

The Vehicle Safety Analysis on the Threshold Structure

Zeng Biqiang, Xue Shugang, Ma Jie, Hu Yuanzhi, Fang Rui

Automotive Engineering Research Institute, China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300162

Abstract: In this paper the different structures of threshold are used in the car. And the safety of the car is studied by simulation. Base on the result of the MDB and ODB simulation we know that: the stiffener board of the threshold is not the key body for keep the safety of the car. If the boards of the threshold add the stiffener, the strength of it can be development. And the amount and the speed penetration on the B pillar are reduced. Strengthen the beams under the front seats can reduce the flipped of the threshold. And improvement the amount of the B pillar intrusion. The results in the paper can give the reference on car's lightweight and safety research.

Keywords: Vehicle engineering, vehicle safety, light weight, the threshold structure

门槛结构对整车安全性能影响分析

曾必强, 谢书港, 马杰, 胡远志, 方锐

中国汽车技术研究中心汽车工程研究院 天津 300162

摘要: 本文对不同结构的门槛带入经过对标的整车数模, 对门槛结构对整车安全性影响进行了仿真研究。通过与门槛强度关系较为密切的整车侧碰和偏置碰撞仿真分析可知: 门槛中部加强板并不是保证门槛强度和提升整车安全性的必备部件; 门槛内外板加筋后可提高门槛强度, 改善B柱中部侵入速度和B柱侵入量; 加强前座椅下横梁能够改善门槛翻转量, 降低B柱侵入量。本文的研究结果对车辆轻量化研究和整车安全性能提升具有较高的参考价值。

关键字: 车辆工程、整车安全性、轻量化、门槛结构

1 引言

门槛是车身骨架中的关键部件之一。乘用车为了降低整车高度、提高乘坐舒适性、达到轻量化要求、实现节能减排目标, 目前绝大多数取消了车架承载式结构, 而改用了车身承载结构。车身门槛在整车碰撞中成为影响全车前后传力和侧碰抗弯性能的关键因素。车身门槛梁的结构设计将直接影响到整车侧方侵入量和侵入速度。门槛结构是影响车辆抗侧碰性能的敏感结构, 为保证整车具有较好的抗碰撞性能, 提高其安全性, 这就需要门槛具有较强的强度和抗折性能。在安全性要求不断提高的同时随着燃油效率法规实施也越来越严, 车辆轻量化成为了社会发展的统一需求。所以对门槛进行结构优化, 提高门槛强度和抗折性能的同时减小门槛质量称为行业的发展需求。

本文通过对门槛结构进行了仿真分析, 对门槛结构对整车安全性的影响关系和影响灵敏度进行了归纳和总结。

2 门槛结构方案

目前大多数车型门槛结构如图 1 所示, 基本分为外板、内板和中间加强板三层结构, 部分车辆省略了中间加强板, 采用外板和内板两层结构。为进一步优化车门门槛结构, 在增强车门门槛整体强度的同时降低门槛总重, 对以下四种门槛结构对整车侧碰的影响进行了数值模拟研究。结构一为典型车门门槛结构如图 1 所示。



图 1 典型车门门槛结构

结构二在结构一的基础上分别减小门槛中间加强板和外板的厚度, 内板中段厚度由 1.2mm 增厚为 1.4mm, 在原来特征较少的门槛内板外板和加强板上增加加强筋, 如图 2 所示。

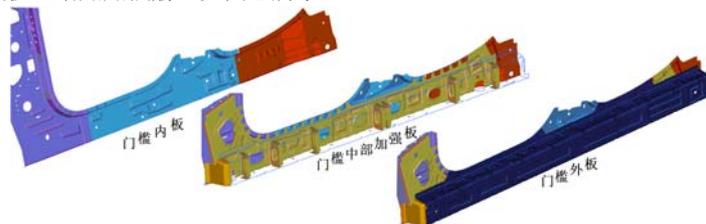


图 2 门槛加筋示意图

结构三在结构一的基础上取消了中间加强板, 增大了内板厚度和将内板材料强度提高约 100MPa, 提高前座椅前后下横

梁的强度，在原来特征较少的门槛内板外板和加强板上增加加强筋，如图 3 所示。结构四除不增加加强筋外其他完全同结构三。

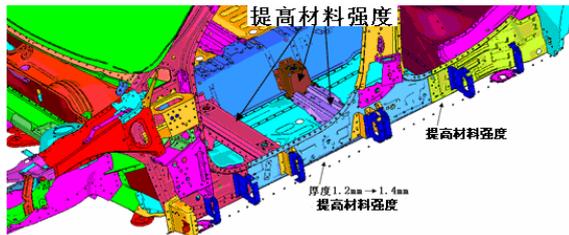


图 3 结构三改进示意图

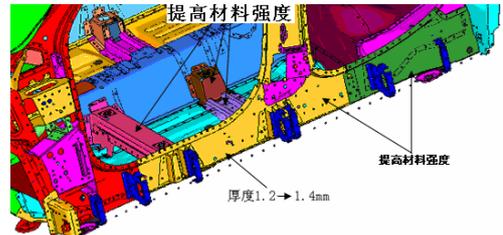


图 4 结构四改进示意图

3 计算分析和计算设置

门槛对整车安全性的影响一方面在侧碰中承受整车的弯曲力，保证整车侧方侵入量和侵入速度满足安全要求，另一方面在前方偏置碰撞中保证能够承担车轮撞击门槛顶端的冲击力。所以本文将以上几个门槛方案带入整车分别进行了可变形壁障侧碰撞和 40% 前方偏置碰撞仿真。其中对整车进行可变形壁障侧碰撞和 40% 前方偏置也是 C-NCAP 进行新车性能评价的重要碰撞类型，其中对碰撞速度、碰撞要求和碰撞设置均有较详细的规定，本文中的仿真设置也完全按该规定进行。

在完成仿真设置后分别对采用方案一门槛的整车模型进行了计算，并根据实验结果对该模型和计算设置进行了调整。在经过对标调整后的整车模型中带入了其他几个方案的门槛结构，并进行了这两种工况的仿真计算。通过对计算结果能量分析可知各方案计算中沙漏能、滑移能均小于 5%，质量增加范围和总能量均满足要求，能量曲线平滑、没有尖角出现，证明计算结果可信。

4 可变形壁障侧碰仿真结果分析

这可变形壁障侧碰仿真计算结果中针对以上四种方案门槛的变形模式、翻转量、B 柱最大侵入量、B 柱侵入速度等因素进行了分析。

4.1 门槛变形模式比较

从计算结果可见这四种门槛结构变形模式如下图所示。

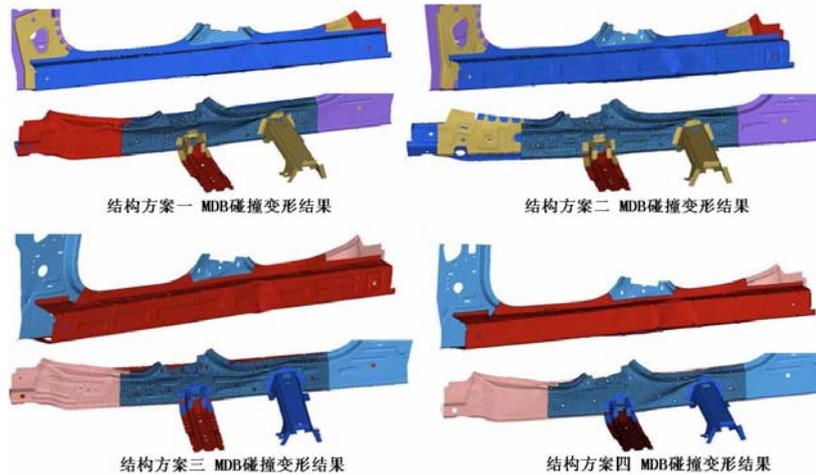


图 5 不同方案门槛变形模式示意图

由图 5 可见这四种门槛结构变形模式基本一致，车门门槛外板均在 B 柱连接位置后方发生褶皱，门槛内板均在前座椅下前横梁处均发生了皱褶变形。

4.2 门槛翻转角度比较

在碰撞中门槛翻转角度将对 B 柱和车门侵入量和侵入速度有较大的影响，为对这四种结构的车门门槛翻转量进行测量，定义测量角如下图 6 所示。

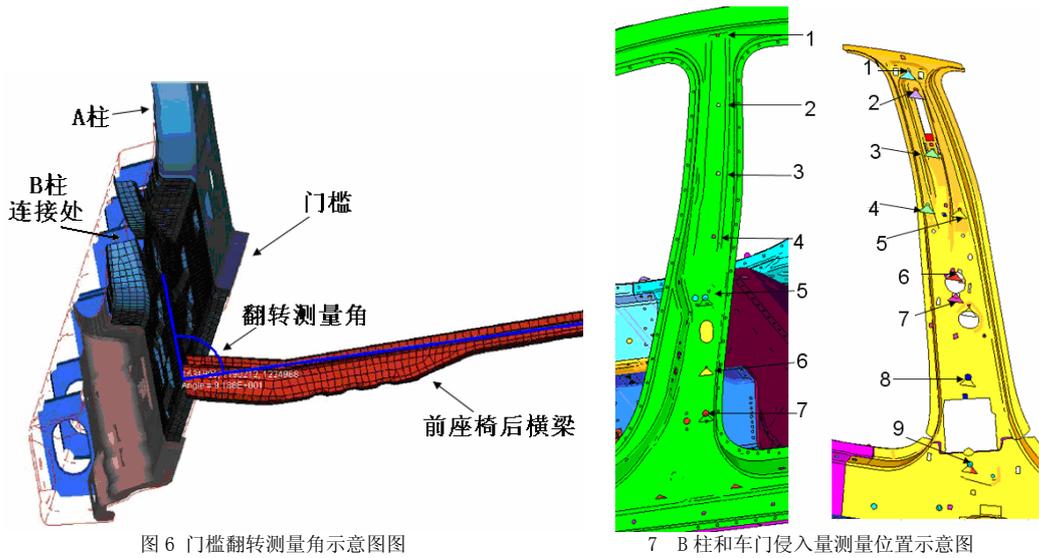


图6 门槛翻转测量角示意图

7 B柱和车门侵入量测量位置示意图

以上门槛翻转测量角在这四种门槛结构中测得值如下表所示。

表1 不同门槛结构碰撞翻转角度统计值

	初始值	碰撞中最小值	碰撞最终值	最大翻转角度
结构方案一	91.8835 度	70.5782 度	73.3451 度	21.31 度
结构方案二	91.8835 度	71.1947 度	74.48 度	20.69 度
结构方案三	91.8835 度	75.7 度	79.06 度	16.18 度
结构方案四	91.8835 度	76.4956 度	79.81 度	15.49 度

由表 1 所示在这四种门槛结构中方案一和方案二、方案三和方案四门槛翻转量基本相当，前两个方案中门槛翻转量要大于后两个方案。由此可见在保证车门门槛内外板强度足够的前提下，车门门槛中部加强板对门槛抗翻转作用并没有明显的帮助。前座椅下横梁及其连接支架的强度是影响车门门槛翻转量的重要因素，提高前座椅下横梁及其连接支架的材料强度对门槛翻转量有较大的改善作用。

4.3 B柱和车门侵入量对比

其中 B 柱侵入量测量点位置分别如上图 7 所示。

使用以上四种门槛结构的整车 B 柱最大侵入量和侵入速度测量结果如图 8、图 9 所示。

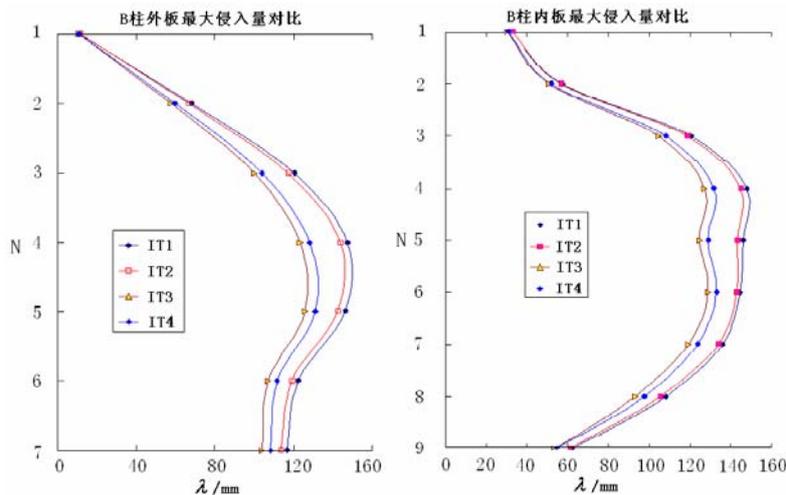


图8 不同门槛结构 B 柱最大侵入量对比

由图可见采用门槛结构一时 B 柱侵入量最大，采用门槛结构二时 B 柱侵入量稍有改善，采用门槛结构三和结构四时 B 柱减小量改善较为明显。其中由于结构方案三中门槛内外板均采用了加筋结构，所以 B 柱侵入量优于方案四。由此可见门槛结构强度对侧碰 B 柱侵入量影响较为明显，门槛中部加强板并不是减小 B 柱侵入量所需要的必须结构件。门槛内外板采用加筋结构能够提高门槛强度，减小 B 柱侵入量。

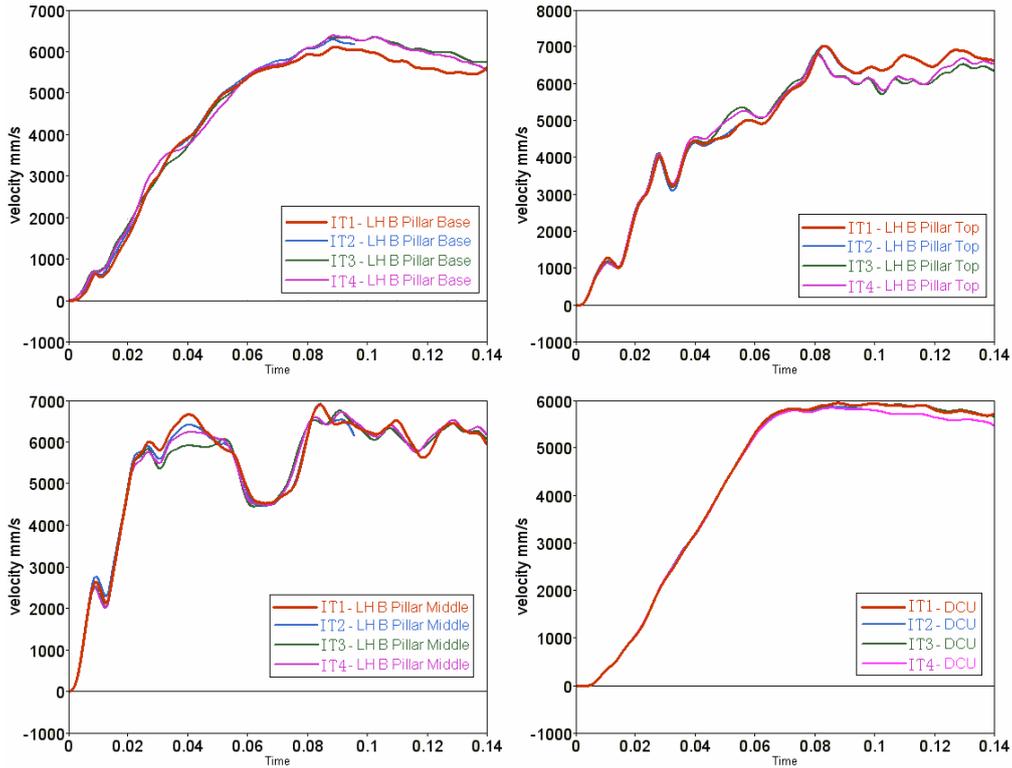


图9 B柱和中央通道侵入速度对比

由图可见 B 柱顶部和底部侵入速度曲线变线情况基本一致，其中后三个方案 B 柱底部侵入速度峰值比方案一稍高。B 柱中部侵入速度峰值方案一最高，方案二其次，方案三再其次，方案四最低、改善情况最为明显。由此可见门槛强度是影响 B 柱中部侵入速度的敏感因素。由这四种方案可见门槛板件加筋后对改善 B 柱中部侵入速度有明显功效。

由图 9 右下图可见采用不同门槛方案时对整车中央通道速度曲线基本没有影响。

5 门槛中部加强板对整车正面偏置碰撞影响仿真

由于在正面偏置碰撞中前车轮有可能回撞击到门槛前端，门槛结构强度将对碰撞侧 B 柱加速度和 A 柱变形情况造成影响，所以本文对此进行了研究。在本文中按 C-NCAP 正面 40% 偏置碰撞要求对带有中部加强板的方案一和取消了中部加强板的方案三进行了正面偏置碰撞仿真。

5.1 前围板侵入量情况对比

前围板侵入量测量点如下图 10 所示，方案一和方案三中前围板测量值如表 2 所示。

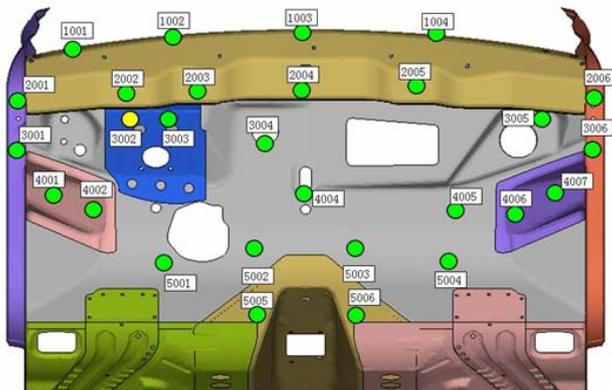


图 10 前围板侵入量测量点示意图

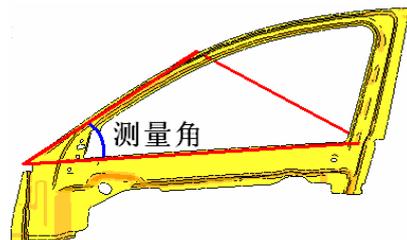


图 11 左侧 A 柱变形情况测量角度示意图

表 2 方案一和方案三中前围板侵入量测量值

测量点	侵入量 /mm		测量点	侵入量 /mm		测量点	侵入量 /mm	
	IT1	IT3		IT1	IT3		IT1	IT3
1001	30.85	23.59	2006	0.96	0.79	4004	34.64	27.03
1002	22.22	16.99	3001	31.33	25.81	4005	5.15	4.33
1003	12.88	9.76	3002	49.23	41.91	4006	2.35	2.02
1004	5.98	4.56	3003	48.62	39.52	4007	1.18	1
2001	32.82	27.08	3004	31	24.7	5001	39.29	29.81
2002	24.66	19.01	3005	2.27	1.76	5002	36.74	29.01
2003	24.74	19.41	3006	0.34	0.26	5003	18.64	16.04
2004	17.36	13.53	4001	44	33.84	5004	6.52	6.63
2005	9.78	7.46	4002	61.9	47.43	5005	19.27	15.89

由表 2 中带门槛加强板的方案一和取消门槛加强板的方案三前围板侵入量值对比可见：门槛取消中间加强板后，整车在正面 40% 偏置碰撞中并没有由此而发生前围板侵入量增加的现象，甚至在方案三中前围板侵入量还略有减小。

5.2 左侧 A 柱变形情况对比

左侧 A 柱变形情况测量角度如上图 11 所示，方案一和方案三中的测量值如下表 3 所示。

表 3 方案一和方案三中 A 柱变形情况测量值

	IT1	IT3
A 柱变形角度	5.5 度	3.64 度

由表 3 可见方案一中门槛中部带有加强板，方案 3 中门槛中部没有加强板，但方案三中所测得碰撞中左侧 A 柱变形角度要小于方案一中所测得角度，由此可见门槛中部加强板不是降低 A 柱在正面偏置碰撞中的必需部件。

5.3 左侧 B 柱加速度曲线对比

在正面偏置碰撞中左侧 B 柱加速度曲线如图 12 所示。

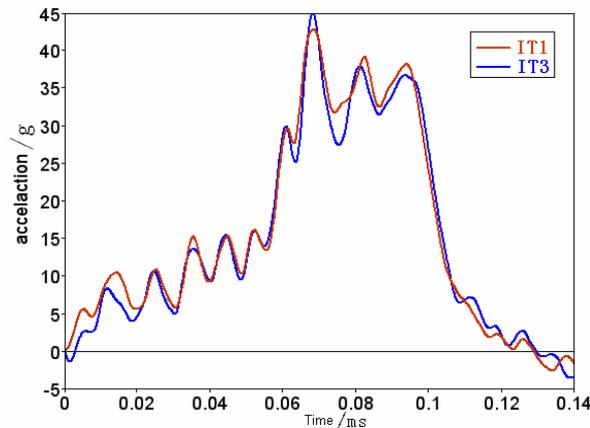


图 12 左侧 B 柱加速度曲线对比图

图 12 对比整车正面偏置碰撞动画可见，当车轮撞击门槛前端时 B 柱下端测得过载最大峰值。由图 12 可见方案三中左侧 B 柱过载峰值要大于方案一，即证明门槛方案三中门槛轴向强度并没有因为取消了门槛中部加强板而发生大幅度的下降，采用门槛内外板加筋后门槛轴向强度甚至较方案一有所加强。

6 结论

由本文中对采用四个不同结构门槛的整车，按 C-NCAP 侧碰和正面偏置碰撞标准进行了数值模拟研究，基于保证整车安全性的前提下对门槛进行轻量化和简化的原则对门槛结构进行了优化分析，从以上分析中可总结得到结论如下：

- 1、门槛中部加强板并不是改善和保持整车安全性能的必备部件，如对门槛其他部分构进行适当的改进和加强可以取消门槛中部加强板，并不会因此而降低整车安全性。这将简化门槛结构部件，并有较好的轻量化价值。
- 2、加强前座椅下横梁及其与门槛的连接件（提高材料强度）能够减小门槛在侧碰中的翻转量。其对门槛翻转量的敏感性较门槛中部加强板更为敏感。
- 3、门槛翻转量是影响 B 柱侵入量的重要因素之一，减小侧碰中的门槛翻转量可以大幅度改善 B 柱侵入量。

4、在门槛内外板上添加加强筋能够加强门槛结构强度，能够减小 B 柱侵入量，降低 B 柱中部的侵入速度。

5、取消门槛中部加强板后可通过内外板加筋等方式来提高正面偏置碰撞中车轮对门槛前端的抗撞强度，来保证 A 柱变形量和 B 柱速度变化情况。

参考文献：

- [1] 黄天泽. 汽车车身结构与设计[M]. 机械工业出版社, 2004
- [2] 羊军, 叶永亮. 车身设计关键技术[J]. 上海汽车, 2008 年 05 期
- [3] 陆勇, 曹立波. 吴俊. 轿车侧面碰撞安全结构改进方法研究[J]. 中国机械工程. 2008 年 24 期