

文章编号: 1674-599X(2020)01-0093-05

## 公路改、扩建施工区设施与减速特征关系研究

梁健健<sup>1</sup>, 李晨新<sup>2</sup>, 魏田正<sup>2</sup>, 谢培<sup>2</sup>

(1. 广西桂海高速公路有限公司, 广西 南宁 530000; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 为研究高速公路改、扩建施工区减速行为与设施设置关系, 以警告区限速标志类型与施工区间距为自变量, 研究改、扩建施工区时平均减速度的变化规律。建立了高速公路改、扩建施工区驾驶模拟场景, 并招募了30名不同驾驶经验的驾驶员开展驾驶模拟试验, 采集了驾驶人行为数据信息等。利用多因素方差分析法, 比较不同设施设置条件下驾驶人平均减速度的差异性, 并建立相关模型。研究结果表明: 单一限速标志情况下, 5 000 m施工区间距的平均减速度比2 000 m的大; 设置逐级限速标志的平均减速度比设置单个限速标志的更小; 经验丰富驾驶员的减速过程更加平稳; 交通标志数量对平均减速度的影响最大。

**关键词:** 交通安全; 改、扩建施工区; 驾驶模拟试验; 车速; 多元回归分析

中图分类号: U415 文献标志码: A

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2020.01.016

### Research on deceleration behavior of highway reconstruction and extension work zone

LIANG Jian-jian<sup>1</sup>, LI Chen-xin<sup>2</sup>, WEI Tian-zheng<sup>2</sup>, XIE Pei<sup>2</sup>

(1. Guangxi Guihai Expressway Co., Ltd., Nanning 530000, China;

2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** In order to study the relationship between deceleration behavior and facility setting in the construction area of expressway reconstruction and expansion, the variation of average deceleration in the construction area of reconstruction and expansion was studied by taking the type of speed limit sign in the warning area and the distance between construction areas as independent variables. The driving simulation scene in the construction area of highway reconstruction and expansion was established, and 30 drivers with different driving experience were recruited to carry out driving simulation test, driver behavior data and information were also collected. The multi-factor analysis of variance (anova) was used to compare the difference of drivers' average deceleration under different facilities, and relevant models were established. The results showed that under a single speed limit sign, the spacing between the average deceleration of 5 000 m construction areas was larger than the average deceleration of 2 000 m construction areas. The average reduction speed of the step by step speed limit sign is smaller than that of the single speed limit sign. Experienced drivers decelerate more smoothly. The number of traffic signs had the greatest effect on the average deceleration.

**Key words:** traffic safety; reconstruction and extension work zone; driving simulation experiment; speed; regression analysis

公路改、扩建施工区给交通安全及交通流运行会造成较大的影响, 并存在着安全隐患。美国死亡

分析报告系统(Fatality Analysis Reporting System, 简称为 FARS)显示<sup>[1]</sup>, 近十年以来, 美国道路施工

收稿日期: 2019-11-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0807500); 国家自然科学基金资助项目(51878066)

作者简介: 梁健健(1992-), 男, 广西桂海高速公路有限公司工程师。

区的死亡总人数约占交通事故导致的死亡总人数的 3%。在中国,每年在道路施工区发生的事故数也达到 1 000 余起,造成的死亡人数超过 1 000 人<sup>[2]</sup>。施工区发生的事故包括:车辆追尾、车辆与施工标志或与隔离设施发生碰撞等<sup>[3-4]</sup>。为了给驾驶人充分的提示和引导,在临近施工区地点会放置交通标志引导驾驶人的驾驶行为。但过多的交通标志又会导致信息过载而影响了驾驶人的判断<sup>[5]</sup>。因此,交通标志标线应数量合理、布置科学<sup>[6]</sup>。在与施工区交通安全相关的研究中,往往需要结合驾驶人的驾驶行为进行分析。Benekohal<sup>[7]</sup>等人得到了货车驾驶人在不同施工区域不良驾驶行为的分布。Weng<sup>[8-9]</sup>等人对施工区的危险驾驶行为产生进行了探讨。在高速公路交通标志的研究中,可以通过分析驾驶人的减速时间点来观测交通标志的警示效果<sup>[10-11]</sup>,还可以根据驾驶速度的变化规律来分析视错觉标线的减速效果<sup>[12]</sup>。在研究不同的交通安全状况时,需要选取合适的替代性安全指标分析驾驶行为的变化<sup>[13-14]</sup>。通常,从驾驶人的行为入手,研究施工区安全设施设置的影响,为优化设施设置提供依据。而与驾驶安全相关的研究<sup>[15]</sup>中发现,减速常被作为一种替代性安全指标。已有研究<sup>[16]</sup>表明,可以通过复制逼真的场景来检查复杂情况下的驾驶人行为。因此,本研究拟设计驾驶模拟试验来获得特定场景下的驾驶行为数据,探究减速行为的差异性。并且结合已有结论,为保障高速公路改、扩建施工区安全行驶提出建议。

## 1 实验设计

### 1.1 驾驶模拟设备

通过 UC-Win/Road 驾驶模拟软件,建立模拟场景,模拟车型为丰田 COROLLA。由 UC-Win/Road 驾驶模拟软件自带的数据库收集插件将驾驶数据以 Excel 表格的形式导出。研究中采集包括:实时速度和加速度等数据。

### 1.2 实验对象

通过网上招募的方式,共计招募了 32 名志愿者参与试验。试验过程中,由于驾驶人对模拟器眩晕或者其他因素,最终有 30 名驾驶人完成了试验。完成了试验的驾驶人的基本情况为:新手驾驶人(男

性 11 人,女性 4 人)和熟练驾驶人(男性 13 人,女性 2 人)各 15 人。将每周驾驶里程不足 300 km 归类为驾驶经验不足的新手驾驶人<sup>[17]</sup>。

### 1.3 实验场景及设计

根据相应规范<sup>[18]</sup>并结合研究内容,构建实验场景,建立了双向四车道的非施工区道路。每个车道的宽度为 3.5 m,最外侧设置了一个宽度为 2 m 的应急车道。施工区分为警告区、上游过渡区(换道渐变段 100 m,相邻渐变段缓冲段 200 m,车道偏移渐变段 100 m)、工作区、下游过渡区和终止区。根据有关标准<sup>[19]</sup>,设置场景内标志。每个施工区在警告区起始位置设置一个施工标志,在距离封闭车道渐变段起始点 400 m 处设置改道,再在 2 个封闭车道渐变段起始点处各设置一个导向标志,并配置一个 LED 指示灯。通过工作区后,在下游过渡区的渐变段起始点设置一个导向标志,同样配置一个 LED 指示灯。最后,在距离下游过渡区的结束点 30 m 处,设置一个解除速度限制标志。除了基本的标志布置,实验中还设置了 2 种不同的限速标志摆放方式(分别如图 1,2 所示):①单一减速标志,仅在距离施工标志处 1 km 设置一个 60 km/h 的限速标志;②逐级减速标志,单一减速标志的基础上,距离施工标志 800 m 处设置限速 80 km/h 的限速标志。高速公路车辆相对较少,未设置其他车流。

连续施工区之间的距离是指上一个施工区的

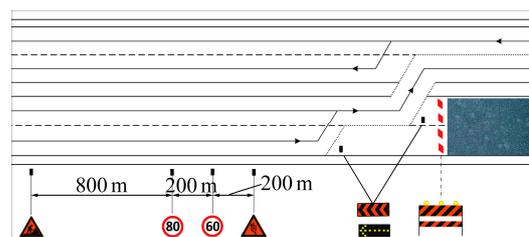


图 1 单一限速标志场景布置示意

Fig. 1 Schematic layout of a single speed limit sign

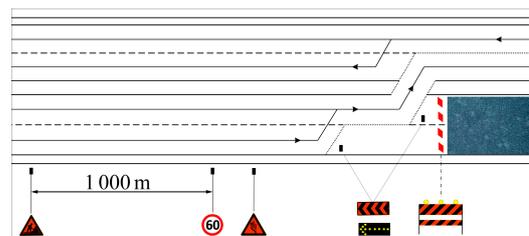


图 2 逐级限速标志场景布置示意

Fig. 2 Schematic layout of the step-by-step speed limit sign scene

下游过渡区的结束点到下一个施工区的上游过渡区的起始点之间的距离。根据国家相关标准<sup>[18-19]</sup>中关于该间距的取值范围, 选取 2 000 m 和 5 000 m 两个施工区间距进行了研究。将限速方式和施工区间距作为自变量, 每一个被试对象需要进行 2×2 次试验, 驾驶 4 个场景, 顺序随机出现, 场景在一条路上设置。

## 2 实验流程

被试人员在实验前填写一份包括: 姓名和驾龄等信息的调查问卷, 并熟悉驾驶模拟器操作。练习场景与实验场景类似。在练习过程中, 被试者若有不适, 则停止试验, 也不能继续下一项正式试验。在进入实验场景开始正式的试验过程中, 被试者必须遵守交通规则。每名被试者进行了一次试验, 一次试验包含 4 个场景。

## 3 平均减速度数据分析

### 3.1 相关因素

4 个场景中不同驾驶经验的驾驶人减速度均值如图 3 所示。从图 3 中可以看出, 单一限速标志的减速度平均值比逐级限速标志的要大; 新手驾驶人的减速度平均值要比有经验驾驶人的大。4 个场景中不同驾驶经验的驾驶人减速起始点速度如图 4 所示。从图 4 中可以看出, 不同的施工区间距对应着不同的减速起始点速度。因此, 也需要将影响减速起始点速度的施工区间距考虑在内。此外, 尚不可知施工区间距对减速度有怎样的影响, 考虑到减速起始点的速度往往会对加速度有影响。

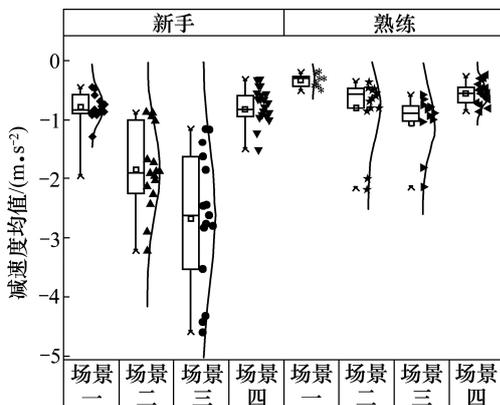


图 3 不同场景下减速度平均值

Fig. 3 The average deceleration in different scenarios

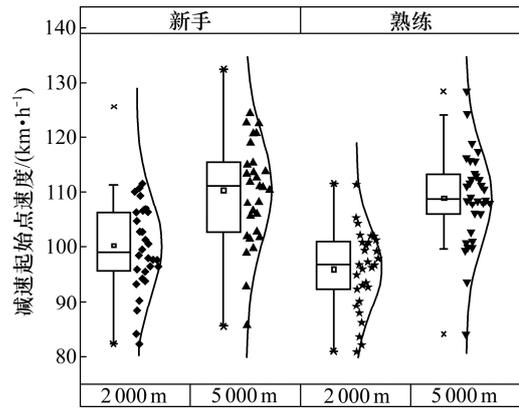


图 4 减速起始点速度

Fig. 4 The speed of the deceleration starting point

### 3.2 相关性分析

分析驾驶经验、施工区间距及限速标志类型 3 因素对减速度均值的影响。3 因素的方差分析结果见表 1。从表 1 中可以看出, 限速标志类型、驾驶经验及施工区间距三者的交互作用对因变量的影响不具有统计学意义( $P=0.081$ )。限速标志类型和驾驶经验这 2 个因素之间有交互作用( $P<0.001$ ); 限速标志类型和施工区间距这 2 个因素也有交互作用( $P=0.044$ )。

表 1 3 因素方差分析结果

Table 1 Analysis of variance of three factors

源	F	P
限速标志类型和驾驶经验	23.582	0.000**
限速标志类型和施工区间距	4.133	0.044*
驾驶经验和施工区间距	0.817	0.368
限速标志类型、驾驶经验和施工区间距	3.101	0.081

注: F 为检验的统计量; P 为相关性(\*\*表示相关性极显著; \*表示相关性显著)。

#### 1) 限速标志类型和驾驶经验主效应分析

利用 SPSS 软件, 得到的单独效应结果分别见表 2,3。从表 2 中可以看出, 熟练驾驶人在不同限速标志类型下减速度的估算边际平均值有显著差异, 具体表现为在逐级限速标志情况下的减速度要比单一限速标志情况下的小, 它们平均值的差约为  $0.472 \text{ m/s}^2$ 。新手驾驶人在不同限速标志类型下减速度的估算边际平均值也有显著差异, 但新手驾驶人在不同限速标志类型下减速度的估算边际平均值之差比较熟练驾驶人的大, 约为  $1.464 \text{ m/s}^2$ 。对于新手驾驶人来说, 在不同限速标志情况下减速度的差会大些。从表 3 中可以看出, 在单一限速标志类

型的情况下,具有不同驾驶经验的驾驶人其减速度的估算边际平均值有显著差异,具体表现为熟练驾驶人的减速度比新手驾驶人的小,其平均值之差约为  $1.335 \text{ m/s}^2$ 。在逐级限速标志类型的情况下,熟练驾驶人的减速度平均值比新手驾驶人的低  $0.343 \text{ m/s}^2$ 。在单一限速标志情况下,不同驾驶经验的驾驶人加速度平均值之差会大些。

表2 不同限速标志类型的简单主效应检验

Table 2 Simple main effect tests for different types of speed limit signs

驾驶经验	<i>I-J</i>	标准误差	显著性	<i>(I-J)</i> 的95%置信区间	
				下限	上限
熟练	0.472	0.145	0.001	0.185	0.758
新手	1.464	0.145	0.000	1.178	1.750

注: *I* 为逐级限速标志情况下的减速度平均值; *J* 为单一限速标志情况下的减速度平均值。

表3 不同驾驶经验的简单主效应检验

Table 3 Simple main effect tests for different driving experiences

限速标志类型	<i>E-G</i>	标准误差	显著性	<i>(E-G)</i> 的95%置信区间	
				下限	上限
单一	1.335	0.145	0.000	1.049	1.621
逐级	0.343	0.145	0.019	0.056	0.629

注: *E* 为熟练驾驶人减速度的估算边际平均值; *G* 为新手驾驶人减速度的估算边际平均值。

## 2) 限速标志类型和施工区间距主效应分析

利用 SPSS 软件,得到的单独效应结果见表 4, 5。从表 4 中可以看出,在施工区间距为 2 000 m 的情况下,不同限速标志类型对应的减速度估算边际平均值有显著差异,具体表现为逐级限速标志的减速度比单一限速标志情况下的减速度小,它们平均值之差约为  $0.760 \text{ m/s}^2$ ;在施工区间距为 5 000 m 的情况下,逐级限速标志的减速度平均值比单一限速标志的减速度平均值低  $1.176 \text{ m/s}^2$ 。在施工区间距

表4 不同限速标志类型的简单主效应检验

Table 4 Simple main effect tests for different types of speed limit signs

施工区间距	<i>I-J</i>	标准误差	显著性	<i>(I-J)</i> 的95%置信区间	
				下限	上限
2 000	0.760	0.145	0.000	0.474	1.046
5 000	1.176	0.145	0.000	0.889	1.462

注: *I* 为逐级限速标志情况下的减速度平均值; *J* 为单一限速标志情况下的减速度平均值。

表5 施工区间距的简单主效应检验

Table 5 Simple main effect test of construction area spacing

限速标志类型	<i>M-N</i>	标准误差	显著性	<i>(M-N)</i> 的95%置信区间	
				下限	上限
逐级	0.543	0.145	0.000	0.257	0.830
单一	0.128	0.145	0.378	-0.158	0.414

注: *M* 为在施工区间距为 2 000 m 情况下对应的减速度估算边际平均值; *N* 为在施工区间距为 5 000 m 情况下对应的减速度估算边际平均值。

更大时,减速度平均值的差也更大了。从表 5 中可以看出,在单一限速标志的情况下,不同施工区间距对应的减速度估算边际平均值有显著差异。在施工区间距为 2 000 m 的情况下对应的减速度比间距为 5 000 m 的情况下对应的减速度小,它们的平均值之差约为  $0.543 \text{ m/s}^2$ ;但是,在逐级限速标志下,不同施工区间距对减速度的影响则不显著。

## 3.3 多元回归模型

利用 SPSS 软件,建立多元线性回归模型。在建立回归模型时,对于限速标志类型,通常需要将其利用 SPSS 转换功能转化为虚拟变量进行另存,驾驶经验由驾龄来表示。减速度的平均值与其他变量的两两相关性分析结果表明:减速度平均值与 3 个变量具有极为显著的相关性。减速度平均值适合作为回归分析的因变量,其模型为:

$$y = -0.771 + 0.968x_1 - 0.839x_2 - 0.112x_3 \quad (1)$$

式中: *y* 为减速过程中的减速度平均值;  $x_1$  为与限速标志类型相关的虚拟变量;  $x_2$  为与驾驶经验相关的虚拟变量;  $x_3$  为与施工区间距相关的虚拟变量。

## 4 结论及建议

1) 经过分析各变量之间的相关性,得出的结论为:①限速标志类型与驾驶经验、限速标志类型与施工区间距之间有交互作用;②在施工区间距最大,采取单一限速方式的施工区,新手驾驶员的平均减速度最大;③与警告区减速过程的减速度最相关的变量为限速标志类型,这与相关论文中汇合标志的研究结果较为类似,突出了提前预警的重要性<sup>[20]</sup>。

2) 建议:①应在警告区设置逐级限速标志,从而可以给新手驾驶人更多的减速缓冲时间。②可以通过适当减少施工区的间距来降低驾驶人进入施

工区车速, 使减速过程更加平稳。

### 参考文献(References):

- [1] National Highway Traffic Safety Administration. Traffic safety facts of annual report[R]. Washington D C: National Highway Traffic Safety Administration, 2015.
- [2] 许程超. 高速公路施工作业区交通管理与安全保障技术研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(15): 848. (XU Cheng-chao. Research on traffic management and safety guarantee technology in expressway construction operation area[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2015(15): 848. (in Chinese))
- [3] Ardit D, Lee D E, Polat G. Fatal accidents in nighttime vs. daytime highway construction work zones[J]. Journal of Safety Research, 2007, 38(4): 399–405.
- [4] Zech W C. Enhancing work zone safety[D]. Buffalo: State University of New York, 2004.
- [5] Weng J, Meng Q. Effects of environment, vehicle and driver characteristics on risky driving behavior at work zones[J]. Safety Science, 2012, 50(4): 1034–1042.
- [6] 陈登峰, 万华森, 资新. 针对车辆行驶速度的高速公路交通标志标识的设置优化研究[J]. 公路工程, 2019, 44(5): 258–262. (CHEN Deng-feng, WAN Hua-sen, ZI Xin. Research on the optimization of the setting of expressway traffic signs based on vehicle speed[J]. Highway Engineering, 2019, 44(5): 258–262. (in Chinese))
- [7] Benekohal R F, Shim E, Resende P T V. Analysis of truck drivers' opinions on safety and traffic control on highway work zones Volume I. summary of findings[R]. Urbana-Champaign, Illinois, USA: Illinois University, 1995.
- [8] Weng J, Meng Q. Modeling speed-flow relationship and merging behavior in work zone merging areas[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 2011, 19(6): 985–996.
- [9] Meng Q, Weng J. Classification and regression tree approach for predicting drivers' merging behavior in short-term work zone merging areas[J]. Journal of Transportation Engineering, 2012, 138(8): 1062–1070.
- [10] 陆键, 徐韬, 彭一川, 等. LED 主动发光交通标志视认性能研究[J]. 中国公路学报, 2018, 31(4): 151–159. (LU Jian, XU Tao, PENG Yi-chuan, et al. Research on the recognition performance of LED active light traffic signs[J]. Journal of China Highways, 2018, 31(4): 151–159. (in Chinese))
- [11] 杜志刚, 徐弯弯, 孟爽, 等. 基于视错觉的公路隧道环境改善研究新进展[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2017, 41(2): 185–190. (DU Zhi-gang, XU Wan-wan, MENG Shuang, et al. New progress in research on environmental improvement of highway tunnels based on optical illusions[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation & Engineering Edition, 2017, 41(2): 185–190. (in Chinese))
- [12] Ashleigh J F, Gregoire S L, Amy J S, et al. Safety implications of co-locating road signs: A driving simulator investigation[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, 2017, 47: 187–198.
- [13] 安超帅, 滕靖, 刘万明, 等. 现代有轨电车安全制动距离的变化规律[J]. 交通科学与工程, 2018, 34(4): 64–70. (AN Chao-shuai, TENG Jing, LIU Wan-ming, et al. Variation law of safe braking distance of modern trams[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2018, 34(4): 64–70. (in Chinese))
- [14] Adeli A. Work zone speed analysis using driving simulator data[D]. [s.l.]: Dissertations & Theses—Gradworks, 2014.
- [15] Tehran D S, Nahvi A, Hajirasouli M, et al. Effects of stimulant and opiate drugs on driver behavior during lane change in a driving simulator[J]. Travel Behavior & Society, 2016(4): 69–78.
- [16] Reyes M L. Examining driver performance in response to work zone interventions in a driving simulator[D]. [s.l.]: Dissertations & Theses—Gradworks, 2010.
- [17] 孙龙. 多维度驾驶风格量表的修订及其与驾驶人情绪状态之间的关系研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2014. (SUN Long. Revision of multi-dimensional driving style scale and its relationship with driver's emotional state[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2014. (in Chinese))
- [18] 交通运输部公路科学研究院. JTG H30—2015, 公路养护安全作业规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2017. (Research Institute of Highway Ministry of Transport. JTG H30—2015, Safety maintenance regulations for highways[S]. Beijing: China Communications Press, 2017. (in Chinese))
- [19] 交通运输部公路科学研究院. GB 5768.4—2017, 道路交通标志标线——第 4 部分: 作业区[S]. 北京: 人民交通出版社, 2017. (Research Institute of Highway Ministry of Transport. GB 5768.4—2017, Road traffic markings and markings—Part 4: Operation area[S]. Beijing: China Communications Press, 2017. (in Chinese))
- [20] 于英, 王敏, 金明新, 等. 高速公路养护施工区安全特性的研究[J]. 中外公路, 2007, 27(6): 186–189. (YU Ying, WANG Min, JIN Ming-xin, et al. Study on safety characteristics of highway maintenance construction area[J]. China and Foreign Highway, 2007, 27(6): 186–189. (in Chinese))