

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.04.056

道路分隔栏的安全性能评价研究

龚帅,刘思源,闫书明

(北京华路安交通科技有限公司,北京市 100070)

摘要:通过对道路分隔栏的实际应用情况与车辆碰撞事故特征分析,在借鉴国内外相关规范的基础上,从碰撞车型、碰撞质量、碰撞速度、碰撞角度、碰撞点位置等因素出发,结合分隔栏事故特征和车辆乘员安全指标,研究确定了道路分隔栏的碰撞试验参数与安全性能评价标准,并利用该试验参数和评价标准,通过有限元仿真技术手段对目前常见的道路分隔栏结构进行了安全性能评价。研究表明:在车辆碰撞分隔栏的事故中,事故车辆主要为小型客车,且分隔栏杆侵入乘员舱造成人员伤害的案例较多,而其他类型伤害较少,因此分隔栏在实际使用中应主要考察车辆碰撞时分隔栏及其构件因为刺入乘员舱对乘员伤害的可能;在1.5 t小客车以60 km/h速度正碰条件下,某常用道路分隔栏的横向杆件侵入了车辆乘员舱,其安全性能不满足评价标准要求。研究成果为道路分隔栏安全性能评价标准的制定提供了一定借鉴作用。

关键词:交通运输工程;道路分隔栏;碰撞试验参数;安全性能;评价标准

中图分类号:U491.5

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2024)04-0238-04

0 引言

分隔栏是一种重要的道路交通安全设施,广泛应用于低等级公路及城镇路段,发挥隔离交通的作用。常见的分隔栏结构多由竖向杆件和横向杆件组合而成。目前关于道路分隔栏的标准主要是指导和规范其生产和应用,缺少对分隔栏结构的安全性能评价标准。通过调查,由于分隔栏结构设计不合理,且针对《交通分隔栏》(JT/T 1033—2016)关于“分隔栏应采取技术措施,避免车辆碰撞后分隔栏构件刺穿车辆导致的人身伤害”的规定尚未有相应的检评标准,导致分隔栏对人员伤害事故较为突出。现结合道路实际情况,研究提出分隔栏的安全性能评价标准,有助于提高道路交通安全水平。

目前对于道路分隔栏安全评价的研究涉及较少,李闯民^[1]从试验车型、车辆总质量、撞击速度、撞击角度、试验护栏设置长度等因素出发,结合事故特征与乘员安全指标,提出隔离护栏在碰撞参数下的安全性评价标准,使护栏整体评价标准得到进一步地完善。但是研究针对的隔离护栏属于公路养护作业时用到的临时护栏,其试验参数、安全指标均与道路分隔栏的要求相差较大。邵静静^[2]对碰撞中分隔栏形成薄壁长管结构穿透车灯及损伤乘员情况进行

了分析,但是未对分隔栏安全评价的试验参数与性能指标进行研究。随着国内道路里程和汽车保有量的不断增加,对分隔栏的使用需求将逐渐增加,若不能弥补分隔栏安全标准研究的不足,未来在分隔栏的应用过程中仍易引发交通安全问题,造成严重事故损失。因此,在分析道路分隔栏交通事故特征的基础上,有必要进一步研究给出分隔栏的试验碰撞参数与评价标准,为道路分隔栏的研制提供理论依据。

1 分隔栏的交通事故调研

通过对道路分隔栏的车辆碰撞事故进行调研发现,目前绝大部分的分隔栏对于车辆仅能起到隔离作用,并不具备安全防护能力,且其杆件极易刺穿车体对乘员形成二次伤害,存在安全隐患。如表1所列,在车辆碰撞分隔栏的交通事故中,事故车型以小客车为主,碰撞发生在分隔栏标准段或端部,事故形态包括:车辆碰撞分隔栏后,穿越栏杆与对向车相撞,发生二次事故,造成伤亡损失,见图1(a);车辆碰撞分隔栏后,栏杆构件刺穿车体,伤害乘员或车辆,见图1(b);最先受到车辆碰撞的分隔栏变形破坏严重,断裂多发生在纵向连接处,受到撞击发生倾覆的分隔栏长度范围约20~30 m,见图1(c)。

2 分隔栏的碰撞试验参数

碰撞试验参数是道路分隔栏安全性能评价的基础,主要包含碰撞车型及质量、碰撞速度、碰撞角度和

收稿日期:2023-04-13

作者简介:龚帅(1989—),男,硕士,工程师,从事交通工程设计与公路交通安全防护设施仿真与试验研究工作。

表1 道路分隔栏杆事故一览表

序号	省份	起数	事故车型	碰撞点位	事故形态	伤亡统计
1	北京	6	小客车、大客车			2死10伤
2	辽宁	2	小客车			1死
3	四川	9	小客车			3死5伤
4	江苏	6	小客车			3死13伤
5	江西	3	小客车、面包车		1. 车辆穿越分隔栏后与对向车辆相撞;	1伤
6	广西	8	小客车、微型面包车		2. 车辆被分隔栏的结构件刺穿;	1死2伤
7	福建	5	小客车	1. 碰撞分隔栏标准段;	3. 最先受撞击的分隔栏变形破坏严重, 断裂多发生在纵向连接处, 受到撞击发生倾覆的分隔栏长度范围约20 m~30 m	1死1伤
8	河南	7	小客车	2. 碰撞分隔栏端部		3人受伤
9	广东	3	小客车			2人受伤
10	山东	7	小客车、面包车			3死4伤
11	浙江	5	小客车			6伤
12	上海	4	小客车、面包车			1伤
13	陕西	8	小客车、面包车			7伤
14	湖北	5	小客车			1死



图1 道路分隔栏车辆碰撞事故形态之实景

碰撞点位置。现基于分隔栏的交通事故调研与国内外相关规范,分析确定道路分隔栏的碰撞试验参数。

2.1 碰撞车型及质量

根据相关道路交通事故调查资料,车辆碰撞分隔栏的事故车型多为小型客车,同时与大中型车辆相比,小型客车由于行驶速度较快和重量较轻,碰撞道路分隔栏时对车辆冲击伤害更严重,且由于小型客车乘员舱座椅较矮,分隔栏构件插入车体时更容易对驾乘人员造成直接伤害(见图2)。因此,道路分隔栏的试验碰撞车型选取小型客车。实车碰撞试验表明,试验车辆的总质量等技术参数会对碰撞结果有一定影响。为保证实车碰撞试验结果具有一致性及可重复性,国外标准《道路防护系统》(简称欧盟EN1317)与《安全设施评价手册》(简称美国MASH)均对试验车型的总质量等主要技术参数提出明确要

求^[3-5]。根据我国现行《中国汽车车型手册》中小型客车产品技术参数,并参考国外标准,选取小型客车碰撞质量为1.5 t,同时其它主要技术参数及允许误差应符合有关标准的规定^[6]。



图2 分隔栏构件插入车体时易对乘员形成直接伤害之实景

2.2 碰撞速度

道路分隔栏主要应用于低等级公路及城镇路段。这些路段设计速度一般为80 km/h、60 km/h、40 km/h、30 km/h和20 km/h。通过调查,低等级公路及城镇路段设计速度小于等于60 km/h较为普遍,并且考虑到低等级公路及城镇路段车流量较大、车速较低和混合交通复杂等特点,设计中最关注分隔栏及构件是否侵入和对周边交通、行人安全影响的问题,对分隔栏按照速度能量分级的需求不突出,因此为便于统一评价尺度和设计人员使用,将碰撞速度确定为一档60 km/h。

2.3 碰撞角度

分隔栏作为低等级公路及城镇路段主要隔离设施,由于这类道路平交口较多,分隔栏需要断开的位置也较多。根据事故调研,车辆碰撞道路分隔栏的事故中,除了车辆侧碰分隔栏事故,还有不少正面碰撞分隔栏端部事故,且该类事故由于碰撞冲击力更大、分隔栏构件更易插入车体,因此危险性更高。为更好地保障车辆碰撞分隔栏安全性能,碰撞角度的确定

应充分考虑侧碰和正碰两种情形。对于侧碰碰撞角度的选取,考虑到分隔栏的定位是隔离设施,并不具有常规护栏防撞功能,因此借鉴国外低等级隔离护栏的碰撞角度,如表2所列,欧盟EN1317中TB21级和TB22级护栏的碰撞角度分别为8°与15°,从较不利原则出发,道路分隔栏的侧碰碰撞角度选取15°。

表2 欧盟EN1317标准中低等级护栏的碰撞角度等试验参数表

防护等级	碰撞车型	碰撞角度 / (°)	碰撞速度 / (km·h ⁻¹)	车辆质量 / kg	防护能量 / kJ
TB21	小客车	8	80	1 300	6.2
TB22	小客车	15	80	1 300	21.5

2.4 碰撞点位置

在车辆碰撞道路分隔栏的事故中,主要以车辆碰撞分隔栏端部和标准段的案例为主。因此对于分隔栏设施的标准段及端头部分,采用小型客车碰撞以验证其在车辆碰撞过程中构件对人员安全的影响。如图3所示,正碰的碰撞点位置位于车辆中心线正对分隔栏杆前端中点处,侧碰的碰撞点位置位于沿碰撞车辆行车方向距离分隔栏杆标准段起点1/2长度处。

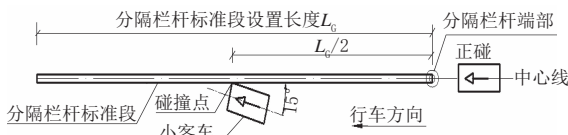


图3 道路分隔栏的碰撞点位置图

3 分隔栏的评价标准

评价标准是确定道路交通防护设施安全性能的重要依据。道路分隔栏与护栏的功能定位虽然有所不同,但是通过保护车辆和乘员以减小事故严重性的安全目标是一致的。因此,护栏的安全性能评价标准对于分隔栏评价标准的确定具有一定借鉴意义。

我国《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01-2013)中对护栏的安全性能指标进行了明确规定。其中阻挡功能第一条要求护栏应能够阻挡车辆穿越、翻越和骑跨;第二条要求护栏构件及脱离件不得侵入车辆乘员舱。对于第一条主要着眼于对车辆的拦截,对于第二条主要着眼于对车辆乘员的保护,这是由于车辆碰撞护栏过程中,若有护栏构件及脱离件侵入乘员舱将严重威胁车内乘员的安全。导向功能第一条要求车辆碰撞不得发生翻车,该条着眼于对车辆和乘员的保护,第二条要求车辆驶出驶离点后的轮迹满足导向驶出框要求,该条着眼于事故车辆对相邻车道正常行驶车辆的影响。缓冲功能给

出了量化指标,其中第一条要求车辆撞击护栏乘员碰撞速度的纵向分量和横向分量都不应大于12 m/s,第二条要求乘员碰撞后加速度的纵向分量和横向分量都不应大于200 m/s²。

与车撞护栏的事故伤害情况有所不同,在车辆碰撞分隔栏的事故中,分隔栏杆侵入乘员舱造成的人员伤害的案例较多,其他类型伤害较少,且分隔栏作为隔离设施不具有护栏等安全设施的性能。因此,分隔栏在实际使用中主要考察车辆碰撞时分隔栏及其构件因为刺入乘员舱对乘员伤害的可能,评价标准为:防侵入性能应满足交通分隔栏构件及其脱离件不侵入车辆乘员舱。

4 分隔栏安全性能评价实例

根据前面确定的分隔栏的碰撞试验参数(见表3),参考我国小型客车结构特点,按照《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)等相关规范对车辆参数的要求,建立小型客车有限元仿真模型,包含正面碰撞和侧面碰撞分隔栏两组(见图4),车辆结构参数如表4所列,车身结构主要为金属板壳,采用壳单元进行模拟,车身各部分主要采用刚性或可变形单元模拟点焊进行连接,整车模型由大约4万个单元组成,车轮胎压取0.3 MPa,采用基于惩罚函数法的 Automatic_Single_Surface 方式定义车辆与分隔栏的接触。车辆模型的有效性已经过了多次系统地验证^[7-9],其碰撞护栏过程中驶出角度仿真误差仅为6.1%,车体重心处X、Y、Z三个方向的加速度仿真误差分别仅为6.3%、3.6%和5.8%,且车辆变形破坏情况仿真与试验结果基本一致,验证了该模型的准确性与可靠性。

表3 碰撞试验参数表

碰撞类型	碰撞车型	碰撞质量 / t	碰撞速度 / (km·h ⁻¹)	碰撞角度 / (°)
正碰	小客车	1.5	60	0
侧碰		1.5	60	15

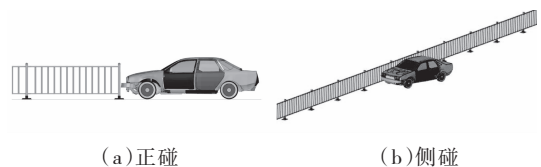


图4 小客车碰撞分隔栏杆有限元模型

图5为小型客车正碰分隔栏杆仿真计算结果,可见车辆碰撞分隔栏杆后,其横向杆件插入车体,侵入了车辆乘员舱;图6为小型客车侧碰分隔栏杆仿

表4 车辆模型结构参数表

车辆参数	小客车数值	
车总质量/t	1.5	
车辆总长/mm	4 338	
车辆总宽/mm	1 679	
前轮轮距/mm	1 440	
轴距/mm	2 642	
车轮半径/mm	303	
车辆重心位置	距前轴距离/mm	1 195
	距对称轴距离/mm	8(偏向行车方向左侧)
	距地面距离/mm	511

真计算结果,可见车辆碰撞分隔栏杆后,分隔栏杆构件及其脱离件未侵入车辆乘员舱。综上分析,可见该道路分隔栏的安全性能不满足评价标准要求。

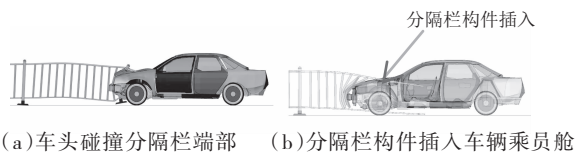


图5 小客车正碰分隔栏杆过程图示

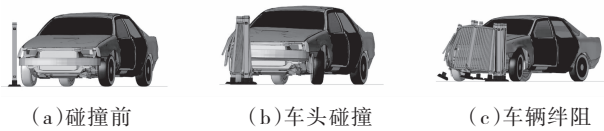


图6 小客车侧碰分隔栏杆过程图示

5 结语

通过对道路分隔栏的实际应用情况与车辆碰撞事故特征分析,在车辆碰撞分隔栏的事故中,事故车辆主要为小型客车,且分隔栏杆侵入乘员舱造成人员伤害的案例较多,而其他类型伤害较少。在借鉴国内外相关规范的基础上,从碰撞车型及质量、碰撞速度、碰撞角度、碰撞点位置等因素出发,结合分隔栏

事故特征和车辆乘员安全指标,给出了道路分隔栏的碰撞试验参数与安全性能评价标准。碰撞试验参数包含:1.5 t小客车以60 km/h碰撞速度正碰分隔栏端部(碰撞角度0°)、1.5 t小客车以60 km/h碰撞速度侧碰分隔栏标准段中点(碰撞角度15°),评价标准要求分隔栏防侵入性能应满足分隔栏构件及其脱离件不侵入车辆乘员舱。通过经试验验证的有限元仿真模型对目前常见的道路分隔栏结构进行安全性能评价,车辆正碰分隔栏端部时,其横向杆件易插入乘员舱,安全性能不满足评价标准要求。

此研究成果为道路分隔栏安全性能评价标准的制定提供了一定借鉴作用。

参考文献:

[1] 李闯民,王凯,甘新众,等.隔离护栏的碰撞试验条件及其标准研究[J].中外公路,2022,42(3):267-271.

[2] 邵静静.基于碰撞隔离护栏形成薄壁长管结构对车灯及乘员下肢损伤的研究[D].青岛理工大学,2019.

[3] Ronspies K, Stolle C, Faller R, et al. Recommended Test Vehicle Update for Manual for Assessing Safety Hardware [J]. Transportation Research Record, 2021, 2675(3):98-111.

[4] AASHTO MASH-2016, Manual for Assessing Safety Hardware (Second Edition)[S].

[5] UNE-EN 1317-2-2011, Road restraint systems - Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets[S].

[6] JTG B05-01-2013, 公路护栏安全性能评价标准[S].

[7] 龚帅,张文豪,刘航,等.既有旧桥梁组合式护栏事故分析与解决方案[J].公路工程,2020,45(6):243-249.

[8] 龚帅,刘航,邓宝,等.在役旧桥梁组合式护栏升级改造研究[J].中外公路,2021,41(1):314-318.

[9] 龚帅,仝瑞金,高建雨,等.F型混凝土护栏坡面参数对安全性的影响[J].广东公路交通,2019,45(5):174-178.

(上接第237页)

[3] 车铁成,龚洪苇,简波,等.基于 UDEC 的桥基顺层边坡稳定性数值模拟分析[J].四川建筑,2022,42(1):142-145.

[4] 李剑伟,何勇,杨培果,等.某砂泥岩互层缓倾长大顺层边坡稳定性分析[J].水运工程,2023,605(S1):143-149.

[5] 吴朋宇,张志红,戴福初,等.顺层岩质边坡溃屈变形机制及失稳判定方法[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(2):517-525.

[6] 谭明健,周春梅,孙东,等.软硬互层顺层岩质边坡破坏试验[J].地质科技通报,2022,41(2):274-281,324.

[7] 冯炜,张菊锋.基于极限平衡法的某边坡稳定性分析与抗滑桩支护

[J].四川建筑,2020,40(6):134-136.

[8] 钟皓,梅志远,张志强.基于复合钢筋杆支护边坡工程的稳定性分析[J].四川建筑,2022,42(6):161-165.

[9] 史彧,李兴华,赵瑞欣,等.顺层岩质边坡锚索锚固参数与优化设计分析[J].公路,2022,67(10):1-8.

[10] 许明,余小越,赵元平,等.顺层状碎裂结构岩质边坡地震动力响应及破坏模式分析[J].岩土力学,2023,44(2):362-372.

[11] 张爱社,祝介旺,高翠兰,等.顺层岩质边坡锚杆拉剪作用力学性能[J].地球科学,2022,47(12):4574-4582.