

# 汽车侧面柱碰中车门内部对乘员的安全性分析与改进

赵成旭，杜飞，FARRUKH，SALEEM

吉利汽车研究院（宁波）有限公司 浙江宁波 315336

**摘要：**为了研究车辆在侧面碰撞柱碰中如何减少对乘员的伤害，和内饰门板失效带来的影响。采用了对标分析，力学模型大家，和实际产品验证对关键信息进行研究。结果表明，内饰门板和车身钣金由固定方式改为释放瞬间冲击力后限位，可以有效释放钣金和内饰门板应力，避免瞬间冲击力影响到内饰门板断裂，同时释放X方向和Y向应力，改善和避免内饰门板在柱碰测试验证中减少脱离和撕裂风险。本研究有助于后期新型设计与开发提升安全测试。

**关键词：**侧面碰撞；柱碰安全；门板侧碰

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.08.003

汽车侧面碰撞标准《汽车侧面碰撞的乘员保护》（GB20071—2006）的要求，汽车碰撞安全性能重要性，如今更高标准的2018版C-NCAP 规程的问世，降低了侧碰事故中驾乘人员受重伤和致命伤害的风险<sup>[1, 2]</sup>。将假人及移动壁障模型引入整车，建立了“整车-乘员-约束”系统侧面碰撞仿真模型，利用CAE分析结果优化数据，改善侧面溃缩量，减少乘员伤害值<sup>[3~11]</sup>。汽车侧面碰撞车门可靠性的优化问题，通过改变车身吸能方式提升车内乘员安全<sup>[12, 13]</sup>。对侧面气囊和车门内饰的结构进行改进，优化了其刚度，从而有效降低了假人的伤害值<sup>[14]</sup>。

本研究首先对市面上汽车主流内饰门板预防脱离造成乘员伤害进行对比分析，其次对主流设计结构进行冲击性能后影响分析，重新构建钣金和内饰门板结

构、理论分析及CAE分析失效了良好的优化结果。基于仿真，本文形成有关机理和结论，对未来内饰门板和钣金结构设计具有良好的指导作用。

## 现有问题研究分析

本研究以内饰门板和钣金固定后在《汽车侧面碰撞的乘员保护》GB/T37337—2019测试结果进行研究。

### 1.侧面柱碰验证标准

各个国家对柱碰测试标准有细微差异，但是测试方式基本一致。

（1）碰撞速度及撞击位置 撞击头部质心位置，车辆的运动轨迹和车辆纵向中心线如图1所示，形成75°夹角。

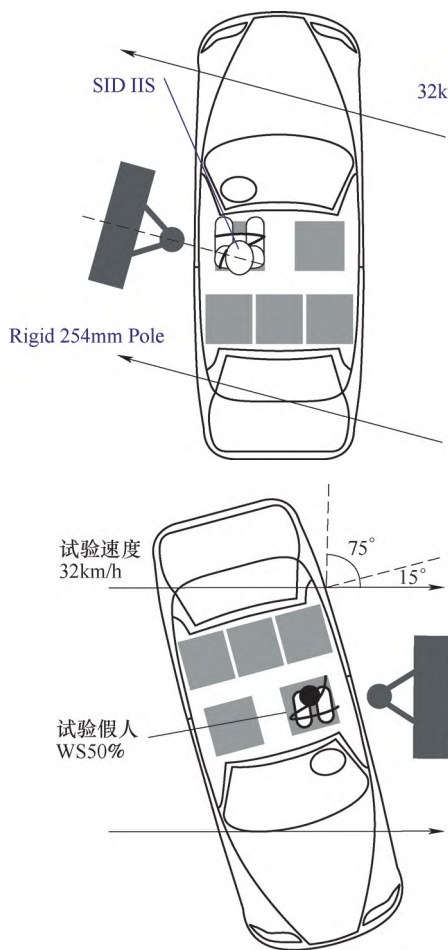


图1 速度与位置示意

- (2) 刚性柱要求 刚性柱固定，柱子直径254mm。
- (3) 座椅定位 同MDB测试。

(4) 其他要求 方向盘调节处于中间位置。将活动车窗和通风口置于车辆碰撞侧完全闭合位置。应将天窗置于完全闭合位置。敞篷车和敞式车身型车辆如有车顶，使车顶处于闭合乘客舱结构的适当状态。车门（包括后背门或尾门）完全闭合但未锁止。对于手动变速器车辆，变速器挂二挡。对于自动变速器车辆，变速器置于空档。接合所有车辆的驻车制动器。在“满载”状态下确定测试车辆的质量和姿态。满载状态是指车辆加载至空载质量加上 136 kg或加载至其额定载货能力（以先发生者为准），其中额定货物和行李质量（RCLW）= VCW（68.04kg×额定载货数量）。

目前，Euro NCAP、C-NCAP以及ECE R135的侧面柱碰测试方法基本一致，实施32km/h的75°碰撞，在碰撞侧摆放World SID假人（见图2），考察伤害值。

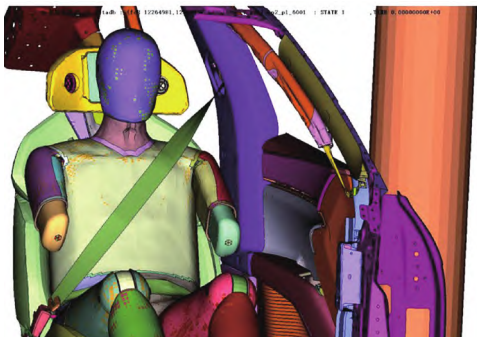


图2 碰撞中假人示意

假人侧面碰撞中头部考察指标有如下几项：HIC15，3ms合成加速度；胸部考察指标，包括压缩变形量、VC值、肩部力；腹部考察指标，包括压缩变形量、VC值；骨盆考察指标即耻骨力，当肩膀离门板水切距离小于75mm时，需要考虑使用覆盖肩膀的SAB。

2.主流门板和钣金固定结构

通过对主流车型门板和钣金结构的分析，可以看到基本是两种结构。螺栓固定方式如图3所示，内饰门板和门钣金采用螺栓固定，让内饰门板和钣金形成一个刚性体，当碰撞时内饰门板和钣金助力车身AB柱抵御侧面碰撞带来的冲击力。

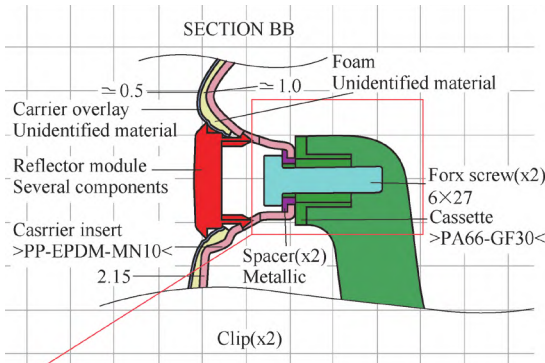


图3 螺栓固定示意

另一种螺栓固定方式，是采用标准件将内饰门板和钣金固定预防在碰撞中轻松脱离，这种结构（见图4）优势应用广泛最大拔出力1500N。这种结构多车身要求为高，在车身侧面碰撞和柱碰中车身变形后内饰门板和钣金轻松分离，随着车身溃缩量的增加，钣金和门板的间隙也随之加大。

3.柱碰验证问题分析

在用螺栓固定门板和钣金，当车身溃缩门板跟随

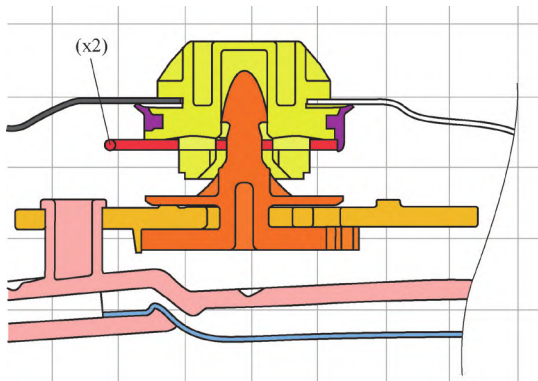


图4 可轻松脱离螺栓固定示意

车身一起溃缩，门板和钣金同时变形。瞬间冲击力导致门板和钣金同步变形（见图5），门板结构应用无法释放会导致内饰门板断裂，断裂后产生飞溅物或者尖锐物体将会带来对侧面柱碰过程中对假人伤害。

应用标件和门板固定，当车身在柱碰实验中溃缩时，内饰门板无法消除瞬间冲击力带来的变形。标准件会断裂和门板和钣金之间会脱离（见图6）。门板和钣金发生间隙，将占用乘员Y项空间和永久侵占驾驶舱空间，将影响到假人安全评价。



图5 门板和钣金同步变形



图6 门板和钣金脱离

4. 现有问题优化方向

基于内饰门板和钣金固定方式，螺栓和标准件固定方式在侧面柱碰实验中均有门板和钣金分离风险，可能影响到对假人伤害评价。本文对结构进行优化方案进行分析和模拟分析。

侧碰碰撞模型建造和分析

本身车辆整备质量在1.3~2.2t，以实施32km/h的75°碰撞，车身变形不可避免。如何基于现有测试安全进行提升乘员安全系数，避免门板脱离带来的二次伤害，本文进行研究，建立基本假设与模型。

1. 运动方程建立

当物体受到瞬间冲击力作用后开始运动，在位移未达到限位（ $X_{\max}=10\text{mm}=0.01\text{m}$ ）之前，依据牛顿第二定律，物体的运动方程为

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{1}$$

式中  $m$ ——物体的质量；

$\ddot{x}$ ——物体的加速度；

$c$ ——阻尼系数；

$\dot{x}$ ——物体的速度；

$k$ ——弹簧的刚度系数；

$x$ ——物体的位移。

已知 $m=2000\text{kg}$ ， $c=1000\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}$ ， $k=1\text{N}/\text{m}$ ，初始条件为  $x(0)=0$ （初始位移为0）， $\dot{x}(0)=v_0=8.89\text{m}/\text{s}$ （瞬间冲击力使物体获得的初速度）。

2. 求解运动方程

该运动方程是二阶常系数齐次线性微分方程，其特征方程为：

$$mr^2 + cr + k = 0 \tag{2}$$

将  $m=2000$ ， $c=1000$ ， $k=1$ 代入特征方程可得：

$$2000r^2 + 1000r + 1 = 0$$

根据一元二次方程求根公式  $r = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

（其中， $a=2000$ ， $b=1000$ ， $c=1$ ），计算判别式  $\Delta = b^2 - 4ac = (1000)^2 - 4 \times 2000 \times 1 = 1000000 - 8000 = 992000 > 0$ 。则特征根为：

$$r_{1,2} = \frac{4000 - 1000 \pm \sqrt{992000}}{4000} = \frac{4000 - 1000 \pm 996}{4000}$$

$$r_1 = \frac{4000 - 1000 + 996}{4000} \approx \frac{4000 - 5 + 2 \times 24.9}{4000} = \frac{4000 - 5 + 49.8}{4000} = \frac{4044.8}{4000} = 1.0112$$

$$r_2 = \frac{4000 - 1000 - 996}{4000} \approx \frac{4000 - 5 - 49.8}{4000} = \frac{3945.2}{4000} = 0.9863$$

所以位移的通解为： $x(t) = Ae^{r_1 t} + Be^{r_2 t}$

3. 确定常数

根据初始条件  $x(0)=0$ ，代入通解可得： $x(0) = A + B = 0$

=A+B=0, 即 B=-A

对  $x(t)$  求导得:  $\dot{x}(t) = Ar_1e^{r_1t} + Br_2e^{r_2t}$

将 B=-A 和  $\dot{x}(0) = v_0$  代入上式可得:

$$\dot{x} = A(r_1 - r_2) = v_0 A = r_1 - r_2 v_0$$

$$r_1 - r_2 = 200 - 5 + 2620 - 200 - 5 - 2620 = 2004620 = 50620 \approx 5024.9 = 0.498$$

$$A = r_1 - r_2 v_0 = 0.4988.89 \approx 17.85 B = -A \approx -17.85$$

因此, 位移表达式为:

$$x(t) = 17.85e^{0.224t} - 17.85e^{-0.274t}$$

4.计算位移

当位移达到 10mm时, 令  $x(t) = x_{\max} = 0.01\text{m}$ ,  
即:  $17.85e^{0.224t} - 17.85e^{-0.274t} = 0.01\text{m}$ 。

5.模型评估

通过模型分析, 在0.01s碰撞过程中释放最大冲击力, 门板和钣金可以避免脱离造成实验中对假人的伤害值评估。

模型设计和辅助分析

通过对理论模型分析, 可以参考在0.01s内避免瞬间冲击力, 将门板和钣金分开。要求设计模型需要在柱碰过程中释放掉瞬间冲击力, 避开峰值力对产品结构的影响, 再次进行二次对门板限制固定, 在变形过程中避免产品塑性变形超越材料屈服于强度, 和抗拉伸强度和断裂韧性产生产品断裂。

钣金增加金属挂件, 内饰门板和金属件之间增加了挂接结构 (见图7), Y向间隙10mm, 本设计中第一

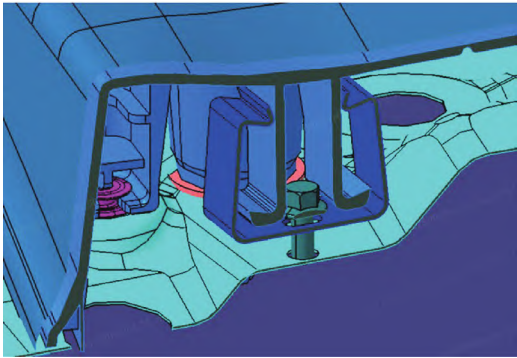


图7 挂接结构

层固定结构为周边卡扣和钣金连接。当碰撞瞬间冲击力将会影响门板和钣金之间配合, 此时内饰门板应力得到适当释放减小塑性变形撕裂风险, 门板变形过程中继续金属件进行限位, Y向无法继续释放, 但是X和Y向应力得到释放减少内饰门板撕裂风险。瞬间冲击力释放后, 门板和钣金快速回弹门板可实现无脱离和无二次伤害乘风险。

在假人肩关节出现触底现象的情况下, 侧气囊覆盖到肩部, 对于肩部力的降低帮助有限。侧气囊覆盖到肩部, 使假人手臂抬起变得困难, 对上肋骨变形量的控制不利。

Word SIP假人肩部碰撞区域内, 接触力不超过3000N, SID IIs假人碰撞区域内, 接触应力不超过2000N, 车身内饰门板胸部碰撞区域 (见图8) 力学特性以冲击块接触内饰作为临时原点, 内饰位移量不超过24mm, 或者内饰门板与障碍物距离的一半, 接触应力 (见图9) 不超过200N。

此设计案例中最关键因子在于固定门板车身钣金

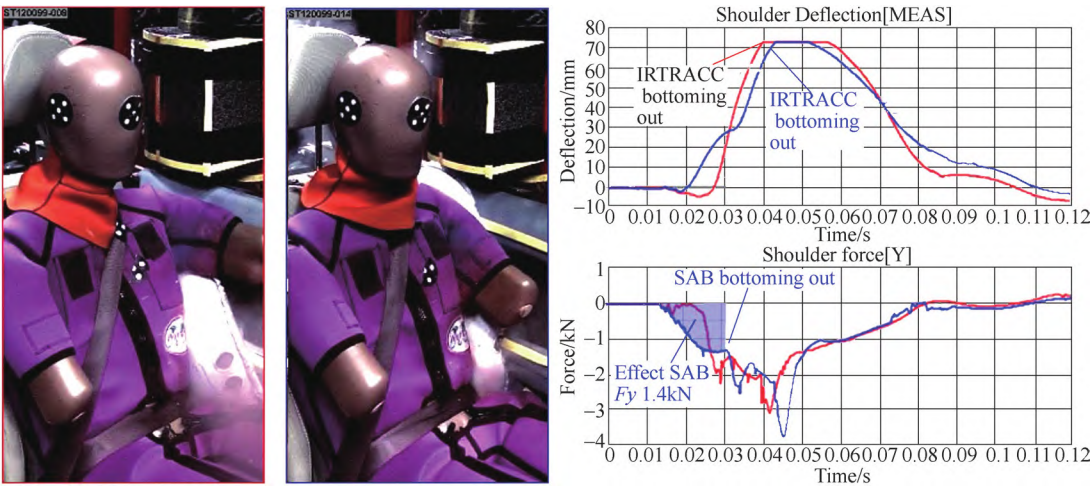


图8 车身内饰门板胸部碰区域

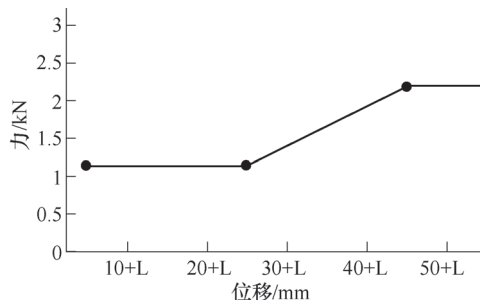


图9 接触应力

之间的关系，松但是不脱离。有效承载冲击力和释放冲击力，最后依靠钣金本身弹性模量回弹，内饰门板组合结构的弱化和弹性模量回弹得以让内饰门板无损伤和自动修复到原来状态，同时无撕裂和尖锐物体对假人造成潜在风险。实验室验证结果如图10所示，内饰门板实验后得到很结果。



图10 实验室验证结果

结语

基于数据结构分析，理论模型分析，和实车测量评价进行内饰门板在柱碰中提升安全系数和避免门板断裂进行了分析，得出如下两点：（1）车辆本身刚度可以很好的在特殊和环境下对乘员减少伤害，但是机舱内对乘员保护措施同样重要，避免乘员在机舱内因为产品原因造成二次伤害。（2）乘用车车内饰门板与车身钣金连接采用应力释放的设计方向，释放瞬间X方向和Y方向应力，可以更好保证门板在碰撞中的完整性，为后期类似设计带来指导方向。

参考文献：

[1] 王方，杨济匡.车门防撞杆对汽车侧面碰撞安全性的影响研究[C]//Hunan University, Guangzhou HONDA, China Automotive Engineering Research

Institute, The SAIC-Wuling Automobile Co., Ltd. Infats Proceedings of The 5th International Forum of Automotive Traffic Safety.湖南大学汽车先进车身设计制造国家重点实验室，2007：208-214.

[2] 田国红，等.汽车侧面碰撞法规发展趋势研究[J].汽车实用技术，2018（4）：166-167，189.

[3] 陈克，等.基于虚拟试验场技术的汽车侧面碰撞仿真分析[J].中国工程机械学报，2010，8（4）：449-454.

[4] 陆善彬，管欣，张君媛.汽车侧面碰撞仿真工具的验证开发及应用[J].科学技术与工程，2009（9）：2513-2517.

[5] 陈晓东，尹同耀，朱西产，等.汽车侧面碰撞计算机仿真方法[J].汽车工程，2004（1）：65-69.

[6] 武和全，毛鸿锋，曹立波.汽车侧面碰撞车门可靠性优化设计[J].公路交通科技，2016，33（8）：146-151.

[7] 黄虎，常健，何稚桦，等.汽车侧面碰撞试验探讨[J].上海工程技术大学学报，2002（2）：105-109.

[8] 范体强，黄超群，万鑫铭.车门防撞杆对汽车侧面碰撞性能的影响[C]//Infats Proceedings of the Sixth International Forum of Automotive Traffic Safety.中国汽车工程研究院汽车产品研发中心，2008：21-26.

[9] 何昌璠，彭晓阳，程博.汽车侧面碰撞安全性研究探讨[J].北京汽车，2010（1）：1-4，20.

[10] 冯晓明，赵强.电动汽车侧面碰撞仿真与优化[J].森林工程，2016，32（5）：59-64.

[11] 耿炎.汽车侧面碰撞安全性能的改善[J].汽车工程师，2016（9）：55-58.

[12] 刘芳华，陈晓东，费蓝冰.汽车侧面碰撞移动变形壁障试验方法[J].汽车技术，2004（12）：28-30，34.

[13] 陈昌明，于永志.汽车侧面碰撞中车门内部缓冲泡沫刚度的匹配[J].山东交通学院学报，2010，18（1）：5-8，12.

[14] 董学勤，朱西产，马志雄，等.基于零部件试验的汽车侧面碰撞假人伤害的研究[J].汽车工程，2012，34（10）：894-897，942. **AUTO1950**