

高速公路旧桥桥梁护栏提升发展研究

刘新萍,张世辉*,尚钟平,韩跃,章强

(江苏国强交通科技有限公司,江苏南京 210000)

摘要:针对旧桥护栏防护等级不足,在不损伤桥梁主体结构的同时,利用有限元分析研发设计一种适用于旧桥低矮混凝土墙式护栏的组合式护栏,通过实车足尺碰撞试验验证防护等级达到SA级。采用新型高强合金钢材料设计,重量较轻、造型美观;无需拆除原有旧桥混凝土基础,施工方便、造价较低;在桥梁护栏改造等级提升项目中值得推广应用。

关键词:桥梁护栏;组合式护栏;旧桥改造;护栏;护栏等级提升

中图分类号:U491.59

文献标志码:A

Guardrail Improvement for Old Bridges in Expressways

LIU Xinping, ZHANG Shihui*, SHANG Zhongping, HAN Yue, ZHANG Qiang

(Jiangsu Guoqiang Traffic Science & Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: In view of the insufficient protection grade of the guardrail in old bridges, a combined guardrail suitable for the low concrete wall guardrail in the old bridge was designed and developed by using finite element analysis while not damaging the main structure of the bridge. The protection grade was verified to reach SA grade through a full-scale vehicle collision test. The guardrail was designed with new high-strength alloy steel, with light weight and beautiful appearance. There was no need to dismantle the original concrete foundation in the old bridge, which is convenient for construction and requires low cost. Therefore, it is worth being popularized and applied in the project of reconstruction and improvement of bridge guardrails.

Keywords: bridge guardrail; combined guardrail; reconstruction of old bridge; guardrail; improvement of guardrail grade

1 旧桥桥梁护栏

1.1 旧桥状况

中国的第一条高速公路始建于1984年,1994年中国已建成通车的高速公路总里程达1603 km,至1998年,中国通车总里程达8733 km,在建高速公路总里程达1.26万km^[1]。而中国的第一版《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》(JTJ 074—94)颁布于1994年^[2]。始建于20世纪90年代中期及以前的高速公路大多参照国际标准建造,护栏高度、样式、防撞等级等都没有统一标准。随着社会的进步

和交通的高速发展,对交通安全设施提出了更高的防护要求,早期建造的防撞护栏高度、设计速度、护栏吸能量等已经不适用于当代交通。当代交通对公路交通安全设施的设计提出了更高的要求,最新版《公路交通安全设施设计规范》(JTGD81—2017)护栏根据不同的道路等级,其防护等级分为8级,其中一般公路桥梁护栏较高的SA级和SS级,防撞能量为400 kJ和520 kJ^[3],原(JTJ 074—94)规范时期及以前设计的桥梁护栏已经不符合目前桥梁护栏的防护需求。

工业园区互通匝道桥位于沪宁高速苏州段

收稿日期:2022-11-23

作者简介:刘新萍,女,大学本科,助理工程师.E-mail:2653891667@qq.com

*通信作者:张世辉,男,硕士,工程师.E-mail:zhangshihui@jsgqkj.com

K30+605前后,是工业园区收费站至南京方向及上海至工业园的必经之路,始建于1995年,设计速度40 km/h,弯桥特征R70,2003年沪宁高速改扩建时此处沿用老桥未做重建^[4]。旧桥护栏已经随桥服役多年,但最近发生多起车辆穿越护栏事故急需护栏等级提升。

1.2 护栏现状

桥梁护栏为组合式护栏,护栏等级为Cm-PL₂-R型,路面以上总高度为81.9 cm,侧边带有路缘石(高12 cm),护栏整体高度为69.9 cm,护栏下部结构为高度为30 cm的混凝土基础,迎撞面为新泽西护栏,上部为高度39.9 cm的双层金属横梁,护栏现状如图1所示。老桥护栏基础与桥面板连接牢固不易拆除,良好连接可在改造中沿用,此处护栏形式不同于主线其他桥梁。



图1 工业园区互通匝道桥梁护栏现状

Figure 1 Current situation of bridge guardrail on interchange ramp in industrial park

1.3 护栏结构对比

《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》(JTJ 074—94)规定设置于桥梁上的护栏最高等级为PL₃级,实车碰撞试验检测为两种车型,防护等级低(最高碰撞能量为230 kJ,低于目前标准的SB级280 kJ),碰撞车型不够全面。JTJ 074—94规范桥梁组合护栏构造图如图2所示。工业园区互通匝道桥梁组合护栏构造图如图3所示。

工业园区互通匝道桥梁组合护栏整体结构低于94版桥梁组合护栏,混凝土基础更低仅有30 cm。现行《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2017)中规定SA级混凝土护栏高度为100 cm,SA级组合式护栏高度为110 cm,如图4所示。

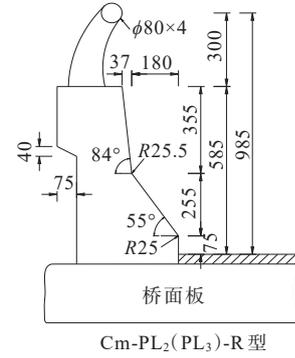


图2 JTJ 074-94规范中组合式桥梁护栏(单位:mm)
Figure 2 Combined guardrail in JTJ 074-94(unit:mm)

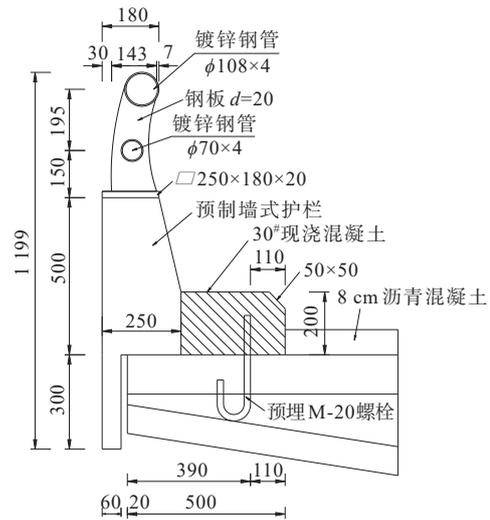


图3 工业园区互通匝道桥梁护栏(单位:mm)
Figure 3 Bridge guardrail on interchange ramp in industrial park(unit:mm)

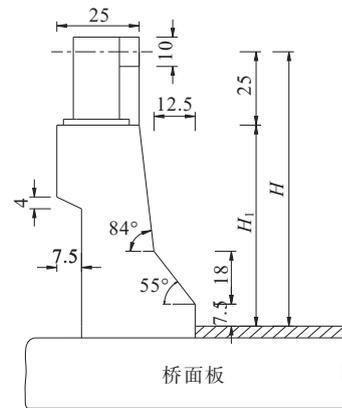


图4 JTG D81—2017规范中组合式混凝土护栏(单位:mm)
Figure 4 Combined concrete guardrail in JTG D81—2017(unit:mm)

工业园区互通匝道桥梁护栏即为典型的低基础非标准护栏,且属于弯桥,已经发生多起车辆坠桥事故。

2 提升方案设计

参照《提升公路桥梁安全防护能力专项行动技术指南》及相关文献要求^[5-7],推荐保留原混凝土护栏基础,去掉混凝土上方的原钢护栏结构,而在混凝土护栏上端设计一种新型的钢护栏结构,满足《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)中组合式护栏高度要求^[8]。将原有大中桥路侧PL₂组合式护栏更换为高性能轻量化高强钢桥梁护栏(SA级),原护栏下部基础保持不变(确保改造前后护栏迎撞

面满足规范要求的前提下),上部安装轻量化高强钢护栏。

2.1 选用轻量化高强钢

钢材的主要力学性能包括屈服强度、抗拉强度、断后伸长率等。为了提高护栏的防护性能,采用宝钢研发的B550(宝钢Q550)高强钢新材料,其基本性能为:黑件带钢屈服强度不低于550 MPa,抗拉强度不低于700 MPa,断后伸长率不低于22%,屈强比不大于0.79。表1为标准牌号钢材与新材料性能比较。

表1 标准牌号钢材与新材料性能比较^[9-10]

Table 1 Comparison of properties between standard steel and new materials^[9-10]

牌号	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	断后伸长率/ %	屈强比	强塑积/ (GPa·%)	
钢级	质量等级					
Q235	B、C、D	≥235	370~500	≥26	0.64	9.62
Q355	B、C、D、E、F	≥355	470~630	≥22	0.76	10.34
Q550	C、D、E	≥550	670~830	≥16	0.82	10.72
B550	C、D、E	≥550	≥700	≥22	0.79	15.40

以上为公称厚度或直径不大于16 mm的黑件带钢数值;屈强比和强塑积(抗拉强度×断后伸长率)用最低值计算,其中:

(1) 屈服强度和抗拉强度为钢材最基本的力学性能参数,提高钢材的屈服强度和抗拉强度是改善护栏防护性能的重要技术。

(2) 断后伸长率数值越大,钢材的延性越好,越有利于受力,安全储备越大。

(3) 屈强比太高时结构容易发生脆性破坏,为了避免结构发生脆性破坏,欧洲建筑屈强比不大于0.91,日本建筑屈强比不大于0.80,中国建筑屈强比不大于0.85,保证结构的安全性。

(4) 强塑积为表征金属材料强韧性水平的综合性能指标,表示钢在拉伸试验过程中所吸收的能量或外力拉断试样时所作的功,强塑积越大,表明材料在相同的变形情况下具有更好的缓冲吸能效果。

根据《公路交通安全设施设计规范》(JTG D81—2017)关于桥梁护栏形式选取时应考虑下列因素:①所选取的护栏形式在强度上必须能有效吸收设计碰撞能量,阻挡小于设计碰撞能量的车辆越出桥外或进入对向车行道并使其正确改变行驶方向;②桥梁护栏形式在强度上是否能有效吸收设计碰撞能量;③材料的强塑积大小选取是否表明材料在相同的变

形情况下具有更好的缓冲吸能效果。在碰撞吸收能量一定的情况下,护栏结构不变时,采用高强钢新材料可以有效地减小护栏的变形。

2.2 结构设计

为了保护桥梁结构,桥面板承受能力受限,考虑到护栏位置靠近工业园区收费站施工期不宜过长,护栏改造方案为:原有混凝土基础不动,拆除上部旧的金属护栏,加装新的金属护栏,使护栏等级提升为SA级,组合式护栏安装高度不小于1 100 mm。

改造后的组合式护栏形式为三横梁+L式立柱设计,金属护栏高度为730 mm,横梁使用120 mm×80 mm矩形钢管;马鞍式立柱与混凝土基础用化学锚栓连接,后面使用螺栓加固。护栏结构设计如图5所示。

护栏立柱样式一般以直管立柱为主,P匝道原混凝土基础设置时间过长,且经过多次碰撞事故,为减小车辆碰撞给混凝土基础带来更严重的破坏,立柱采用倾斜式工字钢设计,内部加筋焊板加强立柱的强度,与普通工字钢相比结构强度增大,防撞性能更强。

此结构护栏安装结构稳定,但考虑到车辆刚蹭、撞击混凝土,混凝土结构会掉渣、松散,将影响立柱的稳定性,于是将L形法兰立柱改造设计成马鞍式法

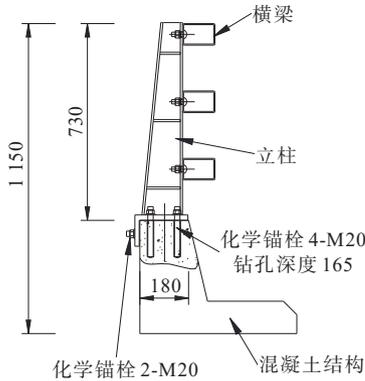


图5 护栏结构设计(单位:mm)

Figure 5 Structural design of guardrail(unit:mm)

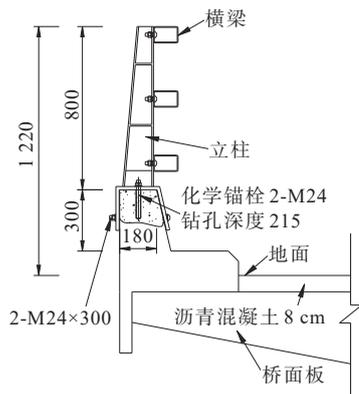


图6 新型组合式护栏结构设计(单位:mm)

Figure 6 Structural design of combined guardrail(unit:mm)

立立柱,并以此设计进行仿真计算。马鞍式法兰立柱骑跨在混凝土护栏上加固法兰底座,使稳定性增强。立柱高度由原来的730 mm调整为800 mm,横梁间距不做调整;考虑到桥梁有150 m的弯道,且横梁折弯将影响其金属结构性能,于是将横梁套管宽度调整到100 mm×60 mm。新型组合式护栏结构设计如图6所示。

3 新型护栏仿真检测

3.1 仿真依据

采用LS-DYNA971软件对“新型组合式护栏”进行计算机仿真计算,分析护栏的防撞性能是否达到《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)规定的SA级标准^[11]。

3.2 新型护栏模型

根据新型组合式护栏设计图纸,建立护栏的有限元模型,护栏40 m,两端头固定,混凝土基础底面固定,护栏有限元模型如图7所示,主要有限元参数

见表2。

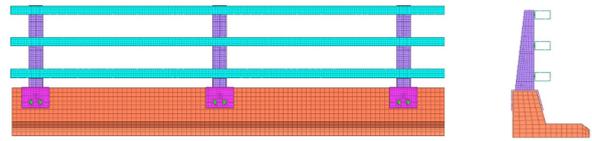


图7 护栏有限元模型

Figure 7 Finite element model of guardrail

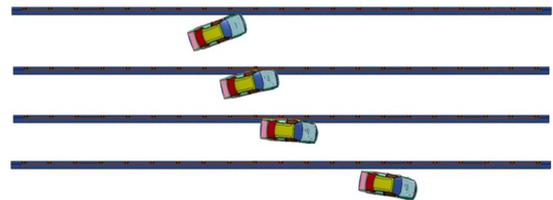
表2 护栏有限元模型参数

Table 2 Parameters of finite element model of guardrail

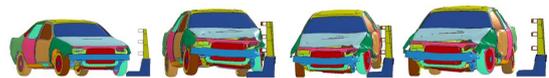
项目	单元数量/个	项目	单元数量/个
节点	400 698	梁单元	77 655
壳单元	156 054	其他	0
实体单元	66 912		

3.3 护栏1/3位置测试指标与分析

(1) 护栏损坏情况和车辆运行轨迹的形态
车辆碰撞行驶轨迹及姿态如图8所示。



(a) 小客车行驶轨迹



(b) 小客车行驶姿态



(c) 客车行驶姿态



(d) 货车行驶姿态

图8 车辆碰撞行驶轨迹及姿态

Figure 8 Vehicle collision trajectory and attitude

(2) 乘员碰撞速度和乘员碰撞后加速度

车辆重心加速度曲线与乘员碰撞速度如图9、10及表3所示。

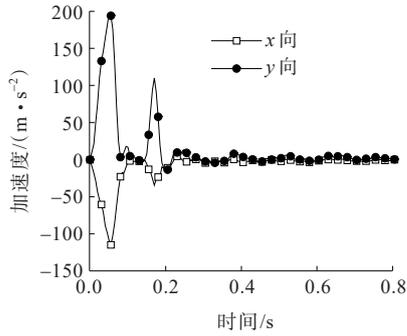


图9 车辆重心加速度曲线

Figure 9 Acceleration curve of vehicle's center of gravity

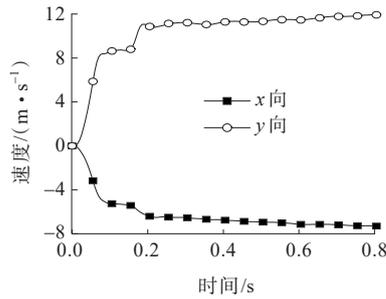


图10 乘员碰撞速度曲线

Figure 10 Collision speed curve of passenger

表3 乘员碰撞后加速度及乘员碰撞速度

Table 3 Acceleration after collision and collision speed of passenger

项目	乘员碰撞速度/($m \cdot s^{-1}$)		乘员碰撞后加速度/($m \cdot s^{-2}$)	
	纵向x	横向y	纵向x	横向y
测试结果	5.7	7.6	65.9	29.3
合格要求	≤ 12	≤ 12	≤ 200	≤ 200

3.4 仿真结果

通过计算机仿真分析,新型桥梁护栏的小型客车、大型客车、大型货车碰撞检测各项指标均符合《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)中SA级评价要求。变形量数值见表4。

表4 碰撞仿真检测护栏变形量结果

Table 4 Deformation of guardrail in collision simulation detection

车型	护栏最大横向动态/mm		车辆最大动态/mm	
	变形值	位移外延值	外倾值	外倾当量值
大型客车	322	735	1 010	1 390
大型货车	225	638	1 045	1 295

4 实车碰撞试验

4.1 碰撞条件

依据《公路护栏安全性能评价标准》(JTG

B05-01—2013)中的评价要求,防护等级为五(SA)级的护栏碰撞条件如表5所示。

表5 五(SA)级防撞护栏碰撞条件

Table 5 Collision conditions of grade V (SA) guardrail

碰撞车型	碰撞速度/($km \cdot h^{-1}$)	碰撞角度/($^{\circ}$)	车辆质量/kg
小型客车	100	20	1 500
大型客车	80	20	14 000
大型货车	60	20	25 000

4.2 试验样品

为了碰撞试验产品能更好地贴近项目现场情况,试验用混凝土基础内部钢筋配置严格按照原护栏项目图纸布设,浇筑混凝土强度等级为C35,根据混凝土强度与温度和期龄增长曲线图,15℃环境气温下,期龄12 d开始安装护栏做试验,试验现场安装顺序严格按照改造项目安装顺序。先浇筑混凝土至混凝土基础凝固后,再用钻孔方式安装立柱。试验现场浇筑混凝土基础如图11所示,护栏安装成品如图12所示。



图11 试验场模拟桥梁基础

Figure 11 Simulated bridge foundation on test site



图12 护栏安装样品

Figure 12 Example of guardrail installation

4.3 试验车辆

按照《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)要求,SA级护栏需通过小型客车、大型客车、大型货车3种配重车辆进行碰撞试验。

4.4 碰撞后护栏形态

车辆碰撞检测行驶轨迹,碰撞后检测护栏形态,3种配重车辆碰撞试验结果如图13、14所示。

4.5 评价结果

护栏碰撞试验检测评价包括阻挡功能、导向功能、缓冲功能。护栏安全性能评价结果见表6。

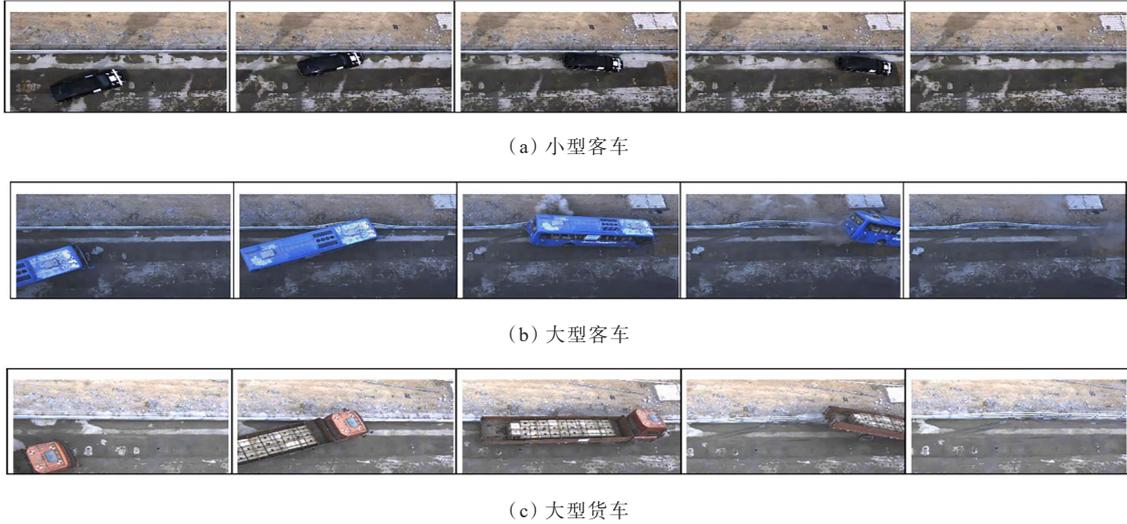


图 13 车辆碰撞行驶轨迹检测结果

Figure 13 Detection results of vehicle collision trajectory



图 14 碰撞后护栏的形态

Figure 14 Form of guardrail after collision

表 6 公路护栏安全性能评价结果

Table 6 Safety performance evaluation of highway guardrail

车型	阻挡功能		导向功能		缓冲功能				护栏最大 横向动态 变形值/ m	护栏最大横 向动态位移 外延值/ m	车辆最 大动态 外倾值/ m	车辆最大 动态外倾 当量值/ m
	车辆是否穿 越、翻越和骑 跨试验样品	试验样品构件及 其脱离碎片是否 侵入车辆乘员舱	车辆碰撞 后是否翻 车	车辆碰撞后的轮 迹是否满足导向 驶出框要求	乘员碰撞速 度/(m·s ⁻¹)		乘员碰撞后加 速度/(m·s ⁻²)					
					纵向x	横向y	纵向x	横向y				
小型 客车	否 合格	否 合格	否 合格	是 合格	3.5 合格	7.0 合格	55.3 合格	184.3 合格	0.05	0.25	—	—
大型 客车	否 合格	否 合格	否 合格	是 合格	—	—	—	—	0.70	0.80	1.50	2.00
大型 货车	否 合格	否 合格	否 合格	是 合格	—	—	—	—	0.60	0.75	1.35	2.70

5 实际工程应用

经过实车碰撞试验验证,新型组合式护栏防护等级达五(SA)级,可以在实际工程中应用。在实际施工过程中,封闭硬路肩以保障施工空间,并进行相应的交通控制;上部钢结构横梁宜全面拆除,通过植

筋锚固护栏地脚,马鞍式法兰座加固立柱,立柱、横梁按照普通梁柱式护栏形式安装,施工简单,安装便捷。应用照片如图 15 所示。

6 结语

旧桥桥梁护栏通过加装金属护栏形式升级为新



图 15 应用照片

Figure 15 Actual application

型组合式桥梁护栏,经过仿真检测与实车足尺碰撞试验验证,新型护栏防护等级达到五(SA)级。该新型护栏已在实际工程中应用,提升高速公路交安设施的安全防护能力,降低严重事故风险,保障人民生命财产安全。利用现有桥梁基础结构,既缩短施工时长又合理利用旧桥基础减少资源浪费,还节约改造成本,尤其适用在运营期工程。该方案可为旧桥桥梁护栏等级提升的实施设施选择提供一定的参考,以加强对现役高速公路桥梁系统的保护。

参考文献:

References:

- [1] 中华人民共和国交通部.国家高速公路网规划:交规划发〔2005〕40号[A/OL].(2005-02-02)[2022-10-23].https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202006/t20200630_3320026.html.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. National highway network planning: Traffic planning issue [2005] No. 40[A/OL]. (2005-02-02) [2022-10-23]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202006/t20200630_3320026.html.
- [2] 交通部公路科学研究所.高速公路交通安全设施设计及施工技术规范:JTJ 074—94[S].北京:人民交通出版社,1994.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Specification for design and construction of expressway safety appurtenances: JTJ 074—94[S]. Beijing: China Communications Press,1994.
- [3] 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.
- [4] 廖朝华,王家强.沪宁高速公路改扩建工程设计关键技术[J].中国公路,2006(15).
LIAO Chaohua, WANG Jiaqiang. Key technologies of shanghai-nanjing expressway reconstruction and expansion engineering design[J].China Highway,2006(15).
- [5] 交通运输部公路科学研究院.提升公路桥梁安全防护能力专项行动技术指南[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Technical guide for special actions to improve safety protection capability of highway bridges[M]. Beijing: China Communications Press Co.,Ltd.,2019.
- [6] 龚帅,刘航,邓宝,等.在役旧桥梁组合式护栏升级改造研究[J].中外公路,2021,41(1):314-318.
GONG Shuai, LIU Hang, DENG Bao, et al. Research on upgrading and reconstruction of In-service aging bridges [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2021, 41(1): 314-318.
- [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] 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.
- [9] 全国钢标准化委员会.碳素结构钢:GB/T 700—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
SAC-TC 183. Carbon structural steel: GB/T 700—2006[S]. Beijing:Standards Press of China,2006.
- [10] 全国钢标准化委员会.低合金高强度结构钢:GB/T 1591—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
SAC-TC 183. High strength low alloy structural steels: GB/T 1591—2018[S]. Beijing:Standards Press of China,2018.
- [11] 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.