

# Investigation on Passenger Neck Injury based on One Passenger Vehicle Front Crash Test

Di GUAN, Dayong ZHOU, Weiguo LIU

Geely Automobile Research Institute

Zhejiang Key Laboratory of Automobile Safety Technology

Hangzhou, China, Code: 311228

Email: guandi@geely.com

**Abstract:** The passenger neck bending moment injury was analyzed based on one passenger vehicle C-NCAP 50km/h 100% overlap rigid wall crash test data. By studying of CAE results, the method by adjusting airbag shape and tuning airbag stiffness is established. The sled test result verifies the validity of the method. Finally, neck injury scores full points in whole vehicle validation crash test.

**Keywords:** C-NCAP, front crash, neck injury, airbag, CAE

## 某乘用车正面碰撞乘员颈部伤害研究

管迪, 周大永, 刘卫国

浙江吉利汽车研究院有限公司

浙江省汽车安全技术研究重点实验室

杭州, 中国, 邮编: 311228

Email: guandi@geely.com

**摘要:** 本文以某乘用车 C-NCAP 50km/h 100% 正面刚性墙碰撞试验中乘员颈部伤害问题为研究对象, 通过仿真分析, 提出了更改乘员安全气囊袋形和调整气囊刚度的解决方案, 滑台试验确认了 CAE 方案的有效性。最终经过整车试验验证, 颈部可获得了满分。

**关键词:** C-NCAP; 正面碰撞; 颈部伤害; 气囊; CAE

### 1 引言

中国新车安全评价程序C-NCAP (China New Car Assessment Program) 于2006年颁布执行, 该程序旨在建立高标准、公正和客观的车辆碰撞安全性能评价方法, 以促进汽车安全技术的发展<sup>[1]</sup>。C-NCAP对前排驾驶员和乘员的颈部伤害评价指标包含轴向力、剪切力和伸张弯矩, 其中伸张弯矩的高性能指标是42Nm, 低性能指标是57Nm, 影响该指标的主要因素是车体加速度, 座椅对假人约束支撑, 以及气囊、安全带等约束系统的匹配。

本文主要通过分析正面碰撞中乘员假人在安全带和安全气囊约束下的运动过程, 以颈部 $M_y$ 为研究对象, 具体结合某乘用车正面碰撞颈部实际伤害值情况, 研究减小颈部伸张弯矩 $M_y$ 的改进方法, 从而提高乘员假人颈部在C-NCAP星级评价中的得分。

### 2 乘员颈部 $M_y$ 伤害机理分析

某乘用车C-NCAP 50km/h正面碰撞试验中乘员假人颈部得分仅1.1分, 颈部伸张弯矩 $M_y$ 达到49.1Nm是扣分的原因, 如表1。为提高正面碰撞整体得分, 需要在综合考虑头部和胸部得分的前提下, 减小乘员颈部 $M_y$ 。

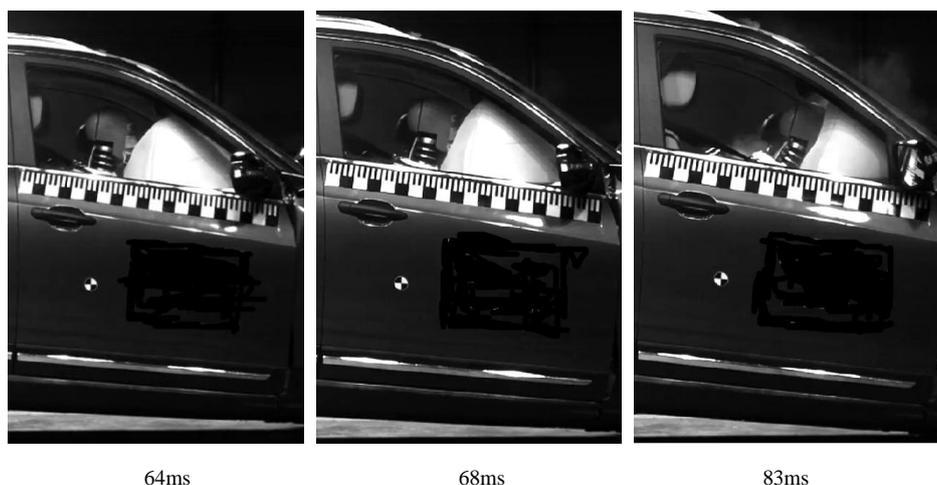
50km/h正面碰撞过程开始时, 车体减速, 假人相对车体继续运动, 随着安全带起作用, 胸部做减速运动, 而头部由于惯性作用继续向前, 则头部与胸部产生相对运动。随着气囊的展开并作用于假人时, 假人的颈部受力是安全带对胸部约束传递至颈部的力与气囊支撑力的综合作用。当安全带限力及气囊泄气基本结束后, 由于

假人回弹，头部震荡复位，假人颈部My也逐步衰减至零。整个过程可分为三个阶段：安全带肩带起主导作用阶段；安全带和气囊共同对颈部作用阶段；胸部回弹，头部回追震荡复位阶段<sup>[2][3][4]</sup>。

**表 1. 50km/h 正面碰撞试验乘员假人头、颈、胸伤害值**  
**Table1. Injury of passenger head, neck, chest in 50km/h front crash test**

条目	单位	伤害值限值		乘员伤害值	得分	总分	
		上限	下限				
头部	HIC <sub>36</sub>	-	650	1000	370.0	5.0	5.0
	3ms加速度	g	72	88	50.1	5.0	
	轴向力 +Fz	N	2700	3300	1381.0	2.0	
颈部	剪切力 Fx	N	1900	3100	447.5	2.0	1.1
	伸张弯矩 -My	Nm	42	57	49.1	1.1	
胸部	3ms加速度	g	38	60	33.3	5.0	4.2
	压缩量	mm	22	50	26.5	4.2	

安全气囊与头部的接触位置及头部与气囊接触时气囊的姿态是直接影响颈部力和弯矩的两个重要因素。由图1可以看出，该乘用车试验中，64ms时刻乘员假人与气囊开始接触，接触位置在头部质心以下（假人下颚先接触气囊），而该时刻气囊与风挡玻璃并未完全接触，气囊仍然在沿Z向向上运动（对比68ms时的图片可以看出），致使假人颈部My开始增加，在83ms时达到最大值（如图2），之后由于气囊泄气，逐渐变软，颈部My开始回落。因此，提高假人接触时刻气囊稳定性同时调整气囊刚度是解决问题关键所在，主要从改变气囊袋形和调整气囊泄气孔尺寸两方面研究解决。



**Figure 1. Three moment of dummy contacting with airbag**

**图1. 假人与气囊接触状态**

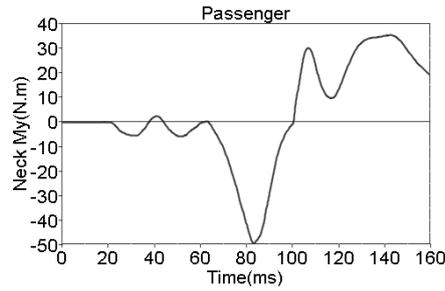


Figure 2. Neck My injury curve

图2. 假人颈部My曲线

### 3 气囊袋形和刚度的调整

气囊袋形优化的关键点在于获得稳定的展开姿态和正确的假人与气囊接触位置。利用Madymo对约束系统建模，调整气袋形状并进行仿真。如图3所示。对比袋形改变前后65ms时刻的结果：袋形改变前，假人与气囊接触时，气囊与风挡无支撑，处于不稳定状态，并且气囊与假人胸部有明显接触；袋形改变后，假人与气囊接触时，气囊与风挡接触，气囊状态稳定并且与胸部无接触。

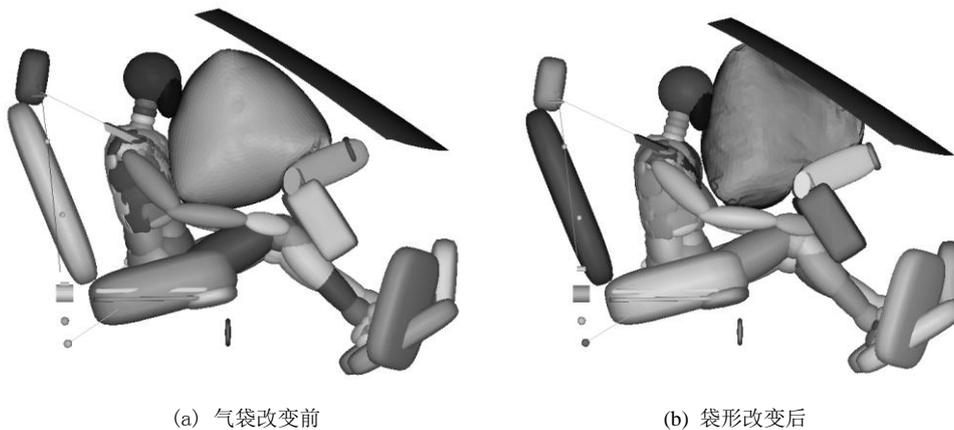


Figure 3. Dummy contacting with airbag @65ms

图3. 65ms时刻乘员与气囊接触状态

在确定气囊袋形稳定后，通过更改泄气孔尺寸对气囊刚度进行优化，对比仿真结果及滑台试验结果，如表2所示。新袋形大幅降低了假人颈部My及胸部压缩量伤害值（组合2），使用新袋形的情况下，减小气囊泄气孔进一步减小了颈部My（组合3）。

从滑台试验录像截图4可以看出，采用组合3，气囊刚度较大，在假人与气囊接触时刻，气囊更稳定而且假人接触位置更合理，颈部My有所降低，如图5，但随着气囊变硬会导致胸部压缩量增加，如图6。采用组合2，气囊刚度较小，胸部压缩量较低，但气囊对头部的支撑不足，颈部My较高。均衡考虑颈部和胸部整体得分，确定采用组合3的参数进行整车试验验证。

**表 2 仿真结果与滑台试验结果对比**  
**Table2. CAE result VS. sled test result**

组合	泄气孔直径 (mm)	仿真结果		滑车试验结果		说明
		乘员颈部 My (Nm)	副驾胸部压缩量 (mm)	乘员颈部 My (Nm)	副驾胸部压缩量 (mm)	
1	2*φ30 1*φ15	43.7	33.2	61.5	32.5	原始袋形结果
2	2*φ30 1*φ15	18.3	28.8	40.6	29.3	袋形优化结果
3	2*φ30	16.7	28.8	24.2	33.0	袋形优化+刚度优化结果



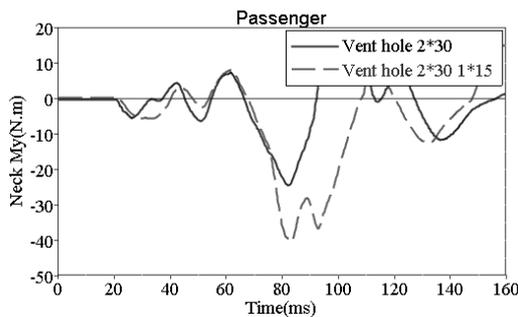
(a) 组合2



(b) 组合3

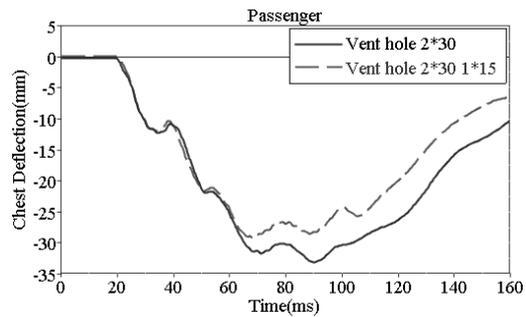
**Figure 4. Dummy contacting with airbag @65ms**

**图4. 65ms时刻乘员与气囊接触状态**



**Figure5. Neck My in sled test**

**图5 滑台试验颈部My**



**Figure6. Chest Deflection in sled test**

**图6 滑台试验胸部压缩量**

## 4 整车试验验证

采用优化的袋形和2\*φ30mm泄气孔参数（组合3）进行了整车试验，试验结果如表3，颈部得到2分满分，相比优化前整车试验成绩提高0.9分，胸部得到3.6分，达到了目标。

Table3. Injury of passenger head, neck, chest in 50km/h front crash test

表 3. 50km/h 正面碰撞试验乘员假人头、颈、胸伤害值

条目	单位	伤害值限值		乘员伤害值	得分	总分
		上限	下限			
头部	HIC <sub>36</sub>	-	650	1000	304.0	5.0
	3ms加速度	g	72	88	41.4	5.0
	轴向力 +Fz	N	2700	3300	1170.2	2.0
颈部	剪切力 Fx	N	1900	3100	223.8	2.0
	伸张弯矩 -My	Nm	42	57	36.2	2.0
胸部	3ms加速度	g	38	60	37.9	5.0
	压缩量	mm	22	50	29.7	3.6

对比整车和滑车试验假人颈部My和胸部压缩量曲线（如图7、图8），趋势基本一致，但伤害值大小略有不同，一部分原因是整车试验存在车体的整体上翘运动（Pitching），而滑车试验无法模拟，导致假人与气囊的动态接触略有不同，而碰撞试验的误差也是一方面原因。

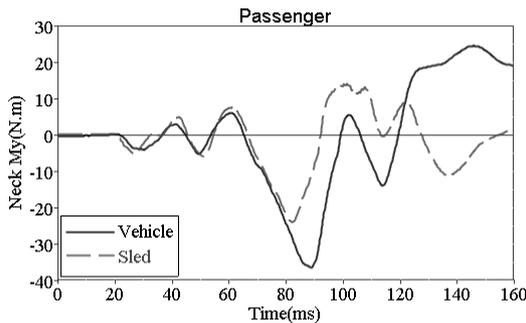


Figure7. Neck My curve in sled test VS. in vehicle test

图7. 整车与滑车颈部My对比

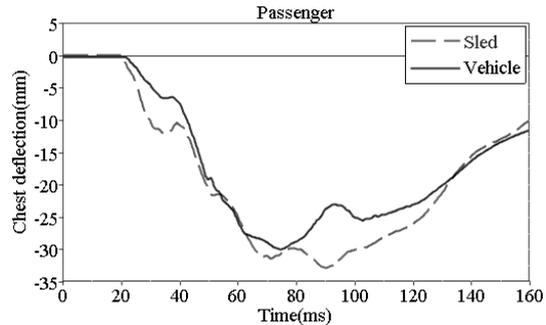


Figure8. Chest Deflection curve in sled test VS. in vehicle test

图8 整车与滑车胸部压缩量对比

## 5 总结

本文分析了某乘用车正面碰撞试验中乘员颈部My伤害的成因，通过合理设计气囊袋形和调整泄气孔尺寸，经过CAE和滑台试验验证方案，最终整车试验得分达到了目标。试验结果表明，保证乘员气囊展开后的稳定性并配合合理的气囊刚度，可以给颈部和胸部提供更好的保护效果，这对约束系统的设计有一定的参考意义。

## 参考文献 (References)

- [1] C-NCAP评价规程（2015版）[M]. 中国汽车研究中心. 2015.
  - [2] 王灿军, 管迪. 基于台车试验方法的某微型轿车乘员约束系统改进设计[C]. 汽车技术, 2009, 11, 38-41.
  - [3] 杜亮, 张绍卫, 朱西产. 正面100%RB碰撞中假人颈部My伤害分析[C]. 交通安全, 2011.
  - [4] 李建功, 李三红, 张雄辉. 安全气囊和安全带对假人上颈部伤害的研究[C]. 第十四届中国汽车安全技术学术会议论文集, 350-354.
- 作者简介: 管迪, 男, 36岁, 博士, 浙江吉利汽车研究院有限公司, 从事车辆被动安全设计与研究。