

Study on Rear-crash Safety of Passenger Cars

Jingguo Hu, Liwei Xu, Shenrong Wu, Haihong Zhang

(Chery Automobile Co., Ltd, Wuhu, 241009)

Abstract: A simple dynamic model for the rear impact of the passenger vehicle is investigated. The theoretical assessment and the principles of structural safety design for rear impact are studied, and applied to a new car development. The results of finite element simulation shows that the rear impact performance of the vehicle satisfies the safety requirement by GB 20072.

Keyword: passenger car, rear impact, structure design, early stage design

乘用车后部碰撞安全的初步研究

胡经国, 徐立伟, 吴沈荣, 张海红

(奇瑞汽车股份有限公司, 241009, hujingguo@mychery.com)

摘要: 针对乘用车后部碰撞安全性能的要求, 研究了乘用车后部碰撞的简易力学模型。从中寻找车型开发时前期布置的理论条件, 以及后部碰撞安全结构设计的原则与要点, 并应用于某款新车型的开发中。有限元数值模拟的结果表明该车型的后部碰撞安全性能完全满足国标的要求。

关键词: 乘用车, 后部碰撞, 结构设计, 前期布置

1 前言

作为道路交通事故中的一种主要形态, 车辆后部碰撞虽然不像正面碰撞那样容易对车内乘员造成直接的伤害, 但是由于碰撞过程中及碰撞后存在车辆燃油泄漏的风险, 最终引发汽车火灾, 导致车内乘员出现重大伤亡的灾难性后果。有鉴于此, 中欧美三大法规体系都有各自的后碰法规。后碰标准的执行有力地推动了汽车被动安全设计的发展, 目前, 各大汽车制造厂在新车开发过程中, 都已致力于研究满足后部碰撞安全的相关要求。

2 后碰安全性能评价与结构设计

2.1 后碰安全性能评价

由于乘用车的燃油系统一般布置在车体中后部, 因此后碰标准主要检验乘用车发生后碰时燃油系统的安全性能, 避免燃油泄漏引起火灾。中欧美三大法规体系的侧重点都在燃油系统安全性上, 但欧标考察燃油系统的同时也考察后部的结构。新 Euro NCAP 推出了挥鞭伤评估, 将后部碰撞安全往前推动了一大步, 把人体头部、颈部的损伤值纳入考察中。

要确保燃油箱的安全, 一是避免其受到严重挤压, 二是避免受到尖锐物体扎到燃油箱。

2.2 车体后部结构中碰撞力的传递途径

从碰撞安全的角度来看, 车辆后部一般可以分三个区, 但笔者认为后部碰撞存在一个不确定的因素, 所以增加了一个 X 区 (如图 1 所示), 以求更明确的研究车辆的后部碰撞过程及性能。A 区是油箱区, 在碰撞结束后应该保证该区的完整, 所以刚度要求较高; B 区比较复杂, 集中了后桥、后悬架、后车轮轮辋等一些底盘件, 此区的局部刚度较大, 可以认为这一区不会变形; C 区为缓冲吸能区, 应该利用该区的永久变形来吸能以防止能量往前传递, 在后部碰撞中发挥了最重要的作用。X 区的不确定性在于碰撞过程中它的运动存在不确定性, 将会不同程度的减小 C 区的有效行程。

一般来说, 在后部碰撞过程中存在四条比较明显的传力路径, 即后纵梁、后车轮传向后门槛的两条路径。美标偏置后碰中会有一侧的两条路径的传力作用变得非常弱。在美标后碰中设计者一般会通过加强后保横梁来加强力向弱侧的转移, 但是一般的加强未必能达到所期望的效果, 可以考虑如何利用备胎等装置巧妙增加传力路径。

2.3 车体后部的总布置原则

通过上述区域划分及传力路径的解释, 不难看出在设计前期总布置时应该注意的一些简单的原则:

1. 副车架或扭转梁应该与燃油箱之间有一段距离, 如果能在 Z 向上与燃油箱、后备胎错开最好;
2. 后备胎应尽量选用窄胎或前方上翘, 保证其在碰撞过程中不会挤压副车架及燃油箱;
3. 如果有副车架, 应该尽量将其布置在 B 区以内, 不要再侵占 A 区或 C 区的空间;

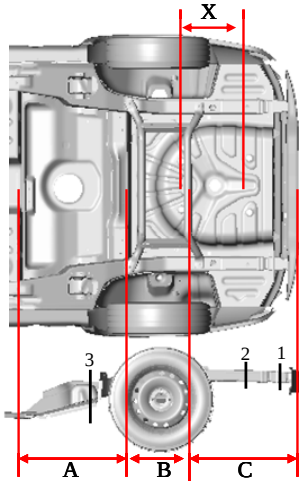


图1 车体后部结构区域划分



图2 后碰过程中力的传递途径

3 后碰简化物理模型的初步研究

3.1 后碰简化物理模型

首先以图3为例看一下普通的单自由度的力学模型，由达朗贝尔线性动力学原理可知：

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (1)$$

因为整车碰撞是一个瞬态大变形，阻尼的迟滞性使我们可以先不考虑这一项在碰撞过程中的影响，同时在碰撞过程中弹性系数是非线性的，而真正区分后部碰撞与前部碰撞的是在这个力学模型的两端都没有固定端，两端都是自由的。通过上述的简化与改变，最终的一维后碰力学模型应如图4所示

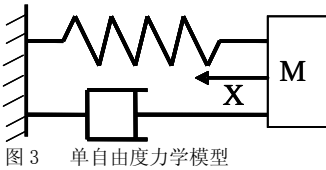


图3 单自由度力学模型



图4 一维后碰力学模型

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + F_{(L)} = 0 \\ m_2\ddot{x}_2 - F_{(L)} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

在这个模型中，因为两端都是自由的，对求解带来一定困难，因此要做一些限制条件。当两端的速度达到相同时，会处于反弹的临界，这个时间点设为 t ，求解便在这个时间段以内进行。

假设碰撞过程中 M_1 的位移为 S_1 ，平均加速度为 a_1 ， M_2 的位移为 S_2 ，平均加速度为 a_2 ，初速度为 v_0 (法规输入)，两者在 t 时刻的共同速度为 v_t ，弹簧变形量为 L ，则

$$S_2 = S_1 + L \quad (3)$$

$$S_1 = \frac{1}{2}a_1t^2 \quad (4)$$

$$S_2 = v_0t + \frac{1}{2}a_2t^2 \quad (5)$$

从车辆后部结构中可以看出：可变形的空间十分有限，A区的可变形空间为副车架与燃油箱的距离及燃油箱本身允许的轻微变形，设为 i ；B区的轮圈为不变形区；C区是主要的变形区，设为 l 。一般认为后部结构的可变形距离为 $l+i$ ，但这样是不全面的，如果后备胎受到挤压只是往前平动的话，其轮圈为不可变形区，必然会减小C区的有效空间，因此增加一个 x 。后部碰撞的整个变形距离的为 $L=a(l-bx)+i$ 。 a 、 b 为常数，一般根据经验给出。

可以估算出移动障碍壁与被撞车辆在后部碰撞中的平均加速度与后部空间的关系。

$$a_2 = \frac{v_tv_0 - v_0^2}{2a(l-bx) + 2i} \quad (6)$$

$$a_1 = \frac{v_tv_0}{2a(l-bx) + 2i} \quad (7)$$

根据法规的输入项和动量守恒,可以较容易得到两车达到的共同速度 vt 。这样就可以初步规划后部碰撞的平均加速度及相应的后部空间。其中 X 区应巧妙设计,以达到充分利用后部有限的空间,所以说备胎的选择与布置在后碰中比较重要。

在前期概念设计阶段,由此平均加速度来构建合理的加速度波形,以及推算出后部结构各个部分的局部刚度,本文不再多加论述。在后部碰撞中还有两个问题,一是如何构建燃油箱、绑带及车体三者组成的力学模型,二是碰撞过程中的燃油箱及燃油的流固耦合问题。这两个问题的研究虽然也有益于后部碰撞安全的进行,但其更倾向于数值模拟本身的精度需要,对整车后部的总布置及结构设计影响有限。

3.2 后碰简化物理模型的应用

上述物理模型简单地表达出了整车后碰过程中加速度与碰撞空间的关系,但在实际的新车开发中缺少明确的加速度目标值,不知道在整车后碰中车辆应该具备怎么样的加速度曲线。

新 Euro NCAP 推出了挥鞭伤评估,其中的动态评估部分是在座椅上施加低,中,高三个强度的台车加速度曲线,来考察人体头部,颈部的损伤值。这三条曲线的来源我们不关心,但其既然作为考察座椅的输入项,我们可以认为是整车后碰中的车辆加速度曲线,以达到整车后碰研究与挥鞭伤研究的统一。

以国标为例,根据挥鞭伤的加速度曲线,我们将后碰平均加速度的目标值设定在 $12 \pm 3g$,然后根据前面的公式对后碰空间求解,可以得到后部空间相关的尺寸,再结合整车长度等其他整车性能的需求确定出最终的后碰空间相关尺寸: $i=40mm$, $l=580mm$ 。

4 后部碰撞具体案例

笔者在参与的某款车型开发中,与设计工程师共同努力,在前期设计时自觉应用了第二节中论述的一些总布置原则,并从结构上满足了第三节中提到的尺寸要求。该款车型在整个开发过程中的第一轮设计与验证中便基本达到了国标后碰的要求,从而节省了大量的开发与费用。

4.1 整车后部碰撞仿真建模

建立基于 LS-DYNA 的整车有限元模型,对需要关心的数据建立输出项,严格按照 GB20072 的工况进行边界条件的输入,进行仿真分析。

4.2 后部碰撞安全性能分析

虽然法规标准主要考察燃油系统的安全性,但它与后部的结构是相辅相成的,所以分析后部的结构必不可少。

通过初步分析碰撞结果可以发现,燃油系统安全,整个后部结构稳定,变形区域集中在车辆最后段。该车型的吸能盒、后纵梁溃缩良好,吸能充分,燃油箱周围结构基本无变形,达到了后部碰撞安全性的要求。

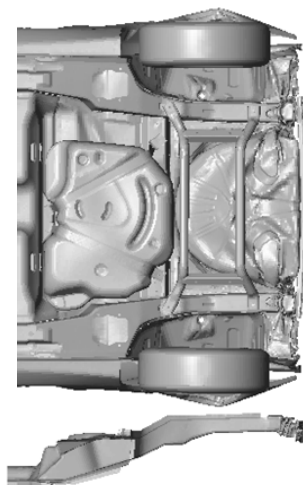


图5 车体后部结构变形图

4.2.1 燃油系统的安全性

燃油系统的安全性是整个后部碰撞的重中之重。该车型在碰撞后,燃油箱区域基本没有变形,为燃油系统提供了保护空间,副车架及后备胎没有侵入此空间,避免了燃油箱受到挤压与尖锐物体的扎破。整个碰撞过程中,燃油箱只受到绑带的拉力,其体积变化控制在 2% 之内(图 6 所示),燃油系统非常安全。

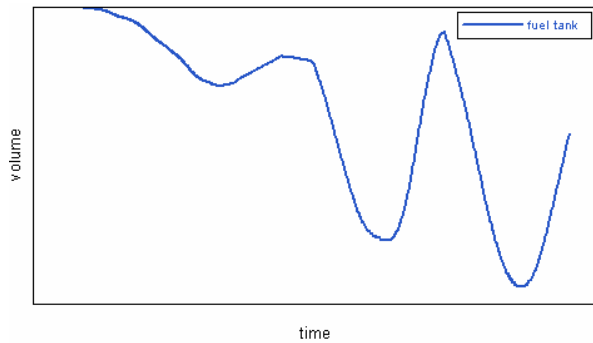


图6 油箱体积变化曲线图

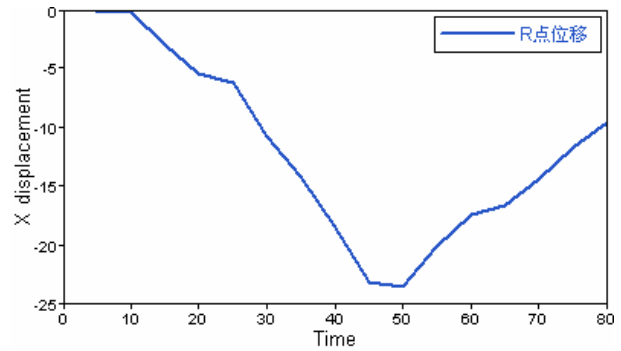


图7 后排R点侵入量

4.2.2 结构安全性

车辆后部结构合理，C区变形充分，压溃模式良好，充分吸收能量，起到了缓冲的作用；A区结构强壮，特别是后纵梁，虽然此段由平直向下弯曲过度，但此段内部加强板的设计使其局部刚度足以支撑燃油箱的空间不受压缩，并为后纵梁末段的变形提供了坚实基础，没有扰乱后部结构的变形次序。

后排座椅R点的侵入量能比较直观的反映后碰过程中的结构问题，欧洲法规的要求是在38km/h的撞击速度下，R点侵入量不超过75mm。虽然国标无此要求，但可以借鉴来判断新车型的后部结构安全性。图7是在国标工况下的R点侵入量。

4.2.3 后纵梁截面力及车身B柱加速度

在新车型开发或车型改进过程中，除了关注最终的碰撞结果外，还要关心后纵梁的截面力及车体的加速度，这两个考察项会直接向我们显示碰撞的本质及改进的方向。

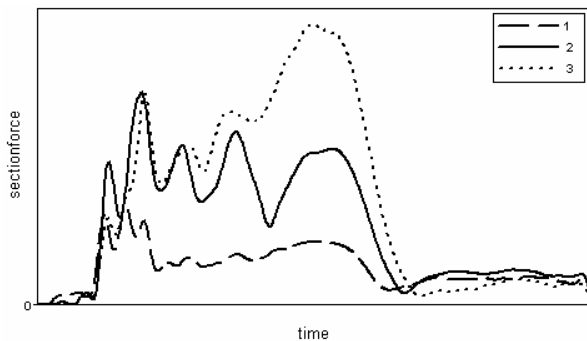


图8 后纵梁截面力曲线图

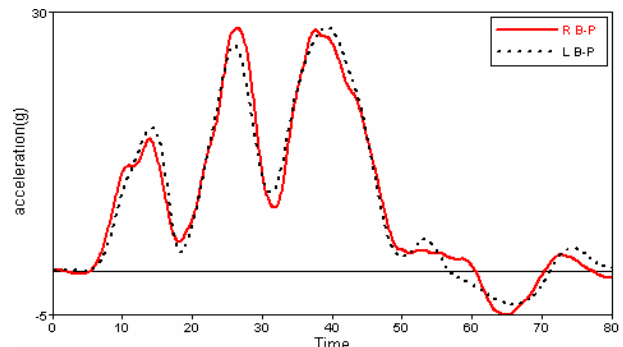


图9 车身B柱加速度曲线图

按照图1中所示位置提取截面力，并滤波得到图8所示的曲线。三个位置的截面力都表现出了各自位置应有的特征。传力流畅又溃缩有序，整体刚度与局部刚度兼顾，特别是变形模式良好，以溃缩为主，没有出现扭、弯的变形。特别是2号位的受力图，是一种理想的薄壁直梁件撞击力曲线。

由于燃油箱在较低的加速度环境下能够更好的保证自身的完整性，因此较低的加速度水平有利于后部碰撞安全性能的提升。车辆B柱加速度响应波形如图9所示，能与截面力相互印证。

5 结论

文中主要针对车辆后部碰撞安全性能的要求，建立了整车后部碰撞的简易力学模型，找到了后碰加速度与整车后部空间的简单关系，并将这一理论应用于某款车型的研发当中，取得了不错的效果。

参考文献

- [1] 朱西产. 汽车车身结构碰撞性能的实验研究. 汽车技术, 1999(4)
- [2] 张维刚, 钟志华. 非线性动态有限元碰撞仿真分析技术的工程应用研究 计算机仿真 2002(3)
- [3] 全国汽车标准化技术委员会. 乘用车后碰撞燃油系统安全要求 GB20072-2006
- [4] 王鹏翔, 阵超卓等. 防挥鞭伤安全座椅的初步研究. 2009 中国汽车安全技术国际研讨会
- [5] 杨志刚, 叶平等. 乘用车后碰撞安全模拟与结构设计研究. 汽车工程, 2008(11)