

Study on the Effects of the Changes in Frontal Impact Protocol of 2013 Euro NCAP on the Design of Frontal Restraint System

Honghao LING¹, Xichan ZHU¹, Qiang HU², Xiaoyong ZHOU³

¹Tongji University, Shanghai, China, 201804

²Jiangxi Academy of Science, Nanchang, China, 330000

³Jiangxi Transport Consultation Company, Nanchang, China, 330000

Email: linghonghao1027@163.com, huqiang1225@yeah.net, huhucui@163.com

Abstract: This paper, based on testing protocol and assessment protocol analysis, established and verified the simulation model of safety system for frontal impact in MADYMO. The simulation result showed a decline in frontal impact score, revealing that present restraint system didn't provide a good protection effect. Then a restraint system was employed for protecting two dummies in two conditions based on the taguchi robust design. The optimized safety system raised frontal impact score and protects both two dummies well.

Key Words: Euro NCAP; frontal impact; Hybrid III 5% dummy; restraint system

2013 年 NCAP 的变化对正面约束系统开发影响的研究

凌宏浩¹, 朱西产¹, 胡强², 周小勇³

¹ 同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

² 江西省科学院, 南昌, 中国, 330000

³ 江西交通咨询公司, 南昌, 中国, 330000

Email: linghonghao1027@163.com, huqiang1225@yeah.net, huhucui@163.com

摘要: 本文在研究 2013 版 Euro NCAP 正面碰撞测试规程更新内容和评分方法变化的基础上, 在 MADYMO 软件中建立了某车型正面碰撞约束系统模型。仿真计算结果显示, 新规程下的正面碰撞得分有所降低, 现有安全系统不能对 Hybrid III 型 5% 假人提供较好的保护。本文利用田口稳健性方法, 提出了双级安全气囊约束系统优化方案并进行验证。优化后的约束系统使正面碰撞得分明显提高, 可以对两种假人提供良好的保护。

关键词: Euro NCAP; 正面碰撞; Hybrid III 型 5% 假人; 约束系统

1 引言

Euro NCAP 制定高于法规技术要求的评价规程, 对新上市车型的安全性能进行试验测评, 并将测评分数以星级形式向公众公布。随着路况变化和安全技术提升, Euro NCAP 自成立以来不断地对测试项目和评价规程进行更新^[1]。根据 2013 版 Euro NCAP 的发展路线, 2015 年将引入一个全新的正面 100% 刚性壁障碰撞试验, 采用 Hybrid III 型 5% 假人^[2]。

在现行的 Euro NCAP 及 C-NCAP 中, 正面碰撞中的前排驾驶侧试验假人均使用 Hybrid III 型 50% 假人, 乘员约束系统主要是以满足该假人伤害指标进行匹配研究^{[3][4]}。近年来研究发现, 单纯以 Hybrid III 型 50% 假人为基础优化乘员约束系统参数, 限制了约束系统的保护范围。而如果在 Hybrid III 型 50% 假人的基础上补充 Hybrid III 型 5% 假人伤害响应以优化约束系统参数, 则可以增加对女性驾驶员及小身材驾驶员的保护, 改善乘员约束系统对不同乘员的保护效果^[5]。

2 Euro NCAP 在 2015 年实施的正面碰撞规程

在 2015 年 Euro NCAP 正面碰撞测试中, 将会出现两种碰撞工况, 两种不同试验假人, 意味着新版 Euro NCAP 对车辆的安全性能评价更加严格, 要求车辆所考虑的保护对象更加全面。

新版 Euro NCAP 关于正面 40% 重叠率可变形壁障碰撞试验项目保持不变, 即依旧是试验车辆 40% 重叠正面冲击可变形壁障, 试验速度为 64km/h。驾驶员侧和乘员侧分别放置一个 Hybrid III 型 50% 假人, 在驾驶员侧后排放置一个 Q3 儿童假人, 在乘员侧后排放置一个 Q1.5 儿童假人。新增正面 100% 重叠刚性壁障碰撞试验, 试验车辆碰撞速度为 50km/h, 在前排驾驶员侧放置一个 Hybrid III 型 5% 假人, 同时在乘员侧和第二排右侧各放置一个 Hybrid III 型 5% 假人。

与现行 Euro NCAP 正面碰撞分数相同, 新版 Euro NCAP 在正面碰撞中的总分仍然是 16 分, 正面偏置碰撞和正面全宽碰撞各占 8 分。评分方法是根据正面偏置碰撞中假人各身体区域的得分总和 (最高 16 分) 除以 2 得到正面偏置碰撞中的测试分数 (最高 8 分), 正面全宽碰撞中假人各身体区域的得分总和 (最高 16 分) 除以 2 得到正面全宽碰撞中的评分分数 (最高 8 分), 两种碰撞试验的评分分数之和为 Euro NCAP 正碰碰撞中的分数。

3 正面碰撞约束系统建模

根据本文的研究目的, 需要研究现行 Euro NCAP 正面碰撞试验要求下和 2015 年新要求下的约束系统保护性能。因此需要根据两种测试规程要求分别建立 Hybrid III 型 50% 男性假人的 64km/h 正面偏置碰撞约束系统仿真模型和包含 Hybrid III 型 5% 女性假人的 50% 正面全宽碰撞约束系统仿真模型。同时, 为了对比相同约束系统对不同假人的保护效果, 本文还建立了包含 Hybrid III 型 50% 假人的 50km/h 正面全宽碰撞约束系统模型。

3.1 50km/h 正面全宽碰撞仿真模型建立

首先建立了包含 Hybrid III 型 50% 假人的正面全宽碰撞仿真模型。建模的思路为: (1) 建立车体系统, 按照 CAE 数据搭建车体模型; (2) 调入假人模型, 并按照总布置图要求调整假人位置; (3) 建立约束系统, 即安全带和安全气囊, 调整两者与假人、车体之间的位置; (4) 定义接触、模型输入和输出, 给车体和假人施加 x 负方向 13.89m/s 的初速度, 同时给车体施加整车碰撞试验得到的加速度波形。最终建立了包含 Hybrid III 型 50% 男性假人的 50km/h 正面全宽碰撞约束系统仿真模型。

将仿真计算得到的假人伤害指标与实车碰撞试验得到的假人伤害指标进行对比, 如表 1 所示, 仿真与试验的误差不超过 15%, 该仿真模型可靠, 可用于后续研究工作。

Table 1. Comparison of injury values

表 1. 假人伤害指标对比

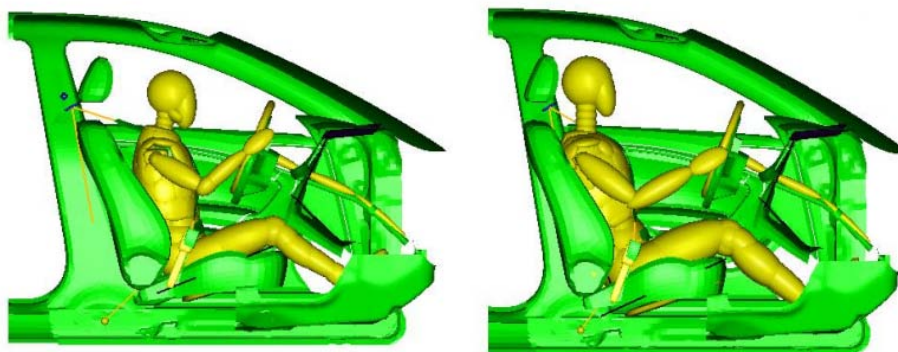
	试验	仿真	误差
头部 HIC ₃₆	362	399	10.2%
头部 3ms 值	51.1	54.2	6.1%
剪切力 F _y /kN	0.56	0.6	7.1%

项目资助信息:

- 江西省科学院对外科技合作研究项目 基于车身轻量化的前保险杠超高强度钢的研究与开发
- 江西省交通运输厅科技项目 2015C0008 基于汽车碰撞特性的新型高速公路防护栏的开发及其安全性能的研究

胸部变形量/mm	27.7	27.8	0.4%
大腿力/kN	1.04	1.18	13.5%

在上文建立并验证的 Hybrid III 型 50% 假人仿真模型的基础上，调入 5% 假人模型，按照 Euro NCAP 的假人定位要求，在 MADYMO 模型中将驾驶员座椅设置在最前端和上下最中间，调整假人模型的相对位置。建立的两种假人的约束系统仿真模型如图 1 所示。



(a) Hybrid III 50% 假人模型

(b) Hybrid III 5% 假人模型

Figure 1. Comparison of two dummy models

图 1 两种假人仿真模型对比

3.2 64km/h 正面偏置碰撞约束系统模型建立

在前文的 Hybrid III 型 50% 假人 50km/h 正面全宽碰撞仿真模型基础上，建立 64km/h 正面偏置碰撞仿真模型。在正面全宽碰撞仿真模型的基础上，采用将车体绕 Z 轴预设旋转角度的方式来复现在正面偏置碰撞过程中的乘员在 Y 方向的运动；重新建立安全带及假人与安全带之间的接触，在 MADYMO 模型中设置碰撞初始速度为 17.78m/s，输入在偏置碰撞试验中得到的 B 柱左侧下端的 X 向加速度。建立的 64km/h 正面偏置碰撞约束系统仿真模型如图 2 所示。

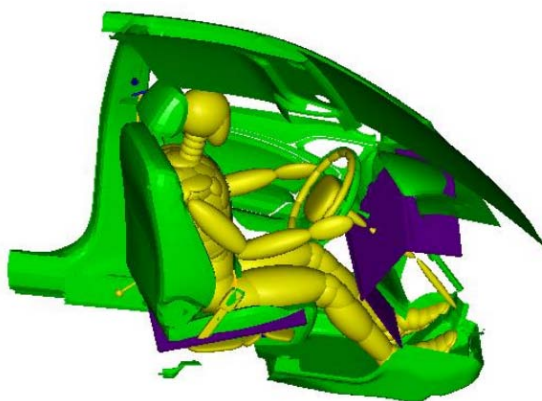


Figure2. Simulation model of frontal offset impact restraint system

图 2. 正面偏置碰撞约束系统仿真模型

4 Hybrid III 型 5% 假人伤害响应

4.1 现行 Euro NCAP 规程正面碰撞假人得分

目前的 Euro NCAP 正面碰撞评价规程只包含 64km/h 正面 40% 重叠可变形壁障碰撞试验。根据前文所建立的偏置仿真碰撞模型，计算得假人各部位得分如表 2 所示。

Table2. Score of Hybrid III 50% dummy in frontal offset impact

表 2. 正面偏置碰撞中 Hybrid III 型 50% 假人伤害评分

50%假人	名称	测量值	分数	得分
头颈部位	头部 HIC ₃₆	341	4.00	4.00
	头部 3ms 值/g	43.97	4.00	
	剪切力F _{xy} /kN	0.57	4.00	
	张力F _z /kN	1.14	4.00	
	伸张弯矩M _{xy} /Nm	24.28	4.00	
胸部部位	胸部压缩变形量/mm	22.43	3.94	3.94
	粘性指数 VC/m/s	0.07	4.00	
大腿部位	大腿压缩力/kN	0.97	4.00	4.00
	膝部剪切位移/mm	5.2	4.00	
小腿部位	胫骨指数 TI	0.56	3.30	3.30
	胫骨压缩力/kN	2.22	3.86	
总得分：15.24 分				

4.2 2015 年实施的 Euro NCAP 规程正面碰撞假人得分

2015 年实施的 Euro NCAP 中正面碰撞分为 64km/h 正面偏置碰撞和 50km/h 正面全宽碰撞两个测试项, 两者比重相同。根据前文仿真模型, Hybrid III 型 5% 假人在正面全宽碰撞下的伤害得分如表 3 所示。

Table3. Score of Hybrid III 50% dummy in frontal offset impact

表 3. 正面全宽碰撞中 Hybrid III 型 5% 假人伤害评分

5%假人	名称	测量值	分数	得分
头部部位	头部 HIC ₁₅	336	4.00	4.00
	头部 3ms 值/g	58.66	4.00	
	剪切力F _{xy} /KN	0.39	4.00	
颈部部位	张力F _z /KN	1.08	4.00	4.00
	伸张弯矩M _{xy} /Nm	28.04	4.00	
胸部部位	胸部压缩量/mm	36	1.00	1.00
	粘性指数	0.18	4.00	
大腿部位	大腿压缩力/KN	1.77	4.00	4.00
总得分：13.00 分				

2015 规程中偏置碰撞虽然碰撞工况和假人保持不变, 但对假人的胸部压缩量低限值从 50mm 改为 42mm, 胸部压缩量限值范围为 22mm-42mm。因此, 按照线性插值法, 胸部得分为 3.92 分, 比现有要求得分降低 0.02 分。其

他部位的伤害指标和评分要求不变,则正面偏置碰撞的假人得分由 15.24 分降为 15.22 分。所以,2015 年 Euro NCAP 正面碰撞假人得分为: $13.00/2+15.22/2=14.11$ 分。

从假人得分来看,2013 版 Euro NCAP 的变化对正面碰撞带来的最直接的影响是假人评分降低。以本文中使用的车型为例,正面碰撞中的得分由 15.24 分降为 14.11 分。

4.3 假人伤害影响因素分析

为了研究现有的乘员约束系统是否满足 Hybrid III 型 5%假人的保护要求,在相同车型的相同碰撞工况下采用相同的乘员约束系统配置对比分析 Hybrid III 5%假人与 Hybrid III 型 50%假人的伤害响应差异。因 Euro NCAP 中没有对 Hybrid III 型 50%假人进行正面全宽碰撞试验,故本文采用 C-NCAP 中的试验要求和设置对 Hybrid III 型 50%假人进行 50km/h 正面全宽碰撞试验。

(1) 假人运动响应分析

当采用 Hybrid III 型 50%假人进行正面碰撞时,假人的运动响应为:15ms 时,安全气囊点爆,假人由于车体减速而发生身体前倾趋势;50ms 时,气囊完全展开,充气体积达到最大,假人在安全带约束下未与气囊接触;55ms 时,假人与气囊接触,胸部受到安全带肩带力和气囊力的双重约束,假人相对于车体继续向前运动;65ms 时,头部与气囊接触,在气囊作用下开始减速;100ms 时,假人开始回弹,至 150ms 时碰撞基本结束。

当采用 Hybrid III 型 5%假人进行正面碰撞时,假人运动响应为:15ms 时,安全气囊点爆,假人由于车体减速而发生身体前倾趋势,胸部与方向盘的相对距离减少。由于假人与方向盘之间的距离较小,气囊在展开过程中与假人上身发生接触。而气囊充气过程中能量较大,造成假人胸部和颈部受到严重的伤害。80ms 时,假人开始回弹,至 150ms 时碰撞基本接触。

(2) Hybrid III 型 5%假人伤害响应

因为 Euro NCAP 中没有对 50%假人进行正面全宽碰撞,本文采用 C-NCAP 中正面全宽 50km/h 碰撞中的假人伤害指标与 5%假人进行比较。两种假人的评价标准不同,不能直接进行比较,因此采用假人的测量参数占其对应标准中的低限值的百分比进行比较,百分比越低说明假人伤害情况越好。两个试验的假人伤害情况对比见表 4。

Table4. Score of Hybrid III 50% dummy in full frontal impact

表 4. 正面全宽碰撞中 Hybrid III 型 5%假人伤害评分

伤害指标	限值		伤害值		低限值百分比	
	5%假人	50%假人	5%假人	50%假人	5%假人	50%假人
HIC ₃₆ /HIC ₁₅	HIC ₁₅ 500-700	HIC ₃₆ 650-1000	336	399	48.0%	39.9%
头部 3ms/g	72-80	72-88	58.66	54.23	73.3%	61.6%
颈部 M _y /Nm	36-49	42-57	28.04	19.87	57.3%	34.9%
胸部压缩量/mm	18-42	22-50	36.00	27.83	85.7%	55.7%
大腿力/kN	2.6-6.2	3.8-9.07	1.77	1.18	28.5%	13.0%

通过对比 Hybrid III 型 5%假人和 Hybrid III 型 50%假人在相同约束系统下的 50km/h 正面碰撞下的伤害值,发现 5%假人较 50%假人伤害更加严重,尤其在假人上半身伤害响应上。在胸部压缩变形量上,5%假人指标严重超标,失分较多。这是由于安全气囊在展开过程中与 5%假人发生接触,在这过程中有较大的气体能量,导致假人胸部加速度和压缩变形量峰值增大,对假人胸部造成严重伤害。同时,本车型的安全带限力值为 4000N,对 5%假人而言过大,没有达到限力保护效果。头部及颈部伤害指标虽然都在高性能值范围内,但 5%假人较 50%假人的伤害情况更严重。从假人运动响应可知,假人头部受力主要来自安全气囊和颈部,而在头部加速度峰值阶段主要是安全气囊起作用。另外,由于 5%假人头部质量较小,从而产生了更大的加速度。

从同一车型相同碰撞工况下的两种假人的伤害值来看,原有针对 50%假人设计开发的乘员约束系统对 5%假人的保护效果并不好,优化约束系统时应着重关注 5%假人上半身的伤害。

4.3 两种工况下安全气囊对假人伤害影响分析

根据前文对 Hybrid III 型 5%假人的伤害响应分析,发现按照 Hybrid III 型 50%假人设计的安全气囊在展开过程中与 5%假人胸部发生接触,使得 5%假人胸部伤害严重,失分较多。

对于 5%假人,假人距离方向盘较近,质量较小,希望安全气囊的刚度小,即气体发生器质量流低;对于 50%假人,要求约束系统中的安全气囊刚度较大。以安全气囊气体质量流为设计变量,假人 Euro NCAP 得分为试验目标进行试验设计,试验方案如表 5 所示。

Table 5. Test plan

表 5. 试验方案

试验号	1	2	3	4	5
气囊气体质量流	1	0.9	0.8	0.7	0.6

表中气囊气体质量流 1 代表设计变量的初始值,0.6、0.7、0.8、0.9 分别代表设计变量初始值的 60%、70%、80% 和 90%。按表中的试验设置,应用到 Hybrid III 型 5%假人正面全宽碰撞仿真模型和 Hybrid III 型 50%假人正面偏置碰撞仿真模型中,得到假人评分如表 6 所示。

Table 6. Test result

表 6. 试验结果

试验号	气囊质量流	全宽碰撞得分	偏置碰撞得分	正面碰撞总得分
1	1	6.5	7.61	14.11
2	0.9	6.4	6.3	12.7
3	0.8	6.5	6.1	12.6
4	0.7	6.4	5.8	12.2
5	0.6	6.8	5.7	12.5

通过仿真计算表明,随着气囊刚度的降低,5%假人胸部伤害情况有一定的改善,胸部压缩变形量逐渐减低,正面全宽碰撞得分有所提高;但 50%假人在正面偏置碰撞工况中,由于安全气囊较软,假人在运动过程中击穿了安全气囊,与方向盘发生接触,使得头部 HIC 值超标,假人头部无得分,正面偏置碰撞得分下降,总的正面碰撞得分也是有所下降。因此,通过降低安全气囊刚度来同时改善两种工况下两种假人的保护效果的方法难以实现。

5 乘员约束系统稳健性优化设计

为了让整车正面碰撞安全系统能满足 2015 年规程下的高分数要求,本文基于田口方法,对所建立的包含 Hybrid III 型 5%假人的 50km/h 正面全宽碰撞约束系统仿真模型进行分析,采用双级气囊约束系统优化方案,同时提高乘员约束系统对两种假人的保护效果。同时,稳健性设计能够使干扰噪声对产品的设计、开发制造和使用的影响最小,系统质量特性达到最优^{[6][7]}。

田口玄一博士将产品的质量定义为产品出厂后避免对社会造成损失的特性,可用“质量损失”来对产品质量进行定量描述。设产品质量特性值为 y , 目标值为 m , 用平方损失函数 $L(y)$ 描述这种损失,当 y 在 m 附近变动时, $L(y)$ 缓慢增加,当 y 偏离 m 较远时则迅速增大,如图 3 所示。

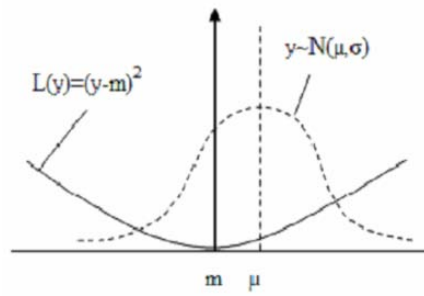


Figure 3. Quality Loss Function

图 3. 质量损失函数

应用田口方法解决技术问题时，首先对各因素进行分析，建立各因素相关的数学模型；用正交表排除最简化的试验组合方案；再计算出各个方案的结果，用统计技术分析，根据不同的质量特性，对不同的方案求出信噪比、灵敏度，找出最佳方案；通过方差分析，找出稳定因素和调整因素^[8]。

5.1 双级安全气囊约束系统

根据前文的分析，满足 Hybrid III 型 50% 假人保护要求的约束系统对 Hybrid III 的保护效果并不好。按照 50% 假人设计的气囊系统，在展开过程中对 5% 假人的胸部与颈部造成了伤害。对于 5% 假人，假人距离方向盘较近，假人质量较小，希望安全带限力器的限力水平低，并且安全气囊的刚度小，即排气孔面积大，气体发生器质量流低。而 50% 假人在试验中处于正常乘坐位置，要求约束系统中的安全气囊刚度较大。

两种假人对安全气囊展开的刚度要求不同，而单一固定的传统乘员约束系统难以对两种假人提供较好的保护效果，因此本文采用双级安全气囊。对于 50% 假人的正面偏置碰撞工况，安全气囊采用双级点爆，同时点爆两级气体发生器，气体发生器的质量流保持现有不变。对于 5% 假人的正面全宽碰撞工况，只点爆安全气囊第一级气体发生器，降低气体质量流，可以避免安全气囊展开后对假人产生较大的冲击力。

5.2 正交试验设计

在乘员约束系统优化参数选择上，本文的优化参数主要是第一级气体发生器的质量流比例，同时，还考虑了对假人运动姿态影响较大且便于工程控制的约束系统参数作为设计变量。选择车体加速度波形作为系统的噪音因子，设计变量和噪音因子变化范围如表 7 所示。

Table 7. Design variables and variation range

表 7. 设计变量及变化范围

分类	变量	初始值	变化范围	水平
设计变量	气囊点爆时间	15ms	12ms, 15ms, 18ms	3
	安全带限力值	4000N	2000N, 3000N, 4000N	3
	安全带刚度	1	0.6, 1.0, 1.4	3
	排气孔面积	1	0.6, 1.0, 1.4	3
	仪表板刚度	1	0.6, 1.0, 1.4	3
	安全带预紧量	0.06m	0.03m, 0.06m, 0.09m	3
	第一级质量流	1	0.6, 0.8, 1.0	3
噪音因子	车体加速度波形(N)	1	0.95, 1.0, 1.05	3

表中 1 代表各设计变量的初始值，0.6、0.8、1.4 分别代表各设计变量初始值的 60%、80%和 140%。其中，气囊排气孔直径是 40mm，安全带初始限力水平是 4000N，安全带预紧量初始值是 60mm。对这 7 个设计变量进行正交试验，采用正交设计表 L18（37）进行试验安排，共进行 18 次试验。

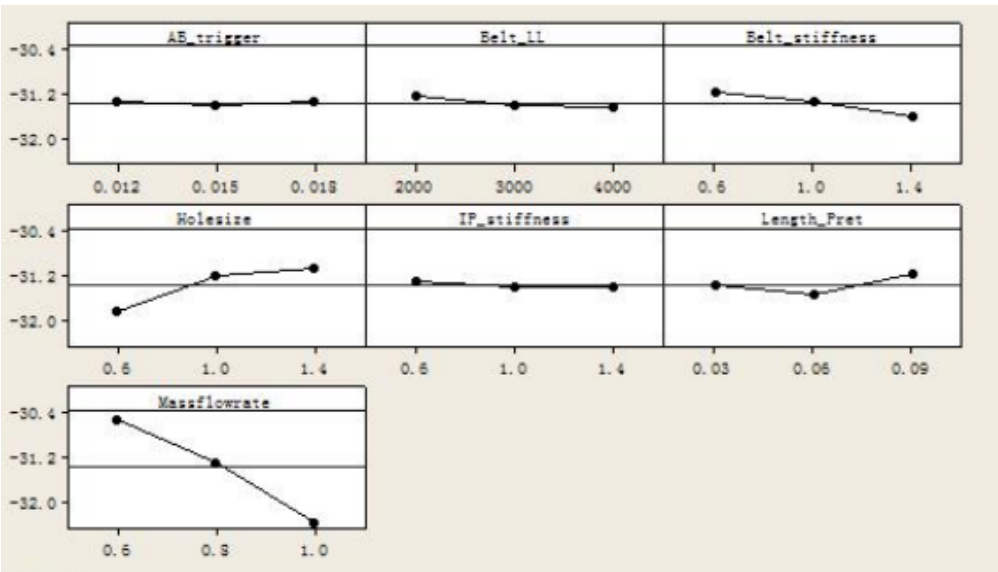
5.3 优化分析

在优化设计中，在保证其他关键损伤指标不超过法规要求的临界值的情况下，最大限度的降低正面全宽碰撞中 5%假人在胸部压缩量和颈部弯矩上的伤害值。同时，提高乘员约束系统对设计变量及噪声因素的稳健性，保证在设计变量产生波动或碰撞条件变化时，系统试验结果均能达到目标。对正交设计表的试验安排进行试验，首先得到各个试验下的胸部压缩变形量，如表 8 所示。表中 N 为噪音因子下的胸部变形量。Table 8. Results of chest deflection

表 8. 以胸部压缩量为目标值的计算结果

序号	A	B	C	D	E	F	G	N1	N2	N3
1	0.012	2000	0.6	0.6	0.6	0.03	0.6	35.127	34.189	35.472
2	0.015	2000	1	1	1	0.06	0.8	36.260	37.568	38.377
3	0.018	2000	1.4	1.4	1.4	0.09	1	41.557	39.388	42.597
4	0.012	3000	1.0	1.4	1.4	0.06	0.6	33.129	34.926	34.562
5	0.015	3000	1.4	0.6	0.6	0.09	0.8	37.939	39.234	42.800
6	0.018	3000	0.6	1.0	1.0	0.03	1.0	40.624	41.064	42.032
7	0.012	4000	0.6	1.4	1.0	0.09	0.8	32.481	33.119	34.848
8	0.015	4000	1.0	0.6	1.4	0.03	1.0	43.151	43.624	43.848
9	0.018	4000	1.4	1.0	0.6	0.06	0.6	32.255	33.694	35.613
10	0.012	2000	1.4	0.6	1.0	0.06	1.0	42.824	43.798	44.794
11	0.015	2000	0.6	1.0	1.4	0.09	0.6	30.788	30.172	30.154
12	0.018	2000	1.0	1.4	0.6	0.03	0.8	32.903	33.162	33.915
13	0.012	3000	1.4	1.0	1.4	0.03	0.8	35.062	36.326	37.220
14	0.015	3000	0.6	1.4	0.6	0.06	1.0	37.917	38.611	39.443
15	0.018	3000	1.0	0.6	1.0	0.09	0.6	32.780	33.511	34.464
16	0.012	4000	1.0	1.0	0.6	0.09	1.0	39.599	40.364	40.975
17	0.015	4000	1.4	1.4	1.0	0.03	0.6	33.593	34.125	36.263
18	0.018	4000	0.6	0.6	1.4	0.06	0.8	39.363	39.447	40.682

图 5 为信噪比和均值的主效应图。根据主效应图，选择信噪比最大和均值最小的组合，最终确定胸部压缩量的最佳组合为 A1B1C1D3E1F3G1。



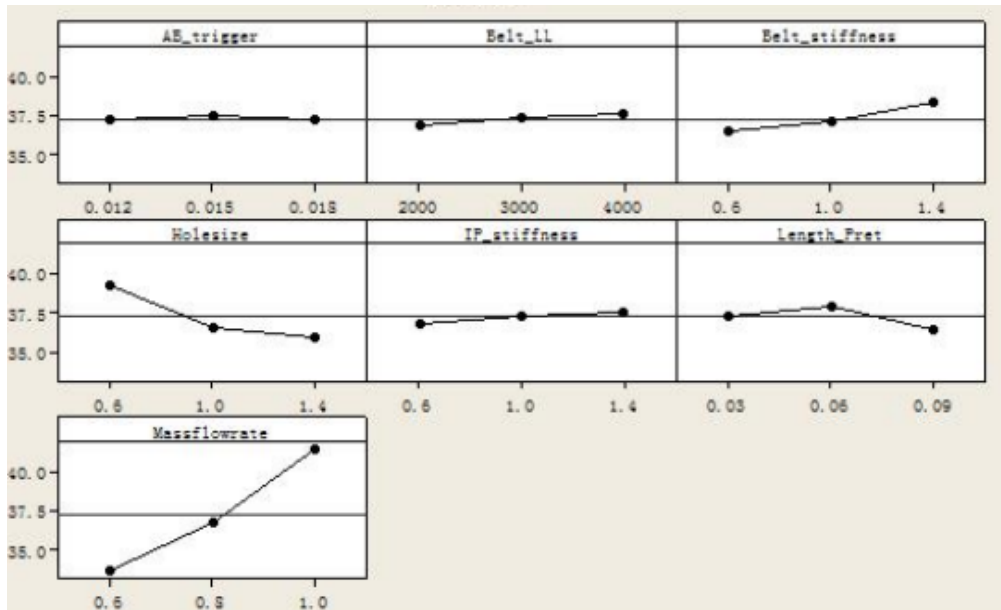


Figure 5. Main effects plot of SNR & mean value

图 5. 信噪比和均值的主效应图

同样地，将颈部弯矩 M_y 作为设计目标，进行试验并进行方差分析。根据主效应图确定颈部弯矩的最佳组合是 A1B2C2D3E1F3G1。

综合胸部变形量 $Comp$ 和颈部弯矩 M_y 稳定性优化分析，针对 $Comp$ 的优化方案 1 是 A1B1C1D3E1F3G1，针对 M_y 的优化方案 2 是 A1B2C2D3E1F3G1，两种优化方案在设计变量 B 和 C 上有所不同。将两种方案下的设计参数应用到仿真模型中，计算仿真模型得到假人运动响应，优化方案 1 中的假人头部砸穿安全气囊，与方向盘接触，头部 HIC 值超标，而优化方案 2 中假人伤害响应正常，其他伤害评价指标均在限值下。因此，选择优化方案 2 作为优化方案。综合胸部变形量和颈部弯矩的稳定性优化分析，选择最佳组合为 A1B2C2D3E1F3G1。

5.4 优化方案验证

将优化方案中的参数应用到仿真模型中，计算得到优化后的假人伤害响应，并与模型初始值进行比较。如表 9 所示，优化模型中的假人伤害响应有明显改善，尤其是假人胸部变形量和颈部弯矩。优化后的 Hybrid III 型 5% 假人伤害得分 14.42 分，相比原模型提高了 1.42 分，优化后的乘员约束系统对乘员的保护效果明显提高。

Table 9. Comparison of injury values

表 9. 优化前后伤害指标对比

评价价值	优化前	优化后	优化效果
头部 HIC_{15}	336	205	39.0%
头部 3ms 值(g)	58.66	37.95	35.3%
剪切力 F_x /kN	0.39	0.31	20.5%
张力 F_z /kN	1.08	0.95	12.0%
伸张弯矩 M_y /Nm	28.04	18.8	33.0%
胸部压缩量/mm	36	27.5	23.6%
大腿压缩力/kN	1.77	1.22	31.1%
得分	13 分	14.42 分	提高 1.42 分

针对 Hybrid III 型 50% 假人正面全宽碰撞工况，设置安全气囊双级点爆，其他参数不变，仿真计算结果显示，优化后头颈、胸部和小腿均有改善，各部位的伤害指标均有下降，得分为 15.44 分，提高了 0.22 分。

总结两种碰撞工况，对乘员约束系统进行优化后，正面全宽碰撞得分为 7.21 分，正面偏置碰撞得分为 7.72 分，总得分为 14.93 分，比原模型的 14.11 分提高了 0.82 分，优化效果明显。

6 结论

Euro NCAP 在 2015 年将引入 Hybrid III 型 5%假人正面全宽碰撞,对车辆安全系统的保护效果要求更加全面。本文建立了 Hybrid III 型 50%假人正面偏置碰撞和 Hybrid III 型 5%假人正面偏置碰撞的仿真模型,仿真结果显示,引入新规程后的正面碰撞得分由 15.24 分降为 14.11 分,现有的安全系统不能满足 Euro NCAP 高分数的要求。分析比较两种假人的伤害响应发现,由于 5%假人位置靠前,气囊在展开过程中与假人接触,安全带限力值较大,使得胸部压缩量和头颈部伤害较严重。为了解决这个问题,本文采用双级安全气囊约束系统对两种工况下的假人提供保护。对于 5%假人,气囊只点爆第一级气体发生器,安全带处于低限力水平;对于 50%假人,气囊双级点爆。使用田口稳健性优化方法对约束系统优化设计并验证了优化结果,优化后,正面碰撞得分由 14.11 分提高到 14.93 分,完成既定目标。

参考文献

- [1] 刘玉光, 刘志新. 各国新车评价规程 (NCAP) 测试评价技术的现状与发展. 汽车安全与节能学报, 2013, Vol.4(1):16~22.
- [2] Euro NCAP. Assessment protocol-adult occupant protection. www.euronacp.com, 2013
- [3] Euro NCAP. Offset deformable barrier frontal impact testing protocol. www.euronacp.com, 2009
- [4] 中国汽车技术研究中心. 中国新车评价规程 CNCAP. 2012.7.
- [5] Richard M, Gabrielle C, Keith C, et al. Report on potential population benefits from implementing smart restraints (R8). Brussels, Belgium:PRISM project consortium, 2006,5~11
- [6] 梁红霞. 田口方法的集大成者——田口玄一阴. 中国质量, 2003, (10): 40
- [7] A Knmar, J Motwani, L Otero. An application of Tagnchi's robust experimental design technique to improve service performance. International Journal of Qualit&Reliability Management, 1996, Vol.13(4):85~98
- [8] 刘国兴, 任世彬. 田口方法与稳健性设计. 电工电气, 2010, Vol.10: 53-57.