

基于 Hyperworks 和 Ls-dyna 的载货汽车侧防护栏横杆结构优化

郑帮智^{1,2}, 田晓琳^{1,2}, 唐新新^{1,2}

(1 攀钢集团研究院有限公司, 四川 成都 610300)

(2 钒钛资源综合利用国家重点实验室, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 本文基于 Hyperworks 对某载货汽车侧防护栏横杆进行了结构优化, 得到了不同载荷工况下的优化方案; 为验证优化前后及各优化结果间的效果差异, 采用 Ls-dyna 进行柱碰分析, 结果表明优化后的结构方案不管在应力水平、速度分布、变形位移等均有明显改善。

关键词: Ls-dyna; Hyperworks; 侧防护栏; 结构优化; 碰撞分析

近年来随着我国经济的快速发展, 运输业成为不可缺少的中间环节, 在基础设施建设、快递物流等行业不可取代, 载货汽车更是在其中起着关键作用^[1]。本文主要就载货汽车侧防护栏横杆进行结构优化, 侧防护栏主要是对装载在汽车侧面的汽车部件(如油箱、水箱、压缩空气气罐等)起到保护作用; 另外, 对汽车侧方碰撞有一定保护作用, 避免其它车辆及行人卷入车底造成二次伤害。近年来随着 CAE 技术在中国的迅速发展, 在汽车工业、金属成形、航空航天、电子电器等领域得到广泛应用。在我国, 对于车辆的 CAE 分析应用, 目前针对结构强度刚度的分析技术较成熟, 但在非线性分析方面(如仿真成形、高速碰撞、爆炸等)还在不断探索前进中。另外, CAE 技术的应用大多还停留在乘用车领域, 在商用车上的应用相对较少。目前 CAE 在商用车方面的研究主要集中在高校和科研院所。宋年秀, 李敏^[2-6]等利用 Ls-dyna 对商用车前后防护装置碰撞特性及机理进行了研究, 并提出了一系列有效的改进方案; Shi LL, Xu LJ^[7-8]等利用有限元方法对乘用车追尾货车后人员损伤情况、货车与桥墩碰撞进行了研究分析, 具有一定的现实意义。由于目前国内外对于载货汽车侧方碰撞防护装置的研究较少, 本文将基于某载货汽车侧防护装置的结构优化和碰撞验证分析进行开展。Ls-dyna 软件作为业界著名的显式动力分析软件, 在动力冲击、汽车碰撞安全、爆炸反应等非线性领域有着广泛应用; Hyperworks 作为优秀的前处理及优化软件, 在模型网格划分、结构优化等方面有着独特的地位。本文将结合 Hyperworks 对载货汽车侧防护栏横杆进行结构优化, 并利用 Ls-dyna 进行柱碰分析, 最终确定合适的优化方案。

1 建模及优化

1.1 侧防护栏横杆建模

侧防护栏一般由 2 根横杆、2 根竖杆以及 2 个安装支架组成, 其两两之间通常为螺栓连接或者焊接连接, 如图 1 所示。本文主要关注横杆的优化与碰撞问题, 因此在有限元模型中只需要建立横杆模型, 其余部分采用固定连接即可。横杆通常由钢板辊压成型, 其截面多为 C 型、U 型、W 型, 本文采用的横杆原始模型为 C 型, 如图 2 所示。



图 1 侧防护栏结构

为提高求解效率，模型采用壳单元，利用 Hypermesh 划分网格，共计 64100 个单元。对于优化模型，在横杆与安装支架连接位置施加固定约束，选定相应的优化目标、工况载荷等参数，即可进行优化分析。

对于碰撞模型，除了建立横杆模型外还需要建立碰撞柱的模型，如图 2b 所示。模型中将横杆两端固定约束，碰撞柱以 10m/s (36km/h) 的速度向横杆进行碰撞。为了模拟非机动车（将非机动车简化为碰撞柱）对侧防护栏的碰撞效应，在模型中需要对碰撞柱进行配重。碰撞柱共 1406 个节点，以非机动车按 100kg 质量算（单个侧防护栏横杆需承受 50kg），单个节点配重为 0.035kg。

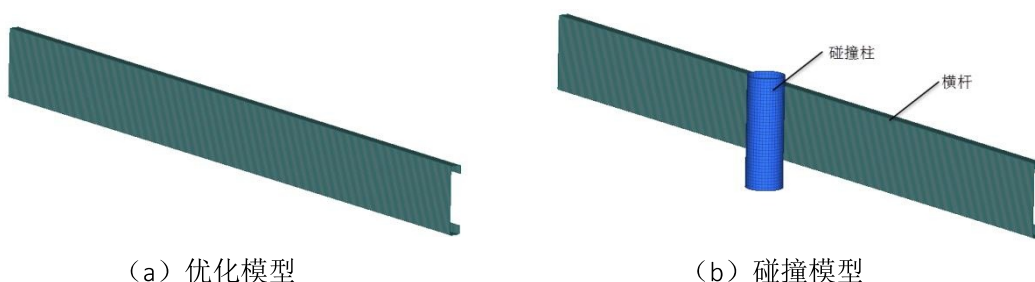


图 2 有限元模型

1.2 侧防护栏横杆优化

侧防护栏为辊压成形钣金结构件，其截面为等截面形状，因此优化主要从截面形状方面来考虑。采用 Hyperworks 中的 Optistruct 技术进行 Topography 形貌优化，以期得到耐撞性更好的截面形状。当采用不同的负载进行优化时，得到的优化结果将不同，但是优化的方向趋势是一致的，优化后的形状如图 3 所示。

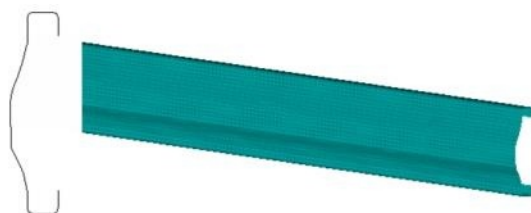
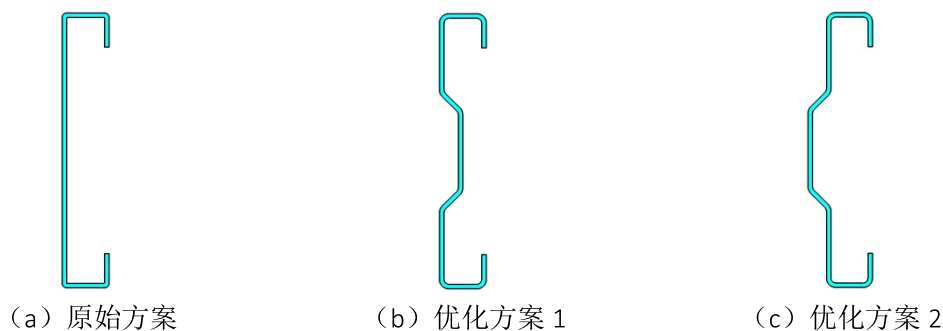
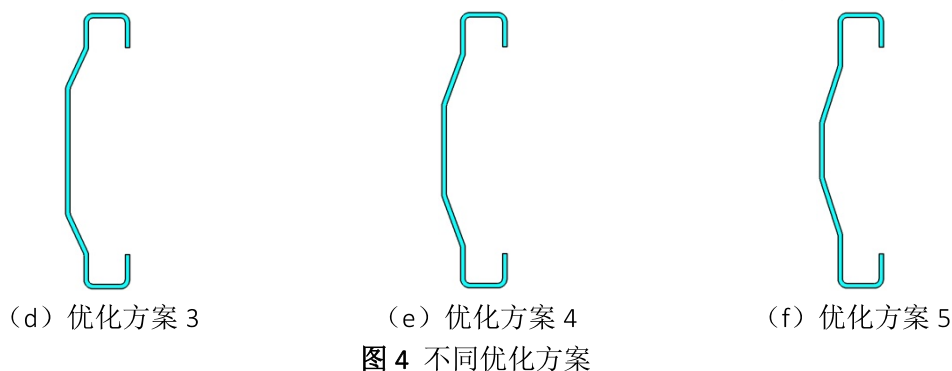


图 3 优化结果趋势

为了方便后续碰撞分析作比较，在优化结果中选取了几种典型的优化方案，如图 4 所示。其中，图 4b 是市面上常用侧防护栏横杆的结构形式之一，在后续的碰撞仿真分析中可以作对比分析。





2 碰撞分析

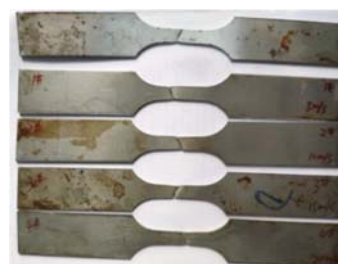
2.1 材料参数

众所周知，CAE 分析的准确与否，其关键之一在于能否获得准确的材料参数。碰撞分析不同于结构分析，材料参数更需要动态性能参数，即要求不同应变速率条件下的应力应变曲线。因此，在测量材料参数时需要用到高速拉伸试验设备进行测量。

试验采用德国 ZWICK/ROELL 公司制造的 HTM 5020 高速拉伸试验机，拉伸最高速度可达到 20m/s (72km/h)，应变速率最高可达 1000/s，如图 5 所示。由于碰撞问题属于开环问题，因此在测量材料动态性能时需要测量一系列不同应变速率下的应力应变曲线。



(a) 高速拉伸设备



(b) 拉伸试样

图 5 高速拉伸试验

材料采用 DP590 双相钢，板厚为 1.4mm，根据拉伸试验数据拟合得到 8 组真应力应变曲线，如图 6 所示。

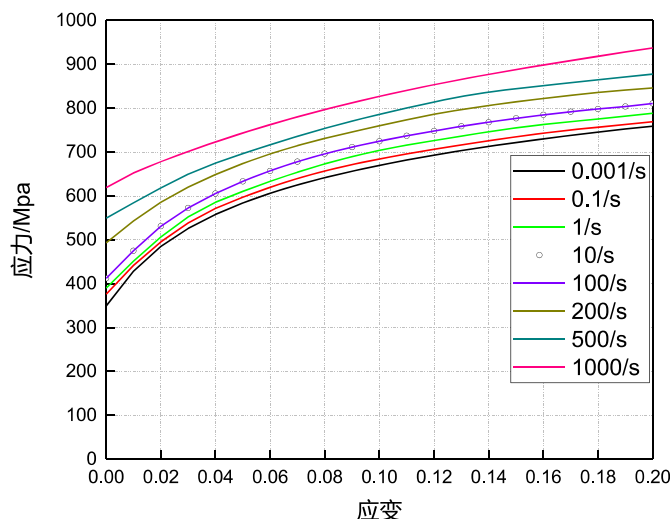


图 6 不同应变速率下的真应力应变曲线

2.2 应力分布

碰撞分析前处理采用 Hyperworks 进行建模, 利用其与 Ls-dyna 的接口生成 K 文件; 求解器采用 Ls-dyna, 求解结果生成 d3plot 文件; 后处理采用 Hyperview 进行处理, 直接将上述生成的 d3plot 结果文件导入 Hyperview 即可进行应力、速度、加速度、位移等变量的分析。

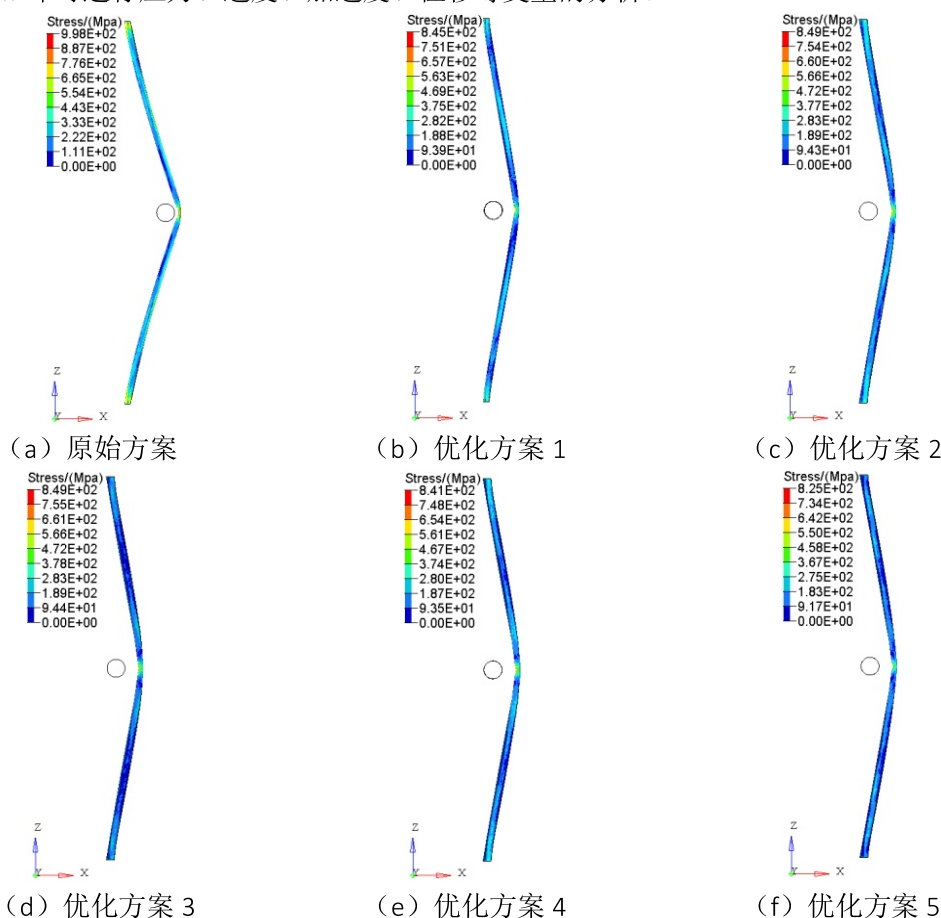


图 7 各方案应力分布云图

如图 7 所示, 侧防护栏横杆在碰撞过程中, 其主要应力集中区域在碰撞柱和横杆接触区域以及横杆和安装支架连接区域。在图 7a 中, 其最大应力达到 998Mpa, 比其他方案大, 其变形也较大。在图 7f 中, 其最

大应力值相对于其他方案最小，因此其碰撞局部变形相对较小。从图 7 反应的情况来看，除了原始方案以外，其余 5 种优化方案的应力分布较类似，因此单从应力分布来说不能说明哪种方案更优。

2.3 速度和位移分布

本文针对侧防护栏横杆的碰撞分析，主要关注点在于碰撞后横杆的变形情况，因此对各方案进行速度、位移分析是必要的。速度分析主要关注侧防护栏横杆在碰撞初始阶段，碰撞柱在与横杆接触的初始阶段速度最大，随着横杆变形，碰撞能量逐渐被抵消，速度逐渐变小。各方案碰撞初始速度分布云图如图 8 所示。结合图 9 所示的碰撞点速度分布曲线可知，原始方案相比于其他方案，其碰撞后的速度保持在较高水平，其吸能效果较差；同时，从图 9 中还可知，方案 1 和方案 2 的初始碰撞速度较大（均远大于 10m/s），碰撞发生后横杆会迅速发生凹陷，防护效果差；方案 3 不管是碰撞初始速度和后续速度分布都保持在一个较低的水平，其碰撞吸能效果以及防护效果在所有方案中最优。

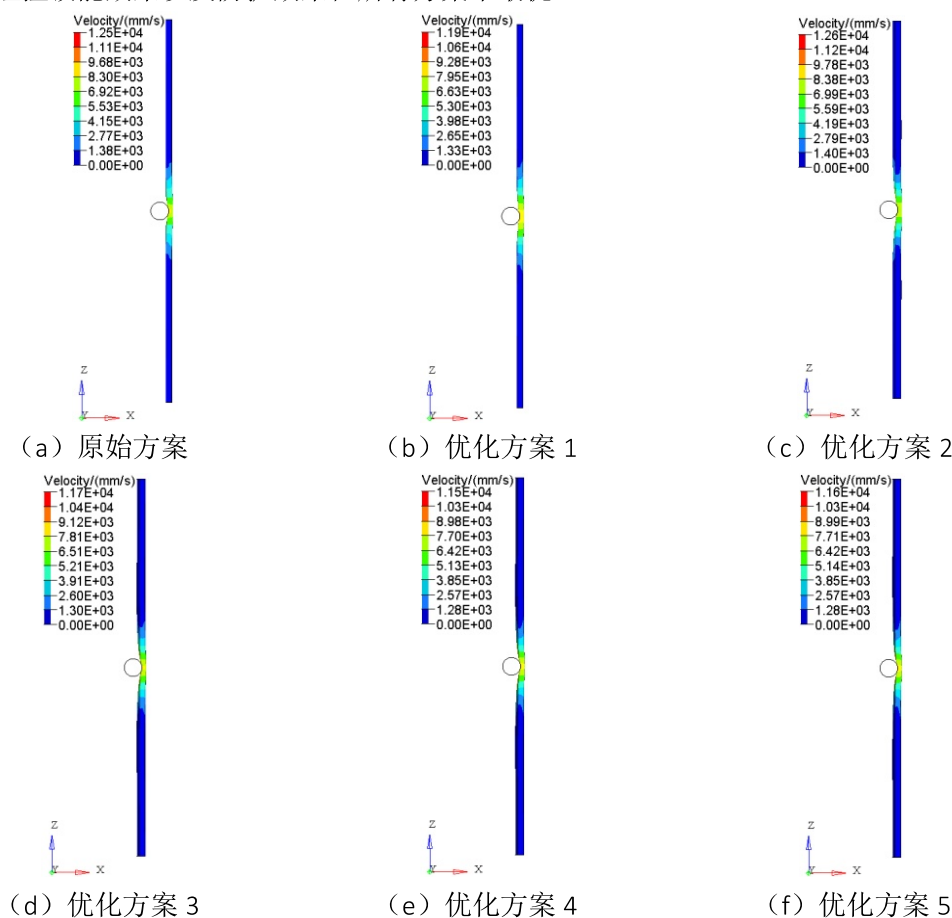


图 8 各方案速度分布云图

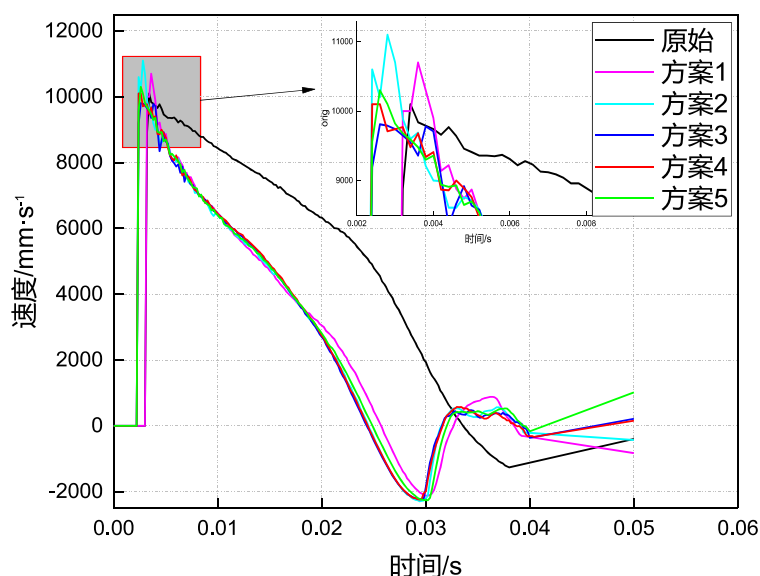


图 9 各方案速度分布曲线

侧防护栏评价的重要指标之一是发生碰撞后最终变形情况。提取横杆碰撞点的位移历程如图 10 所示，明显的，原始方案的横杆结构在碰撞发生后变形最大，在 0.05s 碰撞结束后，横杆变形量达到 180mm，而其它方案则控制在 110mm 以下。在实际碰撞发生时，原始方案横杆结构易造成碰撞钻车或者车辆侧方附件损坏等问题；方案 1 为市面上常用横杆结构之一，其碰撞后的位移量相对于其余几种优化方案略大；结合 Optistruct 优化技术，得到的优化方案横杆结构碰撞位移更小，各优化方案之间差异不大。但从整个位移历程来看，方案 3 在整个碰撞位移历程中处于最低位置，该方案最优。

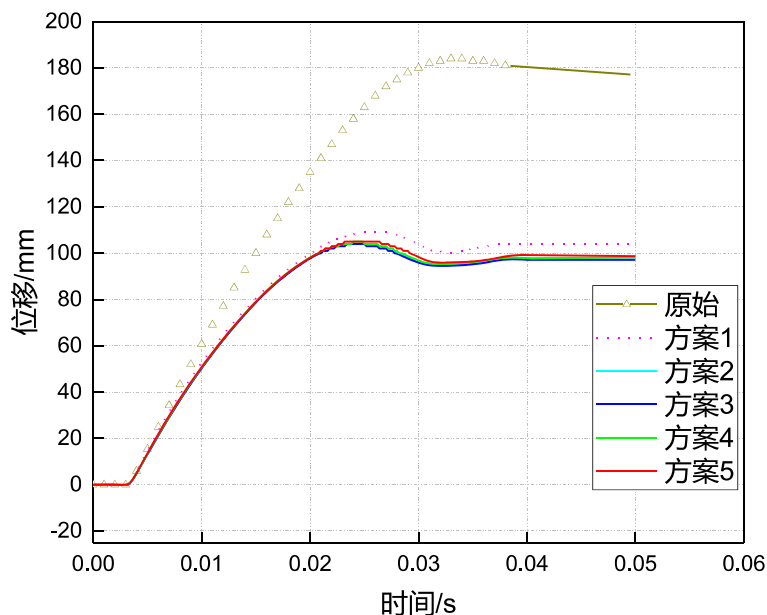


图 10 各方案位移分布曲线

3 结果与分析

本文主要围绕某载货汽车侧防护栏横杆优化与碰撞分析展开，通过 Hyperworks 优化技术得到了 6 种优

化方案, 结合 Ls-dyna 碰撞分析技术, 对各方案进行了包括应力、速度、位移等碰撞关键指标的对比分析, 得到以下结论:

- (1) 原始方案未进行优化, 其碰撞应力水平较高、碰撞速度和碰撞位移较大, 耐撞性相对较差;
- (2) 方案 1 (起筋内凹) 为市面上常用侧防护横杆结构, 其碰撞吸能效果优于原始方案, 但是和其他优化方案有一定差距;
- (3) 方案 2~5 是 Hyperworks 优化方案, 各方案之间整体的碰撞速度分布、碰撞位移历程曲线较相似。结合位移速度分布曲线和位移分布历程可知, 方案 3 为最优方案。

参考文献

- [1] 孟庆阔, 戴淼, 齐涛. 货车电动化发展现状及趋势分析[J]. 专用汽车, 2018, 258(11):66-70.
- [2] 宋年秀, 尉士田, 孙根柱, et al. 大型货车后下部防护装置碰撞仿真分析[J]. 拖拉机与农用运输车, 2013(2):18-21.
- [3] 李敏, 于建国, 李文超. 货车后部吸能装置的设计及全宽碰撞仿真[J]. 现代科学仪器, 2012(4):53-57.
- [4] 张立. 轻型货车及前保险杠碰撞安全仿真[D]. 合肥工业大学, 2010.
- [5] 赵云. 商用车驾驶室正面碰撞与后围穿透仿真分析[D]. 2017.
- [6] 崔堃鹏, 夏禾, 夏超逸, et al. 汽车撞击桥墩瞬态撞击力的等效静力计算[J]. 振动与冲击, 2014, 33(4):48-53.
- [7] Shi L L, Lei C, Li K, et al. Finite element simulation of lower limb injuries to the driver in minibus frontal collisions[J]. Chinese Journal of Traumatology, 2016(19):146-150.
- [8] Xu L J, Lu X Z, Guan H, et al. Finite-element and simplified models for collision simulation between over-height trucks and bridge superstructures[J]. Journal of Bridge Engineering, 2013, 18(11):1140—1151.

Optimization of Crossbar Structure of Side Rails of Trucks Based on Hyperworks and Ls-dyna

Zheng Bangzhi^{1,2}, Tian Xiaolin^{1,2}, Tang Xinxin^{1,2}

(1. Pangang Group Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610300, China;

2. State Key Laboratory of Vanadium and Titanium Resources Comprehensive Utilization, Pan Zhihua 617000, China)

Abstract: Based on Hyperworks, this paper optimizes the structure of the side rail of a truck, and obtains several different optimization schemes under different load conditions. In order to verify the difference between the optimization results, Ls-dyna was used to analyze the column collision. The results show that the stress, velocity distribution and deformation has obviously decreased under the optimized structural scheme.

Key words: Ls-dyna; Hyperworks; side fence; structure optimization; collision analysis