

# SAm级中央分隔带波形梁新型护栏碰撞研究

汪志勇<sup>1</sup>,甘树兵<sup>2</sup>,王胜<sup>3</sup>

(1.宜春公路勘察设计院,江西宜春 33600;2.宜春市公路管理局直属分局,江西宜春 33600;

3.长沙理工大学汽车与机械工程学院,湖南长沙 410114)

**摘要:**根据中国道路交通的需求,该文设计了一款适用于高级公路使用的新型中央分隔带护栏。在完成三维模型设计后,为验证该护栏的防护效果,采用有限元仿真方法对护栏标准段进行碰撞分析验证。通过对新型护栏的碰撞仿真分析可知:所设计护栏碰撞等级达到SAm级别。同时,将新型护栏与传统护栏进行对比,确定新型护栏更适合高级公路使用。

**关键词:**中央分隔带;新型护栏;有限元仿真;碰撞分析

中图分类号:U417.1

文献标志码:A

## 0 引言

中央分隔带护栏作为公路安全行驶重要保障措施,具有分隔车流,防止车辆穿过车道的作用<sup>[1-3]</sup>。在公路交通事故发生时,护栏装置还具备吸能导向作用<sup>[4-7]</sup>,能够最大程度降低事故损失<sup>[8-12]</sup>。但随着中国汽车保有量的飞速增长以及人们对行车安全要求的提高,已有护栏结构并不能满足出行安全需求,因此研究开发出高防护等级的护栏结构尤为重要。

针对上述问题,本文设计一款防撞等级达到SAm级的中央分隔带护栏,主要结构采用抗撞性能较好的130 mm×130 mm×6 mm矩形钢立柱与长3 m的三波板。为验证所设计的中央分隔带护栏(为便于区分,后文将其统称为“新型护栏”)达到标准中所要求的SAm级,以《公路护栏安全评价标准》(2013版)的试验车辆对护栏标准段进行碰撞仿真分析。

## 1 护栏碰撞条件和评价标准

### 1.1 碰撞条件

按照中国公路法规标准<sup>[2]</sup>,SAm级护栏的试验条件见表1。

表1 护栏试验条件

防护等级	碰撞车型	车辆总质量/t	碰撞速度/(km·h <sup>-1</sup> )	碰撞角度/(°)	
五	试验1	小型客车	1.5	100	20
	试验2	中型客车	14	80	20
	试验3	大型货车	25	60	20

### 1.2 评价标准

(1) 中央分隔带护栏作为中国常用公路护栏的一种,应具备较为基础的车辆阻拦及导向功能。

(2) 中央分隔带护栏在满足阻拦和导向功能的同时还应具备缓冲吸能功能,具体要求汽车碰撞后各向加速度均小于20g。

(3) 考虑到中央分隔带允许变形区域有限,以及避免车辆在碰撞过程中出现侧翻现象,将新型护栏最大动态变形量上限值设为试验车辆最大宽度的一半,即1 200 mm。获得新型护栏评估标准,如表2所示。

表2 新型护栏评估标准

导向功能	缓冲功能	护栏变形量/mm
是否顺利导向	各向加速度小于20g	<1 200

## 2 仿真模型的建立

### 2.1 新型护栏的几何模型

新型护栏主要由三波板、矩形立柱、防阻块、混凝土板和钢筋组成,三维模型如图 1 所示。

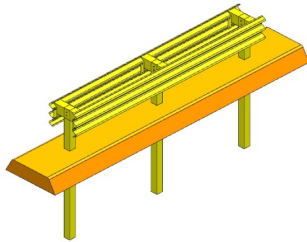


图 1 新型护栏三维模型

### 2.2 新型护栏尺寸

经过研究发现,在确定混凝土板与防阻块的外形轮廓之后,波形板梁的中心高度成为影响车辆能否达到安全标准的关键。

以中国现有的一款高速公路护栏作为参考,如图 2 所示,其所设计的护栏中心离地高度为 800 mm。考虑到新型护栏设计不同,需要根据碰撞效果调节新型护栏中心高度。

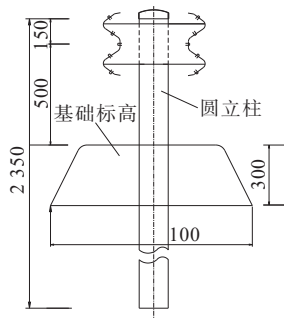


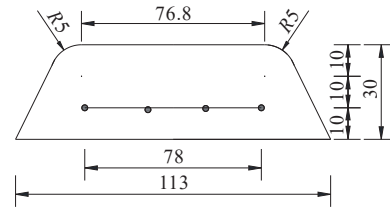
图 2 现有护栏尺寸图(单位:mm)

经过多次碰撞仿真分析,确定将三波板离地中心高度设置为 747 mm。新型护栏结构的混凝土块尺寸及整体结构侧面如图 3 所示。

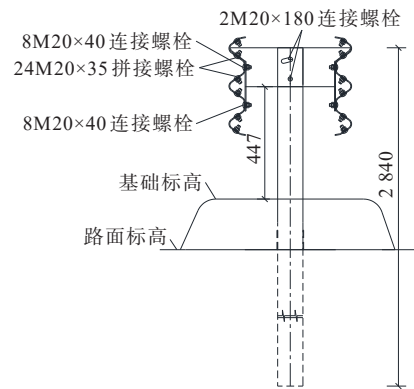
### 2.3 新型护栏材料属性

新型护栏的三波板、矩形立柱和防阻块主要由 235 号低碳钢制造而成,在仿真分析时,使用 LS-DYNA 材料库中的 24 号材料模型进行模拟,该材料模型能够较好地反映低碳钢的机械性能。

$$\sigma = \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] \sigma_0 \quad (1)$$



(a) 混凝土块正视图(单位:cm)



(b) 护栏侧面图(单位:mm)

图 3 新型护栏尺寸图

式中: $\sigma$ 为动态流动应力; $\sigma_0$ 为初始应力值; $\dot{\epsilon}$ 为应变率。 $C$ 和 $P$ 为材料常数,本研究中将其取值分别设置为 40 和 5。

三波板、矩形立柱和防阻块的材料参数见表 3。

表 3 材料模型参数

密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	弹性模量/ MPa	泊松比	屈服强度/ MPa	剪切模量/ MPa
7 900	2.1e5	0.30	235	763

此外,使用材料库中的 \*MAT\_JOHNSON\_HOLMQUIST\_CONCRETE\_TITLE 材料模型模拟混凝土板。使用 \*MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC\_TITLE 材料模型模拟钢筋,两种材料参数分别如表 4、5 所示。

### 2.4 新型护栏有限元模型

新型护栏整体有限元模型如图 4 所示。其中,使用面网格划分新型护栏的三波板、矩形立柱和防阻块,使用六面体网格划分混凝土板。

在车辆与护栏碰撞仿真分析时,为避免因部件之间相互接触造成的穿透问题,使用“自接触”定义部件内部的接触关系。使用“面面接触”定义车辆与护栏之间的接触关系,动摩擦系数为 0.3,静摩擦系数为 0.15。根据中国公路法规规定的碰撞分析条件设

表4 混凝土JHC模型材料参数

$\rho_0/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	$f_c/\text{Pa}$	$A$	$B$	$C$	$SF_{\max}$	$G/\text{Pa}$	$D_1$	$D_2$	$N$
$2.4\times 10^3$	$30\times 10^6$	0.79	1.60	0.007	7.0	$14.86\times 10^9$	0.04	1.0	0.61
$EF_{\min}$	$T/\text{Pa}$	$P_{\text{cruch}}/\text{Pa}$	$\mu_{\text{cruch}}$	$P_{\text{lock}}/\text{Pa}$	$\mu_{\text{lock}}$	$K_1/\text{Pa}$	$K_2/\text{Pa}$	$K_3/\text{Pa}$	$E/\text{Pa}$
0.01	$4\times 10^6$	$16.0\times 10^6$	0.001	$0.8\times 10^9$	0.1	$85\times 10^9$	$-171\times 10^9$	$208\times 10^9$	$35.7\times 10^9$

注: $\rho_0$ 为质量密度; $f_c$ 为单轴抗压强度; $A$ 为完整正则化强度参数; $B$ 为断裂正则化强度参数; $C$ 为强度参数(应变率相关); $SF_{\max}$ 为正则化最大强度; $G$ 为剪切模量; $D_1$ 为塑性应变断裂参数; $D_2$ 为塑性应变断裂参数(指数); $N$ 为完整强度参数(压力指数); $EF_{\min}$ 为断裂前的塑性应变变量; $T$ 为最大拉伸静水压力; $P_{\text{cruch}}$ 为破碎压力; $\mu_{\text{cruch}}$ 为破碎体积应变; $P_{\text{lock}}$ 为锁紧压力; $\mu_{\text{lock}}$ 为锁紧体积应变; $K_1, K_2, K_3$ 为承压常数; $E$ 为弹性模量。

表5 钢筋模型材料参数

$E/\text{MPa}$	泊松比	质量密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	失效应变	应变率 系数 $C$	应变率 系数 $P$	屈服 力/ $\text{MPa}$
20300	0.27	7870	0.75	40	5	345

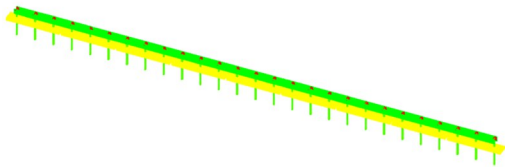


图4 新型护栏结构有限元模型

置有限元模型碰撞初始条件,建立三次碰撞试验有限元模型,如图5所示。

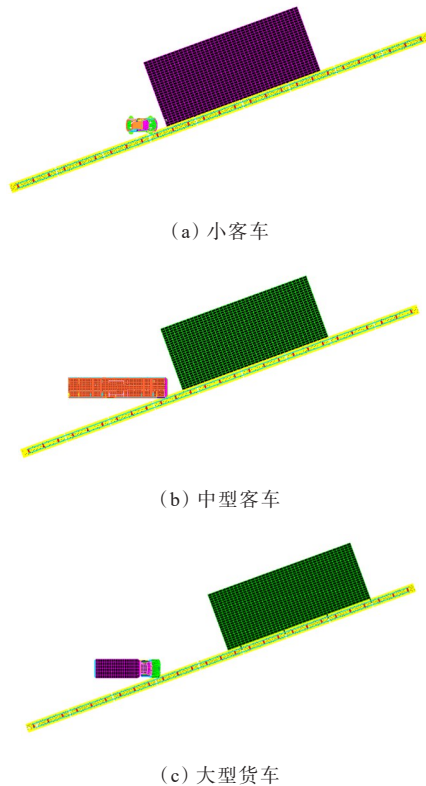


图5 新型护栏结构碰撞有限元模型

### 3 新型护栏碰撞仿真结果

在完成试验车辆与新型护栏碰撞模型计算后,对试验车辆与新型护栏碰撞过程具体结果进行分析。

#### 3.1 护栏导向能力分析

首先,3款试验车辆碰撞新型护栏后均可以实现导向,具体动画如图6~8所示。

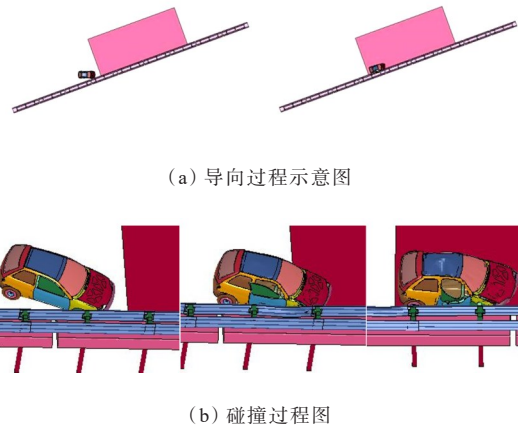


图6 小型客车碰撞护栏过程图

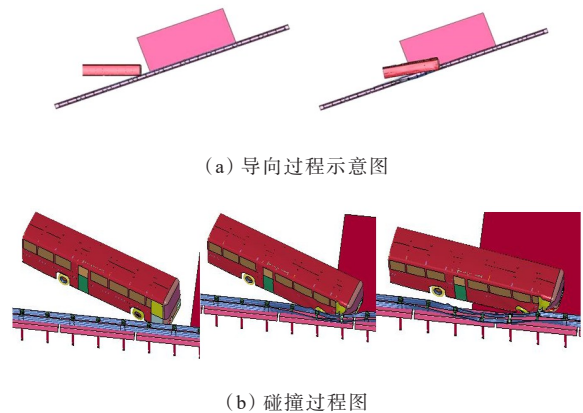


图7 中型客车碰撞护栏过程图

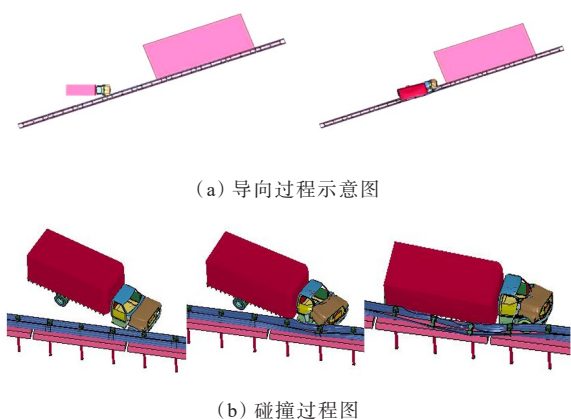
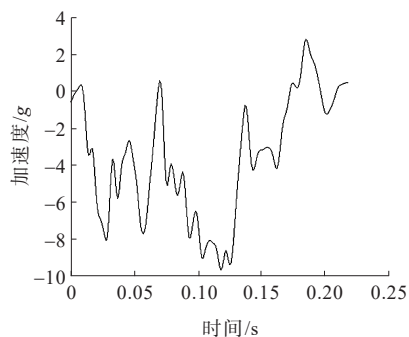


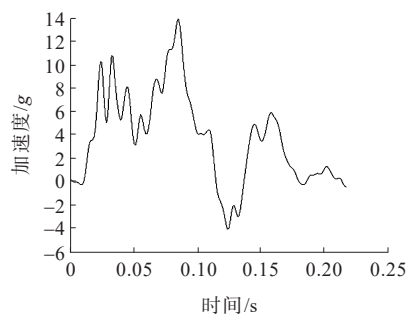
图8 大型货车碰撞护栏过程图

### 3.2 加速度分析

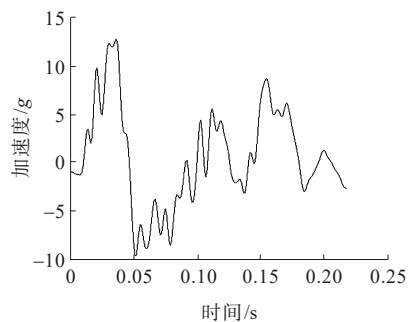
3款车辆各向加速度曲线如图9~11所示,



(a) X方向质心加速度

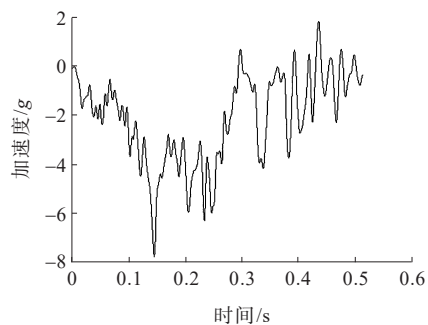


(b) Y方向质心加速度

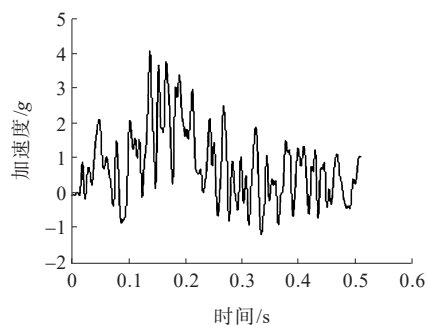


(c) Z方向质心加速度

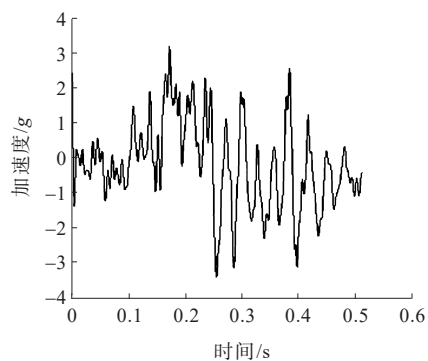
图9 小型客车质心各向加速度



(a) X方向质心加速度



(b) Y方向质心加速度



(c) Z方向质心加速度

图10 中型客车质心各向加速度

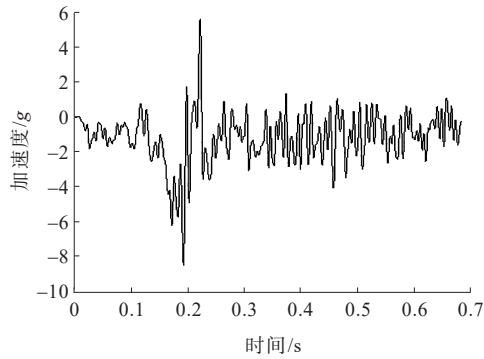
其碰撞过程中各向加速度最大值列于表6。由表6可知:小型客车、中型客车、大型货车碰撞过程中加速度最大值分别为13.8g、7.79g、8.60g,都小于20g。

### 3.3 横向动态偏移量分析

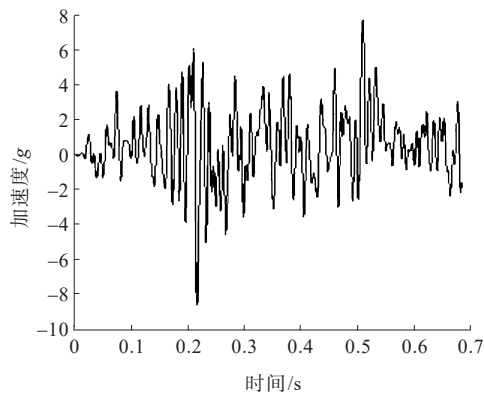
对3款试验车辆碰撞新型护栏产生的动态变形进行分析,3款试验车辆碰撞新型护栏后,新型护栏产生的最大动态变形量列于表7。由表7可知:3款试验车辆碰撞新型护栏后产生的最大动态变形量均小于1 200 mm。

### 3.4 新型护栏与传统护栏碰撞对比分析

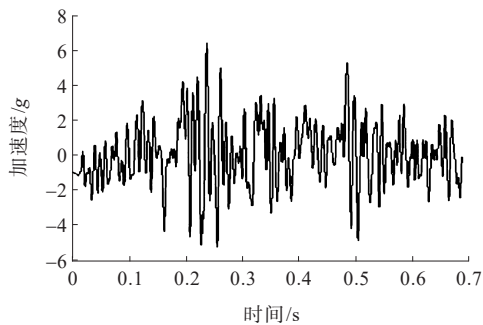
通过对护栏进行仿真分析,不难发现小型客车在碰撞新型护栏时,车身产生的各向加速度值为3组



(a) 大型货车X方向质心加速度



(b) 大型货车Y方向质心加速度



(c) Z方向质心加速度

图11 大型货车质心各向加速度

表6 试验车辆的加速度结果

方向	加速度/g		
	小型客车	中型客车	大型货车
X	9.66	7.79	8.52
Y	13.89	4.09	8.60
Z	12.78	3.38	6.44

表7 车辆-护栏横向偏移量

碰撞车辆类型	最大横向偏移量/mm
小型客车	80
中型客车	673
大型货车	667

碰撞试验中最大,而新型护栏在受到中型客车碰撞时,护栏波形板产生的变形量为3组碰撞试验中最大。因此,为研究新型护栏和传统护栏的区别,通过设置相同碰撞初始条件,将两款护栏碰撞试验的最大加速度值与最大变形量进行对比。

设置的初始条件为:小型客车以100 km/h,速度、20°角度碰撞传统护栏,小型客车碰撞传统护栏时各向加速度曲线如图12所示。

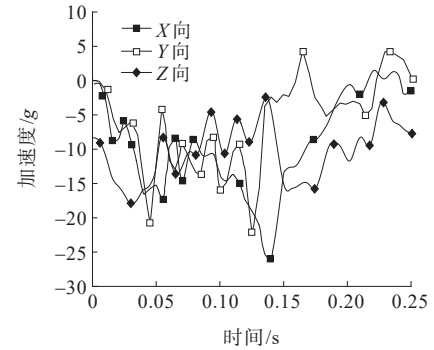


图12 小型汽车碰撞传统护栏各向加速度图

小型客车碰撞传统护栏与新型护栏各向加速度对比结果如表8所示。

表8 小型客车各向加速度对比

护栏类型	加速度/g		
	X	Y	Z
传统护栏	26.06	22.73	19.47
新型护栏	9.66	13.89	12.78
优化比例/%	62.9	38.9	34.4

由表8可知:小客车在碰撞新型护栏时,X、Y、Z向加速度分别降低了62.9%、38.9%、34.4%,极大地降低了小客车碰撞护栏时各向加速度,提高了汽车乘员安全性。

同理,针对中型客车碰撞新型护栏与传统护栏时,两款护栏所产生的变形量进行对比,结果如图13所示。

新型护栏在受到中型客车碰撞时所产生的变形量较传统护栏受到中型客车碰撞时所产生的变形量降低了12%,较大程度避免了因护栏变形产生的其他交通事故。

## 4 结论

研制开发了一款适用于高级公路使用的中央分

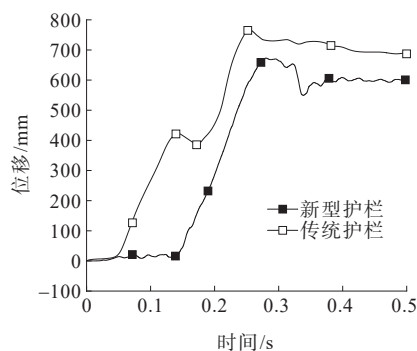


图13 新型护栏与传统护栏最大变形量对比

隔带护栏。在该方案中将波形板中心高度设置为747 mm,波形板结构采用三波板,混凝土板采用分段不连续设计。这种方案的组合式护栏增大了车辆碰撞接触面积,能够使车辆顺利导向。

(1) 依据法规要求对新型护栏进行碰撞试验分析,获得以下试验结果:① 3款试验车辆在碰撞新型护栏后均可实现顺利导向;② 3款试验车辆碰撞新型护栏过程中所产生的加速度最大值分别为13.89g、7.79g和8.60g,满足法规中车辆质心处的各向加速度应小于20g的要求;③ 3款试验车辆碰撞新型护栏,护栏结构的最大变形量分别为80 mm、673 mm和667 mm,均满足小于1 200 mm的要求。因此,可以认为所设计的中央分隔带新型护栏达到防撞等级SAm级别。

(2) 将新型护栏与传统护栏进行对比分析可知,新型护栏更大程度地保障了车辆碰撞护栏时的安全性。因此,该款护栏可推广应用于高级公路防护。

#### 参考文献:

- [1] 雷正保,李丽红,雷沐羲,等.新型柔性护栏碰撞安全性仿真分析及实车验证[J].振动与冲击,2013,32(22):28-31.
- [2] 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.
- [3] 交通部公路科学研究院.公路交通安全设施设计细则:JTG/T D81—2006[S].北京:人民交通出版社,2006.
- [4] 雷正保,彭作,刘兰,等.弯道混凝土护栏碰撞特性的优化设计[J].振动与冲击,2009,28(5):6-9,26,200.
- [5] 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.
- [6] 周劲宇,唐俊义,黄靖云.一种新型装配式桥梁人-车隔离防撞护栏研究[J].中外公路,2022,42(3):254-259.
- [7] 丁桦,吴梦喜,王剑文,等.关于中央分隔带护栏立柱基础的探讨[J].工程力学,2002,19(1):125-129.
- [8] 雷正保,杨兆.三波护栏的耐撞性研究[J].公路交通科技,2006,23(7):130-136.
- [9] 闫书明,陈冠雄,刘航.几种改进的波形梁护栏的碰撞分析[J].公路工程,2016,41(1):167-171,201.
- [10] 朱建民,龚维明,赵学亮,等.单桩轴向抗压承载力检测之疾速载荷试验[J].中外公路,2021,41(4):47-51.
- [11] 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.
- [12] 刘凯,裴炳志,张门哲,等.混合梁斜拉桥钢-混结合段附近区域梁段刚度和承载能力的合理分布研究[J].中外公路,2019,39(6):66-72.