

基于 RADIOSS 的客车与波形护栏碰撞仿真分析*

李文勇¹, 周大安¹, 李福祥², 张元青³

(1.桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004; 2.潍坊市机动车排污监控管理中心, 山东 潍坊 261041;

3.江西应用技术职业学院 汽车学院, 江西 赣州 341000)

摘要: 针对目前公路侧广泛使用的波形护栏, 建立护栏和客车的 CAD 模型, 通过有限元前处理软件 HyperMesh 划分客车—护栏网格, 建立完整的客车—护栏碰撞模型; 使用动力学分析软件 RADIOSS 进行仿真计算, 得出客车与波形护栏碰撞的主要参数, 分析得到客车与波形护栏碰撞时的运行轨迹、碰撞能量和碰撞加速度, 据此分析客车与护栏碰撞的安全性, 并提出护栏改进建议。

关键词: 交通安全; 波形护栏; 客车; 碰撞仿真

中图分类号: U491.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)03-0027-03

大型客车乘员较多, 车体较大, 整车质量大, 驾驶操控困难, 一旦冲出路面, 易发生重大交通事故。据统计, 2005—2012 年全国共发生重大道路交通事故 250 起, 其中跨越护栏导致的重大事故 52 起, 占事故总数的 20.8%; 且跨越护栏导致的事故占比整体呈上升趋势, 到 2012 年, 事故数量占比增至 36%。该文针对现状公路护栏, 利用 HyperWork 建立客车—护栏碰撞模型, 使用 RADIOSS 进行撞击仿真分析。

1 有限元模型的建立

1.1 波形护栏模型的建立

根据碰撞后的变形程度不同, 护栏可分为柔性护栏、半刚性护栏和刚性护栏三类。波形护栏是半刚性护栏中的一种, 由于其刚度适中, 碰撞后通过变形吸收能量, 对车辆和驾乘人员具有较好的保护作用, 还能阻挡车辆冲出路面, 正确引导车辆方向回正, 故被广泛应用。波形护栏由立柱、防阻块和波形梁板构成, 各构件之间用螺栓连接。由于碰撞时很少出现护栏断裂的情况, 护栏板采用整块板建模, 厚度为 4 mm; 立柱采用外径为 140 mm 的圆形管, 厚度为 4.5 mm; 防阻块厚度为 4.5 mm。通过 SolidWorks 建立护栏 CAD 模型, 运用 HyperMesh 进行网格划分。波形梁板、立柱和防阻块均为钣金结构, 采用 Shell 单元模拟。根据《公路交通安全设施设计细则》, 护栏模型总长 80 m, 分 20 跨。局部有限元模型见图 1。



图 1 波形护栏网格模型

考虑到碰撞过程中材料会发生塑性变形, 在 RADIOSS 环境下选用 M36_PLAS_TAB 材料类型。M36_PLAS_TAB 是一种表格格式分段线性弹塑性材料, 通过定义曲线表达材料的流动行为, 通过曲线定义应变率和屈服强度。护栏屈服强度为 310 MPa。不同部件之间的螺栓连接采用 Rbody 单元模拟。考虑到碰撞力足够大时会导致连接失效, 设置护栏的失效系数为 0.7。碰撞过程中, 当变形量足够大时网格会自动失效, 部件发生分离。护栏材料参数如下: 密度为 $7.865 \times 10^{-9} \text{ t/mm}^3$; 弹性模量为 200 000 MPa; 泊松比为 0.27; 失效系数为 0.7。

通过多次实车试验, 对于土基护栏, 碰撞过程中立柱发生弯曲的位置位于地表下 400 mm 处, 与立柱埋入地下深度无关, 为简化模型约束, 位于地表以下 400 mm 处的位置施加全约束。

1.2 客车有限元模型的建立

客车整车尺寸为 11 850 mm(长)×2 500 mm(宽)×2 950 mm(高)。首先通过 SolidWorks 建立 CAD 模型, 然后将 CAD 模型导入 HyperMesh 中进行网格划分。为保证计算速度和结果的准确性, 对

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51268006)

客车模型进行适当简化:客车蒙皮、内饰和玻璃对碰撞结果影响很小,建模中省略;发动机、油箱和座椅等基本不发生碰撞变形,建模中省略。对于省略的部件添加均布质量和集中质量点,保证客车总重和质心位置不变。车身骨架和底盘多为薄壁结构,使用 Shell 单元模拟,对于部件间的焊缝连接采用共节点的方式进行模拟。网格尺寸为 20 mm,既能保证运算精度,又能减少运算时间,网格质量要求见表 1。车身材料在 RADIOSS 环境下选用 M36_PLAS_TAB,客车底盘选用 16Mn 材料,其他车身骨架选用 Q235 材料。加强板采用 Rbody 连接;转向系统采用 SPRING3N 单元模拟。客车 CAE 模型共划分为 404 000 个节点和 389 904 个单元,总质量为 10 036 kg。客车一波形护栏碰撞模型见图 2,碰撞位置位于护栏总长 1/3 处。

表 1 Shell 单元质量要求

项目	要求
翘曲比	<15
歪斜比	<40
长宽比	<4
雅克比	>0.6
四边形最大角度/(°)	<130
四边形最小角度/(°)	>40
三角形最大角度/(°)	<120
三角形最小角度/(°)	>30
三角形单元比例/%	<3

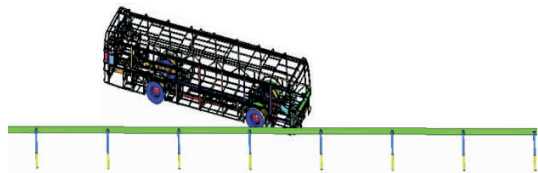


图 2 客车一波形护栏碰撞仿真分析模型

1.3 碰撞条件

车辆与护栏发生碰撞,碰撞初始条件不同,车辆和护栏的响应也不同。根据《公路交通安全设施设计细则》,护栏碰撞条件见表 2。此次仿真分析碰撞角度设为 20°,客车初速度设为 60 km/h,对应轮胎初始角速度为 21.67 rad/s。

表 2 护栏碰撞条件

防撞等级	车型	整车质量/t	初速度/(km·h ⁻¹)	碰撞角度/(°)
A	小型客车	1.5	100	20
	大型客车	10.0	60	20

1.4 接触类型

基于 RADIOSS 环境,客车自身接触、护栏自身接触、客车—护栏对称接触的类型均选用 Interface Type7,这种通用接触能模拟所有点面类型的接触;滑动摩擦系数都设为 0.2。由于地面基本不发生变形,地面与轮胎的接触选用 Rigid Wall Type 刚性接触;鉴于轮胎已施加初始角速度,设置滑动摩擦系数为 0.7。

2 客车与波形护栏碰撞仿真分析

2.1 模型可靠性

通过检查能量的守恒与转化,判断碰撞模型的可靠性,客车—护栏模型的能量见图 3。由图 3 可知:在碰撞过程中,整个系统的总能量为 1 414.47 kJ,并且基本保持不变,遵循能量守恒;因为摩擦力的作用,随着碰撞的进行,客车动能逐渐转化为内能,动能逐渐减少,内能逐渐增加;沙漏能很少,小于总能量的 3%。表明模型可靠、有效。

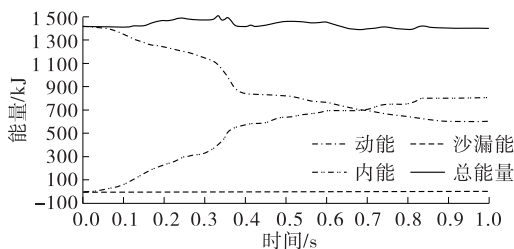


图 3 仿真过程中客车—护栏模型能量变化曲线

2.2 仿真结果分析

2.2.1 车辆运行轨迹

图 4 为客车与护栏碰撞后的运行轨迹。由图 4 可知:客车与护栏发生接触后,两者都产生塑性变形,吸收碰撞能量。200 ms 时,波形梁板防阻块首先发生严重变形,立柱开始侧倾;400 ms 时,立柱被车身撞到,防阻块脱落;600 ms 时,客车骑跨立柱,驶出护栏设置位置,但护栏未断裂,对客车仍有导向和阻挡作用;800 ms 时,客车运行方向与护栏基本保持平行,但客车在惯性作用下发生摆尾,车身尾部与护栏再次发生碰撞接触;1 000 ms 时,客车尾部将护栏撞倒,并越出护栏。可见波形护栏起到了较好的导向作用,但护栏被严重撞倒,结构破坏严重,车辆有越过护栏的可能,护栏结构有待优化和加强。

2.2.2 部件能量分析

图 5 为客车与护栏碰撞后护栏各部件吸能曲线。由图 5 可知:护栏在整个碰撞过程中吸收能量

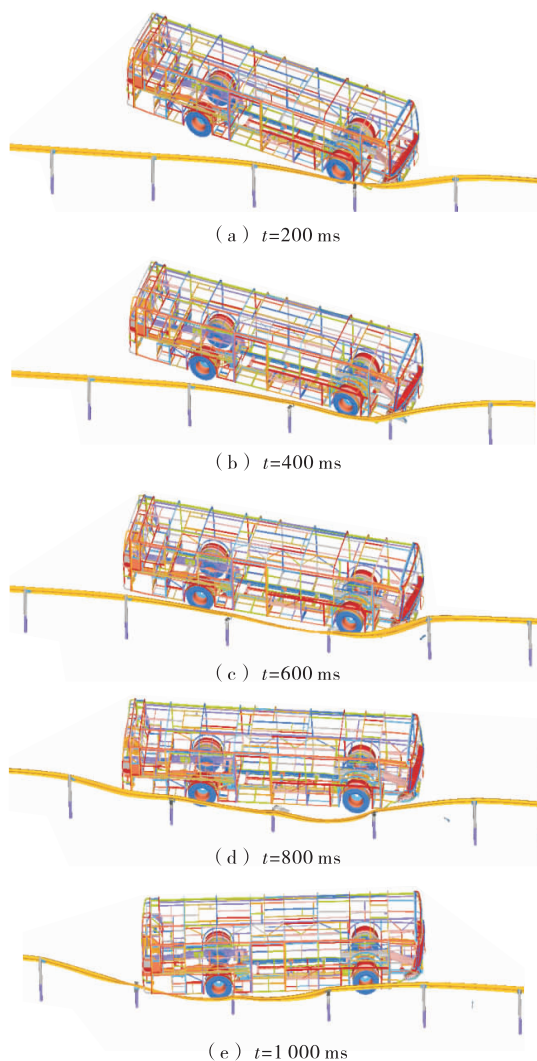


图 4 客车与护栏碰撞后的行驶轨迹

520 kJ, 占系统总吸收能量的 65%, 客车占 35%。说明客车的有效变形对乘客有一定保护作用, 仿真中不能用刚体代替。在护栏系统中, 波形梁板为主要吸能部件, 吸能占比为 44.2%, 立柱吸能占比为 38.5%, 防阻块吸能占比为 17.3%。

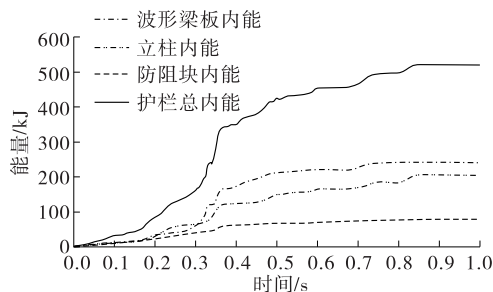


图 5 客车与护栏碰撞后护栏各部件吸能曲线

2.2.3 加速度分析

图 6 为客车与护栏碰撞后的加速度曲线。由图

6 可知: 客车在 X、Y、Z 方向的加速度最大值分别为 13.2g、10.6g、20.4g; X 方向为沿护栏方向, 加速度最大值小于 20g, 满足碰撞要求; Y 方向为垂直于护栏方向, 加速度最大值小于 20g, 满足碰撞要求; Z 方向为垂直于地面方向, 由于客车未建立减震系统, 加速度略大于 20g, 符合实际情况。

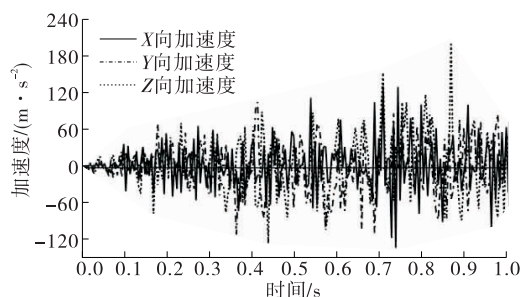


图 6 客车与护栏碰撞后的加速度曲线

2.2.4 客车变形量分析

图 7 为客车与护栏碰撞后的变形情况。由图 7 可知: 由于客车较高, 碰撞接触位置为右侧围及车门底部; 由于客车车身材料屈服强度小于护栏, 碰撞过程中发生较大塑性变形, 特别是车门底部位置变形严重, 车身上部变形较小, 变形未侵入乘客及驾驶员身体位置, 对驾乘人员安全不构成威胁。

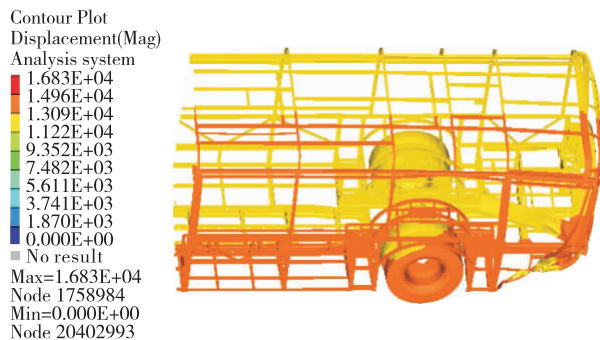


图 7 客车与护栏碰撞后的变形情况(单位: mm)

3 结论

碰撞过程中护栏虽发生严重变形, 但客车未翻越护栏, 未发生侧翻, 并且护栏起到了很好的导向作用, 使客车回到正确行驶方向, 护栏的导向作用良好; 碰撞过程中护栏吸收的能量占总能量的 65%, 起到了很好的缓冲作用, 有助于保护驾乘人员; 客车在沿护栏方向和垂直于护栏方向的加速度均小于 20g, 垂直于地面方向的加速度略大于 20g, 满足碰撞安全要求; 客车变形量对乘员安全不构成威胁。

(下转第 32 页)

响,应在交叉口内的合适位置施划标线岛,区分车道方向,引导车辆按正确的方向行驶,减少车辆冲突的可能性。

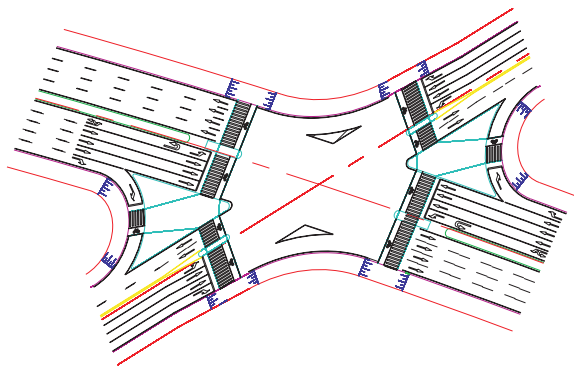


图6 X形交叉口示意图

3.2 标线设计细则

(1) 中央分隔带内侧、机动车道外侧均应设置车行道边缘线。

(2) 一般在距横向道路 2~3 m 的位置设置人行横道标线。在中央分隔带处的人行横道上设置安全岛,并保留端部 1~2 m 的分隔带。停止线设置于距离人行横道线 1~3 m 处。停止线后的车行道间应设置导向车道线。车行道内应设置导向箭头,指示各车道的行驶方向,建议设置三组。交叉口内应设置左转弯导向线,当直行、右转弯车辆轨迹不畅时,也应设置直行、右转弯导向线。导向线为虚线,线宽 15 cm,划 1 m、空 1 m。

(3) 当设有左转弯专用车道时,可在左转弯专

用车道前端设置左转弯待行区域。左转弯待行区伸入交叉口内,但不得妨碍对向直行车辆的正常通行。

(4) 交叉口内车辆轨迹不涉及的区域应设置导流线,标线形式根据地形、交通流量特点进行选择。

(5) 为实现非机动车及行人分离,在人行横道内侧施划非机动车专用道。

4 结语

交通工程设计的目的在于满足人们的出行需求,既要提供相应的信息,也要保证交通参与者的安全。交通标线的主要作用在于指引交通、分离行人和机动车,营造一个舒适和安全的城市生活环境。该文通过对各类交叉口特点的分析,提出合理的标线设计建议,为设计者提供参考。

参考文献:

- [1] GB 5768—2009,道路交通标志和标线[S].
- [2] JTG D81—2006,公路交通安全设施设计规范[S].
- [3] JTG/T D81—2006,公路交通安全设施设计细则[S].
- [4] 张树建.标志标线设计在公路设计中的作用及设置原则[J].黑龙江交通科技,2009(4).
- [5] 杜志强,高训强.公路异形交叉口交通标线渠划设计[J].交通世界:运输.车辆,2011(增刊1).
- [6] 段小梅,张怡伟.广州市内环路交通工程标志标线设计与思考[A].第七次城市道路与交通工程学术会议论文集[C].2002.

收稿日期:2016—12—23

(上接第 29 页)

现有护栏的导向功能良好,但并不能完全满足客车碰撞要求,存在发生二次伤害的可能,需加强护栏阻挡功能。建议提高立柱的刚度或增大立柱的密度,以防立柱被撞倒,增强护栏的阻挡功能;将双波梁栏板改为三波梁栏板,提高护栏板的刚度,减小护栏变形量,提高护栏的阻挡功能;改用屈服强度和极限强度更高的护栏材料。

参考文献:

- [1] 邓毅萍,常宇.基于重大交通事故分析的公路护栏防护性能研究[J].警察技术,2014(3).
- [2] 毛娟娟.客车与半刚性护栏碰撞的有限元分析与模拟[D].大连:大连理工大学,2008.
- [3] 胡远志,曾必强.基于 LS-DYNA 和 HyperWorks 的汽车

安全仿真与分析[M].北京:清华大学出版社,2011.

- [4] 张杨,李文勇.基于 UG 和 ADAMS 的客车与波形梁护栏碰撞仿真分析[J].公路与汽运,2012(6).
- [5] 田东翔.汽车与波形梁护栏碰撞仿真研究[D].西安:长安大学,2012.
- [6] 谢庆喜,张维刚,钟志华.波形梁半刚性护栏与汽车碰撞的仿真分析及其结构优化[J].客车技术与研究,2006(1).
- [7] 王金轮,周云郊,兰凤崇.客车与半刚性双波梁护栏碰撞过程的研究[J].深圳大学学报:理工版,2015,32(3).
- [8] 唐焱,刘俊杰,高吟.某小型客车正面碰撞建模与仿真分析[J].机械设计与制造,2015(6).
- [9] 黄红武,刘正恒,杨济匡.基于计算机仿真的汽车与高速公路护栏碰撞事故的分析与研究[J].湖南大学学报:自然科学版,2002,29(6).

收稿日期:2016—12—20