

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2021.09.006

多车道高速公路不同车道驾驶人视点位置研究

苏晓智¹, 柳银芳², 潘兵宏³, 白浩晨², 王松²

(1. 长安大学 运输工程学院, 陕西 西安 710064; 2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075;
3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 受路侧环境与障碍物的影响, 在不同车道上的行车位置分布差异会导致驾驶人视点位置不同。驾驶人视点位置与平曲线横净距密切相关, 平曲线横净距是停车视距的重要参数, 其大小直接影响平曲线路段圆曲线半径的设置和交通安全措施的选择。在分析多车道高速公路管理方式因素对驾驶人视点横向位置影响和国内外驾驶人视点位置相关研究的基础上, 采用无人机调查多车道高速公路不同车道、不同车型的车辆横向位置分布数据, 通过数据采集处理和数据检验, 得出了相应结论。结果表明: 多车道高速公路不同车道、不同车型的车型横向位置为正态分布; 现有视点位置统一取 1.2 m 或 1.5 m 或行车道中心线存在不合理之处, 应分车型、分车道考虑; 第 1 车道小客车驾驶人视点位置为 1.2 m, 第 4 车道大型车驾驶人的视点位置取 1.5 m, 中间车道驾驶人的视点位置宜取 1.2 m。

关键词: 交通安全; 视点位置; 正态分布检验; 车身横向位置; 多车道高速公路

中图分类号: U412.33

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2021)09-0045-06

Study on Driver's Viewpoint Position in Different Lanes of Multi-lane Expressway

SU Xiao-zhi¹, LIU Yin-fang², PAN Bing-hong³, BAI Hao-chen², WANG Song²

(1. School of Transportation Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China;
2. CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710075, China;
3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: Affected by the roadside environment and obstacles, the difference in the distribution of vehicle positions in different lanes will lead to the different positions of the driver's viewpoint. The position of the driver's viewpoint is closely related to the horizontal clear distance of the horizontal curve. The horizontal clear distance of the horizontal curve is an important parameter of stopping sight distance, and its size directly affects the setting of the circular curve radius of the horizontal curve section and the choice of traffic safety measures. Based on the analysis of the influence of the factors of multi-lane expressway management method on the lateral position of the driver's viewpoint and the researches related to the position of the driver's viewpoint at home and abroad, the lateral position distribution data of vehicles in different lanes and different vehicle types on multi-lane expressways are investigated by using UAV. Through data collection and processing and data inspection, the corresponding conclusions are drawn. The result shows that (1) the lateral positions of the vehicles on different lanes and different vehicle types on multi-lane expressway are normally distributed. (2) all the existing viewpoint positions where are uniformly taken as 1.2 m or 1.5 m or the center line of the traffic lane are unreasonable, the viewpoint position should be considered according to vehicle type and lane; (3) the viewpoint of the driver in the first lane should be 1.2 m, the viewpoint of the driver of the large vehicle in the fourth lane should be 1.5 m, and the viewpoint of the driver in the middle

收稿日期: 2021-04-26

基金项目: 中交科技基金项目 [2018] 05 号

作者简介: 苏晓智 (1977-), 女, 河南安阳人, 副教授, 博士研究生. (335213913@qq.com)

lane should be 1.2 m.

Key words: traffic safety; viewpoint position; normal distribution test; lateral position of vehicle; multi-lane expressway

0 引言

随着交通量的迅速增加,我国早期建设的大量双向4车道与6车道公路现已进入改扩建阶段,新建道路以多车道高速公路为主。车道数的增加使车辆行车自由度提高,多车道高速公路独特的管理方式也将影响各车道驾驶人视点横向位置分布。鉴于多车道视点横向位置分布的差异对高速公路平曲线半径选取的影响不同,故应针对我国现阶段多车道高速公路交通组成特点,分析不同车道驾驶人视点横向位置,确定合理的横净距,检验高速公路各条车道的停车视距,为多车道高速公路设计中平曲线半径参数的确定以及安全性评价中合理确定停车视距,采取科学的安全措施提供参考。

国外学者对驾驶人视点位置的研究主要侧重于利用眼动仪分析驾驶人的视觉特性^[1-5]。如ZHANG等^[1]通过在大雾环境下进行了实车测试,分析了驾驶人注视区域的分布特征。Hudák等^[2]基于实车试验,研究了路侧广告牌对驾驶人视线的吸引时长,利用眼动仪追踪驾驶人眼动轨迹。Antonson等^[3]通过驾驶模拟器和问卷调查研究了路侧植被疏密和有无护栏对驾驶人运行速度、车辆横向位置、扫视幅度的影响。对视觉特性的研究主要集中在自动驾驶^[5]以及驾驶人分心上^[6-8]。国内学者对驾驶人视点位置的研究主要包括:驾驶人视野范围内注视点分布、车辆横向位置对驾驶人视点位置的影响,以及驾驶人的行车状态。对注视点分布的研究一般利用眼动仪记录眼动数据,陈芳等^[9]人采用眼动仪研究山区高速公路弯道路段在不同转向、不同弯道半径条件下驾驶人视点分布的规律。杨运兴等^[10]人利用眼动仪记录驾驶人在山区挖方路段行驶时的眼动数据,结果表明挖方路段的路侧边坡容易使驾驶人产生紧张感,视点位置分布较为分散。而对驾驶人视点位置多在讨论车辆视距时涉及^[11-12],杨龙清^[13]基于隧道照明区段,分析了驾驶人视点、视野和视距等特征,以彩色路面隧道为试验段,通过眼动试验,获取了注视点位置。孟云龙等^[14-15]在计算平曲线横净距时均对驾驶人视点位置与车道左侧边缘线进行了界定,但并未深入分析取值依据。

综上所述,国内外对视点位置的研究主要借助

眼动仪对驾驶人眼动特性进行分析,缺乏对驾驶人视点位置进行探讨,尤其对多车道高速公路不同车道管理条件下的驾驶人视点位置研究较为匮乏。驾驶人视点位置和道路横断面设计是决定横净距的重要参数,而平曲线路段横净距又是影响停车视距的一个主要因素^[16-17],我国《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)(以下简称《公路标准》)^[18]和《公路路线设计规范》(JTG-D20—2017)^[19](以下简称《路线规范》)规定高速公路每条车道都应满足停车视距的要求,因此有必要对不同车道驾驶人的视点位置进行深入分析,解决一直以来因视点位置不同,导致停车视距检验结果不同的争议。本研究以无人机实测数据为基础,针对多车道高速公路不同车道、不同车型驾驶人的视点位置展开研究,提出不同车道、不同车型驾驶人视点位置取值,为高速公路设计和安全性评价中停车视距的分析提供更加合理的检验参数。

1 目前常用视点位置分析

由于驾驶习惯和心生理特征,车辆在车道上的横向分布位置存在一定规律。目前相关研究和规范中采用视点位置有1.2, 1.5 m和行车道中心(1.875 m)3种。赵永平^[20]通过调查,认为行驶时车体位于行车道中线,驾驶人视点位置在距离车道左侧边缘线1.2 m处(图1)。王晓楠、孟云龙等^[15,21]取小客车的视点位置为1.2 m;同时王晓楠等^[21]取大型车的视点位置为车道中心,由于大型车宽度的原因,与距离车道左侧边缘线1.2 m相差不大。杨帆等^[16]根据《路线规范》对路缘带和路缘石距离护栏的位置规定,将视点位置定在距离左侧路缘带1.2 m处。但研究表明,不同的路侧设施、道路断面组成对驾驶人的横向位置存在影响,导致车辆横向位置存在偏移中线的现象^[22-24]。但相关研究中均没有试验调查数据支撑该结论。《新理念公路设计指南》^[25](2005版)(以下简称《指南》)中指出驾驶人的视点位置距离行车道左侧边缘线1.5 m(图2)。目前研究中对《指南》中所建议的视点位置值的应用较少。《路线规范》中指出驾驶人视点位置位于车道宽度的1/2处,即车道中心线,视点位置为1.875 m或者1.75 m(图3)。当车辆在靠近中央分

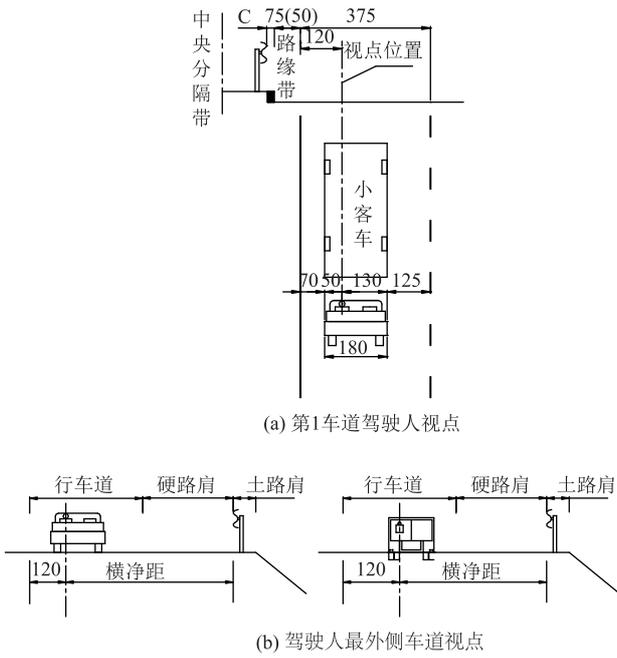


图 1 驾驶人视点位置示意图 1 (单位: cm)

Fig. 1 Case 1: driver's viewpoint position (unit: cm)

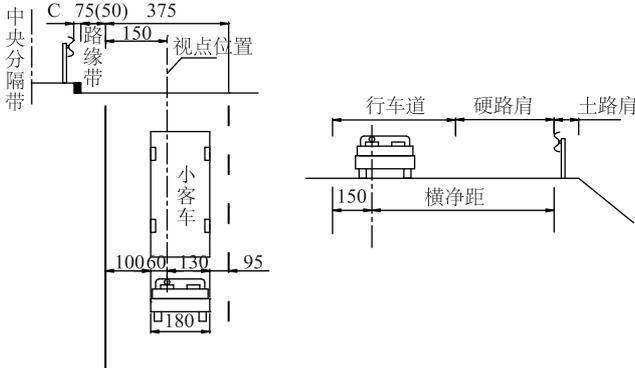


图 2 驾驶人视点位置示意图 2 (单位: cm)

Fig. 2 Case 2: driver's viewpoint position (unit: cm)

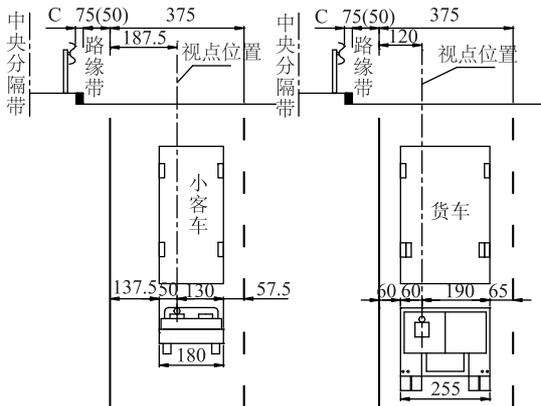


图 3 第 1 车道驾驶人视点位置 3 (单位: cm)

Fig. 3 Case 3: driver's viewpoint position (unit: cm)

隔带的第 1 车道行驶, 由于左侧存在中央分隔带, 受“墙壁效应”的影响, 小车驾驶人有向右远离中

央分隔带的倾向。此时视点位置取行车道中心角合适, 而大型车由于车身较宽, 若视点保持在行车道中心, 则右侧车身将侵入相邻车道。

2 多车道高速公路视点位置影响因素分析

随着我国多车道高速公路建设与管理模式的改进, 高速公路交通运行特性随之改变, 驾驶人在不同车道的驾驶行为呈现出新的规律。目前我国交通管理部门对同向行驶的大、小型车辆采用分车道行驶的管理方式。多车道高速公路主要是采取分车道限车型、限车速的交通组织管理方式。多车道高速公路不同车道管理方式不同, 一般采用如下的管理方式: 双向 6 车道第 1 车道(最内侧车道)一般专供小客车行驶, 第 2、3 车道供客货车混合行驶; 双向 8 车道第 1 车道专供小客车行驶, 第 2 车道供小客车和各种客车(有的也供中小型货车)行驶, 第 3、4 车道以大货车为主, 其他各类型车辆的混合通行; 双向 10 车道一般为第 1、2 车道为小客车专用车道, 禁止大型车辆通行, 大型车辆可以在其他车道行驶。目前多车道高速公路上交通分布特点为: 第 1 车道以小客车居多, 最外侧车道主要供载重车辆通行; 行车道上限制速度与运行速度由内侧至外侧呈递减趋势。不同行驶速度下驾驶人的速度感知、侧向余宽不同, 也可能导致驾驶人在各行车道上的视点位置分布不同。

由于第 1 车道一般为小客车专用车道, 靠近中央分隔带, 在高速行驶的情况下将增加驾驶人行车压迫感; 相比于其他车道, 左侧视野较为局限, 尤其是在左偏平曲线路段, 驾驶人视线受到中分带防眩设施遮挡, 一般认为驾驶人有靠车道右侧行驶的倾向。中间车道多为客货混行车道, 视野较为宽阔, 驾驶人倾向保持车身在车道中间行驶。最外侧车道大型车占比较大, 因大型车车身尺寸较大, 驾驶人更倾向于靠左边线行驶, 其视点位置与小型车辆相差较大。因此不同车道位置的侧向干扰不同, 驾驶行为也不同, 导致视点在车道内的位置也可能不同。另外, 不同车型的驾驶人视线高度和车体结构宽度也会对驾驶人的视点位置产生影响, 因此, 确定驾驶人视点位置应区分车型。

3 高速公路不同车道驾驶人视点位置研究

3.1 数据采集方法与路段

实际车辆行驶中视点位置调查路段选择了连霍高速陕西段(双向 8 车道高速公路), 调查设备选择

大疆御 MavicAir 无人机,采用全景高清录像调查的方式采集一定范围内不同车道内车辆行驶的视频数据,以获取目标车道上行驶车辆在不同车道内的横向位置。将无人机平飞在高速公路车道正上方,飞行高度为 300 m 左右,采集视频视距。数据采集期间天气晴朗无风、车流状态为自由流,无拥堵现象。获得高清视频数据后,通过回放,对不同车道内车辆行驶的状态截图,将提取断面处的图像置于 AutoCAD 中量取图中两车道边线距离 a 、车身边缘至行车道左边线的距离 b ,再通过两车道边线实际距离为 3.75 m,建立比例方程式,计算得到车身边缘至行车道左边线的距离 D_1 (图4),驾驶人视点位置 D 可通过式(1)计算。

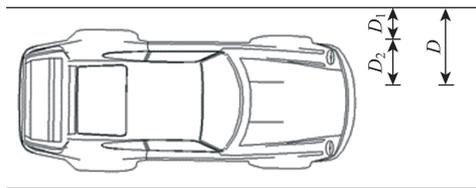


图4 视点位置处理过程

Fig.4 Viewpoint treatment process

$$D = D_1 + D_2, \quad (1)$$

式中, D_1 为车身横向位置,是指左车身边缘至左侧行车道边线距离; D_2 为车座横向位置,是指驾驶人车座中心至车身边缘的距离; D 为驾驶人视点横向位置。

为表述方便将多车道高速公路的车道按照车道功能进行分类(图5)。第1车道为靠近中分带外侧的第1条车道,与左侧路缘带相邻。在多车道高速公路中多为小客车专用车道,具备超车功能。行驶时驾驶人视线易受左侧中分带护栏和防眩设施的遮挡,影响停车视距。中间车道(按行车方向,以中分带为最左侧。从左到右第2车道记为中间车道1,第3车道记为中间车道2)除严格规定外一般为混行车道(图5)。中间车道的车辆驾驶人除了要注意保持与两侧车道边缘线的距离外,还要留意与左、右两侧车辆之间的距离。第4车道为靠近右侧硬路肩的车道,一般为货车专用车道,停车视距易受路基侧的护栏以及挖方边坡的遮挡。

3.2 车身横向位置

在多车道高速公路的管理方式下,在第1车道仅调查小客车的车身横向位置数据;最外侧车道仅调查货车左侧车身横向位置数据;调查中间车道的

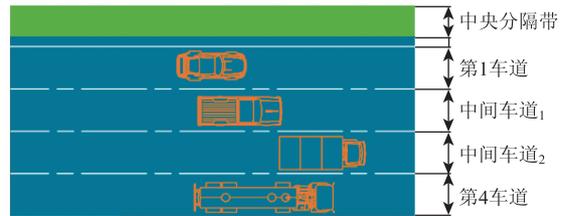


图5 车道分类

Fig.5 Lane classification

全部代表车型。

最内侧车道与中间车道大部分车辆的车身横向位置相差不大;而最外侧车道货车的车身横向位置明显小于前者。利用 Origin 软件进行样本数据的 K-S 正态性检验(表1)。

表1 车身横向位置数据单样本 K-S 检验结果

Tab.1 K-S inspection result of single sample of vehicle lateral position data

分车道 代表车型	第1车道		中间车道		第4车道
	小型车	小型车	中型车	大型车	大型车
样本量/veh	232	211	151	112	210
统计值	0.047	0.059	0.051	0.078	0.052
P 值	0.722	0.444	0.877	0.462	0.631
样本均值/m	1.00	0.97	0.88	0.76	0.63

当取置信水平为 95% 时, P 值均大于 0.5 (表1), 即数值在 0.5 的水平下, 样本数据均符合正态分布, 具有数理统计意义。由数理统计相关知识可知, 当样本数据服从正态分布时, 样本均值即为期望值。为使视点位置符合大多数驾驶人的特点, 分析不同车道样本 85% 车身横向位置分布。

根据车身横向位置分布情况, 可得到各车道 85% 位的车身横向位置(表2)。由表2可看出, 车身横向位置的均值由内侧车道向外侧车道呈递减趋势; 85% 位视点位置在最内侧车道与中间车道内也呈现递减趋势, 而在最外侧车道货车驾驶人 85% 位车身横向位置则最大。

表2 不同车道不同车型车身横向位置

Tab.2 Lateral positions of vehicles in different lanes and different vehicle types

分车道代表车型	第1车道		中间车道		第4车道
	小客车	小客车	中型车	货车	货车
85% 位车身横向 位置/m	0.65	0.62	0.57	0.54	0.89

3.3 车座横向位置

车座横向位置 D_2 为驾驶人车座中心距左侧车身边

缘的距离。调查表明(表3), 不同车辆驾驶人车座中心至行车道边缘的距离是不同的, 主要是因为是在驾驶舱中, 不同类型的车辆两个驾驶座和副驾驶座之间的距离不同。

表3 不同车型车座横向位置调查数据 K-S 检验
Tab. 3 K-S test of survey data of lateral positions of seats of different vehicle types

车型	小客车	中型车	大型车
样本量/veh	134	101	117
P 值	0.061	0.124	0.100
样本均值/m	0.503	0.546	0.600
D_2/m	0.50	0.55	0.60

根据表3得知本次调查样本数据均符合正态分布, 具有数理统计意义, 样本均值即为期望值, 在后续计算过程中, 小客车、中型车、大型车车座横向位置分别取值0.5, 0.55, 0.60 m。

3.4 不同车道驾驶人视点位置

根据式(1), 可知驾驶人视点位置为车身横向位置与车座横向位置之和, 计算得到驾驶人视点位置如表4所示。第1车道85%位小客车驾驶人的视点位置为1.2 m, 该值与文献[16-17, 21-22]采用值一样; 第4车道大型车驾驶人的视点位置为1.5 m, 该值与文献[16]采用值一致; 中间车道驾驶人的视点位置为1.1 m, 也与文献[15-16, 20-21]采用值非常接近。由实测数据分析结果可以看出, 《路线规范》提出的驾驶人视点位置1.875 m较大, 不利于安全; 因货车车身较宽, 若视点保持在行车道中心, 则右侧车身距离行车道中心1.9 m, 大于1.875 m, 所以货车必然会侵入相邻车道, 而实际情况并非如此, 这说明《路线规范》的规定可能存在问题。受中分带防眩设施的影响, 第1车道小客车的视点位置要略大于第2车道。从安全角度考虑, 当用视点位置确定横净距, 检验停车视距时, 应考虑大

表4 不同车道驾驶人视点位置取值

Tab. 4 Values of driver's viewpoint positions in different lanes

分车道代表车型	第1车道		中间车道		第4车道	
	小客车	小客车	中型车	大型车	大型车	
车身横向	均值/m	1.00	0.97	0.88	0.76	0.63
位置 D_1/m	85%位	0.65	0.62	0.57	0.54	0.89
车座横向	位置 D_2/m	0.50	0.50	0.55	0.60	0.60
驾驶人视点	均值	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2
位置 D/m	85%位	1.2	1.1	1.1	1.1	1.5

多数驾驶人的安全需求, 建议选取第85%位的视点位置作为参考标准。

4 结论

为解决一直以来在停车视距检验中应视点位置不同, 导致停车视距检验结果不同的争议。分析了多车道高速公路视点位置影响因素, 采用无人机实测了多车道高速公路不同车道内车身横向数据, 数据有效性检验结果表明车身横向位置符合正态分布, 分析了不同车道、不同车型驾驶人视点位置特征, 在此基础上提出了多车道高速公路不同车道、不同车型85%为驾驶人视点位置建议值。研究成果为停车视距检验中合理确定横净距提供了参考。主要研究结论如下:

(1) 现有相关研究中视点位置统一取1.2, 1.5 m或行车道中心线存在不合理之处, 应分车型、分车道考虑。

(2) 研究结果显示多车道高速公路第1车道小客车和中间车道驾驶人视点位置宜取1.2 m, 第4车道大型车驾驶人视点位置宜取1.5 m。

由于篇幅和时间的原因本研究仅调查研究了双向8车道高速公路不同车道、不同车型驾驶人的视点位置, 双向4车道和6车道高速公路驾驶人视点位置与双向8车道高速公路也许存在差异, 下一步将专门针对双向4车道和6车道高速公路驾驶人视点位置开展研究。

参考文献:

References:

[1] ZHANG X G, GAO J P. Research on the Fixation Transition Behavior of Drivers on Expressway in Foggy Environment [J]. Safety Science, 2018, 119: 70-75.

[2] HUDAK M, MADLENAK R. The Research of Driver Distraction by Visual Smog on Selected Road Stretch in Slovakia [J]. Procedia Engineering, 2017, 178: 472-479.

[3] ANTONSON H, JAGERBRAND A K, AHLSTROM C. Experiencing Moose and Landscape While Driving: A Simulator and Questionnaire Study [J]. Journal of Environmental Psychology, 2015, 41: 91-100.

[4] BAKHTIARI S, ZHANG T, ZAFIAN T, et al. Effect of Visual and Auditory Alerts on Older Drivers' Glances Toward Latent Hazards while Turning Left at Intersections [J]. Transportation Research Record, 2019, 2673 (9): 036119811984424.

[5] MA Y, QI S, ZHANG Y, et al. Drivers' Visual Attention Characteristics under Different Cognitive Workloads: An On-road Driving Behavior Study [J].

- International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17 (15): 5366.
- [6] LOUW T, MERAT N. Are You in the Loop? Using Gaze Dispersion to Understand Driver Visual Attention During Vehicle Automation [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 76: 35-50.
- [7] YU B, CHEN Y R, WANG R Y, et al. Safety Reliability Evaluation When Vehicles Turn Right from Urban Major Roads onto Minor Ones Based on Driver's Visual Perception [J]. Accident Analysis and Prevention, 2016, 95: 487-494.
- [8] FITCH G M, BARTHOLOMEW P R, HANOWSKI R J, et al. Drivers' Visual Behavior When Using Handheld and Hands-free Cell Phones [J]. Journal of Safety Research, 2015, 54: 105-108.
- [9] 陈芳, 周智海, 杨运兴. 山区高速公路弯道路段驾驶员视点分布特征研究 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2015, 38 (5): 594-599.
- CHEN Fang, ZHOU Zhi-hai, YANG Yun-xing. On Drivers' Viewpoint Distribution Characteristics on Curved Section of the Highway in Mountainous Area [J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition, 2015, 38 (5): 594-599.
- [10] 杨运兴, 陈芳. 山区高速公路边坡路段驾驶员视点分布特征研究 [J]. 公路交通科技, 2018 (4): 102-106.
- YANG Yun-xing, CHEN Fang. Research on the Driver's Viewpoint Distribution Characteristics of Slope Section of in Mountainous Freeway [J]. Technology of Highway and Transport, 2018 (4): 102-106.
- [11] 宋婉璐, 王奎元, 谭婷, 等. 干路绿化带特性对驾驶人视觉影响评价研究 [J]. 交通运输研究, 2019, 5 (1): 57-64.
- SONG Wan-lu, WANG Kui-yuan, TAN Ting, et al. Assessment on Visual Impact of Urban Arterial Green Belt on Drivers [J]. Transport Research, 2019, 5 (1): 57-64.
- [12] 李南初. 基于驾驶模拟实验的景观因素对驾驶行为的影响研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- LI Nan-chu. Research on Influence of Landscape Factors on Driving Behavior Based on Driving Simulation Experiment [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [13] 杨龙清, 江建, 王家主, 等. 彩色路面环境下隧道驾驶视觉空间研究 [J]. 福建交通科技, 2019, 167 (2): 38-41.
- YANG Long-qing, JIANG Jian, WANG Jia-zhu, et al. Research on Visual Space of Tunnel Driving in Colorful Road Environment [J]. Fujian Transportation Science and Technology, 2019, 167 (2): 38-41.
- [14] 孟云龙. 高速公路曲线路段中央分隔带视距问题及交通安全设施改善措施研究 [J]. 公路与汽运, 2017 (3): 24-26.
- MENG Yun-long. Research on Line-of-sight Problem of Central Separation Zone of Curve Section of Expressway and Improvement Measures of Traffic Safety Facilities [J]. Highway and Motor Transport, 2017 (3): 24-26.
- [15] 杨帆, 白浩晨, 贺亚龙, 等. 高速公路中央分隔带停车视距评价方法研究 [J]. 公路交通科技, 2018, 35 (6): 45-51.
- YANG Fan, BAI Hao-chen, HE Ya-long, et al. Study on Method of Evaluating Stopping Sight Distance of Median Strip in Expressway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 35 (6): 45-51.
- [16] 日本道路公团. 日本高速公路设计要领 [M]. 西安: 陕西旅游出版社, 1991.
- Japan Road Corporation. Essentials of Japanese Highway Design [M]. Xi'an: Shaanxi Tourism Publishing House, 1991.
- [17] 日本道路协会. 日本公路技术标准的解说与运用 [M]. 王治中, 张文魁, 冯理堂, 译. 北京: 人民交通出版社, 1979.
- Japan Road Association. Explanation and Application of Japanese Highway Technical Standards [M]. WANG Zhi-zhong, ZHANG Wen-kui, FENG Li-tang, translated. Beijing: China Communications Press, 1979.
- [18] JTG B01—2014, 公路工程技术标准 [S].
- JTG B01—2014, Technical Standard of Highway Engineering [S].
- [19] JTG D20—2017, 公路路线设计规范 [S].
- JTG D20—2017, Design Specifications for Highway Alignment [S].
- [20] 赵永平. 螺旋展线在山区高速公路中的应用研究 [D]. 西安: 长安大学, 2008.
- ZHAO Yong-ping. Research on Application of Spiral Line in Mountain Expressway [D]. Xi'an: Chang'an University, 2008.
- [21] 王晓楠, 王云泽, 苗慕楠, 等. 动态停车视距模型研究及应用 [J]. 公路, 2015 (11): 151-155.
- WANG Xiao-nan, WANG Yun-ze, MIAO Mu-nan, et al. Study and Application of Dynamic Stopping Sight Distance Model [J]. Highway, 2015 (11): 151-155.
- [22] VAN DER HORST R, DE RIDDER S. Influence of Roadside Infrastructure on Driving Behavior: Driving Simulator Study [J]. Transportation Research Record, 2007, 2018: 36-44.
- [23] CALVI A. Does Roadside Vegetation Affect Driving Performance?: Driving Simulator Study on the Effects of Trees on Drivers' Speed and Lateral Position [J]. Transportation Research Record, 2019, 2518: 1-8.
- [24] MECHERI S, ROSEY F, LOBJOIS R. Manipulating Constraints on Driver-cyclist Interactions in a Fixed Travel Space: Effects of Road Configuration on Drivers' overtaking Behavior [J]. Safety Science, 2020, 123: 104570.
- [25] 交通部公路司. 新理念公路设计指南 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- Highway Department of MOT. New Concept Highway Design Guide [M]. Beijing: China Communications Press, 2005.