

1-8-2019

Analysis of Lane Changing Conflict Based on *TTA* in Expressway Weaving Area

Wang Bao

1.School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;;

Linjie Gao

1.School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;;

Zhicai Juan

2.Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Analysis of Lane Changing Conflict Based on *TTA* in Expressway Weaving Area

Abstract

Abstract: The study of lane changing behavior in expressway weaving area is of great significance to the analysis of the traffic flow conflict and driving behavior characteristics. In this paper, *a lane changing conflict model was established* and trajectory extraction software was used to extract and calculate *TTA* (time to avoidance) and *TTC* (time to collision). We got 336 *TTAs* and 233 *TTCs* and *4 grades of the lane changing conflict level were built by using statistical method. We came up with the proposed lane changing speed and some traffic management strategies.* The study will help to further improve road traffic behavior research system.

Keywords

lane change, time to avoidance, time to collision, conflict analysis, conflict level

Recommended Citation

Wang Bao, Gao Linjie, Juan Zhicai. Analysis of Lane Changing Conflict Based on *TTA* in Expressway Weaving Area[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(9): 3306-3311.

基于避险时间的交织区车辆换道冲突分析

汪宝¹, 高林杰¹, 隽志才²

(1.上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200240; 2.上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030)

摘要: 快速路交织区车辆换道行为研究对于剖析交织区交通流冲突及驾驶行为特性具有重要意义。本文通过建立车辆换道冲突模型, 利用车辆轨迹提取软件提取车辆换道轨迹并计算得到了 336 组避险时间和 233 组碰撞时间, 运用统计分析的方法对快速路交织区车辆运行特性和换道过程进行分析, 将换道冲突分为 4 个等级, 并提出了交织区车辆换道的合理建议和管理措施。研究成果将有助于进一步完善道路通行行为研究体系。

关键词: 换道; 避险时间; 碰撞时间; 冲突分析; 分级

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 09-3306-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201809010

Analysis of Lane Changing Conflict Based on TTA in Expressway Weaving Area

Wang Bao¹, Gao Linjie¹, Juan Zhicai²

(1.School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2.Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The study of lane changing behavior in expressway weaving area is of great significance to the analysis of the traffic flow conflict and driving behavior characteristics. In this paper, a lane changing conflict model was established and trajectory extraction software was used to extract and calculate TTA (time to avoidance) and TTC (time to collision). We got 336 TTAs and 233 TTCs and 4 grades of the lane changing conflict level were built by using statistical method. We came up with the proposed lane changing speed and some traffic management strategies. The study will help to further improve road traffic behavior research system.

Keywords: lane change; time to avoidance; time to collision; conflict analysis; conflict level

引言

近年来, 道路交通流密度增大, 车头间距减小, 车辆跟驰或换道空间有限, 交互穿插更为频繁, 极易导致事故。因此通过对车辆换道行为的研究, 分析车辆行驶过程中的驾驶行为特性, 有助于进一步完善道路通行行为体系, 提高交通安全。长期以来

我国及世界上大多数国家均采用以交通事故统计为基础的交通安全评价体系^[1]。利用有大量信息的替代事故数据的方法来完善道路的安全性研究就显得意义重大。

交通冲突技术便是较为成熟的一种理论, 它有着与交通事故极为相似的发生过程和影响因素, 适合用于交通冲突的研究。国外学者对于交通冲突指标的研究包括后车侵入时间 PET (post encroachment time)、安全减速时间 DTS (deceleration to safety time)^[2]、避免冲突最大减速率 DRAC (deceleration rate to avoid crash)^[3]等, 国内对交通冲突的指标选



收稿日期: 2016-05-06 修回日期: 2016-09-01;
基金项目: 北京市教委重点项目(KZ20151005007);
作者简介: 汪宝(1992-), 男, 安徽六安, 硕士生,
研究方向为公共交通运输规划、手机数据挖掘; 高林杰
(1977-), 男, 河南洛阳, 博士, 助理研究员, 硕士,
研究方向为交通系统仿真, 运输系统规划与管理。

<http://www.china-simulation.com>

• 3306 •

择和提取与国外有些不同。罗石贵等^[4]针对以观察冲突数的调查做了相关研究并将研究结果应用在实际路段的安全改善中;贾洪飞等^[5]构建了协同型、强迫型和间隙接受模型;孙剑等^[6]建立了协作换道模型对城市快速路交织区复杂交通行为进行了再现模拟和效果评价。但是国外的指标和方法都是针对特定的道路及交通流特性开发出来的,无法直接应用于我国的驾驶行为特性分析,而国内的指标大多基于交通冲突数,可选择的其他指标很少。所以,本文在大量梳理总结以上指标和方法的基础上,提出采用车辆避险时间和碰撞时间两个指标对快速路交织区车辆换道过程进行分析,并结合碰撞时间与避险时间的比值对车辆换道冲突分级。

1 交通冲突参数

1.1 避险时间

避险时间是驾驶员从发现危险开始紧急制动直至车辆完全停止所需的时间,根据汽车制动过程减速度的变化,避险时间 TTA (time to avoidance) 的表示方法如图 1 所示^[7]。

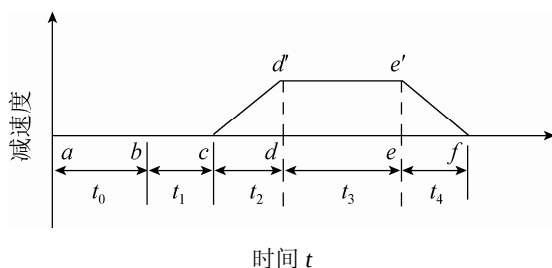


图1 汽车制动过程减速度变化图

Fig. 1 Speed reduction map of automobile braking process

图1中 t_0 为驾驶员发现危险至开始换脚到制动踏板上的时间; t_1 为驾驶员开始踩下踏板到出现制动力所经过的时间; t_2 为制动力增长所需要的时间; t_3 为制动力达到最大值后的持续制动时间; t_4 为停车后到制动力解除的时间。

冲突避让时间 TTA : $t_{TTA} = t_0 + t_1 + t_b$

其中, $t_0 = 1.5s$, $t_1 = 0.09s$, $t_b = 0.12 + 0.14v_0$

由此可得: $TTA = 1.71 + 0.14v_0$ (1)

车辆避险时间与车速大小成正比,也就是说,车速越大,车辆紧急制动所需时间越长。

1.2 碰撞时间

碰撞时间(time to collision)是最为常用的交通安全微观评价指标,早在 20 世纪 70 年代由 Hayward^[8]提出。其基本定义为:当两车发生冲突,若保持原有的速度差不变,从冲突开始至碰撞发生的时间段为碰撞时间,简称 TTC 。碰撞时间只有当跟随车车速大于被跟随车车速时才有意义, TTC 值越小表示车辆越容易发生事故^[9],碰撞时间等于跟驰距离除以相对速度,其计算公式^[10]为:

$$TTC = \frac{D}{v_f - v_1} = \frac{D}{\Delta v} \quad (2)$$

D 为前后车之间的跟驰距离; v_f 为跟随车的速度; v_1 为被跟随车的速度; Δv 为后车与前车的速度差。

2 数据采集

数据来源于北京市的东四环窑洼湖桥段。采用录像调查法,固定摄像机在调查路段天桥上拍摄。

根据车辆换道过程,建立车辆换道示意图。如图 2 所示,车辆 1 为有换道意向的车辆,本文称之为换道车,车辆 2 和 3 分别为换道车目标车道上的前车与后车。

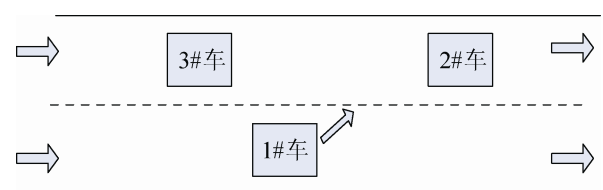


图2 车辆换道标注模型

Fig. 2 Lane changing marking model

运用 George 2.1 轨迹提取软件,主车开始换道时对其轨迹进行跟踪标定,到 1 车成功驶入目标车道,系统曲线拟合功能对换道车轨迹进行拟合。提取得到的数据包括:1 车换道开始时刻、速度、沿标定 X、Y 轴分速度及 2 车、3 车在 1 车换道开始时速度、沿标定 X、Y 轴的分速度。

3 数据分析

3.1 避险时间分布特性

根据换道车换道开始时的初速度，利用式(1)计算一共提取得到 336 组换道车避险时间，做出避险时间饼图和统计描述表，详见图 3 与表 1。

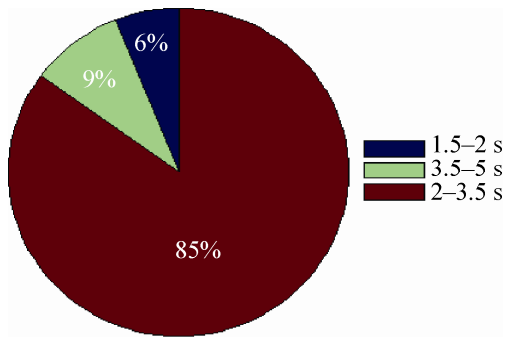


图 3 避险时间饼图
Fig. 3 Pie chart of TTA

表 1 避险时间统计描述表
Tab. 1 Statistical table of TTA

避险时间统计描述	数值/s
样本数	336
均值	2.75
中值	2.69
标准差	0.55
方差	0.30
25 分位数	2.37
75 分位数	3.07

图 3 中，91%换道车的避险时间 TTA 都小于 3.5 s，其中 2~3.5 s 的最多，为 85%。结合避险时间统计描述表可知避险时间的均值和中值分别是 2.75 s 和 2.69 s，对应的车速大小是 26.7 km/h 和 25.2 km/h。大部分换道车在换道开始时的车速并不是很大，这是因为数据采集路段位于交织区，路段上游有辅路车辆进入，并且拍摄时段该路段车辆密度大，车速普遍较低。25 分位数和 75 分位数分别是 2.37 s 和 3.07 s，一旦发生紧急情况，50%的换道车都可以在 2.37 s 到 3.07 s 之内快速制动，这对于换道车的换道和后车跟驰行驶来说是比较安全的。

3.2 避险时间检验拟合

做出避险时间 TTA 的分布直方图，图 4 中 TTA 近似服从正态分布，假设其分布服从正态分布，将所有 TTA 导入 SPSS 中进行非参数检验的单样本 K-S 检验，结果如表 2 所示。

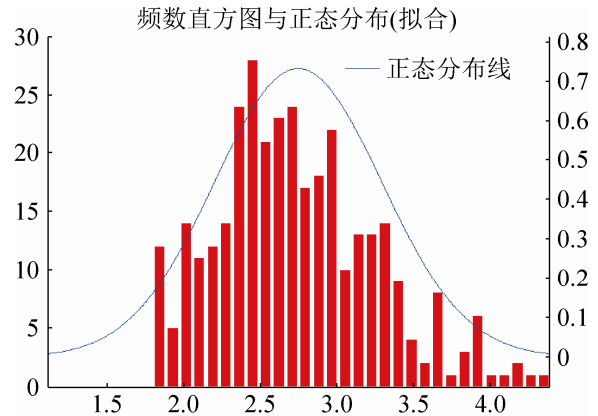


图 4 避险时间分布直方图
Fig. 4 Histogram of TTA

表 2 避险时间 TTA 的 K-S 检验结果
Tab. 2 K-S test results of TTA

N	336
正态参数	均值 2.749 标准差 0.545
最极端差别	绝对值 0.063 正 0.063 负 (-0.041)
Kolmogorov-Smirnov Z	1.148
渐近显著性(双侧)	0.143

检验结果表明，样本渐近显著性水平 $P=0.143>0.05$ ，说明假设成立，即所有的避险时间服从正态分布。用 MATLAB 对碰撞时间进行正态分布拟合，得到样本正态分布的期望值是 2.75 s，标准差是 0.55 s，避险时间的正态分布公式为：

$$f(TTA) = \frac{1}{0.55\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(TTA - 2.75)^2}{0.605}\right)$$

3.3 换道车与后车 TTA 分布特性

换道车在换道时，其与前车和后车的速度大小关系是随机的，当换道车速度大于前车时，计算换道车的避险时间 TTA 以及换道车与前车的碰撞时

间 TTC , 同理, 当后车速度大于换道车时, 计算后车的避险时间 TTA 和后车与换道车的碰撞时间 TTC , 其他车速大小关系不做讨论。据此一共得到 87 组换道车 TTA 和 146 组后车 TTA 及 233 组对应的 TTC , 表 3 描述了 146 组后车的 TTA 。做出换道车和后车避险时间 TTA 的箱图, 详见图 5。

图 5 中, 换道车中值和 75 分位值都比后车的要大, 说明换道车辆在换道开始时的车速比后车大, 这是符合实际换道规则的; 并且换道车避险时间较为分散, 说明换道开始时车速范围大, 这与驾驶员的驾驶特性差异有关。后车在目标车道上一直跟随前车行驶, 车速变化不大, 避险时间相对集中。出于安全考虑, 单独统计后车的避险时间, 提出换道车的建议换道车速。

表 3 后车 TTA 统计描述
Tab. 3 TTA of rear vehicle

N	有效	146
均值		2.89
中值		2.87
标准差		0.42
方差		0.18
	25	2.61
百分位数	50	2.87
	75	3.17

后车 TTA 的中值和 75 分位值分别是 2.87 s 和 3.17 s, 对应的车速分别是 29.8 km/h 和 37.5 km/h, 建议此研究区域交织段换道车车速控制在 29.8 km/h 到 37.5 km/h 之间, 可以有效保证换道安全。

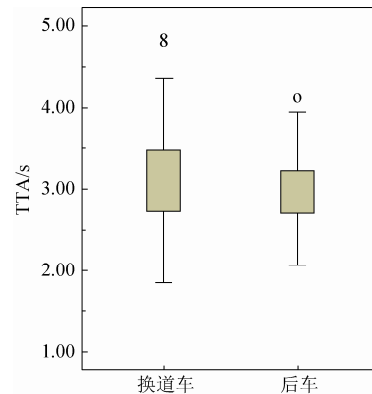


图 5 换道车与后车避险时间箱图
Fig. 5 TTA of lane-changing car and rear vehicle

3.4 换道冲突严重等级分级

碰撞时间 TTC 描述在跟车模型中, 当跟随车车速大于被跟随车车速时, 不采取任何措施, 两车发生碰撞所需的时间, 避险时间 TTA 描述车辆从发现危险紧急制动直到车辆完全停止所需的时间。用 TTC 与 TTA 的比值进行统计分析得出车辆换道过程中冲突的严重程度。将 87 组 1-2#车的碰撞时间 TTC 与换道车的避险时间 TTA 进行比值, 146 组 1-3#车的碰撞时间 TTC 与目标车道后车的避险时间 TTA 进行比值。分别做出两类比值折线图, 详见图 6 和图 7。比值变化趋势主要与碰撞时间 TTC 一致, 这是因为避险时间 TTA 较小且波动范围小。当 TTC 超过 20 s 时, 驾驶人有充足的时间对突发情况进行反应并采取避让措施^[10]。

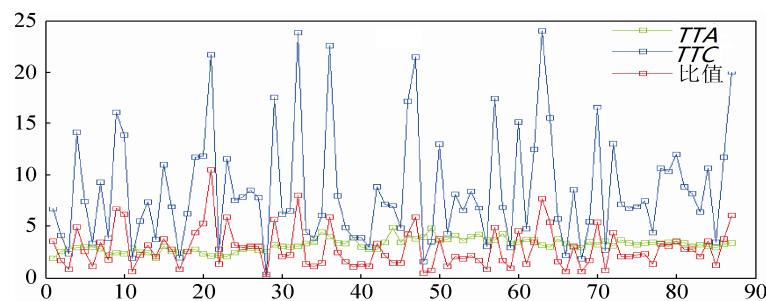


图 6 1-2#车碰撞时间 TTC 与换道车避险时间 TTA 比值折线图
Fig. 6 Ratio line graph for 1-2# TTC and lane-changing TTA

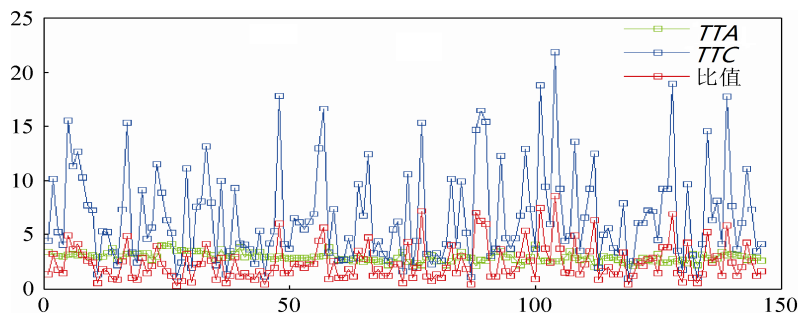


图 7 1-3#车碰撞时间 TTC 与后车避险时间 TTA 比值折线图

Fig. 7 Ratio line graph for 1-3# TTC and rear vehicle TTA

图 6 中, 主车与前车的碰撞时间 TTC 值较大, 冲突较小, 这是因为主车在换道时, 目标车道的前车驾驶员没有意识到后边有换道车的驶入, 会保持原速度继续行驶, 受到换道车的影响较小, 同时换道车在换道时, 驾驶员会有意识地调整车速并与前车保持一定的安全距离, 避免与前车的车速差值过大而发生可能的碰撞。图 7 中, 大部分换道车与后车的 TTC 值较小, 说明换道车与后车的冲突严重。这是因为对于后车而言, 后车驾驶员不会特别在意换道车的换道驶入, 当换道车进入目标车道时, 后车驾驶员才会有意识地降低车速避免与主车发生碰撞, 但是在采取减速措施前冲突已经发生。同时, 换道车换道时大部分驾驶员不会去注意到后车的车速, 而是注意与后车的安全距离, 换道完成后后车车速大于主车车速, 冲突已经发生, 这也是后车与主车的碰撞时间较小冲突较为严重的原因。

3.5 换道冲突分级

研究以碰撞时间与避险时间的比值作为分级依据, 将 233 组比值数据导入 SPSS 聚类分析, 对于聚类组数的确定, 采用计算不同聚类组数的组间平方和, 组间平方和的下降趋势趋于稳定的聚类数就是理想的组数, 即当聚类数超过某一值后, 组间平方和折线图以近乎相等的斜率下降, 从而确定聚类数。图 8 中, 聚类数大于 4 以后, 组间平方和折线斜率变化不大, 所以最终聚类组数为 4 类, 最终聚类结果详见表 4~5, 其中有效数据 233 组, 缺失 0。

组间平方和计算公式:

$$W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{K_i} (l_j - u_i)^2$$

式中: N 为聚类数; k_i 为第 i 组比值数; l_j 为第 i 组第 j 个比值; u_i 为第 i 组聚类中心值。

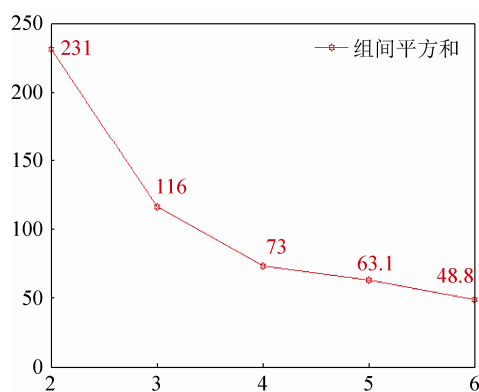


图 8 组间平方和

Fig. 8 Square sum between groups

表 4 比值最终聚类中心

Tab. 4 Ratio cluster center

聚类组别	1	2	3	4
类中心比值	1.22	2.84	5.08	7.79

表 5 每个聚类中的案例数

Tab. 5 Number of cases in each cluster

聚类组别	案例数
1	116
2	74
3	34
4	9

定义冲突严重程度 $E = TTC/TTA$, 比值越小, 换道车换道时避险时间与碰撞时间越接近, 越不利

于安全换道, 冲突严重; 反之, 比值越大, 换道越安全, 当比值相当大时, 可以认为主车换道时与前后车没有冲突。根据比值的聚类分析结果, 计算出相邻聚类中心的中值作为划分冲突严重等级的临界值。由此可将换道冲突划分为4个等级:

$0 < E \leq 2.03$, 严重冲突;
 $2.03 < E \leq 3.96$, 中度冲突;
 $3.96 < E \leq 6.44$, 轻微冲突;
 $6.44 < E$, 一般冲突。

4 结论

本次研究基于车辆换道过程中换道车和后车避险时间 TTA 的分布特性以及碰撞时间 TTC 与避险时间 TTA 的比值对冲突严重程度进行分析、分级。取得了以下研究成果: (1) 通过轨迹提取车辆换道的相关参数来计算避险时间、碰撞时间; (2) 发现换道车辆与目标车道的后车发生冲突较多, 而与前车的冲突较少, 这与驾驶人的心理因素及驾驶特性差异等有关; (3) 换道车车速较目标车道后车分散, 提出了建议换道车速; (4) 检验拟合了换道车避险时间 TTA 服从正态分布, 并给出了分布函数; (5) 用聚类分析法将换道冲突分为4个等级: 严重冲突、中度冲突、轻微冲突和一般冲突。交通冲突的研究是一个系统、复杂的过程, 本项研究基于避险时间和碰撞时间这两个冲突指标来对车辆换道冲突进行研究, 未来可以结合 $DRAC$ 、 DTS 和 PET 等对换道冲突进行分析。此外, 研究过程中提取和调查的数据量较多, 更为简单有效的数据提取和计算模型有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张殿业. 道路交通安全管理评价体系[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
Dianye Z. Evaluation system of road traffic safety management[M]. Beijing: China Communications Press, 2005.
- [2] Andrew P. Tarko. Use of crash surrogates and exceedance statistics to estimate road safety[J]. Accident Analysis and Prevention, 2011, 45(3): 230-240.
- [3] Meng Qiang, Weng Jinxian. Evaluation of rear-end crash risk at work zone using work zone traffic data[J]. Accident Analysis and Prevention (S0001-4575), 2011(43): 1291-1300.
- [4] 罗石贵, 周伟. 路段交通冲突的调查技术[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2003, 23(1): 72-75.
Shigui L, Wei Z. Investigation technique of road traffic conflict[J]. Journal of Chang'an University (NATURAL SCIENCE EDITION), 2003, 23(1): 72-75.
- [5] 谭云龙. 快速路合流区微观交通仿真车道变换模型研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2014: 41-65.
Yunlong T. Research on lane changing model of microscopic traffic simulation in freeway confluence area[D]. Jilin: Jilin University, 2014: 41-65.
- [6] 孙剑, 李克平, 杨晓光. 拥挤交通流交织区车道变换行为仿真[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(13): 4174-4178.
Jian S, Keping L, Xiaoguang Y. Simulation of lane changing behavior in weaving area of crowded traffic flow[J]. Journal of system simulation, 2009, 21(13): 4174-4178.
- [7] 俄文娟. 无信号交叉口车车冲突检测与消解算法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2012: 37-40.
Wenjuan E. Research on vehicle collision detection and elimination algorithm at signless intersection[D]. Jilin: Jilin University, 2012: 37-40.
- [8] Hayward J C. Near-miss determination through use of a scale of danger[J]. Highway Research Record (S0073-2206), 1972(384): 24-34.
- [9] 徐汉清. 高速公路典型区段交通冲突及安全性评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013: 30-44.
Hanqing X. Study on traffic conflict and safety evaluation of typical Expressway sections[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013: 30-44.
- [10] 陆建. 基于碰撞时间的追尾风险分析[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(5): 58-64.
Jian L. Analysis of rear end risk based on collision time[J]. Traffic information and safety, 2014, 32(5): 58-64.