Proceeding of the 13th International Forum of Automotive Traffic Safety, 2016, pp 648-653
No.ATS.2016. 601

The Difference of Kinetic Response between Worldsid Dummy and ES-2 Dummy

Guo LI , Feifei HAN, Shuai YANG
China Automotive Technology & Research Center, Tianjin, China,300300
Email: liguo@catarc.ac.cn

Abstract: The 2018 C-NCAP has clearly presented that new Worldsid dummy will be used in the side impact test instead of ES-2 dummy. There are great differences between these two dummies including sensors, appearance, structure and so on. By using Ls-Dyna software, the vehicle model with the same side impact conditions as input were calculated respectively with Worldsid and ES-2 dummies. The injury curves of these two dummies were compared and kinetic response dif-ferences between them were analyzed. It was found that kinetic response differences between these two dummies were significant, which were closely related with the dummy and sensor structure.

Keywords: Worldsid dummy；ES-2 dummy；kinetic response

Worldsid 假人与 ES-2 假人动力学响应差异

栗国，韩菲菲，杨帅
中国汽车技术研究中心，天津，中国，300300
Email: liguo@catarc.ac.cn

摘要：2018 版 C-NCAP 已明确规定，在侧碰工况中使用新型的 Worldsid 假人代替之前的 ES-2 假人。这两个假人在外形、构造、传感器等方面均有不同程度的差异。本文使用 Ls-Dyna 软件，以相同的整车模型作为输入，对 Worldsid 假人与 ES-2 假人的侧碰工况分别进行计算，对比了两个假人关键部位伤害值曲线，分析了两个假人的动力学响应差异及原因。对比发现：两个假人各部位的动力学差异显著，这与假人的构造以及传感器结构息息相关。

关键词:Worldsid 假人；ES-2 假人；动力学响应

1 引言

随我国的交通环境中，道路路口以平面交叉为主，车辆发生侧面碰撞的概率很高，据交通事故统计数据表明：侧面碰撞事故发生次数约占 34.4%，位列第一[1]。因此，汽车侧面碰撞性能提升是未来汽车被动安全研究的重中之重。同时，世界各国的安全法规也日趋严苛，侧碰工况得分难度增大。欧洲 E-NCAP 中已明确规定用 Worldsid 假人进行侧碰及侧面柱碰测试。我国目前的 2015 版 C-NCAP 侧碰工况依然使用 ES-2 假人进行试验，但在 2018 版 C-NCAP 法规[2]中将与欧洲接轨，侧碰测试中使用新型 Worldsid 假人。

Worldsid 假人是目前世界上研制出的仿真度最高的侧碰假人，它将成为未来全球通用的侧碰假人。ES-2 假人身高是基于欧洲男性的平均身材，而 Worldsid 假人身高是基于全球男性的平均身材，更具有全球统计意义。从外形来看，Worldsid 假人的胸部及骨盆更宽，具体外形尺寸如表 1 所示[3]。

Table 1.Size comparison between two dummies
表 1. Worldsid 假人与 ES-2 假人外形尺寸对比

指标（mm）	Worldsid 假人	ES-2 假人
肩部宽度	480	485
胸部宽度	371	337
骨盆宽度	410	355
坐高	600	660
坐高（拔直）	870	920
腿长	555	452

本文通过使用 Ls-Dyna 软件，以某车型侧碰模型为基础，分别调用 Worldsid 和 ES-2 假人进行仿真计算，对比 Worldsid 假人和 ES-2 假人各部位伤害曲线，分析其动力学响应差异及原因，并对基于 Worldsid 假人的约束系统匹配提出建议。

2 Worldsid 假人和 ES-2 假人伤害评价指标差异

由于 Worldsid 假人和 ES-2 假人的各部位构造存在差别，因此两个假人的伤害评价指标也不同，表 2 中对比了两个假人的伤害值评价指标[4]。

Table 2.Injury assessment comparison between two dummies
表 2. Worldsid 假人与 ES-2 假人伤害评价指标对比

部位	Worldsid 假人	ES-2 假人
头部	700>HIC15>500 80g>a_{3ms}>72g	1000>HIC36>650 88g>a_{3ms}>72g
胸部	50mm>压缩量>28mm	42mm>压缩量>22mm 1.0m/s>Vc>0.32m/s
胸部罚分	肩部力≥3000N Vc≥1.0m/s	4.0kN≥背板力≥1.0kN 2.0kN≥T12 Fy≥1.5kN 200Nm≥T12 Mx≥150Nm
腹部	65mm>压缩量>47mm	2500N>合力>1000N
腹部罚分		Vc≥1.0m/s
骨盆	2.8kN>PSPF>1.7kN	6kN>PSPF>3kN

从指标对比可以看出 Worldsid 假人头部伤害要求更严苛，骨盆的限值有所降低，其中胸部和腹部的变化较大，除了限值发生变化以为，罚分评价指标完全不同，这与假人的内部构造及传感器类型有关，鉴于这些变化，本文主要对两种假人胸部和骨盆的动力学响应进行对比分析。

3Worldsid 假人和 ES-2 假人头部动力学响应对比

Worldsid 假人和 ES-2 假人的头部结构基本一致，外形稍有区别，Worldsid 假人没有五官造型。在碰撞过程中，均是考察头部的 3ms 加速度及 HIC 值。

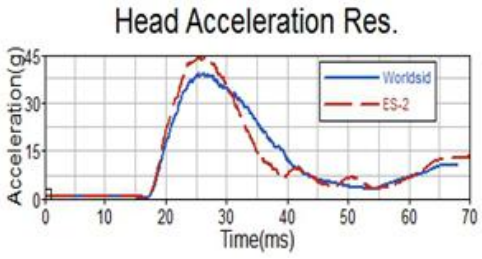
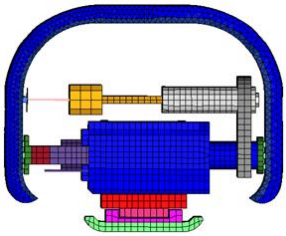


Figure 1.Head acceleration comparison between two dummies
图 1. Worldsid 假人和 ES-2 假人的头部加速度对比图

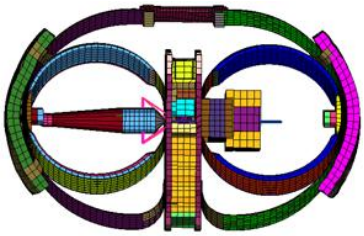
Worldsid 假人和 ES-2 假人的头部加速度曲线如图 1 所示，对比发现：两个假人的头部加速度曲线基本一致，Worldsid 假人的峰值略高，且与气帘的接触时间略早。

4Worldsid 假人和 ES-2 假人胸部动力学响应对比

Worldsid 假人和 ES-2 假人的胸部结构截然不同，如图 2 所示。ES-2 假人采用的是三圈肋骨结构，传感器为线性位移传感器。而 Worldsid 假人胸部是双肋圈结构，传感器为红外线传感器，精度更高，在双圈结构中，加入了微型数采系统。另外，Worldsid 假人的腹部和肩部也采用了和胸部相同的结构，均是双圈结构，宽度与胸部一致。评价指标两个假人是相同的，都是胸部位移，分为上肋、中肋及下肋，但是 Worldsid 假人的高低限值均比 ES-2 假人高。



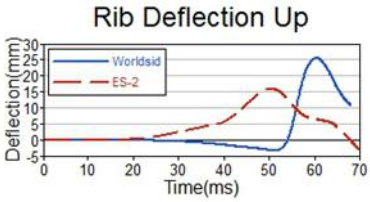
2-a. Chest structure of ES-2 dummy
2-a. ES-2 假人胸部结构



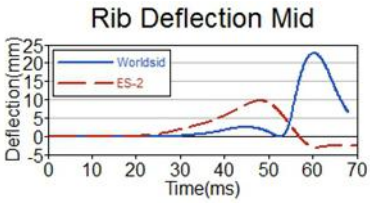
2-b. Chest structure of Worldsid dummy
2-b. Worldsid 假人胸部结构

Figure 2. Chest structure comparison between two dummies
图 2. Worldsid 假人和 ES-2 假人的胸部结构对比图

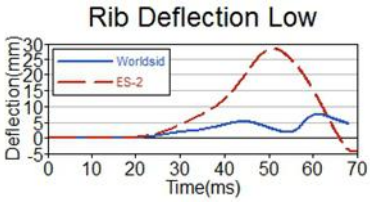
图 3 为无侧气囊配置下的两种假人侧面碰撞的肋骨位移曲线对比，包括上肋骨、中肋骨及下肋骨。对比发现：无侧气囊配置的情况下，Worldsid 假人峰值出现在 60ms 附近，而 ES-2 假人胸部位移峰值在 50ms 附近，比 Worldsid 假人早；此外，Worldsid 假人的上肋及中肋峰值比 ES-2 假人高，而下肋比 ES-2 假人低。



3-a. Upper Rib displacement comparison between two dummies
3-a. 上肋骨位移对比



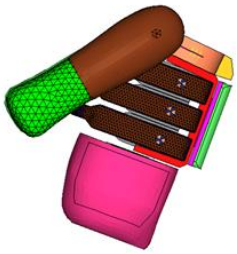
3-b. Middle Rib displacement comparison between two dummies
3-b. 中肋骨位移对比



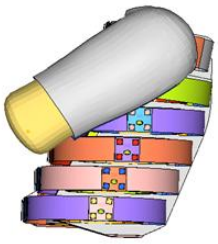
3-c. Lower Rib displacement comparison between two dummies
3-c. 下肋骨位移对比

Figure 3. Rib displacement comparison between two dummies
图 3. Worldsid 假人和 ES-2 假人的肋骨位移对比图

结合动画可以发现：在无侧气囊配置的情况下，碰撞过程中，车门内饰板与假人胸部接触，且与假人的手臂有不同程度的接触。由于假人结构的差异，WorldSID 假人上臂厚度较 ES-2 手臂薄，旋转运动较 ES2 假人不易发生；此外，ES-2 的肋骨是倾斜的，与主躯干成一定的角度，WorldSID 的肋骨近似水平，如图 4 所示。因此，碰撞初期，车门内饰板与 ES-2 手臂接触时间较 WorldSID 假人早，进而手臂会压缩到假人的胸部的时间也较早，从而肋骨位移曲线峰值时刻也较早。



4-a. Chest appearance of ES-2 dummy
4-a. ES-2 假人胸部外形



4-b. Chest appearance of Worldsid dummy
4-b. Worldsid 假人胸部外形

Figure 4. Chest appearance comparison between two dummies
图 4. Worldsid 假人和 ES-2 假人的胸部外形对比图

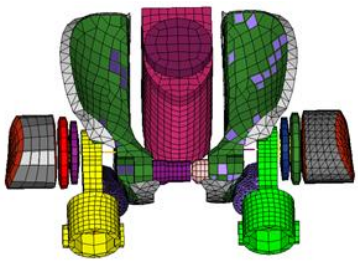
此外，由于 WorldSID 假人的腹部结构与胸部结构一样，均为双圈形肋骨结构，宽度与胸部一致；而 ES-2 假人腹部比胸部窄，ES-2 假人腹部外表面与 WorldSID 假人的腹部外表面宽度差为 40mm，如图 5 所示。在碰撞过程中，车门的扶手由于有一定的凸出量，会先与 WorldSID 假人腹部发生接触，假人腹部由于先与扶手发生挤压，对胸部起到了一定的缓冲作用，因此使得初期，WorldSID 假人肋骨位移偏小。而随着碰撞的进行，车门压缩到 WorldSID 假人的手臂，手臂又压缩到肋骨，此时肋骨位移出现峰值。

Figure 5. Abdomen appearance comparison between two dum-mies：Worldsid (blue) and ES-2 (red)
图 5. Worldsid（蓝色）和 ES-2（红色）假人的腹部外形对比图

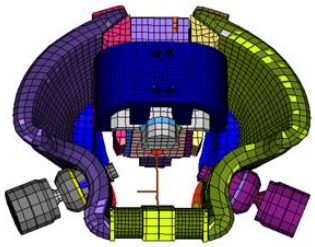
对比两个假人的肋骨压缩量，不难看出，WorldSID 假人峰宽较窄，而 ES-2 假人峰宽较宽，这也与两个假人的结构有关。ES-2 假人由于腹部比 WorldSID 假人窄，因此在碰撞过程中，胸部均匀受力，腹部与扶手无接触；而 WorldSID 假人最初腹部会与扶手接触，缓冲了胸部受到的挤压，直到车门与手臂接触，进一步压缩肋骨产生位移，因此，峰宽比较窄[5]。

5Worldsid 假人和 ES-2 假人骨盆动力学响应对比

Worldsid 假人和 ES-2 假人的骨盆结构差异如图 6 所示。二者的骶骨结构类似，左右两侧均连接两块塑性额骨翼，主要区别在于左右两侧的耻骨力传感器方向：ES-2 假人的耻骨力传感器与假人大腿垂直，当车门入侵后，垂直压缩橡胶缓冲块，传感器出现压缩力信号；而 Worldsid 假人的耻骨力传感器不与假人大腿垂直，而是呈一定角度，这使得二者在碰撞过程中会出现响应差异。



6-a. Pelvis structure of ES-2 dummy
6-a. ES-2 假人骨盆结构



6-b. Pelvis structure of Worldsid dummy
6-b. Worldsid 假人骨盆结构

Figure 6. Pelvis structure comparison between two dummies
图 6. Worldsid 假人和 ES-2 假人的骨盆结构对比图

图 7 为无侧气囊配置的情况下的两种假人侧面碰撞的耻骨合力曲线对比。对比发现：Worldsid 假人的耻骨合力比 ES-2 假人偏小，响应时间也偏晚。耻骨力出现这样的差异与耻骨力传感器的结构有关，由于 Worldsid 假人耻骨力传感器与大腿不垂直，且呈一定角度，当受到相同冲击的时候，冲击力会产生分量而使得合力偏低[6]。

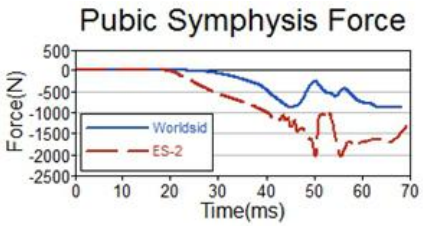
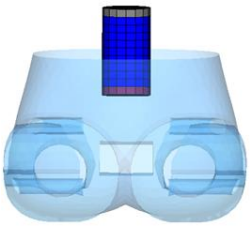


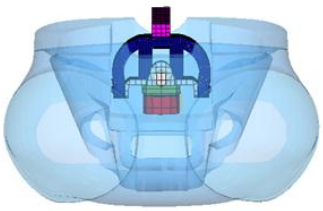
Figure 7. Pubic symphysis force comparison between two dum-mies
图 7. Worldsid 假人和 ES-2 假人的耻骨合力对比图

6 Worldsid 假人和 ES-2 假人腰椎动力学响应对比

Worldsid 假人和 ES-2 假人的腰椎结构也有很大差异，如图 8 所示。ES-2 假人的腰椎是使用圆柱形橡胶块构成，中间有一根钢丝绳，由该橡胶柱连接腹部与臀部，上下半身可发生的相对运动自由度很小。而 Worldsid 假人的腰椎做了一定改进，其使用了马蹄形状的橡胶结构连接腹部与臀部，中间有两个橡胶立柱，这两个橡胶立柱在受力时，可以在平台上自由滑动[7]。



8-a. ES-2 假人腰椎结构



8-b. Worldsid 假人腰椎结构

Figure 8. Lumbar structure comparison between two dummies
图 8. Worldsid 假人和 ES-2 假人的腰椎结构对比图

图 9 为两种假人侧面碰撞的腰椎受力曲线对比。与耻骨合力趋势相同，Worldsid 假人的腰椎力比 ES-2 假人偏小，响应时间也偏晚。这主要是由于两个假人腰椎结构的差异导致，Worldsid 假人上半身与下半身连接相对 ES-2 更灵活，当受到外力时，Worldsid 假人的腰椎橡胶立柱可以在平面上滑动，该滑动会将腰椎的受力减弱。

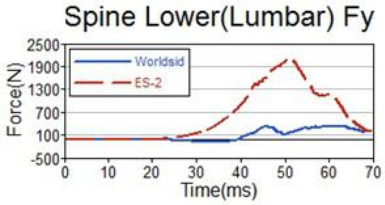


Figure 9. Lumbar force comparison between two dummies
图 9. Worldsid 假人和 ES-2 假人的腰椎受力对比图

另外，腰椎的结构差异还会影响到其他部位的受力：ES-2 由于腹部与臀部连接更紧固，当耻骨受力较大时，腹部也会出现受力较大的趋势；而 Worldsid 假人的腹部与臀部连接较为灵活，两个部位互相的影响较弱。

7 结论

通过仿真计算，对比 Worldsid 假人和 ES-2 假人各部位伤害曲线的动力学响应差异，结合两个假人的构造以及传感器结构，可以得出以下结论：

a）两个假人头部响应差异较小，在约束系统匹配时不需要特殊考虑；

b）在无侧气囊的情况下，Worldsid 假人的上肋及中肋压缩量出现前期偏低，后期偏高的趋势，这是由于 Worldsid 假人腹部较宽，与车门内饰接触可以缓冲胸部受力引起，到碰撞后期才会出现峰值，因此在约束系统匹配时，需要着重优化侧气囊点火时间及上、中肋的保护；

c）Worldsid 假人的耻骨合力及腰椎受力均比 ES-2 假人低，且响应时间偏晚，这主要和耻骨力结构及腰椎结构差异相关，在约束系统匹配时，Worldsid 假人的骨盆保护更容易。

参考文献 (References)

[1] LI Li, ZHU Xi-chan, MA Zhi-xiong. Comparison of WorldSID and ES2 Performance Based on Madymo, Journal of Jiamusi University, 2013, Vol.31, No.6. 基于 Madymo 的 WorldSID 和 ES2 假人性能比较. 佳木斯大学学报, 2013 年, 第 31 卷, 第 6 期.

[2] China New Car Assessment Programme(2018). TianJin. 2016. C-NCAP 评价规则（2018 版）.天津.2016.

[3] LIU Lei, ZHU Haitao, LI Chong, WANG Kai. Study on the WorldSID 50th Percentile Male Dummy Model, TianJin Science & Technology, 2014, Vol.41, No.8. WorldSID 50 百分位男性假人研究. 天津科技, 2014 年, 第 41 卷, 第 8 期.

[4] First Technology Safety Systems, Inc. WorldSID 50th Per-centile Dummy Users Manual Revision A, 2007. 7.

[5] S. Moss S.，Wang Z.，Salloum M.，et al. Anthropome-try for WorldSID，a world-harmonized midsize male side im-pact crash dummy[R]. First Technology Safety Sys-tems，Plymouth，MI(US)，2000.

[6] H T Z, Zhong Y H, Ji Y. Rear Female Dummy Submarining Research Base on C-NCAP Regulation[C]. Advanced Man-ufacturing & Information Engineering Intelligent Instru-mentation & Industry Development, 2014.

[7] Iwata K.，Tatsu K.，Saeki H.，et al. Comparison of dummy kinematics and injury response between World-SID and ES-2 in side impact[J]. SAE International Jour-nal of Transporta-tion Safety，2013，1(1)：192-199.