

# Analysis of Driver's Emergency Braking Behavior to Pedalcyclist in real Traffic

Chen Mingyang<sup>1</sup>, Zhu Xichan<sup>1</sup>, Ma Zhixiong<sup>1</sup>, Li Lin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai, China, 201804

<sup>2</sup> Collaborative Innovation Center of Intelligent New Energy Vehicle, Tongji University, Shanghai, China, 201804

Email: 512700089@qq.com, zhuxichan@tongji.edu.cn, mzx1978@163.com, lilin\_tj@outlook.com

**Abstract:** There are many mixed driving roads which cause a lot of safety problems between vehicles and pedalcyclists in China. Driver's emergency braking behavior to pedalcyclist in real traffic is analyzed in this paper. Driver behaviors collected in China are classified and risk scenarios with pedalcyclist are obtained. Driver brake parameters are extracted and statistical characteristics are obtained. Influence factors are analyzed with univariate ANOVA and regression analysis. The results show that driver brake parameters under risk scenarios with pedalcyclist obey a lognormal probability distribution. Types of scenarios and intersection or not significantly influence driver brake reaction time. Brake reaction time when driver steers at intersections is longer than when straight driving. The velocity at the time when a collision threat appears has no obvious relationship with driver brake reaction speed. The type of pedalcyclist doesn't significantly influence driver brake reaction times. Drivers brake faster in good lighting conditions. Risk incident type significantly influences average deceleration. When drivers encounter transverse danger, average braking deceleration is higher.

**Keywords:** pedalcyclist; naturalistic driving study (NDS); driver braking behavior

## 真实交通中驾驶员面对骑车人的紧急制动行为分析

陈名扬<sup>1</sup>, 朱西产<sup>1</sup>, 马志雄<sup>1</sup>, 李霖<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

<sup>2</sup> 同济大学智能型新能源汽车协同创新中心, 上海, 中国, 201804

Email: 512700089@qq.com, zhuxichan@tongji.edu.cn, mzx1978@163.com, lilin\_tj@outlook.com

**摘要:** 中国城市交通中存在大量机动车和非机动车混合行驶的道路, 机动车与非机动车间存在大量安全隐患。本文利用自然驾驶数据分析了真实交通中驾驶员面对骑车人的紧急制动行为。本文对驾驶员自然驾驶行为采集和分类, 得到涉及骑车人的危险工况, 提取驾驶员制动行为参数, 得到其统计特性, 采用单变量方差分析和回归分析的方法分析了相关影响因素。结果表明, 面对骑车人造成的危险时, 驾驶员制动行为参数近似服从对数正态分布。危险工况类型、路口与否对于驾驶员制动反应时间有显著性影响, 路口车辆转向时制动反应时间大于车辆直行时。危险出现时刻车速与驾驶员制动反应速度无明显关系。骑行者类型对驾驶员制动反应时间无显著性影响。光照条件好时, 驾驶员的制动反应时间会缩短。碰撞危险类型对于平均制动减速度影响显著, 驾驶员面对横向危险时, 平均制动减速度较大。

**关键词:** 骑车人; 自然驾驶研究; 驾驶员制动行为

## 1 引言

主动安全技术旨在防止事故的发生。先进驾驶辅助系统 (Advanced Driver Assistance System, ADAS) 是当今主动安全技术的热点之一。真实交通危险工况下驾驶员的制动行为对于设计和开发纵向先进驾驶辅助系统如自动紧急制动系统 (Autonomous Emergency Braking System, AEB) 有着十分重要的意义。了解驾驶员何时制动及如何制动有利于确定 AEB 何时及如何辅助驾驶员安全驾驶, 保证驾驶员有足够的时间制动的同时不干扰其正常驾驶。此外, 驾驶员的制动行为已被广泛应用于驾驶员制动模型的建立。

中国城市交通中存在大量机动车和非机动车混合行驶的道路。随着中国汽车保有量的快速增长,加上一些公民的交通安全意识淡薄,机动车与非机动车间存在大量的安全隐患。ADAS 多关注车间危险,而对骑车人(自行车、电动自行车、摩托车、三轮车)与汽车之间危险的关注相对较少。骑车人碰撞避免系统(Cyclist Collision Avoidance System, Cyclist CAS)对于中国道路交通而言意义重大。2013 年世界上首个骑车人探测及自动制动系统问世,2015 年该系统增加了更多系统能起作用的危险工况场景<sup>[1]</sup>。

自然驾驶研究(Naturalistic Driving Study, NDS)与驾驶模拟器测试及场地测试相比,能更真实地反应日常驾驶员行为。本文采集了驾驶员的自然驾驶行为数据,经筛选和分类,得到涉及骑车人的危险工况,对驾驶员制动行为参数进行提取得到其统计特性。本文中的驾驶员制动行为参数主要包括驾驶员制动反应时间、制动减速度梯度、平均制动减速度和最大制动减速度。最后,使用单变量方差分析(univariate Analysis of Variance, univariate ANOVA)及回归分析(Regression Analysis)的方法分析了四个驾驶员制动行为参数的影响因素。

## 2 驾驶员制动行为

### 2.1 涉及骑车人的危险工况下驾驶员自然驾驶行为提取

本文的研究基于在中国上海城市道路上采集的自然驾驶数据,车辆正前方的情形由摄像头记录,车辆速度加速度等数据也被记录。文献<sup>[2]</sup>中,老年驾驶员紧急制动的判断标准定义为大于 0.35g 的制动减速度。文献<sup>[3]</sup>中,纵向加速度达到 0.4g 触发行车记录仪(Video Drive Recorders, VDRs)记录危险工况。本文中,因驾驶员不是老年驾驶员,故 VDRs 触发条件被设置为车辆纵向加速度绝对值大于 0.4g。筛选摄像头记录的视频,筛除没有碰撞危险的工况。危险工况按照 NHTSA 提出的 37 类工况<sup>[4]</sup>进行分类统计。第 13 类危险工况“车辆转向时与骑车人冲突”共有 45 例,第 14 类危险工况“车辆直行时与骑车人冲突”共有 79 例。这两类危险工况占各类危险工况总数的三分之一左右,汽车与骑车人之间的危险工况应引起足够重视。本文中的骑车人包括自行车、电动自行车、摩托车、三轮车。

### 2.2 驾驶员制动行为参数提取

本文使用制动反应时间和制动减速度梯度表征驾驶员制动反应速度,使用平均制动减速度表征制动效果,使用最大制动减速度表征制动能力。

危险出现时刻定义如下:(1)本车侧前方自行车(电动自行车、摩托车、三轮车)突然拐入本车行驶车道的时刻;(2)本车前方被遮挡的自行车(电动自行车、摩托车、三轮车)突然从遮挡物后驶出的时刻;(3)前方同向行驶的自行车(电动自行车、摩托车、三轮车)的突然改变运动状态(如刹车)导致危险发生的时刻。对于难以直接判断的危险开始时刻,经研究员和驾驶经验丰富的驾驶员共同确定。有些危险工况中难以确定危险出现时刻,如车辆转向时,因摄像头视野的限制,导致危险发生的骑车人行为未被记录。对于这些危险工况,难以获得驾驶员制动反应时间。

通过车辆速度曲线确定驾驶员制动开始的时刻。如图 1 左图, A-B 段车速急剧减小,视为驾驶员紧急制动过程, A 点视为紧急制动起始时刻,本文忽略制动器响应带来的延迟。对于某些工况如图 1 右图,驾驶员在遇见碰撞危险之前已制动(如即将到达十字路口),之后进行更剧烈的制动,结合视频,将 A-B 段视为驾驶员的紧急制动过程, A 点视为驾驶员紧急制动起始时刻。

本文中的驾驶员制动反应时间定义为从碰撞危险产生到驾驶员强烈制动避免碰撞所持续的时间。某些工况下驾驶员的制动反应时间很长,主要是因为驾驶员注意力不集中未及时发现危险或驾驶员已发现危险但认为不必要进行制动。这些数据不能真实反映驾驶员制动反应时间。本文得到的驾驶员制动反应时间大多小于 2s。根据文献<sup>[5]</sup>,本文只选用小于 2 秒的制动反应时间数据。

最大制动减速度梯度为制动减速度变化率绝对值的最大值。平均制动减速度定义为紧急制动过程中速度变化量与紧急制动持续时间比值的绝对值。最大制动减速度定义为紧急制动过程中最大制动减速度的绝对值。

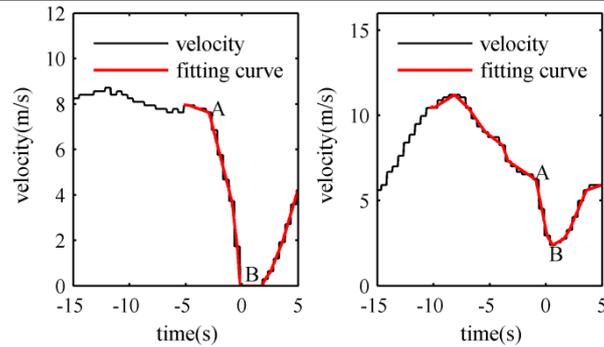


Figure 1. Curve: velocity of the vehicle in different risk scenarios  
图 1. 不同工况下的车速曲线

### 3 驾驶员制动行为分析结果

#### 3.1 驾驶员制动行为参数的统计特性

驾驶员制动反应时间、最大制动减速度、平均制动减速度、最大制动减速度梯度的统计特性见表 1。在全部 124 例涉及骑车人的危险工况中，共有 107 例危险工况可以获得驾驶员制动反应时间且制动反应时间小于 2 秒。

Table 1. Statistical characteristics of driver brake parameters  
表 1. 驾驶员制动行为参数统计特性

| 制动参数    | 制动反应时间(s) | 最大制动减速度梯度(m/s <sup>3</sup> ) | 平均制动减速度(m/s <sup>2</sup> ) | 最大制动减速度(g) |
|---------|-----------|------------------------------|----------------------------|------------|
| 25 百分位值 | 0.67      | 3.06                         | 1.67                       | 0.47       |
| 中位数     | 0.9       | 4.38                         | 2.23                       | 0.54       |
| 75 百分位值 | 1.23      | 5.80                         | 2.93                       | 0.68       |
| 90 百分位值 | 1.54      | 7.50                         | 3.77                       | 0.79       |
| 最大值     | 1.93      | 9.86                         | 6.76                       | 0.99       |
| 平均值     | 0.98      | 4.59                         | 2.39                       | 0.59       |
| 标准差     | 0.36      | 1.92                         | 1.05                       | 0.14       |

本文中使用 Kolmogorov-Smirnov 检验 (KS 检验) 来确定在 95%置信度下驾驶员制动行为参数的对数是否服从正态分布。将驾驶员制动反应时间取对数, KS 检验的概率 p 值 0.4135>0.05, 表示制动反应时间的对数服从正态分布, 即制动反应时间近似服从对数正态分布。用同样的方法检验最大制动减速度梯度绝对值、平均制动减速度绝对值、最大制动减速度绝对值, 均近似服从对数正态分布(概率 p 值分别为 0.7179, 0.9574 和 0.1781)。四种制动参数的频率分布直方图及对数正态分布拟合曲线如图 2。

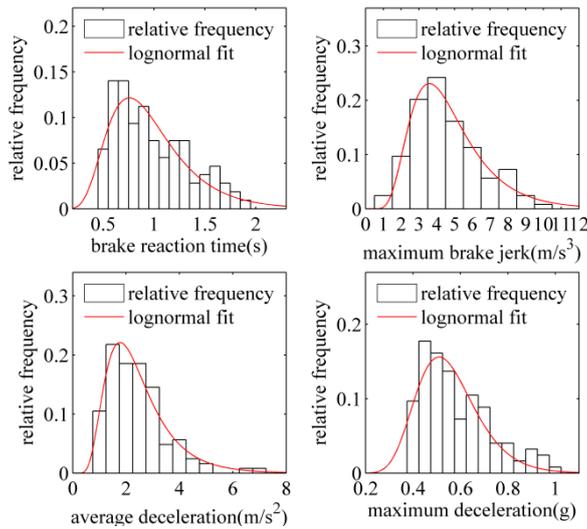


Figure 2. Frequency distribution histograms and lognormal fittings of driver brake parameters  
 图 2. 驾驶员制动参数频率分布直方图及对数正态分布拟合曲线

### 3.2 危险工况类型对驾驶员制动行为的影响

此处使用单变量方差分析检验不同影响因素的显著性。如图 3，第 13 类危险工况“车辆转向时与骑车人冲突”（用 No13 表示）和第 14 类危险工况“车辆直行时与骑车人冲突”（用 No14 表示）中四个制动行为参数中仅驾驶员制动反应时间有显著性差异 ( $F(1,105)=4.76^*$ ,  $p=0.0313<0.05$ )，最大制动减速度绝对值 ( $F(1,122)=2.26$ ,  $p=0.1354$ )、平均制动减速度绝对值 ( $F(1,122)=0.066$ ,  $p=0.7977$ )、最大制动减速度梯度绝对值 ( $F(1,122)=0.0042$ ,  $p=0.9484$ ) 无显著性差异。

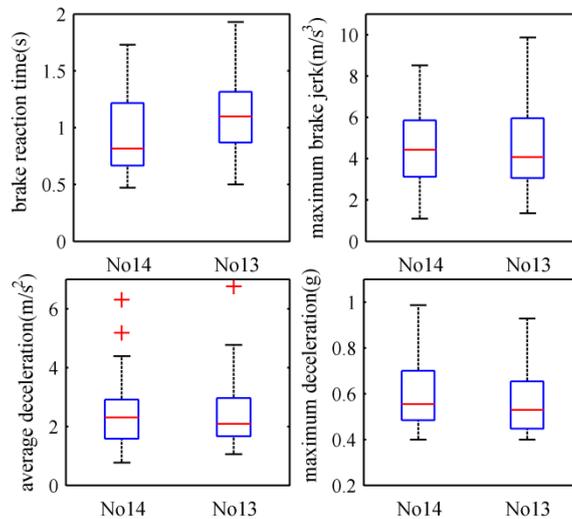


Figure 3. Driver brake parameters under two different types of risk scenarios  
 图 3. 两类危险工况下的驾驶员制动行为参数

两类危险工况下的驾驶员制动反应时间的统计特性见表 2。

Table 2. Statistical characteristics of driver brake reaction time under the two different types of risk scenarios  
 表 2. 两类危险工况下驾驶员制动反应时间统计特性

| 制动反应时间(s) | No13 车辆转向时<br>与骑车人冲突 | No14 车辆直行时<br>与骑车人冲突 |
|-----------|----------------------|----------------------|
| 最小值       | 0.50                 | 0.47                 |
| 25 百分位值   | 0.87                 | 0.67                 |
| 中位数       | 1.10                 | 0.82                 |
| 75 百分位值   | 1.30                 | 1.20                 |
| 最大值       | 1.93                 | 1.73                 |
| 平均值       | 1.10                 | 0.94                 |
| 标准差       | 0.37                 | 0.35                 |

### 3.3 危险出现时刻车速与驾驶员制动行为的关系

此处使用线性回归分析危险出现时刻车速与驾驶员制动行为参数的关系。危险出现时刻车辆速度主要分布在 10km/h 至 40km/h 的范围内。如图 4，涉及骑车人的危险工况下，危险出现时刻车速与制动反应时间（相关系数  $R = -0.078$ ，概率  $p$  值  $p = 0.4176$ ）和最大制动减速度梯度（ $R = -0.022$ ， $p = 0.8224$ ）无明显关系。最大制动减速度（ $R = -0.34$ ， $p = 0.0003$ ）和平均制动减速度（ $R = 0.51$ ， $p = 0.0000$ ）随着危险出现时刻车速的增加有增大的趋势。

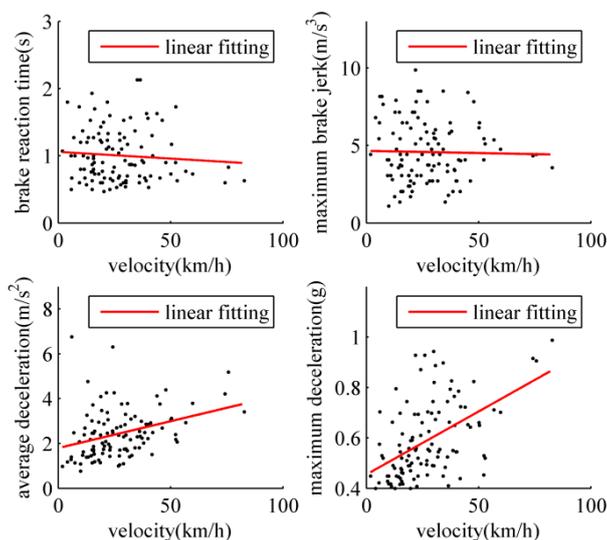


Figure 4. Relationships between driver brake parameters and velocity at the time when a collision threat appears

图 4. 危险出现时刻车速与驾驶员制动行为参数的关系

### 3.4 其他因素对驾驶员制动反应时间的影响

上文已分析了危险工况类型和危险出现时刻车速对驾驶员制动反应时间的影响。此处使用单变量方差分析的方法检验骑车人类型和光照条件对制动反应的影响显著性。

由于一些电动自行车外观和摩托车相近，在视频中难以准确区别，故本文将电动自行车和摩托车归为一类进行统计。摩托车/电动自行车车速较高，自行车/三轮车车速较低，故本文将骑行者种类分为摩托车/电动自行车（用 I 表示）和自行车/三轮车（用 II 表示）两大类，摩托车/电动自行车共 74 例，自行车/三轮车共 33 例。骑车人类型对驾驶员制动反应时间的影响（ $F(1,105)=0.73$ ， $p=0.3961>0.05$ ）如图 5，无显著性差异。

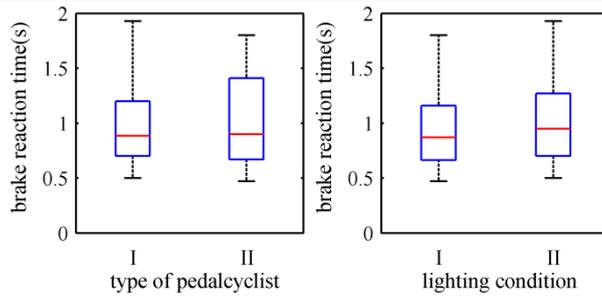


Figure 5. Driver brake reaction time under different types of pedalcyclists and different lighting conditions  
图 5. 不同类型骑车人及不同光照条件下的驾驶员制动反应时间

白天晴天的光照条件最佳，本文将光照条件分为白天晴天（用 I 表示）和其他（用 II 表示）共两类，其他包括夜间、清晨、傍晚、阴雨天等光照条件不佳的情况。白天晴天 67 例，其他 40 例。光照条件对驾驶员制动反应时间的影响 ( $F(1,105)=3.34$ ,  $p=0.0704>0.05$ ) 如图 5，显著性差异虽不明显，但可以看出，光照条件好时，驾驶员的制动反应时间会缩短。

### 3.5 碰撞危险类型对制动行为的影响

危险碰撞类型主要分为横向和纵向两种形式，“车辆转向时与骑车人冲突”中危险碰撞类型较难区分，故此处只研究“车辆直行时与骑车人冲突”危险工况。其中，纵向危险类型（用 lon 表示）有 54 例危险工况，横向危险类型（用 lat 表示）有 25 例。纵向危险类型中，有 19 例危险工况骑车人逆行（in the converse direction, 用 c 表示），有 35 例危险工况车辆和骑车人同向行驶（in the same direction, 用 s 表示），这 35 例危险工况中有 32 例危险工况可以获得驾驶员制动反应时间且制动反应时间小于 2 秒。

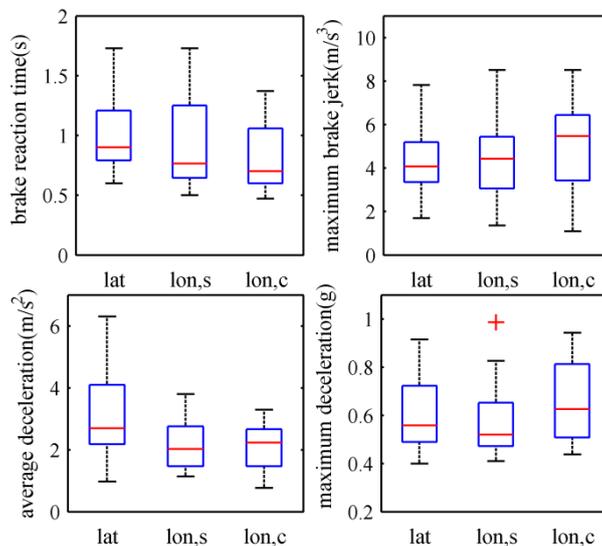


Figure 6. Driver brake parameters under different types of risk incidents  
图 6. 不同碰撞危险类型下的驾驶员制动行为参数

采用单变量方差分析的方法检验碰撞危险类型对制动行为的影响的显著性。四种制动行为参数与碰撞危险类型的关系如图 6。碰撞危险类型对于制动反应时间 ( $F(2,73)=1.5903$ ,  $p=0.2108>0.05$ ) 和最大制动减速度梯度 ( $F(2,76)=0.8769$ ,  $p=0.4202>0.05$ ) 无显著性影响。驾驶员遇见纵向逆行骑行人的制动反应时间最短，最大制动减速度梯度最大。驾驶员遇见横向骑行人的制动反应时间最长，最大制动减速度梯度最小。碰撞危险类型对于平均制动减速度 ( $F(2,76)=7.3174^*$ ,  $p=0.0012<0.05$ ) 有显著性影响。驾驶员遇见横向骑行人的平均制动减速度最大。碰撞危险类型对于最大制动减速度 ( $F(2,76)=2.76$ ,  $p=0.0699$ ) 有较显著的影响。驾驶员遇见纵向逆行骑

行人的最大制动减速度最大。驾驶员遇见纵向同向行驶骑行人的最大制动减速度最小。

## 4 讨论

文献<sup>[6]</sup>给出驾驶员制动反应时间范围为 0.81s 至 2.44s, 平均值为 1.33s, 标准差 0.27s。文献<sup>[7]</sup>给出的制动反应时间: 15 百分位 0.68s, 平均值 1.02s, 85 百分位 1.28s。尽管不同参考文献给出的驾驶员制动反应时间不同, 驾驶员制动反应时间在 0.5s 至 2.5s 范围内。文献<sup>[5]</sup>指出相比于由其他车辆导致的碰撞危险当危险是由行人或骑车人导致时, 驾驶员制动反应时间更短。本文得到的涉及骑车人危险工况下的驾驶员制动反应时间范围为 0.47s 至 1.93s, 平均值为 0.98s, 标准差 0.36s, 结果同上述文献的描述相符。制动反应时间近似服从对数正态分布, 这与文献<sup>[8]</sup>的研究结果一致。最大制动减速度的最大值为 0.99g, 这与文献<sup>[9]</sup>给出的 $-10 \text{ m/s}^2$  的最大制动减速度最大值一致。驾驶员平均制动减速度均值仅为  $2.39 \text{ m/s}^2$ , 远小于车辆可以达到的最大制动减速度。可见由于驾驶技能的缺陷, 普通驾驶员在遭遇危险时往往采取制动措施过迟、制动力不足, 故 Cyclist CAS 等 ADAS 产品是必要的。

根据文献<sup>[5]</sup>和文献<sup>[10]</sup>, 难以得到适合不同危险工况下的标准制动反应时间。故本文给出了两类危险工况下制动反应时间的统计特性。面对骑车人, 车辆直行时驾驶员的制动反应时间要小于车辆转向时。值得注意的是, 危险工况“车辆转向时与骑车人冲突”全部发生在路口。文献<sup>[11]</sup>指出驾驶员在路口的制动反应时间短于在直路上行驶的制动反应时间, 驾驶员在路口时对前车运动状态的变化有预期, 而在直路上却没有。这与本文得到的结果不同。在中国路口道路交通状况比国外要复杂, 除了汽车还有骑车人(自行车、电动自行车、摩托车、三轮车)以及行人, 很多骑车人不遵守交通规则, 时常存在抢行、逆行、随意停车等情况。驾驶员在路口转向时, 更多的注意力在前车以及相邻车道, 驾驶员可能不能及时发现骑车人违法行为造成的碰撞危险。在路口, 驾驶员的认知负荷比在直路行驶时要大得多。因此, 车辆在路口转向时, 驾驶员的制动反应时间较长。

驾驶员制动反应时间与车速的关系在不同文献中有不同的结论。文献<sup>[12]</sup>指出车速从 25mph 提高到 40mph, 驾驶员对黄灯的制动反应时间缩短 0.5s。文献<sup>[13]</sup>发现车速对驾驶员反应时间没有影响。本文中, 在涉及骑车人的危险工况下, 危险出现时刻车速与表征驾驶员制动反应速度的制动反应时间和最大制动减速度梯度无明显关系。需要指出的是, 车速与其他相关因素并不独立, 如较高车速常出现在低交通流密度的道路上, 而较低车速常出现在交叉路口。本文的结果并不能证明危险出现时刻车速不影响驾驶员制动反应时间。当使用自然驾驶数据分析车速时, 混合因素的广泛分析是很重要的。

骑车人类型对驾驶员制动反应时间的影响并不显著。摩托车/电动自行车和自行车/三轮车虽有速度差异, 但在城市道路中两类都属于低速车辆, 且外形相差不大, 驾驶员对其的警觉程度相近, 两类对驾驶员反应时间影响不显著。光照条件好时, 驾驶员的制动反应时间会缩短。夜间城市道路中由于路灯的存在, 照明条件极差的情况极少出现, 故白天晴天和其他两类光照条件对驾驶员反应时间的影响并不显著。

“车辆直行时与骑车人冲突”危险工况中, 驾驶员遇见横向骑行人的最大制动减速度梯度较小, 制动反应时间较长, 这与文献<sup>[4]</sup>的研究结果一致。车辆直行时, 驾驶员的主要精力集中于车辆正前方, 可能难以及时发现横向骑行者。驾驶员遇见纵向逆行骑行人的制动反应时间最短, 最大制动减速度梯度最大, 最大制动减速度最大。驾驶员对纵向逆行骑行者最为警觉, 制动反应速度最快, 制动能力最强。驾驶员遇见横向骑行者的平均制动减速度最大, 结果令人意外。经过仔细观察记录视频, 发现驾驶员在面对横向危险时, 因和骑车人的重叠率大于纵向形式危险时, 紧急制动至本车停止的工况数量较多, 即以较大的制动减速度制动的的时间较长, 从而造成平均制动减速度较大。

## 5 结论

本文分析了真实交通中驾驶员面对骑车人的紧急制动行为。从自然驾驶数据中提取了四个表征驾驶员制动行为的制动参数, 即驾驶员制动反应时间、最大制动减速度梯度、平均制动减速度和最大制动减速度。给出了四个制动行为参数的统计特性, 结果表明, 面对骑车人造成的危险时, 驾驶员制动行为参数近似服从对数正态分布。路口车辆转向时制动反应时间大于车辆直行时。光照条件好时, 驾驶员的制动反应时间会缩短。骑车人类型对驾驶员制动反应时间无显著性影响。危险出现时刻车速与表征驾驶员制动反应速度的制动反应时间和最大制动减速度梯度无明显关系。驾驶员面对横向危险时, 平均制动减速度最大。

本文的数据均来自中国真实道路交通工况, 对于研究中国驾驶员行为、建立中国驾驶员模型及开发符合中

---

国道路交通特点的 Cyclist CAS 具有重要意义。本文数据样本量相对较少, 未来需采集数量更多、分布范围更广的样本来对驾驶员制动行为进行更为深入而全面的分析。此外, 因为没有试验变量控制, 自然驾驶数据受混合因素严重影响。在影响因素分析时, 应考虑混合因素的影响。数量更多的自然驾驶数据使数据变得更复杂, 今后将会研究复杂大量自然驾驶数据的处理方法。

## 参考文献 (References)

- [1] Ljung Aust, M., Jakobsson, L., Lindman, M. and Coelingh, E., *Collision Avoidance Systems - Advancements and Efficiency*. SAE Technical Paper 2015-01-1406, 2015, doi:10.4271/2015-01-1406.
- [2] Keay, L., Munoz, B., Duncan, D.D., Hahn, D., et al., *Older Drivers and Rapid Deceleration Events: Salisbury Eye Evaluation Driving Study*, Accident Analysis and Prevention, 2013. 58: p.279-285.
- [3] Cheng, B., Lin, Q., Song, T., Cui, Y. et al., *Analysis of Driver Brake Operation in Near-Crash Situation Using Naturalistic Driving Data*, in the JSAE Annual Congress, 2010. Japan.
- [4] Najm, W. G., Smith, J.D. and Yanagisawa, M., *Pre-Crash Scenario Typology for Crash Avoidance Research (DOT HS 810 767)*, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2007.
- [5] Li, L., Zhu, X. and Ma, Z., *Driver Brake Reaction Time under Real Traffic Risk Scenarios*, Qiche Gongcheng/Automotive Engineering, 2014. 36(10): p.1225-1229.
- [6] Broen, N.L. and Chiang, D.P., *Braking Response Times for 100 Drivers in the Avoidance of an Unexpected Obstacle as Measured in a Driving Simulator*, in the 1996 40th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, 1996. USA.
- [7] Wong, Y.D. and Goh, P.K., *Driver Perception - Response Time for Braking Action during Signal Change Interval*, Road and Transport Research, 2000. 9(3): p.17-26.
- [8] Rakha, H., El-Shawarby, I. and Setti, J.R., *Characterizing Driver Behavior on Signalized Intersection Approaches at the Onset of a Yellow-phase Trigger*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2007. 8(4): p.630-640.
- [9] Brännström, M., Coelingh, E. and Sjöberg, J., *Model-Based Threat Assessment for Avoiding Arbitrary Vehicle Collisions*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010. 11(3): p.658-669.
- [10] Green, M., *How Long Does It Take to Stop? Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times*, Transportation human factors, 2000. 2: p.195-216.
- [11] Muhrer, E., Reinprecht, K. and Vollrath, M., *Driving with a Partially Autonomous Forward Collision Warning System: How Do Drivers React?*, Human Factors, 2012. 54(5): p698-708.
- [12] Chang, M., Messer, C.J. and Santiago, A.J., *Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior*, Transportation Research Record, 1985. 1027: p20-30.
- [13] Schweitzer, N., Apter, Y., Ben-David, G., Liebermann, D.G. et al., *Field Study on Braking Responses during Driving. II. Minimum Driver Braking Times*, Ergonomics, 1995. 38(9): p1903.
- [14] Marco, D., *What Factors Influence Drivers' Response Time for Evasive Maneuvers in Real Traffic?*, Accident Analysis and Prevention, 2013. 58: p299-308.