

# 交通电子执法威慑水平量化分析

蒋贤才<sup>1</sup>, 黄科<sup>2</sup>, 汪贝<sup>1</sup>

(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:** 为了探析交通电子执法在抑制交通违法行为方面的威慑成效和水平,以描述气体扩散效应的烟羽模型为基础,分析影响交通电子执法威慑成效的相关因素在时空作用域上的特征,修正并重新定义了烟羽模型中各因子的含义及表达形式,构建了交通电子执法威慑水平量化分析模型,并用交通调查数据标定了模型中常量的取值.案例分析表明,该模型的计算结果与交通违法率的调查结果趋于一致,说明该模型能客观地量化电子执法在抑制交通违法行为方面的贡献程度.合理布设交通电子执法设施的位置、作用方向和数量,能有效降低电子执法区域内的交通违法率.

**关键词:** 交通电子执法;威慑水平;扩散效应;烟羽模型;交通违法

**中图分类号:** U491      **文献标志码:** A      **文章编号:** 0367-6234(2014)12-0065-06

## Deterrent effect quantitative analysis of traffic automated enforcement

JIANG Xiancai<sup>1</sup>, HUANG Ke<sup>2</sup>, WANG Bei<sup>1</sup>

(1.School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China;  
2.Western Branch, China Academy of Urban Planning and Design, 401121 Chongqing, China)

**Abstract:** To analyze the deterrent effect and level of traffic electronic enforcement on inhibition of traffic violation, on the basis of the plume model, this paper built a quantitative analysis model of traffic electronic enforcement deterrence level. This model corrected and redefined the factor meaning and expression form of plume model, and calibrated constant values with data from traffic survey to analyze the characteristics of related factors which can influence the traffic electronic enforcement deterrence effect on the scope of time and space. The case studies showed that the calculation results of the model was consistent with the survey results of traffic violation rate, which indicated that this model can quantify the contribution degree of electronic enforcement on inhibition of traffic violation. By reasonable layout of location, direction and quantity of traffic electronic enforcement facilities, the traffic violation rate of the layout area can be effectively reduced.

**Keywords:** traffic automated enforcements; deterrent effect; diffusion effects; plume model; traffic violation

随着交通电子执法应用越来越普遍,国内外对于其威慑水平的研究也越来越重视.文献[1]对交通电子执法设施处的道路交通安全状况进行了评估;文献[2]提出了加拿大交通电子执法设置处交叉口安全状况的评估方法;文献[3]对交通

电子执法在降低事故和违法率方面的有效性进行了评估;文献[4]评估了交通电子执法的可行性、有效性、合法性和公众可接受性;文献[5]分析了驾驶员教育、严格颁发驾驶执照和交通电子执法对降低交通事故的贡献,指出交通电子执法是降低交通事故发生次数最为有效的方式;文献[6]评估了交通电子执法的可行性和在交通违法、交通事故、社会经济方面的效益,指出需要在交通电子执法设施上游建立完善的警示信息.但上述研究绝大部分从概率论的角度给出了交通电子执法在道路交通安全管理中产生的影响,没有将交通电子执法威慑效果的水平进行量化分析.

收稿日期: 2013-05-27.

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(HIT.NSRIF.2012061);哈尔滨工业大学优秀青年教师培养计划(HITQJNS.2009.051);哈尔滨市科技创新人才研究专项资金(2010RFQXG006).

作者简介: 蒋贤才(1974—),男,副教授.

通信作者: 蒋贤才, jxc023@126.com.

## 1 交通电子执法威慑特征

通过对哈尔滨市各信号交叉口交通违法行为和调查区域信号交叉口交通数据分析发现,在交通电子执法作用下,其威慑作用具有以下几个特征:1) 交通电子执法对减少交通违法行为的作用效果不仅与布设数量有关,还与其设置位置和作用方向有关。交通电子执法设备的设置位置和作用方向不同,其对该信号交叉口不同进口和周边信号交叉口的作用大小也不同。2) 在交通电子执法作用进口道内,其对交通违法行为的抑制效果最好,对该交叉口其他进口作用效果次之,即交通电子执法对交通违法行为的抑制效果在各个方向存在差异。3) 交通电子执法作用效果除受设置位置和作用方向影响外,各进口道交通标线是否齐全也对其有着重要影响。

## 2 基于烟羽模型的威慑水平量化分析

### 2.1 烟羽模型介绍

烟羽模型最早是研究毒物伤害或气体、尘埃扩散的模型,由系统工程协同学原理导出的,主要通过该模型分析有害物质在大气中的扩散效应,其研究对象往往存在许多不确定的影响因素,如核事故后辐射尘埃扩散的规律及对环境的影响<sup>[7-9]</sup>。

依据协同学理论,烟羽模型将研究对象视为一个系统,且具有以下特征:1) 系统由多个子系统组成,且各子系统具有一定的稳定性。2) 系统具有饱和机制和失稳机制。3) 系统与外界存在一定相互作用,是开放系统。

传统的烟羽模型通常指连续点源扩散的高斯烟羽模型,其主要假设研究对象扩散效应在横向和纵向的分布是正态分布,且其扩散效应在各个方向具有一致性,其在有单向外界作用下的扩散效应如图1所示。

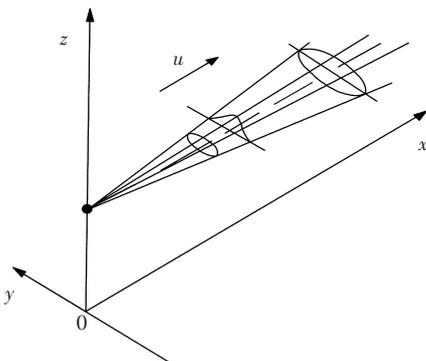


图1 烟羽模型示例

在理想的无限空间扩散条件下,连续点源扩

散的高斯烟羽模型简化计算公式<sup>[10]</sup>为

$$C(x, r) = \frac{q}{4\pi xku} \exp\left(-\frac{r^2}{4kx}\right). \quad (1)$$

式中:  $C$  为研究对象在不同位置的作用效果;  $q$  为研究对象作用点源强;  $k$  为扩散系数;  $u$  为影响扩散效应的外界作用,其作用方向与  $x$  轴方向一致;  $x, y, z$  分别为目标点距源点的3个方向的投影距离;  $r$  为扩散半径,  $r^2 = y^2 + z^2$ 。

### 2.2 模型建立

通过对交通电子执法威慑效应作用机理及作用效果研究分析,发现交通电子执法威慑效应在减少交通违法行为效果上与气体扩散效应存在相似之处,其作用效果均受许多不确定因素影响,大气扩散受风速及风向的影响,而交通电子执法对交通违法行为的抑制作用受交通电子执法设备设置位置、作用方向和布设数量等因素影响<sup>[11]</sup>。将一定区域内的信号交叉口交通电子执法对交通违法行为的抑制作用视为研究对象,其满足基于协同学原理导出的烟羽模型的几点特征:1) 整个研究对象由研究区域内所有信号交叉口的交通电子执法设备组成,且每个交叉口交通电子执法对交通违法行为抑制作用具有一定的稳定性。2) 当交通电子执法超过一定数量时,其对交通违法行为的抑制作用将不再增加;当区域内交通电子执法设备的布设位置及数量发生变化时,其对区域内交通违法行为的抑制作用将达到新的平衡。3) 交通电子执法对交通违法行为的抑制作用受外部环境的影响,整个研究对象为开放系统。

由于交通电子执法威慑效应的产生和作用效果较为复杂,在结合城市信号交叉口交通违法行为和信号交叉口基本数据统计特征基础上,为简化模型结构提出以下假设:1) 同一信号交叉口对向进口道的驾驶员自身条件分布规律基本相同。2) 在没有交通电子执法设备作用时,同一信号交叉口对向进口道的平均交通违法率基本相同。3) 交通电子执法对区域内信号交叉口交通安全的影响是由该信号交叉口及其周边交通电子执法威慑效应叠加作用的结果。4) 交通电子执法威慑作用是(基于)驾驶员看见交通电子执法设备而产生的。

交通电子执法对交通违法行为的抑制作用虽受其设置位置和作用方向的影响,但其对作用方向外的其他进口道仍有一定威慑作用,其作用效果不能简单采用污染源在单向风(即外界作用  $u$ ) 作用下的高斯烟羽模型,且交通电子执法对各个进口道交通违法行为的抑制作用受各个进口道交

通标线是否齐全影响较大。因此, 交通电子执法作为点源, 其对不同进口道的源强不尽相同。鉴于交通电子执法对交通违法行为与传统烟羽模型使用情况的差异, 对交通电子执法威慑效应作用效果计算模型附加假定条件: 1) 交通电子执法威慑作用以“点源”进行模拟, 其源强具有方向性。2) 外界作用为各进口道交通标线对其威慑作用的影响。3) 交通电子执法作用区对交通违法行为的抑制作用最大。

基于以上假设和分析, 考虑到外界作用是由点源产生, 在进行计算时需考虑点源对不同方向的作用强度变化, 因此, 经过调整后的模型为

$$C_j(x, r) = \frac{\varepsilon_i q}{4\pi x k u_j} \exp\left(-\frac{r^2}{4kx}\right). \quad (2)$$

式中:  $C(x, r)$  为在各种影响因素作用下, 有电子执法设备时交通违法率下降幅度, %;  $i$  为方向, 交通电子执法作用方向为 1 时, 沿逆时针方向递加 (根据行驶方向靠右确定);  $\varepsilon_i$  为源强在第  $i$  个方向上的修正系数,  $\varepsilon_i \in [0, 1]$ , 由驾驶员注视分配与进口道交通流向比例决定;  $x$  为源点与目标交叉口沿线上的交叉口数;  $y$  为源点与交通电子执法作用方向垂直线路上的交叉口数,  $r^2 = y^2 + z^2$ ;  $k$  为交通电子执法的耗散系数, 是  $x$  的函数;  $u_j$  为目标交叉口  $j$  进口道标线情况对威慑效应的影响;  $q$  为源强, 由交通电子执法设备布设数量和设置位置决定。

在无法进行大量、长期的数据调查情况下, 为便于对威慑效应作用大小进行估算, 需对模型条件进行进一步假设。由于耗散系数  $k$  仅为变量  $x$  的函数, 设  $k = ax$ ,  $a$  为某个待定常量, 则式(2)可表示为

$$C(x, r) = \frac{\varepsilon_i q}{4\pi a x^2 u_j} \exp\left(-\frac{r^2}{4ax^2}\right). \quad (3)$$

由于交通电子执法威慑效应为平面效应 (暂不考虑立体交叉的情况), 因此  $z = 0$ , 即  $r = y$ , 所以式(3)可表示为

$$C(x, y) = \frac{\varepsilon_i q}{4\pi a x u_j} \exp\left(-\frac{y^2}{4kx}\right). \quad (4)$$

在确定交通电子执法对信号交叉口  $(x, y)$  交通违法行为抑制作用大小时, 需对变量  $\varepsilon$ 、 $q$ 、 $u$  和  $a$  进行进一步确定。源强  $q$  的大小主要受设备位置和布设数量的影响, 其设置位置越显著, 源强越大, 布设数量越多, 源强越大; 反之, 则源强越小。因此, 借助重力场理论对源强大小进行模拟, 对不同电子执法设备数量的交叉口违法水平的观测值进行回归得到其表达式为

$$q = \sqrt{\frac{n}{l} + 1}. \quad (5)$$

式中:  $n$  为交通电子执法设备数量;  $l$  为作用进口道数量。

交通电子执法设备主要分为球式和枪式两种, 球式交通电子执法设备具有摄像头  $360^\circ$  旋转的特性, 且其在某个时刻具体的监控方向不被驾驶员所察觉, 监控范围受设置位置影响较大, 一般可监控 2~4 个进口; 枪式交通电子执法设备摄像头基本固定, 其监控范围一般为 1~2 个进口, 其中绝大多数枪式交通电子执法设备只能监控 1 个进口。

考虑到交通执法设备种类的不同, 在进行模型参数标定时也应区别对待, 如球式设备的作用区域可能是多个, 而枪式设备作用区域只为 1 个。对可作用于多个方向的球式设备, 需以不同作用方向作为  $x$  方向分别进行计算, 各个进口方向的作用大小取该进口方向所有计算结果最大值。

选取哈尔滨市 30 个交叉口作为调查对象, 根据进口道标线清晰、模糊、残缺不清和不可辨识进行分类, 每个交叉口安排 2~3 名人员进行调查, 主要调查放行方向上各类交通违法数量及各进口道交通流量, 确定不同进口道标线状况下的交通违法率, 以此数据来标定模型中的参数。以进口道标线清晰情况下的  $u_j$  值作为参考, 取值为 1, 对上述调查所得分类后的数据进行标准化, 得出进口道模糊、残缺不全和不可辨识情况下的  $u_j$  值分别为 1.1、1.5 和 2; 施晓芬在对城市信号交叉口驾驶员视觉搜索研究过程中, 依据驾驶行为特征整理出了不同情况下驾驶员注视分配表<sup>[12]</sup>, 参照其给出的注视分配值和调查所得各进口道交通流向比例, 将二者进行最小二乘拟合, 得出源强修正系数  $\varepsilon_i$  在前、后、左、右对应的值分别为 1、0.35、0.27 和 0.22; 将上述结果及调查数据代入模型中, 计算得到系数  $a = 0.394$ 。

### 2.3 案例分析

以哈尔滨市南岗区哈尔滨工业大学二校区周边 10 条道路组成的区域为评价对象, 利用录像和人工观测获得的调查数据, 计算交通电子执法在评价范围内 13 个信号交叉口各自进口道方向上的威慑水平 (因宣庆街与马端街交叉口, 宣庆街与大成街交叉口, 无对向进口道不予比较), 并与实际交通违法率进行对比分析, 验证模型计算结果的准确性。模型计算结果见表 1。表 1 中  $C$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  分别为当前交叉口威慑水平、下游交叉口威慑水平、间隔一个交叉口威慑水平。

表 1 各交叉口交通电子执法威慑水平计算结果

交叉口	进口道方向	下游交叉口 进口道方向	间隔一个交叉口 进口道方向	$C/\%$	$C_1/\%$	$C_2/\%$
先锋路与华山路	东进口	先锋路与宣庆街东进口	淮河路与华山路东进口	33.46	8.58	0.99
	南进口	—	—	38.09	—	—
	西进口	先锋路与嵩山路西进口	—	18.74	4.64	—
	北进口	马端街与华山路北进口	—	18.03	2.24	—
先锋路与嵩山路	东进口	先锋路与华山路东进口	先锋路与宣庆街东进口	9.39	2.35	1.04
	南进口	—	—	5.90	—	—
	西进口	—	—	26.84	—	—
	北进口	辽河路与嵩山路北进口	淮河路与嵩山路北进口	—	1.78	0.78
马端街与华山路	东进口	马端街与宣庆街东进口	—	23.38	5.82	—
	南进口	先锋路与华山路南进口	—	8.49	3.78	—
	西进口	辽河路与嵩山路西进口	—	23.38	5.85	—
	北进口	淮河路与华山路北进口	长江路与华山路北进口	8.49	2.08	1.65
辽河路与嵩山路	东进口	马端街与华山路东进口	马端街与宣庆街东进口	2.57	0.63	0.28
	南进口	先锋路与嵩山路南进口	—	23.33	5.83	—
	西进口	—	—	3.15	—	—
	北进口	淮河路与嵩山路北进口	黄河路与嵩山路北进口	8.17	2.04	0.91
辽河路与嵩山路	东进口	马端街与华山路东进口	马端街与宣庆街东进口	2.57	0.63	0.28
	南进口	先锋路与嵩山路南进口	—	23.33	5.83	—
	西进口	—	—	3.15	—	—
	北进口	淮河路与嵩山路北进口	黄河路与嵩山路北进口	8.17	2.04	0.91
淮河路与嵩山路	东进口	淮河路与华山路东进口	—	6.22	1.53	—
	南进口	辽河路与嵩山路南进口	先锋路与嵩山路南进口	28.29	7.07	3.14
	西进口	—	—	7.64	—	—
	北进口	黄河路与嵩山路北进口	浦江路与嵩山路北进口	9.90	2.48	1.10
黄河路与嵩山路	东进口	黄河路与华山路东进口	—	6.22	1.53	—
	南进口	淮河路与嵩山路南进口	辽河路与嵩山路南进口	28.29	7.07	3.14
	西进口	黄河路与红旗大街西进口	—	7.64	1.78	—
	北进口	浦江路与嵩山路北进口	长江路与嵩山路北进口	9.90	2.48	1.10
黄河路与红旗大街	东进口	黄河路与嵩山路东进口	黄河路与华山路东进口	51.71	12.19	5.55
	南进口	—	—	46.33	—	—
	西进口	—	—	52.41	—	—
	北进口	—	—	46.38	—	—
长江路与华山路	东进口	—	—	24.01	—	—
	南进口	黄河路与华山路南进口	淮河路与华山路南进口	40.79	11.18	2.49
	西进口	长江路与嵩山路西进口	—	41.12	10.21	—
	北进口	—	—	42.08	—	—
长江路与嵩山路	东进口	长江路与华山路东进口	—	47.13	11.73	—
	南进口	浦江路与嵩山路南进口	黄河路与嵩山路南进口	43.84	15.65	6.90
长江路与红旗大街	东进口	长江路与嵩山路东进口	长江路与华山路东进口	—	10.56	4.76
	南进口	黄河路与红旗大街南进口	—	—	9.59	—
淮河路与红旗大街	东进口	淮河路与嵩山路东进口	淮河路与华山路东进口	—	13.57	6.00
	北进口	—	黄河路与红旗大街北进口	—	—	5.30
辽河路与红旗大街	东进口	辽河路与嵩山路东进口	马端街与华山路东进口	—	2.44	1.08
先锋路与红旗大街	东进口	先锋路与嵩山路东进口	先锋路与华山路东进口	—	11.97	5.30
黄河路与宣庆街	西进口	黄河路与华山路西进口	黄河路与嵩山路西进口	—	7.14	3.18
长江路与宣庆街	西进口	长江路与华山路西进口	长江路与嵩山路西进口	—	5.53	2.46

模型计算的威慑水平叠加值与实际交通违法率调查值的对比分析见表 2。表 2 中  $\Omega$  为交叉口各对向进口道方向上交通违法率之比, 即  $\Omega = v_e/v_w$  或  $\Omega = v_s/v_n$ , 其中  $v_e, v_s, v_w, v_n$  分别代表交叉口东、南、西、北进口道实际调查的交通违法率;  $\xi = (1 -$

$C_e)/(1 - C_w)$  或  $\xi = (1 - C_s)/(1 - C_n)$ , 其中  $C_e, C_s, C_w, C_n$  分别代表在电子执法设施作用下由式 (4) 计算得到的东、南、西、北进口道威慑水平;  $C$  为威慑水平,  $v$  为实际调查的交通违法率。

表 2 各交叉口威慑水平叠加值与实际交通违法率调查值的对比分析

交叉口	方向	方向编号	$\xi/\Omega$	$\xi - \Omega$	进口道	$C/\%$	$v/\%$
先锋路与华山路	南北	1	1.110	0.076	东进口	35.66	2.85
					南进口	34.53	3.70
	东西	2	0.996	-0.290	西进口	15.46	3.73
					北进口	14.87	5.34
马端街与华山路	南北	3	1.093	0.087	东进口	21.00	4.35
					南进口	7.00	5.77
	东西	4	1.004	0.004	西进口	19.29	4.46
					北进口	8.85	6.18
辽河路与嵩山路	南北	5	1.312	0.180	东进口	5.01	1.42
					南进口	31.76	3.77
	东西	6	0.868	-0.155	西进口	6.72	1.21
					北进口	9.63	6.55
淮河路与嵩山路	南北	7	1.193	0.124	东进口	18.71	2.53
					南进口	31.91	4.18
	东西	8	1.077	0.062	西进口	6.30	3.14
					北进口	10.85	6.53
黄河路与嵩山路	南北	9	1.218	0.128	东进口	15.46	1.50
					南进口	36.48	3.35
	东西	10	1.158	0.119	西进口	3.18	1.99
					北进口	11.12	5.71
黄河路与红旗大街	南北	11	0.977	-0.022	东进口	42.64	3.53
					南进口	47.80	2.85
	东西	12	0.927	-0.082	西进口	44.77	3.15
					北进口	43.56	3.01
浦江路与嵩山路	南北	13	0.877	-0.146	东进口	26.78	1.46
					南进口	40.96	3.01
	东西	14	1.047	0.044	西进口	26.19	1.54
					北进口	43.43	2.53
长江路与华山路	南北	15	0.770	-0.306	东进口	40.41	0.87
					南进口	40.79	1.82
	东西	16	0.899	-0.126	西进口	46.65	0.70
					北进口	42.09	1.37
长江路与嵩山路	南北	17	0.883	-0.157	东进口	56.20	1.50
					南进口	43.84	1.83
	东西	18	0.969	-0.035	西进口	59.30	1.35
					北进口	52.75	1.36
先锋路与宣庆街	东西	19	1.197	0.151	东进口	7.94	2.57
					西进口	0.00	3.34
先锋路与嵩山路	东西	20	1.112	0.101	东进口	19.72	3.48
					西进口	25.96	3.57
淮河路与华山路	南北	21	1.091	0.076	南进口	11.19	2.87
					北进口	2.18	3.45
黄河路与华山路	东西	22	0.890	-0.125	东进口	5.83	5.23
					西进口	7.14	4.59

在不考虑交通电子执法时, 同一交叉口对向进口道方向上的交通违法率应相同。根据  $\Omega, \xi$  定

义,  $\Omega$  与  $\xi$  的差值实质反映了威慑水平量化分析模型计算结果与实际交通违法率间的吻合程度。

22 个交叉口对向进口道方向上的  $\Omega$  与  $\xi$  取值对比结果见图 2。

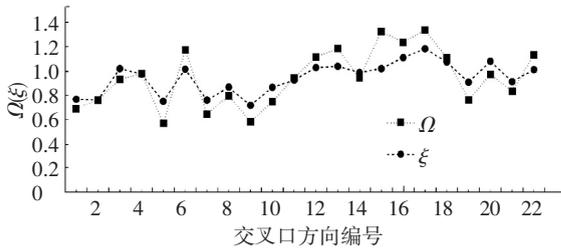


图 2 22 个交叉口方向上的  $\xi$  与  $\Omega$  值

从表 2 和图 2 可以看出,  $\Omega$  与  $\xi$  取值趋势一致,  $\xi/\Omega$  基本都在 1 附近波动,  $\xi - \Omega$  基本都在 0 附近波动, 累积和为 0.002。由此可见, 模型计算结果与实际交通调查结果基本一致, 说明该模型能较客观地量化电子执法设施在抑制交通违法行为方面的作用和大小。但运用该模型对交通违法率很低的信号交叉口进行计算时, 交叉口交通违法率的轻微波动将会导致  $\Omega$  产生较大波动, 使  $\Omega$  与  $\xi$  出现较大偏差, 模型的可靠性随之降低。出现信号交叉口交通违法率很低的结果与调查时间短及调查时段内交叉口交通流量小有关, 通过延长调查时间和增大交通违法率调查样本量, 能缩小  $\Omega$  与  $\xi$  的偏差。

### 3 结 论

1) 交通电子执法的威慑效应是一种平面效应, 除了对布设有电子执法设施的交叉口威慑效果显著外, 对附近的其他交叉口也具有一定威慑作用; 交通电子执法设施的布置位置、作用方向和数量对交通违法行为的抑制效果影响较大; 交通电子执法设施作为威慑点源, 其在交叉口不同进口道上的源强不尽相同。

2) 交通电子执法的威慑效应在减少交通违法行为效果上, 与气体扩散效应存在相似之处。以描述气体扩散效应的烟羽模型为基础, 分析了影响交通电子执法威慑成效的相关因素在时空作用域上的特征, 修正并重新定义了烟羽模型中各因子的含义及表达形式, 构建了交通电子执法威慑水平量化分析模型, 并用交通调查数据标定了模型中常量的取值。通过案例分析, 表明该模型能较客观地量化电子执法设施在抑制交通违法行为方面的作用和大小。

### 参考文献

- [1] LAWRENCE E D, LIBBY T, LOREN S. Automated enforcement: a compendium of worldwide evaluations of results[EB/OL]. [2009-05-13]. <http://www.nhtsa.dot.gov/staticfiles/DOT/NHTSA/Traffic%20Injury%20Control/Articles/Associated%20Files/HS810763.pdf>.
- [2] SAYED T, D E LEUR P. Evaluation of intersection safety camera program in Edmonton, Canada [J]. Journal of Transportation Research Record, 2007, 2009:37-45.
- [3] FLANNERY A, MACCUBBIN R. Using meta analysis techniques to assess the safety effect of red light running cameras[EB/OL]. [2002-11-01]. [http://www.ltrc.lsu.edu/TRB\\_82/TRB2003-000512.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-000512.pdf).
- [4] STOKES R W, RUSSELL E R, RYS M J. Feasibility of automated traffic signal enforcement in Kansas [EB/OL]. [2005-07-14]. <http://www.ksdot.org/idmws/DocContent.dll?Library=PublicDocs^dt00mx38&ID=003670576&Page=1>.
- [5] ZWAHLEN H T, SURAVARAM K R. Crash reduction factors for education and enforcement [EB/OL]. [2007-05-01]. <ftp://ftp.mdt.mt.gov/research/LIBRARY/FHWA-OH-2007-11.pdf>.
- [6] RUBY D E, HOBEIKA A G. Assessment of red light running cameras in Fairfax County, Virginia [EB/OL]. [2003-01-01]. [http://www.ltrc.lsu.edu/TRB\\_82/TRB2003-000226.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-000226.pdf).
- [7] 余琦, 刘原中. 拉格朗日烟团模型在核事故早期应急决策中的应用[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2000, 40(12): 6-9.
- [8] 彭祖明, 陈义华. 基于烟羽模型的交通影响范围模型的研究[J]. 城市交通, 2007, 29(6): 53-57.
- [9] 王丽, 刘小明, 任福田. 确定交通影响范围的烟羽模型法[J]. 中国公路学报, 2001, 14(4): 100-102, 117.
- [10] 王丽, 刘小明, 任福田, 等. 烟羽模型在交通影响分析中的应用[J]. 公路交通科技, 2001, 18(6): 82-85.
- [11] 黄科. 交通电子执法光晕效应及其安全成效研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [12] 施晓芬. 城市信号交叉口驾驶员速度控制和视觉搜索行为研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.

(编辑 魏希柱)