

少量酒精作用下车辆制动性及驾驶人注视特性分析

李显生,李明,郑雪莲,任园园

(吉林大学 交通学院,长春 130022)

摘要:在对车辆制动性能进行分析以及应用层次分析法对驾驶人注视特性指标提取的基础上,推导了车辆行驶距离算法并提出注视热点图生成方法,分析了正常状态下和少量酒精作用下车辆制动性能及驾驶人注视特性的变化规律。对比分析了正常状态和少量酒精作用下制动距离及制动全过程中的行驶距离的变化规律,以及少量酒精对车辆制动特性的影响。将正常状态和少量酒精作用下驾驶人注视热点图及兴趣区域(AOI)中注视点相对总注视点的比例进行了对比,进而分析少量酒精对驾驶人注视特性的影响。结果表明:在少量酒精作用下,车辆制动距离变短,所需的反应时间增加,对兴趣区的关注减少,注视相对发散。

关键词:交通运输系统工程;少量酒精作用;驾驶人;制动距离;注视特性

中图分类号:U491 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5497(2017)02-0408-06

DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb201702009

Analysis of vehicle braking performance and drivers' screen gaze characteristics under effect of small amount alcohol

LI Xian-sheng, LI Ming-ming, ZHENG Xue-lian, REN Yuan-yuan
(College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Based on the vehicle braking performance and application of Analytic Hierarchy Process (AHP) to screen gaze characteristic index, a vehicle distance calculation method and gaze point heat-map generation method were proposed to analyze the vehicle braking performance and gaze variation under normal state or a small amount of alcohol. The braking distance and the whole braking traveled distance under normal state and small amount of alcohol state were calculated to analyze the influence of small amount of alcohol on the braking performance. The gaze point heat-map and the percentage of fixation counts in the Area of Interesting (AOI) to the total fixation counts were compared between drivers of normal state and under effect of small amount of alcohol. Results show that, under the effect of small amount of alcohol, the braking distance is shortened, the response time is increased, the focus on the AOI is reduced and number of fixations is relatively divergent.

Key words: engineering of communications and transportation system; little alcohol effect; driver; braking distance; fixation characteristics

收稿日期:2015-12-17.

基金项目:国家自然科学基金项目(51375200,51578262).

作者简介:李显生(1965-),男,教授,博士生导师.研究方向:车辆行驶可靠性与安全技术.

E-mail:282636987@qq.com

通信作者:郑雪莲(1987-),女,讲师,博士.研究方向:车辆行驶可靠性与安全技术. E-mail:zhengxuelian@jlu.edu.cn

0 引言

由于饮酒驾驶是违法的,因此国内外对此研究较少。国内的研究是酒精含量对驾驶人心理、生理及眼动特性影响^[1],国外的研究是驾驶人的认知及模拟操作特性受酒精含量的影响^[2]。由于90%的交通事故是由驾驶人因素导致的,视觉获取的道路交通信息约是驾驶人各器官总和的80%,因此国内外学者对此研究较多,国外学者采用虚拟场景及实车试验方法研究年龄和性别对驾驶人视觉的影响^[3]、驾驶人在特定路段的视觉特性^[4]、应用视觉分析驾驶人注意力分散^[5]。国内学者多采用理论模型和道路试验方法,研究在特殊路段、驾驶行为变化过程中驾驶人视觉特性的变化规律^[6],以及道路环境和不同道路线行对驾驶人眼动行为的影响^[7,8]。由于驾驶人在少量酒精作用下的特性研究较少,因此,本文对酒精含量低于20 mg/100 mL的驾驶人制动及注视特性进行研究,分析在少量酒精作用下车辆制动性能及驾驶人注视特性的变化规律。本文研究有利于增强驾驶人对在少量酒精作用下自身驾驶特性变化的认识,对提高道路交通安全水平具有实际意义,并为制定更加严格的与酒后驾驶相关的法律、法规提供数据及理论支持。

1 车辆制动性能及驾驶人注视特性指标提取

1.1 确定车辆制动性能指标

车辆制动指车辆在行驶过程中可以在短距离内停车并确保行驶方向稳定,以及在长下坡时保持稳定车速的能力。车辆制动性能主要包括:制动效能,制动效能恒定性,以及制动车辆行驶方向稳定性三方面。

制动效能,指车辆快速降低车速至停车一种的能力,是车辆制动性能最基本的评价指标,常用制动力、制动距离和制动减速度3个参数表示。制动效能恒定性,指车辆制动器的抗热以及抗水衰退性能。制动车辆行驶方向稳定性,指在制动过程中没有跑偏、侧滑以及失去转向功能而是根据驾驶人所给定的方向行驶的能力。

根据对车辆制动性能以及其所包含主要内容的描述,得出既能用来判别车辆的制动性能又能保证试验过程中行驶安全的参数是车辆制动距离,因此本文选用制动距离参数对车辆制动性能

进行分析。

1.2 提取注视特性指标

眼动是眼球的运动。眼动的形式主要为注视、眼跳以及眨眼,在人的视觉认知过程中,通过眼动形式的变化来获取视觉信息。本文应用层次分析法分析3种眼动形式对驾驶人获取道路信息的重要性,筛选表征注视特性的眼动指标-注视和眼跳^[13]。层次分析流程图,如图1所示。根据层次分析法相对重要性设置标准,设置准则层对目标层的成对比较矩阵,如表1所示。其中, $A_{ij} = C_i : C_j$, 为准则层第*i*个指标 C_i 与准则层第*j*个指标 C_j 对目标层重要程度的比值。

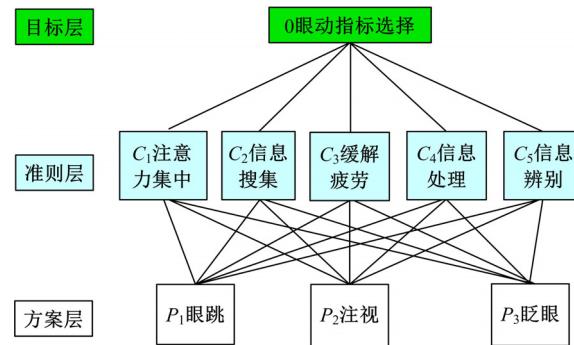


图1 层次分析法眼动指标筛选

Fig. 1 AHP to select eyemovement index

表1 准则层对目标层成对比较矩阵

Table 1 Pairwise comparison matrix of guidelines layer to target layer

A_{ij}	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	1	1/2	4	3	3
C_2	2	1	7	5	5
C_3	1/4	1/7	1	1/2	1/3
C_4	1/3	1/5	2	1	1
C_5	1/3	1/5	3	1	1

对建立的准则层对目标层成对比较矩阵进行一致性检验。一致性检验指标 $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$ 。 $CI = 0$, 表示有完全的一致性; CI 接近于0, 表示有满意的一致性; CI 越大, 不一致性越严重。不同阶数的成对比较矩阵即使有相同的一致性也会出现不同的 CI 值, 因此引入一致性比率指标 $CR = CI / RI$ 。一般地, 当一致性比率 $CR = CI / RI < 0.1$ 时, 认为成对比较矩阵的不一致程度在允许的范围内, 具有满意的一致性, 通过一致性检验。可将其归一化的特征向量作为权向量, 否则重新构造成成对比较矩阵, 直到成对比较矩阵满足一致性检验

为止。其中: n 为成对比较矩阵的阶数, λ 为成对比较矩阵的最大特征根, CI 为致性检验指标, RI 为随机一致性指标(如表 2 所示), CR 为一致性比率指标。

表 2 随机一致性指标 RI
Table 2 Random consistency index RI

n	RI	n	RI
1	0	7	1.32
2	0	8	1.41
3	0.58	9	1.45
4	0.90	10	1.49
5	1.12	11	1.51
6	1.24		

应用 Matlab 软件编程计算可知,准则层对目标层的成对比较矩阵的最大特征根 $\lambda = 5.141$, 最大特征根所对应的特征向量(即权向量) $w = (0.257, 0.442, 0.055, 0.107, 0.139)^T$, 以及一致性比率 $CR = 0.032 < 0.1$, 通过一致性检验。故而,所建立的准则层对目标层的成对比较阵是合理的。应用同样的方法建立方案层对准则层的成对比较矩阵,并计算方案层各方案占准则层各准则的权重以及一致性比率,结果如表 3 所示。

表 3 方案层对准则层的计算结果

Table 3 Results of program level to guidelines layers

w	0.257	0.442	0.055	0.107	0.139
w_Z	0.098	0.475	0.358	0.328	0.665
λ_k	0.755	0.408	0.071	0.562	0.251
CI	0.147	0.117	0.571	0.110	0.084
CR_k	3.007	3.003	3.001	3.004	3.001
CI	0.004	0.002	0.001	0.002	0.001
CR_k	0.006	0.003	0.001	0.003	0.001

由表 3 可以看出,方案层对准则层的成对矩阵满足一致性检验,故所建立的成对矩阵是合理的。方案层对目标层的组合权向量为: $W = w w_Z^T = (0.382, 0.474, 0.144)$, 眼动指标权重如图 2 所示。

因个人差异,即使是在相同的条件下,不同个

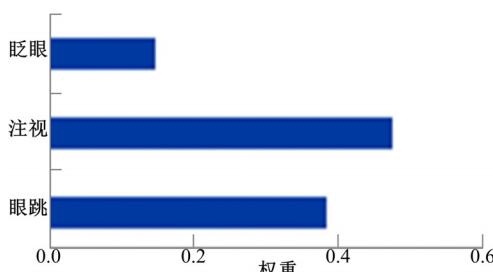


图 2 眼动指标权重图

Fig. 2 Weight of eye movements index

体间的眨眼情况也会存在差异,并且眨眼表征注视特征的权重比注视及眼跳的权重小,为 0.144。故本文提取注视及眼跳作为研究在少量酒精作用下驾驶人注视特性的指标。

2 试验方案设计

试验场地: 封闭的某段长约 2 km 的直行三车道高速公路。

试验设备: 两台某自动挡轿车、Vbox、制动踏板力传感器、秒表、Tobii glasses 眼动仪、电子测距仪、酒精检测仪、笔记本电脑两台(用于 Vbox 通道设置及 Vbox 数据处理和眼动数据分析)。

被试者: 招募 20 名裸眼视力 4.8 以上的男性和女性驾驶人, 并根据他们在正常状态下对车辆操作的熟练程度, 将他们分为 3 组: 低、一般和高。考虑到饮酒驾驶的安全性及各被试者酒量的差异, 从以上 3 组中各抽出 1 名酒量较好的驾驶人组成测试样本, 反复进行多次试验。测试样本的基本信息如表 4 所示。

表 4 测试样本信息

Table 4 Subjects' information

样本编号	性别	驾龄/年	熟练程度
1	男	3	低
2	女	7	一般
3	男	20	高

试验方案设计: 设计一个在遇到突发危险信号进行紧急制动的试验。由于被试者对车辆的操作熟练程度有所差异, 因此分别对他们的行驶车速进行限定: 1 号, 40 km/h; 2 号, 60 km/h; 3 号, 80 km/h。被试者驾驶车辆行驶在中间车道并将制动踏板力传感器安装其制动踏板上, 同一款式的另一辆车行驶左侧车道, 两车同时前行, 当被试者所驾驶车辆的车速达到对其所限定的车速时, 被试者保持车速不变, 左侧车道行驶的车辆通过调整自身的车速及位置, 达到此车在被试车辆左前方 20 m(电子测距仪测得)并且其车速与被试车辆车速相同时, 进行紧急制动, 此时按下秒表记录此时时刻。当被试者看到前方车辆制动尾灯亮起来时立即采取紧急制动。对他们分别在正常状态以及饮一瓶啤酒休息半小时后用酒精检测仪测试被试者体内酒精含量, 当含量低于 20 mg/100 mL 时进行少量酒精作用下的试验, 并用上述试验设备采集被试者在正常状态以及少量酒精影响下的试验数据, 为后期的试验数据处理分析做准备。

3 制动距离及生成注视热点图算法

3.1 制动距离推算

Vbox 是采集车速、横摆角、侧倾角、行驶距离、航向等车辆行驶参数的设备,制动踏板力传感器用于记录踩踏制动踏板力的大小。将制动踏板力传感器连接到 Vbox 上,能准确记录驾驶人脚开始对制动踏板施力以及车辆停止的时刻,在此段时间内车辆行驶的距离即为制动距离。由于 Vbox 采集车辆行驶过程中各参数的方法是按照固定的频率记录那一刻各参数的数值,因此其采集的行车速度是瞬时车速,故而在计算车辆某一段时间内的行驶距离可以用积分的方法,即: t 为行驶时间,行驶距离计算公式为:

$$s = \int_0^t v dt \quad (1)$$

车辆行驶过程中遇到紧急危险信号进行停车所行驶的距离即制动全过程的行驶距离,在本试验中此行驶距离就是秒表所记录的前车尾灯亮起至被试车辆停止此过程中车辆所行驶的距离。通过将秒表和 Vbox 时间进行同步可以推算出此过程所对应 Vbox 采集的车辆行驶速度。

开始踩制动踏板至完全停车车辆所行驶的距离即制动距离。由制动踏板力传感器所采集的被试者开始踩踏制动踏板的时刻,因此,自此时刻开始至车辆停止这段时间内车辆所行驶的距离即为制动距离。

根据车辆行驶距离的计算式(1),可以计算出车辆进行制动的过程中的制动全过程的行驶距离及制动距离。

3.2 注视热点图生成算法

注视热点图的种类有很多,主要包括:注视点数目热点图、绝对注视持续时间热点图、相对注视持续时间热点图、参与者百分比热点图。根据研究需要,本文所建立的热点图是根据注视点数生成的。在某段时间内的注视热点图上,红色表示该像素上注视点数目最多,黄色表示注视点数是此段时间内单个像素上最多注视点数的一半,绿色表示注视点数最少。根据高斯曲线能反映出的分布是平滑的类似正态分布,因此本文所采用的表征注视点热点图颜色分布的函数曲线为高斯函数:

$$y = e^{-\frac{x^2}{25^2}}, 0 \leq x \leq 50 \quad (2)$$

本文将红色的 RGB(256,0,0)值赋给最多注

视点所对应的像素,对应式(2)中的高斯函数值为 $y = 1$; 黄色的 RGB(256,256,0)值赋给注视点数是最多注视点数一半的像素,对应式(2)中的高斯函数值为 $y = 0.5$; 绿色的 RGB(0,128,0)值赋给注视点数最少的像素,对应式(2)中的高斯函数值为 $y = 0$ 。用参数 index 表示某像素点上注视点数占单像素上最多注视点数的比例:

$$\text{index} = n_{ij} / n_{\max} \quad (3)$$

由式(2)(3)推导可知:

$$x = 25 \sqrt{\ln \frac{n_{\max}}{n_{ij}}}, 0 \leq x \leq 50 \quad (4)$$

将绿、黄、红三色所对应的 RGB 值(256,0,0)、(256,256,0)以及(0,128,0)进行均匀过渡,并将过渡颜色所对应的 RGB 值划分为 51 个等分值与式(2)中的自变量 x 的取值范围 0~50 一一对应,即可得到含有注视点的任一像素点所对应热点图的 RGB 值模型,即注视热点图算法如下:

$$\text{RGB}_{n_{ij}} = \begin{cases} (256, 256 - 256 \sqrt{\ln \frac{n_{\max}}{n_{ij}}}, 0), & 0 \leq \sqrt{\ln \frac{n_{\max}}{n_{ij}}} < 1 \\ (512 - 256 \sqrt{\ln \frac{n_{\max}}{n_{ij}}}, 128 \sqrt{\ln \frac{n_{\max}}{n_{ij}}}, 0), & 1 \leq \sqrt{\ln \frac{n_{\max}}{n_{ij}}} \leq 2 \end{cases} \quad (5)$$

式中: n_{ij} 为第 i 行第 j 列的像素所对应的注视点数; n_{\max} 为某个过程中单个像素所对应的最多注视点数; $\text{RGB}_{n_{ij}}$ 为第 i 行第 j 列的像素所对应的 RGB 值。

本文所选用的高斯曲线及对应的热点图颜色变化如图 3 所示。根据注视热点图算法求出任一

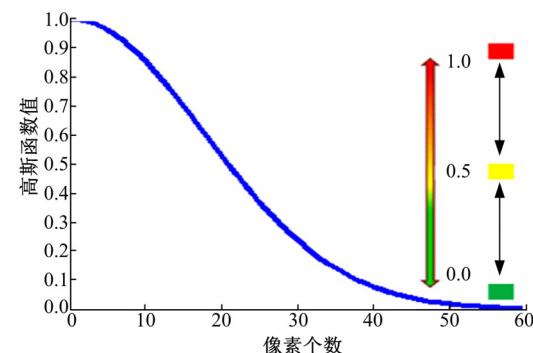


图 3 高斯曲线及热点颜色变化图

Fig. 3 Gaussian curve and hot spots colors changing map

像素点所对应的 RGB 值,将各像素点涂以其所对应的热点图颜色,所得到的图形就是注视热点图。

4 试验数据处理分析

4.1 制动距离数据处理分析

通过秒表与 Vbox 时间同步,根据车辆行驶距离计算式(1)计算出从危险信号产生至被试车辆停车整个过程(也就是制动全过程)的行驶距离,根据制动踏板力传感器记录制动踏板开始受力的时刻,同样方法计算出车辆的制动距离。通过对多次试验异常数据的剔除,应用数理统计方法对多次试验的数据求均值,得出被试样本在正常状态和少量酒精作用下的制动全过程的行驶距离以及制动距离,如表 5 所示。

由表 5 可知:①被试样本正常状态下的制动距离均比少量酒精作用下的大;②被试样本在正常状态下的制动全过程的行驶距离比少量酒精作用下的小。

表 5 制动过程行驶距离

Table 5 Traveling distance during braking process

被试者 序号	正常状态		少量酒精作用	
	制动全过程 行驶距离/m	制动 距离/m	制动全过程 行驶距离/m	制动 距离/m
1	13.25	8.86	14.88	8.42
2	25.70	19.87	30.23	18.90
3	41.95	35.28	44.07	33.24

4.2 眼动数据处理分析

根据本试验设计原理,左侧车道行驶的车辆是具有潜在危险的目标,因此本文以车辆在视频中的位置为目标建立兴趣区域(AOI)。

根据 3.2 节中提出的热点图算法对被试样本在此过程中的注视情况生成注视热点图,兴趣区域建立及注视热点图如图 4 所示。由被试车辆车速达到限定车速且保持不变开始至被试车辆停车,整个过程中根据 Tobii glasses 眼动仪所采集到的眼动数据,对驾驶人注视点在兴趣区域中注



图 4 兴趣区域建立及注视热点图

Fig. 4 AOI established and heat maps of fixation

视点的数目以及整个过程中注视点的数目进行数理统计,统计结果如表6所示。

表6 注视点数目统计

Table 6 Counting number of fixations

被试者 序号	状态	AOI注视 点数	总注视 点数	AOI注视占总 数比例/%
1号	正常状态	33	364	9.07
	少量酒精作用	25	309	8.09
2号	正常状态	79	284	27.82
	少量酒精作用	57	320	17.81
3号	正常状态	86	435	19.77
	少量酒精作用	30	380	7.89

表6统计的注视点在兴趣区域内的数量表明:正常状态下注视点在兴趣区域内的数量均比少量酒精作用下的多,且兴趣区域内注视点占总注视点数的比例也具有同样的规律。由图4可知,少量酒精作用下被试样本的注视热点图较正常状态下发散,即注视比较分散。

5 结束语

本文通过实车试验,在推导出车辆行驶距离计算方法及提出注视热点图生成算法的基础上,对制动全过程行驶距离及制动距离进行计算,并根据建立的驾驶人兴趣区域对驾驶人注视点进行统计和生成注视热点图,对比分析了正常状态和少量酒精作用下的车辆制动性能及驾驶人注视特性。研究结果表明:①在少量酒精作用下制动距离变短,表明驾驶人所采取的制动措施更加鲁莽;②在少量酒精作用下制动距离变短但制动全过程车辆行驶距离变大,表明当紧急情况发生至脚移到制动踏板所需的反应时间增加;③在少量酒精作用下兴趣区域内注视点数目降低,表明驾驶人对危险区域的关注下降表现出较盲目的自信;④在少量酒精作用下驾驶人注视热点图较发散。研究结果表明,即使是少量的酒精,对车辆的制动性能及驾驶人注视特性的影响也是不容忽视的。

参考文献:

[1]裴玉龙,周侃,张诚. 酒精作用下驾驶人心理生理及眼动特性分析[J]. 哈尔滨工业大学学报:社会科学版, 2011(5): 80-86.

Pei Yu-long, Zhou Kan, Zhang Cheng. Analysis of

driver's psycho-physiological and eye movement characteristics under alcohol effect[J]. Journal of HIT(Social Sciences Edition), 2011(5): 80-86.

- [2] Charlton S G, Starkey N J. Driving while drinking: performance impairments resulting from social drinking[J]. Accident Analysis and Prevention, 2015, 74: 210-217.
- [3] Lavalliere M, Reimer B, Mehler B, et al. The effect of age and gender on visual search during lane changing[C]// The 6th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design, California, 2011.
- [4] Lehtonen E, Lappi O, Koirikivi I, et al. Effect of driving experience on anticipatory look-ahead fixations in real curve driving[J]. Accident Analysis and Prevention, 2014, 70: 195-208.
- [5] Zhang W, Kontou E. Isolating stationary and temporal sources of driver distraction through eye tracking study[J]. Advances in Transportation Studies, 2014, 1(Special Issue): 87-100.
- [6] 张文会,李鹏辉,胡孟夏,等. 高速公路驾驶人超车过程视觉行为特性[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2014(9): 1204-1208.
Zhang Hui-wen, Li Peng-hui, Hu Meng-xia, et al. Driver's visual behavior characteristics during overtaking on a freeway[J]. Tsinghua University (Natural Science), 2014(9): 1204-1208.
- [7] 马勇,付锐,孟妮,等. 道路环境对驾驶人眼动行为影响的试验研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015(3): 82-88.
Ma Yong, Fu Rui, Meng Ni, et al. Impact of road conditions on car drivers' fixation behavior with on-road vehicle tests [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015(3): 82-88.
- [8] 李显生,李明明,任有,等. 城市不同道路线形下的驾驶人注视特性[J]. 吉林大学学报:工学版, 2016, 46(5): 1447-1452.
Li Xian-sheng, Li Ming-ming, Ren You, et al. Driver's fixation characteristics under urban different road alignment[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2016, 46(5): 1447-1452.