

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.03.043

基于仿真的多车道高速公路交通冲突分析

曾岳凯,周涛,陈亚振

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司,湖北 武汉 430050)

摘要:为了预防多车道高速公路的交通事故,分别以客货混行整体式、客货分离整体式、主辅分离式3种多车道断面形式的交通冲突为研究对象,建立VISSIM交通仿真模型,利用SSAM软件获取交通冲突数据,并对冲突的形式、数量、位置进行分析。结果表明:客货混行整体式下的交通冲突最多,主要分布在最内侧、最外侧车道和减速车道上游100 m范围;客货分离整体式下的交通冲突主要分布在货车道和立交出入口附近;主辅分离式下的交通冲突主要分布在辅路和车道转换处。

关键词:交通工程;多车道高速公路;交通冲突;断面形式;VISSIM仿真

中图分类号:U491

文献标志码:A

0 引言

为了满足中国沿海和中部地区交通量增长的需求,对已有高速公路的扩建和改建显得十分必要。随着车道数的增多,导致多车道高速公路交通环境变得更加复杂,事故风险进一步加大。相关研究指出,车辆之间未保持安全距离,引起的事故涉及车辆数多,其中大货车易对其他车辆造成影响,在自身变道以及被其他车辆超越时都比较危险^[1]。高速公路高死亡事故的主要原因是小汽车和大型车辆之间的速度差异^[2]。在高速公路互通立交路段上,由于车辆在分流过程中车速的变化,在出入口位置发生交通事故的现象较多^[3]。据统计,中国高速公路合流区出现的交通事故占事故总数的30%,而入口区域的事故风险更高^[4]。不同类型车辆混行是引发高速公路交通事故的重要原因,高速公路出入口交织区是事故发生的主要区域。

《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)^[5]及《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)^[6]提到高速公路改扩建的部分内容。相关学者及行业专家也对此展开了研究,魏雪延等^[7]对整体式、客货分离式和主辅分离式3种形式的多车道高速公路通行能力进行了研究;单东辉等^[8]对客货分离式高速公路互通立交匝

道合流间距进行了相关研究,但中国对多车道高速公路的研究刚刚起步,尚处于理论阶段,且缺乏大量的交通事故数据,因此对各个断面形式事故风险分析较少,没有提供量化依据,难以解决实际的工程性问题。针对中国缺乏事故数据积累的实际情况,中国学者较多采用以交通冲突技术的安全评价方法来替代交通事故安全评价方法,如马艳丽等^[9]构建了基于后侵入时间算法的匝道合流区冲突识别模型,冲突等级识别准确率高达91.71%;单东辉等^[8]基于交通冲突的分析,确定了客货分离式高速公路互通立交匝道合流间距。

本文在叙述客货混行整体式、客货分离整体式和主辅分离式3种多车道断面形式的基础上,以广深高速公路为例,建立VISSIM交通仿真模型,利用SSAM软件获取交通冲突数据,分析3种多车道断面形式下交通冲突的形式、数量和位置,以期为今后不同多车道断面形式方案的交通管理和应急保障措施研究提供参考。

1 多车道交通组织类型

(1) 客货混行整体式,指客车和货车在同一幅道路混行的道路断面形式。其优点是新建或改扩建时方便易行、施工时间短、道路用地少;缺点是客货车

收稿日期:2021-04-15

作者简介:曾岳凯,男,硕士,高级工程师.E-mail:3450639077@qq.com

存在速度差、交织区运行复杂、安全隐患多、通行效率低。

(2) 客货分离整体式,指客车和货车分道行驶的道路断面形式。其优点是可最大程度发挥小型车速度优势,提高通行效率和行车安全性;缺点是执法管理工作强度大、修建成本高、道路利用率低。

(3) 主辅分离式,指内幅为供长途车辆快速行驶的主幅,外幅为供短途车辆和周边集散车辆行驶的辅幅,内、外幅之间按照一定间隔设置车道转换出入口的道路断面形式。其优点是内幅主要通行过境交通,外幅主要通行区域交通,保证出口匝道交织区处交通流相对稳定,可减少交通事故的发生,内幅车辆转移至外幅道路的次数减少,对外幅车辆的影响降低;缺点是每个车道存在客货混行,车辆运行速度受到制约,通行效率下降。

2 基于VISSIM的交通冲突仿真

2.1 交通冲突仿真方法

交通冲突数据的获取是运用交通冲突技术对道路安全进行评价的一项重要内容。SSAM(Surrogate Safety Assessment Model)是一种交通冲突分析软件,通过分析交通仿真输出的车辆轨迹数据,可获取路段交通冲突信息。高速公路交通冲突主要存在两种类型,即追尾冲突与换道冲突,当两车的碰撞角度为 $0 \leq \alpha < 15^\circ$ 时为追尾冲突,当两车的碰撞角度为 $15^\circ \leq \alpha < 85^\circ$ 时为换道冲突,把距离碰撞时间(Time to Collision, TTC)和后侵占用时间PET(Post Encroachment Time)作为交通冲突的判定指标。运用VISSIM模拟广深高速公路选取的仿真路段在运营期预测交通流条件下的运行状况,并获取交通流的运行状态指标(轨迹、换道、位置),运用SSAM软件分析车辆运行轨迹,进而获取交通冲突的数量和发生位置等信息。

由于VISSIM的默认参数不能很好地反映真实的多车道环境下的车辆运行特征,很有必要对交通参数进行重新标定。仿真交通参数参照双向十车道水官高速公路进行选定,交通冲突仿真流程如图1所示,具体操作流程如下:①首先输入水官高速公路实测的仿真路段几何参数值、交通流运行参数值、驾驶行为参数值,通过仿真输出自由流的平均车速、拥堵

下的平均车速、路段最大通行能力与实测值进行一致性验证,若一致性差,则对期望速度分布、跟驰模型参数、驾驶行为参数等进行调整,直到符合一致性检验,得到合适的交通参数;②根据广深高速公路预测交通量和3种多车道断面类型,结合获得的交通参数,建立仿真模型;③将仿真所得的轨迹文件加载到SSAM软件中,得出交通冲突结果。

根据水官高速公路平沙至布澜收费站之间实地调研结果可得,在整体式客货分离的交通组织情况下,自由流状况下平均速度为94.3 km/h,拥堵状态下的平均速度为76.8 km/h,路段最大通行能力为2 083 pcu/h。构建调研路段的VISSIM仿真模型,确定自由流状况下平均速度为94.8 km/h,拥堵状态下的平均速度为77.6 km/h,路段最大通行能力为2 002 pcu/h,标定误差为3.9%。在95%的置信度下,仿真平台的标定验证通过。

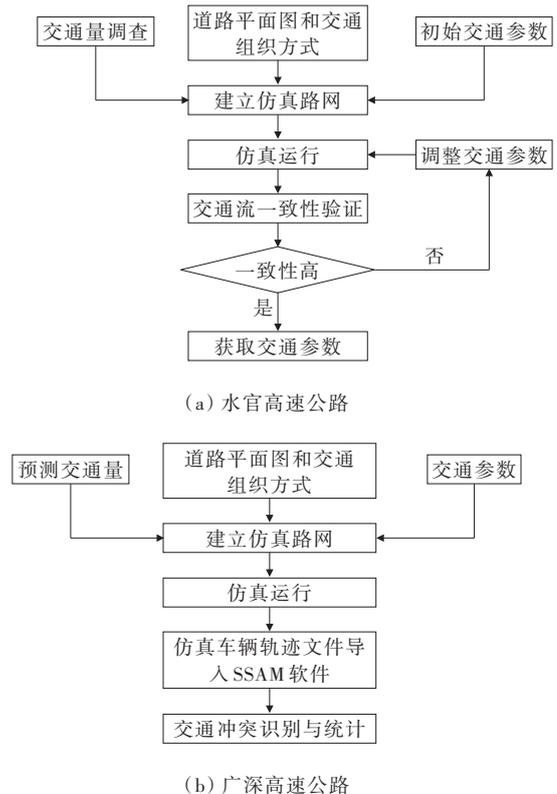


图1 交通冲突仿真流程

2.2 仿真路段设置

在3 600 s的相同仿真时间内,采用广深高速公路2050年某路段范围内的预测交通量(左线3 742 pcu/h,右线2 541 pcu/h),按照预测交通量考虑分合流比。未来道路上的车型比例很难预测,但水官高

速公路同样是双向六车道改扩建为双向十车道,因此在不同断面车道管理方案下,各车道内的车型比例选择参考水官高速公路车型比例分布,小客车、货车、大客车比例分别为76.5%、15%、8.5%。

客货混行整体式:各车道不对车型进行限制,大型车和小型车在双向十车道上任意分配,如图2所示。

客货分离整体式:双向十车道被分成3+2模式,

通过虚、实线或者双实线分隔开,内侧3条车道只允许小车行驶,外侧2条车道允许大、小车按一定比例及速度同时行驶,如图3所示。

主辅分离式:主路内侧2条车道只允许小车行驶,外侧1条车道允许大、小车同时行驶,辅路的车道管理同主路,并按照一定间隔设置车道转换出入口,如图4所示。

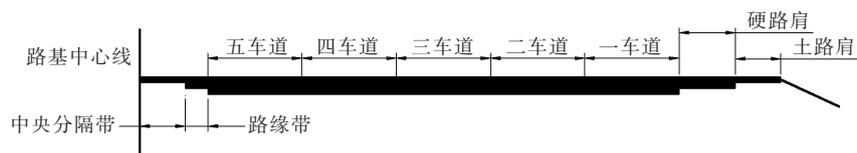


图2 客货混行整体式横断面图

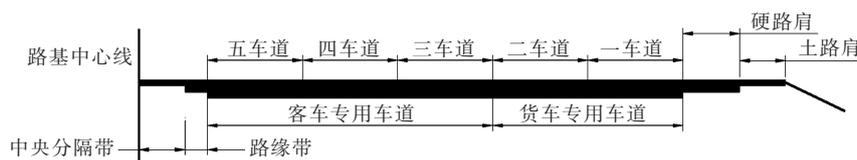


图3 客货分离整体式横断面图



图4 主辅分离式横断面图

3 结果分析

3.1 冲突数量与类型

仿真后,对交通冲突相关数据进行处理,不同断面方案冲突类型及数量和相关车型冲突数量见表1。

由表1可得:

(1) 客货混行整体式:交通冲突多发,车辆行驶

安全性较低。5条车道的交通冲突分布较为均匀,最内侧和最外侧车道上冲突数量较多,其中在一车道上发生的追尾冲突数量最多,其原因主要是匝道的分流、合流均发生在一车道,一车道的交通状况较为复杂。与此同时,大型车(货车、大客车)虽然仅为总车型的23.5%,但与大型车相关的交通冲突数却占该断面管理模式下的44.1%,反映出大型车的混入对交通冲突的发生有较大的影响。

表1 不同断面方案下冲突分布数量表

断面形式	追尾冲突分布数量							换道冲突分布数量							不同车型冲突数量		
	一车道	二车道	三车道	四车道	五车道	六车道	合计	一车道	二车道	三车道	四车道	五车道	六车道	合计	大型车	小型车	合计
客货混行整体式	41	25	14	10	24	—	114	16	11	6	14	9	—	56	75	95	170
客货分离整体式	28	18	9	5	9	—	69	7	14	5	1	18	—	45	63	51	114
主辅分离式	39	31	9	4	0	0	83	7	8	6	8	0	0	29	58	54	112

注:依据VISSIM仿真定义从车道外侧向车道内侧依次为一车道、二车道、三车道、四车道、五车道、六车道。六车道仅在“主辅分离”情况下存在。

(2) 客货分离整体式:5条车道的交通冲突数量差异较大,而且冲突主要发生在客车和货车不同分

离断面的中间车道上,其原因是客货分流时会在道路的车流交织区产生“障碍效应”,大型车体型重、车

身长,其加减速度低于小型车,而如果大型车均沿车道右侧行驶,势必导致试图进入或离开该路段的小型车驾驶人视觉和操作能力下降,从而引发追尾或换道冲突。货车道的冲突量明显大于客车道的冲突量,其中在一车道上发生的追尾冲突数量最多。通过这种将大型车与小型车分车道管理的方式,冲突数比客货混行整体式减少了33%。

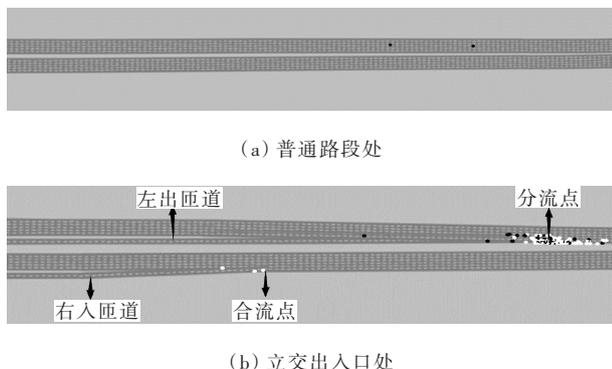
(3) 主辅分离式:交通冲突主要发生在辅路车道上,而主路车道冲突很少。其中在辅路上以追尾冲突居多,辅路一车道上发生的追尾冲突数量最多。由于辅路交通量过大和连续的出入口匝道,存在较多的追尾冲突。

3.2 冲突的纵向位置分布

为了进一步分析交通冲突特征,有针对性地预防交通冲突,有必要对交通冲突发生的纵向位置进行归类。通过SSAM软件预测出交通冲突发生的聚集位置,分别从普通路段、互通立交、车道变换处进行展开分析。

(1) 客货混行整体式

客货混行整体式冲突位置具体如图5所示。客货混行整体式中普通路段处发生交通冲突较少,部分换道冲突会发生在车道变换处。互通立交的出入口处冲突分布较为密集,且大多集中在分、合流区,即加速车道起点下游与减速车道起点上游附近。交通冲突主要集中于减速车道上游100 m范围内,这与分流车辆驶离高速公路过程中未能及时减速有很大关系,而在加速车道下游发生的交通冲突多与合流车辆强行汇入相关。



图中:白点代表追尾冲突,黑点代表换道冲突。下同。

图5 客货混行整体式冲突位置

由图5可知:交通冲突在立交处的分流点处呈现井喷式爆发,由此可见,混行方式下的左出匝道,给

车辆的行驶安全性带来了极大的挑战。经过分析,冲突的主要类型是追尾冲突,这与该立交左出口接虎门高速公路,且直行交通量与左转交通量过大有很大关系。

(2) 客货分离整体式

客货分离整体式冲突位置具体如图6所示。与客货混行断面方式相比,客货分离断面下的交通冲突存在不同。客货分离断面下的普通路段处发生交通冲突数明显多于混行方式,并且车道变换处双向十车道发生交通冲突数同样多于混行方式下的冲突数,但在立交出入口处的冲突数则明显少于混行方式下的冲突数。

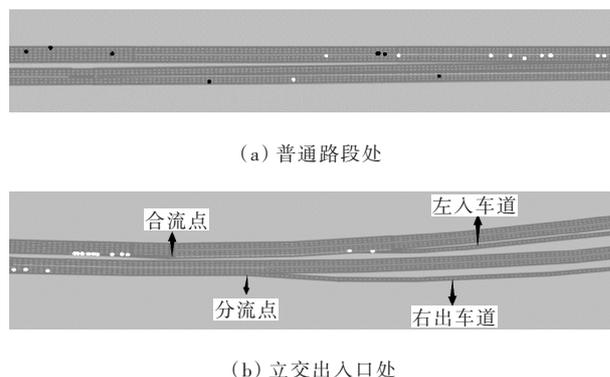


图6 客货分离整体式冲突位置

在立交出入口附近的追尾冲突较多,但是换道冲突较少,这与客货分离的车道管理方式有很大关系,虽然减少了混行情况下的换道冲突,但是由于大型车受车道限制,在有限的行驶车道上,小客车突然加、减速或者变道,极易造成大型车来不及反应,同时大型车的密集分布,造成小客车视距不足,从而引发追尾冲突,这在仿真路段的车道变换处较为明显。所以需要在路段冲突点前的适当位置设置限速标志牌以及限速标线,以提醒驾驶人,使其能够提前做出反应。

(3) 主辅分离式

主辅分离式冲突位置具体如图7所示。

对比客货分离式的交通冲突,主辅分离式下立交出入口处的交通冲突减少了,说明主辅分离式能有效提高车辆在互通立交处的行驶安全性。由图7可见:在车道转换处的交通冲突较为密集,换道冲突极易引发,说明出入口匝道及主路、辅路转换车道的合理设置对冲突数的影响较大。

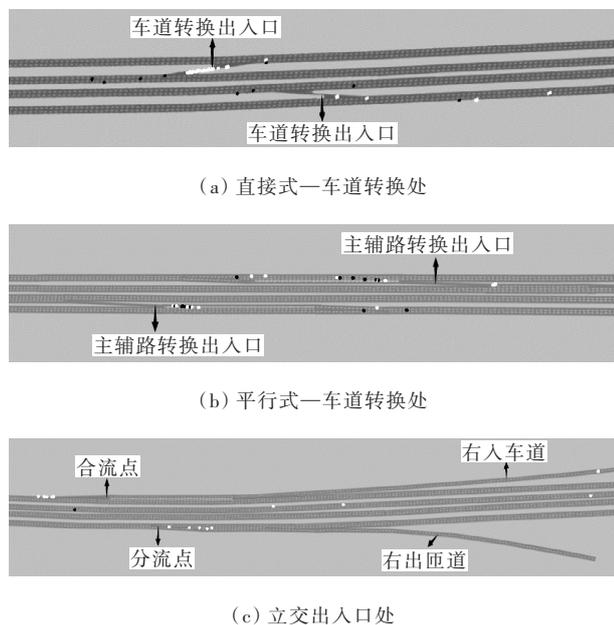


图 7 主辅分离式冲突位置

如图 7 所示,在仿真路段左线中可以看到直接式车道转换入口的换道冲突分布密集,主要是由于此处主路至辅路的交通转换未设置减速车道。将直接式转换车道更换为平行式后,交通冲突数量得到了有效控制,说明在主辅分离断面方案中需要对出入口间隔以及形式进行严谨考证,另外应提前设置标志牌告知驾驶人关于转换出入口的相关信息。

4 结论

本文以广深高速公路为例,利用 VISSIM 仿真平台,运用 SSAM 软件从交通流特征数据中提取交通冲突数据,并分别对客货混行整体式、客货分离整体式和主辅分离式 3 种多车道断面形式的冲突数量、类别、位置进行分析,得出以下主要结论:

(1) 客货混行整体式下的交通冲突最多,大型车的混入对交通冲突的发生有较大影响;客货分离整体式的冲突数量与主辅分离式较为接近。

(2) 根据交通冲突发生在道路横向位置进行分析,客货混行整体式下交通冲突主要发生在最内侧和最外侧车道上,其中在最外侧车道上发生的追尾冲突数量最多;客货分离整体式的换道冲突主要发生在客车和货车不同分离断面的中间车道上,追尾冲突主要发生在货车道上,以最外侧车道居多;主辅分离式冲突主要发生在辅路上,其中辅路最外侧车

道上发生的追尾冲突数量最多。

(3) 从交通冲突发生的纵向分布位置来看,客货混行整体式下交通冲突主要集中于出口减速车道上游 100 m 范围内,并且冲突主要类型为追尾冲突;客货分离整体式下的普通路段和车道变换处双向十车道发生交通冲突数明显多于混行方式,但在立交出入口处的冲突数则明显少于混行方式;主辅分离方式下在立交出入口处的交通冲突减少了,但在车道转换处的交通冲突较为密集,平行式转换车道比直接式转换车道的冲突数更少。

(4) 获取不同断面形式下的交通冲突的数量、形式、位置可为以后项目设计方案中交通管理、诱导措施和应急保障措施研究提供借鉴,由于交通冲突多发生于最外侧车道及交织区处,今后将对路侧及交织区的设计进行进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈波,姚红云.山区高速公路事故涉及车辆数致因分析[J].科学技术与工程,2020,20(34):14283-14288.
- [2] SUN X D, CHEN Y S, HE Y L, et al. Characteristics of traffic crashes on freeways in China: Case study of Jingjintang expressway[J]. Transportation Research Record, 2007, 2038(2038): 148-155.
- [3] 白志军,陈慧,张绍理.高速公路互通立交出入口位置行车安全性分析[J].中外公路,2015,35(5):334-337.
- [4] WANG X, HADIUZZAMAN M, QIU T Z, et al. Sensitivity analysis of freeway capacity at a complex weaving segment [C]//Cota International Conference of Transportation Professionals, 2014:596-608.
- [5] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路路线设计规范:JTG D20—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [6] 交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [7] 魏雪延,徐铖铖,王炜,等.多车道高速公路的通行能力分析 with 建模[J].交通运输系统工程与信息,2017,17(2): 105-111.
- [8] 单东辉,李国春,靳媛媛,等.基于交通冲突的客货分离式高速公路互通立交合流间距研究[J].公路,2017,62(1): 152-158.
- [9] 马艳丽,祁首铭,吴昊天,等.基于 PET 算法的匝道合流区交通冲突识别模型[J].交通运输系统工程与信息, 2018, 18(2): 142-148.