

Research and Analysis on Far Side Occupant Protection

Cheng LIN¹, Xingxing FENG²

¹ State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing 401122;

² China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd. 9 jinyun avenue YuBei District Chongqing
Email: lincheng@caeri.com.cn

Abstract: In car crash accidents, side impact injuries are very high, and there are differences in injuries between near-side and far-side occupants in side impact injuries. This paper, based on the C-IASI index for rear-seat occupant protection and the E-NCAP rear-seat occupant protection regulation, conducts multiple tests using the WorldSID dummy to investigate the protection of the dummy under different configurations of restraint systems in the test. The comparison is mainly based on the head displacement of the dummy, the neck force, torque, chest and abdominal displacement of the dummy, according to the regulatory requirements. The study shows that whether to configure the far-side airbag, the deployment form of the far-side airbag, the height of the center console, etc. all play an important role in the protection effect of the dummy, among which configuring the far-side airbag and the airbag effectively blocking the twisting trend of the dummy during the collision, and the height difference between the H point of the dummy and the center console being small can effectively improve the occupant protection effect.

Keywords: Far-side airbag; Head displacement of the dummy; Deployment form of the far-side airbag; Height of the center console

远端乘员保护试验研究与分析

林 诚¹, 冯星星²

¹ 汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 401122;

² 重庆渝北区金渝大道 9 号中国汽车工程研究院股份有限公司
Email: lincheng@caeri.com.cn

摘 要:在汽车碰撞事故中, 侧面碰撞造成的伤害是非常高的, 在侧面碰撞的伤害中近端侧和远端侧乘员受到的伤害又存在不同的地方。本文基于 C-IASI 指数远端乘员保护和 E-NCAP 远端乘员保护法规, 通过多次试验, 利用 WorldSID 假人探究了在试验中不同配置的约束系统对假人的保护情况, 根据法规要求主要通过假人的头部偏移量、假人颈部力、力矩、胸部和腹部位移量来进行对比。研究表明: 是否配置远端气囊、远端气囊的展开形式、中控台高度等因素都对假人的保护效果起到重要作用, 其中配置远端气囊, 气囊能有效阻挡假人碰撞过程中扭转趋势、中控台高度与假人 H 点高度差较小能有效提高乘员保护效果。

关键词: 远端气囊; 头部偏移量; 气囊展开形式; 中控台高度

1 引言

交通事故中, 车辆遭遇侧面碰撞时非常危险的一种碰撞形式。由于没有足够的缓冲吸能空间, 侧面碰撞相比正面碰撞更容易引发严重的人员伤害。在侧面碰撞事故中, 撞击侧近端乘员遭受直接伤害, 非撞击侧的远端乘员则可能因乘员-乘员间的头部或头肩接触, 受到多种形式的伤害。为提高车辆对远端乘员的保护能力, 各国法规引入了侧面远端乘员保护评价项目^[1]。针对当前主流远端乘员保护测试项目, 本文通过多次试验数据中不同配置的约束系统对假人的保护情况的统计分析并结合 C-IASI 指数远端乘员保护、E-NCAP 远端乘员保护法规评价体系以及未来发展趋势的研究, 总结出远端乘员保护试验中对人员伤害的主要影响因素, 并为汽车主被动

安全设计提供了研究方向，为构建“零伤亡”道路交通场景提供参考。



Figure 1. Side impact view
图 1. 侧面碰撞示意图^[1]

2 远端乘员保护试验介绍

本文针对 E-NCAP 远端乘员保护试验和 C-IASI 指数远端乘员保护试验各选取 10 个车型 34 次试验数据进行研究与分析。故仅对这两个工况的远端乘员保护试验进行介绍。

E-NCAP 远端乘员保护试验是基于欧盟新车安全评鉴协会实施的撞击测试中的一项，目的在于评价该车型对远端乘员的保护能力，该试验的得分由假人伤害和头部最大偏移量组成。

C-IASI 指数远端乘员保护试验是基于中国保险汽车安全指数实施的车内乘员安全评测的一项，目的在于为保险保费厘定、消费者购车用车提供数据参考。

2.1 波形的选取

在滑台试验中，E-NCAP 远端乘员保护试验的波形采用实车碰撞中 AE-MDB 和柱碰的 B 柱非撞击侧加速度曲线，碰撞角度采用 75°，修正系数 1.035^{12/24/2024}，即：

$$AX,SLED = AY,VEHICLE(AE-MDB) \times 1.035$$

$$AX,SLED = AY,VEHICLE(POLE) \times 1.035$$

C-IASI 指数远端乘员保护试验的波形采用实车碰撞中 AC-MDB 的 B 柱非撞击侧加速度曲线，修正系数 1.0，如图 2、图 3 所示。

$$AX,SLED = AY,VEHICLE(AC-MDB) \times 1$$

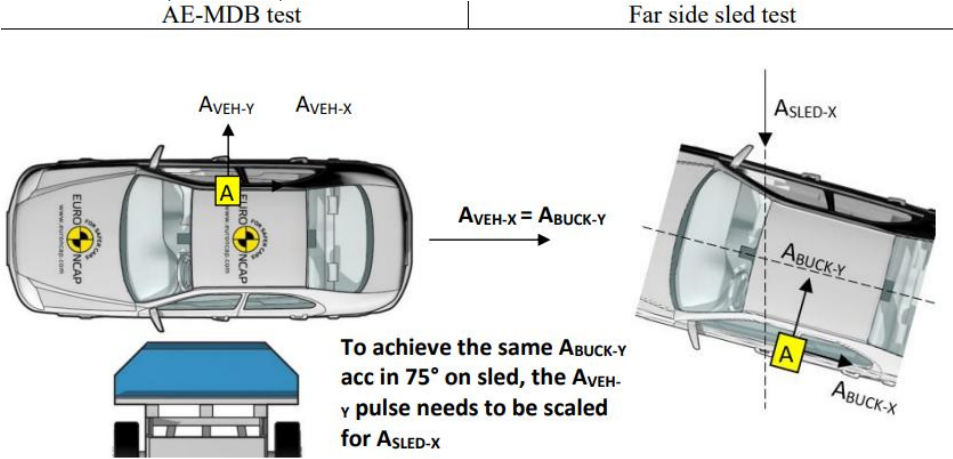


Figure 2. Far side test pulse
图 2 远端乘员保护试验波形示意图^[2]

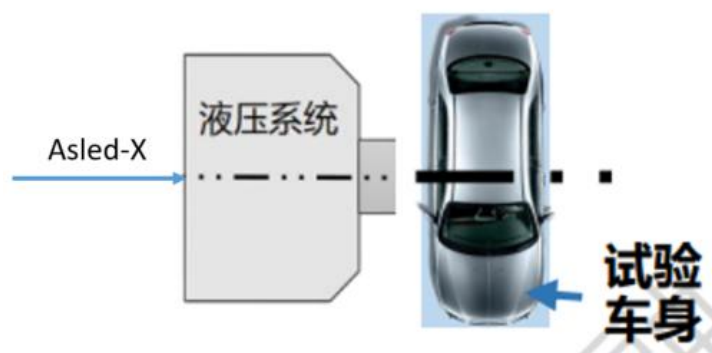


Figure 3. Far side Dynamic Test

图 3 远端乘员保护试验示意图^[1]

为进一步保证波形的有效性，远端乘员保护试验都采用积分插值的形式对远端乘员保护的滑台波形进行验证评估。即：

波形处理后，使台车波形和实车测试波形均为正值；

通过积分计算实车波形 $DV1(t)$ 的 ΔV ，将初始速度设置为 0；

通过积分计算台车波形 $DV2(t)$ 的 ΔV ，将初始速度设置为 0；

计算差值 $DV = DV1 - DV2$

通过积分 $DV1$ 计算实车波形的 X 向位移 $DX1(t)$ ，将初始值设置为 0；

通过积分 $DV2$ 计算台车波形的 X 向位移 $DX2(t)$ ，将初始值设置为 0；

差值 $DX = DX1 - DX2$ 。

DV 要求：

如果 100ms 内的 DV 值都在如图 4 所示的区域中，则 DV 值满足要求，检查 DX。如果 100ms 内的 DV 值在该区域之外，则 DV 值不满足要求。如图 4 所示。

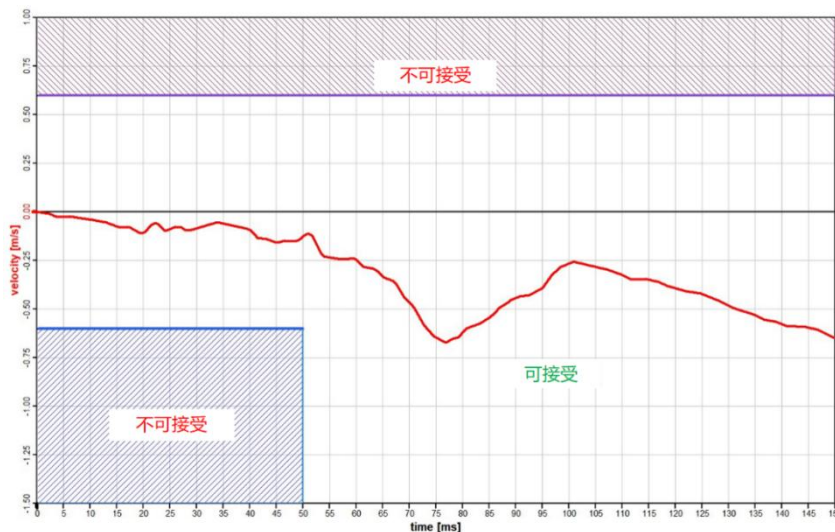


Figure 4. DV diagram

图 4 波形 DV 要求示例^[3]

DX 要求：

如果 100ms 的 DX 值为负，则 DX 值满足要求。如果 100ms 的 DX 值为正，则 DX 值不满足要求，台车测试无效。如图 5 所示^[3]。

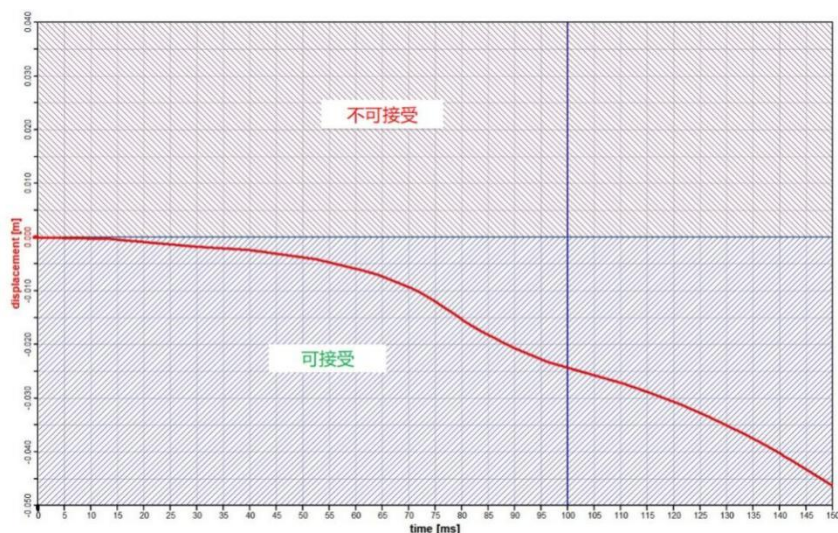


Figure 5. DX diagram
图 5 波形 DX 要求示例^[3]

2.2 相机布置

为方便对试验过程中假人运动姿态进行追踪，需要对相机进行布置，布置方式参考 C-IASI 指数远端乘员保护试验。如图 6、表 1 所示。

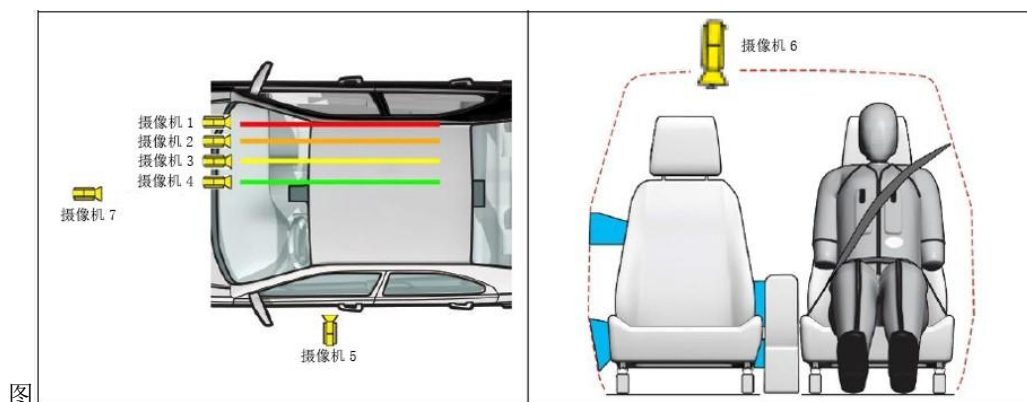


Figure 6. High speed camera view
图 6 高速相机位置示意图^[3]

Table 1. High speed camera placement
表 1. 高速相机布置要求^[3]

序号	相机视野中心	宽度	高度
1	侵入线为中心，平行于车辆中心线	A 柱外侧边缘到远侧座位中心线	车顶前缘至车座底座
2	座椅中心线，平行于车辆中心线	A 柱外侧到远侧 B 柱	车顶前缘至车座底座
3	黄线为中心，平行于车辆中心线	A 柱外侧到远侧 B 柱	车顶前缘至车座底座
4	绿线为中心，平行于车辆中心线	B 柱外侧到远侧 B 柱	车顶前缘至车座底座

5	驾驶员侧视图居中	仪表台到椅背部部	头到骨盆
6	黄线为中心，平行于车辆中心线	仪表台到椅背部部	远侧座椅中心线至 B 柱
7	车辆中心	白车身的全宽度	白车身的全高

2.3 假人采集数据

本文假人采用如表 2 所示的信息采集试验过程中的假人各部位数据，并基于远端乘员保护的法规要求计算各项伤害值。试验温湿度保持在 20.6℃~22.2℃、10%~60%范围内。

Table 2. Dummy instrumentation
表 2. 假人通道

测量部位	测量参数	测量通道
头部	加速度 Ax、Ay、Az	3
	角速度 ω_x 、 ω_y 、 ω_z	3
上颈部	力 Fx、Fy、Fz	3
	力矩 Mx、My、Mz	3
下颈部	力 Fx、Fy、Fz	3
	力矩 Mx、My、Mz	3
肩部	力 Fx、Fy、Fz	3
	压缩变形量 Dy & ANz	2
胸部	肋骨（上、中、下）压缩变形量 Dy & ANz	6
	温湿度传感器	1
腹部	肋骨（上、下）压缩变形量 Dy & ANz	4
	加速度 Ax、Ay、Az	3
腰椎-T12	力 Fx、Fy、Fz	3
	力矩 Mx、My、Mz	3
骨盆	耻骨力 Fy	1
	骨盆加速度 Ax、Ay、Az	3
传感器通道总数		47

3 试验数据研究与分析

本文试验数据基于 E-NCAP/C-IASI 远端乘员保护评价体系进行对比。评价体系包括：假人头部偏移区域和假人伤害判定条件。如图 7 和图 8 所示。

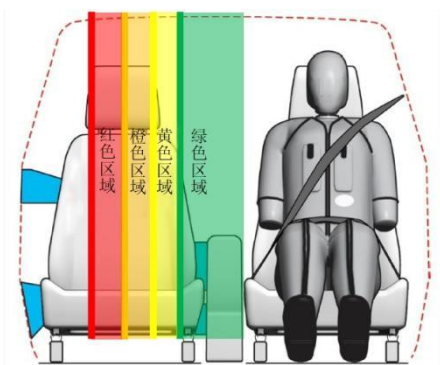


Figure 7: Head excursion zones

图 7 假人头部偏移区域示意图^[3]

假人	部位	标准	4分	0分	极限值
远端乘员保护滑台测试					
World SID 50 %	头部	HIC15	< 500	> 700	> 700
		a3ms (g)	< 72	> 80	> 80
	颈部	上颈部 拉伸 F_z (kN)	< 3.74	> 3.74	-
		上颈部 向弯矩 M_x (Nm)	< 162	> 248	-
		上颈部 向弯矩 M_y (Nm)	< 50	> 50	-
		下颈部 拉伸 F_z (kN)	< 3.74	> 3.74	-
		下颈部 向弯矩 M_x (Nm)	< 162	> 248	-
		下颈部 向弯矩 M_y (Nm)*	-	> 100	-
	胸部 腹部	压缩量 (mm)	< 28	> 50	> 50
		压缩量 (mm)	< 47	> 65	> 65

Figure 8: Dummy criteria

图 8 假人伤害标准^[2]

3.1 加速度波形

本轮试验 E-NCAP 和 C-IASI 各选取 10 个车型。对其中的部分波形进行分析，如图 9 所示，波形大小从小到大依次排序：C-IASI 远端乘员保护波形<E-NCAP AE-MDB 远端乘员保护波形<E-NCAP Pole 远端乘员保护波形。无论从波形大小和峰值大小来看，E-NCAP 的 pole 远端试验都是最大的，结合后面的试验结果对假人的伤害也是最大的。

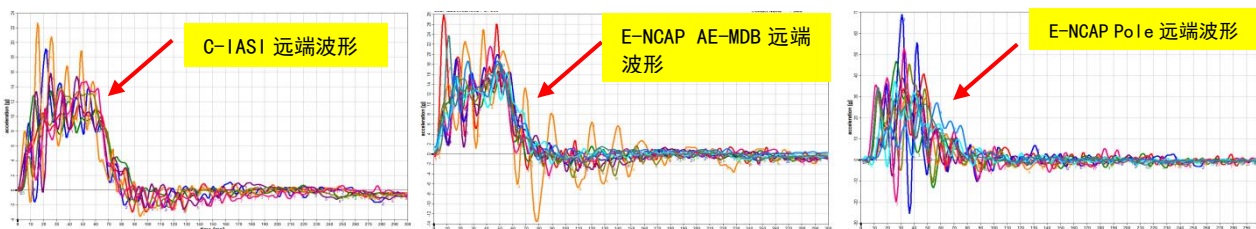


Figure 9: Test pulses

图 9: 试验波形

3.2 头部偏移区域

本轮试验中 E-NCAP 车型均配置远端气囊，绝大部分车型都在绿色和黄色区域按照 E-NCAP 远端乘员保护评价规则可以获得满分 12 分；部分 C-IASI 车型无远端气囊，大概无法处于绿色区域，只要不超过橙线足以获得较好的假人得分。如图 10 所示。

Euro-NCAP			C-IASI	
车型	AE-MDB	POLE	车型	AC-MDB
一	Y	0	一	G
二	G	Y	二	G
三	G	Y	三	G (无远端气囊)
四	G	Y	四	G
五	G	Y	五	0 (无远端气囊)
六	G	Y	六	G
七	Y	Y	七	G
八	G	Y	八	G
九	G	Y	九	Y (无远端气囊)
十	G	Y	十	G

Figure 10: Dummy excursion zones list

图 10: 头部偏移区域表

从表内的统计结果来看，由于车型配置有远端气囊，侧面气囊对头、颈、胸部位保护效果较好，头部位移基本不会出现在得分较差的区域^{[4][5]}。

3.3 假人损伤

本轮试验数据仅对比了近年来远端乘员保护试验中容易对乘员造成伤害的考核项目，同时对 34 次试验 3 种工况进行了统计。如图 11 所示。

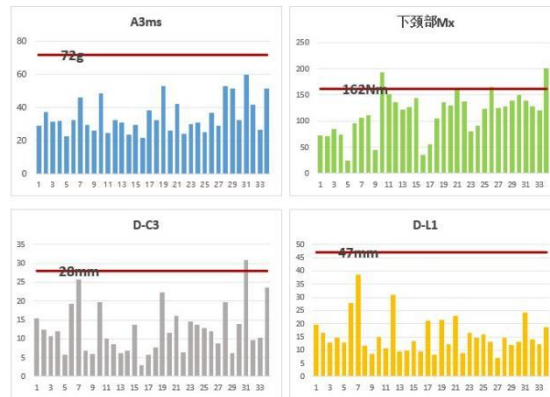


Figure 11: Dummy data list
图 11: 假人数据

试验数据显示，头部 HIC_{15} 、3ms 加速度峰值远低于高性能限值^[6]；部分下颈部 Mx 大于高性能限值；胸部 C3 位移和腹部 L1 位移存在失分风险。

3.4 试验结果分析

针对上述试验结果，对假人运动过程进行分析。如图 12 所示：

第一阶段（40ms）：当车体收到滑台冲击时，因惯性力作用，假人保持在原位置，同时与约束系统产生相对运动。

第二阶段（80ms）：由于中控台扶手、安全带等结构对假人骨盆运动的限制，上躯干将绕骨盆产生侧倾运动。

第三阶段（100ms）：假人上躯干受到远端气囊、安全带等限制，头颈部进一步发生旋转并逐渐回弹。

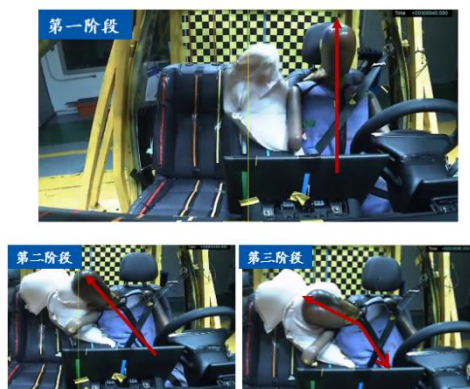


Figure 12: Dummy excursion process
图 12: 假人偏移过程

通过图片可以看到，三阶段头部的偏移量达到最大，此时胸部和腹部与中控台接触挤压后的位移也达到最大值^{[7][8]}。

3.5 影响试验结果的主要因素

通过对抽取的 20 个车型 34 次试验的数据进行分析，影响试验结果的主要因素分三个方面。
第一方面：安全带预紧功能、安全带 D 环位置（包括固定点前后、高度位置）。



Figure 13: Seatbelt position
图 13: 安全带佩戴位置

本轮试验工况中，安全带基本都配备了预紧功能，且 D 环位置都位于顶部或顶部向下一齿，可见各个车型中安全带的预紧功能和 D 环位置都对试验结果有一定影响^[9]，根据试验数据建议正常的佩戴位置为：安全带上边缘不得超过假人上衣上靠近安全带一侧孔的边缘^{[10][11]}。如图 13 所示。

第二方面：中控台扶手高度、刚度。

在远端乘员保护试验中，中控台扶手可以有效限制乘员的位移，但因为试验过程中乘员的胸部和腹部也与中控台扶手剧烈挤压，同时也是胸腹部、骨盆伤害主要来源。

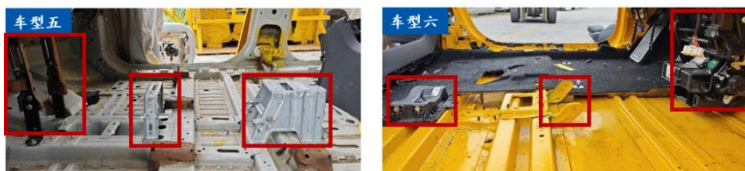
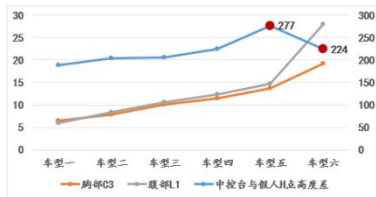


Figure 14: Relationship between Chest and abdominal compression and center console height
图 14: 胸腹部压缩量与中控台高度关系

如图 14 所示，随机选取六个车型，统计胸腹部压缩量和中控台高度的关系^[12]，随着高度差的增加伤害增大，可见基本呈正相关性。其中车型五高度比车型六高，但压缩量小，对中控台进行拆解发现，其固定支架有三个固定点，并且每个固定点都比车型六高，因此刚度要大一些。

第三方面：远端气囊的配置。

在试验中发现，车型有无远端气囊的配置对上颈部、下颈部 Fz、Mx 有较大影响^[13]，如图 15 所示。

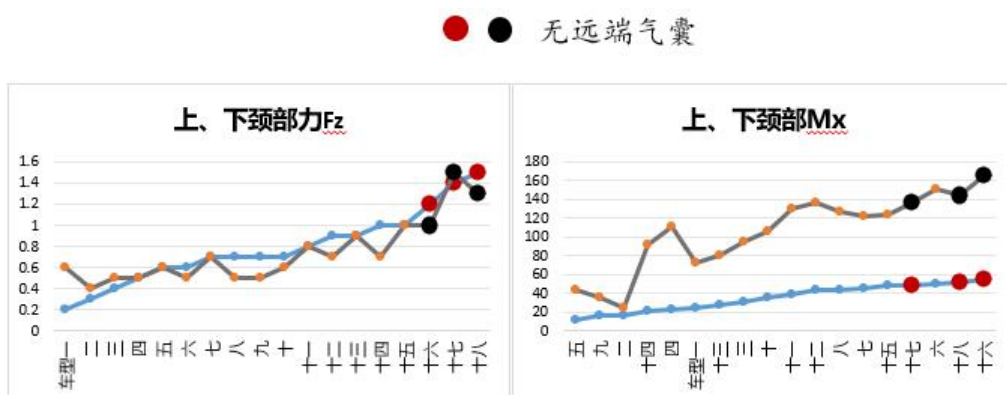


Figure 15: Effect of farside airbag on neck force
图 15: 远端气囊对颈部力的影响

同时，远端气囊的展开形态（充气量、覆盖范围、单/双/三气室对头颈部的支撑作用也存在差异）对假人头部偏移量有较大影响，从示例上来看气袋上部对头颈部支撑更好的气囊型式假人头部偏移量较小，如图 16 所示 [14] [15]。



Figure 16: Airbag deployment difference comparison
图 16: 气囊展开差异对比

4 结论与展望

本文围绕 E-NCAP/C-IASI 远端乘员保护试验中头部偏移和假人伤害情况，对某车型的滑台试验数据进行研究分析，然后基于试验数据进一步分析处理，判断了影响试验结果的主要因素。即：假人头部在远端乘员保护试验过程中会产生极大的偏移，产生较大的伤害。根据本轮试验数据统计分析，安全带的预紧功能和 D 环的佩戴方式、中控台扶手的设计高度、刚度、远端气囊的有无和展开形态可以在很大程度上影响远端乘员保护试验的结果。

另一方面，本文的结论不具备唯一性，可能还有其他方面的因素会影响远端乘员保护的结果，还需要不断地积累相关的试验和仿真数据，继续探索优化。

此外，本文结论对研究远端乘员保护试验中假人伤害和车辆设计优化具有现实的指导意义，为提升远端乘员安全提供了一种思路。

参考文献 (References)

- [1] C-NCAP MANAGEMENT REGULATION (2024 EDITION)
C-NCAP 管理规则（2021 版）[S/OL].<https://www.c-ncap.org.cn,2024>.

- [2] FAR SIDE OCCUPANT TEST & ASSESSMENT PROTOCOL (Version 2.5), [S/OL]. <http://www.euroncap.com,2023>
- [3] Vehicle Occupant Safety Index Far side Dynamic Test Protocol (2023 EDITION)
车内乘员安全指数 远端乘员保护动态试验规程(2023 版), [S/OL].<http://www.ciasi.org.cn,2023>.
- [4] Yang Chunzhong,Yin Fengxuan,Li Xiaodong, Farside airbag against main driver in side column collision condition ,WorldSID 50th dummy damage study, scientific and technological innovationInformation, 2024,(07):5-8.
杨春忠,殷凤轩,李晓东,等.侧面柱碰撞工况下 Farside 气囊对主驾 WorldSID 50th 假人损伤研究[J].科学技术创新,2024,(07):5-8.
- [5] Yu Yanming , RESEARCH ON DESIGN AND PERFORMANCE OPTIMIZATION OF ADAPTIVE AIRBAG IN AUTOMOBILE SIDE IMPAC, Anhui Engineering University, 2023.DOI:10.27763/d.cnki.gahgc.2023.000471.
俞宴明.汽车侧面碰撞自适应安全气囊设计与性能优化研究[D].安徽工程大学,2023.DOI:10.27763/d.cnki.gahgc.2023.000471.
- [6] Xu Wei. A study of Head Biomechanical Response and Injury Mechanism in Vehicle Traffic Accidents [D]. Hunan University,2008.
许伟.车辆碰撞事故中头部生物力学响应和损伤机理分析[D].湖南大学,2008.
- [7] Li HONG, Liu Jiabing,Guan Dong. C-NCAP based remote airbag modeling simulation and test benchmarking Journal of Yangzhou University (Natural Science Edition), 2024,27(02):9-14.DOI:10.19411/j.1007-824x.2024.02.002.
李红,刘佳兵,关栋.基于 C-NCAP 远端气囊建模仿真与试验对标 [J].扬州大学学报(自然科学版),2024,27(02):9-14.DOI:10.19411/j.1007-824x.2024.02.002.
- [8] Li Guo, DONG Wen-kai, FANG Rui, Head injury and trajectory Analysis of Distal Occupant based on Side impact [J]. Tianjin Science and Technology.
栗国,董文楷,方锐,等.基于侧面碰撞的远端乘员头部伤害及轨迹分析 [J].天津科技,2020,47(07):103-107+111.DOI:10.14099/j.cnki.tjkj.2020.07.032.
- [9] YAN Hongtao, MA Yan, DUAN Dalu, Simulation Analysis and Research of Safety Belt Mounting Position to Occupant Injury and Comfort, Automobile Parts , 2014, (09): 33-36+58.DOI:10.19466/j.cnki.1674-1986.2014.09.007.
闫宏涛,马燕,段大禄.安全带固定点位置对乘员损伤及舒适性仿真分析与研究 [J].汽车零部件,2014,(09):33-36+58.DOI:10.19466/j.cnki.1674-1986.2014.09.007.
- [10] MA Weijie, LU Yanbo, ZHU Haitao, Effects of seatbelt ectopic position on the dummy's thorax compression criterion, Automotive Safety and Energy, 2014,5(01):65-69.
马伟杰,逯艳博,朱海涛.安全带非正常佩戴位置对假人胸部压缩变形量的影响[J].汽车安全与节能学报,2014,5(01):65-69.
- [11] Ma Weijie, Duan Bingxu, Bai Peng, Research the effects of seat belt wearing position on HIII 5th female dummy's chest characteristics , 马伟杰,段丙旭,白鹏,等.安全带佩戴位置对 HIII 5th 女性胸部特性影响的研究 [C]//State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body Hunan University.Proceedings of The 11th International Forum of Automotive Traffic Safety—SESSION III-1: Occupant protection.[出版者不详],2014:7.
- [12] Li Guo, Fang Quyu , Li Gen, Chest Injury Optimization of WorldSID Dummy for a Car Model, Automobile Applied Technology , 2017,(12):154-156.DOI:10.16638/j.cnki.1671-7988.2017.12.051.
栗国,方取玉,李根.某车型 WorldSID 假人的胸部伤害优化[J].汽车实用技术,2017,(12):154-156.DOI:10.16638/j.cnki.1671-7988.2017.12.051.
- [13] Chu Xinhua, Study on the neck protection with airbag, Jilin University,2007
褚新华.汽车安全气囊对人体颈部保护效果的研究[D].吉林大学,2007.
- [14] Peng Tan , CAE Analysis and Optimization of Restraint System for Far Side Occupants, Chongqing University of Technology,2023.DOI:10.27753/d.cnki.gcqgx.2023.000599
谭鹏.针对侧碰远端乘员的约束系统 CAE 分析与优化[D].重庆理工大学,2023.DOI:10.27753/d.cnki.gcqgx.2023.000599.
- [15] Lu Kai, Research and countermeasures of automobile passive safety system technology development, Shanghai Auto, 2022,(09):35-43+48
陆凯.汽车被动安全系统技术发展研究及应对[J].上海汽车,2022,(09):35-43+48.