

An analysis base on the seat whiplash test datas

Xiaolin ZHAO, Qingjun Gu, Lei Zhang, Chao Zhang
Anhui Jianghuai Automobile Group Corp.,Ltd, , Hefei, 230601

Email: 2622323488@qq.com

Abstract: A certain automobile seat scored medium in the whiplash test, losing points mainly focusing on two index: NIC (Neck Injury Criterion) and upper neck torque. A series of experimental matrix has been stipulated based on simulation analysis, to advance optimization improvement and performance research simultaneously. Thus, a relatively complete database of experimental state curve came into being. This article, on the basis of these data, is going to probe into factors that have influence on whiplash test result, summarize the law and offer guidance to seat design and optimization.

Keywords: automobile seat; whiplash test; NIC; upper neck torque; design and optimization

基于试验数据的座椅鞭打性能分析

赵小林, 辜庆军, 张雷, 张超
安徽江淮汽车集团股份有限公司, 合肥, 中国, 230601

Email: 2622323488@qq.com

摘要: 某汽车座椅在鞭打试验中得分中等, 主要失分项是 NIC (颈部伤害指数) 和上颈部扭矩两项指标。结合仿真分析制定了一系列的试验矩阵, 将优化改进和性能研究同步推进, 形成了较为完备的试验状态曲线数据。本文基于这些数据研究探讨影响鞭打试验结果的因素, 总结规律, 为座椅设计和优化提供指导。

关键词: 汽车座椅; 鞭打试验; NIC; 上颈部扭矩; 设计和优化

1 引言

追尾事故是一种常见的交通事故, 据统计约占所有交通事故类型的 1/3。碰撞发生时, 汽车带动座椅向前方运动, 而乘客由于惯性仍然保持乘坐姿态, 然后人体会与座椅靠背碰撞, 能量向上传递, 最后是头部与头枕的碰撞, 随之而来的便是人体的颈部伤害^{[1][2]}。整个过程类似于挥鞭运动, 所以该碰撞形式又被称之为鞭打。总所周知, 颈部伤害潜伏期长, 危害大, 不易治愈, 患者会承受巨大痛苦。2012 年 C-NCAP 规则引入鞭打试验^[3], 2015 年发布了 15 版的 C-NCAP 规则^[4]。从而对鞭打伤害提供了规范性的评价和设计指导, 对于人体碰撞的保护起到积极的作用。

鞭打试验中 NIC 和上颈部扭矩属于易失分项^[5], 基于此, 本文通过对鞭打试验结果的分析, 对试验靠背位置、靠背内垫骨架结构、头后间隙对头枕触发的影响^{[6][7]}以及上颈部扭矩对头后间隙和靠背动态的响应等内容进行横向对比, 从而总结碰撞规律, 为设计开发提供指导。

2 静态测量靠背位置作用

若定义空载座椅 25° 靠背位置为设计位置, 那么记此时头枕杆插孔中心 X 向坐标为 X' , 加载三位 HRMD 假人后调整靠背角使得假人躯干角等于 25°, 测量位置头枕杆插孔中心 X 向坐标为 X_0 。按 GB11551-2003 座椅 H 点测量流程规定, 当 HRMD 假人躯干角达到标准规定的 25° ± 0.5° 位置时, 测量此时头枕杆插孔中心 X 向坐标为 X_n (n=1, 2, 3), 令 $\Delta X = X_n - X_0$, 则应要求 $-10\text{mm} \leq \Delta X \leq 10\text{mm}$, 此时认定座椅状态一致。

(1) 通过定义 ΔX 和其公差首先可以判定座椅是否在制造公差之内, 靠背泡沫、靠背内垫骨架结构刚度是否与设计刚度一致, 坐垫结构及泡沫对静态测量H点的影响等。

(2) 当 ΔX 在偏差范围内时, T1加速度曲线应是大致重合的; 当 ΔX 超过偏差范围内时, T1加速度曲线会滞后或提前, 与头部加速度匹配时可能会出现NIC较大的问题。以下是不同靠背位置的三把座椅结果, 其他试验条件不变。

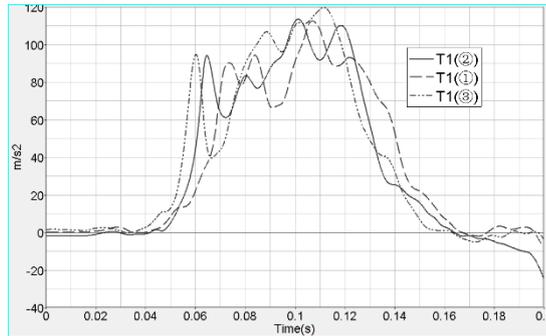


Figure 1. Curve:T1 acceleration

图 1. T1 加速度结果曲线

Table 1. The position of the seat backrest

表 1. 座椅靠背位置

座椅序号	①	②	③
H 点 (X, Z)	1292.7, 366	1286.2, 369.8	1285.9, 366.9
靠背角	25.3	25.1	25
头枕插孔中心 (X, Z)	1671.9, 912	1656.8, 924	1640.4, 926.3

Table 2. The key value of each T1 acceleration

表 2. T1 加速度曲线关键值

座椅序号	①	②	③
峰值大小 (g)	9.44	9.44	9.0
峰值时刻 (ms)	60.2	64.6	73.5

如图1, 对应该型座椅靠背三个位置T1加速度曲线, 各靠背位置如表1所示。设计位置 $X' = 1658.1$, 实际测量 $X_0 = 1656.8$, 如表1 ②号座椅位置。①和③分别代表靠背测量靠后位置和靠背靠前位置座椅姿态, 对应地, 静态靠背角会增大或减小。反应在鞭打试验中T1加速度曲线上, 靠前的靠背位置会导致T1加速度较快的上升并达到峰值^[8]; 靠后的靠背位置会使得T1加速度缓慢的上升并达到峰值^[9]。

由NIC公式

$$NIC(t) = 0.2A_x^{rel}(t) + [V_x^{rel}(t)]^2$$

$$NIC_{max} = \text{Max}_{T-HRC_{(End)}} [NIC(t)]$$

相对加速度:

$$A_x^{rel}(t) = A_x^{T1}(t) - A_x^{Heads}(t)$$

其中, T-HRC (End) 为头枕与假人头部脱离时刻。

靠后①的靠背位置更利于减小 NIC 值，但前提是头部加速度的正确匹配。因此首先保证生产制造各部件性能的一致性，使与设计相符，其次加大座椅靠背顶部与假人背部距离和减小泡沫刚度，最后尽可能使得制造偏差朝向 ΔX 负值方向。

注：靠前靠后指靠背顶部相对于乘坐者背部近或远

3 靠背中垫结构的布置设计作用

由NIC公式，较缓较低的T1加速度总是有利的，但是过高的靠背内垫刚度会使得T1很快达到较大峰值，较低的靠背刚度同样由于阻碍作用不明显，假人背部很快与靠背骨架接触也会导致较大的T1加速度^{[10][11]}。以下是不同靠背结构的三把座椅结果，其他试验条件不变。



Figure 2. The backrest insert frame structure seat①、②

图 2. ①、②座椅中垫骨架结构



Figure 3. The backrest insert frame structure of seat③

图 3. ③座椅靠背中垫骨架结构

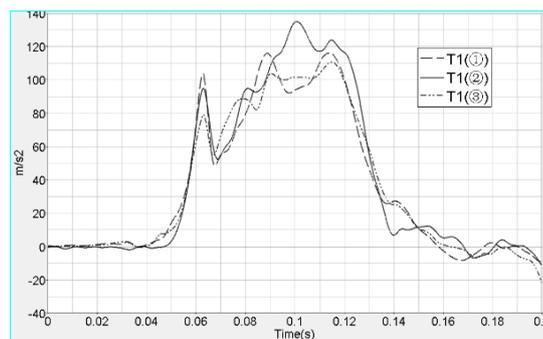


Figure4. Curve: T1 acceleration

图 4. T1 加速度曲线

Table 3. The key value of each T1 acceleration

表 3. T1 加速度曲线关键值

座椅序号	①	②	③
峰值大小 (g)	10.35	9.53	7.87
峰值时刻 (ms)	62.7	62.9	62.9

图2的靠背中垫结构是两相同直径蛇形簧，均布置于靠背下部，腰部支撑位置。图3的靠背中垫骨架结构是调整后，下位蛇形簧位置不便，直径加大，上位蛇形簧上移至靠背顶部弯管下部末端位置。试验前均调整了静态测量靠背位置，三把座椅保持一致。图4为试验后T1加速度曲线，①、②号座椅T1加速度峰值均较高，且上升较快，分析是由于靠背下部内垫结构刚度较大、上部较空、刚度不均匀导致。调整后③号座椅上升趋势变缓，加速度第一峰值明显降低。实际上，该型座椅NIC得分也有较大提升。

通过以上分析，靠背内垫结构和刚度合理布置对于降低T1加速度非常有利。

4 头枕 backset 值作用

由NIC公式，上升较快的头部加速度对降低NIC伤害有利。头部加速度两个关键要求一是触发早，二是上升快且不掉落^[12]。触发早会使头部加速度波形提前，上升快不掉落使头部加速度保持稳定较高趋势，最终会促使T1与头部的相对加速度较低，从而利于降低NIC。以下是七把座椅结构相同头枕试验头部加速度曲线。

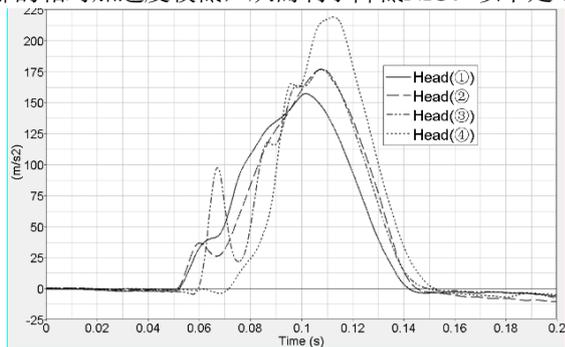


Figure 5. Curve: the head acceleration of different backset headrests

图 5. 不同 backset 值头枕的头部加速度曲线

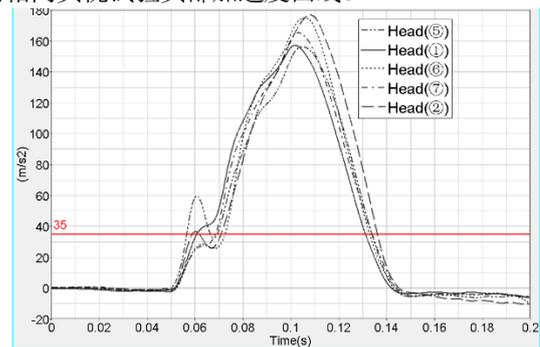


Figure 6. Curve: the head acceleration of different backset headrests with the same structure

图 6. 相同结构头枕不同 backset 的头部加速度曲线

Table 4. The moment of contact of headrest and dummy head

表 4. 假人头部与头枕接触时刻

座椅序号	①	②	③	④
backset	9.3	18	31	43.5
头部加速度触 发最大时刻 (ms)	51.4	51.8	59.6	71.6

Table 5. The key value of each head acceleration

表 5. 头部加速度曲线关键值

座椅序号	①	②	⑤	⑥
backset	9.3	11.4	9.5	11.6
NIC 最大时刻 加速度值 (g)	3.87	2.81	5.93	2.81
NIC 最大时刻 (ms)	62.4	63.2	60.7	63.2

图 5 为不同头枕 backset 值头部加速度触发时刻，图 6 为相同头枕结构不同 backset 值头部加速度上升趋势。

由图 5，明显的头部加速度随着 backset 的增加触发时刻逐渐推迟^[13]，根据表 4，接触时刻由 51.4ms 推迟至 71.6ms。这是由于头枕与头距离大，接触时间滞后。

由图6，当backset较小时，即10mm左右，会导致头部加速度不稳定，这是因为初始阶段座椅靠背受假人背部作用力并明显地反馈到头枕，使得假人头部与头枕的相互作用受到影响，出现波动。对于主动头枕，其主动装置触发后能否锁止和保持同样对头部加速度影响很大^[14]。

因此在设计时应当有合理的backset值，经验上可以将backset设置在15mm~30mm（主动头枕还可以更大），从而头部加速度触发可以在碰撞后53ms左右前完成。

5 上颈部扭矩对 backset 和靠背动态的响应

在鞭打试验中，上颈部扭矩考查的是上颈部弯曲和伸张的伤害，由其公式

$$My^{OC}_{max} = \underset{T-HRC_{(End)}}{Max} |My^{OC}(t)|$$

$$My^{OC}(t) = My^{upper}(t) - D \cdot Fx^{upper}(t)$$

其中， $T-HRC_{(End)}$ 为头枕与假人头部脱离时刻。

上颈部扭矩其取弯曲或拉伸部分绝对值较大的。上颈部扭矩对backset和靠背动态过程姿态响应比较明显，主要体现在靠背后倾阶段的颈部伸张和靠背反弹阶段的颈部弯曲，按C-NCAP规定，颈部弯曲为正，伸张为负。以下是四种不同backset座椅上颈部扭矩试验曲线，其他试验条件不变。

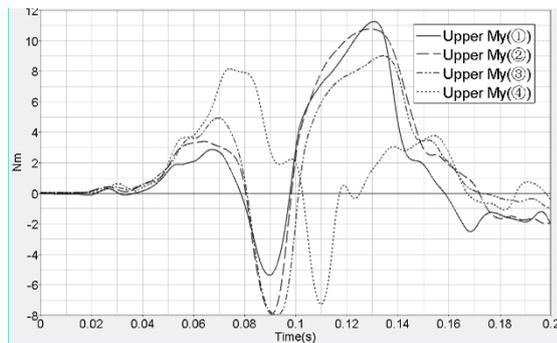


Figure 7. Curve: the upper My result of different backset-headrest seat Figure

图 7. 不同 backset 值座椅上颈部扭矩曲线

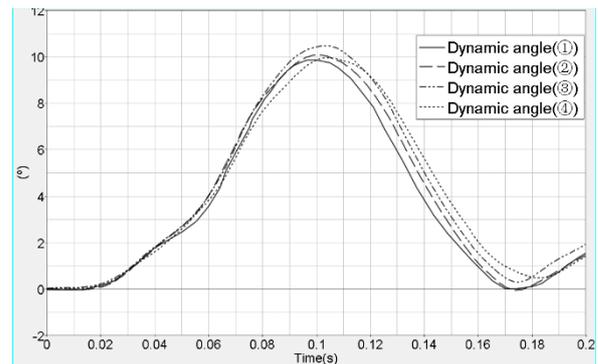


Figure 8. Curve: the dynamic angle result of different backset-headrest seat

图 8. 不同 backset 值座椅动态张角曲线

Table 6. The maximum of each upper My curve at the initial upper neck flexion stage

表 6. 初始弯曲阶段上颈部扭矩最大值

座椅序号	①	②	③	④
backset	9.5	11	18	43.5
Upper My 峰值 (Nm)	2.87	3.36	4.90	8.13
Upper My 峰值时刻 (ms)	67.6	64.1	69.5	74.1

Table 7. The maximum of each upper My curve at the fully upper neck extension stage

表 7. 充分伸张阶段上颈部扭矩最大值

座椅序号	①	②	③	④
backset	9.5	11	18	43.5
Upper My 峰值 (Nm)	-5.33	-7.93	-7.99	-7.29
Upper My 峰值时刻 (ms)	89.7	90.6	92.6	109.8

Table 8. The maximum of each upper My curve at upper neck flexion stage with the backrest's springback

表 8. 靠背回弹上颈部弯曲阶段上颈部扭矩最大值

座椅序号	①	②	③	④
backset	9.5	11	18	43.5
Upper My 峰值 (Nm)	11.28	10.73	8.96	3.74
Upper My 峰值时刻 (ms)	130.7	129	134.1	1154.01

图7为相同靠背结构不同backset值的上颈部扭矩，图8为对应不同backset值靠背动态张角变化。

由图7和表6，在初始上颈部弯曲阶段，相同靠背结构不同backset值情况下上颈部扭矩正的部分，随着backset值的增大，上颈部扭矩峰值呈增大的趋势，且比较明显。主要是因为头枕接触时刻晚，靠背充分带动躯干前移。

由图7和表7，在靠背充分后倾上颈伸张阶段，相同靠背结构不同backset值情况下上颈部扭矩负的部分，对backset响应比较复杂，规律不显，对比图8，该时刻靠背动态张角各曲线出现交叉重叠情况，另外头枕杆刚度支撑作用也对头部的伸张运动有较大，综合之后上颈部扭矩负的部分会呈现对backset响应不明显的情况

由图7和表8，在靠背回弹上颈再次弯曲阶段，相同靠背结构不同backset值情况下上颈部扭矩正的部分，随着backset值的增大，上颈部扭矩峰值呈增大的趋势，且比较明显[15]。主要是因为backset小，回弹时推动头部向前，同时由于躯干的向前，导致上颈部弯曲加大。

实际试验中，上颈部扭矩最大值大多数取在回弹阶段正的上颈部扭矩峰值，通过增大backset可以降低反弹阶段上颈部扭矩峰值，但是会影响到头部加速度的触发，因此需准确设定backset值，各项指标统筹考虑。

6 结论

本文以试验结果为研究基础，对某汽车座椅复杂的鞭打试验曲线分析，找出了试验规律和座椅改进的方向。分析结果表明，靠背静态测量定位位置、靠背中垫结构布置和刚度、头枕backset值设计对鞭打试验结果影响很大，而同时上颈部扭矩受头枕backset和靠背动态的响应又限制着以上参数的调整，它们是相互作用与制约的。根据以上分析，对靠背静态测量位置、靠背中垫结构布置和刚度以及头枕backset提供了设计建议，以便于后期座椅产品的设计和改进。

致 谢 (Acknowledgement)

本文在撰写过程中，辜庆军、张雷、张超给予了极大的支持和指导，所参考文献作者严谨的研究作风和内容也给我很大的启发，再次向他们表示真诚地感谢！

参考文献 (References)

- [1] Xiao Zhi. The research on Occupant Neck injuries Protecting during Vehicle Rear Impacts[D]. Huan University, 2007.
肖志. 汽车后碰撞中乘员颈部防护的研究[D]. 湖南大学, 2007.
- [2] Xiao Zhi, Yang Jikuang. Simulations on Occupant Kinematics Response and Neck Injuries during Vehicle Rear Impacts[J]. China Mechanical Engineering 2007(10).
肖志, 杨济匡. 汽车低速追尾碰撞中乘员动力学响应和颈部损伤的仿真研究[J]. 中国机械工程 2007 (10).
- [3] Chinese Automotive Technology & Research Centre. C-NCAP Management Regulation (2012 edition)[Z]. 2012.
中国汽车技术研究中心. C-NCAP 管理规则 (2012年版)[Z]. 2012.
- [4] Chinese Automotive Technology & Research Centre. C-NCAP Management Regulation (2015 edition)[Z]. 2015.
中国汽车技术研究中心. C-NCAP 管理规则 (2015年版)[Z]. 2015.
- [5] Wang Jin, Zhao Xiuqiang, Wang Zhitao, Liang Yu, Qiao Xin. Improvement of Simulation model Based on the Vehicle Sea Whiplash Test[J]. 2015 the selected excellent papers of the Annual Meeting of China automotive engineering society, 2015(09)
王晋, 赵秀强, 王志涛, 梁宇, 乔鑫. 基于汽车座椅鞭打试验的仿真模型改进[J]. 2015 中国汽车工程学会年会优秀论文 (选登), 2015(09).
- [6] Fan Shasha. Research and Application of Seat Whiplash Simulation Analysis[J]. Enterprise technology and development .2014(09).
- [7] 凡沙沙. 座椅鞭打仿真分析的研究与应用[J]. 企业科技与发展, 2014 (09).
- [8] Chen Chunliu, Tan Yuanfang, Peng Zhonghua. Research and Improvement of a Car Seat Whiplash Performance[J]. Enterprise technology and development, 2014.
陈春柳, 谭园芳, 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.
- [9] Jin Jingxu, Song Xuewei, Huang Xuan, Cui Taisong, Yin Changchun. Effects of combinations of car seat headrest and recliner parameters on whiplash injury[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2013(10).
金景旭, 宋学伟, 黄炫, 崔泰松, 尹长春. 汽车座椅头枕和调角器匹配对挥鞭伤影响研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2013 (10).

- [10] Wang Shufeng,Hu Wenwen,Li Wuguang,Zhao Tianpeng.Topology optimization design of the car seat frame[J].Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2014(09).
王淑芬, 胡文文, 李吾光, 赵天鹏.汽车座椅骨架的拓扑优化研究[J].机电工程, 2014 (09) .
- [11] [10] Li Ruisheng.The Research and Optimization of Whiplash performace of a car seat[D]. College of Automotive Engineering,Jilin University,2016(1~65).
李瑞生.某汽车座椅鞭打性能的研究与优化[D].吉林大学汽车工程学院, 2016 (1~65) .
- [12] Dang Xuemang,Fang Rui,Xie Shuxiang,Yang Liming.Analysis and optimization of the driver seat in whiplash seat[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2015(02).
党雪芒, 方锐, 谢书港, 杨黎明.某座椅鞭打性能分析及优化[J].机电工程, 2015 (02) .
- [13] Brian O'Neill.Head restrains theneglected counter measure[J].Accident Analysis and Prevention ,2000(2).
- [14] Shang Enyi,Chen Xianling,Shi Yutao,Liu Tao.Experimental Study of Whiplash Test Based on Dummy Head Stess Analysis[J]. Automotive Technology,2014(04).
商思义, 陈现岭, 师玉涛, 刘涛.基于假人头部受力分析的鞭打试验研究[J].汽车技术, 2014 (04) .
- [15] Li TieZhu,Lu Houguo,Kan Honggui.The Improvement of Seat Whiplash Performace Based on Simulation Analysis[J]. Automotive Technology,2015(07).
李铁住, 鲁后国, 阚洪贵.基于仿真分析的某座椅鞭打性能改进[J].汽车技术, 2015 (07) .
- [16] Tian Jiaping,Pan Pingping,Optimization analysis of the front seat stucture of a type car[J]. Automotive Applied Technology,2016(04)
田佳平, 潘萍萍. 某车型头部保护方案优化分析[J]. 汽车实用技术, 2016 (04) .