

文章编号: 1000-582X(2011)10-054-07

应急疏散状态下驾驶员反应时间

徐志, 杨孝宽, 赵晓华, 李玲洁, 陈欣悦

(北京工业大学 交通工程北京市重点实验室, 北京 100124)

摘要: 利用情景模拟的方法为被试人员营造了应急疏散的驾驶环境, 以主观量表、心电仪等实验心理学手段从主观和客观两方面对所营造的应急疏散驾驶环境的有效性进行了验证。以 SimWorld 驾驶模拟舱为实验平台, 对被试人员在常态及应急疏散状态下应对突发情况的反应时间、加速工况下的反应时间和减速工况下的反应时间进行了研究, 分析了三类反应时间的分布情况, 发现应急状态下各类反应时间都不同程度小于常态下的反应时间, 同时用回归的方法得到了反应时间函数。

关键词: 反应时间; 应急疏散; 模拟舱

中图分类号: U491

文献标志码: A

Driver perception reaction time under the emergency evacuation situation

XU Zhi, YANG Xiao-kuan, ZHAO Xiao-hua, LI Ling-jie, CHEN Xin-yue

(Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, P. R. China)

Abstract: The way of scenario simulation is used to create a driving environment in the emergency evacuation and the questionnaire investigation. The Miriam ECG are used to verify the validity of the driving environment in the emergency evacuation from subjective and objective aspects. Based on the SimWorld driving simulator, the research is conducted on three kinds of Perception Reaction Time (PRT) under both normal situation and the emergency evacuation situation: the PRT under the sudden situation, the PRT during acceleration and the PRT during deceleration.

Key words: reaction time; emergency evacuation; simulators

在应急疏散状态下, 交通需求剧增导致路网负荷大幅度增加, 交通流处于饱和或过饱状态, 疏散排队跟驰行驶的车辆, 前后车的车速受交通环境制约较大。驾驶员受到应急疏散事件以及应急管理措施的影响, 难免会产生紧张的情绪。根据北京工业大学胡红等人对大范围应急疏散的问卷调查^[1], 有近七成的驾驶员在应急疏散的过程中会产生惶恐和紧张的情绪。这种紧张的情绪可能对驾驶行为造成一

定的影响, 驾驶员反应时间和驾驶操控、决策能力均会有不同程度的变化。这种个体上的变化通过跟驰行为传导到交通流中, 会对交通流的整体运行情况造成影响。

很多学者对驾驶员的反应时间做出了研究, 不同的研究手段、方法和对象, 所得到的驾驶员反应时间分布有一定的差异。

估计反应时间主要有 2 类方法: 一类是通过室

收稿日期: 2011-03-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578003); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAG01A01)

作者简介: 徐志(1984-), 男, 北京工业大学博士研究生, 主要从事驾驶员交通特性方向研究,

(Tel)010-67391509; (E-mail)xuzhi1984@emails.bjut.edu.cn。

内实验或模拟驾驶得到;另一类是通过分析跟驰数据得到。Ma 与 Andréasson^[2]详细综述了第一类方法。Gazis^[3]等提出了一种互相关分析的方法来估计反应时间。相对速度与加速度的相关系数最大时的延迟时间被定义为反应时间。此方法中反应时间为恒定的。但 Castello^[4]认为反应时间可能并非恒定,可能与交通流密度有某种关系。Gurusinghe^[5]等假设只有当刺激超过跟驰车的感觉阈时,跟驰车才能感觉到,进一步利用瞬时相对速度与加速度来估计随时间变化的反应时间。但由于需要人工计算,显得比较繁琐,而且不能提供足够统计分析的数据。Daou^[6]提到了车头间距与反应时间的关系。但并未研究二者详细的逻辑关系。早期的研究受限于缺乏高精度的车辆跟驰数据,由于新的数据采集技术的出现,如 GPS 与高像素的摄像机,对反应时间的研究达到了新的水平。Ozaki^[7]认为反应时间可能与车头间距,速度,前车加速度有关,并提出了一种图像法,根据相对速度差与加速度的图像,估计每个驾驶员的反应时间。Koppa^[8]认为不同驾驶员的反应时间服从对数指数分布。

以上各种方法所得到的反应时间均为常态下驾驶员的反应时间,对应急状态下驾驶员反应时间的研究还没有学者涉及。采用情景模拟的方法对应急疏散状态下驾驶员应对突发情况的反应时间、加速情况下的反应时间和减速情况下的反应时间进行了研究,为应急疏散状态下交通流模型的标定以及应急疏散仿真软件的开发提供了重要的基础数据。

1 研究方法

笔者研究驾驶员在应急条件下的行为特性主要采用情景模拟的方法。被试人员(以下简称“被试”)在正常情况下在驾驶模拟舱操作一段时间,待熟悉驾驶模拟舱之后观看与应急事件有关的录像视频或相关资料,然后再次使用驾驶模拟舱操作。之后反复观看不同的与应急事件有关的录像视频或相关资料,并反复执行模拟驾驶任务。被试观看与应急疏散有关的视频录像,旨在为被试营造和保持较为真实的应急疏散环境。

被试在熟悉驾驶模拟舱后所执行模拟驾驶任务可以看作是常态下的驾驶行为,在观看应急疏散相关录像之后可以看作是应急疏散状态下的驾驶行为。

2 实验信度的保证

情景模拟的方法需要保证实验的信度,这里就是如何确定被试进入了适度紧张的状态。本研究从

主观和客观两方面来保证实验的信度。被试在执行驾驶任务前后分别填写《驾驶员紧张程度评价量表》,用以从主观方面评价其紧张程度。根据心理生理学原理,心理紧张的状态是能通过一定的生理反应表现出来的,而且这种生理反应可通过一定的仪器定量测量^[9]。在执行驾驶任务前,记录被试在平静状态下的心率作为其基准数据。在被试多次在驾驶模拟舱内操作的过程中,全程检测其心率,用以从客观方面评价其紧张程度。

2.1 主观方面对实验信度的保证

主观方面采用主观量表获得被试在测试过程中对自身紧张程度的评价。主观量表参考一般健康问卷的评分方法,将“身体”、“情绪”、“神经感觉”3类症状作为3个评价的方面,每类症状中有若干子症状,每个子症状分为5个程度,被试根据自身感受依据表中对紧张陈述所列症状进行填写^[10]。评价指标定义为

$$v_k = \sum_{i=0}^4 a_i \cdot i, \quad (1)$$

其中: v_k 为第 k 个症状的主观评价水平; a_i 为被试对症状程度的选择, $a_i = \begin{cases} 0, & \text{该项被选中} \\ 1, & \text{该项未被选中} \end{cases}$

则主观紧张程度 E 为

$$E = \sum_{k=1}^m v_k. \quad (2)$$

其中 m 为紧张程度调查表中所列出的紧张状态的条目数量。可见, E 值越大,表明被试紧张程度越高。本研究使用方差分析检验驾驶任务前后紧张情绪变化的程度与方向,分析执行驾驶任务前后是否有显著差异。显著水平设定为 0.05(显著)及 0.01(非常显著)。试验结束后使用 SPSS 对问卷结果进行统计。通过显著性检验,结果表明,输出的 p 值小于 0.001,无论临界值取 0.05,还是取 0.01, p 值均小于临界值。因此,从主观方面来说,认为观看与应急事件有关的视频录像对被试的紧张情绪有显著性意义。

2.2 客观方面对实验信度的保证

目前,驾驶员心理生理的指标主要包括心率、皮肤电、脑电等,其中心率的分析较为简单、直观,许多研究者都认为心率对不同的任务要求比较敏感^[11]。Wilson 等人通过大量试验并结合其他研究者的成果发现,心率信号是一个整体性指标,反映了不同任务要求下的心理及生理负荷水平^[12]。Hart 等也认为心率信号反映了任务、情绪等多种因素对作业者的综合影响^[13]。心率指标用于研究人紧张反应的有效性已被学者所认可^[14-15],也有研究确定心率增

长率 32% 为驾驶员心理紧张的生理评价标准, 42% 为行车过程中应避免的心理极限安全阈值^[19]。

在开始实验之前, 要测试被试在平静状态下的

心率作为被试的基准心率。图 1 为一名被试在基准心率测试时的变化曲线。

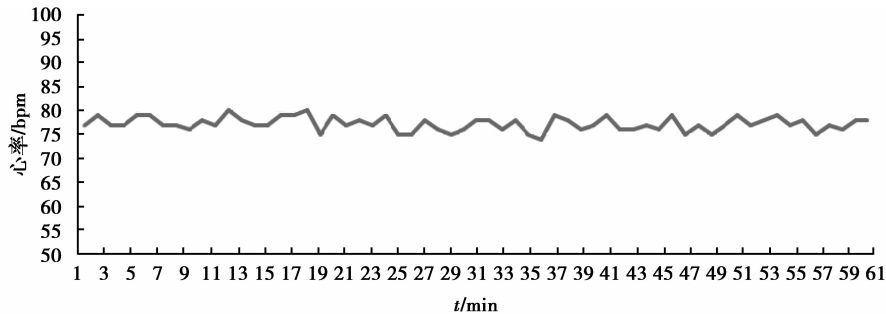


图 1 一名被试在基准心率测试时的变化曲线

在模拟驾驶任务中向被试播放与应急疏散有关的视频录像, 用以渲染应急疏散的环境, 激起其适度紧张的情绪。根据前人的研究, 选择心率增长率(心率增长率为心率增量与基准心率的比值)为

30%~42% 时所对应的时间段为驾驶模拟舱数据采集的有效时间段。如图 2 所示, 1、2、3 区域中心率增长达到了设定的范围, 因此认定这 3 个区域对应时间段为驾驶模拟舱数据采集的有效时间段。

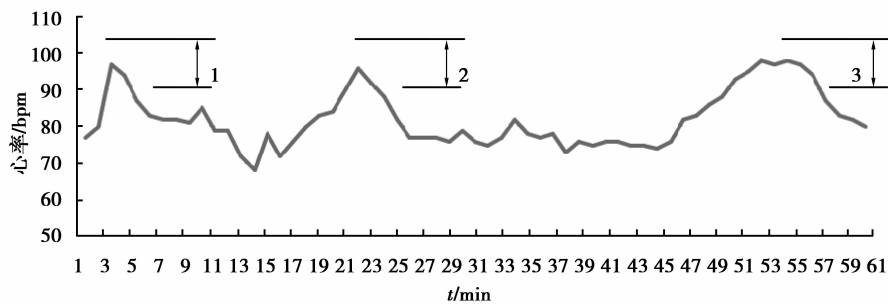


图 2 一名被试在进行模拟驾驶任务及观看应急疏散录像时的心率变化曲线

3 数据采集

本实验所招募的被试人员总共有 16 名, 男性和女性各 8 名, 年龄集中在 19 岁至 29 岁, 具体信息见表 1。

表 1 被试基本信息

年龄范围	性别	数量	平均值(标准差)
19~29	男	8	25.3(3.4)
21~27	女	8	24.7(2.9)

实验的基本实验平台是 SimWorld 驾驶模拟舱。其硬件设施主要包括驾驶模拟舱、提供场景输出的 4 个投影仪、音频输出设备和 8 台计算机。在被试进行模拟驾驶任务的过程中, 驾驶模拟舱主要记录以下数据: 被试车行驶时本车坐标、速度、加速度, 转向盘、离合器、油门踏板、制动踏板, 被试车行

驶时左前车、前车、右前车、左后车、后车、右后车的速度、加速度及距本车距离。根据应急疏散的范围及特点选择驾驶场景, 该场景包括城内道路和环城公路两部分, 能较好的反映大城市城区和城市周边的道路情况, 场景搭建完善, 具有很高的仿真度。图 3 为疏散过程中的视觉效果图。



图 3 疏散过程中的视觉效果图

驾驶员反应时间分为 3 类:驾驶员应对突发情况的反应时间、车辆加速情况下驾驶员的反应时间和车辆减速情况下驾驶员的反应时间。这 3 类反应时间具体的定义及测量方法见表 2。

表 2 3 类反应时间的定义及测量方法

分类	定义	测量方式
驾驶员应对突发情况的反应时间 T_e	驾驶员在行驶的车辆中觉察到前方车辆突发的异常情况可能给自身带来的影响,通过分析和判断做出避让决定并对车辆实施操作,直至后车运动状态发生改变这个过程所耗费的时间。	突发情况下驾驶员的反应时间可以看作是前车发生运行状态突变到后车驾驶员采取应对措施前的这段时间,即前车坐标发生突变到后车制动踏板或方向盘状态数据发生变化时的时间差。
车辆加速情况下驾驶员的反应时间 T_a	驾驶员在启动加速过程中从发现前车加速离去开始,直至自身也做出准备加速的反应所耗费的时间。	车辆加速情况下驾驶员的反应时间可以看做是前车速度曲线低点到后车油门踏板受力前的这段时间。
车辆减速情况下驾驶员的反应时间 T_d	驾驶员在减速过程中从发现前车制动减速开始,直至自身也做出准备减速的反应所耗费的时间。	车辆减速情况下驾驶员的反应时间可以看做是前车速度曲线高点到后车制动踏板受力前的这段时间。

4 应急疏散状态下驾驶员反应时间分析

4.1 驾驶员应对突发情况的反应时间

通过数据分析发现,驾驶员应对突发事件的反应时间有以下特点(如图 4 所示):随着目标事件与被试车的距离增大,被试反应时间有增大的趋势;随着被试车速的提高,被试反应时间有减小的趋势。以目标事件与被试车的距离和被试车速为自变量,对 2 种状态下驾驶员应对突发情况反应时间进行多元线性回归分析。方差分析结果表明,当回归方程包含不同的自变量时,其显著性概率值均小于 0.001,即拒绝总体回归系数为 0 的原假设。因此,2 个被选择的自变量经过逐步回归过程都进入了回归方程,没有被剔除的变量。

最终回归的方程为

常态

$$T_e = 0.847 - 0.034v + 0.023s,$$

$$R^2 = 0.654 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0.628.$$

应急疏散状态

$$T_e = 0.900 - 0.046v + 0.026s$$

$$R^2 = 0.649 \quad \text{Adjusted } R^2 = 0.623.$$

其中: T_e 为突发情况下驾驶员的反应时间, s ; v 为驾驶员感知到突发情况时的车速, m/s ; s 为目标事件与被试车的距离, m 。

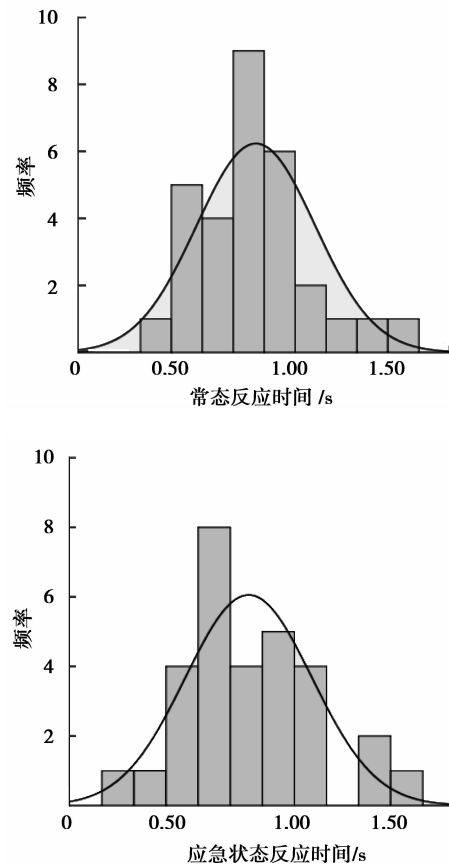


图 4 驾驶员应对突发事件反应时间频率曲线图

对两种状态下驾驶员应对突发事件的反应时间进行正态分布统计,分别选择 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 两项统计量值进行检验,由于显著性水平均大于 0.05,所以认为数据服从正态分布。

表 3 驾驶员应对突发事件反应时间正态检验表

参量	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.
常态	0.143	0.119	0.958	0.275
应急疏散状态	0.101	0.200	0.982	0.884

正态分布的概率分布函数为

$$f(T_e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(T_e-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

其中: T_e 为突发情况下驾驶员的反应时间, s;
 μ 为突发情况下驾驶员反应时间的期望, s;
 σ 为突发情况下驾驶员反应时间的标准差, s。

利用矩估计法计算 μ 和 σ^2 的估计值,即可得到驾驶员应对突发情况的反应时间的概率密度函数。

$$\text{应急疏散状态: } f(T_e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.33} e^{-\frac{(T_e-0.93)^2}{2 \times 0.33^2}}$$

$$\text{常态: } f(T_e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.32} e^{-\frac{(T_e-0.96)^2}{2 \times 0.32^2}}$$

通过分析得到:①驾驶员应对突发事件的反应时间可以看作服从正态分布;②在应急疏散条件下,驾驶员处于紧张的状态,这时其应对突发事件的反应时间较常态下要小(常态下 0.96 s,应急状态下 0.93 s,见反应时间的概率密度函数);③但是由于被试认为突发事件有可能威胁到其自身的行车安全,因此这种情况下的反应时间已经接近其反应时间的极限了,所以两种状态下这类反应时间的差异并不大。

4.2 车辆加速情况下驾驶员的反应时间

对于车辆加速情况下驾驶员的反应时间,没有发现与其它因素显著相关。对两种状态下车辆加速时驾驶员的反应时间进行正态分布统计,分别选择 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 两项统计量值进行检验,由于显著性水平均大于 0.05,所以认为数据服从正态分布(如图 5 所示)。

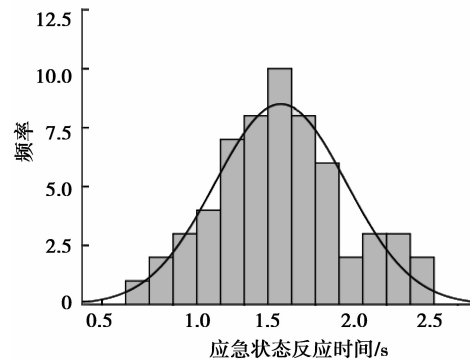
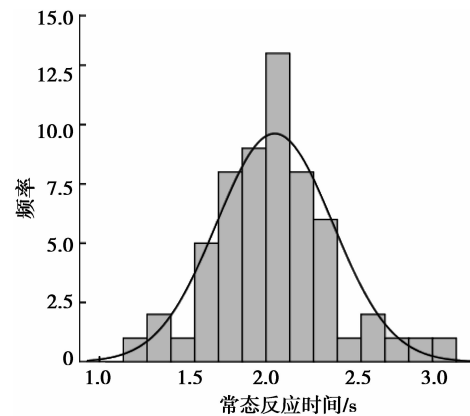


图 5 车辆加速情况下驾驶员反应时间频率曲线图

表 4 车辆加速情况下驾驶员的反应时间正态检验表

参量	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.
常态	0.065	0.200	0.977	0.327
应急疏散状态	0.049	0.200	0.987	0.762

利用矩估计法计算 μ 和 σ^2 的估计值,即可得到车辆加速情况下驾驶员反应时间的概率密度函数。

$$\text{常态: } f(T_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.41} e^{-\frac{(T_a-2.23)^2}{2 \times 0.41^2}}$$

$$\text{应急疏散状态: } f(T_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.46} e^{-\frac{(T_a-1.76)^2}{2 \times 0.46^2}}$$

对比两种状态下,发现两种状态下车辆加速时驾驶员反应时间的变化比较大(常态下 2.23 s,应急状态下 1.76 s,见反应时间的概率密度函数)。对这两组数据作独立样本的 t 检验,检验所得到的 p 值为远小于 0.05 的显著水平,应急疏散状态下车辆加速时驾驶员反应时间要明显小于其在常态的反应时间,差异具有统计意义。

4.3 车辆减速情况下驾驶员的反应时间

通过数据分析发现,在不同的跟车速度下,车辆减速情况下驾驶员的反应时间随车速的增大而减小。反映出跟车速度对后车司机反应时间的影响,在较大的跟车速度下,司机的注意力相对比较集中,后车司机对前车的减速动作的敏感程度相对较高。随着跟车速度的下降,后车司机对前车的减速动作的敏感程度有所下降,且呈下降的关系。通过相关性分析发现,车辆减速情况下驾驶员反应时间与跟车速度的皮尔逊相关系数很高(如图 6 所示)。2 种状态下车辆减速情况下驾驶员反应时间与车速的回归方程如下

$$\text{常态: } T_d = 1.837 \times 0.979^v, R^2 = 0.810;$$

$$\text{应急疏散状态: } T_d = 1.728 \times 0.970^v, R^2 = 0.727.$$

其中: T_d 为车辆减速情况下驾驶员的反应时

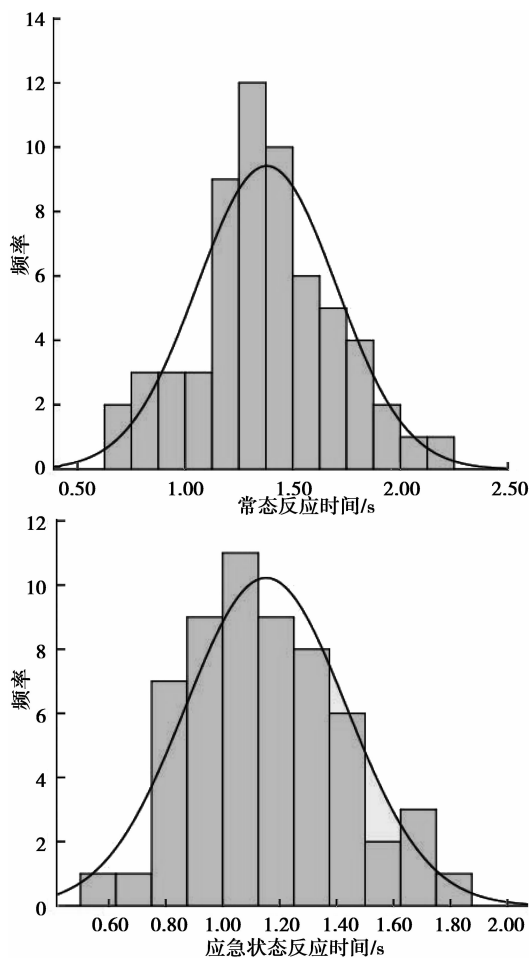


图 6 车辆减速情况下驾驶员反应时间频率曲线图

间, s ; V 为跟车速度, m/s 。对两种状态下车辆减速时驾驶员的反应时间进行正态分布统计,同样选择 Kolmogorov-Smirnov 和 Shapiro-Wilk 两项统计量

值进行检验,由于显著性水平均大于 0.05,所以不能拒绝数据服从正态分布的假设(见表 5)。

表 5 车辆减速情况下驾驶员的反应时间正态检验表

参量	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.
常态	0.061	0.200	0.987	0.742
应急疏散状态	0.066	0.200	0.989	0.881

利用矩估计法计算 μ 和 σ^2 的估计值,即可得到车辆减速情况下驾驶员反应时间的概率密度函数:

$$\text{常态: } f(T_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.32} e^{-\frac{(T_d - 1.38)^2}{2 \times 0.32^2}},$$

$$\text{应急疏散状态: } f(T_d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.29} e^{-\frac{(T_d - 1.15)^2}{2 \times 0.29^2}}.$$

对比两种状态下,发现两种状态下车辆减速时情况下驾驶员反应时间的变化比较大(常态下 1.38 s,应急状态下 1.15 s,见反应时间的概率密度函数)。对这两组数据作独立样本的 t 检验,检验所得到的 p 值为远小于 0.05 的显著水平,应急疏散状态下车辆加速时驾驶员反应时间要明显小于其在常态的反应时间,差异具有统计意义。

5 结 论

以情景模拟的方法,为被试营造了应急疏散的驾驶环境。使用主观量表和心电图从主观和客观两方面说明了营造的应急疏散环境较为可信。本文将驾驶员的反应时间划分为应对突发情况的反应时间,加速情况下的反应时间和减速情况下的反应时间分别进行研究。

从实验的结果来看,各种状态下的驾驶员反应时间都近似服从正态分布。应急疏散条件下驾驶员应对突发情况的反应时间比常态下要小,此类反应时间与驾驶员感知到突发事件时的车速及当时与目标事件的距离有关。应急疏散条件下车辆加速时的反应时间要比常态时显著降低,应急疏散条件下车辆减速时的反应时间也比常态时低,造成此类现象的原因可能是驾驶员在疏散过程中急于驶离疏散区域,较常态更加关注前车的运行状态。

驾驶员在应急疏散状态下的反应时间的确定可以为应急疏散状态下交通流模型的标定以及应急疏散交通仿真软件的开发提供重要的数据基础。本文作为对应急疏散状态下驾驶员反应特性的初步探索,只是对驾驶员特性反应的整体情况进行了分析。

在今后的研究中,将对情景模拟方法模拟疏散环境的可行性作进一步的分析,并且将会考虑年龄、性别、驾龄等因素的影响,实验的样本量也将做进一步的扩充。

参考文献:

- [1] 胡红,刘小明,杨孝宽. 基于最小安全间距的应急交通疏散车辆跟驰模型[J]. 北京工业大学学报, 2007, 33(10):1070-1074.
HU HONG, LIU XIAO-MING, YANG XIAO-KUAN. Car-following model featured with factors reflecting emergency evacuation situation [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2007, 33(10): 1070-1074.
- [2] ANDREASSON X M. Driverreaction time estimation from real car-following data and application in GM-type model evaluation [C/OL] The 85th TRB annual meeting, Washington D. C. , United States, January 22-26, 2006; impact on google. http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:B2QrmP-XvMJ:scholar.google.com/+Driverreaction+time+estimation+from+real+car-following+data+and+application+in+GM-type+model+evaluation&hl=zh-CN&as_sdt=0,5&as_vis=1
- [3] GAZIS D C, HERMAN R, ROTHREY R W. Non linear follow the leader models of traffic flow [J]. Operations Research , 1961,9(4):545-567.
- [4] CASTELLO J M D, PINTADO P, BENITZ F G. The reaction time of drivers and the stability of traffic flow [J]. Transportation Research B, 1994, 28(1): 35-60.
- [5] GURUSINGHE G S, NAKATSUJI T , AZUTA Y, et al. Multiple car following data using real time kinematic global positioning system [J]. Journal of the Transportation Research Board, , 2002, 1802:166-180.
- [6] DAOU A. The distribution of headway in a platoon [J]. Operations Research, 1964, 360-361.
- [7] OZAKI H. Reaction and anticipation in the car-following behavior [C]// Proceedings of the12th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation, Berkeley, CA, USA,1993.
- [8] KOPPA R J. Human factors, traffic flow theory: a state of the art report [R]. Washington, DC: TRB Special Report 165,2002.
- [9] 杨治良. 实验心理学 [M]. 杭州: 浙江教育出版社,1998.
- [10] 季红光,王海明,陈尧忠,等. 一种疲劳自评问卷的信度和效度初探[J]. 海军医学杂志,1999,(20):30-32.
JI HONG-GUANG, WANG HAI-MING, CHEN YAO-ZHONG, et al. The pilot study of a fatigue questionnaire [J]. Journal of Navy Medicine, 1999, (20):30-32.
- [11] HART S G, HAUSER J R. In-flight application of three Pilot workload measurement techniques [J]. Aviation Space and Environmental Medicine, 2004, 58: 402-410.
- [12] WILSON G F, DONNEKK R D. Measurement of operator workload with the neuropsychological workload test battery [J]. Advances in Psychology, 1988,52:63-100.
- [13] HART S G, WICHENS C D. Workload assessment and prediction. MANPRINT: an approach to systems integration[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990:257-296.
- [14] APPARIES R J, RINIOLO T C, POGRES S W. A psychophysiological investigation of the effects of driving longer-combination vehicles [J]. Ergonomics, 1998, 41(5):581.
- [15] DEKKER J M, SCHOUTEN E G. Heart rate variability from short electrocardiographic recordings predict mortality from all causes in middle aged and elderly men[J]. Am J Epidemiol, 1997,45(1):899.
- [16] 阎莹,刘浩学,郭忠印. 不同交通流状态下驾驶员心理生理特性研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(10):1372-1377.
YAN YING, LIU HAO-XUE, GUO ZHONG-YIN. Research on drivers psychological and physiological characteristics in different traffic flow conditions [J]. Journal of Tongji University: Natural science, 2008, 36(10):1372-1377.

(编辑 张小强)