

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.02.011

一级公路改建高速公路中分带再利用护栏研究

胡学成,马 晴,刘思源,邓 宝,闫书明
(北京华路安交通科技有限公司,北京市 100070)

摘 要: 某一级公路改建为高速公路,为缩短施工周期、降低工程造价,同时兼顾路面加铺工况,经过充分研究,在可再次使用原中央分隔带两波形梁护栏和路侧护栏结构的基础上,提出一种中分带再利用护栏。该结构采用计算机仿真方法进行安全性评估,并已通过实车足尺碰撞试验。试验结果表明,中分带再利用护栏防护等级达到三(A_m)级,阻挡功能、缓冲功能、导向功能均满足要求,护栏安全性可靠。该再利用护栏已在实际工程中应用,不仅提高了中央分隔带护栏的安全防护能力,而且取得良好的经济效益。

关键词: 中央分隔带护栏;波形梁护栏;护栏再利用;仿真计算;实车足尺碰撞试验

中图分类号: U417.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0043-04

0 引 言

乌鲁木齐—五家渠—新湖公路升级改造项目是在原路基基础上将一级公路改建为高速公路来提高通行能力。道路通行能力的提高会对路侧及中央分隔带护栏的安全防护能力提出更高要求。原路侧及中央分隔带护栏是根据2006版《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2016)设计并建造的(2018年废止)^[1],均为防护等级A级的两波形梁护栏。护栏采用4 mm两波形梁板,梁板中心有效高度60 cm,立柱为 $\phi 140$ mm间距4 m布置的钢管。原护栏结构见图1。现将一级公路改建为高速公路,横断面采用两侧拼宽方式,设计速度提升到120 km/h,路面同时进行加铺,相应的护栏安全防护能力也应进行提升,以达到新规范A级防护等级要求。



图1 原护栏

原路侧及中央分隔带采用两波形梁护栏,若改建为高速公路,两侧的护栏按照现行《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2017)要求均需设置为A级三波形梁护栏^[2]。然现行规范中A级护栏的安全性能要求、立柱埋深、护栏板和防阻块规格较已废止的2006版规范均有较大变化(见图2),原护栏结构都不能再利用,且中央分隔带防眩设施也不可直接再利用。若护栏全部拆除废弃,不仅造成钢材浪费,而且会对现有路基造成破坏,不符合低碳环保发展理念。

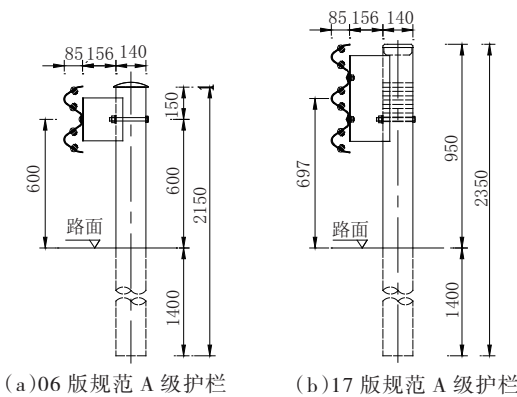


图2 规范A级波形梁护栏

基于以上改造原因及保证改建后高速公路的安全运营,在充分利用原路侧、中央分隔带护栏结构及原防眩设施的基础上,提出一种可缩短施工工期、降低工程造价的中分带再利用护栏。并运用仿真及实车足尺碰撞试验等先进技术和方法,对提出的再利用护栏进行研究验证,使其满足《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)的A_m级要求,以便提高中央分隔带护栏防护能力,更安全地应用在实际工程中。

收稿日期: 2023-02-17

作者简介: 胡学成(1995—),女,本科,工程师,从事公路交通安全设施工作。

1 再利用护栏方案提出

根据改建工程总体要求^[3-4],在利用原中央分隔带两波形梁护栏结构的基础上,提出中分带再利用护栏改造原则:(1)保持原护栏结构不动;(2)增设内、外套管用以加高立柱;(3)将路侧两波形梁护栏构件再利用;(4)考虑改建为高速公路后路面加铺对护栏的适用性;(5)中分带再利用护栏与新规范护栏、其他护栏形式的过渡。

基于以上原则,提出一种中分带再利用护栏结构。采用Q235材质的内外套管加高立柱,设置为双层双波梁护栏,提升整个护栏横梁的刚度,路面加铺40 mm,上层梁板中心距路面930 mm,下层梁板中心距路面560 mm,新增的上层4 mm波形梁板及防阻块为路侧拆卸的旧板及防阻块(见图3)。上、下波形梁板均与立柱有效连接,增加整体受力性,护栏防撞能力强,可达到Am级防护等级要求。护栏结构见图4。

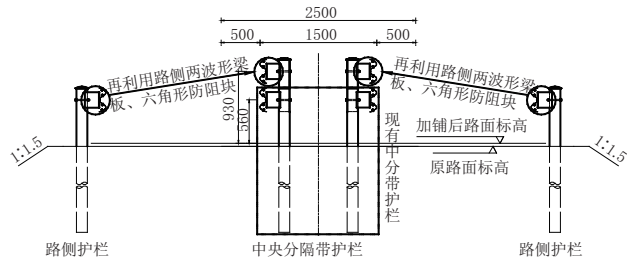


图3 再利用护栏方案

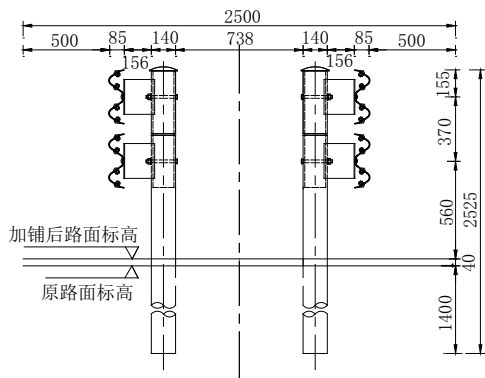


图4 中分带再利用护栏结构

根据实际工程情况提出的中分带再利用护栏方案的优点为:(1)护栏再利用程度高。既能完全利用原中央分隔带两波梁护栏构件,又能利用路侧拆除护栏部分构件。(2)安全性能高。增加一层两波形梁板,再利用护栏的防撞能力提升较大,安全储备多。(3)改造费用低。仅需增加内、外套管,其余均利用原护栏构件。(4)中央分隔带原防眩设施可再利用,并提升防眩高度。

经过分析,提出的中分带再利用护栏具有可行

性^[5-7],可最大限度利用原护栏材料进行改造,方便施工且节省造价,防护能力也较优。现结合计算机仿真模型对护栏结构的安全性能进行分析,为进行实车足尺碰撞试验奠定基础。

2 再利用护栏安全性能评估

根据现行《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01)中的A级护栏标准段碰撞条件^[8],建立经过可靠性验证的三种车型及再利用护栏的有限元仿真模型^[9-10]。其中,土基对于护栏的影响主要反映在立柱的折弯处。根据相关数据,土基可简化处理,其余材料参数见表1,碰撞条件见表2。

表1 护栏主要参数

类别	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	弹性模量 E/MPa
波形梁	235	460	21 000
防阻块	235	460	21 000
立柱	235	460	21 000

表2 A级护栏碰撞条件

车型	车辆质量 / t	碰撞速度 /(km·h ⁻¹)	碰撞角度 /(°)
小型客车	1.5	100	20
中型客车	10	60	20
中型货车	10	60	20

现行评价标准规定,护栏标准段的评价指标主要通过阻挡、缓冲、导向功能来评价安全性能^[8]。

2.1 阻挡功能

图5为三种车型碰撞再利用护栏仿真过程图。从中可看出,在碰撞护栏的过程中,车辆行驶姿态良好,护栏能有效拦截车辆,并没出现穿越、骑跨护栏现象,均满足标准中的阻挡功能。

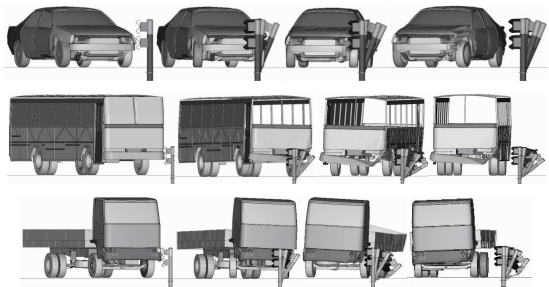


图5 三种车型碰撞护栏过程

2.2 缓冲功能

评价标准规定采用乘员碰撞速度、碰撞后加速度两项指标评价公路护栏缓冲功能^[8]。表3为小型客车的缓冲指标。可见,这两项指标均符合标准,说明再利用护栏的缓冲功能优异。

表 3 缓冲指标数据

考察指标	方向	测量值	合格要求
乘员碰撞速度 / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	纵向 X	2.8	≤ 12
	横向 Y	5.4	≤ 12
乘员碰撞后加速度 / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	纵向 X	43.8	≤ 200
	横向 Y	102.6	≤ 200

2.3 导向功能

现行评价标准规定了不同车辆的导向驶出框图^[8],在车辆碰撞护栏后,运动轨迹一定长度范围应在框图内,A 为框图宽度,B 为框图长度,详见表 4。

表 4 参数 A 和 B 的取值

碰撞车型	A/m	B/m
小型客车	$2.2 + V_w + 0.16 V_L$	10
大中型客车 大中型货车	$4.4 + V_w + 0.16 V_L$	20

注:表中 V_w 代表车辆宽度, V_L 代表车辆长度。

小型客车、中型客车、中型货车的行驶轨迹图均处于框图内(见图 6),没有越出框图边界线,且车辆处于正常行驶状态,满足评价标准的指标要求。

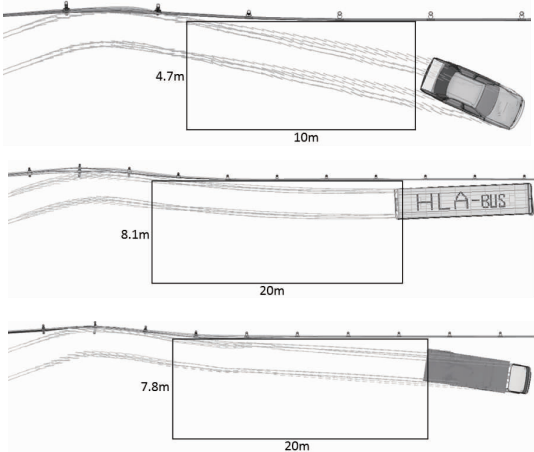


图 6 车辆行驶轨迹

小型客车碰撞护栏后,碰撞区 4.6 m 上、下两层波形梁发生变形,两处立柱、防阻块变形。中型客车与中型货车碰撞护栏后,碰撞区 8 m 上、下两层波形梁发生变形,三处立柱、防阻块变形。

通过上述分析,该中分带再利用护栏各项指标均满足标准的 Am 级防护等级要求。采用该再利用护栏进行实车碰撞试验,可直观、全面和客观地评价护栏安全性能。

3 再利用护栏安全性能评价

根据现行评价标准的要求,在实车足尺碰撞试验场严格按照设计图纸建设 72 m 长的 Am 级中分带再利用护栏。试验护栏如图 7 所示。



图 7 试验护栏

3.1 阻挡功能

表 5 为三种车型碰撞 Am 级中分带再利用护栏的过程。从中可看出,在碰撞护栏的过程中,车辆行驶姿态良好,护栏能有效拦截车辆并没出现穿越、骑跨护栏现象。因此,这三种车型的阻挡功能满足评价标准要求。

表 5 碰撞护栏过程

碰撞车型	碰撞过程	
小型客车		
中型客车		
中型货车		

3.2 缓冲功能

通过提取碰撞过程的试验数据(见表 6),可知测量值均满足评价标准指标要求,体现出良好的乘员缓冲保护性能。

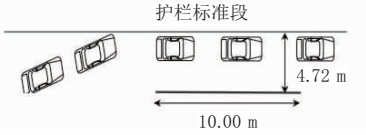
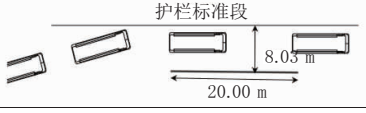
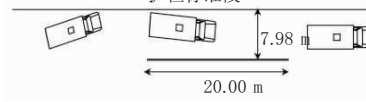
3.3 导向功能

表 7 为三种车型碰撞 Am 级中分带再利用护栏的行驶轨迹图,可见行驶轨迹均处于框图内,没有越出框图边界线,且车辆处于正常行驶状态,满足评价标准的指标要求。

表6 缓冲指标数据

考察指标	方向	测量值	合格要求
乘员碰撞速度 / ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	纵向 X	3.1	≤ 12
	横向 Y	5.6	≤ 12
乘员碰撞后加 速度 $I/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$	纵向 X	178.7	≤ 200
	横向 Y	141.6	≤ 200

表7 车辆行驶轨迹

碰撞车型	行驶轨迹图
小型客车	
中型客车	
中型货车	

经过小型客车、中型客车、中型货车三种车型的三次试验,再利用护栏和车辆均有一定程度的损坏变形。

(1)小型客车碰撞再利用护栏变形。碰撞后,自护栏起始端起,第 28.8~31 m 上层波形梁变形,第 28~32 m 下层波形梁变形,第 9、10 根立柱、防阻块变形,车辆与护栏的刮擦长度为 4.8 m,护栏最大残留变形为 0.39 m。护栏变形及车辆损坏见图 8。



图8 护栏变形及小型客车损坏

(2)中型客车碰撞再利用护栏变形。碰撞后,自护栏起始端起,第 21.8~28 m 波形梁变形,第 8~10 根立柱、防阻块变形,车辆与护栏的刮擦长度为 6.8 m,护栏最大残留变形为 0.69 m。护栏变形及车辆损坏见图 9。

(3)中型货车碰撞再利用护栏变形。碰撞后,自护栏起始端起,第 24~33.8 m 上层波形梁变形,第 28~32 m 下层波形梁变形,第 8~10 根立柱变形,第 9、10 根防阻块变形,车辆与护栏的刮擦长度为 10.5 m,护栏最大残留变形为 0.74 m。护栏变形及车



图9 护栏变形及中型客车损坏

辆损坏见图 10。



图10 护栏变形及中型货车损坏

经过再利用护栏的三种车型三次实车碰撞试验验证,再利用护栏的各项指标均满足标准要求,达到 Am 级 160 kJ 防护能量^[8]。试验碰撞测量数据见表 8。

表8 车辆碰撞护栏变形数据及车辆外倾数据

测试项目	测试值 /m		
	小型客车	中型客车	中型货车
护栏最大横向动态变形值 D	0.55	0.95	0.90
护栏最大横向动态位移外延值 W	0.90	1.20	1.10
车辆最大动态外倾值 VI	—	1.05	1.30
车辆最大动态外倾当量值 VI_n	—	1.15	2.15

4 防眩设施再利用

基于再利用的改造原则,将原设置在中央分隔带两波形梁板顶部的防眩设施移至改造后双层双波形梁护栏上层梁板上,进行循环利用,并提升了防眩高度,节约了工程造价。

5 结 论

(1)基于一级公路改建为高速公路且中央分隔带宽度不变的条件下,为了缩短施工工期、降低工程造价且兼顾路面加铺工况,提出一种中分带再利用护栏,完全利用中央分隔带护栏结构,且将改建路段路侧护栏拆除的板、防阻块等构件进行循环利用,实现资源的节约,减少钢材消耗,实施工程按照全线 206 km 计算,中分带再利用护栏比拆除新建(现行规范要求三波形梁护栏)的改造方案节省约 2 389 万元。

(2)中分带再利用护栏结构经实车足尺碰撞试验验证,防护等级达到 Am 级,用于实际工程中,可减少事故车辆冲出对向车道的概率,有效降低交通事故

(下转第 81 页)

立交桥分合流位置处采用纵横梁耦合连续体系的结构可行性进行了系统研究,在此基础上分析了支座横向偏心、门架横梁弯曲刚度对结构内力状态、整体刚度及支反力的影响。可以得出如下主要结论:

(1) 支座横向偏心对结构的内力状态及结构竖向刚度影响较大,可作为结构内力状态合理性的判断指标。

(2) 门架横梁对纵梁的竖向及扭转变形均有较为显著的约束作用。

(3) 适当增大门架横梁的弯曲刚度,可有效控制结构整体的受力状态。

参考文献:

- [1] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [2] 郑翔.城市立交跨越既有轨道交通的门架墩方案分析比选[J].特种结构,2021,38(1):44-47,52.
- [3] 李江,李磊.复杂城市环境下立交桥钢箱梁架设方案比选[J].桥梁建

设,2021,51(2):137-143.

- [4] 李旻.刚度不均匀大型复杂异形钢结构整体提升成套施工技术[Z].2021.
- [5] 张伟.立交门架墩设计的思考[J].城市道桥与防洪,2018(8):154-155.
- [6] 蔡佳骏,张玉.城市异形钢箱梁设计若干问题探讨[J].交通科技,2012(3):25-27.
- [7] 林立华.变宽连续钢箱梁桥计算模型比较分析[J].结构工程师,2021,37(2):54-59.
- [8] 李俊.带有门架横梁的箱梁内力分析[J].城市道桥与防洪,2012(10):158-160,166.
- [9] 刘亮.三跨异形钢结构连续梁设计分析[J].四川水泥,2022(7):181-183.
- [10] 巩同川,刘金栓,张伯英.异形钢箱梁人行连廊精细化分析[J].建筑科学,2022,38(3):146-152.
- [11] 李立峰.正交异性钢箱梁局部稳定分析理论及模型试验研究[D].长沙:湖南大学,2005.
- [12] 罗东海.城市立交桥异形钢箱梁疲劳性能研究[D].杭州:浙江工业大学,2018.

~~~~~  
(上接第46页)

严重程度,保障高速公路用户生命和财产安全。

(3) 中分带再利用护栏实现了原防眩设施的重复使用,并增加防眩高度约35 cm,可更好地有效遮挡夜间大型车辆对向车辆前照灯的眩光,将大幅提升运营安全水平。

#### 参考文献:

- [1] JTG D81—2006,公路交通安全设施设计规范[S].
- [2] JTG D81—2017,公路交通安全设施设计规范[S].
- [3] JTG/T L80—2014,高速公路改扩建交通工程及沿线设施设计细则[S].

- [4] JTG/T L11—2014,高速公路改扩建细则[S].
- [5] 陈岳峰,陈礼彪,曾俊铖.高速公路在用波形梁护栏适应性评价和提升改造技术研究[J].公路交通科技,2019,36(9):124-128,146.
- [6] 张轩.一般路段波形梁护栏加强改造设计方案[J].交通世界,2020(16):28-29.
- [7] 赛志毅.高速公路护栏改造关键技术与应用[M].北京:人民交通出版社,2018.
- [8] JTG B05—01—2013,公路护栏安全性能评价标准[S].
- [9] 闫书明.有限元仿真方法评价护栏安全性能的可行性[J].振动与冲击,2011(1):152-156.
- [10] 刘航,龚帅,刘思源,等.高速公路旧波形梁护栏改造研究[J].公路工程,2020,45(6):173-180.