

# 紧急避障时驾驶员制动操纵特性研究

陈雪梅<sup>1</sup>, 高利<sup>1</sup>, 魏中华<sup>2</sup>

(1. 北京理工大学 机械与车辆工程学院, 北京 100081; 2. 北京工业大学 交通工程北京市重点实验室, 北京 100022)

**摘要:** 紧急情况下驾驶员通常会依据驾驶风格进行转向、制动或二者组合的避障操纵。利用 Frecord 数据采集系统、制动踏板力传感器、位移传感器及动态 GPS 研究紧急避障时驾驶员制动操纵随时间的变化规律以及最大制动踏板速度与车距障碍物距离、行驶车速的关系。试验结果表明, 紧急避障时制动操纵通常经过 4 个阶段, 一定行驶车速下最大制动踏板速度与车距障碍物距离呈负幂次关系; 一定车距障碍物距离下最大制动踏板速度与行驶车速呈正相关线性关系; 并且给出了相应的回归曲线。对紧急状况下驾驶员制动特性进行研究有助于更好地理解驾驶员行为, 也可对驾驶员安全管理提供理论依据。

**关键词:** 驾驶员; 交通安全; 避障; 制动

**中图分类号:** U 491.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0254-0037(2007)06-0603-05

无人驾驶车辆成为智能车辆研究的热点。紧急状况下驾驶员行为和反应的分析是该研究的关键问题之一<sup>[1-6]</sup>。驾驶员遇到紧急状况需要避障时, 通常有 2 种操纵方式对车辆进行控制: 1) 通过转向使车辆横向运动从而达到避障目的; 2) 通过控制车辆的纵向运动避免车辆与障碍物相撞<sup>[6]</sup>。作者对紧急状况下驾驶员的制动特性进行了分析研究。

## 1 数据采集与处理

### 1.1 数据采集

在交通部试验厂完成了有关紧急状况下驾驶员制动操纵特性的试验。试验场地选在长直线与小半径弯路段衔接处, 目的是在拐弯处方便设置突发事件。试验时, 将障碍物放置在距长直路段与平曲线路段衔接线的中点不同距离处的车道中心, 要求驾驶员进行恰当及时地躲避障碍物的操作。同时要求驾驶员注意道路环境变化提示, 由试验工作人员记录下驾驶员遇到障碍物的时间, 以备后期试验数据处理使用。

试验过程中利用秒表记录试验开始时间, 采用动态 GPS 和 Frecord 数据采集系统、制动踏板力传感器、位移传感器测量并记录车辆的行驶速度、车与障碍物之间的距离以及驾驶员操纵制动踏板的力和位移, 利用数值差分法获得驾驶员操纵制动踏板的速度<sup>[7-8]</sup>。该试验系统还包括一些驾驶员生理指标的测量, 主要用于驾驶员生理反应与操纵指标间关系的研究, 本文不涉及。

### 1.2 试验系统

紧急情况下驾驶员行为研究的试验系统如图 1 所示。

### 1.3 试验驾驶员

通过驾驶员个性问卷调查表把驾驶员分为机敏型、鲁莽型、谨慎型和迟钝型。因为鲁莽型、谨慎型驾驶员具有代表性, 本研究只针对这 2 类驾驶员进行研究。表 1 是参加试验的测试样本的分类和编号。

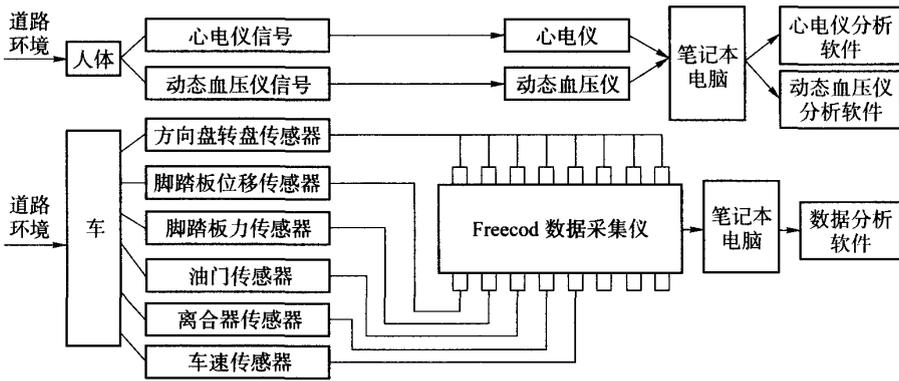


图1 紧急情况下驾驶员行为研究的试验系统图

Fig.1 System scheme on the driver behavior under emergency

表1 参加试验的测试样本的分类及编号

Table 1 Experiment sample's classify and their number

年龄段	经验丰富(驾龄>8 a)		经验不丰富(驾龄<8 a)	
	鲁莽型	谨慎型	鲁莽型	谨慎型
<40岁	编号01	编号02	编号03	编号04
>40岁	编号05	编号06	编号07	编号08

## 2 制动速度随时间变化的统计规律

利用数据采集仪,通过制动踏板力传感器、位移传感器采集驾驶员制动操纵信号导入计算机,通过分析软件进行数据处理.对制动位移信号进行差分获得制动踏板速度信号.脚踩制动踏板速度反映了驾驶员在紧急状况下操纵踏板进行制动的快慢.图2是行驶车速为70 km/h,看到距直线与平曲线衔接点分别为40、50 m的障碍物时,驾驶员操纵制动踏板力和速度随时间的变化情况.分析图2可知,驾驶员制动踏板力和速度具有相似的变化规律,由于制动踏板速度更能反映驾驶员操纵的快慢,更能体现内心的紧张感,因此本文主要对制动踏板速度进行分析.

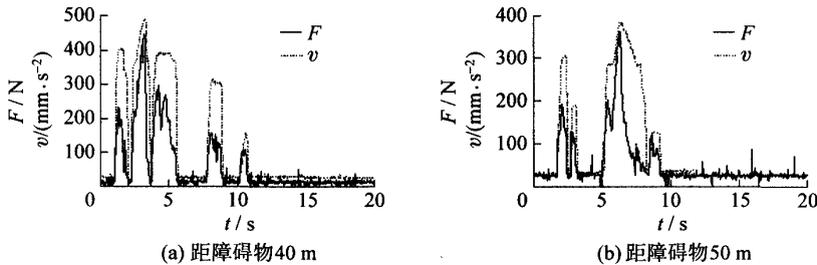


图2 操纵制动踏板力和速度的关系

Fig.2 Cheng of drivers's braking force and velocity with time

由图2(a)可以看出,驾驶员避障过程中制动踏板的操纵分为4个阶段.第1阶段是感知认识阶段.由于大脑还没有判断出紧急避障应该采取的措施,驾驶员对制动踏板的操纵通常会有一个“等待期”.在该段时间内,驾驶员通常会对道路情况进行分析,或者此时正在进行方向盘的转向操纵.总之,此时驾驶员没有制动操纵出现.

第2阶段是判断-操纵阶段.等判断出躲避障碍物所需的措施或者通过转向操作没有达到预期的避

障效果时,驾驶员通常会采用制动操纵。但此时并没有立即使用最大的制动踏板速度,有2个原因。首先驾驶员通常会进行制动效果的探索,如果该制动速度能满足避障的要求,驾驶员通常会继续采用该转速进行操作;如果达不到避障降低行车危险的期望,驾驶员通常会加快制动踏板的操纵速度,期望在尽可能短的时间内通过车辆的制动操纵达到降低危险的目的,或者借助方向盘转向操纵达到降低危险的目的,减轻由此带来的内心的紧张和不适感;其次驾驶员的行为操纵受自身活动能力的限制,从生理学角度上来讲,制动速度受制于肌肉运动速度的限制。该试验条件下,最初的制动操作没有达到驾驶员减低危险的期望,继而驾驶员增大制动踏板速度到最大。

第3阶段是制动操纵调节阶段。驾驶员会依据周围道路环境状况以及车辆的运行状况调节制动速度,继续进行紧急避障操纵。值得注意的是,这种调节有时不止一次,本试验驾驶员对其进行了3次调节。在车距障碍物50 m时,最大制动踏板速度的调节有2次。调节次数的多少视当时的行车环境以及已经采用避障措施的效果决定。当判断出危险度降低到可以接受的阈值内时,驾驶员通常会降低避障所需的最大制动踏板速度,从而进入第4阶段。

第4阶段是制动操纵消退阶段。通过前面3个阶段的操纵,已经能保证车辆避免与障碍物相撞,驾驶员通常会逐渐降低制动踏板速度,直至为0。至此,驾驶员已经完成了一个制动避障操纵。

分析图2(b)有类似的结果出现。驾驶员躲避障碍物的制动踏板操作依次经过障碍物感知认识阶段、判断-操纵阶段、制动操纵调节阶段、制动操纵消退阶段4个阶段。对比分析图2(a)、(b)可知,驾驶员由第1阶段进入第2阶段的时间存在差异。图2(a)中经过大约1.0~1.2 s即进入第2阶段,而图2(b)中经过大约1.5~1.7 s才进入第2阶段。同时注意到2个测试试验的规定车速是一样的,均为70 km/h。2个试验的差异在于车距障碍物的距离 $D$ ,一个是40 m,一个是50 m。一般来说,其他条件一定的情况下,车距障碍物的距离越近,由客观环境造成的紧张度越高,引起的内心紧张感越强烈,驾驶员摆脱危险的期望就越高,从而在感知能力许可的情况下,会尽快地进行躲避障碍物的制动操纵。车距障碍物50 m相对于40 m而言,造成的危险度相对小一些,从而内心的紧张感应该小一些,因此驾驶员的制动操纵相对没有那么剧烈。

再仔细分析图2并结合相应的试验数据可以看出,不同情况下驾驶员的最大制动踏板速度存在差异。在车距障碍物50 m时,最大制动踏板速度为390~400(mm/s),当车距障碍物40 m时,最大制动踏板速度为490~500(mm/s)。由此得出,由于车距障碍物的距离差别造成的紧急度差别会带来最大制动踏板速度的差别。

### 3 紧急避障时驾驶员制动的特性

#### 3.1 制动踏板速度与车距障碍物距离的关系

取最大制动踏板速度时刻左右的5~7组速度并取平均值,得出制动踏板最大速度与障碍物放置距离之间的关系图。表2是最大制动踏板速度随不同车距障碍物距离的数据。图3为不同车速时制动踏板速度随车距障碍物的距离变化的曲线。从图中可以定性分析出,距离障碍物越近,内心越紧张,为避免损失,驾驶员会尽快地操作制动踏板,因此操纵制动踏板速度越快。

对表2中不同车速下驾驶员最大制动踏板速度与车距障碍物距离变化的数据进行回归分析,得到图3的回归曲线。分析得出,在道路上行车时,驾驶员看到障碍物时的最大制动踏板力与车距障碍物的距

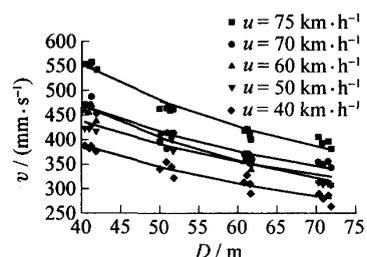


图3 最大制动踏板速度随车距障碍物距离变化的回归曲线

Fig. 3 Relationship between maximum braking velocity and the distance between vehicle and abstacle

离之间呈负幂次关系. 检验数表明模型有效. 图3的回归模型为:(其中,令  $a = \text{Chi}^2/\text{DoF}$ )

表2 不同车速和车距障碍物距离下的最大制动踏板速度

Table 2 Data of maximum braking velocity under different driving velocities and distances between vehicle and obstacle  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$

$u/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	$D/\text{m}$							
	41.900	40.462	41.214	40.972	51.783	51.524	50.913	50.037
75	542.76	554.33	556.88	551.32	463.23	462.50	465.23	463.65
70	453.94	471.93	486.98	470.95	413.75	401.77	381.31	395.61
60	437.80	457.90	469.07	454.92	410.20	412.59	414.41	412.40
50	416.72	422.95	428.08	422.58	377.97	402.85	414.72	398.51
40	375.81	386.84	385.87	382.84	322.16	344.01	353.63	339.94

$u/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	$D/\text{m}$							
	61.643	60.889	61.231	61.584	71.844	71.476	70.353	70.811
75	401.40	419.49	421.53	407.47	380.75	395.13	404.11	393.33
70	362.98	372.14	372.75	369.29	344.29	353.52	353.33	350.38
60	337.35	355.32	357.45	350.04	307.51	312.54	315.88	311.98
50	348.86	366.78	373.9	363.18	306.73	312.85	313.29	310.96
40	289.57	311.81	327.47	309.62	262.93	286.15	289.07	279.39

$$\text{当 } u = 75 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}, v = 6\,023.582D^{-0.647} \quad (1)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.969\,81$ ,  $a = 130.528\,33$ .

$$\text{当 } u = 70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}, v = 3\,601.365D^{-0.552} \quad (2)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.929\,84$ ,  $a = 174.661\,69$ .

$$\text{当 } u = 60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}, v = 5\,870.153D^{-0.684} \quad (3)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.965\,38$ ,  $a = 122.293\,78$ .

$$\text{当 } u = 50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}, v = 2\,927.835D^{-0.515} \quad (4)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.886\,7$ ,  $a = 237.4253\,3$ .

$$\text{当 } u = 40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}, v = 3\,124.107D^{-0.564} \quad (5)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.937\,91$ ,  $a = 111.4815\,5$ .

### 3.2 制动踏板速度与行驶车速的关系

利用分析最大制动踏板速度与车距障碍物距离相似的方法获得最大制动踏板速度与行驶车速的回归曲线. 图4是不同距离时最大制动踏板速度与行驶车速的回归直线.

分析得出,在道路上行车时,最大制动踏板速度与看到障碍物时行驶车速之间的是一条正相关的直线. 检验数表明模型有效. 图4的回归模型为:

$$\text{当 } D = 40 \text{ m}, v = 211.454 + 4.487u \quad (6)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.836\,86$ ,  $a = 729.504\,61$ .

$$\text{当 } D = 50 \text{ m}, v = 100.105 + 5.265u \quad (7)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.938\,94$ ,  $a = 335.022\,73$ .

$$\text{当 } D = 60 \text{ m}, v = 155.158 + 3.139u \quad (8)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.924\,14$ ,  $a = 150.346\,31$ .

$$\text{当 } D = 70 \text{ m}, v = 243.461 + 2.128u \quad (9)$$

模型的相关系数  $R^2 = 0.851\,42$ ,  $a = 146.858\,26$ .

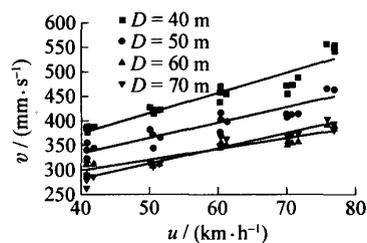


图4 最大制动踏板速度与行驶车速的回归直线

Fig.4 Relationship between maximum braking velocity and driving velocity

## 4 结束语

利用动态 GPS 和 Frecord 数据采集系统、制动踏板力传感器、位移传感器研究了紧急避障时驾驶员制动踏板力和速度随时间的变化规律和最大制动踏板速度与车距障碍物距离以及行驶车速的关系。试验结果得出,紧急避障时制动踏板操纵通常经过障碍物感知认识阶段、判断-操纵阶段、制动操纵调节阶段、制动操纵消退阶段 4 个阶段。对数据分析可知,一定行驶车速下最大制动踏板速度与车距障碍物距离呈负幂次关系,一定车距障碍物距离下最大制动踏板速度与行驶车速呈正相关线性关系,并且给出了相应的回归曲线。

### 参考文献:

- [1] TAKIHIKO Fujioka, KOJI Muramatsu, MAKOTO Aso. ITS study of driver's behavior using driver simulator-driver's behavior in emergency situation[J]. JSAE, 1996(1): 85-88.
- [2] CHENG Bo, FUJIOKA Takehiko. Driver model by fuzzy logic control for obstacle avoidance[J]. JSAE, 1996(2): 201-203.
- [3] NAGIRI Sueharu, AMANO Yasushi, TAKEI Kazukata, et al. An experimental analysis of avoidance maneuver in emergency situation[J]. JSAE, 1996 (3): 448-451.
- [4] SATORU Tsutsui, TAKASHI Yonekawa. Driver's characteristics of avoidance maneuver[J]. Toyota Technical Review, 1995, 45(1): 57-61.
- [5] SHIRO Nakano, MASAYA Segawa, KATSUTOSHI Nishizaki, et al. A study of an active torque controlled steering system for avoidance of collisions with "blind spot" neighboring vehicles[J]. 自動車技術論文集, 2000, 31(1): 57-62.
- [6] TSUYOSHI Moriyama, TAKASHI Yonekawa. A study of emergency maneuverability[J]. Toyota Technical Review, 1995, 45(1): 49-55.
- [7] CHEN Xue-mei, GAO Li, XIAO Jin-jian, et al. Driver braking behavior under emergency situation[C]//HUANG Ping, WANG Ya-jun, LI Sheng-cai, et al. Proceedings of the International Symposium on Safety Science and Technology. Beijing: Science Press, 2006: 2062-2066.
- [8] 陈雪梅. 多因素刺激下驾驶员综合行为模型及职业驾驶员遴选评价[D]. 北京:北京理工大学机械与车辆工程学院, 2006.  
CHEN Xue-mei. Synthesis driver behavior model under multi-factors stimulation of emergency and professional driver suitability evaluation[D]. Beijing: School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, 2006.

## Driver's Braking Behavior Under Emergency

CHEN Xue-mei<sup>1</sup>, GAO Li<sup>1</sup>, WEI Zhong-hua<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Traffic Engineering Key Lab of Beijing, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** Drivers are used to steering, braking or steering-braking when they meet obstacles in order to protect lives and properties. Frecord data collecting system, dynamic GPS and sensors of braking force and angles are utilized to study the changing rules of drivers' braking velocity according to different time, the relation between maximum braking velocity and the distance between vehicle and obstacle, as well as driving velocity. The results show that drivers' braking operation includes four periods and also indicate that the drivers' maximum braking velocity is changing with distance in negative-power, however drivers' maximum braking velocity is changing with driving velocity in positive-linear. The regressive formulas are given. This research can help us to understand drivers' behavior under emergency and also offer theory basis for drivers' safety management.

**Key words:** driver; traffic safety; avoidance of obstacle; braking