

后排女性假人防下潜分析及优化

杨领军，鞠春贤，董琳，岳国辉，陈现岭

(长城汽车股份有限公司技术中心 河北省汽车工程技术研究中心，保定，071000，cyaqgc@gwm.cn)

摘要：2018 版 C-NCAP 提升了后排女性假人得分权重，若后排女性假人发生下潜，在正面碰撞工况中将最多造成 2 分的扣分，同时发生下潜后会加重女性假人其他部分伤害，进一步降低假人得分，严重影响 C-NCAP 五星达成。本文基于我司某款车型，建立后排女性假人碰撞仿真分析模型并进行仿真分析及优化。初版仿真结果在 64km/h ODB 碰撞工况中发生假人下潜，通过对后排座椅坐垫的优化，避免了假人下潜的发生，且最终经过整车碰撞试验验证，后排女性假人未发生下潜。经过对标，仿真假人运动姿态及伤害曲线与试验较一致。基于 LS-DYNA 的碰撞仿真分析与优化，可有效降低假人伤害，指导车型开发。

关键词：2018 版 C-NCAP；后排女性假人；下潜；DYNA 软件；仿真优化；对标

前言

2018 版 C-NCAP^[1]较 2015 版 C-NCAP 有了较大变化，主要包括：①增加了行人保护试验及评价；②增加了车辆自动紧急制动系统（AEB）试验及评价；③修改了侧面碰撞可变形壁障的参数；④提高了鞭打试验速度，修改了鞭打试验中假人各部分得分权重；⑤修改了碰撞试验中后排假人的得分权重；⑥增加了对于后排安全带提醒装置的加分及要求；⑦构建了全新的评分体系等内容。

其中针对后排女性假人保护，2018 版 C-NCAP 修改了两项，即增加了对于后排安全带体现装置的加分及要求，以及提升了后排假人得分权重。在 2015 版 C-NCAP 中，50km/h 全正碰工况及 64km/h ODB 偏置碰撞工况中，第二排女性假人评价最高得分为 2 分，而 2018 版 C-NCAP 中第二排女性假人评价最高得分提升到了 4 分。而当假人发生下潜时，除了对假人下潜进行扣分外，还会加剧假人头部及颈部伤害，进一步影响假人得分。

下潜是指当车辆发生正面碰撞时，在车辆碰撞减速阶段，作用在骨盆处的合力（包括座椅、安全带等作用）不均衡，导致安全带腰带发生滑动，可能从骨盆处滑向腹部，脱离正常位置，将相应的负载力直接作用在腹部上，造成腹部软组织受伤，此种现象称为“下潜”^[2]。根据相关保险部门统计的结果表明：在人体各部位的医疗成本中，腹部约是其他部位的两倍，而在车祸中女性更容易发生下潜^[3]。

本文结合我司某款车型开发，建立 dyna 碰撞仿真模型，并对前期分析中所发生的假人下潜问题进行优化，最终经过实车碰撞试验，验证了前期优化方案的可行性及 DYNA 仿真模型精度的可靠性，为后期车型开发提供指导。

1 假人下潜评判方法

2018 版 C-NCAP 中明确规定了第二排女性假人下潜现象的评判方法，即第二排女性假人下潜现象通过假人髌骨受力情况来进行判断：在假人骨盆向前，髌骨受力减小阶段，在持续 1ms 时间范围内，若髌骨力减小速率大于 1000N/ms，判断发生了下潜；在骨盆回弹阶段，若减小速率大于 1000N/ms，但此时髌骨力小于 2400N 的情况除外。另外，髌骨受力不稳定时，以完全卸载阶段的信号进行判断，作为参考，可以通过车载照相机的视频图像及安全带腰带力曲线进行辅助确认。女性假人骨盆及髌骨力传感器如图 1 所示，

髌骨力曲线及髌骨力变化率曲线如图 2 所示。

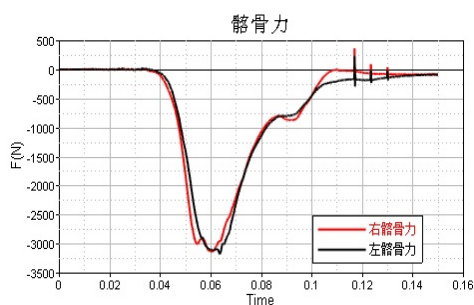


(a) 女性假人骨盆及髌骨

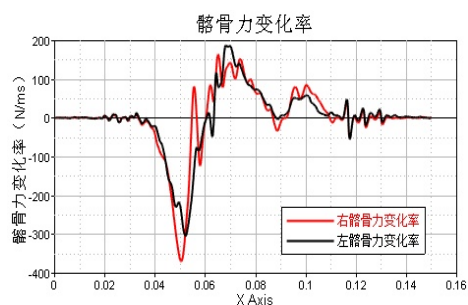


(b) 物理假人中髌骨力传感器

图 1 女性假人骨盆及髌骨力传感器



(a) 女性假人髌骨力曲线



(b) 女性假人髌骨力变化率曲线

图 2 女性假人髌骨力及髌骨力变化率曲线示意图

2 dyna 碰撞仿真模型建立

建立较详细的 sled 模型，主要包括：白车身、主驾座椅、二排座椅、安全带系统、假人等，如图 3 所示。同时将整车碰撞仿真加速度波形作为边界，输入到 sled 模型中，DYNA 卡片为：

*BOUNDARY_PRESCRIBED_ACCELEROMETER_RIGID^[4]。

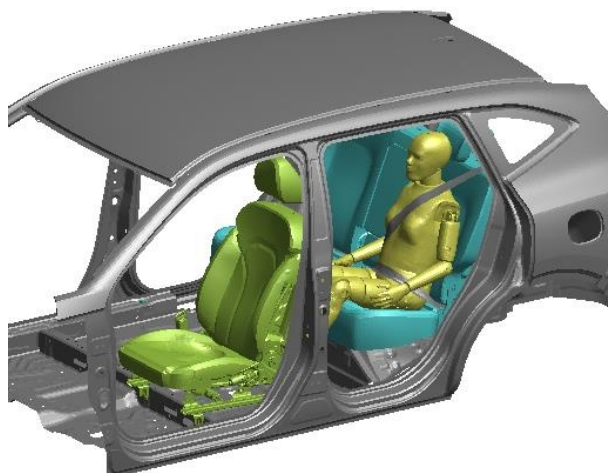


图 3 后排女性假人 DYNA sled 仿真模型

3 仿真分析及优化

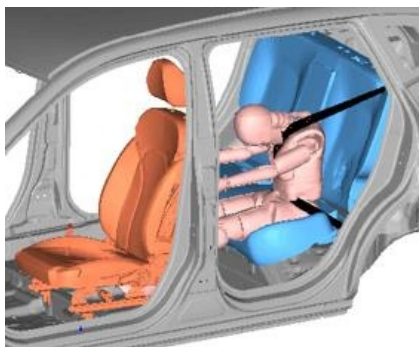
3.1 初版仿真分析结果

初版仿真模型中，后排座椅及坐垫防下潜机构 EPP 泡沫设计如图 4 所示。

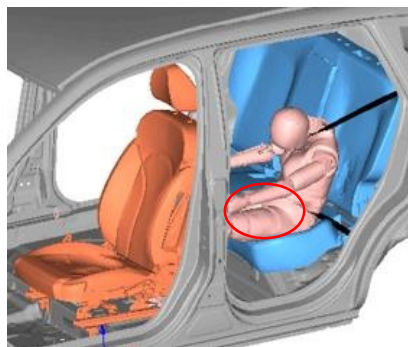


图 4 后排座椅及坐垫中 EPP 泡沫设计

初版分析结果显示，在 50km/h 全正碰工况中后排女性假人左髌骨力变化率为 190N/ms，右髌骨力变化率为 199N/ms，均未超过 1000N/ms，未发生下潜，64km/h ODB 碰撞工况中后排女性假人左髌骨力变化率为 2336N/ms，右髌骨力变化率为 2184N/ms，均超过 1000N/ms，假人发生双侧下潜。假人运动姿态及髌骨力变化率曲线如图 5、图 6 所示。

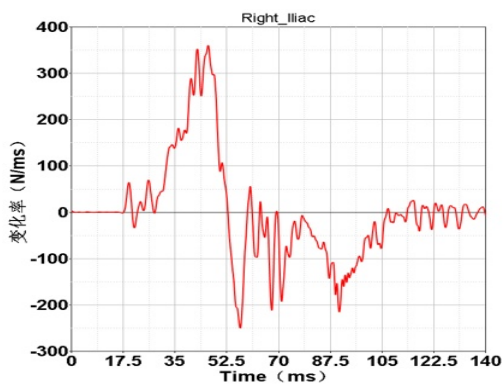


(a) 50km/h 全正碰工况假人运动姿态

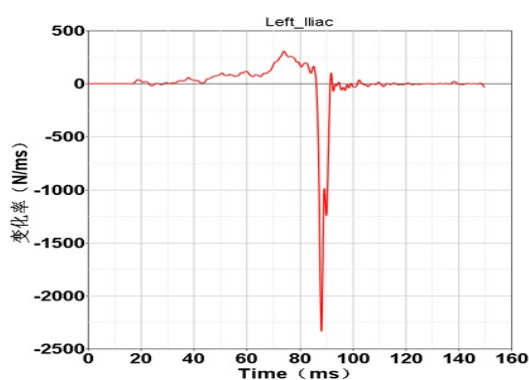


(b) 64km/h ODB 工况假人运动姿态

图 5 后排女性假人碰撞中运动姿态



(a) 50km/h 全正碰工况假人髌骨力率



(b) 64km/h ODB 工况假人髌骨力率

图 6 后排女性假人碰撞中髌骨力变化率曲线

3.2 下潜原因分析及相应数据统计

在 64km/h ODB 工况中，假人骨盆 Z 向位移量最大值为 40mm，而对比我司其他几款车型，假人骨盆 Z 向位移量均在 20mm 左右，如图 7 所示，且对比的该几款车型后排女性假人均未发生下潜。假人骨盆 Z 向位移较大是导致假人发生下潜的主要原因。

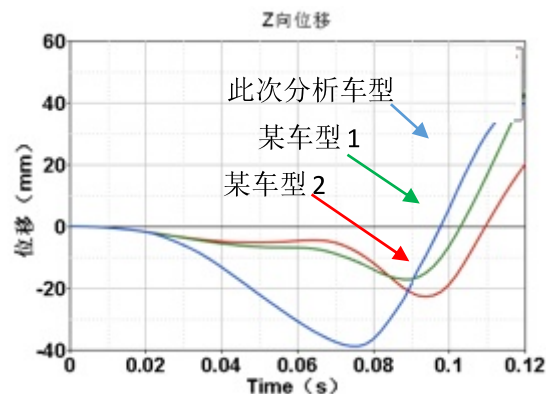


图 7 后排女性假人骨盆 Z 向位移量对比

同时通过测量假人 H 点与座椅防下潜 EPP 泡沫结构的 HX 及 HZ 距离，如图 8 所示，同时对比其他几款车型后排座椅防下潜泡沫结构相关尺寸，发现该车型后排坐垫防下潜 EPP 泡沫结构离假人 H 点较远，且结构尺寸较小，不利于对假人的约束，如表 1 所示。

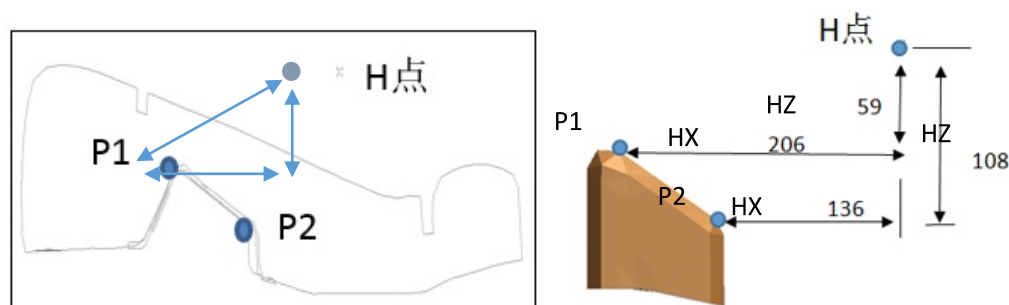


图 7 防下潜 EPP 泡沫相关尺寸示意图

表 1 各车型防下潜 EPP 泡沫相关尺寸对比

汇总	HP1		HP2	
车型	HX	HZ	HX	HZ
某车型 1	265	62	88	138
某车型 2	270	58	87	146
某车型 3	257	64	85	130
本车型	206	59	136	108

3.3 仿真优化方案及结果

依据假人下潜原因分析，改进方向为调整防下潜 EPP 泡沫尺寸，即加大 EPP 泡沫结构，同时结合乘坐舒适性原因，调整防下潜结构的 HX 与 HZ 尺寸，最终优化方案如图 8 所示，改进后，50km/h 全正碰工况中假人最大髌骨力变化率为 233N/ms，64km/h ODB 工况中假人最大髌骨力变化率为 252N/ms，均未发生下潜，假人运动姿态如图 9 所示。

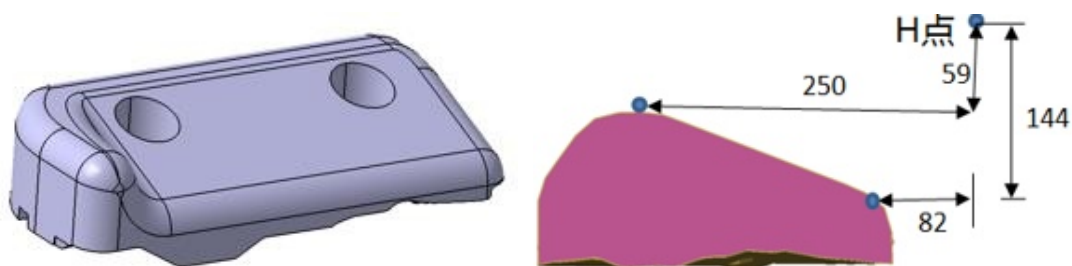
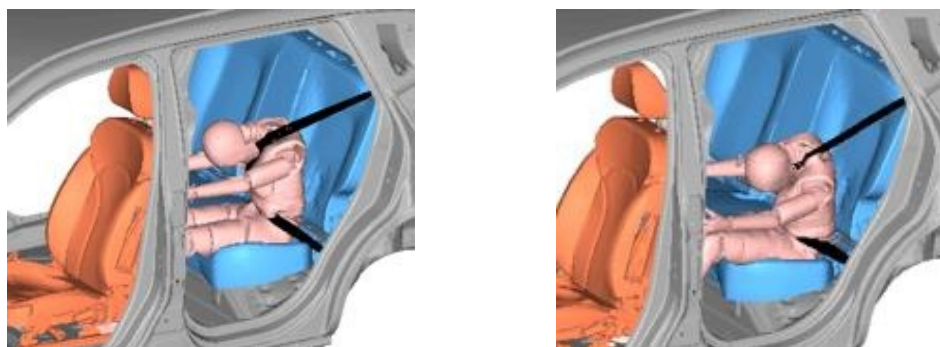


图 8 防下潜 EPP 泡沫优化方案相关尺寸示意图



(a) 50km/h 全正碰工况假人运动姿态

(b) 64km/h ODB 工况假人运动姿态

图 9 改进后女性假人碰撞中运动姿态

改进前后假人伤害数据对比如表 2 所示，改进后除假人未发生下潜外，假人颈部 F_z 也得到明显的改善，同时结合安全带限力的调整，胸压也满足目标要求。

表 2 改进前后假人伤害数据对比

方案	工况	L_ILIAC	R_ILIAC	NECK_FZ	HEAD HIC36	HEAD A3ms	CHEST
优化前	50FF	284N/ms	325N/ms	1961N	416	45.5	24.5mm
	64ODB	2336 N/ms	2184N/ms	2762N	341	39.6	20.6mm
优化后	50FF	371N/ms	312N/ms	1852N	386	42.3	23.9mm
	64ODB	185N/ms	207N/ms	1758N	391	49.8	22.5mm

仿真分析结果表明，合理的防下潜 EPP 泡沫结构的设计，可有效的降低假人下潜风险，其中 EPP 泡沫尺寸可参考本文中所提到的相应尺寸进行设计。

由于后排女性假人前面没有安全气囊保护，假人伤害主要与安全带作用及车体 B 柱加速度有关^[5]，但同时座椅坐垫刚度的合理设计对降低颈部伤害也较明显。

4 试验及对标

4.1 64km/h ODB 整车碰撞试验

后排女性假人防下潜分析优化完成后，最终经过整车碰撞试验验证，在 50km/h 全正碰和 64km/h ODB 碰撞工况中，后排女性假人均未发生下潜，其中 64km/h ODB 碰撞工况中假人左右肋骨力变化率分别为

171.3N/ms、193.6N/ms，且假人各项伤害数据均满足整车碰撞性能开发要求。其中 64km/h ODB 碰撞工况中女性假人试验前后照片如图 10 所示。



(a) 64km/h ODB 工况试验前假人姿态

(b) 64km/h ODB 工况试验中假人姿态

图 10 64km/h ODB 试验女性假人姿态

4.2 64km/h ODB 工况仿真对标

试验完成后，提取整车加速度波形赋予到仿真模型中，同时针对整车试验中假人姿态，调整仿真模型中假人姿态，最终假人运动姿态如图 11 所示。

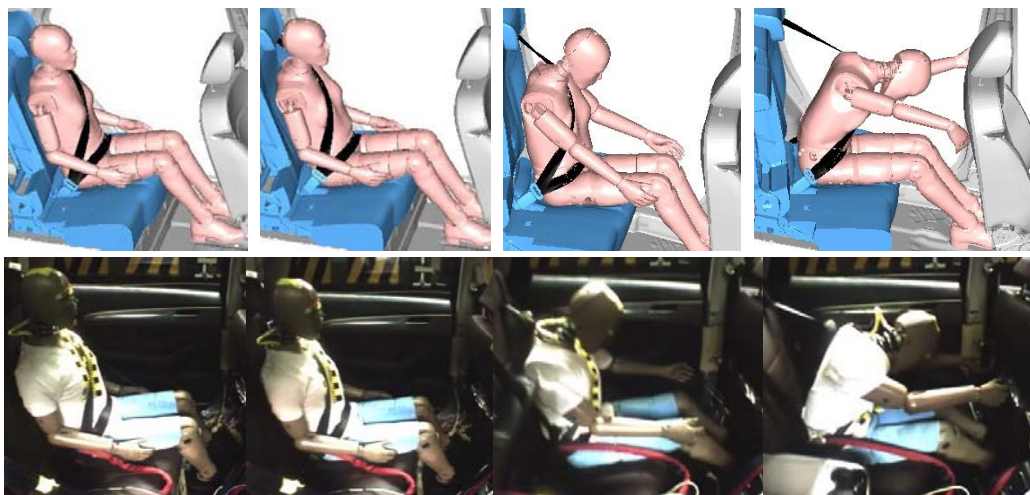
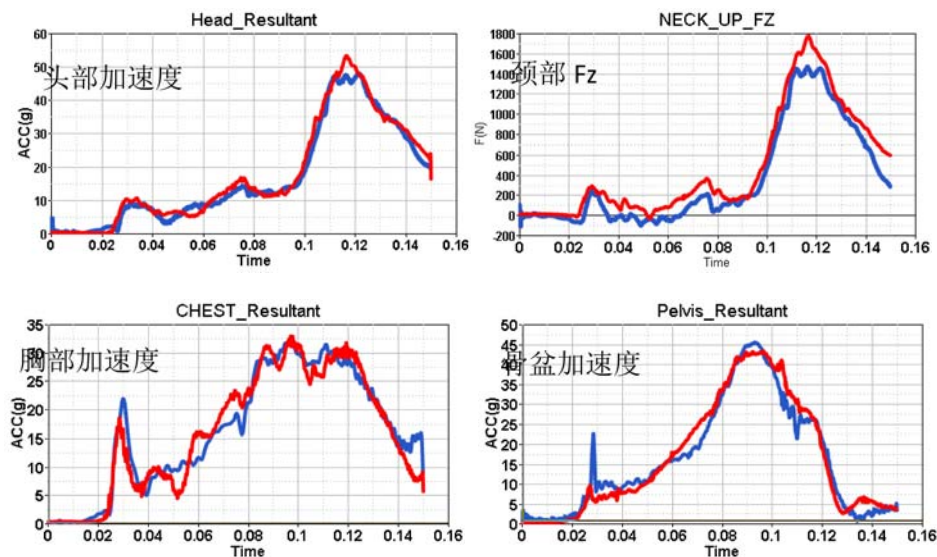


图 11 64km/h ODB 仿真与试验假人运动姿态对比

后排女性假人主要伤害曲线仿真结果与试验结果对比如图 12 所示，其中红色曲线为试验结果，蓝色曲线为仿真结果。



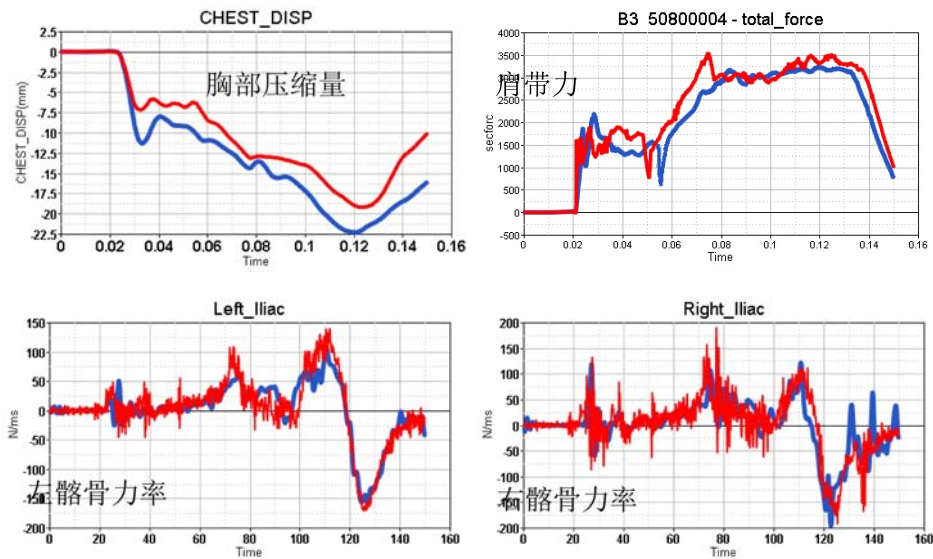


图 12 64km/h ODB 仿真与试验假人伤害曲线对比

通过对标，仿真假人伤害曲线与试验曲线基本一致，前期所建立的 dyna 仿真模型可以准确的预测碰撞中假人伤害情况，可有效指导车型开发。

5 结论

本文结合我司某款车型开发，搭建了 LS-DYNA 碰撞仿真模型，通过对前期假人下潜问题进行分析，明确了后排座椅防下潜 EPP 泡沫结构设计尺寸，最终经过实车碰撞试验的验证及仿真对标，表明前期优化方案的可行性及 LS-DYNA 碰撞仿真模型精度的可靠性，为后期车型开发提供依据，也为后排座椅防下潜结构设计提供相应指导方向。

参考文献

- [1] 中国汽车技术研究中心. 中国新车评价规程 C-NCAP 管理规则(2018 版) [S/OL]. [2018-07-01]. [http:// www.c-ncap.org](http://www.c-ncap.org).
- [2] 李永刚, 张义, 黄强, 刘宏达, C-NCAP2015 后排女性假人下潜研究, 汽车科技/AUTO SCI-TECH, 2015 年第 5 期。
- [3] 张 啸, 刘 双, 杨 笠, H III 5th 女性假人的下潜机理及防下潜方案, 汽车安全与节能学报, 2016 年, 第 7 卷, 第 2 期。
- [4] LS-DYNA_Manual_Volume_I_R9.0.
- [5] 商恩义, 张凯, 陈现岭, 刘亚东, 正面碰撞试验中后排女性假人颈部伤害研究, 汽车安全, 2014 年, 第 11 期。

Rear Female Dummy Submarining analysis and optimization

YANG Lingjun, JU Chunxian, DONG Ling, YUE Guohui, CHEN Xianling

(Technology Center, Great Wall Motor Co. Ltd, Hebei Automobile Technology Research Center,
Baoding 071000, China)

Abstract: The 2018 C-NCAP Assessment-Protocol improve the score weight of the rear row female dummies. If the rear row female dummies submarining, the maximum penalty point will be 2 points in the frontal collision condition. At the same time, the submarining will aggravate the other parts of the female dummies, further reduce the score of the dummies, and seriously affect the C-NCAP five-star achievement. Based on a certain car model of our company, this paper establishes the simulation analysis model of rear row female dummy crash and carries out simulation analysis and optimization. The simulation results of the first version showed that the submarining of the dummy occurred in the condition of 64km/h ODB collision. Through the optimization of the seat cushion of the rear seat, the submarining of the dummy was avoided. Finally, after the vehicle crash test, it was verified that the submarining of the rear female dummy did not occur. After benchmarking, the movement posture and injury curve of the simulated dummy are consistent with the experiment. Collision simulation analysis and optimization based on LS DYNA can effectively reduce the injury of dummy and guide the development of vehicle models.

Keywords: 2018 C-NCAP; Female dummy in back row; Submarining; DYNA software; Simulation optimization; Correlation