

中文引用格式:徐磊,崔雄博,赵刘昌,等.面向典型风险情景的驾驶人潜在风险感知能力评估[J].中国安全科学学报,2025,35(4):181-188.

英文引用格式:XU Lei, CUI Xiongbo, ZHAO Liuchang, et al. Assessment of drivers' potential hazard perception ability for typical risk scenarios[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(4): 181-188.

# 面向典型风险情景的驾驶人潜在风险感知能力评估\*

徐磊 副教授, 崔雄博, 赵刘昌, 任超宇, 彭金栓\*\* 教授

(重庆交通大学 交通运输学院, 重庆 400074)

中图分类号: X951 文献标志码: A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.04.1071

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金资助(24YJAZH110); 重庆市高校创新研究群体项目(CXQT21022); 重庆市自然科学基金资助(CSTB2022NSCQ-MSX0549)。

**【摘要】** 为降低交通事故风险,组织实车试验,研究熟练驾驶人和非熟练驾驶人在动态跟随摩托车和平行超车2种典型风险情景下的潜在风险感知能力差异;采用可穿戴式眼动仪采集驾驶人的动态视觉参数,分析驾驶人在不同情景下的视觉特性。结果表明:熟练驾驶人相比非熟练驾驶人在2种场景下的风险感知能力显著性更强,尤其在动态跟随摩托车场景中,熟练驾驶人表现出更高的前方远处注视概率,能够更好地预测前方交通状况;在平行超车场景中,熟练驾驶人的注视时间更短,且其水平搜索广度和垂直搜索深度更大。此外,对后视镜的注视时间占比显著高于非熟练驾驶人,具有更高的视觉搜索效率和更强的后方交通监控能力。基于灰色近优综合评价法评估结果,熟练驾驶人的危险感知能力得分显著高于非熟练驾驶人。

**【关键词】** 驾驶人; 潜在风险感知能力; 驾驶安全; 动态跟随摩托车; 平行超车; 灰色近优综合评价法

## Assessment of drivers' potential hazard perception ability for typical risk scenarios

XU Lei, CUI Xiongbo, ZHAO Liuchang, REN Chaoyu, PENG Jinshuan

(School of Transportation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** To reduce traffic accident risks, on-road experiments were conducted to investigate the differences in potential risk perception ability between skilled and unskilled drivers under two typical risk scenarios: dynamic motorcycle-following and parallel overtaking. A wearable eye tracker was employed to collect drivers' dynamic visual parameters, with their visual characteristics analyzed across different scenarios. The results demonstrate that skilled drivers exhibit significantly stronger risk perception abilities than unskilled drivers in both scenarios. Specifically, in the dynamic motorcycle-following scenario, skilled drivers show a higher probability of fixating on distant areas ahead, enabling better prediction of upcoming traffic conditions. In the parallel overtaking scenario, skilled drivers display shorter fixation durations, along with greater horizontal search breadth and vertical search depth. Moreover, the proportion

\* 文章编号:1003-3033(2025)04-0181-08; 收稿日期:2024-12-14; 修稿日期:2025-02-20

\*\* 通信作者:彭金栓(1982—),男,安徽太和人,博士,教授,主要从事交通人因与安全等方面的研究。E-mail: pengjinshuan@cqjtu.edu.cn。

of fixation time on rearview mirrors is significantly higher for skilled drivers compared to unskilled drivers, indicating superior visual search efficiency and enhanced rear traffic monitoring capability. Evaluations using the grey near-optimal comprehensive evaluation method reveal that skilled drivers achieved significantly higher scores in hazard perception ability.

**Keywords:** drivers; hazard perception ability; driving safety; dynamic motorcycle-following; parallel overtaking; grey near-optimal comprehensive evaluation method

## 0 引言

在驾驶过程中,驾驶人对道路交通环境中潜在风险识别和预测的能力称为潜在风险感知能力<sup>[1]</sup>。这一能力是关键驾驶技能,能够帮助驾驶人提前识别潜在危险因素并采取相应的预防措施,以减少交通事故的发生。相关研究表明:交通事故总数的40%~45%是由驾驶人危险感知错误导致的<sup>[2]</sup>,若驾驶人能在事故发生前1 s识别出环境中的潜在风险,则可减少30%的碰撞事故<sup>[3]</sup>。因此,研究驾驶人在典型风险情景下的潜在风险感知能力,对于促进驾驶安全至关重要。

驾驶人对道路潜在风险的感知是判断、决策及操作的先导环节,评估和识别驾驶人的潜在风险感知能力是提高道路安全、减少事故发生的重要一环<sup>[4]</sup>。不同场景下,驾驶人的潜在风险感知能力也不尽相同。KAZUYUKI等<sup>[5]</sup>分析了低收入和中等收入国家的道路事故死亡率,结果显示,摩托车事故导致的年均死亡人数已超过28 000人,呈显著上升趋势。根据世界卫生组织2023年发布的全球道路安全状况报告,摩托车驾驶人占全球道路交通事故死亡人数的21%<sup>[6]</sup>。进一步分析发现,人为因素是导致事故发生的主要原因。KUNNAWEE等<sup>[7]</sup>分析了泰国1 001起摩托车事故发现,驾驶人的感知错误是导致事故的主要原因,占有所有道路交通事故的49%。VLAHOIANNI等<sup>[8]</sup>研究了城市干道摩托车行驶行为,发现摩托车驾驶人常表现出极端行为,如超速、随意变道和不遵守交通信号等。这些行为在密集交通条件下显著增加了后方汽车驾驶人感知潜在风险的难度,构成典型可见潜在风险场景。

同时,超车场景也是一个高风险且容易被忽视的场景,其潜在危险源往往具有隐蔽性。GAO Minghao等<sup>[9]</sup>指出,全球交通事故中,约有6%的事故是由超车操作引起的,而这些事故导致的死亡占比约9%;吕贞等<sup>[10]</sup>通过眼动仪研究发现,超车时驾驶人需在短时间内做出复杂决策,从而显著增加脑力的强度。在每年与超车相关的道路交通事故中,

新手驾驶人所占比例相对较大,是年长且经验丰富驾驶人的2倍<sup>[11]</sup>。尽管超车过程时间较短,但其中涉及的驾驶行为复杂,包括跟驰、车道变换和加速等一系列操作,需要驾驶人在短时间内通过视觉获取目标车道的安全插入间距以及原始车道的安全跟驰距离等交通信息,对其视觉行为要求较高。

尽管现有研究在识别和评估驾驶人潜在风险感知能力方面取得了显著进展,但仍存在一些不足:①较少细致区分潜在风险类型,对隐蔽潜在风险场景的研究尤其匮乏;②针对摩托车与汽车混行的场景,现多以摩托车为研究对象,考虑汽车对其潜在的风险,缺乏摩托车对汽车潜在风险的探讨;③针对超车场景的研究主要集中于双车道条件下对向来车会车的场景,缺乏对同向车道车辆的研究。鉴于此,笔者拟选取2个具有代表性的场景进行实车试验:动态跟随摩托车场景(可见潜在风险)和平行超车场景(隐蔽潜在风险)。通过利用可穿戴式眼动仪采集驾驶人的视觉信息,量化分析不同场景下驾驶人的潜在风险感知特性。以期丰富驾驶安全评估理论框架,还能为交通隐患排查和交通安全管理措施制定提供理论参考。

## 1 典型风险场景下的实车试验

### 1.1 实车试验场景

选取重庆市主城区约73 km的试验路线,包括城市道路和快速干道,起点为学府大道重庆交通大学,途经兰花路、回龙路、内环快速路,经鹅公岩大桥返回,涵盖摩托车与汽车混行和平行超车2种典型风险场景。

### 1.2 试验人员

共招募18名男性和16名女性驾驶人,年龄范围为21~58岁,驾驶经验1~25年。根据驾龄和实际驾驶经验,参与者被分为2组:第1组包括驾驶年限少于3年且总里程未超过30 000 km的非熟练驾驶员;第2组包括驾驶年限超过3年且累计里程达到50 000 km以上的熟练驾驶员。所有被试身体状

况良好,视力正常,并确保睡眠充足。被试人员基本信息见表1。

表1 被试人员基本信息

Table 1 Basic information of participants

类别	性别	人数	年龄/岁	驾龄/a	驾驶里程/ 10 <sup>4</sup> km
非熟练	男	9	23.8±1.85	0.52±0.28	0.94±0.50
	女	7	24.3±0.94	1.26±1.64	1.11±0.43
	合计	16	24.03±1.50	0.89±1.20	1.01±0.37
熟练	男	9	36.2±8.98	12.13±5.32	20.67±8.25
	女	9	40.4±12.09	13±10.34	25.11±19.16
	合计	18	38.3±10.16	12.56±7.64	22.89±14.78

### 1.3 试验设备

采用 Tobii Pro Glasses 2 型可穿戴式眼动仪,配备4个眼动摄像机,能够以1920×1080分辨率记录25帧/s的视频,眼动采集的视野范围为水平160°、垂直70°。眼动数据以50 Hz的频率采集,涵盖注视点、注视时间以及视线移动轨迹等关键参数。试验车辆为2021款日产轩逸小轿车,在车前挡风玻璃处安装前置摄像头,实时记录驾驶人视野中的实际道路情况,为驾驶行为分析提供全面的数据支持。

### 1.4 典型潜在风险场景选取

1) 动态跟随摩托车(场景1)。动态跟随摩托车场景指在没有非机动车道的城市道路上,汽车与摩托车混行并保持跟随的场景。驾驶人需持续监控摩托车的速度和位置变化,调整车速以保持安全车距,并及时应对摩托车的突然变道或减速,预防交通事故。由于危险源在驾驶人可见范围之内,属于典型可见潜在风险场景。定义摩托车进入视野时为场景开始,离开视野时为场景结束,如图1a和图1b所示。

2) 平行超车(场景2)。平行超车情景指在同向多车道道路上,自车逐渐平行超越右侧车辆的驾驶情境。该过程驾驶人需实时关注右侧车道被超车车辆的后方车辆动态,即潜在目标车辆(图2虚线车辆),其可能伺机向左变道,尝试超越自车,存在潜在的碰撞事故风险(图2)。由于危险源的隐蔽性,属于典型的隐蔽潜在风险。定义被超越车辆进入视野时为场景开始时间,被超越车辆离开视野时为场景结束时间,如图1c和图1d所示。

### 1.5 兴趣区域(AOI)划分

传统机械划分法基于主观认知进行区域划分,难以适应实际驾驶情境的复杂性。因此,通过回放眼动数据进行大量逐帧分析,结合场景1与场景2

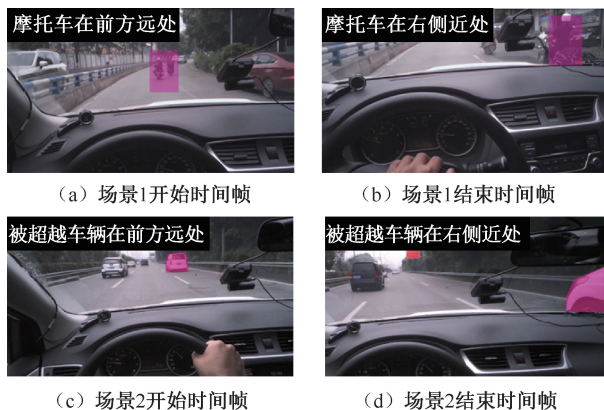


图1 场景截取规则界定

Fig. 1 Definition of scenario segmentation rules

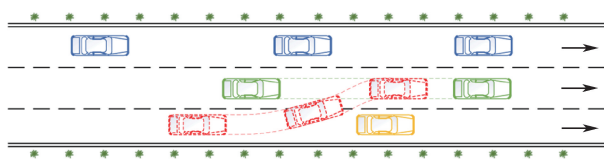


图2 潜在车辆加速超越

Fig. 2 Potential vehicle acceleration overtaking

不同要素与视点分布之间的内在联系,采用注视点逐一标记法将潜在风险区域划分出兴趣区域(Area of Interest, AOI),如图3a和3b所示。

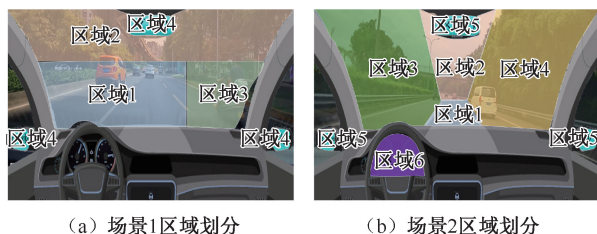


图3 潜在风险区域划分

Fig. 3 Division of potential risk areas

## 2 潜在风险感知特性

### 2.1 典型场景视觉特性分析

#### 2.1.1 动态跟随摩托车场景(场景1)

引入6个视觉指标,以分析驾驶人在动态跟踪摩托车场景中的视觉特征差异。选取注视时间、水平搜索广度和垂直搜索深度<sup>[12]</sup>用于评估驾驶人对特定目标的关注程度及其视觉搜索范围,从而反映其在复杂交通环境中的注意力分布。进一步定义移动AOI(Moving AOI, MAOI)注视时间和MAOI注视时间占比<sup>[13]</sup>,用以表征驾驶人对MAOI的关注度及该区域注视时间在总注视时间中的占比。此外,引入注视反应时间<sup>[14]</sup>,定义为从危险源出现到驾驶人

视线首次固定在该危险源上的时间间隔,用以描述驾驶人对潜在风险的敏感度。通过综合分析这些指标,可较为全面地评估驾驶人在复杂交通场景中的视觉行为和风险感知能力,结果如图4所示。

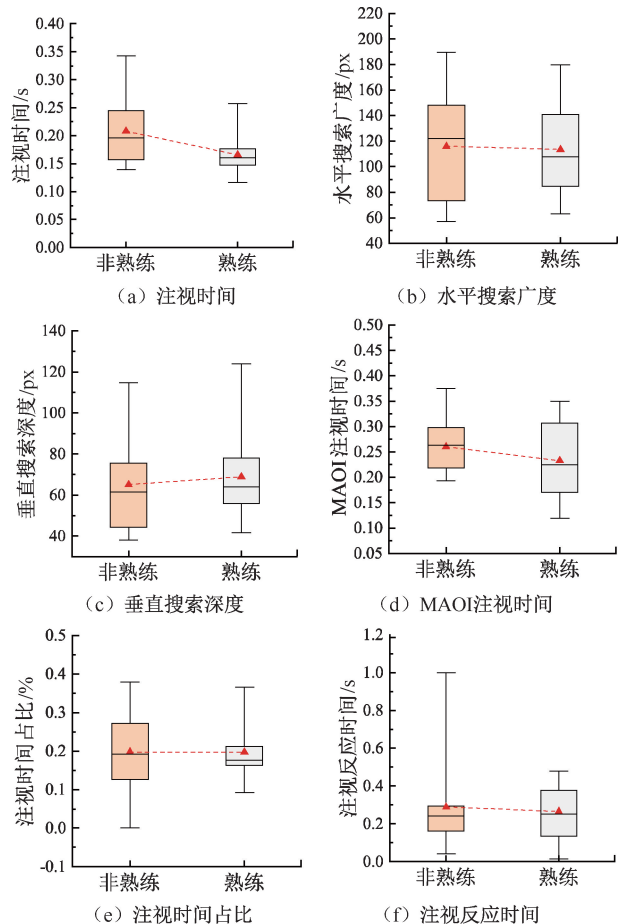


图4 场景1注视和扫视表征行为参数

Fig. 4 Fixation and scan characterization behavioral parameters of scenario 1

从图4a可以看出,动态跟随摩托车场景中,非熟练驾驶人的注视时间显著高于熟练驾驶人,表明其信息处理和反应速度较慢,而熟练驾驶人反应更快,处理能力更高。由图4b和图4c可知:尽管非熟练驾驶人的水平搜索广度与熟练驾驶人差异不大,但熟练驾驶人的垂直搜索深度显著高于非熟练驾驶人,表明驾驶经验对垂直搜索深度影响较大。由图4d可知:非熟练驾驶人的MAOI注视时间大于熟练驾驶人,反映其对目标区域信息提取能力较差,处理难度更大,注意力集中时间也更长。由图4e可知:尽管2类驾驶人的MAOI注视时间占比相近,但非熟练驾驶人的波动较大,这可能与性格特点及驾驶习惯相关。此外,从图4f可以看出,2类驾驶人平均注视反应时间无显著差异,说明摩托车进入视野

时能迅速引起驾驶人注意,2类驾驶人初始感知和反应速度相似。

### 2.1.2 平行超车场景(场景2)

驾驶人在平行超车过程中需同时关注前后方交通状况,包括前方慢行车辆、后方快速接近的车辆及相邻车道的交通流。这要求驾驶人频繁切换视线,保持对周围环境的全面感知。

为评估驾驶人在平行超车场景下的视线行为和风险感知能力,引入注视时间、水平搜索广度、垂直搜索深度和扫视强度4项参数。注视时间是指驾驶人视线固定在特定目标或区域的持续时间,反映其在关键区域的注意力分配情况。水平搜索广度指驾驶人视线在水平方向上的扫描范围,反映其对左右车道和周边环境的关注程度。垂直搜索深度为视线在垂直方向的移动范围。扫视强度用于衡量视线在不同目标间的快速切换频率,定义为单位时间内平均扫视时间与平均扫视次数的乘积,反映驾驶人在复杂交通环境中的应对能力和反应速度。场景2注视和扫视表征行为参数如图5所示。

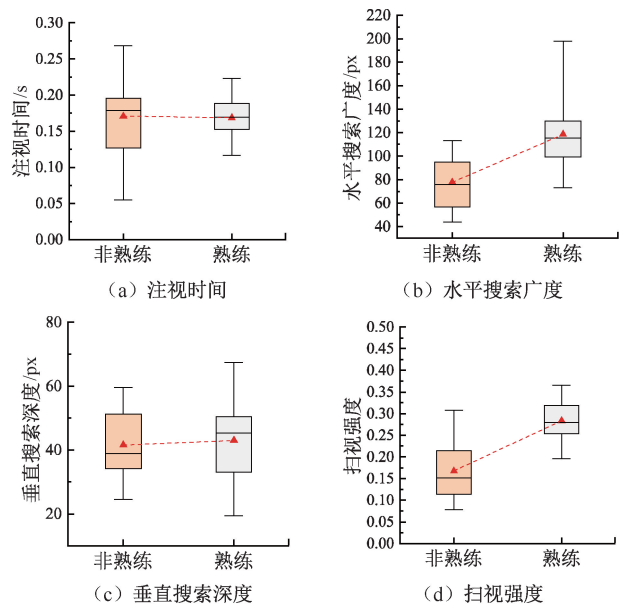


图5 场景2注视和扫视表征行为参数

Fig. 5 Fixation and scan characterization behavioral parameters of scenario 2

由图5a可知:在平行超车场景下,非熟练驾驶人的注视时间略高于熟练驾驶人,表明他们在信息提取和处理上的效率较低,影响了超车决策和反应速度。由图5b和图5c可知:熟练驾驶人的水平搜索广度和垂直搜索深度均显著高于非熟练驾驶人,说明他们能更广泛地扫描左右车道及周边环境,并在前方道路和后视镜之间频繁切换视线,从而实现

对交通状况的全面感知。相较之下,非熟练驾驶人的视线范围和频率较有限,导致其对潜在风险的感知不足。由图5d可知:非熟练驾驶人的扫视强度显著低于熟练驾驶人,表明他们在超车过程中视线切换频率较低,可能无法及时注意到周围环境中的潜在风险。这种较低的扫视强度使得他们更容易忽视重要的交通信息和潜在风险,增加超车安全隐患。

## 2.2 注视转移分析

驾驶过程中,驾驶人需要不断转移视线以全面感知周围环境,这种注视转移行为是一个离散事件随机序列。引入马尔可夫链模型<sup>[15]</sup>,将注视点定义为状态并构建状态转移矩阵:

$$P\{X(t_n + k) = j | X(t_1) = i_1, i_2, \dots, X(t_n) = i_n\} = P\{X(t_n + k) = j | X(t_n) = i_n\} \quad (1)$$

式中: $P$ 为概率; $X(t)$ 为在时间 $t$ 时的状态; $t_1, t_2, \dots, t_n$ 为一系列时间点; $i_1, i_2, \dots, i_n$ 为在这些时间点对应的状态; $j$ 为时间点 $t_{n+k}$ 时的状态。

在马尔可夫链中,所有状态转移概率可组成一个转移矩阵 $A$ ,其元素 $P_{ij}$ 表示驾驶人注视点从一个区域转移至另一个区域的概率,根据已经划分的注视区域,写出一步转移概率矩阵 $A_{ij}(1)$ :

$$A_{ij}(1) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{N1} & P_{N2} & \dots & P_{NN} \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 2.2.1 一步转移概率

当样本量足够大且状态概率的理论分布未知时,可用样本分布近似描述状态的理论分布,并通过ErgoLAB 3.0软件处理注视数据,绘制一步转移概率矩阵的热点图,如图6所示。

由图6a和图6b可知:场景1中,非熟练驾驶人频繁在前方近距离区域和摩托车区域间转移(概率为0.46和0.56),较少关注前方远距离和后视镜区域(概率均为0.13),注意力集中在近处和动态目标上。熟练驾驶人更频繁地从前方近距离区域(概率为0.84)和前方远距离区域(概率为0.57)转移到摩托车区域,并更关注后视镜区域(从摩托车区域转移的概率为0.41),以确保全面感知交通环境,及时识别潜在风险。此外,无论驾驶经验如何,驾驶人在注视摩托车和后视镜后,都会转移至前方近距离区域(非熟练为0.56和0.50,熟练为0.46和0.75),以持续监控前方交通状况。

由图6c和图6d可知:场景2中,非熟练驾驶人

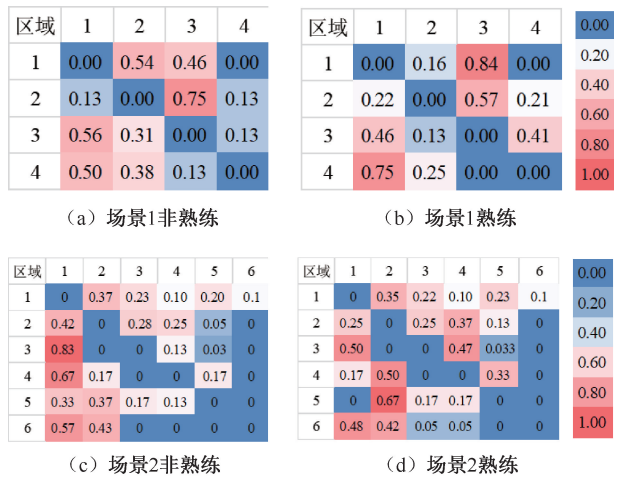
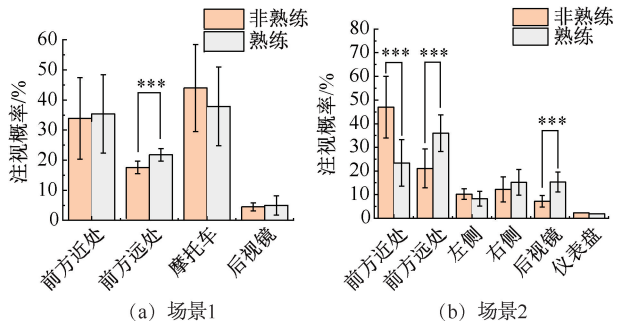


图6 驾驶人一步注视转移热点图  
Fig. 6 Driver's single-step fixation shift heatmap

频繁在前方近距离区域和车道左侧区域间转移(转移概率均为0.50),较少关注后视镜区域(转移概率为0.67),注意力集中在近处和左右车道,忽视后方环境,增加风险。熟练驾驶人更频繁地从前方近距离区域转移到前方远距离区域(概率为0.35)和车道左侧区域(概率为0.22),并显著增加对后视镜区域的关注(从前方近距离区域转移的概率为0.23),更全面地感知交通环境,及时应对潜在风险。

### 2.2.2 注视概率分布

注视概率指的是驾驶人视线停留在特定区域的频率。注视概率越高,说明驾驶人对该区域越敏感,针对该区域变化提前采取应变措施也更加迅速。2种典型场景下驾驶人注视区域概率不同,统计熟练驾驶人与非熟练对各区域的注视概率,以分析其差异性,如图7所示。



注:\*\*\*表示显著性检验 $p$ 小于0.001;图10同。

图7 注视概率分布  
Fig. 7 Fixation probability distribution

场景1中,2类驾驶人的注意力分配相似,主要关注摩托车和前方近处。然而,非熟练驾驶人对摩托车的注视概率显著高于熟练驾驶人,表明他们更

容易被明显且动态目标吸引,停留时间更长;而非熟练驾驶人对前方远处及后视镜区域的注视概率则较低,熟练驾驶人更频繁地注意这些区域,确保全方位感知交通情况,表现出更强的信息处理和潜在风险感知能力。

场景2中,2类驾驶人注意力分配存在显著差异。非熟练驾驶人主要关注前方近处,而熟练驾驶人更关注前方远处和后视镜,显示出更强的远处信息监控和后方交通监控能力。对于左侧、右侧和仪表盘区域,2类驾驶人的注视概率接近。总体来看,熟练驾驶人具有更好的全面交通感知能力,而非熟练驾驶人更容易被近处目标吸引,信息处理和潜在风险感知能力较弱。

### 3 风险感知能力评估

#### 3.1 灰色近优综合评价模型构建

灰色近优综合评价法源于灰色系统理论,具有工作量小、样本量要求低、结果客观等优点。因此,采用该方法评估驾驶人风险感知能力。评估步骤如下<sup>[12]</sup>:

1) 确定评价指标。根据驾驶人潜在风险感知能力的特点和不同场景的需求,选取适当的评价指标。

2) 建立白化灰评价矩阵。根据采集到的驾驶人视觉数据,建立包含所有评价对象和评价指标的评价矩阵。假设共有  $m$  个驾驶人和  $n$  个评价指标,记各驾驶人的评价指标值为  $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 构建出灰矩阵  $\bar{B}_{n \times m}$ :

$$\bar{B}_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{R}_{11} & \bar{R}_{12} & \cdots & \bar{R}_{1m} \\ \bar{R}_{21} & \bar{R}_{22} & \cdots & \bar{R}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{R}_{n1} & \bar{R}_{n2} & \cdots & \bar{R}_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中  $\bar{R}_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$  为第  $j$  个驾驶人的第  $i$  个评价指标。

3) 数据标准化。标准化处理,将不同量纲的数据转换到  $[0, 1]$  内。采用效果测度法消除指标间的量纲差异,具体包括以下2种方法:

上限效果测度:

$$\bar{R}'_{ij} = \frac{\bar{R}_{ij}}{\max\{\bar{R}_{ij}, u_{\max}\}} \quad (4)$$

式中  $u_{\max}$  为评价指标中的最大值。

下限效果测度:

$$\bar{R}'_{ij} = \frac{\min\{\bar{R}_{ij}, u_{\min}\}}{\bar{R}_{ij}} \quad (5)$$

式中  $u_{\min}$  为评价指标中的最小值。

4) 建立白化灰矩阵。用效果测度值替代白化灰元值,建立白化灰矩阵  $\bar{B}'_{n \times m}$ :

$$\bar{B}'_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{R}'_{11} & \bar{R}'_{12} & \cdots & \bar{R}'_{1m} \\ \bar{R}'_{21} & \bar{R}'_{22} & \cdots & \bar{R}'_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{R}'_{n1} & \bar{R}'_{n2} & \cdots & \bar{R}'_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

5) 求解近优度。计算出每个评价对象的近优度,并进一步求解得到近优度白化灰向量  $\bar{B}'_s$ :

$$\bar{B}'_s = S_j [S_1, S_2, \dots, S_m] = S_j \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{B}'_{i1}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{B}'_{i2}, \dots, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{B}'_{im} \right] \quad (7)$$

近优度越接近1,表示评价对象的风险感知能力越强。

#### 3.2 风险感知能力评估结果

灰色近优综合评价法的核心在于选择具有区分度和代表性的评价指标。基于分析2类驾驶人眼动相关各项指标及注视转移特性的研究,选取2类驾驶人中表现出显著性差异的指标作为评价依据。

针对动态跟随摩托车场景,选取注视时间和MAOI一步转移概率作为评价指标。将12名非熟练驾驶人和16名熟练驾驶人的数据进行标准化和白化处理,并将这些数据代入模型,计算出各驾驶人的风险感知综合评价值:

$$\bar{B}'_{\{N,1\}} = S_j \begin{bmatrix} 0.725, 0.859, 0.752, 0.789, 0.705, 0.660, \\ 0.810, 0.680, 0.810, 0.583, 0.692, 0.664 \end{bmatrix}$$

$$\bar{B}'_{\{E,1\}} = S_j \begin{bmatrix} 0.807, 0.923, 0.913, 0.849, 0.773, 0.817, \\ 0.772, 0.804, 0.751, 0.898, 0.712, 0.827, \\ 0.741, 0.822, 0.793, 0.854 \end{bmatrix}$$

式中:N为非熟练驾驶人;E为熟练驾驶人;下标数字为场景编号。

将根据灰色近优综合评价法得到的2类驾驶人风险感知综合评价值分别进行降序排序,并转化为百分数,最终绘制出得分雷达图,如图8所示。熟练驾驶人潜在风险感知能力最高得分为92.3分,最低得分为71.2分,平均得分82.6分。非熟练驾驶人潜在风险感知能力最高得分为85.9分,最低得分为

58.3分,平均得分72.7分。

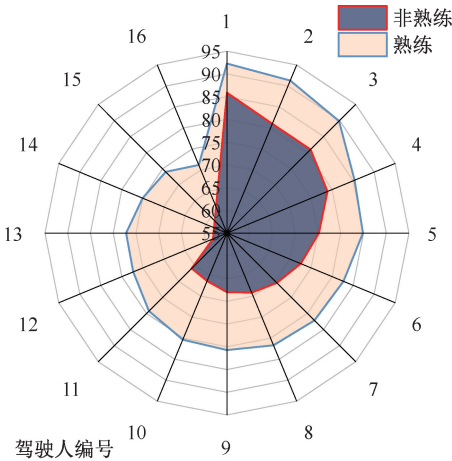


图8 场景1驾驶人风险感知得分

Fig. 8 Driver's hazard perception score in scenario 1

针对平行超车场景,选取水平搜索广度、扫视强度、前方远处区域注视转移概率及后视镜区域注视转移概率作为评价指标。同上,将18名熟练驾驶人和13名非熟练驾驶人的数据进行标准化和白化处理,得到各驾驶人的风险感知综合评价价值如下:

$$\bar{B}'_{[N,2]} = S_j \begin{bmatrix} 0.440, 0.505, 0.422, 0.482, 0.382, 0.425 \\ 0.376, 0.368, 0.449, 0.568, 0.467, 0.403 \\ 0.365, 0.531, 0.499, 0.337 \end{bmatrix}$$

$$\bar{B}'_{[E,2]} = S_j \begin{bmatrix} 0.703, 0.769, 0.674, 0.678, 0.634, 0.678, \\ 0.666, 0.657, 0.519, 0.674, 0.536, 0.741, \\ 0.699, 0.746, 0.739, 0.669, 0.705, 0.820 \end{bmatrix}$$

将得到的2类驾驶人风险感知综合评价价值分别进行降序排序,并转化为百分数,最终绘制出得分雷达图,如图9所示。熟练驾驶人潜在风险感知能力最高得分为82.0分,最低得分为51.9分,平均得分68.4分。非熟练驾驶人潜在风险感知能力最高得分为56.8分,最低得分为33.7分,平均得分43.9分。

根据2个场景下熟练驾驶人与非熟练驾驶人的风险感知得分,绘制出风险感知综合评价能力得分的箱形图,如图10所示。

评估结果表明:2种场景下熟练驾驶人的得分均高于非熟练驾驶人。在动态跟随摩托车场景中,2类驾驶人均表现出较强的风险感知能力,熟练驾驶人的平均得分为82.6分,非熟练驾驶人为72.7分。表明2类驾驶人对于前方摩托车都具有较好的

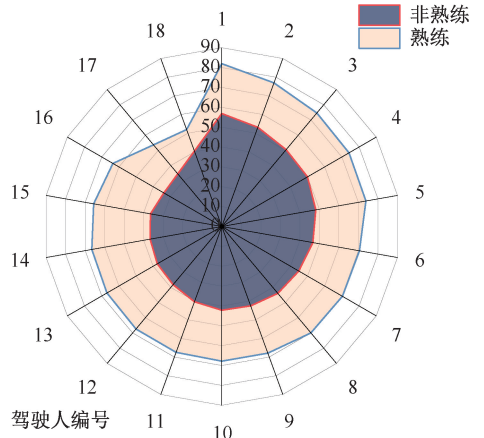


图9 场景2驾驶人风险感知得分

Fig. 9 Driver's hazard perception score in scenario 2

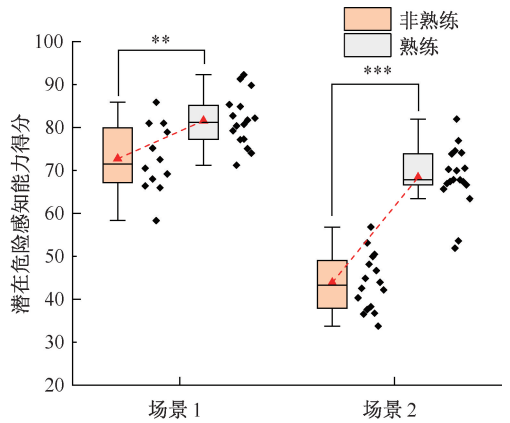


图10 驾驶人风险感知能力得分

Fig. 10 Driver's hazard perception ability score

风险感知。不过,非熟练驾驶人得分波动较大,说明其在该场景下有较大的个体差异表现;在平行超车场景中,2类驾驶人表现均较差,熟练驾驶人的平均得分为68.4分,而非熟练驾驶人仅为43.9分。进一步深究得分较低的原因,发现2类驾驶人在该场景下均对于水平搜索广度不足,对于后视镜区域的注视概率不足,且对后方潜在目标车辆关注度不够。而且非熟练驾驶人的得分波动较大,说明他们在平行超车场景中的表现不稳定,容易忽视重要的交通信息和潜在风险,从而增加驾驶安全隐患。

### 4 结论

1) 熟练驾驶人在2种场景下的风险感知能力均显著高于非熟练驾驶人。在动态跟随摩托车场景中,熟练驾驶人的平均得分为82.6分,明显高于非熟练驾驶人的72.7分。且非熟练驾驶人的表现存在差异较大,具有较大的不稳定性。在平行超车场景中,2类驾驶人的表现均不理想,熟练驾驶人的平

均得分为 68.4 分,非熟练驾驶人更低,仅为 43.9 分。非熟练驾驶人对后方潜在目标车辆的关注度明显不足,在一定程度上也影响了其整体驾驶安全性。

2) 不同驾驶场景下,驾驶人风险感知能力的差异体现在不同的参数上。在动态跟随摩托车场景下,注视时间和 MAOI 一步转移概率等参数能够有效表征驾驶人的风险感知能力;在平行超车场景下,水平搜索广度、扫视强度、前方远处区域注视转移概率及后视镜区域注视转移概率等参数能较好地表征

驾驶人的风险感知能力。

3) 在动态跟随摩托车和平行超车这 2 种典型潜在风险场景中,驾驶人的视觉搜索模式表现出显著差异。尤其对非熟练驾驶人而言,在动态跟随摩托车场景中,其注视摩托车的时间较长,而对前方远处的注视较少,导致其预测交通状况的能力较差;在平行超车场景中,非熟练驾驶人表现出较弱的水平搜索能力,对后视镜的关注频率低,使得其容易忽视侧方和后方的潜在风险,进一步增加超车风险。

#### 参考文献

- [1] 郭致政,潘雨帆,周宏宇,等. 驾驶人对潜在危险性事件的心理预期识别研究[J]. 中国公路学报, 2020, 33(6): 119-128.  
GUO Zizheng, PAN Yufan, ZHOU Hongyu, et al. Estimation of the drivers' psychological anticipation of potentially hazardous events [J]. China Journal of Highway and Transport, 2020, 33(6): 119-128.
- [2] 杨宗帅,李秀丽,任书杭,等. 驾驶人危险感知影响因素建模与试验[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2015, 35(5): 104-110.  
YANG Jingshuai, LI Xiuli, REN Shuhang, et al. Modeling and experimental of influencing factors of drivers' hazard perception[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2015, 35(5): 104-110.
- [3] LI Yang, ZHENG Yang, WANG Jianqiang, et al. Crash probability estimation via quantifying driver hazard perception[J]. Accident Analysis and Prevention, 2018, 116: 116-125.
- [4] 冯树民,黄秋菊,张宇,等. 驾驶人"感知-决策-操控"行为模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(1): 41-47.  
FENG Shumin, HUANG Qiuju, ZHANG Yu, et al. Driver's perception-decision-control model [J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2021, 21(1): 41-47.
- [5] KAZUYUKI N, SUDESHNA M, MAJANI W W, et al. Profile of low and middle-income countries with increases versus decreases in road crash fatality population rates and necessity of motorcycle safety[J]. Journal of Safety Research, 2023, 84: 129-137.
- [6] World Health Organization. Global status report on road safety 2023[R], 2023.
- [7] KUNNAWEE K, AUEARREE J, PATHUMPORN D, et al. Characteristics of motorcycle crashes in Thailand and factors affecting crash severity: evidence from in-depth crash investigation [J]. Transportation Engineering, 2024, 16: DOI: 10. 2139/ssrn. 4503630.
- [8] VLAHOIANNI E I. Powered-two-wheelers kinematic characteristics and interactions during filtering and overtaking in urban arterials[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, 24: 133-145.
- [9] GAO Minghao, ZHAO Yajing, SHEN Yongjun, et al. Which factors are most relevant to drivers' overtaking choices at two-lane highways: a comparative analysis between questionnaire surveys and driving simulation[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2023, 95: 202-214.
- [10] 吕贞,戚春华,朱守林. 草原公路超车工况下驾驶人动态视觉特性及负荷[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(4): 15-22.  
LYU Zhen, QI Chunhua, ZHU Shoulin. Dynamic visual characteristics and load of drivers during overtaking maneuvers on prairie highways[J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(4): 15-22.
- [11] FABIO L, ANNA M G, ROBERTO S, et al. Young novice driver subtypes: relationship to driving violations, errors and lapses[J]. Accident Analysis & Prevention, 2010, 42(6): 1 689-1 696.
- [12] 彭金栓,成家佳,赵刘昌,等. 无信控交叉口驾驶人潜在危险感知能力评估[J]. 交通运输系统工程与信息, 2024, 24(2): 127-135.  
PENG Jinshuan, CHENG Jiajia, ZHAO Liuchang, et al. Assessment of drivers' potential hazard perception at unsignalized intersections[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2024, 24(2): 127-135.
- [13] ZHANG Weihua, WANG Yajun, FENG Zhongxiang, et al. A method to improve the hazard perception of young novice drivers based on Bandura's observational learning theory: supplement to expert commentary training[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2022, 85: 133-149.
- [14] 胡月琦,刘浩学,朱彤,等. 高速公路特长隧道环境中驾驶员视觉特性研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(6): 31-36.  
HU Yueqi, LIU Haoxue, ZHU Tong, et al. Research on visual characteristics of drivers driving through extremely long expressway tunnel[J]. China Safety Science Journal, 2017, 27(6): 31-36.
- [15] PENG Jinshuan, WANG Chenwei, FU Rui, et al. Extraction of parameters for lane change intention based on driver's gaze transfer characteristics[J]. Safety Science, 2020, 126: DOI: 10. 1016/j. ssci. 2020. 104647.

作者简介: 徐磊 (1982—),女,陕西咸阳市人,博士,副教授,主要从事交通安全、交通运输规划与管理等方面的研究。E-mail: xulei@cqjtu.edu.cn。

