

The Preliminary Study of Car-to-Car Frontal Collision

Liwei Xu, Shenrong Wu, Hongmiao Wang, Jingang Tu

Automobile Engineering Research Institute, Chery automobile co., LTD, Wuhu, China

Email: wanghongmiao@mychery.com

Abstract: The current frontal impact standards are defined and abstracted from traffic accidents. The vehicle crashworthiness is evaluated by vehicle to barrier impact test. This can reflect the safety performance of vehicle in some way. In fact, impacts occur mostly between vehicles. So the study of vehicle-to-vehicle impact is important and has been a focus point. In this paper, two cars (A & B) with good crashworthiness in frontal rigid wall impact are studied by computer simulation, including impact between A to A, B to B, and A to B respectively. The differences in deformation, energy distribution, crash pulse, etc. are compared. The results of impact with velocity of 50km/h show that there is no significant difference between car-to-barrier impact and car-to-car frontal collision.

Keywords: car-to-car collision; momentum; energy; velocity; displacement; acceleration

车—车正面碰撞性能的初步研究

徐立伟, 吴沈荣, 王洪苗, 涂金刚

奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 中国, 241006

Email: wanghongmiao@mychery.com

摘 要: 目前的碰撞标准是从碰撞事故中统计抽象出来的, 以车对壁障的碰撞试验作为评价依据, 能在一定程度上反映车辆的安全性能。但真实的碰撞大多是发生在车与车之间。因此, 车—车碰撞是国外目前研究的重点和热点之一, 而国内关于这方面的研究还少有报道。本文以两款刚性墙正碰性能较好的车辆为基础, 用计算机分别模拟这两车的自身正面对撞和相互正面对撞, 比较变形模式、变形量、能量吸收、加速度等与壁障碰撞的差异。碰撞速度为50km/h的研究表明, 在理想化的车—车正面碰撞条件下, 车辆的碰撞性能与壁障碰撞性能的差异不大。

关键词: 车—车碰撞; 动量; 能量; 速度; 位移; 加速度

1 引言

汽车碰撞中正面碰撞是发生率较高的一种碰撞形式, 研究正面碰撞有着重要的意义。对于正面碰撞, 现行的安全法规与标准, 为了实现试验结果有一个统一的衡量标准, 都采用车辆碰撞刚性壁障或者可变形壁障的方法来对比相对的车辆安全性。而现实的交通事故大多是车辆与车辆相互碰撞。车-车碰撞与车辆碰撞壁障之间差别到底有多大, 是否可以用车辆碰撞壁障的试验方法来替代或者近似模拟车-车碰撞的结果; 另外, 不同大小和质量的车辆在相互碰撞的过程中, 怎么才能两者兼顾, 既不出现大车“恃强凌弱”, 小车又能自我保护。这都是值得深入研究的课题。

本文通过计算机模拟的方式, 研究车辆撞击刚性壁障、相同车辆等速互相碰撞、不同车辆等速相互碰撞几种形式, 对碰撞过程中的速度、加速度、结构变

形等进行比较, 寻求车-车对撞与车辆碰撞刚性壁障之间的区别与联系, 为车辆碰撞相容性设计打下基础。

2 碰撞机理

车与车的碰撞包括多种碰撞形式, 这里只考虑前部碰撞中两个车之间的正碰这种相对简单的形式。但针对设计所遇到的问题还是很复杂的。在正碰中首先要搞清楚碰撞的机理, 比如动量和能量守恒原理以及计算能量分布的方法等。

2.1 动量守恒^[1]

假设把动量守恒原理应用到车辆的正碰上, 有利于研究它们的运动学关系。假设碰撞过程是理想的塑性变形过程, 而且碰撞后车辆作为一个刚性体而运动。也就是说, 下面的动力学方程只有在两车获得共同速度时才有效, 同时假设在碰撞过程中没有塑性卸载或

者加载的发生。

假设 v_1 和 m_1 分别是重车的速度和质量， v_2 和 m_2 是轻车的速度和质量， V_f 是碰撞后的共同速度，则

$$V_f = (m_1 v_1 + m_2 v_2) / (m_1 + m_2) \quad (1)$$

从下面的公式可以看出， V_f 有助于计算碰撞中速度的变化，是一个反映车辆碰撞严重程度的指标。

$$\Delta v_1 = V_f - v_1, \Delta v_2 = V_f - v_2 \quad (2)$$

上式给出了在 $\mu = (m_1/m_2) > 1$ 时，速度变化率的表达式。速度变化率和质量变化率之间的关系为

$$|(\Delta v_2 / \Delta v_1)| = (m_1 / m_2) = \mu \quad (3)$$

因此，轻车的速度变化量要比重车的速度变化量大，因而它的变形量比刚性壁障或者可变形壁障也要大。

特别地，当 $v_2 = -v_1 = v_0$ 时，方程（1）将变为

$$V_f = [(m_1 - m_2) / (m_1 + m_2)] v_0 \quad (4)$$

因此，当 $m_1 = m_2$ 时， $V_f = 0$ 。当 $m_1 \neq m_2$ ，也就是 $\mu = (m_1/m_2) > 1$ 时，

$$V_f = [(\mu - 1) / (\mu + 1)] v_0 \quad (5)$$

一般情况下，把 V_c 定义为碰撞前两车接触速度的差值，即 $V_c = v_1 - v_2$ ，方程（2）可以写成如下形式：

$$\Delta v_1 = V_c / (\mu + 1) \quad (6)$$

$$\Delta v_2 = [\mu / (\mu + 1)] V_c$$

2.2 能量守恒^[1]

此外，根据能量守恒定律，在车辆碰撞中，两车所吸收的总能量按如下公式计算

$$E_{def} = 1/2 * [(m_1 m_2) / (m_1 + m_2)] V_c^2 \quad (7)$$

因此，变形能与两车的重量和接触速度有关。

方程（6）也可以用 μ 和 m_2 写成如下形式：

$$E_{def} = 1/2 * [m_2 \mu / (1 + \mu)] V_c^2 \quad (8)$$

3 车辆碰撞工况

研究选取两个车型A和B，分别进行A、B分别撞击刚性墙，A自身对撞，B自身对撞，A与B对撞五种工况。

为了便于叙述，将以上工况分别简写为A-RW，A1-A2，A3-B3，B-RW，B1-B2。其中A、B为碰撞刚性墙的车型A和车型B的代号；RW为刚性墙的简写；A1、A2为车型A相互对撞的两车代号；B1、B2为车型

B相互对撞的两车代号；A3、B3分别为车型A与车型B相互对撞的两车代号。

车辆撞击刚性墙的速度为50km/h，与墙面保持90度角，如图1；车-车相撞中两车的速度均为50km/h，方向相反，100%正面碰撞，如图2。

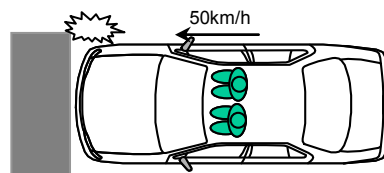


Figure 1. Frontal rigid wall impact

图1. 车辆撞击刚性壁障示意图

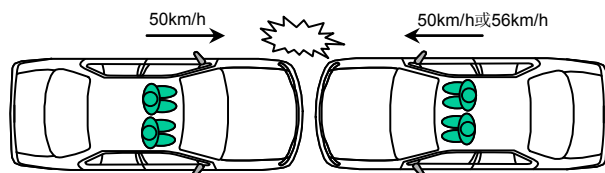


Figure 2. Car-car impact

图2. 车-车相撞示意图

另外，为了研究速度和能量关系，还计算了车型A与车型B的不等速对撞（简记为A4-B4），即将A3-B3中车型B的速度提高到56km/h，如图2。

车型A的整备质量为1200kg，车型B的整备质量为1450kg。另外车辆前排增加两个HybridIII假人，A车总重 m_A 为1356kg，B车总重 m_B 为1606kg。

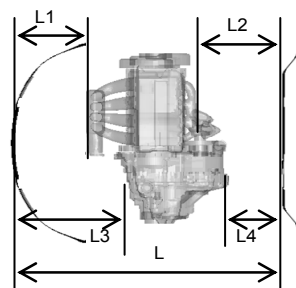


Figure 3. Crash space

图3. 碰撞空间示意图

Table 1. Crash space

表 1. 碰撞空间

车型 \ 距离(mm)	L	L1	L2	L3	L4
A	1071	379	185	464	65
B	1172	414	149	533	170

图3和表1为两个车型的碰撞空间。车辆撞击刚性墙的碰撞空间由动力总成的最前端到前保的距离决定；车-车碰撞为动力总成相对位置决定，即同侧的变速箱与发动机的相对距离。理论上车-车碰撞的有效变形空间稍大于车辆撞击刚性墙。

4 模拟结果对比研究

4.1 车辆的运动特性

4.1.1 速度比较

在A1-A2工况中，A1和A2的质量相同，即 $m_1 = m_2$ 。根据公式(4)，理论上两者共同速度 $V_f = 0$ 。通过仿真模拟，如图4，两车在约54ms达到共同速度0.004mm/ms，接近0。

在B1-B2工况中，B1和B2的质量相同，即 $m_1 = m_2$ 。根据公式(4)，理论上两者共同速度 $V_f = 0$ ；通过仿真模拟，如图4，两车在约64ms达到共同速度0.05mm/ms，接近0。

在A3-B3工况中，A3和B3的质量不相同，即 $m_1 \neq m_2$ 。根据公式(4)计算，理论上两者共同速度 $V_f = 1.18\text{mm/ms}$ 。通过仿真模拟，如图5，两车在约60ms达到共同速度1.24mm/ms，与理论值比较接近。

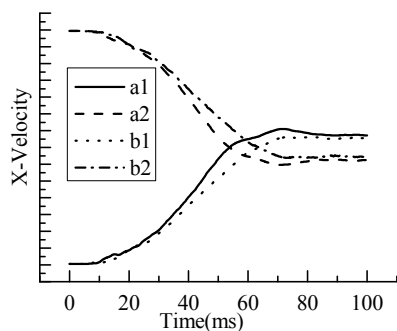


Figure 4. Velocity of A1-A2 and B1-B2
图4. A1-A2、B1-B2速度曲线图

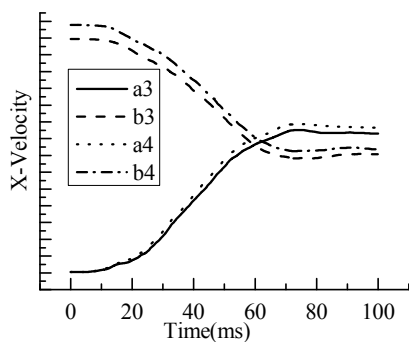
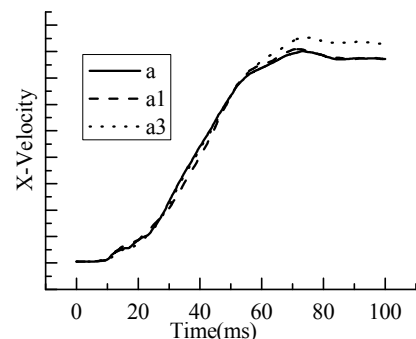
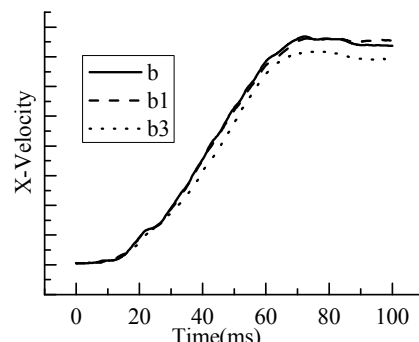


Figure 5. Velocity of B1-B2
图5. A3-B3速度曲线图

在A4-B4工况中，A4和B4的质量不相同，速度也不同，即 $m_1 \neq m_2$ 、 $v_1 \neq v_2$ 。采用公式(1)计算，理论上两者共同速度 $V_f = 2.08\text{mm/ms}$ 。通过仿真模拟，如图5，两车在约60ms达到共同速度2.09mm/ms，与理论值比较接近。



a) 车型A



b) 车型B

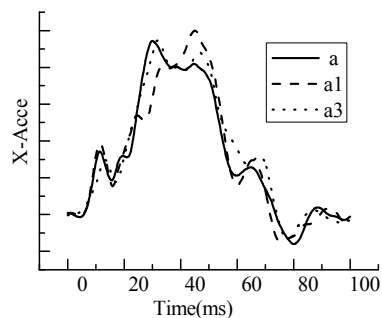
Figure 6. Comparison of velocity
图6.速度曲线图

碰撞过程中的车辆速度变化如图6所示。从中可以看出，无论是A车型还是B车型，其撞击刚性墙的速度曲线与自身相互对撞时都非常接近。在车型A3与车型B的对撞中，A的反弹速度大于其撞击刚性墙的反弹速度，而B的反弹速度小于其撞击刚性墙的反弹速度。

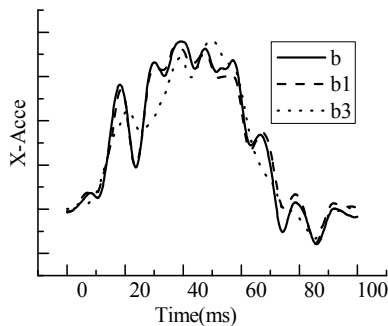
4.1.2 加速度比较

图7为两车型A和B在三种工况中的加速度曲线的对比图。由图可以看出，车辆撞击刚性墙与同一车型相互碰撞两种工况的加速度峰值大小基本相同，其中车型A的加速度在A-RW中达到峰值的时间较早，在A1-A2中达到峰值的时间较晚。不同车型的相互碰撞加速度不但与车辆的质量、碰撞空间有关，还与车辆的前部结构有着密切的关系。

在车型A3与车型B的对撞中，它们的加速度和在与刚性墙的碰撞中及自身对撞中的差别不是很大。



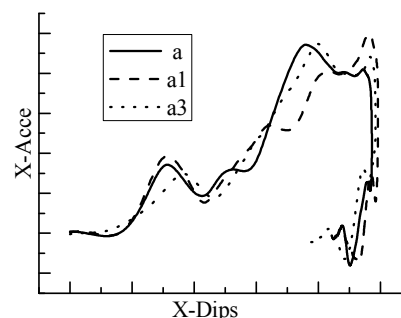
a) 车型A



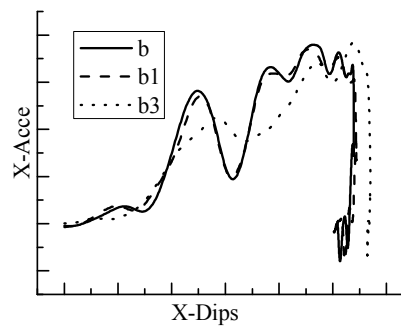
b) 车型B

Figure 7. Comparison of Acceleration

图7. 加速度曲线图



a) 车型A

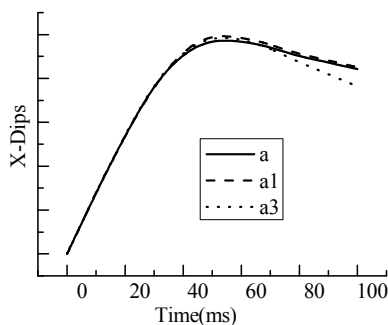


b) 车型B

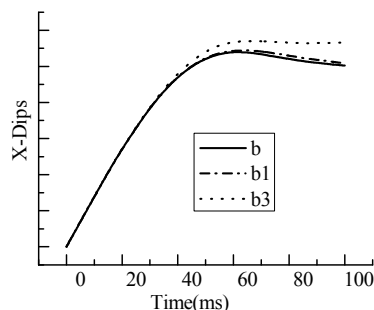
Figure 9. Curve of acceleration to displacement

图9. 加速度-位移曲线图

4.1.3 位移比较



a) 车型A



b) 车型B

Figure 8. Comparison of displacement

图8. 位移曲线图

图8和图9分别为位移-时间、加速度-位移曲线。车辆撞击刚性墙和同一车型车-车自撞时的位移相差很小。不同车型相互碰撞的位移与车辆的质量和碰撞空间有关。相比较而言，与质量大的车辆相撞，质量小的位移较小，质量大的位移较大。

4.2 能量吸收

表2为A3-B3和A4-B4工况下，计算机仿真模拟两车吸收的总能量值与根据公式(7)计算的总能量值的比较，两者差别不大。这说明可以根据公式(7)估算两车对撞中的总的能量吸收量。

Table 2. Energy absorption of the whole system

表 2. 系统能量吸收对比

工况	能量(kJ)	
	计算机模拟值	公式(7)计算值
A3-B3	251.46	283.7
A4-B4	283.04	318.83

图10为车辆撞击刚性墙、同一车型相互碰撞和不同车型相互撞击的同侧前纵梁能量吸收比较图。由图可以看出，总体能量吸收差别不是很大；同一车型相互碰撞的能量吸收相比车辆撞击刚性墙的稍多。其他

没有明显的规律，具体的能量吸收除与相互碰撞车辆的质量、速度有关外，还与前部空间和结构有关。

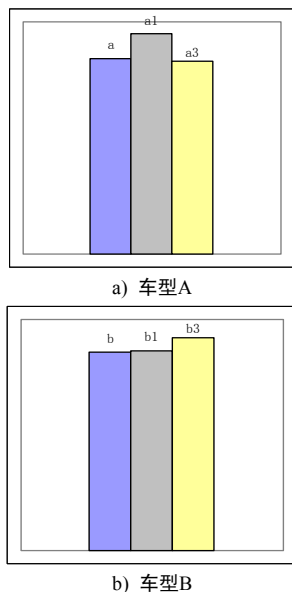


Figure 10. Energy absorption of front rail
图10. 前纵梁能量吸收对比图

4.3 纵梁变形模式

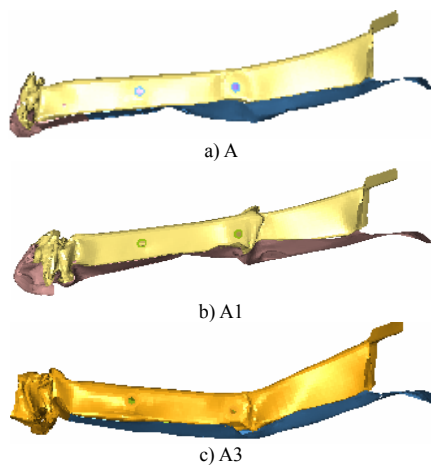


Figure 11. the deformation of front rail
图11. 车型A前纵梁变形图

图11和图12分别为车型A和车型B在三种工况中同侧前纵梁的变形图。从图中可以看出，前纵梁的变

形模式总体基本一致，但也存在一些差异。车型A在A1-A2碰撞中的变形比在A-RW碰撞中的变形要大些，车型B在B1-B2碰撞中的变形与在B-RW碰撞中的变形无明显差异，这与前面的能量吸收是吻合的。

车辆前纵梁在与刚性墙的碰撞中和自身对撞中的变形差异说明在碰撞载荷分布上存在差异。

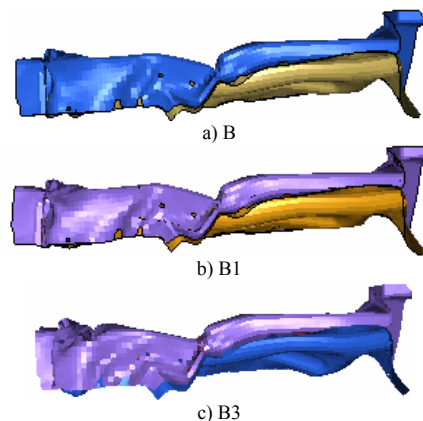


Figure 12. the deformation of front rail
图12. 车型B前纵梁变形图

5 结论

车-车对撞和车辆撞击刚性墙的分析比较表明：(1)与车辆撞击刚性墙相比，同一车型相互碰撞工况中的速度、位移和加速度差异不大；不同车型的车-车碰撞工况中，车辆质量小的速度反弹较大、位移较小，而车辆质量大的则相反。(2)用动量和能量研究车-车正面碰撞是可行和实用的。(3)相同车型车辆互撞可以由此车型与刚性墙相撞近似代替；不同车型的车-车相撞与刚性墙撞击与车辆的质量、碰撞空间和前部结构的设计有关。

本文仅仅初步研究了相对简单的车与车的完全正面碰撞，关于车辆间相互碰撞还有很多有待深入研究的课题。

References (参考文献)

- [1] P. Du Bios, C.C. Chou, B.B. Fileta, T.B. Khalil, A.L. King, H. Mahmood, H.J. Mertz, and J. Wismans. Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection[M], American Iron and Steel Institute, 2004.