

图状信息板影响下的驾驶员路径选择行为

苏 红, 干宏程

(上海理工大学 超网络研究中心, 上海 200093)

摘要: 为了探索图状信息板(GRIP)对驾驶员路径选择行为的影响因素及其影响程度,借助 GRIP 信息发布平台,在信息板同时提供前方道路交通问题性质、事故严重程度度的情况下,利用全因子方法设计了 GRIP 的 6 种假定交通情景,并对这 6 种情景下驾驶员路径选择行为数据进行采集.采用离散选择分析方法对路径选择行为的影响因素进行了多变量分析,并建立了路径选择概率的多元 logit 模型.研究表明,驾驶员对 GRIP 影响下路径选择影响程度的认知、开车类型、月收入、交通问题性质及严重程度在不同程度上影响驾驶员的出行决策行为.

关键词: 图状信息板;意向调查;路径选择;多元 logit 模型

中图分类号: U 491

文献标志码: A

Graphical Route Information Panel's Impacts on Drivers' Route Choice Behavior

SU Hong, GAN Hongcheng

(Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To explore the graphical route information panel's (GRIP's) impacts and its influential degree on the driver route choice, with the help of a graphics board information release platform to provide the nature of traffic problems in front of the road and to learn the severity of the accident, a full factorial design method was adopted to figure six kinds of assumed traffic scenario message boards. The drivers' route choice behavior data was obtained under these six scenarios. With the discrete choice analysis method, a multivariate analysis about the influencing factors on route choice behavior was conducted, and a multi-path selection probabilities logit model was established. It is shown that the path selection of drivers under GRIP can be affected by the degree of GRIP influence cognition, car type, monthly income, the nature of traffic and the severity of the problems which influence their route choice decision to some extent.

Key words: graphical route information panel; stated preference survey; route choice; multivariate logit model

收稿日期: 2014-07-21

基金项目: 上海市研究生创新基金资助项目(JWCXSL1202);国家自然科学基金资助项目(51008195);上海市重点学科建设资助项目(S30504);上海市教委科研创新资助项目(09YZ205)

第一作者: 苏 红(1987-),女,硕士研究生.研究方向:交通行为分析与建模、智能交通. E-mail:suhongabc@163.com

通信作者: 干宏程(1978-),男,副教授.研究方向:智能交通、交通规划. E-mail:hongchenggan@126.com

图状信息板 (graphical route information panel, GRIP) 作为现代交通诱导手段的一种有效交通管理技术, 在现实生活中得到了广泛的应用及推广, 它是先进的出行者信息系统 (advanced traveler information system, ATIS) 最重要的信息发布技术, 已全面覆盖了上海的高架以及快速路网, 成为高架和快速路网交通管理的重要手段^[1]. 对于 GRIP 的研究涵盖了面板设计、GRIP 布局、GRIP 信息发布系统的人机界面设计、GRIP 利用率研究^[2-7]等方面. 国外在此方面的研究较为深入, 日本学者^[8]探讨了驾驶员对 GRIP 的易理解性、可识别性、有用性情况, 研究表明, GRIP 能够被驾驶员接受; 荷兰学者 Alkim 等^[9]调查了机动车车主对 GRIP 的响应行为, 研究表明, GRIP 较之于传统的可变信息板优势显著; 美国学者 Aitken 等^[10]设计了几种不同形式的 GRIP 板并进行了网络调查来评估 GRIP 对驾驶员的吸引力及其实用性, 研究发现, 驾驶员的年龄、性别、对路网的熟悉度以及 GRIP 是否提供出行时间信息都会影响 GRIP 的利用、理解情况. 国内学者干宏程^[11]、王卫卫等^[12]、姜桂艳等^[13]对图形式可变信息板影响下路径选择行为的建模、仿真方面进行了调查研究, 并取得了一定的成果. 驾驶员对诱导信息响应行为^[14]的研究尤其是 GRIP 影响下路径选择行为的研究逐渐得到了相关部门及学者的高度重视. 探索 GRIP 对驾驶员路径选择行为的影响已是大势所趋, 对于交通规划管理部门合理规划布设 GRIP、提高 GRIP 的利用率、方便驾驶员通畅出行具有指导意义.

以往对 GRIP 影响下实际路径选择响应行为的调查分析比较少, 探索实际路况中 GRIP 影响下的行为数据对 GRIP 信息内容、驾驶员社会经济属性、交通感知特性以及交通问题性质和严重程度等信息与路径选择概率之间的相互映射关系仍是一个重要的研究方向. 较之于以往研究, 在更加丰富的样本量以及考虑更为周全的问卷内容所获得的行为数据的基础上, 探索影响因素与路径选择概率之间相互映射关系效果更为显著、更有说服力.

作者以上海一块实地高架路网中的 GRIP 为研究对象, 探索中型 GRIP 信息诱导下驾驶员途中改道行为的影响因素并构建路径选择概率模型. 主要对在真实交通场景中, 6 种假定交通出行情景下驾驶员的路径选择行为进行 SP (stated preference) 调查, 通过离散选择模型进行建模分析, 建立路径选择概率的多元 logit 模型.

1 GRIP 影响下路径选择行为数据的采集

利用 GRIP 实时发布前方道路的交通信息在上海高架快速路网中已具有普适性. 为此本文以上海一块实地运行的中型图文混合型可变信息标志 (中型 GRIP) 为研究对象, 采集信息诱导下驾驶员途中改道行为数据.

1.1 出行情景的设定

假定的交通出行情景为: 正常工作日 (周一到周五任意一天) 的平峰时段, 驾驶员从静安区政府开车经延安高架驶往东华大学延安校区, 原计划从凯旋路出口匝道离开高架道路, 到达位于凯旋路附近的东华大学. 当驾驶员来到华山路出口上游时, 看到中型 GRIP 发布前方交通状况的实时信息, 然后被调查者根据上述情景, 针对中型 GRIP 显示的不同信息内容, 作出相应决策. 驾驶员面对 GRIP 提供的信息有 3 条路径可供选择: 按原计划沿高架路直走, 然后在凯旋路出口下匝道到达东华大学 (正常行程时间约 12 min); 在江苏路出口下匝道, 沿地面道路到达东华大学 (正常行程时间约 13 min); 在华山路出口下匝道, 沿地面道路到达东华大学 (正常行程时间约 15 min). 具体情境示意简图如图 1 所示.

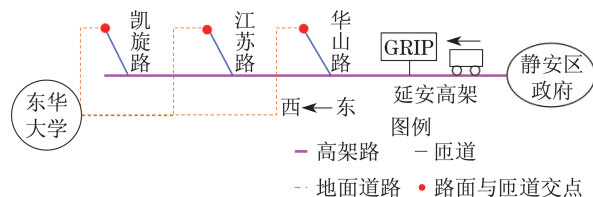


图 1 情境示意简图

Fig.1 Situational schematic diagram

GRIP 板通过图文并茂的形式显示前方道路交通问题性质 (事故、非事故 2 种水平) 以及问题严重程度 (轻微、中等、严重 3 种水平) 的交通信息. 利用全因子方法设计了 GRIP 板的 6 种 ($2 \times 3 = 6$) 不同信息内容 (详见图 2), 调查驾驶员在面临这 6 种情景时路径选择行为数据. 其中将 GRIP 提供的事件类型信息量化为了延误时间对路径选择的影响 (在只考虑图形信息, 忽略文字信息情况下, 对延误情况进行简单量化, 根据色块显示设计标准以及问题路段距离, 通过计算得到: 情景 1 和情景 6 延误时间为 2.4 min, 情景 2 和情景 4 延误时间为 0.4 min, 情景 3 和情景 5 延误时间为 3 min.).

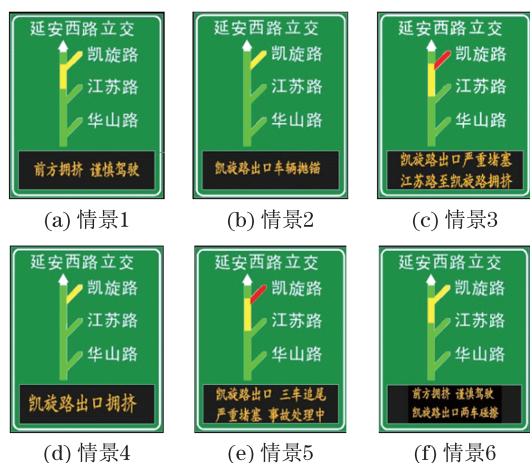


图2 GRIP显示的6种SP情景

Fig.2 Six scenarios displayed on the GRIP

1.2 路径选择行为 SP 调查

实地调查了上海居民从静安区政府沿延安高架自驾自东向西至东华大学起讫点间 GRIP 影响下的路径选择行为. 采用 SP 问卷调查形式调查了驾驶员在 GRIP 显示不同路况信息时所对应的路径选择响应行为. 具体调查内容主要包括驾驶员的社会经济属性、出行属性、交通信息利用属性以及交通信息渠道设施利用率属性 4 个方面. 调查员向驾驶员随机发放问卷, 填写后当场回收, 共得到 246 份有效问卷. 因此, 可得到 1 476 (246 × 6) 个样本用于数据分析和建模.

1.3 数据初步分析结果

SP 问卷中 GRIP 提供信息内容与路径选择情况的初步统计如表 1 所示.

表 1 不同情景下驾驶员途中换道行为统计

Tab.1 Statistics of route choice behavior under different scenarios

出行情景	GRIP 显示 信息说明	提前 2 个出口下高架		提前 1 个出口下高架		按原计划行驶百分率/%	换道百分率/%
		行程时间/min	百分率/%	行程时间/min	百分率/%		
情景 1	非事故 + 拥挤	15	6.91	13	53.66	39.43	60.57
情景 2	事故 + 轻微	15	4.07	13	54.07	41.87	58.13
情景 3	非事故 + 严重	15	19.11	13	75.61	5.28	94.72
情景 4	非事故 + 轻微	15	4.07	13	39.43	56.50	43.50
情景 5	事故 + 严重	15	25.20	13	69.92	4.88	95.12
情景 6	事故 + 拥挤	15	11.79	13	67.07	21.14	78.86

从表 1 的结果可以看出, 在前方道路出现非事故情况下, 轻微的交通拥挤并不会影响驾驶员的路径选择行为. 虽然换道用的行程时间比较短, 但是, 为了避免换道的繁琐或是依据以往驾驶经验, 驾驶员还是更倾向于安于交通现状, 继续按计划路线行驶. 只有在发生严重拥挤以及交通事故时, 驾驶员才会选择变更行驶路线. 如果变更行驶路线, 驾驶员更倾向于提前一个出口下高架, 只有极少数的驾驶员选择提前 2 个出口下高架. 通过换道百分率可以看出, 尤其是情景 3 和情景 5 情况下, GRIP 诱导信息着实为驾驶员进行路径决策提供了便利, 其应用价值得到了充分发挥.

2 路径选择行为的离散选择分析

2.1 建模方法

在进行行为建模时, 一般采用的是非集计模型中的离散选择模型. 调查的应变量为驾驶员对 GRIP 信息响应的路径选择具体行为, 各自变量包括驾驶员的社会经济属性、出行属性、交通信息属性、交通

设施属性 4 方面的因素, 每个方面又包括很多的子因素. 因此, 在对驾驶员基于信息的路径选择行为进行预测时, 需要剔除对结果影响不是很大的因子, 以便减少计算量, 筛选、明确主要影响因子. 路径选择行为应变量有 3 个水平: 按原计划行驶, 提前 1 个出口下高架, 提前 2 个出口下高架, 可以定义为分类变量. logit 模型就是对分类应变量进行分类处理的适当模型, 鉴于应变量有 3 种选择, 而且是分类变量, 因此, 采用多元 logit 模型 (multinomial logit model, MNL) 分析驾驶员属性因素和客观条件对应变量的影响作用.

MNL 是离散选择模型中使用最为方便、广泛的一种, 其概括数学表达式为

$$P_{ni} = \frac{\exp(V_{ni})}{\sum_{j \in A_n} \exp(V_{nj})} = \frac{\exp(\theta \mathbf{X}_{ni})}{\sum_{j \in A_n} \exp(\theta \mathbf{X}_{nj})} = \frac{1}{\sum_{j \in A_n} \exp\left(\sum_{k=1}^K \theta_k (\mathbf{X}_{nj} - \mathbf{X}_{ni})\right)}, \quad i \in A_n \quad (1)$$

式中, P_{ni} 为驾驶员 n 选择方案 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 的概率, 共有 m 种选择方案, $n = 246$, $m = 3$; V_{ni} 为驾

驶员 n 选择方案 i 的效用函数的固定项; $\mathbf{X}_{ni} = (X_{ni1}, \dots, X_{nik}, \dots, X_{nik})$ 是驾驶员 n 选择方案 i 的影响因素组成的向量, k 表示第 k 个影响因素; $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)^T$ 是对应于各影响因素前面的未知参数向量; A_n 为驾驶员 n 选择方案的集合 (此处 $n = 246, m = 3$).

2.2 各变量赋值转化及筛选标准

为方便模型建立, 提高建模精度, 需要对模型相应的各影响因素进行合理赋值转化, 设定有效的变量类型及助记符. 使用 logit 回归模型多次筛选自变量的标准是将 wald 值较小而显著性值 (sig.) 较大的剔除出去, wald 是一个卡方值, 为自变量的显著性检验, 相当于普通线性回归中自变量的 t 检验值. 显著性值 (sig. 或 P 值) 通常选取 0.25 或 0.5 作为筛选标准, 为了提高精度, 本文选取 0.25 作为显著性标准值, 逐步回归、筛选、剔除. 在 95% 的置信水平下, 将 wald 值较小且 P 值 (sig.) 较大的自变量逐个剔除后, 再次进行回归分析直至变量显著性水平低于 0.05.

调查问卷中主要考察了驾驶员的社会经济属性、出行属性、交通信息利用属性以及交通信息渠道设施利用属性 4 方面的内容. 驾驶员的社会经济属性包括性别 (X_1)、年龄 (X_2)、驾龄 (X_3)、学历 (X_4)、月收入 (X_5)、是否上海常住人口 (X_6) 7 个自变量; 出行属性包括开车类型 (X_7)、出行目的 (X_8)、出行频率 (X_9)、使用高架频率 (X_{10})、年行驶公里数 (X_{11}) 5 个自变量; 交通信息利用属性包括对上海高架 (快速路) 的熟悉程度 (X_{12})、对 GRIP 的关注程度 (X_{13})、GRIP 对驾驶员择路或改道的影响 (X_{14}) 3 个自变量; 交通信息渠道设施利用属性包括电台广播 (X_{15})、车载导航 (X_{16})、电子信息板 (X_{17}) 3 个自变量. 在后期建模中, 分析这 17 个自变量对路径选择行为的影响情况.

2.3 模型估计结果分析

驾驶员进入延安高架后, 看到前方 GRIP 板显示的交通信息, 有 3 种应对措施: 按计划路线行驶到达目的地; 提前 1 个出口下高架; 提前 2 个出口下高架. 在研究中将按计划路线行驶作为路径选择的基本选择项, 即参考项, 那么, 其效用方程值则记为 0. 利用卡方检验估计结果, 采用 95% 的置信度, 剔除显著性水平大于 0.05 的因素, 筛选出影响驾驶员路径选择的关键影响因素. 在建模过程中, 延误时间没有进入模型, 只有 8 个变量进入最终的模型, 模型参数估计结果如表 2 所示.

表 2 模型包含的变量及相关的参数估计
Tab.2 Variables in the model and related parameters estimation

路径选择	变量	助记符	系数 B	显著性
提前 2 个出口下高架	GRIP 对驾驶员择路或改道的影响	X_{14}	0.525	0.000
	开车类型	X_7	1.424	0.000
	月收入小于等于 6 000 哑变量	X_5	0.542	0.014
	GRIP 信息 1 哑变量	G_1	0.934	0.028
	GRIP 信息 2 哑变量	G_2	0.332	0.480
	GRIP 信息 3 哑变量	G_3	4.095	0.000
	GRIP 信息 5 哑变量	G_5	4.467	0.000
	GRIP 信息 6 哑变量	G_6	2.156	0.000
提前 1 个出口下高架	常数	C_1	-6.322	0.000
	GRIP 对驾驶员择路或改道的影响	X_{14}	0.414	0.000
	开车类型	X_7	0.486	0.003
	月收入小于等于 6 000 哑变量	X_5	0.426	0.003
	GRIP 信息 1 哑变量	G_1	0.689	0.000
	GRIP 信息 2 哑变量	G_2	0.629	0.001
	GRIP 信息 3 哑变量	G_3	3.134	0.000
	GRIP 信息 5 哑变量	G_5	3.143	0.000
	GRIP 信息 6 哑变量	G_6	1.581	0.000
	常数	C_2	-2.603	0.000
- 2 Log likelihood			589.545	
Cox & Snell's R^2			0.242	
Nagelkerke's R^2			0.288	

在实际应用中优良模型其拟合效果的拟合优度 R^2 一般介于 0.2~0.4 之间. 由表 2 中的数据可以发现, 判定系数 Cox & Snell's $R^2 = 0.242$, Nagelkerke's $R^2 = 0.288$, 判定系数 R^2 满足 0.2~0.4 的范围要求, 而对数似然函数值 (-2 Log likelihood) 为 589.545, 数值较小, 所以, 认为该模型能很好地阐释自变量和因变量之间的关系, 模型精度较高, 符合实际的要求. 根据所建模型得出驾驶员进行路径选择时主要受制于驾驶员对 GRIP 的认知程度、开车类型、月收入以及 GRIP 显示的交通信息内容, 与以往研究得到的路径选择受驾驶员的年龄、性别、对路网的熟悉度以及 GRIP 是否提供出行时间影响的结论有所区别.

根据表 2 得到提前 2 个出口下高架的效用函数

$$V_1 = -6.322 + 0.542X_5 + 1.424X_7 + 0.525X_{14} + 0.934G_1 + 0.332G_2 + 4.095G_3 + 4.467G_5 + 2.156G_6 \quad (2)$$

根据表2得到提前1个出口下高架的效用函数

$$V_2 = -2.603 + 0.426X_5 + 0.486X_7 + 0.414X_{14} + 0.689G_1 + 0.629G_2 + 3.134G_3 + 3.143G_5 + 1.581G_6 \quad (3)$$

若一男性、月收入为4 800元,认为GRIP信息对改道有较大影响的驾驶员,自驾从静安区政府沿延安高架行驶,走到华山路出口前方800 m左右时,发现前方GRIP显示凯旋路出口三车追尾、严重堵塞、事故处理中的信息时,此时该驾驶员选择提前2个出口下高架的概率为28.07%,选择提前1个出口下高架的概率为68.85%。

根据模型所得参数估计结果,对各自变量对应变量的影响作如下分析:

a. 常数项为负. 常数项为负符合实际的选择情况,因为,在不提供任何交通信息的情况下,驾驶员对前方路况一无所知时,大部分驾驶员会按照以往的习惯继续走原路,也是源于大部分的驾驶员不愿承担改道所带来的任何风险. 通过比较2个效用函数常数项, $C_1 = -6.322 < C_2 = -2.603$ 可以得出,在不得不进行换道的情况下,驾驶员更倾向于提前1个出口下高架,因为,高架道路的服务性能优于地面道路。

b. 开车类型,系数为正. 与维持原计划行驶路线相比,私家车较单位用车更容易选择提前下高架. 因为私家车驾驶员更追求乘车的舒适性,单位用车驾驶员可能存在燃油消耗、成本增加等顾虑,因而不大愿意改道提前下高架。

c. 月收入小于等于6 000元哑变量,系数为正. 表明有着较低收入的驾驶员较有着高收入的驾驶员更倾向于提前下高架,可能原因是这类人群时间价值观念比较强,对上下班或者上课时间有着很高的要求。

d. GRIP对择路或改道影响程度,系数为正. 驾驶员对GRIP的认知程度越高,说明对其依赖性较强,对GRIP信息就越信任,所以,只要GRIP显示前方路况的不良变化,驾驶员都会提前采取行动,避免不利路况产生的阻抗。

e. 从GRIP信息哑变量的参数估计结果可以看出,GRIP信息5哑变量的系数在2个效用函数中明显比其它几个GRIP信息哑变量的系数大,说明在发生事故并且严重拥挤的情况下,驾驶员较其它GRIP情景出现时选择提前离开高架的概率要大. 同时,GRIP信息3哑变量前面的系数略小于 G_5 ,进一步验证了 G_5 和 G_3 两种情况下,驾驶员比GRIP

显示其它类型信息时更容易选择提前下高架,这与前面数据结果初步分析得出的结论一致,与实际生活情景吻合,符合经验判断. 由 G_1, G_2, G_3, G_5, G_6 系数都为正得出,不论前方道路问题严重程度以及交通类型如何,较基准情景4而言,驾驶员倾向于选择提前下高架. 只有在发生非事故、且交通问题性质轻微时,大多数驾驶员会按计划路线行驶。

2.4 模型应用示例

假设建模时不考虑驾驶员个体属性,只考虑GRIP显示的交通信息情况,利用卡方检验估计结果,采用95%的置信度,得到的参数估计结果如表3所示。

表3 模型应用参数估计结果

Tab.3 Variables with parameters estimation

路径选择	变量	助记符	系数 B	显著性
提前2个出口下高架	GRIP 信息1哑变量	G_1	0.890	0.034
	GRIP 信息2哑变量	G_2	0.300	0.520
	GRIP 信息3哑变量	G_3	3.917	0.000
	GRIP 信息5哑变量	G_5	4.274	0.000
	GRIP 信息6哑变量	G_6	2.048	0.000
	常数	C_1	-2.632	0.000
提前1个出口下高架	GRIP 信息1哑变量	G_1	0.668	0.000
	GRIP 信息2哑变量	G_2	0.615	0.001
	GRIP 信息3哑变量	G_3	3.021	0.000
	GRIP 信息5哑变量	G_5	3.022	0.000
	GRIP 信息6哑变量	G_6	1.514	0.000
	常数	C_2	-0.360	0.007
-2 Log likelihood			60.870	
Cox & Snell's R^2			0.205	
Nagelkerke's R^2			0.245	

在不考虑个体属性的情况下,模型中 $R^2 = 0.245$,说明模型拟合结果良好. GRIP对驾驶员路径选择行为的影响结果与实际吻合,在 G_3, G_5 信息的情况下,较情景4而言,驾驶员都会选择提前下高架,与前面得出的结论一致,进一步验证了GRIP显示信息内容能在不同程度上影响驾驶员的路径决策行为。

3 结束语

以实地的出行情景为例,探讨了延安高架上GRIP显示不同交通信息时驾驶员的途中改道行为. 通过探讨GRIP对驾驶员路径选择行为的影响,可以使道路使用者及交通管理部门更好地认识

GRIP 在实际应用中发挥的作用,便于政府管理部门对 GRIP 进行合理的投资、管理,为 GRIP 信息发布及设置提供更科学的依据,同时建立有效的驾驶员路径选择行为模型也可作为交通仿真软件提供支持智能交通系统(ITS)的基础模型。

本文研究重点在于分析探讨 GRIP 对驾驶员路径选择行为的影响因素以及提供不同诱导信息下的驾驶员途中改道行为,通过对驾驶员 GRIP 响应行为的研究,评价实际应用中 GRIP 的实用性,进一步指导今后的 GRIP 设计。通过比较分析得到研究结果如下:

a. 驾驶员对 GRIP 影响下路径选择影响程度的认知、开车类型、月收入以及交通问题性质和严重程度都会对驾驶员的出行决策产生一定的影响。为提高驾驶员对 GRIP 的认知水平可在驾驶考试中增加并强化 GRIP 相关信息的教育学习等内容,或者通过电视广播等媒介加强宣传,通过学习引导提高驾驶员对 GRIP 的行为响应概率,进而使 GRIP 实用性得到有效体现。

b. 数据统计结果以及建模求得概率结果表明,GRIP 在同时提供交通问题性质以及交通问题严重程度的情况下,其利用价值得到了充分发挥,能够有效诱导交通流量的合理分配。由建模结果得到 GRIP 对诱导驾驶员路径选择行为、均衡网络中的交通量分布,避免过多的出行时间延误有着积极的影响。为了避免路阻函数带来的负面影响,驾驶员看到诱导信息后都会采取一定程度的改道,可以有效缓解路段交通拥挤(情景 5:提前 1 个出口下高架概率为 68.85%,提前 2 个出口下高架概率为 28.07%)。在布设 GRIP 时可根据具体路网情况,同时提供当前路网的交通问题性质以及交通问题严重程度信息时,在一定程度上能够提高驾驶员对 GRIP 的响应行为。交通问题类型具体通过图形形式还是文字信息形式抑或是图文混合形式进行 GRIP 布局将是今后研究重点。

c. 研究中只对特定路网中的 GRIP 进行了定量分析,得到的结论具有一定的局限性,需要进一步的论证探讨。今后研究重点将放在实际应用中的 GRIP 布局、设计、优化方面,通过进行多布局方案和更细化的方案分析对比,为交通管理部门合理布设 GRIP 提供更为详实的理论依据。

参考文献:

[1] Gan H C, Sun L J, Chen J Y. Advanced traveler information system for metropolitan expressways in

Shanghai [C] // Proceedings of 2008 International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals. New York: American Society of Civil Engineers Press, 2008: 1810 - 1818.

- [2] 杨兆升,王媛,管青,等.基于人因工程的城市交通诱导系统设计[J].中国公共安全:智能交通,2006,23(11):36-42.
- [3] 干宏程,孙立军.人因工程在先进交通管理系统设计中的应用[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(10):1317-1322.
- [4] 同济大学交通运输工程学院.上海市高架道路交通监控系统研究及示范工程研究报告[R].上海:上海市市政工程管理处,2003.
- [5] Shalloe S, Sharples S C, Burnett G, et al. Developing a graphical route information panel (GRIP) for use on the UK motorway network [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2014, 27: 133 - 149.
- [6] Zhong S Q, Zhou L Z, Ma S F, et al. Effects of different factors on drivers' guidance compliance behaviors under road condition information shown on VMS[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2012, 46(9): 1490 - 1505.
- [7] Lai C J. Drivers' comprehension of traffic information on graphical route information panels [J]. Accident Analysis and Prevention, 2012, 45(2): 565 - 571.
- [8] Matsushima H, Sakai M. Graphic information provision system on metropolitan expressway [C] // 7th World Congress on Intelligent Transportation Systems. Turin: CITS Press, 2000: 15 - 18.
- [9] Alkim T, Schenk B. Graphic route information [C] // 8th World Congress on Intelligent Transportation Systems. Sydney: CITS Press, 2001.
- [10] Aitken R J, Conway A, Walton C M. Implementing graphical route information panels (GRIPs) in the United States [J]. ITE Journal, 2012, 82(3): 42 - 47.
- [11] 干宏程.图状路况信息对驾驶员择路行为影响的研究进展[J].上海理工大学学报,2012,34(3):257-262.
- [12] 王卫卫,赵小梅,李新刚,等.VMS对驾驶员路径选择影响的实证研究与建模[J].交通运输系统工程与信息,2013,13(3):60-64.
- [13] 姜桂艳,郑祖舵,白竹,等.拥挤条件下可变信息板交通诱导信息对驾驶行为的影响[J].吉林大学学报(工学版),2006,36(2):183-187.
- [14] 李静,范炳全.基于驾驶员反应行为的诱导博弈分析[J].上海理工大学学报,2003,25(4):398-400.

(编辑:石 瑛)