

Response Analysis and Structure Optimize of Small Overlap Crash

CUIDong, QIZhi-nan, LU Shuang

China Automotive Technology and Research Center, Tianjin, 300300

Email: cuidong@catarc.ac.cn

Abstract: Designed the vehicle body structure, according to the deformation characteristics of the body structure in the small overlap crash, summarized the body structure method, which is suitable for different models, and meets the requirements of safety and compatibility of the vehicle. By the small overlap crash performance of a car, put forward two ways to optimize the body structure: enhancing the material and designing special body structure, which can reduce the collision effectively in the small overlap crash. The body structure rating of the car, improved from marginal to good. Compared the B pillar acceleration of the full width crash, 40% offset crash and small overlap crash before and after the optimization, the acceleration can meet the requirements of the passenger restraint system. In order to verify the applicability of the body structure optimization, applied the optimization to a SUV model. The structure rating of the SUV model improved from poor to good, after the optimization. And the B pillar acceleration can meet the requirements of the passenger restraint system.

Keywords: Small overlap crash; Vehicle structure optimize; Restraint system; Finite element

小重叠碰撞响应分析及结构优化设计

崔东, 祁志楠, 鲁爽

中国汽车技术研究中心, 天津市, 300300

Email: cuidong@catarc.ac.cn

摘要: 针对小重叠碰撞工况车身结构的变形特点, 通过对车身结构优化设计, 总结出适用于不同车型, 且满足车身安全兼容性要求的车身结构设计方法。借助某款轿车的有限元模型, 提出材料加强和设计特定结构两方面的优化措施, 有效降低了小重叠碰撞中乘员舱的侵入量, 车身结构评级由“及格”提高到“优秀”, 后期对比了正碰、偏置碰及小重叠碰的 B 柱加速度波形, 优化后能够满足乘员约束系统匹配要求。为了验证方案的适用性, 将该结构优化设计方案应用于某 SUV 车型, 该 SUV 车型优化后, 车身结构评级由“差”提高到了“优秀”, 且优化后的正碰、偏置碰及小重叠碰 B 柱加速度波形不影响乘员约束系统匹配。

关键词: 小重叠碰撞; 车身结构优化; 约束系统; 有限元

1 引言

目前国内外主要通过各国的新车评价规程来完成对车型安全性能的评价工作, 如中国的 C-NCAP、欧洲的 E-NCAP、澳大利亚的 A-NCAP 等, 碰撞的工况要求大多为 100% 正面刚性壁障碰撞(以下简称为正碰)、40% 正面偏置可变形壁障碰撞(以下简称为偏置碰)、侧面可变形移动壁障碰撞、后面碰撞等。美国 IIHS 在 2012 年发布的 25% 小重叠碰撞(以下简称为小重叠碰), 给首批进行该项试验的 11 款中等豪华车辆带来了重创, 碰撞试验测试结果中只有 2 款车获得了 Good 评级, 1 款车获得了 Acceptable 评级, 4 款车没有通过测试, 碰撞测试的结果非常不理想^[1], 主要由于车体结构方面侵入量比较严重, 乘员舱变形较大。由于考核标准严格, 小重叠碰为各种车型的安全性能提供了更高的依据^[2]。

文献 2 对比分析了偏置碰与小重叠碰的差异性, 得出了小重叠碰需要更强车身结构的结论^[3]。文献 4-6 针对某款车型进行了小重叠碰的优化分析^[4-6]。文献 7 提出了车体侧向位移导向结构以应对小重叠碰的苛刻工况^[7]。文献 8-9, 对比评估了小重叠工况下的假人伤害情况, 小重叠工况车内乘员易受到更严重伤害^[8-9]。

本文通过对比小重叠碰、正碰和偏置碰的差异性，总结小重叠碰的变形特点，从而对车身结构进行优化设计，达到满足三种不同正面碰撞的要求，进而将该优化方案应用于不同的车型，验证该优化方案的有效性。

2 某轿车的正面碰撞工况差异性研究

IIHS 发布的小重叠碰，碰撞工况如图 1 所示，用于模拟重叠率更低的交通事故^[10]。由于车体与刚性壁障重叠率较低，车体的变形更加恶劣，对车身的安全性要求更高，对车身结构的耐撞性提出了更加苛刻的要求。

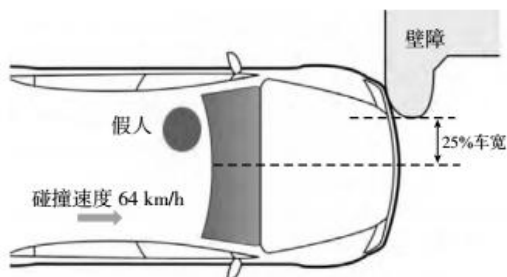
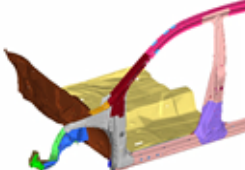
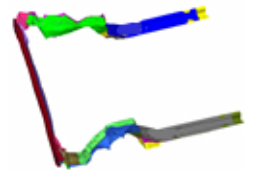
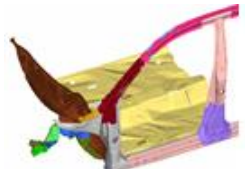
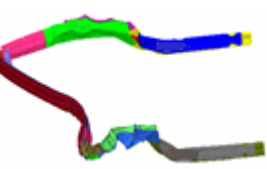
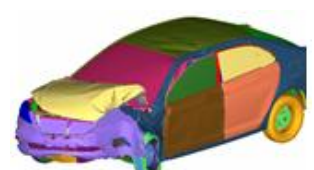
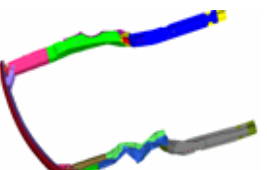


图 1. 25%小重叠碰撞试验示意图

本章节以某轿车为研究对象，建立了该车有限元模型，通过对其进行正碰、偏置碰和小重叠碰的仿真分析，对比三种工况下车身的加速度和乘员舱的侵入量，归纳总结三种碰撞工况的差异性。

该车在三种正面碰撞工况下的整车变形情况如表 1 所示。在正碰中，吸能盒、前纵梁、副车架等吸能部件都参与到整车碰撞中，前发动机舱变形严重，能量吸收充足，乘员舱的变形量很小；偏置碰中，车身左侧的吸能盒、前纵梁和副车架参与碰撞，前纵梁变形吸能效果好，乘员舱变形小；小重叠碰中，前纵梁未与壁障发生重叠，吸能盒、纵梁未能充分变形吸收能量，碰撞过程中 shotgun 挤压变形严重，A 柱下端、前围板入侵较大，顶盖、前地板、门槛梁有严重的褶皱，A 柱上铰链也发生明显的折弯，导致乘员舱变形较大，威胁乘员舱内的乘员安全。

表 1 正面碰撞工况下整车结构变形

	车体变形	门框变形	纵梁变形
正碰			
偏置碰			
小重叠			

根据小重叠碰车身结构的评级标准^[11-12]，对比三种碰撞工况下乘员舱的侵入量，进一步分析三种正面碰

撞工况下车身结构的差异性，A 柱、门槛、防火墙等乘员舱部位的侵入量对比如表 2 所示。

表 2 正面碰撞工况乘员舱侵入量对比(mm)

	正碰	偏置碰	小重叠
A 柱下铰链	5.5	7.5	77.9
歇脚板	24.6	69.8	135.0
左歇脚	35.6	83.3	123.5
制动踏板	41.2	152.2	202.1
门槛	2.1	5.6	18.3
转向管柱	21.3	53.9	108.8
A 柱上铰链	8.8	19.3	87.1
防火墙	8.5	15.3	49.2
仪表板	7.0	17.1	68.8

通过三种正面碰撞工况乘员舱侵入量的对比可知，该车在小重叠碰中乘员舱的变形最严重，其次是偏置碰，正碰乘员舱入侵最小。根据小重叠碰结构评级标准和乘员舱各部位的侵入量，该轿车的车身结构评级为 Marginal(及格)，如图 2 所示。

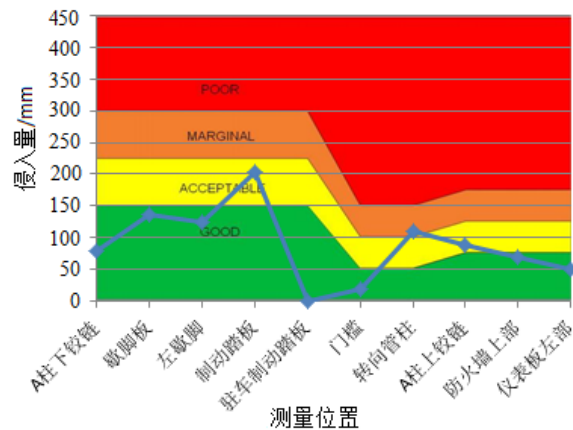


图 2 车身结构评级

通过上述三种工况的仿真分析得到该车型左侧 B 柱的加速度如图 3 所示，相正碰和偏置碰，该车在小重叠碰工况下，由于碰撞后期轮胎直接挤压门槛，B 柱的加速度峰值明显大于其他两种碰撞工况，对约束系统性能要求更高。

3 基于小重叠碰的轿车车身结构优化

3.1 车身结构优化方案设计

针对该车在小重叠碰中乘员空间结构的变形特点,合理布置车体的传力路径,优化重要传力部件的形状、截面厚度并针对小重叠工况设计特定的碰撞吸能结构,加强乘员空间的结构刚度,减小碰撞过程中乘员空间的大变形,提高车身结构的评估等级,主要通过以下方法对车身进行优化设计:

(1)特定结构设计

Shotgun 为小重叠碰中主要传力路径之一,因此考虑改善 shotgun 结构,增加其传力吸能效果。在原 shotgun 结构基础上延长 shotgun 至水箱上横梁,与右侧 shotgun 形成封闭的具有导向作用的弧形结构,改进后的车体

前端结构如图 4 示。

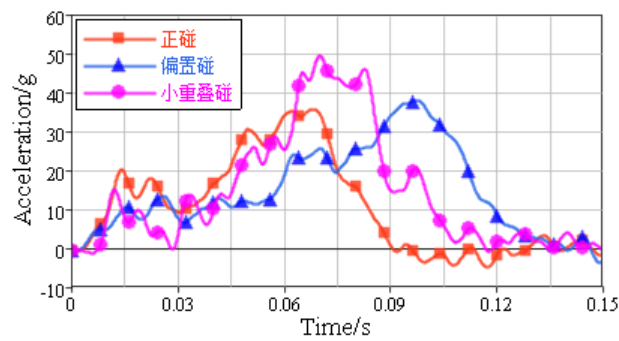


图 3 三工况左侧 B 柱加速度曲线对比

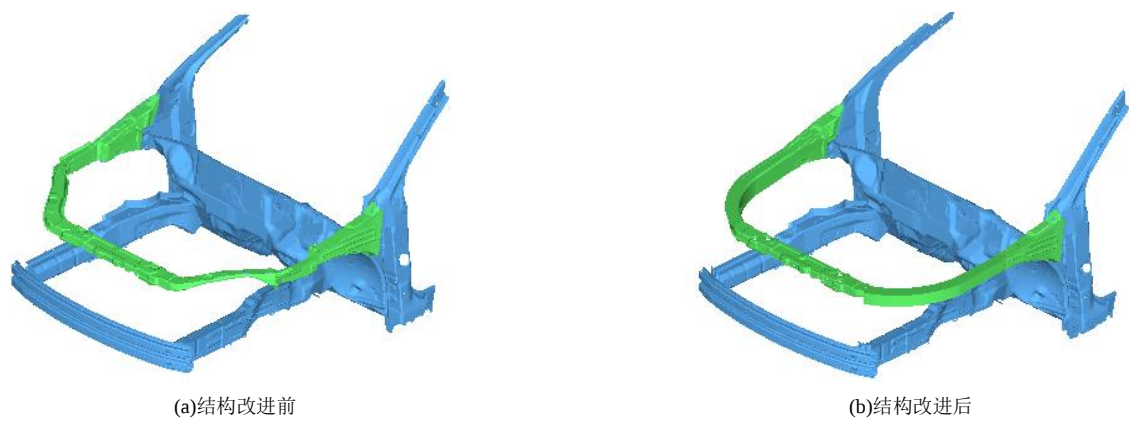


图 4 改进前后车体前端结构

(2)关键部件加强

提升 A 柱、门槛梁、前围下骨架等部件的材料强度和厚度，如表 3 所示，同时修改乘员舱变形较大部件的结构，如延长 A 柱加强板，在 A 柱下铰链、门槛梁等部位增加加强板，增加厚度等方法提升乘员舱的刚度，如图 5 所示。

表 3 主要变形部件材料厚度变化

主要改进部件	原部件材料	优化后材料	原部件厚度	优化后厚度
A 柱、门槛	B280vk	B340/590DP	1.6mm	2.0mm
前围下骨架	B280vk	B340/590DP	1.2mm	1.8mm
shotgun	B280vk	B340/590DP	1.4mm	1.8mm

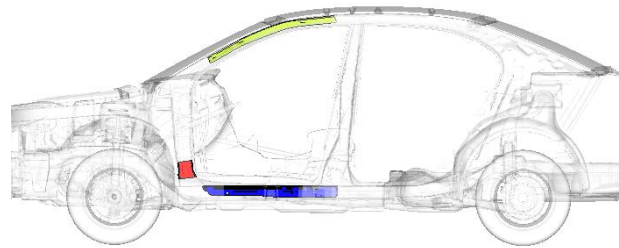


图 5 结构更改示意图

将优化后的整车有限元模型进行小重叠碰的仿真计算分析，对优化效果进行评价，优化后与优化前的乘

员舱侵入量对比如图 6 所示，乘员舱的侵入量有了明显的改善，且评级均在 Good 区域内，该车结构的整体评级升至 Good。因此，该优化方案利于小重叠碰工况车身结构的改善和加强。

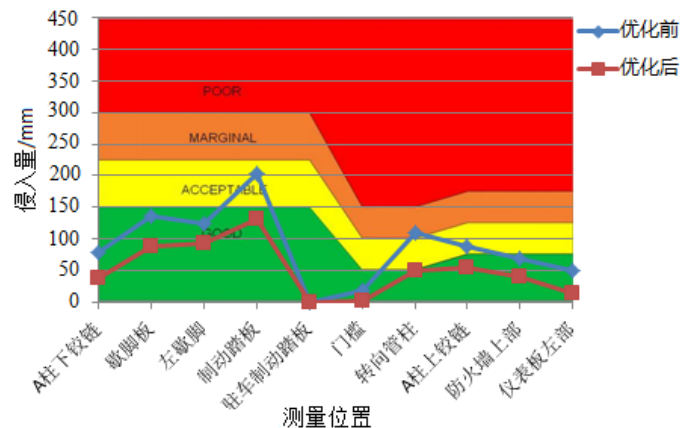


图 6 结构改进后侵入量对比

结构优化后，小重叠碰的左侧 B 柱加速度对比如图 7 所示。优化后，30ms~60ms 间的加速度有所提高，这是因为 shotgun 及 A 柱传力增大；总体加速度峰值有所降低，这是因为车体前端传力、吸能增加，轮胎挤压门槛程度降低。总体来说，优化后加速度波形有利于约束系统匹配。

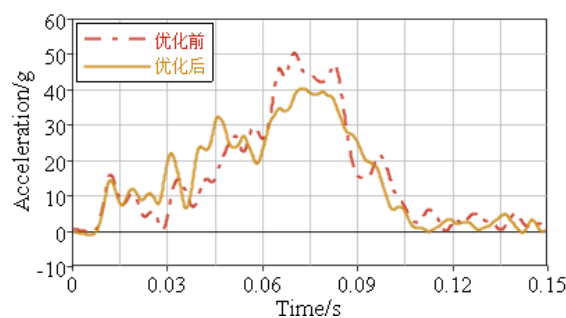
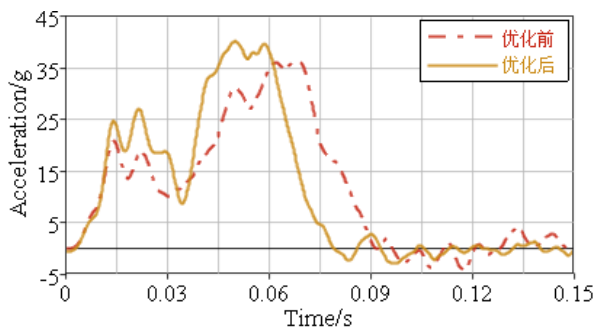


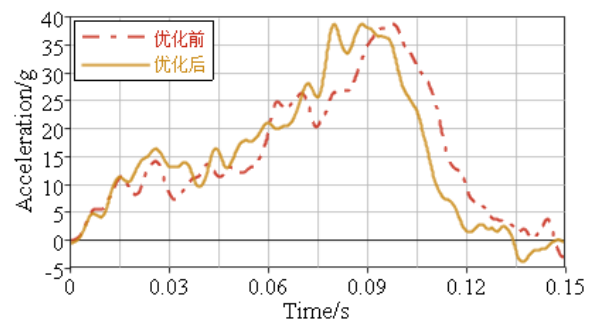
图 7 优化前后小重叠碰左侧 B 柱加速度曲线

3.2 车身安全兼容性验证

改变前机舱的结构和材料属性可能造成车体前端结构刚度的增大，使得车辆在碰撞过程中车身加速度增加。因此将优化后的整车有限元模型分别进行正碰和偏置碰，通过对比优化前后 B 柱的加速度，验证该优化方案是否满足车身安全兼容性要求。



(a) 正碰 B 柱加速度



(b) 偏置碰 B 柱加速度

图 8 优化后 B 柱加速度验证

优化前后正碰 B 柱的加速度如图 8(a)所示, 优化前后 B 柱加速度波形的变化趋势基本相同, 优化后的车体承受了更大的载荷, 导致峰值提前且略微增大; 优化前后偏置碰 B 柱的加速度如图 8(b)所示, 优化后的 B 柱加速度峰值虽有增加, 但峰值均在 40g 以下, 能够满足约束系统匹配要求。

通过对比优化前后正碰和偏置碰工况下 B 柱加速度的波形和峰值, 改进后的 B 柱加速度峰值比优化前略微增大, 但在目标范围内。因此, 上述的优化方案满足正碰和偏置碰的要求。

综上所述, 通过改进 shotgun 的结构, 优化乘员舱结构的材料和属性, 降低了小重叠碰中轿车车型乘员舱的侵入量, 并通过对正碰和偏置碰的仿真分析, 表明该优化方案同时能够满足其他两种正面碰撞工况的要求, 符合车身结构安全兼容性的要求。

4 优化方案 SUV 车型有效性验证

SUV 相比轿车, 车身更重、重心位置更高、空间布置比较宽裕。本章节将该优化方案应用于某 SUV 车型, 对比小重叠碰过程中乘员舱的侵入量以及正碰和偏置碰中 B 柱加速度的波形和峰值, 验证优化方案的有效性。

4.1 SUV 原始结构仿真分析

对该 SUV 原车进行小重叠碰仿真分析, 车体的变形以及乘员舱各部位的侵入量如图 9 和表 4 所示, 前围板、A 柱和门槛等部位的变形极大, 乘员舱变形严重, 乘员舱结构总体评级为 Poor。



图 9 车身变形情况

4.2 SUV 优化方案验证

依据上述轿车的优化方案, 对该 SUV 车型进行结构改进和材料加强, 优化后乘员舱各部位的侵入量如表 5 所示, 乘员舱各部位的侵入量明显下降, 乘员舱的结构的总体评估由 Poor 提升到 Good 等级。

表 4 原始车身结构评价

区域	侵入量/mm	等级
A 柱下铰链	242.7	Marginal
歇脚板	177.7	Acceptable
左歇脚	166.6	Acceptable
制动踏板	172.8	Acceptable
门槛	159.6	Poor
转向管柱	89.9	Acceptable
A 柱上铰链	192.8	Poor
防火墙	162.9	Marginal
仪表板	147.3	Marginal

表 5 优化后车身结构评价

区域	侵入量/mm	等级
A 柱下铰链	70.6	Good
歇脚板	70.6	Good
左歇脚	83.9	Good
制动踏板	104.8	Good
门槛	16.2	Good
转向管柱	39.4	Good
A 柱上铰链	73.2	Good
防火墙	74.7	Good
仪表板	46.0	Good

该 SUV 车型优化前后,小重叠碰的左侧 B 柱加速度脉冲对比如图 10 所示。优化后加速度脉冲略有增加,且持续时间较短。这是由于优化前该车车身较“软”,入侵较大,从而加速度波形峰值低,持续时间长。结构优化后,车身结构有所增强,从而加速度增值有所增加,持续时间变短。

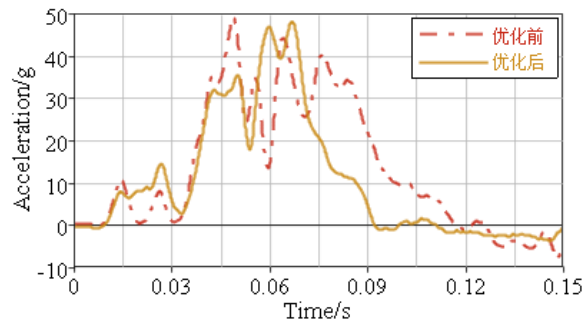
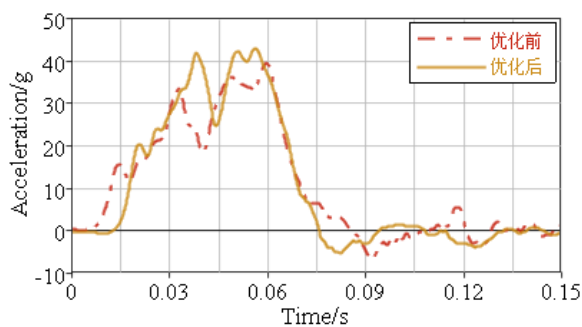
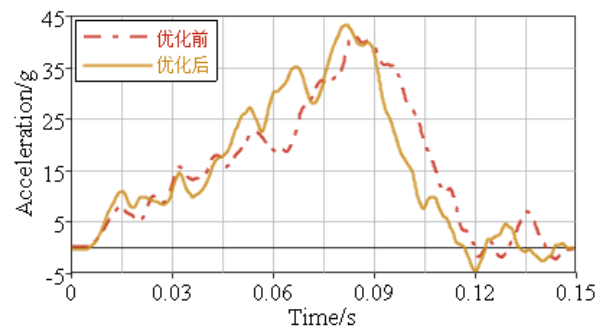


图 10 SUV 车型优化前后小重叠碰左侧 B 柱加速度曲线

将优化后的整车有限元模型分别进行正碰和偏置碰的仿真分析,对比该 SUV 在两种碰撞工况下 B 柱加速度的波形和峰值变化,验证该优化方案对于 SUV 车型的有效性。正碰和偏置碰仿真中 B 柱的加速度如图 11 所示,两工况下 B 柱加速度的波形的变化趋势较优化前基本一致,峰值略微增大,但均在目标范围内。



(a) 正碰 B 柱加速度



(b) 偏置碰 B 柱加速度

图 11 优化后 B 柱加速度验证

通过将轿车的优化方案应用于 SUV,不仅降低了小重叠碰中 SUV 车型乘员舱各部位的侵入量,使得乘员舱的结构等级提升到 Good,并且通过了正碰和偏置碰工况的验证,表明该优化方案能够满足 SUV 车型车

身安全兼容性的要求,验证了方案的有效性。

5 结论

对比正碰与偏置碰,小重叠碰由于车身与壁障重叠率低,吸能盒、纵梁等关键部件无法参与碰撞过程,乘员舱变形严重,严重威胁车内乘员安全;小重叠碰后期由于轮胎挤压门槛,其B柱加速度峰值最高。封闭且具有导向功能的shotgun、A柱及门槛加强方案适用于轿车与SUV车型,能够有效降低小重叠碰乘员舱侵入量,车身结构评级均提升到Good。车身结构优化后,三工况加速度峰值略有升高,但均在目标值以内,能够满足约束系统匹配要求。

参考文献

- [1] Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). IIHS Status Report Newsletter [R]. August 14, 2012, Vol.47, No.6.
- [2] 王丽萍,王海军. 汽车正面小重叠碰撞研究与测试成绩分析[J]. 汽车实用技术, 2014, 10: 67-69.
- [3] WANG Liping, WANG Haijun. Study and discussion for small overlap frontal crash test of a car[J]. Automobile Technology, 2014, 10: 67-69. (in Chinese)
- [4] 崔东, 谢书港, 闫晓晓, 等. IIHS40%偏置碰撞与小重叠碰撞的差别[C]// 第16届汽车安全技术学术会议论文集, 中国, 杭州, 2013: 300-306.
- [5] CUI Dong, XIE Shugang, YAN Xiaoxiao, et al. The Difference Between IIHS 40% Overlap Crash and Small Overlap Crash[C]// The 16th Conference of Automotive Safety Technology, China, HANG Zhou, 2013: 300-306. (in Chinese)
- [6] 刘珍海, 乔磊磊, 岳国辉, 等. 正面小重叠碰撞工况模拟研究与实车优化分析[J]. 汽车安全与节能学报, 2012, 3(4): 339-346.
- [7] LIU Haizhen, QIAO Leilei, YUE Guohui, et al. Simulation research and optimal analysis for small overlap frontal crashworthiness of a real car[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2012, 3(4): 339-346. (in Chinese)
- [8] 李林峰, 张卫国, 张君媛, 等. 基于25%小偏置正面碰撞的某乘用车前端结构改进设计[J]. 中国机械工程, 2015: 2400-2405.
- [9] 崔淑娟, 陈可明. 某车型小重叠碰撞仿真及车体结构优化[J]. 汽车安全与节能学报, 2014, 5(2): 139-144.
- [10] CUI Shujuan, CHEN Keming. Simulation and structure optimal analysis for small-overlap frontal-impact of a vehicle[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2014, 5(2): 139-144. (in Chinese)
- [11] 肖锋, 陈晓峰. IIHS小偏置碰撞位移导向策略与结构评估方法[J]. 汽车安全与节能学报, 2013, 4(4): 322-333.
- [12] XIAO Feng, CHEN Xiaofeng. One displacement oriented strategy and a structural assessment method for IIHS new small overlap crash tests[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2013, 4(4): 322-333. (in Chinese)
- [13] 陈可明, 胡丽娟, 胡晏殊. 国内某车型小偏置正面碰撞的全面评估[J]. 汽车安全与节能学报, 2013, 4(1): 27-34.
- [14] CHEN Keming, HU Lijuan, HU Yanshu. Small-overlap frontal-impact assessments for a vehicle made in China[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2013, 4(1): 27-34. (in Chinese)
- [15] 曹立波, 张萍, 颜凌波, 等. 在车对车碰撞条件下轿车斜角碰撞及小重叠碰撞的驾驶员损伤研究[J]. 汽车工程, 2016, 2: 174-180.
- [16] CAO Libo, ZHANG Ping, YAN Lingbo, et al. A Study on Driver Injury in Oblique and Small Overlap Crashes Under Car to Car Collision[J]. Automotive Engineering, 2016, 2: 174-180. (in Chinese)
- [17] 王翼, 杨桃. 车辆小重叠探讨[J]. 汽车工程师, 2014, 10: 13-15.
- [18] WANG Yi, YANG Tao. Small Overlap Front Crash[J]. Auto Engineer, 2014, 10: 13-15. (in Chinese)
- [19] Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). Small Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation Crash Test Protocol (Version I), IIHS secretary (S). Oct, 2012.
- [20] Insurance Institute for Highway Safety (IIHS). Small Overlap Frontal Crashworthiness Evaluation Crash Rating Protocol (Version I), IIHS secretary (S). Oct, 2012.