

Optimization and Validation of PAB to the Front Row HIII 5th% ile Occupant Restraints System

Tengteng ZHANG¹, Dazhi WANG¹, Junyong LIU¹, Peng ZHUO¹, Zhonghui DONG¹, Lijia LIU²,
Xiao ZHUANG²

¹SAIC Motor Technical Center, 201805, Shanghai, China

²Yan Feng KSS (Shanghai) Automotive Safety System Co., Ltd., 201315, Shanghai, China

Email: zhangtengteng@saicmotor.com

Abstract: This electronic document defines the format of papers published in the academic conference proceedings. The elements such as the paper title, author, affiliation, abstract, section headings, body text, figure, table and references are defined in this document. There are more and more female passengers presently. How to protect the safety of female passengers effectively is a problem to be solved. The study in this paper is based on the safety of 5th% ile in Euro-NCAP full frontal impact test. This paper studied the restraint performance of front row 5th%ile through built and correlated the models with MADYMO to analysis the restraint performance; optimize the parameter of passenger airbag. The single stage passenger airbag, tether passenger airbag and double stage passenger airbag are used in the sled tests individually. The study shows that the single stage passenger airbag decrease effectively the injury of the front row 5th% ile by optimize the type, the manner of fold and the method of pre-sew; tether passenger airbag alleviate effectively the head deflection injury of the front row 5th% ile; double stage passenger airbag resolve effectively the chest injury risk of the front row 5th% ile. Restraint system sled test is quickly and availability method to develop and validate the passenger airbag in the project, then lay a foundation for the following restraint system development.

Keywords: passenger restraint system; optimization design; passenger airbag; HIII 5th% ile female;

前排第五百分位乘员约束系统的气囊优化与验证

张滕滕¹, 王大志¹, 刘军勇¹, 卓 鹏¹, 董忠辉¹, 刘丽佳², 庄晓²

¹上海汽车集团股份有限公司技术中心, 上海, 中国, 201805

²延峰百利得(上海)汽车安全系统有限公司, 上海, 中国, 201315

Email: zhangtengteng@saicmotor.com

摘 要: 目前, 前排女性乘员的比例渐多, 如何有效地保护前排女性乘员的安全性能是亟待解决的问题。本文以 Euro-NCAP 全宽正面碰撞工况前排第五百分位女性乘员安全性能为背景, 以前排乘员气囊为主要优化对象, 重点优化和验证前排第五百分位女性乘员的约束系统性能。使用 MADYMO 软件建立和对标前排乘员系统模型, 并分别进行普通单级乘员气囊、拉带式乘员气囊、双级乘员气囊等气囊的参数优化和确定, 同时进行前排第五百分位女性乘员的约束系统滑车试验验证, 以此研究优化验证乘员气囊对前排女性乘员的约束系统保护性能。研究表明, 普通单级乘员气囊可以通过优化气囊包型、折叠方式、预缝合方法有效降低前排女性乘员的伤害; 拉带式乘员气囊能够有效缓解女性乘员的头部伤害风险; 双级乘员气囊能够有效避免前排女性乘员的胸部伤害风险。通过滑车试验的方法能够有效快速的验证满足项目开发的前排乘员气囊, 同时为后续约束系统兼容性匹配设计提供基础保证。

关键词: 乘员约束系统; 优化设计; 乘员气囊; 第五百分位女性乘员

1 引言

在现实车辆使用者中, 前排女性驾驶乘人员的比例逐渐增多, 在国内车辆匹配的前排乘员约束系统多数以第五百分位男性乘员为基础设计的, 在对身材较小的前排第五百分位女性乘员伤害研究较少, 在一定程度上不能较好的兼容多类型乘员的安全性能^[1,5]。V koch M 等人从相关部门收集了大量两车碰撞的事故资料分析包括车辆的几何

形态、驾驶员性别、车辆内饰等，进行了事故因素与驾驶员颈部伤害的分析研究，研究表明在同样的事故因素下，女性相对于男性的颈部更容易受伤^[2]。

现代安全气囊的发展主要来自于法规和新车评价规则的驱动^[7]。美国 FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standards)208 法规对于安全气囊的要求最为复杂，尤其对于前排乘员，它既要求了对不系安全带乘员的保护，同时又要求了对离位乘员 OOP (Out of Position) 以及儿童乘员的保护^[3]。欧洲 Euro-NCAP (Euro New Car Assessment Program) 在 2015 版本后，新增 50km/h 全宽正面碰撞试验，并且包括在驾驶员、前排乘员和后排乘员均使用第五百分位女性假人^[6]。其中，乘员气囊的性能对前排女性假人伤害有着较大的影响，直接影响到星级评定。

本文以 Euro-NCAP 2015 版全宽正面碰撞中前排第五百分位女性假人的安全性能为基础，基本上汽自主开发车型，根据文献资料中的研究结果^[4]，采用安全带配置为卷收器预紧器和锚固点预紧器的安全带配置。使用 MADYMO 软件建立和对标前排乘员系统模型，并分别进行普通单级乘员气囊、拉带式乘员气囊、双级乘员气囊等气囊的参数优化和确定，同时进行前排第五百分位女性乘员的约束系统滑车试验验证，以此优化和验证乘员气囊对前排女性乘员的约束系统保护性能。

2 前排第五百分位女性假人试验相关规程

2.1 Euro-NCAP 正面全宽碰撞工况

2015 版 Euro-NCAP 新增全宽正面碰撞进行 50km/h 进行整车碰撞试验工况，且在驾驶员和前排乘员处放置第五百分位女性假人。并采用新的伤害评价指数来评价前排女性假人的乘员伤害，定义了头部、颈部、胸部和大腿的高低性能限值。图 1 给出了 2015 版 Euro-NCAP 工况中全宽正面碰撞工况下假人的配置情况。

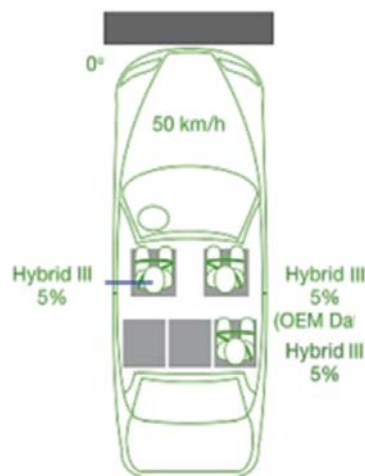


Figure 1. Euro-NCAP front full width impact case

图 1. Euro-NCAP 全宽正面碰撞试验工况

2.2 前排第五百分位女性假人评价指标

Euro-NCAP 2015 版正面全宽碰撞中，前排女性假人有头部、颈部、胸部、大腿四个部分伤害部位作为评分项，并增加各部分伤害项对应的罚分项，表 1 给出了前排第五百分位女性人假人伤害的评价部位和评价指标^[8]。如果髌部髌骨力传感器卸载速率大于 1000N/ms，再结合髌部运动录像分析可判定为下潜。

假人身上的传感器，能够采集到碰撞过程中不同部位的加速度、力、力矩和位移等数据，根据这些数据可以计算假人的伤害响应。在试验中，假人头部可能会与模拟仪表板发生撞击，因仪表板内部存在较多的金属支架或硬点，会造成头部加速度峰值较高。与第五百分位男性假人上的传感器大多数相类似，唯一不同的是假人头部 HIC 值略有不同，前排第五百分位女性假人计算的 HIC₁₅ 来表征假人头部的伤害，HIC 值的大小与头部合成加速度的峰值和脉宽都比较相关，计算公式如下：

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式中：a 是头部质心处 X、Y 和 Z 三向加速度的合成加速度，其单位是重力加速度 g； t_1 和 t_2 是 HIC 值计算的开始和结束时间，单位为 ms，如 HIC_{15} 表明 t_1 至 t_2 的时间窗为 15ms。

Table 1. Front row female injury higher and lower performance and capping limit
表 1. 前排女性假人伤害高低性能值

数量	伤害指标	高性能值	低性能值	得分	备注（扣分）
头部	HIC15 加速度	500	700	0~4 分	不能稳定接触（-1）
		72g	80g		气囊危险展开（-1） 气囊点爆不正确（-1） 管柱的后移量超限
颈部	Fz	1.7kN	2.62kN	0~4 分	NA
	Fx	1.2kN	1.95kN		
	My	36Nm	49Nm		
胸部	压缩量	18mm	42mm	0~4 分	与方向盘接触（-1）
	VC	0.5m/s	1.0m/s		气囊点爆不正确（-1） 肩带力大于 6kN(-1)
大腿	Fz	2.6kN	6.2kN	0~4 分	下潜（-1）
					气囊点爆不正确（-1）

2.3 约束系统相关试验设置

针对前排第五百分位女性假人的安全约束系统滑车试验，参考 Euro-NCAP 2015 版规程试验设置，对前排座椅、安全带、转向管柱进行试验设置^[9]。

转向管柱设置：上下的中间；第五百分位假人的设计位置，否则为前后的中间，但务必确保方向盘的中心距离假人的水平距离至少 250mm。若此距离小于 250mm，将方向盘设置为最前，如果方向盘在最前，此距离仍然小于 250mm，此时将座椅向后移动直至满足 250mm 的距离，但在向后移动座椅时，确保右脚与加速踏板接触，脚部的接触比较重要。安全带的上锚定点，起初设置为第五百分位的设计位置，如果没有设计位置，则为最低位置。前排座椅的试验设置如表 2 所示。

Table 2. Front row seat adjustment setting
表 2. 前排座椅试验设置

调整项	设置	注意事项
座椅前/后	厂家 5th%假人设计位置	在最低行程时，准许设置于厂家设计位至总行程的 25% 之间，否则为最前；确保脚的位置满足设计要求；
坐垫倾角	厂家 5th%假人设计位置	在前/后位置时，准许厂家最上设计位置至中间高度，否则为最上；
座椅高度	厂家 5th%假人设计位置	在前/后位置时，准许最上设计位至高度在 75% 的设计位，否则为中间；
座椅靠背角	厂家 5th%假人设计位置	与垂直面成 23 度角位置
座椅头枕高度	最低	NA
座椅头枕角度	厂家 5th%假人设计位置	否则为中间位置
座椅腰托	厂家 5th%假人设计位置	否则全部收回
座椅扶手（前排座椅）	使用位置	若假人放置不当，设置为收回位置

3 研究过程

3.1 技术思路

由于单级乘员安全气囊的气体发生器输出能量和输出恒定压力一定,无法通过控制气体发生器的参数来改变和优化输出能量,所以首先按照安全气囊静态点爆和动态性能要求,进行 CAE 模拟计算,对基本的气囊气体发生器输出能量和气囊概念设计选型之后,最后通过动态滑车试验进行性能验证。由于双级乘员气囊的气体发生器可选系列在国内产品系列中不多,本文只针对某双级气囊气体发生器进行气袋的参数设计,并以此为研究进行优化设计和试验验证。

本文以 2015 版 Euro-NCAP 规程正面全宽碰撞中前排第五百分位女性假人为研究对象,通过系统仿真分析研究乘员气囊对前排第五百分位女性假人的伤害情况。仿真基础模型采用上汽自主研发车型已经经过验证的模型。仿真分析采用的减速度波形是 50km/h 全宽正面碰撞实车碰撞试验得到的,并研究优化乘员气囊参数并进行静态和滑车验证物理试验。根据第五百分位女性假人的伤害情况,并通过乘员气囊的包型、体积、拉带、气囊折叠方式和其它参数来优化和验证前排第五百分位女性假人的头部、颈部、胸部和大腿的伤害情况。

3.2 乘员约束系统模型

采用 MADYMO 软件建立前排座椅模型,部件为完全刚性体,各部件之间通过各种特性铰连接,碰撞过程中各部件不发生变形,但是各部件之间是通过铰链产生相当运动。安全带模型采用三角形单元的有限元模型和多刚体模型混合方法进行建模,与乘员躯干发生作用的部分采用三角形单元进行模拟,可以逼真地模拟安全带织带在假人躯干上的滑动,其他部分采用多刚体模型,可以方便的模拟安全带路径方向的变化、安全带与导向机构的相互作用和安全带与固定点的连接。

仿真模型的安全带延伸率为 10%,安全带预紧量为 110mm,安全带限力为 2.5kN。模型的碰撞加速度波形为该项目开发实车碰撞试验波形,碰撞初速度为 50.5km/h,最大加速度为 41g。采用软件中自带的 Hybrid III 女性 Q 系列假人模型,建立汽车正面碰撞过程中的乘员动力学响应和损伤分析的数学模型。输出头部加速度、胸部加速度和变形量、髋部载荷等曲线,仿真分析模型如下图 2 所示。

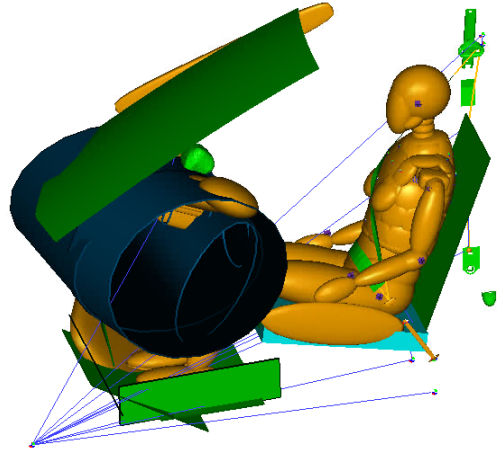


Figure 2. Front row 5th% restraint system simulation analysis model
图 2. 前排第五百分位约束系统仿真分析模型

3.3 乘员气囊选型

针对正面动态碰撞工况进行安全气囊的匹配技术已趋完善,安全气囊的选型相对容易。安全气囊的选型主要考虑气囊的气袋包型、折叠方式、体积和气体发生器四个方面。通过已与试验对标第五百分位男性假人的系统基础模型,更新第五百分位女性假人模型,形成前排第五百分位女性乘员的约束系统模型,经过约束系统模型对比和优化,总结以下四种参数的约束系统参数。

根据 CAE 优化设计得到四种乘员安全气囊的类型和参数,如表 3 所示。其中乘员气囊气袋均是三维立体 3D,考虑到前排第五百分位女性假人的体型较小,希望输出能量尽可能小一些,气袋体积分别选择了 95 升、105 升和 120 升三种,分别对应的气体发生器为 326kpa 和 505kpa。

Table 3. Optimization cases of PAB

表 3. 前排乘员气囊优化方案

气囊类型	气袋形状	气袋体积	气体发生器	备注
基础 Base	3D	95L	326kpa	NA
优化 1	3D	95L	326kpa	气囊拉带
优化 2	3D	105L	326kpa	新包型、新折叠
优化 3	3D	120L	505kpa	双级气囊

4 前排乘员气囊优化

4.1 参数优化及选取

基于对正面碰撞过程中前排第五百分女性假人的伤害判定标准，与前排女性假人接触最直接的安全部件是安全带和安全气囊。本文仅以双预紧安全带，仅针对乘员气囊的参数进行优化和验证。

影响乘员气囊性能的除了上述列举的参数外，还应该包括乘员气囊的角度，仪表板的造型面，前风挡波形与仪表板造型面的夹角、A 柱内饰板的夹角，气囊的折叠方式，以及气袋低风险展开的其它控制方法。气囊的角度是指气袋展开方向与水平方向的夹角。一般情况下，若此夹角越大，越有利于避开乘员气囊的危险展开。若此夹角太大，有可能把前风挡玻璃打碎，不利于乘员安全保护开发。仪表板造型面越突出，假人与气囊的接触距离则越远。通过优化气囊的角度以及仪表板造型面的凸出量可以调整优化乘员气囊相对于假人的位置，从而改变气囊在点爆展开初期的冲击方向。一般情况下，气囊的初始冲击角度较大时和仪表板型面越突出是越有利于乘员约束系统保护的开发。不同的气袋折叠方式不同，气囊的点爆初始展开的姿态不同，但控制其展开方式基本上分别为 Z 向折叠和 Y 向折叠较多两种。从气囊静态点爆的过程中知，Z 向折叠较多气囊初始展开较快，与此其初始动态冲击力较大；Y 向折叠较多则初始展开较慢，但是其冲击力较小。

使用项目开发中的约束系统配置，通过基础模型进行优化分析，在不更改其它发生器型号的情况下，通过 CAE 分析得出两种类型气体发生器型的乘员气囊配置参数，并根据此配置参数加工制作乘员气囊样件，表 4 给出了四种优化后类型的气囊参数基本信息。

Table 4. Character parameter of PAB

表 4. 前排乘员气囊性能参数

气囊类型	排气孔	气袋体积	备注
基础 Base	2-D40	95L	无涂层、无拉带
优化 1	2-D45	95L	无涂层、有拉带
优化 2	2-D35	105L	无涂层、无拉带
优化 3	2-D45	120L	无涂层、无拉带

4.2 静态点爆试验

在乘员气囊开发过程中，有针对于气囊的环境试验和性能试验。在其开发过程中，仅进行常温环境下的车体环境的静态点爆试验，以此设计和优化乘员气囊的包型完整性和展开后形状。根据某车身设计中乘员气囊的安装位置、安装角度、仪表板造型曲面和车体风挡玻璃的实际位置，加工制作乘员气囊的车体环境工装夹具，按照试验室安全气囊点爆流程，分别进行四种乘员气囊类型的常温状态下模拟类似车体环境的静态点爆试验，略去其它方案的气囊静态点爆动画图，图 3 仅展示了基础乘员气囊在车身工装环境下的静态点爆试验图。

静态点爆的环境工装与仪表板造型相近，与整车风挡角度相同。基础乘员气囊能够在 40ms 的范围内完全展开并达到饱满状态。因为仪表板造型与风挡玻璃 Z 向距离较大，基础气囊在 Z 向的抖动量较大，没有出现 Y 向的气囊抖动。同时，从图 3 可以看出，基础乘员气囊在与乘员上半身接触的过程中，呈现凸字型情况，气囊的 XOZ 面上的造型截面曲线有挤压胸部的风险，有可能造车前排乘员颈部和胸部伤害较大的风险。

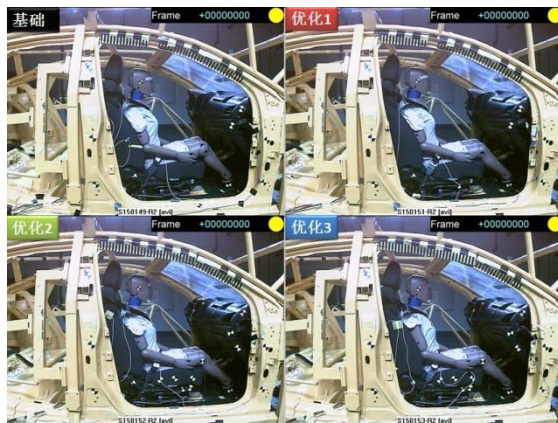


Figure 3. Front view (left) and side view (right) of PAB static deployment in vehicle environment
图 3. 乘员气囊的工装环境下静态点爆试验正面图（左）和侧面图（右）

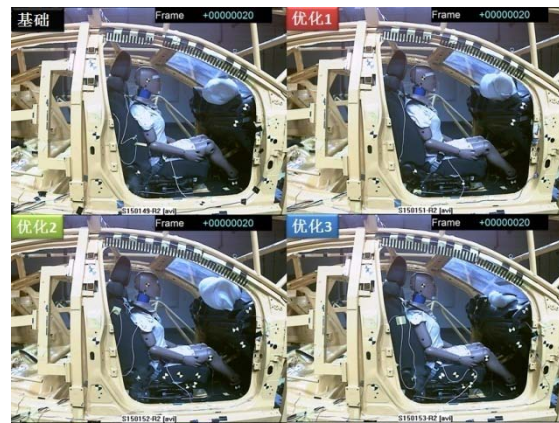
4.3 系统滑车试验

为减少约束系统匹配开发中的试验次数，根据约束系统模型进行优化，得出每一种类型中参数最优的乘员气囊参数，加工制作样件，并进行基础、优化 1、优化 2、优化 3 四种类型的约束系统动态滑车试验，滑车试验录像动画，如图 4 所示。根据 2015 版 Euro-NCAP 规程中对约束系统各部件进行试验前位置调整设置，四次约束系统滑车试验采用相同的整车试验减速度波形，如图 4 所示，采用相同的点火策略，安全带卷收器点火时间为 12ms，安全带锚固点点火时间 17ms，安全气囊点火时间为 16ms。

从以上四种不同优化方案滑车试验动画图中可以看出，不同优化方案的乘员气囊在 20~40ms 展开的方式和展开快慢均不相同。基础模型的乘员气囊展开速度较快，在约 38ms 乘员的头部接触，假人上半身旋转较少，头部有被击穿的风险。优化 1 方案的乘员气囊，因为有拉带的约束作用，气囊在达到饱满后在胸部等高的位置角度上，乘员胸部受到的压力较小，胸部伤害比基础气囊有所改善。虽然颈部伤害有点大，但未达到高性能限值。



(a) 图 4a 0ms



(b) 图 4b 20ms

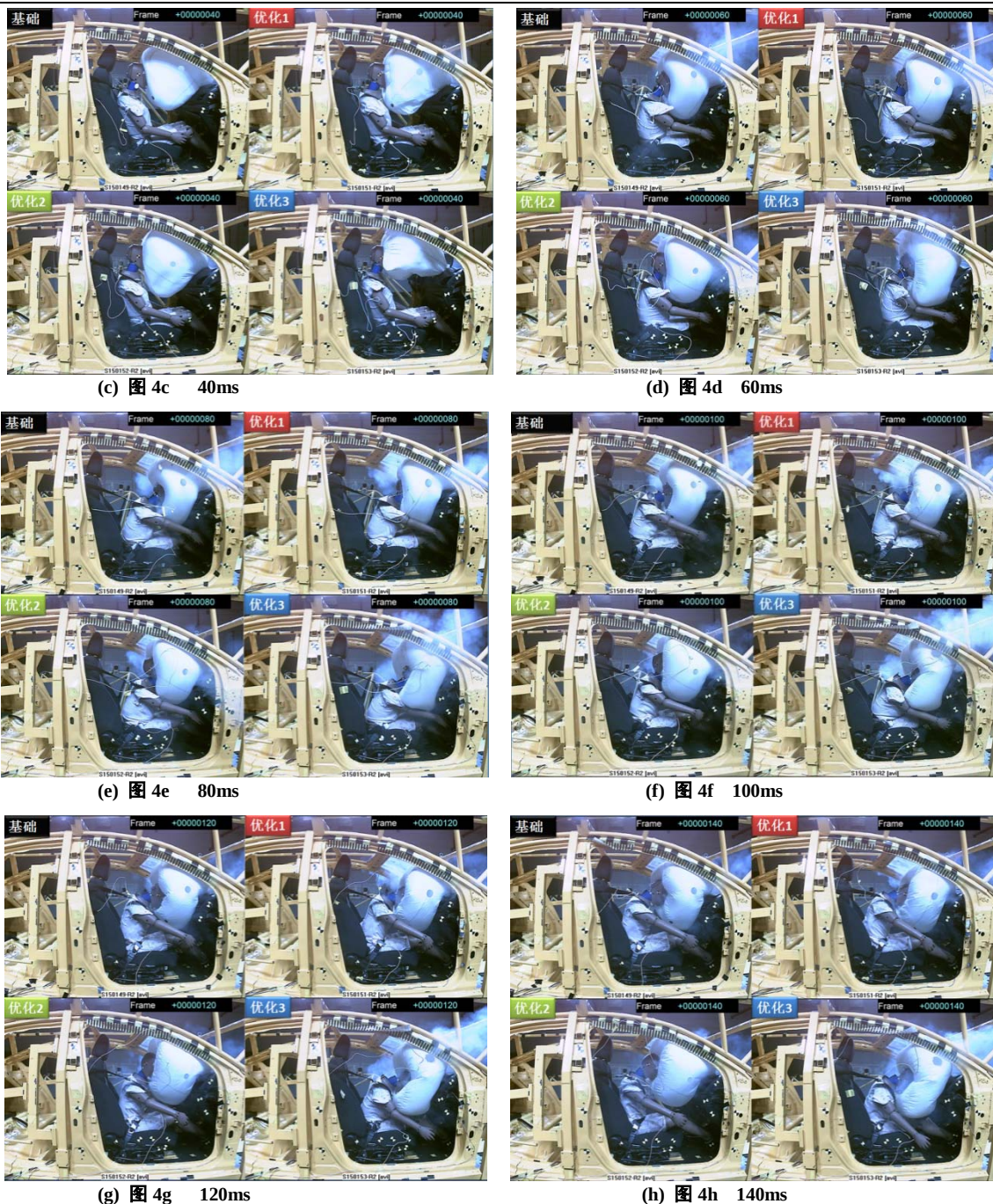


Figure 4. Movie photos of four optimization cases in different time

图 4. 优化方案滑车试验不同时刻动画图

优化 2 方案的乘员气囊由于对其气囊包型、体积和折叠方式都有所优化，气囊在支撑假人上半身的运动中起到较大的作用，假人头部收到的冲击较基础气囊有明显的改善，虽然颈部伤害有点大，但未达到高性能限值，假人的胸部与气囊的局部接触收到的压力较小，胸压伤害较低。优化 3 方案的乘员气囊，由于采用的是双级气囊，一级点爆的气体发生器较单级气囊小，当体积增大为 120L 时，气囊整体的刚度较小，乘员胸部伤害有明显的较少，但头部有被击穿的风险。

4.4 结果分析

研究项目车型原始设计的基础气囊为：气囊角度 7 度，气袋 Z 向折叠较多，没有气袋涂层和气囊拉带。约束系统滑车试验结果可以看出，尤其是优化 3 的乘员安全气囊，头部的 3ms 加速度比较大，达到最 48.31g，胸

部假人胸部压缩量为 25.07mm，胸部伤害过大，超过项目开发目标。并且从动态滑车试验的动画和曲线中可以看出，气囊在展开过程中，对前排第五百分位女性假人的头部和胸部压力和冲击较大，这导致了头部和胸部伤害值较大。根据前排第五百分位女性假人的伤害结果，表 5 给出了四中不同优化方案的乘员气囊滑车试验结果伤害值。

Table 5. Injury values of four optimization cases in sled test
表 5. 优化方案的乘员气囊滑车试验结果伤害值表

部位	指标	基础	优化 1	优化 2	优化 3
Head	3ms ACC/g	448.31	38.65	43.84	53.19
	HIC15	213.9	118.1	169.4	284.9
	Fx/kN	0.4	0.46	0.63	0.39
Neck	Fz/kN	0.87	0.93	0.75	0.69
	Moyi/Nm	23.15	27.51	23.03	22.13
	Deflection/mm	23.15	27.51	23.03	22.13
Chest	VC	25.07	23.8	22.28	21.72
	Belt Force/kN	5.09	5.04	5.0	4.75
Femur	Fz-LH/kN	0.13	0.15	0.26	0.2
	Fz-RH/kN	0.01	0.14	0.16	0.11

分别通过改变气囊的包型、折叠方式、气囊体积、排气孔大小和拉带等参数的组合进行优化约束系统滑车试验验证，并通过德国 AMS GmbH 提供的 Jbeam 软件的模板快速对比伤害曲线，下面分别从前排第五百分位乘员角度逐一分析优化乘员气囊对假人各部位伤害的影响。

首先，头部伤害。从图 4 试验动画和图 6 头部伤害曲线看，颈部伤害指标能够满足 Euro-NCAP 的高性能指标，从图 6 的数据可知，优化 1 和优化 2 可以改善和降低头部伤害值，但优化 3 出现头部击穿，从头部

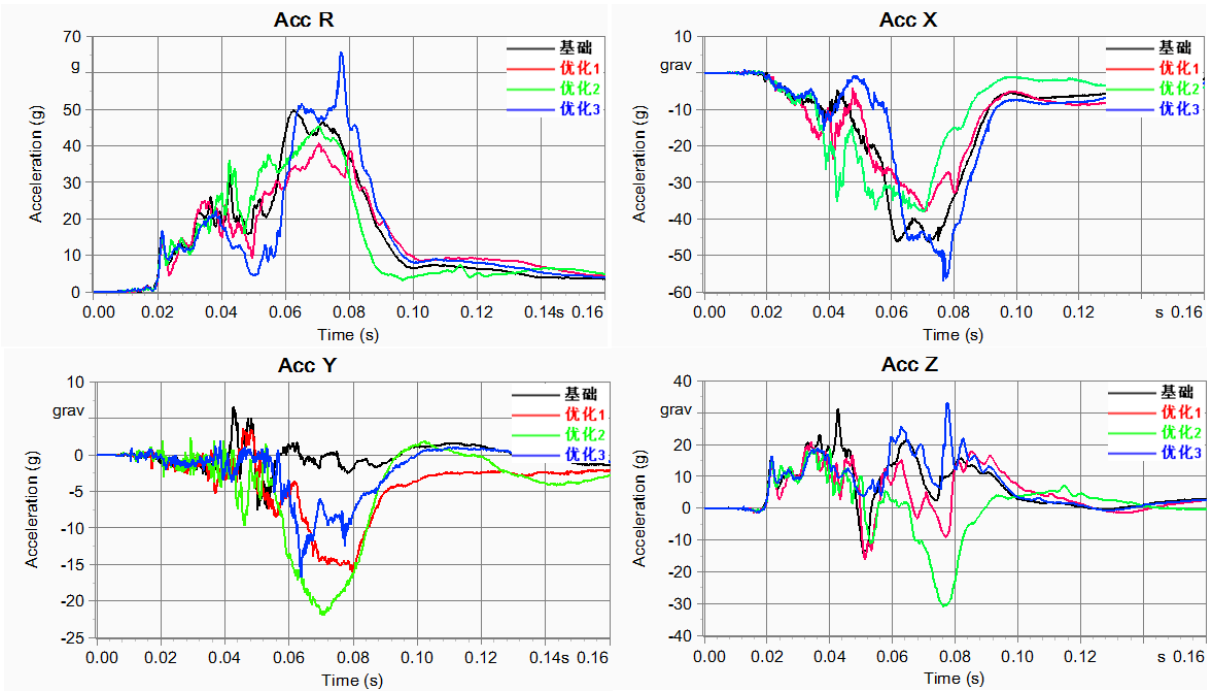


Figure 6. Injury curves of front female passenger head
图 6. 前排女性乘员头部伤害曲线

伤害曲线和滑车试验结果伤害表知，优化 2 对头部加速度降低的效果，同时优化 1 的应用对降低头部伤害值 HIC₁₅ 有明显效果。

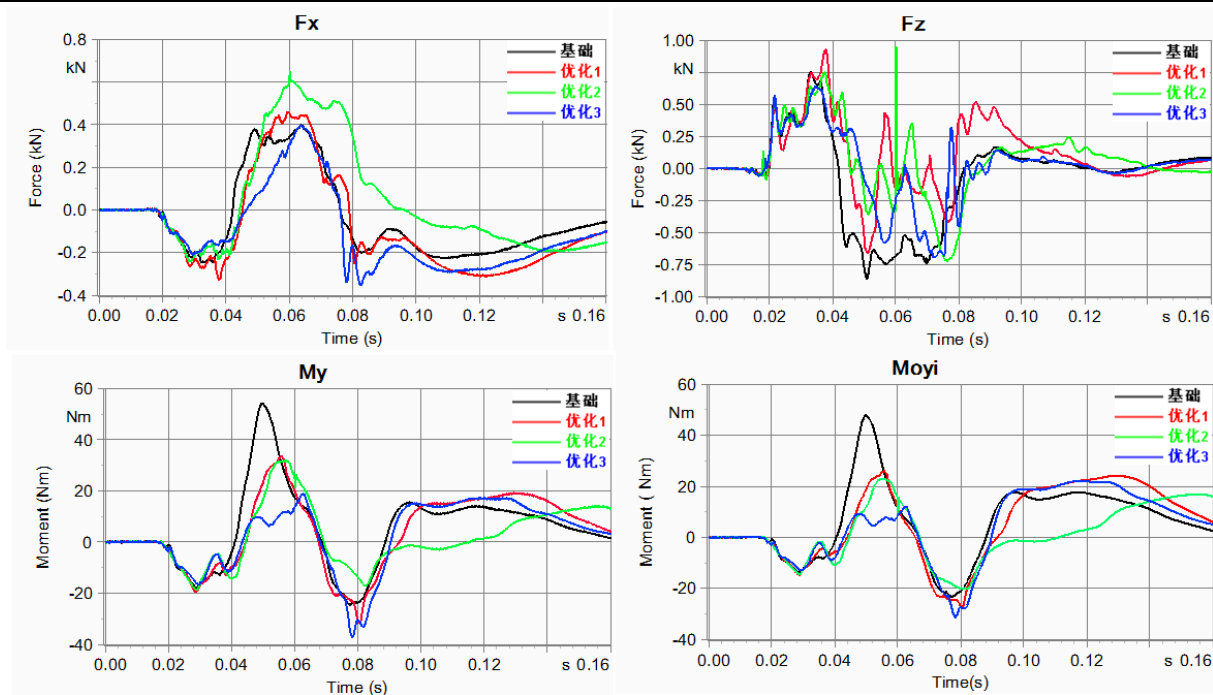


Figure 7. Injury curves of front female passenger neck

图 7. 前排女性乘员颈部伤害曲线

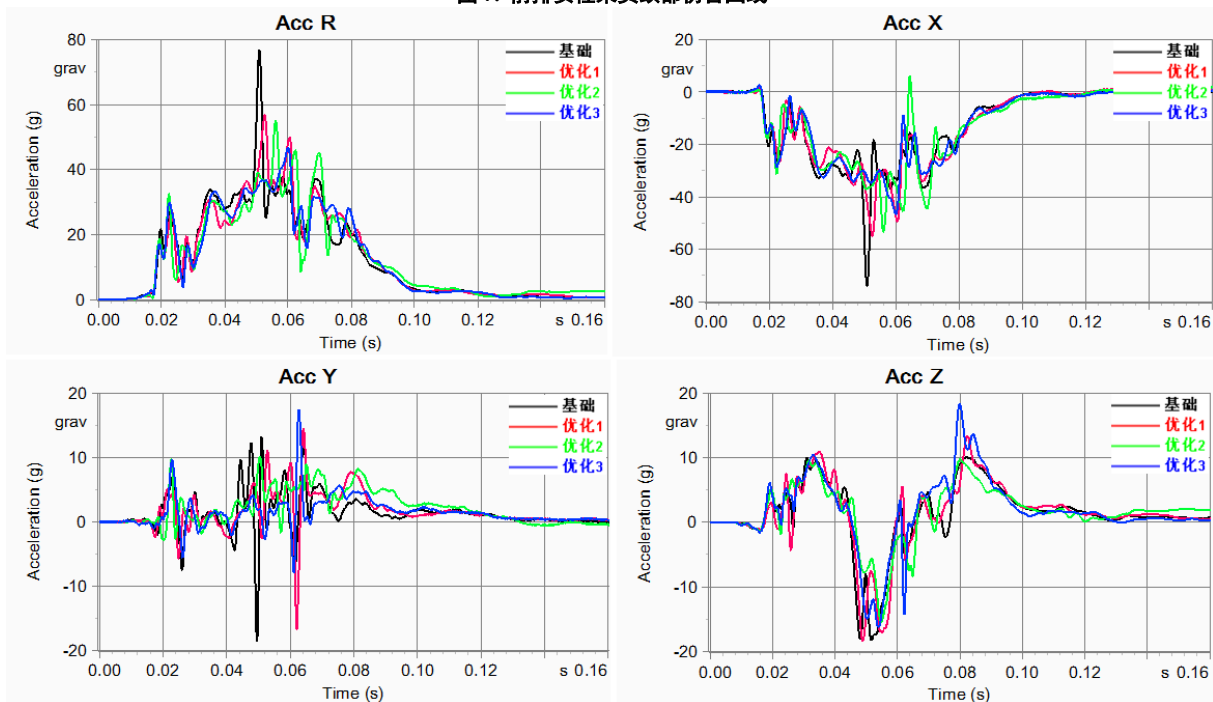


Figure 8. Injury curves of front female passenger chest

图 8. 前排女性乘员胸部伤害曲线

其次，颈部伤害。从图 7 的颈部伤害曲线来看，四中不同类型的乘员颈部伤害指标均能够满足 Euro-NCAP 的高性能伤害指标，优化 1 和优化 2 的乘员气囊能够降低乘员颈部拉压的伤害，优化 3 的乘员气囊有增加乘员颈部弯矩的风险。优化 2 中的乘员气囊对颈部弯矩伤害保护较好，其伤害小于基础和其他优化方案。

再次，胸部伤害。从图 8 和图 9 试验的结果可以看出，四种类型的乘员气囊都无法使得前排第五百分位女性假人达到 Euro-NCAP 胸部的高性能要求，这是因为第五百分位女性假人的胸部伤害的安全部件比较多，胸部距离仪表板的距离较近，胸部伤害明显降低，再加上作用于假人胸部的载荷来自于安全带和乘员气囊。三种改进优化方案均有不同程度地降低对乘员假人胸部压缩量的，其中优化 2 对假人胸部的改善最佳。优化 1 对乘员

胸部 VC 值有所增加，但未达到胸部伤害的高性能值。从图 11 的乘员肩带力曲线来看，均未达到 6kN 的限值，满足项目开发目标要求，且不存在该项罚分的风险。

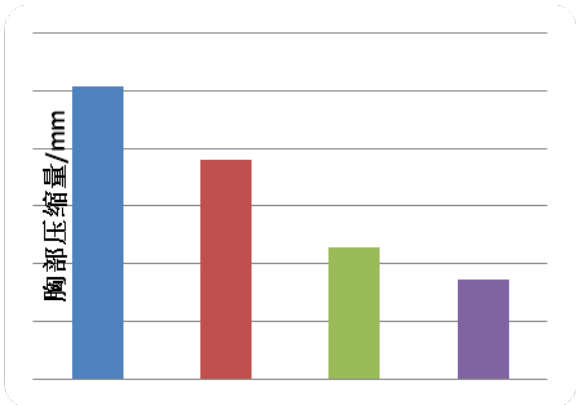


Figure 9. Chest deflection comparison photos of front row passenger female
图 9. 前排女性乘员胸压对比图

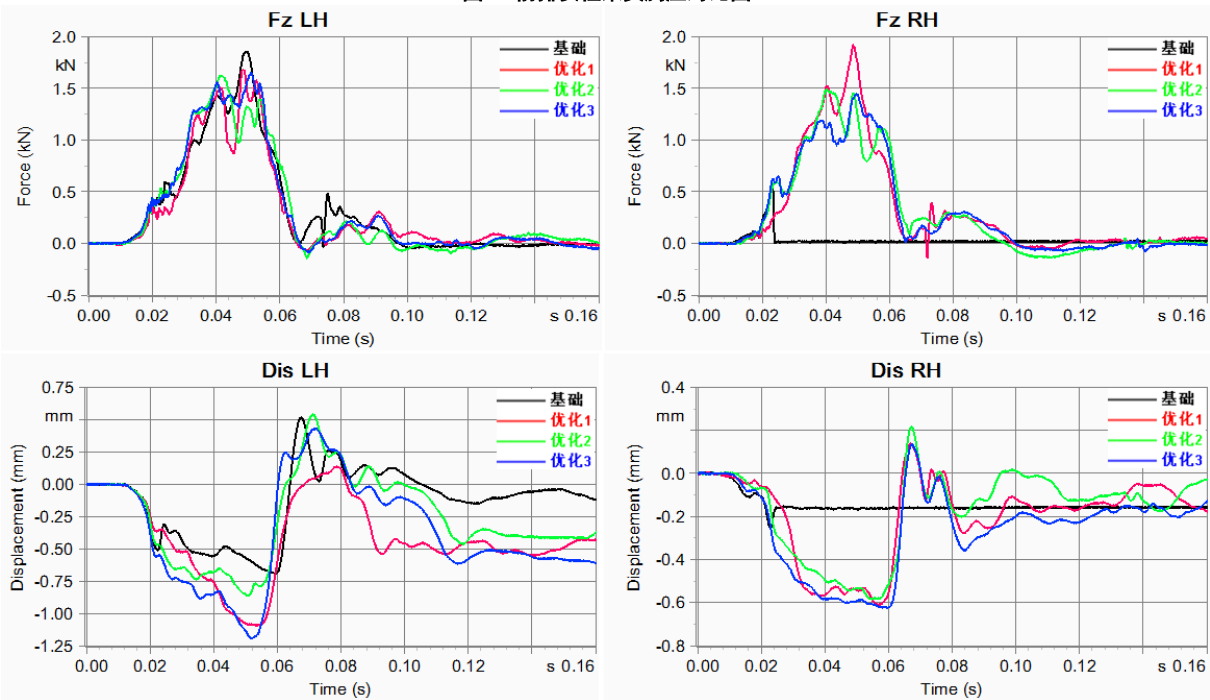


Figure 10. Injury curves of front female passenger femur
图 10. 前排女性乘员大腿伤害曲线

最后，大腿伤害。从图 10 的大腿伤害曲线结果可以看出，前排第五百分女性假人的腿部伤害较少，与仪表板没有撞击风险。四种类型的乘员气囊均能够达到高低性能值范围内，同时均满足项目开发设计要求。由于基础乘员气囊中的右大腿处出现传感器异常，此处可略去此通道曲线分析。

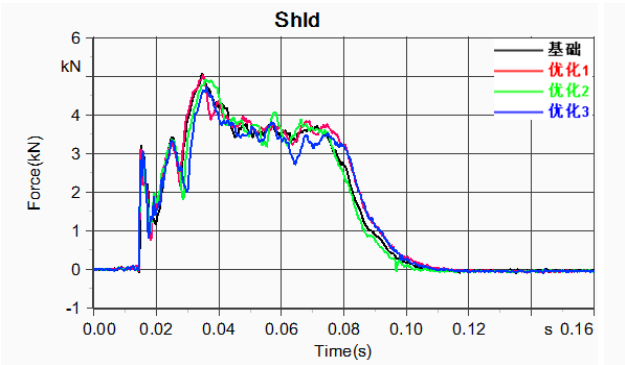


Figure 11. Belt shoulder force curves of front female passenger

图 11. 前排女性乘员安全带肩带力曲线

从项目开发及成本的角度，最终选择最优设计的乘员气囊样件优化 2 方案：气囊为 3D 形状的气囊，体积为 105L，排气孔直径大小为 35mm，无涂层和无拉带。从试验结果看：优化 2 方案的 HIC 值为 169.4，远低于头部伤害的高性能值；颈部弯矩为 23.03Nm，完全满足项目开发目标，此部分假人伤害得分为满分；胸部伤害的胸部压缩量为 22.28mm，低于基础乘员气囊，虽未达到满分的性能值，但满足项目开发安全目标。

5 结论

本文针对前排第五百分位女性假人的乘员气囊设计和优化，优化设计和验证优于基础气囊的三种类型乘员气囊，并通过仿真基础模型，确定其最优性能参数，同时进行乘员气囊的静态点爆性能试验，并根据 Euro-NCAP 工况进行前排第五百分位女性乘员的约束系统滑车试验。通过本文研究表明，乘员气囊的优化设计通过静态点爆试验和系统滑车试验相结合的方法可以有效快速验证其项目开发；普通单级乘员气囊可以通过优化气囊包型、折叠方式、预缝合方法有效降低前排女性乘员的伤害；拉带式乘员气囊能够有效缓解女性乘员的头部伤害风险；双级乘员气囊能够有效避免前排女性乘员的胸部伤害风险。通过滑车试验的方法能够有效快速的验证项目开发的前排乘员气囊，同时为后续约束系统兼容性匹配设计提供基础保证。

在前排女性乘员约束系统设计中，需考虑避免前排女性乘员罚分的风险，；同一配置的约束系统既满足前排男性假人性能要求又要满足女性假人的性能，即约束系统的兼容性匹配也是后续开展的研究工作内容。

参考文献 (References)

- [1] ZHANG Xuerong, LIU Xuejun, SU Qingzu. *Design of Front Impact Restraint System for Occupants of Different Statures*. Automotive Engineering, 2007(Vol.29) No.8:669-672
张学荣, 刘学军, 苏清祖. 正面碰撞不同身材乘员保护约束系统的设计[J]. 汽车工程, 2007, 29(8): 669-672
- [2] V Koch M, Nygren A, Tingvall C. *Impairment Pattern In Passenger Car Crashes, a Follow-up of Injuries Resulting in Long-term Consequences*[A]. International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles[C]. Munchen,1994:776-781
- [3] FMVSS 208. *Occupant Crash Protection, Passenger Car*. 1999
- [4] ZHANG Tengting, Zhuo Peng, Liu Junyong, et al. *Study on Front Row 5th ile Anti-submaring Performance based on Euro-NCAP*[C]//The Eighteenth Conference of Automotive Safety Technology, Suzhou, China, 2015
张滕滕, 卓鹏, 刘军勇, 等. 基于 Euro-NCAP 前排第五百分位女性假人防下潜性能研究[C]//第十八届汽车安全技术国际学术会议, 苏州, 中国, 2015
- [5] ZHANG Junyuan, HUANG Bai, FENG Yuan, et al. *Study on the Optimization of Occupant Restraint System Based on Multiple Load Cases* [J]. China Mechanical Engineering, 2007,(Vol.24)No.18: 3005-3008
张君媛, 黄柏, 冯原, 等. 基于多工况的汽车碰撞乘员约束系统参数匹配的研究[J]. 中国机械工程, 2007, 24(18): 3005-3008
- [6] www.enroncap.com
- [7] ZHANG Weigang , HE Wen, ZHONG Zhihua. *Techniques for Passenger in Vehicle Crash*[M]. Changsha:Hunan University Press, 2007. (In Chinese)
张维刚, 何文, 钟志华. 车辆乘员碰撞安全保护技术[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2007
- [8] EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME, ASSESSMENT PROTOCOL ADULT OCCUPANT PROTECTION, April 2015,Version 7.0.2
- [9] EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP), FULL WIDTH FRONTAL IMPACT TESTING PROTOCOL, April 2015,Version 1.0.1