

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.11.055

高速公路工作宽度受限护栏的设计与应用

亢寒晶¹, 马 晴¹, 阳 初², 宋庆慧³

(1.北京华路安交通科技有限公司,北京市 100070; 2.深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司,广东 深圳 518057;
3.葛洲坝集团交通投资有限公司山东区域运营管理中心,山东 济南 250000)

摘 要:为了解决部分高速公路护栏工作宽度受限问题、安全防护问题、景观设计问题,依据研究经验、理论分析数据、仿真模拟结果,提出了一种 A 级和一种 SB 级梁柱式钢护栏设计方案。按照《公路护栏安全性能评价标准》的规定,采用实车足尺碰撞试验对这 2 种护栏的安全性能进行评价。试验结果表明:设计的 2 种护栏的拦截功能、导向功能、缓冲功能均满足要求,在应用中可成功防护事故车辆,取得了良好的应用效果。

关键词:交通安全设施;护栏;工作宽度受限

中图分类号: U417.1+2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)11-0231-04

0 引 言

为了更好地维护高速公路运营安全,高速公路两侧需设置护栏。合理设置的护栏结构可降低事故伤害程度,挽救乘员生命。近年来,公路交通量不断增加、交通组成越来越复杂、车速不断提升且车辆大型化,使得很多高速公路对护栏的安全防护需求逐渐提高,原有的护栏已不满足防护需求。另外,还有部分路段在护栏外侧设置了较多的灯杆、标志杆、门架等附属设施,护栏需要在工作宽度受限的条件下对这些设施进行防护;一些路段风景优美,对护栏有景观协调、视线通透的要求,需要在设计时进行特殊考虑。

依托某高速公路景观设施品质提升工程,考虑安全防护、工作宽度受限、景观通透等要求,研究设计了适用于高速公路路基段的 3 级(A 级)和 4 级(SB 级)梁柱式钢护栏并进行应用。

1 防护目标

按照目前高速公路护栏的安全防护需求和相关标准规范^[1-3]的规定,高速公路护栏最低防护等级为 A 级,路基段一般采用 A 级或 SB 级即可满足防护需求。应用最多的是 A 级和 SB 级波形梁护栏,其碰撞条件^[1]如表 1 所示。在工作宽度受限条件下对护栏进行安全性能评价时,除了阻挡功能、导向功能、

缓冲功能,还需对护栏变形和车辆外倾的指标进行考察。此外,为了在应用时保持路段景观协调,采购、加工、施工、安装方便,2 种等级的护栏在结构上应具有一定的一致性。

表 1 碰撞条件

防护等级	碰撞车型	车辆总质量/t	碰撞速度/(km·h ⁻¹)	碰撞角度/(°)
A 级	小客车	1.5	100	20
	大客车	10	60	20
	大货车	10	60	20
SB 级	小客车	1.5	100	20
	大客车	10	80	20
	大货车	18	60	20

2 结构设计

2.1 形式选择

护栏为保护背部设置的构筑物,工作宽度受限^[4],因此需要选择刚度较大的结构,可选形式包括混凝土护栏、组合式护栏、梁柱式钢护栏。鉴于对护栏景观协调、视线通透的要求,选择梁柱式钢护栏。

2.2 基础设计

高速公路路基段护栏基础可采用桩基础和混凝土基础^[2-3]。梁柱式钢护栏刚度较大,需要基础提供一定的锚固力来保证梁柱式钢结构防护功能的实现,因此提出一体式条形基础:在土路基内浇筑条形钢筋混凝土,将标准段护栏通过法兰锚固在条形基础上。经过仿真模拟发现,设置条形基础的护栏在受到碰撞时基础会顺着碰撞力发生横向移动(见图 1(a)),护栏

收稿日期: 2022-12-19

作者简介: 亢寒晶(1992—),女,学士,工程师,从事交通安全设施研究工作。

虽然能够防护车辆碰撞,但发生位移较大,不适用于工作宽度受限路段,需要增加基础的刚度。进一步在条形基础内增设钢管桩进行固定,仿真模拟结果显示基础发生的位移大幅度减小(见图1(b)),因而确定采用该基础型式。

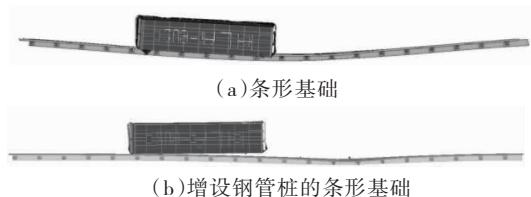


图1 车辆碰撞不同护栏仿真结果

2.3 立柱和总高度设计

梁柱式护栏多采用方型、H型立柱和其他异形立柱,其中H型立柱刚度与其他结构更为协调,前翼板的设置也更容易进行螺栓连接^[5]。进一步考虑结构的美观性,设计采用类H型立柱,立柱间距2 m。

护栏总高度是护栏最关键的参数之一,设计规范^[2-3]规定SB级及以下防护等级的梁柱式钢护栏总高度不应小于1 m,SA级梁柱式钢护栏总高度不应小于1.25 m。进一步按照不同防护等级碰撞车辆条件和抗车辆倾覆的要求^[1,3],设计A级结构总高度1 m,SB级结构总高度1.15 m。

2.4 横梁设计

横梁安装在立柱上,位于护栏前侧,是直接承受碰撞的构件,也是最能体现护栏整体线形、景观效果的结构。横梁设计包括断面形状规格、横梁的高度布置、横梁与立柱之间的连接等方面^[5-6]。

综合构件强度、抗弯能力和景观效果的考虑,设计采用3排140 mm(宽)×120 mm(高)×4 mm(厚)半椭圆空心钢管^[7]。梁柱式护栏的横梁迎面宜与立柱保持一定的距离,若过近则车辆碰撞发生变形时局部构件会从横梁缝隙挤入并卡到立柱上发生绊阻^[8](见图2)。为了减少绊阻情况的发生,在横梁背部焊接宽度为110 mm和170 mm的防阻块,防阻块背部可通过螺栓与立柱连接,同时解决了横梁安装问题。

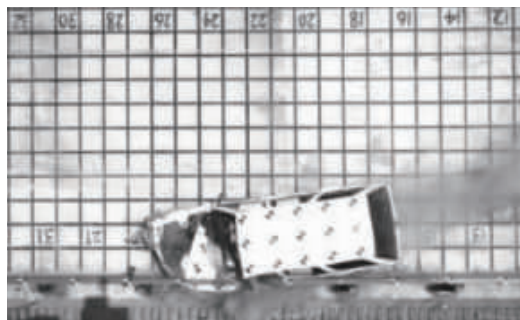


图2 车辆与立柱发生绊阻

护栏最下排横梁主要防护小客车,小客车车轮半径一般为0.3~0.4 m,将最下排横梁下沿高度设计为0.3 m,则中心高度为0.36 m。对于A级结构,将3排横梁进行均布,则中上横梁中心高度分别为0.65 m、0.94 m。图3为小客车仿真碰撞结果,可见A级结构对小客车防护效果良好,护栏下横梁变形最大。



图3 A级结构小客车仿真碰撞

每排横梁规格尺寸相同,即每排横梁横向承载力也相同。A级结构横梁横向承载力加权平均高度为 $(0.36+0.65+0.94)/3=0.65$ m,大于设计规范^[2-3]规定的0.6 m,满足要求。大型车的仿真碰撞过程也顺利通过,图4为护栏变形情况。由图4可见,护栏整体受力较为协调,中上横梁变形较大,因此对于大型车的防护中,上横梁更为关键。

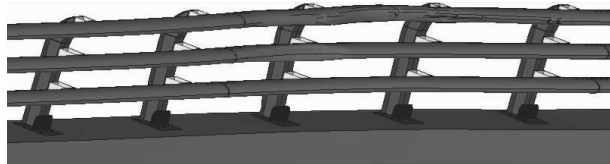


图4 A级结构大型车仿真碰撞结果

对于SB级结构,设计中下横梁与A级结构相同,上横梁按照总高度可得中心高度为1.09 m,衔接过渡时仅将上横梁进行渐变过渡即可。A级结构横梁的强度表现较为合适,SB级结构对防护能量的要求则显著增加,需要进一步考察横梁承载力。计算得到SB级结构横梁横向承载力加权平均高度为 $(0.36+0.65+1.09)/3=0.7$ m,等于设计规范^[2-3]规定的0.7 m,满足要求;仿真碰撞结果显示SB级结构虽然能成功防护车辆碰撞,但上横梁发生了较大变形破坏(见图5(a))。将SB级结构上横梁厚度由4 mm增加到6 mm的仿真结果见图5(b),此时护栏结构强度得到有效提高。综上,确定的A级和SB级梁柱式钢护栏结构图见图6,构件规格尺寸见表2。



(a)大型车碰撞后SB级护栏变形图



(b)大型车碰撞后SB级护栏加强结构变形图

图5 SB级结构大型车仿真碰撞结果

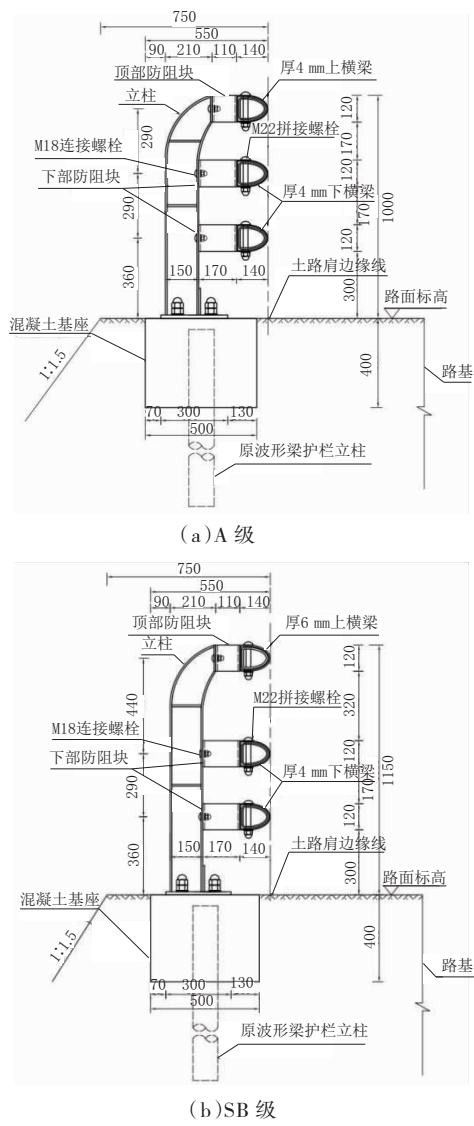


图 6 A 级和 SB 级梁柱式护栏结构图(单位:mm)

表 2 构件规格尺寸

构件	A 级尺寸规格 /mm	SB 级尺寸规格 /mm
立柱	类 H 钢 150 (前后)×150 (左右)×8(厚)	类 H 钢 150 (前后)×150 (左右)×8(厚)
上横梁	半椭圆 140 (宽)×120 (高)×4(厚)	半椭圆 140 (宽)×120 (高)×6(厚)
上横梁防阻块	矩形 150(左右)×110(前后)×120(高)×8(厚)	矩形 150(左右)×110(前后)×120(高)×8(厚)
中、下横梁	半椭圆 140 (宽)×120 (高)×4(厚)	半椭圆 140 (宽)×120 (高)×4(厚)
中、下横梁防阻块	矩形 150(左右)×170(前后)×120(高)×8(厚)	矩形 150(左右)×170(前后)×120(高)×8(厚)

3 安全性能评价

3.1 阻挡和导向功能

按照碰撞条件组织实车碰撞试验^[1],对设计的 A 级和 SB 级梁柱式钢护栏安全性能进行评价。表 3 为车辆碰撞 A 级和 SB 级梁柱式钢护栏过程,可看出 2

种护栏均能成功拦截车辆,车辆顺利导出并恢复行驶状态,轮迹在评价标准规定的范围内,其阻挡功能、导向功能均满足要求。

表 3 车辆碰撞 A 级和 SB 级护栏过程

护栏	车型	碰撞过程图
A 级护栏结构	小客车	
	大客车	
	大货车	
SB 级护栏结构	小客车	
	大客车	
	大货车	

3.2 缓冲功能

表 4 为小客车碰撞 2 种护栏的乘员碰撞速度、乘员碰撞后加速度指标值。由表 4 可见,2 种护栏的缓冲功能均满足要求。

表 4 缓冲功能指标

护栏	评价指标	方向	合格标准	检测结果
A 级护栏结构	乘员碰撞速度 / (m·s ⁻¹)	纵向	≤12	3.7
		横向	≤12	7.8
	乘员碰撞后加速度 / (m·s ⁻²)	纵向	≤200	27.8
		横向	≤200	99.6
SB 级护栏结构	乘员碰撞速度 / (m·s ⁻¹)	纵向	≤12	3.6
		横向	≤12	7.0
	乘员碰撞后加速度 / (m·s ⁻²)	纵向	≤200	38.5
		横向	≤200	164.7

3.3 变形受限防护功能

在护栏背部设置构筑物的路段,宜控制碰撞时的护栏变形和大型车辆外倾程度以保护护栏背部构筑物(小客车碰撞不考察外倾情况)。如表 5、表 6 所示,试验测得 A 级梁柱式钢护栏的最大工作宽度为 0.7 m,不及某 A 级波形梁护栏最大工作宽度(1.45 m)的一半,车辆外倾程度也大幅度减小;SB 级梁柱式钢护栏的最大工作宽度为 1 m,大幅小于某 SB 级波

形梁护栏的最大工作宽度(1.85 m),车辆外倾程度同样大幅度减小。因此,这2种护栏更适用于工作宽度受限路段,可对护栏背部构筑物形成保护。

表5 护栏试验数据

车型	指标	A级梁柱式钢护栏	A级波形梁护栏	SB级梁柱式钢护栏	SB级波形梁护栏
小客车	护栏工作宽度/m	0.55	0.85	0.55	0.80
大客车	护栏工作宽度/m	0.70	1.45	1.00	1.85
	车辆最大动态外倾值/m	0.50	1.35	0.80	1.90
大货车	护栏工作宽度/m	0.65	1.55	0.75	1.50
	车辆最大动态外倾值/m	0.60	1.40	0.65	1.60

表6 与波形梁护栏对比

车型	对比项	A级梁柱式钢护栏	A级波形梁护栏	SB级梁柱式钢护栏	SB级波形梁护栏
小客车	残余变形				
大客车	残余变形				
	车辆外倾				
大货车	残余变形				
	车辆外倾				

4 工程应用

A级和SB级梁柱式钢护栏已投入到实际应用。在加工厂内进行横梁与防阻块焊接时,需注意应力形变,关注横梁的垂直度并进行相应调整;现场施工时,注意保证钢管埋入混凝土基础内深度。应用照片如图7所示。由图7可见,护栏线形优美、视线通透

性好,已成功防护几起交通事故,且护栏变形小、安全储备高。



(a)实际应用的护栏



(b)安全防护案例

图7 护栏应用

5 结 语

按照部分高速公路路基段护栏工作宽度受限的条件,结合其景观协调、视线通透、防护等级需求,进行了护栏选型、基础设计、立柱和高度设计、横梁设计分析,得到了适用于高速公路工作宽度受限路基段景观型A级和SB级梁柱式钢护栏结构;经实车碰撞试验,验证了护栏安全性能满足要求,较同等级波形梁护栏工作宽度和车辆外倾值大幅减小,适用于工作宽度受限路段;根据工程应用及车辆碰撞护栏交通事故分析,2种护栏具备较高的安全储备,安全防护效果良好,可供类似工程参考。

参考文献:

[1] JTG B05—01—2013,公路护栏安全性能评价标准[S].
[2] JTG D81—2017,公路交通安全设施设计规范[S].
[3] JTG/T D81—2017,公路交通安全设施设计细则[S].
[4] 裴大军,彭晓彬,龚帅,等.缆索承重桥梁专用高等级型钢护栏研发[J].中外公路,2021,41(3):403-406.
[5] 江海,亢寒晶,刘大昌,等.基于多目标的组合式桥梁护栏优化研究[J].特种结构,2020,37(4):91-95.
[6] 李勤策,龚帅,喻丹凤,等.HA级三横梁组合式桥梁护栏设计优化[J].城市道桥与防洪,2017(12):68-72,106.
[7] 韩海峰,皮振新,李新伟.新型梁柱式钢护栏研发与防撞性能试验研究[J].中外公路,2016(5):323-326
[8] 闫书明,郑斌,李黎龙,等.梁柱式型钢护栏设计优化及安全性能评价[J].公路交通科技,2012,29(1):139-144.