

Correlation Research about Whiplash Test of Version 2015 and 2018 C-NCAP

Xingxing Feng^{1,2}, Huowang Wan^{1,2}, Zhonghua Wang^{1,2}

¹State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing 401122,

²China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd.

fengxingxing@caeri.com.cn

Abstract: The differences about whiplash test protocols and rating protocols between version 2015 and 2018 C-NCAP are compared. Based on those two versions test data of a driver seat, the influences from version 2018 on dummy are analyzed. Reducing the backset between dummy head and headrest and increasing the stiffness of headrest and reducing the stiffness of upper backrest are proposals to reducing the NIC and upper neck tension and moment. Those improvement measures are proved useful through additional test.

Keywords: C-NCAP; Whiplash test; Improvement measure

鞭打试验在 2015 版与 2018 版 C-NCAP 中的 相关性研究

冯星星^{1,2}, 万火旺^{1,2}, 王中华^{1,2}

¹汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 401122

²中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 401122

fengxingxing@caeri.com.cn

摘 要: 本文对比了 2015 版和 2018 版 C-NCAP 鞭打在试验规程和评分原则中的区别, 并基于某车型座椅的两个版本鞭打试验数据, 分析了 2018 版对试验假人的影响, 提出了减小假人头部与头枕之间的间隙、增大头枕刚度、减小靠背上部刚度三点改进措施, 以达到降低颈部伤害指数 NIC、上颈部拉力 Fz+和扭矩 My 的目的, 最后再次通过试验验证此改进方式有效。

关键词: C-NCAP; 鞭打试验; 改进措施

1 引言

随着中国汽车工业的发展, 各类交通事故也在逐年攀升。汽车碰撞事故形式主要有正面碰撞、侧面碰撞、翻滚碰撞和追尾碰撞, 近年来, 追尾碰撞在交通事故中的比例逐渐增多。据 2015 年中国内地道路交通事故统计年报统计, 追尾碰撞造成的事故 14397 起, 占事故总数的 7.67%^[1]。但由于追尾碰撞一般不会对乘员造成致命伤害, 因此一直未能引起人们的高度重视^[2]。在追尾事故中, 颈部的过度后仰与前伸过程使得颈部承受了较大的轴向力、剪切力以及扭矩等, 使颈部软组织承受过度的应力而造成不同程度的损伤^[3]。事故后, 伤者的颈部会感到不同程度的不适, 这种伤害并不致命, 但是伤后康复的过程非常复杂、漫长, 有些甚至是不可治愈的永久伤害^[4]。

上世纪 90 年代, 为了提高汽车座椅在追尾事故中对乘员颈部的保护效果, 欧美国家便成立了专门的工作小组进行相关的试验研究^[5]。美国 IIHS、欧洲 Euro-NCAP、日本 J-NCAP 在本世纪初先后将鞭打试验纳入各自的新车评价体系中, 我国 C-NCAP 在 2012 版中首次引入鞭打试验, 随后在 2015 版与 2018 版中分别提出了更高的评分要求。本文将对 2015 版与 2018 版鞭打试验的差异, 并进行 2015 版与 2018 版鞭打试验, 通过试验结果

分析了由于试验速度的提高与评分原则的变化所带来的得分差异，同时对座椅的相关结构进行改进后再次进行 2018 版鞭打试验，最终取得了较高的评价分数。2 2015 版与 2018 版鞭打试验的差异^{[6][7]}

2.1 试验波形的差异

试验波形的速度由 2015 版的 $15.65 \pm 0.8 \text{ km/h}$ 增加为 2018 版的 $20 \pm 1 \text{ km/h}$ 。

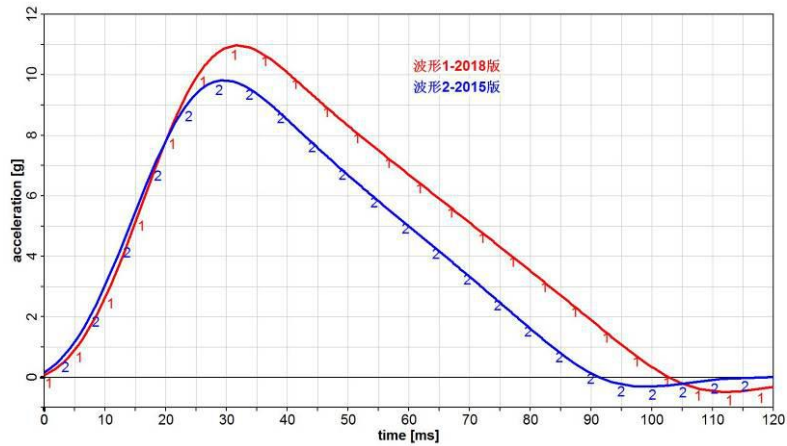


Figure 1. Test Pulse
图 1. 试验波形

2.2 罚分项的差异

- 2.2.1 座椅靠背动态张角由 2015 版的 19° 增加为 2018 版的 25.5° ，评分不变；
- 2.2.2 头枕干涉头部空间评分不变；
- 2.2.3 座椅滑轨动态位移罚分由 2015 版的 -4 修改为 2018 版的 -5。

2.3 评分原则的差异

- 2.3.1 各评价指标的高低性能限值并未发生改变；
- 2.3.2 在 2018 版中，评价总分由 4 分提高到 5 分，颈部伤害指标 NIC 的得分 2 分不变，上颈部和下颈部的拉力、剪切力和扭矩得分由 1 分增加为 1.5 分。
- 2.3.3 由表 1 可以看出，在 2018 版中，降低了 NIC 在评价总分中所占的比值，提高了上颈部和下颈部的比值。

Table 1. Assessment Comparison of Two Versions
表 1. 两版评分原则比较

评价指标	2015 版	2018 版
NIC	2 分（50%）	2 分（40%）
上颈部拉力、剪切力和扭矩	1 分（25%）	1.5 分（30%）
下颈部拉力、剪切力和扭矩	1 分（25%）	1.5 分（30%）
座椅靠背动态张角	-2 分	-2 分
头枕干涉头部空间	-4 分	-5 分
座椅滑轨动态位移	-2 分	-2 分

3 某车型座椅鞭打试验结果对比分析

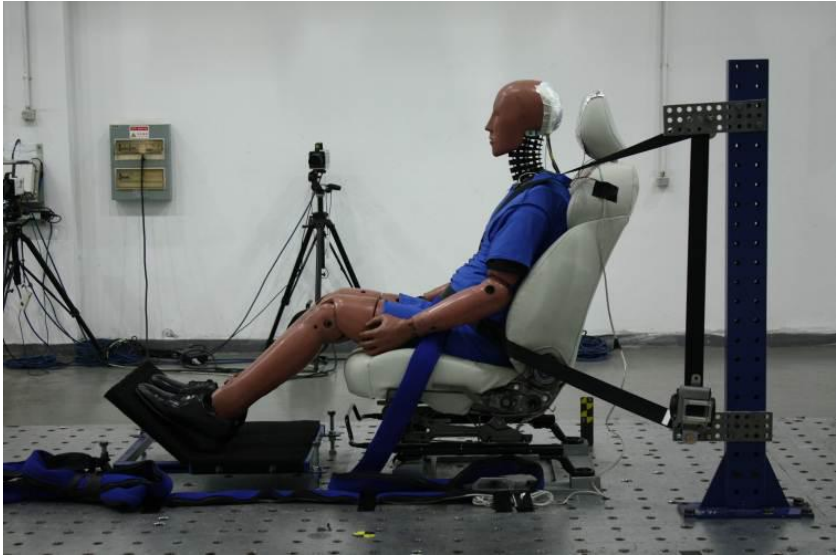


Figure 2.Whiplash Test of a Seat
图 2. 某车型座椅的鞭打试验

对同一型号的驾驶员座椅分别进行 2015 版和 2018 版鞭打试验，两次试验假人伤害值及得分见表 2、表 3。

Table 2. Test Result of Version 2015 C-NCAP
表 2. 2015 版 C-NCAP 鞭打试验结果

评价指标	高性能限值	低性能限值	试验值	各项得分	最终得分	5 分值化得分
颈部伤害指数 NIC	8 m²/s²	30 m²/s²	12.48 m²/s²	1.59		
上颈部 Fx+	340N	730N	0.14N	1.00		
上颈部 Fz+	475N	1130N	404.10N	1.00	1.00	
上颈部 My	12N · m	40N · m	11.06N · m	1.00		
下颈部 Fx+	340N	730N	215.64N	1.00		
下颈部 Fz+	257N	1480N	172.92N	1.00	1.00	3.59
下颈部 My	12N · m	40N · m	5.29N · m	1.00		4.49
座椅靠背动态张角	≤19°	≥19°	10.60°	0		
头枕干涉头部空间	N	Y	N	0	0	
座椅滑轨动态位移	≤20mm	≥20mm	0	0		

Table 3. Test Result of Version 2018 C-NCAP
表 3. 2018 版 C-NCAP 鞭打试验结果

评价指标	高性能限值	低性能限值	试验值	各项得分	最终得分
颈部伤害指数 NIC	8 m²/s²	30 m²/s²	13.31 m²/s²	1.52	
上颈部 Fx+	340N	730N	14.67N	1.50	
上颈部 Fz+	475N	1130N	547.98N	1.33	1.00
上颈部 My	12N · m	40N · m	21.35N · m	1.00	
下颈部 Fx+	340N	730N	225.56N	1.50	
下颈部 Fz+	257N	1480N	162.97N	1.50	1.50
下颈部 My	12N · m	40N · m	6.63N · m	1.50	
座椅靠背动态张角	≤25.5°	≥25.5°	14.10°	0	
头枕干涉头部空间	N	Y	N	0	0
座椅滑轨动态位移	≤20mm	≥20mm	0	0	

由于两个版本的总分不同，无法将最终得分进行直接比较，因此为了清楚和方便进行比较，将 2015 版的最终得分转化为 5 分值下的得分，即用 2015 版的得分乘以 5/4 作为最终得分。

从表 2、表 3 可以看出，由于 2018 版试验波形速度的增加，导致得分降低了 10.47%，影响最终得分的为 NIC、上颈部 Fz+和 My，其中上颈部 Fz+和 My 均超过高性能限值，为新增扣分项；同时座椅靠背动态张角由 10.60° 增加为 14.10°。因此，为了在 2018 版 C-NCAP 中取得较高的星级评价，就必须对该试验座椅进行改进。

4 座椅结构的改进

4.1 对改进前假人伤害值进行分析

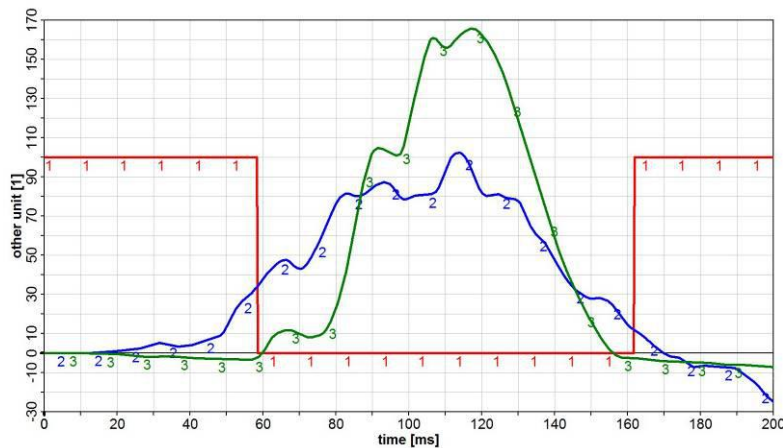


Figure 3. Head Ax、T1、Contact Time
图 3.头部 Ax、T1、接触时间

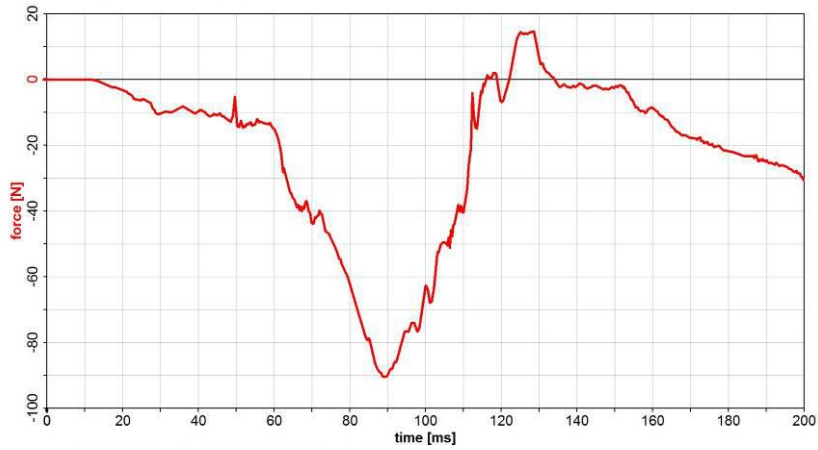


Figure 4. Upper Neck Fx+
图 4.上颈部 Fx+

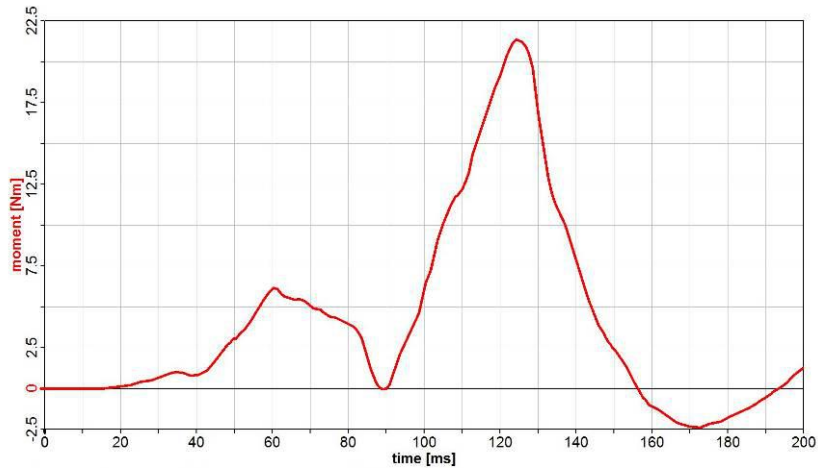


Figure 5. Upper Neck My
图 5.上颈部 My

颈部伤害指标 NIC 是由 Bostrom^[8]提出的，体现头部与胸部之间相对运动的剧烈程度，是枕骨铰链相对于 T1 的水平加速度和速度的相对值：

$$NIC(t) = 0.2A_x^{rel}(t) + [V_x^{rel}(t)]^2, \text{ 其中 } A_x^{rel}(t) = A_x^{T1}(t) - A_x^{Heads}(t),$$

式中， $A_x^{rel}(t)$ 为枕骨铰链相对于 T1 的水平加速度， $V_x^{rel}(t)$ 为枕骨铰链相对于 T1 的水平速度，由此得出，头部水平加速度与 T1 加速度差值越大，则 NIC 值越大。

从图 3 看出，假人头部与头枕接触时刻为 58.6ms，NIC 值在 79.1ms 达到最大，由于头部与头枕的接触时刻和胸部与靠背的接触时刻在时间轴上存在的较大差异，从而导致了头部水平加速度与 T1 加速度差值较大，NIC 值则较大。

从图 4、图 5 看出，颈部的过度向后弯曲导致了上颈部拉力与扭矩的增加。

4.2 改进思路

座椅各结构的性能参数与假人颈部伤害值存在着多关联、相互影响的关系，要想降低假人颈部伤害值，应从多个方面对座椅进行改进。大量的研究与试验数据表明^{[9]-[11]}，造成假人鞭打试验得分较低的主要原因是 NIC 值偏高、上颈部拉力值和扭矩值过大。

基于以上分析，对座椅结构的改进将从以下几个方面着手：

4.2.1 减小假人头部与头枕之间的间隙。调整头枕杆倾斜角度，将假人头后间隙由 47.6mm 减小为 35.2mm，使得假人头部与头枕接触时刻提前，由此减小头部水平加速度与 T1 加速度的差值，从而达到降低 NIC 值得目的。

4.2.2 增大头枕刚度。将头枕杆套管厚度由 1.6mm 增加到 1.8mm。提高头枕的刚度，有利于限制假人颈部的过度向后弯曲，可减小扭矩值与拉力值。

4.2.3 减小靠背上部刚度。将靠背上半部的骨架钢丝由 Q235 更换为 Q215，可降低 T1 加速度上升趋势，有助于减小 NIC 值。

4.3 改进后试验结果

Table 4. Test Result of Version 2018 C-NCAP after Improvement

表 4. 改进后 2018 版 C-NCAP 鞭打试验结果

评价指标	高性能限值	低性能限值	试验值	各项得分	最终得分
颈部伤害指数					
NIC	8 m/s ²	30 m/s ²	10.53 m/s ²	1.77	
上颈部 Fx+	340N	730N	7.11N	1.50	
上颈部 Fz+	475N	1130N	468.36N	1.50	1.37
上颈部 My	12N·m	40N·m	14.50N·m	1.37	
下颈部 Fx+	340N	730N	221.22N	1.50	
下颈部 Fz+	257N	1480N	180.39N	1.50	1.50
下颈部 My	12N·m	40N·m	6.64N·m	1.50	
座椅靠背动态张角	≤25.5°	≥25.5°	14.10°	0	
头枕干涉头部空间	N	Y	N	0	0
座椅滑轨动态位移	≤20mm	≥20mm	0	0	

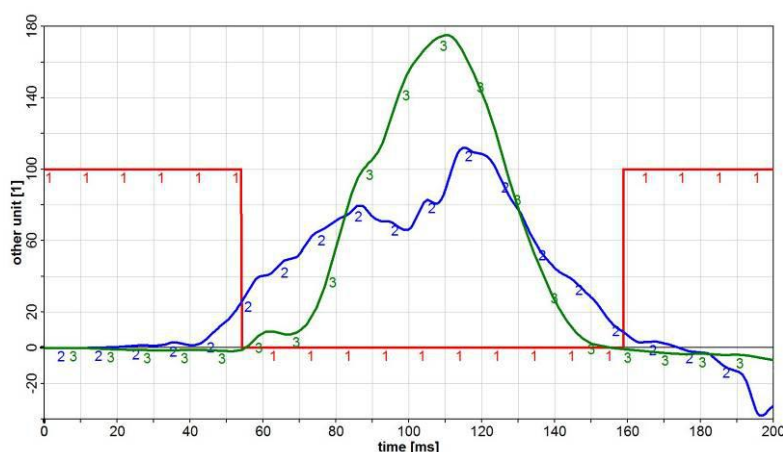


Figure 6. Head Ax, T1, Contact Time after Improvement

图 6.改进后头部 Ax、T1、接触时间

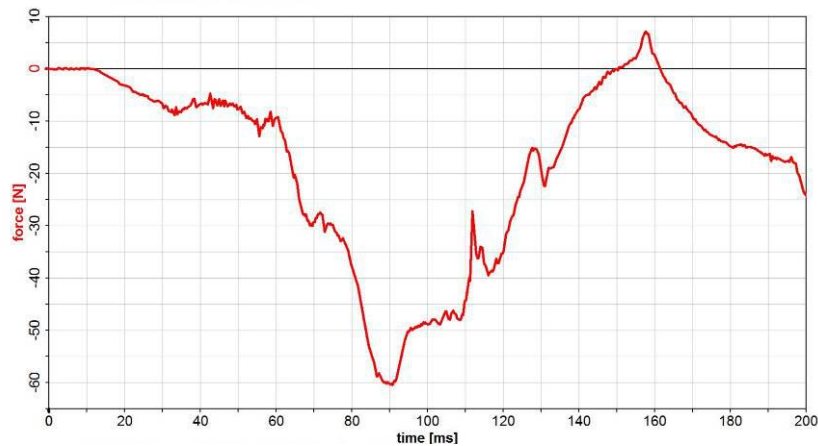


Figure 7. Upper Neck Fx+ after Improvement
图 7.改进后上颈部 Fx+

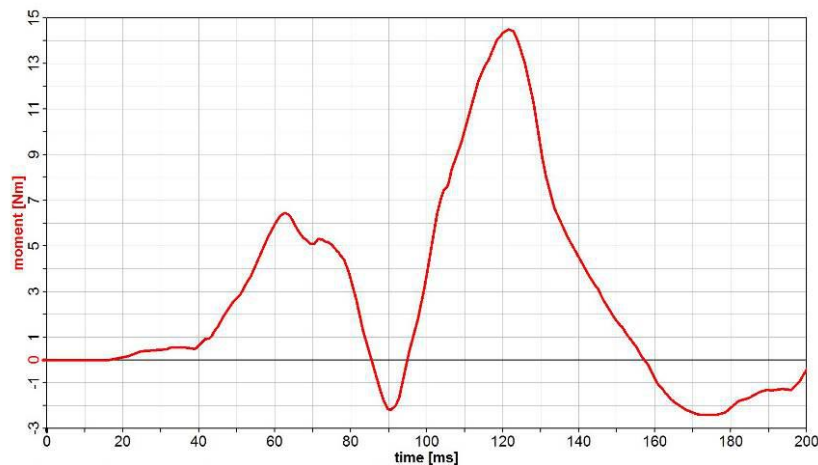


Figure 8. Upper Neck My after Improvement
图 8.改进后上颈部 My

可以看出,改进后,假人头部与头枕接触时刻为 54.2ms,较之前提前了 4.4ms,且 T1 加速度上升趋势明显平缓。同时上颈部拉力与扭矩也有所减小,使得最终得分为 4.64,较改进前提高了 15.42%。

5 后期工作

试验中使用了 BioRID II 假人,此假人是瑞典查尔莫斯大学的 John Davidsson 等^[12]根据鞭打试验的需求,在 Hybrid III 模型的基础上对脊椎部分进行优化,根据真实的人体脊椎结构建立 7 节颈椎、12 节胸椎和 5 节腰椎的 24 节脊椎结构。但 BioRID II 假人有其自身局限性,它不能直观地反映乘员韧带、脊椎和内脏等组织的伤害情况^[13]。

日本丰田汽车公司和丰田技术中心共同开发设计的 THUMS 模型是具有人体尺寸形态、皮肤和脂肪层特性、肌肉构造以及内脏器官的有限元模型^[14]。与 BioRID II 模型比较,THUMS 模型具有较高生物逼真度,能够模拟碰撞时人体的动态响应,可以从组织层面直观反映人体受伤程度,因此 THUMS 模型在仿真试验中颈部的损伤情况大于 BioRID II 模型^[15]。

从试验数据层面来看,虽然此次改进能提高座椅对颈部的保护作用,但由于使用的 BioRID II 假人结构与真实的人体结构具有一定的差异性,并不能充分反映颈部的损伤情况。因此,在后期的进一步优化过程中,将会

使用 THUMS 模型进行仿真试验,以期准确找出相应的改进措施。

6 结束语

近年来,越来越多的中高级轿车座椅采用了主动头枕,即在追尾碰撞过程中,头枕能向前移动,缩短头与头枕之间的距离,从而提前对颈部给予支撑作用,研究表明,主动头枕能大大减小颈部所受伤害^{[16][17]}。除此之外,丰田研发的 WIL 座椅^[18]、VOLVO 的 WHIPS 座椅^[19]以及 Ozdemir 等人提出的滑动座椅概念^[20]均能在追尾碰撞中对颈部起到有效保护作用。

随着 2018 版 C-NCAP 的发布,各试验机构和整车厂将会越来越重视鞭打试验。本文通过对某车型座椅的 2015 版和 2018 版鞭打试验数据进行分析,对比了两版试验规程的差异以及对试验假人产生的影响。在此基础上,提出三点提高鞭打试验得分最有效也是最经济的方式,最终目的是提前假人头部与头枕的接触时刻以及降低由于假人颈部过度弯曲产生的拉力和扭矩,从而有效地提高座椅的鞭打性能。

参考文献

- [1] Transport Administration of Public Security Ministry. Annual Report of the People's Republic of China on Road Traffic Accidents Statistics (2015)[R]. Beijing: Transport Administration of Public Security Ministry,2016.
公安部交通管理局.中华人民共和国道路交通事故统计年报(2015 年度)[R].北京:公安部交通管理局,2016.
- [2] Ono K, Kaneoka K. Motion Analysis of Human Cervical Vertebrae During Low Speed Rear Impacts by the Simulated Sled[C].1997:223-237.
- [3] Xuemang Dang, Rui Fang, Shugang Xie, Liming Yang. Analysis and Optimization of the Driver Seat in Whiplash Test[J].Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2015,32(2):190-195.
党雪芒,方锐,谢书港,杨黎明.某驾驶员座椅鞭打性能分析及优化[J].机电工程,2015,32(2):190-195.
- [4] Arthur C Croft, Patti Herring, Michael Freeman. The neck injury criterion: future considerations. Accident Analysis and Prevention,2002,34(2):247-255.
- [5] Yunsheng Yang, Xiaolong Zhang, Lei Lou. Relativity between Whiplash Test Assessment Systems of Different Countries Based on Sled Tests[J]. Journal Of Automotive Safety and Energy,2012,3(2):123-128.
杨运生,张晓龙,娄磊.基于台车试验的不同国家鞭打试验评价体系的相关性[J].汽车安全与节能学报,2012,3(2):123-128.
- [6] China Automotive Technology and Research Center.C-NCAP Management Rules(2015)[S].Tianjin:China Automotive Technology and Research Center,2015.
中国汽车技术研究中心.C-NCAP 管理规则(2015 版)[S].天津:中国汽车技术研究中心,2015.
- [7] China Automotive Technology and Research Center.C-NCAP Management Rules(2018)[S].Tianjin:China Automotive Technology and Research Center,2018.
中国汽车技术研究中心.C-NCAP 管理规则(2018 版)[S].天津:中国汽车技术研究中心,2018.
- [8] Bostrom. A New Neck Injury Criterion Candidate Based on Injury Findings in the Cervical Spinal Ganglia after Experimental Neck Extension Trauma[C].International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts,1996:123-136.
- [9] Hongyun Li, Rui Fang, Shenghua Qiao. The Improvement of Seat Performance in C-NCAP Whiplash Test[C]. 2013 China 16th International Symposium on Automotive Safety Technology.
李红运,方锐,乔胜华.某座椅 C-NCAP 鞭打试验性能改进与优化[C].2013 第十六届中国汽车安全技术国际研讨会.
- [10] Chunliu Chen,Yuanfang Tan, Zhonghua Peng. Research and Improvement of Seat Performance in Whiplash Test[J]. Enterprise Science And Technology & Development, 2014,23.
陈春柳,谭芳,彭中华.某车型座椅鞭打性能研究及改进[J].企业科技与发展,2014,23.
- [11] Yuanzhi Hu, Yuanyuan Hu, Xi Liu, Gaojian Liao. Analysis and Optimization of Seat in Whiplash Test Based on LS-DYNA[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology,2017,31(6):8-14.
- [12] 胡远志,胡源源,刘西,廖高健.基于 LS-DYNA 的某座椅鞭打性能分析和优化[J].重庆理工大学学报,2017,31(6):8-14.
- [13] Davidsson J. Development of a mechanical model for rear impacts [D]. Goteborg, Sweden: Department of Machine and Vehicle Design, Chalmers University of Technology,2000.
- [14] Yuanjin Pei, Lin Hua, Shugang Xie, Dong Cui, Zhinan Qi. Study on the Whiplash Injury Based on THUMS Human Model[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2017,41(1):165-169.
裴元津,华林,谢书港,崔东,祁志楠.基于 Thums 人体模型追尾碰撞乘员损伤研究[J].武汉理工大学学报,2017,41(1):165-169.
- [15] Toyota Motor Corporation. THUMS theory manual version THUMS 4.0, AM50 pedestrian/ occupant model
- [16] academic Version 4.0_20111003 [Z]. TOYOTA Motor Corporation, 2011.
- [17] Yuanzhi Hu, Yuanyuan Hu, Chengyue Jiang, Xi Liu, Gaojian Liao. Neck Injury Comparison between BioRID II and THUMS Model in Whiplash Test[J]. Journal of Automotive Safety and Energy,2017,8 (3) :239-245.
胡远志,胡源源,蒋成约,刘西,廖高健.鞭打试验中 BioRID II 与 THUMS 模型颈部损伤对比[J].汽车安全与节能学报, 2017,8 (3) :239-245
- [18] Jing Tang. The Protection Effects of Active Headrest to Cervical Muscle Tissue[J]. Enterprise Science And Technology & Development,2015,5(3):16-19.
唐竞.主动头枕对颈部肌肉组织的保护作用[J].企业科技与发展,2015,5(3):16-19.
- [19] Kai Wang. Study of the Control System of Active Head Restraint based on Moving Window Specific Power Algorithm[D].Hunan: Hunan University,2016.
王凯.基于移动窗比功率算法的主动安全头枕控制系统研究[D].湖南:湖南大学,2016.
- [20] Jiaping Zhu. Camry WIL seats reflect the comfort and safety[J]. Light Vehicles,2006,11:41.
朱家平,凯美瑞 WIL 座椅体现舒适与安全[J].轻型汽车技术,2006,11:41.
- [21] Lundell, B., Jakobsson, L., Alfredsson, B., Lindstrom, M., and Simonsson, L. The WHIPS Seat—A Car Seat for Improved Protection against Neck Injuries in Rear End Impacts. In Proceedings of the 16th ESV Conference, 1998,Windsor, Canada, paper 98-S7-O-08.
- [22] Ozdemir, Mustafa Ider, Sitki Kemal Gokler, Mustafa Ilhan.Parametric analysis of an anti-whiplash system composed of a seat suspension arrangement[J].Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering,2015,37(2):777-784.