

Optimization of Goods Vehicle Side Under-run Protection Devices Based on Simulation Analysis

Xueyang Yin¹, Haibo Huang^{1,2}

¹School of Transportation and Automotive Engineering, Xihua University, Sichuan Chengdu, China, 610039

²Sichuan Xihua Institute of Automobile Vehicle Justice Identification, Sichuan Chengdu, China, 610039

Abstract: With car owners in China continues to grow, the number of road traffic accidents increased progressively. And it has aroused wildy social concern about the automotive passive safety. So how to improve passive safety performance of vehicles will make an important practical significance in reducing or avoiding a series of social and economic issues caused by traffic accidents. According to the statistical analysis, in collision accidents of the truck lateral with motor, non-motor and pedestrians, it is a truck side under-run protection device which is critical in preventing the collision and casualties when goods vehicle makes turns. Taking the prototype of the side under-run protection of the heavy truck to establish the finite element model, and in accordance with regulatory requirements and the computer crash simulation analysis ,goods vehicle's side under-run protection were optimized and improved .The result shows that the optimized side under-run protection devices improved the crash compatibility and the ability to avoid pedestrian being involved in.

Keywords: goods vehicle; side under-run protection devices (SUPD); simulation analysis; optimization

基于仿真分析的货车侧部防护装置优化研究

尹学杨¹, 黄海波^{1,2}

¹西华大学交通与汽车工程学院, 四川, 成都, 610039

²四川西华机动车司法鉴定所, 四川, 成都, 610039

摘 要: 随着我国汽车保有量的持续增加, 道路交通事故数量也呈递增趋势, 汽车被动安全问题因此引起社会广泛关注。如何改善汽车被动安全性能, 以减少或避免交通事故带来的一系列社会经济问题将有着重要的现实意义。统计分析表明, 在机动车、非机动车以及行人与货车侧面碰撞的事故中, 货车侧部防护装置对防止机动车或非机动车发生转弯碰撞以及防止人员卷入碾压起着至关重要的作用。以某重型货车的侧部防护装置为原型建立其有限元模型, 按照法规要求, 借助计算机碰撞仿真分析, 对车辆的侧面防护装置结构进行优化改进。结果表明, 经过优化后的侧部防护装置提高了与该车侧面碰撞的相容性及防止被卷入的能力。

关键词: 货车; 侧部防护装置; 仿真分析; 优化

1 引言

随着汽车工业的不断发展和汽车保有量的持续增加, 道路交通事故也呈多发态势。尽管各种交通安全措施不断加强, 但是由于国内城市道路多以平面交叉路口为主, 侧面碰撞的交通事故发生率仍就很高, 因此汽车的侧面碰撞安全问题也就越来越引起人们的普遍关注。货车和挂车由于侧部防护装置的不设置或不按标准要求设置已经成为重大交通事故的主要原因。GB7258-2004《机动车运行安全技术条件》规定, 总质量大于3500kg的货车和挂车应提供防止人员卷入的侧面防护, 货车列车的货车和挂车之间应提供防止人员卷入的侧面防护。日本汽车安全基准也规定, 在普

通载货车的侧面、前后轮之间, 必须义务安装把行人挡住、不卷入行人的防止卷入装置, 即侧防护栏。其要求如下: 其离地间隙为: 上沿65cm以上, 下沿45cm以上; 前端与前车轮的间隔在40cm以下; 后端与后车轮的间隔在40cm以下^[1]。

由此看出, 国内国外对货车和挂车必须安装侧面防护装置的规定主要就是为了减少发生侧碰事故时对机动车、非机动车和无防御能力行人的危害, 有效保护机动车或非机动车在低速转弯时发生侧面碰撞的钻入以及防止无防御的行人在碰撞时, 免于跌于车底部而被车轮碾压的事故发生。若货车和挂车没有合格的侧部防护装置, 由于在交叉路口行驶的摩托车速度

一般比较低, 摩托车向货车侧部防护位置进行迎头冲撞时, 极易发生摩托车钻入货车车架底下的碰撞事故, 不可避免的造成摩托车骑行人员的伤亡。如果货车和挂车安装了符合标准的侧部防护装置, 就能够在这种迎面冲撞事故发生时有效阻止骑行人员的钻入碰撞, 达到保护骑行人员的目的。

本文拟假定某一骑行摩托车与一重型货车横杆式侧部防护装置(图1所示)迎头冲撞的正面碰撞过程中的结构变形和吸能情况, 依据国标GB11567.1-2001《汽车和挂车侧面防护要求》规定, 在分析货车和挂车侧部防护装置技术要求基础上, 结合计算机相关建模仿真软件, 对货车和挂车侧面防护装置的结构进行仿真分析, 通过对不同截面结构的侧面防护装置仿真结果对比分析, 获得满足GB11567.1-2001要求的防护装置。利用现代仿真技术进行侧防护装置的设计, 完善防护装置安全性设计的同时保证侧防护装置起到真正的防护作用。

2 侧部防护装置技术要求

目前国内道路上行驶的未按法律要求安装侧部防护装置的货车和挂车很多, 即便安装了该装置的部分货车和挂车, 其安装的防护装置仍存在材料强度不足、联结点固定达不到要求、安装位置过高、缓冲效果不明显、边缘处理不够等安全隐患问题。安装这种防护装置不但不能减轻车辆碰撞力度, 有的甚至还会加大事故的伤害程度, 造成恶性交通事故的发生^[2]。下面是GB11567.1-2001《汽车和挂车侧面防护要求》中对侧防护装置的主要技术要求:

2.1 适用范围

GB11567.1-2001《汽车和挂车侧面防护要求》适用于N2、N3、O3、O4类车, 但不适用于半挂牵引车、长货物搬运专用车(如运输木材、钢材棒料等货物的车辆)和无法安装侧面防护装置的车辆。

2.2 形状和安装位置要求

侧面防护装置可以是一个连续平面, 或者由一根或多根横杆构成, 或者是平面与横杆的组合物, 且外表面应光滑, 并尽可能前后连续; 相邻部件允许搭接, 但搭接的外露边沿应向后或向下。相邻部件可沿纵向留出 $\leq 25\text{ mm}$ 的间隙, 但后部不能超出前部的外侧。侧部防护装置的上缘与其上部的车辆构件相距应 $\leq 350\text{ mm}$, 下缘任何一点的离地高度不应大于 550 mm 。

当采用横杆结构时, 横杆间距不大于 300 mm , 且对N2和O3类车辆截面高度 $\geq 50\text{ mm}$, N3和O4类车辆截面高度 $\geq 100\text{ mm}$ 。平面和横杆的组合结构应形成一个实际连续的侧面防护装置, 但应满足螺栓和铆钉的圆头允许凸出外表面 $\leq 10\text{ mm}$, 其他零件只要其光滑并倒圆, 也可凸出外表面 $\leq 10\text{ mm}$ 。所有外露的棱边和转角皆应倒圆, 且半径 $\geq 2.5\text{ mm}$ 要求。

2.3 阻挡能力要求

侧面防护装置应具有一定的刚度, 固定牢固(不因振动而松动), 除固定地安装在车辆上的各种设施(如备胎、蓄电池架、储气筒)零部件外, 应采用金属或其他适当材料制造。当用直径 $220\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ 的圆形平压头施以 1 kN 的静压力垂直作用于该装置外表面的各部分时, 其因受力而产生的变形应满足下述要求: 侧面防护装置在最后 250 mm 段的变形量 $\leq 30\text{ mm}$; 其余部分变形量 $\leq 150\text{ mm}$ ^[3]。



图1. 非连续平面式侧面防护装置



图2. 连续平面式侧面防护装置

因此, 在对货车和挂车侧部防护装置进行设计优化的过程中, 除了满足国标技术要求外, 还应尽量达到保证生存空间、降低冲击力的同时, 尤其注意防止骑行人员发生钻入碰撞, 并且使得碰撞能以可预见、可控制的方式耗散^[2]。

3 侧防护碰撞过程能量分析与改进和仿真

3.1 侧防护碰撞过程的能量分析

二轮摩托车向货车或挂车侧部防护处迎头冲撞时,首先是前轮接触防护装置,使摩托车的前叉向后位移,当前叉向后位移被自身发动机顶住时,前轮开始变形。摩托车碰撞速度与纵向变形关系可以用轴距减小量来表示,此时前叉位移大小与碰撞速度的数学关系表达式为:

$$\begin{aligned} D &= 0.67V - 8 \\ V &= 1.5D + 12 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: D—轴距减小量(cm), V—碰撞速度(km/h)

当二轮摩托车以一定速度碰撞货车或挂车侧部防护时,近似侧部防护装置的压陷深度和摩托车轴距的缩短之和,取决于摩托车碰撞防护装置时,摩托车所具有的动能(碰撞能)。同时,由于货车或挂车质量(大于等于3500kg)远远大于摩托车(90~218kg),在摩托车冲撞货车或挂车侧防护时可以看作是非黏着碰撞,货车或挂车在被摩托车侧部冲撞时,其被碰撞前与被碰撞后的车速基本未发生变化^[4]。且货车或挂车侧向运动状态几乎未因此而改变,因此由公式(2)可算出摩托车碰撞前的瞬时速度^[5]:

$$v = \left(\frac{1+m_1/m_2}{1+m_1/1950} \right) \times (150D + 12) \quad (2)$$

式中: v—摩托碰撞前的瞬时速度(km/h), m₁, m₂—摩托车、货车质量(kg), D—摩托车轴距减小量(m)

但是,根据GB11567.1-2001《汽车和挂车侧面防护要求》中的技术要求规定,侧防护因受力而产生的变形应满足在最后250 mm段的变形量不超过30 mm;其余部分变形量不超过150 mm。如若货车和挂车侧防护装置按GB11567.1-2001《汽车和挂车侧面防护要求》的规定安装,根据公式(1)同样可以计算出摩托车碰撞前瞬时速度,而且参照文献[4]中所列摩托车与汽车侧面碰撞所对应不同碰撞速度的变形量可看出,摩托车的车速基本符合交叉路口道路限速规定。

因此,从能量分析角度计算碰撞车速中可以看出,货车和挂车安装侧防护装置的主要目的在于使碰撞过程中产生的总塑性应变能被渐进压溃的形式吸收[2],以防护装置的最大变形来消耗摩托车迎头冲撞的能量,从而有效吸收其碰撞能,减少人员伤亡^[6]。

3.2 侧部防护装置模型的建立

尽管GB11567.1-2001《汽车和挂车侧面防护要求》

对侧部防护装置技术要求有较详细规定,但总体是基于防护保护以免被卷入车底发生事故为主的目的,并没有明确规定防护装置的材料、结构形状、应力及强度要求。机动车年检单位对侧部防护装置的检测基本上是仅通过目测被检车辆是否安装有侧防护装置来进行,因此为货车和挂车安装质量不合要求的侧防护装置提供了余地。国内道路上行驶的货车和挂车目前大多采用槽钢横杆式侧部防护装置。而槽钢本身结构在这种迎头冲撞过程中,抗弯能力还不够强,对能量吸收程度不够,防护装置容易向内弯曲过大,无法起到阻止摩托车钻入碰撞的作用。因此,对侧防护装置的改进主要考虑在这种二轮摩托车与货车或挂车的侧防护迎头冲撞过程中,能在满足GB11567.1-2001中弯曲变形极限范围内耗散碰撞能量,有效控制碰撞冲击力和减速度以及防止碰撞二轮摩托及骑行人员被卷入车架底下。同时,应遵循吸收碰撞能量达到最大程度,吸能结构的变形稳定,具有可重复性和可靠性。因而设计了以圆钢管和矩形为材料的侧防护装置如图3、图4所示。

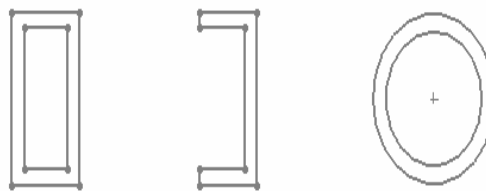


图3. 矩形、槽钢和圆钢管截面示意图

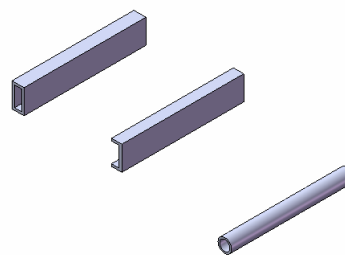


图4. 矩形、槽钢和圆钢管三维图

3.3 侧防护装置迎头冲撞仿真分析

在建立不同截面的侧防护装置横杆有限元模型时,统一采用Thin Shell163壳单元(采用缺省的Belytschko-Tsay算法,Gauss积分法则),壳单元厚度为6mm,在壳单元厚度方向采用5点积分;网格划分

规格为15mm×15mm；材料模型采用塑性随动模型（*MAT_PLASTIC_KINEMATIC），材料是密度7.865E-9（T/mm³）、弹性模量为200E3（Mpa）、泊松比为0.27、屈服应力为310E0（Mpa）以及切线模量为763E0（Mpa）的低合金钢；接触方式选用自动单面接触（ASSC）^[7]。

为了方便对各不同横截面的侧部防护装置的碰撞仿真结果和吸能性进行比较，采用一个同等边界条件来进行碰撞计算，本文采取的边界条件为：采取相同的截面周长，采用相同的材料、壁厚（支臂厚度为6mm，定义为全约束刚体），采用相同的碰撞速度（低速）以及相同的基准条件，对侧部防护装置横杆利用非线性计算仿真分析软件ANSYS/LS-DYNA对其计算求解，求得碰撞响应及其吸能量随时间的变化关系曲线分别如图5～图7以及图8～图10所示^[8]。

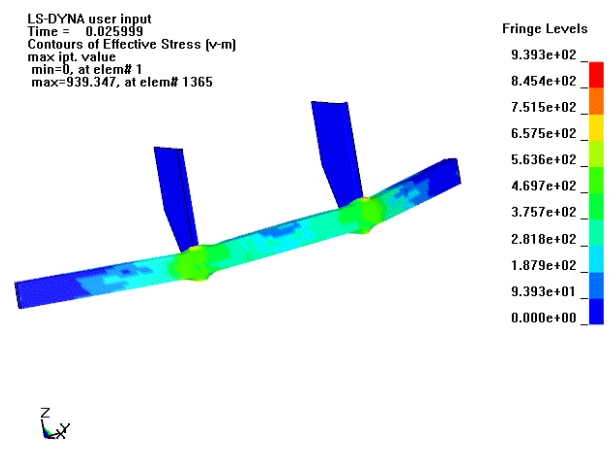


图5. 矩形25ms时刻碰撞响应

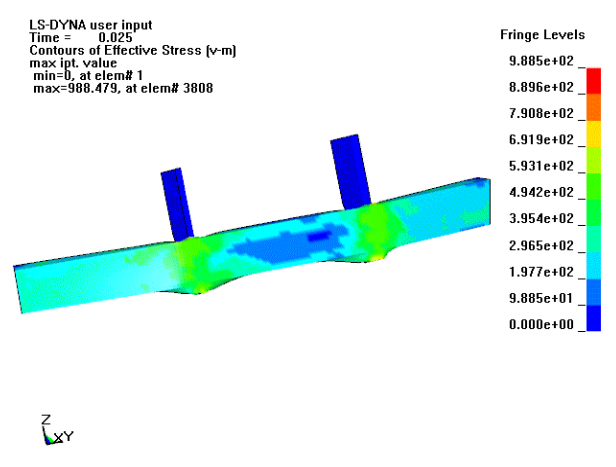


图6. 槽钢25ms时刻碰撞响应

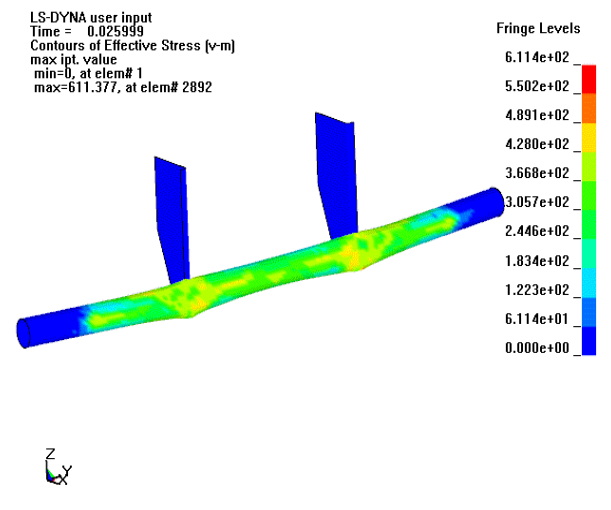


图7. 圆钢管25ms时刻碰撞响应

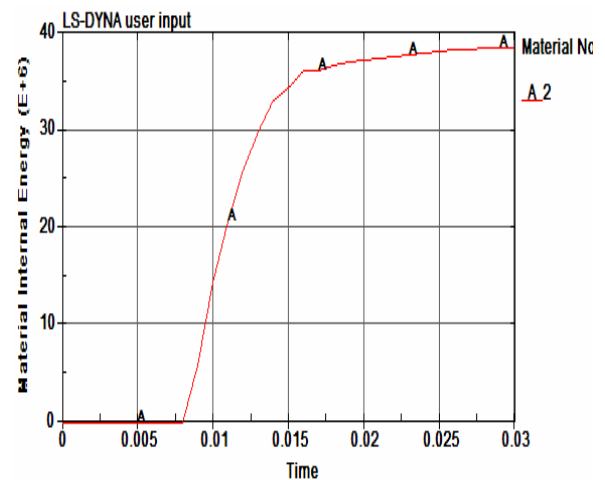


图8. 矩形吸能量随时间变化曲线

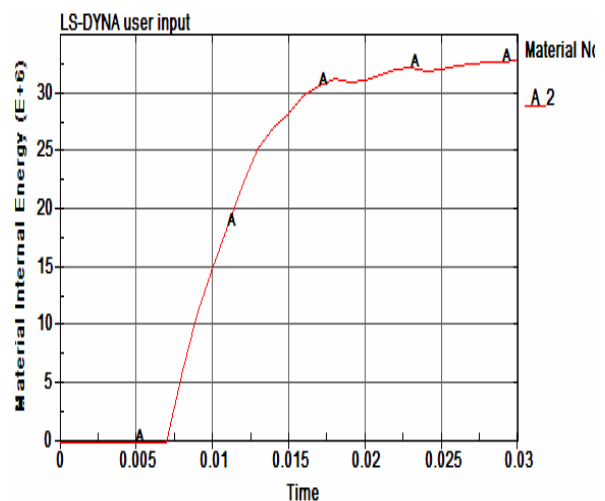


图9. 槽钢吸能量随时间变化曲线

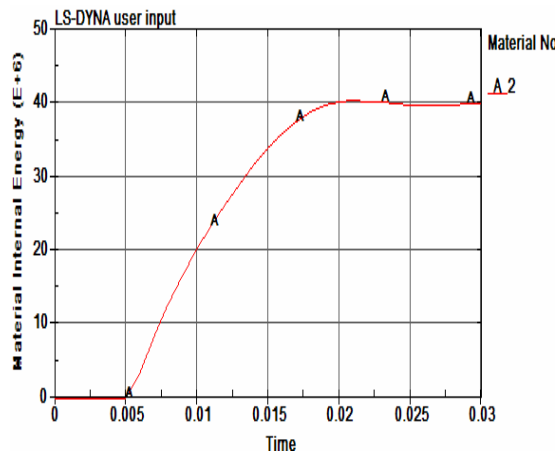


图10. 圆钢管吸能量随时间变化曲线

从上述结果可明显看出,在相同速度撞击下,经历相同的一段时间内,圆钢管型横梁截面弯曲变形最小,且圆钢管型截面横梁在撞击过程中其吸能曲线整体比较平缓,矩形截面横梁的能量曲线相比有所缓和,槽钢形截面横梁的能量随时间变化曲线跟矩形截面横梁有点相似,都是在碰撞过程结束时达到吸能量最大值,而吸收内能最大的是圆形截面横梁,这表明了圆形截面横梁的吸能性要好于其他截面形状横梁。综合以上三种形状的横截面缓冲性能和吸能性能,圆钢管型截面横梁为最佳截面。

4 结论

本文参照国标和日本汽车安全基准讨论了在货车和挂车上安装侧部防护装置的首要安全性能体现为防卷入。在此基础上建立了货车和挂车侧部横杆式防护装置的简易有限元模型,基于碰撞过程中能量分析的基础,采用非线性计算仿真分析软件ANSYS/LS-DYNA对侧部防护装置的横杆进行了显式动力学侧部迎头冲撞情形下的仿真,从仿真结果看出,在同等条件下,圆形、矩形和槽钢形三种截面形状中圆钢管型侧部防护横杆,在侧部防护碰撞过程中产生的应力和

弯曲变形要比其他形状的横杆好,表明圆钢管型侧部防护装置具有较强的安全性能。在各交叉路口发生类似二轮摩托与货车或挂车的迎头冲撞交通事故时,侧部防护采用圆钢管型横杆式装置的货车和挂车更能起到防护功能,有利于防止摩托车与骑行人员的被卷入,具有良好的可行性。

References (参考文献)

- [1] LIN Yang. Practical vehicle accident survey 实用汽车事故鉴定学[M].Beijing:China Communications Press,2001
林洋.实用汽车事故鉴定学[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] Society of Automotive Engineers of China. vehicle safety technology [M]. Beijing: China Communications Press, 2004
中国汽车工程学会.汽车安全技术[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] Yang Hui. Comparison on the Regulations of Rear Underrun Protective Device in China, European and American[J]. The 7th Int. Forum of Automotive Traffic Safety (INFATS), Changsha, China, December 2009.
杨辉.我国货车后下部防护装置标准与欧美的对比研究[J]. 第七届国际汽车交通安全学术会议论文, 2009.
- [4] XU Hongguo. Vehicle accident engineering 汽车事故工程[M]. China Communications Press, 2009.
许洪国.汽车事故工程[M].人民交通出版社, 2009.
- [5] GAT 643-2006 typical Traffic Accident Velocity Calculation [S].
GAT 643-2006《典型道路交通事故车速计算》[S]
- [6] YE Xin-na, HUANG Hai-bo, ZHOU Ting-Xuan, YUAN Hong-chuan. Improvement and Simulation of the Bumper in the Rear of a Truck [J]. JOURNAL OF XIHUA UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE EDITION), 2007(3)28-30.
叶新娜, 黄海波, 周廷萱, 袁洪川.货车后下部防护装置的改进与仿真[J].西华大学学报(自), 2007(3) 28-30.
- [7] SHI Dang-yong, LI Yu-chun, ZHANG Sheng-min. Explicit Analysis based on ANSYS/LS-DYNA 8.1 [M]. Beijing: Tsinghua University Press. 2005, 1.
时党勇,李裕春,张胜民.基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析[M].北京:清华大学出版社.2005,1.
- [8] Zhang zhiyong. Simulation and optimization of the vehicle Rear Under run Impact Protective Device based on ANSYS/LS-DYNA, Xihua University master thesis
张志勇. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的车辆后防护装置碰撞仿真与优化设计.西华大学硕士学位论文, 2010.
- [9] GB 7258-2004 safety specifications for power-driven vehicles operating on roads [S].
GB 7258-2004《机动车运行安全技术条件》[S].
- [10] Motor Vehicles and Trailers -- Rear Underrun Protection Requirements GB 11567.2-2001[S].
GB 11567.1-2001,《汽车和挂车后下部防护要求》[S].