

Research on Micro-Variable Anti-Collision Guardrail of Overhead Railway Bridge

Yanpeng Qin Yiting Bai

Beijing Expressway Traffic Engineering Co., Ltd., Beijing, 101102, China

Abstract

In the special section of highway bridge crossing the railway line, once the vehicle falls under the bridge through the guardrail, it will not only cause the loss of the vehicle itself, casualties, but also lead to the interruption of railway operation. What's more, it will cause a particularly serious secondary accident of the collision between the train and the accident vehicle, resulting in inestimable social and economic losses. In view of the special protection requirements, considering the highway conditions, traffic conditions and environmental conditions, from the perspective of safety, environmental protection, economy and aesthetics, the research on the anti-collision guardrail of overpass railway bridge is carried out, puts forward the reconstruction scheme which can meet the high-level safety protection function, prevent vehicle rollover function and construction convenience, so as to form a complete system for the safety facilities of the upper cross railway bridge section, and achieve the comprehensive effect of "Safety, Economy, Environmental Protection and Coordination". The research results can minimize the accident rate of vehicles rolling over or rushing out of the side guardrail and falling under the bridge, save the lives of passengers and ensure the safe operation of the railway, and have great significance for improving the traffic safety level of cross-railway bridge sections in China.

Keywords

railroad bridge guardrail; vehicle rollover prevention; full-scale crash test of real vehicle

上跨铁路桥梁微变量防撞护栏研究

秦延朋 白依婷

北京市高速公路交通工程有限公司, 中国·北京 101102

摘要

在公路桥梁上跨越铁路线路的特殊路段,一旦发生车辆穿越护栏坠落桥下的事故,不仅会造成事故车辆自身损失、人员伤亡,还会导致铁路运营的中断,更有甚者会引起火车与事故车辆相撞的特大恶性二次事故,由此造成的社会经济损失难以估量。针对该特殊防护需求,综合考虑公路条件、交通条件及环境条件,从安全、环保、经济、美观的角度出发,进行上跨铁路桥梁防撞护栏研究,提出满足高等级安全防护功能、防止车辆侧翻功能以及施工方便性的改造方案,使上跨铁路桥梁路段安全设施形成完整体系,达到“安全、经济、环保、协调”的综合效果。研究成果可最大限度减小车辆侧翻或冲出桥侧护栏坠落桥下的事故发生率,起到挽救司乘人员生命和保障铁路安全运营的良好效果,对于提升中国跨铁路桥梁路段交通安全水平具有重大意义。

关键词

跨铁路桥梁护栏; 车辆防侧翻; 实车足尺碰撞试验

1 引言

对于公路桥梁上跨越铁路线路的特殊路段,一旦发生车辆穿越护栏坠落桥下的事故,不仅会造成事故车辆自身损失,还将对铁路运营造成巨大影响。目前,中国铁路运营里程突破 14 万 km,一旦造成中断,将会影响全网运营,导致经济损失不堪设想。基于现有上跨铁路桥梁护栏提出增设高

防护等级护栏改造方案,防护等级达到 SS 级,防撞能量提高 520kJ 以上,且具有较好的减小车辆外倾功能,可有效降低车辆发生侧翻、受损防抛设施坠落桥下的事故发生率,不但会挽救司乘人员生命,而且对铁路安全运营提供保护。研究成果将有利于改善上跨铁路桥梁特殊路段的交通安全水平,促进中国交通事业的和谐发展,促进社会的文明进步,有效地配合国家“以人为本、安全至上”相关政策的实施,具有显著的社会效益和经济效益。

【作者简介】秦延朋(1985-),中国山东滕州人,技术员,从事交通工程设计研究。

2 上跨铁路桥梁高防护等级护栏需求

在公路中存在一些上跨越铁路的特殊危险路段，在该路段一旦发生车辆穿越护栏坠落桥下的事故，不仅会造成事故车辆自身损失，还会导致铁路运营的中断，更有甚者会引起火车与事故车辆相撞的特大恶性二次事故，由此造成的社会经济损失难以估量。

根据近年来对中国交通事故调查统计，公路上跨铁路路段由于上跨护栏防护能力不足造成车辆坠桥的恶性交通事故已经发生多起。相关的事案例如下：

2013年10月18日，深圳一重约26t的箱式货车从南山兴海路往月亮湾大道匝道上掉落，铁路桥面砸出一段约10m的缺口，导致铁路交通中断。



图1 重型货车坠桥砸断铁路

桥梁护栏往往需要与桥梁防落物网、照明、标志等交通安全设施配套设置，目前这些配套设施通常设置在桥梁护栏顶部或外侧，上跨铁路桥梁护栏不仅要求能够有效防护车辆，还需要对防落物网、标志、照明灯设施进行保护。上述桥梁护栏与配套设施的设置方式可满足普通路段的防护需求，但对于跨铁路路段则存在一定安全隐患，如图2所示。

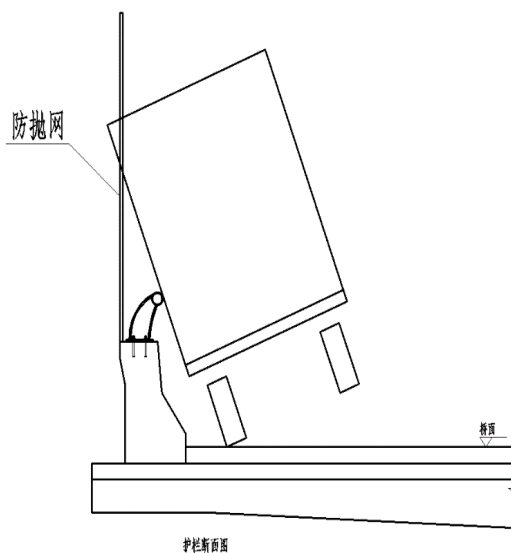


图2 车辆外倾碰撞防抛网

若车辆碰撞护栏后发生较大侧倾，有可能直接碰撞防落物网等设施，而一旦破损物坠落桥下，除造成事故车辆人员伤亡外，若砸中铁路高压线（铁路路段往往设置高压电线，如图3所示）将严重影响公路及铁路安全运营，若砸中铁路或正在运行的火车，则后果更加不堪设想，因此上跨铁路桥梁护栏除对事故车辆具有高防护能力外，还宜具有减小车辆碰撞护栏配套设施的概率。



图3 铁路路段高压电线

综上所述，跨铁路桥梁护栏不仅应设计高防护等级，还应具备对配套设施形成有效防护的功能，如通过研究增加配套设施与护栏迎撞面距离和减少车辆外倾（可有效减少侧翻概率）等措施，因此需要进行特殊设计。

3 上跨铁路桥梁护栏安全性能指标

上跨铁路桥梁路段对护栏防护性能提出了特殊要求，即护栏不仅应具备高等级防护功能，还应具有使车辆低侧倾、防侧翻的功能。

3.1 防护等级与碰撞条件

为提高公路安全运营水平，2017交通运输部颁布了JTG D81-2017《公路交通安全设施设计规范》（后称《设计规范》），其中提出了提升桥梁护栏防护等级的要求。《设计规范》对桥梁护栏防护等级适用条件的规定：对于设计速度为120km/h的高速公路，车辆驶出桥外有可能造成二次重大事故或二次特重大事故的路段，其桥梁护栏的防护等级应为SS级^[1]。

考虑在跨铁路桥梁路段，若桥梁护栏防护等级不足，可

能发生车辆穿越或翻越桥侧护栏坠落桥下的事故，不仅会造成事故车辆自身损失，还会导致铁路运营的中断，更有甚者会引起火车与事故车辆相撞的特大恶性二次事故，因此将跨铁路桥梁护栏防护等级确定为《设计规范》中最高防护等级SS级^[2]。

根据现行 JTG B05-01-2013《公路护栏安全性能评价标准》（后称《评价标准》）对护栏不同防护等级对应碰撞试验条件的规定，SS级护栏碰撞条件如表1所示。

表1 《评价标准》规定SS等级护栏碰撞试验条件

防护等级	碰撞条件			
	碰撞车型	车辆质量 (t)	碰撞速度 (km/h)	碰撞角度 (°)
SS级	小型客车	1.5	100	20
	大型客车	18	80	20
	大型货车	33	60	20

3.2 安全性能评价指标

根据《评价标准》的规定，对跨铁路桥梁护栏进行安全性能评估的指标包括阻挡功能、缓冲功能和导向功能，以下为具体说明。

(1) 阻挡功能指护栏应阻挡车辆穿越、翻越和骑跨，护栏构件及其脱离碎片不得侵入车辆乘员舱。

(2) 缓冲功能指乘员碰撞速度的纵向与横向分量均不得大于12m/s，乘员碰撞后加速度的纵向与横向分量均不得大于200m/s²。

(3) 导向功能指车辆碰撞护栏后不得翻车，运行轨迹在图4所示的导向驶出框内不得越过直线F，其中参数A和B的取值规定如表2所示。

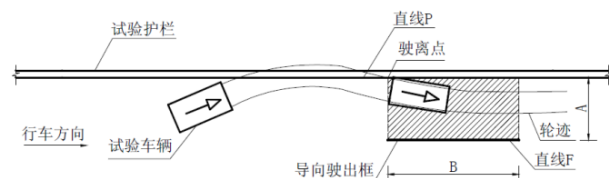


图4.1.3 护栏标准段、护栏过渡段和中央分隔带开口护栏的车辆轮迹导向驶出框

- 注：1. 直线P为试验护栏碰撞前迎撞面最内边缘的地面投影线；
- 2. 直线F与直线P平行且间距为A；
- 3. 直线F的起点位于驶离点在直线F上的投影点，长度为B。

图4 车辆运行轨迹要求

表2 参数A和B的取值

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

注：表中 V_w 代表车辆总宽， V_L 代表车辆总长。

4 现有上跨铁路桥梁护栏防护能力分析

中国早期建设高速公路桥梁段多采用一种组合式护栏结构如图5所示，该结构根据1994年颁布的JTJ074-94《高速公路交通安全设施设计及施工技术规范》设计，总高度在1m左右，其特点为上部是由H型立柱与圆管横梁组成的钢结构，下部为新泽西坡面的钢筋混凝土结构。

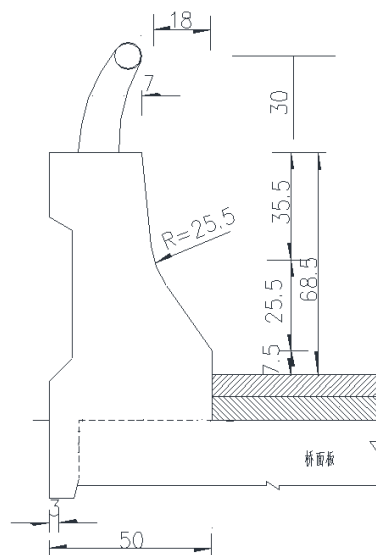


图5 现有跨铁路桥梁护栏结构

上述梁组合式护栏按防护等级SB级进行过标准实车足尺碰撞试验，图6为大客车碰撞桥梁组合式护栏过程，碰撞条件为车辆总质量10t，碰撞速度80km/h，碰撞角度20°。



(a) 车辆外倾 (b) 车辆翻车

图6 大客车碰撞护栏过程

图7为碰撞桥梁组合式护栏后中货车破坏情况，碰撞条件为车辆总质量18t，碰撞速度60km/h，碰撞角度20°。



图7 大货车碰撞护栏过程

通过以上实车碰撞试验,可见大客车发生翻车现象;中货车受到解体性破坏,护栏构件侵入了乘员舱。因此该桥梁组合式护栏安全性能不满足评价标准要求,防护等级未达到SB级。

5 跨铁路桥梁护栏改造结构研究

为了使跨铁路桥梁护栏满足高等级防护功能及减小车辆外倾功能的需求,根据跨铁路桥梁路段不同设置条件,对现有跨铁路桥梁护栏结构进行优化改造,提出增设护栏改造方案。

5.1 方案设计

为不影响桥下铁路正常运营,提出增设一道护栏的改造方案。考虑型钢护栏具有自重轻、车辆碰撞后外倾量小的特点,在现有跨铁路桥梁护栏内侧增设经实车试验验证的高防撞等级型钢护栏,如图8所示,以降低车辆穿越护栏冲出桥外、防落物网受损坠落桥下的事故概率,从而保障高速公路与铁路安全运营。该方案可保留原桥梁护栏和防落物网等设施不变,且对桥下铁路运营几乎没有影响。

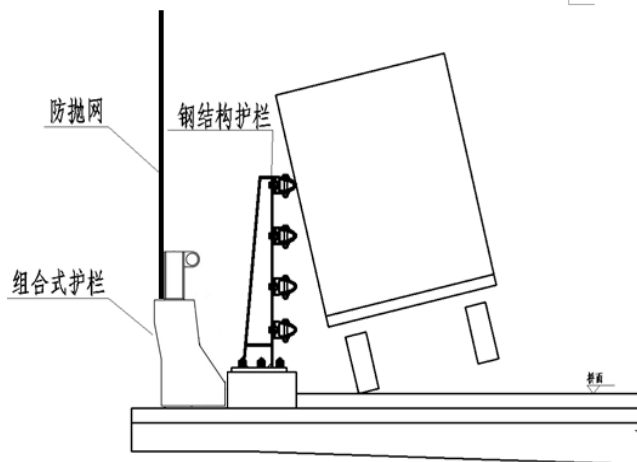


图8 上跨铁路桥梁微变量防撞护栏思路示意图

图9为设置于现有上跨铁路桥梁护栏内侧的高防撞等级型钢护栏基本结构:护栏总高1.5m,下部基座高150mm,底宽500mm,横梁迎撞面与基座迎撞面平齐;金属梁柱结构由横梁,立柱组成,横梁呈四排分布,横梁净间距为230mm,下横梁中心距基座顶面290mm;立柱为斜H形,由Q345B材质钢板焊接而成,立柱中心线间距为2m;预埋螺栓采用为M30,立柱与横梁连接螺栓、横梁拼接螺栓均采用M22。

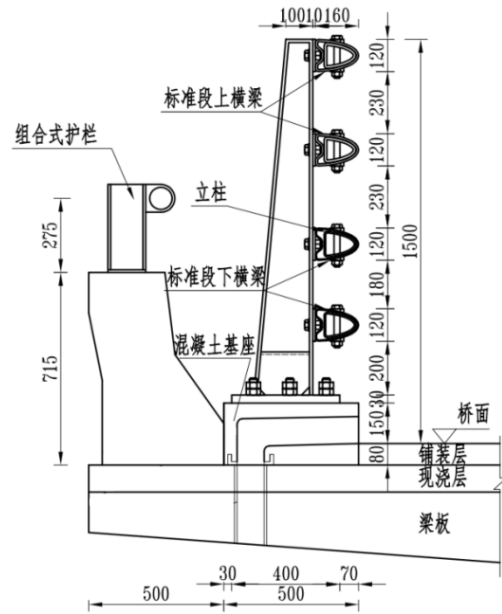


图9 高防撞等级型钢护栏基本结构(单位:mm)

5.2 计算机仿真安全性能评估

根据上文提到的标准碰撞条件,采用经实车足尺碰撞试验验证的计算机仿真模型对内侧增设高防撞等级型钢护栏的改造方案安全性能进行分析^[3,4]。

5.2.1 小客车碰撞

图10为小客车碰撞内侧增设高防撞等级型钢护栏仿真模型过程,可见车辆平稳驶出。

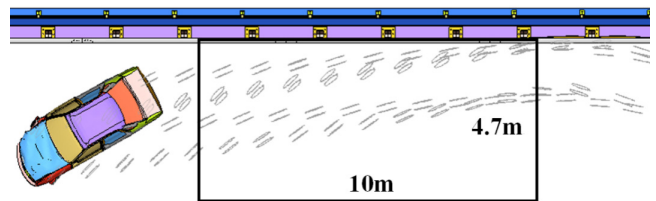


图10 小客车行驶轨迹与导向驶出框

5.2.2 大客车碰撞

图11为大客车碰撞内侧增设高防撞等级型钢护栏仿真模型过程,可见护栏防车辆侧翻效果显著,车辆外倾量较小,可平稳驶出。

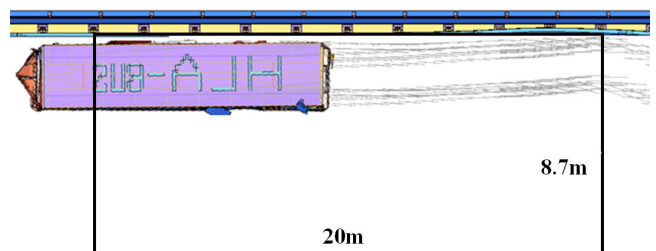


图11 大客车行驶轨迹与导向驶出框

图12为内侧增设高防撞等级型钢护栏方案减小车辆外倾效果,可见大客车碰撞护栏过程中外倾量较小,有效避免了撞击护栏配套防抛设施,因此该方案满足跨铁路桥梁护栏特殊安全性能指标要求。

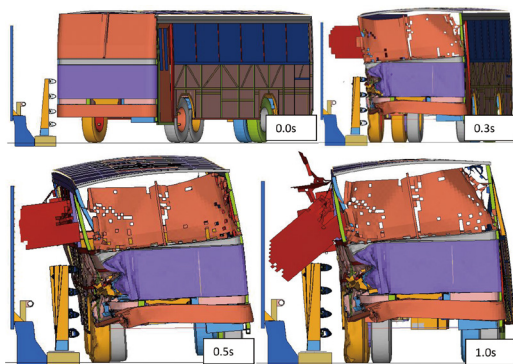


图12 内侧增设高防撞等级型钢护栏方案减小大客车侧倾效果

5.2.3 整体式货车碰撞

图13为整体式货车碰撞内侧增设高防撞等级型钢护栏仿真模型过程,可见护栏防车辆侧翻效果显著,车辆外倾量较小,可平稳驶出。

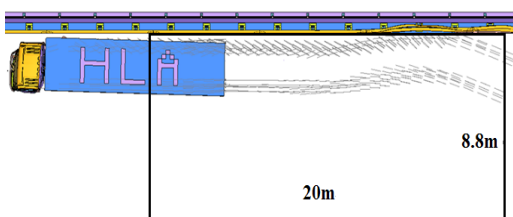


图13 整体式货车行驶轨迹与导向驶出框

图14为内侧增设高防撞等级型钢护栏方案减小车辆外倾效果,可见整体式货车碰撞护栏过程中外倾量较小,有效避免了撞击护栏配套防抛设施,因此该方案满足跨铁路桥梁护栏特殊安全性能指标要求。

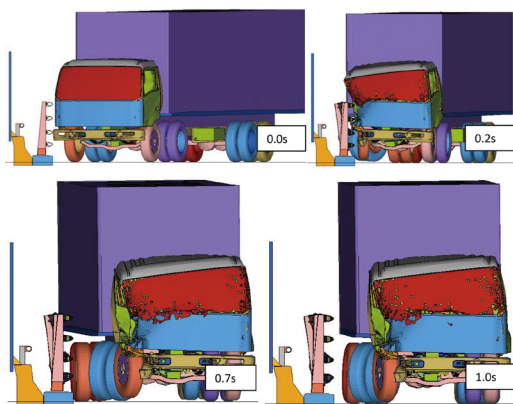


图14 内侧增设高防撞等级型钢护栏方案减小整体式货车侧倾效果

综上所述,通过采用经试验验证的高精度计算机仿真模型对内侧增设高防撞等级型钢护栏改造方案的安全性能进行分析。结果表明,小客车、大客车、整体式货车碰撞护栏后各项指标均满足跨铁路桥梁护栏安全性能指标要求,护栏防撞等级达SS级(防护能量 $\geq 520\text{kJ}$),且具有较好的减小车辆外倾功能,可有效降低车辆发生侧翻的概率。

6 上跨铁路桥梁微变量防撞护栏实车碰撞试验

根据标准碰撞条件,对上述方案采用的高防撞等级型钢护栏进行实车足尺碰撞试验,两端进行锚固处理^[5],以下为主要试验结果。

6.1 小客车碰撞护栏结果

图15为小客车碰撞护栏行驶轨迹图,可见小客车碰撞护栏后平稳驶出,并恢复到正常行驶姿态;小客车没有穿越、翻越或骑跨护栏;试验护栏构件及脱离件没有侵入车辆乘员舱。乘员碰撞后纵向与横向加速度10ms平均值的最大值分别为 37.3m/s^2 、 70.6m/s^2 均小于 200m/s^2 ;乘员纵向与横向碰撞速度分别为 5.1m/s 、 8.4m/s 均小于 12m/s 。

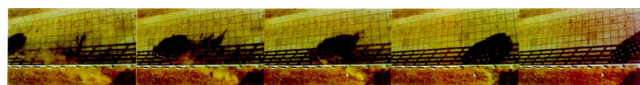


图15 小客车碰撞护栏轨迹图

图16为小客车导向驶出框,可见小客车在10m内没有越过边界线F。

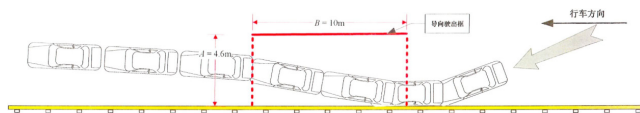


图16 小客车导向驶出框

6.2 大客车碰撞护栏结果

图17为大客车碰撞护栏行驶轨迹图,可见大客车碰撞护栏后平稳驶出,并恢复到正常行驶姿态;大客车没有穿越、翻越和骑跨护栏;试验护栏构件及脱离件没有侵入车辆乘员舱。

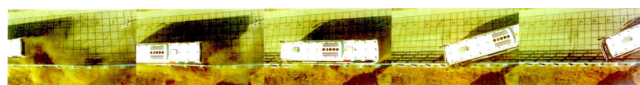


图17 大客车碰撞护栏轨迹图

图18为大客车导向驶出框,可以看出大客车在20m内没有越过边界线F。

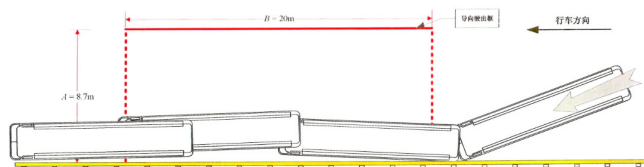


图 18 大客车导向驶出框

6.3 整体式货车碰撞护栏结果

图 19 为整体式货车碰撞护栏行驶轨迹图,可见整体式货车碰撞护栏后平稳驶出,并恢复到正常行驶姿态;整体式货车没有穿越、翻越和骑跨护栏;试验护栏构件及脱离件没有侵入车辆乘员舱。



图 19 整体式货车碰撞护栏轨迹图

图 20 为整体式货车导向驶出框,可以看出整体式货车在 20m 内没有越过边界线 F。

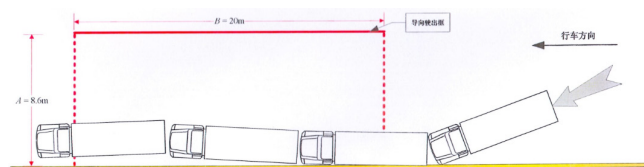


图 20 整体式货车导向驶出框

6.4 小结

通过实车碰撞试验验证,可见上跨铁路桥梁微变量防撞护栏的安全性能各项指标均满足评价标准要求,防护等级可达 SS 级;根据相关试验数据可知,大客车与大货车的车辆最大动态外倾当量值 VI_n 分别为 380mm、410mm,均远小于高防撞等级型钢护栏与现有跨铁路桥梁护栏背部构筑物的间距

(约 1m)。因此,增设上跨铁路桥梁微变量防撞护栏方案满足上跨铁路桥梁护栏的特殊安全性能指标要求。

7 结语

论文针对现有上跨铁路桥梁护栏的安全防护性的不足进行了分析,基于现有跨铁路桥梁护栏进行设计改造,提出了增设护栏方案,通过小型客车、大型客车、大型货车的实车足尺碰撞试验验证,防护指标满足规范的要求,防护等级达 SS 级。增设护栏方案结合现场设置条件及设计细则要求进行设计,达到保护护栏附属设施的效果,满足上跨铁路桥梁护栏安全性能指标要求,对于提高高速公路上跨安全运营水平具有重要意义。增设护栏方案可有效解决现有上跨铁路桥梁护栏安全防护能力不足的隐患,降低车辆和司乘人员身心损害风险,提升道路安全运营水平,满足公路、铁路平安、畅通的安全发展需求,具有较好的市场前景,社会及经济效益良好。

参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部 .JTJ/TD81-2017 公路交通安全设施设计细则 [S].2017.
- [2] 中华人民共和国交通运输部 .JTGB05-01-2013 公路护栏安全性能评价标准 [S].2013.
- [3] 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(01):52-56.
- [4] 李江海,石红星 .车辆与护栏的碰撞力计算方法 [J]. 道路交通与安全 ,2014(02):49-52.
- [5] 刘航,闫书明,滕玉禄,等 .波形梁护栏端部锚固研究 [J]. 特种结构 ,2015(04):76-82.