

Research the effects of seat belt wearing position on HIII 5th female dummy's chest characteristics

Ma Weijie¹, Duan Bingxu¹, Bai Peng¹, Li Xiangrong¹

¹China Automotive Technology and Research Center, Tianjin, China, 300300

Email:maweijie@catarc.ac.cn

Abstract: China New Car Assessment programme(C-NCAP) version 2012 introduced HIII 5th dummy quantitative evaluation. In this paper, based on research the characteristics of female dummy's thorax response, to obtain a more accurate seat belt location. In this paper, low speed thorax impact tests were carried out, by improving the rigid cylinder and adjusting the pendulum impact location and Angle, to simulate the different thorax response characteristics when different seat belt load. The results show that the chest displacements decrease basically in linear, when the deviation of impact position is less than 60 mm upward from the 0 mm point at normal chest impact, and when the impact angle was 26°, the thorax displacement was the maximum. Which were very important for the design vehicle restraint systems and requirements of crash tests.

Keywords: vehicle passive safety; pendulum impact; seat belt wearing position; thorax characteristics; HIII 5th dummy

安全带佩戴位置对 HIII 5th 女性胸部特性影响的研究

马伟杰¹, 段丙旭¹, 白鹏¹, 李向荣¹

¹中国汽车技术研究中心, 天津, 中国, 300300

Email:Maweijie@catarc.ac.cn

摘要: 中国新车评价规程(C-NCAP) 2012 版引入 HIII 5th 女性假人进行量化评价。本文通过对女性假人胸部特性响应的研究, 从而获得较为准确的安全带佩戴位置。本文采用低速胸部标定试验, 通过改进胸部标定摆锤, 调整摆锤冲击位置和冲击角度, 来模拟在碰撞过程中假人受到不同安全带载荷时胸部响应特征。结果表明, 当偏离位置小于从正常胸部冲击的 0 点向上 60mm 时, 胸位移基本为线性下降; 摆锤冲击角度为 26° 时, 胸位移最大。对约束系统的设计和碰撞试验要求具有重要意义。

关键字: 汽车被动安全; 摆锤冲击; 安全带佩戴位置; 胸部特性; HIII 5th 假人

1 引言

在各国所实施新车评价规程(New Car Assessment Programme, NCAP)中, 无论是正面 100%重叠刚性壁障碰撞试验, 还是正面 40%重叠可变形壁障碰撞试验, Hybrid III 50th 假人胸部位移量都是作为胸部评价的主要依据之一。中国新车评价规程(C-NCAP) 2012 版首次将 HIII 5th 女性假人引入到正面碰撞试验中, 将假人放置于汽车第二排座椅左侧, 进行量化分析。规程中规定在正碰、偏置碰和侧碰试验评价中分别给予最高 2 分。其中在正碰和偏置碰撞试验中, 女性胸部压缩变形量为 1 分, 占女性评分的 50%^[1]。可见胸部评价指标对女性得分的重要性。

由于假人胸部损伤的主要原因之一是安全带的作用力, 因此, 作为汽车约束系统的一部分, 正确佩戴安全带在汽车前碰撞试验中能够对假人起到较为有效的约束作用, 从而对汽车乘员起到较好的保护作用。如果对假人胸部不同区域进行划分, 胸部位移量对碰撞能量的敏感度是有较大差异的^[2]。对于 Hybrid III 50th 假人来说, 以正常胸部冲击位置的中心点为 0 点, 沿 Z 向上 60mm 以内, 假人的胸部位移量与正常位置安全带试验假人胸部位移量为线性关系^[3]; 将安全带靠近颈部放置比将安全带水平外移 50mm 所得的假人胸部位移量能够降低

34%^[4]。Pereira 等在 2012 年所做的标定试验中，冲击 Hybrid III 50th 假人第 6 根肋骨要比冲击第 3 根肋骨所得胸部位移量减少 33%，并给出胸部位移传感器正常位置在假人第 3 根肋骨处^[5]。Yamasaki 等指出假人胸部加速度与安全带的佩带位置相关性较小^[6]。

由于女性生理结构与男性不同，HIII 5th 女性假人的马夹与 Hybrid III 50th 假人相比有所差异。主要多了两个乳房的仿真结构，这就造成了女性假人佩戴安全带的形式及力学响应与男性假人有所差异。本文通过改进冲击摆锤，模拟安全带的带状冲击载荷对胸部位移量的影响。以假人胸部低速（摆锤冲击速度为 3.0 m/s）摆锤冲击标定试验为基础，定义正常冲击位置为 0 点位置，加装冲击块与垂直方向夹角 α ，通过改变 α 角度，来研究不同夹角时假人胸部变形量值影响。并选定 α ，随后沿 Z 轴向上每隔 20mm 选取一个点，共选取 5 组进行标定试验对比分析。

2 假人胸部标定试验方法的研究

2.1 相关试验参数的确定

如下图 1 所示，本文将 0 点位置标记到马夹上，通过测量假人外廓尺寸可知，0 点位置距离肩部的 Z 向为 180mm，Y 向为 130mm，肩部外侧到颈部 Y 向距离为 80mm。

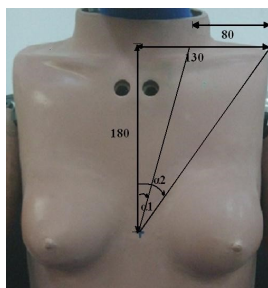


Figure 1. the size of HIII 5th female dummy jacket

图 1. HIII 5th 女性假人的马夹尺寸

由于安全带的佩带一般的通过肩部，且佩戴的角度范围如图 1 所示的 α_1 至 α_2 ，通过角度换算可得该角度的变化范围为 16-36°，因此将该角度范围做为本文研究的参数之一。另外，从 0 点位置起，沿 Z 轴向上偏移位置 P 做为另外一个试验参数。每隔 20mm 选取一个点，共选取 5 组进行分析研究。

2.2 标定摆锤的改进

由于女性假人标定所使用的摆锤冲击面较大，摆锤在与假人接触时为圆形载荷，先与假人的两侧乳房接触，而非直接冲击本文定义的 0 点位置。本文旨在模拟在正面碰撞过程中 Hybrid III 5th 女性假人在受到安全带的带状载荷时，胸部变形量的相关特征。因此，通过在摆锤上安装一个冲击块来实现安全带的带状冲击效果。标定试验设置如下图 2 所示。

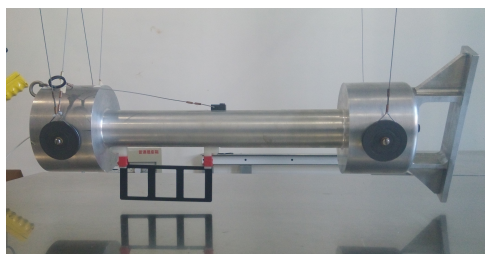


Figure 2. The improved calibration pendulum

图 2. 改进后的标定摆锤

在汽车约束系统的设计过程中，安全带的宽度一般规定为 46-50mm，本文通过对一系列车型的实际测量，最终确定冲击块的宽度为 48mm；冲击块长度为 260mm，以确保其与假人有足够的接触面积。冲击摆锤质量为 13.99kg，加装的冲击块质量为 0.79kg，改进后摆锤的总质量为 14.78kg。

2.3 标定方法的选择

对于 Hybrid III 5th 女性假人胸部标定主要有两种方法，即美国国家公路交通安全管理局（National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA）联邦法规（Code of Federal Regulations, CFR）Part 572 规定的胸部高速标定程序^[7]和美国机动车工程师学会(Society of Automotive Engineers, SAE)SAE J2878 规定的胸部低速标定程序^[8]。这两种摆锤冲击标定试验方法对环境温度的要求均为 20.6~22.2℃,对湿度的要求均为 10%~70%。高速标定的胸部变形量限值为 50-58mm，而低速标定的胸部变形量限值为 17.4-21.8mm。

目前 C-NCAP 摸底试验后排女性假人的胸部位移量一般在 35-55mm 之间。正常对女性假人进行标定时，采用高速标定方法。但是本文由于参数选择加多且位移量向 Z 向调整后在高速冲击时假人存在较大的损坏风险，因此，如图 3 所示，本文采用低速标定试验方法对 Hybrid III 5th 女性假人胸部变形量进行定性的研究。



Figure 3. the set of Calibration test

图 3. 标定试验设置

3 假人胸部特性研究

3.1 标定摆锤改进前后结果对比分析

图 4 改进后冲击块角度 α 为 26° ，由摆锤改进前后的对比曲线可知，胸部变形量在 5.3mm 到 18.4mm 之间时，改进后的获得的胸部刚度特性要高于改进前，这可能是由于改进后仿安全带的带状冲击载荷作用区域要比改进前小，由于乳房的缓冲作用的影响。胸部变形量峰值改进前为 22.2mm，改进后为 21.1mm，改进后的变形量峰值略有下降。

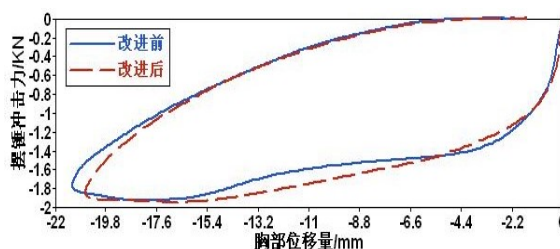


Figure 4. Curve: Comparison of the data before and after the pendulum improvement

图 4. 摆锤改进前后的数据对比

3.2 冲击块角度 α 与胸部变形量相关性研究

由于汽车车型的不同，后排安全带的上固定点的位置也不尽一致。本节标定试验主要是基于安全带都通过 HIII 5th 女性假人的胸位移传感器，但是由于后排座椅以汽车空间尺寸的不同所导致的安全带佩带角度对胸部变形量的影响。

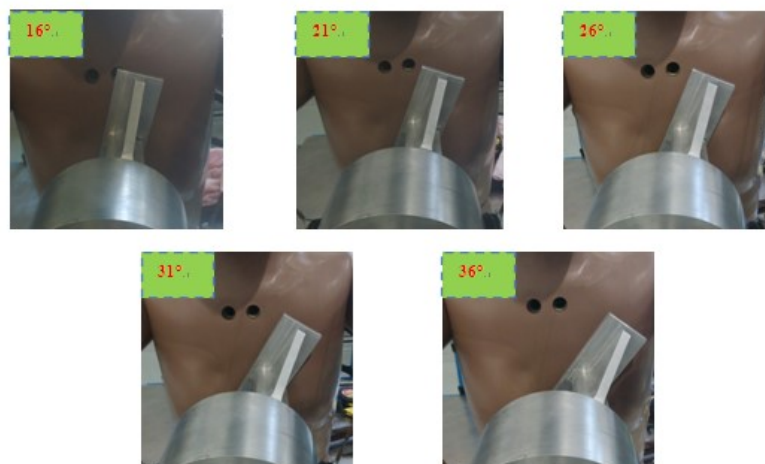


Figure 5. the diagram of impactor angles
图 5. 冲击块角度示意图

摆锤冲击块角度 α 的范围 16-36°，本文将该角度范围平均选取为 5 个特定角度进行冲击试验(如图 5 所示)，试验结果如表 1 所示。

Table 1. Test data at different impactor angles
表 1. 冲击块不同角度的试验数据

组别	冲击块角度 /度	冲击力 /kN	摆锤速度 /m/s	胸位移 /mm
1	16	1.934	3.05	20.2
2	21	1.935	3.05	20.6
3	26	1.945	3.04	20.7
4	31	1.968	3.04	20.5
5	36	2.0	3.04	20.6

由试验结果可知，在摆锤冲击速率一定的情况下，随着冲击块角度的逐步增加，冲击力逐步增大；但是，胸部变形量在 16-26° 时，逐渐增大，随后的第 4 组试验假人胸部变形量有降低趋势，即冲击块角度为 31° 时比 26° 时减下。在所有 5 组试验中第 3 组试验的假人胸部变形量最大，为 20.7mm。

3.3 偏移量 P 与胸部变形量相关性研究

在试验过程中，还存在另外一个问题，后排 HIII 5th 女性假人在佩带安全带时，安全带常常向上偏移，从而避开胸位移传感器。在冲击试验研究过程中，可将摆锤的位置向上偏移的方法来实现。

在分析摆锤向上偏移量问题时，选定的冲击块偏转角度为 26°。以正常胸部冲击位置的中心点为 0 点，沿 Z 轴向上偏移量 P，每隔 20mm 取一次试验样本，本文共取了包括 0 点在内的 5 组冲击试验，试验设置如下图 6 所示。

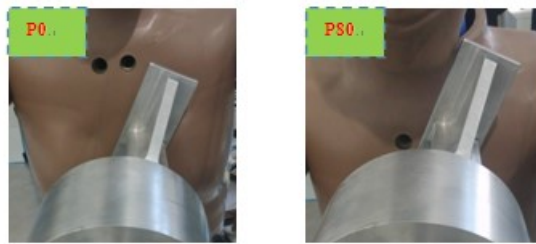


Figure 6. the diagram of impactor offset
图 6. 冲击块偏移量示意图

上图 6 选取了 0 位置 P0 和沿 Z 向向上偏移量为 80mm 的 P8 两张极限位置的图片。在冲击块角度不变的前提下，随着 P 值的增大带形冲击区域逐步向上偏移，P80 的位置为向上的极限位置，此时如果安全带佩戴在该位置，安全带已经勒到假人的颈部。冲击试验的结果如下表 2 所示。

Table 2. Test datas at different impactor offset position
表 2. 冲击块不同偏移位置的试验数据

组别	冲击块位置 /mm	冲击力 /kN	摆锤速度 /m/s	胸位移 /mm
P0	0	1.965	3.03	19.9
P20	20	1.892	2.96	19.4
P40	40	1.904	3.05	19.8
P60	60	1.89	3.05	19.5
P80	80	1.825	3.04	18.5

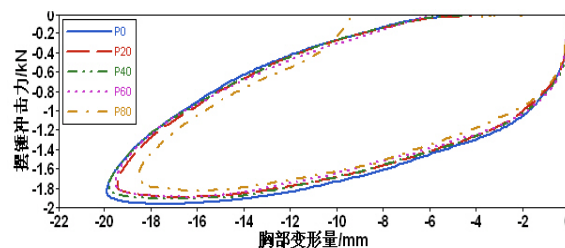


Figure 7. Curve: different impactor offset position
图 7. 冲击块不同偏移位置曲线

表 2 中的 P20 项试验在试验过程中可能存在一些干扰因素，冲击速度和冲击力都相比 P0 和 P40 小，且胸部变形量也相差较多。

而且从图 7 也可以看出 P20 组试验与其它组别试验差异较大。因此，在本次分析过程中将 P20 次试验视为无效试验，不予分析。

由 4 组试验结果可知，在摆锤冲击速率一定的前提下，随着摆锤从 0 点位置沿 Z 轴向上偏移量的增加，摆锤冲击力逐渐降低；而且，假人胸部变形量逐渐减小。

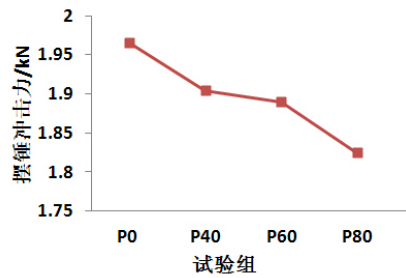


Figure 8. the chart of different tests pendulum impact force

图 8. 不同试验摆锤冲击力趋势图

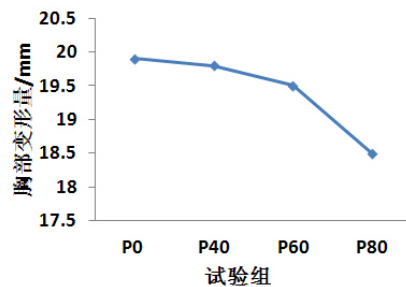


Figure 9. the chart of different tests dummy thorax displacement

图 9. 不同试验假人胸部变形量趋势图

如图 8、9 所示，值得注意的一点是：相比于 P0 与 P40 组试验、P40 与 P60 组试验数据降低程度较小，冲击力分别降低 0.061kN 和 0.014kN，胸部变形量分别减小 0.1mm 和 0.3mm。但是 P60 与 P80 组试验相比，在冲击力降低 0.065kN 的时候，胸部变形量减小 1mm，其变化速率较大。从图 7 同样可以看出 P0、P40 和 P60 组试验的力-位移曲线间隔相对平均。摆锤冲击位置在向上偏移 60mm 以内时，试验曲线间隔较为均匀，而当摆锤冲击位置向上偏移 80mm 时，其曲线间隔与前 3 个冲击位置所得曲线有明显区别。由此可知，摆锤冲击位置在上移 60mm 以内时，胸部位移量与外部冲击力基本为线性关系。而当摆锤冲击位置位置为 80 mm 时，开始呈非线性变化。

4 总结

本文通改进冲击摆锤，即在摆锤上加装冲击块进行 HIII 5th 女性假人的胸部冲击试验。并单独研究安全带不同佩戴角度和沿 Z 轴向上的不同偏移量两个变量。总结如下：

- 1.在佩戴安全带不同角度，且安全带均通过 HIII 5th 女性假人胸位移传感器时，偏转角 α 为 26° 所获得的胸部变形量最大，在此时，安全带通过 HIII 5th 假人肩部的中间位置；
- 2.对于 HIII 5th 女性假人来说，通过改进冲击摆锤，可知以 0 点位置为起点，沿 Z 向上偏移 60mm 以内时，假人的胸部位移量与正常位置安全带试验假人胸部位移量为线性关系。

试验结果表明该研究对实际汽车约束系统设计和汽车被动安全试验方法有重要意义。

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）2012 版. 2012.<http://www.c-ncap.org>.
- [2] 彭路,李筱磊,崔泰松,等.基于 Madymo 的前碰撞混合III型假人胸部位移量损伤分析[J].汽车工程, 2009: 1126-1128.
- [3] 马伟杰,逯艳博,朱海涛.安全带非正常佩戴位置对假人胸部压缩变形量的影响[J].汽车安全与节能学报, 2014,1(5): 65-69.
- [4] Horsch J, Melvin J, Viano D, et al. Thoracic injury assessment of belt restraint systems based on Hybrid III chest compression. 1991. USA.SAE Paper, 912895.

- [5] Pereira R, Tank M. *Study of parameters influencing the chest deflection of HybridIII dummy in crash tests*. 2012. USA. SAE Paper, 2012-08-0002,2012.
- [6] Takaaki YAMASAKI, Kouichi UESAKA. *Rear occupant protection JNCAP test-test results and findings*. he 22th international technical conference on the enhanced safety of vehicles (ESV). 2011. Washington, D.C. USA. Paper no. 11-0445.
- [7] First Technology Safety System(FTSS). *User ' s manual for the 50th percentile male Hybrid IIItest dummy[R]*. SAE Paper, 2005-04-EA-23, 2005.
- [8] The SAE Dummy Test Equipment Subcommittee. *Low speed thorax impact test procedure for the HIII50 male dummy [R]*. SAE Paper, 2010-01-2878, 2010.