

# 双腔侧面气囊对侧面柱碰假人保护研究

曹洋，罗昆，吴泽群

东风汽车有限公司东风日产乘用车公司技术中心

**【摘要】** 针对侧面柱碰工况中假人保护难点，本文对某车型的侧面柱碰假人保护进行了相关研究。本文首先通过对该车型的假人运动姿态与假人伤害值进行对标研究，确保仿真与试验吻合良好，为该车型假人伤害值的优化奠定基础；然后详细阐述造成假人胸部肋骨压缩量过大的机理；最后提出一种双腔侧面气囊以降低假人胸部压缩量，并进行了仿真验证。结果表明：双腔侧面气囊的下腔体实现了假人手臂上抬，进而对胸腹部起到良好的保护作用，同时，上腔体覆盖住肩部，进而对肩部起到良好的保护作用。该设计思路可为其他车型的侧面柱碰假人保护提供参考。

**【关键词】** 侧面柱碰，假人保护，双腔侧面气囊，仿真

## Research on Dummy Protection of Dual-Chamber Side Airbag in Side Pole Crash

Cao Yang, Luo Kun, Wu Zequn

Dongfeng Nissan Passenger Vehicle company, Passenger Vehicle Technical Center, Dongfeng Motor Co., Ltd.

**Abstract:** In view of the difficulty of dummy protection in the side pole crash condition, a relevant Research is carried out based on the dummy protection of a certain vehicle. Firstly, In order to lay a foundation for the optimization of dummy damage, a benchmark of movement posture and damage of dummy was carried out to ensure that simulation and test result were in good agreement. Then the mechanism of excessive chest rib compression of dummy was elaborated in detail. Finally, a dual-chamber side airbag is proposed to reduce the chest compression of dummy, and the simulation was carried out. The results show that the lower cavity of the dual-chamber side airbag can lift dummy's arm to protect its chest and abdomen, while the upper cavity of the dual-chamber side airbag can cover the shoulder and provide good protection for it. This design idea can provide reference for dummy protection of the side pole crash of other vehicles.

**Key words:** side pole crash, dummy protection, dual-chamber side airbag, simulation

## 引言

根据 2015 年中国交通事故深入研究（China In-Depth Accident Study, CIDAS）数据库统计，汽车侧面柱碰事故的乘员死亡率高达 30.8%。当车辆与刚性较大的柱状物发生碰撞时，由于柱状物与车辆侧围接触面积小，导致车身局部侵入程度非常大，直接对车内乘员造成严重伤害<sup>[1]</sup>。由于侧面柱碰工况中假人保护比较困难，因此，国内外对于该工况中乘员保护进行了大量深入研究<sup>[2-4]</sup>。当侧面碰撞发生时，侧面气囊（SAB）通过吸收碰撞能量来减少传递到乘员的能量，进而对乘员提供保护<sup>[5]</sup>。国内外对于侧面气囊的研究非常多，但主要研究单腔气囊。在侧面柱碰工况中，往往容易出现侧面气囊对于胸部与肩部保护不能兼顾的情况，其主要原因有以下两点：①SAB 不能使假人手臂上抬，手臂挤压胸部肋骨导致胸部肋骨压缩量较大，造成胸部失分；②SAB 能够使手臂上抬，但是 SAB 不能覆盖住肩部，导致肩部力超过 3kN，造成胸部整体得 0 分。本文首先借助某车型侧面柱碰试验数据进行仿真对标，确保假人保护仿真精度。然后针对 SAB 不能兼顾保护胸部与肩部的现象，分析了其机理，据此设计了一种双腔侧面气囊，并对该双腔侧面气囊的作用进行仿真验证。

## 1 2021 年版 C-NCAP 侧面柱碰试验

### 1.1 试验方法与评价内容介绍

根据 C-NCAP 管理规则（2021 年版），侧面柱碰试验中整车以 32km/h 的试验速度，75°碰撞角撞击直径为 254mm 的固定刚性柱，其工况如图 1 所示。碰撞角为平行于车辆碰撞速度矢量的垂直面与车辆纵向中心线之间形成的角度。刚性柱表面中心线应对准车辆碰撞侧外表面与通过假人头部重心垂直平面的交叉线<sup>[6]</sup>。侧面柱碰试验主要评估以下两个方面：①评估电动汽车电池系统碰撞安全性；②评估对前排驾驶员侧假人的保护能力。本文只对侧面柱碰中假人保护进行研究。

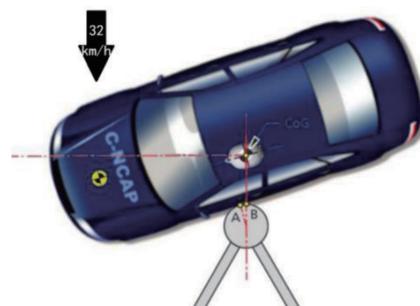


图 1 侧面柱碰试验示意图

## 1.2 假人评分规则

侧面柱碰试验中，前排驾驶员侧放置 WorldSID 50th 假人，假人评分规则<sup>[6]</sup>如下。

1) 侧面柱碰试验最高分数为 16 分，头部、胸部、腹部及骨盆 4 个部位最高分数均为 4 分。

2) 假人各部位高性能限值与低性能限值对应的分数分别为 4 分和 0 分，假人各部位均通过高性能限值和低性能限值线性插值的方法计算分数，各部位评价指标的高、低性能限值见表 1。

3) 若同部位有多个评价指标，则采用其中的最低分数来代表该部位分数。

表 1 侧面柱碰 WorldSID 50th 假人评价指标

评价部位	评价指标	高性能限值	低性能限值
头部	头部 HIC <sub>15</sub>	500	700
	3ms 合成加速度/g	72	80
胸部	压缩变形量/mm	28	55
	备注 1：肩部侧向力 $\geq 3\text{kN}$ ，则胸部为 0 分 备注 2：胸部肋骨 VC $\geq 1.0\text{m/s}$ ，则胸部为 0 分		
腹部	压缩变形量/mm	47	65
	备注：腹部肋骨 VC $\geq 1.0\text{m/s}$ ，则腹部为 0 分		
骨盆	耻骨力/kN	1.7	2.8

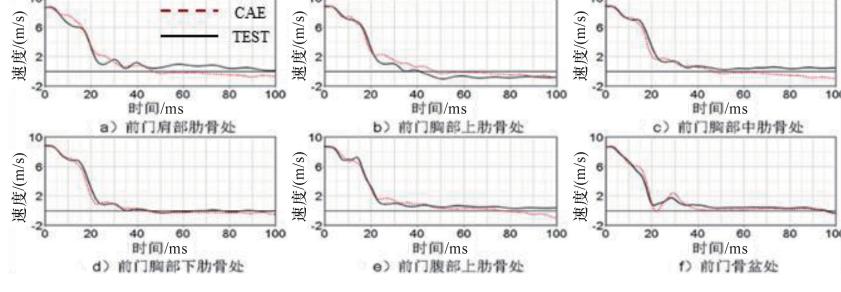


图 3 试验与仿真中前门侵入速度曲线

## 2.2 假人运动响应对称

试验中在 WorldSID 50th 假人左侧布置有 6 个加速度传感器，分别布置在假人肩部肋骨、胸部上中下肋骨、腹部上下肋骨及骨盆处，其布置位置如图 4 所示。假人运动响应对标应按照“由下到上”原则，首先对标下肢、髋部、腹部和胸部，然后对标头部<sup>[7]</sup>。图 5 为试验与仿真中假人各部位速度曲线对比。图 6 为试验与仿真中假人运动时序图。由图 5 与图 6 可知，仿真中假人运动响应与试验基本吻合，故该仿真模型可用于后续假人伤害响应对标。

## 2.3 假人伤害响应对称

柱碰试验 WorldSID 50th 假人主要评估头部、胸部、腹部及骨盆 4 个部位，在进行假人伤害响应对标时，主要对标以上 4 个部位的假人伤害值与伤害值曲线。表 2 为试验与仿

## 2 侧面柱碰试验与仿真结果对标

首先建立某车型基于 LS-dyna 的侧面柱碰仿真模型，然后根据柱碰试验中的试验速度、撞击位置、试验质量及假人姿态等信息调整仿真模型，并先后从车体运动响应、假人运动响应及假人伤害响应三个方面分步有序进行仿真对标。

### 2.1 车体运动响应对称

试验中在前门内板上布置有 6 个加速度传感器，分别布置在假人肩部肋骨、胸部上中下肋骨、腹部上肋骨及骨盆处加速度计在前门上的投影位置，其布置位置如图 2 所示。图 3 为试验与仿真中前门侵入速度曲线对比。由图 3 可知，仿真中前门侵入速度曲线与试验曲线基本吻合，故该仿真模型可用于后续假人运动响应对标。



图 2 前门加速度计位置



图 4 假人加速度计位置

真中假人伤害值对比。图 7 为试验与仿真中伤害值曲线对比。从表 2 和图 7 可知，仿真中假人各部位伤害曲线与试验曲线基本吻合，满足“起始时刻、峰值、峰值时刻、上升沿、下降沿、整体形状”等基本特征误差要求<sup>[7]</sup>，仿真与试验中假人各部位伤害值误差均在 10% 以内，故该仿真模

型可用于后续假人伤害值优化。

(续)

表 2 试验与仿真中假人伤害值对比

伤害指标	满分限值	试验值	仿真值	误差
HIC <sub>15</sub>	500	416.0	379	-8.9%
头部得分	4.0	4.0	4.0	0.0%
胸部上肋骨压缩变形量	28mm	37.8mm	37.9mm	0.2%
胸部中肋骨压缩变形量	28mm	23.7mm	23.9mm	0.8%
胸部下肋骨压缩变形量	28mm	20.5mm	20.5mm	0.0%
肩部侧向力	3kN	2.1kN	2.1kN	0.0%

伤害指标	满分限值	试验值	仿真值	误差
胸部得分	4.0	2.5	2.5	0.0%
腹部上肋骨压缩变形量	47mm	20.3mm	19.8mm	-2.5%
腹部下肋骨压缩变形量	47mm	14.0mm	14.8mm	5.7%
腹部得分	4.0	4.0	4.0	0.0%
耻骨力	1.7kN	0.7kN	0.7kN	0.0%
骨盆得分	4.0	4.0	4.0	0.0%
总体得分	16.0	14.5	14.5	0.0%

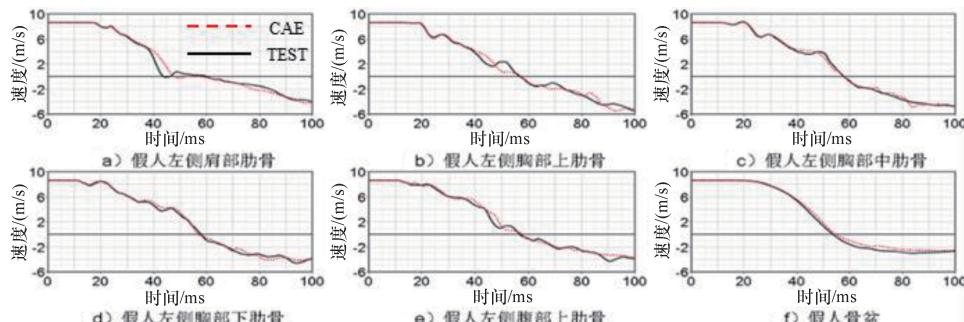


图 5 试验与仿真中假人速度曲线

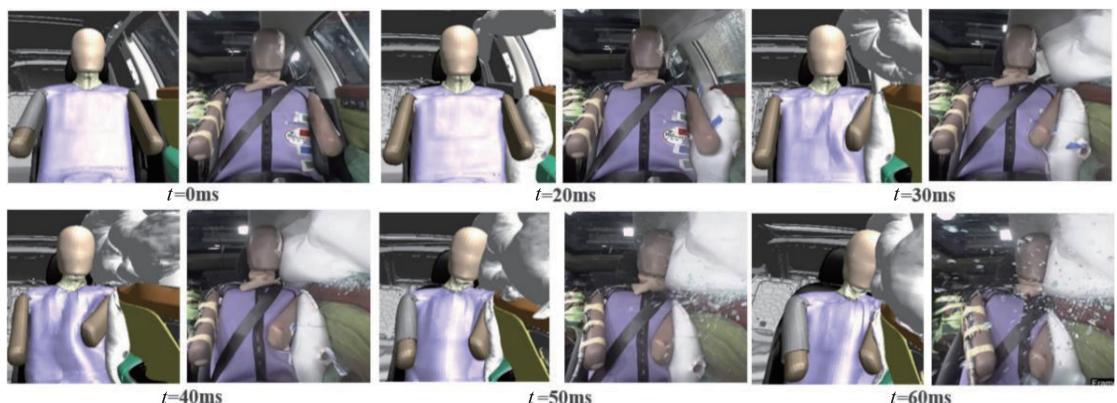


图 6 试验与仿真假人运动时序图

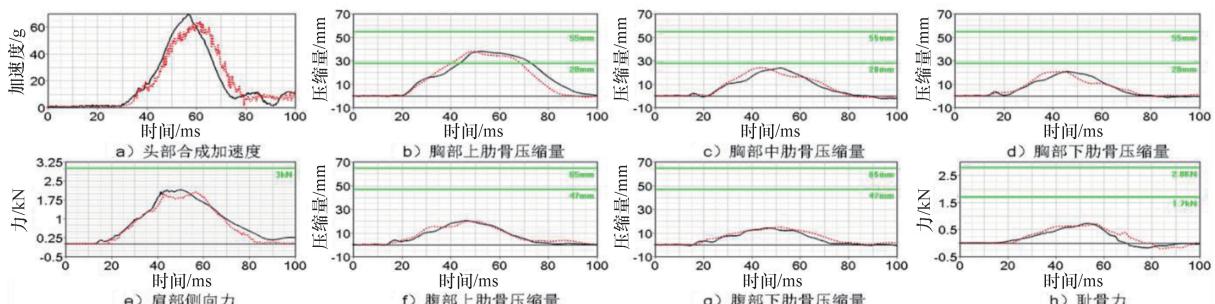


图 7 试验与仿真中假人伤害曲线

### 3 原有约束系统假人伤害结果分析

根据 C-NCAP 管理规则（2021 年版），某车型柱碰工况中 WorldSID 50th 假人的头部、腹部和骨盆的伤害值均远低于其高性能限值，但是胸部上肋骨的压缩变形量超过其高性能限值，导致在假人在得分上无法获取满分，且胸部中肋骨的压缩变形量与其高性能限值较为接近，安全余量不够，若试验条件波动，可能胸部中肋骨压缩变形量增加，导致胸部有较大的失分风险。

由表 2 可知，该车型柱碰工况中胸部上肋骨压缩变形量

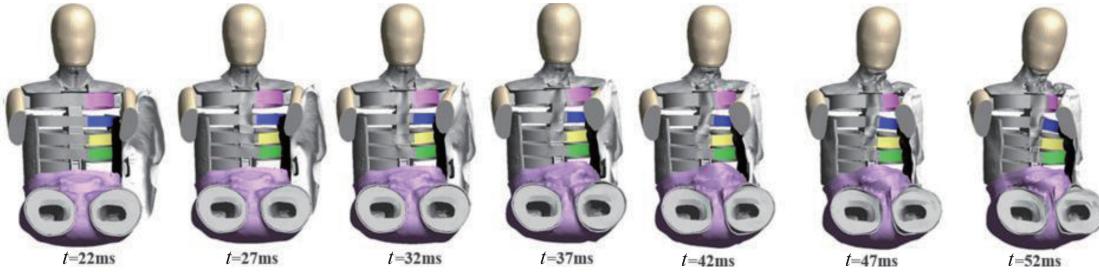


图 8 原有侧面气囊下假人运动时序图

原有单腔侧面气囊开发时只考虑了 C-NCAP 与 C-IASI 侧碰工况，未考虑柱碰工况。在该车型侧面碰撞工况中，由于侧面气囊给手臂的反力较小，虽然碰撞过程中手臂一直挤压胸部上肋骨，但胸部上肋骨压缩变形量也远低于其高性能限值，使侧面气囊能够有效保护假人胸部。如图 9 所示，在柱碰工况中，假人手臂位于碰撞路径上，因此车体变形过程中手臂将受到柱子传递给侧面气囊较大的反力，此时若手臂一直挤压胸部上肋骨向假人内侧移动，则会导致胸部上肋骨压缩变形量过大。

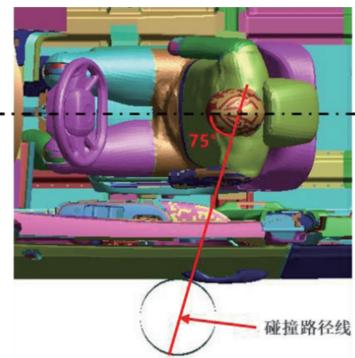


图 9 柱碰碰撞路径图

### 4 双腔侧面气囊的设计及仿真验证

由于原有单腔侧面气囊在柱碰过程中无法实现手臂上抬，导致假人胸部上肋骨压缩变形量超标而造成假人无法获得满分，因此，考虑重新设计侧面气囊以满足项目要求。

#### 4.1 双腔侧面气囊设计

本文中新型侧面气囊为双腔侧面气囊，该气囊已经申请专利，其结构如图 10 所示。该双腔侧面气囊分为上、下两个腔室，上腔室用来对乘员肩部提供保护，下腔室用来保护

为 37.9mm，大于 28mm（高性能限值），导致胸部失分。为了调查胸部上肋骨压缩变形量过大的原因，我们通过结合假人运动时序（图 8）与胸部上肋骨压缩变形量曲线（图 7）分析，发现在 22ms 左右，侧面气囊挤压假人手臂，推动手臂与胸部上肋骨开始产生接触，导致胸部上肋骨开始发生压缩变形，在后续的侵入过程中侧面气囊继续推动手臂向假人内侧移动，使得假人胸部上肋骨一直处于假人手臂的挤压状态，导致侧面气囊无法覆盖胸部上肋骨区域，造成侧面气囊无法有效保护胸部上肋骨。

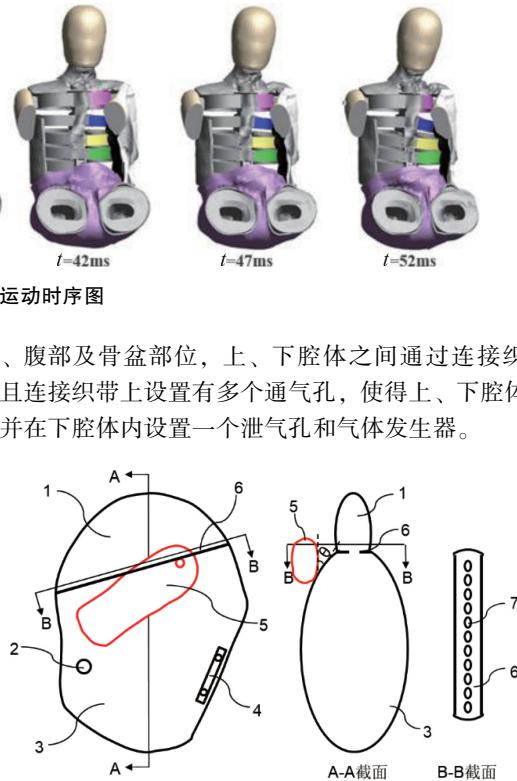


图 10 双腔侧面气囊结构示意图

1—上腔体 2—泄气孔 3—下腔体 4—气体发生器  
5—假人手臂 6—连接织带 7—通气孔

本文中双腔侧面气囊在侧面柱碰工况中作动如图 11 所示。当侧面气囊接收到电信号点爆后，气体发生器喷射气体迅速填充下腔体，下腔体先膨胀而变得饱满而有较大刚度，在连接织带的作用下，下腔体在织带位置处形成一个明显的凸斜面，此时有较大刚度的气囊凸斜面开始接触假人手臂，使得假人手臂与凸斜面形成夹角  $\theta$ ，随后假人手臂在夹角的作用下被下腔体抬起，此时下腔体直接接触假人胸部、腹部与骨盆部位，实现下腔体对该部位的保护。与此同时，气体发生器继续喷射气体，使气体从下腔体通过连接织带上的一排通气孔进入上腔体，当假人手臂抬起后，上腔体变得饱满而有较大刚度，前门内饰继续往假人方向侵入，上腔体覆盖住假人肩部区域，实现对假人肩部的保护。

#### 4.2 双腔侧面气囊仿真验证

将新设计的双腔侧面气囊导入到已对标的整车侧面柱碰模型中，并提交计算以验算该双腔气囊的效果。本文利用

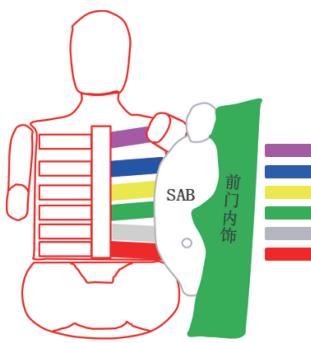


图 11 双腔侧面气囊作动示意图

C-NCAP 管理规则（2021 年版）侧面柱碰规程中的假人损伤指标来评价新型双腔侧面气囊的保护效果。两种侧面气囊下的假人伤害值统计对比见表 3，两种侧面气囊下的假人伤害曲线对比如图 12 所示。由表 3 可知，双腔侧面气囊下的各项假人伤害值指标均低于高性能（满分）限值，假人得分为 16 分（满分）。

表 3 优化前后假人伤害值对比

伤害指标	满分限值	原气囊	新气囊	变化率
HIC <sub>15</sub>	500	379	303	-20.1%
头部得分	4.0	4.0	4.0	0.0%
胸部上肋骨压缩变形量	28mm	37.9mm	21.8mm	-42.5%
胸部中肋骨压缩变形量	28mm	23.9mm	22.1mm	-7.5%
胸部下肋骨压缩变形量	28mm	20.5mm	21.2mm	3.4%
肩部侧向力	3kN	2.1kN	2.0kN	-4.8%
胸部得分	4.0	2.5	4.0	60.0%

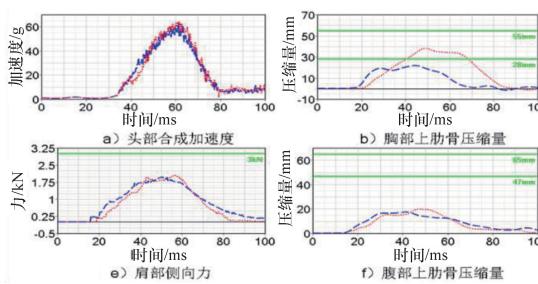


图 12 原有侧面气囊与双腔侧面气囊假人伤害曲线

伤害指标	满分限值	原气囊	新气囊	变化率
腹部上肋骨压缩变形量	47mm	19.8mm	17.4mm	-12.1%
腹部下肋骨压缩变形量	47mm	14.8mm	12.6mm	-14.9%
腹部得分	4.0	4.0	4.0	0.0%
耻骨力	1.7kN	0.7kN	0.8kN	14.3%
骨盆得分	4.0	4.0	4.0	0.0%
总体得分	16.0	14.5	16.0	10.3%

从表 3 和图 12 可看出，相比于原有单腔侧面气囊，新型双腔侧面气囊下假人胸部上肋骨压缩量变化较大，压缩量由 37.9mm 降为 21.8mm，小于 28mm（高性能限值），降低了 42.5%，最终假人胸部得分由 2.5 分提高到 4.0 分（满分），提高了 60.0%，假人其他部位得分均为 4.0 分（满分），因此，双腔侧面气囊下假人总体得分由 14.5 分提高为 16.0 分（满分），整体提高了 10.3%。表 3 的伤害值数据表明，在侧面柱碰工况中，新型双腔侧面气囊对乘员具有良好的保护效果。

图 13 为双腔侧面气囊下假人运动时序图。由图 13 可知，在 18ms 左右，双腔侧面气囊的下腔体充满气体，开始接触假人手臂并使其往上抬起，与此同时，上腔体也填充了一部分气体；在 23ms 左右，下腔体继续推动手臂使其上抬，与此同时，上腔体充满气体并轻微接触假人肩部与手臂；在 28ms 左右，手臂基本已经抬起到最高位置，与此同时，上腔体已经被假人肩部挤压变形，从而起到了保护肩部作用；在 28ms 至侧面气囊泄气完期间，上腔体与下腔体一直保护整个假人肩部、胸部、腹部及骨盆。从假人运动时序来看，该双腔侧面气囊实现了抬手臂并保护肩部、胸部、腹部及骨盆的设计构想。图 12 表明，在侧面柱碰工况中，当侧面气囊能够实现假人手臂上抬并覆盖假人肩部时，假人胸部将受到良好的保护。

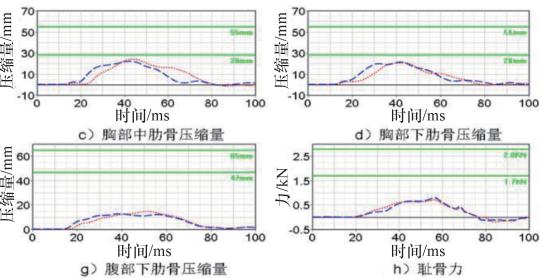


图 13 双腔侧面气囊下假人运动时序图

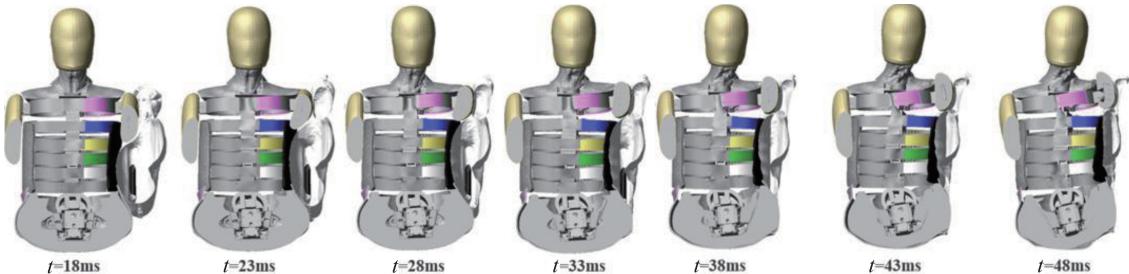


图 13 双腔侧面气囊下假人运动时序图

## 5 结论

针对某电动车型 2021 年版 C-NCAP 管理规则侧面柱碰工况中假人保护的难题，本文通过建立侧面柱碰整车模型并完成实验对标。研究发现，在侧面柱碰工况中，侧面气囊在展开后直接在 Y 向挤压假人手臂，进而推动手臂挤压胸部上肋骨，导致胸部上肋骨压缩量超标，该气囊无法有效保护假人胸部。结合胸部上肋骨损伤机理，通过设计一种双腔侧面

气囊来解决手臂挤压胸部上肋骨的问题。结果表明，双腔侧面气囊的下腔体实现了手臂上抬功能并有效保护胸部、腹部及骨盆部位，上腔体有效覆盖住肩部并起到保护作用，假人胸部得分由 2.5 分提高到 4.0 分（满分），提高了 60.0%，假人总体得分由 14.5 分提高为 16.0 分（满分），整体提高了 10.3%，双腔侧面气囊对假人具有良好的保护效果。文章中提出双腔侧面气囊设计思路，可为其他车型的侧面柱碰假人保护提供参考。

## 参 考 文 献

- [1] 侯福震, 张世凯, 金龙, 等. 某车型 FMVSS214 与 E-NCAP 侧面柱碰差异 [J]. 汽车工程师, 2014, (4): 39-42.
- [2] DONG G, WANG D. Side Structure Sensitivity to Passenger Car Crashworthiness During Pole Side Impact [J]. Tsinghua Science and Technology, 2007, 12 (3): 290-295.
- [3] 牛卫中, 刘金鑫, 潘胜娟. 汽车侧面柱碰位置与速度对车体安全性的影响 [J]. 汽车安全与节能学报, 2016, 7 (1): 55-59.
- [4] SHINOBU, T SHIGEKI H. Investigation of a Relationship Between External Force to Shoulder and Chest Injury of WorldSID and THUMS in 32km/h Oblique Pole Side Impact [J]. Traffic Injury Prevention, 2013, 14 (Suppl. 1): 64-76.
- [5] YOGANANDAN N, PINTAR F A, ZHANG J, et al. Lateral Impact Injuries with Side Airbag Deployments-a Descriptive Study [J]. Accident Analysis and Prevention, 2007, 39 (1): 22-27.
- [6] 中国汽车技术研究中心有限公司. C-NCAP 管理规则 (2021 年版) [EB/OL]. (2020-08-25) [2023-07-01] <https://cncap.obs.cn-north-4.myhuaweicloud.com/cms/files/627622862156513280.rar>.
- [7] 程海东, 田国红, 孙立国. 汽车侧面碰撞驾驶员侧侧气囊仿真研究 [J]. 汽车实用技术, 2017, (24): 80-82.