

Structure Design of Rear Collision on Damageability and Reparability Index Rating Protocol

Gaoke QIN^{1,2}, Jinhua SHAO^{1,2}, Huili YU^{1,2}, Taisong CUI^{1,2}, Hui^{1,2}

¹ State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, China

² Chongqing Changan Automobile Co. Ltd., Chongqing, China

Email: qyypzs@changan.com.cn

Abstract: The rear-crash box plays important role in rear-end collision test of Damageability and Reparability Index Rating Protocol. The paper simulates deformation of the rear body in trailing test by finite element method. Study the impact of rear-crash box design on low-speed rear-end collision, Provides basis improving the structure of low-speed collision vehicle body.

Key words: Damageability; rear-crash box; pole barrier; finite element method

某轿车基于能量法的后碰撞车体耐撞性及经济维修性设计

秦高科^{1,2}, 邵金华^{1,2}, 禹慧丽^{1,2}, 崔泰松^{1,2}, 赵会^{1,2}

¹ 重庆长安汽车股份有限公司汽车工程研究总院, 重庆, 401120

² 汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 401120

Email: qyypzs@changan.com.cn

摘 要: 后端吸能盒在耐撞性及维修经济追尾碰撞中有重要的作用, 因此, 本文运用 HYPERMESH 和 LS-DYNA 软件, 通过有限元的方法模拟在低速追尾碰撞中车体的变形形式, 研究吸能盒设计的对耐撞性及维修经济性的影响, 为针对低速碰撞的车体结构改进提供依据。

关键词: 耐撞性及经济维修性; 后吸能盒; 有限元法

1 引言

汽车在发生低速碰撞事故后, 事故引起的车辆损失往往由保险公司来承担。目前, 欧美国家对车辆保险评级方法主要采用 RCAR(research council for automobile repairs)进行车辆低速碰撞性能评级。汽车保险评级主要以这 RCAR 的碰撞试验的结果为依据, 再结合汽车和试验中损坏件的售价、维修工时、车辆性能等计算车辆的保险等级。2018 年中国保险协会发布了汽车安全指数(简称 C-IASI), 其中《耐撞性及维修经济性指数评价规程》也是依据 RACAR 进行设计, 该指数将作为中国汽车保险评级的重要依据。该规程主要包括正面及追尾碰撞两部分, 其中对车辆耐撞性的评价, 主要包括闭合件测量及底盘结构测量^[1]。

本文通过有限元的方法模拟轿车与刚性壁障的低速碰撞, 结合耐撞性评价指标, 研究追尾低速碰撞形式的车身结构响应, 评估零件的损坏程度, 为针对追尾低速碰撞的车体结构改进提供依据。

2 耐撞性及维修经济性指数正碰介绍

2.1 追尾碰撞试验

试验车质量为整备质量加一个 75kg 的驾驶侧假人; 移动壁障与试验车辆的重叠量为后部车辆宽度的 40%; 移动壁障纵轴和试验车辆的纵轴夹角为 10°; 试验速度为 15km/h; 移动壁障的质量为 1400kg。试验如图 1 所示:

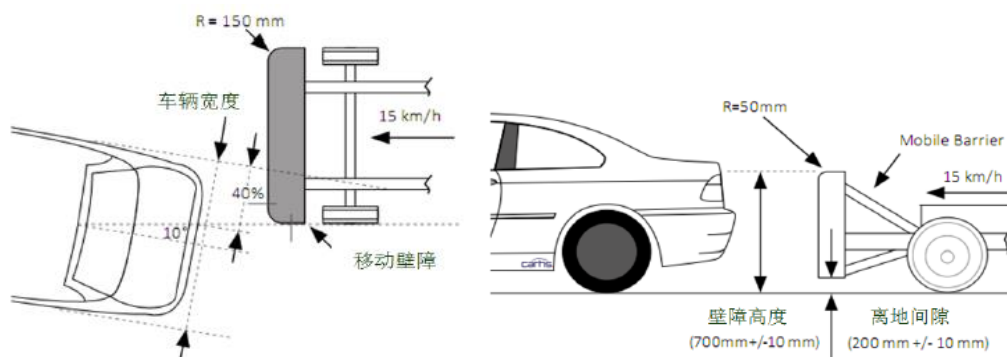


Figure 1 Diagram of low-speed rear-end collision

图 1 低速结构追尾碰撞示意图

2.2 耐撞性评价介绍

评价主要分为两个方面：(1) 闭合件间隙测量，当所有测量点的最大变形量 $\leq 2\text{mm}$ 且变形后间隙 $> 0\text{mm}$ 时，得 3 分；每当存在 1 个测量点的变形量 $> 2\text{mm}$ 或者变形后间隙 $\leq 0\text{mm}$ 时，则得分减去 0.5 分，即为 2.5 分，依次累计，本项最低分为 0 分；(2) 底盘结构变形测量，当所有测量点的最大变形量 $\leq 3\text{mm}$ 时，得分为 3 分；当没存在 1 个测量点的变形 $> 3\text{mm}$ 时，得分减去 0.5 分，即为 2.5 分，依次累计，当单个测量点的变形量每增加 3mm，则再减去 0.5 分，本项最低分为 0 分^[1]。

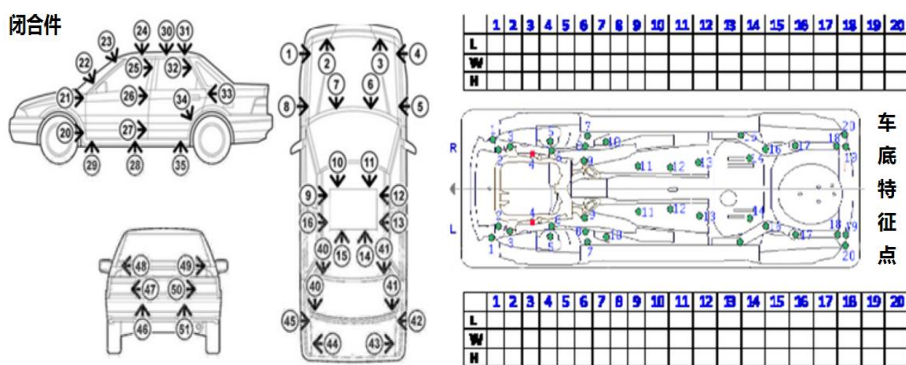


Figure 2 crashworthiness evaluation point

图 2 耐撞性评价测量点

3 耐撞性追尾模型建立

按照 C-IASI 中耐撞性及维修经济性指数的要求，基于 LS-DYNA 进行整车仿真建模的搭建，模型包括白车身、闭合件、底盘等，单位制为 mm-ms-kg。

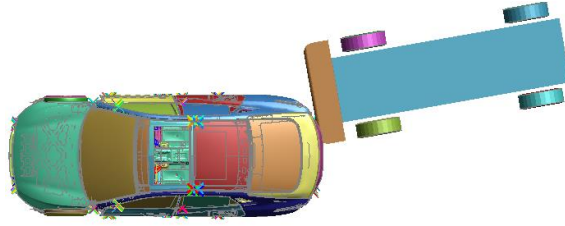


Figure 3 rear-end model

图 3 追尾模型建立

3.1 吸能盒吸能计算

吸能盒在设计时需要考虑撞击许可力的限制，当吸能盒受到的撞击力超过测定的许可值，在低速碰撞的过程中，过大撞击力将传递到后纵梁等吸能盒以外的部件，造成与其相连接部件的损坏，增加维修费用；如果吸能盒的撞击力小于许可值，并且其较好的吸收低速碰撞的全部动能，那么车辆除吸能盒以外的其他车体结构不会发生破坏，这些结构也不需要产生塑形变形来吸收剩余的碰撞动能，从而降低维修费用^{[2][5]}。

在耐撞性及维修经济性追尾试验中，要满足地板、纵梁、侧围不变形，就是说要在碰撞壁障与其接触前，碰撞结束。根据公式（1）、（2）可计算车辆需要的吸收的能力 G 。

$$m_t v_0 = (m_t + m_s) v_1 \quad (1)$$

$$G = \frac{1}{2} m_t v_0^2 - \frac{1}{2} (m_t + m_s) v_1^2 = \frac{1}{2} m_t v_0^2 - \frac{1}{2} (m_t + m_s) \left[\frac{m_t v_0}{m_t + m_s} \right]^2 \quad (2)$$

式中 m_t 为碰撞台车质量 1400kg； v_0 为台车初始速度； m_s 为试验车质量 1600kg； v_0 为碰撞台车的初速度 15km/h， v_1 为碰撞结束后台车及试验车速度。根据式（2）可得车辆吸收的能量 $G=6482J$ 。

3.2 吸能盒吸能设计优化

要保证除防撞横梁和吸能盒损坏，其他零部件不损坏。就要保证吸能盒吸收车辆的大部分能量。在碰撞过程中后纵梁承受的最大冲击力为 93.7kN，材料发生屈服变形，因此，要保证后纵梁不被破坏，吸能盒作用力应小于 93.7kN，考虑 1.3 的安全系数，吸能盒承受最大作用力为 72.1kN。将吸能盒作为一个弹簧结构设计^{[3][4]}，则：

$$G = FS \quad (3)$$

式中： F 为弹簧的作用力； S 为弹簧的压缩距离。

根据上式计算出所需的吸能空间 $S=90mm$ 。吸能盒在轴向压溃过程中会产生堆栈，大约占压溃距离的 19% 以上，则吸能盒实际需要长度为 107.1mm。因此原方案的吸能盒长度不满足吸能的要求。如图 4 所示，base 方案在碰撞后后纵梁发生较明显的变形，后期需要较高的维修成本，且底盘变形较大。从 base 方案的变形来看，吸能盒因的截面尺寸比后纵梁要大，在碰撞中易出现偏转。需要对吸能盒的截面进行修改。通过理论分析及分析结果结合，case 方案的吸能盒按照下图所示设计，吸能盒长度在 base 基础上延长 20mm，增加到 100mm 以上，截面进行缩小，与后纵梁截面尺寸相当。

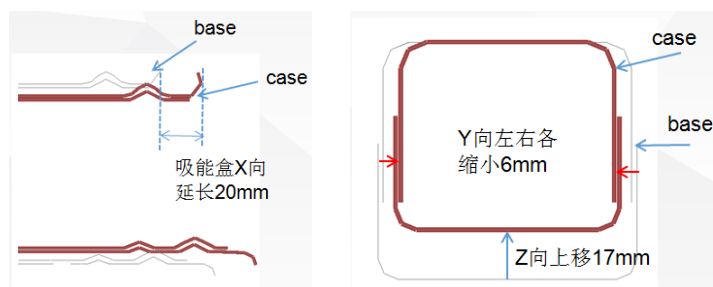


Figure4 energy absorption box optimization

图 4 吸能盒优化方案

4 分析结果对比

4.1 底盘变形

如图 7 所示，base 方案中碰撞侧由于吸能盒在碰撞后未能完全吸收能量，后纵梁出现明显的变形，如表 1 和表 2 所示，底盘位移中碰撞侧测量点 15 至 20 都超过 3mm，底盘得分为 0 分；经过优化后，车辆底盘变形明显减少，碰撞侧底盘位移均小于 3mm，非碰撞侧底盘扣 0.5 分，底盘变形得 2.5 分

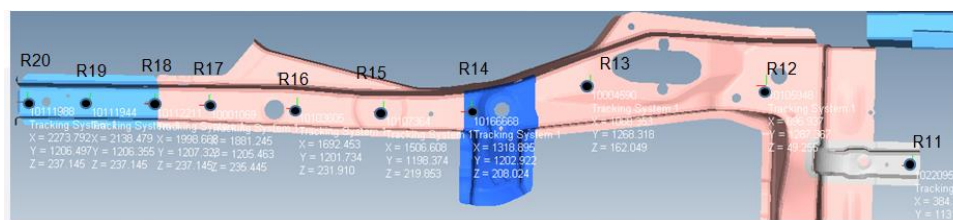


Figure5 crash side deformation

图 5 碰撞侧底盘变形测量点

Table 1. crash side deformation

表 1 碰撞侧底盘变形测量

区域	碰撞侧									
测量点	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Base	0.43	1.08	2.16	2.96	3.73	4.93	7.03	9.03	10.42	66.02
扣分	0	0	0	0	-0.5	-0.5	-1	-1.5	-1.5	-11
Case	0.36	0.69	1.33	1.42	1.38	0.87	1.65	1.36	1.82	2.14
扣分	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

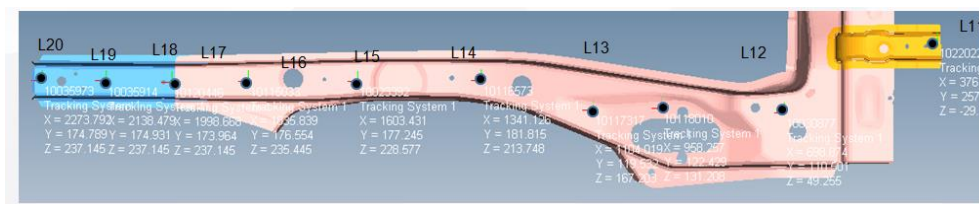


Figure6 no-crash side deformation

图 6 非碰撞侧底盘变形测量点

Table 1.no- crash side deformation

表2 非碰撞侧底盘变形测量

区域	非碰撞侧									
测量点	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Base	0.28	0.29	0.46	0.93	1.22	1.28	1.39	2.20	8.15	4.66
罚分	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-0.5
Case	0.04	0.05	0.25	0.27	0.18	0.28	1.55	1.89	2.88	3.43
罚分	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5

4.2 其他零部件的变形

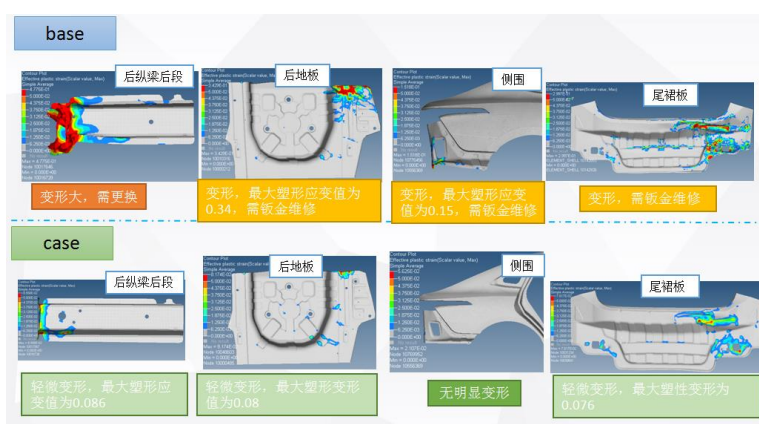


Figure7 other parts deformation

图 7 其他零部件变形

在追尾低速碰撞中，后裙板、侧围、纵梁、地板的变形均影响维修成本，通过优化后吸能盒，能够有效的降低这些零件的变形，从而减少维修成本。

5 结论

本文根据中国保险协会汽车安全指数中关于《耐撞性及维修经济性指数评价规程》要求，建立了低速追尾碰撞有限元模型，通过仿真结果的对比分析表明：通过对后端吸能盒的优化，能够使耐撞性中底盘的变形量有明显的改善。

本文的研究可为我国开展中国保险协会汽车安全指数中关于《耐撞性及维修经济性指数评价规程》提供依据，同时为汽车设计者针低速正面碰撞的车身结构改进提供一些参考和帮助。

参考文献

- [1] China Insurance Association. Damageability and Reparability Index Rating Protocol,2017.
中国保险协会. 耐撞性与维修经济性指数评价规程 2017 版.
- [2] Xianling CHEN,Peng YUE,Kai ZHANG, Low-speed Crash Performance Design for Automobile Based on RCAR Test, Auto Engineering,2009.12.
陈现岭,岳 鹏,张 凯. 基于 RCAR 试验的汽车低速碰撞性能设计, 汽车工程, 2009, 第 12 期.
- [3] Jack Ribbens,John Gane,Costa Kaskavaltzis,Charles Sollars Designing for Insurability:Best Practices to Achieve Lower Vehicle Repair Costs.SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2004-01-1774.
- [4] Ming QU,Yanjie LIU,CHunyan XIA,Xiaoyang LI, Simulation and Analysis in Low-speed Impact, Applied science,2008.08

- 曲明, 柳艳杰, 夏春艳, 李晓阳. 吸能盒在低速撞击情况下的仿真与分析. 应用科技, 2008, 第 8 期.
- [5] Jin SHI, Rongying QIU, Key Factors Identification of Car Low-speed Crash, Automotive Safety, 2014.11.
石锦, 邱荣英, 汪霞, 徐凯, 卢宇峰. 汽车低速碰撞模拟中的关键因素识别, 汽车安全, 2014 年, 第 11 期.
- [6] Guohua QIU, Reserch on Calculation Method of Vehicle Collision Energy Absorption Zone in Car Distribution, Shanghai Automotive, 2016.11.
邱国华. 基于能量分配的车身正面碰撞吸能区计算方法研究, 上海汽车, 2016 年, 第 11 期.
- [7] XIE Su-chao, ZHOU Hui. cotrastive analysis and crashworthiness optimization of two composite thin-walled structrues, journal centrak south university, 2014 年 11 期.
- [8] Huifeng ZHOU, Bihao LI, Dazhi WANG. Energy Storage Box Structrue DFSS Robust Design Analsis, Shanghai Automobile, 2016, No.4.
周会锋, 李碧浩, 王大志. 前保吸能盒结构 DFSS 方法稳健性设计解析, 上海汽车, 2016 年, 第 06 期.
- [9] Weiguo LIU, Yunkai GAO, Qifei GUO. the theory of collision resisitance. 2015.05.
刘卫国, 高云凯, 郭其飞. 基于耐撞性的车身轻量化设计, 机械设计, 2015 年 05 期.
- [10] Jiqing CHEN, Bingjie ZHENG, Fengchong LAN. SORA Method for Automotive Crashworthiness Optimotion, Automotive Engineerin, 2014.11.
陈吉清, 郑炳杰, 兰凤崇. 基于 SORA 方法的汽车耐撞性优化, 汽车工程, 2014 年 11 期.
- [11] Zhiyuan HU, Yongfu LIANG, Xi LIU, Lin ZHOU. Research on Frontal Crashability and Lightweight of A Vehicle, Technology and Engineering, 2016.05.
胡志远, 梁永福, 刘西, 周林. 某车型正面碰撞性与轻量化研究, 科学技术与工程, 2016 年 05 期.
- [12] Liqiang GU, Yixi ZHAO, Zhongqin LIN. Research on Crashworthiness Design of Bumper, Mechanical Design and Research, 2001.03.
顾力强, 赵亦希, 林忠钦. 轿车保险杠耐撞性结构设计的研究, 机械设计与研究, 2001 年 03 期.
- [13] Zhaokai LI, Qiang YU, Xuan ZHAO. Crashwrothiness and Lightweight Optimization of Low-speed, China Road Joumal, 2016.10.
李兆凯, 余强, 赵轩, 陈俊杰. 前部结构低速碰撞耐撞性与轻量化优化中国公路学报, 2016 年 10 期.
- [14] Shuqin CHEN, Liqiang ZHOU, Effects of Material Properties of Thin-walled Metal Element, Mechanical Research and Application, 2015.01.
陈淑琴, 周利强. 材料特性参数对金属薄壁元件耐撞性的影响, 机械研究与应用, 2015 年 01 期.
- [15] Xiuhui SHAO, Xichan, ZHU, Zhixiong MA. Conceptual Design Simulation of Body Structure Crashworthiness, Automotie Engineer, 2010.01.
邵秀辉, 朱西产, 马志雄. 车身结构耐撞性的概念设计仿真, 汽车工程师, 2010 年 01 期.