

# 无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏安全性研究

钟纯耀<sup>1</sup>,马晴<sup>2\*</sup>,李扬帆<sup>1</sup>,龚帅<sup>2</sup>,刘思源<sup>2</sup>,闫书明<sup>2</sup>

(1.广东省高速公路有限公司,广东广州 510660;2.北京华路安交通科技有限公司,北京市 100071)

**摘要:**为了研究无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏的安全性能,该文采用计算机仿真、台车试验及实车足尺碰撞试验相结合的技术手段进行分析论证,提出通过加强支撑块来提高无种植土护栏抗倾覆能力的方案,优先确定了护栏墙体间通铺设置20 cm高支撑块的方案,采用最不利的大型货车对护栏方案的安全性能进行评价。结果表明:无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏防护等级达到SAm级,在实际应用中可为公路车辆提供有效的安全防护。

**关键词:**中央分隔带;混凝土护栏;无种植土;计算机仿真;实车碰撞试验

中图分类号:U491.5

文献标志码:A

## Safety of Optimized Concrete Median Barrier without Planting Soil

ZHONG Chunyao<sup>1</sup>, MA Qing<sup>2\*</sup>, LI Yangfan<sup>1</sup>, GONG Shuai<sup>2</sup>, LIU Siyuan<sup>2</sup>, YAN Shuming<sup>2</sup>

(1. Guangdong Provincial Freeway Co.,Ltd., Guangzhou,Guangdong 510660, China;

2.Beijing Hualuan Traffic Technology Co.,Ltd., Beijing 100071, China)

**Abstract:** In order to study the safety of optimized concrete median barrier without planting soil, the technology combining computer simulation, sled test, and full-scale impact test of real vehicles was adopted for analysis and verification. In addition, a scheme was proposed to improve the anti-overturning ability of the barrier without planting soil by strengthening the supporting block, and the scheme of setting a 20 cm-high supporting block between the barrier walls was optimized. The safety of the barrier scheme was evaluated by taking the most unfavorable large truck as an example. The results show that the protection level of the optimized concrete median barrier without planting soil is SAm, and the actual application of barriers will provide effective safety protection for vehicles on highways.

**Keywords:** median; concrete barrier; without planting soil; computer simulation; impact test of real vehicles

## 0 引言

高速公路中央分隔带护栏的重要作用是分隔车流、减少事故车辆穿越到对向车道的概率,并降低事故的严重程度<sup>[1-4]</sup>。混凝土护栏为刚性护栏,较易达到高防护等级,常见的中央分隔带混凝土护栏为分离式,双排护栏墙体间设置种植土<sup>[5-7]</sup>,应用已非常成熟,车辆穿越这种护栏的事故少见,是一种可靠的中央分隔带护栏结构<sup>[8-9]</sup>。种植土的设置可以美化环

境,并有利于提高护栏墙体抗滑移、抗倾覆能力,但在工程中设置种植土会影响施工效率,为加快施工、节省土体运输,部分工程中央分隔带护栏间不设置种植土,因此结合实际工程需求,需对无种植土工况混凝土护栏进行研究,保证其安全性能满足要求。

基于此,本文采用计算机仿真技术、台车试验及实车足尺碰撞试验对无种植土优化型混凝土护栏安全性能进行研究,并提出一种防护等级达到SAm级的无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏结构。

收稿日期:2024-05-06(修改稿)

基金项目:广东省科技计划项目(编号:2021B1111610002)

作者简介:钟纯耀,男,硕士,高级工程师.E-mail:13924210404@139.com

\*通信作者:马晴,女,大学本科,工程师.E-mail:2227646153@qq.com

# 1 原设计混凝土护栏及其安全性能评价

## 1.1 护栏结构

原设计中央分隔带混凝土护栏结构为:护栏迎撞面为加强型,单排护栏墙体宽度32.5 cm,路面以上高度1 m,嵌固深度10 cm,4 m预制混凝土墙体,预制混凝土墙体间的纵向连接为背部型钢,护栏迎撞面箍筋为 $\varnothing 12$  mm,背部箍筋为 $\varnothing 10$  mm,箍筋纵向间距200 mm,纵筋为 $\varnothing 10$  mm。护栏底部设置4 m间距10 cm高枕梁调平,护栏间设置2 m间距10 cm高支撑块,上部填充种植土并绿化,护栏设计防护等级为SAm级,护栏结构见图1<sup>[10-12]</sup>。该护栏墙体宽度减薄,经济性更好,且护栏结构经实车碰撞试验验证,护栏安全可靠。

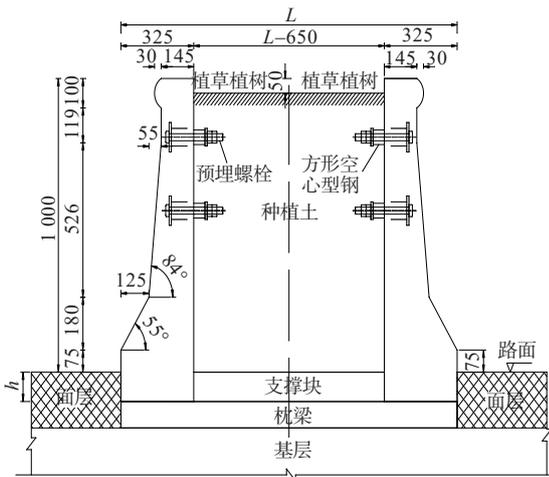


图1 原设计中央分隔带护栏(尺寸单位:mm)

Figure 1 Original design of median barrier (size unit: mm)

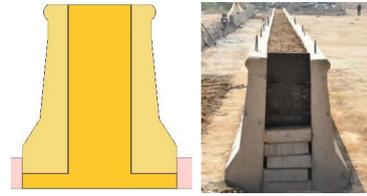
## 1.2 护栏安全性能评价

原设计中央分隔带混凝土护栏通过了实车足尺碰撞试验和计算机仿真验证,SA级护栏碰撞条件见表1,碰撞结果如图2~4所示。

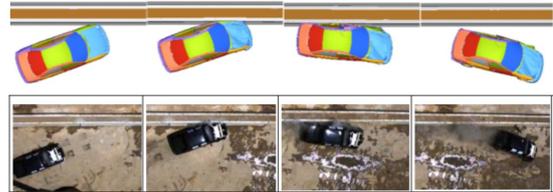
表1 SA级护栏碰撞条件

Table 1 Impact conditions for SA-level barrier

碰撞车型	车辆总质量/ t	碰撞速度/ ( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	碰撞角度/ ( $^{\circ}$ )
小型客车	1.5	100	20
大型客车	14.0	80	20
大型货车	25.0	60	20



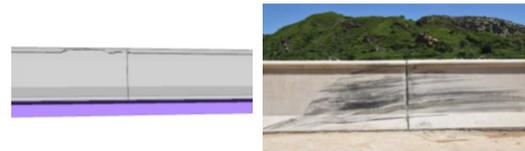
(a) 试验护栏



(b) 小型客车碰撞过程



(c) 车辆变形



(d) 护栏损坏

图2 小型客车碰撞

Figure 2 Car impacting barrier



(a) 大型客车碰撞过程



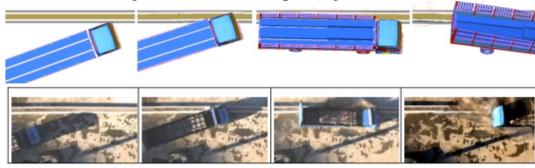
(b) 车辆变形



(c) 护栏损坏

图3 大型客车碰撞

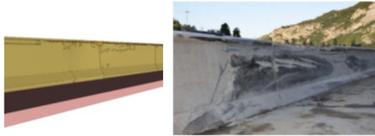
Figure 3 Bus impacting barrier



(a) 大型货车碰撞过程



(b) 车辆变形



(c) 护栏损坏

图 4 大型货车碰撞

Figure 4 Truck impacting barrier

从图2~4可以看出:护栏墙体有损坏,但未出现滑移和倾覆的现象,护栏协同受力作用较好,且具有良好的抗滑移和抗倾覆能力,护栏各项指标满足评价标准<sup>[13]</sup>,防护能力达到SAm级。

通过将小型客车仿真与实车足尺碰撞试验结果对比(表2),验证仿真模型的准确性。

表 2 小型客车缓冲指标  
Table 2 Buffer index of car

项目	乘员碰撞速度/(m·s <sup>-1</sup> )		乘员碰撞后加速度/(m·s <sup>-2</sup> )	
	纵向x	横向y	纵向x	横向y
仿真	2.87	6.00	44.88	131.67
试验	3.80	7.60	32.60	136.20

由表2可知:车辆行驶姿态、车辆变形、护栏损坏情况基本一致,小客车的缓冲指标误差较小,说明仿真模型准确可靠,采用该仿真模型进行无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏的研究准确性较高<sup>[14-20]</sup>。

## 2 无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏探索

### 2.1 护栏间设置合理支撑块的重要性

对于无种植土优化型混凝土护栏结构,黄正昌<sup>[21]</sup>在槽形中分带混凝土护栏支撑块功能分析中,对双排护栏间有无支撑块进行了分析,表明支撑块能传递车辆碰撞的冲击力,使两道护栏达到协同防护作用,防止护栏的倾覆并改善车辆行驶姿态。

为进一步研究双排护栏间设置合理支撑块的重要性,结合类似无种植土混凝土护栏,采用质量2 t的台车,按照与SAm级实车足尺碰撞试验破坏力相当的试验条件<sup>[22]</sup>,以20 km/h的速度碰撞试验护栏顶部。

台车试验1如图5所示,可见台车碰撞后试验护栏倾覆,说明须布设合理的支撑块,加强嵌固基础稳定性,提高护栏抗倾覆能力。



图 5 台车试验 1

Figure 5 Sled test 1

台车试验2如图6所示<sup>[23]</sup>,可见台车碰撞后虽然护栏顶部有损坏,但墙体基础表现稳固,没有发生倾覆现象,验证了设置合理高度支撑块的重要性。



图 6 台车试验 2

Figure 6 Sled test 2

### 2.2 无种植土优化型护栏安全性能研究

取消原设计中央分隔带优化型混凝土护栏间的种植土,其他结构不变,按照SAm级碰撞条件进行仿真计算,结果见图7。



(a) 小型客车碰撞过程



(b) 大型客车碰撞过程



(c) 大型货车碰撞过程

图 7 2 m 间距 10 cm 高支撑块护栏仿真分析结果

Figure 7 Simulation analysis of 10 cm-high supporting block barrier with distance of 2 m

由图7可见:护栏成功防护了小型客车,但对大型车防护效果不佳,大型客车碰撞后车辆导出,护栏未发生滑动,但护栏墙体倾覆,反映出2 m间距10 cm高支撑块可使双排护栏协同受力,护栏具有抗滑移能力,但抗倾覆能力弱;大型货车碰撞后车辆在甩尾侧翻,护栏墙体同样发生倾覆,进一步说明了护栏抗倾覆能力不足。同时从仿真碰撞过程可以看到最不利防护的车型为大型货车。

双排护栏间不设置种植土时,支撑块发挥更主要的作用。为加强支撑块的作用,同时提高护栏的抗倾覆能力,提出以下两种支撑块加强方案:方案①,对支撑块的布置进行加密,1 m间距10 cm高支撑块;方案②,对支撑块进行加高,2 m间距20 cm高支撑块。采用最不利的大型货车进行两种方案的车辆碰撞仿真分析,结果如图8所示。

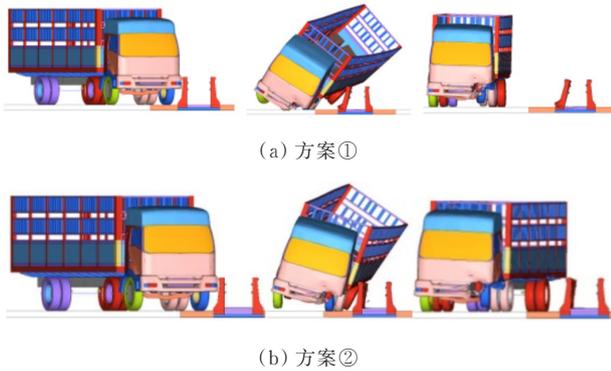


图8 两种支撑块方案仿真分析结果

Figure 8 Simulation analysis of two supporting block schemes

由图8可知:两种方案都成功防护了车辆,但运行姿态不佳,车辆甩尾后慢慢回正且导出。两种方案的大型货车在甩尾时,均出现严重侧倾,护栏也发生变形,方案①车辆侧倾及护栏变形都更为明显。

从两种支撑块方案仿真分析中反映了对支撑块进行加密或加高是提高无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏防护能力的有效方法,这两种方案均可将车辆碰撞的冲击力传递到对向护栏,使双排护栏具备协同受力作用,但护栏抗倾覆能力还较弱。

还须对支撑块进一步加强,结合加高和加密方案,且使护栏具有一定安全储备,因此提出方案③:通铺20 cm高支撑块。采用最不利的大型货车进行车辆碰撞仿真分析,结果如图9所示。由图9可知:方案③成功防护车辆,且方案③与方案①、②相比,对车辆外倾和护栏变形的改善作用更显著,说明方

案③支撑块加强方式使双排护栏协同受力效果更优,护栏抗倾覆能力更好。

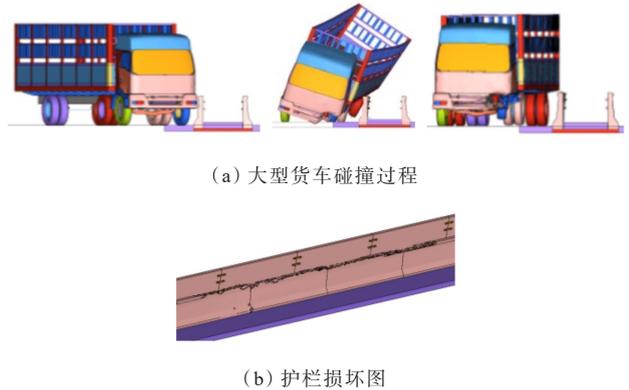


图9 方案③仿真分析结果

Figure 9 Simulation analysis of scheme ③

在进一步分析(图10)中,方案③对小型客车和大型客车也均起到了良好的防护效果,各项指标满足评价标准要求。

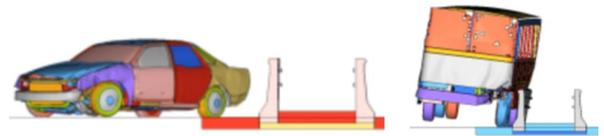


图10 方案③小型客车、大型客车仿真分析结果

Figure 10 Simulation analysis of car and bus in scheme ③

### 2.3 优选的护栏结构方案

通过研究无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏结构安全性能,优选出无种植土护栏结构,在双排护栏间设置20 cm高通铺支撑块,护栏墙体尺寸、配筋、纵向连接与原设计护栏一致,护栏结构见图11。

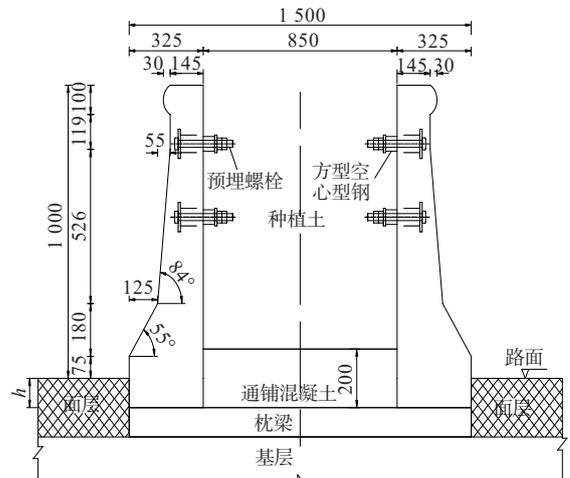


图11 优选护栏结构(尺寸单位:mm)

Figure 11 Structure of optimal barrier (size unit: mm)

### 3 无种植土优化型混凝土护栏安全性能评价

根据上述仿真分析及已通过实车足尺碰撞试验的 SAm 级混凝土护栏试验资料 and 对比分析,选择最不利车型——大型货车,按照 SA 级试验条件进行实车碰撞试验检测,验证无种植土中央分隔带混凝土护栏间设置 20 cm 高通铺支撑块的安全防护能力。试验护栏为双排,单侧安装 10 节,总长度 40 m,混凝土护栏及支撑块强度等级为 C30,护栏间通过 M24 预埋螺栓及型钢连接,建设的试验护栏见图 12。



图 12 建设的试验护栏

Figure 12 Construction of test barrier

从碰撞护栏过程[图 13(a)]可见,护栏碰撞后顺利导出,且未翻车,护栏具有阻挡和导向功能;从碰撞后护栏损坏图[图 13(b)]可见,碰撞区试验护栏顶部阻爬坎破损,钢筋外露,车辆与护栏刮擦长度为 15.25 m,护栏间 20 cm 高通铺支撑块出现裂纹,但护栏背部纵向连接构件完好,无弯折和扭转现象,说明护栏整体稳定性较好;从车辆损坏图[图 13(c)]可见,车辆前保险杠损坏,碰撞侧前大灯破损,车体刮擦损坏。



(a) 大型货车碰撞护栏过程



(b) 大型货车碰撞后护栏变形



(c) 大型货车碰撞后车辆损坏

图 13 实车碰撞试验图

Figure 13 Impact test drawing with real vehicle

表 3 为测量的实车碰撞试验变形指标值。

表 3 大型货车碰撞护栏试验所得部分参数

Table 3 Some parameters for test of truck

impacting barrier

变形指标	大型货车试验变形值/m
护栏最大横向动态变形值	0.10
护栏最大横向动态位移外延值	0.40
车辆最大动态外倾值	1.30
车辆最大动态外倾当量值	3.05

经实车碰撞试验,护栏各项测试参数符合评价指标要求,防护等级达到 SAm 级。

### 4 与原设计护栏安全性能的对比

无种植土优化型护栏与原设计护栏防护性能经验证均达到 SAm 级,将大型货车碰撞这两种护栏的试验结果进行对比,如图 14 所示。两种护栏均成功防护住大型货车,未发生较大外倾,行驶姿态较为接近;两次碰撞试验均为在护栏顶部发生局部的混凝土破损和钢筋外露,未影响护栏整体,说明有无种植土对护栏破坏的影响基本相当。结合实际工程需求,合理选择护栏形式。



(a) 大型货车碰撞无种植土优化型混凝土护栏过程



(b) 大型货车碰撞有种植土混凝土护栏过程



(c) 大型货车碰撞无种植土优化型混凝土护栏损坏



(d) 大型货车碰撞有种植土混凝土护栏损坏

图 14 实车试验碰撞对比图

Figure 14 Comparison between tests of real vehicles

impacting barrier

## 5 结论

(1) 原设计中央分隔带混凝土护栏安全可靠,防护能力达到SA<sub>m</sub>级,直接取消种植土不能满足安全应用需求。

(2) 支撑块的设置可传递车辆碰撞的冲击力,使护栏具备较好的协同受力作用及抗滑移能力,通过加强可提高护栏的抗倾覆能力。

(3) 采用20 cm高通铺支撑块方案的无种植土中央分隔带优化型混凝土护栏防护等级达到SA<sub>m</sub>级,可在实际工程应用中提供可靠的安全防护。

### 参考文献:

#### References:

- [1] 刘会学, 邵永刚. 公路护栏设计技术简析[J]. 中国公路, 2022(4):26-29.  
LIU Huixue, TAI Yonggang. Brief analysis of highway guardrail design technology[J]. China Highway, 2022(4): 26-29.
- [2] 何宏荣, 朱辉, 李桂兴. 新型波形梁高强钢护栏的安全性研究[J]. 现代交通技术, 2023, 20(1):65-69, 74.  
HE Hongrong, ZHU Hui, LI Guixing. Study on safety performance of new corrugated high-strength sheet steel beams for road guardrail[J]. Modern Transportation Technology, 2023, 20(1):65-69, 74.
- [3] 李景军, 王新, 齐杰, 等. 节地美观型中央分隔带护栏设计与评价[J]. 中外公路, 2024, 44(2):252-259.  
LI Jingjun, WANG Xin, QI Jie, et al. Design and evaluation of land-saving and beautiful median barriers[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2024, 44(2):252-259.
- [4] 龚帅. 混凝土护栏坡面参数对防护车辆撞击作用的影响[J]. 中外公路, 2024, 44(2):243-251.  
GONG Shuai. Influence of concrete barrier slope parameters on protective effect against vehicle collision[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2024, 44(2):243-251.
- [5] 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—2006[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.  
Research Institute of Highway Ministry of Transport. Guideline for design of highway safety facilities: JTG/T D81—2006[S]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [6] 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.
- [7] 邵永刚. 公路分设型中央分隔带SA级混凝土护栏高度变化对防护性能影响研究[J]. 公路, 2020, 65(11):258-262.  
TAI Yonggang. Study on the influence of the height change of road divided median SA level concrete barrier protective performance[J]. Highway, 2020, 65(11):258-262.
- [8] 李婕铭. 高速公路中央分隔带混凝土护栏施工控制措施研究[J]. 交通世界, 2023(13):106-108.  
LI Jieming. Study on construction control measures of concrete guardrail in central separation zone of expressway[J]. TranspoWorld, 2023(13):106-108.
- [9] 唐玲琳. 高速公路项目中央分隔带混凝土护栏施工技术[J]. 中阿科技论坛(中英文), 2021(5):53-55.  
TANG Linglin. Construction technology of concrete guardrail in central partition zone of highway engineering[J]. China-Arab States Science and Technology Forum, 2021(5):53-55.
- [10] 刘慧, 刘春涛, 罗一, 等. 中央分隔带加强型预制装配式护栏施工技术[J]. 四川建筑, 2021, 41(3):190-192.  
LIU Hui, LIU Chuntao, LUO Yi, et al. Construction technology of reinforced prefabricated guardrail with central separation zone[J]. Sichuan Architecture, 2021, 41(3):190-192.
- [11] 蔡菁, 王晓飞, 李新伟. 广东省高速公路中央分隔带混凝土防撞护栏绿化形式优化方案[J]. 公路, 2019, 64(11):240-245.  
CAI Jing, WANG Xiaofei, LI Xinwei. Discussion on improving in the plant design of the concrete guardrail on the expressway Median barrier in Guangdong Province[J]. Highway, 2019, 64(11):240-245.
- [12] 汪志勇, 甘树兵, 王胜. SA<sub>m</sub>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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 刘晓波,王新,刘思源,等.基于仿真模拟技术的SB级波形梁护栏梁板中心设置高度研究[J].中外公路,2021,41(2):352-356.  
LIU Xiaobo, WANG Xin, LIU Siyuan, et al. Research on beam center setting height of SB-level W-beam barriers based on simulation technology[J]. Journal of China & Foreign Highway,2021,41(2):352-356.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 龚帅,郭洪,刘航,等.高速公路跨铁路桥梁护栏安全性能提升研究[J].公路,2021,66(4):321-326.  
GONG Shuai, GUO Hong, LIU Hang, et al. Study on improving safety performance of the cross-rail highway bridge guardrail[J]. Highway,2021,66(4):321-326.
- [19] 常志宏,杨福宇,刘航,等.新型钢管预应力索防撞活动护栏研发[J].特种结构,2020,37(6):82-86,96.  
CHANG Zhihong, YANG Fuyu, LIU Hang, et al. Development of new crashworthy movable barrier with pretension strand in steel tube[J]. Special Structures,2020,37(6):82-86,96.
- [20] 闫书明.防撞活动护栏碰撞分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2013,37(5):1046-1050.  
YAN Shuming. Impact analysis of crashworthiness moveable barriers[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering),2013,37(5):1046-1050.
- [21] 黄正昌.槽型中分带混凝土护栏支撑块功能分析[J].特种结构,2017,34(1):84-88.  
HUANG Zhengchang. Function analysis of the support block in the slotted concrete Median barrier[J]. Special Structures,2017,34(1):84-88.
- [22] 敖道朝,李卫民,苏高裕.防撞护栏再利用技术在高速公路扩建中的系统应用[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.  
AO Daochao, LI Weimin, SU Gaoyu. Systematic application of anti-collision guardrail reuse technology in expressway expansion[M]. Beijing:China Communications Press Co.,Ltd.,2016.
- [23] 贾献卓,李玉.高速公路改扩建工程分体式混凝土护栏基础设置方案研究[J].公路,2018,63(4):247-252.  
JIA Xianzhuo, LI Yu. Research on the setting scheme of split concrete barrier foundation for expressway reconstruction and extension[J]. Highway,2018,63(4):247-252.