

中文引用格式:王伟伟,温志强,杨晓燕,等. 驾驶情景诱发驾驶员负性情绪与认知负荷的关联分析[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(2): 27-36.

英文引用格式: WANG Weiwei, WEN Zhiqiang, YANG Xiaoyan, et al. Association analysis between driving-scenario-induced negative emotions and cognitive load in drivers[J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(2): 27-36.

驾驶情景诱发驾驶员负性情绪 与认知负荷的关联分析*

王伟伟 教授, 温志强**, 杨晓燕, 朋启钊, 张子豪, 史聪格
(陕西科技大学 人机工效研究中心, 陕西 西安 710021)

中图分类号: X911

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.02.0459

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金资助(23YJA760107); 陕西高校“青年杰出”人才支持计划项目(2020-50)。

【摘要】 为减少交通安全事故, 研究负性情绪对驾驶员认知负荷(CL)的作用机制, 并分析驾驶情景事件对情绪强度与多通道CL水平的影响; 通过模拟驾驶试验设计, 结合情绪诱发材料与驾驶模拟器, 并招募年轻驾驶员完成驾驶任务; 通过自我评估(SAM)量表、视觉-听觉-认知-运动(VACP)多维评估模型和回溯访谈, 系统解析负性情绪与CL的交互特征。结果表明: 负性情绪显著导致CL增加, 其中, 愤怒与恐惧易引发瞬时负荷波动, 而焦虑状态下的平均负荷最高。其次, 情景事件的压力源可诱发不同强度的负性情绪, 刹车加塞和突然变道等易触发高愤怒; 交通事故、行人闯红灯等易引起高恐惧; 陌生线路等易触发高焦虑。最后, 情绪强度与CL水平呈显著正相关, 高唤醒情绪导致视觉、认知及运动资源需求显著增加。

【关键词】 驾驶情景; 负性情绪; 年轻驾驶员; 认知负荷(CL); 视觉-听觉-认知-运动(VACP)

Association analysis between driving-scenario-induced negative emotions and cognitive load in drivers

WANG Weiwei, WEN Zhiqiang, YANG Xiaoyan, PENG Qizhao, ZHANG Zihao, SHI Congge
(Research Center for Ergonomics, Shaanxi University of Science and Technology,
Xi'an Shaanxi 710021, China)

Abstract: In order to reduce traffic safety incidents, the mechanism by which negative emotions affect drivers' CL was investigated, and the influence of driving scenarios on emotional intensity and multi-channel CL levels was analyzed. A simulated driving experiment was designed, integrating emotion-inducing materials with a driving simulator, and young drivers were recruited to complete driving tasks. The interaction characteristics between negative emotions and CL were systematically examined through the Self-Assessment Manikin (SAM) scale, the VACP multidimensional assessment model, and retrospective

* 文章编号: 1003-3033(2026)02-0027-10; 收稿日期: 2025-10-15; 修稿日期: 2025-12-22

** 通信作者: 温志强(1997—), 男, 河北张家口人, 博士研究生, 主要研究方向为驾驶人因安全、人机交互和工效学。E-mail: bs231011006@sust.edu.cn。

interviews. The results indicate that negative emotions significantly increase CL. Specifically, anger and fear tend to trigger transient fluctuations in load, whereas anxiety is associated with the highest average load level. Furthermore, stressors embedded in driving scenarios induce negative emotions of varying intensities; aggressive cut-ins and sudden lane changes commonly elicited high levels of anger. Traffic accidents and pedestrians running red lights predominantly evoke intense fear, and unfamiliar routes primarily trigger heightened anxiety. Finally, emotional intensity is significantly positively correlated with CL level, highly arousing emotions lead to a substantial increase in the demand for visual, cognitive, and motor resources.

Keywords: driving scenarios; negative emotions; young drivers; cognitive load (CL); visual-auditory-cognitive-physical (VACP)

0 引言

世界卫生组织《2023 年全球道路安全现状报告》指出,道路交通事故已连续 10 余年成为青年人(18~29 岁)死亡的首要原因。我国的一份报告显示,驾龄不足 3 年的年轻驾驶员引发的事故占总量的 1/3^[1]。交通事故是由多种因素引起,但约 90% 与人为因素有关,包括情绪、使用通信设备、酒后驾驶和吸毒等^[2]。年轻驾驶员由于驾驶经验不足、情绪调节能力较弱,更易发生情绪波动,从而增加驾驶安全风险。开展年轻驾驶员在驾驶过程中的主观情绪因素,特别是负性情绪的研究,对减少交通安全事故具有重要意义。

根据 Lazarus 的情绪评估理论,情绪生成源于个体对情景威胁性的动态评估,该机制直接影响情绪效价与强度^[3]。驾驶情景中,交通环境要素、基础设施状态及他车行为特征构成了主要外部刺激源。常见驾驶情绪包括恐惧、快乐、愤怒、悲伤、尴尬、焦虑等。交通环境顺畅、自然景观可引起驾驶员快乐等正性情绪,而交通冲突事件易引起愤怒等负性情绪^[4]。研究证实,驾驶情景中的特定刺激源通过认知评估诱发负性情绪,进而影响驾驶绩效与认知资源分配。在交通拥堵情景,任务重复与路径受限易触发愤怒或焦虑情绪,此类情绪激活可导致注意力窄化与认知资源耗竭^[5]。同时,负性情绪通过多重路径影响认知系统,分别为:①认知资源竞争机制,情绪刺激通过注意偏向效应争夺有限认知资源;②执行功能抑制机制,前额叶皮层调控能力受损;③决策路径改变机制,风险感知与行为选择模式异化,如恐惧和焦虑情绪会对触发事件过度关注,忽视其他重要信息。神经学研究揭示了负性情绪会降低与前额叶皮层(Prefrontal Cortex, PFC)相关的执行功能。如急性压力会损害工作记忆、认知灵活性和

认知抑制,从而降低认知评估能力^[6]。然而,JOEN 等^[7]通过多维负荷评估模型发现,不同情绪状态的认知负荷(Cognitive Load, CL)无显著差异。

综上,当前研究从多角度分析了负性情绪对认知负荷的影响,但存在以下不足:①研究仅面向单一情绪,缺少对不同情绪类型的对比分析,且主要结论尚存在一些分歧;②情绪与负荷均有不同等级之分,尚未结合驾驶场景进行深入分类研究;③对多通道认知资源的分布规律研究不足。因此,笔者拟通过标准化非驾驶视频材料诱发年轻驾驶员的负性情绪,基于模拟驾驶试验,分析情绪类型对 CL 的作用特征,同时探究驾驶情景事件、情绪强度和 CL 水平之间的相关性,以期更好地预防年轻驾驶员交通事故的发生、提高情绪检测和调节干预水平。

1 模拟驾驶情景试验方法

1.1 被试

要求被试持有机动车驾驶证和具备至少 1 年驾驶经验,月均驾驶里程 320~450 km,视力或矫正视力正常。最终招募 147 名被试(男性 80 名,女性 67 名),年龄介于 20~29 岁(均值 $M = 24.83 \pm 1.93$)。

1.2 模拟驾驶试验准备

1) 试验材料与场景如图 1 所示。试验设备由一个固定底座的驾驶模拟器和显示系统组成(图 1b,图 1c),模拟器固定在显示器前方(显示器尺寸为 19 英寸,1 920×1 080 px,60 Hz),音响设备位于显示器下方。基于 3D Instructor 3.0 软件构建标准化城市道路场景,其具备较高的驾驶仿真操作体验,可呈现包括道路交通标志、信号灯、行人、来车等交通元素,支持调整交通环境参数,设置拥

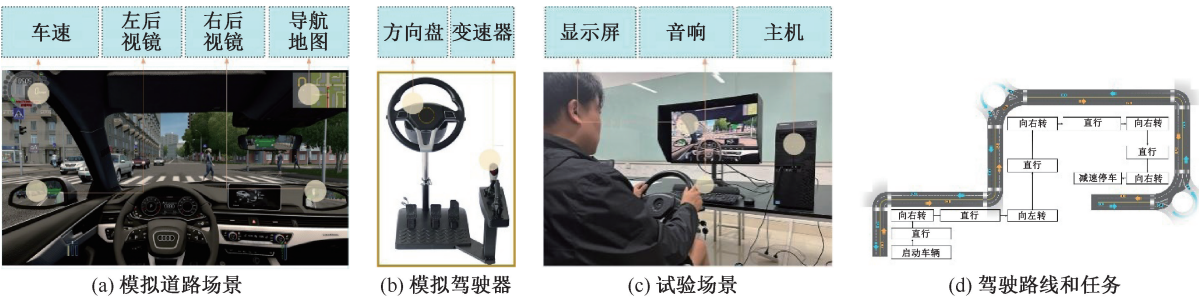


图 1 试验材料与场景

Fig. 1 Experimental materials and scenes

堵、交通事故和违规驾驶等突发事件。同时支持自定义驾驶路线和环境条件,实现对驾驶任务的结构化操控。界面显示如图 1a 所示,试验设定为白天,晴朗天气,限速 50 km/h。驾驶路线和任务如图 1d 所示。

2) 自行录制 16 段非驾驶视频材料以诱发特定负性情绪,每组各配置 4 段。平静组内容为自然景观等中性情景;愤怒组包含暴力冲突、权力侵犯等事件;恐惧组聚焦突发性危险情景,如自然灾害、幽闭空间等;焦虑组包括职场竞争、工作等多维压力场景。诱导材料片段见表 1,目标情绪强度均值高于 7 级。

表 1 驾驶员情绪诱导材料

Table 1 Driver's Emotion Inducing Materials		
目标情绪	视频内容	强度值
中性	呈现森林、落日、海滩和山水等自然景观	2.32
愤怒	《金陵十三钗》中侵略者暴行;项目方案被窃取且申诉失败;商家以劣质原料违规制作食品;网红虐猫事件	8.19
恐惧	地震实录等自然突发事件;电梯发生故障,人被困在里面;飞机高空坠落,发生惨烈事故;播放持刀伤人事件和事故现场	7.68
焦虑	《令人心动的 offer》中高压面试与严厉考核;房贷/车贷/花呗等逾期提示;工作难度大,截止期限临近;社交困难者被安排上台演讲,事先未准备	7.15

为验证诱导视频效度,招募 18 名被试(10 名男性,8 名女性,年龄为 (23.6 ± 2.1) 岁)进行试点测试。刺激材料通过显示屏呈现,每段视频播放 60 ± 0.5 s。采用重复测量设计,被试在播放结束后使用自我评估(Self-Assessment Manikin, SAM)量表评估

情绪。经 Shapiro-Wilk 检验确认数据正态分布($W > 0.9, p > 0.05$),采用单因素方差分析(Analysis of Variance, ANOVA)检验。结果显示,4 类视频在愉悦度(统计量 $F(3,51) = 36.27, p < 0.001$,效应量 $\eta^2 = 0.556$)、唤醒度($F(3,51) = 42.91, p < 0.001, \eta^2 = 0.597$)和优势度($F(3,51) = 29.45, p < 0.001, \eta^2 = 0.504$)均存在显著组间差异。Bonferroni 事后多重比较显示:与中性视频相比,愤怒视频愉悦度更低(均值差(Mean Deviation, MD) = -4.22 , 95% 置信区间(Confidence interval, CI) $[-5.28, -3.16], p < 0.001$),恐惧视频唤醒度显著更高(MD = $+3.95$, 95% CI $[2.98, 4.92], p < 0.001$),焦虑视频优势度显著更低(MD = -3.78 , 95% CI $[-4.83, -2.73], p < 0.001$)。量表内部一致性良好(Cronbach's $\alpha = 0.834$)。

1.3 模拟驾驶试验测量

1) 情绪自评量表。BRADLEY^[8]提出标准化评估体系,通过采用 SAM 量表测量情绪的愉悦度、唤醒度和支配度。采用 9 级李克特量表,被试依据即时情绪状态选择对应图标位置,见表 2。

表 2 SAM 量表

Table 2 SAM scale

维度	9 级 Likert 量表
愉悦度	
唤醒度	
优势度	

2) 视觉-听觉-认知-运动 (Visual-Auditory-Cognitive-Physical, VACP) CL 模型。CL 是衡量驾驶员认知资源消耗、任务难度和行为表现的重要指标。模型基于多重资源理论,通过视觉、听觉、认知和运动资源需求维度构建负荷评估体系^[9]。建模前需要将驾驶任务分解成感知、决策、执行 3 层任务。感知层消耗视听资源,决策层占用认知资源,执行层占用运动资源。此外,为准确映射任务与 VACP 资源的关系,实现认知负荷的量化,需将任务分解为时空连续的子任务。单位时间内,驾驶员在 4 个通道占用的资源即为该通道的 CL,分别用 W_V, W_A, W_C 和 W_P 表示,总 CL (W) 为 4 个通道负荷之和,公式如下:

$$W_V = \sum_{i=0}^n (E_{ii}^V \times L_{ii}^V) \tag{1}$$

$$W_A = \sum_{i=0}^n (E_{ii}^A \times L_{ii}^A) \tag{2}$$

$$W_C = \sum_{i=0}^n (E_{ii}^C \times L_{ii}^C) \tag{3}$$

$$W_P = \sum_{i=0}^n (E_{ii}^P \times L_{ii}^P) \tag{4}$$

$$W = W_V + W_A + W_C + W_P \tag{5}$$

式中: t_i 为第 i 个行为子任务, $i = 0, 1, \dots, n$; E_{ii} 为某项对应资源在第 i 个行为子任务的存在情况,当第 i 个行为任务在 t 时刻存在时, $E_{ii} = 1$, 否则 $E_{ii} = 0$; L_{ii} 为第 i 个行为任务在某通道的资源占用评分。

1.4 模拟驾驶试验流程

采用被试间设计,将 147 名被试随机分为:对照组(平静组 $n = 36$)和试验组(愤怒组 $n = 37$;恐惧组 $n = 37$;焦虑组 $n = 37$)。试验流程如图 2 所示。

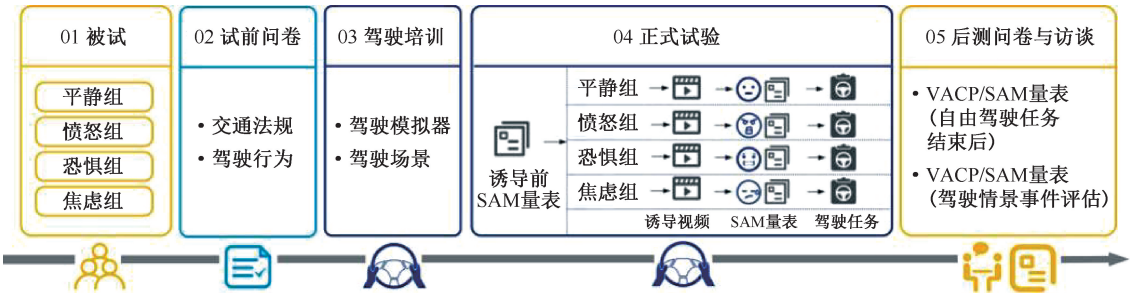


图 2 试验流程

Fig. 2 Experimental procedure

步骤 1:试前问卷。被试填写试验知情同意书,并完成有关交通法规方面的提问。

步骤 2:驾驶培训。试验前进行 10 min 训练,包括方向盘、油门、刹车等基础操作,期间未暴露任何驾驶情景或行驶路线。

步骤 3:正式驾驶。采用与预试验相同的诱导程序。被试根据预先设定路线自由驾驶 15 min,并按照交通规范完成指定车位泊车。对照组试验结束后,试验组按照相同流程完成测试。

步骤 4:测试后量表和访谈。每组试验结束后,被试首先填写 SAM 量表,其次使用 VACP 量表评估自由驾驶任务的负荷,评分准则见表 3。然后,试验员对被试开展半结构化回溯访谈。访谈包含 3 个主要预设问题:“请描述哪些驾驶场景引发了您的情绪,属于什么类型”“这些情景引发的情绪强度如何”和“该(类型、强度)情绪感受发生后,您的注意力或任务处理方式是否发生变化”。最后,试验员根据被试回答进行适时非诱导性追问。访谈结束后,被试根据驾驶情景再次完成 SAM 量表和 VACP

量表评估。

表 3 模拟驾驶 VACP 评分准则

Table 3 VACP scoring criteria for simulated driving		
通道	评分	任务描述
视觉(V)	0	不存在视觉
	1.0	视觉发现信号出现
	3.7	视觉判别信号类别属性
	4.0	视觉核对信息
	5.0	视觉定位聚焦信号
	5.4	视觉持续追踪信号目标变化
	5.9	视觉阅读文字或细节特征
	7.0	视觉搜索、监控多源信息
听觉(A)	0	不存在听觉
	1.0	听到声音,察觉声音出现
	2.0	定位声音方向(一个声音)
	4.2	定位声音方位(多个声音)
	4.3	核实声音上的反馈
	4.9	理解声音内容
	6.6	辨别和区分声音特点
	7.0	解读声音的含义

续表 3

通道	评分	任务描述
认知 (C)	0	不存在认知
	1.0	没有意识,简单反应
	1.2	在多个物体选择某个目标
	3.7	确认信息含义,匹配规则与特征
	4.6	单因素评估决策
	5.3	回忆,解析多源信息逻辑
	6.8	多因素权衡后决策
	7.0	数学计算、心算
精神运动 (P)	0	不存在运动
	1.0	简单呼叫和讲话
	2.2	简单运动,如踩油门或刹车等
	2.6	执行 2 个连续操作
	4.6	多关节协调完成动作系列
	5.8	精细操作,如旋转按钮
	6.5	书写记录信息
	7.0	键盘输入信息

2 驾驶情景、情绪和 CL 的相关性

2.1 负性情绪与 CL 的关联分析

1) 情绪诱导信效度。1 名被试因数据无效被排除。SAM 量表信度检验显示,Cronbach’s α 系数为 0.836(表 4),评估数据具有良好信度。

表 4 SAM 量表信度分析

Table 4 reliability analysis of SAM scale					
项目	个案处理摘要			可靠性分析	
	统计	个案数	占比/%	Cronbach’s α	项数
个案	有效	146	99.3	0.836	3
	排除	1	0.7	—	—
	总计	147	100.0	—	—

Shapiro-Wilk 检验证实数据呈非正态分布($W = 0.86, p < 0.001$),故采用 Kruskal-Wallis 非参数检验,见表 5,4 个情绪组在愉悦度($H = 22.688, p < 0.001, df = 3, Kendall’s W = 0.51$)、唤醒度(检验统计量 $H = 23.812$, 自由度 $df = 3, p < 0.001, W = 0.53$)和支配度($H = 22.706, df = 3, p < 0.001, W = 0.51$)均存在显著差异,且均值结果符合量表评分标准,证明情绪被成功诱发。

表 5 SAM 量表非参数检验

评价维度	情绪组	均值	H-value	p 值
愉悦度	平静	4.92	22.688	0.000
	愤怒	2.08		
	恐惧	2.58		
	焦虑	1.92		

续表 5

评价维度	情绪组	均值	H-value	p 值
唤醒度	平静	2.17	23.812	0.000
	愤怒	7.17		
	恐惧组	6.08		
	焦虑组	7.08		
支配度	平静组	6.08	22.706	0.000
	愤怒组	1.92		
	恐惧组	3.42		
	焦虑组	2.08		

2) 负性情绪下的认知负荷分析。2 名被试因晕动症提前终止了试验,1 人量表数据无效(表 4),最终纳入 144 份有效数据。被试基于 VACP 评分准则评估各项二级任务所需的资源负荷,根据式(5)计算各节点的 W,并按照任务分解序列和统计数据结果,形成连续 CL 变化曲线,如图 3 所示。图中展示了从“启动车辆”到“减速停车”,驾驶员的 CL 变化。其中,平静组 CL 基线最低,波动平缓($M = 6.26$,标准差(Standard Deviation,SD)= 2.16),反映了常规驾驶的资源需求特征。

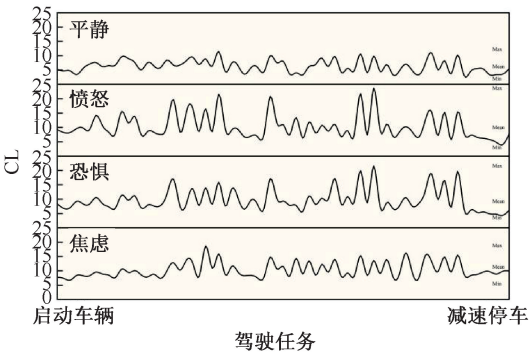


图 3 负性情绪下年轻驾驶员的 CL 变化

Fig.3 Changes of CL of young drivers under negative emotions

愤怒组的负荷均值($M = 10.27, SD = 4.92$)较高,负荷曲线波动范围最大($CL = 4.02 \sim 23.70$),恐惧组负荷($M = 9.71, SD = 4.36, CL = 21.53$)低于愤怒组,但曲线特征与愤怒组相似。焦虑组的负荷曲线呈现持续高位特征($M = 10.32, SD = 3.18$),但波动较为平缓,其最小负荷值($CL = 6.75$)为试验组最高,最大负荷($CL = 18.69$)较低于愤怒/恐惧组($p < 0.05$)。

Shapiro-Wilk 检验显示,4 组数据均符合正态分布($p > 0.05$)。单因素 ANOVA 检验显示负性情绪对 CL 存在显著影响, $F(3, 140) = 12.84, p < 0.001$,效应量 $\eta^2 = 0.39$ 。杜凯氏诚实显著差异

(Tukey's Honestly Significant Difference, Tukey HSD)检验发现,试验组负荷均显著高于对照组(愤怒组: $p<0.001$,效应量 $d=0.72$;恐惧组: $p<0.001$, $d=0.61$;焦虑组: $p<0.001$, $d=0.52$)。组间差异方面,愤怒组与焦虑组($p=0.035$, $d=0.67$)、恐惧组与焦虑组($p=0.012$, $d=0.55$)差异显著。

2.2 驾驶情景、情绪强度和多通道 CL

研究采集的 SAM 量表、VACP 模型及回溯访谈数据均完整有效。在异常值检测方面,采用 ± 3 倍标准差作为筛查阈值以识别潜在离群值,并结合回溯访谈、量表评分及情景综合判断异常值合理性。

1) 引起负性情绪的驾驶情景事件结果。统计了主要驾驶情景事件(发生频率 $\geq 80\%$)。愤怒触发事件主要为堵车(31.4%)、别车加塞(21.1%)、

刹车缓行(19.2%)和突然变道(17.0%);恐惧触发事件主要为交通事故(27.3%)、复杂道路(19.4%)、行人闯红灯(17.1%)和突然变道(15.9%);焦虑触发事件主要为堵车(29.7%)、陌生线路(20.9%)、复杂道路(15.7%)和刹车缓行(13.8%)。

2) 愤怒强度与多通道认知负荷的相关性结果。根据数据分布,负荷等级划分为:单通道低[0, 7],中(7, 13],高(14, 25],总工作负荷低[0, 28],中(28, 56],高(56, 84]。情绪强度等级划分为:低[1,3]、中(3,6]、高(6,9]。限于篇幅,展示一位被试在别车加塞情景下的负荷评估结果(表 6),结果显示,其在 V、C 和 P 资源上负荷过载。

表 6 别车场景事件中驾驶任务的认知资源分析(愤怒情绪)

Table 6 Analysis of cognitive resources (anger) of driving tasks in different car scenes

项目	一级任务	二级任务	V	A	C	P
1	观察路况	1.1 判断与后车距离 1.2 确定声音方向 1.3 确认别车	5.9	2	3.7	0
2	评估道路风险	2.1 跟踪后方车辆的距离	7	1	6.8	0
		2.2 察觉声音				
		2.3 评估和判断碰撞风险				
3	降低车速	3.1 确认减速	0	0	3.7	5.8
		3.2 操作制动器				
4	调整行驶轨迹	4.1 确定与前方车辆的距离	5.0	0	3.7	4.6
		4.2 确认调整行驶轨迹				
		4.3 手动操作方向盘				
5	加速	5.1 确认加速	0	0	3.7	4.6
		5.2 连续调节油门				
合计			17.8	3.0	21.6	15.0

图 4 为不同情景下愤怒情绪强度与多通道负荷水平的相关性结果,由图 4 可知:结果呈显著线性正相关($p<0.001$),决定系数 R^2 范围为 0.76~0.95,尤其在别车和突然变道情景中表现最为显著。

图 5 为愤怒组被试在驾驶情景下的情绪强度与多通道 CL 的分布特征。其中,高愤怒出现 50 次。总负荷方面,高负荷 36 次、中负荷 30 次。情景差异性分析如下:①堵车情景中,多数被试表现为高愤怒,C 和 P 资源为高负荷。②别车加塞情景中,主要表现为高愤怒,V、C 和 P 资源均处于高负荷。③刹车缓行情景中,主要表现为中愤怒,V 和 C 资源处于高负荷。④突然变道情景中,主要表现为高愤怒,V、C 和 P 资源均处于高负荷。

2) 恐惧强度与多通道 CL 的相关性分析。通过

线性回归分析了恐惧情景(图 6),结果显示,所有场景下恐惧强度与 CL 水平呈显著正相关($p<0.001$),决定系数 R^2 范围为 0.78~0.94,在突然变道情景中表现最为显著。

图 7 为恐惧诱发情景下情绪强度与多通道 CL 的相关性。其中,高恐惧占 36 次,中恐惧 25 次。总负荷方面,高负荷 41 次、中负荷 22 次。情景差异性分析如下:①交通事故情景中,被试普遍表现为中和高恐惧,总体 CL 大多为高水平,V 和 C 资源为高负荷。②复杂道路情景中,恐惧情绪主要集中在中等水平,总体 CL 主要偏向中高,V、C 和 P 资源均处于高负荷。③闯红灯情景中,恐惧情绪主要表现为高和低 2 种,总体 CL 主要为高水平,C 资源为高负荷。④突然变道情景中,主要表现为高恐惧,总体 CL 为

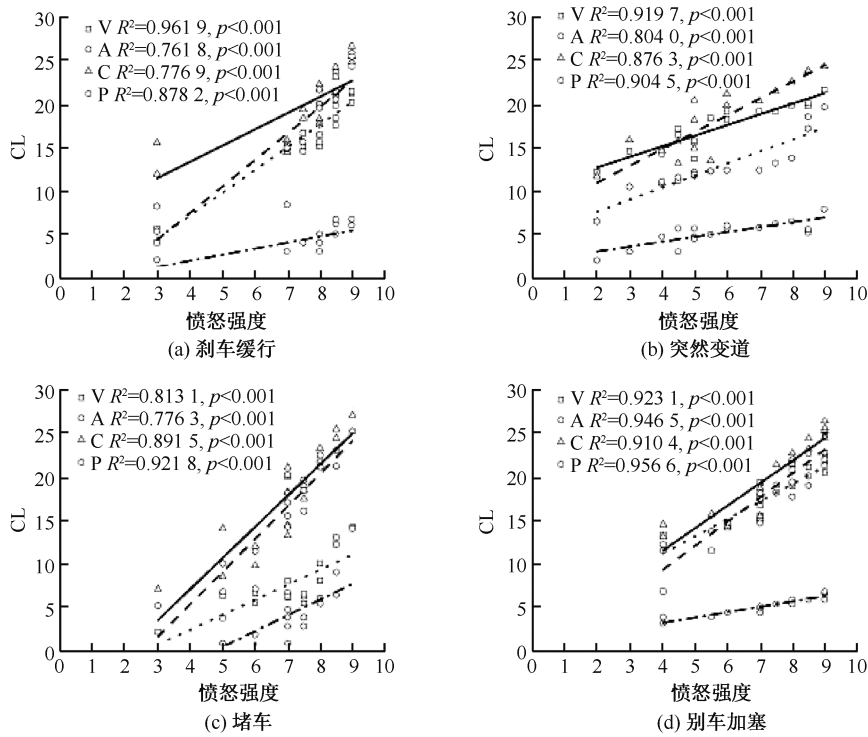


图 4 愤怒强度与 CL 水平的相关性分析
Fig. 4 Correlation analysis between anger intensity and CL level

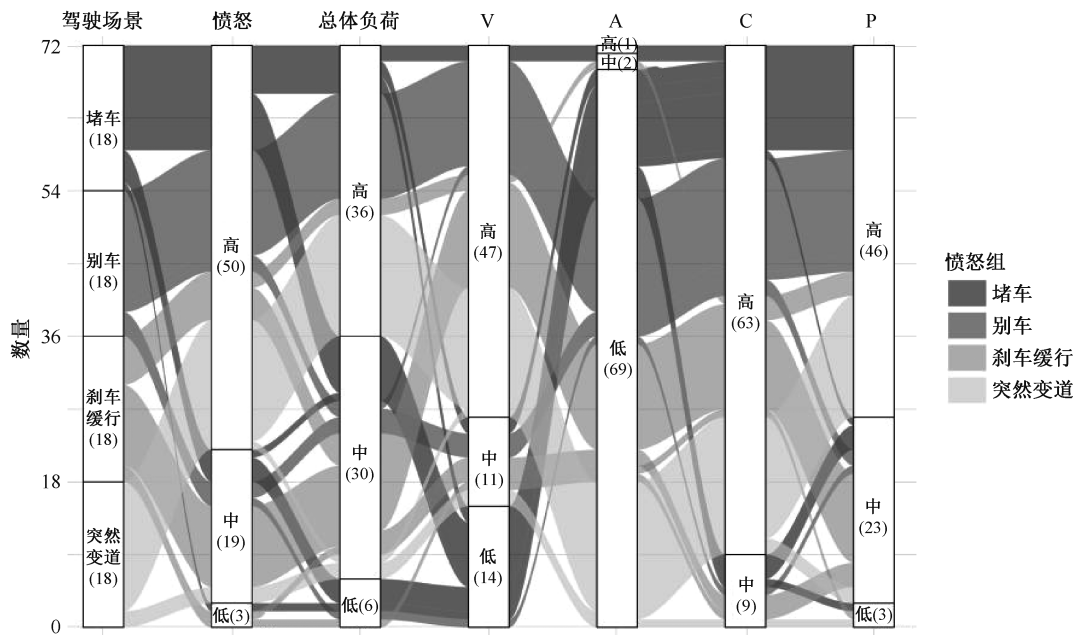


图 5 驾驶情景-愤怒情绪强度-CL 水平的相关性
Fig. 5 Correlation between driving scene, anger intensity and CL level

高水平, V、C 和 P 资源高负荷。

3) 焦虑强度与多通道 CL 的关联性分析。通过线性回归分析, 结果呈显著线性正相关 ($p < 0.001$), 决定系数 R^2 范围为 0.67~0.97, 尤其在陌生路线和复杂道路场景中表现最为显著。

驾驶情景-焦虑情绪强度-CL 水平的相关性。情绪强度方面, 中焦虑 31 次, 高焦虑 27 次。总体负荷方面, 中负荷 35 次, 高负荷 24 次。具体的情景统计结果如下: ①堵车情景中, 被试普遍表现为高和中焦虑, 总体 CL 主要为高和中水平, 认知资源主要为

高。②在陌生路线情景中,焦虑情绪主要集中在高和中等水平,总体 CL 主要偏向高,V、A 和 P 资源均处于高负荷。③复杂道路情景中,焦虑情绪主要表现为高和中 2 种,总体 CL 主要为高和中水平,其中,V、C 主要为高负荷。④刹车缓行情景中,中和低焦虑为主,总体认知负荷为中水平,C 资源为高负荷。

3 驾驶情景、负性情绪和 CL 的关联分析

3.1 负性情绪与 CL 的关联分析

图 5 中,试验组与对照组的 CL 对比数据表明:负性情绪对年轻驾驶员认知资源存在差异化影响。愤怒呈现显著负荷峰值和剧烈波动特征,其突发性高负荷状态与短期情绪强度正相关,这种瞬时超载

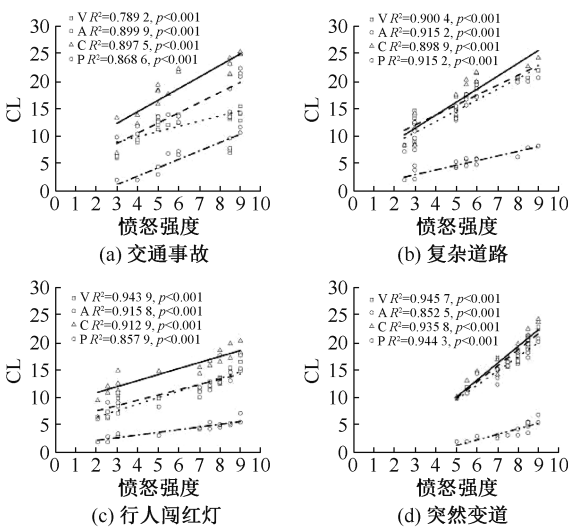


图 6 恐惧强度与 CL 水平的相关性分析
Fig. 6 Correlation analysis between fear intensity and CL level

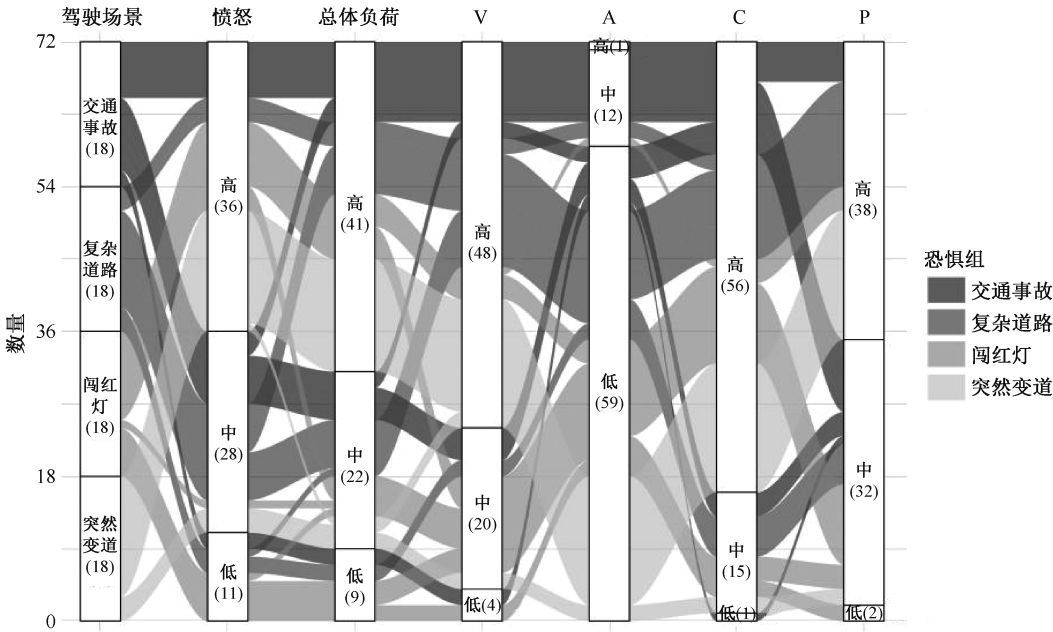


图 7 驾驶情景-恐惧情绪强度-CL 水平的相关性
Fig. 7 Correlation between driving scene, fear intensity and CL level

可能直接增加驾驶高风险。恐惧情绪组的负荷水平与波动幅度仅次于愤怒组,表明该情绪不仅持续占用认知资源,且遇突发危险时易引发瞬时高负荷。上述发现与多数研究结论一致^[10-11],但与 JEON 等^[7]关于“愤怒和恐惧情绪状态下认知工作负荷无显著差异”的结论存在分歧。推测这可能源于 2 方面因素:①试验设计。JEON 研究采用被试内设计,即要求被试在单次试验中依次经历多种情绪诱发并完成后评估任务,可能存在情绪诱导间的遗留效应。文中则采用组间设计,结合情绪与驾驶任务同

步范式,有效降低了情绪干扰。②测量方法差异。美国国家宇航局任务负荷指数(National Aeronautics and Space Administration-Task Load Index, NASA-TLX)量表在 JEON 研究中仅评估整体负荷值,而 VACP 模型能够评估多个通道的负荷,更精准地反映不同资源占用特征。

尽管焦虑组情绪波动强度较低,但其平均负荷值显著高于愤怒和恐惧组,这与 RUTTE 等^[12]的研究相悖。这种差异可能与以下因素有关:①试验设计。区别于 RUTTE 等采用的短暂单一刺激范式,文

中通过连续驾驶任务与驾驶模拟试验,更真实地反映焦虑在实际驾驶中持续累积并占用认知资源。②被试特征差异。面向前额叶调控不足、情绪调节能力较弱的年轻驾驶群体,其更容易出现反刍思维和认知资源消耗的现象。

3.2 驾驶情景与情绪类别、强度的关联分析

1) 诱发愤怒情绪的驾驶情景以安全预期违背或驾驶规范偏离为主要特征和刺激源,通过增强驾驶员威胁感知和认知偏差,形成情绪强度递增机制。堵车情景中,多数高愤怒被试提及,“交通十分拥堵,其他司机伴随着违规驾驶,这让我更愤怒”。这一现象表明驾驶员可能将他人违规行为归因于恶意,从而激活了情绪放大效应。别车加塞和突然变道情景易触发高愤怒。被试普遍在访谈中提到,“这种行为是恶意的,导致我当时差点撞车”。这表明当感到不公平、车辆失控或安全威胁时,情绪强度会显著增强。

2) 诱发恐惧情绪的驾驶场景具有高风险性、任务复杂性和不确定性等显著特征,通过增强驾驶员安全威胁感知和外源性压力,加剧情绪强度水平。交通事故情景易触发中高强度恐惧。高恐惧被试在访谈中表示,“经历过交通事故,现在看到类似情形仍感到害怕,经过时会更加小心”。表明个体生理应激机制、情绪记忆提取会加剧恐惧强度^[13]。部分中恐惧被试则认为,“事故只是偶然事件,很少会遇到”,表明适应性情绪调节会减轻情绪强度。行人闯红灯情景呈现恐惧强度两极分化。高恐惧源于对突发危险的即时感知,而低恐惧被试表现出情景脱敏特征^[14]。

3) 研究发现,具有持续压力源和未知威胁的驾驶情景更易诱发焦虑情绪,驾驶员感到不安和紧迫,加剧了情绪触发强度。堵车情景易引发高和中度焦虑情绪。高焦虑被试表示“堵车延误了时间,不知何时才能恢复正常,担心完不成任务”。表明时间压力和无法预知的不确定性加剧了焦虑。中焦虑被试提到“堵车可能马上会结束,再等等吧”。这种认知重构可能会减轻焦虑强度^[15]。

3.3 情绪强度与多通道 CL 水平的关联分析

1) 愤怒强度与 CL 水平呈显著正相关($p < 0.001$)。堵车情景导致 CL 增高可能由于愤怒激活了人脑的杏仁核等情绪中心^[16],在情绪抑制时过度占用认知资源;运动负荷提高可能源于冲动性操作行为的增加^[17]。别车加塞和突然变道情景的

视觉高负荷可能由于注意力过度聚焦在目标车辆和威胁信息^[18];认知高负荷源于愤怒使驾驶员反复思考这种“冒犯”行为,导致认知系统在情绪调节和决策过程中承受双重压力。

2) 恐惧强度与认知负荷水平呈显著正相关($p < 0.001$)。情绪强度提升加剧了与驾驶任务间的认知资源竞争,增加可用资源的需求消耗。交通事故情景导致认知高负荷可能与恐惧引发的生理反应及过度风险评估有关。复杂道路情景引起视觉高负荷可能与注意范围收缩有关,运动高负荷可能由于驾驶员的动作协调性降低引起。行人闯红灯情景导致视觉高负荷可能源于过度聚焦威胁信息。

3) 焦虑情绪强度与认知负荷水平呈现显著正相关($p < 0.001$)。不同于 VYTAL 等^[19]的研究结果,即低负荷条件下焦虑效应增强。笔者推测可能由于试验范式差异:文中采用自然驾驶场景中的持续性压力源,而 VYTAL 等通过实验室惊吓范式诱发急性焦虑,可能干扰认知资源的基线分配模式。堵车情景下,焦虑驱动的反刍思维会持续性占用工作记忆资源,形成稳态认知负荷。陌生路线和复杂道路情景易触发视觉高负荷可能由于目标切换频率增加和威胁信息优先加工导致。部分被试在访谈中提到“如果出错怎么办,驾驶会更加小心”,表明焦虑驱动的过度假设性思维会持续占用认知资源。

4 结 论

1) 负性情绪会增加年轻驾驶员的 CL。愤怒和恐惧易引起较大的负荷波动,而焦虑引起的平均 CL 最高。

2) 负性情绪由特定驾驶场景引发,这些场景具有类似的环境压力源,如安全威胁、时间压力和环境复杂性。

3) 情绪强度与多通道 CL 水平呈显著正相关。愤怒易引起视觉、认知和运动资源高负荷;恐惧增强视觉、听觉和认知通道压力;而焦虑状态易增强认知、视觉和运动资源负荷。以上结果为精细化识别年轻驾驶员在风险驾驶情景下的情绪和负荷状态,并实施合理的调节策略提供了理论支撑。

4) 研究存在以下不足:①采用主观问卷的负荷评价方法,存在时间滞后性和主观性缺陷,未来研究将纳入客观生理测量;②被试间的个体差异可能会影响试验结果。如个体情绪调节能力和驾驶经验差异,未来将考虑驾驶员个体特征。

参考文献

- [1] 刘玲莉,王玥. 低驾龄驾驶员路怒情绪对行为决策过程的影响[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(11):8-13.
LIU Lingli, WANG Yue. Impact of young novice driver's road anger emotion on his/her behavioral decision-making process [J]. China Safety Science Journal, 2018, 28(11): 8-13.
- [2] WAN Ping, JING Xiaowei, MA Youcai, et al. A pilot study on impact of mood state on emergency response capacity for young novice drivers[J]. Journal of Advanced Transportation, 2022;DOI:10.1155/2022/1411519.
- [3] LAZARUS R S. Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion[J]. American Psychologist, 1991, 46(8):819-834.
- [4] MUDRAK G, SEMWAL S K. Autonomous vehicle decision making and urban infrastructure optimization[J]. Intelligent Computing, 2021, 284(7): 1 190-1 202.
- [5] 郑新夷,康良凯,苏应屹,等. 注意偏侧化对驾驶视觉搜索的眼动表现证据[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(增1):207-211.
ZHENG Xinyi, KANG Liangkai, SU Yinghong, et al. Eye movement evidence of attention lateralization on driving visual search [J]. China Safety Science Journal, 2022,32 (S1): 207-211.
- [6] ZHAO Yanyan, WANG Danli, WANG Xinyuan, et al. Brain mechanisms underlying the influence of emotions on spatial decision-making: an EEG study[J]. Frontiers in Neuroscience, 2022, 16:DOI:10.3389/fnins.2022.989988.
- [7] JEON M, WALKER B N, YIM J B. Effects of specific emotions on subjective judgment, driving performance, and perceived workload[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, 24:197-209.
- [8] BRADLY M M, LANG P J. Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential[J]. Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 1994, 25(1):49-59.
- [9] ZHANG Yuxin, WEN Hanguan, DAI Xinyu, et al. Research on modeling in operator mental workload based on VACP method[J]. Quality and Reliability Engineering International, 2024, 40(1):19-33.
- [10] FISCHER C, HEIDER J, TAYLOR J, et al. Cognitive behavior therapy for driving fear: a pilot randomized controlled trial[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2021, 83:118-129.
- [11] GANYE D, SMITH K. Examining the effects of cognitive load on information systems security policy compliance[J]. Internet Research, 2025, 35(1):380-418.
- [12] RUTTE L A, SCHEUER L, VAHIA I V, et al. Emotion sensitivity and self-reported symptoms of generalized anxiety disorder across the lifespan: a population-based sample approach[J]. Brain and Behavior, 2019, 9: DOI: 10.1002/brb3.1282.
- [13] WANG Zhihao, NAN Tian, GOERLICH K S, et al. Neurocomputational mechanisms underlying fear-biased adaptation learning in changing environments[J]. PLoS Biology, 2023, 21(5):DOI:10.1371/journal.pbio.3001724.
- [14] WU Zizhang, CHEN Xinyuan, WEI Hongyang, et al. ADD: an automatic desensitization fisheye dataset for autonomous driving[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023, 126: DOI:10.1016/j.engappai.2023.106766.
- [15] WRIGHT L J, VELDTHUIZEN V Z, WILLIAMS, S E. Examining the associations between physical activity, self-esteem, perceived stress, and internalizing symptoms among older adolescents[J]. Journal of Adolescence, 2023, 95(6):1 274-1 287.
- [16] HAMANN S B, ELY T D, HOFFMAN J M, et al. Ecstasy and agony: activation of the human amygdala in positive and negative emotion[J]. Psychological Science, 2002, 213(2):135-141.
- [17] LIU Yaqi, WANG Xiaoyuan, CHEN Longfei, et al. Driver's visual attention characteristics and their emotional influencing mechanism under different cognitive tasks[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022,19(9):DOI:10.3390/IJERPH19095059.
- [18] 张殿业,程静,张艺. 情绪对驾驶行为影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2018, 28(10):19-24.
ZHANG Dianye, CHENG Jing, ZHANG Yi. Study on the influence of emotion on driving behavior [J]. China Safety Science Journal, 2018,28 (10): 19-24.
- [19] VYTAL K E, CORNWELL B R, LETKIEWICZ A M, et al. The complex interaction between anxiety and cognition: insight from spatial and verbal working memory[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2013, 7:DOI:10.3389/fnhum.2013.00093.



作者简介: 王伟伟 (1983—),男,山西长治人,博士,教授,博士生导师,主要从事驾驶人因安全、人机交互和工效学方面的研究。E-mail: wangweiwei@sust.edu.cn。