

基于机动车右转弯内轮差的交叉口慢行优化设计

鄢勇飞, 吴丹, 张灿

(武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430023)

摘要: 在机动车右转弯内轮差的形成机制及计算模型基础上, 分析设计车辆内轮差在典型车辆轴距、路缘石转弯半径情况下的变化规律。通过对非机动车道断面组合型式下机动车右转弯与非机动车、行人的冲突进行仿真分析与对比评估, 提出了相应的建议措施, 为预防交叉口右转弯事故提供设计参考。

关键词: 交叉口; 右转弯; 内轮差; 慢行交通; 冲突

中图分类号: U412.35⁺1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)02-0041-04

0 引言

城市道路平面交叉口是各种交通方式冲突最集中的区域。右转弯机动车与行人、非机动车之间的冲突易被忽视, 大型车辆在道路交叉口右转弯碾压行人、自行车或电动车骑行人员导致的伤亡事故时有发生^[1-3], 其中大货车在路口右转弯时刮蹭、碾压行人或非机动车骑行人员致死的交通事故约占30%^[4]。

大型车辆右转弯引发的交通事故给非机动车骑行人员的生命财产造成了重大损失, 诸多学者也从多方面因素开展相关研究。交通事故发生的原因与人、车、路和环境等因素相关, 主观方面有机动车驾驶员、非机动车骑行人员、行人等行为因素; 客观方面有车辆技术参数、道路条件及现场环境因素等, 机动车右转弯内轮差是影响因素之一。

范朔、李逸良等^[5-7]分析了车辆转弯内轮差的形成机理及理论计算模型和影响参数关系。熊建昌、刘佳昆等^[8-12]从减少驾驶员视觉盲区, 提出了盲区预警、障碍物检测、碰撞预警、驾驶员和车外人员辅助预警系统等辅助措施。王清洲^[4]、龙可可^[13]、白子建^[14]分析了右转弯盲区及内轮差与交叉口区域冲突原因, 提出了安全性评价方法模型及改善措施。少数城市的交管部门在交叉口地面施划了右转弯警示区, 见图1。已有研究多侧重于车辆构造设计、机动车驾驶员视觉辅助、盲区预警检测和安全评价等方面, 没有对典型设计车辆尺寸条件下机动车右转弯与不同慢行空间位置所产生的冲突情景分析, 缺少具体的交

叉口优化设计措施。

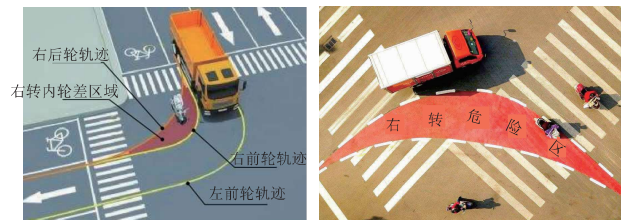


图1 车辆右转弯内轮差示意图与现实图

本文在机动车右转弯内轮差的形成机制及模型测算基础上, 分析了典型设计车辆内轮差与车辆轴距、路缘石转弯半径的变化规律, 利用仿真软件对典型非机动车道断面组合型式下机动车右转弯与非机动车、行人的冲突进行对比评估, 为交叉口慢行空间优化设计提供参考。

1 机动车右转弯内轮差

机动车在转弯行驶时, 同侧的前后车轮行驶轨迹线是不重合的, 存在一定偏差, 后轮的轨迹半径要小于前轮的轨迹半径, 它们之间的半径差即“轮差”^[6], 靠近转弯圆心的为内轮差, 前后两轮行驶轨迹形成半月形包围区域, 见图2(使用AutoTURN仿真软件模拟的双轴货车右转弯轨迹)。根据车辆构造和刚体运动学原理, 现有车辆由于存在车辆非转向轮的限制及前后车轮轴距, 车辆转弯过程中的轮差是客观存在的。

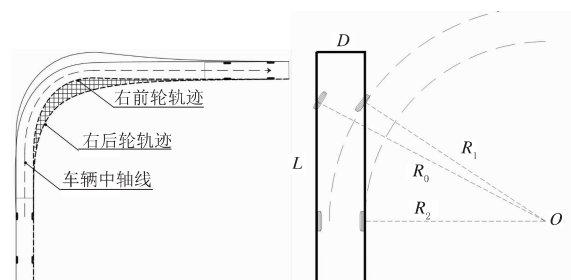


图2 内轮差计算模型图(双轴车辆右转向)

收稿日期: 2021-06-07

作者简介: 鄢勇飞(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事道路交通规划设计工作。

行驶中的轮差是动态变化的,其影响因素包括车辆前后轮轴距、轮距、转向角度等^[12]。右转弯内轮差理论计算模型见图2,由车辆刚体运动学理论及几何关系可得到:

$$R_2 = \sqrt{R_1^2 - L^2}$$

$$R = R_1 - R_2 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - L^2}$$

式中: R 为右转内轮差; R_0 为前外轮转弯半径,前轮转角达到最大值的情况下,即为车辆最小转弯半径,由设计车辆的自身动力性能参数决定(可通过车辆原地转圈近似测定); R_1 为前内轮转弯半径,是驾驶员根据路口转角情况操作方向盘转弯时的半径; R_2 为内后轮转弯半径; D 为车辆轮距; L 为车辆前后轮轴距。

2 机动车右转弯内轮差

2.1 设计车辆与转弯半径

相关规范中的城市道路设计车辆分为小客车、大型车和铰接车^[15],其相应车辆尺寸见表1。其中大型车包括“大型普通客车”和“重型普通货车”。

表1 机动车设计车辆尺寸 单位:m

车辆类型	总长	总宽	总高	前悬	轴距	后悬
小客车	6.0	1.8	2.0	0.8	3.8	1.4
大型车	12.0	2.5	4.0	1.5	6.5	4.0
铰接车	18.0	2.5	4.0	1.7	5.8+6.7	3.8

城市道路平面交叉口转角缘石半径根据右转弯设计车速确定^[16],见表2。当有非机动车道时,推荐的转弯半径可减去非机动车道及机非分隔带的宽度。

表2 平面交叉口路缘石右转弯半径

右转弯设计车速/(km·h ⁻¹)	30	25	20	15
非机动车道路缘石推荐半径/m	25	20	15	10

2.2 不同右转弯半径下的内轮差

车辆在交叉口右转弯时,驾驶员通常是参照车道路边缘石半径转弯,同时尽量避免内后轮碰撞路缘石,见图2。为便于对比分析,根据以上三种设计车辆的参数,分别计算不同交叉口路缘石转弯半径下的内轮差及其变化规律,见图3。总体上,在相同转弯半径下,小客车的内轮差要小于大型车和铰接车;随着转弯半径的增大,三种车型的内轮差都呈单调性减小。受最小转弯半径限制,三种车型限内轮差分别约为小型车1.75 m,大型车为2.5 m,铰接车为3.4 m。

小型车在转弯半径5~15 m的范围内,内轮差由1.75 m减少到0.5 m;大型车和铰接车在转弯半径10~20 m的范围内,内轮差由3.4 m减小到1.0 m。

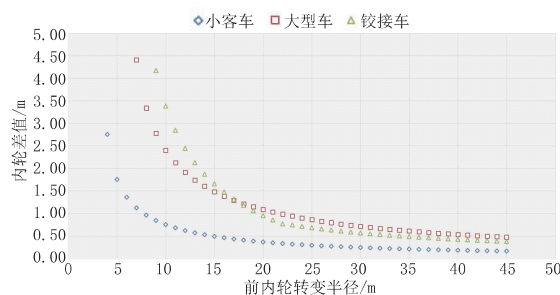


图3 按不同缘石半径右转弯时车辆内轮差变化图

当转弯半径大于25 m后,三种车型内轮差减小幅度变小并趋于稳定,大型车约为0.5~0.8 m,小客车约为0.2~0.3 m。

显然,从减小右转弯车辆内轮差的角度看,交叉口路缘石设计半径并不是越小越好,尤其是在大型车转弯需求较多的交叉口。以小型车和大型客车为主的交叉口,路缘石设计半径可取10~15 m;有大型货车通行较多交叉口,路缘石设计半径可取15~20 m。

2.3 不同轴距下的内轮差

以小型车为例,在右转弯半径分别为10 m,15 m,20 m,25 m的情况下,计算车辆在不同轴距尺寸下的内轮差变化情况,见图4。可以看出,在相同轴距下,转弯半径越小,内轮差越大。在相同转弯半径下,车辆轴距越大,内轮差越大。转弯半径越小,其对应的内轮差随轴距变化的曲线越陡,增加幅度越大。

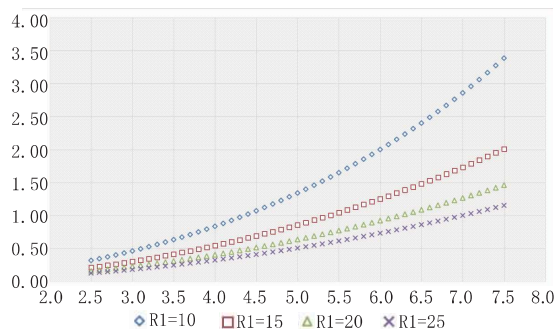


图4 不同轴距在确定转弯半径下的内轮差变化图

2.4 典型大型车右转弯内轮差分析

从与右转弯事故发生的相关车辆类型分析^[17],大型货车的事故占比达到了96%,大型客车(以公交车类为主)的占比仅约4%。

以在城市交通中通行的典型大车型为例,大货车、自卸渣土车、搅拌车和公交车尺寸见表3,分别计算在交叉口路缘石设计转弯半径下的内轮差。

可以看出,当交叉口路缘石设计转弯半径为30 m时,大型车的右转弯内轮差最小约为0.4 m;设计转弯半径为10 m时,右转弯内轮差最大可达约2.5 m。另外,公交车与大货车在轴距和转弯半径大致相同

表 3 典型大型车右转弯内轮差

单位:m

典型大型车		轴距	路缘石设计转弯半径				
			10	15	20	25	30
大货车	一汽解放 CA5310CCYP63K1L6T4E5	6.5	2.40	1.48	1.09	0.86	0.71
	福田汽车 BJ5255XXY-FA	6.1	2.08	1.30	0.95	0.76	0.63
自卸渣土车	北奔重汽 ND5250ZLJZ13	5.25	1.49	0.95	0.70	0.56	0.46
	东风自卸 DFH3250B	5.85	1.89	1.19	0.87	0.69	0.58
搅拌车	三一重工 SY412C-10S(Ⅵ)-D	4.875	1.27	0.81	0.60	0.48	0.40
	徐工 G4120V	4.85	1.25	0.81	0.60	0.47	0.39
公交车	东风扬子江 WG6121NQM4	6.2	2.15	1.34	0.99	0.78	0.65
	青年客车 JNP6120GV1	5.98	1.99	1.24	0.91	0.73	0.60

的情况下,其右转弯内轮差也基本相同,但从现有事故的统计看,与公交车相关的右转事故却远低于大货车^[17]。

3 机动车右转弯与慢行冲突分析

利用 Auto TURN 仿真软件模拟大型车辆(为便于对比分析,模拟大型车辆选取轴距 6.5 m)右转弯轨迹变化情形,分析右转弯与慢行冲突情况。

3.1 典型非机动车道断面右转弯冲突

如图 5 所示,组合(a1)为人非共板的情况下,右转非机动车与右转机动车是没有冲突的,但直行非机动车与右转机动车流线存在冲突,当机动车右转不受信号灯控制时,在机动车的右转内轮差范围内(图中斜线阴影部分,下同)易发生碰撞事故。

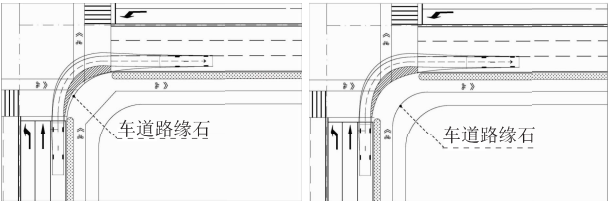


图 5 人非共板组合(左 a1)与机非共板且有物理隔离设施组合(右 a2)

组合(a2),机非共板且有机非物理隔离设施(如侧分带、栏杆或防撞墩等,下同)情况下,右转非机动车与右转机动车的冲突与组合(a1)是相同的,但直行非机动车不受路缘石高差影响,更易连续的通过路口,其与右转机动车的冲突更易发生。

如图 6 所示,组合(b1)机非混行情况下,如果机非之间没有物理隔离设施,右转机动车轨迹基本不受限制,较易偏离正常行驶车道,直行非机动车完全暴露在右转机动车的内轮差范围内。组合(b2)当机动车从有物理隔离设施道路向无隔离设施道路右转向时,机动车轨迹线在出口时宜偏向同侧的非机动车道。组合(b3)当机动车从无物理隔离设施道路向有

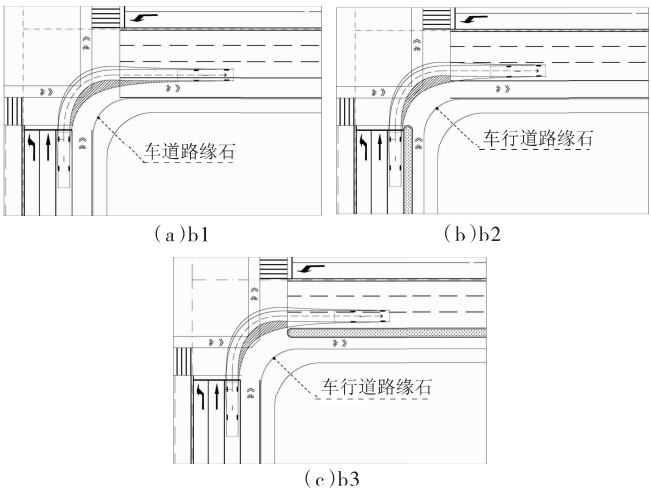


图 6 人非共板组合

隔离设施道路右转向时,为避开出口处的物理隔离设施端头,驾驶员会往左打方向盘,增大转弯半径,从而偏离同侧行驶的非机动车道,相对组合(b2)较安全。

如图 7 所示,组合(c3)为路口设置有右转导流岛时,根据规范^[16],右转专用车道曲线半径应大于 25 m,对应右转设计车速为 30 km/h。当非机动车道与右转专用道共板时,与组合(b1)的情况类似。当非机动车道与人行道共板共用时,与组合(a1)情况类似。

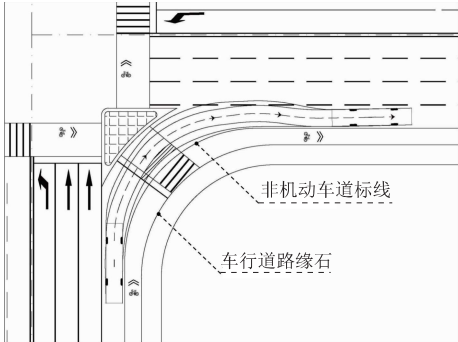


图 7 有右转安全岛的组合(c3)

根据模拟轨迹,可以分别计算上述组合形式中内轮差与慢行过街区域的重叠面积,见表 4。对比看出,交叉口有右转安全岛的内轮差重叠面积最小为 6.1 m²,

机非共板且进出口均无机非物理隔离的内轮差重叠面积最大为 31.7 m^2 ,其它情形的内轮差重叠面积基本相同约为 24.5 m^2 。

表4 慢行空间与内轮差重叠面积比较

慢行空间组合	内轮差重合面积 / m^2
组合 a1 人非共板	24.5
组合 a2 机非共板有物理隔离	24.5
组合 b1 机非共板无物理隔离	31.7
组合 b2 机非共板,进口有物理隔离	24.5
组合 b3 机非共板,出口有物理隔离	24.7
组合 c3 右转安全岛	6.1

从减少内轮差事故的角度看,交叉口慢行空间应优先考虑设置右转安全岛,其次为采用人非共板断面形式,当采用机非共板断面形式时应设置机非物理隔离设施。

3.2 慢行过街位置冲突

从图5和图6中车辆仿真轨迹可以看出,在无右转安全岛的情况下,右转机动车与行人、非机动车过街存在较大冲突。

对于有机非物理隔离设施的,可在物理隔离设施端头增设慢行过街岛,起到限制右转车辆偏移的作用,如图8和图5对比所示,但右转内轮差与慢行过街的冲突区域面积基本没有变化,只是冲突重叠面积位置更靠近路中。对于没有物理隔离设施的机非共板断面的交叉口,可将人行横道线后移适当距离,以减少与内轮差的冲突区域面积,如图9和图6(a1)对比所示,人行横道越靠近路口,其与内轮差重合面积越大。

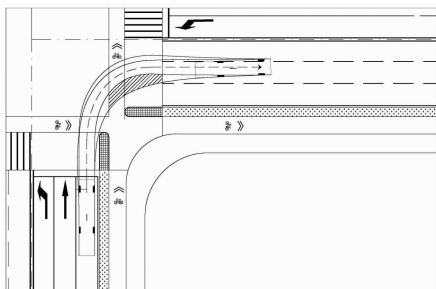


图8 在物理分隔设施端头增加慢行过街岛

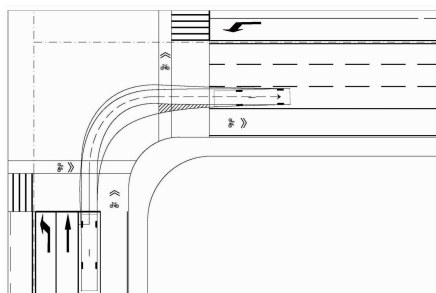


图9 人行过街位置适当后移

路口人行横道位置后移可减少右辆内轮差与行人、非机动车等待空间的冲突区域面积。增加人行过街岛,可以防止右转车辆轨迹偏向路侧慢行空间区域。但对于正在过街行进中的行人、非机动车骑行人员而言,其与不受信号灯控制的右转车辆的内轮差仍然存在较大冲突区域,同时由于行人视线是背对着右转机动车来车方向,当处于机动车驾驶员视线盲区时冲突风险更大。

4 结论与讨论

本文分析了典型设计车辆内轮差随车辆轴距、交叉口路缘石设计转弯半径的变化规律,讨论了非机动车道断面组合型式下机动车右转弯与非机动车的冲突情形,并提出了相关优化设计建议。

(1)交叉口路缘石设计半径并不是越小越好,以小型车和大型客车为主的交叉口,路缘石设计半径可取 $10 \sim 15 \text{ m}$;有大型货车通行较多交叉口,路缘石设计半径可取 $15 \sim 20 \text{ m}$ 。

(2)交叉口慢行空间应优先考虑设置右转安全岛,其次为采用人非共板断面,当采用机非共板断面时应设置机非物理隔离设施。

(3)交叉口人行横道过街位置后移,可减少右辆内轮差与行人、非机动车的轨迹冲突区域面积。

(4)大型客车与大型货车的内轮差与现有事故统计分析,表明右转弯内轮差并非导致右转弯事故的必要因素。机动车的客货外形构造、驾驶员视觉盲区动态变化、右转弯车速、非机动车骑行速度及观察视线受阻等因素的影响需要进一步研究。

(5)目前普遍认为,交叉口采用小半径路缘石有利于增加慢行等待空间,减少慢行过街距离;但小半径也会导致右转机动车的内轮差增加,从而增加与行人、非机动车的剐蹭碾压风险,如何平衡还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 搜狐.上海市浦东新区1人死亡惨烈事故解析:全因肇事大货车突然右转弯[EB/OL].https://www.sohu.com/a/412873277_120709904.
- [2] 腾讯网.保定一大货车右转刮倒直行电动车,男子被碾压身亡 交警就在旁边[EB/OL].<https://new.qq.com/omn/20200731/20200731A0SV0800.html>.
- [3] 黄顺钰,李贵锋.深圳一电动车进入货车右转弯盲区,结果驾驶员不幸被碾压身亡![EB/OL].<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1685773058573593734&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 王清洲,徐令选,范鑫,等.货车右转视线盲区形成机制及交叉口安全性研究[J].中国安全科学学报,2017,27(5):99-104.
- [5] 范朔.车辆内轮差问题的优化分析[J].科技视界,2016(9):32-34.

(下转第53页)

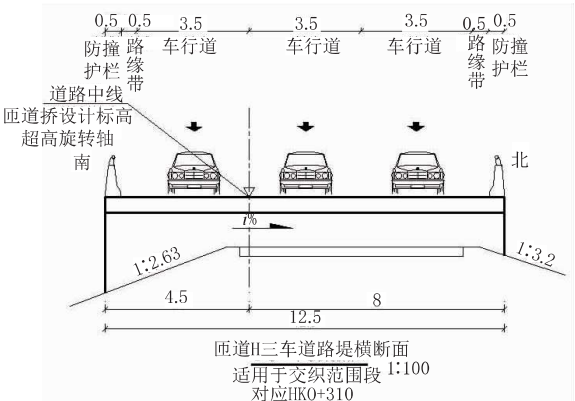


图6 H匝道双三车道断面图(单位:m)

通闸为Ⅰ级水工建筑物,结构安全等级为Ⅰ级,设计使用年限为100a,闸口设计水位为28.24m。图7为

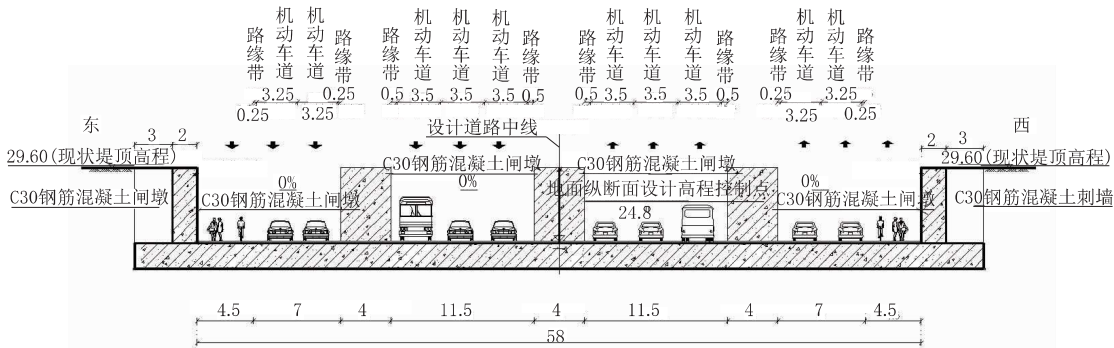


图7 交通闸处断面图(单位:m)



图8 姑嫂树交通闸建成后实景

6 结 语

近些年,武汉的总体城市建设不断提升,建设范围不断扩张,前期受堤防、拆迁等因素的制约,部分

交通闸处断面图。

H匝道对跨越张公堤姑嫂树路交通闸进行拆除扩建,采用桥梁段与新建闸口合并设计,扩建后闸口总宽度58m,分为4孔,孔口宽度均为11.5m。闸门采用人字形闸门,闸门具有单向止水功能,采用人工辅以手动葫芦驱动启闭。为减少桥梁上部荷载对防洪闸的影响和防洪中闸门关闭的方便性,上部采用4跨15.66m的简支钢箱梁跨越;桥墩及基础兼顾了桥梁下部结构传力、闸门打开收拢和结构自身防洪的功能,是采用桥闸合一形式共建结构的典型,也是既有张公堤上行洪、交通、荷载量最大的一座交通闸。图8为姑嫂树交通闸建成后实景。

遗留的立交匝道、断头路等问题逐渐凸显,导致骨架道路及节点的早晚高峰拥堵不堪。城市建设者从节点优化、建设方式优化等方面对立交节点进行微改造,打通难啃的“硬骨头”,完善立交功能,满足市民更快更方便的出行需求。

参考文献:

[1] CJJ 152—2010,城市道路交叉口设计规程[S].
[2] 武汉市政府.武汉市建设工程规划管理技术规定[Z].武汉:武汉市政府,2014.
[3] CJJ 129—2009,城市快速路设计规程[S].

(上接第44页)

[6] 李逸良,邱信明.车辆转弯时内轮差的运动学理论模型[J].力学与实践,2017(39):94-99.
[7] 褚正清,刘家保,宋星.货车右转弯内轮差的建模研究[J].河北北方学院学报(自然科学版),2015,31(5):49-52.
[8] 熊建昌,肖悦,项郑壘,等.一种大型车辆驾驶盲区实时监测报警装置设计[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2017,35(9):835-842.
[9] 刘佳昆,韩印,姬玉乐.面向右转内轮差的大货车交叉口与非机动车的碰撞预警模型[J].物流科技,2020(3):95-98.
[10] 葛如海,洪志福.大型车辆右侧盲区碰撞预警方法研究[J].重庆理工大学学报(自然科学),2016,30(10):1.
[12] 周明,李平飞,刘娜.重型货车右转弯事故的原因分析与对策研究[J].汽车实用技术,2017(9):84-87.
[13] 龙可可,杨晓光,江泽浩.信号控制交叉口右转弯区域机非冲突消除方法[C]//第十四届中国智能交通年会论文集,2020.
[14] 白子建,王晓华,赵巍.车辆转弯轮差对交叉口缘石设计的影响研究[J].特种结构,2020(增刊):117-120.
[15] CJJ 30—2012,城市道路工程设计规范(2016版)[S].
[16] CJJ 152—2010,城市道路交叉口设计规程[S].
[17] 徐令选.大型车右转弯盲区形成机理及防治措施研究[D].石家庄:河北工业大学,2017.