

基于车辆安全性的车门轻量化研究

曾必强, 马杰, 方锐, 朱玉刚

中国汽车技术研究中心汽车工程研究院, 天津 300162

摘要 基于乘用车整车侧方碰撞分析, 研究了车门钣金件强度和厚度合理设计, 以在保证安全性前提下使车门达到轻量化。对车门钣金件不同强度和厚度方案的可变形壁障侧碰、侧壁柱撞仿真计算和结果分析表明, 车门钣金件厚度和强度变化对柱撞安全性变化不敏感; 车门中部加强板不宜采用过强结构; 车门内板强度和厚度是影响车门侵入量的关键因素。目前, 绝大多数车门通过钣金件强度和厚度的合理设计, 可以在保证安全性的同时实现车门减重 10% 以上的目标。

关键词 车辆工程; 汽车轻量化; 车门设计; 有限元仿真

中图分类号 TG142

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)19-0085-05

The Light-weight Door Design Based on the Vehicle Safety

ZENG Biqiang, MA Jie, FANG Rui, ZHU Yugang

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

Abstract The lateral collision of a car is analyzed in this paper and the strength and design of its deformable barrier and columns are considered. The conditions of the simulation are the same as in the European New Car Assessment Programme (Euro-NCAP). The influence of the strength and thickness of the door sheet on the safety of the car is discussed and analyzed. The result suggests that the strength and the thickness of the door sheet metal parts are not the key for safety in side impact crash of lateral columns. The central door reinforcement should not be too strong. The door inner panel strength and thickness is the key with respect to the amount of intrusion into the car. This analysis also shows that through the rational distribution of the strength and thickness of the door sheet metal, the door can be lighter by more than 10% as compared with its current weight.

Keywords vehicle engineering; light-weight design; door design; finite element analysis

0 引言

随着汽车保有量的增加及高等级公路的迅猛发展, 道路

交通事故逐年增加, 每年因交通事故造成的人员伤亡及财产损失呈上升趋势。统计数据显示, 在汽车各类碰撞事故中, 侧面碰撞发生概率约 27%, 碰撞造成司乘人员的伤害和财产损失的概率侧面碰撞仅次于正面碰撞^[1-2]。汽车侧面碰撞安全性研究是汽车被动安全性研究的一项重要内容, 受到世界各国汽车制造厂家和汽车研究机构的关注^[3]。由于中国交通法规执行情况及道路状况的特殊性, 使侧面碰撞而导致死亡的比例高于国外水平^[4]。汽车侧面碰撞试验是检验汽车被动安全性和事后安全性的重要手段之一^[5]。中国从 2006 年开始实施针对汽车生产企业的《汽车侧面碰撞乘员保护》强制性标准, 在随后进行的中国新车评价规程 (C-NCAP) 评测中汽车侧面碰撞也是新车评测的关键内容。

车门位于车身两侧, 汽车侧面是车体中强度较薄弱的部位, 一旦受到来自侧面的撞击, 没有足够空间发生结构变形以吸收碰撞能量, 所以车门是发生侧面碰撞时保证乘员安全的关键部件。随着更严格的燃油效率法规的实施^[6], 保证安全性的同时对车门实施轻量化是发展趋势。

目前, 车门结构优化研究中对车门防撞梁的研究较多^[7-8], 对在允许范围内通过车门板件和防撞梁合理配置来实现轻量化的研究较少, 本研究基于保证汽车侧面碰撞安全原则, 对某汽车车门内外板和防撞梁合理匹配性进行分析。

1 结构分析和轻量化方案

汽车发生侧面撞击时, 撞击力将直接作用于车门, 车门结构和强度将直接影响汽车 B 柱和车门本身的侵入量、侵入速度和变形程度, 这些因素将直接影响内部乘员安全情况。

本研究中, 车门由内板、外板、窗框、中部加强板和下部防撞梁等结构组成 (图 1), 其中车门内板由靠门轴部分 (厚钢

收稿日期: 2009-07-14

作者简介: 曾必强, 工程师, 研究方向为汽车被动安全及共性技术, 电子信箱: zbiq82@yahoo.cn

算结果能量分析可知,5个方案中沙漏能、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,证明该计算结果可信。

3 可变形壁障侧碰计算结果分析

3.1 B柱与车门侵入量对比

由采用5个方案的整车可变形壁障侧壁碰撞结果,可得到B柱外板测量点 N_1 和内板测量点 N_2 的最大侵入量对比(图4)。

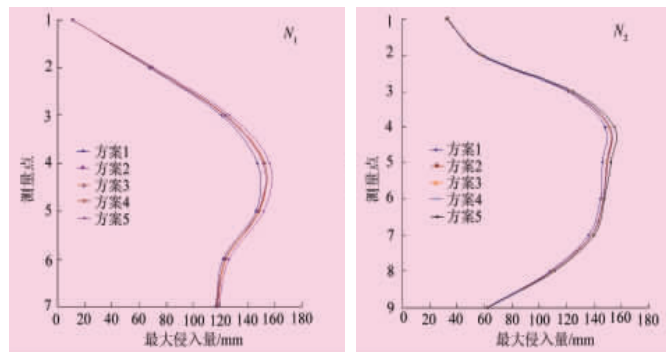


图4 可变形壁障侧碰B柱外板(N_1)和内板(N_2)最大侵入量对比

Fig. 4 The B-pillar intrusion into the car

由图4可见,5个方案中,方案1的B柱侵入量最小,方案5的B柱侵入量最大,其他3个方案基本相当。在方案2、方案3、方案4中,总体上方方案3侵入量稍大,但在B柱下半部分方案4侵入量较方案2稍有增加。其中方案5较方案1在B柱外板测量点4处侵入量增大大约9 mm,在B柱内板测量点4处侵入量增大大约7 mm。

对比5个方案可知,由于方案3中车门内板与方案2相比虽然厚度有所增加,但其屈服强度降低了40 MPa,车门内板是深拉伸结构,靠B柱的拉伸部分在受到侧壁冲击能量时有较强的抗折能力,该能力与材料的屈服强度联系更为密

切,所以当方案3中降低车门内板屈服强度、增加厚度后B柱最大侵入量反而有所增长。方案4车门外板与方案2相比增厚0.1 mm,导致车门外板抗弯能力有所增加,但车门外板与B柱的接触仅位于B柱的下半部分,所以方案4中B柱下方侵入量有所增加。方案5增强了车门中部加强板强度,所以增大了车门传递到B柱中部的压力,而导致B柱中部侵入量增大较多。由此可见,车门中部加强板强度不应过强。

5个方案在可变形壁障侧壁碰撞中车门内板最大侵入量如表2所示。由表2可见,车门内板最大侵入量方案1为最小;当车门板金件减薄后抗弯能力变弱,导致方案2、方案3、方案4的车门内板侵入量变大。在方案3中车门内板厚度增加后车门内板侵入量较方案2有所降低,在方案4中较方案2增加车门外板厚度,对车门内板最大侵入量的改善也取得明显效果。方案3和方案4中车门内板和外板厚度均较方案2增加了0.1 mm,但由于车门外板在增加厚度的同时没有降低其屈服强度,方案4中车门内板侵入量数值优于方案3。

表2 车门内板最大侵入量对比

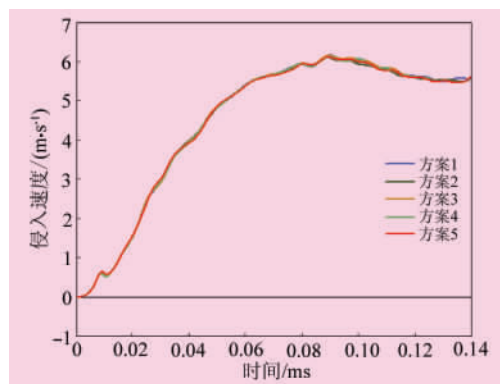
Table 2 Incursion of the door

测量点	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
最大侵入量	139.8	148	145.7	143.5	150.9
/mm	82.2	91	89.8	89.0	86.35

3.2 B柱、中央通道和车门侵入速度对比

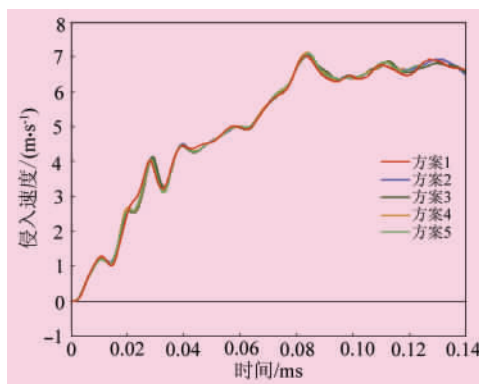
5个方案可变形壁障侧壁碰撞中,计算得到B柱上部、中部、下部3个位置和中央通道测得的速度曲线(图5),车门内板测量点1和测量点2测得的侵入速度曲线如图6所示。

由图5可见,5种车门改进方案中,B柱和车身中央通道在侧碰过程中速度变化曲线基本一致,表明车门板金件厚度和强度并不是可变形壁障侧碰中影响B柱侵入速度变化的敏感因素。



(a) 左侧B柱底端

(a) Base of the B-pillar on left hand side



(b) 左侧B柱顶端

(b) Top of the B-pillar on left hand side

图5 B柱和中央通道侵入速度曲线对比

Fig. 5 Comparison of the incurative velocity on the B-pillar and middle of the floor

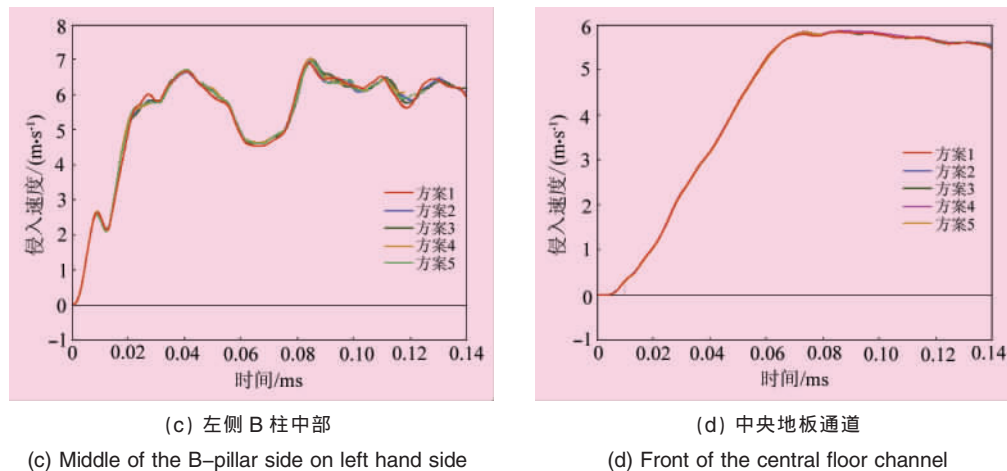


图 5 B 柱和中央通道侵入速度曲线对比 (续)
Fig. 5 Comparison of the incursive velocity on the B-pillar and middle of the floor (continued)

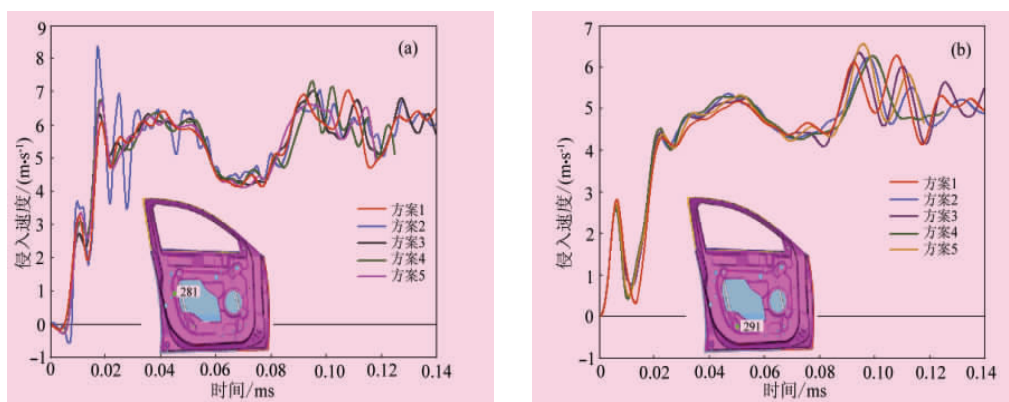


图 6 车门内板不同测点的侵入速度曲线对比
Fig. 6 Comparison of the incursive velocity on the door

由图 6(a)可见,在测量点 281 测得的速度曲线中,方案 2 侵入速度峰值较高,方案 5 和方案 4 次之,方案 1 峰值最低。由此可知,车门板金件厚度是影响车门侵入速度峰值大小的敏感件,其中车门内板厚度的峰值高低的影响尤其明显,采用强度过高的车门中部加强板将会提高车门内板侵入速度。但由于峰值持续时间较短,所以除方案 2 外,其他方案不会对内部乘员造成很多伤害。由图 6(b)可见,测量点 291 比较靠近车门框的下边缘。在 5 个方案中,测得的侵入速度基本一致。

4 侧壁柱撞计算结果分析

4.1 B 柱和车门侵入量对比

采用方案 1 和方案 2 车门方案的整车模型进行侧壁柱撞仿真计算,得到 B 柱外板测量点 N_1 和内板测量点 N_2 的最大侵入速度(图 7),侧壁柱撞中车门内板最大侵入量表 3。

由图 7 和表 3 可知,方案 1 侧壁柱撞中 B 柱和车门侵入量稍小于方案 2,但总体值基本一致,B 柱侵入量最大差量小于 2 mm,车门最大侵入量也小于 6 mm。由于侧壁柱撞中整车侧壁受力情况更加恶劣,车门板金件厚度和强度差别对整车侧碰安全性的影响较小。

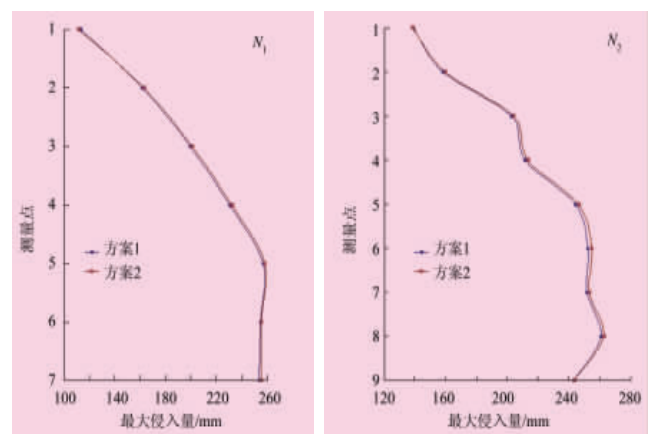


图 7 侧壁柱撞 B 柱外板(N_1)和内板(N_2)最大侵入量对比
Fig. 7 The B-pillar intrusion into the car

表 3 柱撞中车门内板最大侵入量对比
Table 3 Incursion of the door in FPB

	测量点	方案 1	方案 2
最大侵入量	1	289.7	261.8
/mm	2	295.1	267.2

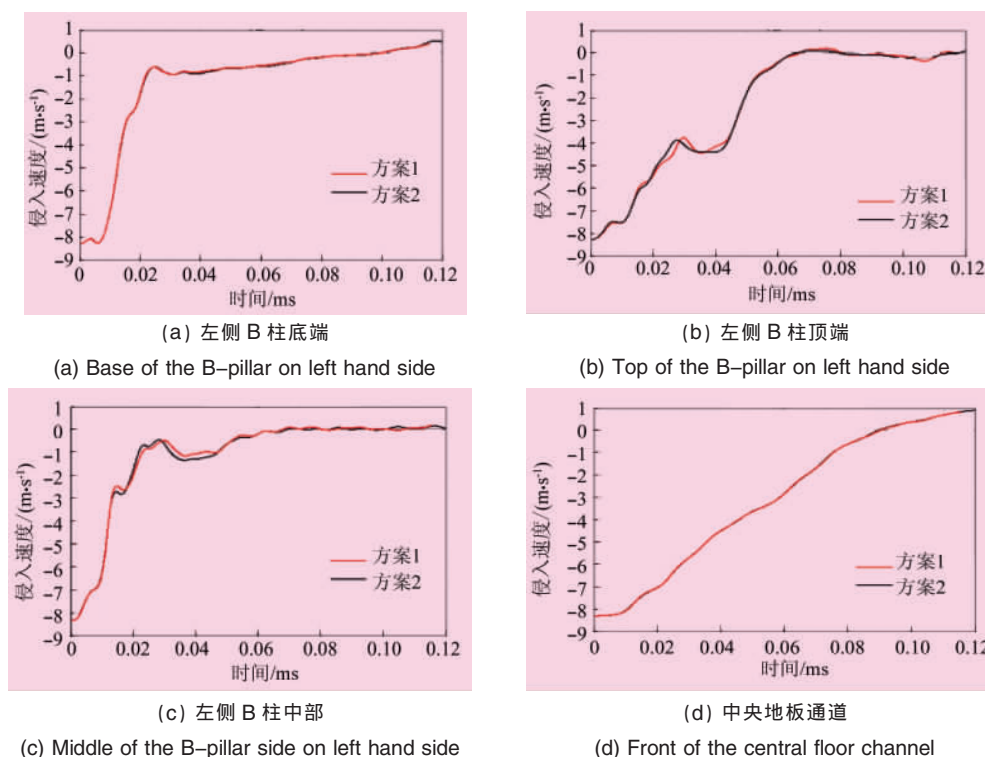


图 8 侧壁柱撞中 B 柱和中央通道侵入速度对比

Fig. 8 Comparison of the incursive velocity on the B-pillar and middle of the floor

4.2 B 柱和中央通道侵入速度对比

方案 1 和方案 2 侧壁柱撞计算得到 B 柱上部、中部、下部 3 个位置和中央通道测得的速度曲线(图 8)。由图 8 可见,方案 1 和方案 2 中 B 柱与车身中央通道在侧碰过程中速度变化曲线基本一致,表明车门板金件厚度和强度同样不是侧壁柱撞中影响 B 柱侵入速度变化的敏感因素。

5 结论

对车门板金件厚度、强度对整车侧碰中安全性影响的分析得到如下结论。

- 1) 在可变形壁障侧碰和侧壁柱撞两种整车侧碰中,由于侧壁柱撞中整车侧壁受力条件更为恶劣,车门板金件强度和厚度的变化在侧壁柱撞中对整车的安全性不敏感。
- 2) 车门设计中其中部加强板不宜采用过强结构,如果车门中部加强板强度过高将导致 B 柱侵入量变大。
- 3) 车门内板在满足成形性要求的前提下应该尽量使用高强度钢材制造,这将改善 B 柱侵入量和车门侵入量。
- 4) 车门外板在满足加工和抗凹能力要求的同时不宜采用过厚材料,车门外板厚度对安全性的改善并不明显。
- 5) 车门内板厚度对车门侵入量影响较车门外板更明显。
- 6) 对车门板金件厚度合理设计和配置能够取得较好的车门轻量化效果,能够实现目前大多数车门减重 10% 以上。

参考文献 (References)

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计资料汇编[R].

北京: 公安部交通管理局, 2003.

Traffic Management Bureau, Ministry of Public Security. Road traffic accident statistics compiled of PRC [R]. Beijing: Traffic Management Bureau, Ministry of Public Security, 2003.

- [2] 张维刚, 范体强. 汽车侧面碰撞安全性研究探讨 [J]. 客车技术与研究, 2007(1): 1-4.
- Zhang Weigang, Fan Tiquang. *Bus Technology and Research*, 2007(1): 1-4.
- [3] Ray M H, Hiranmayee K. Evaluating human risk in side impact collision with roadside objects[R]//Transportation Research Record. Transportation Research Board, Washington DC, 2000.
- [4] 王宏雁, 徐少英. 车门的轻量化设计[J]. 汽车工程, 2004(3): 349-353.
- Wang Hongyan, Xu Shaoying. *Automotive Engineering*, 2004(3): 349-353.
- [5] 朱西产. 面向公众的汽车安全性评价方法及其对中国汽车工业的影响[C]. 汽车交通安全国际会议, 2005: 9-13.
- Zhu Xichan. *Automotive safety evaluation method and its impact on China's automobile industry* [C]. International Forum of Automotive Traffic Safety, 2005: 9-13.
- [6] 范军锋, 陈铭. 中国汽车轻量化之路初探[J]. 铸造, 2006(10): 995-998.
- Fan Junfeng, Chen Ming. *Foundry*, 2006(10): 995-998.
- [7] 侯飞, 高卫民. 基于计算机模拟的轿车侧门防撞杆对美国侧撞法规作用的研究[J]. 汽车工程, 2005(1): 47-49.
- Hou Fei, Gao Weimin. *Automotive Engineering*, 2005(1): 47-49.
- [8] 吴毅, 朱平, 张宇. 基于侧面碰撞仿真的轿车防撞杆结构优化研究[J]. 机械设计与研究, 2006(5): 108-111.
- Wu Yi, Zhu Ping, Zhang Yu. *Machine Design and Research*, 2006(5): 108-111.
- [9] 马鸣图. 先进汽车用钢[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 18-26.
- Ma Mingtu. *Advanced steel on vehicle* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008: 18-26.
- [10] Sadagopan S, Chintamani J S, Nagle P J, et al. Application of dual-phase steels for automotive closure panels[R]//Innovations in Steel Sheet & Bar Products, SP-1764, 2003-01-0519, SAE International, 2003.

(责任编辑 陈广仁)