

## 温度变化对 HIII-50% 假人胸部位移的影响

崔新康, 王鹏翔, 李月明, 张毅, 商恩义, 章健, 张荣

(浙江吉利汽车研究院有限公司 浙江省汽车安全技术研究重点实验室, 杭州 311228)

**摘 要:** 为了研究温度对 HIII-50% 胸部位移的影响, 在不同温度下, 分别进行了 2 组假人胸部标定及实车碰撞对比试验。试验结果显示, 假人在环境温度下存储较长时间 (5 h) 后, 胸腔温度才和肋骨的真正温度接近。温度变化可以改变假人胸部刚度, 导致胸部位移的变化。假人胸部刚度自身存在差异, 温度对每个假人胸部位移变化量的影响也不同, 每变化 1 °C 对胸部位移产生的影响在 1.15 mm 左右。胸部刚度的稳定性导致胸部位移产生的偏差占 50% 左右。因此, 在碰撞试验中, 应该全流程严格控制环境温度以满足法规要求。假人胸部位移数据产生偏差时, 应考虑假人胸部刚度稳定性和温度两个因素。

**关键词:** HIII-50% 假人; 胸部位移; 胸部标定; 实车试验; 胸部刚度

中图分类号: U467.1+4 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2023.03.04

## Influence of Temperature on Chest Displacement Variation for HIII-50% Dummies

CUI Xinkang, WANG Pengxiang, LI Yueming, ZHANG Yi, SHANG Enyi, ZHANG Jian, ZHANG Rong

(Zhejiang Key Laboratory of Automobile Safety Technology, Geely Automobile Research Institute, Hangzhou 311228, China)

**Abstract:** In order to study the effect of temperature on the chest displacement variation for HIII-50% dummies, the paper conducted the actual vehicle crash tests and the dummy chest calibration at different temperatures. It was found that the temperature inside the dummy's chest cavity was close to the temperature of the ribs when the dummy was stored at the ambient temperature for longer than 5 hours. Temperature could change the stiffness of dummy chest, leading to the change in displacement. Each dummy has different chest stiffness, and therefore temperature has different influence on the displacement variation of the dummy. The dummy chest displacement is about 1.15 mm per degree Celsius (mm/°C). 50% variation in displacement is produced by the change in chest stiffness. Therefore the ambient temperature should be strictly controlled in the whole process of crash-testing to meet regulatory requirements. The two factors of dummy chest stiffness changes and temperature should be considered for the variation in chest displacement data.

**Keywords:** HIII-50% dummy; chest displacement; chest calibration; real vehicle test; dummy chest rigidity

收稿日期: 2021-10-11 改稿日期: 2021-12-09

基金项目: 浙江省汽车安全技术研究重点实验室开放基金资助项目 (GL/20-002X)

参考文献引用格式:

崔新康, 王鹏翔, 李月明, 等. 温度变化对 HIII-50% 假人胸部位移的影响[J]. 汽车工程学报, 2023, 13(3): 318-325.

CUI Xinkang, WANG Pengxiang, LI Yueming, et al. Influence of Temperature on Chest Displacement Variation for HIII-50% Dummies[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2023, 13(3): 318-325. (in Chinese)



在中国新车评价规程 (C-NCAP-2021) 正面 100% 碰撞试验中, HIII-50% 假人胸部得分是通过测量假人相关指标而产生的, 其评价指标包括压缩变形量和粘性指数 (VC), 每一个指标对应的最高得分均为 5 分。在假人得分评价中胸部评价指标是一项非常重要的评价指标。在车辆约束系统开发过程中需要进行多轮正面 100% 碰撞试验, 这是因为试验数据会受到车身强度偏差、环境温度偏差、约束系统样件偏差、假人坐姿偏差、碰撞位置偏差等一系列因素的影响, 其中, 温度的影响较严重。目前的研究大多基于胸部标定试验或者利用滑台试验来研究温度对假人胸部位移变化的影响。但是温度的范围大多局限于 20~22 °C 之间。例如, 商恩义等<sup>[1]</sup>利用滑台试验进行研究, 得出在 3.5~4.5 kN 的作用下, 20~22 °C 的范围内, 温度变化的影响约为 0.7 mm/°C<sup>[1]</sup>。C-NCAP-2021 要求假人应在温度为 20~22 °C, 湿度为 10%~70% 的环境下进行测试。在进行碰撞试验前, 假人应放置于温度为 20~22 °C, 湿度为 10%~70% 的环境中至少 5 h<sup>[2]</sup>, 且这 5 个小时应是连续的, 要求 5 个小时以上的是为了保证假人肋骨温度和环境温度基本一致。但是, 通常碰撞试验室场地都比较大、比较空旷, 很难利用空调将试验室内的环境温度控制在试验要求的温度范围内, 而且这样做的能源消耗太大。通常, 碰撞试验车辆准备 (称重、放油放水、配重、安装相机支架)、传感器粘贴、假人摆放/测量, 相机调试对焦、发车前数据采集设置等工作都是不同房间或地点进行的。车辆在移动过程中的温度是无法保证的, 存在试验环境温度不能满足 C-NCAP-2021 要求的情况。但是, 由于各试验室大多是发车前才测量假人胸腔内部的空气温度 (碰撞车辆在发车间的时间较短), 所以存在假人胸腔温度和假人肋骨实际温度不一致的情况。目前, 还没有针对假人胸腔温度和假人肋骨实际温度之间的差异对假人胸部位移变化影响的研究。此外, 把假人胸部标定和滑台或实车试验相结合的研究也较少。

基于上述原因, 本文以假人标定对比试验和实车对比试验为基础, 研究了温度差异对 HIII-50% 假人胸部位移的影响。

## 1 HIII-50% 假人胸部结构

HIII-50% 假人胸部结构包括<sup>[3]</sup>胸椎、肋骨、胸板和胸部位移传感器轨道。HIII-50% 假人上躯干胸部结构如图 1 所示。胸椎是一个长方形的刚体。假人肋骨形状呈 C 字形, 中间部位和胸椎连接, 两端和胸板、胸部位移传感器轨道连接。假人肋骨是由两种材料构成: 肋骨外侧是一种较薄的钢条; 内侧是一种阻尼材料, 该阻尼材料与钢条通过胶粘结在一起可以提高钢条的强度。由于这种阻尼材料受温度影响其硬度会发生变化, 所以假人肋骨的刚度也会发生相应变化。



图1 HIII-50% 假人上躯干胸部结构

## 2 HIII-50% 假人胸部标定及胸部刚度

HIII-50% 假人胸部标定的目的是检查假人胸部肋骨的状态, 其主要步骤是将假人放置在工作台面上, 工作台面的水平度为 $\pm 0.5^\circ$ 。假人腿部自然伸直, 两个胳膊自然伸直, 胳膊平直度要求 $\pm 2^\circ$ , 调整假人坐姿, 使假人第 3 根肋骨水平 ( $\pm 0.5^\circ$ ), 骨盆角度位于 $13 \pm 2^\circ$ 。调整标定平台高度, 使摆锤中心与假人第 3 根肋骨上端面下方 12.7 mm 处对齐, 假人放置要求如图 2 所示。此标定试验中要求速度为 $6.71 \pm 0.12$  m/s, 根据公式 $h=V^2/2g$ 计算摆锤拉升高度, 式中 $V=6.71$  m/s, 重力加速度 $g=9.8$  m/s<sup>2</sup>。再加上摆锤中心到地面的高度, 就是摆锤拉升所需的高度。把摆锤拉升到所需高度后释放摆锤, 胸部标定完成。

试验中采集的数据有摆锤力和胸部位移, 由此形成的某假人胸部标定曲线如图 3 所示, 从胸部位移最大点向横坐标引一条垂线, 再从胸部位移最大点向原点引一条直线。直线将曲线分为 2 段。

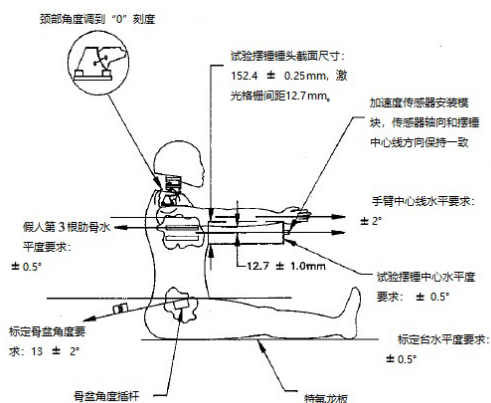
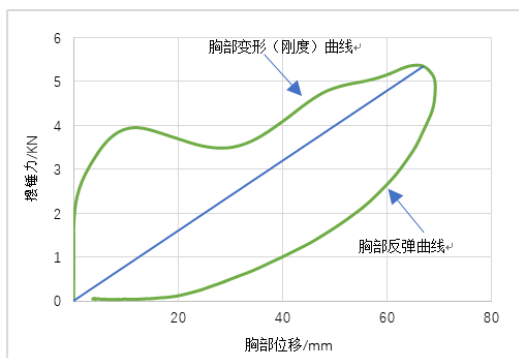
图2 假人胸部标定示意图<sup>[3]</sup>

图3 某假人胸部标定曲线

图3反映了假人肋骨受力变形的情况。由刚度的定义 $K=F/d$ <sup>[4]</sup>可以看出,它也是假人肋骨刚度的实时体现。由图可知,在整个标定过程中假人肋骨刚度是非线性的,一成不变的。在0~17 ms时,假人肋骨刚度逐步上升的同时斜率在逐步减缓。在17 ms时,肋骨刚度达到峰值后开始下降,在30 ms后又开始逐步上升。这也符合假人肋骨的变形过程,假人肋骨刚开始受力时,由于摆锤力比较小,假人胸部几乎不变形,所以肋骨刚度几乎线性上升,随着摆锤力的不断增加,肋骨开始产生弹性变形。随着胸部位移的不断增大,摆锤力和肋骨刚度逐步减小。当肋骨变形到一定量时,肋骨变形越来越困难,随着肋骨位移的不断增大,摆锤力也开始逐步上升,假人刚度也在逐步增加。

下文反映了假人肋骨反弹情况。假人肋骨反弹呈前期快后期慢的特点,这也符合肋骨变形的特点。

### 3 温度对HIII-50%假人胸位移的影响分析

为了更好地研究温度对HIII-50%假人胸部位移的影响,通过HIII-50%假人胸部标定对比和实车试验对比两个方面来进行研究。

#### 3.1 假人胸部标定对比方案

试验步骤:假人在假人标定间(20~22℃)的环境中正常存放5 h,测量假人胸腔温度。在假人标定台上标定完假人胸部,再把假人放置在外环境(外部环境温度高于假人存放温度)中5 h,然后把假人推回假人标定间,利用移动空调对假人进行快速降温(让假人胸腔温度和假人肋骨实际温度产生偏差),当假人胸腔温度达到之前假人标定胸腔温度时,再次标定假人胸部。

#### 3.2 假人胸部标定数据对比分析

HIII-50%假人胸部标定试验过程中,假人胸腔温度和存放时间如图4~7和表1所示。



图4 假人标定间实测温度



图5 外部环境实测温度

#### 3.3 标定数据对比

对比假人标定过程中摆锤力和胸部位移形成的





图6 假人快速降温



图7 假人快速降温后的温度

表1 试验温度及时间参数

| 试验内容                   | 温度/℃ | 时间/h |
|------------------------|------|------|
| 假人标定间实测温度及假人存放时间 (in)  | 21.2 | 5    |
| 外部环境实测温度及假人存放时间        | 21.2 | 5    |
| 假人快速降温实际达到的温度和时间 (out) | 21.0 | 1    |

胸部动态刚度曲线<sup>[7-8]</sup>，可以发现假人在较高温度下存放5 h后再进行快速降温，降温1 h后，假人胸腔温度才达到假人正常存储时相近的21.0℃。但是，快速降温后，HIII-50%假人胸部刚度比正常存储的假人胸部刚度低，这说明在相同作用下的位移变化量偏大。以目前安全带常用限力值3.5 kN和4.0 kN为例，在碰撞试验过程中，假人未接触安全气囊之前，假人受到的外力只来自于安全带。安全带限力值为3.5 kN时，两次试验同一个假人的胸部刚度偏差会导致HIII-50%假人胸部位移相差约6 mm左右。安全带限力值为4.0 kN时，两次试验同一个假人的胸部刚度偏差会导致HIII-50%假人胸部位移相差约11 mm左右，如图8所示。通过这次试验可以看出快速降温后，假人胸腔温度已经达到正

常存储时的假人胸腔温度。但是，假人肋骨（钢条和阻尼材料）温度没有达到正常存储时的温度，所以肋骨的特性（刚度）差异很大。

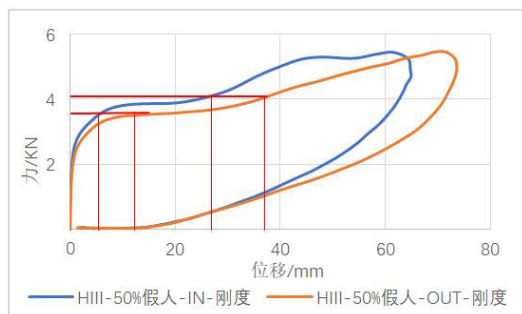


图8 HIII-50%假人胸部刚度对比曲线

#### 4 实车对比方案

使用相同车型相同配置的两辆试验车按照C-NCAP 100%正碰撞试验程序进行两次试验。试验1：将车辆和假人浸泡在22℃（试验要求上线）的环境中5 h，试验前测试胸腔温度。试验2：将车辆和假人存储在18℃（设置18℃是为了和对比试验的温度偏差较大一点，更容易评估温度对胸部位移的影响）的环境中5 h，试验前测试胸腔温度。为了消除假人之间的差异影响，两次试验使用同一组HIII-50%假人。同时，为了满足试验要求，试验前对HIII-50%假人分别进行胸部标定。

##### 4.1 实车试验重要参数记录

###### 4.1.1 假人坐姿

假人和汽车内饰之间的距离如图9所示。假人的头顶角、骨盆角、H点坐标等偏差较小，具体参数见表2。

###### 4.1.2 环境温度

试验1的环境实际温度为18.5℃，试验2的环境实际温度为21.5℃，实际环境温度偏差为3℃。

###### 4.1.3 假人温度

试验1的主驾假人为20.3℃，副驾假人为20.4℃；试验2的主驾假人为21.8℃，副驾假人为21.9℃，假人胸腔平均温度偏差为1.5℃。假人胸腔温度比环境略高，这是因为试验前假人内置式数据采集器通电后会发热，从而提高假人胸腔内部温度。具体参数见表3。

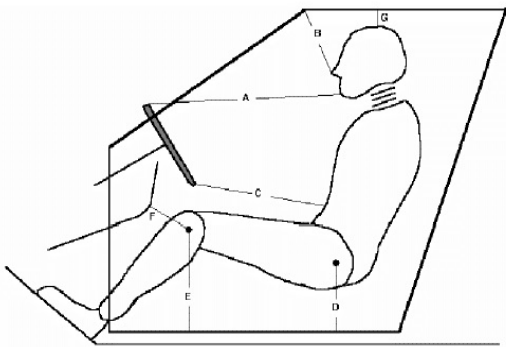


图9 主驾假人坐姿测量<sup>[2]</sup>

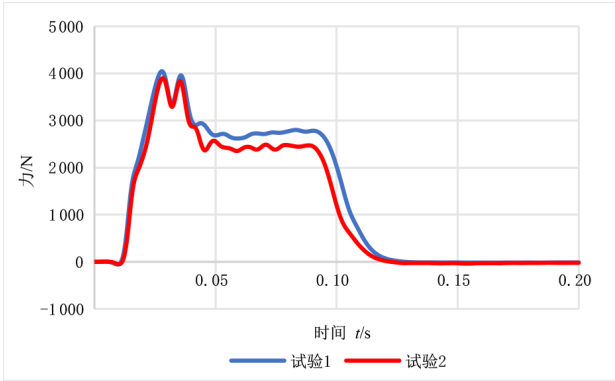


图10 主驾假人安全带肩带力传感器曲线

4.2 实车试验数据分析

两次试验主、副驾假人肩部安全带力传感器曲线，如图10~11所示。主、副驾安全带肩带力峰值都在4 000 N左右。由图可知，两次试验安全带力传感器曲线峰值和走势都很接近。

胸部加速度曲线如图12~13所示。由图可知，两次试验主驾假人胸部 $x$ 向加速度曲线<sup>[9]</sup>走势基本一致，峰值在400  $\text{m/s}^2$ 左右；副驾假人胸部 $x$ 向加速度曲线走势也基本一致，峰值在350  $\text{m/s}^2$ 左右。

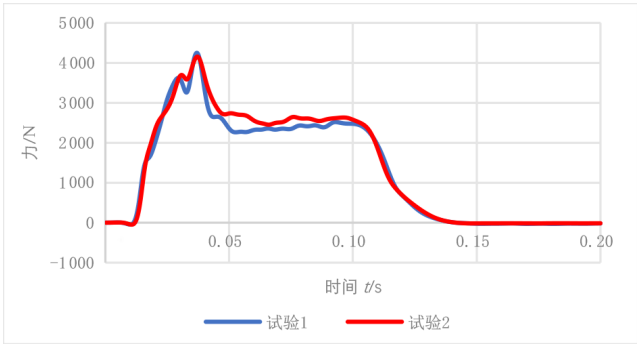


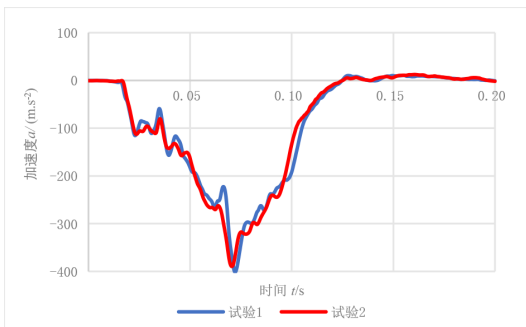
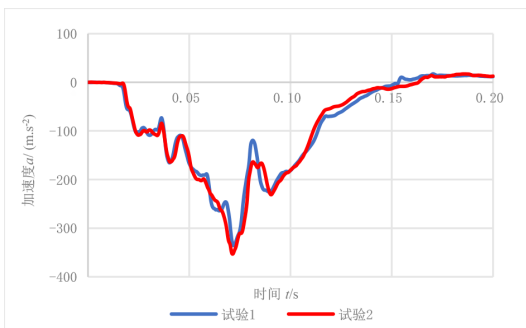
图11 副驾假人安全带肩带力传感器曲线

表2 假人姿态参数

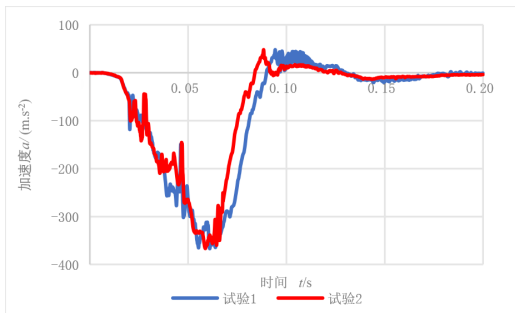
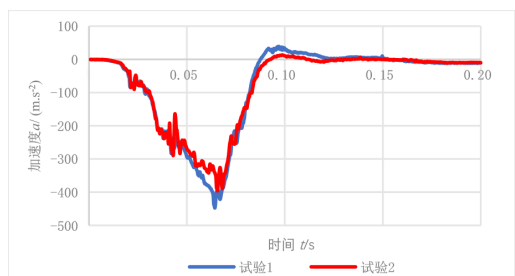
| 试验编号                               | 试验 1      | 试验 1      | 试验 2      | 试验 2      |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 试验假人编号                             | 9133 (主驾) | 9145 (副驾) | 9133 (主驾) | 9145 (副驾) |
| A: 下颏到转向盘上轮缘/仪表板/mm                | 482       | 650       | 488       | 650       |
| B: 鼻子到风窗玻璃顶端/mm                    | 453       | 458       | 458       | 460       |
| C: 腹部到转向盘下轮缘/仪表板/mm                | 250       | 500       | 238       | 485       |
| E: 膝关节到门槛上边缘/仪表板/mm                | 393       | 385       | 395       | 375       |
| F: 膝关节到仪表盘边缘/前座椅靠背/mm              | 152       | 140       | 150       | 140       |
| G: 头至车顶/mm                         | 165       | 160       | 155       | 160       |
| $\theta$ : 头顶角度/ ( $^{\circ}$ )    | 0.7       | 0.7       | 1.1       | 0.4       |
| $\alpha$ : 座椅实际靠背角/ ( $^{\circ}$ ) | 25.0      | 25.0      | 25.0      | 25.0      |
| PA: 骨盆角度/ ( $^{\circ}$ )           | 23.3      | 21.9      | 23.7      | 23.8      |
| KK: 膝间距/mm                         | 293       | 270       | 290       | 270       |
| H点 ( $x$ ) /mm                     | 3 114     | 3 109     | 3 106     | 3 101     |
| H点 ( $z$ ) /mm                     | 771       | 756       | 763       | 760       |

表3 试验温度参数

| 试验编号                     | 试验 1      | 试验 1      | 试验 2      | 试验 2      |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 假人编号                     | 9133 (主驾) | 9145 (副驾) | 9133 (主驾) | 9145 (副驾) |
| 环境温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 18.5      | 18.5      | 21.5      | 21.5      |
| 假人温度/ $^{\circ}\text{C}$ | 20.3      | 20.4      | 21.8      | 21.9      |

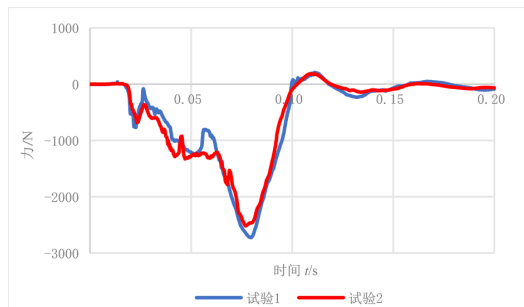
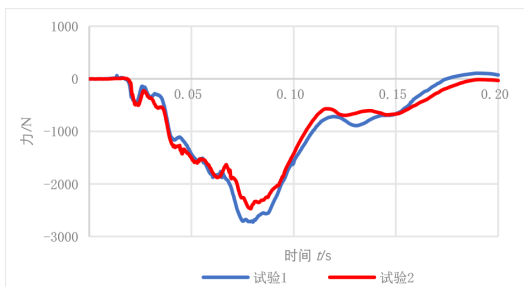
图12 主驾假人胸部 $x$ 向加速度曲线图13 副驾假人胸部 $x$ 向加速度曲线

骨盆加速度曲线如图14~15所示。如图可知，两次试验主驾假人骨盆加速度 $x$ 曲线走势基本一致，峰值在350 m/s<sup>2</sup>左右；副驾骨盆 $x$ 向加速度曲线走势也基本一致，峰值在400 m/s<sup>2</sup>左右。

图14 主驾假人后骨盆加速度 $x$ 曲线图15 副驾假人后骨盆加速度 $x$ 曲线

假人腰椎力 $F_x$ 曲线，如图16~17所示。由图可知，两次试验主驾假人腰椎力 $F_x$ 曲线走势基本一

致，峰值在2 500 N左右；副驾假人腰椎力 $F_x$ 曲线走势基本一致，峰值在2 500 N左右。

图16 主驾假人腰椎力 $F_x$ 曲线图17 副驾假人腰椎力 $F_x$ 曲线

由以上数据曲线图可知，两次碰撞试验中，主、副驾假人的肩部安全带力、胸部 $x$ 向加速度、骨盆 $x$ 向加速度和腰椎力 $F_x$ 曲线走势基本一致，峰值大小接近。这说明主、副驾假人上躯干在试验过程中的外力也基本一致，所以外力偏差对假人胸部位移的影响可以忽略。

由图18~19可知，在试验1和试验2中，主驾假人胸部位移在25~160 ms产生偏差，最大偏差约为8 mm；副驾假人胸部位移在25~130 ms产生偏差，最大偏差约为6 mm。

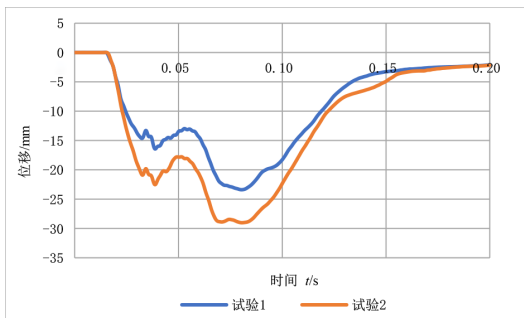


图18 主驾假人胸部位移曲线

#### 4.3 假人肋骨刚度的稳定性

C-NCAP和EURO-NCAP都规定了假人的使用

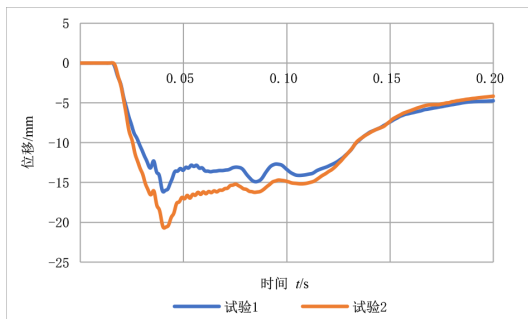


图 19 副驾假人胸部位移曲线

次数, 达到使用次数后, 假人需要重新标定。通过连续多次标定结果的对比, 就可以确定假人部件的稳定性。假人肋骨刚度的稳定性可以通过连续的胸部标定结果进行确定。由于在不同摆锤力下由胸部刚度引起的胸部位移偏差不同, 为了和安全带限力值等级差一致, 以 0.5 kN 作为阶梯差进行统计<sup>[10]</sup>, 见表 4。

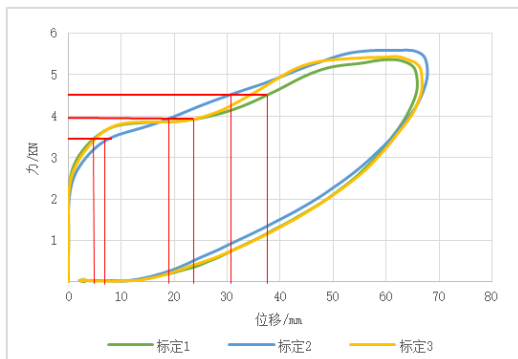


图 20 9133 假人胸部肋骨刚度

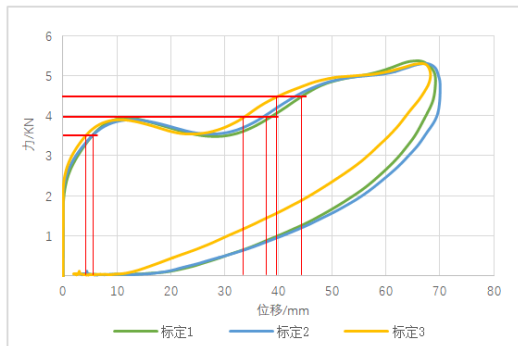


图 21 9145 假人胸部肋骨刚度

由于本次试验主、副驾安全带力峰值为 4 kN, 根据假人刚度稳定性引起的位移差, 主驾 9133 假人位移最大偏差取 4 mm, 副驾 9145 假人位移最大偏差取 3 mm。

表 4 在不同摆锤力下由胸部刚度引起的位移偏差

| 摆锤力/kN | 位移偏差 (9133) /mm | 位移偏差 (9145) /mm |
|--------|-----------------|-----------------|
| 3.0    | 1               | 1               |
| 3.5    | 2               | 1               |
| 4.0    | 4               | 3               |
| 4.5    | 5               | 4               |
| 5.0    | 3               | 0               |

#### 4.4 温度和胸部位移变化的关系

导致两次相同试验胸部产生偏差的因素有: 假人坐姿差异、假人所受外力差异、温度等, 以及假人肋骨刚度的稳定性差异, 如式 (1) 所示。

$$D = D_s + D_f + D_t + D_w \quad (1)$$

式中:  $D$  为两次实车试验胸部位移差;  $D_s$  为两次试验同一位置假人坐姿差对位移的影响;  $D_f$  为两次试验同一位置假人所受外力对假人胸部位移的影响;  $D_t$  为两次试验中不同温度同一位置对假人胸部位移的影响;  $D_w$  为两次试验中假人胸部肋骨稳定性对假人胸部位移的影响。

由上文分析可知,  $D_s$ 、 $D_f$  的影响比较小, 可以忽略, 所以式 (1) 可以简写为式 (2)。

$$D = D_t + D_w \quad (2)$$

根据式 (2) 可以推导出式 (3)。

$$D_t = D - D_w \quad (3)$$

依据式 (3) 可以算出本次试验主驾假人因温度差异而产生的位移偏差  $D_t = 8 - 4 = 4$  mm; 副驾假人因温度差异产生的位移偏差  $D_t = 6 - 3 = 3$  mm。由上文试验记录可知, 本次试验的实际环境温差为 3 °C。温度每变化 1 °C 对主驾假人 (9133) 胸部位移产生的影响为 4 mm/3 = 1.3 mm; 温度每变化 1 °C 对副驾假人 (9145) 胸部位移产生的影响为 3 mm/3 = 1 mm; 温度每变化 1 °C 主/副两个假人胸部位移变化的平均值为 1.15 mm。

## 5 结论

本文通过假人标定对比和实车试验对比, 对温度对 HIII-50% 假人胸部位移的影响进行了研究。试验结果表明, 温度可以影响假人刚度, 但需要很长

时间(5 h)让假人肋骨温度和环境温度一致;假人胸腔温度并不能代表假人肋骨的真正温度,只有假人在环境温度中存储较长时间后两者才会比较接近。由于每个假人胸部刚度特性不同,温度对每个假人刚度的影响也有差异,温度每变化1℃假人胸部位移变化在1.15 mm左右。假人胸部刚度的稳定

性也是假人位移产生偏差的主要因素,由假人胸部刚度稳定性偏差引起的胸部位移偏差占假人胸部位移偏差的50%左右。因此,在碰撞试验中,应该全流程严格控制试验环境温度以满足法规要求。试验数据对比假人胸部位移产生偏差时,应首先考虑假人胸部刚度稳定性和温度两个因素。

## 参考文献 (References)

- [1] 商恩义,周大永,崔新康,等.温度偏差对第50百分位假人胸部压缩变形量的影响研究[J].汽车技术,2020(2): 59-62.  
SHANG Enyi, ZHOU Dayong, CUI Xinkang, et al. Research on Influence of Temperature Deviation on 50th Percentile Dummy's Chest Compression Deformation [J]. Automobile Technology, 2020(2): 59-62. (in Chinese)
- [2] 中国汽车技术研究中心(天津).中国新车评价管理规则(2021年版)[S/OL].(2022-01-01)[2021-10-11].<http://www.c-ncap.org/cms/picture/284198871117160448.pdf>. China Automotive Technology & Research Center Co., Ltd., (Tianjin). China New Car Assessment Management Programme (Version 2021) [S/OL]. (2022-01-01) [2021-10-11]. <http://www.c-ncap.org/cms/picture/284198871117160448.pdf>. (in Chinese)
- [3] Humanetics Innovative Solutions Inc. User Manual HIII-50th Male 78051-9900 [Rev D] [EB/OL]. (2012-07-20) [2021-10-11]. <http://www.Humaneticsatd.com/system/files/limited/UM-H3-50th.pdf>.
- [4] 商恩义,陈现岭,师玉涛,等.50%假人胸部刚度稳定性研究[J].汽车技术,2014(10):39-49.  
SHANG Enyi, CHEN Xianling, SHI Yutao, et al. Research on the Stability of the Sternum Rigidity of the 50% Dummy [J]. Automobile Technology, 2014(10): 39-49. (in Chinese)
- [5] J2517 201608. Hybrid III Family Chest Potentiometer Calibration Procedure [S]. USA: SAE International, 2016.
- [6] NEATHERY R. Analysis of Chest Impact Response Data and Scaled Performance Recommendations [C]//SAE Technical Papers, 741188, 1974.
- [7] 49CFR572. Thorax Assembly and Test Procedure [S]. USA: NHTSA, 2002.
- [8] J2779\_201507. Low Speed Thorax Impact Test Procedure for the HIII 50th Male Dummy [S]. USA: SAE International, 2007.
- [9] SAE J211-1. Instrumentation for Impact Test-Part1-Electronic Instrumentation, REV.MAR95[S]. USA: SAE International, 2003.
- [10] 商恩义,陈晓东,杨斌,等.正面碰撞试验中假人肩带力、胸部加速度与胸部位移间关系的研究[J].汽车技术,2011(2):22-25.  
SHANG Enyi, CHEN Xiaodong, YANG Bin, et al. Research on the Correlation Between the Dummy's Upper Belt Force, Thorax Acceleration and Thorax Distance in the Frontal Impact Test [J]. Automobile Technology, 2011(2): 22-25. (in Chinese)

## 作者简介



崔新康(1982-),男,陕西咸阳人,学士,工程师,主要研究方向为汽车碰撞试验假人标定及假人数据分析。  
Tel: 15158831716  
E-mail: cuixinkang@geely.com