

交通标志对制动操作认知模型的影响

关 伟, 赵晓华, 黄丽华, 刘小明
(北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124)

摘 要: 为了揭示交通标志诱发驾驶员弯道前制动操作的过程, 根据认知学原理建立了驾驶员认知模型, 并采用模拟驾驶的实验方法, 分析了在不同条件下驾驶员第1刹车点位置与交通标志的关系. 实验结果表明: 当交通标志设置远离弯道入口时, 制动操作直接受到交通标志影响; 当设置位置距弯道入口较近时, 交通标志对制动操作的作用将被弯道轮廓线所代替. 另外, 结果显示该过程还受到驾驶员内在记忆系统及外部环境的影响. 实验结果验证了模型的有效性及相关影响规律, 并且结合认知模型可以得到交通标志诱发驾驶员制动操作源于交通信息对于制动决策需求的满足.

关键词: 交通标志; 认知模型; 驾驶行为; 驾驶安全

中图分类号: U 491.5

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2014)03-0368-06

Effect of Traffic Signs on the Cognitive Model of Braking Operation

GUAN Wei, ZHAO Xiao-hua, HUANG Li-hua, LIU Xiao-ming

(College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The authors revealed the traffic signs to induce the drivers' braking operation on curves. According to the cognitive theory, a driver's cognitive model was established. A simulator experiment was employed to analyze the relationship between the drivers' first braking point and the traffic sign under different conditions. The experimental results show that when the traffic sign is set away from the curve entrance, the braking operation is directly affected by traffic signs; when it is set near to the curve entrance, then such effect will be instead by the curve outline. In addition, the results also show that this process is also influenced by the internal memory system of the driver and the external environment. The experimental results verify the effective validity of the model and the related impact. With the combination of cognitive model, it could be indicated that the driver's braking operation is induced by the traffic information which meet the demand for brake decisions.

Key words: traffic sign; cognitive model; driving behavior; driving safety

0 引言

随着现代化城市的不断发展以及道路安全问题的日趋严峻, 交通事故所造成的危害引起了社会的广泛关注. 在弯道处所发生的交通事故不论是数量

还是严重程度都远高于普通直线路段^[1]. 国内外研究结果显示, 驾驶员的不当操作是造成交通事故的主要原因. 为此, 人们试图通过设置交通安全设施、加强宣传教育、安装辅助驾驶系统等多种方式避免驾驶员的不良驾驶行为, 提高弯道处的驾驶安全.

收稿日期: 2013-06-05

基金项目: 国家自然科学基金资助(51108011); 北京市自然科学基金资助(8112004)

作者简介: 关 伟(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事驾驶行为建模方面的研究, E-mail: major_lich@emails.bjtu.edu.cn

其中,交通标志作为一种重要的交通安全设施已广泛应用于各种道路环境,并且在提高弯道处的驾驶安全方面发挥着作用.研究表明,合理设置交通标志可以减少弯道处30%的交通事故^[2].

虽然在各国的交通系统中交通标志有效提高了弯道处的交通安全,但无论是美国的《标准交通控制设施手册》(MUTCD),还是我国的《道路交通标志和标线》(GB5768.2—2009)^[3],对于标志的设置位置、设施间隔、信息容量、信息密度等具体问题大多只是一些建议性的指导规范,缺乏有效的理论依据,导致了实际工程中交通标志设置的随意性,影响了交通标志效用的发挥.鉴于此,作者基于认知学原理对交通标志如何影响驾驶员在弯道处的制动操作进行了深入细致的分析研究,为优化设置交通标志提供了理论依据.

1 交通标志作用机理分析

交通标志作为交通信息传递的主要手段之一,一直备受国内外研究者的高度重视,已经形成了一套较为完整的设计、设置体系,包括标准、规范及设计手册等,为道路交通安全提供了有效保障^[4].目前,关于交通标志的研究主要侧重于基本要素、有效性评价以及优化设置等方面.由于缺乏对驾驶员认知特性方面的考虑,并且随着城市道路的发展,新的交通安全问题不断涌现,很多研究成果难以适用于新场合、新问题,不能有效指导交通标志的实际应用.

目前,已有不少国内外学者从认知学角度开展了有关驾驶员对交通信息感知、决策及动作等方面的研究. Salvucci^[5], Krajewicz^[6]和 Delorme^[7]等基于认知行为体系结构,在分散注意力、驾驶性能损伤

及多任务驾驶等相关领域分析了驾驶员的特性,并建立相关的认知模型对驾驶员驾驶行为进行描述.贾洪飞等^[8]基于认知学,通过研究限速标志下驾驶行为、心理及反应过程,分析了影响驾驶员识别限速标志的主要因素;刘雁飞等^[9]开展了驾驶认知行为建模的工作,主要集中在驾驶员跟驰、换车道等行为模型的建立.基于国内外学者对于驾驶员认知模型的研究,论文依据认知学原理构建了在交通标志影响下的驾驶员认知模型用以描述驾驶员在弯道前的制动操作过程,并通过模拟驾驶实验获取驾驶员实际驾驶行为的数据加以分析证明.

根据认知理论假设,驾驶员的认知过程通常由4种基本单元组成:传感单元、存储单元、处理单元以及动作单元.各单元的功能描述如下:1)传感单元负责从外部环境中获取驾驶员所需的交通信息;2)存储单元的功能是存储所获取的各种信息;3)处理单元则是基于某种规则将输入信息进行加工转化并输出;4)动作单元负责具体驾驶操作的执行.基于上述4种基本认知单元建立驾驶认知模型,如图1所示,该模型用于描述驾驶员从交通标志的信息感知到驾驶策略选择再到驾驶操作执行的过程,模型包括感知系统、动作执行系统、学习系统及记忆系统.

根据认知模型,交通标志诱发驾驶员制动操作的过程为:当驾驶员获取到包含有交通标志的影响后,视觉解码单元将交通标志解析为“前方有弯道”这一交通信息并传递给驾驶决策单元;而后驾驶决策单元综合其他交通信息判断,若此时所获信息满足制动策略条件则将制动命令发送给执行单元;在接到制动命令后执行单元将会发起制动操作.

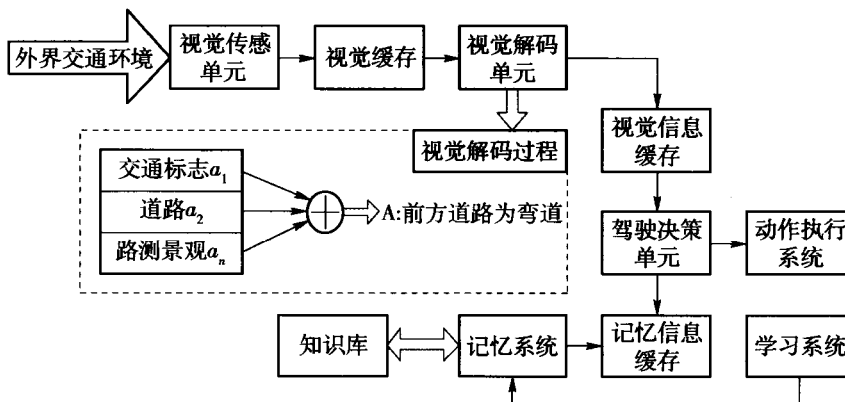


图1 驾驶员认知模型

Fig. 1 Driver's cognitive model

根据以上分析可知,交通标志在弯道前诱发制动操作的实质在于:驾驶员通过交通标志感知到的信息满足了制动决策的触发条件(即当车辆速度大于通过弯道的安全速度时,如果前方道路为弯道则采取制动操作)。然而,除交通标志外驾驶决策系统还可以通过驾驶员内在的记忆系统或外界环境的其他事物(如道路轮廓线)获取“前方有弯道”这一信息,影响制动操作。为进一步揭示交通标志对驾驶员制动操作的作用机理,以及不同信息获取途径间的影响,分别设计了2组模拟驾驶实验加以验证说明。另外,对于不同驾驶员的认知单元特性存在差异且无法直接观测,为了能通过实验对模型加以验证,对驾驶员的认知过程进行了一些必要的限定:

1) 假设生理特征相近的驾驶员群体的动作执行系统具有相对的一致性及稳定性。

2) 在无特殊信息源刺激的情况下,除视觉系统外的其他感知系统对驾驶员决策单元无显著影响。

3) 驾驶员均具有与之前描述相同的制动决策。

模拟实验1的目的在于通过观察有无交通标志下驾驶员制动操作的差异,验证交通标志诱发制动操作的机理及内在记忆系统的影响;模拟实验2则通过对比不同交通标志位置下驾驶员制动操作的差异,进一步揭示交通标志对制动操作的影响规律并验证外界环境的影响。

2 实验设计

2.1 实验仪器

实验采用 AutoSim 公司的模拟驾驶系统,如图2所示。该系统的硬件主要包括1辆丰田轿车,为驾驶员提供真实的车辆驾驶操作;8台电脑主机,其中6台用于计算虚拟驾驶场景并分别显示在投影和LCD上,1台用于计算车辆的实时动力参数,1台用于运行主控软件并协调各硬件设备;音响系统模拟真实驾驶时的音效。模拟驾驶系统的软件部分包括: Evariste 用于建立模拟驾驶环境; Simword 用于运行模拟驾驶环境; Scancer 用于采集驾驶时的车辆数据。数据采样频率为 30 Hz,可提取行驶速度、加速度、偏移中心线位置等车辆行驶状态数据,以及刹车、油门、方向盘转角等操控行为数据。

2.2 实验人员

实验招募驾驶能力相当的48名被试(其中实验1的被试有18名,实验2的被试30名),年龄分



图2 实验用模拟驾驶系统
Fig. 2 Simulator system

布在20~50岁(平均年龄为26.30),均有2a以上驾龄(平均驾龄为3.28a),身体状况良好,无色弱、色盲。为确保被试实验当天有良好的精神状态,要求被试实验前1d保证8h正常睡眠,禁止饮酒。此外,实验开始前禁止被试饮用茶或咖啡等刺激饮品,以减少其他因素对被试造成的影响。

2.3 实验设计及场景

实验1设置1个对照组(A组)和2个控制组(B、C组):A组驾驶员既无实验前弯道信息的告知也无场景中交通标志提示,其弯道信息的来源仅为弯道自身轮廓线;B组在弯道前200m设有交通标志提示前方即将出现弯道;C组在驾驶员正式开始实验前通过向其展示本次实验场景的地图告知弯道信息,但实际场景中并无交通标志提示。3组驾驶员均采用相同的场景。因此可以根据实验中驾驶员实际的制动操作结果是否与模型相匹配来推断模型的合理性。

另外,为了满足模型验证的限定条件,实验中场景均为单车道乡村道路(3.5m),防止其他驾驶决策对制动策略的干扰;无交通流设置,避免驾驶员因其他干扰因素采取制动操作,在每个弯道前有至少800m的直线路段供驾驶员加速至自由流速度。实验所采用的交通标志如图3(a)所示,实验场景见图3(b)所示。

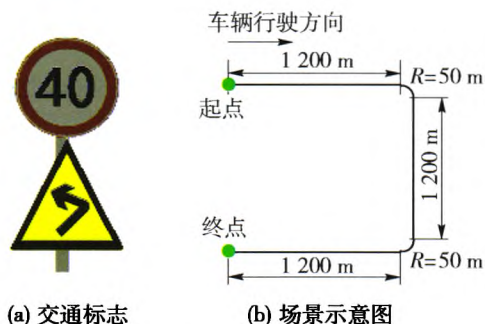


图3 实验1场景及采用的交通标志

Fig. 3 Scenario of the experiment 1 and the traffic sign

实验2以交通标志的设置位置和弯道半径为自变量,驾驶员制动操作为因变量,分析在不同自变量下的驾驶员制动操作规律,以此来进一步说明驾驶员如何获取和利用交通标志中的弯道信息.其中标志设置位置和弯道半径均有5种水平.因此,实验分为5组且每组弯道前交通标志设置不同,并按照随机分配原则进行组合,如表1所示.表1中R为弯道半径,S表示5个场景中交通标志的设置位置.

表1 实验2中不同场景中弯道前交通标志设置位置
Table 1 Traffic sign's position before each curve in different scenarios of the experiments

R/m	S/m				
	场景1	场景2	场景3	场景4	场景5
20	200	100	400	50	0
30	400	200	100	50	0
40	50	0	100	200	400
50	200	100	0	400	50
60	400	100	0	50	200

实验2中除场景地图外,其他设计(如交通标志、道路及路测环境)均与实验1一致,见图4所示.

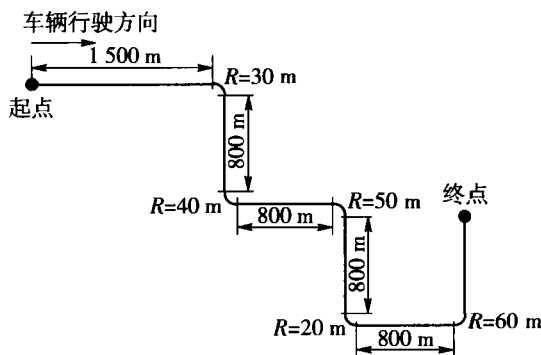


图4 实验2场景示意图
Fig.4 Scenario of the experiment 2

3 实验结果

制动操作是驾驶员感知到交通信息并满足制动决策的结果,为了说明这一现象的作用机理,选取第1刹车点的位置(即驾驶员开始刹车时车辆距离弯道入口的距离)作为因变量进行相关分析.根据假设条件,可以近似认为在此刻驾驶员所获取的交通信息刚好满足制动决策的条件.因此,根据第1刹车点的位置推断出何时驾驶员获取到足够的弯道信息来诱发制动操作.

3.1 驾驶认知模型验证

在实验1中弯道信息来源共有4种:1)弯道轮廓线;2)交通标志;3)驾驶前地图告知;4)多次驾驶后的学习记忆.考虑到从第2次驾驶后学习效应会对驾驶员的制动操作产生影响,因此将实验驾驶分为2个阶段:即驾驶员第1次驾驶,对应各组用A1、B1、C1表示;驾驶员第2至第5次驾驶,对应各组用A2、B2、C2表示.再根据实验条件的不同将实验数据分为6组,见表2.

表2 不同条件下驾驶员获取弯道信息表
Table 2 Driver acquired information under different conditions

数据 分组	驾驶员获取的弯道信息		
	弯道轮廓线	交通标志	记忆
A1	α		
B1	α	β	
C1	α		λ_1
A2	α		λ_2
B2	α		λ_2
C2	α		$\lambda_1 + \lambda_2$

表中第1列为数据分组,第2~4列为驾驶员从不同信息来源获取的弯道信息值.第2列为驾驶员通过弯道轮廓线所获得的弯道信息,用 α 表示;第3列为驾驶员从交通标志获得的弯道信息,用 β 表示;第4列表示驾驶员通过记忆获得的弯道信息,其中 λ_1 表示来源于地图的信息, λ_2 表示来源于多次驾驶学习的信息.

根据表2可以得到不等式组

- 1) $\alpha < \alpha + \beta, \alpha + \lambda_1, \alpha + \lambda_2, \alpha + \beta + \lambda_2, \alpha + \lambda_1 + \lambda_2$
- 2) $\alpha + \lambda_2 < \alpha + \beta + \lambda_2, \alpha + \lambda_1 + \lambda_2$
- 3) $\alpha + \lambda_1 < \alpha + \lambda_1 + \lambda_2$
- 4) $\alpha + \beta < \alpha + \beta + \lambda_2$

并推断:

- 1) 由于A1中的总弯道信息值最小,因此该组驾驶员应最晚获得可以满足制动条件的弯道信息;
- 2) 因为A1、B1、C1分别小于A2、B2、C2的弯道信息值,从而驾驶员第2~5次驾驶的第1刹车点位置将小于对应的第1次驾驶;
- 3) 同理,B2组的第1刹车点位置将小于A2组的第1刹车点位置.

各组驾驶员的首次刹车位置的平均值如图5所示.图中横坐标为实验组,纵坐标为刹车时距弯道

入口距离 P 。A1 的第 1 刹车点距弯道入口最近;各组第 2~5 次驾驶的平均值要大于第 1 次的平均值;另外,在相同驾驶次数的条件下刹车点由远到近的顺序为 A, C, B。该结论与根据认知学模型所推断的结论一致,从而验证了驾驶认知模型的有效性,并从中可以看出,驾驶员记忆系统对交通标志的作用发挥着明显的影响。

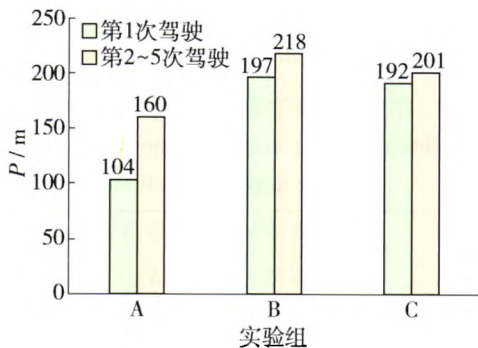


图5 实验各组驾驶员的首次刹车位置平均值
Fig. 5 Averages of the first braking operation point for different groups

3.2 交通标志的作用规律

通过观察不同交通标志位置对制动操作的影响,可以得到交通标志的作用规律并根据上述驾驶认知模型加以解释。实验 2 也是选用第 1 刹车点位置作为因变量进行分析。首先,经单因素方差分析检验,结果表明交通标志位置的变化对于驾驶员第 1 刹车点位置有显著的影响, $F(4, 596) = 76.56, p < 0.01$;不同的弯道半径对于第 1 刹车点位置也有显著性影响, $F(4, 596) = 3.69, p < 0.01$,表明交通标志与弯道轮廓线对于制动决策有着等价的影响作用。进一步绘制不同交通标志位置下第 1 刹车点位置的平均值,如图 6 所示。可以看出:当交通标志设置较远时(100、200、400 m),刹车点位置随着标志位置的增加而增加;相反,当设置位置较近时(0、50 m),交通标志位置的变化并不能引起刹车点位置的变化。

将数据分为 2 组:100、200 及 400 m 为第 1 组,0、50 m 为第 2 组,分别做双因素方差分析检验。结果表明:当设置位置较远时,刹车点位置对于交通标志位置呈显著性变化, $F(4, 236) = 3.55, p < 0.01$,但是对于弯道半径无明显差异, $F(1, 149) = 0.41, p = 0.52$ 。与此相反,当设置位置较近时,弯道半径呈显著性变化, $F(2, 298) = 22.5, p < 0.01$,但是对于交通标志位置则无明显差异, $F(4, 356) = 1.84,$

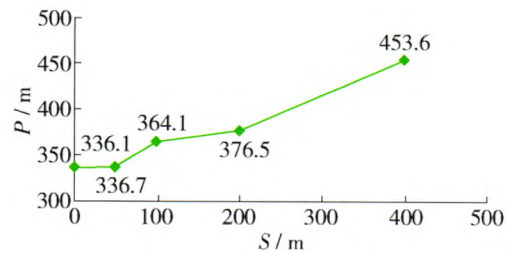


图6 不同交通标志位置下第 1 刹车点位置平均值
Fig. 6 Averages of the first braking operation point for each placement of traffic sign

$p = 0.12$ 。该结果说明:

- 1) 交通标志能在较远处代替弯道轮廓给予驾驶员前方弯道信息触发制动操作。
- 2) 当交通标志与弯道轮廓同时存在时,交通标志将不再对驾驶员的制动决策产生影响。

根据驾驶认知模型所述,在驾驶员感知“前方有弯道”时,如果外界只有交通标志能提供该信息,则驾驶员的制动操作将直接受到交通标志位置的影响;如果还有其他事物能提供同样的信息(如弯道自身的轮廓线),则交通标志对于驾驶员制动决策的影响将受到干扰从而使得交通标志的作用减弱甚至失效。

4 结论

- 1) 交通标志对驾驶员制动操作的影响源于其对弯道信息的表达。
- 2) 驾驶员的制动操作不仅受交通标志的影响还受到自身内在记忆系统的影响。
- 3) 当外界事物所表征的弯道信息强于交通标志时,交通标志将失效。

参考文献:

- [1] MACE D J, GARVEY P M, HECKARD R F. Relative visibility of increased legend size vs brighter materials for traffic signs [R]. Washington D C: Federal Highway Administration (FHWA), 1994.
- [2] BEN-BASSAT T, SHINAR D. Ergonomic guidelines for traffic sign design increase sign comprehension [J]. Human Factors and Ergonomics Society, 2006, 48(1): 182-195.
- [3] 侯德藻,何勇,王争,等. GB 5768—2009 道路交通标志和标线[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [4] KERLEY M. Federal highway administration [M]. Washington D C: U S Department of Transportation, 2003.

- [5] SALVUCCI D D. Modeling driver behavior in a cognitive architecture[J]. Human Factors, 2006, 48(2): 362-380.
- [6] KRAJZEWICZ D, WAGNER P. ACME (A Common Mental Environment)-Driver a cognitive car driver model [C] // 16th Simulation Multiconference Modelling and Simulation. Dublin: SCS Europe, 2002: 689-693.
- [7] DELORME D. Modeling driver cognition [C] // International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design. Iowa: The University of Iowa Public Policy Center, 2001: 276-279.
- [8] 贾洪飞, 司银霞, 唐明. 基于认知心理学的驾驶员信息加工模式研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(1): 22-25.
- [9] 刘雁飞, 吴朝晖. 驾驶 ACT-R 认知行为建模[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2006, 40(10): 1657-1662.
- LIU Yan-fei, WU Zhao-hui. Driver behavior modeling in ACT-R cognitive architecture [J]. Journal of ZheJiang University: Engineering Science, 2006, 40(10): 1657-1662.

(责任编辑 郑筱梅)

(上接第367页)

- [12] 王国波, 马险峰, 杨林德. 软土地铁车站结构及隧道的三维地震响应分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(8): 2523-2528.
- WANG Guo-bo, MA Xian-feng, YANG Lin-de. Three-dimensional seismic response analysis of metro station structures and tunnels in soft soil [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(8): 2523-2528. (in Chinese)
- [13] NISHIYAMA S, MUROYA K, HAYA H, et al. Seismic design of cut and cover tunnel based on damage analyses and experimental studies [J]. Quarterly Report of RTRI, 1999, 40(3): 158-164.
- [14] 陈磊, 陈国兴, 龙慧. 地铁交叉隧道近场强地震反应特性的三维精细化非线性有限元分析[J]. 岩土力学, 2010, 31(12): 3971-3976.
- CHEN Lei, CHEN Guo-xing, LONG Hui. 3D refined nonlinear finite element analysis of intersecting metro tunnels under near-field ground motion [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(12): 3971-3976. (in Chinese)
- [15] 陈磊, 陈国兴, 李丽梅. 近场和远场地震动作用下双层竖向重叠地铁隧道地震反应特性[J]. 中国铁道科学, 2010, 31(1): 79-86.
- CHEN Lei, CHEN Guo-xing, LI Li-mei. Seismic response characteristics of the double-layer vertical overlapping metro tunnels under near-field and far-field ground motions [J]. China Rail Way Science, 2010, 31(1): 79-86. (in Chinese)
- [16] 张波, 陶连金, 姜峰, 等. 地铁超近距交叉结构在水平地震荷载下的响应影响分析[J]. 铁道建筑, 2011(11): 47-50.
- ZHANG Bo, TAO Lian-jin, JIANG Feng, et al. The subway super macro cross structure response under horizontal seismic load impact analysis [J]. Railway Engineering, 2011(11): 47-50. (in Chinese)
- [17] 张波. 地铁车站地震破坏机理及密贴组合结构的地震响应研究[D]. 北京: 北京工业大学建筑工程学院, 2012.
- ZHANG Bo. Study on seismic failure mechanism of subway station and the seismic response of closely-attached subway structures [D]. Beijing: College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, 2012. (in Chinese)

(责任编辑 郑筱梅)