

Automobile Side Impact Analysis Based on Different Barriers and Comparison of the Dummy Injury Values

Yin WEI, Wang ZELONG, Peng HONG, Zhu Ling

Zhejiang Geely Automobile Institute Co., Ltd., Hangzhou, China, 311228

yinwei@geely.com

Abstract: The vehicle safety analysis and structure optimization was carried out according to the requirements of China's New Car Assessment Program. The differences in deformation modes, intrusion speed and intrusion amount for side impact based on different barriers under C-NCAP and E-NCAP were researched, and the impact on side impact performance was evaluated. Under the C-NCAP, the impact of different optimization schemes on vehicle side crashworthiness and dummy injury values was validated.

Keywords: Side Impact, Structure Optimization, Crashworthiness Performance, Dummy Injury

基于不同壁障侧碰分析及假人伤害值对比研究

尹伟, 王则龙, 彭鸿, 朱凌

浙江吉利汽车研究院有限公司虚拟性能开发中心, 杭州, 中国, 311228;

Email: yinwei@geely.com

摘 要: 按照我国新车评价标准要求对整车进行安全分析与结构优化, 研究 C-NCAP 与 E-NCAP 不同壁障侧面碰撞车辆变形模式、侵入速度、入侵量的差异, 评估其对侧面碰撞性能的影响。并针对同一壁障, 验证不同的优化方案对整车侧面耐撞性能以及假人伤害值的影响。

关键词: 侧面碰撞, 结构优化, 耐撞性能, 假人伤害

1 引言

汽车交通安全已成为公共安全问题中举足轻重的部分。侧面碰撞是发生率仅次于正面碰撞的主要交通事故形态, 而在侧碰的事故中作为主要接触区的车身侧面结构较为薄弱。因此提高车身侧面的耐撞性, 控制侵入速度和侵入量等以达到减轻乘员的伤害程度, 避免车内人员出现重大伤亡的灾难性后果^[1]。

因此, 轿车侧面碰撞结构安全性所造成的人员伤亡和直接经济损失不容小觑。开展侧面碰撞的相关研究, 提高车辆侧面碰撞安全性对改善我国道路交通安全具有重大意义。

2 整车模型建立

2.1 模型及工况

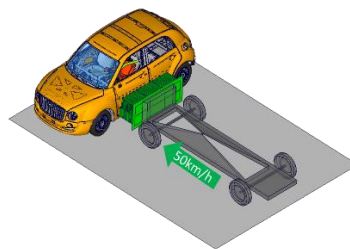


Figure 1. FEM for Side Impact

图 1. 侧面碰撞有限元模型

整车有限元模型运用前处理软件进行建模并做相关设置及定义。

按照整车碰撞模型的具体要求设定，整车静止状态、可变形移动障壁以 50km/h 的速度撞击(壁障中心与座椅 H 点 Y 向重叠)，整车模型与移动壁障设置接触。

对建立的侧面碰撞仿真模型进行计算，计算完毕后输出主要能量关系如图 2 所示。

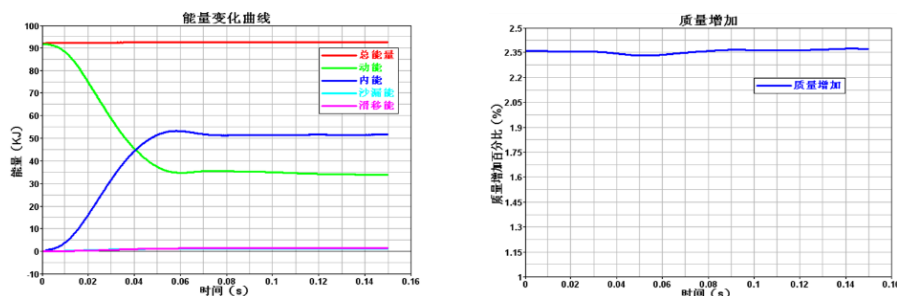


Figure 2. Energy Change and Mass Increase Curve

图 2. 能量变化及质量增加曲线

整车总能量守恒，动能和内能曲线走势合理，沙漏能占内能的 $2.2\% < 10\%$ ，质量增加百分比与时间变化曲线如图 2 所示，均值为 $2.35\% < 5.0\%$ ，各指标满足分析要求，模型稳定，计算结果有效。

2.2 驾驶员姿态调整

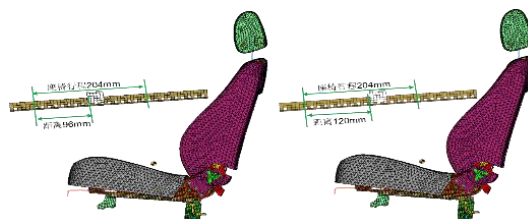


Figure 3. Driver Side Seat Position

图 3. 驾驶员侧座椅位置

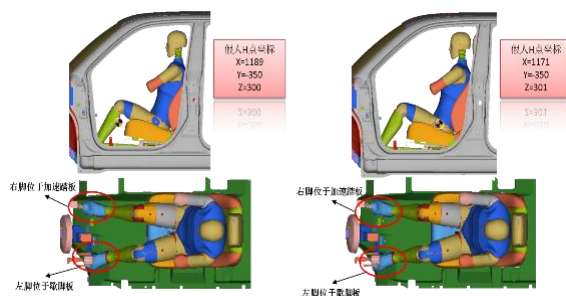


Figure 4. Sitting Position of Driver

图 4. 驾驶员坐姿(C-NCAP,E-NCAP)

根据法规要求调整假人 H 点至正确位置，调整假人靠背角为 23 度，并将假人左脚调至搁脚板位置，右脚置于加速踏板。

根据法规的要求按照滑轨长度调节驾驶员侧座椅位置，在 C-NCAP 工况下座椅 H 点坐标为(假人 H 点坐标 X=1189 Y=-350 Z=300) E-NCAP 工况下座椅 H 点坐标为(假人 H 点坐标 X=1171 Y=-350 Z=301)。

3 侧面碰撞仿真结果分析

3.1 整车变形分析

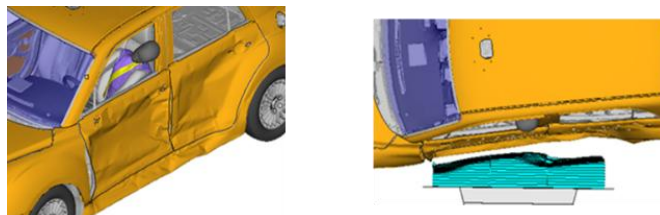


Figure 5. Deformation of Whole Vehicle

图 5. 整车变形图

碰撞后，整车变形分布合理，B 柱上端及顶盖基本没有变形，B 柱下端变形较大，在避免伤害驾驶员的同时，能够有效吸收碰撞能量；

左前车门中部（对应假人腹部）存在较大的变形，防撞梁未发生塑性折弯，起到了较好的支撑作用；

3.2 左 B 柱、前车门内板侵入速度对比

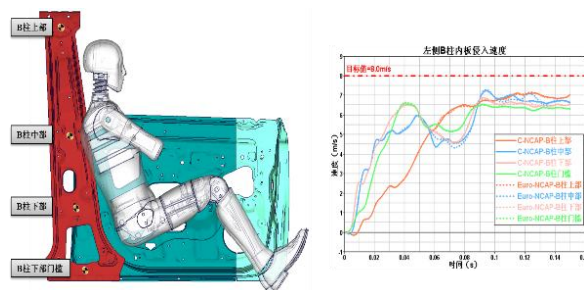


Figure 6. Intrusion Speed for Left B Pillar Inner Panel and Measuring Position

图 6. 左 B 柱内板侵入速度(C-NCAP,E-NCAP)

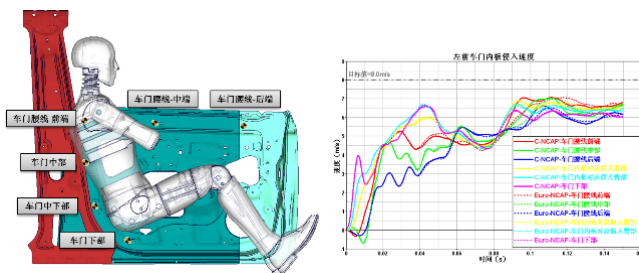


Figure 7. Intrusion Speed for Waistline of Left Front Door Inner Panel and Measuring Position

图 7. 左前车门内板腰线侵入速度(C-NCAP,E-NCAP)

左侧 B 柱各点侵入速度，均小于 8.0m/s，满足目标值要求；C-NCAP 和 E-NCAP 工况下两者侵入速度基本一致。

左前车门内板侵入速度，均小于 8.0m/s，满足目标值要求；C-NCAP 和 E-NCAP 工况下两者侵入速度基本一致。

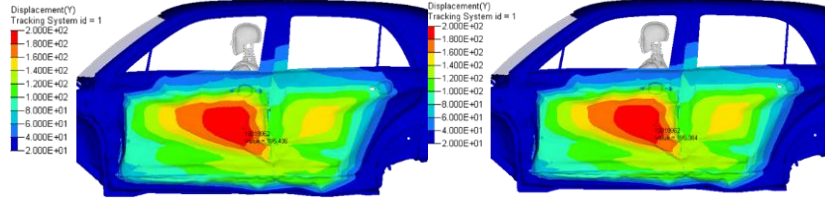


Figure 8. Displacement Nephogram for Door Outer Panel
图 8.车门外板位移云图(C-NCAP)

Figure 9. Displacement Nephogram for Door Outer Panel
图 9.车门外板位移云图(E-NCAP)

3.3 ES2 假人伤害值

侧面碰撞仿真（C-NCAP 和 E-NCAP 工况）中的 ES-2 假人的伤害值及得分情况；两者各项伤害值情况基本趋势一致，C-NCAP 最终得分为 15.29，而 E-NCAP 条件下得分为 15.06 分。

Table 1. ES2 Dummy Score for Side Impact
表 1. 侧面碰撞 ES2 假人得分情况

侧面碰撞假人得分												
			C-NCAP				E-NCAP					
假人伤害值		E-NCAP	结果	各项得分	大项得分	总分	结果	各项得分	小项得分	大项得分	总分	
头部		HIC值	650~1000	27.02	4.00	4.00	15.29	27.96	4.00		4.00	15.06
		3ms值(g)	72~88	15.26	4.00			15.24	4.00	4.00		
胸部	上肋骨	压缩量(mm)	22~42	25.56	3.29	3.29		26.68	3.06	3.06	3.06	
		V*C(m/s)	0.32~1.0	0.22	4.00			0.18	4.00			
	中肋骨	压缩量(mm)	22~42	25.48	3.30			24.48	3.50			
		V*C(m/s)	0.32~1.0	0.25	4.00			0.18	4.00			
	下肋骨	压缩量(mm)	22~42	20.64	4.00			16.94	4.00			
		V*C(m/s)	0.32~1.0	0.20	4.00			0.12	4.00			
胸部修正	T12	Fy(KN)	1.5~2.0	0.33	0.00	0.45		0.00	0.00			
		Mx(Nm)	150~200	128.14	0.00	99.80		0.00	0.00			
	背板力	Fy(KN)	1.0~4.0	0.83	0.00	0.92		0.00				
腰部	腰部力(KN)	1.0~2.5	0.15	4.00	4.00	0.19		4.00	4.00	4.00		
骨盆	耻骨力(KN)	3.0~6.0	0.42	4.00	4.00	0.35		4.00	4.00	4.00		

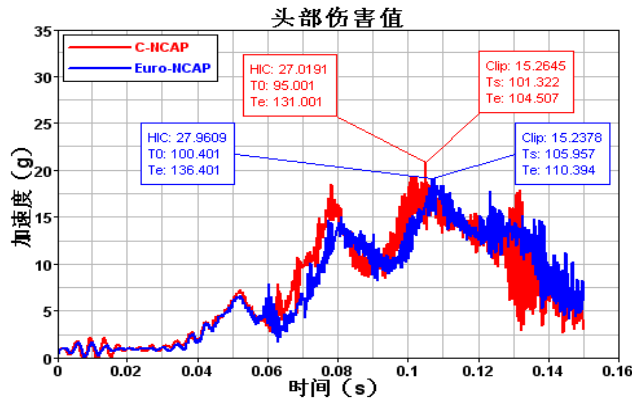


Figure 10. Intrusion Speed for Left Front Door Inner Panel and Measuring Position
图 10.左前车门内板侵入速度测量点

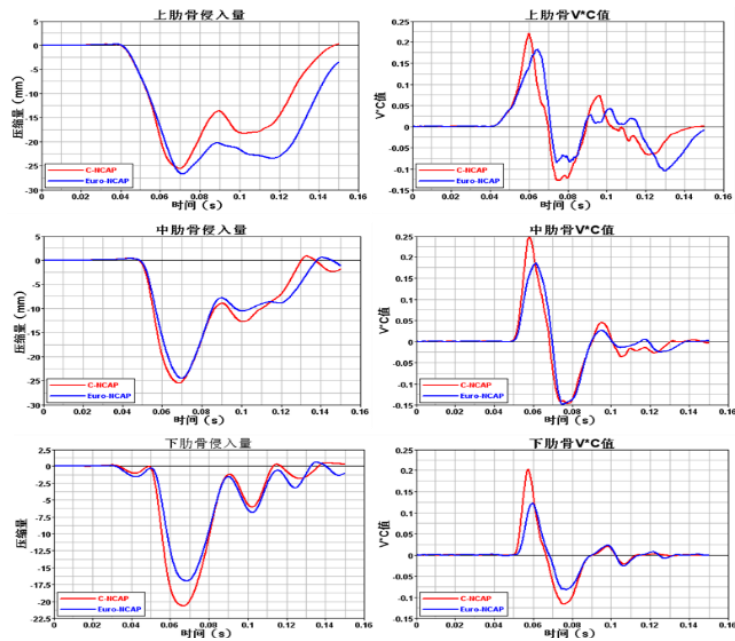


Figure 11. Compression Amount of Upper, Center, Lower Rib and V*C Value
图 11.上、中、下肋骨压缩量及 V*C 值

ES-2 头部伤害值曲线，在 C-NCAP 和 E-NCAP 要求下两者基本一致；且都满足头部伤害值的高性能限值要求。上图为在 C-NCAP 和 E-NCAP 要求下的肋骨压缩量及 V*C 值曲线，两者整体趋势基本一致，除上肋骨压缩量 E-NCAP 更大，其余各值均小于 C-NCAP。

目前的仿真模型中未匹配侧面气囊，上肋骨和中肋骨压缩量均超过法规要求的高性能限值，造成假人失 1 分，后期增加侧气囊后，伤害值会进一步减小，能满足设计目标的要求。

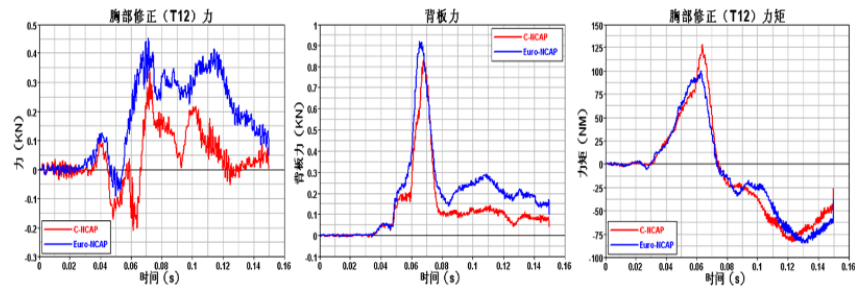


Figure 12. Power Curve of Chest after Correction
图 12.胸部修正后力的曲线

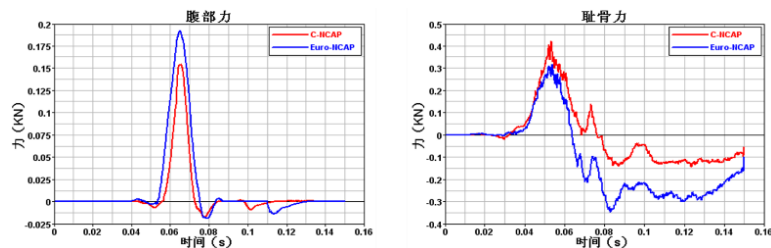


Figure 13. Dummy Stomach and Pubis Force
图 13.ES-2 假人腹部、耻骨力图

图 12 为 ES-2 假人的胸部修正项， C-NCAP 和 E-NCAP 要求下均满足高性能限值，且两者变化一致；

图 13 为 ES-2 假人的腹部力和耻骨力， C-NCAP 和 E-NCAP 要求下两者均满足高性能限值要求，且曲线走势基本一致；

存在问题：腹部力与耻骨力的峰值与高性能限值之间有较大的空间，未能充分发挥这两处的承力作用，后期可通过增大缓冲泡沫和修改内饰的截面以增加该处的承力，减小胸部的受力，减小胸部压缩量^[3]。

3.4 优化建议

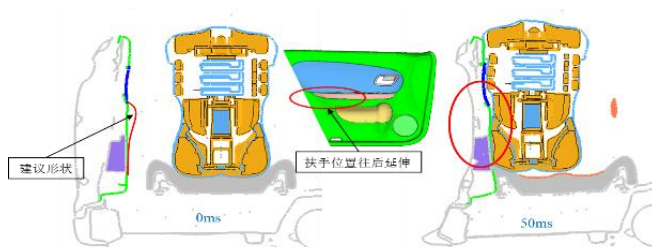


Figure 14. ES-2Y Direction Section View
图 14.ES-2Y 向截面图

上图为通过假人肋骨的车身截面图，考察碰撞过程中假人与车门内饰的接触关系；

理想情况下，假人臀部与车门首先接触，然后是腹部，最后是胸部与车门接触，而目前在侧面碰撞中胸部先于腹部接触车门内饰，使胸部受力增加，肋骨压缩量增加。

50ms 时，臀部与肋骨处均与车门内饰发生碰撞，但腹部位置与车门内饰还未完全接触，承力不足，同时缓冲泡沫未完全覆盖臀部区域，可以适当增加缓冲泡沫大小，已达到更好的支撑作用。

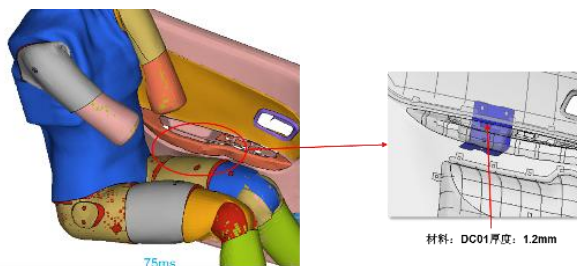


Figure 15. Dummy and Door Inner Trim Contact
图 15.假人与车门内饰接触关系

4 ES-2 假人伤害值敏感性研究(C-NCAP)

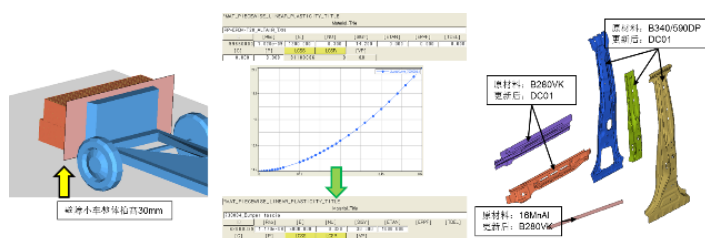


Figure 16. Optimization Scheme
图 16.优化方案

Case1: 移动壁障抬高 30mm; Case2: 车门及 B 柱内饰更换材料, 材料强度提升; Case3: 车门及 B 柱部分件材料减弱。

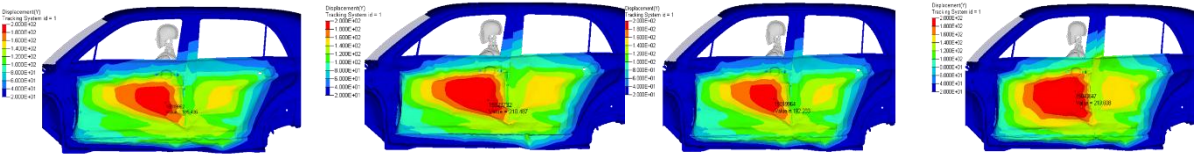


Figure 17. Intrusion Amount of Door Outer Panel (Base,Case1)Figure 18. Intrusion Amount of Door Outer Panel (Case2,Case3)
图 17.车门外板侵入量(Base,Case1)图 19.车门外板侵入量(Case2,Case3)

车门外板侵入量对比, 如图 19 所示, 除 Case2 车门外板侵入量略有减小; 其余两方案的车门外板侵入量有明显的增加。

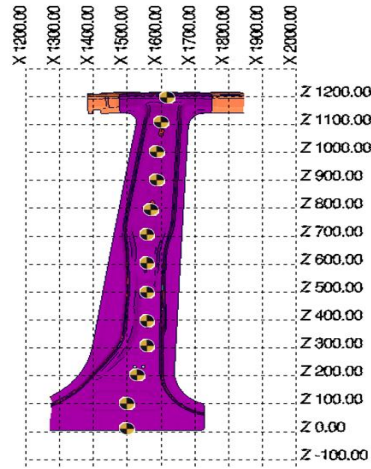


Figure 20. Intrusion Amount for B Pillar Outer Panel and Measuring Position
图 20.B 柱外板侵入量测量点位置

Table 2.Intrusion Amount for Left B Pillar (Unit: mm)
表 2. 左侧 B 柱侵入量(单位:mm)

编号	C-NCAP	方案一	方案二	方案三
1	3	5	3	0
2	16	21	16	23
3	32	41	31	51
4	47	59	45	77
5	63	79	60	103
6	79	98	75	127
7	85	101	82	126
8	91	105	88	125
9	101	112	99	126
10	106	114	103	124
11	122	128	119	113
12	110	111	109	113
13	112	87	112	112

B 柱外板侵入量对比，如表 2 所示：除 Case2 B 柱外板侵入量基本不变；其余两方案的 B 柱外板侵入量均有明显的增加。

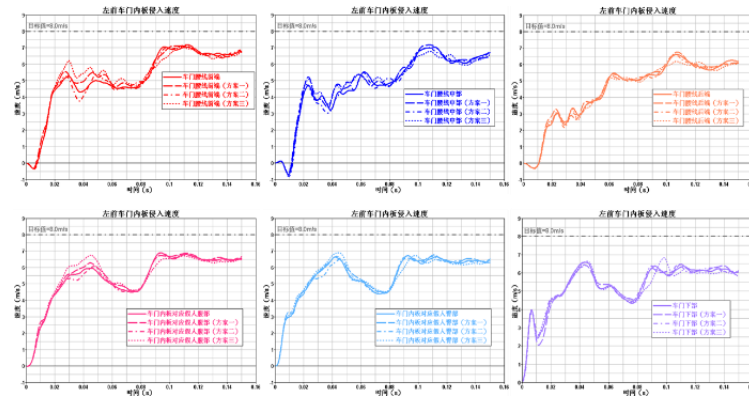


Figure 21. Comparison of Intrusion Speed for Left Front Door Inner Panel
图 21.左前车门内板侵入速度对比

左前车门内板侵入速度对比，如图 21 所示：对比左前车门内板各测量点侵入速度，Case3 与 Case1 都略有增加，其中 Case3 增加较为明显，Case2 与基础模型的侵入速度基本一致。

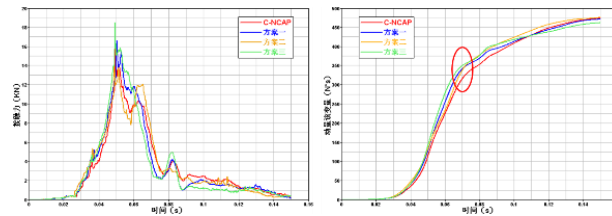


Figure 22. Contact Force between Left Front Door Inner Panel and Dummy and Dummy Momentum
图 22.左前车门内板与假人接触力及假人所受冲量

Table 3. Intrusion Amount for Left B Pillar (Unit: mm)
表 3. 左侧 B 柱侵入量(单位:mm)

		侧面碰撞假人得分				
假人伤害值		E-NCAP	C-NCAP	方案一	方案二	方案三
头部	HIC值	650~1000	27.02	23.73	19.75	19.75
	3ms值(g)	72~88	15.26	16.90	14.82	14.82
胸部	上肋骨	压缩量(mm)	22~42	25.56	29.09	27.06
		V*C(m/s)	0.32~1.0	0.22	0.40	0.26
	中肋骨	压缩量(mm)	22~42	25.48	28.35	28.16
		V*C(m/s)	0.32~1.0	0.25	0.40	0.31
	下肋骨	压缩量(mm)	22~42	20.64	25.59	26.73
		V*C(m/s)	0.32~1.0	0.20	0.36	0.29
胸部修正	T12	Fy(KN)	1.5~2.0	0.33	0.38	0.53
		Mx(Nm)	150~200	128.14	82.67	130.48
	背板力	Fy(KN)	1.0~4.0	0.83	0.88	0.58
腹部	腹部力(KN)	1.0~2.5	0.15	0.20	0.08	0.08
骨盆	耻骨力(KN)	3.0~6.0	0.42	0.41	0.44	0.44
得分			15.29	14.89	14.77	14.58

ES-2 假人与车内饰接触力，如图 22 所示：Case1 与 Case3 车门侵入量增大，所以车门与假人之间的接触力在 40~60ms 之间明显增大，而 Case2 的接触力在 60~70ms 之间增大，该处是由于内饰材料的提升引起的；将接

触力对时间进行积分得到图 26，在 70ms 左右时肋骨产生最大的压缩量，该时间段内 Case3 冲量最大，Case2 与 Case1 基本相同，而基础方案的冲量最小；从图 26 中可以看出，150ms 时间段内 Case3 的冲量最小，其余三种情况冲量基本一致，这是由于车身变软，碰撞中吸能增加，假人最终的反弹速度减小。

ES-2 假人伤害值对比，对比上表各方案的侧碰假人伤害值情况：

三种方案的假人伤害值均有增加，Case3 增加最多，Case1 增加最小；基础方案与 Case3 最大失分在上肋骨，而 Case1 与 Case2 最大失分在中肋骨；耻骨力大小变化不明显，与高性能限值之间有较大差距，承力作用仍可以提升。

5 结语

在 C-NCAP 和 E-NCAP 壁障下，车身变形及车门侵入速度等均满足目标值要求，两者假人伤害值趋势一致，得分存在 0.23 分差异；

假人伤害值敏感性结果对比：

- (1) 移动壁障抬高 30mm：车门中上部的侵入量有明显增加，肋骨压缩量有一定增加；
- (2) 提高内饰材料强度：虽然车门侵入量及侵入速度未有明显改变，但肋骨压缩量也存在增加；
- (3) 降低车门及 B 柱关键件的材料等级：车门侵入量及侵入速度均有增加，肋骨压缩量增加明显；

车身侵入量对假人伤害值的影响不及车门内饰的材料、结构对假人伤害值的影响大，后期进行侧面碰撞优化时，在保证一定的车身变形情况下，对车门内饰的结构进行优化。

References (参考文献)

- [1] Road Traffic Accident Statistics Compilation [R]. Beijing: Ministry of Public Security Traffic Management Bureau, 2005
道路交通事故统计资料汇编[R]. 北京:公安部交通管理局, 2005
- [2] Zhang Jin-huan, etc. Car collision safety design [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012.
张金换等. 汽车碰撞安全性设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [3] Huang Shilin, Zhang Jinhuan, Wang Xiaodong. Automobile collision and safety [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000
黄世霖、张金换、王小冬. 汽车碰撞与安全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000