

Research on the Factors of the Consistency of Child Restraint System Sled Test

YANG Lang¹, ZHU Xichan¹, DONG Liping¹, MA Zhixiong¹, Zhang Shaowei²

¹*School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai, China, 201804*

²*East Joylong Motor Airbag Co. Ltd, Shijiazhuang, China, 050000*

Email: yanglang200826001@163.com

Abstract: There are some differences between the child restraint system test results with the sled test parameters varying in different laboratories. This study includes establishing the Group I general simulation model of the child seat in Madymo and using the full factorial experimental design method in the parameter sensitivity analysis. The sled parameters are cushion stiffness, seat belt stiffness, acceleration waveform and the length of the belt pulled out from retractor. The conclusion is that the length of the belt pulled out from retractor is the main factor of the consistency of the child restraint system test.

Keywords: Automotive safety; Sled tests; Child restraint system; Consistency

儿童约束系统台车试验一致性影响因素研究

杨浪¹, 朱西产¹, 董丽萍¹, 马志雄¹, 张绍卫²

¹同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

²东方久乐汽车安全气囊有限公司, 石家庄, 中国, 050000

Email: yanglang200826001@163.com

摘要: 不同试验室中台车参数的差异使得同一款儿童约束系统的台车试验结果有一定的差异。在Madymo软件中建立了某款I组通用类安全带前向固定儿童座椅台车试验仿真模型, 采用全因子试验设计方法研究了台车坐垫刚度、台车安全带刚度、台车加速度波形及台车安全带卷收器拉出量4个台车参数对试验结果一致性的灵敏度分析。研究得出台车安全带卷收器拉出量是造成儿童假人头部前移量一致性较差的主要因素。

关键词: 汽车安全; 台车试验; 儿童约束系统; 一致性

1 引言

儿童约束系统或称儿童安全座椅(Child Restraint System, CRS), 是汽车里用来约束、限位身高体重在一定范围内儿童乘员的所有装置的总称^[1]。虽然国家标准GB27887-2011《机动车儿童乘员用约束系统》规定了关于儿童安全座椅试验以及儿童乘坐最低标准, 但是我国目前并未出台有关儿童安全座椅的强制认证规定, 而且国内各个试验室对法规中的试验方法的理解有所不同, 导致目前存在同一款儿童座椅在不同的检测试验室或者厂家的试验室内进行动态测试时, 试验的结果会有一定的差异^[2]。解决儿童座椅动态试验中的一致性问题是评价儿童约束系统是否能够有效保护儿童乘员急需解决的难点。

2 台车试验结果差异

对儿童座椅动态试验结果进行统计分析,发现同一款儿童座椅在不同试验室中进行的动态试验结果有差异,儿童假人头部前移量一致性较差^[3]。以国内某款 I 组儿童座椅为例,在国内两大检测机构 A、B 以及厂家自己的试验室 C 进行动态试验,试验结果中头部位移量有很大的差异,结果如表 1 所示。在试验室 A 中进行的试验,使用该儿童座椅的假人头部位移量为 572 mm,已经超过法规规定的 550 mm 的位移限值;而在试验室 B 和 C 进行的试验结果却是截然相反,符合法规的要求。

Table 1 Test results of different laboratories

	头部水平最大位移/ mm
GB27887-2011 要求	< 550
检测机构试验室 A	572
检测机构试验室 B	545
厂家试验室 C	523

比较三个不同试验室中的试验条件,发现不同试验室中台车坐垫刚度、台车安全带刚度、台车卷收器安全带拉出量和台车冲击波形有差异。台车座椅的坐垫刚度会影响儿童座椅的运动姿态,进一步影响假人头部前移量;儿童座椅受到的约束力是通过成人安全带施加到座椅上,安全带刚度会影响儿童座椅的运动姿态,也会进一步影响假人头部前移量;卷收器设计为不同结构会导致在试验中台车安全带的拉出量不同,会影响假人头部前移量;整个动态试验是通过台车试验平台施加到儿童座椅上的,台车冲击波形也是影响儿童假人头部前移量的因素。

因此,本文从仿真中采用全因子试验分析方法研究了台车坐垫刚度、台车安全带刚度、台车加速度波形和台车安全带卷收器拉出量等 4 个因素对试验结果一致性的灵敏度分析。

3 儿童约束系统仿真模型的建立及验证

本文研究的原型座椅是国内某款 I 组通用类安全带前向固定的儿童座椅。在 MADYMO 软件中建立儿童约束系统仿真模型包括台车试验环境(包括试验用座椅、台车安全带等)、儿童假人模型、儿童约束系统模型等^[4]。其中,台车座椅采用多刚体模型简化成四个平面,其固定方式、材料特性和外形尺寸按照国家标准要求建立;台车安全带采用多刚体模型建立;儿童假人模型按照该儿童约束系统的使用特点选取了 TNO P3 儿童假人^[5];儿童约束系统模型的结构和几何尺寸由实物测量确定,并建立其有限元模型,机械特性则是通过零部件的物理试验获取。建立的儿童约束系统仿真模型如图 1 所示。

进行仿真分析时,利用 HYGEE 台车原理,直接对儿童假人和 CRS 所处的环境施加加速度场,从而不需要模拟台车台架结构也能获得相同的试验效果^[6]。仿真模型中加速度脉冲如图 2 所示。

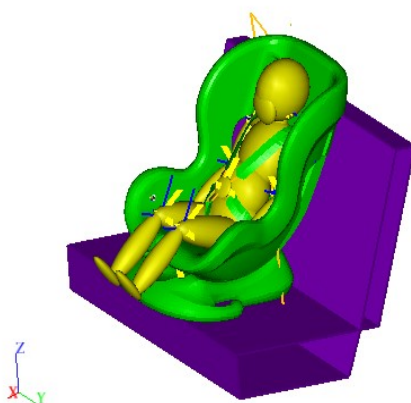


Figure 1. Simulation model of the child restraint system

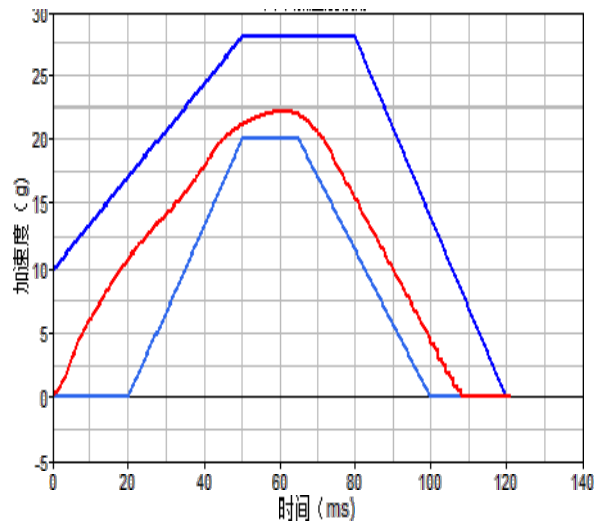


Figure 2. Curve: acceleration waveform of sled test

为了检验所建立模型的可靠性，必须利用台车试验结果进行验证^[7]。儿童假人头部合成加速度曲线、胸部合成加速度曲线以及主要儿童假人伤害评价指标是验证仿真模型有效性的几个重点考察对象^[8]。从儿童假人头部加速度对比（图 3）以及胸部加速度对比（图 4）可以看出，仿真的儿童假人头部加速度曲线和胸部加速度曲线与真实台车试验中的曲线在曲线趋势、峰值大小及范围、脉宽等方面都比较接近。仿真中的头部前移量和试验结果中的头部前移量分别为 538 mm 和 542 mm，误差为 7.4%，其他假人伤害评价指标对比如表 2 所示，仿真与试验的误差均不超过 15%。由此可以得出：仿真模型可靠，可用于后续研发等相关工作。

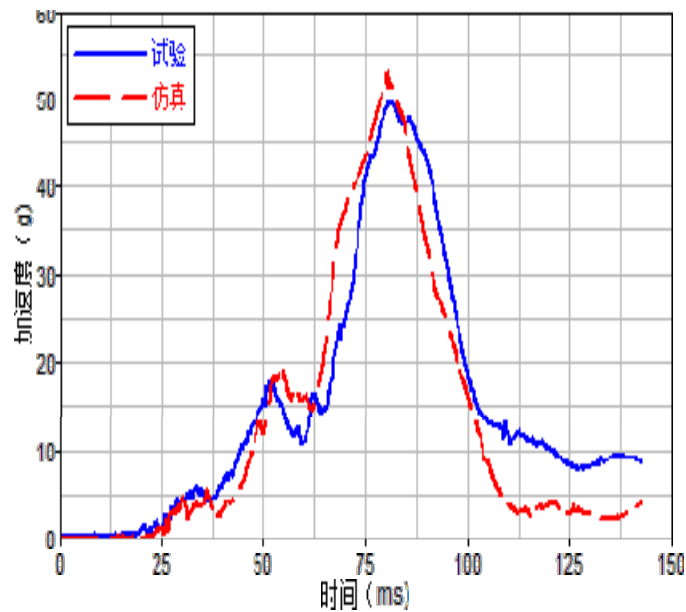


Figure 3. Curve: head acceleration of CAE mode and sled test

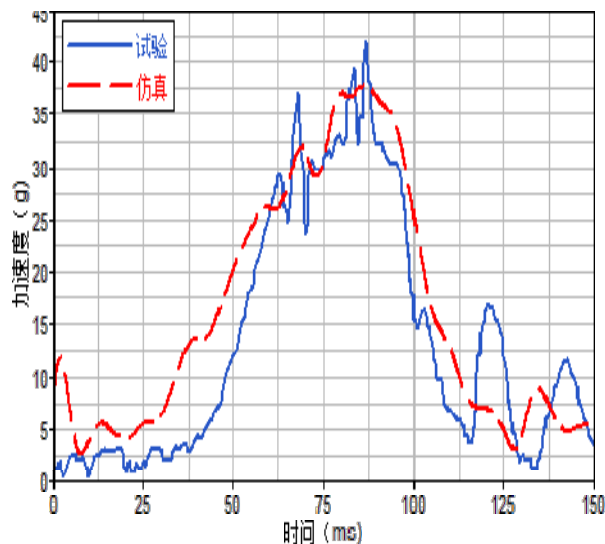


Figure 4. Curve: thorax acceleration of CAE mode and sled test

Table 2. Injury evaluation data of dummy

	试验结果	仿真结果	误差
胸部合成 加速度峰 值(3ms) (g)	42.09	37.96	-9.8%
胸部加速 度(Z方 向)峰值 (g)	20.99	19.12	-8.5%
头部水平 方向最大 位移(mm)	538	542	7.4%
头部垂直 方向最大 位移(mm)	704	720	2.3%

4 台车试验参数的选择

分析现有的儿童座椅台车试验方法,选择系统的输入参数即设计变量为:台车坐垫刚度、台车安全带刚度、台车加速度波形和台车安全带卷收器拉出量。各设计参数的分析及设置如下所述。

4.1 台车坐垫刚度

标准中对台车座椅的要求是座椅靠背和座椅都覆盖有聚氨酯泡沫,其抗压强度依据 ISO 2439B 为:压缩率为 25%时,抗压力为 125 N;压缩率为 40%时,抗压力为 155 N。并且要求定期对台车试验坐垫进行标定,标定结果与初始坐垫刚度误差在 15%以内为合格。由某检测机构提供的坐垫刚度每月标定结果可知,试验台车坐垫的刚度会随试验次数的增加而呈持续下降趋势。根据坐垫刚度标定结果选择坐垫刚度的取值范围如图 5 所示。

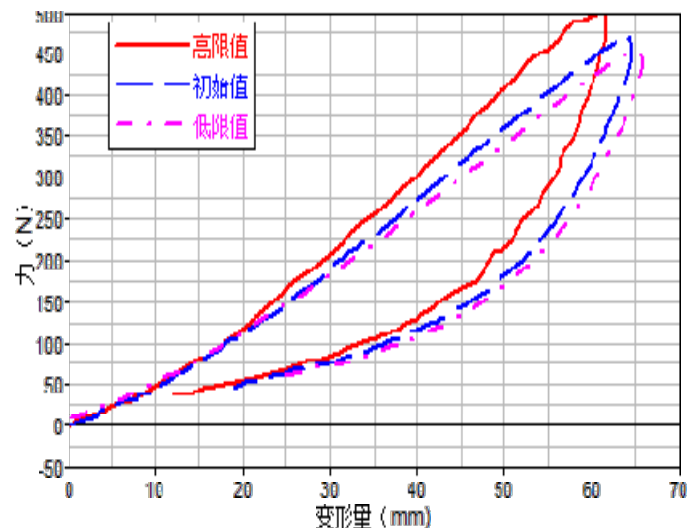


Figure 5. The range of cushion stiffness

4.2 台车安全带刚度

儿童座椅通过台车安全带安装在标准座椅上，受到的冲击惯性力也是通过台车安全带施加到标准座椅上。台车安全带刚度会影响儿童座椅的运动姿态，也会进一步影响假人头部前移量。GB27887—2011 对台车安全带刚度的要求是：安全带在拉力 10 kN 下，其延伸率为 6%~10%。台车安全带刚度取值曲线如图 6 所示。

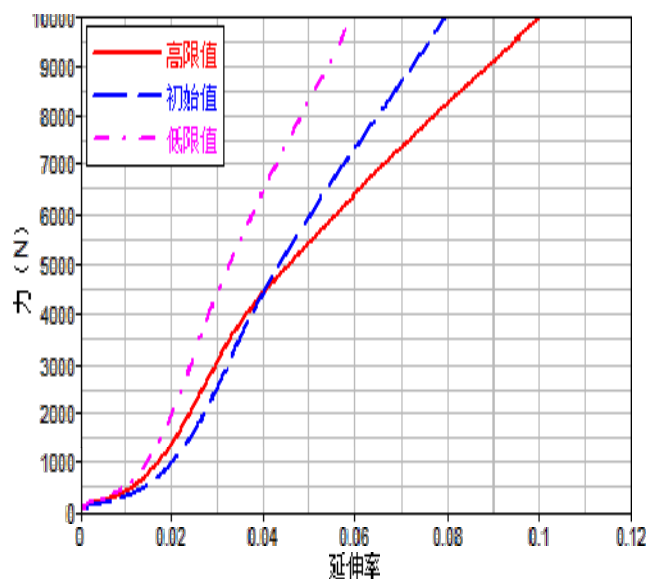


Figure 6. The range of sled belt stiffness

4.3 台车加速度波形

法规对台车加速度只有一个加速度上下限值和碰撞速度 48~50 km/h 的规定，并未规定台车加速装置，不同试验室的台车加速度波形存在一定差异。根据法规对台车波形上下限和碰撞速度的要求，选择的台车加速度波形的取值范围如图 7 所示。

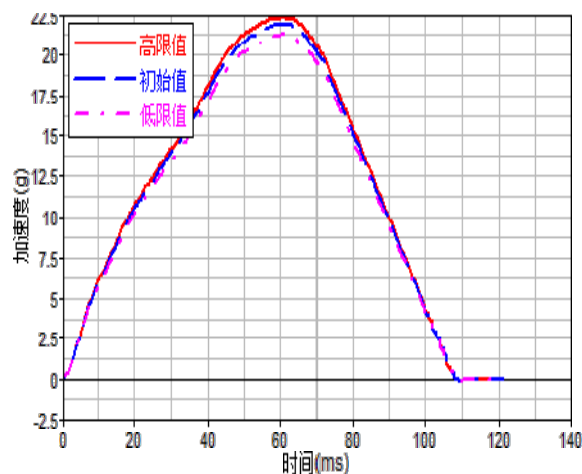


Figure 7. The range of acceleration waveform of sled test

4.4 台车加速度波形

台车安全带最终固定在一个通用卷收器中，卷收器设计为不同结构会导致在试验中台车安全带的拉出量不同。法规中对卷收器的要求是：卷收器和上导向环之间的织带张紧力为 1~7 N，松开 D 环，锁紧卷收器，使织带自由耦合。根据不同结构的台车安全带卷收器，选择台车卷收器拉出量的取值为：低限值为 0 mm、初始值为 0 mm、高限值为 40 mm。

本文研究的重点是儿童约束系统试验结果一致性问题，而试验结果差异性主要体现在儿童假人头部前移量不同。因此，试验设计的响应量为儿童假人头部前移量。正交试验系统参数如表 3 所示。

Table 3. Orthogonal design system parameters

	变量	初始值	参数范围	水平
设计变量	台车坐垫刚度		如图 5 所示	3
	卷收器拉出量	0mm	0mm、20mm、40mm	3
	台车安全带刚度		如图 6 所示	3
	台车加速度波形		如图 7 所示	3
响应量	儿童假人头部前移量			

5 全因子试验设计结果分析

采用全因子试验设计（Full Factorial）方法对台车试验参数灵敏度进行分析。根据上文选定的台车试验的四个设计参数及其变化范围对所选择的 4 个变量，每个变量设置 3 个水平，共进行 81 次仿真计算。

在全因子试验设计数据基础上，利用 Minitab 软件计算出儿童假人头部前移量的方差并得到各设计变量对响应量的贡献率和头部前移量主响应。台车加速度波形、卷收器拉出量和台车安全带刚度存在主响应，而台车坐垫刚度不存在主响应。同时，卷收器拉出量线最陡峭，卷收器拉出量主响应量值最大，表明台车安全带卷收器拉出量对系统响应值影响最大。各设计变量对响应量的贡献率如图 8 所示，头部前移量主响应如图 9 所示。

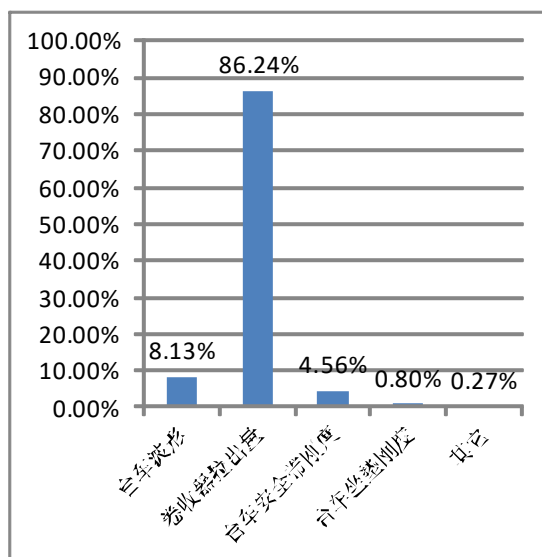


Figure 8. Contribution rate of design variables

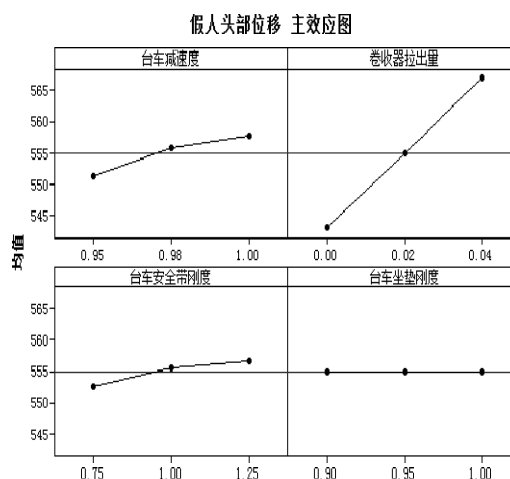


Figure9. Primary response plot of head forward distance

从设计变量的主效应图和对儿童假人头部前移量的贡献率图来看，可以得到的结论是卷收器拉出量对假人头部前移量影响最大，其次是台车加速度波形，第三是安全带刚度，坐垫刚度对假人头部前移量几乎无影响。

6 台车安全带卷收器拉出量影响分析

通过全因子试验设计方法对台车试验四个参数进行分析研究得出台车安全带卷收器拉出量对试验结果一致性影响最大。从理论分析来看，碰撞过程中随着台车上固定儿童座椅的安全带卷收器拉出量的增加，儿童座椅在惯性作用下向前运动的距离增加，而假人随着儿童座椅向前运动增加，使得头部前向位移量也随着增加。以卷收器拉出量 0 mm 为基础，当卷收器拉出量为 20 mm 和 40 mm 时，假人头部位移量分别增加了 21 mm 和 35 mm。因此，碰撞过程中台车安全带卷收器拉出量的不同，会导致试验后儿童假人前移量的不同，试验结果一致性较差。

7 结论

目前国内各个实验室对国标 GB27887-2011《机动车儿童乘员用约束系统》中试验方法的理解有所不同,导致在不同的检测认证试验室或者厂家的试验室内进行试验的结果会有一定的差异,特别是在儿童座椅的动态试验中的一致性问题更加明显。本文建立 I 组通用类前向安全带固定的儿童座椅仿真模型,对影响儿童假人头部前移量的因素:台车加速度波形、台车安全带卷收器拉出量、台车坐垫刚度和台车安全带刚度等参数进行了参数灵敏度分析。分析得出,台车安全带卷收器拉出量对儿童假人头部前移量影响最大,是造成儿童假人头部前移量一致性较差的主要因素。国标 GB27887-2011 中的动态试验方法并未对卷收器的结构进行详细规定,故在我国下一步强制认证儿童约束系统时,在动态试验方法上需要对卷收器的结构进行详细规定,统一台车安全带拉出量,可以更好的确保儿童座椅动态试验的一致性。

参考文献 (References)

- [1] GE Ruhai, MIAO Qiang. The summarize of child restraint system [J]. *Chin Safety Sci J*, 2006, 16(4): 42-47.
- [2] ZHU Hang. Research on child occupant injury classification and preventive measure [D]. Shanghai: *Tongji University*, 2013.
- [3] YU Yingcheng. Research on safety evaluation method of child occupant in passenger car [D]. Shanghai: *Tongji University*, 2013.
- [4] Kendall R G, Sherwood C P, Crandall J R. A computational study of rear-facing and forward-facing child restraints [R]. SAE (Society of Automotive Engineers). 2008-01-1233.
- [5] TNO MADYMO. Model Manual.Release7.4. The Netherlands:December 2013.
- [6] HU Jia. Research on child occupant safety in frontal and side impact based on test and FE simulations [D].Changsha: *Hunan University*, 2008.
- [7] YANG Xingmei, ZHANG Chaochen, YANG Jikuang. Parameter analysis and design optimization of child restraint system in vehicle frontal impacts [C]// *The 6th Int'l Forum of Automotive Traffic Safety* (INFATS), 2008-12.
- [8] National Highway Traffic Safety Administration. Standardized child passenger safety training program participant manual [S]. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2000.