

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.04.001

引用格式: 叶怀宇, 张卉, 葛冬冬, 等. 汽车座椅护颈对人体颈部的伤害分析[J]. 公路与汽运, 2024, 40(4): 1-5+10.

Citation: YE Huaiyu, ZHANG Hui, GE Dongdong, et al. Injury analysis of car seat neck protector to human neck[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(4): 1-5+10.

汽车座椅护颈对人体颈部的伤害分析*

叶怀宇¹, 张卉¹, 葛冬冬¹, 刘杰²

(1. 中汽研汽车检验中心(常州)有限公司, 江苏常州 213000; 2. 江苏理工学院, 江苏常州 213000)

摘要: 采用加速滑台碰撞设备和 BioRID- II 鞭打试验用假人进行鞭打试验, 分析假人颈部伤害值的变化, 通过分析假人头部和头枕的接触时长及 BioRID- II 假人的颈部伤害指数 I_{NIC} , 上颈部剪切力、张力、扭矩, 下颈部剪切力、张力、扭矩等数据, 研究追尾事故中汽车座椅护颈对人体颈部的影响。结果表明, 相比于未安装护颈的座椅, 安装有护颈的座椅, 护颈使假人头部与座椅头枕接触时长减少 8.3%, 假人 I_{NIC} 和上颈部扭矩 M_y^{oc} 峰值分别降低 8.9%、26.1%, 假人上颈部剪切力 F_x+ 、拉伸力 F_z+ 峰值分别增加 715.7%、39.6%, 下颈部剪切力 F_x+ 、拉伸力 F_z+ 、扭矩 M_y 峰值分别增加 45.1%、53.3%、19.3%。依据《中国新车评价规程》(C-NCAP) 2021 鞭打试验评分准则, 安装有护颈的座椅评分比未安装护颈的座椅评分降低 1.6%, 追尾事故中汽车座椅护颈会增加对人体颈部的伤害。

关键词: 汽车; 座椅; 护颈; 鞭打试验; 颈部伤害

中图分类号: U467.14

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)04-0001-05

挥鞭伤是指在车辆低速碰撞中伴随乘员头颈运动发生的轻度软组织损伤, 特别容易在停车时车辆受到后方碰撞的情况下发生。后方碰撞中乘员受轻伤的比例较多, 死亡事故占比小, 但由于发生频率高, 在保险金支付额度中所占比例大, 社会支出成本高^[1-2]。人体颈部为人体结构中最复杂的结构之一, 在受到极度拉伸和扭曲的情况下可能造成永久性伤害^[3]。相关调查表明, 挥鞭伤是在车辆碰撞事故中最常见的人体伤害, 约 10% 的挥鞭伤会造成长期颈部损伤, 约 1% 的挥鞭伤会造成不可恢复的伤害。颈部伤害虽不是致命伤, 但疼痛和恢复治疗长期伴随着患者^[4]。

在日常驾驶中, 为了让颈部得到更好的放松, 驾驶员及乘员会在车辆座椅上安装护颈支撑颈部。护颈的确可以有效缓解颈椎疲劳, 但在车辆发生追尾事故时, 巨大的惯性力会导致人体向后俯仰, 而此时人体躯干被座椅靠背限制, 由于靠背的后仰和头后间隙的存在, 头枕无法在同一时间接住头部, 与未安装护颈的座椅相比, 护颈会阻碍颈椎的后向运动, 改变颈部原有的受力及速度变化, 反而无法起到保护

颈部的作用。鞭打试验中乘员颈部损伤机制的理论基础是碰撞中头部和胸部之间的运动差异导致相邻颈椎间的相对运动^[5-7]。本文依据《中国新车评价规程》(C-NCAP) 2021, 通过加速性模拟碰撞试验滑台设备和 BioRID- II 鞭打假人模拟实车追尾碰撞, 研究护颈对人体颈部的伤害。

1 鞭打试验设置

如图 1 所示, 将座椅及附件按照原车位置固定在加速台车上, 并按规定设置座椅及 BioRID- II 假人。试验时, 给加速台车施加速度变化量为 (20.0 ± 1) km/h 的特定加速度波形模拟追尾碰撞, 通过分析 BioRID- II 假人的伤害值研究车辆追尾时护颈对人体颈部的伤害。座椅及假人参数见表 1。

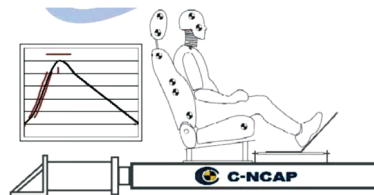


图 1 低速后碰撞颈部保护试验(鞭打试验)

* 基金项目: 中汽研汽车检验中心(常州)有限公司项目(CZ22L02)

表 1 座椅及假人参数设置

试验类型	座椅靠背角度/(°)	假人头后间隙/mm	假人头顶角度/(°)	假人 H 点数值/mm	假人躯干角度/(°)
座椅装有护颈	25.2	41	0	3 046.5	28.9
座椅未装护颈	25.1	41	0	3 048.7	28.9

鞭打试验在 C-NCAP 2021 中的分值为 5 分,根

据安装在假人头部及颈部的传感器测量结果计算分值。试验中假人传感器测量数据分为三组:第一组为由头部加速度、胸部加速度计算所得颈部伤害指数 I_{NIC} ;第二组为上颈部剪切力 F_x+ 、上颈部张力 F_z+ 和上颈部扭矩 M_y^{oc} ;第三组为下颈部剪切力 F_x+ 、下颈部张力 F_z+ 和下颈部扭矩 M_y 。各指标的评分及限值见表 2,其中上颈部和下颈部得分取剪切力、张力和扭矩三项中的最低得分。

表 2 鞭打试验总体评价指标及评分原则

指标	高性能限值	低性能限值	得分	总体得分	
颈部伤害指数 I_{NIC}	$8 \text{ m}^2/\text{s}^2$	$30 \text{ m}^2/\text{s}^2$	0.0~2.0	0.0~5.0	
上颈部载荷	剪切力 F_x+	340 N	730 N		0.0~1.5
	张力 F_z+	475 N	1 130 N		0.0~1.5
	扭矩 M_y^{oc}	$12 \text{ N} \cdot \text{m}$	$40 \text{ N} \cdot \text{m}$		0.0~1.5
下颈部载荷	剪切力 F_x+	340 N	730 N		0.0~1.5
	张力 F_z+	257 N	1 480 N		0.0~1.5
	扭矩 M_y	$12 \text{ N} \cdot \text{m}$	$40 \text{ N} \cdot \text{m}$		0.0~1.5
减分项	头枕干涉头部空间	干涉	-2.0		
	靠背动态张角	—	$\geq 25.5^\circ$		-2.0
	滑轨动态位移	—	$\geq 20.0 \text{ mm}$		-5.0

2 试验数据分析

2.1 曲线控制精度

测试过程中,滑台实际加速度与目标加速度的均方根误差均控制在 0.25 以内,速度误差均控制在 0.40 以内。加速度和速度曲线见图 2,座椅有无护颈时加速度和速度误差见表 3。

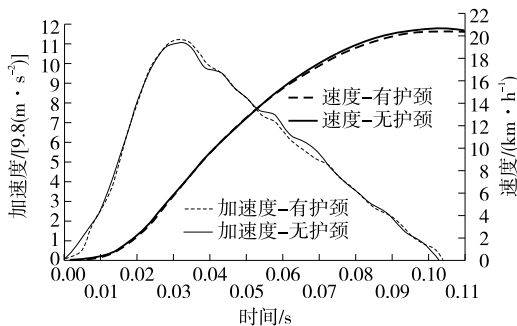


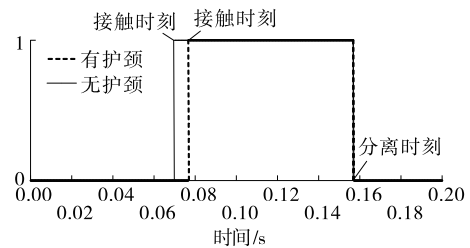
图 2 滑台测试曲线

表 3 滑台控制误差

试验类型	加速度/ [$9.8(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$]	速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	均方根误差	
			加速度	速度
座椅装有护颈	11.2	20.65	0.155	0.209
座椅未装护颈	11.1	20.45	0.220	0.363

2.2 头与头枕接触时长

头与头枕接触时长通过粘贴在座椅头枕和假人头部后侧的锡纸接触时长来判断,通过模拟量输出信号显示其接触和分离时刻(见图 3),测试结果见表 4。由表 4 可知:护颈使假人头部与头枕的接触时刻延后 7.1 ms,总接触时长减少 7.2 ms。



纵坐标数值“0”代表未接触,“1”代表接触

图 3 头与头枕接触时长

表 4 头与头枕接触时长

试验类型	起始接触时刻/s	分离时刻/s	接触时长/s
座椅装有护颈	0.076 9	0.156 9	0.080 0
座椅未装护颈	0.069 8	0.157 0	0.087 2

2.3 颈部伤害指数 I_{NIC}

颈部伤害指数 I_{NIC} 由枕骨关节相对于胸部 T1

的水平加速度和速度的相对值计算而来,公式如下:

$$I_{NIC}(t) = 0.2a_x^{rel}(t) + [v_x^{rel}(t)]^2 \quad (1)$$

$$I_{NIC,max} = \max_{T_{HRC(End)}} [I_{NIC}(t)] \quad (2)$$

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

$$a_x^{T1}(t) = \frac{a_x^{T1_left}(t) + a_x^{T1_right}(t)}{2} \quad (4)$$

$$v_x^{rel}(t) = \int_0^t a_x^{rel}(t) dt \quad (5)$$

式中: a_x^{rel} 为相对加速度; v_x^{rel} 为相对速度; $T_{HRC(End)}$ 为头部与头枕分离时刻; a_x^{T1} 为胸部平均加速度; a_x^{Head} 为头部 x 向加速度; $a_x^{T1_left}$ 为胸部左侧加速度; $a_x^{T1_right}$ 为胸部右侧加速度。

加速度测试结果和 I_{NIC} 计算结果见表 5、图 4~6。根据假人 T1 加速度及头部 x 向加速度,护颈不会影响假人颈部及头部的加速度峰值大小,但 I_{NIC} 值相对于未安装护颈的座椅减少 1.77 m^2/s^2 。

表 5 假人加速度及 I_{NIC}

试验类型	加速度/($m \cdot s^{-2}$)				$I_{NIC}/(m^2 \cdot s^{-2})$
	头部	T1 左侧	T1 右侧	T1 均值	
座椅装有护颈	271.79	144.32	169.20	156.76	18.16
座椅未装护颈	265.28	144.32	169.52	156.91	19.93
差值	6.51	0.00	-0.32	-0.15	-1.77
偏差比/%	2.5	0.0	-0.2	-0.1	-8.9

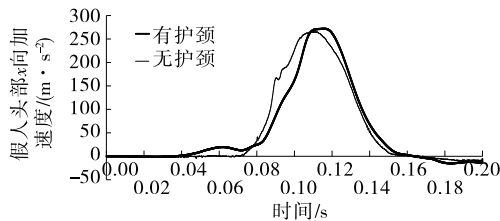


图 4 假人头部 x 向加速度

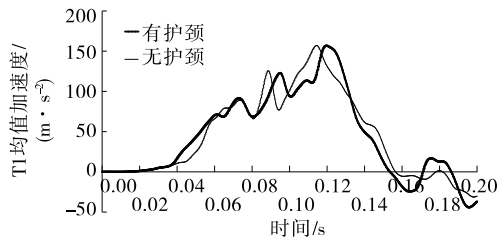


图 5 T1 均值加速度

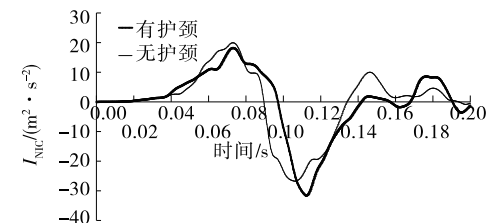


图 6 I_{NIC} 曲线图

由表 5、图 4 可知:相比于未安装护颈的座椅,护颈使假人头部提前 33.2 ms 开始相对运动,且加速度峰值出现时间延后 3.9 ms,加速度持续时间增加 33.2 ms。

2.4 上颈部伤害值

假人上颈部伤害值测试结果见表 6。由表 6 可知:相比于未安装护颈的座椅,安装有护颈的座椅,假人上颈部剪切力增大 122.39 N,拉伸力增大 19.15 N,颈部扭矩 M_y^{oc} 减小 2.77 $N \cdot m$ 。

表 6 假人上颈部伤害值

试验类型	$F_x +/N$	$F_z +/N$	$M_y^{oc}/(N \cdot m)$
座椅装有护颈	139.49	67.45	7.84
座椅未装护颈	17.10	48.30	10.61
差值	122.39	19.15	-2.77
偏差比/%	715.7	39.6	-26.1

2.4.1 上颈部剪切力 $F_x +$

根据 C-NCAP 2021 的规定,颈部剪切力只用于评价头部相对于躯干向后的部分,即 F_x 值为正。

$$F_{x,max} = \max_{T_{HRC(End)}} [F_x(t)] \quad (6)$$

假人上颈部剪切力 $F_x +$ 测试结果见表 7、图 7。由表 7、图 7 可知:安装有护颈的座椅在经历追尾碰撞时,假人上颈部在 36.2 ms 时刻受到向后的剪切力,在 76.9 ms 时刻与头枕接触,受力值为 70.59 N;随后持续增大到 139.49 N;156.9 ms 头枕分离时,剪切力为 14.19 N。由高速相机捕捉的视频信息显示,假人颈部一直处于伸展状态,剪切力一直作用于颈部[见图 8(a)]。未安装护颈的座椅在经历追尾碰撞时,假人头部在 69.8 ms 时刻与头枕接触,上颈部剪切力为 -1.26 N,为负值,颈部基本处于正常姿态;0.0~76.0 ms 时刻,假人颈部剪切力均为负值;76.0 ms 开始,假人颈部剪切力为正值,颈部处于伸

表 7 假人上颈部剪切力 $F_x +$

试验类型	接触时刻	峰值	分离时刻
	$F_x +/N$	$F_x +/N$	$F_x +/N$
座椅装有护颈	70.59	139.49	14.19
座椅未装护颈	-1.26	17.10	1.09

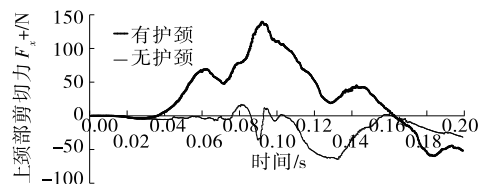
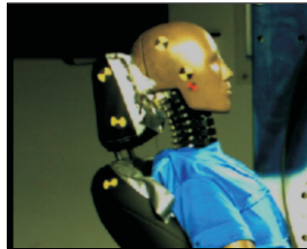


图 7 假人上颈部剪切力 $F_x +$



(a) 安装有护颈的座椅



(b) 未安装护颈的座椅

图 8 上颈部剪切力最大时刻假人颈部状态

展状态;80.9 ms 时刻,假人上颈部剪切力达到最大值17.10 N,此时假人颈部状态见图 8(b)。

2.4.2 上颈部张力 F_z

根据 C-NCAP 2021 的规定,颈部张力只用于评价拉伸部分,即 F_z 值为正。

$$F_{z\max} = \max_{T_{\text{HRC(End)}}} [F_z(t)] \quad (7)$$

假人上颈部张力测试结果见图 9。由图 9 可知:在发生追尾碰撞时,装有护颈的座椅,假人上颈部张力峰值为 67.45 N;未安装护颈的座椅,假人上颈部张力峰值为 48.30 N;装有护颈的座椅,张力峰值点出现时间延后 17.8 ms。

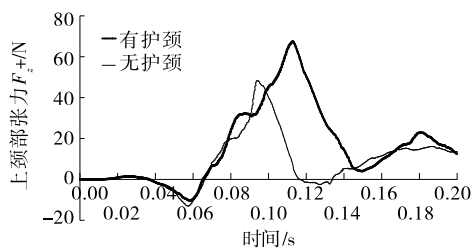


图 9 假人上颈部张力

2.4.3 上颈部扭矩 M_y^{oc}

颈部扭矩评价伸张和弯曲两个方向,公式如下:

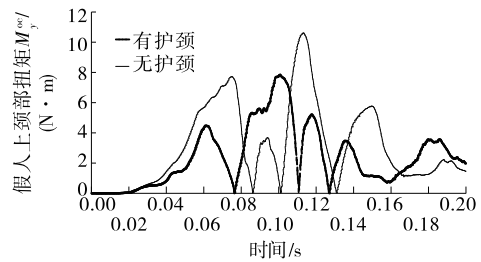
$$M_y^{\text{oc}}(t) = M_y^{\text{upper}}(t) - DF_x^{\text{upper}}(t) \quad (8)$$

$$M_{y\max}^{\text{oc}} = \max_{T_{\text{HRC(End)}}} |M_y^{\text{oc}}(t)| \quad (9)$$

式中: M_y^{upper} 为上颈部伸张弯矩; $D = 0.01778 \text{ m}$; F_x^{upper} 为上颈部剪切力。

假人上颈部扭矩测试结果见图 10。由图 10 可知:座椅护颈未改变假人上颈部扭矩的受力形式。

在发生追尾碰撞时,安装有护颈的座椅,假人上颈部承受的最大扭矩为 $7.84 \text{ N} \cdot \text{m}$;未安装护颈的座椅,假人上颈部承受的最大扭矩为 $10.61 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

图 10 假人上颈部扭矩 M_y^{oc}

2.5 下颈部伤害值

假人上颈部伤害值测试结果见表 8。由表 8 可知:相比于未安装护颈的座椅,安装有护颈的座椅,假人下颈部剪切力增大 124.24 N ,拉伸力增大 180.83 N ,颈部扭矩 M_y 增大 $1.546 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

表 8 假人下颈部伤害值

试验类型	F_x +/N	F_z +/N	M_y /(N·m)
座椅装有护颈	399.53	519.80	9.547
座椅未装护颈	275.29	338.97	8.001
差值	124.24	180.83	1.546
偏差比/%	45.1	53.3	19.3

2.5.1 下颈部剪切力 F_x

假人下颈部剪切力 F_x 测试结果见图 11。由图 11 可知:在经历追尾碰撞时,安装有护颈的座椅,假人下颈部在 66.1 ms 时刻开始受到向后的剪切力,在 76.9 ms 时刻与头枕接触,受力值为 53.30 N ,随后持续增大到 399.53 N ,至 156.9 ms 头枕分离时下颈部剪切力为 21.46 N ;未安装护颈的座椅,假人下颈部在 62.6 ms 时刻开始受到向后的剪切力,在 69.8 ms 时刻与头枕接触,剪切力为 70.60 N ,随后持续增大到 275.29 N 。

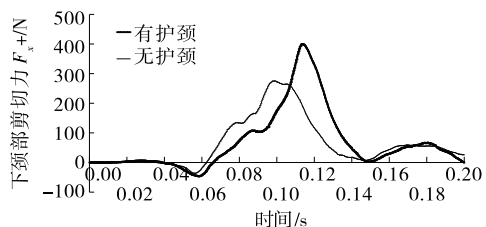


图 11 假人下颈部剪切力

2.5.2 下颈部张力 F_z

假人上颈部张力测试结果见图 12。由图 12 可

知:在经历追尾碰撞时,装有护颈的座椅,假人下颈部张力峰值为 519.80 N;未安装护颈的座椅,下颈部张力峰值为 338.97 N;装有护颈的座椅,张力峰值点出现时间延后 17.3 ms。

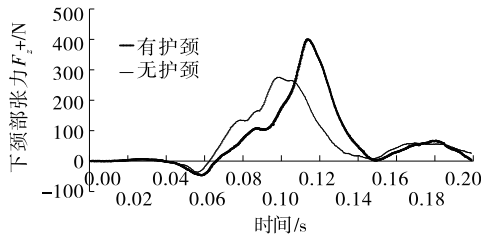


图 12 假人下颈部张力

2.5.3 下颈部扭矩 M_y

假人下颈部扭矩测试结果见图 13。由图 13 可知:座椅护颈未改变假人下颈部扭矩的受力形式。在经历追尾碰撞时,安装有护颈的座椅,假人下颈部承受的最大扭矩为 9.55 N·m;未安装护颈的座椅,假人下颈部承受的最大扭矩为 8.00 N·m。

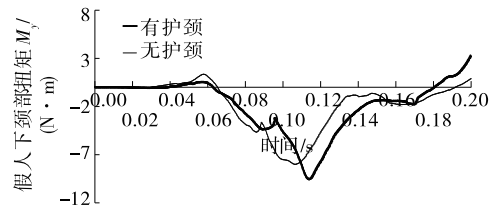


图 13 假人下颈部扭转

2.6 评分

依据 C-NCAP 2021 鞭打试验总体评价指标及评分原则,装有护颈的座椅,鞭打得分为 3.754 分;未安装护颈的座椅,鞭打得分为 3.816 分。其中:装有护颈的座椅, I_{NIC} 评分比未装护颈的座椅高 0.16 分;上颈部评分项目均为满分 1.5 分;下颈部评分项目中,装有护颈的座椅,颈部剪切力和拉伸力分值均低于未装护颈的座椅,根据评分原则,取各项中的最低分值,安装和未安装护颈的座椅,下颈部最低得分项均为 F_z+ ,分别为 1.178 分、1.400 分(见表 9)。

表 9 鞭打试验得分

试验类型	指标	数值	得分	总体得分	
座椅装 有护颈	颈部伤害指数 I_{NIC}	18.16 m^2/s^2	1.076	3.754	
	上颈部	剪切力 F_x+	139.49 N		1.500
		张力 F_z+	67.45 N		1.500
		扭矩 M_y^{oc}	7.840 N·m		1.500
	下颈部	剪切力 F_x+/N	399.53 N		1.271
		张力 F_z+	519.80 N		1.178
		扭矩 M_y	9.547 N·m		1.500
	减分项	头枕干涉头部空间	干涉		0.000
		靠背动态张角	17.4°		0.000
		滑轨动态位移	3 mm		0.000
座椅未 装护颈	颈部伤害指数 I_{NIC}	19.93 m^2/s^2	0.916	3.816	
	上颈部	剪切力 F_x+	17.10 N		1.500
		张力 F_z+	48.30 N		1.500
		扭矩 M_y^{oc}	10.61 N·m		1.500
	下颈部	剪切力 F_x+	275.29 N		1.500
		张力 F_z+	338.97 N		1.400
		扭矩 M_y	8.001 N·m		1.500
	减分项	头枕干涉头部空间	干涉		0.000
		靠背动态张角	17.5°		0.000
		滑轨动态位移	3 mm		0.000