

The Optimization Of Passenger Dummy Chest Injury For A Car In Frontal Crash

Baoyu LI, Quyu FANG, Guangyong SHEN, Liangping WANG, Di GUAN, Zehua XU

Chery Automobile Co.,Ltd., Safety Performance Development Department, Anhui Wuhu, China

Email: libaoyu@mychery.com

Abstract: In a C-NCAP 50kph full frontal rigid barrier crash test, the Passenger dummy chest displacement exceeded the target, and it was not obviously improved by optimizing the load limiter of seat belt and the parameter of passenger airbag. After analyzing, through restricting the dummy pelvis, decreasing the displacement of the pelvis and decreasing the below shoulder belt force, the passenger dummy chest displacement could be obviously improved so that could meet the requirement of the safety target that was set before.

Keywords: frontal crash; dummy; chest injury; passive safety; C-NCAP; CLT

某车型正碰副驾假人胸部伤害优化分析

李宝玉, 方取玉, 沈光勇, 王亮平, 管迪, 许泽华

奇瑞汽车股份有限公司 安全性能开发部, 安徽芜湖, 中国, 241009

Email: libaoyu@mychery.com

摘 要: 针对某车型 C-NCAP 50kph 全正碰整车试验时副驾假人胸部压缩量超出定义的目标伤害值的情况, 通过滑车试验调整安全带限力和气囊参数却无明显改善。经过分析后, 通过使用锁舌锁止型安全带约束假人骨盆运动, 减少假人骨盆向前的滑移量, 降低了安全带肩带下部(B4 位置)张力, 副驾假人胸部压缩量得到明显改善, 可以满足定义的目标伤害值要求。

关键词: 正面碰撞; 假人; 胸部伤害; 被动安全; C-NCAP; 锁止锁

1 引言

随着消费者安全意识的增加、碰撞安全法规和标准的越来越严苛, 汽车制造商的安全设计水平在不断提高。越来越多的主机厂参考碰撞标准的星级评价, 将安全设计思想贯穿整个安全开发设计过程, 并以能获得高星级碰撞成绩作为一大产品技术亮点。在新车型碰撞安全开发设计中, 要达到最佳的乘员碰撞保护成绩并能满足安全设计的目标, 结构耐撞性和约束系统设计两项工作至关重要。

中国新车评价程序 (China New Car Assessment Program 即 C-NCAP) 中 50 公里 100%重叠率刚性壁障碰撞试验^[1]的主要目的是评价汽车配置的被动安全约束系统对碰撞假人的保护效果。其中假人胸部伤害与车身碰撞加速度、座椅防下潜性能、安全带预紧特性与限力等级、气囊的尺寸刚度、管柱的压溃特性等有密切关联, 这些零部件组成的约束系统参数匹配一直是汽车碰撞安全性能工程师的工作重点和难点。汽车被动安全领域的专家和学者已经针对正面碰撞前排假人胸部伤害的损伤机理分析和优化做了大量的研究工作^[2-6], 这些研究为本文提供了重要的分析思路。但由于结构耐撞性和安全配置存在差异, 还需对具体的案例进行分析和研究。

在最新颁布的 2015 版 C-NCAP 中, 正面碰撞工况取消了 2012 版对于假人胸部 3ms 合成加速度的考察, 增加了胸部粘性指数 VC 值 (正碰 VC 值一般不会超标) 的考察, 而胸部压缩量的考察没有变化, 这一变化对于车身碰撞波形设计不理想的车型来说胸部较以前得分变得更容易, 但一定程度上减弱了胸部压缩量与加速度平衡难度, 更加突出了优化假人胸部压缩量至合理水平的重要性。本文以某车型 C-NCAP 正面碰撞工况试验降低副驾胸部压缩量为研究对象, 通过对约束系统参数进行优化, 特别是搭载了锁舌锁止型安全带达到了显著减小胸部伤害值的目的。

2 问题描述

2.1 整车碰撞副驾胸压问题

某车型 50kph 全正碰整车试验中,主驾假人胸部压缩量为 28mm,副驾假人胸部压缩量达到 31.65mm,只得到 3.28 分,未达到目标分值。由于 C-NCAP 对该工况评价时取主、副驾假人胸部伤害最大者进行评价,通过线性换算可知,要想达到该目标值,胸部压缩量必须控制在 27.6mm 以下。因此首先要解决副驾胸部压缩量超出目标值的问题。表 1 给出了主、副驾假人部分伤害值情况。

Table 1. The injury of driver and passenger dummy in the frontal crash test
表 1 正碰整车试验主副驾假人部分伤害值

部位	评价参数	主驾假人	副驾假人	得分
头部	3ms 合成加速度 (72g-88g)	42.80	59.57	5 (满分 5 分)
	HIC36 (650-1000)	276	423	
	剪切力 Fx (1.9kN-3.1kN)	0.69	0.32	
颈部	张力 Fz (2.7kN-3.3kN)	0.99	1.02	2 (满分 2 分)
	伸张弯矩 My (42Nm-57Nm)	38	23.46	
胸部	胸部压缩量 (22mm-50mm)	28	31.65	3.28 (满分 5 分)
	粘性指数 VC (0.5m/s-1.0m/s)	0.14	0.20	

2.2 滑车对标试验

为了研究该问题,首先对碰撞问题进行滑车试验对标,在对标试验复现整车碰撞中乘员损伤的基础上进行伤害值优化。

表 2 给出了整车碰撞试验时试验车辆搭载的副驾主要约束系统参数,滑车试验需搭载相同状态的约束系统进行试验对标,并采用定时人工点爆预紧安全带与气囊。

Table 2. Passenger side restraint parts parameters
表 2 副驾约束系统零部件参数

零部件	参数
安全带	预紧 (14ms 点火)
	限力 (限力杆直径 9.4mm)
	气体发生器: 330kPa
气囊	体积: 90L
	泄气孔: 2*40mm
	14ms 点火

在开展滑车对标试验中,为最大程度地降低试验误差,除需要搭载与整车碰撞试验状态完全一致的约束系统外,可能影响假人接触的周边件也要全部搭载,假人与车辆的人机空间关键参数也需保持在可控范围内。滑车试验加速度脉冲(即目标波形)按照整车碰撞试验时车辆的左右侧 B 柱下方 X 向平均加速度作为输入,见图 1 所示,出于对车型保密的考虑,这里隐去波形曲线的纵坐标尺度。

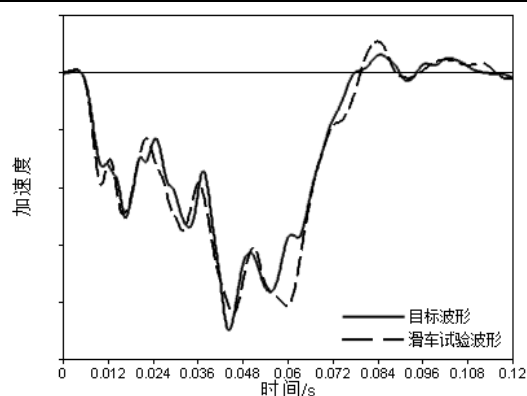


Figure 1. curve: sled test pulse

图 1 试验波形对比

滑车对标试验的部分结果见表 3，可见滑车试验与整车试验副驾假人伤害值大部分都能保持一致，这为后续的优化工作提供了基础。

Table3. Passenger side dummy injury in sled correlation test

表 3 滑车对标试验副驾假人部分伤害值结果

部位	评价参数	整车试验结果	对标试验结果
头部	3ms 合成加速度 (72g-88g)	59.57	58.37
	HIC36(650-1000)	423	477
	剪切力 Fx(1.9kN-3.1kN)	0.32	0.66
颈部	张力 Fz(2.7kN-3.3kN)	1.02	1.18
	伸张弯矩 My(42Nm-57Nm)	23.46	23.47
胸部	胸部压缩量(22mm-50mm)	31.65	31.08
	粘性指数 VC(0.5m/s-1.0m/s)	0.20	0.21

3 传统优化方案

由于本车型车身设计数据已冻结，车身结构耐撞性优化受成本、工艺、周期所限，故此次优化对象主要针对约束系统部件。

对于约束系统优化降低假人胸部压缩量的一般做法是降低安全带的限力值并配合调整气囊参数，按照这种思路，根据 CAE 若干种方案模拟的结果，滑车对标试验完成后，筛选以下有效方案进行副驾胸部压缩量的滑车优化试验，见表 4，一共两个优化方案。

Table4. Optimization scheme restraint system paramters

表 4 优化方案约束系统参数

方案	安全带参数/mm	气囊参数/mm	胸压/mm
原始方案	限力杆直径 9.4	泄气孔直径 40	31
方案一	限力杆直径 8.5	泄气孔直径 35	29.5
方案二	限力杆直径 8.5	泄气孔直径 40	31

如图 2 所示，优化方案的试验结果与基础试验的结果相比，副驾假人胸部压缩量并未有明显改善，最优方案胸部压缩量为 29.5mm，相对于滑车对标的伤害值只降低了 1.5mm，这样的改善效果同试验误差相当，可信度不高，仍然未达到设定的伤害值目标。

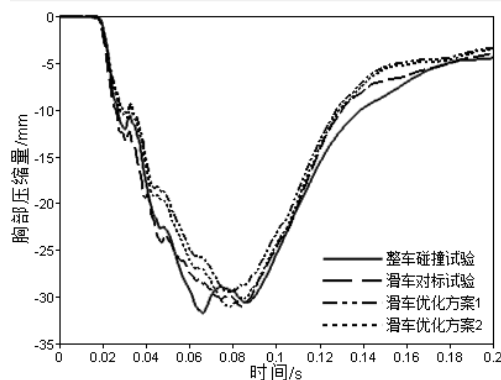


Figure 2. curve: chest displacement in optimization scheme

图 2 优化方案胸部压缩量对比

通过 CAE 分析，安全带限力值进一步降低将增大气囊被击穿的风险，甚至增加胸部与气囊作用的时间，反而增加胸部压缩量。因此通过调整安全带限力和气囊参数的传统方法并不能有效降低副驾胸部压缩量，还需要采用其他手段进一步优化。

4 使用锁舌锁止安全带效果

4.1 假人胸部伤害原理分析

对于前排假人，如果座椅的防潜特性不好且使用的是单预紧（卷收器预紧）安全带，假人在碰撞过程中骨盆向前滑移量较大。在骨盆前向滑移的作用下，一般情况下安全带腰带力较肩带力上升更快，腰带处织带则会在锁舌处抽动肩带，从而进一步释放骨盆向前滑移的行程，而肩带下部（即安全带 B4 位置，各位置安全带力名称定义见图 3）被抽动受腰带力增大的影响进而张力上升，最终造成碰撞后期假人胸部受安全带作用过强，容易造成胸部压缩量过大。

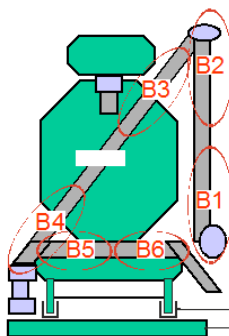


Figure 3. seatbelt force nomination

图 3 各位置安全带力命名

通过比较整车试验和滑车试验后副驾安全带锁舌织带缠绕处的摩擦痕可以发现，腰带抽动量大概在 50mm 左右。图 4 表达了肩带上部 B3 力、肩带下部 B4 力与假人胸部压缩量的关系（图中为方便分析，将胸部压缩量调整为正值）。

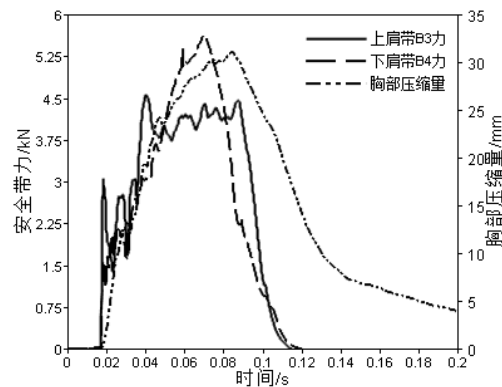


Figure 4. curve: the relationship between chest displacement and the seat belt force

图4 胸部压缩量与肩带作用力的关系

从图中可以发现，50ms-90ms 之间，安全带限力开始起作用，B3 力只有微小波动，而 B4 力续上升，且 B4 力上升的趋势与胸部压缩量曲线上升的趋势较为接近，这说明假人胸部压缩量由于受安全带肩带的包络影响，肩带上部 B3 力与肩带下部 B4 力共同作用致使胸部压缩量迅速增大。可见，降低胸部压缩量需要从根本上约束假人骨盆运动，从而进一步抑制 B4 力的增加。基于前排座椅无明显下潜问题的现实，考虑到方案实施的可行性，本文选择基于锁舌锁止型安全带进行副驾侧假人胸部压缩量的进一步优化。

4.2 锁止锁舌装置结构原理

碰撞锁止锁舌（CLT: Crash Locking Tongue）装置是一种精巧、轻质和紧凑的装置，由带回转凸轮锁块和暗式弹簧的安全带凸舌构成，如图 5 所示。工作原理示意图见图 6，当安全带被扣好、正常使用时，CLT 可使安全带织带自由穿过凸舌，确保日常使用的舒适和便利。一旦发生紧急制动或碰撞，安全带腰带外侧张力 B6 与肩带下部张力 B4 达到一定差值时，CLT 会受织带作用发生旋转卡紧安全带织带进行自锁，限制安全带织带滑动，从而减少碰撞时腰带的伸长量，约束假人骨盆运动并降低乘员胸部承受的压力。



Figure 5. CLT structure illustration

图5 某碰撞锁舌锁止（CLT）装置结构示意图



Figure 6. a CLT working principle illustration

图6 某 CLT 装置工作原理示意图

对于降低胸压值、控制假人姿态上的配置来看, CLT 安全带是性价比比较高的一种配置。目前安全系统供应商美国天合和瑞典奥托立夫等都已经成熟的 CLT 安全带, 并配置到上市车型中, 但中国国内的自主品牌目前 CLT 安全带的配置率并不高。

4.3 锁舌锁止安全带降胸压效果

本次滑车试验搭载的 CLT 安全带同整车试验和滑车对标试验预紧限力式安全带参数一致, 其余约束系统参数也保持一致, 试验得到的安全带 B4 力与胸部压缩量的关系见图 7, CLT 安全带优化试验与对标试验的 B3 力及 B6 力曲线见图 8。从图中可以看出, B4 力在 43ms 时出现下降趋势, 说明此时 CLT 装置锁死织带, 此时 B6 与 B4 力的差值在 1kN 左右, 且安全带即将进入限力阶段。安全带锁止后, 外侧腰带力 B6 比未锁止情况增大 2kN 左右, 说明骨盆约束增强。检查试验后锁舌处织带的摩擦痕宽度 20mm 左右, 减小了骨盆向前滑移位移。43ms 之前, 滑车对标试验的胸压曲线与本次带 CLT 安全带的胸压曲线几乎重合, 且 B3 力曲线重合度也较高, 说明试验的一致性较好, CLT 对 B3 力的影响较小。

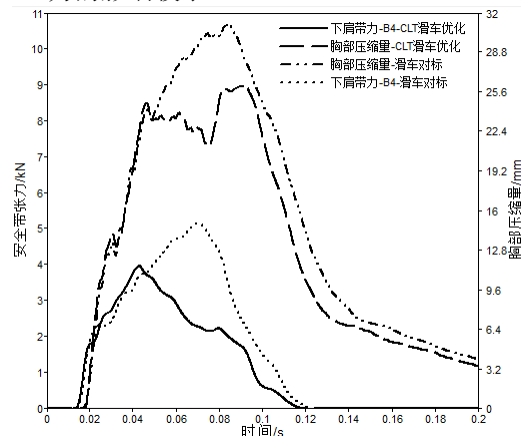


Figure 7. curve: the relationship between CLT seatbelt force B4 and chest displacement

图 7 CLT 安全带 B4 力与胸部压缩量的关系

对比胸压曲线与 B3 力趋势的一致性可知, 43ms 之前即 CLT 锁止之前, 胸压增大主要受 B3 力主导; 对比 43ms 之后两次胸压曲线以及 B4 力曲线, 可知 CLT 锁止之后 B4 力出现下降, 胸压也随之降低, 说明安全带限力起作用以后, B4 力主导胸压的变化。

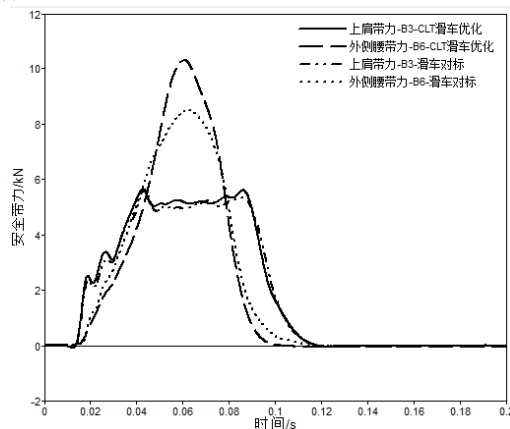


Figure 8. curve: seatbelt force B3 and B6

图 8 安全带 B3 力与 B6 力曲线对比

76ms-93ms 之间由于假人胸部与气囊接触, 且与气囊的接触刚度较大, 胸压曲线还有上升的波动, 胸压峰值达到 26mm, 此问题可在后续通过副驾气囊 PAB 泄气孔位置及尺寸的优化降低局部接触刚度进行优化, 副驾胸压有望控制在 23mm 左右。骨盆受到较好约束后, 对假人的下肢的伤害也有利, 可见 CLT 装置可显著提升约束系统对副驾假人的保护效果。

然而需要说明的是,并非每个车型使用 CLT 都能取得比较明显的胸压改善,而且 CLT 装置对凸轮锁块的表面处理工艺和安全带织带的强度要求非常高,设计得不合理会导致织带无法锁紧或织带在锁紧时被割断,从而造成不可控制的风险。另外,使用 CLT 装置使假人骨盆约束增强会导致其上躯干绕骨盆旋转运动趋势增强,改变了头部和胸部的相对运动方式,和 PAB 包形、泄气孔等方面共同作用,可能会导致假人颈部(特别是驾驶员侧假人)My 变差,因此需要权衡胸部压缩量与假人颈部伤害的得分情况而定是否要采用 CLT 装置。滑车对标试验与本次加 CLT 装置的副驾颈部伤害曲线见图 6,对于本车型副驾来说,由于 PAB 对假人头部和胸部的支撑面积较大,头部与胸部的运动均衡性得以保证,故 CLT 对副驾颈部 My 的影响较小。

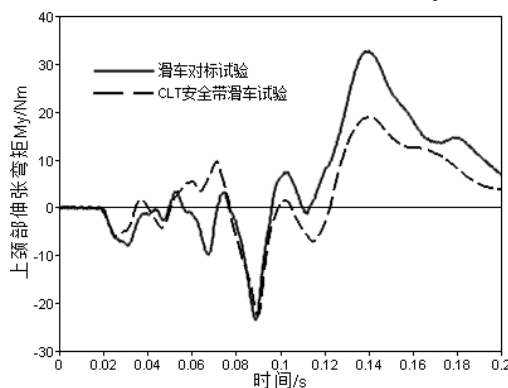


Figure 8. curve: influence on Neck My

图 8 锁舌锁止装置 CLT 对副驾颈部 My 的影响

笔者同时也对 C-NCAP 50kph 全正碰主驾侧假人以及 64kph 40%偏置碰前排滑车试验搭载了 CLT 安全带进行了验证也取得比较好的效果,这里限于篇幅的原因不再展开讨论。

5 结论

本文针对 50kph 全正碰整车试验出现的副驾假人胸部压缩量超标的情况,在传统优化手段对胸压改善不明显的情况下,采用锁舌锁止 CLT 安全带将副驾假人胸压值由对标试验的 31mm 降低至 26mm,优于目标设定值,针对安全带力与胸压曲线的关系对 CLT 锁止的效果进行了分析。

参考文献 (References)

- [1] 2015 版 C-NCAP 管理规则.
- [2] 商恩义,张慧云. 碰撞试验中假人头及胸受力分析方法初探[J]. 上海汽车, 2010 (7)
- [3] 商恩义,张君媛,杨斌,张慧云. 正面碰撞试验中假人头部及胸部受力分析方法的研究与应用[J]. 汽车技术, 2010 (10).
- [4] 卓鹏,赵立新. 正面碰撞胸部变形量影响因素分析及改进方法. 第七届国际汽车交通安全学术会议论文集 (C), 2009.
- [5] 刘卫国,光玲玲,王纯,张海洋. 正碰假人胸部保护性能的影响因素分析[J]. 计算机辅助工程, 2012 (10).
- [6] 张海洋,刘卫国,钱国强. 某车型正碰假人胸部伤害值优化分析[C]. 第十五届全国机械设计年会论文集, 2010.