

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.07.019

基于实测数据的绿灯倒计时对驾驶行为的影响

赵靖¹, 马万经², 韩印¹

(1. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 为了分析机动车绿灯倒计时对交叉口交通安全的潜在影响, 通过实际调查, 对有无机动车绿灯倒计时的交叉口驾驶行为进行了对比分析。利用视频, 采集了停车线前35 m范围内车辆通过各检测线的时刻及相邻检测线间的车速。在对比交叉口上游路段平均车速以保证后续分析可比性的基础上, 通过分布拟合及相关性分析, 研究了绿灯倒计时对相位切换期间停车线处车速大小分布、车速空间分布、车辆通过停车线时刻分布以及两难区长度的影响。结果表明: 设置机动车绿灯倒计时将导致黄灯期间通过停车线车辆车速增加30%; 使交叉口进口道区域车速空间变化趋于平稳; 对于黄灯启亮后通过停车线的车辆, 闯红灯比例降低了90%; 可显著缩短甚至消除两难区。

关键词: 交通工程; 驾驶行为; 实证分析; 绿灯倒计时

中图分类号: U491.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2016)07-0119-06

Effect of Green Countdown on Driver Behavior Based on Measured Data

ZHAO Jing¹, MA Wan-jing², HAN Yin¹

(1. School of Business, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to analyze the potential effect of vehicular green countdown on the operational safety of intersections, the driver behaviors between the intersections with and without green countdown based on the actual survey are compared. The data, including the time that vehicles passing the detection lines and the travel speed between the adjacent detection lines, are collected by video. The data collection range is from the stop line to 35 m upstream. The average travel speeds of the upstream section of the intersections are first compared to ensure their traffic conditions are similar and comparable. Then, based on the distribution fitting and correlation analysis, the impact of green countdown on the distribution of the vehicular speeds at the stop line, the spatial distribution of the vehicular speeds, the distribution of the time vehicles passing the stop line, and the dilemma zone length during the phase transition are researched. The result shows that the installation of green signal countdown will (1) increase the vehicular speed at the stop line during the amber signal by 30%; (2) smooth the vehicular speed spatial variation in the intersection approach lanes; (3) reduce the number of red-light violations by 90% for vehicles passing the stop line after the starts of amber signal; (4) and shorten or eliminate the dilemma zone significantly.

Key words: traffic engineering; driver behavior; empirical assessment; green countdown

0 引言

信号控制交叉口一般通过设置黄灯信号向驾驶

员发出将由绿灯转变为红灯的警示。当车辆在黄灯期间到达交叉口时, 就面临是继续行驶并通过交叉口还是减速停车的抉择。但对于处于两难区内的车

收稿日期: 2015-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(51238008); 上海理工大学博士启动基金项目(BSQD201504)

作者简介: 赵靖(1983-), 男, 上海人, 博士。(jing_zhao_traffic@163.com)

辆,无论作何选择,都将出现急刹或闯红灯行为,易引发交通事故^[1-3]。为了应对上述两难区问题,提升道路行车安全,在分析闯红灯驾驶行为的基础上^[4],辅助驾驶员提前做出决策的一系列方法被相继提出^[5]。其中,设置机动车绿灯倒计时是一种较为常用的方法,其功能是通过显示剩余绿灯时长,给予驾驶员信号切换的预告信息,从而帮助其做出合理的决策,以避免两难区的出现^[6-7]。

交通信号对驾驶员行为的影响长期以来是交通控制和安全领域关注的问题,例如针对绿闪信号^[8-9]、黄闪信号^[10]、箭头信号^[11]、数字信号^[12]等影响的研究。这类研究一般均采用实测数据分析的研究方法,针对机动车绿灯倒计时研究对驾驶行为的影响。以往主要从以下几个方面展开:

(1) 闯红灯行为。统计分析显示机动车绿灯倒计时可显著减少闯红灯数量^[13-15]。

(2) 黄灯期间的决策。通过驾驶行为意向问卷调查^[16],实测黄灯期间通过的车辆数^[14],或建立 Logistic 行为决策模型^[15, 17]进行研究。一般认为在交通拥挤的情况下驾驶员会期望更快地通过交叉口,因此倾向于加速通过;而在交通较为通畅时,驾驶员心态相对平稳,更倾向于减速停车。

(3) 车速。统计分析显示机动车绿灯倒计时会增加相位切换期间的车速^[16, 18-19]。

(4) 两难区长度。主要基于假设数据,从理论层面分析绿闪及绿灯倒计时对消除两难区的潜在作用^[15]。

但上述研究主要基于统计平均数据,缺乏对实测数据分布,尤其是对车速的时间、空间分布进行对比分析,而这却是影响交叉口交通安全的重要因素。此外,关于机动车绿灯倒计时对两难区改善作用的研究,仍停留在理论层面,缺乏基于实测数据的分析。为此,本研究将基于实测数据,通过对有/无机动车绿灯倒计时设备的对比分析,主要从车速分布特征和对两难区改善作用的角度,研究其对交通运行安全的影响。

1 数据采集

如图 1 所示,选择上海市曹安路上两个交叉口作为数据采集点。其中,曹安路-祁连山路交叉口设有机动车绿灯倒计时,曹安路-万镇路交叉口没有设置。为保障观测精度,采用了 Liu 等开发的视频数据采集系统^[20]。如图 2 所示,每隔 5 m 设置 1 条数据监测线,获取的基础信息如表 1 所示。

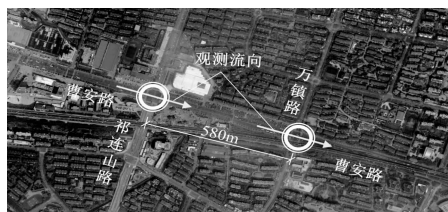


图 1 数据采集点

Fig. 1 Data collecting site



(a) 曹安路-祁连山路交叉口(有倒计时)



(b) 曹安路-万镇路交叉口(无倒计时)

图 2 视频检测线布置

Fig. 2 Layouts of video detection lines

表 1 数据采集信息

Tab. 1 Information of collected data

类别	数据
车辆数据	通过各检测线对应信号周期的时刻
	相邻检测线间车速
统计数据	交通流量
	各时间段进入交叉口的车辆数
	平均车速

2 数据可比性分析

对比交叉口的几何布置、信号配时和交通条件(如表 2 所示),其基本交通特征均十分相似。以往研究表明车速对交叉口运行安全有较大影响^[21],因此本研究首先对比车辆进入进口道前的平均车速,用以检验两个交叉口是否具有相同的交通运行背景。

在交叉口停车线上游 100 m 处设置 30 m 的检测区域,统计进口道前路段的平均车速。统计分布情况满足正态分布(1-sample K-S 检验),如图 3 所示。其中,曹安路-祁连山路交叉口(有倒计时)上游路段平均车速为 39.9 km/h,标准差为 11.0 km/h;

曹安路-万镇路交叉口(无倒计时)上游路段平均车速为 38.7 km/h, 标准差为 10.3 km/h。双样本 t 检验结果表明 ($t = -0.171$, $p = 0.546$), 两者之间无显著差异, 这保证了后续绿灯倒计时影响分析的可比性。

表2 数据采集点特征

Tab. 2 Characteristics of data collecting site

条件	参数	曹安路-祁连山路交叉口 (有倒计时)	曹安路-万镇路交叉口 (无倒计时)
观测流向		西向东直行	西向东直行
几何条件	车道数/条	3	3
	车道宽度/m	3.25	3.25
	停车线至冲突点距离/m	34	30
信号条件	周期时长/s	124	112
	绿信比	0.35	0.36
	黄灯时长/s	3	3
交通条件	道路等级	城市主干路	城市主干路
	交通量/(pcu · h ⁻¹)	1 221	1 125

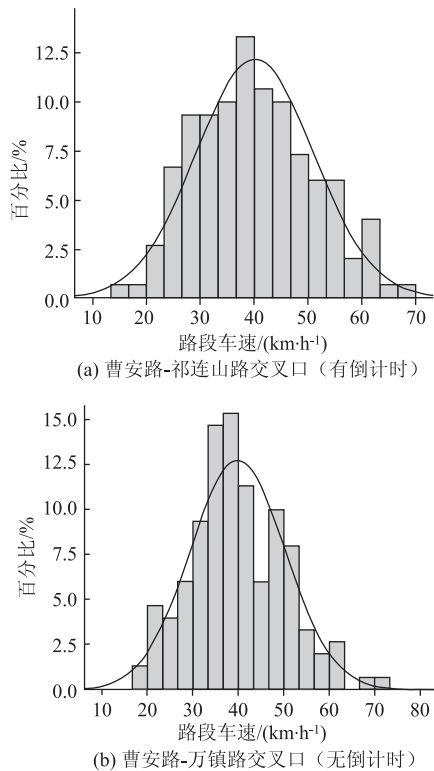


图3 路段车速分布

Fig. 3 Distributions of link speeds

3 绿灯倒计时影响分析

经过连续4个工作日的连续观测, 共采集样本28 152个, 其中1 695个样本为黄灯前3 s至黄灯结束期间到达交叉口的车辆。研究将从下述几方面对

比有/无机动车绿灯倒计时情况下的驾驶行为:

- (1) 对相位切换期间停车线处车速大小分布的影响;
- (2) 对相位切换期间交叉口进口道各区段车速分布的影响;
- (3) 对相位切换期间车辆通过停车线时间分布的影响;
- (4) 对两难区长度的影响。

3.1 停车线处的车速大小分布

车辆在黄灯期间通过停车线的车速分布情况满足对数正态分布(1-sample K-S检验), 如图4所示。其中, 在有倒计时设施情况下平均车速为26.4 km/h, 标准差为12.4 km/h; 无倒计时设施情况下平均车速为20.5 km/h, 标准差为8.2 km/h。双样本 t 检验结果表明 ($t = -2.934$, $p = 0.008$), 两者之间存在显著差异。这说明, 绿灯倒计时的设置会造成驾驶员为了赶在红灯前通过交叉口, 有选择加速通过的倾向, 速度增加近30%。从一定程度上这将提高黄灯利用效率, 但由此也可能引发交通事故, 尤其是现阶段行人、自行车闯红灯过街现象较为普遍, 加速通过交叉口会对交通安全产生一定负面影响。

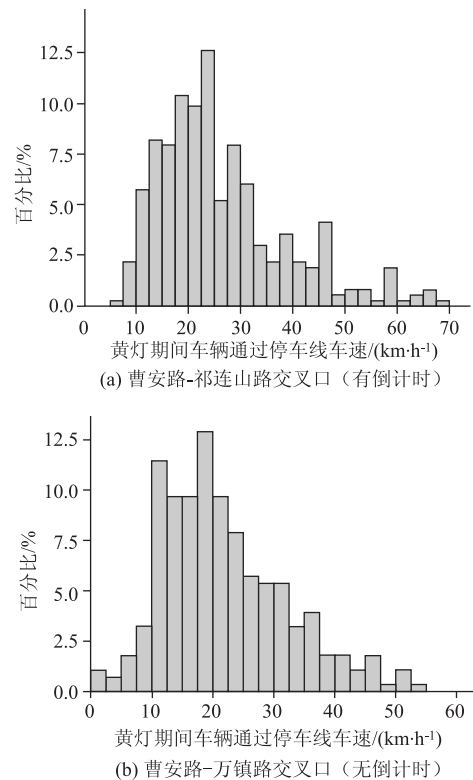


图4 黄灯期间车辆通过停车线时的车速分布

Fig. 4 Distributions of speeds of vehicles passing stop line during amber time

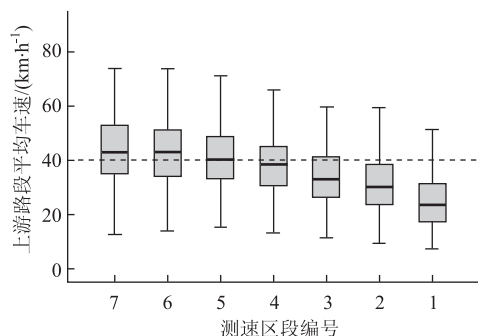
3.2 车速空间分布

交叉口停车线前各区段在相位切换期间（黄灯前 3 s 至黄灯结束）的车速统计分布情况如图 5 所示。在设置绿灯倒计时的情况下，各区段平均车速均高于无绿灯倒计时的情况。

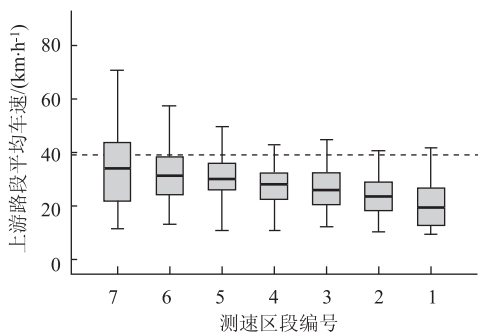
表 3 各区段车速相关性分析结果

Tab. 3 Correlation analysis result of vehicular speeds in different sections

区段	有倒计时		无倒计时	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
1, 2	0.834	0.01	0.649	0.01
1, 3	0.740	0.01	0.521	0.01
1, 4	0.685	0.01	0.473	0.02
1, 5	0.606	0.01	0.239	0.05
1, 6	0.605	0.01	0.140	0.177
1, 7	0.543	0.01	-0.121	0.244



(a) 曹安路-祁连山路口（有倒计时）



(b) 曹安路-万镇路口（无倒计时）

图 5 车速空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of vehicular speeds

在此基础上，对 1 号区段（紧靠停车线前的区段）与上游各区段车速进行了皮尔森相关系数分析，结果如表 3 所示。可以看出，在设置绿灯倒计时的情况下，车辆在停车线前的车速与上游各区段车速存在显著相关性；而在无绿灯倒计时的情况下，车辆在停车线前的车速与上游 5, 6, 7 号区段车速的相关性不显著。这表明，绿灯倒计时有助于驾驶员预判，从而使车速能较为平稳地变化；若没有绿灯

倒计时，驾驶员仅仅通过黄灯信号获取相位切换信息，可能造成车速突变的情况，诱发追尾事故。

3.3 车辆通过停车线时间的分布

本节主要研究在信号相位切换期间，车辆通过停车线进入交叉口的时间分布情况。研究统计了黄灯期间及黄灯结束红灯启亮后通过停车线的车辆数，如图 6 所示。研究发现，在未设置绿灯倒计时情况下，所有黄灯启亮后通过停车线的车辆中有 11.7% 是在红灯启亮后通过的；而设置绿灯倒计时之后，这一比例下降为 1.2%，闯红灯比例减少近 90%，且大部分车辆（79.1%）在黄灯前 2 s 通过停车线，减少了与相交道路车辆的碰撞风险。

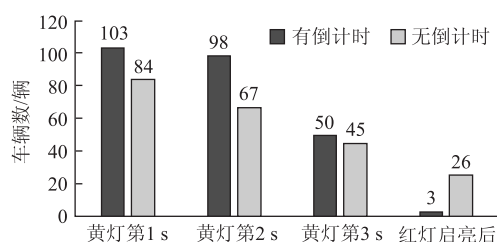


图 6 相位切换期间车辆通过停车线的时间分布

Fig. 6 Time distribution of vehicles passing stop line during phase transition

3.4 两难区长度分析

两难区是否存在及其长度可通过 ITE 的计算公式确定^[22]，见式（1）。所需数据包括黄灯启亮时的车速、黄灯期间的加/减速度以及驾驶员对黄灯信息的反应时间。本研究中前两项数据采用实测数据，如表 4 所示。驾驶员反应时间由于缺乏采集手段，采用理论值。

$$x = x_c - x_0 = v\delta + \frac{v^2}{2a_2} - v\tau + w - \frac{1}{2}a_1(\tau - \delta)^2, \quad (1)$$

式中， x 为两难区长度； x_c 为最短刹车距离； x_0 为可在黄灯时长内通过停车线的最长距离； v 为黄灯启亮时的车速； δ 为反应时间； τ 为黄灯时长； a_1 为车辆加速度； a_2 为车辆减速度； w 为停车线至冲突点的距离。

表 4 两难区分析参数

Tab. 4 Parameters used for dilemma zone analysis

参数	有倒计时		无倒计时	
	均值	标准差	均值	标准差
$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	8.5	2.1	6.9	1.5
$a_1/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	3.67	1.87	2.61	1.42
$a_2/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	4.23	1.55	3.58	1.59

计算结果如表 5 所示。可以看出，对于设置绿

灯倒计时的交叉口, 两难区非常短, 基本不存在 ($x=0.53$), 而没有设置绿灯倒计时的交叉口, 在现有黄灯信号和运行车速水平下存在较大长度的两难区 ($x=19.30$)。因此, 绿灯倒计时的设置有助于缩短甚至消除两难区, 从而提高交叉口的运行安全性。

表5 两难区长度计算参数

Tab.5 Parameters used for dilemma zone length calculation

参数	有倒计时	无倒计时
τ/s	3	3
δ/s	0	1.14
$v/(m \cdot s^{-1})$	8.5	6.9
$a_1/(m \cdot s^{-2})$	3.67	2.61
$a_2/(m \cdot s^{-2})$	4.23	3.58
w/m	34	30
x/m	0.53	19.30

4 结论

本文基于实测数据, 通过对相位切换期间停车线处车速大小分布、车速空间分布、车辆通过停车线时间分布以及两难区长度的分析, 研究了设置机动车绿灯倒计时对交叉口运行的影响, 得到以下结论:

(1) 设置机动车绿灯倒计时将导致黄灯期间通过停车线车辆车速增加近30%。

(2) 使交叉口停车线前35 m范围内进口道区域车速显著相关, 可使车速空间变化趋于平稳。

(3) 显著减少闯红灯数量。在所有黄灯启亮后通过停车线的车辆中, 闯红灯比例由11.7%下降为1.2%, 降低了90%, 且大部分车辆(79.1%) 在黄灯前2 s通过停车线, 减少了与相交道路车辆的碰撞风险。

(4) 能有效缩短甚至消除两难区, 将案例中两难区的长度由19.30 m减少为0.53 m。

因此, 在出行者均遵守信号灯控制的条件下, 设置机动车绿灯倒计时有助于提高交叉口的通行安全性。但在实际应用中, 由于目前行人和自行车闯红灯过街的现象仍较为普遍, 设置机动车绿灯倒计时所造成的车速增加可能引发不安全因素。因此建议实施绿灯倒计时前, 先对闯红灯过街进行整治。

参考文献:

References:

[1] 王金梅, 王兆安, 杨建国. 困境区域引起的无意闯红灯违规分析[J]. 公路交通科技, 2005, 22(9): 138-141.

WANG Jin-mei, WANG Zhao-an, YANG Jian-guo. Analysis of Inadvertent Red Light Running Violation owing to Dilemma Zone [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(9): 138-141.

[2] 钱红波, 李克平. 绿灯间隔时间对交叉口交通安全的影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(6): 166-170.

QIAN Hong-bo, LI Ke-ping. Study on the Influence of Green Traffic Light Intervals on the Crossing Traffic [J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(6): 166-170.

[3] 陈雪峰, 马万经. 信号协调条件下交叉口两难区仿真分析[J]. 交通科学与工程, 2011, 27(3): 87-93.

CHEN Xue-feng, MA Wan-jing. Simulation-based Analysis of the Dilemma Zone of Intersection under the Coordinated Control [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2011, 27(3): 87-93.

[4] 朱彤, 杨晓光, 王岩, 等. 面向闯红灯警告的驾驶员停驶行为判别研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(增1): 83-87.

ZHU Tong, YANG Xiao-guang, WANG Yan, et al. Predicting Individual Driver Stop-and-go Behavior to Intersection Red Light Running Warning System [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(S1): 83-87.

[5] 杨东. 信号交叉口两难区规避引导系统设计关键理论与方法[D]. 长春: 吉林大学, 2014.

YANG Dong. Key Theory and Method for Dilemma-zone Avoidance Guiding System Design at Signalized Intersections [D]. Changchun: Jilin University, 2014.

[6] 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 Hong-bo, HAN Hao. Influence of Countdown of Green Signal on Traffic Safety at Crossing [J]. China Safety Science Journal, 2010, 20(3): 9-13.

[7] LUM K M, HALIM H. A Before-and-after Study on Green Signal Countdown Device Installation [J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2006, 9(1): 29-41.

[8] MAHALEL D, ZAIDEL D M. Safety Evaluation of a Flashing-green Light in a Traffic Signal [J]. Traffic Engineering and Control, 1985, 26(2): 79-81.

[9] 沈家军, 王伟. 绿闪信号作用下城市道路交叉口两难区研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2015, 15(3): 70-74.

SHEN Jia-jun, WANG Wei. Dilemma Zone of Urban

- Intersection Based on Effect of Flashing Green [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2015, 15 (3): 70-74.
- [10] NEWTON C, MUSSA R N, SADALLA E K, et al. Evaluation of an Alternative Traffic Light Change Anticipation System [J]. Accident Analysis & Prevention, 1997, 29 (2): 201-209.
- [11] KNODLER M A, Jr, NOYCE D A, KACIR K C, et al. Analysis of Driver and Pedestrian Comprehension of Requirements for Permissive Left-turn Applications [J]. Transportation Research Record, 2006, 1982: 65-75.
- [12] MUSSA R N, NEWTON C J, MATTHIAS J S, et al. Simulator Evaluation of Green and Flashing Amber Signal Phasing [J]. Transportation Research Record, 1996, 1550: 23-29.
- [13] 龚雪雪. 倒计时表对信号交叉口交通运行影响研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2010.
GONG Xue-xue. Effect of Countdown Timer on Traffic Operation at Signalized Intersection [D]. Changsha: Changsha University Of Science & Technology, 2010.
- [14] 张杰, 贺玉龙, 孙小端, 等. 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 Yu-long, SUN Xiao-duan, et al. Effects of Countdown Signal at Urban Intersection on Driving Behaviors [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2009, 27 (5): 99-101.
- [15] 马天宇. 信号交叉口倒计时显示屏对驾驶员行为影响分析 [D]. 长春: 吉林大学, 2008.
MA Tian-yu. Study on Effect of Countdown Display Unit on Driving Behavior at Signalized Intersection [D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [16] 王岩, 杨晓光. 基于交通安全的交叉口倒计时信号灯设置研究 [J]. 中国安全科学学报, 2006, 16 (3): 55-59.
WANG Yan, YANG Xiao-guang. Discussion on Setting Traffic Signals with Counting Down Display Unit at Intersection Based on Traffic Safety [J]. China Safety Science Journal, 2006, 16 (3): 55-59.
- [17] 吴文静, 隽志才, 贾洪飞. 倒计时信号交叉口处的驾驶员行为决策 [J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29 (7): 160-165.
WU Wen-jing, JUAN Zhi-cai, JIA Hong-fei. Drivers' Behavioral Decision-making at Signalized Intersection with Countdown Display Unit [J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2009, 29 (7): 160-165.
- [18] 朱彤, 郭春琳, 谢陈江, 等. 交通信号倒计时对车速与交通安全的影响 [J]. 中国安全科学学报, 2012, 22 (4): 97-102.
ZHU Tong, GUO Chun-lin, XIE Chen-jiang, et al. Effects of Signal Countdown on Vehicle Speed and Traffic Safety [J]. China Safety Science Journal, 2012, 22 (4): 97-102.
- [19] 朱彤, 谢培, 郭春琳, 等. 交叉口绿灯信号倒计时等因素对车速的影响 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2012, 32 (4): 70-75.
ZHU Tong, XIE Pei, GUO Chun-lin, et al. Effects of Green Signal Countdown and Other Factors on Vehicle Speed at Intersection [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32 (4): 70-75.
- [20] 王岚君, 张琰珩, 王希勤. 用于城区交叉口闯红灯预测的车辆轨迹特征参数分析 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (5): 108-112.
WANG Lan-jun, ZHANG Li-ping, WANG Xi-qin. Analysis of Vehicle Trajectory Characteristic Parameters for Red-light-running Prediction in Arterial Intersections [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (5): 108-112.
- [21] LIU Y, CHANG G L, TAO R H, et al. Empirical Observations of Dynamic Dilemma Zones at Signalized Intersections [J]. Transportation Research Record, 2007, 2035: 122-133.
- [22] ITE. Traffic Engineering Handbook [M]. Washington, D. C.: Institute of Transportation Engineers, 1999.