

Performance Study of Aluminum-alloy Vehicle Hood

Yajun Wang, Liang Zhang, Lian Lu, Shenrong Wu

Automobile Engineering Research Institute, Chery Automobile Co., LTD, Wuhu, China

Email: wangyajun@mychery.com

Abstract: It is an effective measure to adopt aluminum alloy in vehicle body for lightweight, for instance, aluminum alloy hood. The substitution of steel with aluminum alloy may alter hood's some structural performances, especially the protection of pedestrian head in impact and stiffness. In this paper, exerting CAE method, researching the different performance of aluminum hood and general steel hood, and finding the balance among these performances in lightweight design. The results demonstrate that aluminum hood can reduce weight and decrease the acceleration peak of pedestrian head, extent the width of pulse. Performance of mode and stuffiness can achieve improving in some extent.

Keywords: aluminum-alloy; head impact; stiffness; mode

铝合金汽车发动机舱盖的性能研究

王亚军, 张亮, 芦连, 吴沈荣

汽车工程研究院, 奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 中国, 241009

Email: wangyajun@mychery.com

摘要: 采用铝合金作为汽车车身部件的材料是实现轻量化设计的有效手段之一。其中, 铝合金发动机舱盖的研究应用相对较多。将钢板更换成铝合金后, 其结构性能将会发生变化, 其中需要重点关注的就是行人头部碰撞保护性能和刚度。本文采用CAE方法, 对比分析了铝合金发动机舱盖与普通钢板发动机舱盖多个性能之间的差异, 并研究了轻量化设计中多个性能之间的平衡性。结果表明, 铝合金发动机舱盖不仅减重, 而且行人头部碰撞加速度峰值降低, 波形宽度增加, 模态性能改善明显, 刚度也可满足要求。

关键词: 铝合金; 头部碰撞; 刚度; 模态

1 引言

随着各国被动安全法规和NCAP把行人保护纳入考核项, 基于行人保护的车辆开发就变得越来越重要。发动机舱盖(以下简称舱盖)在行人保护中具有极为重要的作用, 目前罩盖的材料多为低碳钢。随着新材料的应用和汽车轻量化的要求, 铝合金、复合材料等引起广泛的注意。用新材料舱盖代替传统的低碳钢舱盖, 必将引起某些性能的改变。基于这一背景, 本文以奇瑞公司某款车为基础, 分析了用铝制舱盖代替钢制舱盖所引起的行人头部碰撞性能、刚度和模态等性能的改变, 为车辆轻量化在舱盖设计上的应用提供一种新途径。

2 行人头部碰撞与刚度、模态的数学分析

2.1 行人头部碰撞的数学分析

行人保护头部碰撞的伤害值计算公式为:

$$HIC = \max \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} a dt}{(t_2 - t_1)} \right]^{2.5} \right\} \quad (1)$$

$$t_2 - t_1 \leq 15ms$$

a 代表头部重心的合成加速度, t_1 和 t_2 为时间积分的开始和结束时间。

从HIC值的计算公式(1)可知, HIC值不仅与头部加速度峰值有关, 还与加速度历史有关。

$$HIC \propto (a)^{2.5} \propto (\beta)^{2.5} \quad (2)$$

根据文献^[1]可知, 行人头部碰撞可简化为质量-弹簧系统, 而加速度与质量-弹簧系统的刚度成正比, 因此头部伤害值HIC与舱盖刚度的关系可以表示为

2.2 刚度的数学分析

弯曲刚度的公式可由下式求得。其中h为板厚, E

为弹性模量, ν 为泊松比, D 为弯曲刚度:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^3)} \quad (3)$$

而对于等截面梁, 其扭转刚度存在如式(4)所示关系:

$$\begin{aligned} \frac{T}{\beta} &= G * I_t \\ I_t &= k_1 h^3 L \end{aligned} \quad (4)$$

式中 T 为扭矩, β 为舱盖扭转角, L 为舱盖横向跨距, k_1 为矩形截面梁的扭转常数, G 为剪切模量。

由公式 (3) 和 (4) 可知, 弯曲刚度和扭转刚度与弹性模量成正比, 与料厚的三次方成正比。因此, 假设刚度不变的情况下, 铝制舱盖和钢制舱盖的厚度关系可简化为:

$$t_{alu} \approx \sqrt[3]{\frac{E_{steel}}{E_{alu}}} \times t_{steel} = \sqrt[3]{\frac{210}{70}} \times t_{steel} = 1.44 t_{steel} \quad (5)$$

根据上述公式, 用铝制舱盖换成钢制舱盖时, 保持刚度, 内板厚度相应地由 0.6 变为 0.9mm、外板厚度由 0.8 变为 1.1mm。为了满足各方面的性能要求, 以及所讨论问题的广泛性, 当选用铝合金内板时, 另外增加 1.0mm 的情况, 当选用铝合金外板时, 增加 1.0mm 的情况。表 1 列出了舱盖内外板反别是铝合金和钢板的情况。

Table 1. Hood panels of different cases

表1. 不同方案的舱盖内外板

方案	内板 材料/厚度	外板 材料/厚度	重量	减重率%
方案 1	B170P1/0.6mm	B180H1/0.8mm	14.44	0
方案 2	Alu-alloy/1.0mm	Alu-alloy/1.0mm	7.58	47.5%
方案 3	Alu-alloy/0.9mm	Alu-alloy/1.0mm	7.242	49.8%
方案 4	Alu-alloy/0.9mm	Alu-alloy/1.1mm	7.623	47.2%
方案 5	Alu-alloy/0.9mm	Alu-alloy/0.8mm	12.33	14.6%
方案 6	B170P1/0.6mm	Alu-alloy/0.8mm	10.837	24.9%

2.3 模态的数学分析

模态的公式可由下式求得。其中 f 为频率, K 为刚度, M 为质量, X 为位移。则它们之间的关系如下:

$$[M]\{\ddot{X}\} + [K]\{X\} = 0 \quad (6)$$

解为

$$\{X\} = \{\varphi\} e^{j\omega t} \quad (7)$$

将 (7) 代入 (6) 得:

$$([K] - \omega^2 [M])\{\varphi\} = 0 \quad (8)$$

其中角频率 $\omega = 2\pi f$ 。

对于 N 自由度系统, 有 N 个固有频率 (ω_j , $j = 1, 2, \dots, N$):

$$\omega_j^2 = \frac{\{\varphi_j\}^T [K] \{\varphi_j\}}{\{\varphi_j\}^T [M] \{\varphi_j\}} \quad (9)$$

从公式可知, 模态和刚度成正比, 和质量成反比。

3 行人头部碰撞的性能比较

行人头部碰撞模拟行人头部在速度为 40km/h、角度为 50° 时撞击车辆前部, 主要是舱盖。铝合金和钢板材料曲线如图 1 所示。根据表 1 所示的六种舱盖内外板方案, 分别计算它们对行人头部碰撞性能的影响。计算结果如图 2 和表 2 所示。

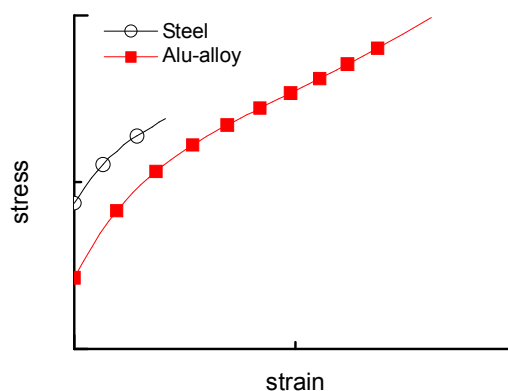


Figure 1. Curve: comparison of stress-strains of steel and alu-alloy

图1. 铝合金和钢板材料曲线

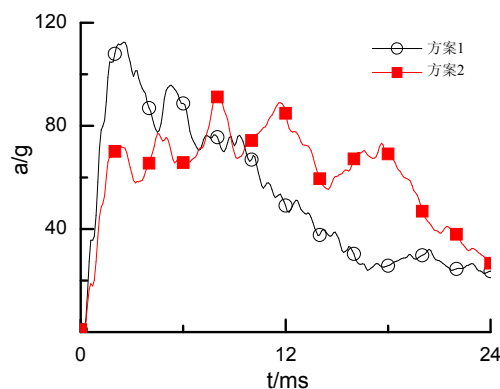


Figure 2.1. Curve: comparison of accelerations time history at case1 and case2

图2.1. 方案1/2的加速度曲线

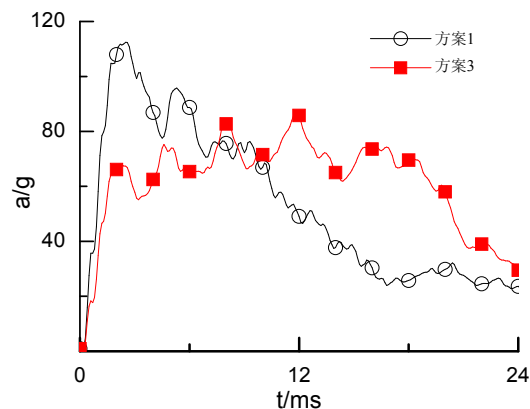


Figure 2.2. Curve: comparison of accelerations time history at case1 and case3

图2.2. 方案1/3的加速度曲线

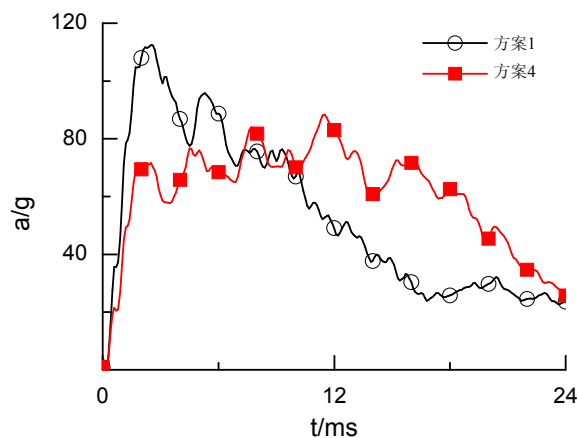


Figure 2.3. Curve: comparison of accelerations time history at case1 and case4

图2.3. 方案1/4的加速度曲线

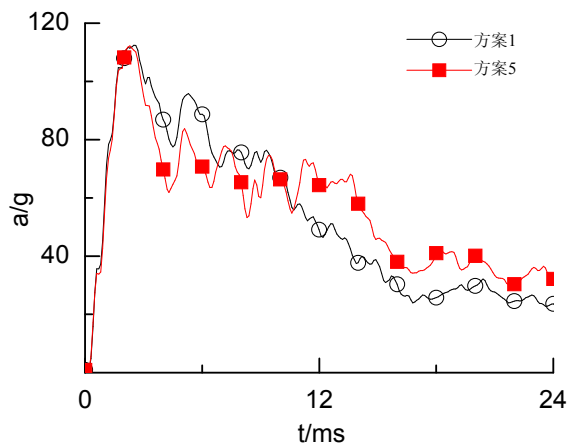


Figure 2.4. Curve: comparison of accelerations time history at case1 and case5

图2.4. 方案1/5的加速度曲线

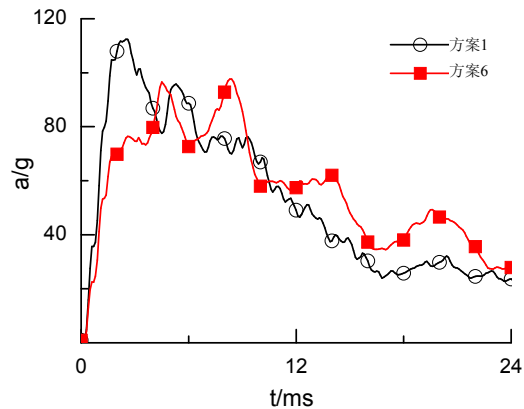


Figure 2.5. Curve: comparison of accelerations time history at case1 and case6

图2.5. 方案1/6的加速度曲线

Table 2. Comparison of head injury at different cases
表2. 行人头部碰撞的计算结果

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
HIC	633	657	646	649	620	603
HIC %	0	+3.4%	+2.0%	+2.0%	-2.0%	-4.7%

从伤害值来看, 各种舱盖方案, 虽然头部伤害值会有所增加或降低, 但是变化很小, 因此舱盖的材料对行人保护影响不大, 这和Farooq^[2]、谢书港^[3]等人认为即使采用铝制舱盖, 计算得到的HIC值也不会有太大的变化的观点是一致的。

4 刚度和模态的性能比较

4.1 刚度的性能比较

舱盖的刚度响应是模拟舱盖在正常关闭状态下, 即约束舱盖铰链和舱盖锁, 释放舱盖铰链绕y轴的转动自由度的情况下, 分多种工况对舱盖进行加载, 通过观察加载点的位移量, 得出其刚度值, 从而判断舱盖在不同材料方案下的刚度表现。

本文分3种工况对舱盖进行加载。工况1, 约束舱盖锁对缓冲块位置进行加载, 考察其扭转刚度; 工况2, 约束舱盖锁的Z向自由度, 对舱盖锁Y向进行加载, 考察其横向刚度; 工况3, 舱盖处于正常关闭状态, 对舱盖侧边梁进行加载, 考察其侧梁刚度。计算结果见表3所示 (表中刚度单位为N/mm)。

从表3可知, 方案2~方案6的扭转刚度和侧梁刚度比方案1要略微低一些; 方案3的横向刚度比方案1要高, 其它方案则略低。总体来看, 舱盖方案2~6的刚

度性能相比较方案1有所降低。

Table 3. 3 directions stiffness of 6cases

表3. 不同舱盖方案的刚度值

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
扭转刚度	33.80	33.44	28.36	28.96	30.58	32.07
横向刚度	100.80	94.69	142.45	85.32	88.81	96.71
侧梁刚度	45.74	43.32	36.39	36.95	38.82	44.01

4.2 模态的性能比较

模态是模拟舱盖在实车的状态下,即约束舱盖铰链和舱盖锁,释放舱盖铰链绕y轴的转动自由度的工况下,观察其第一阶共振频率,从而判断舱盖的模态表现。见表4所示。

Table 4. Comparison of modes at different cases

表4. 不同方案的模态

方案	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5	方案 6
模态	13.14	19.15	18.06	17.72	14.52	15.32
模态%	0	45.7	37.4	34.8	10.5	16.6

从表4可知,舱盖方案2~方案6的一阶模态比方案1有所增加,出现变好的趋势。

5 结论

本文讨论了六种不同方案的舱盖,并且分别讨论了它们在行人头部碰撞性能、刚度性能和模态下响应。结果表明,采用铝制舱盖代替钢板舱盖轻量化效果明显,而且行人头部碰撞性能影响不大,舱盖一阶模态显著提高,但是要牺牲一定的刚度。综合各方面性能,方案2的舱盖可以为舱盖设计提供参考。对于一些刚度比较富裕的舱盖,完全可以保证刚度的前提下,采用铝制舱盖达到轻量化的目的。

致 谢

衷心感谢奇瑞汽车工程研究院整车安全部各位同事和CAE部的夏云峰在文章编写过程中提出的宝贵建议。

References (参考文献)

- [1] Yajun WANG, Zhuo HUANG, Shenrong WU, et.al. Vehicle hood design satisfying both requirements of stiffness and pedestrian head impact protection[C].The 7th Int. Forum of Automotive Traffic Safety, (INFATS2009) .(Ch). 王亚军,黄茁,吴沈荣,等. 基于刚度与行人头部保护要求的汽车引擎盖设计 [C].第七届国际汽车交通安全学术会议, (INFATS2009).
- [2] Farooq S I, Schuster P J. Body Concept Design for Pedestrian Head Impact[C]. SAE Paper: 2003-01-1300.
- [3] Shugang XIE, Kehong FANG, Liwei XU, Yajun WANG, Shenrong WU. Design of Hood Based on Pedestrian Head Impact[C].China International Conference of Automotive Safety Technology.(Ch) 谢书港,方科鸿,徐立伟,王亚军,吴沈荣. 基于行人保护头部碰撞的发盖设计方法.中国汽车安全技术国际研讨会, 2008