

# 基于可变信息标志交通信息的驾驶人路径选择

魏中华, 雷鸣, 许继超

(北京工业大学城市建设学部, 交通工程北京市重点实验室, 北京 100124)

**摘要:** 针对交通事故区域, 可变信息标志(variable message signs, VMS)发布信息不及时、不能合理诱导驾驶员的路径选择问题, 通过设计 SP + RP 问卷调查驾驶人在社会经济特性、出行特性等方面的主观感知, 出行时间对驾驶人路径选择的主观影响以及 2 种交通信息组合方案下驾驶人的选择结果, 构建了驾驶人对交通信息组合方案接受意愿的结构方程模型(structural equation models, SEM). 结果表明: 驾驶人的驾龄、出行目的以及出行时间限制是影响驾驶人对交通信息组合的主观感知和接受意愿的关键因素. 在驾驶人对 VMS 交通信息组合方案接受意愿的结构方程模型中, 驾驶人在有出行时间限制下的交通信息组合接受意愿影响系数分别为 0.678 和 0.769, 而无出行时间限制下的影响系数分别为 0.435 和 0.390, 说明驾驶人在有出行时间限制的情况下对交通信息组合的接受意愿强烈.

**关键词:** 交通事故; 可变信息标志(VMS); 交通信息组合; 问卷调查; 结构方程模型(SEM); 驾驶人路径选择

中图分类号: U 491

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2022)02-0155-09

doi: 10.11936/bjtxb202007008

## Driver's Route Choice Based on Variable Message Signs Traffic Information

WEI Zhonghua, LEI Ming, XU Jichao

(Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** For the problem that variable message signs (VMS) cannot release information in time and reasonably induce the driver's route choice in traffic accident area, in this paper, SP + RP questionnaire was used to investigate drivers' subjective perception of socio-economic characteristics and travel characteristics, the subjective impact of travel time on drivers' route selection and the results of drivers' choice under two types of traffic information combination schemes. The structural equation models (SEM) of drivers' willingness to accept traffic information schemes were constructed. Results shows that the driver's driving age, travel purpose and travel time limit are the key factors that affect the driver's subjective perception and willingness to accept the combination of traffic information. In SEM of drivers' willingness to accept VMS traffic information combination schemes, the influencing coefficients of drivers' willingness to accept the combination of traffic information with travel time restriction are 0.678 and 0.769, respectively, while those without travel time restriction are 0.435 and 0.390, which indicates that drivers with travel time restrictions have a stronger willingness to accept the combination of traffic information than those without travel time restrictions.

**Key words:** traffic accident; variable message sign (VMS); combination of traffic information; questionnaire survey; structural equation model (SEM); driver's route choice

收稿日期: 2020-07-16; 修回日期: 2021-03-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51608019)

作者简介: 魏中华(1977—), 男, 副教授, 主要从事道路景观方面的研究, E-mail: weizhonghua@bjut.edu.cn

可变信息标志(variable message signs, VMS)作为道路上交通基础设施,能够将交通信息及时有效传递给驾驶人,诱导驾驶人改变行驶路径,缓解道路交通拥堵。由于交通事故的不可预测性,交通管理部门只能在事故发生后诱导事故影响区域内的车辆,避免造成二次事故以及交通拥堵,减少交通事故对局部路网的整体影响。所以研究驾驶人在交通信息影响下的路径选择,进而为VMS交通信息发布提供理论指导和建议具有重要意义。

对于VMS的研究主要集中在布设位置以及版面设置等方面<sup>[14]</sup>。张荣辉等<sup>[5]</sup>考虑替代路径的诱导比例、绕行时间和VMS布设成本对选址的影响,基于效用与成本之比的形式构建了VMS选址双层模型。Jindahra等<sup>[6]</sup>研究发现不同的信息内容组合会导致不同程度的路径变更倾向,通过对曼谷VMS发布内容的调查分析发现定性的延迟信息和建议路径减少了信息质量的模糊性。Zhou等<sup>[7]</sup>基于数据挖掘的通用模型对北京市VMS的发布内容以及历史交通流数据进行分析,得出引导信息比通知信息更能有效缓解交通拥堵问题。Roca等<sup>[8]</sup>通过驾驶模拟试验得出对于VMS发布的文字类和图形信息,驾驶人在视读距离以及反应时间上没有显著性差异。刘伟等<sup>[9]</sup>为了准确度量VMS发布信息的视认有效性,基于驾驶人视认知觉理论和VMS识别过程的特征,提出了VMS认度概念。Lai<sup>[10]</sup>对VMS显示内容的颜色种类以及信息行数进行了研究,当VMS显示2种颜色、双行信息时,驾驶人的响应时间更短,同时配色方案和信息行数对驾驶人的回答准确性均无显著影响。

对于交通信息的发布策略主要集中在研究交通信息的数量和对驾驶员的诱导过程<sup>[11-13]</sup>。刘爽等<sup>[14]</sup>提出了基于历史经验数据的诱导策略发布流程与支持算法,建立了VMS诱导信息数据资源管理与发布支持平台。黄裕乔<sup>[15]</sup>从对北京市的VMS历史发布信息进行统计分析,分别从时间与空间角度探讨了交通信息发布策略。Zavareha等<sup>[16]</sup>研究驾驶人对VMS发布“低”“中”“高”3种等级的安全信息的感知,结果表明,同一信息在不同情况下可能会引起相反的效果。马壮林等<sup>[17-18]</sup>研究驾驶人对VMS发布的各类内容的关注情况,通过建立Logit模型分析得出图文混合的VMS内容发布形式更能引起驾驶人的关注。

综上所述,以往关于VMS的研究并没有针对事故的信息内容制定合理的交通信息发布方案,

将事故状况及时有效地传递给驾驶人,诱导驾驶人合理地选择行驶路径。因此有必要分析交通事故下VMS的发布策略,使得驾驶人能够清晰地了解前方事故的状态,减少事故对周围路网的影响。由于道路情况复杂多样,如果调查实际道路环境下驾驶员对VMS信息的主观感知,不能充分完成数据收集工作,而且充足的样本量可以反映实际道路情况。所以采用问卷形式调查可以充分体现实际道路环境,因此本文以驾驶人的路径选择行为为研究对象,分析影响驾驶人路径选择行为的主客观因素,通过设计调查问卷采集数据,并且本文在问卷设计中尽量还原了真实道路上VMS的文字发布形式,使驾驶员能够更好地理解和还原道路行驶环境。之后应用结构方程模型探究了各影响因素之间的关系,通过对模型的分析,对交通事故下VMS的交通信息发布策略进行了初步探究。

## 1 驾驶人路径选择行为调查与分析

本文从驾驶人社会经济特性、出行特性、驾驶人对各类交通信息内容的主观感知、出行时间对驾驶人路径选择的主观影响以及各种交通信息内容下驾驶人的选择结果5个方面研究驾驶人路径选择行为。

### 1.1 调查目的

本次调查的目的为以下3个方面:1)获得驾驶人的社会经济特性与出行特性数据,即驾驶人的基本信息;2)获得驾驶人对交通信息内容的主观评分以及驾驶人对交通信息组合的接受意愿;3)获得驾驶人对VMS发布的交通信息组合的选择结果。基于调查目的,本文以北京市汽车驾驶人为调查对象。

### 1.2 问卷设计

问卷调查内容分为5个方面:驾驶人社会经济特性、驾驶人出行特性、驾驶人对交通信息内容的主观评分、驾驶人对交通信息的接受意愿以及不同交通信息内容下驾驶人的路径选择结果。

驾驶人对交通信息组合的主观评分主要调查驾驶人对于事故持续时间、当前路段与事故点相距路口数、事故占用车道数、事故路段拥堵程度以及更换辅路节省时间这5种交通信息的主观评分。

由于受到VMS版面发布信息条数、行驶过程中驾驶人视认水平以及事故上游不同区域诱导强度的影响,将5种交通信息分成2组方案进行发布,因

此在 SP 调查中分为 2 个场景对驾驶人进行路径选择行为调查. 当 VMS 用 2 种颜色发布内容时, 驾驶人的响应时间最快<sup>[10]</sup>, 同时根据信息内容的重点, 结合实际道路 VMS 发布样式, 将问卷情景题中 VMS 发布内容设计为如图 1 所示样式.

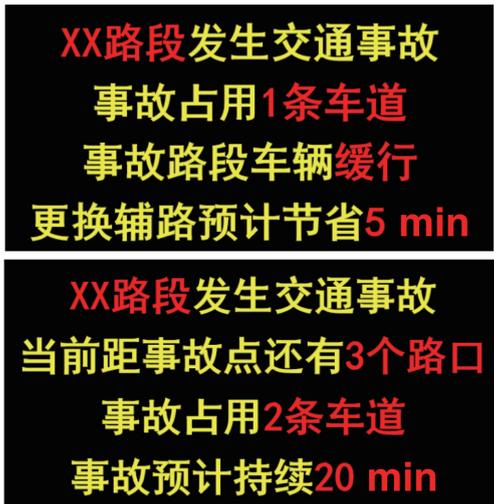


图1 问卷中 VMS 发布内容设计样式

Fig. 1 Design style of VMS published content in the questionnaire

### 1.3 数据分析

对收集到的调查问卷进行筛选, 在去除无效问卷后本次调查共收集了 300 份有效问卷. 其中针对第 1 种交通信息组合发布方案的调查问卷为 147 份, 针对第 2 种交通信息组合发布方案的调查问卷为 153 份. 所有驾驶人都有驾驶执照.

参与者的社会经济特征如表 1 所示. 本次调查有效样本包括男性司机 (159 人, 53%) 和女性司机 (141 人, 47%). 参与者的平均年龄为 34.19 岁 (标准差 = 7.7). 参与者的平均驾驶经验 (即驾龄) 为 6.59 a (标准差 = 2.96), 驾龄分布上样本调查绝大多数驾驶人驾龄大于 3 a. 在学历分布上, 本科学历的样本所占比例最高, 达到 69%.

采用独立  $T$  检验进一步分析社会经济特性 (如性别、驾驶经验和教育程度) 与驾驶人对交通信息组合的主观感知和驾驶人对交通信息组合的接受意愿之间的差异. 独立  $T$  检验结果如表 2 所示. 在性别方面, 女性驾驶人在 VMS 显示占用车道信息方面得分高于男性, 这意味着事故占用车道信息对女性改变路径的影响程度较大. 同样, 在驾驶经验和教育方面, 驾驶经验较高和受过高等教育的驾驶人对交通信息组合的主观感知和接受意愿较大. 本研究选取 3 a 作为驾驶经验高低的

表 1 参与者的人口统计学特征

Table 1 Demographic characteristics of the participants ( $N=300$ )

人口统计学变量	数量	百分比/%	
性别	男	159	53
	女	141	47
年龄	18 ~ 29 岁	81	27
	30 ~ 45 岁	189	63
	46 ~ 55 岁	27	9
	55 岁以上	3	1
驾龄	0 ~ 2 a	39	13
	3 ~ 6 a	132	44
	7 ~ 10 a	81	27
	10 a 年以上	48	16
年收入	0 ~ 5 万元	30	10
	6 ~ 12 万元	111	37
	13 ~ 20 万元	99	33
	20 万元以上	60	20
学历	高中及以下	18	6
	本科	207	69
	硕士	72	24
	博士及以上	3	1

临界值. 这一阈值适用于中国的驾驶人. 此外, 根据中国的教育状况, 高中及以下被视为低学历, 大学及以上被视为高学历.

## 2 驾驶人对 VMS 交通信息组合接收意愿的 SEM 模型

### 2.1 SEM 模型介绍

结构方程模型是基于变量的协方差矩阵来分析变量之间关系的一种统计方法, 是多元数据分析的重要工具.

结构方程模型由测量模型和结构模型两部分组成<sup>[19]</sup>. 其中,

测量模型

$$x = \mathbf{A}_x \xi + \delta \quad (1)$$

$$y = \mathbf{A}_y \eta + \varepsilon \quad (2)$$

式中:  $x, y$  为外源指标;  $\mathbf{A}_x$  为连接外源指标对外生潜变量的因子荷载矩阵;  $\xi$  为外生潜变量;  $\delta$  为外源指标  $x$  的测量误差;  $\mathbf{A}_y$  为连接内生指标对内生潜变量的因子荷载矩阵;  $\eta$  为内生潜变量;  $\varepsilon$  为外源指标  $y$  的测量误差.

表2 人口统计学与驾驶员对交通信息的组合的主观感知和接受意愿的变量间独立  $T$  检验Table 2 Independent  $T$ -test between demographics and drivers' subjective perception and willingness to accept traffic information combination

参数	教育程度 (标准差)		$T$ 值	性别 (标准差)		$T$ 值	驾驶经验 (标准差)		$T$ 值	
	高	低		男	女		$\geq 3.00$	$< 3.00$		
驾驶人对交通信息组合的主观感知	节省时间信息	4.20 (0.78)	4.11 (0.89)	0.73	4.14 (0.88)	4.12 (0.84)	0.17	4.17 (0.84)	3.87 (0.99)	1.81
	拥堵信息	4.23 (0.75)	4.17 (0.84)	0.60	4.19 (0.80)	4.17 (0.84)	0.14	4.18 (0.81)	4.16 (0.86)	0.14
	持续时间信息	4.11 (0.78)	4.14 (0.80)	-0.28	4.15 (0.86)	4.11 (0.70)	0.34	4.14 (0.80)	4.06 (0.68)	0.52
	车道信息	4.22 (0.83)	4.00 (0.91)	1.69	4.12 (0.87)	4.06 (0.92)	-0.06	4.09 (0.87)	3.77 (1.02)	1.87
	距离信息	3.95 (1.02)	3.92 (0.90)	0.22	3.95 (0.95)	3.91 (0.91)	0.35	3.95 (0.92)	3.77 (0.99)	1.00
驾驶人对交通信息组合的接受意愿	有时间限制	4.19 (0.91)	4.29 (0.76)	-0.88	4.28 (0.84)	4.25 (0.74)	0.30	4.25 (0.80)	4.39 (0.80)	-0.91
	无时间限制	3.70 (0.89)	3.75 (0.98)	-0.31	3.72 (0.97)	3.76 (0.95)	-0.38	3.75 (0.95)	3.65 (1.05)	0.56

## 结构模型

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (3)$$

式中: $B$  为内生潜变量之间的关系; $\Gamma$  为外生潜变量对内生潜变量的影响; $\zeta$  为残差项,即内生潜变量未能被解释的部分。

## 2.2 变量定义

结构方程模型的变量定义如表3所示。

由于VMS的版面限制,本文将研究的5种VMS交通信息设计为2种组合方案。第1种方案发布的VMS交通信息包括事故占用车道数、事故路段拥堵状况以及更换辅路节省时间信息。第2种方案发布的VMS交通信息包括当前路段距离事故点的路口数、事故占用车道数以及事故预计持续时间信息。所以要分别研究2种VMS交通信息发布方案下驾驶人对交通信息组合的主观感知以及接受意愿。根据确定的潜变量以及潜变量对应的观测变量,对结构方程模型进行初步求解计算,得出驾驶人的学历以及驾驶人的驾驶风格与各自对应的潜变量之间相关性不显著,故去除这2个观测变量。最终建立的驾驶人路径选择影响机理结构方程模型如图2、3所示。

## 2.3 信效度检验

在进行结构方程模型求解之前,需要对采集的问卷中的主观问题进行信效度检验,评价构建的评价体系是否可靠。

### 1) 信度检验

问卷的信度分析也就是对问卷的可靠性进行检验,即检验问卷获得的数据结果是否一致。本文采用信用系数Cronbach's  $\alpha$  进行检验,检验值 $\alpha$  越大,说明被检对象的信度越好,一般当 $\alpha > 0.6$  时说明问卷调查的数据结果具有较好的一致性<sup>[20]</sup>,结果如表4所示。每个潜变量的Cronbach's  $\alpha$  值分别为0.628、0.635、0.627,均大于0.6,说明问卷数据具有可靠性。

### 2) 效度检验

本文选用Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 值、Bartlett球形检验值和因子载荷量来检验调查数据的效度,结果如表5所示。根据经验可知,KMO值越接近于1.0,变量间的相关性就越强。本研究中潜变量的KMO值大于0.6, Bartlett球形检验的sig. 值为0.00。同时各因子的载荷值都大于0.5,因此,调查问卷中各指标效度较好。

表3 变量定义  
Table 3 Variable definition

潜变量	观测变量
驾驶人社会经济特性( $F_1$ )	性别( $X_1$ )
	年龄( $X_2$ )
	驾龄( $X_3$ )
	收入( $X_4$ )
	学历( $X_5$ )
驾驶人出行特性( $F_2$ )	驾驶频率( $X_6$ )
	驾驶风格( $X_7$ )
	驾驶时段( $X_8$ )
	出行目的( $X_9$ )
驾驶人对交通信息组合的主观感知( $F_3$ )	路网熟悉度( $X_{10}$ )
	驾驶人对事故预计持续时间信息的主观评分( $Y_1$ )
	驾驶人对距事故点的路口数信息的主观评分( $Y_2$ )
	驾驶人对事故占用车道数信息的主观评分( $Y_3$ )
	驾驶人对事故路段拥堵状况信息的主观评分( $Y_4$ )
驾驶人对交通信息组合的接受意愿( $F_4$ )	驾驶人对更换辅路节省时间信息的主观评分( $Y_5$ )
	出行时间有要求下的接受意愿( $Y_6$ )
	出行时间没有要求下的接受意愿( $Y_7$ )

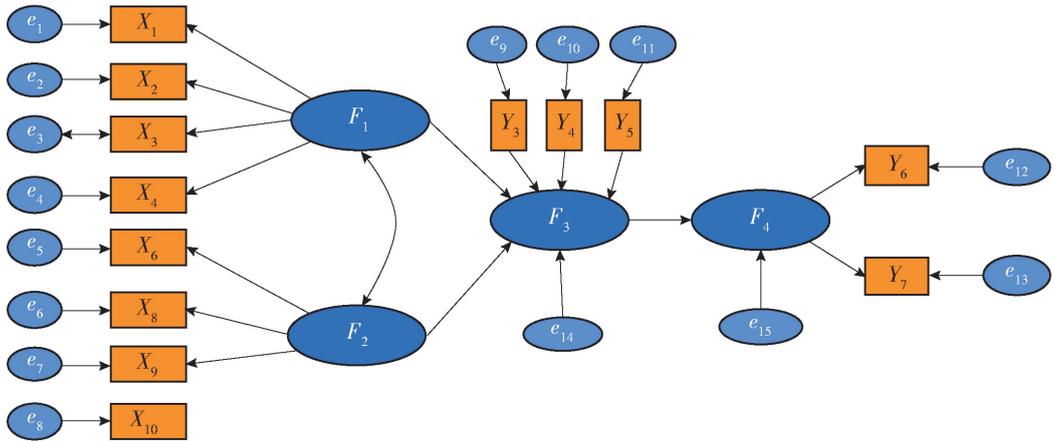


图2 第1种交通信息组合的结构方程模型路径

Fig. 2 Structural equation model route diagram under the first traffic information combination

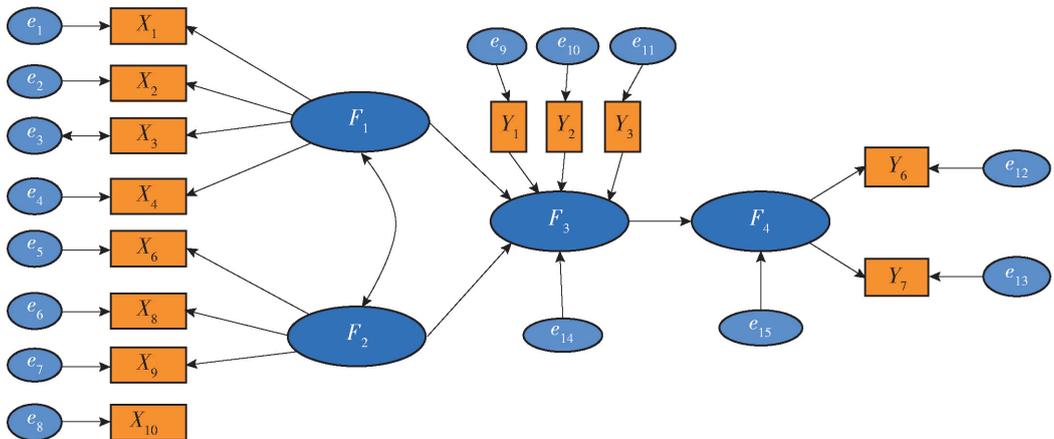


图3 第2种交通信息组合的结构方程模型

Fig. 3 Structural equation model route diagram under the second traffic information combination

表4 信度检验结果

Table 4 Results of reliability test

潜变量	测量指标数量	Cronbach's alpha 值
第1种交通信息组合的主观感知	3	0.628
第2种交通信息组合的主观感知	3	0.635
驾驶人对交通信息接受意愿	2	0.675

表5 KMO 和 Bartlett 球度检验

Table 5 KMO and Bartlett's test for variable

KMO	Bartlett's	测量指标	因子荷载
0.839	280.180	事故持续时间	0.656
		当前路段距事故点的路口数	0.507
		事故占用车道数	0.626
		事故路段拥堵状况	0.675
		更换辅路节省时间	0.627
		有出行时间限制	0.813
		无出行时间限制	0.733

进行检验,当部分拟合指标不符合标准值范围时,需要根据模型输出结果中的修改指示对结构方程模型路径图进行修正. 文章选取卡方自由度比(chi-square value/degree of freedom, CMIN/DF)、拟合优度指数(goodness of fit index, GFI)、调整后的拟合优度指数(adjusted goodness of fit index, AGFI)、

## 2.4 结构方程模型参数估计

本文利用 AMOS21.0 软件对构建的 2 个结构方程模型进行求解,首先在 AMOS 分别绘制结构方程模型路径图,并将处理的问卷数据通过 SPSS 导入 AMOS 中进行计算估计.

当结构方程模型构建完成之后,需要对构建的模型进行修正. 首先对模型输出结果中的拟合指标

Tucker-Lewis 指数(Tucker-Lewis index, TLI)、比较拟合指数(comparative fit index, CFI)以及近似误差的均方根(root mean square error of approximation, RMSEA)6 项拟合指标来评价结构方程模型的构建效果. 最终修正的结构方程模型的各项拟合指标值如表 6 所示.

表6 结构方程模型修正后的拟合值

Table 6 Fitting index after model modification

拟合指标	CMIN/DF	GFI	AGFI	TLI	CFI	RMSEA
结构方程模型 1 修正后的值	1.038	0.968	0.950	0.993	0.993	0.012
结构方程模型 2 修正后的值	1.117	0.965	0.945	0.975	0.982	0.021
拟合标准	<3.0	>0.9	>0.9	>0.9	>0.9	<0.08

通过比对,修正后的结构方程模型各项拟合值均符合拟合标准,其中 CMIN/DF、RMSEA 的拟合效果最优,最终修正的结构方程模型路径如图 4、5 所示.

然后对最终修正的结构方程模型进行求解,各条路径系数估计值的显著性水平进行检验. 2 个结构方程模型标准化路径系数及检验结果如表 7 所示. 由表 7 可得 2 个模型的所有路径显著性检验结果小于 0.05,结构模型构建完毕.

由路径参数估计结果对结构方程模型潜变量与显变量、潜变量之间的关系进行数学表达.

模型 1:

测量模型为

$$F_1 = 0.168X_1 - 0.519X_2 - 0.931X_3 - 0.380X_4 \quad (4)$$

$$F_2 = -0.326X_6 - 0.481X_8 + 0.796X_9 + 0.197X_{10} \quad (5)$$

结构模型为

$$F_3 = -0.234F_1 - 0.191F_2 + 0.344 \quad (6)$$

$$F_4 = 0.921F_3 + 0.745 \quad (7)$$

模型 2:

测量模型为

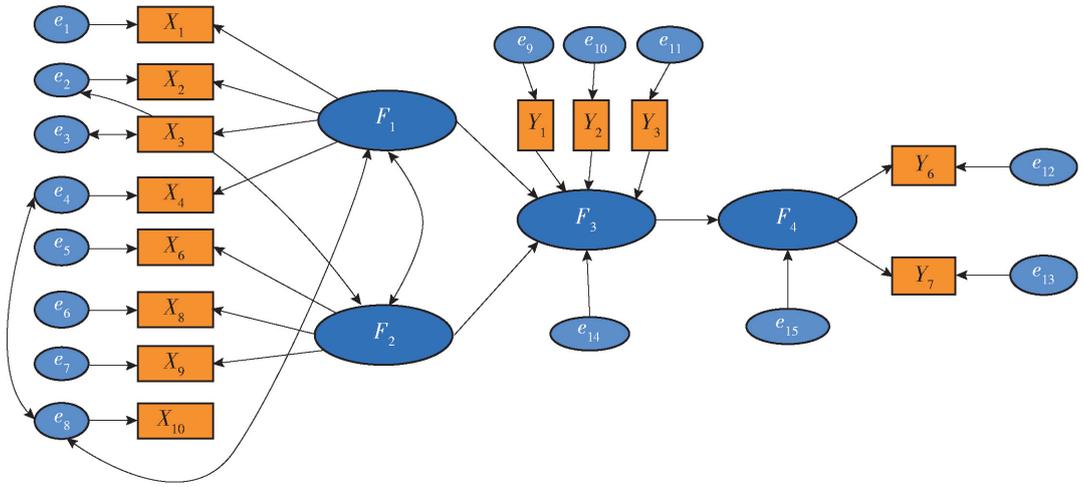


图4 结构方程模型1最终修正的路径

Fig. 4 Final modified route diagram of structural equation model 1

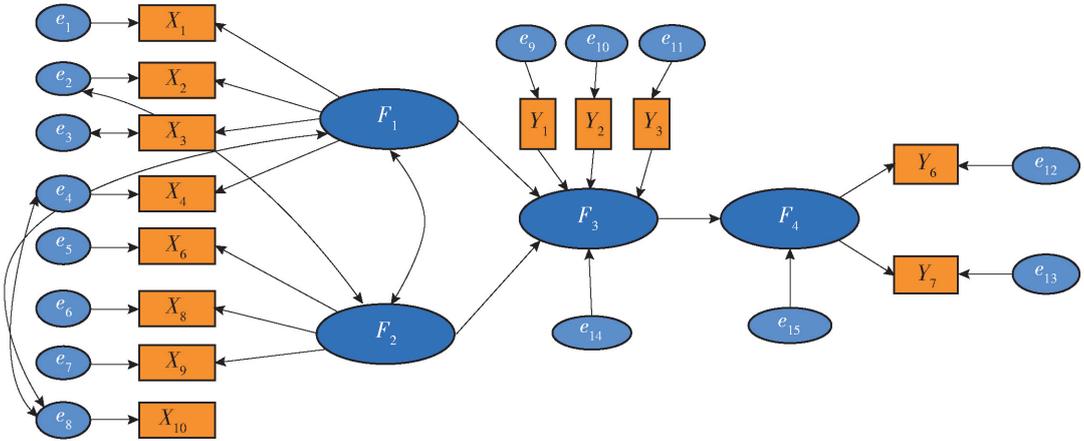


图5 结构方程模型2最终修正的路径

Fig. 5 Final modified route diagram of structural equation model 2

表7 结构方程模型标准化路径系数值分析表

Table 7 Standardized route coefficient value analysis of structural equation model

观测变量与潜变量 之间关系	模型1		模型2	
	估计值	P	估计值	P
$F_3 \leftarrow F_1$	-0.234	0.036	-0.176	0.045
$F_3 \leftarrow F_2$	-0.191	0.012	-0.102	0.023
$F_4 \leftarrow F_3$	0.921	***	0.804	***
$X_1 \leftarrow F_1$	0.168		0.164	
$X_2 \leftarrow F_1$	-0.519	0.005	-0.513	0.006
$X_3 \leftarrow F_1$	-0.931	0.009	-0.945	0.011
$X_4 \leftarrow F_1$	-0.38	0.007	-0.373	0.008
$X_6 \leftarrow F_2$	-0.326	0.017	-0.307	0.012
$X_8 \leftarrow F_2$	-0.481	0.009	-0.463	0.005
$X_9 \leftarrow F_2$	0.796	0.013	0.834	0.011
$X_{10} \leftarrow F_2$	0.197		0.209	
$Y_1 \leftarrow F_3$			0.469	
$Y_2 \leftarrow F_3$			0.473	***
$Y_3 \leftarrow F_3$	0.455		0.497	***
$Y_4 \leftarrow F_3$	0.622	***		
$Y_5 \leftarrow F_3$	0.52	***		
$Y_6 \leftarrow F_4$	0.678		0.769	
$Y_7 \leftarrow F_4$	0.435	***	0.39	***

注: \*\*\* 表示  $P < 0.001$ .

$$F_1 = 0.164X_1 - 0.513X_2 - 0.945X_3 - 0.373X_4 \quad (8)$$

$$F_2 = -0.307X_6 - 0.463X_8 + 0.834X_9 + 0.209X_{10} \quad (9)$$

结构模型为

$$F_3 = -0.176F_1 - 0.102F_2 + 0.262 \quad (10)$$

$$F_4 = 0.804F_3 + 0.779 \quad (11)$$

## 2.5 模型分析

根据标准化的路径系数表对结构方程模型标定结果进行分析. 在2种交通信息组合方案下的结构方程模型的数学表达式中,各个变量之间的相关关系一致,仅标定的相关系数有所差异.

表7中2个模型中驾驶人社会经济特性、出行特性的影响系数绝对值分别为0.234、0.191和0.176、0.102,即驾驶人的社会经济特性是影响驾驶人对交通信息组合的主观感知以及接受意愿的关键因素. 在2个模型对应的观测变量中,驾驶人驾龄与出行目的影响系数的绝对值分别为0.931、0.796和0.945、0.834,即驾龄与出行目的是影响驾驶人对交通信息组合的主观感知以及驾驶人对交通信息组合接受意愿的关键因素. 在2个模型中,驾驶人在有出行时间限制下的交通信息组合接受意愿影响系数分别为0.678和0.769,而无出行时间限制下的影响系数分别为0.435和0.390,说明驾驶人在有出行时间限制的情况比无出行时间限制的情况下对交通信息组合的接受意愿强烈. 其中结构方程模型1中驾驶人对交通信息组合的主观感知对信息接受意愿的影响系数为0.921,而结构方程模型2的影响系数为0.804. 这说明驾驶人对第1种交通信息组合方案的认知效果优于第2种交通信息组合方案.

## 3 结论

1) 驾驶人对5种交通信息的主观评分从高到低依次为事故拥堵信息、更换辅路节省时间信息、事故占用车道信息、事故持续时间信息以及事故距离信息. 且根据结构方程模型结果分析,第1种交通信息组合方案对驾驶人群体的诱导效果优于第2种交通信息组合方案.

2) 驾驶人在有出行时间限制的情况下对交通信息组合的主观感知高于无出行时间限制,且对交通信息组合的接受意愿越强烈.

3) 根据快速路交通事故影响范围划分<sup>[21]</sup>,事故点上游交通流量大且拥堵情况相对严重. 在发生

交通事故后,应加强对上游区域内的驾驶人的路径诱导. 对于事故点上游影响的预警区内的驾驶人,应以预警为主,发布当前路段距离事故点的路口数、事故占用车道数以及事故预计持续时间等信息.

## 参考文献:

- [1] 徐志,关宏志,严海. 可变信息标志选址方法[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(10): 54-60.  
XU Z, GUAN H Z, YAN H. The configuration location designation of variable message signs [J]. Journal of Chongqing University, 2013, 36(10): 54-60. (in Chinese)
- [2] 王建军,金书鑫,任予跃. 基于潜在瓶颈路段识别的可变信息标志选址分析[J]. 中国公路学报, 2018, 31(4): 130-138.  
WANG J J, JIN S X, REN Y Y. Analysis of variable information sign location based on potential bottleneck recognition[J]. China Journal of Highway and Transport, 2018, 31(4): 130-138. (in Chinese)
- [3] 衣谢博闻,唐克双,李克平. 基于信息熵的城市道路可变信息板布点方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(8): 1148-1155.  
YI X B W, TANG K S, LI K P. Location optimization of urban variable message sign based on amount of information [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2019, 47(8): 1148-1155. (in Chinese)
- [4] 郭沛,崔海龙,傅宇浩. 基于驾驶员短时记忆的可变信息标志布设密度研究[J]. 中国交通信息化, 2014(12): 135-137.  
GUO P, CUI H L, FU Y H. Research on layout density of variable information signs based on driver's short term memory[J]. China ITS Journal, 2014(12): 135-137. (in Chinese)
- [5] 张荣辉,马壮林,党永乐,等. 基于改进遗传算法的可变信息标志选址优化研究[J]. 交通信息与安全, 2016, 36(6): 113-122.  
ZHANG R H, MA Z L, DANG Y L, et al. Location optimization of variable information signs based on improved genetic algorithm [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2016, 36(6): 113-122. (in Chinese)
- [6] JINDAHRA P, CHOOCHARUKUI K. Short-run route diversion: an empirical investigation into variable message sign design and policy experiments[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2013, 14(1): 388-397.
- [7] ZHOU Y F, JIA S P, WEI G, et al. Evaluation on traffic congestion mitigation in Beijing with variable message signs

- [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2014, 14(6): 201-206.
- [8] ROCAA J, TEJEROB P, INSAA B. Accident ahead? difficulties of drivers with and without reading impairment recognising words and pictograms in variable message signs [J]. *Applied Ergonomics*, 2018, 67: 83-90.
- [9] 刘伟, 杜建玮, 陈科全. 基于视知觉的交通可变标志信息认度评价[J]. *中国公路学报*, 2020, 33(1): 163-171.
- LIU W, DU J W, CHEN K Q. Evaluation of traffic variable message sign information recognition based on visual perception [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2020, 33(1): 163-171. (in Chinese)
- [10] LAI C J. Effects of color scheme and message lines of variable message signs on driver performance [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2009, 42(4): 1003-1008.
- [11] NORMAWATI H. Towards new frontier of constitutional recognition of environmental protection in urban regeneration [J]. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, 2015, 17(7), 415-421.
- [12] WAARD D, STEYVERS F J J M, BROOKHUIS K A. How much visual road information is needed to drive safely and comfortably [J]. *Safety Science*, 2004, 42(5): 639-655.
- [13] AL M H, ALJ. Role of drivers' personal characteristics in understanding traffic sign symbols[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2002, 34(3): 185-196.
- [14] 刘爽, 陈绍宽, 韦伟, 等. VMS 诱导信息资源管理与发布支持系统[J]. *长安大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(增刊1): 70-74.
- LIU S, CHEN S K, WEI W, et al. VMS guidance information resources management and publishing support system [J]. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 2015, 35 (Suppl 1): 70-74. (in Chinese)
- [15] 黄裕乔. 动态交通诱导信息时空发布策略研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- HUANG Y Q. Research on spatiotemporal release strategy of dynamic traffic guidance information [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
- [16] ZAVAREHA M F, MAMDOOHIB A R, NORDFJAERN T. The effects of indicating rear-end collision risk via variable message signs on traffic behavior [J]. *Transportation Research Part F*, 2017, 46: 524-536.
- [17] 马壮林, 赵文静, 李露. 驾驶人对可变信息标志关注度影响因素分析[J]. *公路与汽运*, 2018(1): 40-44.
- MA Z L, ZHAO W J, LI L. Analysis of factors influencing drivers' attention to variable message signs [J]. *Highways & Automotive Applications*, 2018(1): 40-44. (in Chinese)
- [18] MA Z L, SHAO C F, SONG Y, et al. Driver response to information provided by variable message signs in Beijing [J]. *Transportation Research Part F*, 2014, 26: 199-209.
- [19] 严海, 王熙蕊, 梁文博, 等. 基于结构方程模型的通勤交通方式选择[J]. *北京工业大学学报*, 2015, 41(4): 590-596.
- YAN H, WANG X R, LIANG W B, et al. Commute traffic mode choice based on structural equation model [J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2015, 41(4): 590-596. (in Chinese)
- [20] 李永健. 一种检验问卷来源一致性的方法分析[J]. *东南传播*, 2018(12): 40-41.
- LI Y J. Analysis of a method for testing the consistency of questionnaire sources [J]. *Southeast Communication*, 2018(12): 40-41. (in Chinese)
- [21] 徐若然. 基于出行者行为的信息发布策略对城市拥堵治理的影响机制探究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
- XU R R. Influence mechanism of information release strategy on urban congestion control based on traveler behavior [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2017. (in Chinese)

(责任编辑 杨开英)