

机动车闯红灯行为影响因素分析

王雪松, 李 佳, 钟楚君

(同济大学交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 信号控制交叉口由闯红灯引起的交通事故具有较高的伤亡率。为深入了解闯红灯行为的影响因素, 利用人工记录与视频观测结合的方法对上海市4个信号控制交叉口进行调查。基于流行病学影响因素研究方法选择未闯红灯行为作为对照组与闯红灯行为对比, 以排除无关因素。对调查数据进行行为编码, 考虑到各个交叉口的异质性, 基于随机效应逻辑斯特模型在交叉口层面分析驾驶环境、驾驶人特点、车辆特征对闯红灯行为的影响。结果表明, 本地驾驶人、男性驾驶人、客车更容易闯红灯, 流量大会增加闯红灯的可能性; 此外, 是否为本地车辆、车内是否有乘客对闯红灯行为也有显著影响。

关键词: 信号控制交叉口; 闯红灯; 随机效应模型; 对照组; 行为编码

Drivers' Red Light Running Behavior Analysis

Wang Xuesong, Li Jia, Zhong Chujun

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Injury and fatal crash rates are generally higher at signalized intersections due to the red light running problems. To investigate red light running behavior, a research was conducted by collecting data manually and automatically with video cameras at four signalized intersections in Shanghai. Based on the investigation methods commonly used in epidemiology studies, this research compared driving behavior between vehicles running red light and vehicles not running red light to eliminate other influential factors' effect. The different driving behaviors were coded for analysis. Considering the differences in each intersection's design and traffic flow, the research analyzes the impact of driving environment, characteristics of the drivers and vehicles on red light running behavior based on Random Effect Logistic Regression Model. The results show that local, male drivers and passenger vehicle are more likely to run red light and the probability of red light running increases when traffic volume is higher. In addition, whether the vehicle is local and whether there are passengers in the vehicle also have significant impact on red light running behavior.

Keywords: signalized intersection; red light running; random effects model; control group; behavior code

收稿日期: 2013-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于多源检测数据的城市路网交通流主动式管理与控制理论研究”(51138003)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“基于多源数据的城市道路运行状况分析及影响因素研究”(1600219206)、上海市科学技术委员会资助项目“上海市道路交通安全分析预警与事故主动防控”(15DZ1204800)

作者简介: 王雪松(1977—), 男, 山西忻州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 交通安全、交通统计分析、交通规划、驾驶模拟器应用。E-mail: wangxs@tongji.edu.cn

0 引言

机动车在信号控制交叉口闯红灯是最常见的交通违法行为, 也是导致交叉口事故多发的重要原因之一。2012年1—10月, 中国

因闯红灯肇事导致人员伤亡的交通事故共4 227起, 造成798人死亡^[1]。在美国, 每年由闯红灯引起约26万起交通事故, 其中约750起事故导致人员死亡^[2]。只有深入了解闯红灯行为的影响因素, 才能提出有针对性的

改进措施。

机动车闯红灯行为特征与影响因素已有广泛研究。文献[2]对美国阿灵顿县(Arlington County)1个交叉口进行234 h的观测,记录闯红灯与对照组车辆及驾驶人信息,发现48%的闯红灯发生在红灯亮起的0.5~0.9 s,34%发生在1.0~1.4 s,11%发生在1.5~1.9 s,7%发生在2.0 s以上;闯红灯的驾驶人更为年轻、系安全带比例低、驾驶记录较差、驾驶较小较旧的车辆比例高。文献[3~5]分别发现男性驾驶人、车内无乘客、不系安全带等是闯红灯行为的相关特征。针对闯红灯行为影响因素,文献[6]指出交通环境对闯红灯有明显影响,交叉口大、道路上坡或水平、交叉口信号周期变化快更易导致闯红灯现象。

在国外,闯红灯研究通常采用交叉口实地调查的方法,结合视频拍摄和对车辆行为的人工数据采集,记录车辆和驾驶人的特征^[2],如文献[7]利用3台摄像机对美国奥兰多市(Orlando)1个道路交叉口同时进行视频拍摄,分析闯红灯行为与车辆位置、行驶速度等因素之间的关系。在中国,主要通过调查问卷^[8~9]研究困境区域(Dilemma Zone)及信号灯倒计时对闯红灯的影响,但并没有对闯红灯行为特征和影响因素进行系统深入研究。

本文引入流行病学中病例对照研究的方法。设立对照组即是在交叉口观测中区分闯红灯与未闯红灯的车辆,对两种车辆信息进行采集。在研究方法上,将人工记录和视频观测数据结合,通过行为编码,利用随机效应逻辑斯特模型(Random Effect Binary Logistic Regression)分析闯红灯行为的影响因素。

1 闯红灯数据调查

在流行病学影响因素研究中,对照实验只是在一个条件不同、其他条件都相同的情况下所进行的一组实验,用于对比的实验对象组称为对照组。对照组的设计一般是为了排除其他因素的影响,得到的实验结果更具说服力。本文为了准确研究闯红灯行为的影响因素,同时采集了相同行驶条件下未闯红灯车辆、驾驶人及交通量信息作为对照组。首先,应选择不同信号控制交叉口,通过人工记录和视频拍摄调查方法采集闯红灯组和

对照组驾驶人、车辆信息。其次,提取信号控制交叉口特征,对驾驶人特征、车辆特征和闯红灯行为进行编码。而后,通过预调查研究信号控制交叉口的调查方案,培训调查员并明确调查内容。最后,将调查数据进行整理、统计和分析。

1.1 交叉口选择

信号控制交叉口的选择原则包括:1)位于不同区域,包括市区、近郊、远郊;2)交通量较大,且有明显闯红灯行为;3)有黄灯时间和专用左转相位;4)有绿灯信号倒计时指示。通过预调查最终确定上海市4个信号控制交叉口作为本文调查对象(见图1)。

信号控制交叉口特征包括交叉口流量、信号周期时长、待行区设置、有无闯红灯摄像机、有无信号倒计时指示。被调查信号控制交叉口的基本情况见表1。

1.2 闯红灯车辆与对照组车辆

根据《中华人民共和国道路交通安全法》规定,红灯表示禁止通行。在黄灯警示后,驾驶人应在红灯亮起时在停车线后停车,在红灯亮起后仍穿过交叉口的车辆应视为故意闯红灯。本文对于信号灯已经显示为红灯,仍然越过交叉口停车线的车辆称为闯红灯车辆。对照组有两种类型:1)与闯红灯车辆同一周期进入交叉口进口道,红灯亮起时处于相邻车道,闯红灯车辆与对照组车辆横向车距在一个车长范围内,但是停在停车线前(见图2a);2)与闯红灯车辆不同周期进入交叉口,红灯亮起时,本周期没有闯红灯车辆,对照组车辆选择红灯亮起时距离停车线一个车长但停止的车辆(见图2b)。

1.3 调查方法

调查员于2012年4—5月早高峰分别对4个交叉口的两条相向进口道的直行车道和左转车道进行连续3 h的调查。为获得详尽、准确的调查数据,采用人工记录和视频拍摄相结合的方法。车辆在红灯亮起通过交叉口时,调查员迅速记录第一辆闯红灯车辆的信息以及对照组车辆信息。

人工记录包括进口道闯红灯和对照组驾驶人、车辆、行为信息。其中,驾驶人信息包括性别、估计年龄段(20~59岁,每5岁一段)、是否在使用手机、是否系安全带、是

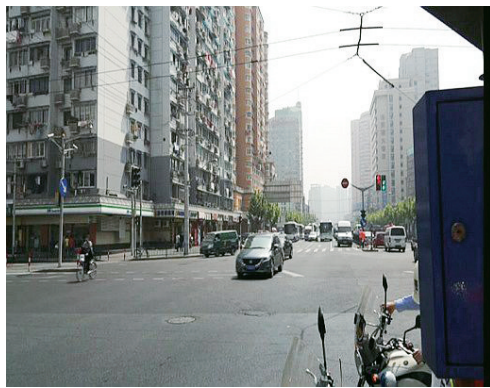
否有乘客；车辆信息包括车牌号、车型及颜色；行为信息包括是否闯红灯、闯红灯车辆行驶方向、闯红灯车辆所在车队中的位置。如图3所示，调查员1在出口道位置①记录闯红灯的相关信息，调查员2在同侧进口道②号位置记录对照组的相关信息。高清视频(分辨率1440×1080)以正对进口道的角度(1号位置)拍摄进口道所有机动车的运行情况，须保证摄像机能够拍摄到信号灯的变化，以便从拍摄的视频中提取流量、闯红灯的时刻等。

人工调查共记录375条闯红灯信息和325条对照组信息，利用Adobe Premiere软件逐帧播放视频，将人工记录信息与视频拍

摄信息对比去除信息不完整的记录，最终获得闯红灯组有效信息304条，对照组有效信息317条，并对闯红灯车辆在红灯亮起后的闯红灯时间进行统计。

1.4 行为特征编码

在获得调查信息后，需对闯红灯车辆与对照组车辆的特征进行编码，包括驾驶人特征、车辆特性和闯红灯行为特征(见表2)。闯红灯时间按照红灯亮起后以0.5 s为1个单元进行分类，0~<4.0 s共分为8个单元，≥4.0 s(至距下一周期绿灯亮起前3 s)为1个单元，红灯尾(下一周期绿灯亮起前3 s内)为1个单元，对10个单元进行编码，分析得出



a 陆家浜路—西藏南路



b 肇嘉浜路—东安路



c 武宁路—曹杨路



d 曹安公路—嘉松北路

图1 被调查信号控制交叉口

Fig.1 Selected signalized intersections

表1 被调查信号控制交叉口的基本情况

Tab.1 Characteristics of observed signalized intersections

交叉口名称	区域	调查道路	相位数	车道数	闯红灯摄像机	待行区	信号倒计时指示
陆家浜路—西藏南路	市区	陆家浜路	4	4	有	有	有
肇嘉浜路—东安路	市区	肇嘉浜路	3	5	有	有	有
武宁路—曹杨路	近郊	武宁路	4	5	有	有	有
曹安公路—嘉松北路	远郊	曹安公路	4	5	无	有	有

闯红灯行为的时间特征。

2 闯红灯行为特征分析

以有效记录数据为基础，首先对闯红灯行为特征进行分析和总结。

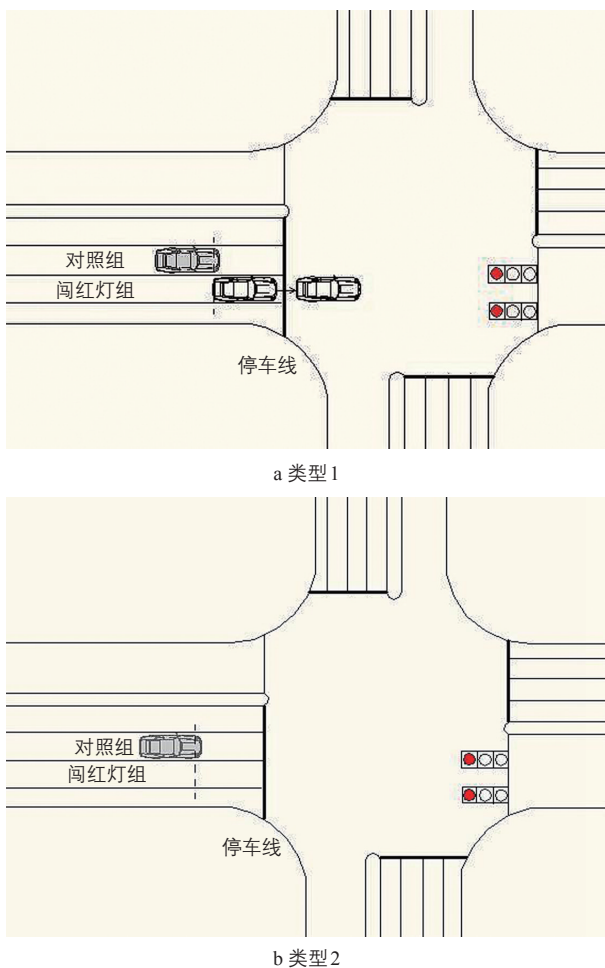


图2 对照组类型

Fig.2 Types of control group

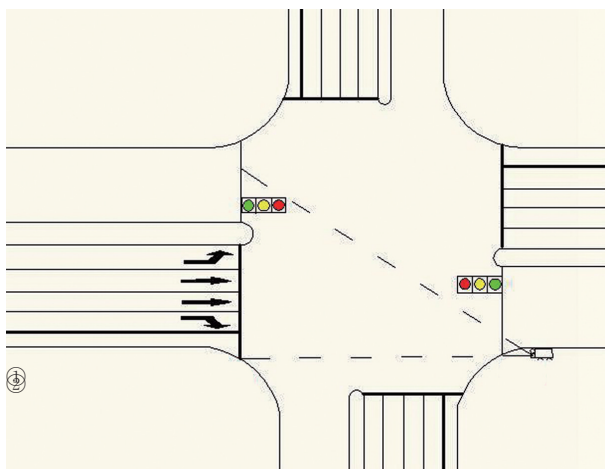


图3 摄像机与调查员的位置

Fig.3 Locations of camera and investigator

1) 各交叉口直行与左转闯红灯率。

闯红灯数量统计见表3。各交叉口中虽然左转流量远远低于直行流量，但是左转闯红灯率明显高于直行。

2) 交叉口车辆闯红灯时间分布。

闯红灯时间分布数据统计见表4。调查结果显示，随红灯亮起后时间越长，闯红灯车辆数越少，在红灯亮起3.5 s后闯红灯的车辆已少于1%。而在红灯尾闯红灯的数量略有增加，因为红灯倒计时亮起时，驾驶人容易发生抢先绿灯亮而行驶的情况。

在初步数据分析中，本文还发现闯红灯驾驶人中男性占绝大多数。在闯红灯车辆中，没有乘客的车辆占多数。此外，本地车牌的车辆闯红灯现象更显著。

3 闯红灯行为影响因素分析

3.1 模型构建

本文结合人工记录数据，利用行为编码结果，采用逻辑斯特模型和随机效应逻辑斯特模型分析闯红灯行为影响因素。由于数据来源于4个交叉口，天气、地形、交通组成、信号配时等带来的差异导致交叉口存在异质性，而交叉口层面的随机效应可以考虑这些未被观测到的因素，因而建立随机效应逻辑斯特模型。随机效应逻辑斯特模型在交通安全研究中被证明可以有效考虑到异质性^[10-11]。两个模型中因变量是闯红灯行为，假设闯红灯行为 $y=1$ ，未闯红灯行为 $y=0$ ，闯红灯行为发生的概率为 p 。影响因素包括交叉口流量、周期时长、车道数、车牌归属地、车辆类型、驾驶人性别、驾驶人年龄、安全带使用、电话使用和是否有乘客。随机效应逻辑斯特模型为

$$y \sim \text{Binomial}(p), \quad (1)$$

$$\log \text{it}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + X\beta + \mu_j(i), \quad (2)$$

式中： β_0 为截距； X 为解释变量向量； β 为解释变量系数； μ_j 为随机效应变量，在本文中代表每个交叉口由于天气、地形、交通组成、信号配时等带来的未被观测到的异质性。设定随机效应服从正态分布 $u_j \sim N(0, \tau), j=1, 2, 3, 4, \tau \sim \text{Gamma}(0.001, 0.001)$ 。由于没有可靠的先验信息，假定所有的回归系数服从正态分布 $\text{Normal}(0, 0.001)$ 。

3.2 模型估计

本文采用贝叶斯估计方法对模型参数进行估计, 设定马尔科夫链进行2万次迭代, 舍弃前5 000个不稳定的样本。通过观测估计系数的马尔科夫轨迹线是否稳定判定模型是否收敛。模型估计结果见表5, 如果置信区间内不包含0, 则说明对应变量在95%显著性水平下是显著的; 如果包含0, 则对应变量不显著。偏差信息准则 (Deviance Information Criterion, DIC)用来评价模型的优

劣, DIC数值越小, 模型拟合越好。

3.3 结果分析

分析结果显示, 共有6个变量显著影响闯红灯行为, 涉及驾驶环境、驾驶人特点、车辆自身特征。

驾驶环境方面, 流量与闯红灯行为正相关, 流量增加会导致闯红灯行为的增加, 这与文献[5]的研究一致。无乘客车辆的驾驶人更容易闯红灯, 说明乘客会提高驾驶人的安

表2 信号控制交叉口特征及闯红灯行为编码

Tab.2 Characteristics of signalized intersections and the data coding of red light running

类别	具体项目	说明
交叉口	流量	记录进口道直行和左转的流量
	信号周期时长	
	车道数	
	待行区	1—有左转待行区, 2—有直行待行区, 3—无待行区
驾驶人特征	性别	1—男, 2—女
	是否使用安全带	1—是, 2—否
	是否在使用手机	1—是, 2—否
	是否有乘客	1—有, 2—无
	估计年龄段	20~24岁, 25~29岁, 30~34岁, 35~39岁, 40~44岁, 45~49岁, 50~54岁, 55~59岁
车辆特性	车牌	1—本地车牌, 2—外地车牌
	车种	1—客车, 2—货车
	车型	1—小型车, 2—中型车, 3—大型车
闯红灯行为特征	是否闯红灯	1—闯红灯, 2—未闯红灯类型1, 3—未闯红灯类型2
	闯红灯车辆行驶方向	1—直行, 2—左转
	闯红灯时间	0~<0.5 s, 0.5~<1.0 s, 1.0~<1.5 s, 1.5~<2.0 s, 2.0~<2.5 s, 2.5~<3.0 s, 3.0~<3.5 s, 3.5~<4.0 s, ≥4.0 s, 红灯尾
	车辆所在车队位置	1—车队头, 2—车队中

表3 交叉口流量及闯红灯数量统计

Tab.3 Statistics of traffic volume and the number of red light running vehicles at intersection

交叉口	方向	流量 ¹⁾ /辆	闯红灯/辆	闯红灯率/%
陆家浜路—西藏南路	直行	2 237	45	2.01
	左转	565	33	5.84
肇嘉浜路—东安路	直行	3 776	42	1.11
	左转	479	15	3.13
武宁路—曹杨路	直行	3 029	20	0.66
	左转	268	15	5.60
曹安公路—嘉松北路	直行	1 313	13	0.99
	左转	511	9	1.76

1) 进口道直行和左转早高峰3 h的流量。

全警惕性，一般会在绿灯结束时提醒驾驶人^[4]。

驾驶人特点方面，性别和年龄都是显著因素。男性驾驶人更容易闯红灯，这与文献[3]的研究一致。驾驶人年龄越大，越不容易闯红灯，因为年龄越大的驾驶人驾驶越谨慎，速度越低，可以降低闯红灯的概率^[4]。

车辆自身特征方面，本地车辆比外地车辆更容易闯红灯，因为外地车辆对驾驶环境不熟悉，比本地驾驶人更谨慎；客车系数的估计结果为正，说明客车比货车更容易闯红灯。

基于模型的DIC值，随机效应逻辑斯特模型比普通逻辑斯特模型拟合度更好。通过比较4个交叉口的随机效应(见图4)，肇嘉浜路—东安路交叉口极大似然值最低，而曹安公路—嘉松北路交叉口极大似然值最高，说明该交叉口更容易发生闯红灯行为。交叉口对是否闯红灯的影响是综合性的，本文选取的4个交叉口待行区和倒计时情况基本一致，而信号配时和交叉口机动车、非机动车的组成情况均不相同，因而各交叉口随机效应的估计值不同。

表4 交叉口车辆闯红灯时间分布

Tab.4 Time distribution of red light running vehicles at intersection

时间/s	陆家浜路— 西藏南路/辆	肇嘉浜路— 东安路/辆	武宁路— 曹杨路/辆	曹安公路— 嘉松北路/辆	合计	
					总数/辆	比例/%
0~0.4	110	63	65	29	267	56.69
0.5~0.9	38	21	21	8	88	18.68
1.0~1.4	21	14	8	7	50	10.62
1.5~1.9	12	8	5	0	25	5.31
2.0~2.4	5	4	0	3	12	2.55
2.5~2.9	6	2	3	1	12	2.55
3.0~3.4	0	0	1	1	2	0.42
3.5~3.9	0	0	0	0	0	0
≥4.0	1	0	0	3	4	0.85
红灯尾	0	0	0	11	11	2.34
合计	193	112	103	63	471	100

表5 逻辑斯特模型估计结果

Tab.5 Logistic Model estimation

变量	逻辑斯特模型		随机效应逻辑斯特模型	
	估计值	95% 置信区间	估计值	95% 置信区间
截距	-0.94	(-2.48, 0.53)	-0.54	(-3.22, 1.67)
本地(vs. 外地)	0.84	(0.44, 1.24)	0.59	(0.16, 1.02)
男性(vs. 女性)	1.12	(0.47, 1.78)	1	(0.32, 1.70)
客车(vs. 其他车型)	0.81 ¹⁾	(-0.008, 1.690)	0.32	(-0.60, 1.26)
有乘客(vs. 无乘客)	-0.30 ¹⁾	(-0.63, 0.03)	-0.44	(-0.79, -0.09)
驾驶人年龄	-0.04	(-0.07, -0.007)	-0.03	(-0.060, -0.002)
流量	0.57	(0.15, 0.99)	0.50	(0.06, 0.95)
τ			1.06	(0.073, 3.670)
样本量	621		621	
DIC	834.54		773.54	

1) 在90%的置信水平下显著。

4 结论

本文为准确研究闯红灯行为的影响因素,依据上海市4个信号控制交叉口人工观测和视频观测数据,采集相同行驶条件下闯红灯和未闯红灯行为车辆、驾驶人、流量、交叉口几何设计和信号控制信息,基于闯红灯组和对照组的对比,分析闯红灯行为的影响因素,并且在建模过程中采用随机效应考虑各个交叉口的异质性。

从模型结果可以看出:本地驾驶人、男性驾驶人、客车更容易闯红灯,流量大会增加闯红灯的可能性。这些分析结果与美国类似研究结果一致,表明在交通法规和驾驶行为不同的情况下,闯红灯行为的影响因素相似。既往研究中发现是否系安全带是影响闯红灯行为的重要因素,而本文研究结果显示是否系安全带并不会显著影响闯红灯行为,这可能与中国驾驶人系安全带比例较低有关。与普通逻辑斯特模型相比,随机效应逻辑斯特模型的拟合度较高,表明随机效应模型能够更好地分析交叉口闯红灯行为的影响因素。

参考文献:

References:

- [1] 张洋. 人民日报: 12月2日是首个全国交通安全日——汽车时代, 道路文明需提速[EB/OL]. 2011[2012-12-03]. <http://www.mps.gov.cn/n16/n1252/n1837/n2557/3433227.html>.
- [2] Retting R A, Williams A F. Characteristics of Red Light Violators: Results of a Field Investigation[J]. *Journal of Safety Research*, 1996, 27(1): 9-15.
- [3] Retting R A, Ulmer R G, Williams A F. Prevalence and Characteristics of Red Light Running Crashes in the United States[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 1999, 31(6): 687-694.
- [4] Porter B E, Berry T D. A Nationwide Survey of Self-reported Red Light Running: Measuring Prevalence, Predictors, and Perceived Consequences[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2001, 33(6): 735-741.
- [5] Porter B E, England K J. Predicting Red-light Running Behavior: A Traffic Safety Study in Three Urban Settings[J]. *Journal of Safety Research*, 2000, 31(1): 1-8.

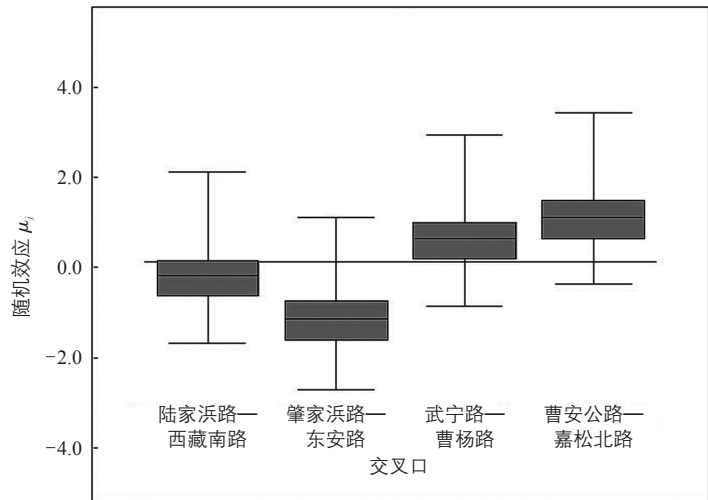


图4 信号控制交叉口随机效应

Fig.4 Random effects at signalized intersections

- [6] James B, Karl Z, Marcus B. Engineering Countermeasures to Reduce Red-light Running[R]. Washington DC: Federal Highway Administration, 2009.
- [7] Elmitiny N, Yan X, Radwan E, et al. Classification Analysis of Driver's Stop/go Decision and Red-light Running Violation[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2010, 42(1): 101-111.
- [8] 张杰, 贺玉龙, 孙小端, 刘晓明. 城市路口倒计时显示对驾驶行为的影响分析[J]. *交通信息与安全*, 2009, 27(5): 99-101.
Zhang Jie, He Yulong, Sun Xiaoduan, Liu Xiaoming. Influence of Traffic Countdown on Driver Behavior at Crossing[J]. *Journal of Transportation Information and Safety*, 2009, 27(5): 99-101.
- [9] 钱红波, 韩皓. 机动车绿灯倒计时对交叉口交通安全的影响研究[J]. *中国安全科学学报*, 2010, 20(3): 9-13.
Qian Hongbo, Han Hao. Influence of Countdown of Green Signal on Traffic Safety at Crossing[J]. *China Safety Science Journal*, 2010, 20(3): 9-13.
- [10] Huang H, Chin H C, Haque M M. Severity of Driver Injury and Vehicle Damage in Traffic Crashes at Intersections: A Bayesian Hierarchical Analysis[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2008, 40(1): 45-54.
- [11] Yu R, Abdel-Aty M. Multi-level Bayesian Analyses for Single- and Multi-vehicle Freeway Crashes[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2013, 58: 97-105.