

基于 ENCAP 侧面柱碰的门槛梁、车门防撞杆优化设计

王彬花^{1,2} , 范体强^{1,2} , 赵清江^{1,2} , 李阳^{1,2}

¹ 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 中国, 401122

² 重庆市汽车轻量化工程技术研究中心, 重庆, 中国, 401122

Email: wbh260@126.com

摘要: 侧面柱碰是模拟车身横着撞击在垂直硬物比如电线杆、树木等, 能严重伤害乘员, 本文基于 E-NCAP 侧面柱碰撞法规, 对某车型进行了侧面柱撞分析, 由于对侧面柱撞影响较大的车身结构件有车门防撞杆、B 柱、车门内外板、顶棚、门槛梁等, 本文重点开展了车门防撞杆和门槛梁的研究。对门槛梁进行了拓扑优化和形貌优化设计, 对车门防撞杆进行了形貌优化设计, 使得该车型侧面柱碰性能得到大幅度提升。

关键词: 侧面柱撞, 拓扑优化, 形貌优化, 门槛梁, 防撞杆

1 引言

我国侧面碰撞法规于2006年7月开始实施, 但目前对侧面碰撞的研究主要集中在车对车侧面碰撞的研究, 车对柱状物体碰撞的研究很少, 而且目前的蜂窝铝壁障侧面碰撞试验并不能反映来自车外柱状障碍物碰撞的威胁。侧面柱碰是模拟车身在失控时横着撞击在垂直硬物上, 比如树木、电线杆等。这种碰撞在现实生活中比较常见, 对成员的伤害非常大。因为电线杆这类物体几乎完全不变形, 而汽车侧面却是车身结构最为薄弱的地方。在欧洲, 侧面柱撞是非常被看重的测试项目, 2009年E-NCAP章程将侧面柱碰撞从加分项2分改变为强制项8分, 同时将侧面碰撞的16分降低到8分。随着国内人们消费观念的改变, 对汽车安全越来越重视, 关于侧面柱碰的汽车车身结构研究也会越来越受到关注。因此对柱碰影响较大的零件进行研究很有必要。通过对这些零件改进材料或者形状, 来提高柱碰性能。

2 侧面柱碰撞仿真模型

参照E-NCAP侧面柱碰撞法规要求, 试验时将车辆放置在一辆平板车上, 二者相对静止不动, 前排驾驶员位置放置一个EuroSID II型假人, 用以测量驾驶员位置受伤害情况, 刚性柱直径为254mm, 刚性柱顶到碰撞车辆顶部垂直距离不小于100mm, 刚性柱底到车辆门槛底部的垂直距离不小于102mm。平板车携带碰撞车辆以29km/h的速度垂直撞击刚性柱, 刚性柱轴线与碰撞速度方向组成的平面通过车内部假人头部中心位置, 刚性柱与车辆碰撞接触后100ms以内运载碰撞车辆的平板车不能与刚性柱和其它静止物体发生碰撞, 侧面刚性柱碰撞试验图如图1所示。

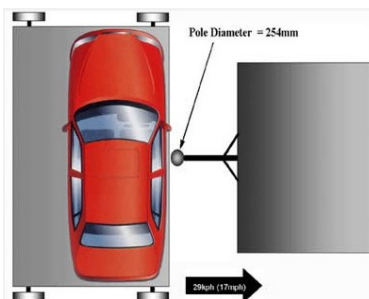


图 1 侧面刚性柱碰撞试验

本文采用的某整车模型经过了有效性和可靠性的有限元模型验证。按照ENCAP法规要求建立刚性柱，并设置整车的碰撞速度大小和方向，初始速度通过关键字*INITIAL_VELOCITY*定义，对整车模型施加Y向负方向8056mm/s的初始速度，定义整车和刚性柱之间的接触。前排座椅假人模型如图2所示，完整的侧面柱碰撞模型如图3所示。

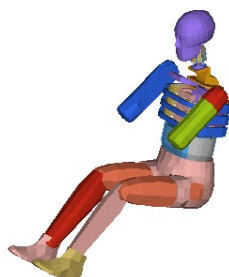


图2 整车侧面刚性柱碰撞假人模型

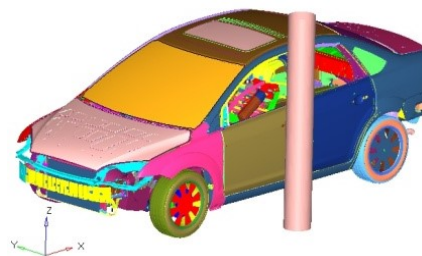


图3 整车侧面刚性柱碰撞模型

3 仿真结果分析

3.1 模型检查

根据能量守恒定理，碰撞总能量在各个能量之间平衡的转化而保持不变。通过HyperGraph后处理平台可以获取碰撞仿真过程中的能量变化曲线，如图4所示。可以看出，各能量曲线平滑，未出现明显突变，能量转化平稳，总能量守恒。碰撞中能量占总能量的比例及模型的质量增加比如表1所示，各指标均满足要求，表明了仿真结果的有效性。

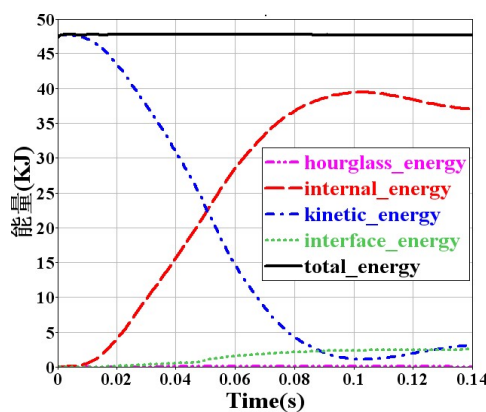


图4 整车侧面刚柱碰撞能量曲线

表1 能量信息

	整车侧碰	目标
沙漏能占总能量比例	0.21%	<5%
滑移能占总能量比例	4.92%	<5%
质量增加比	0.53%	<5%

3.2 侧面区域变形情况

整车柱碰的侧面区域整体变形情况以及B柱、门槛梁、车门、车门防撞杆变形情况如图5所示。

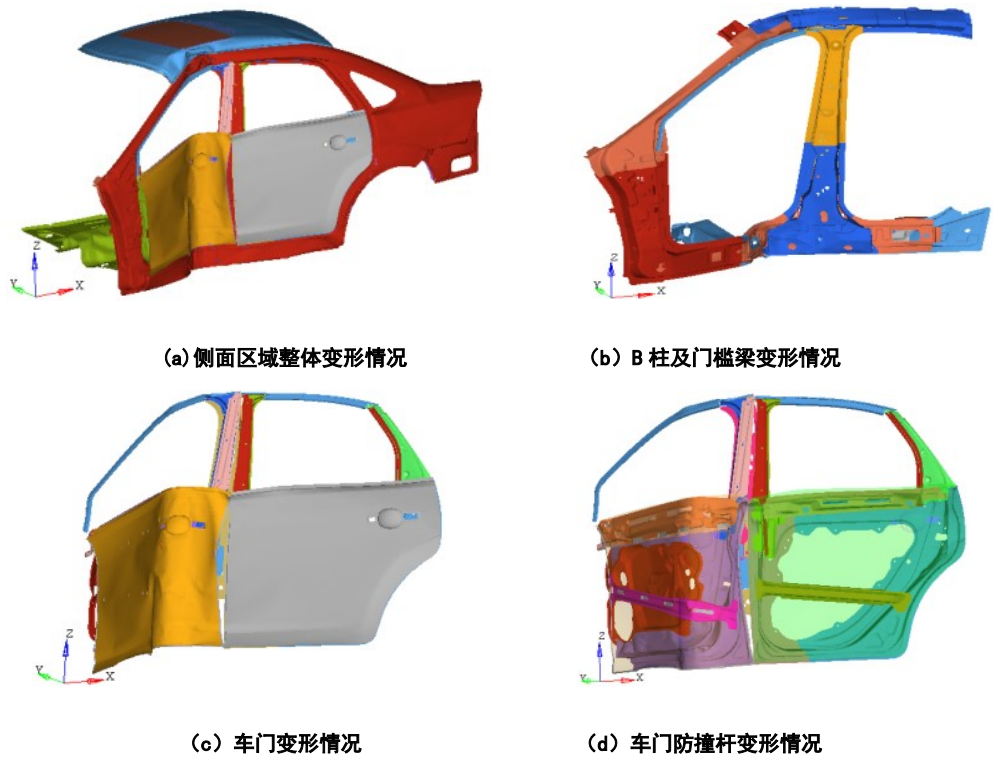


图5 侧面区域变形情况示意图

从上述图中可以看出，在整车侧面柱碰过程中，车身严重变形的的位置主要集中在刚性柱宽度大小的狭小区域，整个侧围结构变成“V”型，门槛梁、地板、左侧前车门及车门防撞杆发生了严重侵入变形。

3.3 侧面侵入量分析

观察分析该车型侧面柱碰的仿真动画可以看出，车门内板压溃变形严重使得驾驶员的胸部腹部受到伤害，门槛梁总成及前地板变形使得驾驶员骨盆受到挤压，由此以车门肋骨、腹部、骨盆侵入量作为评价该车型侧面柱撞性能的重要指标。通过 HyperGraph 提取各项侵入情况，车门的测量点如图 6 所示，碰撞中各个测量点的侵入量如表 2 所示。

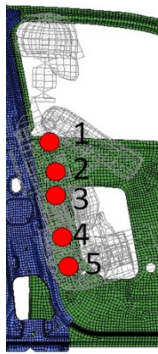


图6 车门内板测量点

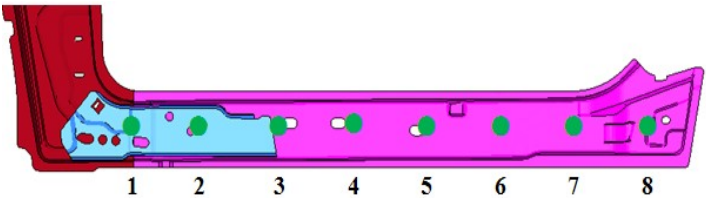


图7 门槛测量点位置

表 2 车门变形最大侵入量

编号	测量项	最大侵入量 (mm)
1	车门对应假人上肋骨	337.4
2	车门对应假人下肋骨	342.6
3	车门对应假人腹部	332.3
4	车门对应假人骨盆	303.4
5	车门对应假人 H 点	297.9

以门槛上对应的假人 R 点为中心向前或向后偏移 200mm 作为一系列测量点，各个测量点在局部坐标系下的变形如下图 7 所示，变形量如表 3 所示。

表 3 门槛测量点 Y 向最大变形量

测量点编号	1	2	3	4	5	6	7	8
最大变形量 mm	14.6	60.6	123.4	249.2	179.3	71.2	-1.1	-5.8

4 侧面结构优化

侧面柱碰撞时车身侧围结构发生很大变形，与车内乘员撞击接触导致人员受伤甚至死亡，汽车在配备安全气囊等保护装置的同时，还需改进车身结构的刚度尤其是侧围结构的刚度。本文重点开展了基于门槛梁总成以及车门防撞杆结构强度性能的结构改善与优化设计。

4.1 门槛梁总成优化改进

4.1.1 门槛梁静力学分析

门槛梁弯曲刚度不足导致在发生碰撞时压溃严重，截取门槛梁总成及侧围一部分结构，约束截面节点的所有自由度，进行弯曲刚度工况分析，约束模态分析，如图 8 所示，得出的数值作为下一步拓扑优化的参考值。

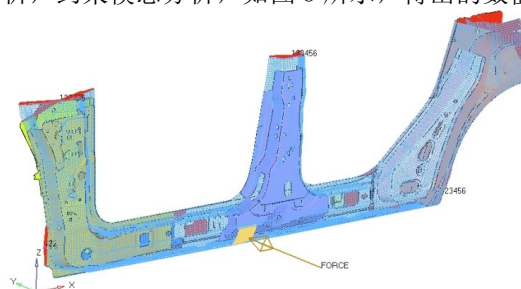


图 8 门槛梁静力学分析模型

4.1.2 门槛梁总成拓扑优化及设计

利用 OptiStruct 模块对门槛梁总成进行拓扑优化设计，设计变量为门槛梁本体与侧围板构成的空间所离散的实体 SOLID 模型，目标函数为加权应变能最小，约束为弯曲刚度工况下加载点 Y 向位移小于 1.3mm，一阶模态频率值大于基础模型的 1.2 倍即 105Hz，体积比为 0.3。得到图 9 所示的拓扑优化结果，在材料分布密度较高的位置，布置加强板（厚度设定为 1.2mm，材料的屈服强度为 330MPa），改变了门槛梁总成的截面特性。

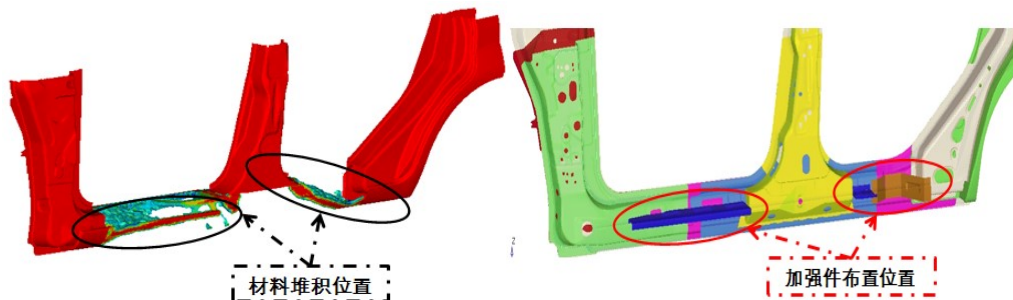


图9 拓扑优化结果及加强件设计

4.1.3 门槛梁本体形貌优化及设计

形貌优化主要是对平板结构进行概念设计，寻找最优加强筋分布，从而提高结构刚度。对门槛梁本体进行形貌优化设计，设计变量为门槛梁本体，目标函数为加权应变能最小，约束为弯曲刚度工况下加载点的位移减小 20%，一阶模态频率值增加 20%。得到图 10 所示的形貌优化结果，按照云图以及工程经验设计加强筋，深度 6mm，角度 70° 。为了便于门槛梁本体起筋，删掉一个门槛梁加强板，另一个加强板减短，如图 11 所示。

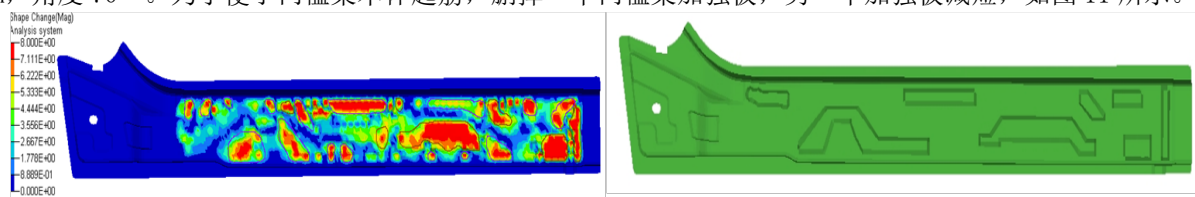


图10 形貌优化结果及加强筋设计

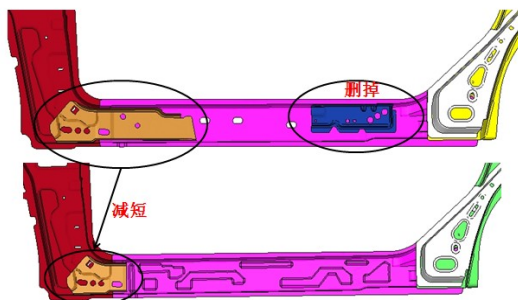


图11 加强板修改

4.2 车门防撞杆优化改进

对车门防撞杆进行形貌优化设计，模拟侧碰撞击力的工况，如图 12 所示，加载 800N 集中力，约束连接板两端所有自由度，设计区域为红色区域，约束为加载力工况下加载点位移减小 20%，二阶模态频率增加 20%，目标为应变能最小。形貌优化结果云图如图 13 所示，按照云图及工程经验设计加强筋，深度 3mm，角度 60° 。



图12 载荷及约束示意

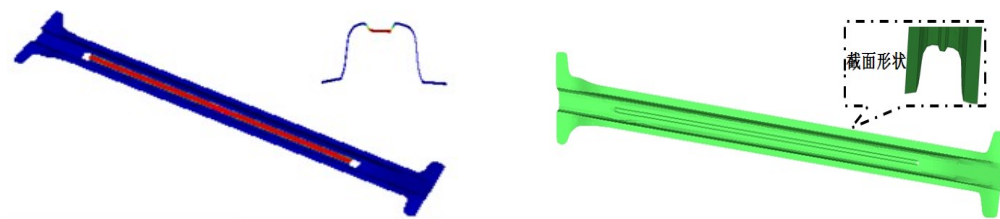


图 13 形貌优化结果及设计

4.3 材料改进

提高侧围的刚度对于车身结构变形有很大的改善，高强度钢材有高的吸能性特性，本文在结构改进的同时，对车门防撞杆和门槛梁本体进行了超高强度钢材料的应用，车门防撞杆原材料屈服强度 549MPa，门槛梁本体原材料屈服强度的 438MPa，应用的超高强度钢材料屈服强度为 936MPa。

5 优化后的柱碰性能验证

5.1 优化前后变形对比

优化前后整车柱碰最终变形情况对比如图 14 所示，侧面变形情况对比如图 15 所示。

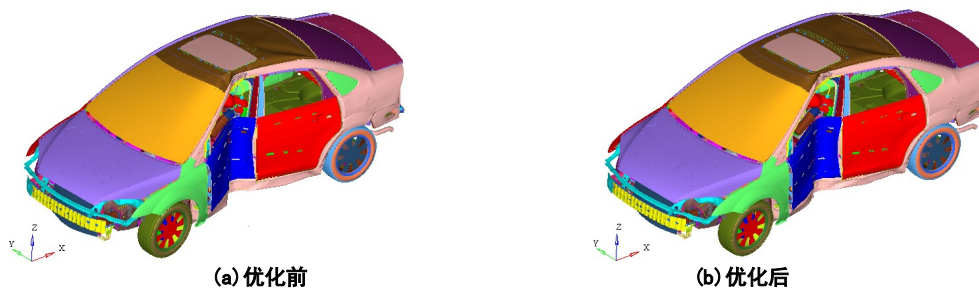


图 14 优化前后整车柱碰最终变形图

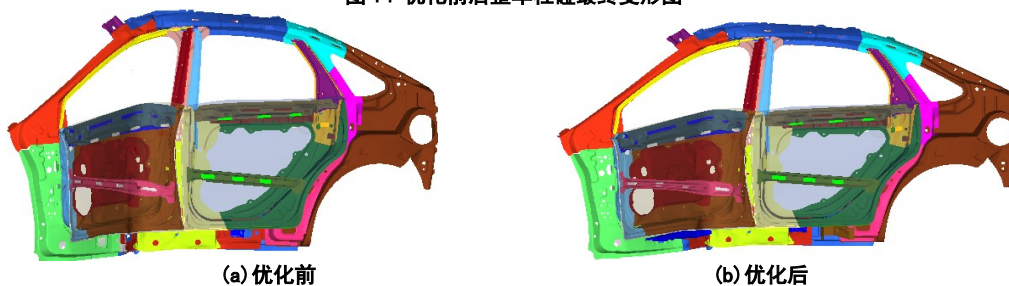


图 15 优化前后侧面最终变形图

由变形图及变形动画可以看出，优化后的整车侧面柱碰门槛梁前端变形弯折程度较优化前减小，车门防撞杆弯折变形减小，可见该车的耐撞性能得到了有效改善。

5.2 优化前后侧面侵入量对比

参照 2.3 章节，对优化后的车门各测量点进行最大侵入量测量，优化前后各测点侵入量对比如表 4 所示，可见优化后车门各测点的侵入量明显减小，有效改善了乘员的生存空间。

表 4 优化前后车门各测量点最大侵入量对比

编号	测量项	最大侵入量 (mm)		变化量
		优化前	优化后	
1	车门对应假人上肋骨	337.4	302.2	-35.2
2	车门对应假人下肋骨	342.6	307.3	-35.3
3	车门对应假人腹部	332.3	303.7	-28.6
4	车门对应假人骨盆	303.4	279.9	-23.5
5	车门对应假人 H 点	297.9	269.8	-28.1

门槛梁测量点位置参考 2.3 章节图 7 所示。优化前后的门槛梁 Y 向最大变形量对比如表 5 所示，可见优化后门槛梁各测点的最大变形量有所减小，测量点 4 和 5 在刚性柱碰撞覆盖区域，此处的最大变形量明显降低，使得压溃变形得到改善。

表 5 优化前后门槛梁 Y 向最大变形量对比

测量点	最大变形量		变化量
	优化前	优化后	
1	14.6	13.4	-1.2
2	60.6	59.3	-1.3
3	123.4	120.9	-2.5
4	249.2	222.3	-26.9
5	179.3	157.5	-21.8
6	71.2	66.7	-4.5
7	-1.1	4.8	5.9
8	-5.8	-7.4	-1.6

6 总结

本文根据 E-NCAP 侧面柱碰法规，对某车型进行了柱碰分析，并对影响较大的零件车门防撞杆和门槛梁进行了优化设计，使得侧面柱碰性能得到改善，为侧面柱碰结构改进提供了可行的参考依据。由于本文在只修改车门防撞杆和门槛梁的情况下使得柱碰的相关侵入量有所降低，由此可以推测，参考文中所述的优化手段对侧面结构的其他关键部件进行优化改进，应该会更加显著的改善柱碰的侵入量以及变形模式，对研究整车侧面柱碰撞抗撞性能改善有一定的参考价值和借鉴性。

参考文献

- [1] 汽车侧面柱碰撞的研究以及法规动态 唐波 赵晓红 北汽福田汽车工程研究院 《汽车与配件》技术与应用 2012-49
- [2] 轿车侧面柱碰撞结构响应与乘员损伤研究 杨济匡 覃祯员 湖南大学 《湖南大学学报》2011.1 (38)
- [3] 侧面柱碰撞标准的发展趋势探讨 朱海涛 张振鼎 中国汽车技术研究中心 《标准解读与应用》2012.12 (24)
- [4] Altair Engineering. OptiStruct users manual [CP], version 5.1.