

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.06.060

不同车型下 HA 级防撞混凝土护栏碰撞仿真分析

袁旭阳

(青海省交通规划设计研究院有限公司, 青海 西宁 810000)

摘要:针对目前中国特殊高风险路段护栏存在的安全隐患,以某 HA 级钢筋混凝土护栏为例,基于 LS-DYNA 软件平台建立 4 种不同车型与混凝土护栏的碰撞模型,并通过实车碰撞试验对模型进行验证,讨论 4 种车型撞击护栏后车辆响应及护栏损伤。计算分析结果表明:该护栏满足 760 kJ 碰撞能量的 HA 级防撞要求,其中小型车辆与护栏碰撞后乘员速度小于 12 m/s,碰撞后乘员的加速度小于 20g 且行驶轨迹正常;大型车辆与护栏碰撞后没有发生穿越护栏现象且车辆未驶出导向框,混凝土护栏有一定损伤但未造成结构性破坏。

关键词:HA 级混凝土护栏; 仿真模拟; 加速度; 行驶轨迹; 护栏损伤

在山区高架枢纽互通设计中,由于受地形限制,其转弯半径往往较小,运行速度较大的车辆在该类路段行驶时容易以大角度碰撞桥梁护栏,车辆很容易发生侧翻坠落事故。

闫书明等针对危险路段提出了具备 630 kJ 防撞能力的桥梁护栏,但随着高速公路上超载超限的大型车辆越来越多,在某些特殊危险路段 630 kJ 防撞能力的桥梁护栏可能不再安全。该文以某满足 760 kJ 碰撞能量要求的 HA 级防撞桥梁护栏为研究对象,采用 LS-DYNA 平台模拟分析不同车型碰撞过程,研究成果可为山区复杂高架枢纽互通护栏设计提供参考。

1 HA 级钢筋混凝土护栏结构设计参数

实践应用表明:F 形坡面护栏较单坡面具有更好的导向性和缓冲性能,因此试验护栏选择 F 形坡面的机构形式,且在护栏的顶部设置阻爬砍可有效防止车辆侧翻的功能。合理的高度设计可有效增加混凝土护栏在公路上的安全储备。综合设计规范对护栏高度的要求,取护栏高度为 1.3 m,混凝土强度为 C40。确定 HA 级桥梁混凝土护栏结构墙体轮廓尺寸如图 1 所示。

根据现行设计规范中关于桥梁混凝土护栏配筋强度的要求,墙体中竖筋采用直径为 16 的Ⅲ级钢筋,纵筋采用直径为 12 mm 的Ⅲ级钢筋,如图 2 所示。

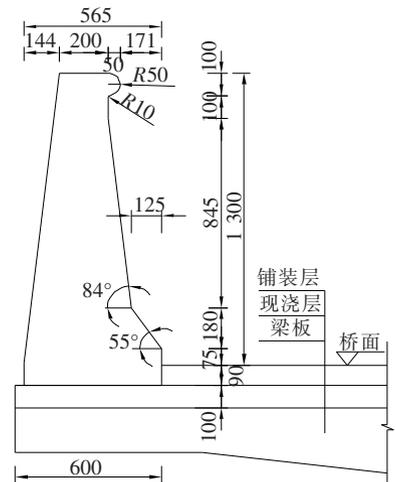


图 1 桥梁护栏墙体外轮廓(单位:mm)

2 有限元模型建立及验证

基于有限元方法的计算机仿真技术可计算碰撞类复杂物理过程。在 LS-DYNA 中可采用拉格朗日增量动态方程描述碰撞大变形几何非线性效应,调用显示中心差分法即可完成对碰撞几何非线性的模拟;对于材料非线性行为的描述采用 Von Mises 屈服准则;对于碰撞边界非线性的模拟可采用罚函数法。

2.1 车辆及混凝土护栏有限元模型

根据车辆实际尺寸建立车辆有限元模型,车身结构采用计入大变形的四边形单点积分壳单元模拟,单元翘屈度控制在 15 以内,长宽比不大于 4,角度控制

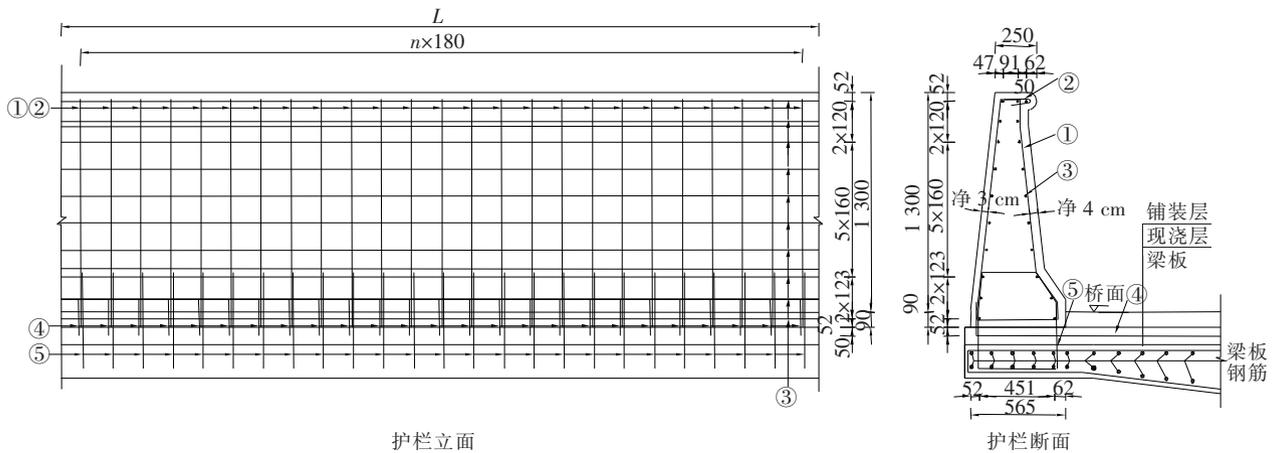


图2 HA级桥梁混凝土护栏配筋图(单位:mm)

在 $[45^\circ, 135^\circ]$ 区间;使用 Cowper-Symons 模型来考虑材料的应变率效应;边界非线性问题通过设置基于惩罚函数法的 Automatic_Single_Surface 接触类型解决。车辆参数及有限元模型见表1及图3。

表1 车辆类型及参数

试验车辆	速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	碰撞角度/ $(^\circ)$
1.5 t 小客车	100	20
25 t 大客车	85	20
40 t 整体式货车	65	20
55 t 鞍式货车	65	20

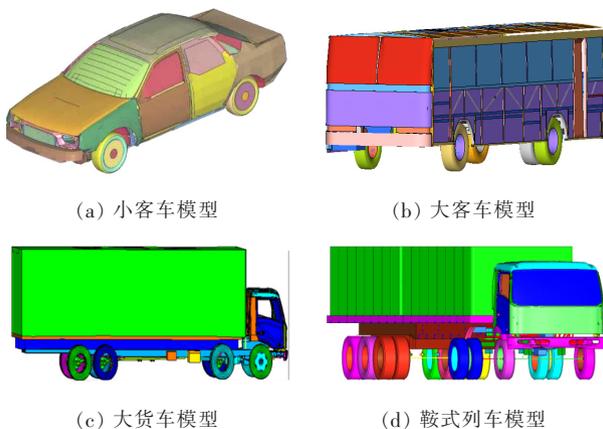


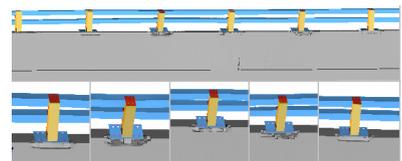
图3 车辆有限元模型

有限元模拟时,忽略路面变形,将路面作为刚性处理。碰撞系统坐标系以车辆行驶方向为 x 坐标,宽度方向为 y 坐标, z 方向垂直于 xy 平面。

护栏混凝土部分采用 Mat159 号材料进行模拟,钢筋采用弹塑性材料模拟,其应力-应变曲线根据 Hopkinson 压杆冲击试验确定,两者之间的连接通过设置 * CONstrained_LAGRANGE_IN_SOLID 进行约束。

2.2 有限元模型验证

通过开展实车碰撞试验验证有限元模型的合理性和正确性,试验采用核定重量 2 t 的小车以 30 km/h 的速度正面撞击 HA 级钢筋混凝土护栏,观察护栏损伤情况,并与理论计算结果进行对比(图4)。



(a) 有限元模拟结果



(b) 实车碰撞结果

图4 实车碰撞混凝土护栏试验与模拟损伤对比

由图4可知:实车碰撞与有限元模拟结构裂缝分布及损伤情况基本一致,两者结果高度吻合。故可认为该有限元模型能较为精确地模拟护栏碰撞过程,从而验证了有限元模型的正确性和合理性。

3 仿真模拟结果分析

分别建立小客车、大客车、整体式货车及鞍式货车4种车型有限元模型以模拟其碰撞过程,其中小客车及大客车主要考察车辆碰撞以后的加速度及导向阻拦功能,整体式货车及鞍式货车主要考察碰撞后导向功能及混凝土护栏损伤情况。

(1) 小客车碰撞结果分析

建立小客车碰撞护栏仿真模型,碰撞条件为:1.5

t 小客车,车身高 4.6 m,宽 1.77 m,高 1.4 m,以 100 km/h 的速度碰撞护栏,碰撞角度为 20°。图 5 为小客车碰撞护栏过程有限元模拟示意图。结果表明:车辆头部碰撞护栏后,没有出现翻越和穿出护栏现象,经过护栏导向后平稳驶出,而且能够正常行驶,结果表明护栏导向和阻挡功能良好。

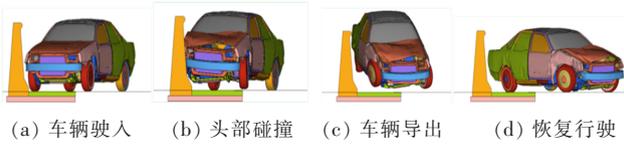
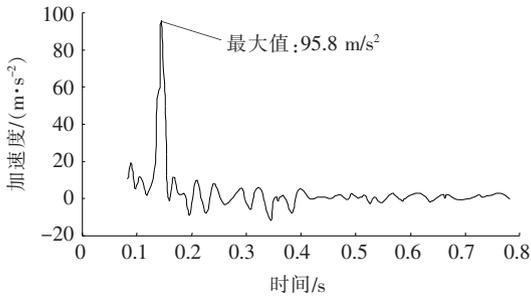
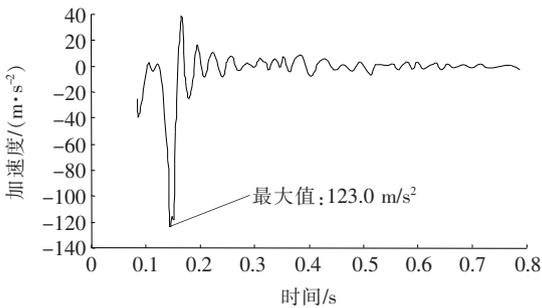


图 5 小客车碰撞过程

图 6、7 分别为小客车碰撞护栏的加速度时程曲线和碰撞护栏后车辆行驶轨迹图。



(a) x 向加速度-时间曲线图



(b) y 向加速度-时间曲线图

图 6 小客车碰撞过程加速度时程曲线

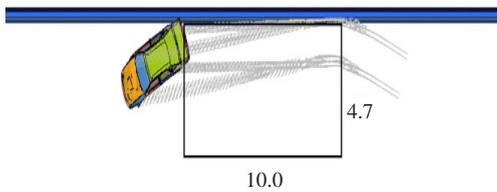


图 7 小客车碰撞行驶轨迹图(单位:m)

图 6、7 表明: x 向(纵向)乘员碰撞后加速度为 95.8 m/s², y 向(横向)乘员碰撞后加速度为 123 m/s²,均小于 200 m/s²; x 向(纵向)乘员碰撞速度为 3.8 m/s, y 向(横向)乘员碰撞速度为 7.8 m/s,均小于 12 m/s;小客车碰撞混凝土护栏后行驶轨迹未驶出

导向框,且小客车驶出导向框后没有翻车,车身保持完整,结果表明护栏导向功能良好。

(2) 大客车碰撞结果分析

建立大客车碰撞护栏仿真模型。碰撞条件为:10 t 大客车、车身高 10 m,宽 2.4 m、高 3.1 m,以 60 km/h 的速度碰撞护栏、其碰撞角度为 20°。图 8、9 分别为标准碰撞条件下大客车碰撞护栏过程图和碰撞护栏后车辆行驶轨迹图。图 8、9 表明:大客车头部碰撞护栏后,没有出现翻越和穿出护栏现象,经过护栏导向后平稳驶出,而且能够正常行驶,表明护栏导向和阻挡功能良好。大客车碰撞特高防撞等级 F 形混凝土护栏后,未驶出导向框,且大客车未翻车,车身较为完整。

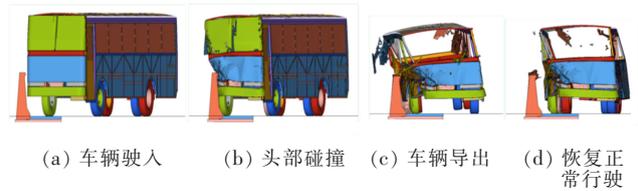


图 8 大客车碰撞过程

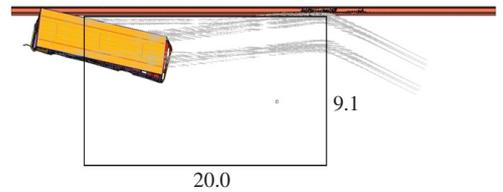


图 9 大客车碰撞行驶轨迹图(单位:m)

(3) 整体式货车碰撞

建立整体式货车碰撞护栏模型,碰撞条件为:40 t 整体式货车,以 65 km/h 的速度碰撞护栏、其碰撞角度为 20°。图 10、11 分别为整体式货车碰撞护栏过程图和整体式货车碰撞护栏后行驶轨迹图。

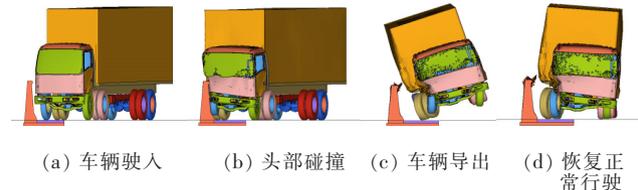


图 10 整体式货车碰撞过程

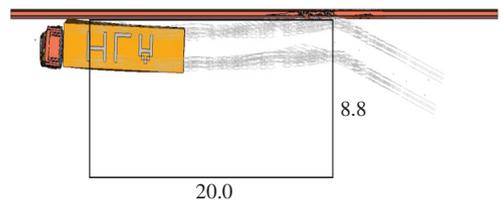


图 11 整体式货车碰撞行驶轨迹图(单位:m)

图10、11表明:大货车头部碰撞护栏后,没有出现翻越和穿出护栏现象,经过护栏导向后平稳驶出,而且能够正常行驶,结果表明护栏导向和阻挡功能良好。大货车碰撞混凝土护栏后,未驶出导向框,且大客车驶离后未翻车,车身较为完整。图12为整体式货车碰撞后护栏损坏情况,混凝土护栏局部损坏,损伤部位为护栏上部,损伤表征为混凝土破损,但未对护栏造成破坏性影响。

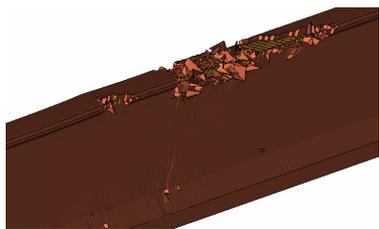


图12 整体式货车碰撞护栏损坏情况

(4) 鞍式货车碰撞

建立鞍式货车碰撞护栏模型,碰撞条件为:55 t 鞍式货车,以 65 km/h 的速度碰撞护栏,其碰撞角度为 20°。图13、14分别为鞍式货车碰撞护栏过程图和鞍式货车碰撞护栏后行驶轨迹图。

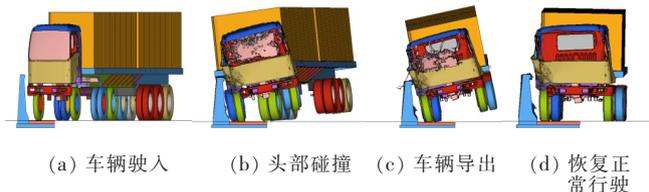


图13 鞍式货车碰撞过程

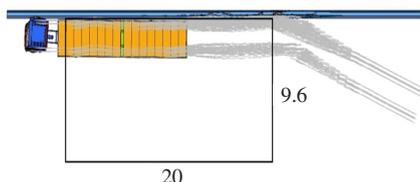


图14 鞍式货车碰撞行驶轨迹图(单位:m)

图13、14表明:鞍式货车头部碰撞护栏后,没有出现翻越和穿出护栏现象,经过护栏导向后平稳驶出,而且能够正常行驶,结果表明护栏导向和阻挡功能良好。鞍式货车碰撞特高防撞等级F形混凝土护栏后,未驶出导向框,且鞍式客车驶离后未翻车,车身较为完整。图15为鞍式货车碰撞后护栏损坏情况,混凝土护栏局部损坏,损伤情况较整体式货车严重,主要受损部位为护栏上下部区域,损伤表征为混凝土破损,但仍未对护栏造成破坏性影响。

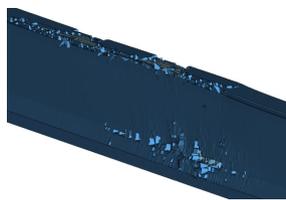


图15 鞍式货车碰撞护栏损坏情况

4 结论

以某HA级防撞混凝土护栏为研究对象,使用LS-DYNA建立4种不同车型的仿真模型和混凝土护栏模型,并通过实车碰撞对有限元模型进行了验证,同时对4种车型撞击混凝土护栏后车辆行驶轨迹及护栏损伤情况进行分析,得到如下结论:

(1) 实车撞击试验表明:基于大变形和接触非线性理论建立的碰撞模型具有较高的模拟精度,试验碰撞结果与有限元模拟结果基本一致,护栏破坏特征高度吻合,有限元模型可用于对不同车型撞击护栏的动力分析。

(2) 通过建立4种不同车型与护栏的高精度计算机碰撞仿真模型,并对其碰撞过程进行分析求解,碰撞后小型车辆纵向和横向速度分别为3.8、7.8 m/s,小于规范要求的12 m/s;纵向和横向加速度分别为95.8、123 m/s²,小于规范要求200 m/s²,护栏阻挡功能满足规范要求。

(3) 4种车型撞击护栏后车辆行驶轨迹均在导向框范围内,说明该护栏具有较好的导向功能。

(4) 整体式货车及鞍式货车撞击护栏后护栏表面混凝土有一定损伤,但均未造成结构性破坏。

参考文献:

- [1] 冯涛,尤悦,王靖,等.山区高速公路危险路段路侧护栏设置研究[J].公路,2018(9).
- [2] 闫书明,惠斌,李巍,等.基于碰撞分析的特高防撞等级桥梁护栏安全评价[J].特种结构,2010(1).
- [3] 崔洪军,李思学,朱敏清,等.SAm级防撞活动护栏碰撞仿真分析[J].系统仿学报,2021(1).
- [4] 李思达,焦明东.某黄河公路大桥防护护栏设计研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020(5).
- [5] 范立波.基于碰撞过程分析的混凝土护栏结构形式研究[D].北京林业大学硕士学位论文,2019.
- [6] JTG B05-01-2013 公路护栏安全性能评价标准[S].
- [7] JTG D81-2006 公路交通安全设施设计规范[S].
- [8] 张程程.高速公路养护工程波形护栏接桩工艺研究[D].河北工业大学硕士学位论文,2015.