# Research on AE-MDB restraint system modeling of an SUV in DYNA

#### Ma Jiansheng<sup>1</sup>, Du Changjiang<sup>1</sup>, Guo Shuwen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>China Automotive Technology and Research Center Co .Ltd, Tianjin, CHINA, 300300 Email: majiansheng@catarc.ac.cn

**Abstract:** In the 2018 version of China New Car Assessment Program (C-NCAP), the 50km/h advanced European mobile deformable barrier side collision test is used to test and evaluate the side impact performance of vehicles. For the 50km/h mobile deformable barrier side collision test of an SUV, a finite element model of occupant restraint system in driver's side is modeled in the LS DYNA software. Due to the large number of elements, large amount of calculation and long calculation time, it was not recommended to calculate and match the constraint system in the whole vehicle collision model. The constraint system model needed to be simplified. The simplified restraint system components. The modeling method is presented, which significantly reduced the calculation time of the model. According to the 2018 version of China New Car Assessment Program (C-NCAP), the validity of this finite element model is verified. The curves of simulation and experiment were compared in four scoring parts of head, chest, abdomen and pelvis. And the simulation and test scores were consistent, which verified the effectiveness of the simplified constraint system model.

Keywords: occupant restraint system; AE-MDB; C-NCAP; LS DYNA

# 某 SUV 主驾 AE-MDB 侧碰约束系统 DYNA 仿真研究

**马健胜<sup>1</sup>, 杜长江<sup>1</sup>, 郭树文<sup>1</sup>** <sup>1</sup> 中国汽车技术研究中心, 天津, 中国, 300300 Email: majiansheng@catarc.ac.cn

摘 要:在2018年版的中国新车评价规程(C-NCAP)中,采用50km/h可变形移动壁障侧面碰撞试验 (AE-MDB)对车辆侧面碰性能进行测试评价。本论文在LS DYNA软件中,针对某SUV的可变形移动壁 障侧面碰撞工况,建立前排主驾驶员的侧碰约束系统有限元模型。由于在整车碰撞有限元模型中进行 乘员保护仿真的网格数量多,计算时间长。不建议在整车碰撞模型中对约束系统进行多次计算匹配, 需要对约束系统模型进行简化。该简化的约束系统模型仅仅包含车辆侧围部件、座椅、假人、侧气囊 等约束系统部件,阐述了建模方法,该建模方法显著减少了模型的计算时间。并依据2018 版中国新 车评价规程(C-NCAP)对主驾驶员侧进行了仿真试验对标分析。在头部、胸部、腹部、骨盆四个评分 部位进行了仿真与试验的曲线对比,仿真与试验得分一致,验证了该简化约束系统模型的有效性。

关键词: 乘员约束系统; AE-MDB 侧面碰撞; C-NCAP; LS DYNA

# 1 引言

随着消费者对于汽车安全性重视程度的提升,各国的新车评价体系对车辆的安全性提出了越来越高的要求。在 汽车安全系统开发过程中,多数已发表的研究成果集中在正面碰撞的仿真及优化匹配方面,对于侧面碰撞约束系统 模型建立流程的详细阐述较少。本文在 LS DYNA 软件中,详细阐述了某 SUV 主驾驶员的简化侧碰约束系统模型 的建立过程,并进行了仿真与试验结果对比分析,验证了该简化约束系统模型的有效性。

某 SUV 进行可变形移动壁障侧面碰撞试验。试验按照 C-NCAP 试验程序进行,试验示意图如图 1 所示。侧面 碰撞壁障采用 AE-MDB 壁障<sup>[1-2]</sup>(Advanced European Mobile Deformable Barrier),移动台车前端加装可变形蜂窝铝,蜂窝铝与小车的总重量为 1400±20kg。移动壁障行驶方向与试验车辆垂直,移动壁障中心线对准试验车辆 R 点向

后 250mm 位置,碰撞速度为 50+10km/h(试验速度不得低于 50km/h)。在驾驶员位置放置一个 WorldSID 50th 男性假人,在第二排座椅被撞击侧放置 SID-IIs(D 版)假人,用以测量驾驶员及第二排人员受伤情况<sup>[3-4]</sup>。



Figure 1. Side impact mobile deformable barrier test

图 1. 可变形移动壁障侧面碰撞试验

在可变形移动壁障侧面碰撞试验中,前排假人可以得到的最高分数为 16 分,评分部位为头部、胸部、腹部和 骨盆,每个部位最高得分均为4 分。对于前排座位的成年假人,基本的评分原则是:设定高性能指标限值和低性能 指标限值,分别对应每个部位的最高得分和 0 分;若同一部位存在多个评价指标,则采用其中的最低得分来代表该 部位的得分。

### 2 约束系统模型的建立

该 SUV 试验车总质量 2476kg,按照 AE-MDB 整车试验程序进行试验。在 LS DYNA 软件中建立的整车碰撞有限元模型如图 2 所示。在整车碰撞仿真模型中,有限元壁障采用 LSTC 公开免费的有限元侧面碰撞壁障<sup>[5]</sup>。该整车碰撞工况的模型共有网格单元 3670512 个,其中壳单元 2907933 个,体单元 745447 个。在 LS-DYNA R 7 软件环境下进行单精度计算,碰撞仿真过程设置为 0.12s,用计算机的 16 核计算时间为 32 小时。由于整车碰撞模型网格数量多、计算时间长,而在约束系统开发过程中,往往需要对各种不同性能规格的气囊、安全带、座椅进行优化匹配,反复计算验证<sup>[6-7]</sup>,因此需要对仿真模型进行简化,减少计算量以便于进行多次约束系统匹配计算。

本研究中在 LS-DYNA 计算环境中建立该 SUV 主驾约束系统的有限元仿真模型。为了减小模型计算量,提 高模型计算速度,便于多次迭代优化约束系统配置。仅仅在侧碰约束系统模型中加入假人和与假人运动相接触 的部件进行计算,而不使用全部整车碰撞模型中的部件进行计算。

首先提取侧围边界条件,在整车碰撞模型上提取侧围 part 上所有节点的运动过程作为后续约束系统模型的 强制位移边界条件输入,选取的侧围部件如图 3 所示,在该侧围上搭建约束系统模型。建立该侧围的 node set 节点集合,用\*INTERFACE\_COMPONENT\_NODE 关键字输出该侧围的节点集中所有节点在整个碰撞仿真中的 运动,用关键字\*INTERFACE\_COMPONENT\_FILE 将节点输出的位移保存至 boundary.sub 文件中。完成碰撞仿 真过程中侧围节点强制位移边界条件的提取。

调用强制边界条件的文件。在约束系统模型中,调用整车模型中提取的节点位移作为后续强制边界条件的 输入,用 DYNA 关键字\*INTERFACE\_LINKING\_NODE\_SET 调用已建立的侧围 node 节点集。用\*INTERFACE \_LINKING\_FILE 调用在整车碰撞模型中提取的 boundary.sub 强制位移边界条件文件。于是,整车碰撞模型中侧 围节点的运动过程就以强制位移边界条件的形式加到后续约束系统模型中。其中整车碰撞模型与试验对标质量 的好坏,直接影响后续乘员约束系统仿真的准确性。



Figure 2. The FE model of the vehicle collision

图 2. 整车碰撞模型



Figure 3. The motion of the nodes extracted as a boundary condition

图 3. 提取侧围节点运动为边界条件

在图 3 所示的侧围部件上搭建简化的侧碰约束系统模型,加入 Worldsid 50th 男性有限元假人<sup>[8-9]</sup>,以及内 饰板、座椅、SAB 侧气囊等在侧面碰撞过程中会与假人发生相互接触的约束系统部件进行仿真计算<sup>[10-11]</sup>。

主驾驶员侧按照试验规程采用 WorldSID 50th 假人,重量 73.91kg,坐高 86.9cm。本模型中主驾驶员侧 Wo rldSID 50th 男性有限元假人采用 pdb 公司的 WorldSID v4.0 商业版有限元仿真假人,共 291100 个网格单元。 该 WorldSID 50th 有限元假人如图 4 左侧所示,假人胸部腹部结构如图 5 右侧所示<sup>[12-15]</sup>。WorldSID 假人能够测量肋骨的压缩量和旋转,在仿真假人模型中,使用没有刚度的离散梁单元进行压缩量和旋转的测量<sup>[16-17]</sup>。



Figure 4. FE model of WorldSID 50th dummy and the structure of chest and abdominal

图 4. WorldSID 50th 有限元假人与胸腹部结构

首先将有限元假人摆放至与试验规定的坐姿一致,且仿真假人模型不与座椅泡沫网格之间发生相互穿透, 需要对座椅模型进行静压计算以消除与假人模型间的网格穿透。选取与座椅直接接触的假人皮肤部件,赋予 MAT20 刚体材料,添加强制位移边界条件,将刚性化假人皮肤运动至 H 点处,通过模拟与座椅发泡的接触挤压 过程达到消除模型间网格穿透的目的,如图 5 所示,完成座椅静压计算,输出座椅泡沫变形后的节点坐标保存 至 dynain 文件,将计算完成变形后座椅的节点坐标替换座椅原始节点坐标,即完成座椅模型的静压计算,消除 了在摆放有限元假人过程中假人与座椅发泡的网格穿透。



图 5. 座椅静压

在车型开发过程中,为了提高计算效率,整车结构开发与约束系统开发通常分别进行建模计算。图 2 所示的整车结构碰撞有限元模型,一般仅仅用于车辆的主要梁系结构开发,不包含假人、座椅、气囊、及内饰板等约束系统部件模型<sup>[18-19]</sup>。进行约束系统仿真,需要在整车碰撞模型上提取边界条件,建立约束系统模型。在提取的车辆侧围 part 上装配内饰板模型。通过在 DYNA 中建立接触\*TIED\_SHELL\_EDGE\_TO\_SURFACE\_OFFSE T,将内饰板与侧围用共节点形式连接。

用关键字\*AIRBAG\_HYBRID 均压法建立主驾驶员 SAB 侧气囊,折叠后的 SAB 侧气囊模型如图 6 左图所示,将该折叠后的 SAB 模型装配在约束系统模型中,为了使 SAB 侧气囊在仿真计算中展开更稳定,用\*AIRBA G\_SHELL\_REFERENCE\_GEOMETRY 关键字建立该气囊的参考几何如图 6 右图所示。该 SUV 驾驶员 SAB 侧 气囊容积 12L,排气孔直径 40mm,无拉带,点火时间为 8ms。SAB 侧气囊织布材料卡片采用 MAT34 织布材料。 在试验中驾驶员侧装配有 CAB 侧气帘,点火时间为 8ms。在该模型中只对 SAB 侧气囊进行建模。



Figure 6. FE model of SAB and the reference geometry of the SAB

图 6. SAB 侧气囊与气囊参考几何

建立主驾驶员侧 AE-MDB 工况下的约束系统有限元模型如图 7 所示。该侧碰约束系统模型共有 674442 个 网格单元,其中壳单元 454691 个,体单元 217990 个,设置碰撞仿真计算时间为 0.12s。在 LS DYNA R7 计算环 境下,用 16 核计算时间为 12 小时 21 分钟。该模型仅仅包括假人及侧碰中与假人互相接触的约束系统部件,提 取整车碰撞模型中侧围节点的运动过程作为强制位移边界条件输入。由于不包含整车碰撞模型中的其他部件, 模型网格数量少,计算时间由整车模型的 32 小时缩短为 12 小时,计算时间显著缩短,便于在该简化的约束系 统模型上对多项约束系统配置进行计算优化匹配。



Figure 7. FE model of the occupant restraint system in driver side

#### 图 7. SUV 主驾侧约束系统模型

# 3 仿真试验对比

该 SUV 主驾驶员 WorldSID 50th 假人在可变形移动壁障侧面碰撞(AE-MDB)试验中, 仿真与试验动画对 比如图 8 所示。假人各评分部位伤害曲线对比如图 9 至图 15 所示。由图 8 中的动画对比可见, 仿真与试验中假 人运动姿态一致。



Figure 8. Animation comparison between simulation and test

图 8. 主驾驶员仿真与试验动画对比

假人骨盆得分的评价指标为耻骨力。假人骨盆耻骨力的仿真与试验对比如图 15 所示。耻骨力在仿真中在 0. 054s 达到最大 0.32kN。耻骨力在试验中的 0.052s 达到最大为 0.39kN。仿真与试验曲线峰值时刻和峰值一致。 仿真与试验的耻骨力均远小于耻骨力的评价指标的高性能限值 1.7kN, 仿真与试验在骨盆部位评分上均为满分 4 分。

该 SUV 的驾驶员在可变形移动壁障侧面碰撞(AE-MDB)工况中仿真与试验的得分统计如表 1 所示。在头部、胸部、腹部和骨盆 4 个部位的评分上,仿真与试验都获得满分 4 分。在该 AE-MDB 工况中,前排 Worldsid 50th 假人仿真与试验均得到最高分数 16 分。仿真与试验中假人运动姿态一致,在胸部、腹部、骨盆的评价指标

曲线对比上峰值与峰值时刻基本一致。验证了该有限元模型的有效性,该简化的约束系统模型可用于后续约束系统的匹配优化。





Figure 10. Deflection of thorax rib 1



Figure 12. Deflection of thorax rib 3



Figure 14. Deflection of abdominal rib 2



图 15. 耻骨力

前排驾驶员侧假人得分对比结果如表1所示。

Table 1. Score comparison between simulation and test

	仿真	试验
头部	4分(11.5)	4分(5.8)
胸部	4分(12.8mm)	4分(10.8mm)
腹部	4分(10mm)	4分(8.2mm)
骨盆	4分(0.32kN)	4分(0.39kN)
得分统计	16 分	

表1 驾驶员得分统计对比

## 4 结 论

在 LS DYNA 软件中,针对某 SUV 前排主驾驶员进行 AE-MDB 侧碰工况下的约束系统仿真建模,详细阐述了驾驶员侧碰简化约束系统有限元模型建立的过程。通过提取整车碰撞模型中的侧围节点的运动过程作为强制位移边界条件输入,搭建仅仅包含假人及与假人相互接触的部件进行约束系统建模,该简化模型的网格数量显著减少,计算时间由 32 小时缩短为 12 小时,模型计算量减小。

通过仿真与试验的动画对比, 假人运动姿态一致。在胸部、腹部、骨盆仿真与试验曲线对比中, 峰值与峰 值出现时刻一致。该主驾驶员 WorldSID 50th 假人的仿真结果与试验结果在 C-NCAP 评分中均得到满分。验证 了该简化约束系统有限元模型的有效性, 以便于后续在此模型基础上, 对约束系统进行匹配计算。

# 参考文献 (References)

- Asadi M, Tattersall P, Walker B , et al. Advanced Finite Element Model for AE-MDB Side Impact Barrier[C]//6th European LS-DYNA Users' Conference.2007.
- [2] Edwards M, Hynd D, Carroll J, et al.SIDE IMPACT SAFETY: ASSESSMENT OF HIGH SPEED ADVANCED EUROPEAN MOBILE DEFORMABLE BARRIER (AE-MDB) TEST AND WORLDSID WITH 'RIBEYE'[J]. 2022.
- [3] 中国汽车技术研究中心.C-NCAP 管理规则(2018 版)[S].天津:中国汽车技术研究中心,2018.
- [4] 中国汽车技术研究中心.C-NCAP 管理规则(2018 版)[S].天津:中国汽车技术研究中心,2021.
- [5] Kim B, Kim H, Park D. Research on the AE-MDB CAE analysis for the improved Euro NCAP side impact test procedure[C]//2013.
- [6] 李瑞,崔健超,尹丽华.基于 WS 假人及 AE-MDB 实车侧面碰撞试验的研究分析[J].大众汽车, 2018, 24(12).
- [7] Huang Z, Zhang B, Wang L et al. Experimental study on side pole collision and deformable barrier collision of car[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020.
- [8] Tylko S, German A, Dalmotas D ,et al.Improving Side Impact Protection: Response of the ES-2re and WorldSID in a Proposed Harmonized Pole Test[C]//2006.
- [9] 梁韫,韩啸.基于 2018 版 C-NCAP 中 WorldSID 假人侧面乘员约束系统分析[J].汽车与配件, 2017(32):
- [10] 王志涛,乔鑫.基于 AE-MDB 与 MDB 的侧面碰撞对比研究分析[C]//中国汽车工程学会年会.2014.
- [11] 胡远志,黄杰,等.某车型正面碰撞后排乘员伤害的仿真优化[J].科学技术与工程, 2015(7):
- [12] 胡经国,周鹏.WorldSID 与 ES-2 假人肋骨结构对比[J].汽车零部件, 2021(012):000.
- [13] Rhule, Heather H et al. "Determination of Optimal RibEye Led Locations in the WorldSID 50th Percentile Male Dummy." (2019).
- [14] Samaha R R, Elliott D S. Samaha, 1 NHTSA SIDE IMPACT RESEARCH: MOTIVATION FOR UPGRADED TEST PROCEDURES[J]. 2022.
- [15] Enrique Sagrado L, Escalante S, Alonso S, et al. Postural analysis of side impact WorldSID 50(th) ATD in highly reclined seats[J]. Traffic Injury Prevention, 2022.
- [16] 胡远志,张永春,蒋成约,等.侧碰试验假人仿真数据对标及受伤机理研究[J].科学技术与工程, 2016, 16(04):105-110.
- [17] Diez M, Abajo J, et al.Sitting posture influence in autonomous vehicles for the evaluation of occupant safety in side impact[J].Safety science, 2023.
- [18] Akrout S E, Mhaiti N, Radouani M, et al. Modeling and Simulation of a Vehicle Crash Test[J]. 2021.
- [19] Porkolab L, Lakatos I. Vehicle occupant safety development with finite element method[J].Pollack Periodica, 2021.