Proceeding of the 14th International Forum of Automotive Traffic Safety, 2017, pp 429-434
No.ATS.2017.502

Research on Effect of Sitting Posture on Injury of Driver in Frontal Collision

Can TANG [1],Pingfei LI [1,2*],Haibo HUANG [1,2],Wenhao HU[3]

[1] School of Transportation & Automotive, Xihua University, Chengdu Sichuan 610039, China

[2] Sichuan Xihua Forensic Institute, Chengdu Sichuan 610039, China

[3] Defective Product Administrative Center,AQSIQ,Beijing 100088,China

Abstract: In order to study the effect of the posture on the injury risk of driver in frontal collision, based on test data of car crash, a simulation model about "vehicle cockpit-driver-constraint system" was established by using MADYMO software, and was verified. A 100% frontal collision at speed of 50 km/h was taken using the model, dummy was located and driver's posture was simulated by adjusting parameters. The injury of driver having 8 kinds of different posture was studied and analyzed after frontal collision occurred, including in comparing HIC, 3ms chest damage value, chest compression and the force of neck and legs. The results show that changing the posture of driver has great influence on the injury risk of driver in frontal collision by comparing every simulation result, especially changing the longitudinal position of driver.

Key words: 100% frontal collision; driver's sitting posture; the injury risk

汽车正面碰撞中驾驶人坐姿对损伤影响的研究

唐灿 [1]，李平飞 [1,2*]，黄海波 [1,2]，谭正平 [1,2]，胡文浩 [3]

[1] 西华大学 汽车与交通学院，四川 成都，610039

[2] 四川西华机动车司法鉴定所，四川 成都，610039

[3] 国家质检总局缺陷产品管理中心，北京，100088

摘 要: 为了研究汽车正面碰撞时驾驶人坐姿对其损伤的影响，根据实车碰撞试验数据建立"车辆驾驶舱-驾驶人-约束系统"的 MADYMO 仿真模型，并进行验证。利用建立的仿真模型，进行车速为 56km/h 的 100%正面碰撞，通过对假人进行定位并调整其参数，探讨了驾驶人碰撞前的 8 种典型坐姿对其碰撞后损伤风险的影响情况，对比分析了 HIC 值、胸部连续 3ms 损伤值、胸部压缩量以及颈部、腿部的受力情况。结果表明：碰撞时驾驶人的坐姿对身体各个区域的损伤风险有较大影响；通过对比分析假人各姿态下的损伤情况，发现驾驶人碰撞时的纵向位置对其损伤风险影响最显著。

关键词: 100%正面碰撞；驾驶人坐姿；损伤风险

1 引言

据我国公安部交通管理局统计年报显示，2014 年汽车正面碰撞事故起数所占比例最高，且在该事故形态下乘员损伤比例也最高[1]；据 2015 年国家车辆事故深度调查体系 NAIS 的数据，正面碰撞事故中乘员的伤亡率仅位于单车事故之后。而在汽车正面碰撞事故中，乘员约束系统对人体的保护起着关键性作用。

目前，绝大多数汽车均是按照法规标准来匹配设计乘员约束系统，这些法规标准规定了碰撞工况和乘员的属性特征，如身高、体重、坐姿等。美国联邦机动车安全标准 FMVSS208 利用具有特定参数的人体测试装置来代替中等身材男性和小身材女性进行碰撞试验，无疑强制限定了汽车约束系统的效能[2]。Thomas Adam 等人认

项目资助信息：国家车辆事故深度调查体系（NAIS）；成都市科技惠民技术研发项目 2015-HM01-00369-SF。

为约束系统若能根据特定的碰撞工况和乘员特征进行调整，那么就可能在交通事故中减轻乘员的损伤风险[3]。在未来有必要针对多样化的人群和工况研发自适应的乘员保护系统，从而应对真实交通事故中的各种“非标准”情况[4]。自适应（智能）约束系统是指利用先进的传感器和电子技术去获取碰撞前的环境特征，例如乘员位置、乘员类型和碰撞工况等信息，对自身的效能特性做出适当调整达到最佳约束效能的乘员保护系统[5]。随着主动安全的快速发展，碰撞预判技术可以为乘员的约束系统做进一步优化改进，达到自适应调节功能提供条件[6]。目前自适应约束系统在我国仍处于开发阶段，相关的研究较少。而在国外已经研究开发了新型智能化约束系统[7]，在美国和欧盟国家在这方面已经有所进展，如出台专门针对女性和小身材驾驶人等人群、以及不同车速和驾驶人坐姿等工况的乘员约束系统碰撞法规，或制定自适应系统评估方法来促进相关技术的研发与应用[4]。

本文基于 MADYMO 软件建模及仿真分析，主要研究了碰撞前驾驶人的坐姿对其损伤风险的影响，希望能对自适应约束系统的开发研究提供参考。MADYMO 具有求解效率高的特点，常用于车辆碰撞和乘员损伤分析计算中，便于研究在碰撞过程中乘员的运动响应，评价乘员约束系统的性能[8]，且可利用其预测不同乘员约束系统匹配方案和乘员保护效果，大量减少物理实验次数，降低汽车开发成本[9]。

2 仿真模型的建立与验证

2.1 驾驶舱及约束系统模型的建立

本文采用多刚体动力学分析软件 MADYMO 建立 100%正面碰撞驾驶侧乘员约束系统仿真模型，该模型是根据美国国家公路管理局（NHTSA）对 2016 年版 Honda Civic 车型进行的 U-NCAP 测试试验的相关数据所建立，该试验为汽车 100%正面刚性壁障碰撞，碰撞车速为 56.14km/h，试验车体加速度曲线如图 1 所示，该曲线数据由试验中驾驶人座椅位置传感器采集获得，驾驶人采用的是 Hybrid III 50 百分位椭球假人模型。

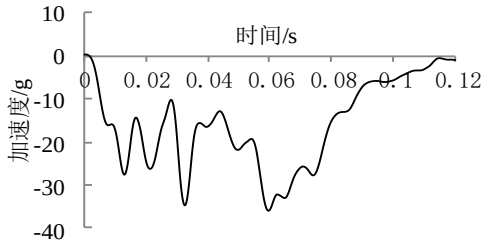


Fig.1 The acceleration time curve of vehicle at X direction in test

图 1 试验车 X 方向加速度-时间曲线

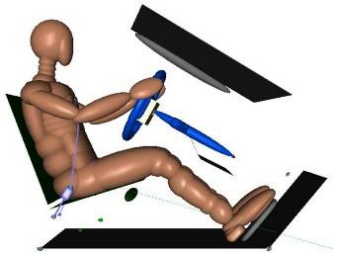


Fig2. The collision simulation model of the cockpit and constraint system

图 2 驾驶舱及约束系统碰撞仿真模型

该模型主要由驾驶舱、驾驶人和驾驶侧约束系统三大部分组成，并根据实车正面碰撞中车内的环境对其进行布置。驾驶人侧约束类型为 3 点式安全带和前部安全气囊，其中安全带系统包括预紧器、卷收器和安全带织带，驾驶舱具体结构如图 2 所示。

该模型定义安全带卷收器特性时，卷收器安装在安全带第一段的起点，根据安全带在仿真中是否有限力和预紧功能来调节卷收器在仿真中的状态。根据试验动画中安全气囊的起爆特性来调节仿真模型的安全气囊起爆时间和起爆速率[8]。参照试验数据调整仿真模型中假人与驾驶舱内部结构间距与试验保持一致，如表 1 所示，

同时定义各部件间的接触以及模型的输入与输出：

Table 1 The position parameters of driver in test

表 1 试验中驾驶人位置参数

假人与驾驶舱内部结构间隙	距离（mm）
头部与前风窗玻璃上边沿	339
头部与前风窗玻璃	665
胸部与转向盘	306
膝盖与前内板	165
胸部与座椅靠背	0

2.2 驾驶舱及约束系统模型的验证

由于试验为 100%正面碰撞，车身 Y 向、Z 向加速度及车身的角加速度都很小，故在仿真中只考虑车身 X 向的加速度以及重力加速度，将车身 X 向加速度反向加载到仿真模型假人上，同时在假人 Z 向加载重力加速度，车身 X 向加速度曲线如图 1 所示。根据实际试验数据对仿真模型进行调整，结合试验中假人各部位传感器数据，根据假人头部、胸部和髋部加速度曲线与仿真结果进行对标，验证了仿真模型的可行性[10]。

模型的验证一般要满足“加速度信号起始时刻、形状、峰值、峰值时刻及脉宽一致或相近”等基本特征，若仿真模型与试验数据的误差小于 25%，则认为该模型是有效的[11]。由仿真结果可知，模型中假人头部、胸部及髋部加速度曲线与试验中测得的结果虽然有些误差，但是基本走势大体相同，吻合度较高。表 2 给出了仿真数据与试验数据的对比情况，仿真模型计算出的假人损伤值与试验中测得的假人损伤值误差均小于 15%，故可以利用该仿真模型进行分析研究。

Table 2 Error between test and simulation model

表 2 试验与仿真模型误差

合成加速度	峰值（m/s^2）		误差
	试验	仿真	
头部	459.09	450.25	1.90%
胸部	442.26	497.04	12.40%
髋部	488.83	469.33	4%

3 驾驶姿态对驾驶人的损伤分析

为了评价驾驶人坐姿对其损伤的影响，通过对生活中驾驶人坐姿的观察和调查，在乘员坐姿中常见的变化特点为上部躯干、下肢到方向盘管柱的距离以及乘员上部躯干的侧面弯曲情况，在图 3 中列举了本文主要研究的 8 种驾驶姿态，其中包括标准的驾驶姿态，即试验中假人的驾驶姿态。

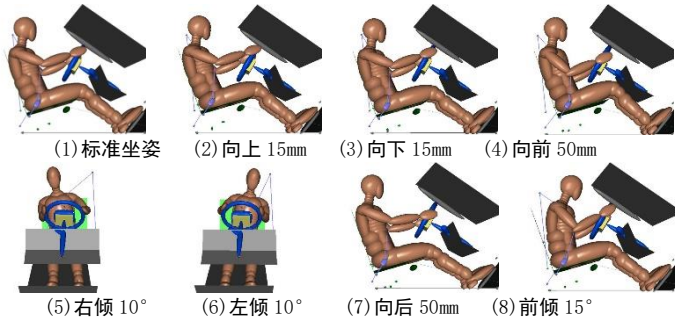


Fig.3 Eight kinds of different posture of dummy

图 3 假人的 8 种驾驶姿态

由于驾驶人的坐姿主要是由座椅在纵向和竖直方向上的位置以及驾驶人的惯性所决定的，因此在保证驾驶

人操作方便和舒适的前提下，先固定好假人 H 点在座椅上的位置，然后改变座椅在车辆坐标系中 X 方向和 Y 方向上的坐标以及假人躯干的倾角，坐姿的变化是在标准姿态下进行调整所得，具体变化数值如图 3 所示。

利用上述验证过的仿真模型，设定车身纵向速度为 56km/h，碰撞时间为 120ms，根据图 3 改变驾驶人坐姿，进行仿真计算，得到假人的损伤参数，表 3 为假人身体各部位合成加速度峰值及 HIC 值。

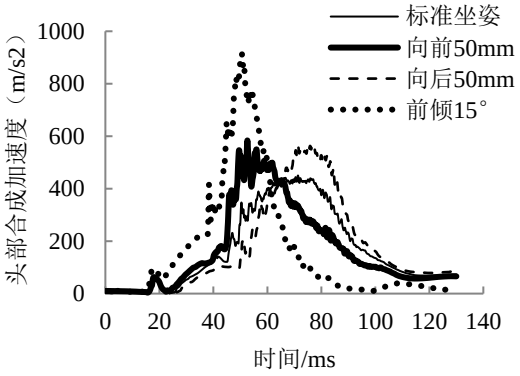


Fig.4 Acceleration of head curve of head at different longitudinal position

图 4 头部不同纵向位置下加速度曲线

Table 3 Peck of resultant acceleration and HIC

表 3 合成加速度峰值及 HIC 值

坐姿	合成加速度峰值（m/s2）及出现的时刻（ms）						HIC36
	头部		胸部		髋部		
	峰值	时刻	峰值	时刻	峰值	时刻	
标准	450.25	71.3	497	74.9	469.33	54.5	352.11
向前 50mm	583.89	52.6	476.4	53.2	498	47	360.98
向后 50mm	565.57	76.6	509.55	77.3	439.77	56	475.65
向下 15mm	436.72	66	498	75.3	450.13	53	332.93
向上 15mm	482.68	76.5	482.89	74.7	469.81	53.5	368.63
左倾 10°	459.52	74.9	459.56	72.9	449.25	50.4	378.33
右倾 10°	473.86	66.1	495.15	71.3	488.64	63.6	376.16
前倾 15°	914.61	50.7	479.33	51.3	472.11	52.8	698.69

分析假人头部、胸部和髋部合成加速度峰值及 HIC 值可知：从表 3、图 4 可知，当假人位置前后移动 50mm 或前倾 15° 时，头部合成加速度峰值会明显增大，因为气囊完全展开的时间为 50ms，当假人位置向前或前倾时，头部与方向盘的距离减少，气囊在展开过程中，假人头部与其发生接触，气囊的冲击力会加重头部损伤；当假人位置向后时，头部与方向盘的距离增大，两者接触时，气囊处于泄气状态，没有达到最佳的约束效果。如图 5 所示，在气囊充气完成时刻(t=50ms)，标准坐姿下假人头部恰好与气囊接触，而其他 3 中坐姿下，假人头部都过早或过晚与气囊接触。然而，改变假人纵向位置对胸部和髋部合成加速度峰值影响不大。

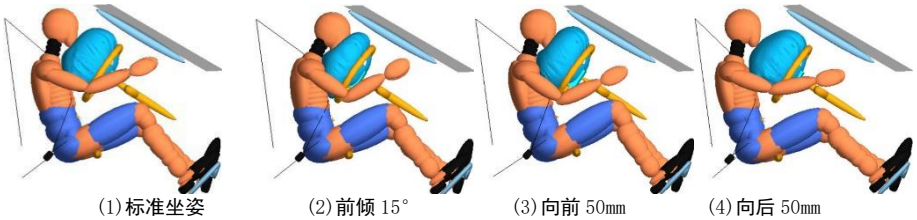


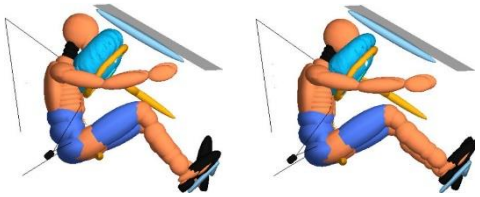
Fig.5 Contact between head and airbag fully inflated at the moment

图 5 气囊充气完成时刻与头部接触状态

根据表 4 分析假人胸部连续 3ms 损伤值与胸部压缩量可知：当假人位置向后移动 50mm 时，胸部连续 3ms 损伤值明显增大，是由于假人胸部与方向盘的距离增大，当胸部与方向盘碰撞接触时，相比于标准姿态下气囊泄气更多，如图 6 所示，气囊对胸部没有起到较好的保护作用。

当假人身体左倾 10°时，胸部连续 3ms 损伤值明显降低，但胸部压缩量明显增加，是由于安全带肩带与假人胸部左侧接触，当假人身体左倾时，安全带起到了较好的约束作用，使得胸部刚好与完全展开的气囊接触，降低了胸部损伤，但增加了胸部压缩量。

分析假人颈部与大腿轴向受力情况可知：假人纵向位置发生变化时，对颈部及大　腿轴向受力影响较大。当假人向前移动 50mm 时，颈部张力、剪切力及伸张弯矩明显增大，两侧大腿轴向力都明显减小。



(1)标准坐姿，t=70ms　(2)向后 50mm，t=80ms

Fig.6 Status of airbag when chest is contacted with steering wheel

图 6 胸部与方向盘接触时气囊状态

Table 4 Injury and force of dummy

表 4 假人身体损伤及受力情况

坐姿	胸部连续 3ms 损伤	胸部压缩量(mm)	颈部受力(kN)及弯矩(Nm)			大腿轴向力(kN)	
			张力	剪切力	伸张弯矩	左侧	右侧
标准	477.73	47.78	1.61	0.43	34.52	1.2	1.8
向前 50mm	466.6	48.51	2.34	0.52	39.65	2.9	3.0
向后 50mm	502.14	48.5	1.95	0.5	38.53	1.64	2.1
向下 15mm	474.7	47.07	1.65	0.48	36.03	1.21	1.7
向上 15mm	465.29	47.94	1.72	0.42	34.64	1.15	2.17
左倾 10°	436.5	50.45	1.65	0.46	35.13	1.39	1.4
右倾 10°	471.83	47.34	1.79	0.39	28.38	1.35	2.29
前倾 15°	451.83	52.59	3.52	0.84	45.88	1.25	1.62

从图 7 可知，当假人位置向前或身体前倾时，在气囊充气完成时即 50ms 左右，颈部张力达到最大值，且增速较快，是由于假人头部过早的与气囊接触，在气囊充气弹开的过程中给颈部造成损伤。

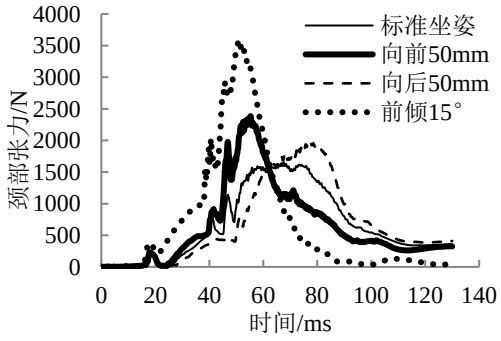


Fig.7 Expansion force of neck curve of head at different longitudinal position

图 7 头部不同纵向位置下颈部张力曲线

当假人向后移动 50mm 时，颈部张力、剪切力及伸张弯矩也明显增大，而两侧大腿轴向力却明显增大。此

外，当假人前倾 15°时，颈部张力、剪切力及伸张弯矩明显增大，而对大腿轴向力的影响不明显。

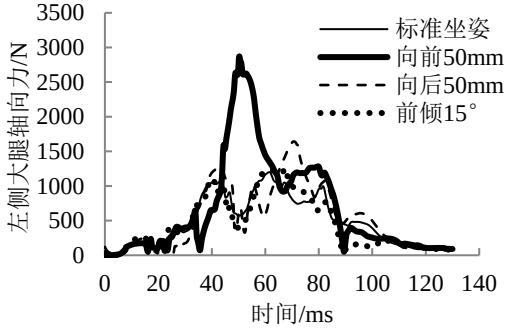


Fig.8 Femur axial force of left leg curve of head at different longitudinal position

图 8 头部不同纵向位置下左侧大腿轴向力曲线

如图 8 所示，当假人前移时，腿部与膝部挡板间的距离减小，导致腿部所受冲击的缓冲时间减少，从而增大了腿部的轴向力。而当假人后移或身体前倾时，对腿部所受轴向力影响不大。

4 结论

利用验证过的汽车驾驶舱正面碰撞仿真模型，改变假人的坐姿，以 8 种驾驶姿态进行仿真分析，研究发现当汽车发生正面碰撞时，驾驶人的坐姿对其身体各个区域的损伤风险有较大影响，并得出以下结论：

1)汽车正面碰撞时，改变驾驶人的纵向位置或身体前倾角，对驾驶人身体各个区域的损伤风险影响最显著。

2）当驾驶人头部纵向位置发生变化时，对头部、胸部损伤风险影响较大。主要是因为驾驶人头部与方向盘距离发生了变化，导致其头部过早或过晚的与完全展开的气囊接触，气囊没有达到最佳的约束效能甚至对头部造成伤害。

3）汽车正面碰撞过程中，当驾驶人向前移动时，腿部与膝部挡板间距离减小，导致其腿部损伤风险增大。

参考文献

[1] 公安部交通管理局.中华人民共和国道路交通事故统计年报（2014 年度）[R]. 2015.
[2] D. Bose, J.R. Crandall, C.D. Untaroiu, E.H.Maslen. Influence of pre-collision occupant parameters on injury outcome in a frontal collision[J]. Accident Analysis and Prevention, 2010,42:1398-1407.
[3] Thomas Adam, Costin D. Untaroiu. Identification of occupant posture using a Bayesian classification methodology to reduce the risk of injury in a collision[J]. Transportation Research Part C, 2011,19:1078-1094.
[4] 李一兵，孙岳霆，徐成亮. 基于交通事故数据的汽车安全技术发展趋势分析[J]. 汽车安全与节能学报, 2016,7(3):241-253.
[5] H. John Miller and Vivek Maripudi. Restraint Force Optimization for a Smart Restraint System[C]. SAE Paper No. 960662, Society of Automotive Engineers, 1996.
[6] 刘江，张金换. 应用于智能型乘员约束系统的碰撞预判技术研究[C]. 中国汽车安全技术国际研讨会论文集, 2007:30-36.
[7] 张君媛，林逸，赵英如. 微型客车约束系统参数对乘员碰撞响应的影响[J]. 吉林大学学报（工学版）, 2002,32(1):6-11.
[8] 曹立波，张萍，颜凌波，等. 在车对车碰撞条件下轿车斜角碰撞及小重叠碰撞的驾驶人损伤研究[J]. 汽车工程, 2016,38(2):174-180.
[9] 姜峻岭，朱大勇，沈海东. 面向 C-NCAP 的轿车乘员约束系统性能改进研究[J]. 汽车工程, 2010,32(3):217-265.
[10] 葛如海，朱泳树，吴光，等. 汽车正面 40%偏置碰撞驾驶人侧安全性仿真分析[J]. 中国安全科学学报, 2014,24(9):33-39.
[11] 鞠海蒙，沈辉，孙亚，等. 汽车正面碰撞中人体坐姿对驾驶人伤害的分析[J]. 机械工程与自动化, 2015,(5):26-27.