

电子执法环境下交通违法行为影响因素分析

蒋贤才¹, 黄科², 汪贝¹, 王宇¹

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 150090 哈尔滨; 2. 中国城市规划设计研究院 西部分院, 401121 重庆)

摘要: 为了甄别电子执法环境下影响交通违法行为的主要因素, 在交通调查基础上, 借助广义估计方程分析了有无电子执法设施、交通标线是否齐全、车辆类型和交叉口服务水平4个独立因素对交通违法行为的影响. 结果表明: 有无电子执法设施和交通标线是否齐全对交通违法行为的影响显著; 这两个显著影响因素的交叉作用分析显示, 在交通标线齐全时电子执法对交通违法行为具有明显的抑制作用. 齐全的交通标线对抑制电子执法环境下的交通违法行为、提高道路交通安全水平具有重要作用, 它是实现电子执法设施建设初衷的基本保证.

关键词: 交通违法行为; 广义估计方程; 交通电子执法; 交通标线; 参数估计

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2013)08-0084-06

Analysis of affecting factors on traffic violation under the environment of electronic enforcement

JIANG Xiancai¹, HUANG Ke², WANG Bei¹, WANG Yu¹

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;

2. Western Branch, China Academy of Urban Planning & Design, 401121 Chongqing, China)

Abstract: In order to clarify the main affecting factors under the environment of traffic electronic enforcement, on basis of traffic investigation, the effects of the aspects of electronic enforcement, traffic marking, vehicle type and service level at intersection on traffic violation were analyzed by generalized estimation equations. The result showed that the electronic enforcement and traffic marking affected traffic violation significantly, and the cross-effect analysis of automated enforcement and traffic marking showed that the electronic enforcement could restrain traffic violation obviously when the traffic marking was complete. The complete traffic marking was the basic guarantee to achieve the original purpose of electronic enforcement building, it had an important role to restrain traffic violations and improve road traffic safety level under the environment of electronic enforcement.

Key words: traffic violation; generalized estimating equations; traffic electronic enforcement; traffic marking; parameter estimation

电子警察的出现促进了道路交通管理的智能化, 然而在其应用过程中也存在一些问题, 如电子执法对交通违法行为的影响、电子执法的威慑效应^[1-2]等. 对电子执法环境下交通违法行为影响因素开展研究, 有助于认清交通违法行为形成的

外在因素, 改进相应的预防措施, 抑制交通违法行为的发生, 确保道路交通运行的安全. 国外已在这方面开展了一些研究, 如 Martinez 和 Porter 研究了闯红灯驾驶员的驾驶行为特征, 并提出了相应的预防措施^[3]; Lawton 等将超速驾驶、闯红灯等以自我为中心、时间紧迫性驾驶行为界定为武断性驾驶行为, 指出其区别于攻击性驾驶行为的关键为非有意识性^[4], 等等. 这些研究促进了国外电子执法环境下交通安全保障体系的建设, 极大地提高了其道路交通安全运营水平. 但针对我国电子执法环境下交通违法行为影响因素的研究尚

收稿日期: 2012-10-24.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (HIT-NSRIF. 2012061); 哈尔滨工业大学优秀青年教师培养计划项目 (HITQJNS. 2009. 051); 哈尔滨市科技创新人才研究专项资金项目 (2010RFQXG006).

作者简介: 蒋贤才 (1974—), 男, 副教授.

通信作者: 蒋贤才, jxc023@126.com.

未见报道,与国外交通违法行为的影响因素存在哪些区别尚不清楚,这势必会影响到我国电子执法环境下交通安全保障措施建设的有效性和针对性.基于此,本文就电子执法环境下交通违法行为的影响因素进行筛选,鉴别影响交通违法行为的显著因素,为电子执法环境下交通安全预防措施的建设提供技术支持.

1 信号交叉口交通违法状况

选取哈尔滨市 15 个信号交叉口进行了电子执法环境下交通违法行为特征的调查,结果见表 1.表中违法率指同一时段内通过同一断面的交通违法车辆数占总交通量的百分比.交通违法的敏感性与驾驶人群有关,出租车自负盈亏的营运方式,驾驶员为追求利益最大化,对交通处罚比较敏感,故将其单独作为一类进行研究.

表 1 交通违法行为分类统计

序号	统计分类	平均违法率/%
1	出租车	2.98
	非出租车	3.29
2	有交通电子执法	1.89
	无交通电子执法	3.62
3	A 级服务水平	2.55
	B 级服务水平	3.67
	C 级服务水平	2.87
	D、E、F 级服务水平	5.29
4	交通标线齐全	2.78
	交通标线不齐全	4.80

仅就车辆类型而言,出租车平均交通违法率比非出租车低 0.31%;在有交通电子执法的信号交叉口交通违法率比无交通电子执法信号交叉口低 1.73%,降幅达到了 47.8%;信号交叉口在不同服务水平下的交通违法率在 2.55%~5.29% 之间,但其变化规律不明显;在信号交叉口进口道交通标线齐全时,交通违法率比交通标线不齐全时低 2.02%,降幅达到了 42.1%.

2 广义估计方程

广义估计方程 (Generalized estimation equations, GEE) 作为对重复观测数据研究的主要方法之一,是在广义线性模型基础上发展起来的一种拟似然估计方程,重点是估计组内不同影响因素相关系数^[5-7].广义估计方程允许每个观察对象的观察次数或时间间隔不同,在存在少量随机缺失值的情况下,依旧能对观测数据进行处理分析^[8].

广义估计方程数据分析模型建立过程分为以下 4 步.

第 1 步. 建立反应变量与协变量间的函数关系.设边际反应变量均值为 $\mu_{ij} = E(y_{ij})$,建立均值的联接函数与解释变量间的线性关系为

$$g(\mu_{ij}) = \chi_{ij}\beta. \tag{1}$$

式中: μ_{ij} 为边际反应变量均值; χ_{ij} 为解释变量; β 为回归系数.

第 2 步. 建立 y_{ij} 的方差与均值之间的函数关系为

$$\text{Var}(y_{ij}) = U(\mu_{ij}). \tag{2}$$

式中: y_{ij} 为观测变量; $U(\mu_{ij})$ 为已知方差函数.

第 3 步. 对 $Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \cdots, y_{in})'$ 选择一个 $n \times n$ 维的作业相关矩阵 $R_i(\alpha)$.

第 4 步. 对 $R_i(\alpha)$ 的当前估计值,运用迭代重复加权最小二乘法对参数 β 的估计值 $\hat{\beta}$ 及其协方差进行求解,得到关于 β 的估计方程为

$$S(\beta) = \sum_i \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} \right) V_i^{-1} [Y_i - \mu_i(\beta)] = 0. \tag{3}$$

式中: V_i 为 Y_i 的作业协方差矩阵.

3 基于广义估计方程的数据分析模型

交通违法行为和交通流量等相关数据收集需要投入大量的人力资源,无法选取大量的信号交叉口进行交通调查,但仅将几个交叉口的调查数据作为样本点,又难以形成足够规模的样本.通常情况下,由于样本规模不足,样本个体差异所带来的随机误差就会相应增加.而将每个交叉口各时段内观测到的交通违法行为数据作为一个样本点,构建交通违法行为数据样本集,可以弥补调查信号交叉口偏少的影响.

3.1 模型建立

设 $y_{ij} = (j = 1, \cdots, n; i = 1, \cdots, k)$ 为第 j 个观测时段内第 i 个信号交叉口的交通违法率.假设第 i 个信号交叉口在其每个观测时段内的交通违法率构成的向量为 $Y_i = [y_{i1}, \cdots, y_{in}]'$, 其对应的均值向量为 $\mu_i = [\mu_{i1}, \cdots, \mu_{in}]'$; 设 $\chi_{ij} = [\chi_{ij1}, \cdots, \chi_{ijp}]'$ 为第 i 个信号交叉口在第 j 个观测段内,信号交叉口内有无交通电子执法、交叉口服务水平、车辆类型、标线是否齐全和车辆行驶方向等相关解释变量所构成的 $P \times 1$ 维向量,其所对应的第 i 个信号交叉口进口道在第 j 个观测段内的交通违法率为 y_{ij} .

变量 y_{ij} 的边际期望 μ_{ij} 是解释变量 χ_{ij} 线性组合的已知函数,通过联接函数把 y_{ij} 的边际期望表达为协变量 χ_{ijp} 的线性组合,即

$$g(\mu_{ij}) = \beta_0 + \beta_1\chi_{ij1} + \cdots + \beta_p\chi_{ijp}. \tag{4}$$

式中： $g(\cdot)$ 为联接函数,本模型选用 Tweedie 混合函数作为联接函数,其兼具连续(取非负实数值)和离散分布的属性; β 为回归系数.

其中,对广义估计方程求解过程中自变量回归系数 β 的估计为^[9]

$$S(\beta) = \sum_i \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial \beta} \right) V_i^{-1} [Y_i - \mu_i(\beta)] = 0. \quad (5)$$

作业相关矩阵是广义估计方程中的一个重要组成部分,表示应变量的各次重复测量值两两之间相关性的_{大小}. 几种常见的工作矩阵结构如下: 1)独立结构. 重复度量不相关,即对同一信号交叉口进口道各观测时段内交通违法次数之间无相关性. 2)AR(1)结构. 重复度量具有一阶自回归关系,即同一信号交叉口进口道两个观测时段内交通违法次数的相关性与观测时间间隔成反比. 3)可交换结构. 观测元素之间具有同质相关性,即同一信号交叉口进口道任意两个观测时段内的交通违法次数具有等相关性. 4)未结构化. 即在作业结构缺省情况下,计算过程中将根据非冗余参数的数目等因素调节估计值(这是 SPSS 软件里的一种工作矩阵结构,指应变量的各次重复测量值两两间相关性不清晰时采用的一种处理方法).

分别针对 I 类服务水平(A 级服务水平)、II 类服务水平(B 级服务水平)、III 类服务水平(C 级服务水平)和 IV 类服务水平(D、E、F 级服务水平)下信号交叉口交通违法行为进行了调查,因此针对交通违法行为的广义估计方程相关作业矩阵结构应为 4×4 结构.

为更好地对交通违法行为进行比较分析,交通违法行为评价指标对信号交叉口内各进口道交通违法情况采取归一化处理,其计算公式为

$$\tilde{\omega}_{ij} = \frac{\max[a_{1j}, a_{2j}, \cdots, a_{nj}] - a_{ij}}{\max[a_{1j}, a_{2j}, \cdots, a_{nj}]} \quad (6)$$

表 3 基于 4 种影响因素的参数估计

变量因子	回归 系数	标准 误差	95% 置信区间值		假设检验值		
			下限	上限	卡方值	自由度	显著性水平
(常数)	-0.327	0.039	-0.403	-0.251	71.079	1	0.000
服务水平: A 级	-0.087	0.067	-0.218	0.044	1.680	1	0.195
服务水平: B 级	-0.013	0.025	-0.063	0.036	0.269	1	0.604
服务水平: C 级	-0.016	0.023	-0.062	0.029	0.487	1	0.485
服务水平: D、E、F 级	0a	—	—	—	—	—	—
有交通电子执法	0.109	0.017	0.077	0.142	43.156	1	0.001
无交通电子执法	0a	—	—	—	—	—	—
标线是否齐全: 齐全	0.093	0.307	0.033	0.153	9.131	1	0.003
标线是否齐全: 不齐全	0a	—	—	—	—	—	—
车辆类型: 出租车	0.018	0.015	-0.011	0.048	1.470	1	0.225
车辆类型: 非出租车	0a	—	—	—	—	—	—

注:0a 为参照组

式中: $\tilde{\omega}_{ij}$ 为第 i 组数据中第 j 类车交通违法行为评价指标,值域为 $[0,1]$,越接近 0 表示交通违法行为越显著,越接近 1 表示交通违法行为越不显著; a_{ij} 为第 i 组数据中第 j 类车交通违法率; j 为车辆类别, j 取 1 表示出租车, j 取 2 表示非出租车.

3.2 模型参数估计与分析

3.2.1 显著影响因素判定

计算 4 种不同类型的广义估计方程作业相关矩阵结构的准似然独立准则(Quasi likelihood under independence model criterion, QIC),计算方法见文献[10],通过选取最适合的作业相关矩阵结构来判定交通违法行为的影响因素. 在同一个模型中,QIC 值越小的作业相关矩阵结构越适合用来作判定矩阵结构,计算结果表明:独立结构、AR(1)结构、可交换结构和未结构化的 QIC 值分别为 86.375、86.489、86.351、86.392.

从结果可知,可交换结构类型的 QIC 值最小,因而选取可交换结构的作业相关矩阵,相关运算结果见表 2、3. 表 2 在观测时段内采用交通违法行为评价指标对出租车和非出租车分别进行计算,因此在变量因子统计表中出租车和非出租车所占比例均为 50%.

表 2 变量因子统计

影响因素	变量因子	样本数	样本比例/%
信号交叉口服务水平	A 级	30	3.0
	B 级	376	38.2
	C 级	492	50.0
	D、E、F 级	86	8.7
进口道有无交通电子执法	有	556	56.5
	无	428	43.5
标线是否齐全	齐全	822	83.5
	不齐全	162	16.5

3.2.2 影响因素显著效果分析

利用可交换结构作业相关矩阵的广义估计方程拟合上述 4 类影响因素与交通违法行为评价指标之间的关系,分析其对信号交叉口驾驶员违法行为约束的效果.其中回归系数符号为正,表示该因素对抑制交通违法行为有益,若回归系数为负号则相反;假设检验 Sig 值(显著性水平)小于 0.05,则说明该因素对提升交通违法行为的抑制作用具有显著性.

潜在影响因素.信号交叉口服务水平的回归系数为负(A 级: -0.087, B 级: -0.013, C 级: -0.016,其中 D、E、F 级为参照组),各服务水平的 Sig 值均大于 0.05,无统计意义,作用不显著,服务水平因素可能是交通违法行为的潜在影响因素.其他社会车辆的交通违法几率较出租车略高(出租车回归系数为 0.018,为正),其 Sig 值均大于 0.05,无统计意义,车辆类型因素也可能是交通违法行为的潜在影响因素.

显著影响因素.当信号交叉口进口道有交通电子执法时,回归系数为 0.109, Sig 值为 0.001;当信号交叉口交通标线齐全时,回归系数为 0.093, Sig 值为 0.003.这两种情况下, Sig 值均小于 0.05,说明交通电子执法和信号交叉口交通标线齐全对抑制信号交叉口交通违法行为具有正作用,其中交通电子执法的假设检验 Sig 值为 0.001,小于 0.05,说明其对提升交通违法行为的

抑制作用具有显著性,且其回归系数的绝对值是最大的,故在 4 种影响因素中作用最显著.交通标线作为一种法律效力的物质载体,对驾驶员有着提醒并规范其驾驶行为的作用,对交通违法行为也有着一定的威慑作用.

3.2.3 显著影响因素间的交互作用

仍采用广义估计方程对进口道有无交通电子执法和交通标线是否齐全 2 个显著影响因素的交互作用进行研究.得到独立结构、AR(1)结构、可交换结构和未结构化的 QIC 值分别为 49.015、48.932、48.964 和 48.983. AR(1)结构类型的 QIC 值最小,因而选取 AR(1)结构的作业相关矩阵,相关计算结果见表 4、5.表 5 中交互因素 1 指进口道标线齐全且有交通电子执法,交互因素 2 指进口道标线不齐全但有交通电子执法,交互因素 3 指进口道标线齐全却无交通电子执法,交互因素 4 指进口道标线不齐全且无交通电子执法,0a 为参照组.

表 4 变量因子统计

影响因素	样本数	样本比例/%
标线齐全且有交通电子执法	484	49.2
标线不齐全且有交通电子执法	72	7.3
标线齐全且无交通电子执法	322	32.7
标线不齐全且无交通电子执法	106	10.8

表 5 基于 2 种显著影响因素的参数估计

影响因素	变量因子	回归系数	标准误差	95% 置信区间值		假设检验值		
				下限	上限	卡方值	自由度	显著性水平
交互因素 1	非出租车	0.155	0.037	0.082	0.228	17.326	1	0.004
	出租车	0.207	0.054	0.102	0.312	14.827	1	0.001
交互因素 2	非出租车	-0.069	0.058	-0.182	0.045	1.395	1	0.238
	出租车	0.090	0.071	-0.049	0.229	1.604	1	0.205
交互因素 3	非出租车	0.022	0.043	-0.061	0.106	0.277	1	0.599
	出租车	0.069	0.057	-0.044	0.181	1.438	1	0.230
交互因素 4	非出租车	0.008	0.042	-0.027	0.063	0.738	1	0.243
	出租车	0a	—	—	—	—	—	—

3.2.4 显著影响因素交互作用效果分析

在交互因素 1 作用下,非出租车回归系数为 0.155,出租车回归系数为 0.207;其 Sig 值分别为 0.004 和 0.001,均小于 0.05,说明其对抑制信号交叉口交通违法行为作用效果显著.交互因素 1 对出租车的抑制作用优于非出租车,这与出租车驾驶员对城市道路环境和交通电子执法安装位置的熟悉程度有关.根据对驾驶员的问卷调查结果显示,仅约 5% 的驾驶员会无视交通电子执法的惩罚而选择交通违法.

在交互因素 2 作用下,其对抑制信号交叉口交通违法行为为负作用,非出租车的回归系数为 -0.069,出租车的回归系数为 0.090;这两类车的 Sig 值分别为 0.238 和 0.205,均大于 0.05,其作用效果无统计意义.表明当信号交叉口有交通电子执法时,其对交通违法行为的抑制作用效果会因信号交叉口标线不齐全而大大降低,甚至失效.

在交互因素 3 作用下,非出租车回归系数为 0.022,出租车回归系数为 0.069;这两类车的 Sig

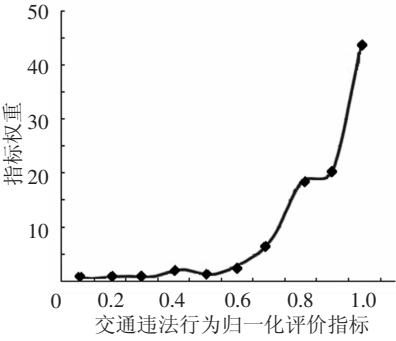
值分别为 0.599 和 0.230,均大于 0.05,其作用效果无统计意义,表明仅当信号交叉口标线齐全时,对交通违法行为抑制作用不显著。

出租车在交互因素 4 作用下的驾驶行为作为整个模型的参照组,与其在交互因素 4 作用下的非出租车相比,非出租车的违法行为略低于出租车(回归系数 0.008),但非出租车的 Sig 值为 0.243,大于 0.05,这种影响无统计意义,说明在

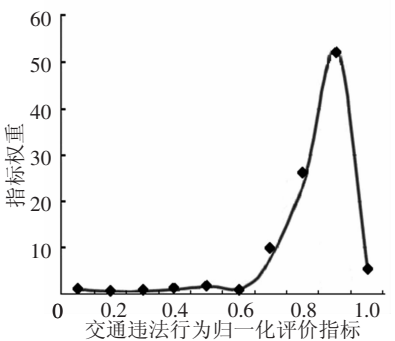
交互因素 4 作用下,车辆类型仅可能是交通违法行为的潜在影响因素。

3.3 显著影响因素交互作用效果

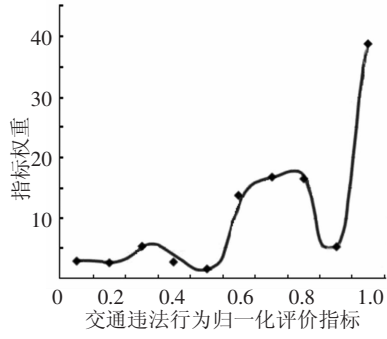
根据式(6)交通违法行为评价指标,对信号交叉口内各进口道交通违法情况采取归一化处理,得到信号交叉口交通标线和交通电子执法交互作用对交通违法行为的影响见图 1。各种情况下的交通行为指标平均值及标准差见表 6。



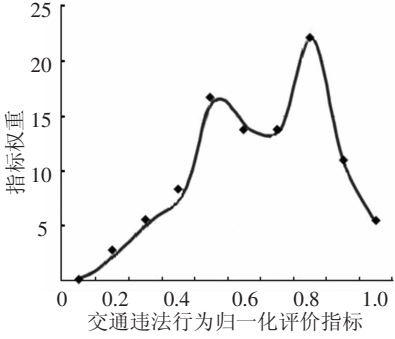
(a) 标线齐全、有电子执法、出租车



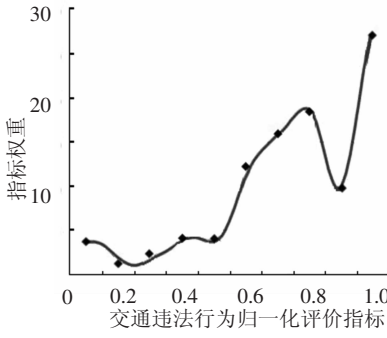
(b) 标线齐全、有电子执法、非出租车



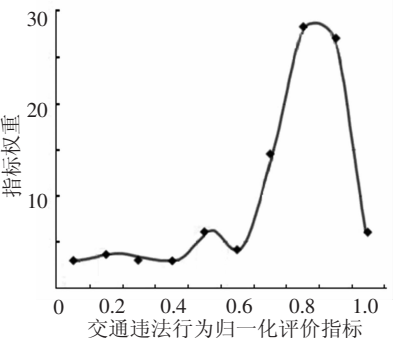
(c) 标线不齐全、有电子执法、出租车



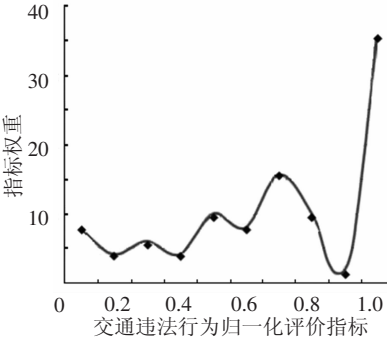
(d) 标线不齐全、有电子执法、非出租车



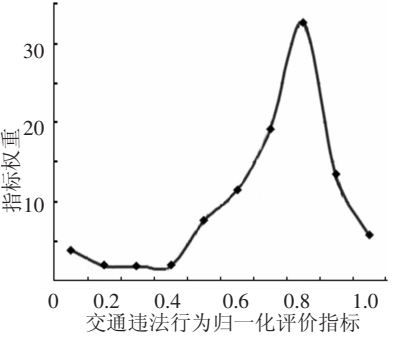
(e) 标线齐全、无电子执法、出租车



(f) 标线齐全、无电子执法、非出租车



(g) 标线不齐全、无电子执法、出租车



(h) 标线不齐全、无电子执法、非出租车

图 1 显著影响因素对交通违法行为影响结果

表 6 各种情况下交通违法行为指标的平均值及标准差

影响因素	指标平均值	标准差
标线齐全、有交通电子执法、出租车	0. 895	0. 153
标线齐全、有交通电子执法、非出租车	0. 879	0. 131
标线不齐全、有交通电子执法、出租车	0. 797	0. 231
标线不齐全、有交通电子执法、非出租车	0. 704	0. 195
标线齐全、无交通电子执法、出租车	0. 780	0. 226
标线齐全、无交通电子执法、非出租车	0. 771	0. 223
标线不齐全、无交通电子执法、出租车	0. 725	0. 283
标线不齐全、无交通电子执法、非出租车	0. 790	0. 199

从上述影响结果可以发现,交通电子执法的确有助于降低信号交叉口的交通违法行为,改善道路交通安全环境,但其作用效果受交通标线是否齐全的影响较为显著. 即交通电子执法对交通违法行为的抑制作用需要在其他必要交通设施齐全的条件下,才能得到有效发挥.

现有交通电子执法在抓拍取证过程中,交通标线是判断车辆是否存在交通违法并对违法车辆取证的重要参照. 当前,交通电子执法设施的工作原理和法理依据已经被广大交通参与者所熟悉,当信号交叉口存在交通标线不齐全或磨损严重以至无法辨识时,会给驾驶员造成其交通违法行为不会被取证的印象,引起驾驶员交通违法行为的增加.

4 结 论

1)分析发现,机动车交通违法行为变化趋势及其受电子执法的作用效果基本和广义估计方程分析模型所得出的结论一致,交通电子执法对信号交叉口交通违法行为具有抑制作用.

2) 交通电子执法对信号交叉口交通违法行为的作用效果受所在交叉口交通标线是否齐全影响,且影响明显.

3) 交通电子执法对出租车交通违法行为抑制作用略好于非出租车,但不显著;交叉口服务水平的降低对交通违法率上升有潜在促进作用,但

作用效果不明显.

4)运用广义估计方程就车辆类型、交叉口服务水平、标志标线是否齐全等因素对交通电子执法成效影响大小进行的分析中可以推出:交通电子执法发挥成效的关键影响因素为交通标线是否齐全.

参考文献

[1] 张恩亮,肖贵平,聂磊. 交通环境对驾驶员心理的影响分析及对策研究[J]. 公路交通科技, 2006(11): 164 – 165.

[2] 陈屹立,张卫国. 惩罚对犯罪的威慑效应:基于中国数据的实证研究[J]. 南方经济, 2010(8):41 – 50.

[3] MARTINEZ K L, PORTER B E. Characterizing red light runners following implementation of a photo enforcement program [J]. Accident Analysis and Prevention, 2006, 38(5):862 – 870.

[4] LAWTON R, PARKER D, MANSTEAD A, *et al.* The role of affect in predicting social behaviors; the case of road traffic violations [J]. Journal of Applied Social Psychology, 1997, 27(14):1258 – 1276.

[5] ZEGER S L, LIANG K Y, ALBERT P S. Models for longitudinal data: a generalized estimating equation approach [J]. Biometrics, 1988, 44(4):1049 – 1060.

[6] ZEGER S L, LIANG K Y. Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes [J]. Biometrics, 1986, 42(1):121 – 130.

[7] LIN D Y, WEI L J, YING Z. Model-checking techniques based on cumulative residuals [J]. Biometrics, 2002, 58(1):1 – 12.

[8] 陈峰,任仕泉,陆守曾. 非独立试验的组内相关与广义估计方程[J]. 南通医学院学报, 1999, 19(4): 359 – 362.

[9] 余松林,向惠云. 重复测量资料的分析方法与 SAS 程序[M]. 北京:科学出版社, 2004: 183 – 192.

[10] 罗天娥,赵晋芳,刘桂芬. 累积残差在广义估计方程模型诊断中的应用[J]. 中国卫生统计, 2009, 29(4):387 – 390.

(编辑 魏希柱)