

The Study of AE-MDB Simulation Test Method based on Frontal Crash Simulation Acceleration Sled

Lei HU^{1,2}, Changqing YIN^{1,2}, Xiaolei LI^{1,2}, Taisong CUI^{1,2}, Hui ZHAO^{1,2}

¹State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, China, 401120

²Chongqing Changan Automobile Co Ltd, Chongqing, China, 401120

Email: hulei@changan.com.cn

Abstract: This paper firstly introduces the test methods used in the development of side constraint system, and compares the two test methods of acceleration and deceleration, describes the advantages of the side impact simulation test of acceleration sled. Through the analysis of the injury process of the dummy, this paper introduces a method of acceleration equivalent for the side impact simulation test. The results of inverted collision simulation test show that the trend and peak value of the dummy injury index in the sled test are consistent with that in the vehicle side collision, which can be used for the verification of the side constraint system development.

Keywords: Sled on sled, constraint system of side impact, acceleration sled, vehicle safety

基于正碰模拟加速台车的 AE-MDB 侧碰模拟试验方法研究

胡雷^{1,2}、尹长青^{1,2}、李筱磊^{1,2}、崔泰松^{1,2}、赵会^{1,2}

¹汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 401120

²重庆长安汽车股份公司, 重庆, 中国, 401120

Email: hulei@changan.com.cn

摘要: 本文首先对用于侧面约束系统开发的试验方法进行了介绍, 并对加速台车与减速台车两种试验方法进行了对比, 描述了加速台车在侧碰模拟试验中的优点, 同时提出了加速台车进行侧碰模拟所面临的难点。通过对假人伤害过程的分析, 介绍了一种加速度等效的方法用于侧碰模拟试验, 侧碰模拟试验结果显示, 台车试验中的假人伤害指标与整车侧面碰撞中的假人伤害指标趋势和峰值都一致, 可用于侧面约束系统开发的方案验证。

关键词: sled on sled; 侧面约束系统; 加速台车; 汽车安全

1 引言

随着我国经济的飞速发展, 汽车也越来越多了进入了每个家庭。根据中国汽车工业协会的统计结果, 在 2010 年我国的汽车产销已经超过 1800 万量, 位居世界第一。随之而来的交通事故也不断增多。根据世界卫生组织的统计, 全国范围内每年死于交通事故的死亡人数达到 120 万以上, 而我国的交通事故死亡人数多年位居世界首位。因此, 如何进一步提到汽车安全性能的问题亟待解决。汽车侧面碰撞也是常见的交通事故之一。乘员乘坐的汽车受到侧面撞击后, 容易造成乘员的头部、胸部、腹部以及骨盆等部位受伤。为了有效的防护和减少乘员在侧碰过程的伤害, 各主机厂都会在汽车安全性能上面增加侧面约束系统。侧面约束系统主要包括有座椅、安全带、侧气囊、侧气帘以及门内饰板等。在侧碰发生时, ECU 会根据算法在设计时刻点爆安全带、侧气囊和侧气帘, 防止乘员直接撞击到车门内饰、B 柱、车窗等车体结构件, 有效减少乘员伤害。

主机厂在汽车侧面安全性能开发过程中, 前期通过 CAE 仿真分析确定方案, 再进行侧面约束系统匹配试验, 确定最优方案。为了减少开发成本, 现在主机厂更多采用侧碰模拟试验的方法来验证 CAE 仿真方案。

2 侧碰模拟试验方法简介

侧面约束系统匹配试验方法主要基于减速台车系统和加速台车系统两种。由于加速台车系统相对于传统的减速台车系统具有更好的加速度曲线模拟能力、重复性和再现性，因此当前各主机厂及约束系统供应商在进行侧面约束系统匹配试验时更多的选用基于加速台车的 Sled On Sled 的试验方法。

2.1 加速台车系统简介

目前国内外主要的加速台车系统有美国 Seattle Safety 加速台车系统、德国的 IST 加速台车系统以及日本的三菱加速台车系统。前者是通过气压产生推力从而试验加速度曲线的模拟，后两者的基于液压系统实现试验加速度曲线的模拟。

2.2 基于加速台车系统的试验方法

当前利用加速台车系统进行侧碰模拟试验时，其主要试验方法是假人 C 放置在安装于二级滑台 E 上的座椅 D 上，并根据整车试验数据调整假人 C 和座椅 D 与侧围 B 的距离，然后激励器 A 对主滑台 F 施加一个推力，同时制动器 G 对主滑台 F 产生一个制动力，在合力的作用下使主滑台 F 和侧围 B 按照整车侧碰试验中的 B 柱加速度曲线（图 1）进行运动，在侧围 B 撞击假人 C 和座椅 D 之前，数采系统根据输入的时刻点爆气囊和安全带。通过这样的一个试验过程来复现和验证侧面约束系统对假人伤害的保护情况。

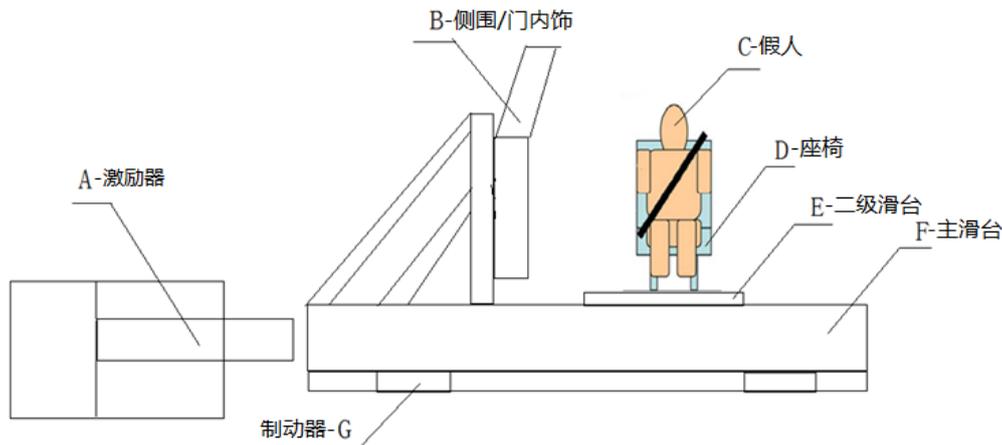


Figure 1. Schematic diagram

图 1. 侧碰示意图

2.3 基于加速台车系统的侧碰模拟试验方法存在的难点与不足

难点 1，侵入速度的选择。通过研究表明，影响假人伤害的是侵入速度。假人不同位置对应的车门位置侵入速度是不同的。但是整车试验 B 柱加速度高峰值难以模拟。从图 2 可以看出，在某车型整车 AEMDB 侧碰试验中，撞击侧车门侧门内板对应假人肋骨的加速度峰值高达 110g，这样的峰值加速台车系统是不能复现。因此我们选用撞击侧 B 柱靠近门槛梁上的加速度曲线，其峰值可以被加速台车系统复现，如图 3 所示。但是门槛处的 B 柱加速度并不能完全代表假人各位置的在整个过程中的侵入速度。

难点 2，整车试验 B 柱加速度曲线的高响应频率难以在加速台车系统中模拟。虽然有了激励器和制动器，理论上可以复现我们选用的 B 柱加速度曲线，但是加速台车系统的响应频率只有 150Hz，对于侧碰试验中响应变化很快的 B 柱加速度曲线，加速台车系统也不能很好的模拟，而这也将在一定程度上影响侧碰模拟试验中的侵入速度。

难点 3，不能很好的整体复现假人各伤害，在实际工程开发中更多的用于单个伤害曲线的开发，实现 A to B

即可。

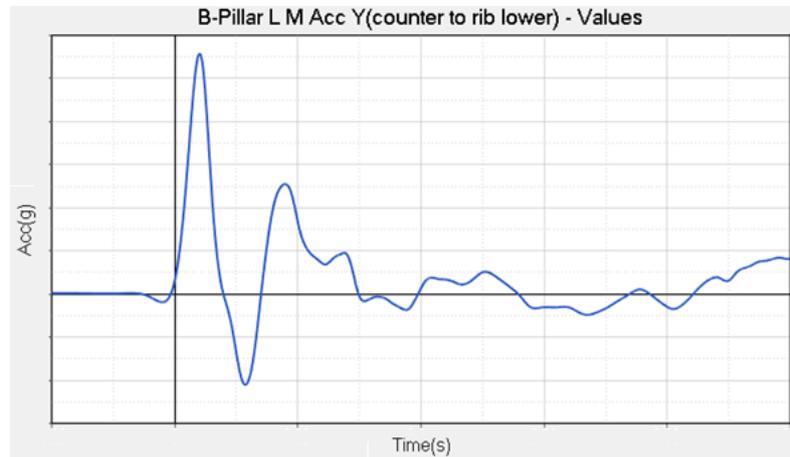


Figure 2. door trim acceleration curve

图 2.车门内板加速度曲线

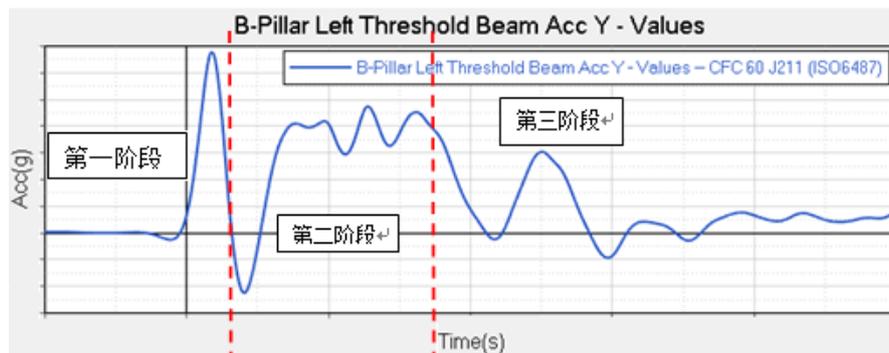


Figure 3.B pillar acceleration curve

图 3. B 柱门槛加速度曲线

3 侧面碰撞假人伤害过程分析

汽车在发生侧面碰撞的过程是一个能量传递的过程，具体过程如下：



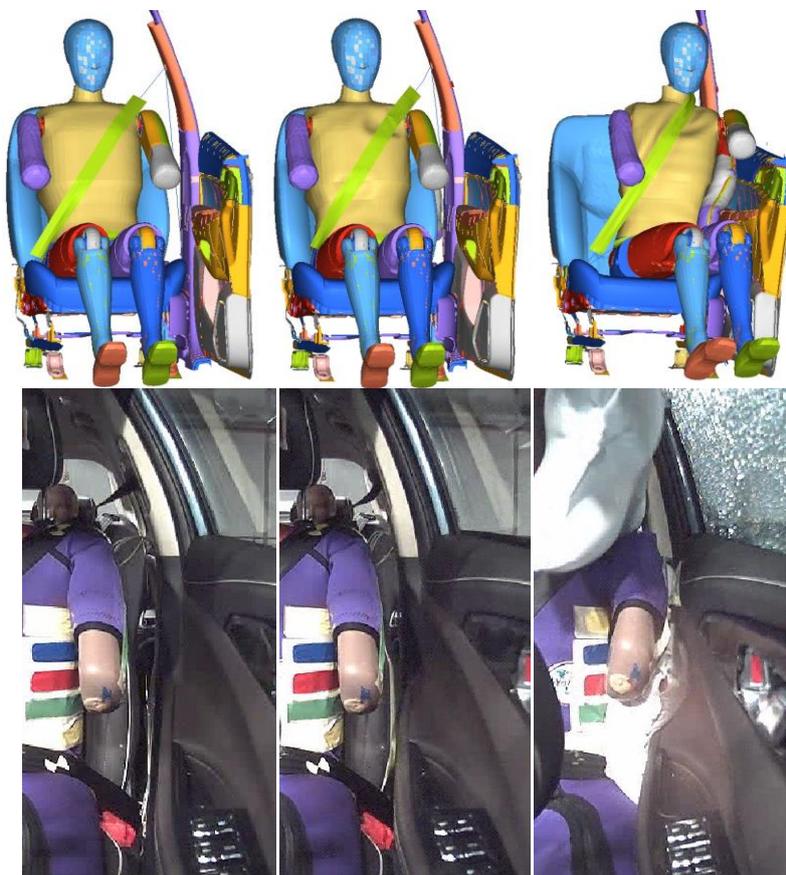


Figure 4. Dummy injury process

图 4. 假人伤害过程

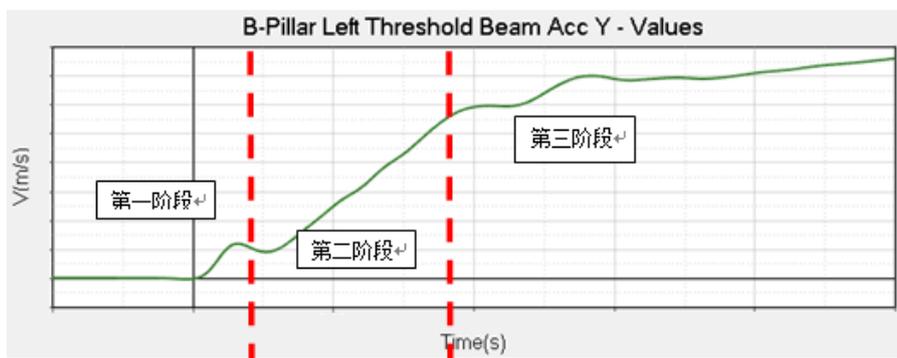


Figure 5. B pillar speed curve

图 5. B 柱门槛速度曲线

通过仿真和试验视频结合 B 柱速度曲线可以将整个侧碰过程分为三个阶段，第一阶段为侧碰小车接触车门外蒙皮开始到侧气囊展开，第二阶段为侧气囊展开与假人接触开始到假人撞击侧气囊及车门内饰板伤害值达到最大时刻，第三阶段为假人分离开始与侧气囊和门内饰板分离到试验结束。通过研究表明，侵入速度的大小是造成假人伤害的主要因素之一。

4 基于正碰台车的侧碰模拟试验方法研究

4.1 正碰加速台车系统及等效加速度曲线方法

正碰台车系统主要用于正碰加速度曲线的模拟并没有制动器系统，因此不能实现负向加速度。但是通过侧碰试验过程分析，我们可以看出，出现负 g 的第一阶段 B 柱加速度曲线对试验结果是没有影响的，假人伤害的产生是发生在侧气囊与假人接触以后，即第二阶段。结合正碰加速台车系统的性能，利用 CAE 仿真分析，通过整车试验的 B 柱加速度曲线进行等效优化，保证等效优化后的速度曲线与在第二阶段与整车 B 柱的速度曲线一致，如图 6 所示。等效优化后的加速度曲线是没有负 g ，但是等效后的加速度曲线其第二阶段对应的速度曲线与第二阶段的整车试验 B 柱加速度曲线对应的速度是一致的。这样即使没有制动器，我们也能实现对加速度曲线的模拟，并满足侧碰模拟试验的需求。既然采用了等效加速度曲线的方法，我们根据车型的具体情况，可以选择假人肋骨对应门内板的加速度曲线进行等效。

等效加速度算法的三个原则：第一，台车试验中气囊展开时刻的速度与整车试验中气囊展开时刻的侵入速度一致；第二，台车试验中的最大侵入速度与整车试验中的最大侵入速度相同；第三，加速台车侧碰模拟试验中气囊点爆时刻到侵入速度最大时刻这段时间的加速度变化尽可能与整车试验对应时刻的速度一致。

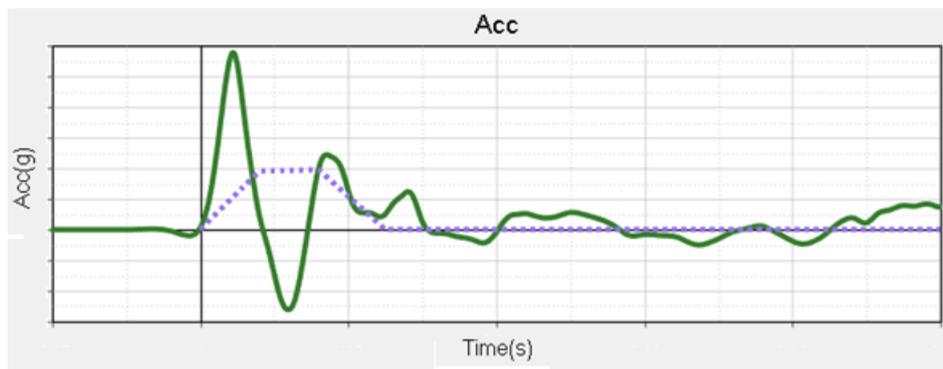


Figure 6. Equivalent acceleration curve

图 6. 等效加速度曲线

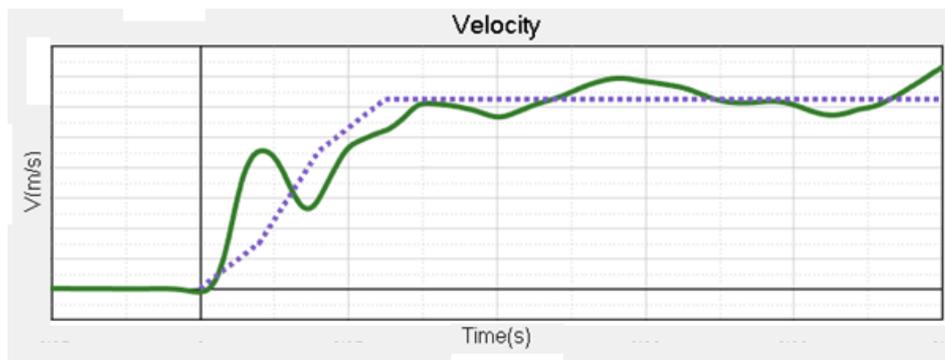


Figure 7. Equivalent speed curve

图 7. 等效速度曲线

4.2 影响侧碰模拟试验的因子控制策略选择

采用等效加速度侧碰模拟试验方法后，同时影响假人伤害复现的假人 Y 向空间距离、侧气囊点爆时刻就不

能直接采用整车侧碰试验的数据，需要进行一个转换。

假人 Y 向空间距离转换算法，通过整车试验和仿真的数据，我们可以计算出气囊点爆时刻 t_1 假人空间距离 s_1 ，以及该时刻的侵入速度 v_1 。台车试验时，根据等效加速度曲线进行积分找到对应速度达到 v_1 时，主滑台运动的位移 s_2 。因此在台车试验初始位置时的假人 Y 向空间距离为：

$S=s_1+s_2$ 。其目的是保证在加速台车侧碰模拟试验中，主滑台和车门运行速度达到 v_1 整车点爆时，假人 Y 向空间距离与整车一致。

侧气囊点爆时刻转换算法。整车时间气囊点爆时刻 t_1 ，点爆时的空间距离为 s_2 ，因此加速台车侧碰模拟试验侧气囊点爆时刻 t_2 应该为对应空间距离达到 s_2 的时刻。

5 基于正碰台车的侧碰模拟试验方法应用

在此基础上，我们可以进行对某车型进行了前排假人的侧碰模拟试验，台车试验结果与整车试验结果对比如下如下：

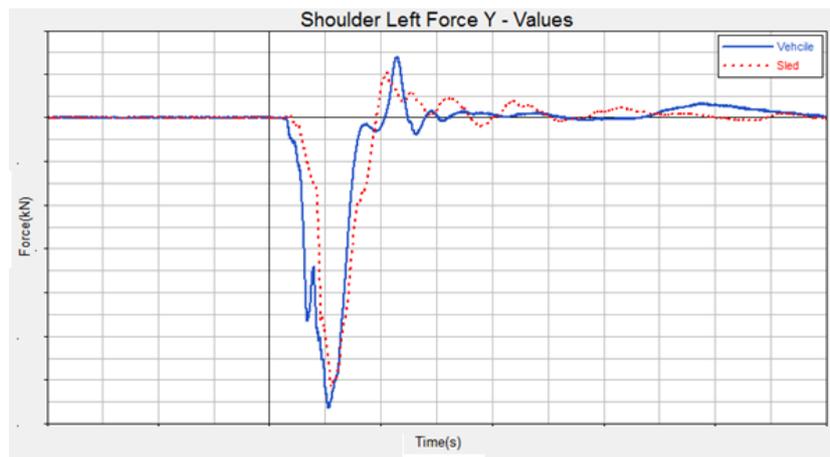


Figure 8.Shoulder force

图 8. 肩部力

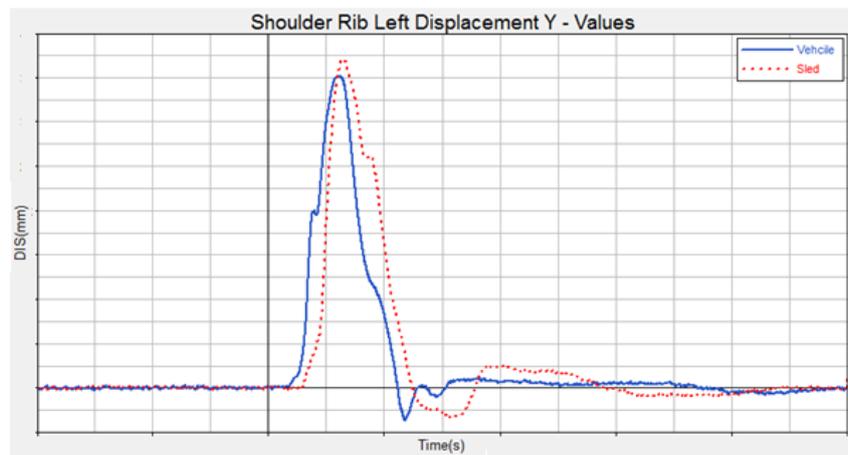


Figure 9.Shoulder rib displacement

图 9. 肩部压缩量

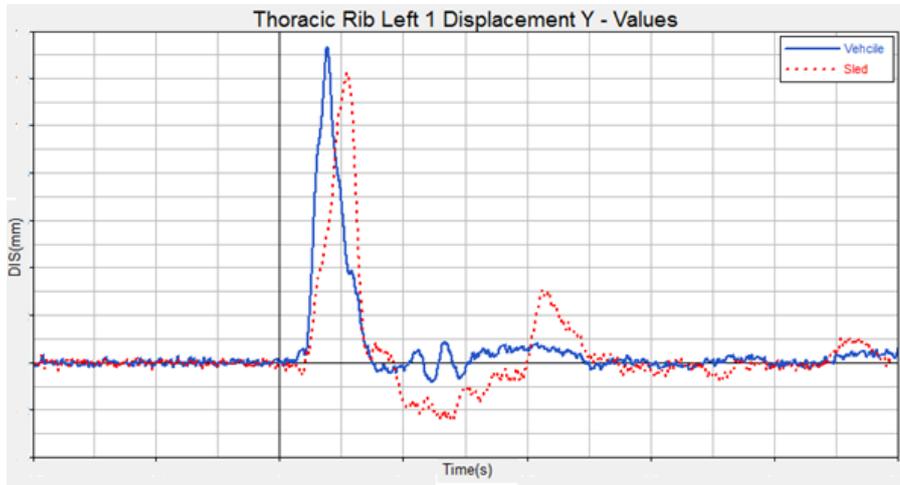


Figure 10.Thoracic rib left 1 displacement

图 10. 胸部第一肋骨压缩量

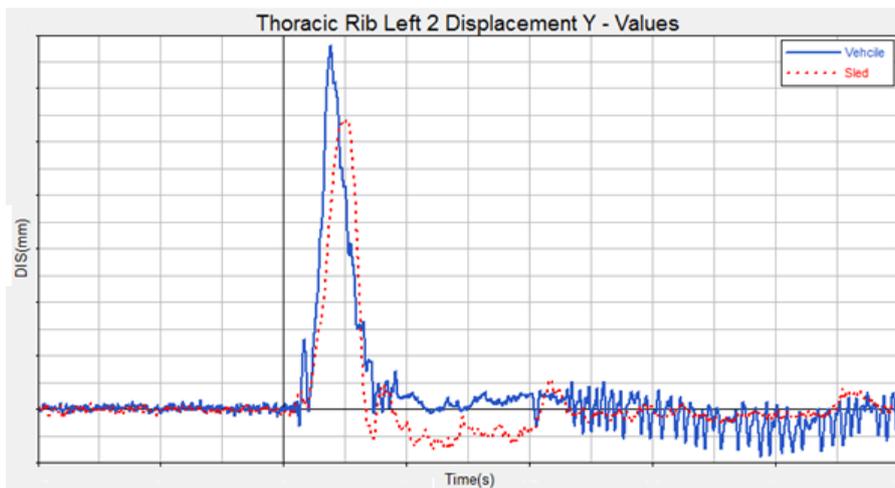


Figure 11.Thoracic rib left 2 displacement

图 11. 胸部第二肋骨压缩量

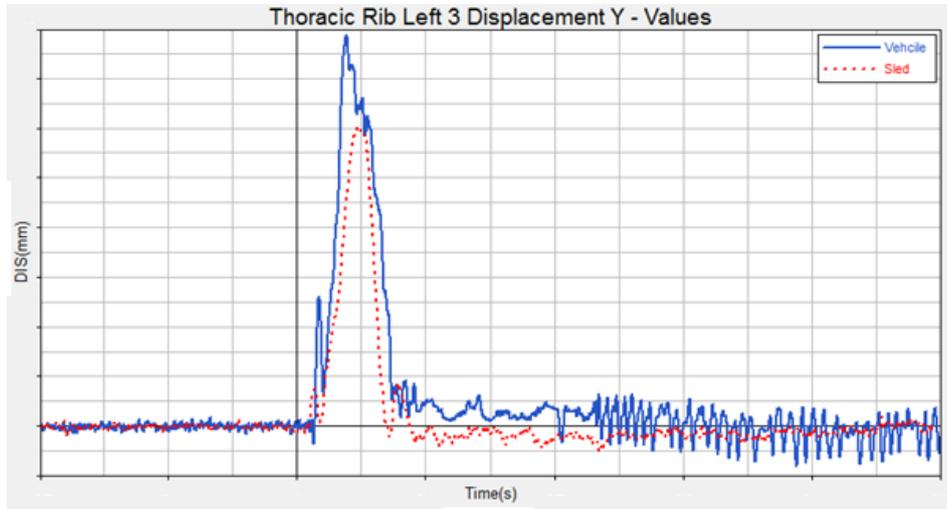


Figure 12.Thoracic rib left 3 displacement

图 12. 胸部第三肋骨压缩量

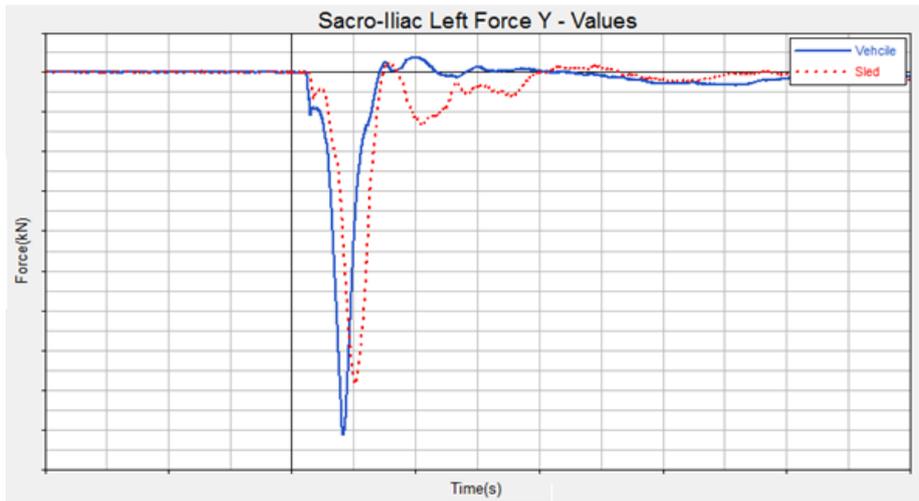


Figure 13.Sacro-Iliac left force

图 13. 左侧髂骨力

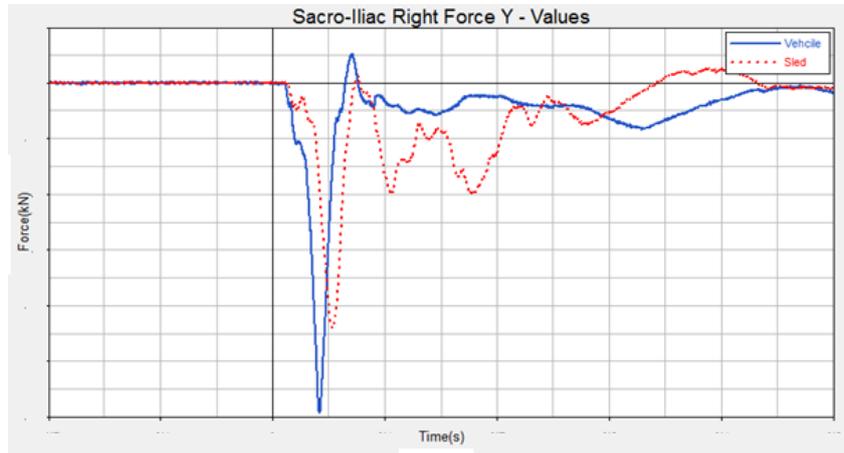


Figure 14.Sacro-iliac right force

图 14. 右侧髂骨力

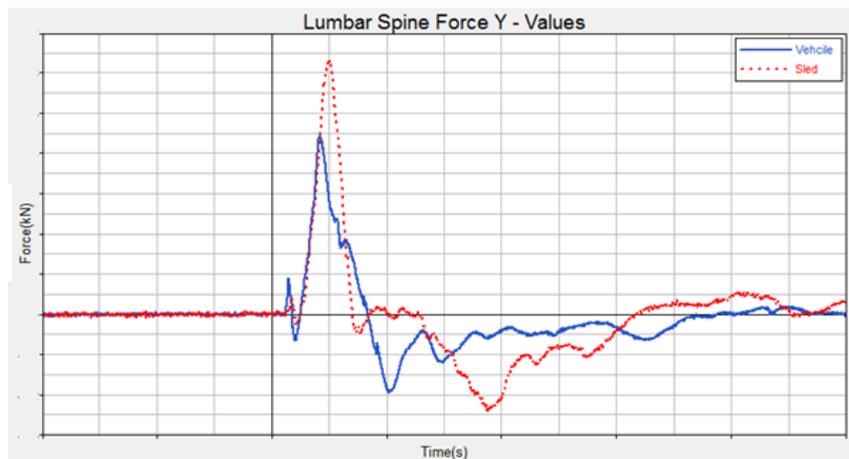


Figure 15.Lumbar spine force

图 15. 腰椎力

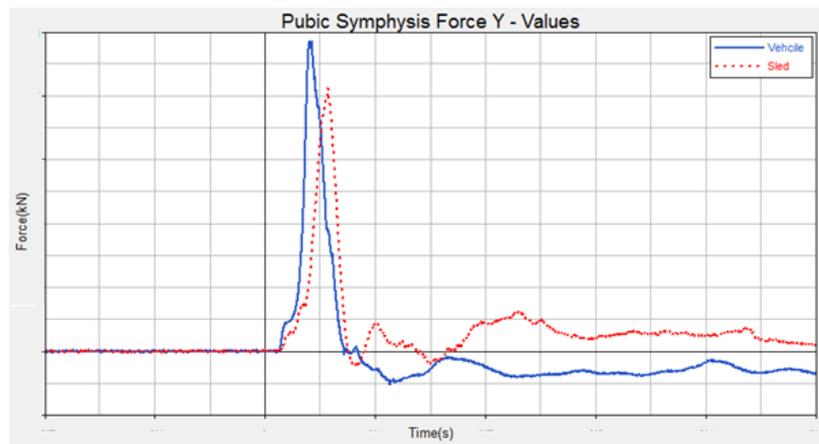


Figure 16.Pubic symphysis force

图 16. 耻骨力

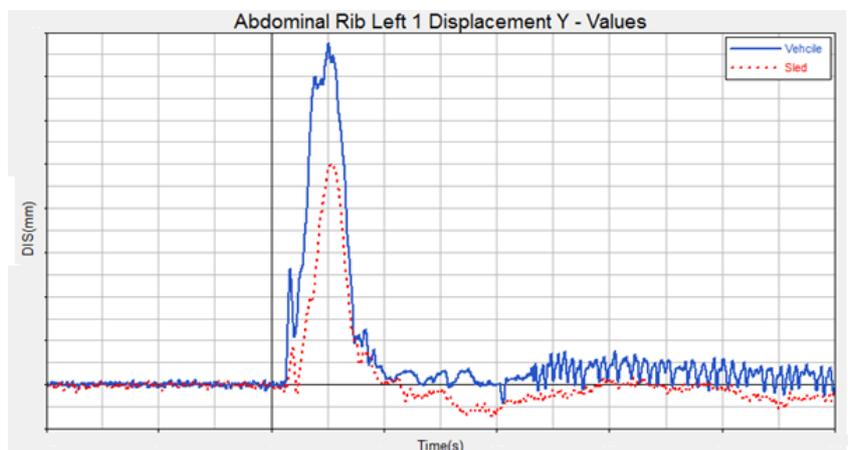


Figure 17. Abdominal rib left 1 displacement

图 17. 腹部第一肋骨压缩量

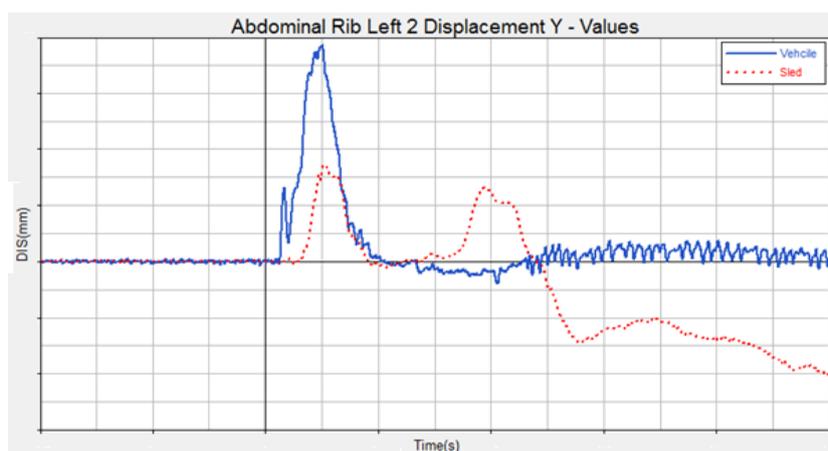


Figure 18. Abdominal rib left 2 displacement

图 18. 腹部第二肋骨压缩量

试验结果显示，通过这样的方法可以较好的复现整车试验中 worldSID 假人肩部力、肩部压缩量、胸部压缩量、髌骨力和骨盆力，能较好的模拟腹部压缩量的趋势。对虽然不能完全的复现整车试验中假人的所有伤害情况，但还是达到不错的效果，同时也可以用于方案验证，实现 A to B。

6 结束语

试验结果显示，对于整车试验中主要的失分项假人肋骨压缩量曲线的模拟虽然不能完全的复现整车试验中假人的肋骨伤害情况，但还是达到不错的效果，同时可以用于方案验证，实现 A to B。

同时，我们也采用该方法进行了无气囊的侧碰模拟试验研究。由于没有了侧气囊，该试验结果更为接近整车试验。

参考文献

- [1] C-NCAP 管理规则（2018 版）[S]. 天津：中国汽车技术研究中心.
- [2] 朱西产，马志雄，唐国强，朱赞，车辆侧面碰撞台车试验方法[N]，长沙理工大学学报.
- [3] WorldSid 50th-User Manual Rev-E.1[Z].
- [4] IST CRASH SIMULATION SYSTEM OPERATING MANUAL VERSION A [Z].

- [5] 曹立波, 王鹏. 基于乘员损伤分析的轿车侧面碰撞安全性研究[J]. 北京汽车, 2007.
- [6] 刘念斯, 欧阳俊, 刘玉云. 新版 C-NCAP 侧面碰撞假人损伤研究[J]. 汽车工程学报, 2017.
- [7] 杨济匡, 覃祯员, 王四文等. 轿车侧面柱碰撞结构响应与乘员损伤研究[J]. 湖南大学学报, 2011.
- [8] 张金换、杜汇良、马春生等, 汽车碰撞安全性设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [9] Side Impact Crashworthiness Evaluation Crash Test Protocol (Version VII) [S], 2014.
- [10] 刘磊, 朱海涛, 李充, 王凯, WorldSID 50 百分位男性假人研究[J]. 天津科技, 2014.
- [11] 廖天俊, 王文利, 曹迎春, 赵会, 崔泰松, 禹慧丽, 烟火式与混合式侧气囊在某车型上的对比研究[J]. APAC19 & 2017SAECCE, 2017.
- [12] 秦高科、邵金华、禹慧丽, E-NCAP 侧面碰撞性能提升研究[C], 2017 中国汽车安全技术学术会议, 2017.
- [13] 杨亮、赵会、崔泰松、禹慧丽、李筱磊、王文利, 侧碰过程中后车门外开手柄失效判定方法的研究[C], 2017 中国汽车安全技术学术会议, 2017.
- [14] 周会锋, 李碧浩, 王大志, 侧碰 WorldSID 50th 假人等效保护设计研究[C]. 2017 中国汽车安全技术学术会议, 2017.
- [15] 管迪, 许泽华 1, 周大永, 某车型侧面可变形移动壁障碰撞试验的乘员保护效果改进[C]. 2017 中国汽车安全技术学术会议, 2017.
- [16] 伍腾飞, 杨仪剑, 景旭, 顾蔚新, EuroNCAP 侧面柱碰撞简易台车试验方法介绍[C]. 2018 中国汽车安全技术学术会议, 2018.