故诱发的 P2 波幅在额叶、额中央区的平均振幅和潜伏期都显著低于偶发事故。表明被试在频发事故信息处理过程中的大脑意识加工成分较少。频发事故下被试的反应时显著低于偶发事故。说明相较于对频发事故应急信息早期注意的高敏感性和显著的启动效应,对偶发事故应急信息的早期注意呈现相对较低的敏感性。启动效应被认为是内隐记忆存在的标志之一^[21]。研究发现,内隐记忆的编码、提取过程与启动效应高度相似,故在自动化处理启动阶段内隐记忆发挥重要作用。自动化加工理论指出,个体可以通过反复练习或经验积累形成无需意识努力即可快速执行的认知-行为模式^[22]。这种认知加工方式依赖长期记忆中的程序性知识,几乎不占用工作记忆,消耗较低的认知资源。当事人对经历过的事物会在记忆中进行编码和存储。当再次遇到类似情境时可以快速提取相关信息,进而在重复次数达到一定程度时会在形成内隐记忆。被试对频发事故因存在较多过去的经验而建立起内隐记忆表征,对类似事故应急信息的额区认知活动减少,从而降低对该类信息的反应阈值,使其逐渐趋于自动化状态。根据资源有限理论,偶发事

故复杂的刺激任务会使被试有限的注意资源在启动阶段被分散到无关的信息刺激中^[23]。这使得当事人在信息加工早期阶段较难唤起同等程度的注意偏向,对信息的注意程度和捕捉程度方面有所减弱,无法专注于当前事故认知活动,从而造成启动效应的激活机制受阻,导致信息处理的自动化效应启动失败,最终应急信息得不到有效分析。

内隐记忆激活的后意识自动化行为启动后,后续的信息加工可自动进行,无需或较少消耗认知资源。频发事故诱发的 P3 成分在额叶、中央区、顶区的平均振幅都显著低于偶发事故。表明被试对频发事故的应急信息处理在自动化行为启动之后消耗了较少的认知资源。当被试看到频发事故情境时,大脑会自动生成该事故名称。这是由于频发事故因发生次数较多,相关事故应急信息储存与认知表征更加完备,当再次遇到类似刺激时可直接从记忆中提取,无需对刺激信息进行二次编码加工,有效抑制无关信息的认知冲突,使得认知资源消耗显著减少,信息加工自动化特征显著。因此,事故频率会引发内隐记忆强度差异,事故应急信息刺激唤醒的内隐记忆是“启动”后意识自动化效应的内在因素。

现实中,工人的事故经验会随着接触事故的频率增加而更丰富,内隐记忆的提取强度相应加强,自动化加工水平更高。同时,真实事故现场环境更复杂,当事人需要处理的信息量也更大,常规的事故应急信息处理机制的能力受到较大制约。在此情境下,内隐记忆触发和驱动的自动化信息加工机制的作用将更显著和更重要。

3.2 恐慌情绪对自动化加工的抑制效应

事故应急情境能诱发出显著的 LPP 波幅,并且偶发事故诱发的 LPP 波幅显著大于频发事故。表明偶发事故因存在更多未知信息,导致被试的恐慌情绪在时间压力下加剧产生。同时,行为数据分析发现,偶发事故下被试的反应时显著高于频发事故,而准确率却显著低于频发事故。这是由于恐慌情绪的产生使得被试在事故应急信息处理活动中存在内隐的情绪加工,被试对恐慌情绪及与之相关的刺激事件产生注意力资源的集中偏向,增加了认知资源的占用,造成认知固化和黏着,从而影响其事故应急信息的处理能力。正如情绪启动效应^[24]所表明的,负性情绪刺激会引起个体认知加工异常,导致反应时间延长或加工效率降低。

偶发事故下被试的 P3 波幅大于频发事故,证明模糊的刺激任务诱导被试进行了更多的信息编码

加工和情绪评价。与频发事故相比,偶发事故中存在更多的未知冲突。此类突发刺激易导致当事人产生记忆偏向,对与恐慌相关的信息记忆增强,而与事故应急相关的重要信息的记忆受到抑制,无法准确地提取相关内容,影响对事故信息的分析和处理。同时,强烈的恐惧感让工人更容易回忆起过往的危机风险经历,激活储存在情绪记忆中的恐慌情绪信息并在大脑中不断重复,导致思维跳跃、混乱,无法专注于信息的细节,丧失对复杂事件的理性分析能力。由此认为,偶发事故更容易诱发工人的恐慌情绪,造成对事故应急信息的自动化处理能力下降,不利于应急行为表现。

与实验室环境相比,现实中工人可能会遇到发生频率较低甚至从未遇到的事故,所面临的环境更加恶劣,要处理的应急信息也更为复杂,承受着巨大的身心压力。当事人表现出的恐慌情绪及其对自动化加工的抑制作用会被进一步放大,导致难以启动对事故应急信息的自动化处理机制,最终可能导致

事故应急失败。

4 结 论

1) 频发事故诱发的 P2、P3 波幅显著低于偶发事故,表明频发事故依赖内隐记忆触发自动化加工,能够减少认知资源的占用,进而提高事故应急信息的处理效率。

2) 偶发事故诱发更强的 LPP 波幅,结合其较低的行为准确率与较长反应时,证实恐慌情绪占用认知资源,干扰信息编码与记忆提取,抑制自动化加工过程,导致其丧失对事故应急信息的自动化处理能力。

3) 研究仅探究了以事故发生频率差异确定的内隐记忆强度对事故应急信息自动化处理的影响机制,后续可继续探究其他因素对自动化行为的作用机制。此外,研究是以事故情境图片的形式模拟试验,后续可利用视频或 VR 技术,更真实地模拟事故应急。

参 考 文 献

[1] LI Heng, LU Miao, XU Shuqian, et al. Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement[J]. Safety Science, 2015, 75: 107-117.

[2] DANIELLE B, SARA V, TEFAYE B, et al. Communication, information seeking, and evacuation plans for a disaster using community assessment for public health emergency response in the Gulf Coast counties of Alabama and Mississippi[J]. Journal of Emergency Management, 2013, 11(3): 213-223.

[3] 王建豪, 马怀斌, 文龙龙, 等. 应急场景下个体生理指标变化研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(6): 122-126.

WANG Jianhao, MA Huaibin, WEN Longlong, et al. Study on changes of individual physiological indexes under emergency condition [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(6): 122-126.

[4] 李琰, 毛钰, 张燕. 建筑工人应急行为影响机制[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(10): 1-7.

LI Yan, MAO Yu, ZHANG Yan. Influence mechanism of construction workers' emergency behavior[J] China Safety Science Journal, 2021, 31(10): 1-7.

[5] 朱伟, 王亚飞, 张鹏, 等. 突发事件下多路径行人通行行为模型[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(7): 151-156.

ZHU Wei, WANG Yafei, ZHANG Peng, et al. Model of pedestrian behavior in multi-path evacuation in emergencies[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(7): 151-156.

[6] KIEFER M. Executive control over unconscious cognition: attentional sensitization of unconscious information processing[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2012, 6: 61-72.

[7] 林无忌, 林静远, 李晓梦, 等. 认知疲劳效应对内隐记忆与外显记忆的影响[J]. 心理科学, 2019, 42(6): 1 282-1 288.

LIN Wuji, LIN Jingyuan, LI Xiaomeng, et al. Effects of cognitive fatigue on implicit memory and explicit memory[J]. Journal of Psychological Science, 2019, 42(6): 1 282-1 288.

[8] 朱瑜, 朱琪琪, 许翀, 等. 100 m 跑精英运动员专长领域的听觉认知加工自动化特征: 一项 ERP 研究[J]. 上海体育学院学报, 2023, 47(2): 60-75.

ZHU Yu, ZHU Qiqi, XU Chong, et al. Automation of auditory cognitive processing in 100 m sprint elites' expertise domain: an ERP study[J]. Journal of Shanghai University of Sport, 2023, 47(2): 60-75.

[9] 徐帅, 姜帆, 吴怡. 听觉重复启动对学生外语发音质量的影响[J]. 现代交际, 2021(1): 213-214.

[10] 韩豫, 李家猛, 顾婧. 突发事故情境中内隐记忆驱动的应急决策行为特性分析[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(10): 234-239.

HAN Yu, LI Jiameng, GU Jing. Analysis of emergency decision-making behavior characteristics driven by implicit memory in the context of safety accidents [J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(10): 234-239.

- [11] 连帅磊, 曹晓萱, 吴欣格, 等. 知识囤积、消极情绪与大学生认知失败的关系:反刍思维的催化作用[J]. 中国临床心理学杂志, 2023,31(3):677-681.
LIAN Shuailei, CAO Xiaoxuan, WU Xin'ge, et al. Knowledge hoarding, negative affect and cognitive failures in college students: the aggravating role of rumination[J]. Chinese Journal of Clinical Psychology, 2023,31(3):677-681.
- [12] 张玉荣, 牛媛媛, 孙彩红, 等. 情绪唤醒对联结记忆的影响:联结对应关系的作用[J]. 心理科学, 2024, 47(2): 281-289.
ZHANG Yurong, NIU Yuanyuan, SUN Caihong, et al. Emotional arousal and associative memory: the role of combinatorial mapping [J]. Journal of Psychological Science, 2024,47(2):281-289.
- [13] JIANG Shixiang, QU Changda, WANG Fengjun, et al. Using event-related potential P300 as an electrophysiological marker for differential diagnosis and to predict the progression of mild cognitive impairment: a meta-analysis [J]. Neurological Sciences, 2015,36(7):1 105-1 112.
- [14] 郭丰波, 韦义平, 高宇, 等. 背景任务对前瞻记忆策略加工的影响:一项 ERPs 研究[J]. 心理与行为研究, 2017, 15(1):75-82.
GUO Fengbo, WEI Yiping, GAO Yu, et al. The affect of ongoing activity on the strategical processing of prospective memory: an ERPs investigation[J]. Studies of Psychology and Behavior, 2017,15(1):75-82.
- [15] 李雨桐, 李璇, 岳泽明, 等. 抑郁倾向个体对言语情绪信息的加工偏向[J]. 心理学报, 2025, 57(6): 1 041-1 055.
LI Yutong, LI Xuan, YUE Zeming. et al. The processing bias of verbal emotional information in depression prone individuals[J]. Acta Psychologica Sinica, 2025,57(6):1 041-1 055.
- [16] 韩豫, 顾婧, 李家猛. 工作强度变化触发的情绪波动及其对事故倾向行为的影响[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(12):4 410-4 416.
HAN Yu, GU Jing, LI Jiameng. Emotional fluctuation triggered by work intensity change and its influence on accident-prone behavior[J]. Journal of Safety and Environment, 2023,23(12):4 410-4 416.
- [17] PAOLA L, MELISSA I D, SEBASTIANO M, et al. Fire emergency evacuation from a school building using an evolutionary virtual reality platform[J]. Buildings,2022,12(2):223-223.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 关于 2020 年房屋市政工程生产安全事故情况的通报[EB/OL]. (2021-05-21). <https://www.mohurd.gov.cn/index.html>.
- [19] BEHROOZMAND R, KARVELIS L, LIU Hanjun, et al. Vocalization-induced enhancement of the auditory cortex responsiveness during voice F0 feedback perturbation[J]. Clinical Neurophysiology, 2009,120(7):1 303-1 312.
- [20] 李恒平, 何胜昔, 刘正奎. 快速阅读训练对基于视觉定向搜索的注意力影响:ERP 研究[J]. 心理与行为研究,2020, 18(1):78-84.
LI Hengping, HE Shengxi, LIU Zhengkui. ERPs study on the effect of fast reading training on attention based on visual beam search[J]. Studies of Psychology and Behavior, 2020,18(1):78-84.
- [21] LIN Zhiwei, MENG Yin, LIN Wei. Conditional automaticity: interference effects on the implicit memory retrieval process[J]. Psychological Research, 2021,85(1): 223-237.
- [22] 陈圣栋, 陈永强, 高伟, 等. 认知加工的自动化现象:从二分法到渐进观[J]. 心理科学进展, 2019,27(9): 1 556-1 563.
CHEN Shengdong, CHEN Yongqiang, GAO Wei, et al. The automaticity in cognitive processing: from dichotomy to gradual view[J]. Advances in Psychological Science, 2019,27(9):1 556-1 563.
- [23] 郝红勋, 卫宗敏. HUD 状态下飞行员视觉注意资源分配机制研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2019,15(9): 105-109.
HAO Hongxun, WEI Zongmin. Study on allocation mechanism of visual attention resource for pilots under HUD status[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019,15(9):105-109.
- [24] 张芳文, 马骁, 马谐. 语言差异对跨通道情绪启动效应的影响[J]. 心理与行为研究, 2020,18(4):452-459.
ZHANG Fangwen, MA Xiao, MA Xie. The influence of language differences on the cross-modal priming effect of emotion[J]. Studies of Psychology and Behavior, 2020,18(4):452-459.

作者简介: 韩 豫 (1985—),男,江苏镇江人,博士,教授,主要从事智能安全建造与管理、智能人机工程管理研究。E-mail: hanyu85@ yeah.net。

