

文章编号:1671-8879(2014)06-0139-06

# 夜间长途大客车减速带区段驾驶人 操作行为特征

刘 嘉<sup>1,2</sup>, 钱宇彬<sup>1,3</sup>, 刘浩学<sup>1</sup>, 王 磊<sup>1</sup>, 王婉秋<sup>3</sup>, 吴长水<sup>3</sup>

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 河南省交通运输厅 高速公路管理局, 河南 郑州 450016;  
3. 上海工程技术大学 汽车工程学院, 上海 201620)

**摘 要:**采用实车道路试验方法,设计长距离大型客车上实时采集驾驶人操作行为试验方案,研究客车驾驶人夜间在自由流交通条件下通过单向连续下坡减速带路段的操作行为特征。建立车速、加速度、油门和制动踏板行程及变化率等操作行为指标体系,研究进出减速带段驾驶人操作行为的变化。研究结果表明:在长下坡减速带初始阶段,油门踏板行程指标均小于无减速带阶段,并伴随偶有制动行为;平均车速、制动踏板行程为0分布频数与减速带路段成线性递减关系,减速带能够影响长下坡时驾驶人的操作行为,进而实现对车辆的控速。

**关键词:**交通工程;交通运输安全;长途客车;操作行为;踏板行程;车速;减速带

**中图分类号:**U492.84 **文献标志码:**A

## Operating behavior characteristics of long-distance bus drivers passing the deceleration zone on nighttime

LIU Jia<sup>1,2</sup>, QIAN Yu-bin<sup>1,3</sup>, LIU Hao-xue<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>1</sup>, WANG Wan-qiu<sup>3</sup>, WU Chang-shui<sup>3</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Highway Administration of Henan Provincial Transport Department, Zhengzhou 450016, Henan, China; 3. School of Automobile Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** This paper adopted the real vehicle road experimental method to study the characteristics of bus drivers' operation behavior under condition of free flow of traffic when he is passing through one-way continuous slope road at night. Building the evaluation index system of speed, acceleration, throttle pedal and brake pedal strokes, and their changing rate, this paper studied the driver operating behavior changes in an out of deceleration zone. The results show that in the initial stage of long downhill speed bumps, the accelerator pedal stroke indexes are less than those of no-deceleration-zone phase, accompanied by the occasional braking behavior. Average speed, brake pedal stroke of 0 distribution frequency and speed bump section display a linear reducing relationship. Deceleration zone affects the pilot operation behavior to control the speed of vehicle during long downhill. 3 tabs, 12 figs, 12 refs.

收稿日期:2014-07-10

基金项目:国家自然科学基金项目(51178054);长安大学汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室开放基金项目(CHD2011SY011);  
中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014G1221015)

作者简介:刘 嘉(1975-),男,河南西平人,河南交通运输厅高速公路管理局高级经济师,长安大学工学博士,E-mail:qianyb@sucs.edu.cn.

**Key words:** traffic engineering; transportation security; long-distance bus; operating behavior; pedal stroke; speed; road hump

0 引言

长途大型客车事故往往为群死群伤的特大交通事故,占特大事故总数近 70%。根据相关统计,从 2005 年到 2009 年,中国发生的 157 起一次死亡 10 人以上的特大交通事故,一共死亡 3 876 人,直接财产损失达到 60.7 亿元<sup>[1]</sup>。这些交通事故中发生在高速公路的事故占有很大的比例,而且情节严重,这些特大交通事故的高发时间段为 21:00~22:00 和凌晨 2:00~3:00<sup>[2]</sup>。在一些长大下坡等特殊路段,由于持续下坡的重力势能加速效应,引起汽车超速而导致事故的比例更高。由文献[3]可知,车速每降低 10%,道路交通事故可降低 37%。

Mohamed abdel-Aty 等利用仿真方法对佛罗里达州 4 号公路可能的事故地点上游采用低限速和下游采用高限速来提高道路的安全性;Bjarnason 针对减速坡进行研究,从驾驶人舒适性的角度,确定不同车型的减速设施<sup>[4]</sup>;魏朗等进行了振动减速带设

置间距的研究,并根据驾驶人信息处理过程从人机工程学的基础上探讨了道路限速设置方法<sup>[5-11]</sup>。以上学者虽然从不同的角度提出很多方法,但主要是从车辆和道路 2 个方面进行了研究,没有充分考虑驾驶人操作行为的影响。为此,本文重点研究自由流交通条件下,试验客车驾驶人在夜间通过单向连续的下坡减速带路段时的操作行为特征以及速度特征,研究减速带对驾驶人操作行为的影响,从而实现车速的控制。

1 驾驶人操作行为分析

驾驶人对车辆操控的决策是通过驾驶人对交通流信息、交通信号等交通环境信息,以及车辆本身的运动感知信息,通过踩踏油门加速、制动减速、方向盘转向、灯光开启等操作行为,来控制车辆的行驶速度和轨迹。驾驶人通过认知和反馈交通环境、车辆运行状态下的心理生理反应和操作行为,见图 1。

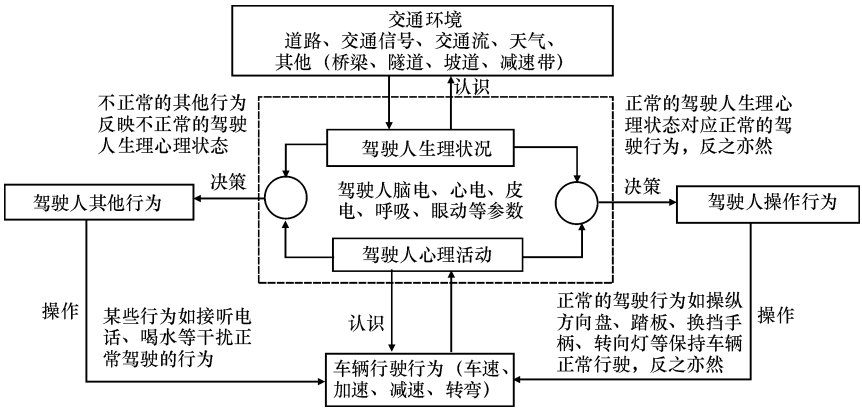


图 1 驾驶人生理心理、操作行为、车辆行驶行为、交通环境关系

Fig. 1 Relation among driver's physical and psychological status, his operation behavior, vehicle driving behavior and traffic environment

操作行为主要有加速行为、减速行为、换道行为等。加速行为主要有自由流加速、跟驰加速、换道超车加速等操作行为。根据跟车距离和车速等综合因素,减速行为一般有 2 种控制方式:①驾驶人通过缓慢速率踩下制动踏板使车辆平稳减速或停止;②驾驶人紧急制动,用很快速率踩下制动踏板,汽车急剧减速或停车。本文主要研究客车驾驶人通过长下坡减速带时通过调整油门和制动踏板行程,实现车辆的加速行为和减速行为,从而实现对车辆预期车速的控制。

2 试验设计与数据采集

2.1 试验目的和试验方案

在中国,长途客车经常在夜间行驶,本文试验的目的是实时采集客车通过减速带等特殊路段的操作行为和车辆运行参数,进而通过分析驾驶人操作行为和车辆运行参数,为长途客车安全管理、减速带等特殊路段道路设计等提供试验依据和模型。

2.1.1 试验目的

本研究针对长距离(大于 500 km)超长运行时

间(12 h 左右)的长途大型客车夜间行驶条件下,实时采集驾驶人 心电、操作行为、车辆运行参数以及交通条件图像数据的试验系统基础上,选取山区高速公路典型路段中的长距离下坡路段,分析车辆通过减速带下坡路段时的驾驶人操作行为和车辆运行参数特征,为制定长途客车和驾驶人安全管理和事故防范提供试验依据和模型。

2.1.2 试验设计

依据研究目标,试验选取上海至福建闽清的高速公路典型线路为试验路段,随机选取驾驶人。在实时交通环境中进行实车试验,利用 24 h 动态心电仪记录心电参数,利用方向盘转角、踏板行程、GPS、3 轴加速度仪等车辆动态数据采集系统采集驾驶人操作行为参数和车辆运行参数,利用图像摄像系统记录交通环境。

表 1 TPS、ΔTPS、BPS、ΔBPS、车速和加速度指标含义  
Tab. 1 Implication of TPS、ΔTPS、BPS、ΔBPS、speed 、 acceleration indicators

变量	含义	变量	含义	变量	含义
$V_1$	路段驶入车速	$TPS_{max}$	路段 TPS 最大值	$BPS_{max}$	路段 BPS 最大值
$V_2$	路段驶出车速	$TPS_{min}$	路段 TPS 最小值	$BPS_{min}$	路段 BPS 最小值
$V_{max}$	路段最大车速	$TPS_m$	路段 TPS 平均值	$BPS_m$	路段 BPS 平均值
$V_{min}$	路段最小车速	$\Delta TPS_{max}$	路段 $\Delta TPS$ 最大值	$\Delta BPS_{max}$	路段 $\Delta BPS$ 最大值
$V_m$	路段平均车速	$\Delta TPS_{min}$	路段 $\Delta TPS$ 最小值	$\Delta BPS_{min}$	路段 $\Delta BPS$ 最小值
$V_R$	路段车速变化幅度	$\Delta TPS_m$	路段 $\Delta TPS$ 平均值	$\Delta BPS_m$	路段 $\Delta BPS$ 平均值
$a_{max}$	路段最大加速度	$a_{min}$	路段最小加速度	$a_R$	路段加速度幅度
$a_m$	路段加速度平均值				

2.2 试验仪器和数据采集

整个试验系统分为驾驶人操作行为参数(油门踏板和制动踏板行程及踏板力、方向盘转角和力矩)和车辆状态参数(轨迹、车速、行驶距离、跟车距离、3 轴加速度仪)、驾驶人 心电指标生理参数、交通环境录像图像等 3 大模块。实时实车采集系统在运营客车上的安装见图 2。图 2(a)为方向盘转角和力矩传感器安装;图 2(b)为油门踏板和制动踏板力、踏板行程传感器的安装,其中踏板行程传感器、踏板拉线安装时应尽可能保证拉线运动方向与拉线出口端平面垂直;图 2(c)为图像记录仪、3 轴加速度仪和激光测距仪的安装;图 2(d)为数据采集存储显示系统,其中包括 3 大模块的电源系统。DEWE-201 数据采集存储主机固定在行李拖架上,显示器固定在客车侧窗玻璃上。

DEWE-201 系统能够实时同步采集记录方向盘转角和转矩、油门踏板力和油门踏板行程、制动踏板力和制动踏板行程、VGPS 数据(车速、行驶距离、海拔高度、经纬度)、3 轴加速度、跟车距离等参数。根据录像和车速统计特征,选取 15%分位车速大于 80 km/h 的自由流交通条件下,2 辆同型试验客车、4 名驾驶人总共 11 次夜间通过减速带路段的速度特征、踏板行程特征,研

2.1.3 人员选择

长途客运班车夜间安排 3~4 名固定驾驶人,班线运行时 2 名当日驾驶人根据管理规定交替驾驶,其余驾驶人轮休。随机选取 3 年以上驾驶经验的 6 名驾驶人,所有驾驶人均有半年以上上海至福建长途客运班车线路的行驶经验,因此驾驶人对试验路段有相同熟悉程度。试验驾驶人年龄范围 28~50 岁之间,驾驶人平均年龄为 38.8 岁,平均驾龄为 14.8 年。

2.1.4 采集指标

取油门踏板行程 TPS、油门踏板行程变化率  $\Delta TPS$ 、制动踏板行程 BPS、制动踏板行程变化率  $\Delta BPS$  评价进出减速带段驾驶人操作行为的变化。取减速带路段车速和加速度以评价减速带减速效果,表 1 为各指标含义。



图 2 实时实车采集系统

究高速公路减速带的控速效果。不同减速带的试验数据见文献[12]附录 10~15。

2.3 试验路段

上海至福建长途客运班车线路中,取全长约 1 220 m 的连续下坡减速带路段(下页图 3、图 4)。长途客运班车通过试验路段的时间为凌晨

3:30~4:30,选取其中 4 名驾驶人的 4 次数据。为了对比分析驾驶人驶入减速带前后的车速特征、油门踏板行程和制动踏板行程特征,选取驶入减速带前 400 m、驶出减速带后 400 m 和 2 000 m 的无减速带的高速公路路段。图 3 为该试验路段线形和关键点分布,图 4 为连续减速带关键点分布。试验路段关键点间距和坡度参数见表 2。表 2 中 SF 代表上海至福建方向的试验路段线形方向。SF3-8 为 3 600 m 的连续弯道不同坡度下坡复杂线形路段。无减速带和有减速带对比分析路段分别为 SF1-2 和 SF2-3、SF3-6 和 SF6-7。

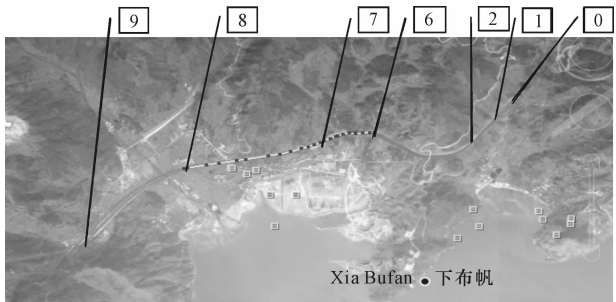


图 3 有减速带的连续下坡高速公路线形和关键点分布  
Fig. 3 Continuous downhill highway line front and key point distribution picture with deceleration zone

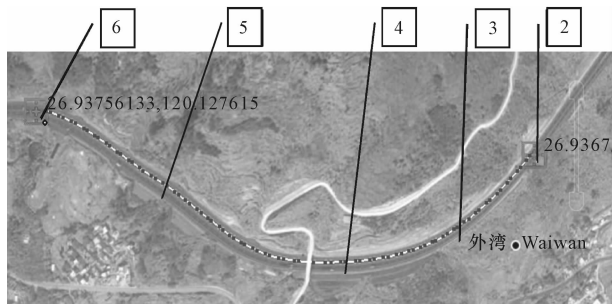


图 4 连续下坡减速带的关键点分布  
Fig. 4 Key point distribution picture of continuous deceleration zone

表 2 连续下坡有/无减速带主要路段参数

Tab. 2 Main road parameter with/without deceleration zone in continuous downhill

序号	路段	间距/m	坡度/%	备注
0	SF0-1	300		隧道出口后环境适应路段
1	SF1-2	400	2.1	无减速带直线线型路段
2	SF2-3	400	0	有减速带近似无坡度直线路段
3	SF3-6	800	-3.9	连续下坡有减速带(曲线路段、曲线过渡、另一曲线路段)
4	SF6-7	800	-2.9	连续下坡无减速带(曲线路段)
5	SF6-8	2 000	-2.1	连续下坡无减速带(曲线路段)
6	4、5			4 为曲线中点、5 为曲线过渡点
7	0、9			0 为隧道出口、9 为隧道进口

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 试验结果

图 5~图 8、下页图 9~图 12 为操作行为、车速、加速度和指标各路段变化图,图中横坐标为表 2

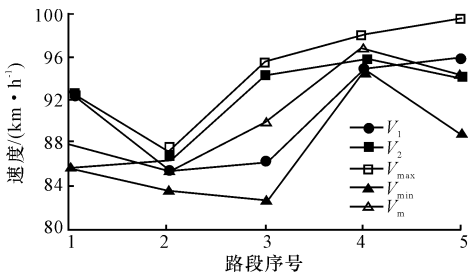


图 5 连续下坡减速带路段速度指标变化  
Fig. 5 Speed indicator variation in continuous downhill deceleration zone

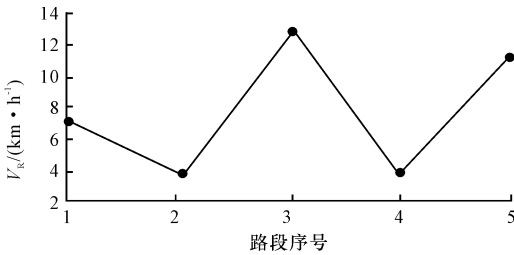


图 6 连续下坡减速带路段 VR 变化  
Fig. 6 VR variation in continuous downhill deceleration zone

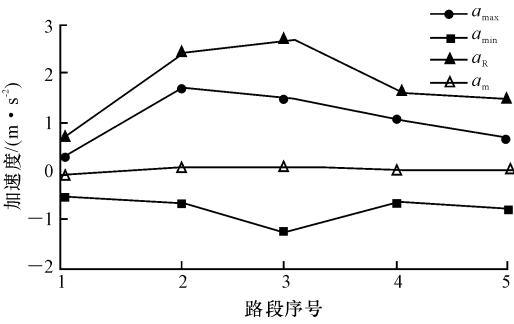


图 7 连续下坡减速带路段加速度变化  
Fig. 7 Acceleration variation in continuous downhill deceleration zone

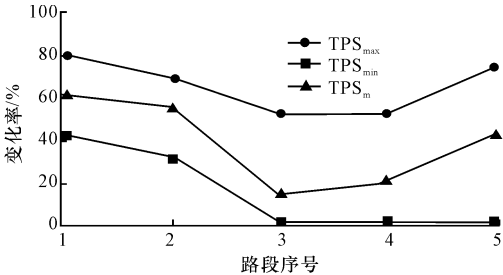


图 8 连续下坡减速带路段 TPS 变化  
Fig. 8 TPS variation in continuous downhill deceleration zone

中的路段序号。

一般在下坡段驾驶人会松开油门,依靠车辆重力势能作用克服行驶阻力获得期望车速,但连续下坡又有超速风险。通过减速带时,车辆会振动进而引起驾驶人通过调节油门踏板行程或制动踏板行程得到合理期望车速。通过油门踏板行程全开(TPS 为 0)和制动踏板行程全开(BPS 为 0)的时间百分比的累计频数分布进一步评价驾驶人操作行为的变化。图 12 为平均车速、TPS 为 0、BPS 为 0 分布频数随路段变化趋势图。从图 12 可以看出:连续下坡有减速带路段油门使用频度下降,制动使用频度增加,车速下降。

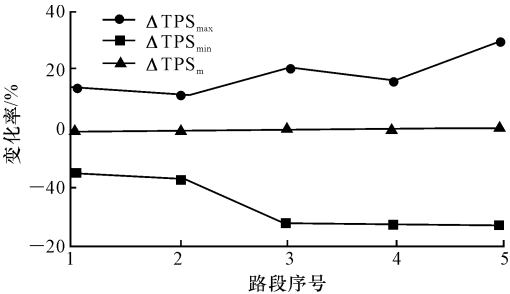


图 9 连续下坡减速带路段  $\Delta$ TPS 变化

Fig. 9  $\Delta$ TPS variation in continuous downhill deceleration zone

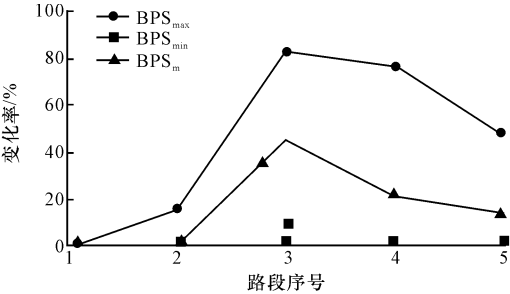


图 10 连续下坡减速带路段 BPS 变化

Fig. 10 BPS variation in continuous downhill deceleration zone

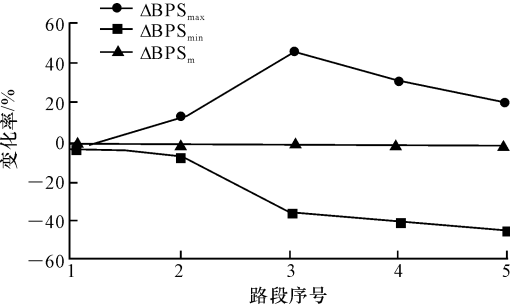


图 11 连续下坡减速带路段  $\Delta$ BPS 变化

Fig. 11  $\Delta$ BPS variation in continuous downhill deceleration zone

3.2 试验结果分析

根据试验数据,由图 5~图 12 可得如下结论。

(1)试验路段 SF2-3 和 SF3-6 均为设置减速带

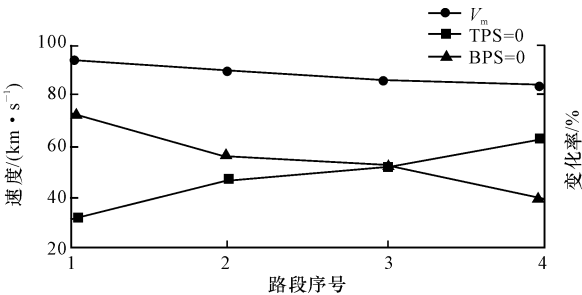


图 12 连续下坡时平均速度、TPS 为 0、BPS 为 0 变化趋势

Fig. 12 Average speed in continuous downhill, TPS=0, BPS=0 change trend

路段, SF3-6 为坡度  $-3.9\%$  的 800 m 连续弯道下坡路段,对比路段 SF2-3 和 SF3-6 的车速特征与油门制动踏板指标的变化特征见表 3。

从表 3 中可看出, SF3-6 路段的  $V_{\max}$ 、 $V_2 - V_1$ 、 $V_m$ 、 $V_R$  均大于 SF2-3 路段的相应指标。

表 3 路段 SF3-6 和 SF2-3 的车速、油门踏板、制动踏板指标的变化特征

Tab. 3 Variation characteristics of indexes of speed, TPS, BPS between road SF3-6 and SF3-2

指标	变化值/ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	指标	变化值/%	指标	变化值/%
$V_{\max}$	8.5	$\text{TPS}_{\max}$	$-14.7$	$\text{BPS}_{\max}$	67.7
$V_2 - V_1$	7.3	$\text{TPS}_{\min}$	$-32.2$	$\text{BPS}_m$	44.0
$V_m$	4.7	$\text{TPS}_m$	$-42.4$	$\Delta \text{BPS}_{\max}$	31.9
$V_R$	9.2			$\Delta \text{BPS}_{\min}$	$-28.3$

这些车速表明连续下坡对车辆有加速效果,驾驶人各路段操作行为相应明显变化。

因此,在 SF3-6 下坡有减速带路段,油门踏板行程 TPS 指标  $\text{TPS}_{\max}$ 、 $\text{TPS}_{\min}$  和  $\text{TPS}_m$  都比 SF2-3 无坡度有减速带路段分别减少了  $14.7\%$ 、 $32.2\%$  和  $42.4\%$ ,驾驶人减少油门行程,依靠客车势能作用调整车速。同时制动踏板行程 BPS 指标  $\text{BPS}_{\max}$ 、 $\text{BPS}_m$ 、 $\text{BPS}_{\max}$  比 SF2-3 路段分别增加  $67.7\%$ 、 $44\%$  和  $31.9\%$ ,而  $\Delta \text{BPS}_{\min}$  指标减少  $-28.3\%$ 。因此 SF3-6 下坡有减速带路段驾驶人同时频繁使用制动和油门以获得期望车速。

(2)SF3-6 和 SF6-7 路段有类似的曲线和下坡线型。有减速带 SF3-6 路段的坡度为  $-3.9\%$ ,比无减速带坡度为  $-2.9\%$  的 SF6-7 路段下坡坡度大。SF6-7 路段油门行程指标  $\text{TPS}_{\max}$ 、 $\text{TPS}_m$  有所增加,制动行程指标  $\text{BPS}_{\max}$ 、 $\text{BPS}_m$ 、 $\Delta \text{BPS}_{\max}$  有所下降。从图 5 中的车速特征可以看出:SF6-7 路段 高达  $94.4 \text{ km/h}$ ,比 SF3-6 路段  $V_{\min}$  ( $82.6 \text{ km/h}$ ) 高出  $11.8$

km/h,驾驶人预期车速  $V_m$  持续增加。有减速带、相同长度且坡度大路段 SF3-6 的车速指标  $V_{\max}$ 、 $V_{\min}$ 、 $V_m$  均比无减速带坡度小的 SF6-7 路段要小,表明减速带对车速降低有显著的效果;但同时也说明驾驶人驶离减速带后有加速行驶的期望。

## 4 结 语

(1)通过实车试验,建立了油门和制动踏板、车速指标,根据指标特征说明车辆通过长下坡连续减速带时对驾驶人操作行为的影响,从而实现对车辆的控速。

(2)试验数据表明,有减速带下坡的油门踏板行程指标均小于无减速带的。平均车速、制动踏板行程全开的分布频数与连续下坡减速带路段成线性递减关系。

(3)本文对夜间长途大型客车驾驶人操作行为特征开展了有益的研究工作,取得了一定成果。今后将完善目前大型客车驾驶人操作行为的试验方案,如补充白天和夜间高速公路、女性和男性驾驶人等相关对比试验;完善方向盘转角和力矩、踏板力等操作行为的采集,提取更为全面的操作行为指标,以提高聚类算法识别的准确率。

## 参考文献:

## References:

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2011 年度)[R]. 北京:公安部交通管理局,2012.  
Traffic Management Bureau of ministry of public security. Statistical yearbook of road traffic accidents in China (2011) [R]. Beijing: Traffic Management Bureau of Ministry of Public Security,2012. (in Chinese)
- [2] 钱宇彬,陈力华,刘浩学,等. 死亡 10 人以上的 200 起中国道路交通事故特点和防范建议[J]. 中华预防医学杂志,2008,42(6):384-387.  
QIAN Yu-bin, CHEN Li-hua, LIU Hao-xue, et al. Characteristics and prevention recommendations of 200 road accidents in which more than 10 people died in china[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2008,42(6):384-387. (in Chinese)
- [3] Elvik R, Christensen P, Amundsen A. Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model[R]. Oslo: Institute of Transport Economics, 2004.
- [4] Bjarnason S. Round top and flat top humps; the influence of design on the effect [R]. Lund: Lund Institute

of Technology, 2004.

- [5] 魏朗,高丽敏,余强,等. 驾驶员道路安全感受模糊评判模型[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(1): 102-105.  
WEI Lang, GAO Li-min, YU Qiang, et al. Fuzzy evaluating model of driver's road safety perception[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 102-105. (in Chinese)
- [6] Chapman J R, Noyce D A. Influence of roadway geometric elements on driver behavior when overtaking bicycles on rural roads[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 28-38.
- [7] 施树明,金立生,王荣本,等. 基于机器视觉的驾驶员嘴部状态检测方法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2004, 34(2): 232-236.  
SHI Shu-ming, JIN Li-sheng, WANG Rong-ben, et al. Driver muth monitoring method based on machine vision[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2004, 34(2): 232-236. (in Chinese)
- [8] 陈荫三,魏朗. 公路强制控速安全措施研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 140-143.  
CHEN Yin-san, WEI Lang. Study on mandatory road speed control measure[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(10): 140-143. (in Chinese)
- [9] 俞耀. 山区公路减速带应用技术关键问题研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2010.  
YU Yao. Research on key issues of speed bumps application in mountainous road [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [10] 王超. 道路速度控制设施效果评价及研究[D]. 北京:北京工业大学, 2009.  
WANG Chao. Evaluation and research of road speed control facilities [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009. (in Chinese)
- [11] Weir D H, Allen R W. Physiological and response measurements in driving tasks [R]. Washington DC: SAE, 1972.
- [12] 钱宇彬. 夜间高速公路长途大型客车驾驶员心电与操作行为特征研究[D]. 西安:长安大学, 2011.  
QIAN Yu-bin. Study on ECG and operating behavior characteristics of long-distance bus drivers on nighttime freeway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)