

节地美观型中央分隔带护栏设计与评价

李景军¹,王新²,齐杰¹,王孜健³,刘思源²

(1.济南金宇公路产业发展有限公司,山东 济南 250101;2.北京华路安交通科技有限公司,北京市 100070;

3.山东高速集团创新研究院,山东 济南 250098)

摘要:高速公路和国省干道在新建及改扩建过程中,对中央分隔带护栏提出了更加多样化的需求,包括防护性能可靠、占地空间小、美化交通环境及造价经济,但现有中央分隔带护栏成果尚有不完备之处。为了更好地满足公路中央分隔带护栏的设计与使用需求,该文采用理论分析、计算机仿真和实车足尺碰撞试验相结合的技术手段,分析了不同类型中央分隔带护栏的受力特点,提出梁柱一体式设计新理念,并通过护栏高度、宽度、横梁、立柱及基础等结构系统研究,得到节地美观型中央分隔带护栏成果。所得中央分隔带护栏研究成果的防护能力达到SAm级,整体宽度50 cm可节省建设用地,梁柱一体式结构景观更通透,材料用量少,造价更经济,综合性能较为优异。

关键词:中央分隔带护栏;节地;美观;梁柱一体式;计算机仿真;实车足尺碰撞试验

中图分类号:U491.5

文献标志码:A

Design and Evaluation of Land-Saving and Beautiful Median Barriers

LI Jingjun¹, WANG Xin², QI Jie¹, WANG Zijian³, LIU Siyuan²

(1.Shandong Jinyu Information Technology Group Co., Ltd., Jinan, Shandong 250101, China;2. Beijing Hualuan Traffic Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China;3. Innovation Research Institute of Shandong Expressway Group Co., Ltd., Jinan, Shandong 250098, China)

Abstract: During the construction and expansion of expressways and national and provincial highways, more diversified requirements have been put forward for the median barrier, including reliable protective performance, small footprints, beautiful traffic environments, and economic costs. However, the existing median barrier achievements still have some shortcomings. In order to better meet the design and use needs of median barriers for highways, theoretical analysis, computer simulation, and full-scale impact tests with real vehicles were adopted, and the force characteristics of different types of median barriers were analyzed. A new design concept of beam-column integration was put forward. Through systematic research on the barrier height, width, beam, column, foundation, and other structures, a land-saving and beautiful median barrier was developed. The median barrier had a protective performance at SAm level and an overall width of 50 cm. It could save construction land, and the single beam-column integrated structure enabled a more penetrating landscape, required less material consumption, and made the cost more economical, with excellent comprehensive performance.

Keywords: median barrier; land-saving; beautiful; beam-column integration; computer simulation; full-scale impact test with real vehicle

0 引言

中央分隔带护栏是一种重要的交通安全设施,

设于公路横断面中间位置(图1),沿行车方向呈线状布设,需要承受两侧对向车流的碰撞威胁,主要作用是降低事故严重程度,减少车辆驶入对向车道的概

收稿日期:2023-12-08(修改稿)

基金项目:山东省农村公路建设关键技术与建管养长效协同机制研究(山东省农村公路交通安全设施设置技术研究)项目(编号:2020B31-3)

作者简介:李景军,男,大学本科,正高级工程师.E-mail:737274561@qq.com

率,对公路运营安全至关重要。

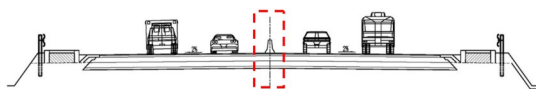


图1 中央分隔带护栏设置示意
Figure 1 Layout of median barrier

与此同时,护栏设置会占用中央分隔带的空间,对新建公路横断面设计和已建公路横断面匹配有直接影响,中央分隔带护栏宽度越小,越利于节省建设用地和适应工程条件。并且,中央分隔带护栏作为一种双侧车流共享的可视设施,对公路交通环境和行车舒适性也有直接影响,实现护栏造型的美观通透,已成为重要需求;此外,国家倡导打造节约经济型社会,减少护栏材料用量,降低护栏造价成本,也是契合市场的重要条件。

交通安全就是一项不断适应新环境、新条件、新需求和持续改进的工作。为满足上述对中央分隔带护栏的多样化需求,在充分了解中央分隔带护栏受力特点的基础上,创新设计理念,采用计算机仿真^[1]和实车足尺碰撞试验相结合的方法,研究提出一种节地美观型中央分隔^[2]带护栏结构,在安全防护的基础上,能够节省用地、美化交通及控制造价。

1 中央分隔带护栏成果现状分析

通过开展系列科学研究,在中央分隔带护栏研究方面,国内外已取得一些技术成果,主要包括混凝土护栏、波形梁护栏、金属梁柱式护栏三大类。

(1) 中央分隔带混凝土护栏属于刚性护栏,主要通过坡面使车辆爬升(或倾斜)并利用刚度使车辆转向来吸收碰撞能量。设计细则^[3]中给出了不同等级中央分隔带混凝土护栏的推荐结构,并按照设置宽度,分为分离式和整体式两种类型,如图2所示。其中,分离式护栏墙体双道设置,占地宽度至少1.5 m,不具备节地功能;整体式护栏为单片形式,占地宽度小于0.7 m,具备节地功能,但护栏墙体在一定高度内呈面状布置,较为呆板封闭,景观通透性欠佳,如图3所示。

(2) 中央分隔带波形梁护栏属于半刚性护栏,主要利用土基和结构构件变形吸收碰撞能量,并迫使车辆改变方向^[4]。现有中央分隔带波形梁护栏成果中,按结构宽度可分为分设型和组合型,设计细则^[3]

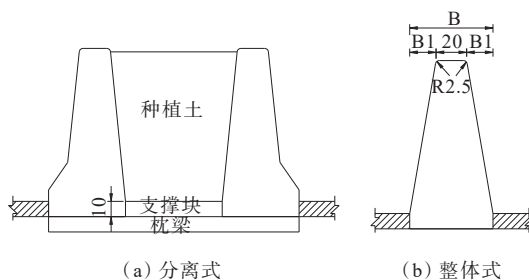


图2 规范推荐的中央分隔带混凝土护栏结构
Figure 2 Concrete structure of median barrier recommended by specifications

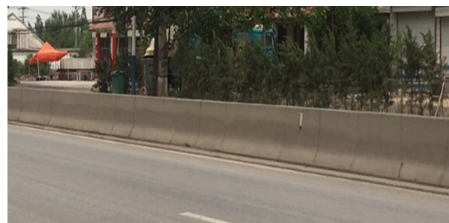


图3 整体式混凝土护栏景观效果(欠佳)
Figure 3 Landscape effect of concrete barrier (to be improved)

中也给出了具体推荐结构,如图4所示。其中,分设型护栏梁柱双道设置,占地宽度大于1.7 m,不具备节地功能;组合型护栏为单柱双板设置,占地宽度1 m,节地功能欠佳,且规范仅给出A级波形梁护栏推荐结构,防护等级较低。

(3) 中央分隔带金属梁柱式护栏刚度介于混凝土护栏和波形梁护栏之间,利用结构构件变形和刚度来吸收碰撞能量并实现转向。目前设计细则^[3]中给出了设计原则,未提供推荐结构。从实际应用结构来看,中央分隔带金属梁柱式护栏在节地功能设计上有所探索,包括双道分设型、双道组合型、单道双梁型(图5),护栏宽度呈现递减趋势,不过防护效果尚不清楚,且双道钢管横梁势必造价成本较高,经济性欠佳。

对于上述3种类型的中央分隔带护栏,尚未满足工程多样化需求,但金属梁柱式护栏因具备较大刚度和框架结构的特点,在安全、节地、美观设计方面更有潜质,若能在此基础上减少材料用量,降低造价成本,将能够很好地解决现状问题。

2 梁柱一体式设计理念的提出

金属梁柱式护栏应用于路侧或桥侧时,采用单道立柱和单道横梁的布置方式即可达到设计防护能

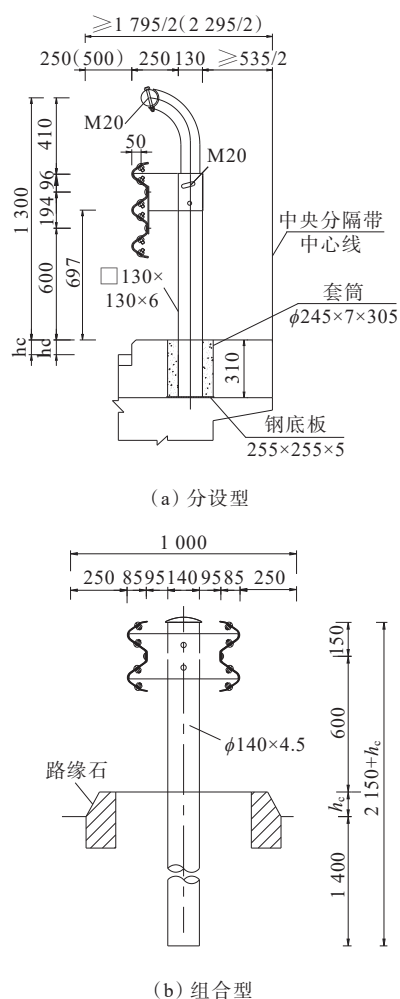


图4 规范推荐的中央分隔带波形梁护栏结构(单位:mm)

Figure 4 W-beam structure of median barrier recommended by specifications (unit: mm)



(a) 双道分设型 (b) 双道组合型 (c) 单道双梁组合型

图5 中央分隔带金属梁柱式护栏结构

Figure 5 Metal beam-column structure of median barrier

力^[5-8],但普遍将立柱后退于横梁,远离行车道,意在利用横梁宽度来降低车辆绊阻立柱^[9],这就使得护栏应用于中央分隔带时需要采用双道横梁布置方式(如双立柱双横梁、单立柱双横梁,见图6),以满足两侧车流的防护需求和防绊阻功能,不过也就造成护栏占用空间更大和材料用量更多的问题。

中央分隔带金属梁柱式护栏双道设置的主要原因在于防绊阻功能导致的结构设计限制。研究发

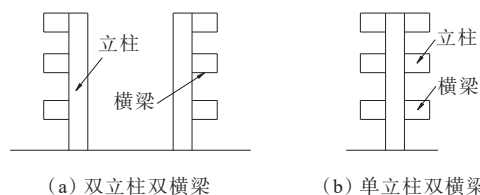


图6 中央分隔带金属梁柱式护栏常规双道横梁设计方式
Figure 6 Conventional double-beam design of median barrier with metal beam-column structure

现,金属梁柱式护栏绊阻现象主要表征于小型车,绊阻原因是护栏大变形或最下层横梁过高导致车体大幅侵入护栏断面后难以导出,若能保证护栏结构刚度和横梁合理布置,即便立柱不做后退设计,也可以较好地解决车辆绊阻问题。

基于上述分析,提出了梁柱一体式设计理念,即横梁与立柱断面重合设置,采用单道护栏实现中央分隔带双侧防护需求。表1为单柱双横梁和单柱单横梁护栏结构防护效果对比,可以看出小型车和大型车均顺利导出,未发生绊阻情况,防护效果基本相当,说明梁柱一体式设计理念从安全角度切实可行,且大大减少护栏占地面积和节省材料用量。

表1 中央分隔带金属梁柱式护栏双道和单道结构的防护效果对比

Table 1 Comparison of protective effects between double-beam and single-beam structures of median barrier with metal beam-column structure

项目	双道横梁	单道横梁(梁柱一体式设计)
结构形式		
小型车防护效果		
大型车防护效果		

3 护栏结构研究

3.1 护栏等级

根据当前中国公路建设条件、车型比例、运行速

度及中央分隔带护栏成果现状,结合设计规范^[9]对中央分隔带护栏防护等级选取的规定,高速公路和国省干道设计过程中对具有节地功能的SAm级中央分隔带护栏的需求尤为迫切,但缺少可靠成果,成为设计痛点。为此,中央分隔带梁柱一体式护栏的设计防护等级定为SAm级。

3.2 有效高度和宽度

护栏路面以上有效高度是决定其防护能力的重要参数,若高度设计不合理,将直接影响护栏的安全防护效果。根据设计规范^[9]中对金属梁柱式护栏高度不小于1 250 mm的要求,考虑结构及工艺特点,明确护栏有效高度为1 300 mm。同时,公路中央分隔带内可供护栏设置的最小宽度为500 mm,尤其在国省干道工程占比越来越大,从普适性和节地性角度出发,明确护栏总宽度为500 mm。

3.3 横梁和立柱结构

护栏横梁和立柱采用方形管作为基本结构,原因是方形管在抗弯性能、加工安装方便性及通透性等方面具有优势。同时,护栏构件强度匹配设计尤为关键,通过仿真对比分析多种工况:工况①:最上层横梁厚8 mm、下两层横梁厚4 mm、立柱厚6 mm;工况②:最上层横梁厚8 mm、下两层横梁厚3 mm、立柱厚6 mm;工况③:最上层横梁和中间层横梁厚6 mm、最下层横梁厚4 mm、立柱厚6 mm。结果显示:工况①和工况③的护栏防护效果基本相当(图7),但工况③的护栏材料用量更少,说明构件强度匹配设计更为合理。

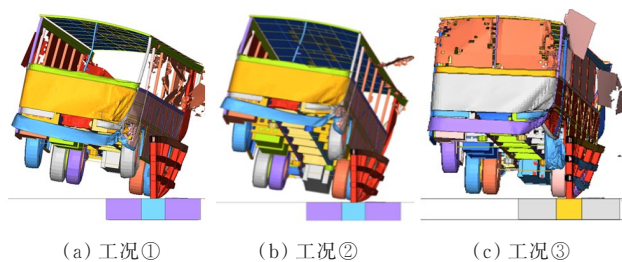


图7 护栏构件强度匹配不同工况的防护效果对比

Figure 7 Comparison of protective effects between barrier component strength matching under different working conditions

3.4 基础形式

护栏基础是保证其安全防护能力是否达标的关键。综合考虑安全性和施工方便性,融合波形梁护

栏基础预埋套筒式设计和混凝土护栏基础嵌固式设计的优势,提出了梁柱一体式钢护栏的基础设计方式,并经过仿真迭代优化分析,提出混凝土基座路面以下嵌固深度120 mm、路面以上设置高度200 mm、坡面采用弧形,以及立柱预埋深度270 mm,如图8所示。其中,混凝土基座设计也缩小了最下层横梁空间,进一步减少车辆绊阻的发生。

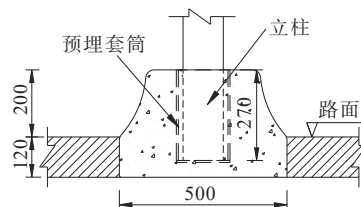


图8 护栏基础形式(单位:mm)

Figure 8 Basic barrier structure(unit:mm)

3.5 护栏整体结构

图9为节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏结构,主要结构参数如下:

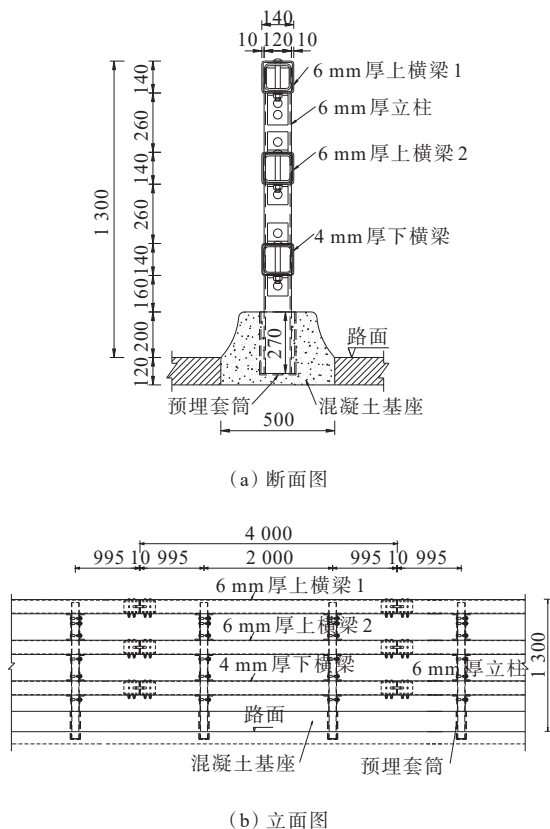


图9 节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏结构(单位:mm)

Figure 9 Structure of land-saving and beautiful median barrier with steel beam-column integration(unit:mm)

(1) 护栏采用梁柱一体式结构,横梁套设于立柱上,造型简洁,景观通透,安装方便,节省材料。

(2) 护栏路面以上有效高度为 1 300 mm,总宽度为 500 mm。

(3) 横梁布设层数为 3 层,上两层横梁采用断面尺寸为 140 mm×140 mm×6 mm 的方管结构,最下层横梁采用断面尺寸为 140 mm×140 mm×4 mm 的方管结构。

(4) 立柱采用断面尺寸为 120 mm×120 mm×6 mm 的方管结构,立柱间距为 2 m。

(5) 混凝土基座路面以上高 200 mm、路面以下深 120 mm,基座内合理配置预埋套筒和钢筋,混凝土标号不低于 C30。

(6) 横梁与横梁间采用内套管进行拼接,上两层横梁拼接内套管为 120 mm×120 mm×8 mm×490 mm,最下层横梁拼接内套管为 124 mm×124 mm×6 mm×490 mm。

(7) 横梁通过焊接角钢实现与立柱的连接,角钢设置水平方向长圆孔,立柱设置高度方向长圆孔,安装时角钢水平方向长圆孔和立柱高度方向长圆孔共同作用,方便调节与安装。

4 护栏结构安全性能评价

节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏属于新结构,根据设计规范^[9]和评价标准^[10]要求,需要组织开展实车足尺碰撞试验检测安全性能指标,评价其是否达到 SAm 级防护能力。

4.1 试验组织

根据节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏结构尺寸、材料型号和性能指标等方面的要求,按照 1:1 比例,在特定的碰撞试验广场上修建试验护栏,且施工安装符合《公路交通安全设施施工技术规范》(JTG/T 3671—2021)^[11]的要求,如图 10(a)所示;试验车型包括小型客车、大型客车、大型货车,车辆总成完整,转向系统、悬架系统、车轮、前后桥和轮胎气压等均符合正常行驶的技术要求,总质量、长度、宽度、轮距、轴距和重心位置等主要技术参数均满足评价标准^[10]要求,如图 10(b)所示。

经检测,节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏的试验碰撞条件见表 2,容许误差符合评价标准^[10]要求,大型客车和大型货车的碰撞能量均大于设计防护能量 400 kJ。



(a) 试验护栏



(b) 试验车辆

图 10 节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏试验样品与车辆

Figure 10 Test sample and vehicle for land-saving and beautiful median barrier with steel beam-column integration

表 2 节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏试验碰撞条件

Table 2 Impact test conditions for land-saving and beautiful median barrier with steel beam-column integration

碰撞车型	车辆总质量/t	碰撞速度/(km·h ⁻¹)	碰撞角度/(°)	碰撞能量/kJ
小型客车	1.491	102.2	20.0	70
大型客车	14.163	80.6	20.2	423
大型货车	25.174	61.3	20.2	435

4.2 试验结果

(1) 小型客车试验

图 11 为小型客车碰撞节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏的仿真结果,可见车辆碰撞过程中没有穿越、翻越、骑跨和下穿护栏现象,护栏构件及其脱离件没有侵入车辆乘员舱,阻挡功能良好;车辆碰撞后平稳驶出,没有发生翻车现象,车辆轮迹满足导向驶出框要求,导向功能良好;纵向和横向的乘员碰撞速度分别为 8.3 m/s、9.5 m/s,均小于 12 m/s,纵向和横向的乘员碰撞后加速度分别为 88.5 m/s²、173.2 m/s²,均小于 200 m/s²,缓冲性能良好;护栏最大横向动态变形值为 0.15 m,护栏最大横向动态位移外延值为 0.50 m。

(2) 大型客车和大型货车试验

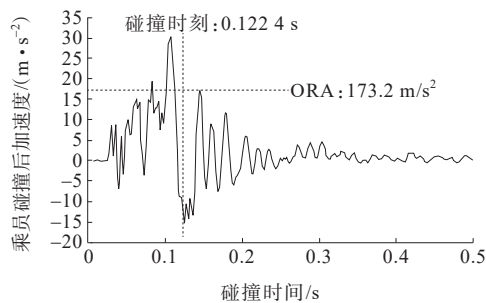
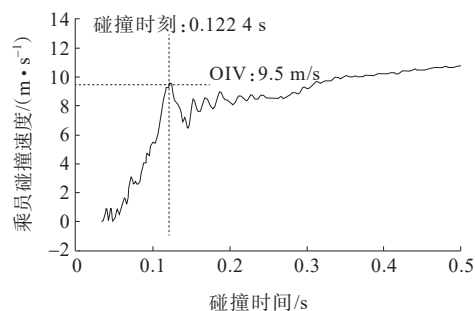
图 12、13 为大型客车和大型货车碰撞节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏的仿真结果,可见大型车碰撞过程中没有穿越、翻越、骑跨和下穿护



(a) 运行轨迹



(b) 导向驶出框(单位:m)



(c) 最大乘员碰撞速度和碰撞后加速度时程曲线



(d) 护栏和车辆损坏情况

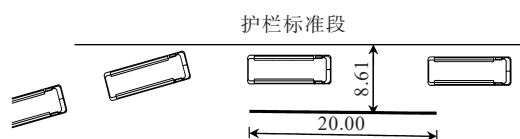
图 11 小型客车评价结果

Figure 11 Evaluation results of car

栏现象,护栏构件及其脱离件没有侵入车辆乘员舱,阻挡功能良好;车辆碰撞后平稳驶出,没有发生翻车现象,车辆轮迹满足导向驶出框要求,导向功能良好。同时,大型客车碰撞后,护栏最大横向动态变形值为 0.35 m,护栏最大横向动态位移外延值为 0.70 m;大型客车碰撞过程中最大动态外倾值为 0.70 m,外倾当量值为 0.85 m;大型货车碰撞后,护栏最大横向动态变形值为 0.30 m,护栏最大横向动态位移外延值为 0.70 m;大型客车碰撞过程中最大动态外倾值为



(a) 运行轨迹



(b) 导向驶出框(单位:m)



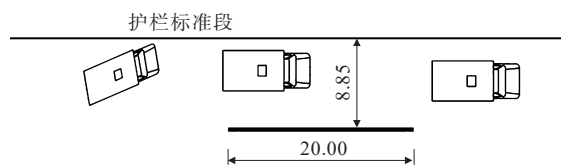
(c) 护栏和车辆损坏情况

图 12 大型客车评价结果

Figure 12 Evaluation results of bus



(a) 运行轨迹



(b) 导向驶出框(单位:m)



(c) 护栏和车辆损坏情况

图 13 大型货车评价结果

Figure 13 Evaluation results of truck

0.50 m,外倾当量值为 0.95 m。

通过试验验证,节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏具备良好的阻挡功能、导向功能和缓冲功能,各项指标均满足评价标准^[10]要求,达到 SAm 级防护能力。

5 护栏优势分析

中央分隔带梁柱一体式型钢护栏新结构在安全、节地、美观、工艺效率、防阻雪及经济环保等方面具有显著优势。

(1) 安全方面:在达到五级(SAm)防护能力的基础上,与同等级中央分隔带波形梁护栏相比,梁柱一体式型钢护栏对碰撞车辆的侧倾控制更好,碰撞后护栏变形更小,防护效果更优,如图 14 所示。



(a) 波形梁护栏 (b) 梁柱一体式型钢护栏

图 14 同等级波形梁护栏和梁柱一体式型钢护栏的防护效果对比

Figure 14 Comparison of protective effects between median barriers with W-beam and steel beam-column integration structures at the same level

(2) 节地方面:与同等级双道设置的中央分隔带护栏相比,梁柱一体式型钢护栏整体宽度仅为 500 mm,公路横断面占地空间更小,可节省征地及路基路面建设费用,且适用范围更广,如图 15 所示。



(a) 双道设置的中分带护栏 (b) 梁柱一体式型钢护栏

图 15 双道设置波形梁和型钢护栏与梁柱一体式型钢护栏的宽度对比

Figure 15 Comparison of widths between median barriers with double W-beam and steel beam-column integration structures

(3) 美观方面:与同等级中央分隔带波形梁护栏和混凝土护栏相比,梁柱一体式型钢护栏的造型更简洁、线形更美观、景观更通透,行车舒适性更高,可

以更好地美化公路交通环境,如图 16 所示。



(a) 波形梁护栏和混凝土护栏 (b) 梁柱一体式型钢护栏

图 16 同等级波形梁和混凝土护栏与梁柱一体式型钢护栏的景观对比

Figure 16 Comparison of landscape effects between median barriers with W-beam and steel beam-column integration structures at the same level

(4) 工艺效率方面:与同等级混凝土护栏、双道波形梁护栏及双道型钢护栏相比,梁柱一体式型钢护栏采用标准构件且单道设置构件数量少,加工、施工及维护效率更高,可节省建设工期。

(5) 防阻雪功能:与同等级混凝土护栏、双道波形梁护栏及双道型钢护栏相比,梁柱一体式型钢护栏采用梁柱一体式结构,更利于风吹雪通过,对于冬季积雪严重的地区尤为适用。

(6) 经济环保功能:与同等级双道波形梁护栏相比,梁柱一体式型钢护栏每延公里可节省钢材 30 t 以上,更加经济环保。

节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏在某国省干道上的应用效果如图 17 所示。



图 17 节地美观型 SAm 级中央分隔带梁柱一体式型钢护栏工程应用

Figure 17 Engineering application of land-saving and beautiful type median barriers with beam-column integration

6 结语

通过对不同类型的中央分隔带护栏的受力特点的分析,提出梁柱一体式设计方式,研究得到了一种节地美观型中央分隔带梁柱一体式型钢护栏成果,

防护能力达到SAm级,与现有同等级中央分隔带护栏结构相比,在节地性、美观性、工艺便利性、工程适应性及造价经济性方面有一定优势,可以更好地满足高速公路及国省干道中央分隔带护栏的设计需求。

参考文献:

References:

- [1] 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,2011,30(1):152-156.
YAN Shuming. Feasibility analysis of barrier safety evaluation with finite element simulation method[J]. Journal of Vibration and Shock,2011,30(1):152-156.
- [2] 汪志勇,甘树兵,王胜.SAm级中央分隔带波形梁新型护栏碰撞研究[J].中外公路,2023,43(5):267-272.
WANG Zhiyong, GAN Shubing, WANG Sheng. Crash study of new type of guardrail with wave girders in central median of sam class[J]. Journal of China & Foreign Highway,2023,43(5):267-272.
- [3] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施设计细则:JTG/T D81—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Design guideline for highway safety facilities: JTG/T D81—2017[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd.,2017.
- [4] 王新,杨福宇,刘思源,等.防阻块功能分析及焊缝强度对波形梁护栏防护性能影响研究[J].中外公路,2021,41(2):361-364.
WANG Xin, YANG Fuyu, LIU Siyuan, et al. Function analysis of stumbling blocks and influence of weld strength on protective performance of W-beam barriers[J]. Journal of China & Foreign Highway,2021,41(2):361-364.
- [5] 余斌,王新,池红坤,等.基于钢桥翼缘板的HA级梁柱式钢护栏结构研究[J].中外公路,2022,42(5):252-256.
YU Bin, WANG Xin, CHI Hongkun, et al. Research on HA-level beam-column steel barrier structure based on steel bridge flange plate[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(5):252-256.
- [6] 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.
PEI Dajun, PENG Xiaobin, GONG Shuai, et al. Research on special high-level steel barrier for cable-supported bridges [J]. Journal of China & Foreign Highway,2021,41(3):403-406.
- [7] 刘明虎,张门哲,亢寒晶,等.桥梁嵌固式基础中央分隔带钢护栏安全性分析[J].中外公路,2019,39(3):291-296.
LIU Minghu, ZHANG Menzhe, KANG Hanjing, et al. Safety analysis of the steel barrier in bridge's central divider of the embedded foundation[J]. Journal of China & Foreign Highway,2019,39(3):291-296.
- [8] 付晓鹏,马晴,廖贵星,等.桥梁梁柱式型钢护栏结构优化研究[J].桥梁建设,2020,50(S1):44-50.
FU Xiaopeng, MA Qing, LIAO Guixing, et al. Study on structural optimization of beam-column steel guardrail of bridge[J]. Bridge Construction,2020,50(S1):44-50.
- [9] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施设计规范:JTG D81—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Design specifications for highway safety facilities :JTG D81—2017[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd.,2017.
- [10] 北京深华达交通工程检测有限公司.公路护栏安全性能评价标准:JTG B05-01—2013[S].北京:人民交通出版社,2013.
Beijing SHD Testing Center Official Web. The evaluation specification for way safety barriers: JTG B05-01—2013 [S]. Beijing: China Communications Press,2013.
- [11] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施施工技术规范:JTG/T 3671—2021[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Technical specifications for construction of highway safety facilities: JTG/T 3671—2021[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd.,2021.