

Study on Performance of Aluminum-Alloy Car Frontal Side Rails

Liwei Xu, Youzhong Xu, Shenrong Wu, Hongbing Wang, Jingang Tu

Chery automobile co., LTD, Wuhu, China

Email: xuliwei@mychery.com

Abstract: To satisfy low-carbon economy requirement, mass reduction of a car is becoming more and more important. The application of the aluminum metal in car is one of the effective methods for lightweight. In this paper, there is a primary discussion on this application. One car with good performance in frontal impact is as the baseline, and the structure of the side rails are kept same as the baseline. Then by changing the materials to aluminum-alloy and adjusting the thickness with the optimization of computer simulation, the car has an equal performance to the baseline. Meantime, the differences of the BIW frequency and stiffness are also considered. The front-end local stiffness falls a little, but the whole BIW stiffness and frequency fall little.

Keywords: lightweight; aluminum-alloy; side rail; frontal impact; stiffness

铝合金汽车前纵梁的性能研究

徐立伟, 徐有忠, 吴沈荣, 王洪兵, 涂金刚

奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 中国, 241009

Email: xuliwei@mychery.com

摘要: 为适应低碳经济的要求, 汽车的轻量化变得越来越重要。铝合金的应用是实现轻量化的有效手段之一。本文旨在初步探索铝合金在车身结构上的应用。研究基于某款前碰性能优良的车辆, 在保持结构尺寸不变的前提下, 调整铝合金纵梁的厚度, 然后通过计算机仿真优化, 使车辆的前碰性能与原设计达到相当的水平。同时研究车身的刚度变化, 结果表明车身后端局部刚度有一定变化, 但车身整体刚度和模态变化很小。

关键词: 轻量化; 铝合金; 前纵梁; 前碰; 刚度

1 引言

汽车排放标准不断提高, 对汽车的轻量化提出了更高的要求。同时, 新能源汽车由于增加了部件, 一般比传统汽车要重, 因此减重也尤为重要。为了达到轻量化目的, 铝合金材料在汽车中应用越来越多, 铝质发动机、变速器、支架等都比较常见。铝合金车身在有些高端车型上也有应用, 例如AUDI A8的全铝车身。由于铝合金与钢板的性能有较大差别, 这对铝合金车身的设计开发提出了新的要求。本文采用计算机仿真方法, 仅从力学性能方面对铝合金轿车前纵梁的性能进行了初步探索, 考察碰撞性能和车身刚度的差异。

2 铝合金纵梁厚度估算

研究一款前碰性能良好的车辆, 在保持结构尺寸不变的前提下, 将前纵梁材料改为铝合金材质, 这首先

需要估算铝合金纵梁的厚度。

在汽车发生前部碰撞时, 前纵梁的压溃稳定性、承载能力以及吸能的多少直接决定碰撞性能的好坏。大量研究表明, 轴向折叠变形是最有效的能量吸收模式, 但要想在实际结构中实现这种变形模式, 对梁式结构的截面特性提出了要求。

Mahmood和Paluszny研究薄壁梁在轴向压力作用下, 当达到临界应力时将会发生局部屈曲, 进而触发一系列过程, 导致截面的最终破坏和结构的连续折叠。截面的破坏强度取决于它的厚/高比率以及材料属性。对于非常小的 t/b (0.0085~0.016), 就是“非强健”截面, 截面的破坏形式将受到几何的显著影响, 局部屈曲强度明显小于材料的屈服强度, 引起变形模式的不稳定, 如图1所示。对于大的 t/b , 就是“强健”截面, 这些截面的弹性屈曲强度超过材料的屈服强度, 而材料强度控制破坏形式和后屈曲的稳定性, 即使几

何形状或载荷很不理想，结构仍然会表现非常稳定，如图2所示。

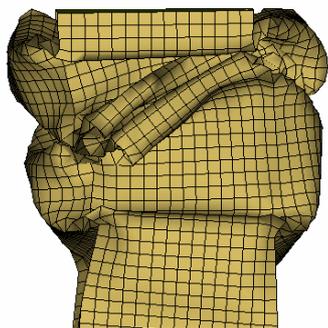


Figure 1. The collapse mode of sheet rail with very small t/b
图1. 厚/高比非常小时薄壁梁的折叠模式

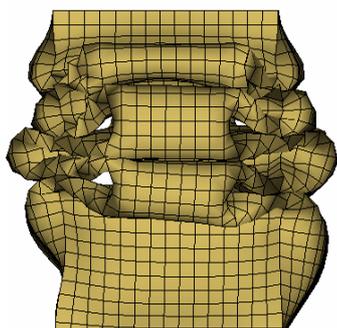


Figure 2. The collapse mode of sheet rail with large t/b
图2. 厚/高比较大时薄壁梁的折叠模式

Mahmood和Paluszny提供的厚/高比临界值(t/b)*计算公式如下:

$$(t/b)^* < 0.48[\sigma_y(1-\nu^2)/E]^{1/2} \quad (1)$$

式中 σ_y 为材料屈服强度， ν 为泊松比， E 为弹性模量。

对于矩形截面梁，最大承载能力公式为

$$P_{max} = 2[k_p E / \beta(1-\nu^2)]^{0.43} t^{1.86} b^{0.14} (1+\alpha)\sigma_y^{0.57} \quad (2)$$

式中 k_p 为断裂系数，与截面宽/高比有关；对于 $t/b \leq 0.08$ 的薄壁截面， $\beta = 1$ ； t 为壁厚； b 为截面高度； $\alpha = d/b$ 是截面的宽高比^[1]。

可由式(1)判断截面是否强健，由式(2)确定截面的最大承载力。

所研究车型前纵梁截面如图3所示，其中宽约62mm、高约90mm，板厚见表1。由于截面接近矩形，并且厚宽比约为0.018，因此可以根据公式(2)和材料的参数(表1)来估算铝合金纵梁结构的厚度，估算并取整的厚度见表1。

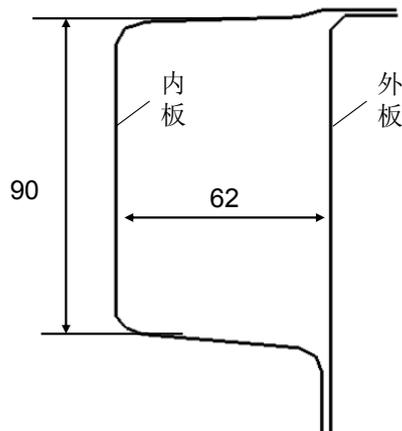


Figure 3. The cross section of the frontal side rail
图3. 前纵梁截面

Table 1. The corresponding thickness of frontal side rails with two different materials

表1. 纵梁在两种材料状态下料厚的对应关系

		baseline	AL rail
材料参数	密度 ρ (kg/mm ³)	7.8×10^{-6}	2.89×10^{-6}
	弹性模量 E (GPa)	210	69
	屈服强度 σ_y (GPa)	0.314	0.149
	泊松比 ν	0.3	0.3
厚度	内板厚度 t_1 (mm)	1.8	3.0
	外板厚度 t_2 (mm)	1.6	2.6

3 碰撞性能比较

基于LS-DYNA整车碰撞有限元模型，模拟50km/h前部刚性墙正碰，比较关键的碰撞特性。

3.1 前纵梁变形、压溃距离、截面力与能量吸收

碰撞模拟baseline及铝合金前纵梁的变形分别如图4、图5所示。两者差别较小，纵梁前端折叠变形模式良好，纵梁中后部变形较小。铝合金纵梁前端压溃距离略小于baseline状态，如图6所示。铝合金纵梁前端的截面力峰值略大于baseline状态，如图7所示。铝合金纵梁在碰撞过程中吸收的能量略高于baseline状态，如图8所示。

3.2 防火墙侵入量

在前挡板上选择5个测量参考点，如图9所示，记录前挡板在碰撞过程中的动态最大侵入量。经整车碰撞模拟分析，纵梁不同状态时前挡板在图示测量点的侵入量如图10所示。由图可知，铝合金纵梁时前挡板在测量点处的侵入量与baseline相当。

3.3 车体加速度

输出整车加速度曲线，并将铝合金纵梁状态下的加速度曲线与baseline进行对比，如图11所示。分别对比左右两侧加速度，除对应加速度峰值大小略有差异

外，整体曲线吻合较好。

经上述模拟对比分析，铝合金纵梁的承载能力略高于baseline，两种状态下整车表现出的碰撞性能非常接近。

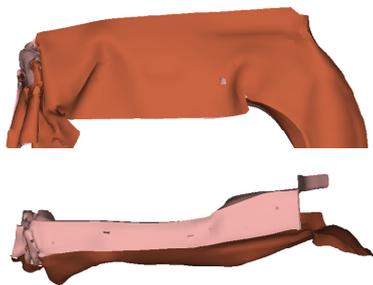


Figure 4. The deformed mode of frontal side rail of baseline
图4. baseline前纵梁变形图

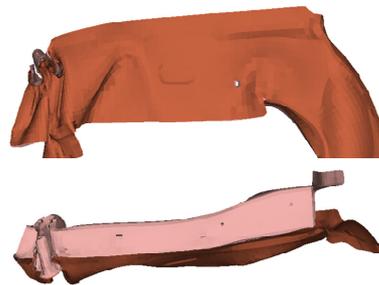


Figure 5. The deformed mode of frontal side rail of aluminum-alloy
图5. 铝合金前纵梁变形图

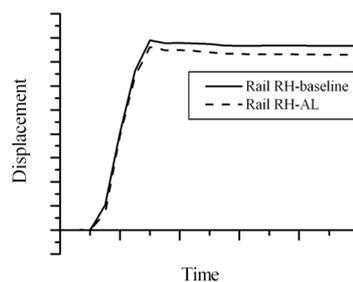
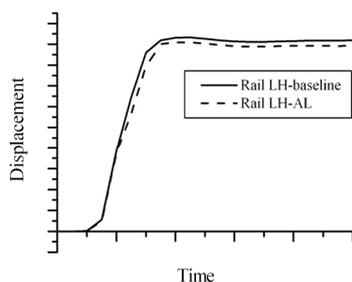


Figure 6. The comparison of displacement of frontal side rails of aluminum-alloy to baseline
图6. 铝合金纵梁前端压溃距离与baseline对比

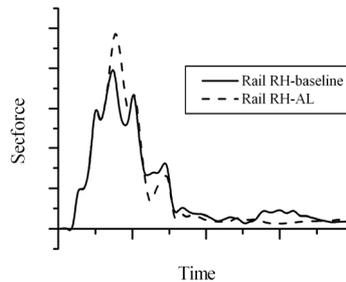
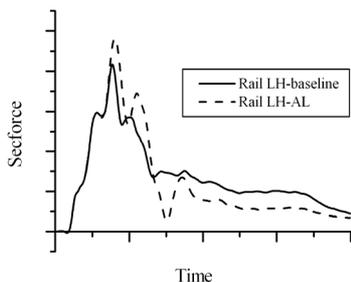


Figure 7. The comparison of section force of frontal side rails of aluminum-alloy to baseline
图7. 铝合金纵梁前端左右两侧截面力与baseline对比

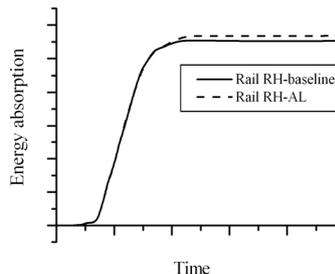
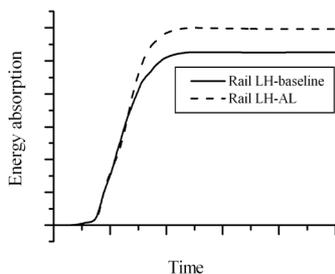


Figure 8. The comparison of energy absorption of frontal side rails of aluminum-alloy to baseline
图8. 铝合金纵梁吸能与baseline对比

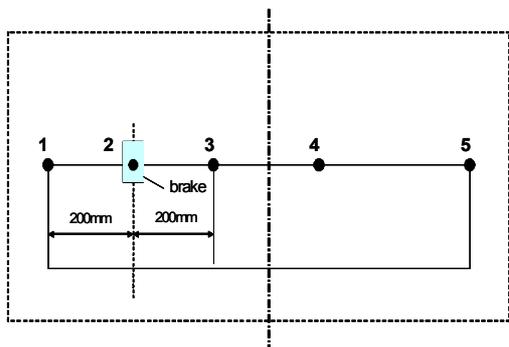


Figure 9. The demonstration of measuring point on firewall
图9. 前挡板侵入量测量点示意图

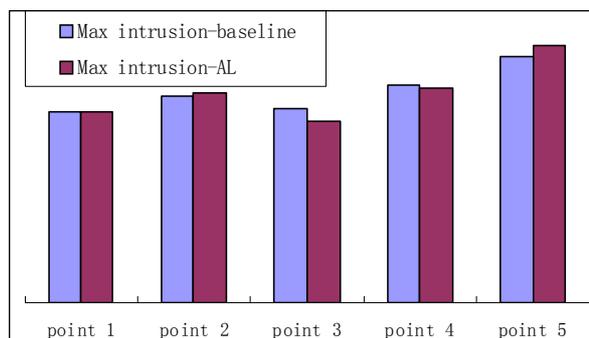


Figure 10. The comparison of firewall intrusion at the measuring point
图10. 铝合金纵梁前挡板测量点侵入量与baseline对比

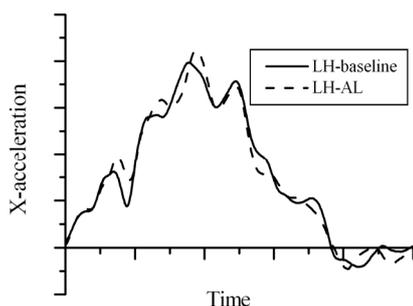
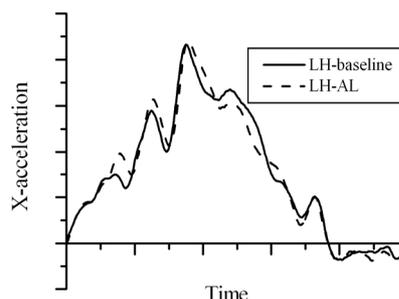


Figure 11. The comparison of acceleration of frontal side rails of aluminum-alloy to baseline
图11. 铝合金纵梁整车左右两侧加速度曲线与baseline对比



4 白车身模态与刚度比较

4.1 白车身模态验证

表2为铝合金纵梁带玻璃白车身模态与baseline的对比结果。从两者的70Hz以内模态计算结果来看，振型一致，除了前端局部两阶模态的频率值差异达到1%左右外，其他阶次模态值差异很小。因车身主要的差异在于前纵梁，故前端振型变化相对略微明显。总体上，纵梁采用铝合金，对白车身的模态基本没有影响。

4.2 白车身刚度验证

其次，对白车身前部的横向和垂向弯曲刚度分别与baseline进行了对比分析，表3为对比结果。由表3可知，纵梁采用铝合金后，前部弯曲刚度略有下降，但在可接受范围。因车身主要的差异在于前纵梁，故前端局部刚度变化相对略微明显。

另外，对白车身整体扭转和弯曲刚度分别与baseline进行了对比分析，表4为对比结果。图12为车身扭转刚度位移曲线对比图。由表4和图12可知，纵梁采用铝合金材料后，白车身扭转和弯曲刚度变化均很小。

Table 2. The comparison of modes of BIW of aluminum-alloy rails to baseline

表2. 铝合金纵梁白车身模态与baseline对比

阶次	baseline (Hz)	AL rail (Hz)	振型	Delta (%)
1	26.93	26.98	水箱横梁局部弯曲	0.19%
2	33.96	33.98	一阶扭转	0.06%
3	35.39	35.39	底板局部模态	0.00%
4	38.93	38.58	前端横摆	-0.90%
5	46.71	46.22	前端下弯	-1.05%
6	50.49	50.29	局部弯曲	-0.40%
7	50.76	50.72	一阶弯曲	-0.08%

Table 3. The comparison of bending stiffness of front end of BIW of aluminum-alloy to baseline

表3. 铝合金纵梁白车身前部弯曲刚度与baseline对比

位置	白车身前部弯曲刚度 (N/mm)		Delta (%)
	baseline	AL rail	
左前 Y	775	728	-6.08
右前 Y	774	724	-6.41
左前 Z	774	736	-4.86
右前 Z	781	745	-4.62

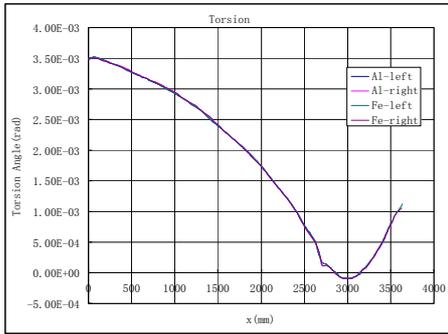


Figure 12. The comparison of torsion displacement of BIW of aluminum-alloy rails to baseline

图12. 白车身扭转刚度位移曲线对比图

Table 4. The comparison of torsion and bending stiffness of BIW of aluminum-alloy rails to baseline

表4. 铝合金纵梁白车身扭转、弯曲刚度与baseline对比

类型	白车身刚度		Delta (%)
	baseline	AL rail	
扭转 (N.mm/deg)	11124	10931	-1.73
弯曲 (N/mm)	19244	19364	0.62

5 结论

本文通过经验公式估算与计算机模拟相结合的方

法，初步探索了铝合金在车身结构上应用的可行性。对铝合金纵梁的整车前部碰撞性能以及白车身的模态和刚度进行了研究。维持baseline整车结构形式不变，将前纵梁材料替换为铝合金，并调整纵梁厚度，可以达到与baseline接近的前部碰撞性能。此外，通过验证分析，纵梁采用铝合金材料后，对白车身前端的局部刚度有一定的降低，但对白车身的整体模态和刚度影响很小。采用铝合金，前纵梁的质量可由原来的8.9kg减至5.5kg，减重比率为38.2%。本文研究为铝合金在国内自主品牌车身上的应用做了一个铺垫。

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. Wisnans. Vehicle Crashworthiness and Occupant Protection[M], American Iron and Steel Institute, 2004.
- [2] Wang Liangping, Xu Liwei, Wang Lichun, Tang Zhengqiang. Frontal Impact Simulation Study for Redesigning Passenger Car[C]. Automotive Safety Technology. Beijing: SAE China 2006.8.P125-129.
- [3] 王亮平, 徐立伟, 王立春, 唐正强. 轿车改进车型的正面碰撞仿真模拟研究[C]. 汽车安全技术, 北京:中国汽车工程协会, 2006.8.125~129.
- [4] Gu Lei, Xu Liwei. Automotive Design and Simulation for Crash Safety. Wuhu: Chery Automobile Co. LTD, 2006.12.
- [5] 顾镭, 徐立伟等. 汽车碰撞安全设计与仿真. 芜湖:奇瑞汽车有限公司, 2006.12.