

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.06.031

基于鞭打性能的座椅靠背型面优化方法

降皓鉴¹, 冉东林¹, 高伟¹, 祁雨昇¹, 吉一鑫²

(1. 广汽零部件有限公司技术中心, 广东 广州 511441; 2. 钢研昊普科技有限公司, 北京 100081)

摘要:为降低追尾时的挥鞭伤危害, 提出一种座椅靠背型面优化方法, 论述该方法对头后间隙的影响机制。基于该方法对某款座椅的鞭打性能进行优化, 根据 CNCAP 规程进行试验验证。结果表明: 该方法对座椅造型的影响程度较小, 优化目标与试验结果吻合较好, 假人颈部伤害值降低 16.6%, 上颈部载荷与下颈部载荷显著降低。

关键词:汽车安全; 颈部损伤; 鞭打试验; 汽车座椅

中图分类号:TH162 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)06-0155-05

Optimization Method of Seat Back Modeling Surface Based on Whiplash Performance

JIANG Haojian¹, RAN Donglin¹, GAO Wei¹, QI Yusheng¹, JI Yixin²

(1. Tech Center of GAC Component Co., Ltd., Guangzhou 511441, China;

2. CISRI Hipex Technology Co., Ltd., Beijing 100081, China)

Abstract: To reduce the damage of whiplash injury in low speed rear-end collision, an optimization method of seat back modeling surface is proposed and its influencing mechanism on headback clearance is discussed. Based on the method, the whiplash performance of a certain seat is optimized and verified through experiments according to CNCAP procedure. The results show that the proposed method has less influence on seat modeling, the optimization objective is in good agreement with the experiment results, and the injury value of dummy neck decreases by 16.6%, a significant reduction for both upper neck load and lower neck load.

Keywords: vehicle safety; neck injury; whiplash test; vehicle seat

0 引言

在汽车交通事故中, 追尾事故约占 30%^[1-2], 其中乘员颈部受到伤害的几率可达 70% 以上^[3]。追尾事故中, 乘员头部的运动相对于躯干存在滞后性, 颈部先受到拉伸然后加速甩向前方, 由此产生的颈部伤害称为挥鞭伤^[4-6]。挥鞭伤表现为颈椎骨骼损伤及颈部软组织挫伤, 并发症多、潜伏期长, 可能对乘员造成永久伤害。为降低挥鞭伤的危害, CNACP 将低速后碰撞颈部保护试验(简称鞭打试验)作为汽车安全的重要评价项目。

汽车座椅结构对挥鞭伤具有显著影响。郑祖丹等^[7]采用正交试验方法研究了头后间隙、头枕高度、泡沫刚度及调角器刚度对挥鞭伤的灵敏度, 结果表明头后间隙对颈部损伤影响较大。商恩义等^[8]提出一种低速追尾头部受力分析方法, 并结合鞭打试验对座椅结构进行了优化。陈长亮等^[9]采用 CAE 方法对某款电动座椅鞭打性能进行了

分析, 表明靠背刚度、靠背转动刚度、头枕刚度、头枕转动刚度、头枕位置等均对挥鞭伤产生显著影响。张绍伟等^[10]结合 CAE 及深度学习长短期记忆网络, 构建了一种基于座椅结构特性的挥鞭伤预测神经网络架构。

正确合理的座椅设计是降低挥鞭伤危害的有效途径。由于座椅为软硬材料耦合的复杂系统, 且结构同时影响舒适性、静态强度、动态强度等指标, 在设计阶段提高座椅的鞭打性能仍是一个难点。本文提出一种座椅靠背型面优化方法改善座椅头后间隙, 并采用 CNCAP 鞭打试验进行验证, 为提高座椅鞭打性能提供一种有效的途径。

1 CNCAP 鞭打试验

1.1 试验程序

CNCAP 试验规则^[11]中, 鞭打试验分为静态测量与动态碰撞两部分。静态测量中, 将座椅调

第一作者简介: 降皓鉴(1991—), 男, 河北邯郸人, 工程师, 硕士, 研究方向为汽车内饰及智能化座舱设计, jianghaojian@163.com。

节至规定的位置,采用 SAE J826 假人和 ICBC HRMD 头模测量座椅的 H 点及头后间隙,假人躯干角规定为 25° 。动态碰撞中,将座椅固定在滑车上,安装 BioRID II 假人,以一定的加速度波形发射滑车,通过 BioRID II 假人上的传感器采集人体受力情况。其中,BioRID II 假人的 H 点及头后间隙与静态测量结果的换算关系如下:BioRID II 假人 H 点 x 向前移 20 mm,允许 ± 5 mm 的偏差;头后间隙增加 15 mm,允许 ± 2 mm 的偏差;躯干角规定为 26.5° 。

1.2 评价规则

前排座椅鞭打试验评分标准如表 1 所示,满分为 5.0 分。评价指标分为 3 组,分别为颈部伤害值 NIC、上颈部载荷、下颈部载荷,满分分别为 2.0 分、1.5 分、1.5 分。其中,颈部伤害值 NIC 为无单位量纲值,反映颈椎流体腔内流体流变压力梯度对颈部软组织造成的伤害^[12],上、下颈部载荷 F_x 、 F_z 、颈部转矩 M_y 反映关节错位、韧带损伤及骨折等对颈部造成的伤害^[13-14]。NIC 值的计算方式如下:

$$N_{IC}(t) = 0.2a_x^{\text{rel}}(t) + [v_x^{\text{rel}}(t)]^2 \quad (1)$$

$$v_x^{\text{rel}}(t) = \int_0^t a_x^{\text{rel}}(t) dt \quad (2)$$

$$a_x^{\text{rel}}(t) = a_x^{\text{T1}}(t) - a_x^{\text{H}}(t) \quad (3)$$

式中: a_x^{T1} 为假人 T1 胸椎加速度; a_x^{H} 为假人头部枕骨加速度。

2 靠背型面优化方法

2.1 优化方法

现有研究表明,头后间隙对座椅鞭打性能有显著影响^[15]。随着头后间隙的减小,假人头部与座椅的接触时间减小,头部与胸部间相对运动的程度降低,NIC 值、颈部剪切力 F_x 、颈部转矩 M_y 减低,座椅鞭打性能显著提高。设计上一般采用主

动式安全头枕或增大头枕厚度减小头后间隙;然而前者成本较高,后者对座椅造型影响较大。本文提出一种座椅靠背型面优化方法,通过调节靠背腰部型面减小头后间隙,在不增加成本的情况下降低了对座椅造型的影响。

表 1 鞭打试验评分标准

试验指标	高性能限值	低性能限值	得分
颈部伤害值 N_{IC}	8	30	0~2.0
上颈部剪切力 F_{ux}/N	340	730	
上颈部拉力 F_{uz}/N	475	1 130	0~1.5
上颈部转矩 M_{uy}/Nm	12	40	
下颈部剪切力 F_{lx}/N	340	730	
下颈部拉力 F_{lz}/N	257	1 480	0~1.5
下颈部转矩 M_{ly}/Nm	12	40	
头枕干涉头部空间	头枕与假人头部干涉		-2.0
靠背动态张角/ $^\circ$	≥ 25.5		-2.0
滑轨动态位移/mm	≥ 20		-2.0

如图 1(a) 所示,某座椅 H 点为 O_0 ,躯干角为 θ_0 ,头后间隙为 L_{H0} 。将座椅靠背向前转动,若忽略座椅靠背对假人的支撑作用,假人姿态保持不变,则头后间隙减小至 L_{H1} ,如图 1(b) 所示。实际上,由于座椅靠背对假人的支撑作用,假人姿态发生改变,躯干角减小至 θ_1 , H 点在 x 方向前移 Δx 至 O_1 ,头后间隙变为 L_{H2} ,如图 1(c) 所示。其中:

$$L_{H2} = L_{H1} + L_B \quad (4)$$

$$L_B = \Delta x + L_0(\sin\theta_0 - \sin\theta_1) \quad (5)$$

式中: L_0 为 H 点至假人头部距离; L_B 表示座椅靠背的支撑作用。由以上讨论,对 H 点为 O_0 ,躯干角为 θ_0 ,头后间隙为 L_{H0} 的座椅,通过旋转靠背位置并降低靠背对假人的支撑作用 L_B ,则可在 H 点及躯干角不变的情况下将头后间隙减小至 L_{H1} 。

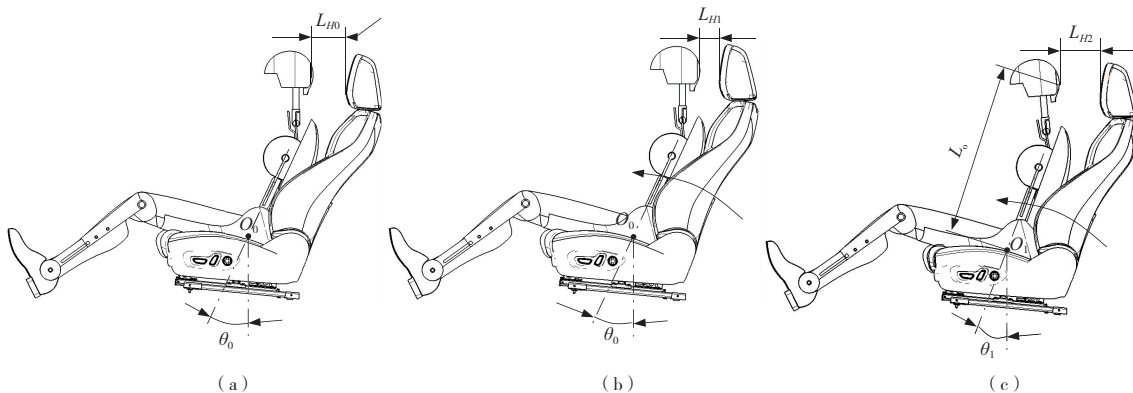
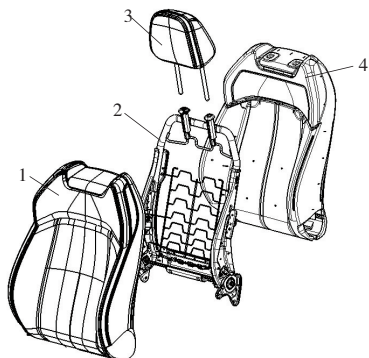


图 1 座椅头后间隙与靠背关系

座椅靠背结构一般如图2所示,包含靠背骨架、发泡、面套及头枕。靠背骨架为框架式金属结构,中间位置为弹簧钢丝。发泡为聚氨酯,装配在靠背骨架外侧。面套为仿皮聚氯乙烯,包覆在发泡上。头枕通过内嵌的金属导杆固定在靠背骨架上。当靠背骨架刚度一定时,座椅靠背对假人的支撑作用主要受发泡影响。一般采用渗透率 γ 反映发泡对假人的支撑程度。



1—面套;2—靠背骨架;3—头枕;4—发泡。

图2 座椅靠背结构示意图

如图3(a)所示:建立坐标系,以座椅 H 点为原点,以躯干角方向为 x 轴方向,则渗透率 γ 可表示为

$$\gamma(x) = \frac{L_d(x)}{L_m(x)} \quad (6)$$

式中: L_d 为假人中心位置陷入靠背的距离; L_m 为靠背型面中心位置距骨架的距离。

对于 H 点为 O_0 ,躯干角为 θ_0 ,头后间隙为 L_{H0} 的座椅,座椅靠背型面优化方法如下。

1) 建立图3(a)所示坐标系,计算渗透率 γ_0 。
2) 保持假人姿态不变,转动座椅靠背,将头后间隙调节至优化目标值 L_{H1} 。

3) 根据渗透率 γ_0 ,针对转动后的座椅靠背建立靠背型面优化基准线 l 。如图4所示,座椅中间截面上, L_s 为SAE J826假人靠背曲线, L_p 为靠背发泡截止线,则

$$l(x) = L_s(x) - \frac{\gamma_0(x) [L_p(x) - L_s(x)]}{1 - \gamma_0(x)} \quad (7)$$

4) 根据型面优化基准线 l 及侧翼造型线扫描型面并调整光顺,得到优化后的靠背型面如图5所示。

5) 校核优化后渗透率 γ_1 ,控制 γ_1 相对于 γ_0 的偏差在 $\pm 2.5\%$ 以内。

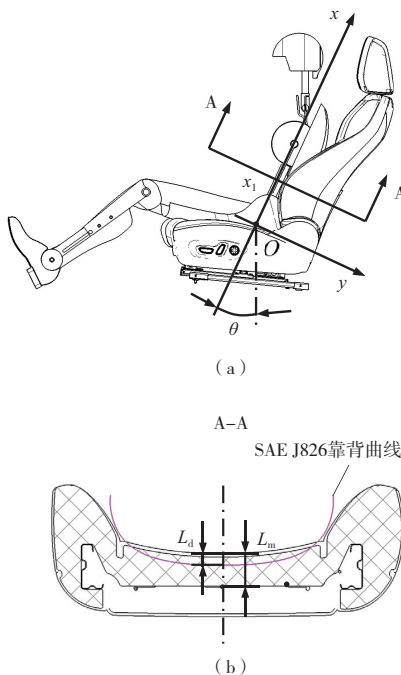


图3 假人渗透率

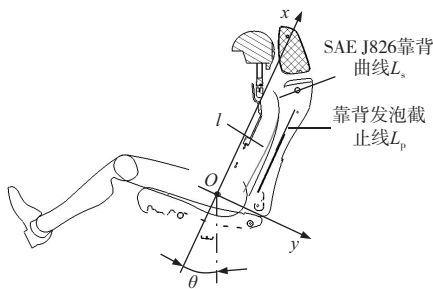


图4 靠背型面优化基准线 l



图5 优化后靠背型面

采用以上方法优化后的靠背型面,假人渗透率与优化前基本一致,可以认为优化前后座椅靠背对假人的支撑作用相同, H 点及躯干角保持不变。

2.2 优化实例

某前排驾驶员座椅参数如表2所示。建立头

后间隙优化目标值为 5 mm,采用以上方法对靠背型面进行优化,优化前后假人渗透率如图 6 所示。优化前后,座椅靠背型面位置最大偏差为 4.6 mm。因此,相较于直接加厚头枕,采用靠背型面优化方法可显著降低对座椅造型的影响程度。

表 2 座椅参数

H 点 $(x,z)/\text{mm}$	躯干角/ $^{\circ}$	优化前头后 间隙/ mm	优化后头后 间隙/ mm
(1 312,247)	25	18	5

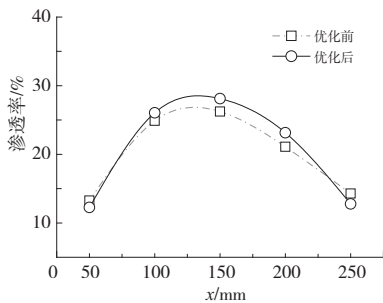


图 6 优化前后假人渗透率

3 改善效果验证

对靠背型面优化前后的座椅,根据 CNCAP 管理规则进行鞭打试验,试验现场如图 7 所示。



图 7 鞭打试验现场

静态测量结果如表 3 所示,靠背型面优化后,头后间隙实测值与目标值吻合较好。动态碰撞结

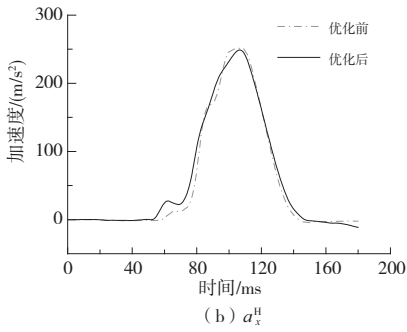
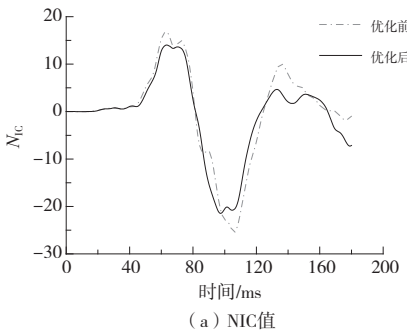
果如表 4 所示。靠背型面优化后,颈部伤害值 NIC 得分提高 20.8%。优化前后 NIC 值、头部枕骨加速度 a_x^H 、T1 胸椎加速度 a_x^{T1} 如图 8 所示。在 63 ms 时,NIC 值曲线达到峰值,优化后 a_x^H 较优化前提高 1.78g,降低了假人头部与胸部间相对运动的剧烈程度,NIC 值降低 16.6%。优化前后上颈部载荷及下颈部载荷得分均为 1.5 分。优化后,假人上颈部拉力、下颈部剪切力、下颈部拉力及下颈部转矩分别降低 20.6%、38.3%、17.5%、49.7%,这是由于头后间隙减小,假人头部更早与座椅接触,头部向后甩动的程度减缓导致的。

表 3 静态测量结果

项目	H 点坐标 $(x,z)/\text{mm}$	头后间隙/ mm
优化前	(1 312.4,247.1)	18.6
优化后	(1 312.0,248.0)	5.6

表 4 鞭打试验评分

试验指标	试验值		指标得分	
	优化前	优化后	优化前	优化后
颈部伤害值 N_{IC}	16.83	14.03	1.20	1.45
上颈部 $F_{ux}+/N$	0.40	6.17		
上颈部 $F_{uz}+/N$	441.15	350.11	1.50	1.50
上颈部 M_{uy}/Nm	9.59	9.59		
下颈部 $F_{lx}+/N$	242.92	149.97		
下颈部 $F_{lz}+/N$	182.82	150.74	1.50	1.50
下颈部 M_{ly}/Nm	5.27	2.65		



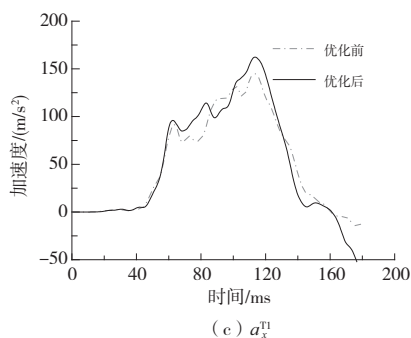


图8 动态碰撞 NIC 值及加速度曲线

4 结语

本文提出了一种座椅靠背型面优化方法,通过优化座椅靠背型面降低了座椅头后间隙,提高了座椅的鞭打性能且对座椅造型影响较小。针对某款座椅,采用 C-NCAP 鞭打试验并对该优化方法进行验证。结果表明:头后间隙优化值与实测值吻合较好;优化后假人 NIC 值得分提高,上颈部拉力、下颈部剪切力、下颈部拉力及下颈部转矩均有显著降低。

参考文献:

- [1] 娄磊,杨运生,张晓龙. 鞭打试验在欧洲、日本与中国[J]. 交通标准化,2010,38(18):37-41.
- [2] ROMILLY D P, SKIPPER C S. Seat structural design choices and the effect on occupant injury potential in rear end collisions [C]//SAE Technical Paper Series. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, Detroit Michigan, United States;SAE International,2005:1-9.
- [3] 胡远志,胡源源,蒋成约,等. 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.
- [4] 崔普东,安美文,张绪树,等. 汽车后碰撞时人体头颈部的动力学响应及损伤分析[J]. 医用生物力学,2020,35(1):83-89.
- [5] FAVARETTO N, LIONELLO M, BOSCOLO-BERTO R, et al. Video-nystagmographic evidence in more than 700

consecutive cases of road traffic whiplash injury [J]. American Journal of Otolaryngology, 2021, 42 (3): 102909.

- [6] BONTINCK J, LENOIR D, CAGNIE B, et al. Temporal changes in pain processing after whiplash injury, based on Quantitative Sensory Testing;a systematic review [J]. European Journal of Pain,2022,26(1):227-245.
- [7] 郑祖丹,吴斌,于峰,等. 追尾碰撞颈部挥鞭伤害的试验研究[J]. 汽车技术,2013(10):47-50.
- [8] 商恩义,陈现岭,师玉涛,等. 基于假人头部受力分析的鞭打试验研究[J]. 汽车技术,2014(4):53-57.
- [9] 陈长亮,董玉德,陈超,等. 基于仿真的鞭打试验影响因素分析[J]. 汽车工程,2019,41(12):1459-1465.
- [10] 张绍伟,朱大炜,翟光照. 基于深度学习的座椅抗挥鞭伤性能预测 [J]. 汽车工程,2022,44(10):1600-1608.
- [11] 中国汽车技术研究中心(天津). C-NCAP 中国新车评价规程 2021 版[S].
- [12] BOSTRÖM O, SVENSSON M, ALDMAN B, et al. A new neck injury criterion candidate-based on injury findings in the cervical spinal Ganglia after experimental neck extension trauma [C]. Int. Conf. on the Biomechanics of Impact (IRCOBI), Dublin, Ireland:[s.n.], 1996.
- [13] YANG K H, BEGEMAN P C, MUSER M, et al. On the role of cervical facet joints in rear end impact neck injury mechanisms [C]//SAE Technical Paper Series. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States;SAE International,1997:127-129.
- [14] NIGHTINGALE R W, WINKELSTEIN B A, EE C A V, et al. Injury mechanisms in the pediatric cervical spine during out-of-position airbag deployments [J]. Annual proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine. Association for the Advancement of Automotive Medicine, 1998, 42:153-164.
- [15] 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,2007,18(10):1239-1243.

收稿日期:2023-04-24