

基于意向调查的信号交叉口交通诱导服从分析^{*}廖若桦¹, 陈旭梅¹, 孙小菲²

(1. 北京交通大学 城市交通复杂系统理论与技术教育部重点实验室 交通运输学院, 北京 100044;

2. 北京首都国际机场股份有限公司, 北京 100621)

摘要: 交通诱导技术的效益在很大程度上取决于驾驶员对诱导的服从情况, 不同个人属性的驾驶员在遭遇不同外界条件时会对信号交叉口交通诱导采取不同的态度。文中通过意向调查获取驾驶员对信号交叉口交通诱导服从情况数据, 构建诱导服从概率的 Logistic 回归模型, 研究个体属性和外界条件等因素对诱导服从情况的影响。结果表明, 诱导方式对驾驶员是否服从信号交叉口交通诱导的影响最显著, 与可变信息板相比, 驾驶员更倾向于遵循车路协同诱导; 天气、交通状况等外界条件及性别、驾龄、道路熟悉度、常用车辆等个体属性亦会影响驾驶员的服从情况。

关键词: 城市交通; 交通诱导; 信号交叉口; 意向调查; Logistics 模型

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)03-0040-05

车辆在通过信号交叉口时, 由于受到信号控制和其他车辆的干扰, 极易出现突然加速、减速或刹车的情况, 致使交叉口处交通拥堵频繁、交通事故频发, 交通排放也因为运行工况的多次变化而愈加严重。交通诱导以可变信息板(VMS)和车路协同系统(CVIS)诱导为主要实现方式, 能综合运用地理信息、检测、导航及无线通信等技术, 通过向交通参与者提供实时道路运行情况, 引导其在较早的时间改变驾驶行为, 选择适宜的行驶路线或速度行驶。在交通诱导环境下, 当车辆行驶到信号交叉口上游时, 设置在路旁的 LED 显示屏(VMS 诱导)或车载显示设备(CVIS 诱导)将及时向驾驶员提供信号灯状态、建议速度等信息, 引导车辆根据实际路况选择适宜的驾驶行为, 避免车辆运行工况的频繁改变, 提高运行安全性和平稳性, 减少尾气排放。理论上, 交通诱导技术能有效降低车辆通过交叉口时外界干扰带来的影响, 协助车辆安全、高效、环保地运行。但由于驾驶员的个人属性或遭遇不同外界条件时对诱导可能采取不同的态度, 而交通诱导带来的效益在很大程度上依赖于驾驶员对交通诱导的服从情况, 故在量化交通诱导技术的效用时, 必须根据各种影响因素对驾驶员的诱导服从情况进行判断。

目前主要采取 SP 调查法开展针对诱导服从情况与影响因素之间关系的研究。Peeta S. 等通过进行 SP 调查和建立换道 Logit 模型, 对印第安纳州波

曼快速路上的换道行为进行分析, 发现诱导信息内容及详实度、驾驶员对诱导的信任程度及对路网的熟悉程度均会对换道决策产生影响; Wardman M. 等通过 SP 调查, 发现影响出行路径选择行为的因素包括 VMS 发布的延误原因、通常的出行时间及驾驶员个体属性等; 王卫卫等指出驾驶员是否根据诱导信息进行路径选择主要取决于驾驶风格、出行时间、VMS 可信度等; 刘艳红等认为影响路径选择行为的关键因素包括路网熟悉程度、重新选择路径的忍耐延误时间、驾龄等; Xu T. 等发现在上海的快速路上, 对路径选择产生显著影响的因素包括期望旅行时间、下游交通拥堵的可见性等。该文采用 SP 调查法收集不同个人属性和外界条件下信号交叉口交通诱导服从情况数据, 通过建立回归分析模型量化各影响因素对信号交叉口交通诱导服从情况的影响。

1 SP 调查设计与实施

1.1 调查问卷设计

基于简化调研的考虑, 结合驾驶员对交通诱导服从影响研究, 选取性别、年龄、驾龄、学历、道路熟悉度、通常驾驶车辆、驾车习惯、每天驾车时间、诱导方式、天气情况、交通情况 11 项影响因素。其中: 前 8 项为驾驶员个人属性, 即驾驶员自身特性; 后 3 项为外界条件, 排列组合为 $2 \times 2 \times 2$ (可变信息板/车路协同 \times 晴天/有雾 \times 畅通/拥堵) 8 种场景, 驾驶员

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71373018)

需在所有场景下作出“服从诱导/不服从诱导”的选择。拥堵的交通状况是指交叉口范围内平均每辆车延误为40 s及以上。

1.2 调查实施

为在降低调研实施难度的同时获取足够数量和精度的样本,采用实地调查和网络问卷调查相结合的方式。

实地调查:采用随机抽样的方法,在北京市停车场、公园、购物商场等场所随机选取驾驶员进行调研,调研时间为2015年5月。

网络问卷调查:在爱调研网站发布问卷进行调研,调研时间为2015年5月。

共回收问卷1 600份,其中网络问卷1 000份,实地调查600份。通过问卷数据质量控制,最终得到有效问卷1 189份。

2 调查结果统计

2.1 个人属性(见图1)

(1) 性别。男性被调查者占71.3%,女性被调查者占28.7%,男女比例接近中国实际驾驶员男女比例(76.52%:23.48%)。

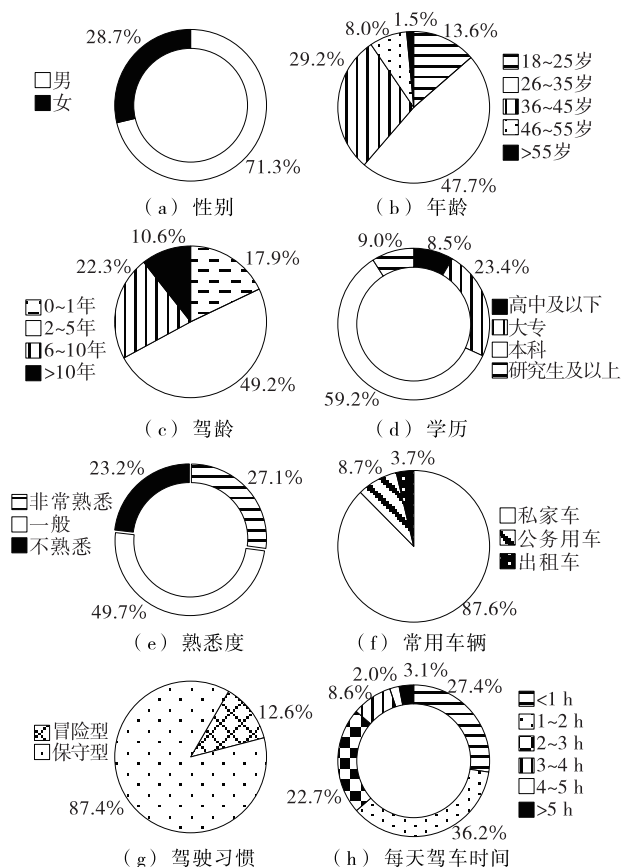


图1 个人属性统计

(2) 年龄。90.5%的被调查者为18~45岁,其中26~35岁的人数最多,占47.7%。

(3) 驾龄。67.1%被调查者的驾龄在5年及以下,且驾龄为2~5年的被调查者占总调研人数的50%;22.3%被调查者的驾龄为6~10年;驾龄在10年以上的被调查者占10.6%。

(4) 学历。本科学历的被调查者最多,占总调研人数的59.2%;其次为大专学历,占23.4%。

(5) 道路熟悉度。49.7%被调查者认为自己对北京道路的熟悉度一般;对北京道路非常熟悉或不熟悉的被调查者各占约1/4。

(6) 常用车辆。被调查者多采用私家车出行,占87.6%。

(7) 驾驶习惯。87.4%被调查者认为自己的驾驶习惯为保守型;12.6%的被调查者认为自己属于冒险型。

(8) 每天驾驶时间。每天驾驶时间在3 h之内的被调查者占调查总人数的86.3%。

2.2 服从情况

被调查者选择服从诱导的比例为66.5%,选择不服从诱导的比例为33.5%。表明不同个人属性和外界条件下,被调查者面对信号交叉口交通诱导的态度会有所不同。

(1) 26~45岁被调查者倾向于服从交通诱导,其诱导服从率高达67.71%;26岁以下及45岁以上的被调查者的诱导服从率较低,均在63%以下。

(2) 随着学历的增高,被调查者服从交通诱导的可能性加大,本科及以上学历的被调查者的诱导服从率高于大专及以下的被调查者。

3 回归分析

为进一步量化个人属性和外界条件对信号交叉口交通诱导服从情况的影响,借助SPSS软件对各影响因素和诱导服从情况进行回归分析。由于是否服从诱导属于二分变量,采用二项Logistic模型。

3.1 模型建立

在进行二项Logistic回归分析之前,先针对性别等个人属性和诱导方式等外界条件进行单因素方差分析,判断某一影响因素的不同水平是否会对诱导服从情况产生显著影响。分析结果显示:在显著性水平为0.05的条件下,性别、驾龄、天气、交通状况、诱导方式等11项因素均会对被调查者的诱导服从情况产生显著影响。借助SPSS软件,将这11项

因素作为解释变量引入 Logistic 回归模型进行分析,结果见表 1。

表 1 方程中的变量

解释变量	回归系数 B	Wals 观测值	显著性 Sig	发生比 $Exp(B)$
性别(1)	0.131	7.058	0.008	1.140
年龄		21.983	0.000	
年龄(1)	0.104	0.248	0.618	1.110
年龄(2)	0.317	2.492	0.114	1.374
年龄(3)	0.258	1.680	0.195	1.295
年龄(4)	-0.069	0.110	0.740	0.933
驾龄	0.020	10.394	0.001	1.021
学历		8.083	0.044	
学历(1)	0.051	0.191	0.662	1.052
学历(2)	0.012	0.015	0.902	1.012
学历(3)	0.156	3.222	0.073	1.169
道路熟悉度		40.550	0.000	
道路熟悉度(1)	0.478	36.584	0.000	1.613
道路熟悉度(2)	0.146	5.348	0.021	1.157
常用车辆		43.828	0.000	
常用车辆(1)	0.830	42.322	0.000	2.294
常用车辆(2)	0.673	21.170	0.000	1.960
驾车习惯(1)	-0.119	2.455	0.117	0.887
每天驾车时间		35.322	0.000	
每天驾车时间(1)	0.248	2.634	0.105	1.282
每天驾车时间(2)	0.007	0.002	0.965	1.007
每天驾车时间(3)	-0.042	0.077	0.782	0.959
每天驾车时间(4)	-0.059	0.130	0.718	0.943
每天驾车时间(5)	-0.611	8.149	0.004	0.543
天气情况(1)	-0.321	45.108	0.000	0.726
交通情况(1)	-0.419	76.909	0.000	0.657
诱导方式(1)	-1.784	1 229.623	0.000	0.168
常量	0.607	4.804	0.028	1.835

表 1 中, $Wals$ 为 Wald 统计量, Sig 为显著性值, 用于判断一个变量是否应包含在模型中。 $Wals$ 越大或 Sig 越小, 则该变量越重要, 越应放入模型中。 $Exp(B)$ 为相应变量的 OR 值, 为在其他条件不变的情况下, 自变量每改变 1 个单位, 事件发生比的变化率。由表 1 可知: 年龄(1)等解释变量的显著性

值 $Sig > 0.05$, 表示该变量不应进入原方程。得到 Logistic 回归方程如下:

$$\begin{aligned} \text{Logit}P = \ln[P/(1-P)] = & 0.607 + 0.131S + \\ & 0.020DY + 0.478RF(1) + 0.146RF(2) + \\ & 0.830V(1) + 0.673V(2) - 0.611DT(5) - \\ & 0.321W - 0.419T - 1.784G \end{aligned} \quad (1)$$

式中: P 为被调查者服从诱导的概率, $1-P$ 为不服从诱导的概率; S 为性别, 被调查者为男性时取零, 为女性时取 1; DY 为驾龄, 取实际驾龄(年); RF 为道路熟悉度; $RF(1)$ 取值为 1 表示被调查者对路网非常熟悉, 否则取值为零; $RF(2)$ 取值为 1 表示被调查者对路网一般熟悉, 否则取值为零; V 为常用车辆类型; $V(1)$ 取值为 1 表示常用车辆为私家车, 否则取值为零; $V(2)$ 取值为 1 表示常用车辆为公务用车, 否则取值为零; DT 为每天驾驶时间; $DT(5)$ 取值为 1 表示每天驾驶时间为 4~5 h, 否则取值为零; W 为天气, 晴朗时取 1, 有雾时取零; T 为交通情况, 畅通时取零, 拥堵时取 1; G 为诱导方式, 取值为 1 表示诱导方式为可变信息板, 取值为零表示诱导方式为车内显示器。

表 2 为回归分析得到的模型错判矩阵, 可用于回归方程的拟合优度检验。由表 2 可知: 模型对于不服从诱导的预测正确率较低, 为 65.4%; 对于服从诱导的预测正确率较高, 为 82.6%。模型预测的总正确率为 76.8%, 总体而言, 该回归模型的拟合效果在可接受范围内, 但针对不服从诱导的预测正确率还有较大提升空间。

表 2 模型错判矩阵

已观测	已预测		预测正确率/%
	不服从	服从	
不服从	2 086	1 103	65.4
服从	1 097	5 226	82.6
总体正确率/%			76.8

3.2 模型分析

回归模型反映了被调查者在不同个人属性和外界条件下面对信号交叉口交通诱导时服从情况的差异, 下面基于该模型, 对交通诱导环境下各影响因素对诱导服从情况的影响进行分析。

(1) 性别。被调查者为女性时, 平均增加 0.131 个单位。结合发生比, 女性被调查者服从交通诱导的发生比是男性被调查者服从交通诱导的发生比的

1.140($e^{0.131}$)倍,女性更倾向于服从交通诱导。这主要是因为男性在通过交叉口进行加速、减速等决策时更倾向于相信自己而不是外界的判断,相比于男性,女性则更易接受外界的建议。

(2) 驾龄。驾龄每增加1年,平均增加0.020个单位,即随着驾龄的增长,被调查者服从信号交叉口交通诱导的倾向性增加。在智能交通系统日趋成熟的大背景下,交通诱导正逐步渗透到现代人的日常出行里。随着时间的推移,越来越多的驾驶员将倾向于服从交通诱导(驾龄逐年上涨)。可以预见,在未来的交通系统中,信号交叉口交通诱导系统将发挥巨大作用。

(3) 道路熟悉度。被调查者非常熟悉道路情况时其服从诱导的发生比是不熟悉道路情况时发生比的1.613($e^{0.478}$)倍;被调查者对道路情况一般熟悉时其服从诱导的发生比是不熟悉道路情况时发生比的1.157($e^{0.146}$)倍。说明驾驶员对道路情况越熟悉,越倾向于服从关于信号交叉口情况的交通诱导。该结果与辛飞飞等关于交通诱导信息对路径选择行为影响的分析结果相似。究其原因,或许是由于驾驶员对道路越不熟悉,越容易小心谨慎地对待诱导信息,因而更倾向于不服从交通诱导。

(4) 常用车辆类型。经常使用私家车出行的被调查者的诱导服从率最高,商务用车次之,出租车日常使用者的诱导服从率最低。这主要是因为相比于出租车司机,私家车和商务用车司机对行车舒适性的要求更高,更倾向于安全平稳地驶过交叉口,因而更倾向于服从交通诱导。

(5) 每天驾驶时间。每日驾车时间为4~5 h的驾驶员最倾向于不服从信号交叉口交通诱导。究其原因,或许是因为驾驶时间越长,驾驶员的耐心越差,越不易接受外界的建议。

(6) 天气。天气晴朗时,被调查者服从诱导的发生比是有雾天气时被调查者服从诱导的发生比的0.726($e^{-0.321}$)倍,即有雾天气时被调查者更倾向于服从交通诱导。这主要是因为雾天气时,驾驶员无法通过肉眼判断前方交叉口的交通状况,更倾向于依赖交通诱导。

(7) 交通情况。道路拥堵时,被调查者服从诱导的发生比是道路畅通时被调查者服从诱导的发生比的0.657($e^{-0.419}$)倍,即道路畅通时被调查者更倾向于服从交通诱导。该结论与文献[18]中关于交通诱导信息对路径选择行为影响的分析结论存在较大

差异。主要是因为在进行路径选择时,驾驶员可听从交通诱导,通过改变路径避开拥堵路段。而驾驶员在面对信号交叉口交通诱导时,车辆已处于交叉口附近路段上。道路拥堵不仅不能促使驾驶员选择服从诱导,相反会因为车流的过于密集大大降低交通诱导的效用。因此,道路拥堵时,驾驶员更倾向于不服从信号交叉口交通诱导。

(8) 诱导方式。诱导方式为可变信息板时,被调查者服从诱导的发生比是诱导方式为车内显示器时服从诱导的发生比的0.168($e^{-1.784}$)倍。诱导方式和类型对被调查者是否服从交通诱导影响十分显著,且被调查者更倾向于遵循车内显示器的诱导,即车路协同诱导。这主要是因为车路协同诱导更易获取和接收,且可根据车辆运行状况实时进行诱导,诱导信息更准确。

4 结论

(1) 性别、年龄、驾龄、学历、道路熟悉度、常用车辆、驾驶习惯、每天驾驶时间、天气、交通状况、诱导方式均会对信号交叉口交通诱导的服从情况产生影响。

(2) 诱导方式对被调查者是否服从信号交叉口交通诱导的影响最显著,且被调查者更倾向于遵循车路协同诱导。

(3) 个人属性中,驾驶者服从信号交叉口交通诱导的可能性顺序为女性>男性、私家车>商务用车>出租车;驾龄越长,越倾向于服从诱导;对路况越熟悉,服从诱导的概率越大;学历越高,越倾向于服从诱导。

(4) 外界条件中,有雾天气时驾驶员服从诱导的概率更大;道路畅通时更倾向于服从交通诱导。

文中回归模型不仅能反映不同个人属性和外界条件对信号交叉口交通诱导服从情况的影响,还可用于量化驾驶员面对信号交叉口交通诱导时的服从概率,进而得到整个信号交叉口的诱导服从情况,为后续进行交通诱导环境下信号交叉口(不同诱导服从率)的运行工况分布和排放分布研究提供助力。

参考文献:

- [1] Cowan R. An improved model for signalised intersections with vehicle-actuated control[J]. Journal of Applied Probability, 1978, 15(2).
- [2] 赵建玉, 郭仲林, 郑显臣. 基于模糊逻辑的单交叉口交

- 通信号控制方法设计及实现[J].交通信息与安全, 2013,31(5).
- [3] Rama P, Kulmala R. Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speed and headways[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2000, 3(2).
- [4] Farah H, Koutsopoulos H N, Saifuzzaman M, et al. Evaluation of the effect of cooperative infrastructure-to-vehicle systems on driver behavior[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2012, 21(1).
- [5] 文孟飞. 城市智能交通系统交通流协同优化与诱导关键技术研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [6] 尹婧. 智能化城市交通诱导系统的研究[D]. 青岛: 青岛大学, 2013.
- [7] Wahle J, Annen O, Schuster C, et al. A dynamic route guidance system based on real traffic data [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131(2).
- [8] 刘新杰. 城市交通控制系统与交通流诱导系统协同策略研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [9] Peeta S, Ramos J, Paspathy R. Content of variable message signs and on-line driver behavior[J]. Transportation Research Record, 2000, 1725.
- [10] Wardman M, Bonsall P W, Shires J D. Driver response to variable message signs: a stated preference investigation[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 1997, 5(6).
- [11] 王卫卫, 赵晓梅, 李新刚, 等. VMS 对驾驶员路径选择影响的实例研究与建模[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(3).
- [12] 刘艳红. 交通信息作用下的驾驶员路径选择行为研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [13] Xu T, Sun L, Peng Z. Empirical analysis and modeling of drivers' response to variable message signs in Shanghai, China[J]. Transportation Research Record, 2011, 2243.
- [14] 陈希. 新型路网可变情报板对出行路径选择影响研究[D]. 北京: 交通部公路科学研究院, 2008.
- [15] 陆宏, 吕正娟. 网络问卷调查的规划、设计与实施[J]. 现代教育技术, 2011(7).
- [16] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [17] 刘建美, 马寿峰. 交通诱导—出行信号博弈分析及其虚拟行动学习模型[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2010, 43(1).
- 收稿日期: 2017-11-23

(上接第 39 页)

源, 对阳煤二矿的生产造成巨大影响, 协调难度大。

(10) 经济分析。K 线方案工程概算为 4.075 亿元; D 线方案工程概算为 3.298 亿元, 比 K 线少 0.777 亿元。

综上所述, 与 K 线方案相比, D 线方案虽然路线长度稍长、桥梁长度略长、拆迁量稍大, 但在工程造价、压占煤炭资源、对太旧高速公路的影响、施工工期、经济效益等方面都有优势, 初步设计阶段将 D 线作为推荐方案。

5 结语

路线方案选择是多种因素综合分析、平衡的结果。G307、G207 线阳泉市绕城改线工程天花池段路线方案受煤炭资源、基本农田、现状运营高速公路、施工工期、地质条件、征地拆迁和环境保护等多种因素制约, 通过多路线方案比选论证, 推荐采用 D 线方案。

参考文献:

- [1] 王玉标. 基于运行安全的山区高速公路路线设计[J]. 公

- 路与汽运, 2011(4).
- [2] 陈胜武. 总体设计对路线方案比选的作用和影响[J]. 中外公路, 2011, 31(4).
- [3] 孙家驷. 道路勘测设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [4] 朱照宏. 公路计算机辅助设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [5] 王玉标. 高沁高速公路七坡至东大段路线方案研究[J]. 公路与汽运, 2011(2).
- [6] 孙腾, 戴琪, 张微. 基于运行速度的山区公路线形安全性研究[J]. 交通科技, 2015(4).
- [7] 陆根盛. 浅谈山区沿江公路选线设计经验[J]. 广东公路交通, 2010(4).
- [8] 李红, 林宣财, 黄治炉, 等. 杜步岭段改线路线方案研究[J]. 公路, 2008(7).
- [9] 吴修锋, 吴时强, 黄国情. 京杭运河常州市区段改线工程方案论证计算[J]. 水利水电技术, 2003(9).
- [10] 常荣亮. 国道 307 清徐段改线工程路线走向比选[J]. 山西建筑, 2011, 37(23).
- [11] 隋宋. 三门峡地区陇海线改线方案研究[J]. 河南科技, 2015(19).

收稿日期: 2017-09-14