

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.09.019

一级公路非信号控制路口远引掉头选位研究

沈超群¹, 陆 键¹, 朱胜雪², 魏代梅¹

(1. 上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200240;

2. 淮阴工学院 交通工程学院, 江苏 淮安 223003)

摘要: 以一级公路非信号控制路口为研究对象,旨在改善非信号路口车辆行驶的效率性和安全性。对不同的道路条件、交通流组成及交通控制等因素对远引掉头选位的影响进行分析,根据非信号控制路口交通流的特点确定远引掉头形式。采用 TSIS 微观仿真方法,以主路速度方差、交织区平均速度以及路网车辆平均延误作为评价指标,从行车安全性及行车效率两方面综合分析远引掉头方式的使用对路网交通流的影响。研究结果表明:当主路流量较少或过多时均不适合采用远引掉头的组织方式;当交通量适合的情况下,一级公路安全性的提高和延误的降低并非是同步的,只有当流量超过一定值(4车道为1 250 pcu/h,6车道为1 800 pcu/h)时,增加远引掉头与交叉口的距离才会达到同时提高安全与效率的改善效果。

关键词: 交通工程; 非信号控制路口; 微观仿真; 远引掉头; 合理选位; 一级公路

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)09-0122-06

Research on U-turn Location of First Class Highway Unsignalized Intersection

SHEN Chao-qun¹, LU Jian¹, ZHU Sheng-xue², WEI Dai-mei¹

(1. School of Naval Architecture, Ocean & Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. School of Transportation Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu 223003, China)

Abstract: The unsignalized intersections of first class highway are taken as the research object to improve the efficiency and safety of vehicles at unsignalized intersections. The influence of different factors such as road conditions, composition of traffic flow and traffic control on U-turn location is analysed, and the U-turn form is determined according to the characteristics of traffic flow in unsignalized intersections. Using TSIS as the simulation software and taking the evaluation indexes which consist of speed variance of main-road, average speed of vehicle in weaving area and average vehicle delay of the whole road network, the impact of utilizing U-turn as the alternative of direct left turn on traffic flow is comprehensively analyzed from the aspects of safety and efficiency. The result shows that (1) it is unsuitable to choose U-turn when the main road traffic is less or too much; (2) the improvement of safety and the reduction of delay of first class highway are not synchronized when using U-turn under a suitable traffic flow condition, and only when the traffic flow exceeds a certain value (1 250 pcu/h for 4-lane condition, 1 800 pcu/h for 6-lane condition) will improve both safety and efficiency by increasing the distance between U-turn and unsignalized intersection.

Key words: traffic engineering; unsignalized intersection; micro-simulation; U-turn; reasonable location; first class highway

0 引言

随着交通运输的发展,道路的通行能力与交通

事故已成为一个世界性的问题而备受关注。过去针对改善道路通行能力最普遍的方法就是通过扩建路段规模来满足交通需求量的增加。近几年的研究发

收稿日期: 2013-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078232/E0807)

作者简介: 沈超群(1987-),女,浙江桐乡人,硕士研究生。(sharla7@163.com)

现,增加车道数虽然对路段的通行能力有显著的提高,但对于平面交叉口的改善却少有帮助。一些学者就此提出采用非传统交通流组织方式作为补充措施。远引掉头是一种典型的非传统交通流组织方法,它不仅可以将左转车流转化为路口右转加路段直行掉头的车流,还可以将加载在平交口的交通流的负荷有效地分担到通行能力较大的路段上,同时有效地将路口交通延误转移到路段上去,从而在路口延误与路段延误之间找到一个平衡点^[1]。

目前国内外远引掉头的运用主要是针对城市道路的信号控制路口,通过信号灯控制,强制要求司机到下游进行回转。Carter等^[2]在对78个使用远引掉头的城市信号控制路口进行研究时发现,其中的65个路口在3a内都没有发生过车辆碰撞事故,而剩下的13个交叉口,平均每年每处仅发生0.33至3.0起事故。刘攀等人^[3]的研究指出,远引掉头能简化驾驶员的驾驶行为,减少平交口的冲突;该研究团队对比了直接左转、在信号路口进行掉头及在路段上开口远引掉头3种情况下车辆的延误,研究发现在路段掉头回转的延误比直接左转小,而在信号控制路口进行回转的延误则大于车辆直接左转;随着主路或支路左转车辆的增多,司机更倾向于选择远引掉头方式通过交叉口。

但是,这些研究仅仅对远引掉头的安全性及行驶效率进行了分析,在确定远引掉头位置的选址方案方面较为模糊,甚至有些路口在禁左后,左转车辆直接在下游相邻路口回转掉头,这种简单地把交通压力从一个瓶颈转移到另外一个瓶颈的做法是不尽合理的^[1]。Zhao^[4]为了确定城市道路远引掉头的最佳位置,对美国佛罗里达州的208个选址进行了观测,采集了车辆的事故数和行驶时间数据,通过对这些数据逐步回归分析发现,影响事故数的主要是在远引掉头处的交通控制方式及其开口位置;Zhao以事故数的50%作为分位数,以此确定远引掉头开口最小距离。而对于非信号控制的路口,远引掉头选址更是缺少系统的理论规划方法。事实上,非信号控制路口的路权明确性远不如信号控制路口,因此通过车辆远引掉头来对冲冲突点进行时间和空间上的分离是很有必要的。远引掉头的位置决定着其功能是否能够理想地发挥。若上下游远引掉头的位置距离过近,车辆无法及时完成车道变换;若交织区过长,车辆无谓的绕行距离就会增加,降低了出行效率。因此,针对一级公路非信号控制交叉口,综合分析远引掉头设计对运行车辆的安全性及行车

效率两方面影响,给出确定远引掉头合适位置的方法,以减少或避免后期可能对非信号路口进行改造的经济成本。

1 远引掉头影响因素

远引掉头是指当车辆进入平面交叉口后,并不直接左转,而是行驶到主路下游某一中央分隔带开口处,再进行掉头的一种组织方式。远引掉头设计主要在交叉口左转需求适当的条件下应用^[5],一般情况下,在交叉口左转流量较大时,需设置专用左转相位来解决左转交通流需求;若左转流量较小,左转车流可以在直行车流到达前通过交叉口,不需要专门的渠化方法来解决左转需求^[6]。与明确分配不同道路行使权限的信号控制路口不同的是,远引掉头更适合改善非信号控制的平交口。

影响非信号控制路口远引掉头选址的因素主要可概括为道路线形条件、交通流情况及在掉头处的交通控制方式。

(1) 道路线形。根据美国公路交通研究机构的研究并结合中国道路实际情况,能够采用远引掉头的交通流组织方式的道路,中央分隔带为实体隔离带且宽度不小于2m。若在路段上进行掉头,一般需双向6车道及以上,车道较宽的双向4车道在条件合适的情况下也可以使用^[7]。

(2) 交通流情况。交通流情况主要涉及主路与支路的交通量、平交口左转车辆的比例和车辆运行速度。主路上的交通量及车辆运行速度会影响交织区的长度,而交织区的长度决定了远引掉头的位置^[8]。若交织区过长,会增加车辆不必要的出行距离和时间;若交织区过短,可能会对主路车流的安全性及行车效率产生影响。当交通流与通行能力的比值(V/C)较低时,事故率比较高,这是由于当路段上车辆较少时,司机容易麻痹大意或低估突发情况的发生;当 V/C 的值逐渐升高,事故率却随之下降, V/C 为0.68时,事故率达到最低值; V/C 从0.68再增加时,事故发生率又会随之增大,这个时候的高事故率是由于车辆之间干扰严重而造成的^[9]。

(3) 交通控制方式。目前在远引掉头处的交通控制方式主要有2种^[10]:信号控制和非信号控制。信号控制的远引掉头是指车辆在下游信号控制路口再掉头;非信号控制主要是指车辆在路段中央分隔带开口处掉头,即路段掉头。信号控制的远引掉头主要运用在平交口间距较近的城市道路上。而一级公路信号控制的平交口间距较大,出于行车效率的

考虑,一级公路上适合采用中分带远引掉头。

使用远引掉头不能对原路网造成新的交通负担和安全隐患,在进行选位前,需考虑远引掉头与相邻交通设施之间的规避范围。若远引掉头附近存在其他中央分隔带开口,则对于路段的安全是极大的危害,需对这些中分带开口有所取舍;若远引掉头与接入道路距离太近导致停车视距不能满足要求,车辆容易因来不及对支路的车辆做出反应而发生碰撞事故;若远引掉头的位置在下游交叉口功能区范围内,则会复杂下游交叉口附近的道路情况,从而增加事故发生的概率。

远引掉头的选位需要综合行车安全与行车效率两方面考虑。车辆的速度方差反映了车辆间车速的离散程度。有研究表明,不论是从交通流、车辆还是从驾驶员的角度分析,车速离散程度与事故率之间都存在着正相关的关系,车辆的速度方差越大则安全性能越差^[11]。延误是指车辆额外花费的行程时间,是反映交通运行效率的一个指标^[12],因此,本文采用主路车辆速度方差作为安全评价指标,路网的平均车辆延误作为行车效率的评价指标。

2 仿真模型及结果分析

2.1 仿真模型建立

为了简化研究,本文根据一级公路作为干线公路时,平交口最小间距为2 000 m^[13]的标准来确定研究对象的上下游范围,并假定在研究路段上没有其他接入道路和中分带开口,车辆在相邻的平交口能够以自由流的状态通过,且忽略道路及交通流在方向上的差异性。

由于非信号控制路口司机的行为不受到强制性约束,司机很有可能不遵循标志标线的指示,因此在对非信号控制路口进行改造时,将原本在交叉口开口的中央分隔带封闭,在上下游分别设置可供司机单向掉头的中央分隔带开口(如图1、图2所示)。通过这种远引掉头方式将原本集中在交叉口的无序交通流进行有效地分离。主路左转车辆与支路非右转车辆均不能直接穿越平交口,而是需要在下游中央分隔带处掉头回转。

远引掉头的选位需规避停车视距(图1中 L_1)与功能区范围(图2中 L_2 为上游功能区长度, L_3 为下游功能区长度),根据现行《公路路线设计规范》,基于安全考虑,规避范围将取值为停车视距与上下功能区中的最大值,即在设计速度为100 km/h时,

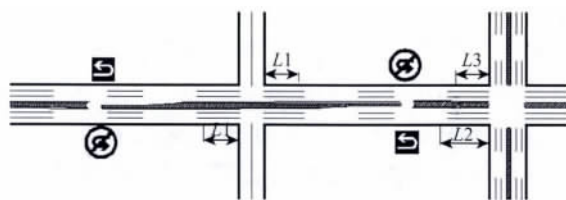


图1 远引掉头设计示意图

Fig.1 Schematic diagram of U-turn design

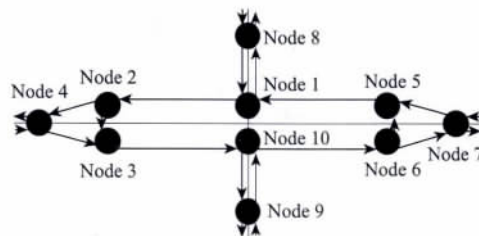


图2 远引掉头组织方式拓扑图

Fig.2 Topology diagram of organization of U-turn

规避 $L_1 = L_2 = L_3 = 160$ m,设计速度为80 km/h时,规避值为110 m^[13]。为方便研究,在仿真模型中,以距离原交叉口150 m为远引掉头的初始选位,距离每增加50 m为1组仿真试验,同时避免车辆绕行距离超过2 000 m。

根据公路接入分类标准和我国一级公路平均预测日交通量^[13],确定合理的一级公路车量变化范围,针对4车道和6车道的一级公路,分别建立起多因素多水平的仿真试验(表1)。

表1 多因素多水平仿真参数

Tab.1 Multi-factor and multi-level simulation parameters

主路设计标准		主路车量变化		主路转弯车辆			货车	支路设计标准	
设计速度/	车道	范围/		左	直	右	比例/	设计速度/	车道
(km·h ⁻¹)	数/个	(pcu·h ⁻¹)		转	行	转	%	(km·h ⁻¹)	数
100	6	1 500~3 000					10	60	双向
80	4	1 000~2 000	20	60	20				两车道

目前在交通工程领域使用的仿真软件,大多数是基于国外的交通背景,本文中使用的TSIS仿真软件也是如此,若仿真软件中的跟车模型、反映驾驶员特性的参数不同,将会对仿真结果产生很大的影响^[14]。为了使模型能够更准确的反应国内道路情况,需要对模型中的交通环境参数进行调整,同时为了减少随机事件对仿真结果的影响及考虑到模型计算的效率,每次仿真试验重复进行10次。

2.2 结果分析

2.2.1 安全性分析

交通事故的类型主要有正面碰撞、侧撞刮擦及追尾3种。正面碰撞造成的事故最为严重,这种碰撞往往是由平交口的交叉冲突引起的。用远引掉头

代替直接左转可将交叉冲突点变为合流与分流点,从而降低事故的恶性程度。尽管远引掉头可以降低事故的恶性程度,但在交织区内掉头车辆的变道、减速和加速的行为依旧会对原本主路直行的车辆造成干扰。为了确定交织区长度,在 TSIS 仿真模型中,在远引掉头处及主路路段每 50 m 处设置一个检测器,记录主路车辆通过这些断面及中央分隔带开口时的平均速度。

用 SPSS 进行函数拟合 ($R^2 \geq 0.95$) 后发现,主路上车辆的速度方差与远引掉头和平交口的距离服从指数分布。图 3 以 6 车道的拟合函数为例,速度方差随着远引掉头与平交口的距离增加而下降。若远引掉头位置距离原平交口太近,由于没有足够的时间和空间条件来获得合适的插入间隙,掉头回车的司机便会强行变道,造成对主路直行车辆的安全及行车效率强烈的干扰,此时车辆间的速度方差处于较高水平;若交织区足够长,掉头车辆可以先在主路上加速行驶一段距离,等到有足够的安全间隙再变道进入内侧左转专用车道,这使得掉头车辆与直行车辆之间速度差异较小,同时交织区的合流点与分流点在空间上得到了分离。图 3 显示,若远引掉头与原平交口距离足够远,甚至可以忽略远引掉头开口对路段的安全性影响。

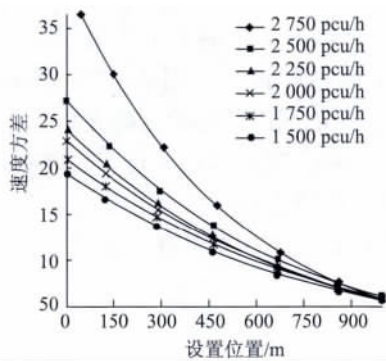


图3 速度方差与远引掉头位置的关系 (6 车道, 100 km/h)

Fig. 3 Relation between speed variance and U-turn location (6 lanes, 100 km/h)

根据交通流理论,同一个道路速度水平可能是由不同的流量水平产生的,但同一个流量水平下,车辆平均速度的变化还是可作为判断车流状态的一个指标。当车辆处于交织区时,车辆间的速度差异较大,道路上车辆平均速度偏离道路的自由流速度;当车辆完成交织行为后,车辆的平均速度才开始接近道路的自由流速度。根据仿真结果(图4),无论道路及交通流状况如何变化,当中分带开口设置在 550 m 后,车辆到达远引掉头处的车速已基本处于稳

定且接近车辆自由流速度。安全效益的提高往往需以牺牲行车效率为代价,而道路使用者总是希望能在最小的绕行距离中获得最大的安全保障。由图 4 可知,远引掉头的位置若设在支路下游 550 m 以后,司机牺牲的行车效率并不能再得到更好的安全性的提高。

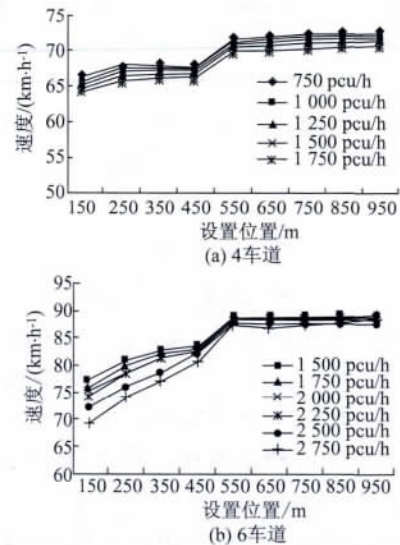


图4 4车道与6车道在远引掉头处的平均速度

Fig. 4 Average speed at U-turn bay of 4-lane and 6-lane highway

当主路流量继续增加,此时,使用远引掉头已无法提高行车的安全性,其速度方差的数据显示其成为一个异常点(6车道流量达到 3 000 pcu/h 或 4 车道流量达到 2 000 pcu/h),此刻就需要设置左转专用信号灯来提高平交口的安全性。

2.2.2 行车效率分析

车辆使用远引掉头代替直接左转后,完成一个完整的左转和远引掉头动作所需的时间:

$$T_{\text{左转}} = D_1 + T_1, \quad (1)$$

式中, $T_{\text{左转}}$ 为车辆完成左转所需的时间; D_1 为车辆的总延误; T_1 为车辆离开支路到达中央分隔带开口处的时间。

$$T_U = D_2 + D_3 + T_2, \quad (2)$$

式中, T_U 为车辆完成远引掉头所需的时间; D_2 为支路右转车辆进入主路时的停车延误; D_3 为车辆在中央分隔带开口处的等候延误; T_2 为车辆在交织区的时间。

刘攀等人^[3]针对中央分隔带开口位置、车道数、交通控制方式及速度等因素,对车辆在交织区的行车时间进行分析,获得了一个多元线性回归模型。当道路为双向 6 车道或以上时,车辆在交织区的时间比在相同条件下的 4 车道上需额外花费 3.7 s 的时间。而实际调查数据显示,在双向 4 车道情况下,

司机进入内侧掉头车道平均花费的时间为3 s,在6车道及以下的道路上需要6~8 s。这是由于多条车道同时出现安全间隙供车辆穿越的概率远小于2车道,因此司机在多车道上变换车道需要花费更多时间^[15]。

一级公路非信号路口采用远引掉头方式后,掉头车辆可能对其他车辆的行驶效率也产生影响,因此采用路网车辆的平均延误作为研究对象,路网车辆的平均延误同时受到路网流量水平及远引掉头选位的影响。当车流量水平较低,主路车流处于或接近于自由流状态,车辆间的干扰较低,此时中央分隔带的开口位置是影响车辆平均延误的主要因素;随着主路车流量增加,若中央分隔带开口距离原交叉口过近,掉头车辆与直行车辆相互干扰逐渐严重,这既不利于行车的安全,同时还会降低车辆行车效率;因此,在高流量水平下,通过增加交织区的长度,可以有效的减少车辆延误。根据上述分析,分别针对双向4车道和双向6车道进行了行车延误的仿真试验,结果表明:

(1) 当流量过大(6车道流量达到3 000 pcu/h或4车道流量达到2 000 pcu/h)时,远引掉头对车辆运行状况的改善不理想,此时需要设置信号灯来控制交通流,这种情况与安全性分析下的结论一致;

(2) 当主路流量较少(小于1 250 pcu/h),即一级公路处于较高服务水平时,远引掉头无法很好地改善车辆的行车效率,此时车辆在平交口直接左转的延误小于远引掉头(图5);

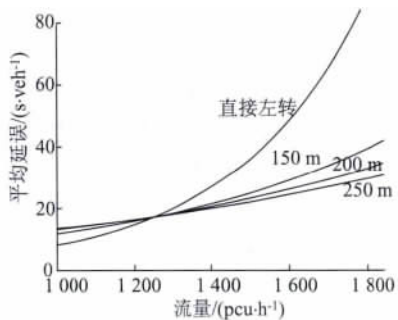


图5 直接左转与远引掉头的平均延误对比

Fig. 5 Comparison of average delay between direct left turn and U-turn

(3) 当双向4车道主路流量在1 250 pcu/h与2 000 pcu/h之间时,车辆的平均延误随着中分带开口的远离而逐渐降低,此时的中央分隔带开口在110~550 m的范围内,尽量远离支路(图6);

(4) 当双向6车道主路流量在1 250 pcu/h与1 800 pcu/h之间时,车辆的平均延误与中央分隔带开口距离成正相关,延误随开口距离的增加而增加,

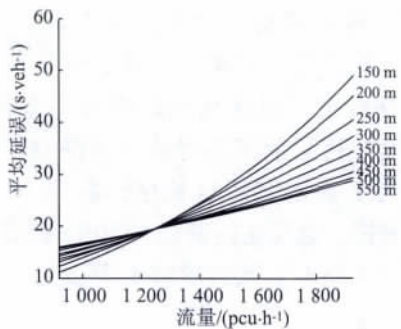


图6 车辆平均延误（4车道）

Fig. 6 Average delay of vehicles (4 lanes)

此时远引掉头的选位在达到安全要求的前提下,尽量靠近原平交口为宜(图7);

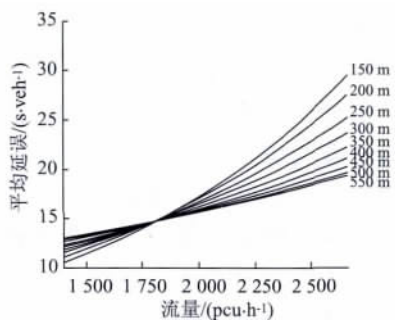


图7 车辆平均延误（6车道）

Fig. 7 Average delay of vehicles (6 lanes)

(5) 当双向6车道主路流量在1 800 pcu/h与3 000 pcu/h之间时,车辆的平均延误随着中分带开口的远离而逐渐降低,此时的中央分隔带开口在160~550 m的范围内,尽量远离支路(图7);

(6) 远引掉头对6车道的行车改善效果优于对4车道的改善,相同主路流量水平及选位条件下,6车道车辆的平均延误比在4车道上更低。

3 结论

本文针对影响远引掉头选址的因素进行分析,并从安全性及行车效率两方面,分别使用速度方差、平均速度及路网车辆平均延误作为评价指标,通过仿真试验,给出不同情况下的远引掉头选位。本文的结论主要有以下几点:

(1) 远引掉头的选位并非是一个孤立事件,应结合新建或改造路口上下游的情况,针对不同的道路条件,划出需规避的范围、确定远引掉头合理位置。

(2) 交织区的长度与交织区内车辆的速度方差存在指数函数关系。若交织区距离足够长,几乎可以忽略交织车辆与非交织车辆之间的速度差异;随着交织区长度的增加,车辆到达中央分隔带开口处

时的速度逐渐趋于稳定并接近自由流速度。

(3) 虽然使用远引掉头同样会产生延误,但是当主路流量大于 1 250 pcu/h,相较于车辆在平交口直接左转产生的延误,远引掉头下的整个路网延误时间将会大幅减少,这种改善效果随着流量的增加会更加明显;当主路流量过大时,则需要增加信号控制。

(4) 主路流量及转弯车量的变化会影响远引掉头的选位。只有当流量超过一定值时(4车道为 1 250 pcu/h,6车道为 1 800 pcu/h)时,增加远引掉头与支路的距离才会减少路网车辆的平均延误。

(5) 道路的安全性与行车效率之间往往存在着矛盾,在确定方案时,应取一个相对合理的值,以便满足整体评价的最佳。

本文针对新建的一级公路使用远引掉头时,在缺少相应的道路运营数据条件时,能给出一种确定远引掉头合适选址的方法;若是对已有道路改造,可以通过实际采集数据调整仿真数据,同样可以确定远引掉头的选址。

参考文献:

References:

- [1] 刘书鹏,马骏. 路段掉头交通流组织方式研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2007,7(2): 124-128.
LIU Shu-peng, MA Jun. Application of Median U-turn in Traffic Organization [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(2): 124-128.
- [2] CARTER D, HUMMER J E, FOYLE R S, et al. Operational and Safety Effects of U-turns at Signalized Intersections [J]. Transportation Research Record, 2005, 1912: 11-18.
- [3] LIU P, LU J J, ZHOU H G, et al. Operational Effects of U-Turns as Alternatives to Direct Left-turns [J]. Journal of Transportation Engineering, 2007, 133(5): 327-334.
- [4] ZHAO R L, FAN J J, LIU P. Selection of Optimal U-turn Locations for Indirect Driveway Left-turn Treatments on Urban Streets [J]. Journal of Southeast University, 2010, 26(4): 628-632.
- [5] LENG J Q, ZHANG Y P, ZHAO H T. Research on The Impact of Traffic Volume on U-turn at Intersection [C]// International Workshop on Modelling, Simulation and Optimization. Hongkong: IEEE, 2008: 368-371.
- [6] 陆键,张国强,马永峰,等. 公路交通安全设计理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
LU Jian, ZHANG Guo-qiang, MA Yong-feng, et al. Highway Traffic Safety Design Theory and Methodology [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [7] 张宁,陈凯,高朝晖,等. 基于微观仿真的远引掉头选址规划方法[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(1): 78-82.
ZHANG Ning, CHEN Kai, GAO Zhao-hui, et al. Site Planning Method of U-turn Followed by Right-turn Based on Microsimulation [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(1): 78-82.
- [8] ZHOU H G, HSU P, LU J J, et al. Optimal Location of U-turn Median Openings on Roadways [J]. Transportation Research Record, 2003, 1847: 36-41.
- [9] 吉小进,方守恩,黄进. 高速公路基本路段 V/C 比与事故率的关系[J]. 公路交通科技, 2003, 20(1): 122-124.
JI Xiao-jin, FANG Shou-en, HUANG Jin. Relationship between V/C and Accident Rates at Basic Expressway Section [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(1): 122-124.
- [10] LENG J Q, ZHAO H T, ZHANG Q. Research on the Impact of U-turn Location on Operation Efficiency at Intersection [C]// International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Zhangjiajie: IEEE, 2009: 567-570.
- [11] 崔洪军,魏连雨,杨春风. 以速度为中介对道路条件与交通事故的研究[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(3): 95-98.
CUI Hong-jun, WEI Lian-yu, YANG Chun-feng. Use Speed as Intermediary to Analyse the Relationship between Road Condition and Traffic Accident [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2001, 30(3): 95-98.
- [12] 徐吉谦,陈学武. 交通工程总论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
XU Ji-qian, CHEN Xue-wu. Fundamentals of Traffic Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2008.
- [13] JTJ 020—2006, 公路路线设计规范[S].
JTJ 020—2006, Design Specification for Highway Alignment [S].
- [14] LENG J Q, ZHANG Y P, SUN M Q. VISSIM-Based Simulation Approach to Evaluation of Design and Operational Performance of U-turn at Intersection in China [C]// 2008 International Workshop on Modelling, Simulation and Optimization. Hongkong: IEEE, 2009: 309-312.
- [15] TAO R H, WEI H. Impact of Indirect Left-turning Measures from Driveways on Driving Behavior and Safety [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(3): 55-63.