

隔离护栏的碰撞试验条件及其标准研究

李闯民¹, 王凯¹, 甘新众², 刘群艳²

(1. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410114; 2. 宜春市公路管理局, 江西 宜春 337000)

摘要:由于养护作业的临时性质,传统的永久性护栏不能发挥作用,因此,隔离护栏在公路养护作业中应用广泛。但中国并未给出用于隔离护栏的安全性评价标准,导致对隔离护栏的研究停滞不前。该文通过对中国公路养护作业中隔离护栏的实际应用情况分析,在借鉴美国国家高速公路和交通运输协会(AASHTO)给出的MASH(Manual for Assessing Safety Hardware)规范的基础上,从碰撞试验车型、车辆总质量、碰撞速度、碰撞角度、试验设置长度等因素出发,结合交通事故多发性特征与车辆乘客安全指标,提出隔离护栏在碰撞条件下的安全性评价规范。

关键词:隔离护栏;碰撞安全性;试验条件;评价标准

中图分类号: U417.1+2

文献标志码: A

隔离护栏是一种临时道路交通安全设施,又称作临时护栏,其适用场景主要为公路养护作业,通过对施工区域进行围挡起到安全保障作用,待养护作业完成后拆除。隔离护栏组装方便,通常以相同型号单元框架相互连接,其长度短时仅有百米,长时可达数十公里。因此隔离护栏不仅需要较好的耐冲击性,同样应具有拆装简易、运输便捷、成本低廉的特征。这样在确保失控车辆不会伤及施工人员及设备的同时,也能进一步缩短养护作业的辅助工期,以提高高速公路安全施工与养护运营效率。

隔离护栏最早在西方国家形成科学标准体系,美国在1993年颁布的NCHRP 350标准中最早成体系地提出隔离护栏的碰撞安全标准^[1];到2009年,美国国家高速公路和交通运输协会(AASHTO)基于原有研究基础,发布了《Manual for Assessing Safety Hardware》(简称MASH)。在此次更新中,基于新的行驶车辆数据,对原有规范中的碰撞条件与安全性评价指标进行验算,并提出新的指标取值,即增大碰撞角度、增加试验车辆荷载,使隔离护栏防护等级得到进一步的提高^[2]。目前,美国高速公路运营养护中使用的Orion、BarrierGuard 800钢质隔离护栏防撞性能远超MASH规范要求^[3]。在中国交通事故高发的形势下,相关部门对交通安全设施的评定标准一直在进行研究,已有研究侧重于永久性的桥梁护栏以及公路路基护栏,且实际应用十分成功,但随着交通量的增大,对

一般公路的隔离护栏研究成为当下的热点^[4-5]。文献[6]从防撞能力、机动性两方面,对中央分隔带下设置的开口型护栏进行研究,使开口护栏整体评价指标得到进一步的完善,但开口护栏实际使用长度较短,其试验条件与隔离护栏的长度要求相差较大;文献[7]对隔离护栏的设置标准进行了初步探讨,但研究范围较广、缺少一定的针对性。一方面,中国汽车产销量常年位居世界第一,人均汽车持有量稳步上升;另一方面,中国公路基础设施建设成绩斐然,截至2019年,中国高速公路及公路总里程分别超过14.26万km与486.65万km,均为世界第一^[8]。但美国与印度国土人均公路拥有量依然远超中国,因此公路基础建设依然是未来较长时间的国家政策侧重点,伴随着大量新建与改扩建道路项目的施工,对隔离护栏的需求将逐渐增加。倘若隔离护栏安全标准研究不充分,则极易引发交通安全问题,造成人身财产损失。因此,该文基于施工全过程交通事故特点,将隔离护栏的碰撞条件与评价标准作为研究内容,以期对新型隔离护栏的研制提供理论依据。

1 养护作业区的交通事故特征

交通事故是公害。公路护栏等抗撞结构,因能防止车辆冲出路外或闯入对向车道、遏制恶性事故,被称为乘员的“最后一条安全带”^[9-10]。但在公路养护作业区,由于养护作业的临时性质,传统的永久性护栏不

能发挥作用,且在不中断交通运行的情况下,需要占用其他车道进行施工,使驾驶环境发生突变,形成安全隐患^[1]。此时,失控车辆对养护作业人员生命财产的安全构成了巨大威胁,特别是在高速公路及高等级公路的养护作业路段,由于车速高、车流量大,一旦安全防护不到位,事故后果将更加严重。目前,中国对公路养护作业区域的隔离,大多通过设置临时挡板、水马等不具备防撞能力的警示性设施,实现对养护作业人员的隔离与对车流的疏导,对公路养护作业区域的这种隔离方式,不能有效防护养护作业人员生命财产的安全,国外早已不再采用,随着中国综合国力的不断增长,人民对美好生活的向往日益强烈,保障养护作业人员生命财产安全已刻不容缓。

由于养护作业区本身就是道路的一部分,对养护作业区的围护,将占据必要的行车空间,实际上是缩小了原有道路的行车空间,使流畅的道路变成了宽窄不均的崎岖道路,此时,在道路宽窄变化的过渡区域,一旦发生交通事故,则失控车辆撞击护栏的撞击角度将明显加大,这是隔离护栏与永久性护栏设计所不同的一个重要方面。此外,在养护作业区,由于车辆可用的行车道的宽度减少,而且通常会比正常车道宽度减少很多,此时,车体宽度大的大型车辆如大客车、大型货车等的行车速度会更低,车体宽度小的乘用车、小型载货汽车(皮卡)等的行车速度虽然也会下降,但其下降幅度将明显小于大型车辆的下降幅度,即小型车辆与大型车辆的行车速度差将进一步拉大,或者说,在道路宽窄变化的过渡区域,小型车辆更加具备超越大型车辆的相对行车速度,超越大型车辆、快速驶离养护作业区将成为小车司机的心里常态,相应地,小型车辆成为肇事车辆的概率将大幅提升,这是隔离护栏与永久性护栏设计所不同的另一个重要方面。

2 隔离护栏的试验条件

2.1 试验车辆与碰撞条件

中国的高速公路通车里程虽然已经是世界第一,但中国的公路总里程还只有 480 万 km,中国公路建设的任务仍然艰巨。现行标准对护栏的试验条件进行了规定,但未涉及隔离护栏。美国有 655 万 km 公路,养护作业任务繁重,为此,美国交通运输管养部门提出“长寿命路面”这一概念,路面的价值在于路面质量,通过提升路面使用年限、改进路面综合性能、增强驾驶安全水平以及优化用户体验,结合“全面性、良好经济性、

全路网覆盖、长期有效运营”的道路管养行为,进行路面保值进而构筑长寿命路面。因此,美国对道路的养护作业非常重视,通常在路面尚未产生病害时进行提前养护作业,即在预期时间与预期性能的路面上,采取对应技术等级的养护作业方式。但路面的预防性养护工作需要大量的前期调查工作,例如对现有路况评定并对病害进行区分,以及对识别的隐性病害在表面处治前进行修复。为了适应频繁的养护作业需要,美国在 MASH 规范中,对隔离护栏,共约定了 6 个碰撞试验条件,与之对应的是隔离护栏的 3 个防撞等级,TL-1、TL-2、TL-3,具体见表 1。

表 1 美国在 MASH 规范中规定的试验条件

防护等级	试验车型	车辆总质量/kg	碰撞速度/ (km·h ⁻¹)	碰撞角度/(°)
TL-1	乘用车	1 100	50	25
	皮卡	2 270		
TL-2	乘用车	1 100	70	
	皮卡	2 270		
TL-3	乘用车	1 100	100	
	皮卡	2 270		

中国的国情与美国不同,中国道路上运营车辆的构成比例与美国的情况也有差异,随着中国经济社会的快速发展,道路上运营车辆的构成比例的差异正在迅速缩小,据国家统计局统计数据可知:目前中国机动车保有量累计达 2.4 亿辆,其中 83.92% 的车辆为中小型车辆(图 1),这种中小型车辆占主导地位的状况与美国的情况越来越具有可比性,因此,参照美国 MASH 规范来确定中国的隔离护栏试验条件,符合中国道路上运营车辆构成比例这一特征,于是,参考表 1 的规定,结合公路养护作业区域的交通事故特征,中国隔离护栏的试验车型确定为小型乘用车和小型载货汽车(皮卡)是合适的,这样,只需对表 1 的车辆总质量进行规整,即可得到隔离护栏的碰撞试验条件(表 2)。

2.2 隔离护栏的试验长度

隔离护栏的总长从数百米至数公里甚至数十公里不等,但汽车撞击隔离护栏时,隔离护栏的受撞击区域是有限的,因此,碰撞试验只需要取其中一部分长度即可,没有必要按实际总长进行试验,根据 MASH 规范,对标准段而言,刚性隔离护栏的试验长度应≥23 m,半刚性隔离护栏的试验长度应≥30 m;但从

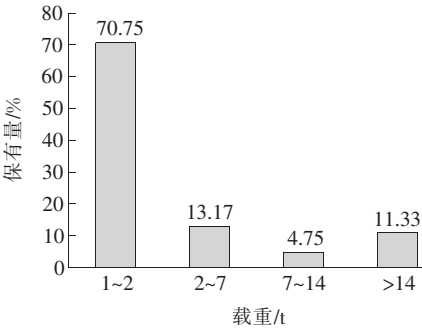


图1 机动车保有量

表2 中国隔离护栏的碰撞试验条件

防护等级	试验车型	车辆 总质量/t	碰撞速度/ (km·h ⁻¹)	碰撞角度/ (°)
1	乘用车	1.1	50	25
	皮卡车	2.3		
2	乘用车	1.1	70	
	皮卡车	2.3		
3	乘用车	1.1	100	
	皮卡车	2.3		

Orion、BarrierGuard 800 等隔离护栏的实际碰撞试验情况看,其碰撞试验长度一般为 50~60 m。考虑到实际应用中的隔离护栏,其真实长度各不相同,因此,兼顾 MASH 规范、实际应用中的隔离护栏长度、Orion、BarrierGuard 800 等隔离护栏的实际碰撞试验情况,隔离护栏的试验长度可按下列方式确定:① 当实际应用中的隔离护栏长度≥60 m 时,其试验长度考虑 60 m 比较合适;② 当实际应用中的隔离护栏长度≤60 m 时,其试验长度采用隔离护栏的实际长度且不低于 30 m 比较合适。

3 隔离护栏的评价标准

评价标准是确定隔离护栏安全防护效能的依据,是引导隔离护栏产品研发的指南针。就护栏的防撞能力而言,通常采取定性与定量评价相结合的方式进行,在这一点上中国规范与 MASH 规范具有一致性。但 MASH 规范侧重于隔离护栏,故对永久护栏与临时护栏之间的区别给予了充分考虑,具有重要借鉴意义。

3.1 定性指标

定性指标是指由于缺少直接测定所需数据的技术手段,而通过间接测定进行评估的评价指标。通常先

对测定实物进行模糊性评价,再对相关因素进行量化取值。这一方法的缺点是评价价值因自身主观判断导致定性指标的可区分性与可信度较低,从而影响评价的客观公正。为此,参考 MASH 规范及 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》^[12],制定如下隔离护栏的定性指标:

(1) 无论是隔离护栏还是永久性护栏,阻挡失控车辆穿越,以遏制恶性事故,同时对失控车辆进行导向,以使其返回正确行驶路径,避免占据相邻车道,以避免二次事故,都是必须具备的基本功能,因此,在对隔离护栏的碰撞试验中,就得确保不会发生车辆横转、调头、骑跨护栏等现象。

(2) 保护车内乘员生命安全始终是护栏的主要职责之一,无论是隔离护栏还是永久性护栏,概不例外,因此,在对隔离护栏进行碰撞测试时,隔离护栏上的部件、脱落件以及完全粉碎片状物等不得进入车辆乘坐室内部,以防止车内乘员受到伤害。

(3) 针对碰撞试验中,失控车辆在隔离护栏作用下导向成功时,驶离护栏瞬时时间难以记录,以及驶离护栏后的车辆运行轮迹需要专业记录设备的试验困难时,借鉴 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》对永久性护栏的评价方法,采用导向驶出框对驶离车辆进行评价将是一个不错的方法:试验车辆的轮迹线经过导向驶出框时不得越出最外端的直线。

(4) 为进一步保障车内乘员安全,在碰撞试验中,试验车辆不仅不得侧翻、倾覆,而且车体应与地面大体保持垂直,以免车内乘员因车体姿态的剧烈变动而受到额外伤害。

3.2 定量指标

定量指标是指通过标准测定仪器对测定事物指标进行直接测量获得测值,且可以精确衡量的评价指标,通常有绝对量与相对量两种指标。参考 MASH 规范及 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》,制定如下隔离护栏的定量指标:

(1) MASH 规范要求碰撞过程中,车辆质心加速度≤20g,且最好≤15g。JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》中,在碰撞过程下,行驶车辆质心加速度≤20g。因此,在隔离护栏碰撞试验中,宜规定车辆质心 3 个方向的最大加速度≤20g,以避免因碰撞过程中传递给车内乘员的加速度过大而直接造成车内乘员重伤甚至死亡事故的发生。

(2) MASH 规范要求碰撞过程中,乘员碰撞后的

速度极限值 $\leq 12\text{ m/s}$,以避免车内乘员头部脑震荡,这一要求与 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》保持一致。因此,在隔离护栏碰撞试验中,宜规定乘员碰撞后的速度极限值 $\leq 12\text{ m/s}$ 。

(3) MASH 规范认为,在碰撞试验中,隔离护栏横向偏移量的大小,与碰撞试验时所用车型、试验场地地基条件、撞击点位置、隔离护栏设置长度等诸多因素密切相关,很难用一个绝对的数值予以评价,因此, MASH 规范中,隔离护栏的横向偏移量最大允许值是因地制宜选取,或者说,隔离护栏的横向偏移量最大允许值是由设计部门根据隔离护栏的实际情况自行确定的,在 MASH 规范中并没有给出一个普遍适用的评价准则。JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》中的护栏最大横向动态变形值及其位移外延

值,也同样没有给出一个普遍适用的具体的评价标准,这本质上也是学习美国、欧洲等西方发达国家护栏标准的结果,从而给护栏设置的因地制宜留出了足够的设计空间。考虑到中国对隔离护栏的研究刚刚起步,相关安全标准也正在摸索之中,而欧美等发达国家的公路已实际设置过系列化的成熟的隔离护栏产品,也开展过大量的隔离护栏碰撞试验,且已有隔离护栏产品基本是钢制产品,因此,该文将根据对 Orion、BarrierGuard 800 等隔离护栏的实车碰撞试验报告的大量数据,汇总并提出碰撞作用下护栏标准段横向偏移量的取值范围:皮卡撞击时为 1 800 mm 左右,小型乘用车撞击时为 1 400 mm 左右。当然,在实际应用中,隔离护栏的横向偏移量以采用因地制宜的方式确定是最合适的。上述隔离护栏的试验标准归结为表 3 所示。

表 3 隔离护栏评价标准

车型质量/t	定性指标	定量指标
乘用车 1.1	① 能阻挡失控车辆突破,并能对失控车辆进行合理导向,车辆在失控状态下不产生调头、横转、翻越护栏等现象;② 碰撞测试下,隔离护栏上的部件、脱落件以及完全粉碎片状物等不得进入车辆乘坐室内部;③ 碰撞测试下,测试车辆严禁发生侧翻与倾覆,且测试车辆轮迹线在通过导向驶出框时严禁超出最外侧直线	加速度 $\leq 20g$ 速度 $\leq 12\text{ m/s}$ 横向偏移量:因地制宜
皮卡车 2.3		加速度 $\leq 20g$ 速度 $\leq 12\text{ m/s}$ 护栏偏移量:因地制宜

4 结 论

(1) 通过对公路养护作业区域的交通事故特征分析,得出车辆与护栏之间的撞击角度大于 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》中碰撞试验角度的结论。

(2) 基于 MASH 规范和 Orion、BarrierGuard 800 等大量隔离护栏的实车试验报告,结合中国机动车保有量的实际情况,提出适用于中国隔离护栏设计的 3 种碰撞防护等级,并给出了实车碰撞试验中,试验用车的车型、质量、碰撞速度和碰撞角度等参数。

(3) 从定量与定性两个方面,提出隔离护栏实际应用下的安全性评价指标:① 以 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》为基础,进一步对测试车辆的驾驶轨迹、撞击后姿态和脱离部件提出了定性要求;② 为保障乘员安全,提出碰撞试验车辆在整个碰撞过程中,车辆质心处加速度最大值 $\leq 20g$,碰撞后

的最大相对速度 $\leq 12\text{ m/s}$;③ 提出在碰撞试验中,对隔离护栏标准段横向偏移量不做具体数值限制,而是由设计单位根据隔离护栏的实际情况,采用因地制宜的方式设定隔离护栏横向偏移量限制值的思想,并参考国外隔离护栏碰撞试验结果,给出皮卡撞击隔离护栏标准段的横向偏移量为 1 800 mm 左右,乘用车撞击隔离护栏标准段的横向偏移量为 1 400 mm 左右的参考值,供设计单位参考使用。

(4) 与 JTG B05—01—2013《公路护栏安全性能评价标准》不同,参考 MASH 规范,隔离护栏的碰撞试验车型为乘用车和皮卡两种车型,从而使护栏碰撞试验车型囊括了乘用车、皮卡、中大型车辆等多种车型,缩小了与国外试验车型方面的差距。

参考文献:

[1] Transportation Research Board National Research Council. Recommended Procedures for the Safe Type Performance Evaluation of Highway Features; NCHRP350[S]. Washington D. C. National Academy Press,1993.