

# The Influence on the Chest Injury of Hybrid III 50th for Different DLT Simulation Methods of SeatBelt Based on LS-DYNA

Yanting ZHENG, Yi Ji, Qingxiang Guo

China Automotive Technology & Research Center, Tianjin, China, 300300

**Abstract:** Reducing chest injury is still keystone and difficulty in vehicle passive safety design. Dynamic Lock Tongue applied on seatbelt help to reduce chest injury by restraining the forward movement of passenger's pelvis and upper body, which is achieved by locking belt. This paper discussed the influence on chest deflection of Hybrid III 50th for different DLT (Dynamic Lock Tongue) simulation methods based on correlated frontal impacts (The full front 100% impact (FRB) model), the test and simulation data. In order to reduce simulation error, the only difference of three models above is the different DLT simulation method, and they are all calculated with same version of LSDYNA and same CPU.

**Keywords:** Chest Displacement, Dynamic Lock Tongue, Sensor Lock, Force Lock, Time Lock

## 基于 LS-DYNA 的安全带不同锁止建模方式对 Hybrid III 50th 假人胸部损伤的影响研究

郑艳婷, 季奕, 郭庆祥

中国汽车技术研究中心, 天津, 中国, 300300

Email: zhengyanting@catarc.ac.cn

**摘 要:** 降低胸部损伤仍然是汽车被动安全设计的重难点<sup>[1]</sup>。安全带锁止锁舌功能 (Dynamic Lock Tongue) 通过在碰撞工况中锁紧安全带, 约束乘员骨盆向前运动和上半身前倾趋势, 减轻碰撞冲击力, 从而减轻胸部伤害<sup>[2]</sup>。本文就安全带锁止锁舌功能, 基于某对标完整的正面 100%重叠刚性壁障工况下的约束系统碰撞模型, 对三种安全带锁止锁舌建模方法进行建模仿真, 并依据试验和仿真数据进行分析, 探讨三种建模方法的精度。为降低其它因素对仿真精度的影响, 三个模型的区别仅限于三种安全带锁止锁舌建模方法的不同, 其它参数完全一致, 且三个模型采用同版本 LS-DYNA 及核数进行运算。

**关键词:** 胸部压缩量; 锁止锁舌功能; 力差锁止; 带力锁止; 时间锁止

### 1 引言

在汽车碰撞交通事故中, 胸部通常是致人重伤或者死亡的主要因素; 有事故数据统计表明, 在碰撞事故中胸部受伤概率位居前三<sup>[3-4]</sup>。而依据当前 CNCAP 评估车型的普遍表现, 胸压仍然是主要失分项。所以乘员胸部保护是车辆乘员保护设计的一个重点方向<sup>[5-6]</sup>。

在汽车碰撞事故中, 安全带和气囊是最直接、有效的约束系统保护配置, 尤其是对于乘员头部和胸部的保护作用。两者的配置参数(诸如安全带和气囊的点火时间、安全带预紧时间、限力大小、气囊排气孔大小、拉带长度等)在前期汽车安全设计过程中经过合理匹配, 使车辆在碰撞中使约束系统发挥最大的碰撞保护效应。

在汽车碰撞过程中, 普通安全带对乘员保护机理: 在碰撞发生时, 感应装置接收到碰撞信号, 卷收器锁死织带, 安全带织带不再抽出, 从而将乘员束缚在座椅上, 避免其以极大冲击力向前倾, 撞到方向盘、仪表板、风挡玻璃等, 发生二次碰撞, 降低乘员尤其是头胸部的伤害程度<sup>[7]</sup>。

普通安全带仅能通过仅有的锁死功能束缚乘员。随着安全带技术发展, 带有预紧、限力、锁止等功能的安全带

产品相继研发并被应用到汽车产品中。安全带预紧功能指在碰撞发生时提前把由于织带缠绕间隙、织带与乘员身体之间的间隙及织带本身的伸长率导致的织带与乘员之间的间隙余量消除，更好地将乘员固定在座椅上。安全带限力功能指在将乘员束缚到最佳位置之后，希望安全带的束缚力不要像预紧拉回时那么大，以免胸部遭受到重度损伤，此时安全带的限力器开始起作用，在安全带达到预设的拉力时，可以让安全带的拉出过程的力保持不变，施加到乘员身体上的力就被限定在一定的大小，防止安全带用力过猛造成的额外损伤。安全带锁止锁舌功能指在乘员前倾到一定程度，通过在 Buckle 端锁止织带的方式阻止乘员进一步前倾的保护功能，从而避免造成胸部和头部的额外损伤<sup>[8-10]</sup>。

当前，安全带在 LS-DYNA 中的仿真技术日趋成熟，基本能够很好的模拟卷收器锁死、预紧、限力功能。但对于锁止功能，DYNA 有多种仿真模式，其精确性也不尽相同。为进一步研究锁止功能的仿真精确性，本文以经整车试验对标的某 SUV 车型主驾约束系统仿真模型，探索针对安全带锁止的不同仿真建模方式，并结合试验与仿真数据，对安全带锁止功能仿真建模方法的对应数据结果进行对比分析，探索更加准确有效的安全带锁止建模方法。

## 2 基础模型对标

本文以某 SUV 车型 50km/h 正面 100%重叠刚性壁障整车碰撞试验（FRB）工况下的已对标主驾约束系统模型为研究基础，研究不同安全带锁止建模方式对假人伤害的影响。

图 1 为该车型 FRB 工况下的整车试验左 B 柱底端的加速度曲线，将其提取并通过 BOUNDARY PRESCRIBED MOTION dyna 关键字施加 X 向的边界条件，输入到滑车试验白车身相应位置，以模拟整车试验中白车身的运动。

图 2 为驾驶员侧的约束系统仿真模型，主要由混合型 50 百分位男性假人(Hybrid III 50th Male Dummy)、白车身、地毯、三踏板（油门、刹车、歇脚板）、转向管柱、仪表板、气囊、安全带、座椅等部件组成（各部件通过刚性件随动的连接方式连接到一起）。

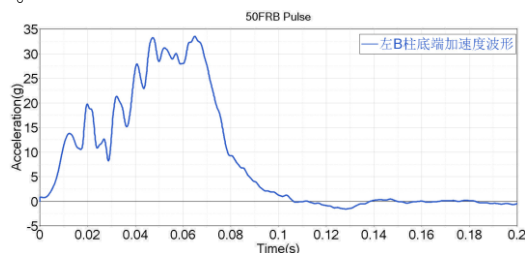


Figure 1. Acceleration Pulse Of BIW

图 1. 白车身脉冲

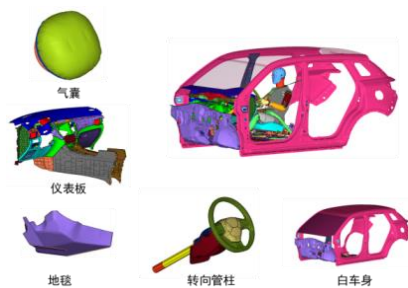


Figure 2. Restraint system Model

图 2 约束系统模型

其中，带有首美 Hybrid III 50th 男性假人的主驾约束系统仿真模型已经与整车试验进行对标验证，图 3 所示为不同时刻下约束系统仿真及整车状态下 Hybrid III 50th 假人运动姿态对比图，图 4 所示为约束系统仿真工况以及整车试验工况下假人伤害值曲线对比，主要包括安全带肩带力表现、腹带力表现，以及 Hybrid III 50th 假人骨盆加速度、头部加速度、胸部压缩量以及胸部加速度等。由图 3 及图 4 可见，仿真与试验中 Hybrid III 50<sup>th</sup>

假人的运动姿态以及伤害值曲线基本一致，证明了该基础模型的有效性及可用性。

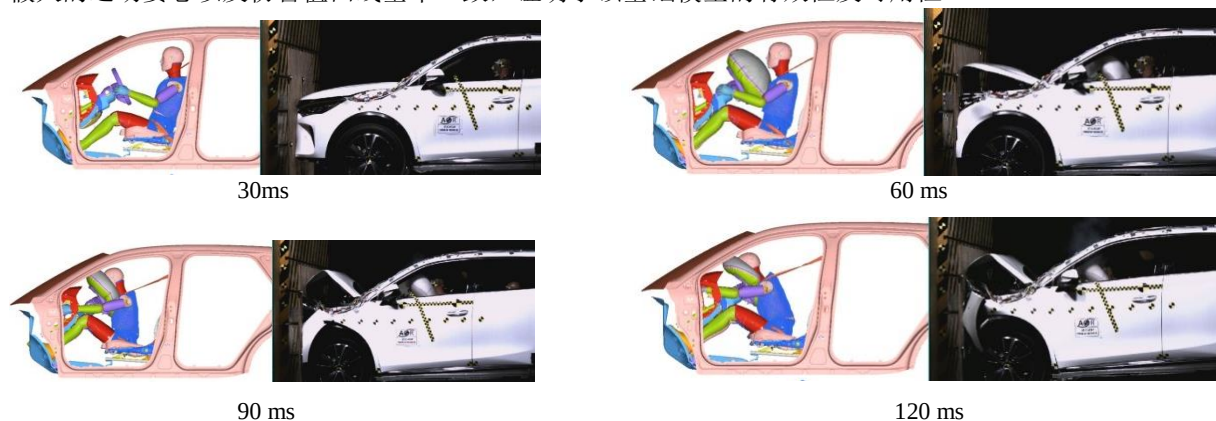


Figure 3. Comparison of Animation between Test and Simulation

图 3 基础模型试验仿真动画对比结果

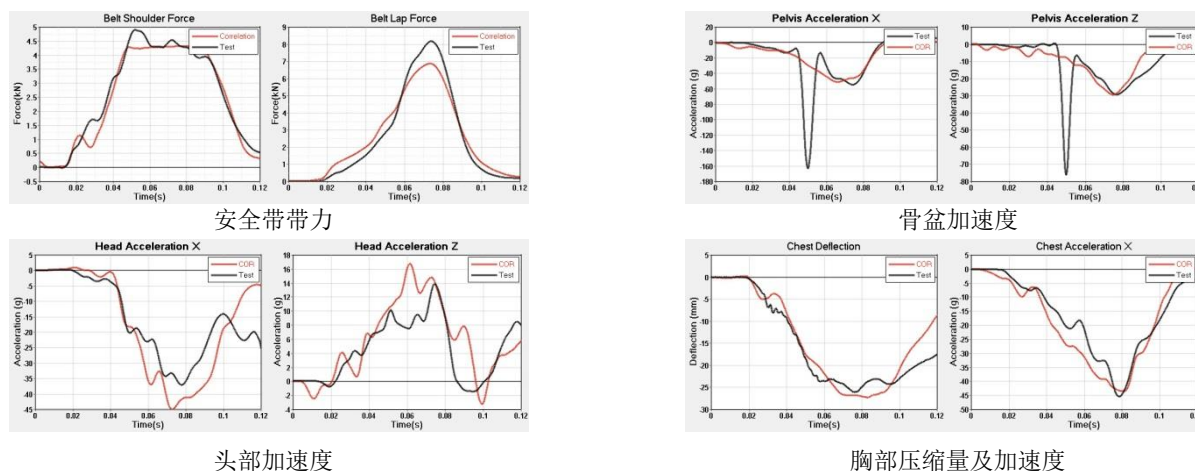


Figure 4. Comparison of Dummy Injury Data between Test and Simulation

图 4 基础模型假人伤害值试验仿真对标结果

### 3 锁止锁舌功能及仿真方法

#### 3.1 锁止锁舌机构作用原理

首先介绍安全带带力，其在整车碰撞状态下一般的分布情况如图 5 所示。其中 B1、B2 为卷收端力，B3、B4 为肩带力，B5、B6 为腰带力。

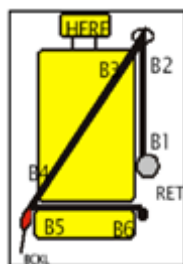


Figure5. Distribution of SeatBelt Force[2]

图 5. 安全带带力分布[2]

锁止锁舌技术是一种应用在安全带上的新型动态锁止舌片技术 (DLT: Dynamic Lock Tongue)，其装置紧凑、

轻巧，由带回转凸轮和暗式弹簧的安全带凸舌构成。当安全带被扣好、正常使用时，DLT 可使安全带织带自由穿过凸舌，确保日常使用的舒适和便利（如图 6(a) 所示）。一旦发生紧急制动或碰撞、导致安全带腰带力相对肩带力大于一定力值(约为 45 牛顿左右)时，DLT 就会被激活卡紧安全带织带（如图 6(b) 所示），直至力差达到约 1.5KN 左右完全锁死（如图 6(c) 所示），与预紧装置和负荷限制器等其他安全带技术装备密切配合，约束骨盆向前运动，使乘员下半身与座椅更加贴合，从而减缓乘员上半身前倾趋势，协助控制碰撞施加给乘员胸部的冲击力，从而减小胸部压力，降低胸部损伤，同时在锁止模式下，DLT 可有效防止安全带织带从凸舌中滑脱，防止乘员窜离座位的风险，增加保护效果<sup>[2, 11-14]</sup>。

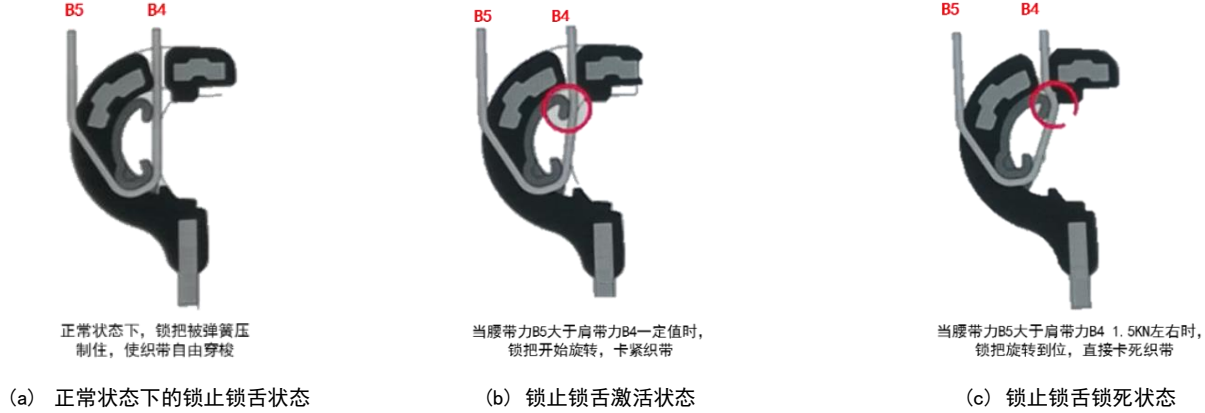


Figure6. DLT Schematic

图 6 安全带锁止锁舌功能图解介绍

### 3.2 锁止锁舌仿真建模方法探索研究

#### 3.2.1 力差锁止控制方法

力差控制方法主要是基于 Ls-dyna 的四个关键字来实现的，如下所示：

\*SENSOR\_DEFINE\_FORCE<sup>[15]</sup>

\*SENSOR\_DEFINE\_FUNCTION<sup>[15]</sup>

\*SENSOR\_SWITCH<sup>[15]</sup>

\*SENSOR\_CONTROL<sup>[15]</sup>

Sensor Lock 锁止建模步骤如下所示：

(a) 如图 7 所示，首先在 Primer 软件中基于 Ls-dyna \*SENSOR\_DEFINE\_FORCE 关键字分别在紧挨 Buckle 的肩带以及腰带位置处建立两个带力传感器 B4 以及 B5，以监测肩带与腹带在仿真过程中力的变化。

(b) 然后基于 Ls-dyna\*SENSOR\_DEFINE\_FORCE 关键字\*SENSOR\_DEFINE\_FUNCTION 建立逻辑函数

$$f(x) = f_1(x) - f_2(x) \quad (1)$$

其中  $x$  代表时间， $f_1(x)$  为腰带力 B5 传感器测得的腰带力&时间变化函数， $f_2(x)$  为肩带力 B4 传感器测得的肩带力带力&时间变化函数， $f(x)$  为腰带与肩带的力差&时间变化曲线。

(c) \*SENSOR\_SWITCH

再次基于 Ls-dyna \*SENSOR\_SWITCH 关键字设置逻辑判断条件公式

$$f(x) \geq m \text{ KN} \quad (2)$$

(d) 最后基于 Ls-dyna \*SENSOR\_CONTROL 关键字及(c)步骤逻辑条件进行锁止锁舌开关控制。仿真中安全带锁止锁舌初始状态默认为关闭。

当腰带与肩带力差  $f(x) \geq m \text{ KN}$  时，即激活锁止功能，仿真中 Buckle 端口织带被卡紧。(腰带与肩带力差  $m$  需

要针对具体研究模型进行具体的区间计算分析来确定，依据胸压计算值，得到胸压最小时对应的  $m$  最合理值)。

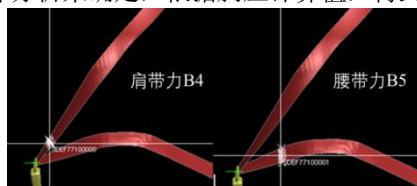


Figure7. Sensor of SeatBelt Force

图 7 Buckle 端肩带以及腰带力传感器标示

### 3.2.2 带力锁止控制方法

如图 8 所示，本方法是通过设置 Buckle 端口滑环处滑环的动态摩擦系数与安全带带力值  $u$  &  $F$  关系曲线来实现控制锁止锁舌的功能的。

当通过滑环的安全带带力到达一定值  $X$  时，将滑环的摩擦系数  $u$  从 0.1 升至 0.5，使得织带向腰带方向滑动困难，从而实现锁止功能。(摩擦系数突变对应的带力定值  $X$  需要针对具体研究模型进行具体的区间计算分析来确定，依据胸压计算值，得到胸压最小时对应的  $X$  的最合理值)。

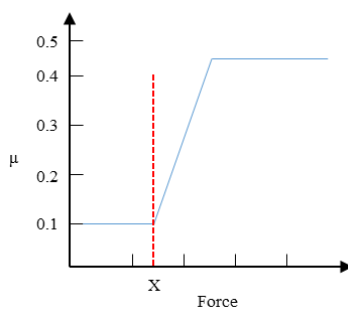


Figure8. SeatBelt Force Schematic of DLT

图 8 带力锁止示意图

### 3.2.3 时间锁止控制方法

如图 9 所示，本方法是通过设置 Buckle 端口滑环处滑环的动态摩擦系数与时间的  $u$  &  $T$  关系曲线来实现控制锁止锁舌的功能。

本方法是通过  $u$  &  $T$  关系曲线直接设定安全带的锁止时间，在仿真计算时，当达到锁定时间，安全带 Buckle 滑环处的摩擦系数从 0.1 突变至 0.5，使得织带向腰带方向滑动困难，从而实现锁止功能。(摩擦系数突变对应的时间定值  $T$  针对具体研究模型进行具体的区间计算分析来确定，依据胸压计算值，得到胸压最小时对应的  $T$  的最合理值)。

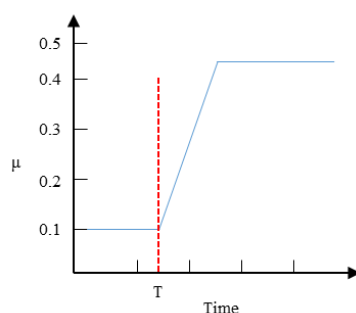


Figure9. TimeLock Schematic of DLT

图 9 时间锁止示意图

#### 4 不同锁止建模方式对假人伤害的影响

为对比仿真锁止功能的效果以及三种不同锁止建模方式的精度，基于某 SUV 车型主驾约束系统基础对标模型（安全带无锁止功能），分别建立三种带有不同锁止建模方式的仿真工况。以上四个工况除了安全带锁止功能及建模有不同外，其它约束系统配置完全相同。

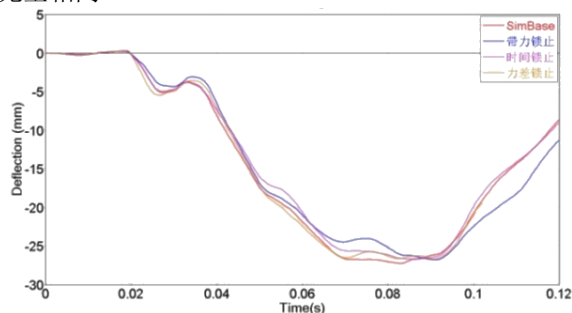


Figure 10. Influence of Different Method of DLT Model

图 10 不同锁止仿真建模方式对胸压结果的影响

图 10 所示为正面碰撞工况下仿真基础对标模型 Hybrid III 假人胸压仿真结果与不同锁止建模方式下 Hybrid III 假人胸压曲线仿真结果对比图。表 1 为相应工况的胸压的对比值。由上述数据显示，与不带锁止条件的基础对标模型的 Hybrid III 假人胸压仿真值对比，带有锁止功能的三种锁止建模方式下的 Hybrid III 假人胸压仿真值均变小，胸部损伤减轻，与实际情况相符，证明三种仿真建模方式在仿真中起到锁止效果。

单独对比三种锁止建模方式仿真工况下的 Hybrid III 假人胸压仿真值，可以发现：带力锁止方法下 Hybrid III 假人胸压仿真结果最小，力差锁止次之，时间锁止方法最大，证明针对以上三种锁止建模方法，带力锁止的建模方法使得安全带锁止效果最明显，灵敏度最高，力差锁止建模方式、时间锁止建模方式次之。

Table 1. System resulting data of standard experiment  
表 1. 安全带不同锁止建模方式的胸压仿真值(mm)

| SimBase | 带力锁止  | 力差锁止  | 时间锁止 |
|---------|-------|-------|------|
| 27.25   | 25.80 | 26.68 | 26.7 |

#### 5 结论与展望

本文依据某 SUV 车型 50km/h 正面 100%重叠刚性壁障整车碰撞试验（FRB）工况下的已对标主驾约束系统模型，对力差锁止、带力锁止、时间锁止三种不同的安全带锁止仿真方法进行了建模方法介绍、仿真结果探讨，主要结论如下：



(1) 与与不带锁止条件的基础对标模型的 Hybrid III 假人胸压仿真值对比,三种锁止仿真建模方法下 Hybrid III 假人胸压仿真值均有所降低,均能在仿真中反映出安全带锁止效果。

(2) 单独对比三种锁止建模方式仿真工况下 Hybrid III 假人胸压仿真值,带力锁止方法下 Hybrid III 假人胸压仿真结果最小,力差锁止次之,时间锁止方法最大。证明针对以上三种锁止建模方法,带力锁止的建模方法使得安全带锁止效果最明显,灵敏度最高,力差锁止建模方式、时间锁止建模方式次之。

(3) 本文研究出三种有效的基于 Ls-dyna 的安全带锁止建模方法,并对比了三种方法的锁止效果灵敏度,本研究可为约束系统相关工程师提供锁止建模的方法参考,并依据实际试验中的安全带锁止效果,依据锁止建模方法的灵敏度,在仿真中选择合适的锁止建模方式。

(4) 同一模型运算下,三种锁止锁舌方法仿真灵敏度不同的原因可能与每个方法对应的 LS-DYNA 算法及施加方式有关,亟待深入研究。

## 参考文献

- [1] Pipkorn, Bengt, LopezValdes, Francisco J, et al. Innovative Seat Belt System for Reduced Chest Deflection[c] //2015 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Gothenburg, Sweden
- [2] 李英杰, 刘维海, et al. 某车型驾驶员正面碰撞胸部伤害优化分析[C]// 2016 第十二届 天欧汽车安全技术年会, 中国上海
- [3] Han, Y., et al., Effect of vehicle impact velocity, vehicle Front-End shapes on pedestrian Injury Risk. Traffic Injury prevention,2012.13(5): P.5007-508.
- [4] National Police Agency (Japan) Statistics of road traffic accidents in Japan. National Police Agency, Japan, 2010. (In Japanese)
- [5] 中国汽车技术中心.C-NCAP 管理规则 (2015 版) [M].天津: 中国汽车技术研究中心.2015
- [6] 中国汽车技术中心.C-NCAP 管理规则 (2018 版) [M].天津: 中国汽车技术研究中心.2018
- [7] Hontschik H, Müller E, Rüter G. 1977. Necessities and possibilities of improving the protective effect of three-point seat belts” (770933), Proc. 21st Stapp Car Crash Conf., pp. 795–831
- [8] Chen, G.F and Ming F. S, Optimization of Front and Structures for IIHS small Overlap Frontal Crash Test. 2019, 26ESV,.Netherlands
- [9] Tatsuya A, Shinsuke O, Hiroyuki I, Osamu K, Influence of Seating Position on Occupant’ s Injury Criteria. 2019, 26ESV,. Netherlands
- [10] Park, J., Ebert, S.M., Reed, M.P., Hallman, J.J. 2018. “Comparison of Three-Point Belt Fit between Humans and ATDs in Rear Seats.” Traffic Injury Prevention, 19(sup1), S65-S69
- [11] Eggers A, Eickhoff B, Dobberstein J, et al. Effects of Variations in Belt Geometry, Double Pretensioning and Adaptive Load Limiting on Advanced Chest Measurements of THOR and Hybrid III[C]// 2014.
- [12] 商恩义, 陈晓东, 杨斌, et al. 正面碰撞试验中假人肩带力、胸部加速度与胸部位移间关系的研究[J]. 汽车技术, 2011(2).
- [13] Hartka, T.R., Carr H.M., Smith B.R., Melmer M., Sochor M.R. 2018. “Does Obesity Affect the Position of Seat Belt Loading in Occupants Involved in Real-World Motor Vehicle Collisions?” Traffic Injury Prevention, 19(sup1), S70-S75
- [14] Mizuno K., Yoshida R., Nakajima Y. et al. 2018. “The Effects of Inboard Shoulder Belt and Lap Belt Loadings on Chest Deflection.” Stapp Car Crash Journal, 62, 67-91
- [15] LSTC, LS-DYNA®KEYWORD USER'S MANUAL, LS-DYNA R9.0, 2016.