

Safety design for front rail of uni-body vehicle

Qifeng REN¹, Ying YANG², Jingang TU³, Xiuqin ZHANG⁴, Shenrong WU⁵

Product Engineering Division, Chery Automobile Co., LTD, WuHu, 241009

Email: renqifeng@mychery.com

Abstract: The front rail is one of the most important components to transmit crash load and absorb impact energy in vehicle frontal impact. The strength and deformation mode of the rail directly affect the crash pulse of the vehicle, the integrity of the compartment, and the severity of occupant injury. Due to its important role played in frontal impact, the design of the front rail of a uni-body vehicle is systematically studied. The DOE with the height, the width-height ratio, and the thickness of the cross section of the rail as three design parameters is processed. An optimized design with higher load capacity, higher energy absorption, and better stability in progressive collapse deformation mode is found. The simulation results are correlated with the test. Thus the design is validated.

Keywords: front impact; front rail; simulation; optimal design

承载式车身后纵梁的安全性能设计

任启丰¹, 杨颖², 涂金刚³, 张秀琴⁴, 吴沈荣⁵

汽车工程技术研发总院, 奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 241009

Email: renqifeng@mychery.com

摘要: 前纵梁是汽车正面碰撞时传递碰撞载荷和吸收冲击能量的最重要部件之一。纵梁的强度、变形模式直接影响整车加速度、乘员舱的完整性以及乘员伤害的程度。鉴于纵梁在正面碰撞中的关键作用, 本文对某车型承载式车身后纵梁采用正交试验的方法, 以纵梁截面的高度、宽/高比、厚度 3 个因素作为设计变量, 优选承载能力强、吸能多、能够稳定压溃的纵梁截面。和试验结果进行比较验证了分析模型的正确性。考文献等不同单元的格式要求

关键词: 前碰撞, 前纵梁, 仿真, 优化设计

1 引言

汽车的碰撞安全主要是通过自身的变形来实现的。高速运行的汽车发生碰撞事故时, 动能将在极短的时间内被金属结构的塑性大变形吸收转化为内能。为此, 在提高汽车主动安全保护以尽可能避免碰撞事故发生的同时, 要考虑汽车结构的碰撞安全性设计合理性, 汽车结构变形产生的缓冲力与乘员约束系统能否良好匹配, 这最终决定了汽车能否有效保护车内乘员的人身安全。

2 正交表

汽车正面碰撞中, 要求车身后部结构, 保持适中的支撑强度, 吸收足够的能量, 从而达到缓和冲击, 吸收震动, 保持乘员舱完整性目的。

前纵梁是最重要的前部承载件, 吸收大部分的能量。因此, 希望纵梁变形模式为轴向稳定压溃即褶皱压溃, 这种溃缩方式能够最大限度的发挥纵梁的吸能特性, 同时能够保持平稳的加速度, 降低乘员冲击, 提高安全性能。

相同载荷条件下, 纵梁的变形模式主要由纵梁截面的高度、宽/高比、厚度 3 个因素决定。综合考虑采集的纵梁数据, 选定某一常用材料, 以纵梁高度、宽/高、厚/边长 (即壁厚与所在边的长度的比值) 为因素, 每个因素选定 3 个水平如表一, 其中 $A_1 < A_2 < A_3$ 、 $B_3 < B_2 < B_1$ 、 $C_3 < C_2 < C_1$, 制作正交试验表 L933 如表二:

Table 1. Factors and levels

表 1. 因素、水平

因素	高			宽/高			厚/边长		
水平	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	C ₃

Table 2. Orthogonal test table

表 2. 正交试验表

试验号	因素			组合
	高	宽/高	厚/边长	
1	A ₁	B ₁	C ₁	A ₁ B ₁ C ₁
2	A ₁	B ₂	C ₂	A ₁ B ₂ C ₂
3	A ₁	B ₃	C ₃	A ₁ B ₃ C ₃
4	A ₂	B ₁	C ₂	A ₂ B ₁ C ₂
5	A ₂	B ₂	C ₃	A ₂ B ₂ C ₃
6	A ₂	B ₃	C ₁	A ₂ B ₃ C ₁
7	A ₃	B ₁	C ₃	A ₃ B ₁ C ₃
8	A ₃	B ₂	C ₁	A ₃ B ₂ C ₁
9	A ₃	B ₃	C ₂	A ₃ B ₃ C ₂

3 仿真分析

车辆发生正面碰撞时，纵梁与前保横梁相互影响，其变形模式主要有两种：侧向折弯变形和轴向压溃变形。设计中，希望纵梁具有足够的侧向抗弯能力，同时发生稳定的轴向溃缩，吸收更多能量。故，本文考察纵梁的静态折弯变形和动态轴向压溃变形两种工况。

3.1 静态折弯

约束 Spc 处节点的 6 个自由度，在 Mass 处节点添加质量，并赋予节点在宽度方向的强制位移，查看纵梁的抗弯性。



Figure 1. Bending mode

图 1. 折弯工况

静态折弯时，纵梁承载能力随着截面的增大而增强，单纯考察截面力不能全面反映结构优劣和材料利用率的高低。因此本文中考察截面中，单位长度能够承受的折弯载荷。

A₁B₁C₁

A₁B₂C₂

A₁B₃C₃

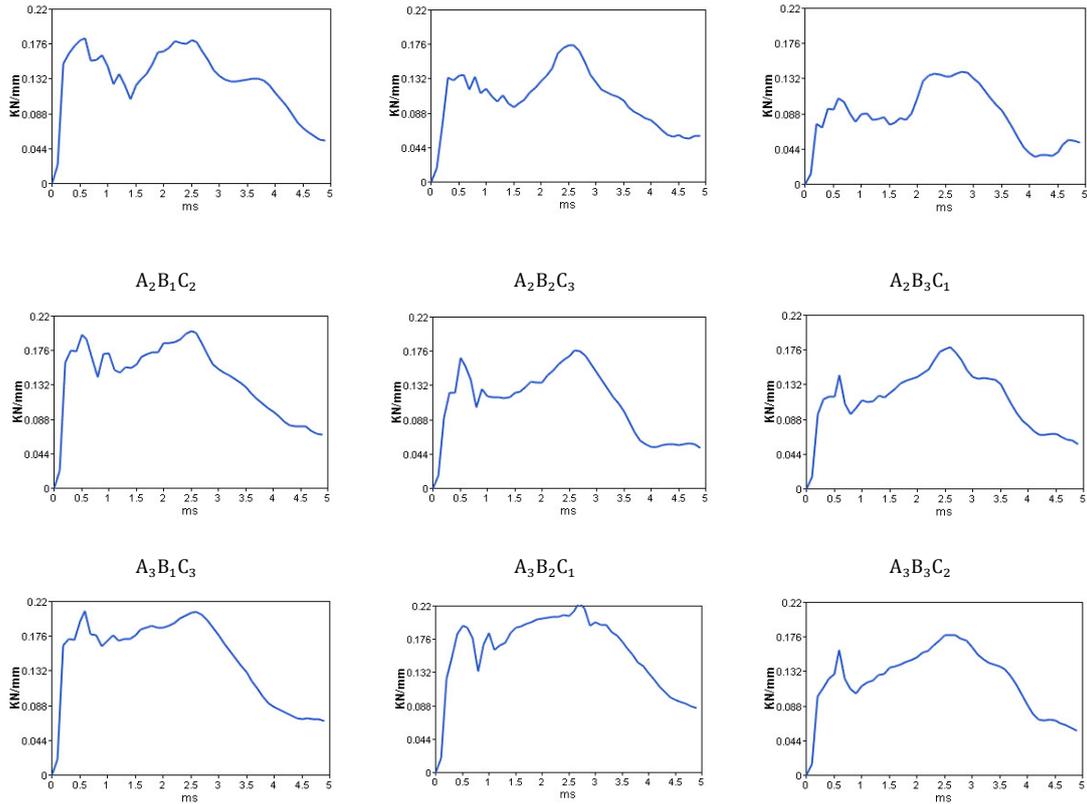


Figure 2. Force on unit length of the cross-section of the bending rail
图 2. 折弯纵梁截面单位长度的载荷

区分纵梁抗弯性，需比较纵梁在失稳时刻截面力值，这个值就是仿真中截面力的第一峰值，所有考察项都以这个时刻的值为准。从图中知：折弯纵梁截面单位长度载荷与高、宽/高比呈正相关性，三个最大值为 0.208KN/mm、0.194KN/mm、0.196KN/mm，相对应的组合为 $A_3B_1C_3$ 、 $A_3B_2C_1$ 、 $A_2B_1C_2$ ，每个组合的截面力为 78.9KN、69.2KN、67.5KN。

3.2 轴向压溃

纵梁通过带有一定角度的接头与碰撞小车固连，小车中心线与纵梁宽度方向中心线呈设定角度，模拟碰撞中纵梁与前保横梁协同作用时的受力情况。

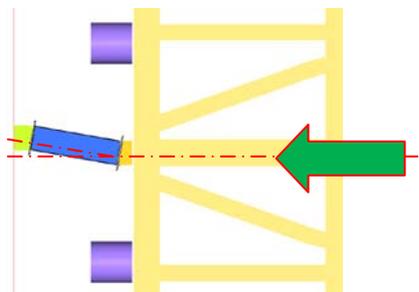


Figure 3. Axial collapse mode
图 3. 轴向压溃工况

截面的单位长度载荷，反映出在同一截面上材料的利用情况；而纵梁的变形模式则反映出轴线方向上，有多少材料参与变形。在轴向压溃中，不仅需要考察截面的单位长度载荷，还需要查看纵梁的变形模式。

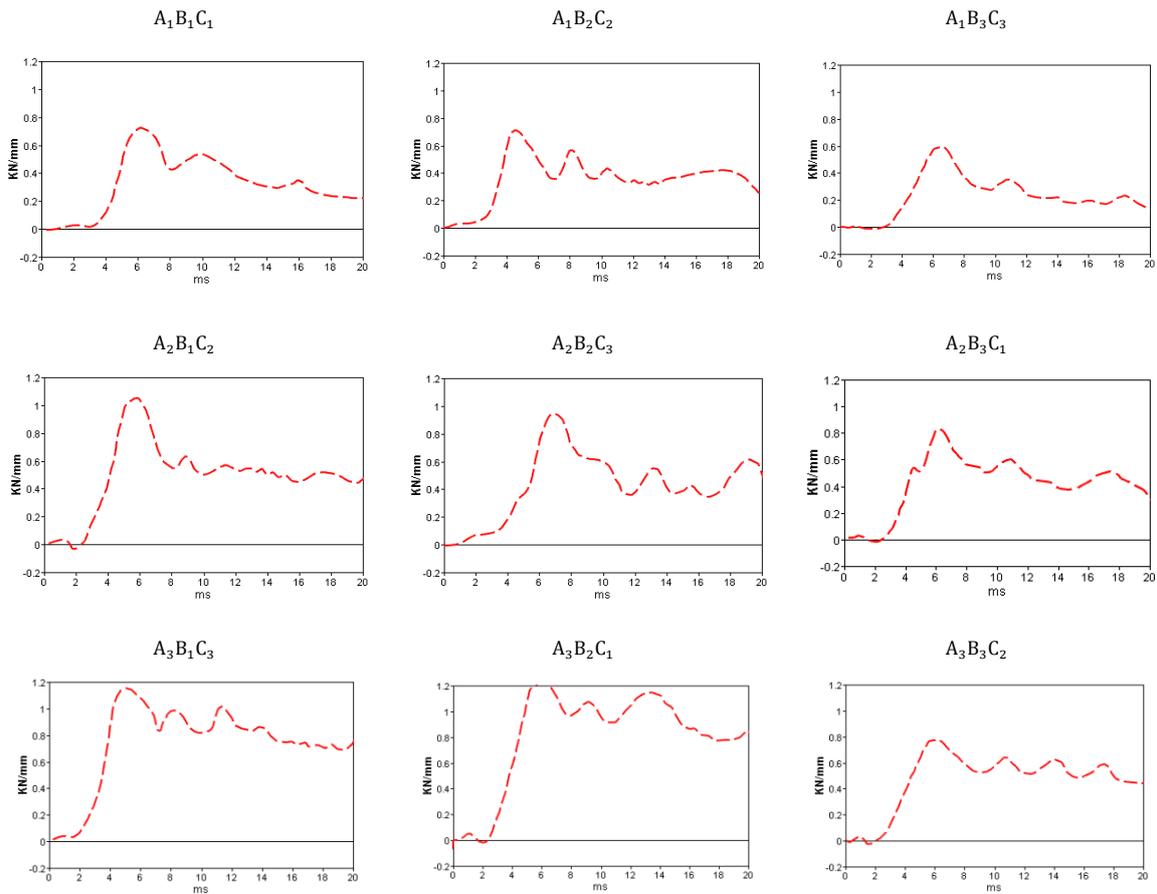


Figure 4. Force on unit length of the cross-section of the axial collapse mode
 图 4. 轴向压溃纵梁截面的单位长度载荷

对比上图知：截面的单位长度载荷与高、宽/高比具有正向性；厚度主要控制纵梁的变形模式；三个最大值为 1.23KN/mm、1.16KN/mm、1.05KN/mm，相应的组合时 $A_3B_2C_1$ 、 $A_3B_1C_3$ 、 $A_2B_1C_2$ ，对应的截面力最强；同时它们的变形模式也是所有组合中最好的。

综上所述：静态抗弯和动态压溃截面的单位长度载荷与高、宽/高比呈正相关性；最优的组合是 $A_3B_2C_1$ 、 $A_3B_1C_3$ 、 $A_2B_1C_2$ 。

4 试验结果

制作试验用小纵梁，并按动态轴向压溃工况将纵梁固定于碰撞小车。小车的质量和速度与仿真对应。比较试验纵梁的受力和变形，验证仿真结果的正确性。

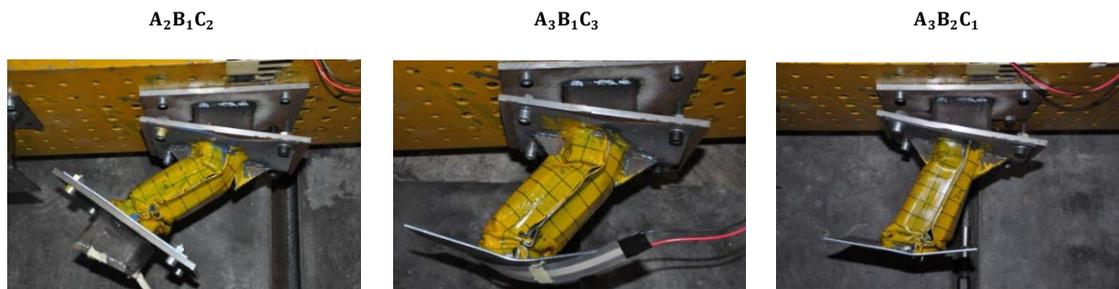


Figure 5. Deformation of test
图 5. 试验纵梁变形

试验中，各个纵梁的变形模式和仿真分析基本保持相同，说明仿真中对纵梁各参数的预测是正确的。

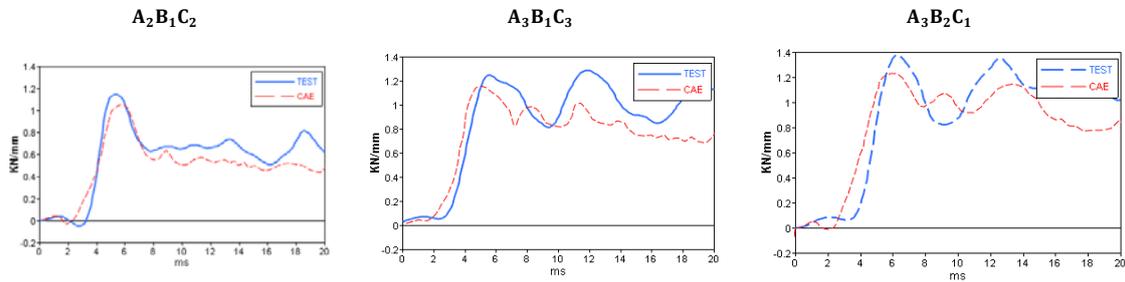


Figure 6. Force on unit length of the cross-section of test rail
图 6. 试验纵梁截面单位长度的承载力

考虑到纵梁加工中的冲压应力和焊接的影响，试验纵梁截面单位长度的承载力曲线略高于仿真。但曲线的变化趋势与仿真保持相同，证明仿真模型准确性，仿真结果是正确的。

5 结论

本文通过仿真与试验相结合，探寻纵梁参数对纵梁的抗弯能力，轴向稳定压溃变形的影响。从试验和仿真结果中知悉：纵梁材料有效使用百分比与纵梁的高度和宽高比存在正相关性，厚度与所在边长的比值在一定程度上决定纵梁的变形模式；综合多方数据，纵梁的宽高比不小于 0.7，厚度与所在边比值不低于 0.2 时，纵梁具有较强的抗弯和轴向稳定压溃能力。

参考文献

- [1] Priya Prasad, Jamel E. Belwafa, eds., Vehicle Cashworthiness and Occupant Protection, American Iron and Steel Institute, 2004.
- [2] 黄贵龙, 概念设计阶段前纵梁弯曲特性研究, 吉林大学硕士毕业论文, 2014年5月.
- [3] 王大志, 基于乘员保护的汽车正面碰撞结构设计与变形控制研究, 清华大学工学博士学位论文, 2006年4月.