

客车乘员座椅动态试验的仿真研究

卢琳兆^{1,2} 吴晓明² 崔朝军¹ 叶松奎¹ 吴长风¹

(1.厦门金龙联合汽车工业有限公司,福建 厦门 361023;2.厦门大学,福建 厦门 361005)

摘要:依据 GB13057-2014 法规要求,应用 Hypermesh 软件建立客车座椅动态试验的有限元模型,接着调用 Hybrid III 50% 男性假人,调整其姿态,同时把已建好的有限元模型及调整好 01.1 的多面体假人进行耦合设置并提交计算。结果表明,仿真分析结果与试验结果在运动过程、变形情况、乘员伤害值等方面具有较好的一致性,仿真模型能够预测和代表试验段在试验测试中的力学行为,并为后期的座椅动态安全性优化提供可靠的依据。

关键词:客车座椅;动态试验;耦合计算

中图分类号:U461.91 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-4801(2016)01-103-04

客车事故多种多样,但绝大多数事故都与碰撞有关。在所有客车碰撞事故中,正碰所占的比例约为 29.46%,仅次于侧翻事故的比例^[1]。相关资料表明,在客车碰撞所造成的人员伤亡中,因乘员与座椅之间的二次碰撞或座椅与车体相连部位的破坏占了相当大的比例^[2]。有鉴于目前国内客车正碰事故的居高不下以及其危害性和严重性,我国已将 GB13057-2014《客车座椅及其车辆固定件的强度》标准升级为强制性标准。

本文基于 GB13057-2014 标准对客车座椅及其车辆固定件的变形和乘员伤害进行仿真研究。实际表明研究客车座椅及其车辆固定件的动态安全性对于提升和指导国内客车主机厂及座椅配套企业的技术水平同样具有参考和借鉴意义。

1 仿真研究方法

1.1 座椅试验段的有限元模型

为了能真实地反映客车乘客座椅试验段模型,采用壳单元来建立其车体骨架、座椅骨架、座椅蒙皮、台车骨架等结构,座椅内部的小钢丝及横向滑杆则采用 1D 单元来模拟,座椅座垫调整弹簧则采用具有一定刚度的圆柱铰来模拟,而靠背与座垫之间的转动则用转动副来模拟。客车座椅动态试验仿真的有限元模型如图 1 所示,共有 1D 单元 642 个、2D 单元 197 925 个、结点 199 094 个。其中三角形单元为 4836 个、约占 2.44%,满足小于 5% 的要求。

1.2 乘员损伤建模

把 MADYMO 中的 Hybrid III 50% 的男性刚体

假人导入到已经建好的座椅有限元模型时,由于坐标位置不一样,使得假人的 H 点的位置与座椅 R 点的位置不重合且各关节的角度与试验状态的假人不一样,故需要调整假人的 H 点相对坐标位置,使其 H 点与 R 点重合,并调整角度使假人能舒适、自然地坐在座椅上,如图 2 所示。

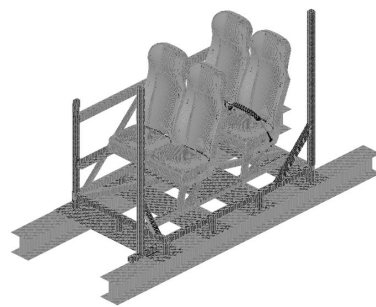


图1 客车乘客座椅试验段的有限元模型

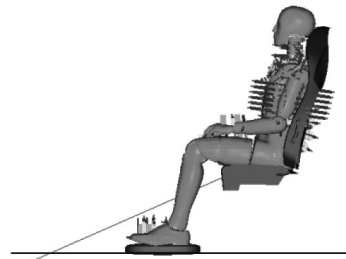


图2 最终的假人模型

1.3 耦合设置

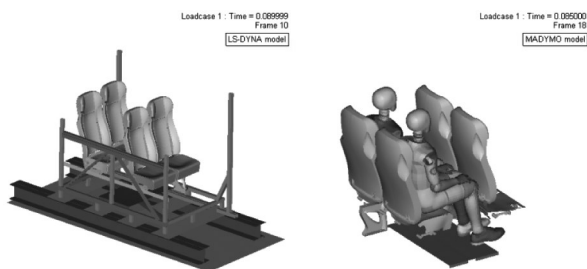
把上述已完成的客车座椅及其固定件的 K 文件及调好的 MADYMO 假人模型导入到 MADYMO Coupling Assistant 中去,然后在 coupling 的模块下对假人与座椅安全带、假人与座椅靠背及座垫、假人鞋子与前方座垫进行接触设置后即可导出耦合后的有限元模型的 K 文件和假人模型的 xml 文件,最后同时提交计算。

2 仿真结果分析

2.1 试验一仿真结果分析

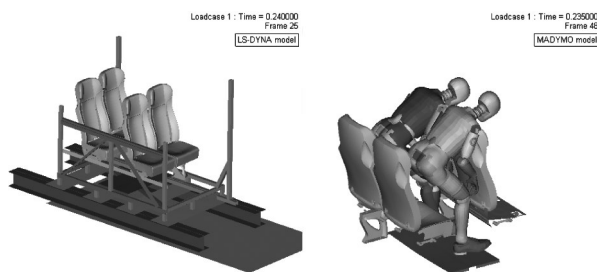
作者简介:卢琳兆(1982-),男,工程师,硕士,研究方向:客车被动安全技术。

根据GB13057-2014法规要求,在进行试验一(见图3、4)时,要求假人不系安全带,这时假人与座椅相作用,通过查看座椅的变形及破坏情况来判断其是否满足法规要求。客车前面的乘客座椅受到后面假人的冲击作用后,由于靠背旋转副被锁死,这时前面座椅的骨架结构会产生变形,从而可以通过应力应变的云图(见图5、6、7)来判断座椅骨架结构是否会破坏。



(a)座椅台车有限元模型的运动状态一 (b)MADYMO假人模型的运动状态一

图3 试验一假人大腿与座椅靠背接触



(c)座椅台车有限元模型的运动状态二 (d)MADYMO假人模型的运动状态二

图4 试验一假人肩部与座椅靠背接触

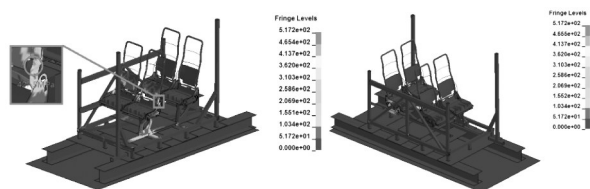


图5 试验一假人大腿与靠背接触时的应力云图

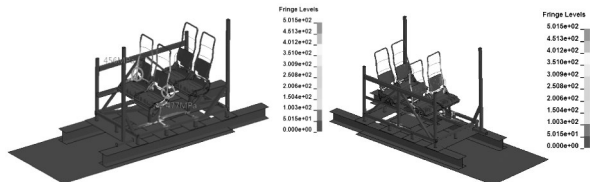


图6 试验一假人肩部与靠背接触时的应力云图

从图7应变云图可以看出,试验段有限元模型中应变最大的地方发生在前座椅靠背与坐垫旋转副连接附件。其中,假人大腿与靠背接触时的最大应变为0.06;假人头部与座椅靠背接触时的最大应变为0.075,都远小于其对应材料的应变

值,故不会破坏。可见试验一满足法规要求。

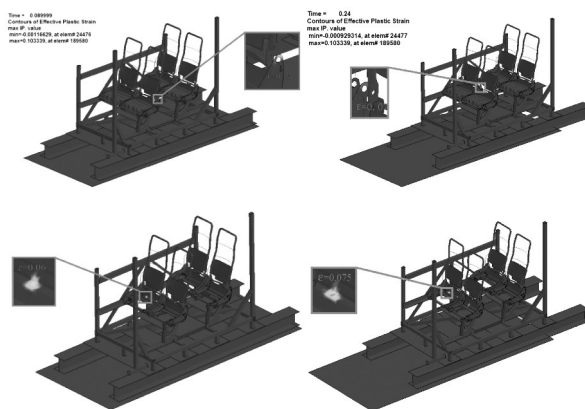


图7 座椅应变云图

2.2 试验二仿真结果分析

根据GB13057-2014法规要求,在进行试验二时,要求假人系安全带,这时假人与座椅相作用,通过查看假人头部合成加速度及HIC、胸部合成加速度ThAC、大腿轴向受力FAC来判断其是否满足法规要求,具体详见图8、9、10。

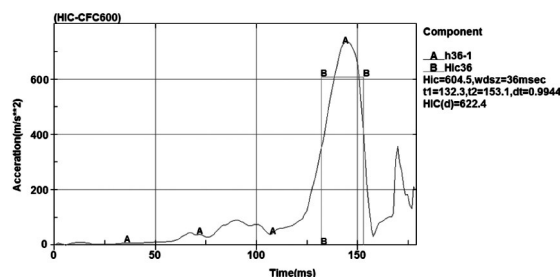


图8 仿真结果的假人头部合成加速度及HIC

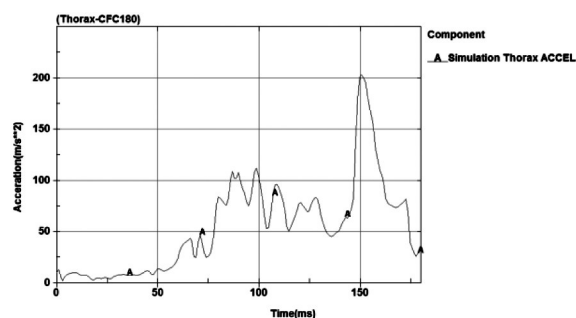


图9 仿真结果的假人胸部合成加速度ThAC

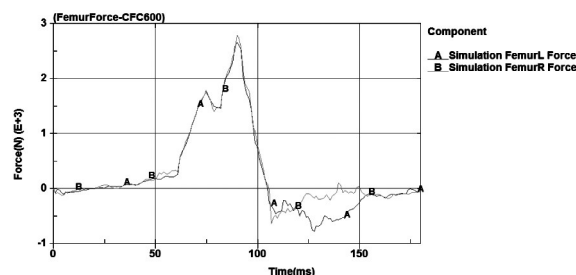


图10 仿真结果的假人腿部轴向力FAC

从上述图中可以看出,仿真分析的假人头部加速度 $HIC=604.5$ (大于 500),胸部加速度 $ThAC=203.55 \text{ m/s}^2$ (小于 $30g, g=9.8 \text{ m/s}^2$),左、右大腿轴向受力最大值分别为 2661.7 N 、 2792.5 N (均小于 10 kN)。仿真分析的结果表明:假人头部伤害不满足法规要求,其余均满足法规要求。

3 与试验结果对标验证

为了验证仿真模型是否可靠须进行试验验证。对比仿真结果与试验测量值之间差值,如果它们间的误差在合理的范围内,就可以判断仿真模型是可靠的、有效的,进而才能进行后续的优化分析,使得假人的头部 HIC 、胸部 $ThAC$ 及左右大腿 FAC 等指标均满足法规要求。

3.1 座椅变形及假人运动状态对比

本文截取了 $t=0 \text{ ms}$ 、 62 ms 、 85 ms 、 105 ms 、 140 ms 、 156 ms (即试验开始、小腿与靠背接触、大腿与靠背接触、头部开始与靠背接触、头部完全与靠背接触及头部开始脱离靠背)等6个时间历程画面进行试验与仿真分析对比,具体如图 11 所示。

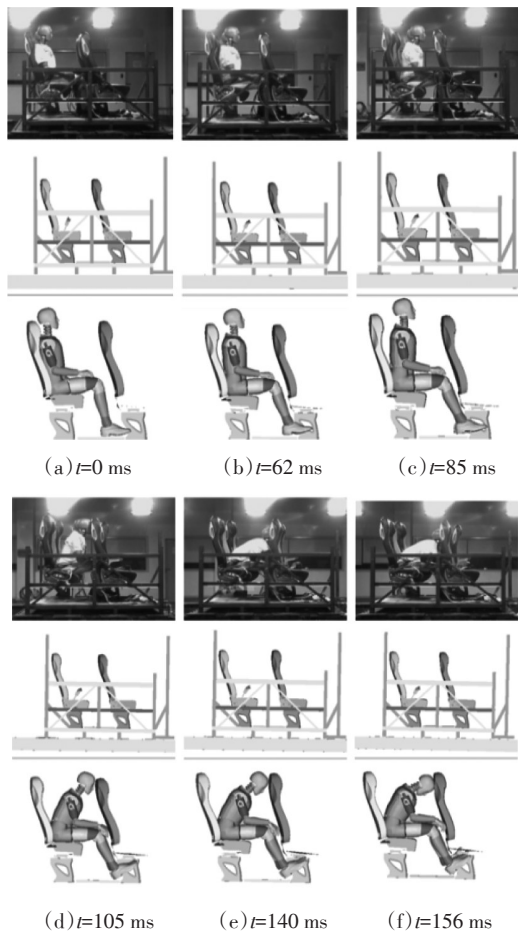


图 11 假人及座椅变形运动过程对比

从图中可以看出,在座椅动态试验及仿真过程中,仿真模型中假人及座椅靠背的变形与试验结果均较接近。稍有区别的地方,主要是仿真时假人头顶比较多接触座椅靠背表面,试验则脸与靠背接触。

3.2 假人损伤指标对标

通过对交通事故的数据研究表明碰撞事故中人的头部、颈、胸部及腿部等为经常受伤的部位^[3,4],故根据 GB13057-2014 法规要求,在分析中必须输出假人模型的头部 HIC 、胸部 $ThAC$ 、腿部 FAC 指标,然后看其值是否满足法规要求。所以除了要求座椅和假人在冲击时间历程中的运动方式相符合外,还需对比这些可对乘员造成伤害的指标。由于试验数据部分缺失,本文主要对比头部加速度曲线及 $HIC36$ 值,以及胸部合成加速度值和左右大腿的轴向受力情况。

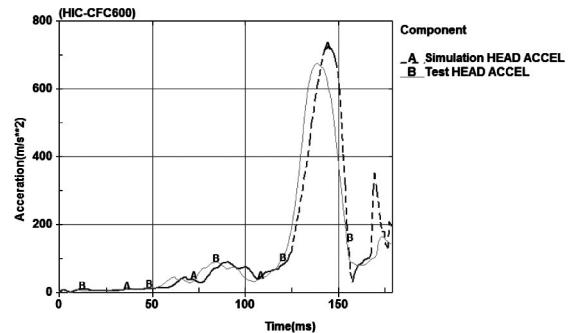


图 12 头部合成加速度曲线

从图 12 可以看出,头部加速度曲线,仿真模型与试验模型除了峰值不同,还有存在一定的相位差,查阅相关资料,其差值在 15% 以内一般是可以接受的。各具体数据对比见表 1 所示。

表 1 试验与仿真模结果对比

模型	FAC_L/N	FAC_R/N	HIC	ThAC/(m/s^2)	WIC
试验模型	1900	1900	560.4	197.4	0.91
仿真模型	2661.7	2792.5	604.5	203.55	0.98
误差	40.09%	46.97%	7.87%	3.11%	7.69%

从表中可以看出,仿真模型的加权伤害指数 WIC 值为 0.98,试验模型的 WIC 值为 0.91,二者相差 7.69%。对于重要指标,如 HIC 和 $ThAC$ 的误差分别为 7.87% 和 3.11%,虽然腿部轴向受力值相差很大,但其权重在 WIC 中只占 5%,影响较小。故可以认为此仿真模型与试验模型是比较接近的,可以用于后续改进及优化分析。(下转第 109 页)

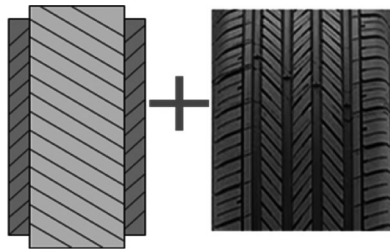


图8 轮胎带束层(左)、轮胎花纹(右)

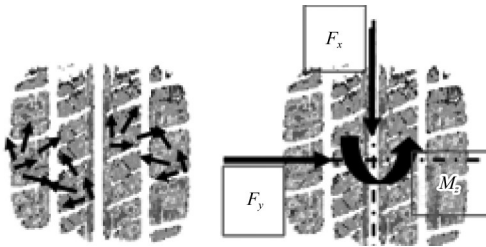


图9 轮胎侧向力的合力

有所区别(见图10),主要是由轮胎的内气压和所受负荷决定的。车辆左右轮胎充气压力相差过大

时会影响到左右轮胎的动负荷。

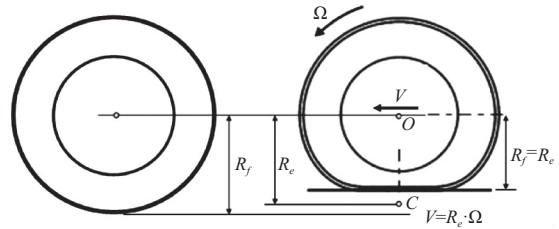


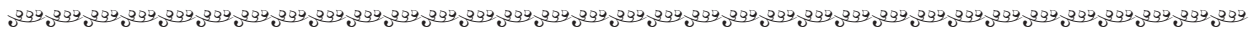
图10 R_r 与 R_e 区别示意图

4 小结

要减少车辆的跑偏,需要不断优化参数四轮定位参数外倾角、后倾角、前束角等值的设计,同时也要提升零件如前减震器、车架,轮胎等相关部件的设计和制造精度。影响车辆跑偏的因素是多方面的,认清及分析这些影响因素,有利于在设计开发过程中减小或避免这些因素对车辆跑偏的影响,提升造车品质。

参考文献:

[1] 叶芳,李仕生.汽车结构与维修[M].重庆:重庆大学出版社,2013:20-29.
 [2] 林礼贵.轮胎生产工艺[M].北京:化学工业出版社,2008.
 [3] 陈家瑞.汽车构造(上,下册)[M].北京:机械工业出版社,2009.



(上接第105页)

4 结论

本文根据GB13057-2014法规要求的试验方法,构建了座椅动态试验的仿真模型,通过计算获取了座椅靠背变形、座椅与车辆固定件间的变形、假人头部HIC值、胸部ThAC、左右大腿FAC值及假人运动的最终状态。这些参数不但提供了评价座椅动态安全性的量化指标,而且为后续验证提供了详实的数据。归纳如下:

1)结合相关仿真软件的特点,构建了一个基于GB13057-2014标准的座椅动态试验的耦合仿真模型,并对其安全性进行评价。通过该方法可以很直观地了解座椅及其固定点支架的变形情况及进行乘员伤害情况的分析;

2)采用LS-DYNA/MADYMO进行耦合分析时,不仅可以避免LS-DYNA有限元假人在计算过程中出现负体积问题而导致计算无法继续进行,还可以充分利用两软件间的优势使得计算精度及效率更高;

3)仿真分析与试验结果在运动过程、变形情况、乘员伤害值等方面具有较好的一致性,尤其是作为考察乘员头部伤害的HIC值的误差仅约有7.87%(远小于15%)。表明本文所建立的仿真模型精度较高、有效性好,可以用于预测和代表试验段在试验测试中的力学行为,并为后期的座椅动态安全性优化提供可靠的依据。

参考文献:

[1] 李毅.大客车侧翻碰撞安全性设计与优化关键技术研究[D].广州:华南理工大学,2012:1-18.
 [2] 金明新,王军华.客车座椅及其车辆固定件的被动安全性[J].客车技术与研究,2001(5):56-58.
 [3] Ed Colasanti. Design and Development of a Lightweight Seat Frame Using Magnesium Extrusion and Stamping[N]. SAE Paper, 1994-04-06.
 [4] 张红红.汽车座椅静强度有限元仿真分析及其结构优化[D].沈阳:东北大学,2006:3-9.