

Research on Influencing Factors of Chest Deflection in Frontal Impact

Jiawei ZHOU¹, Ximing WANG¹, Sen ZHANG¹, Guangyong SHEN¹, Liangping WANG¹, Jinli ZHAO¹
1Chery Automobile Co., LTD, Wuhu, China

Abstract: In the frontal impact, the dummy chest injury is an important factor affecting the score. According to the mechanism of the chest deformation, the influence that the dummy constraints, the different characteristics and mechanical position of the seatbelts and the different airbags on the dummy chest deformation has been verified by simulation and sled tests under the same boundary conditions. As shown in the result, the constraints of the dummy is the important factor to improve dummy chest score, in addition, the bigger factors is dual-pretension seatbelt and CLT seatbelt relative to the airbag which to improve dummy chest score, however, the quality of the airbags can directly affect the subsequent change of the chest displacement.

Keywords: dummy constraints; dual-pretension seatbelt; CLT; airbag; chest deflection

正面碰撞假人胸部压缩量影响因素分析研究

周家伟, 王锡铭, 张森, 沈光勇, 王亮平, 赵金丽
奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 中国, 241000

zhoujiawei@mychery.com

摘要: 汽车正面碰撞中, 假人胸部伤害是影响假人得分的重要因素, 本文从假人胸部压缩量伤害机理进行分析, 在同一边界条件下, 通过仿真或台车试验的方法验证了假人约束、安全带不同特性和受力位置及不同状态的气囊对假人胸部压缩量大小影响, 结果表明: 座椅对假人的约束是胸部伤害得分提高的基础和关键, 其次影响假人胸压最大的因素是双预紧和 CLT 等配置, 影响最小的是气囊自身参数的变化, 但是气囊的好坏会直接影响假人胸压后期变化情况。

关键词: 座椅约束; 双预紧安全带; CLT; 气囊; 胸压

1 引言

随着各国碰撞法规、标准、NCAP 的建立和完善, 对提高汽车安全性能和改善道路交通安全起到重要作用。各汽车企业和安全部件厂商也一直致力于开发出高安全性能的车辆, 根据中国汽车技术研究中心有关报告显示, 假人胸部得分一直是整个假人得分率最低的部位, 也一直是困扰各企业、院校的问题。各机构对假人胸部伤害进行了各种分析与研究^[1-11], 如文献[1-3], 研究了温度等因素对假人胸压标定的影响; 文献[4-7], 研究座椅状态及假人坐姿对假人胸部伤害的影响; 文献[8-11], 分析了安全带、气囊和管柱对假人胸部伤害的影响。随着研究的深入, 越来越多的方案被考虑应用于整车, 以解决整车碰撞胸部伤害值的问题。

本文主要基于正面碰撞假人胸部伤害机理对假人碰撞过程约束及受力作用进行研究, 在相同边界条件下通过仿真或台车对不同方案进行验证, 得到不同影响因素对假人胸部压缩量的影响大小, 为各车企对整车工程开发提供参考意义。

2 正碰假人胸部伤害机理

虽然各国家颁布了各自的碰撞安全法规、NCAP, 以及 NCAP 不同版本的更新, 但正面碰撞假人胸部伤害值无非包括胸部压缩量、胸部加速度、胸部粘性指数 VC。其中胸部加速度这项指标已逐步被胸部粘性指数取代

评估假人伤害程度。通过胸部伤害机理分析^[12]，胸部各项伤害值都和假人胸部压缩量有直接关系，因此研究胸部压缩量就显得至关重要

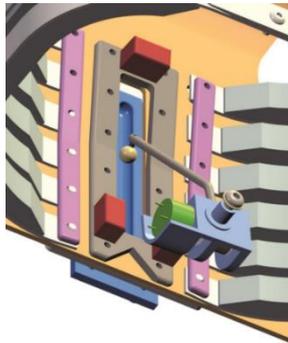


Figure 1. Dummy chest model

图 1：假人胸部模型图

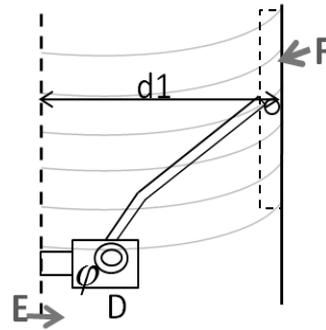


Figure 2. The principle diagram of chest deflection damage

图 2：假人胸压伤害原理示意图

如图 1, 2, 假人胸部主要由 6 根肋骨、胸骨和挡板、传感器滑杆、连接器、电位计及上躯干装备体和皮肤等组成^[13]。假人胸部的伤害机理如图 2 示意图，假人在初始能量 E 的作用下往前运动，受到外力 F 作用，挤压胸部肋骨，使传感器滑杆在胸骨挡板内移动，连接器产生一个角度 ϕ ，通过电位计转换成胸部压缩量 D。

从假人胸部伤害机理不难看出，假人胸部压缩量和假人坐姿、假人运动、胸部受力位置和大小有关。其中假人坐姿与人机布置、安全部件的布置等有关；而人机布置、安全部件的布置又直接影响假人运动和受力情况；受力大小则直接受安全带力、气囊、座椅、假人运动等因素影响；假人运动又和整车加速度、座椅设计、安全带设计有关。总而言之，影响假人胸部因素除了车体能量、人机布置外，还受假人约束（座椅、安全带）和外界力（座椅、安全带、气囊）等有关。因此整车碰撞假人运动和受力是一个复杂的过程，假人伤害更是受各系统互相影响，彼此交错产生的一个结果。

3 分析与验证

本文基于假人运动伤害机理，对正面碰撞假人胸部压缩量进行基础研究，首先从假人约束、外力对假人作用及布置方面对胸部压缩量影响因素进行验证分析，其中，假人约束包括座椅防潜、安全带、锁止锁舌；外力作用包括气囊、安全带等，布置方面分析了安全带的受力位置对胸压的影响。

3.1 座椅防潜约束分析

假人的运动是一切乘员伤害的基础，好的约束系统的匹配需要在良好的乘员空间和良好的假人约束下进行。影响假人运动最直接的部件就是座椅，无论何时何种碰撞工况，座椅直接决定假人的运动姿态和约束。防潜性能较好的座椅可以有效的阻止假人的骨盆运动，从而减缓外力对假人胸部的作用。图 3,4 为不同防潜效果的座椅对假人骨盆的约束作用，和对胸部压缩量产生的影响。

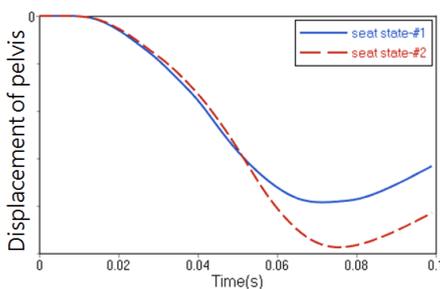


Figure 3. The displacement of the pelvis

图 3：假人骨盆位移

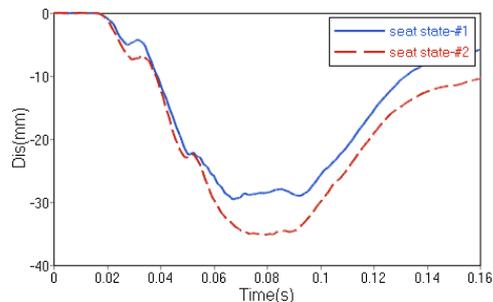


Figure 4. Chest compressive deformation

图 4：假人胸部压缩量

保持其他边界条件相同的情况下，对两种不同状态的座椅进行台车验证，50ms 之前假人骨盆运动约束相同，

假人胸部压缩量大小几乎相同；座椅约束骨盆效果在 50ms 开始发生变化，随后，胸部压缩量上升趋势发生截然不同变化；75ms 时刻差异达到最大，假人向前运动的距离不同，导致假人自身运动姿态及外界因素(如安全带、气囊、管柱接触等)发生变化，导致了假人胸压量产生差异。假人的运动约束是假人伤害的基础，良好的约束是假人乘员系统匹配的前提条件。

3.2 CLT 锁舌影响分析

CLT 又称碰撞锁止锁舌，是专门为约束碰撞中假人前移的一种约束系统安全装置，CLT 和普通的安全带锁舌的区别在于：碰撞时，假人往前运动过程中，腰带部分力会通过普通锁舌传递到肩带处，进而增加胸部受力；而 CLT 在假人运动过程中，直接锁死安全带，腰带的力不会传递到肩带上，一方面可以约束假人的往前运动，另一方面可以减小胸部受力，从而减小胸部压缩量。图 5-7 为某车型普通安全带和 CLT 安全带对胸部作用力曲线和假人胸部压缩量对比曲线。

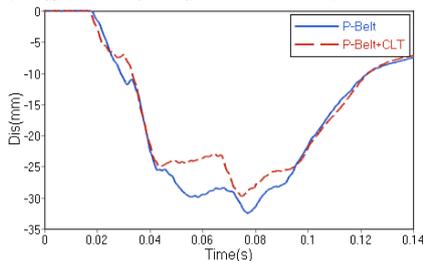


Figure 5. Chest compressive deformation

图 5: 假人胸部压缩量

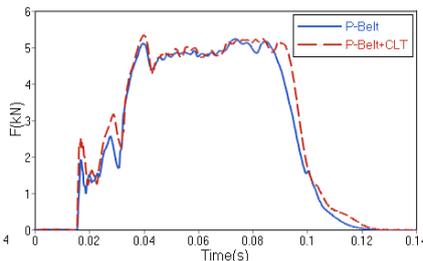


Figure 6. Seatbelt shoulder force

图 6: 安全带肩带力

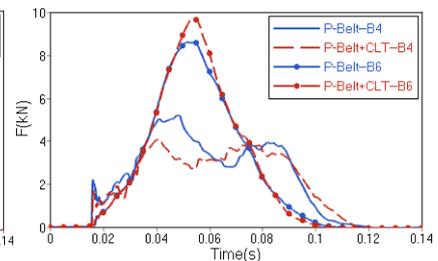


Figure 7. Seatbelt B4/B6 force

图 7: 安全带 B4/B6 力

从图 6 中可以看出，CLT 安全带对假人肩部受力影响较小；但从图 7 中可以看出，安全带下肩带 B4 力在 38ms 发生差异，主要是由于假人往前运动过程中，CLT 发生作用，锁死安全带滑动，隔断了腰带力传向下肩带部分，引起 B4 力产生差异，因此假人胸压量在 40ms 开始产生差异。假人继续往前运动，由于力传递路径的变化，腰带部分最终受力产生差异，CLT 安全带腰带受力变大，假人更多的约束由腰带提供。65ms 时刻，假人胸部与气囊开始产生接触，引起胸压量上升，针对后期胸压的变化可以通过调整气囊以优化胸压。

3.2 安全带双预紧作用分析

随着安全配置的提高，越来越多的车型开始配置双预紧功能安全带，其主要目的也是在碰撞前期就开始约束假人，吸收降低假人的能量。图 8-10 为某车型单预紧安全带和双预紧安全带对假人受力曲线比较和胸部压缩量伤害值比较。

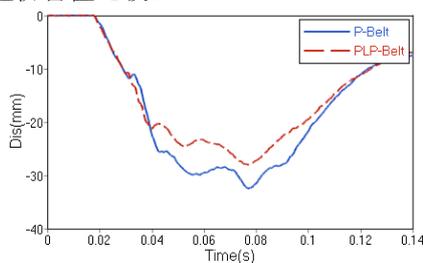


Figure 8. Chest compressive deformation

图 8: 假人胸部压缩量

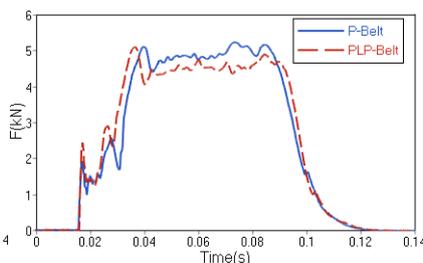


Figure 9. Seatbelt shoulder force

图 9: 安全带肩带力

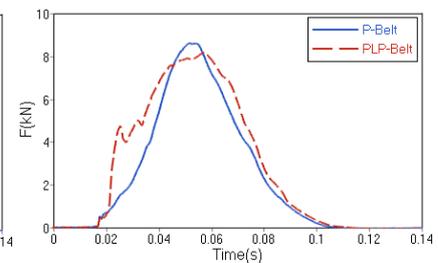


Figure 10. Seatbelt lap force

图 10: 安全带腰带力

上图中，P-Belt 为单预紧，PLP 为端片双预紧，在碰撞 17ms 卷收器预紧起作用，在 23ms 时刻，端片预紧开始作用，从图 9 和 10 可以看出，PLP 安全带 23ms 时刻腰带对假人约束增加，吸能增加，更多的能量传递到车身上；此时 PLP 安全带对假人肩部预紧时刻受力影响较小。由于前期能量被吸收，假人运动减缓，在 40ms 限力阶段，假人肩部受力变小。由于 PLP 安全带腰带对假人约束加强，能量的减少，肩带力变小，综合因素导致胸部压缩量减少。

3.3 安全带限力影响分析

影响假人胸部压缩量的因素除了假人自身约束之外，另外一方面重要的原因就是外力作用。直接作用假人胸部的部件就是安全带，安全带的特性直接影响胸部受力的大小。针对某车型在同一验证条件下，对安全带不同限力值大小进行调整并在台车上进行验证其影响，结果如下图 11，12。

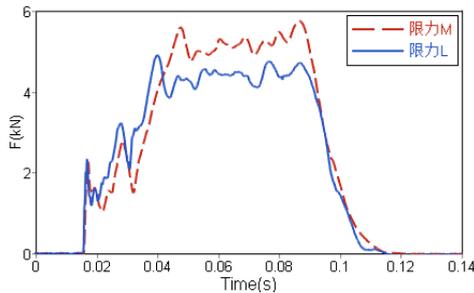


Figure 11. Seatbelt shoulder force

图 11：安全带肩带力

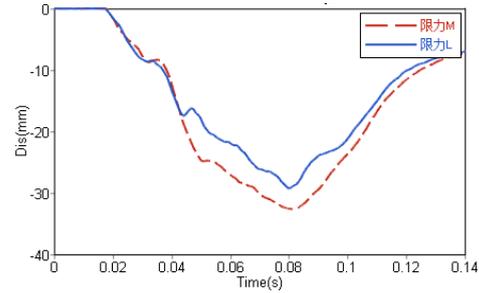


Figure12. Chest compressive deformation

图 12：假人胸部压缩量

同一验证条件下，仅安全带限力大小不同，40ms 之前，胸部压缩量几乎相同，45ms 开始，安全带限力不同，对胸部作用力发生变化，胸部压缩量随即发生变化。

3.4 气袋对胸压影响分析

3.4.1 不同气袋参数影响分析

正面碰撞过程中，碰撞后期除了座椅对假人的约束和安全带的直接作用外，还会有气囊的直接接触作用，气囊的好与坏不仅仅要看对假人头颈的保护效果，还要看其对胸部伤害值影响的大小。基于某车型的开发过程，优化气囊气孔参数大小，台车验证其对假人伤害的影响，如图 13 是对假人胸部压缩量影响结果。

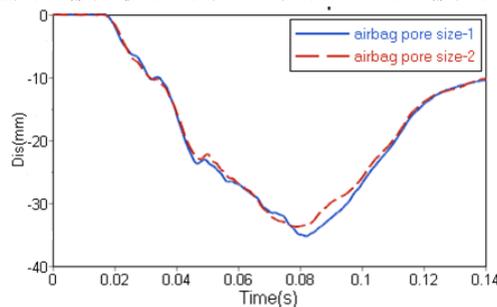


Figure13. Chest compressive deformation with the different airbag pore

图 13：不同气袋参数对假人胸部压缩量影响

除了气囊气孔大小不同外，其余参数相同，70ms 前假人运动、受力不变，胸部压缩量几乎一致；70ms 时刻，气囊开始接触胸部起作用，由于气囊气孔参数不同，气囊软硬度有差异，70ms 胸部压缩量产生差异，结果证明：针对该车型，气孔的不同对胸压量最终影响 1.5mm 左右。

3.4.2 不同气袋形态的影响分析

上述分析了同一气囊不同参数对胸部伤害值的影响，结合某车型气囊开发过程中，对不同形态的气囊对胸部压缩量的影响进行研究并进行台车验证试验。

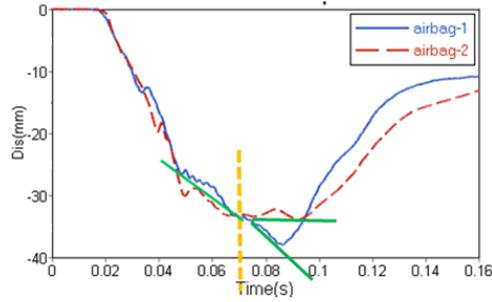


Figure13. Chest compressive deformation with the different airbags

图 14：不同气囊对假人胸部压缩量影响

如图 14，50ms-70ms 气囊接触之前，胸压变化趋势（胸压的变化率）相同；70ms 气囊接触后，由于不同的气囊姿态对胸部作用不同，胸压变化率发生变化；从图 14 中看出，airbag1 气囊在假人胸部位置作用力较强，导致假人胸部压缩量在气囊接触后发生陡然的变化。好的气囊不仅能对头颈起到良好保护，而且在气囊接触之后，胸压变化要平缓过渡（如 airbag2 曲线）或胸压量呈缓慢增加趋势，而非发生陡然变化。因此在良好的假人约束情况下，胸部在气囊接触后若胸压量产生陡然变化，可以通过优化气囊来解决此问题。

3.5 胸部受力位置影响分析

由于假人胸部由弹性压缩单元组成，根据假人胸部伤害机理分析可知，假人胸部压缩量不仅和假人约束、安全带和气囊的力值大小有关，也和受力位置及方向（安全带布置）有关^[14]。下表为某车型开发过程中，CAE 模型中调整安全带高调位置，使安全带作用胸部的位置不同，仿真得到的胸部伤害值。

Table 1. Chest deformation for different position about belts

表 1. 不同安全带位置对应的胸压值

序号	安全带边缘距离颈部的距离	伤害值	得分
1	160	33.29	2.39
2	143	31.88	2.59
3	125	31.30	2.67
4	110	27.38	3.23

一般情况下，人机设计安全带作用胸部位置会位于胸部中心偏上的位置，根据上述分析结果，安全带相对胸部靠上，受力位置远离传感器作用位置，胸部压缩量变小。安全带位置一定范围内偏离传感器受力位置，胸压变化量呈线性增加趋势，超过一定范围，胸压会非线性比例减小，但无限制的抬高安全带作用于胸部位置，不仅影响舒适性，甚至在实际工况会造成颈部致命伤害，因此整车人机布置要综合考虑各方面的影响因素。

4 总结

整车碰撞是一个瞬时复杂过程，假人运动和伤害是各系统彼此共同作用的结果。本文基于假人胸部伤害机理，研究了座椅约束对假人胸压的影响，同时研究了不同特性的安全带和气囊对假人胸压的影响。结果表明，良好的约束是假人胸部优化的基础，不同特性的安全带对假人胸压影响较大，气囊影响较小，但是气囊的好坏会直接影响胸压后期的变化趋势。

本文主要讨论了外部约束系统等因素对胸压量的影响，由于假人皮肤橡胶存在老化，刚性结构件性能衰减，假人自身组件装配力矩、装配间隙差异等因素，也会影响假人胸压^[15]，关于假人自身方面对胸压的影响，后续可做详细研究。

参考文献 (References)

- [1] 李向荣, 王凯, 等. 正碰假人胸部变形影响因素研究[C]. 中国汽车工程年会论文集.2009, 北京.
- [2] 汪勇, 李丽华, 等. 关于温度变化对 Hybrid III 假人胸部标定试验的研究[C]. 中国汽车工程学会汽车安全技术学术会议, 2012, 芜湖.
- [3] 曹立波, 罗骞, 等. 混 III5 百分位女性假人胸部标定影响因素分析[J]. 汽车工程.2016,(06),692-697.
- [4] 张冠军, 赵新峰, 等. 座椅参数对乘员正面碰撞的损伤影响研究[J]. 现代制造工程.2016,(12),53-56.
- [5] 周家伟, 王锡铭, 等. 某车型正面碰撞胸部伤害优化分析[C]. 第 18 届汽车安全技术学术会议论文集.2015, 苏州
- [6] 商恩义, 周大永, 等. 某车偏置碰撞中假人胸部压缩变形量偏大的影响因素[J]. 汽车安全与节能学报.2016,(01),60-65
- [7] 唐灿, 李平飞, 等. 汽车正面碰撞中驾驶人坐姿对其损伤影响研究[J]. 中国安全科学学报.2017(03),54-58.
- [8] 马伟杰, 段丙旭, 等. 安全带佩戴位置对 HIII 5th 女性胸部特性影响的研究[C]. 第 11 届汽车交通安全国际论坛.2014, 重庆
- [9] 王恒, 王星磊, 等. 某车型正面碰撞胸部性能提升及 DAB 支撑性影响因素研究[J]. 汽车科技.2017,(01),79-83.
- [10] Kristian Holmqvist, Johan Davidsson. Improving Hybrid III Injury Assessment in Steering Wheel Rim to Chest Impacts Using Responses from Finite Element Hybrid III and Human Body Model[J]. Traffic Injury Prevention.2014,p.196-205
- [11] 袁仲荣, 王玉超, 等. 转向管柱角度对假人胸压量的影响[J]. 机电工程技术.2011,(08),83-85.
- [12] Yong Han, Shouzhen Fu,. A Study on Chest Soft Tissue Injury Risk in Vehicle to Pedestrian Collisions[C]. The 12th International Forum of Automotive Traffic Safety.2015, Xiamen.
- [13] Hybrid III 50th Male User Manual. First Technology Safety Systems, Inc.
- [14] 彭路, 李筱磊, 等. 基于 MADYMO 的前碰撞混合 III 型假人胸部压缩量损伤分析[J]. 汽车工程.2009,(12),1126-1128
- [15] 宋学丹, 李良义, 等. 假人腰椎装配力矩对胸部压缩量的影响[J]. 汽车工程师.2015,(01),48-49.