

中文引用格式:孟筠青,符运莲,高滨,等. 基于面部表情识别的突发事故应激情绪反应差异[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(1): 191–198.

英文引用格式:MENG Junqing, FU Yunlian, GAO Bin, et al. Differences in stress-induced emotional responses to sudden accidents based on facial expression recognition[J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(1): 191–198.

基于面部表情识别的突发事故应激情绪 反应差异^{*}

孟筠青¹副教授, 符运莲¹, 高滨², 邱敬渊¹

(1 中国矿业大学(北京)应急管理与安全工程学院, 北京 100083;

2 聊城市城乡规划设计研究院, 山东 聊城 252000)

中图分类号:X912

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.01.0930

资助项目:中国矿业大学(北京)本科教育教学改革与研究项目(J23ZD15);中国矿业大学(北京)大学生创新创业训练计划项目(202512044)。

【摘要】 为探究突发事件下不同类型群体情绪表达特征,深入分析性别、气质类型和事故环境对群体应激状态情绪的影响,基于面部表情技术设计应激状态情绪刺激试验。选取137名被试观看5类事故视频,采用Facereader软件采集6种基本情绪强度数据,通过非参数检验分析变量差异性,并构建基于唤醒度动态特征的 k -means聚类模型。结果表明:女性悲伤与恐惧强度显著高于男性,而愤怒强度较低;多血质个体情绪反应最强烈,黏液质个体唤醒度调节速度最快;建筑火灾场景诱发的恐惧强度最显著;男性在应激状态下的唤醒度自我调节能力显著优于女性。

【关键词】 面部表情; 突发事故; 应激状态; 情绪反应; k -means 聚类

Differences in stress-induced emotional responses to sudden accidents based on facial expression recognition

MENG Junqing¹, FU Yunlian¹, GAO Bin², QIU Jingyuan¹

(1 School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2 Liaocheng Urban and Rural Planning and Design Institute, Liaocheng Shandong 252000, China)

Abstract: In order to explore the emotional expression characteristics of different types of groups under emergencies, and to deeply analyze the influence of gender, temperament type and accident environment on the stress state emotions of the groups, a stress state emotional stimulation test based on facial expression technology was designed. A cohort of 137 participants was exposed to five categories of accident videos. Facial expression data for six basic emotions were collected using FaceReader software, with the Kruskal-Wallis test employed to analyze differences across gender, temperament types, and accident scenarios. A k -means clustering model was further constructed based on arousal dynamic features. The results show that female participants exhibit significantly higher intensities of sadness and fear, whereas males show stronger anger responses. Sanguine individuals demonstrate the most pronounced emotional

reactivity, while phlegmatic types achieve the fastest arousal modulation. Fear responses are most pronounced in building fire scenarios. Males outperform females in arousal self-regulation capacity.

Keywords: facial expression recognition; sudden accident; stress state; emotional response; *k*-means clustering

0 引言

突发事故中,情绪反应会通过面部动作编码系统(Facial Action Coding System, FACS)外显为特定的微表情组合^[1],情绪影响个体应急行为。因此,研究不同人群在应激状态时的面部表情差异对于应急准备和响应具有重要意义。

应激是指个体对内外环境刺激做出认知评价后产生的心理和生理反应的过程。测量情绪主要方式有问卷调查、生理数据采集、面部表情识别等^[2-3],其中,基于生理指标如脑电、皮电等情绪测量方式成为主流范式。袁晓芳^[4]发现,矿工在事故灾难刺激期多项生理指标显著异于平常。赵鹏飞^[5]通过生理指标聚类区分情绪稳定型和情绪不稳定型个体。陈娜^[6]研究发现,在火灾事故场景下,不同性别和气质类型人群的应激反应过程存在差异。栗婧^[7]通过生理指标聚类分析,将地震应激反应划分为平稳、中等和严重3种。上述研究奠定了应激反应生理测量的基础,但存在局限,如接触式传感可能对被试造成负担,干扰模拟场景中的自然反应;设备成本高、操作复杂,不利于在大规模人群筛查或实际应急培训中应用;生理指标虽能有效表征情绪唤醒度,但不能具体区分类别和量化情绪强度。

面部表情分析作为一种操作简便、成本低、能够以量化方式实时反映情绪类别信息的技术,弥补现有应激研究方法的缺陷。基于此,笔者拟设计应激状态模拟试验,采用非参数检验探究应激状态下不同性别、气质类型、事故类型场景人群面部表情差异,并创新性地结合 *k*-means 聚类分析唤醒度的动态变化特征,识别不同反应速度的群体,进一步研究被试的唤醒度反应快慢在不同性别、气质类型的占比情况,以期为不同人群制定个性化应急培训方案提供参考。

1 应激状态情绪刺激试验

1.1 应激状态情绪刺激试验被试

招募被试共 150 名,平均年龄为 23 岁,标准差为 0.77。此为试验分组,与后续试验数据处理分组并无关系。按试验分组观看不同突发事故类型刺激

材料,未考虑性别、年龄、气质类型等因素。被试均在试验前告知全部流程并阅读和签署试验知情和保密同意书,视力或矫正视力均正常,无色弱色盲,精神及身体状况良好。

1.2 应激反应情绪刺激试验设计

试验前,被试填写一份由陈会昌等编制的气质类型测试问卷,共 60 道。使用摄像头采集人脸数据,分辨率为 1 080P,为防止外界噪声影响,使用头戴式耳机,使用 Facereader 软件分析面部表情。试验时先收集正常状态下 10 s 的面部表情数据,再远程操控在电脑界面播放一段 40 s 的事故视频,模拟诱导被试产生应激反应情绪,收集面部表情数据^[8]。视频均以第一视角拍摄,视频格式统一为分辨率相同、帧率相同的 MP4 格式,同样音量,视频时长均为 40 s。被试按分组观看 5 种突发事故类型视频材料,依次为 A 组-高处坠落、B 组-生产事故、C 组-建筑火灾、D 组-森林火灾、E 组-地震。不同分组,除突发事故视频材料不同,其余条件全部保持一致。试验流程如图 1 所示。

1.3 数据预处理

剔除无效试验数据和问卷数据后,有效被试数据为 137 人,其中 A 组 32 人,B 组 26 人,C 组 26 人,D 组 20 人,E 组 33 人,男性 91 人,女性 46 人。被试气质类型统计,多血质 60 人,抑郁质 18 人,黏液质 15 人,胆汁质 44 人。

2 情绪反应差异多维度分析

采用 Facereader 软件,通过人脸识别算法检测并定位研究对象的面部区域,利用主动外观方法将检测面部进行三维建模,描述 500 多个关键点位置和面部纹理,通过人工神经网络技术,输出 6 种基本情绪:高兴、悲伤、生气、惊讶、害怕和厌恶,分析被试的效价、唤醒度、动作单元强度、心率等。有研究表明^[9]:Facereader 软件对中国人脸表情具有较好的识别和分析能力。

2.1 试验前后情绪差异性分析

利用 Python、SPSSAU 等软件进行统计分析,取被试正常状态下 10 s 的效价和唤醒度的均值作为

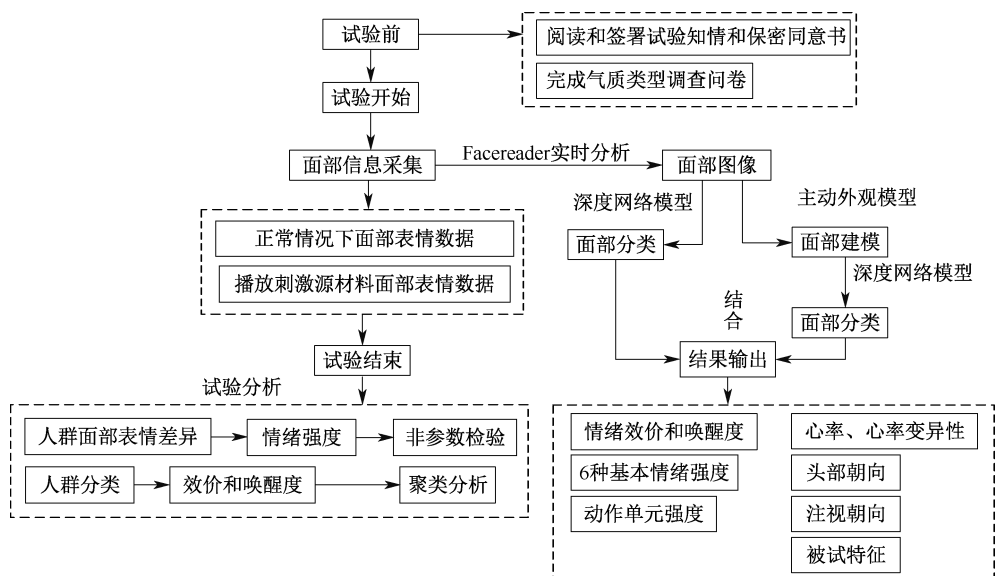


图 1 试验流程

Fig. 1 Experiment flow chart

试验前的数据,被试观看突发事故视频 10 s 的均值作为试验后的数据。对试验后数据进行正态性检验 (显著性指标 $p<0.05$),但峰度绝对值小于 10,且偏度绝对值小于 3,基本可接受为正态分布,结果见表 1。采用方差分析研究不同突发事故类型对效价和唤醒度的影响,效价 ($p=0.044<0.05$) 存在差异性,唤醒度 ($p=0.873>0.1$) 无显著差异,结果见表 2。10 s 效价均值如图 2 所示,效价均为负值,且建筑火灾引起效价值最低。

表 1 效价和唤醒度 Kolmogorov-Smirnov 检验

名称	偏度	峰值	p
效价	-0.785	1.181	<0.01
唤醒度	-0.482	6.113	<0.01

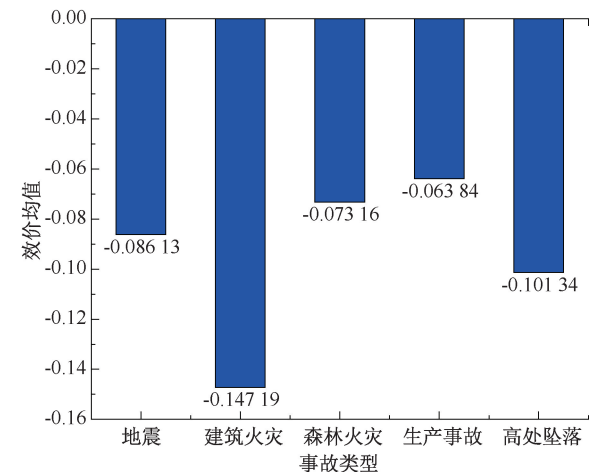


图 2 10 s 效价均值

Fig. 2 10 s valence mean

试验前后情绪强度柱状图如图 3 和图 4 所示。对比发现,被试在建筑火灾、森林火灾、生产事故愉快强度明显下降,所有突发事故的惊奇强度均有不同程度下降,森林火灾和生产事故悲伤和愤怒强度明显上升。符合应激状态群体情绪表现,呈现多种负面情绪如愤怒、悲伤等^[10]。

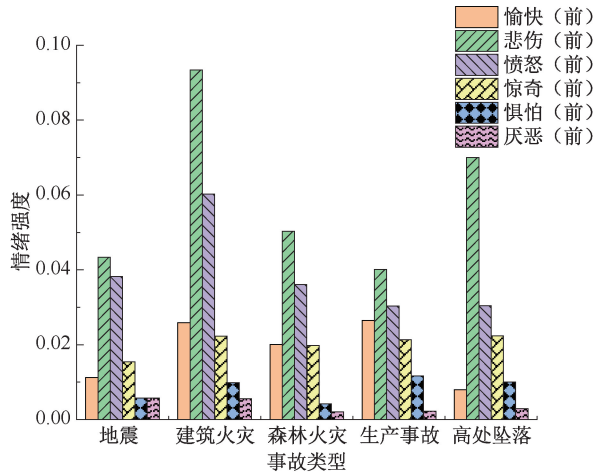


图 3 试验前情绪强度

Fig. 3 Pre-trial emotional intensity

为明确不同突发事故类型试验前后差异,进行配对 t 检验,分析效价和唤醒度的变化,见表 3。地震、建筑火灾、生产事故在试验前后效价之间呈现出 0.05 水平的显著性。而森林火灾和高处坠落试验前后效价无显著变化。不同突发事故类型试验前后唤醒度均呈现 0.01 水平的显著性。效价和唤醒度对比如图 5 所示。由图 5 可知:突发事故类型视频诱导情绪均为负面情绪,观看突发事故视频后情绪

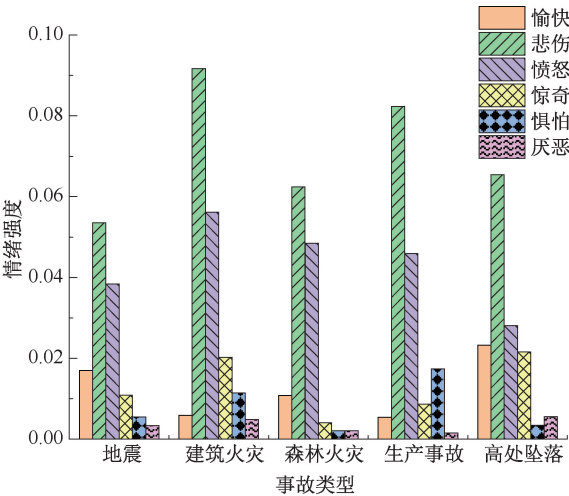


图4 试验后情绪强度

Fig. 4 Post-trial emotional intensity

看突发事故视频过程中唤醒度逐渐下降,前后对比呈现下降趋势。说明应激反应随着时间变化逐渐消退,符合应激反应变化过程。

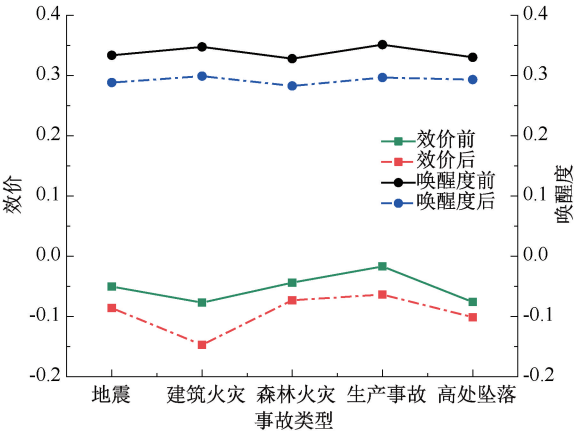


图5 效价和唤醒度对比

Fig. 5 Valence-arousal contrast

效价负值增大;情绪唤醒度在试验开始时较强,在观

表2 效价和唤醒度方差分析

Table 2 Analysis of variance on valence and arousal

名称	事故类型(平均值±标准差)					<i>F</i>	<i>p</i>
	地震	建筑火灾	森林火灾	生产事故	高处坠落	—	—
效价	0.09±0.10	0.15±0.11	0.07±0.10	0.06±0.09	0.10±0.10	2.521	0.044
唤醒度	0.29±0.05	0.30±0.05	0.28±0.06	0.30±0.04	0.29±0.07	0.307	0.873

表3 效价和唤醒度配对*t*检验

Table 3 Valence and arousal: paired *t*-test analysis

事故类型	名称	试验前(均值±标准差)	试验后(均值±标准差)	统计量 <i>t</i>	<i>p</i>	95%置信区间
地震	效价	-0.05±0.06	-0.09±0.10	2.037	0.050	[0.000,0.0716]
	唤醒度	0.33±0.07	0.29±0.05	5.283	<0.001	[0.028,0.063]
建筑火灾	效价	-0.08±0.09	-0.15±0.11	2.675	0.015	[0.015,0.125]
	唤醒度	0.35±0.08	0.30±0.05	3.541	0.002	[0.020,0.077]
森林火灾	效价	-0.04±0.08	-0.07±0.10	1.683	0.106	[-0.007,0.065]
	唤醒度	0.33±0.07	0.28±0.06	3.286	0.003	[0.017,0.074]
生产事故	效价	-0.02±0.08	-0.06±0.09	2.469	0.020	[0.008,0.085]
	唤醒度	0.35±0.08	0.30±0.04	4.915	<0.001	[0.032,0.077]
高处坠落	效价	-0.08±0.07	-0.10±0.10	1.766	0.087	[-0.004,0.054]
	唤醒度	0.33±0.09	0.29±0.07	3.594	0.001	[0.016,0.058]

表4 情绪强度 Kolmogorov-Smirnov 检验

Table 4 Kolmogorov-Smirnov test for emotional intensity

情绪类别	偏度	峰值	<i>p</i>
愉快	3.842	15.841	<0.001
悲伤	2.535	8.878	<0.001
愤怒	3.374	16.179	<0.001
惊奇	3.266	12.889	<0.001
惧怕	5.058	29.655	<0.001
厌恶	3.108	9.761	<0.001

2.2 基于面部表情的应激情绪反应差异性分析

研究应激状态群体由性别因素、气质类型、突发

事故视频类型不同所产生的面部表情表现出差异。首先取每名被试的40 s的情绪强度均值数据进行正态性检验($p<0.001$),不符合正态分布,结果见表4。研究不同变量对面面部表情差异性影响时,因数据不具有正态性,采用非参数检验,结果见表5,其中, n 为样本数。

按性别分组,采用非参数的 Mann-WhitneyU 检验分析组间差异,不同性别在悲伤($p=0.022<0.05$)、愤怒($p=0.037<0.05$)、惧怕($p=0.006<0.01$)呈现出显著差异性。女性悲伤程度(中位数=

表 5 非参数检验分析结果

Table 5 Non-parametric test results of emotional differences

	情绪类别	愉快	悲伤	愤怒	惊奇	惧怕	厌恶
性别	女(<i>n</i> = 46) 中位数	0.002	0.067	0.009	0.005	0.002	0.001
	男(<i>n</i> = 91) 中位数	0.001	0.034	0.019	0.003	0.001	0.001
	<i>p</i>	0.133	0.022 *	0.037 *	0.188	0.006 **	0.779
气质类型	多血质(<i>n</i> = 61) 中位数	0.001	0.054	0.022	0.003	0.002	0.001
	抑郁质(<i>n</i> = 17) 中位数	0.004	0.047	0.007	0.004	0.001	0.001
	黏液质(<i>n</i> = 15) 中位数	0.002	0.029	0.015	0.001	0.002	0.002
	胆汁质(<i>n</i> = 44) 中位数	0.001	0.029	0.021	0.005	0.001	0.001
	<i>p</i>	0.369	0.029 *	0.048 *	0.565	0.910	0.850
事故类型	地震(<i>n</i> = 34) 中位数	0.002	0.026	0.020	0.005	0.002	0.001
	建筑火灾(<i>n</i> = 20) 中位数	0.002	0.070	0.022	0.003	0.004	0.002
	森林火灾(<i>n</i> = 23) 中位数	0.001	0.029	0.008	0.001	0.001	0.001
	生产事故(<i>n</i> = 28) 中位数	0.000	0.051	0.019	0.002	0.002	0.001
	高处坠落(<i>n</i> = 32) 中位数	0.004	0.041	0.015	0.006	0.001	0.002
	<i>p</i>	0.078	0.078	0.712	0.131	0.017 *	0.052

注: * 代表 $p < 0.05$, ** 代表 $p < 0.01$ 。

0.067) 高于男性(中位数 = 0.034)。女性愤怒程度(中位数 = 0.009) 低于男性(中位数 = 0.019)。女性恐惧程度(中位数 = 0.002) 高于男性(中位数 = 0.001)。验证研究中提出的女性比男性更易感知到悲伤^[11],在突发危机中女性比男性恐惧程度高^[12]的相关结论。女性具有情绪识别优势,对负面情绪的易感性更强^[13]。

按气质类型分组,采用非参数的 Kruskal-Wallis 检验分析组间差异,不同气质类型的人群对悲伤($p = 0.029 < 0.05$)、愤怒($p = 0.048 < 0.05$) 呈现显著差异性。悲伤程度通过中位数比较:多血质(0.054) > 抑郁质(0.047) > 黏液质(0.029) = 胆汁质(0.029)。愤怒程度通过中位数比较:多血质(0.022) > 胆汁质(0.021) > 黏液质(0.015) > 抑郁质(0.007)。对比可知:不同气质类型人群中,多血质在应激状态的情绪反应程度高于其他气质类型。前人^[14]将气质特性在情绪中的表达联系,认知过程与一定类型的气质相适应,试验结果符合多血质情绪丰富特点。

按突发事故类型分组,采用非参数的 Kruskal-Wallis 检验分析组间差异,不同事故类型场景中人群在惧怕($p = 0.017 < 0.05$) 呈现显著差异性。分析可知:建筑火灾被试的恐惧强度最大,有研究表明^[15]:人群恐慌情绪对突发事件应急疏散效率有影响,恐慌值越大,疏散效率越慢。

2.3 效价和唤醒度

上述研究主要以试验前后某段时间进行总体分析,以情绪强度均值作为研究对象。但情绪具有波

动性,时刻变化。因此,这部分研究针对试验过程中每个时间点分析,选取试验时的 1 s 作为一个时间点,选择试验前 10 s 和试验 40 s 分析。研究不同突发事故场景应激状态,效价和唤醒度 0~50 s 的变化情况如图 6 所示。效价和唤醒度在不同突发事故场景波动情况不同,建筑火灾波动比较密集,而高处坠落则波动缓慢,波峰和波谷位置也有明显差异,这与刺激材料的情绪刺激点设置有关。其中,建筑火灾的情绪波动情况比其他事故场景显著。

唤醒度的变化快慢在一定程度上可反映被试情绪波动情况、情绪反应速度。分析 2.1 节可知:不同突发事故对唤醒度没有显著差异,不考虑突发事故差异。利用 Python 语言采用线性插值处理缺失值。提取唤醒度数据的 3 个特征值:标准差、平均绝对一阶差分、极差,见下式,形成三维向量,建立 k -means 聚类模型^[16]。这 4 个特征值反映唤醒度的动态变化程度,以此作为 k -means 聚类的依据,划分唤醒度变化速度不同的人群。

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$$

(4)

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |X_{i+1} - X_i|$$

(5)

$$R = \max(x) - \min(x)$$

(6)

式中: σ_x 为标准差; N 为数据总数; X_i 为第 i 个数据; $\bar{X}$ 为数据均值; D 为平均绝对一阶差分; X_{i+1} 为第 $i + 1$ 个数据; R 为极差; $\max(x)$ 为最大值; $\min(x)$ 为最小值。

采用轮廓系数法评估聚类模型,确定最优 k 值,结果见表 6。轮廓系数是通过比较每个对象与自己聚类的相似性与其他聚类对象的相似性来衡量聚类间分离程度,在 $-1 \sim 1$ 之间,越接近 1 则表示聚类效果越好。评估结果显示 $k=2$ 时的聚类评估效果最好。因此,取 $k=2$,将 137 名被试分成缓慢变化和快速变化 2 类,聚类特征数据见表 7。

表 6 k 取值数据

Table 6 Cluster validity indices for different k values	
k 取值	轮廓系数
$k=2$	0.456
$k=3$	0.300
$k=4$	0.316

根据聚类结果绘制唤醒度时间变化曲线如图 7 所示,由图 7 可知:唤醒度变化快速主要集中 30~40 s 区间。分析聚类结果,反应快速共 43 人,反应缓慢共 94 人,聚类效果在性别和气质类型中的人群

表 7 聚类特征

Table 7 Feature values of identified clusters

类别	标准差	平均差分	极差
缓慢变化	0.030 1	0.008 3	15.425 5
快速变化	0.083 9	0.023 3	0.347 8

组内占比见表 8。反应快速型和反应缓慢型在不同性别组内进行比较,男性组内占比近 1:2,女性组内占比近 1:3,男性反应快速型组内占比要大于女性。有研究表明^[17]:男性采用抑制方式调节负面情绪效果要显著优于女性,故情绪调节快。多血质人群在应激状态时情绪反应程度强烈,但反应快速和反应缓慢人群组内占比不如抑郁质、胆汁质,其占比近 1:2,黏液质近 1:1,而多血质为 1:3,说明情绪反应强不代表情绪变化波动大。综上所述,黏液质在应激状态下具有快速调节情绪唤醒度的特点,有利于保持头脑清醒,更好地应对和处置突发事件。

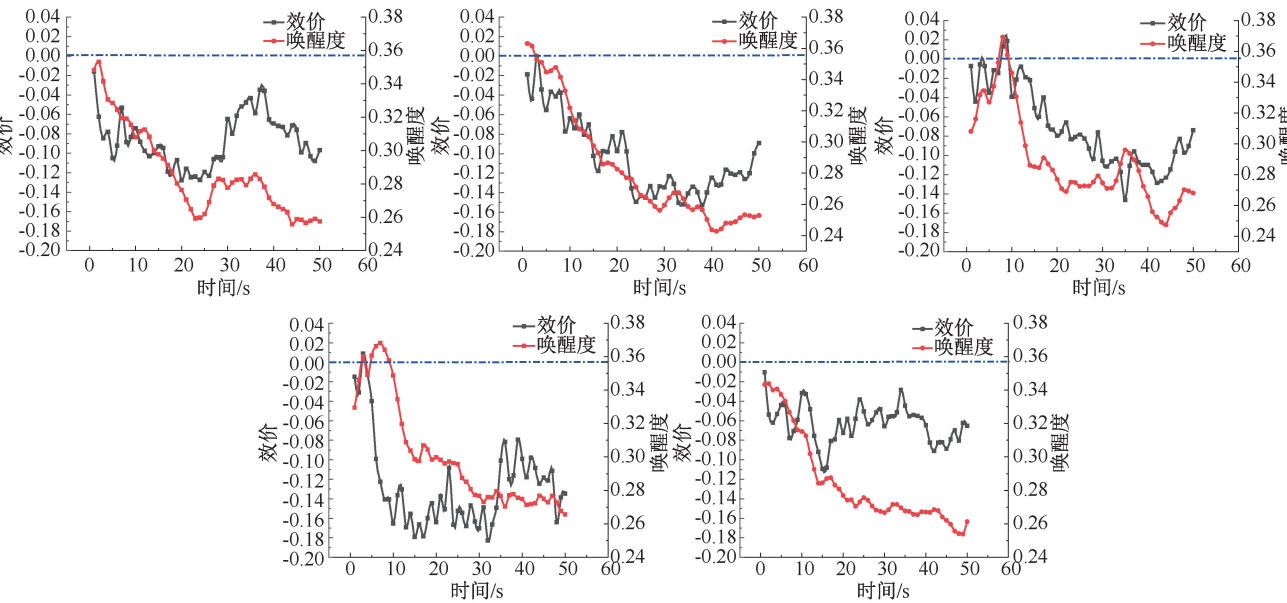


图 6 效价-唤醒度时间变化曲线

Fig. 6 Time-course dynamics of valence and arousal

表 8 聚类分类组内占比结果

Table 8 Proportional composition within each cluster

聚类结果	多血质	胆汁质	黏液质	抑郁质	男性	女性	总计
反应快速	16/60	15/44	7/15	5/18	31/91	12/46	43
反应缓慢	45/60	29/44	8/15	12/18	60/91	34/46	94

3 结 论

1) 从性别角度,突发事故应激状态下人群普遍呈现负面情绪反应,但存在显著的性别差异。女性

在悲伤和恐惧强度上显著高于男性。这一发现可在应急管理中实施性别差异化干预,建议在商场、学校等女性密集场所增设心理疏导站,开展恐惧情绪调节的专项训练;针对男性群体则需加强愤怒情绪

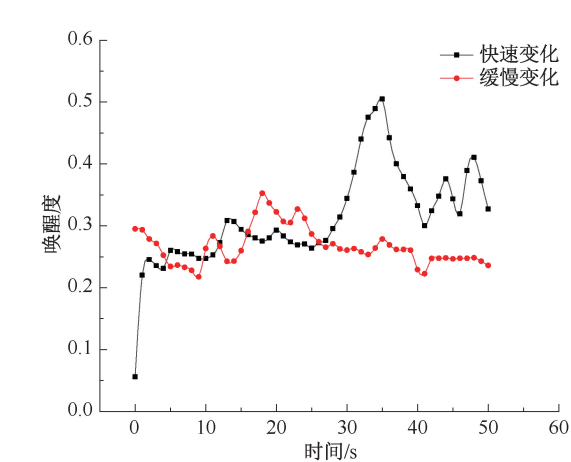


图 7 聚类人群唤醒度变化曲线

Fig. 7 Arousal profiles of clustered groups

管理,避免应激状态下的攻击性行为。

2) 从气质类型角度,不同人格特质的应激反应模式为:多血质个体情绪反应最为强烈,但调节速度最慢;黏液质则表现出情绪快速调节优势。

3) 从突发事故类型看,建筑火灾场景诱发恐惧情绪最为显著,且不同气质类型人群中均引发高强度的反应。这表明:不同突发事故会刺激不同群体的应激反应模式。因此,在制定应急预案和培训时,不仅要考虑人群的固有特征,如性别、气质等类型,还需结合具体的突发事故进行“场景-人群”精准匹配。建议针对建筑火灾需重点进行恐慌情绪控制,以提高应急疏散效率。

4) 基于 *k*-means 聚类的动态分析,创新性地将人群划分为反应快速型和反应缓慢型 2 类。聚类特征显示,反应快速型在男性组内中的比例显著高于女性组内占比,而黏液质人群的反应快速型组内占比远超其他气质类型。这一发现为应急人员选拔提供量化标准,建议优先将黏液质个体纳入核心应急响应团队,同时,针对多血质人群开发专门的情绪稳定性训练课程。

参 考 文 献

[1] BARRETT L F, ADOLPHS R, MARSELLA S, et al. Emotional expressions reconsidered: challenges to inferring emotion from human facial movements[J]. Psychological Science in the Public Interest, 2019,20(1): 1-68.

[2] 谢晶, 方平, 姜媛. 情绪测量方法的研究进展[J]. 心理科学, 2011,34(2): 488-493.

XIE Jing, FANG Ping, JIANG Yuan. Advances in emotion measuring methods[J]. Journal of Psychological Science, 2011,34(2): 488-493.

[3] 谢黎, 史丰硕, 康晓管. 情绪测量技术综述[J]. 大众标准化, 2023(18): 31-34.

[4] 袁晓芳, 周垚, 刘成, 等. 应急场景下矿工生理指标评估的试验研究[J]. 煤炭工程, 2020,52(5): 167-171.

YUAN Xiaofang, ZHOU Yao, LIU Cheng, et al. Experimental study on evaluation of miners' physiological indexes in emergency scenarios[J]. Coal Engineering, 2020,52(5): 167-171.

[5] 赵鹏飞, 贺阿红. 应急状态下情绪对个体心理变化的影响研究[J]. 矿业安全与环保, 2016,43(6): 107-111.

ZHAO Pengfei, HE Ahong. Study on impact of emotion on individual psychological changes under emergency state[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2016,43(6): 107-111.

[6] 陈娜, 蒋正彪, 李新建, 等. 虚拟火灾场景构建及个体应激生理反应测评[J]. 消防科学与技术, 2018,37(5): 698-702.

CHEN Na, JIANG Zhengbiao, LI Xinjian, et al. The construction of virtual fire scene and the assessment of physiological reaction of individual stress[J]. Fire Science and Technology, 2018,37(5): 698-702.

[7] 栗婧, 朱经政, 申彤. 面向公众的地震应激水平与影响因素评估[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2024,64(11): 1 893-1 901.

LI Jing, ZHU Jingzheng, SHEN Tong. Assessment of earthquake stress levels and influencing factors for the public[J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology, 2024,64(11): 1 893-1 901.

[8] 王树伟, 毛亮亮, 吴新阳, 等. 基于虚拟现实的灾害场景应激反应诱发方法[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2023,63(6): 960-967.

WANG Shuyi, MAO Liangliang, WU Xinyang, et al. Method of stress reaction induction in disaster scenarios based on virtual reality[J]. Journal of Tsinghua University:Science and Technology, 2023,63(6): 960-967.

[9] 杨超. 表情分析技术在可用性评估中的应用研究[D]. 杭州:浙江理工大学, 2015.

- Yang Chao. The application research of facial expression analysis method in usability evaluation: facereader as an example[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2015.
- [10] 刘萌萌, 荣莉莉, 郗子君. 风险感知视角下公共风险事件负面情绪演化建模与仿真研究[J]. 管理学报, 2025, 22(2): 366-375.
- LIU Mengmeng, RONG Lili, QIE Zijun. Research on the modeling and simulation of evolution of negative emotions in public risk events from the perspective of risk perception[J]. Chinese Journal of Management, 2025, 22(2): 366-375.
- [11] TERRACCIANO A, MERRITT M, ZONDERMAN A B, et al. Personality traits and sex differences in emotion recognition among African Americans and Caucasians[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2003: DOI: 10.1196/annals.1280.032.
- [12] 薛艳, 朱达清, 冯程, 等. 重大突发事件下大学生心理危机状况及干预研究[J]. 心理学探新, 2023, 43(2): 184-192.
- XUE Yan, ZHU Daqing, FENG Cheng, et al. Study on the college students' psychological crisis under major emergencies and its intervention[J]. Psychological Exploration, 2023, 43(2): 184-192.
- [13] 袁加锦, 汪宇, 鞠恩霞, 等. 情绪加工的性别差异及神经机制[J]. 心理科学进展, 2010, 18(12): 1 899-1 908.
- YUAN Jiajin, WANG Yu, JU Enxia, et al. Gender differences in emotional processing and its neural mechanisms[J]. Advances in Psychological Science, 2010, 18(12): 1 899-1 908.
- [14] 卢家楣. 对气质的情绪特性的探讨[J]. 心理科学, 1995, 18(1): 59-61, 58.
- [15] 邓社军, 虞宇浩, 张俊林, 等. 基于行人恐慌情绪解析的改进社会力模型[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(2): 45-52.
- DENG Shejun, YU Yuhao, ZHANG Junlin, et al. Improved social force model based on analysis of pedestrian panic emotion[J]. China Safety Science Journal, 2024, 34(2): 45-52.
- [16] SANTARCANGELO J, ZHANG Xiaoping. Dynamic time-alignment k-means kernel clustering for time sequence clustering [C]. IEEE International Conference on Image Processing, 2015: 2 532-2 536.
- [17] 蔡阿燕, 杨洁敏, 许爽, 等. 表达抑制调节负性情绪的男性优势: 来自事件相关电位的证据[J]. 心理学报, 2016, 48(5): 482-494.
- CAI Ayan, YANG Jiemin, XU Shuang, et al. The male advantage in regulating negative emotion by expressive suppression: an event-related potential study[J]. Acta Psychologica Sinica, 2016, 48(5): 482-494.



作者简介: 孟筠青 (1981—),男,河北邢台人,博士,副教授,主要从事粉尘与职业危害防治、火灾防治、特种设备安全、安全心理、数值模拟及仿真等方面的研究。E-mail: mengjunqing@cumtb.edu.cn。