

The Study on Improvement of Seat Safety in Euro-NCAP Whiplash Test

Hongyun Li, Yugang Zhu

China Automotive Technology & Research Center, Tianjin, 300162

Abstract: The investigation of neck injuries in rear impact has gained increased attention in recent years, particularly after the publishing of Euro-NCAP Whiplash test protocol. Based on the geometry and structure of a vehicle seat, a simulation model was built up. According to the Euro-NCAP Whiplash test protocol, the performance of seat safety was analyzed and some solutions were proposed to improve the performance. This study has shown that it is beneficial to reduce the horizontal distance between head and headrest, and increase the deformation angle of seat during the rear impact.

Keywords: whiplash; Euro-NCAP; neck injury criteria; headrest

某座椅在 Whiplash 试验中安全性能的改进研究

李红运, 朱玉刚

中国汽车技术研究中心, 天津, 300162

摘 要: Euro-NCAP 出台 Whiplash 试验后, 汽车厂商和消费者对安全座椅对颈部伤害的保护效果越加重视。根据某车型的安全座椅结构, 建立了仿真模型, 并按照 Whiplash 试验的具体规则, 对该款座椅的安全性能进行研究, 提出相应地改进方案。研究表明, 减少头部与座椅头枕之间的水平距离, 增加座椅在碰撞过程中向后的倾斜角度, 可以减小头部相对人体躯干的运动, 从而增强安全座椅对颈部伤害的保护效果。

关键词: 挥鞭伤; Euro-NCAP; 颈部损伤评价指标; 座椅头枕

1 引言

根据人体损伤准则 (Abbreviated Injury Scale) [1], 颈部损伤虽然被评定为 AIS 1, 即轻微损伤, 但是颈部损伤却是需要恢复或治疗时间最长的人体损伤[2]。颈部损伤在各种碰撞类型, 如前碰撞、后碰撞和侧碰撞中都会发生, 但是在后碰撞中发生颈部损伤的概率最大。因此, 后碰撞中的颈部损伤就成为汽车安全领域的一个研究热点。

在车辆中, 与人体颈部损伤关系最为密切的部件是安全座椅, 为了较好地评价安全座椅对人体颈部的保护效果, 并将其量化, Euro-NCAP 出台了 Whiplash 试验。Whiplash 意为鞭子, 挥鞭等, 轻微的颈部损伤被称为“挥鞭伤” (Whiplash injuries) 或者“和紊乱相关的挥鞭伤” (Whiplash Associated Disorders, 简称为 WAD) [3]。一些颈部损伤的病人说在发生颈部损伤时, 头部首先向后运动然后又向前剧烈运动, 就像一个鞭子在挥舞一样, “挥鞭伤” 因此而得名。因此, Whiplash 试验专指用来测定后碰撞中安全座椅对颈部

保护效果的试验。

本文根据某车型的安全座椅结构, 建立了仿真模型, 并根据 Whiplash 试验的具体要求, 设定相应的边界条件, 对该款座椅的安全性能进行研究, 提出相应地优化方案。

2 Whiplash 试验及其评分规则介绍

Whiplash 试验主要包括静态评估和动态评估。

静态评估包括头部到头枕的水平距离和头部到和头枕的垂直距离两个方面, 主要考察座椅相对乘员的几何位置。

动态评估主要是通过对座椅加载低速脉冲、中速脉冲和高速脉冲, 得到假人相应的伤害值, 如头部加速度、颈部力和颈部弯矩等, 主要考察座椅的结构及其刚度对假人的伤害情况。

Whiplash 试验在 Euro-NCAP 规则中的具体评分方法如表 1 所示。

表1. Whiplash试验的具体评分规则

试验内容	具体内容	得分情况	满分	转化为 E-NCAP 规则得分公式
静态评估	头部到头枕的水平距离	-1~1	2	Whiplash 试验各项得分总和 $\times \frac{4}{11}$
	头部到头枕的竖直距离			
动态评估	头枕的可调节性	1		
	加载低速脉冲	3		
	加载中速脉冲	3		
	加载高速脉冲	3		
修正值	座椅靠背倾角	加载高速脉冲后若座椅旋转角度超过 32°，扣 3 分		
	假人损伤情况	座椅设计对假人其他部位存在伤害的可能，扣 2 分		

3 仿真模型的建立

根据某车型的座椅形状和结构,建立了仿真模型。在Whiplash试验中,需要对低速、中速和高速三种工况进行试验,因此分别设定三种不同的边界条件和脉冲。

3.1 座椅建模

根据座椅形状和结构,建立了模型的椭球几何,如图1所示。其中,座椅整体与车身进行固定连接,座椅靠背和座椅骨架之间采用转动铰链连接,头枕与靠背连为一体。

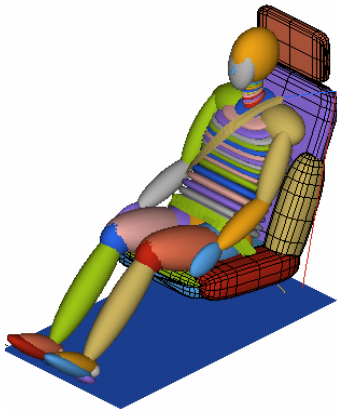


图1. 仿真模型

3.2 假人调用

本仿真模型中后碰撞假人模型为BioRID II 椭球模型,如图1所示。该模型由瑞典查尔摩斯工业大学基于标准的Hybrid III假人研制开发而成。BioRID II 的脊椎由24个椭球组成(代表24节椎骨),具有较高的生物逼真度。

3.3 碰撞脉冲

在Whiplash试验中,需要对低速、中速和高速三种工况进行试验,因此分别设定三种不同的边界条件和脉冲,这三种脉冲如图2-4所示。

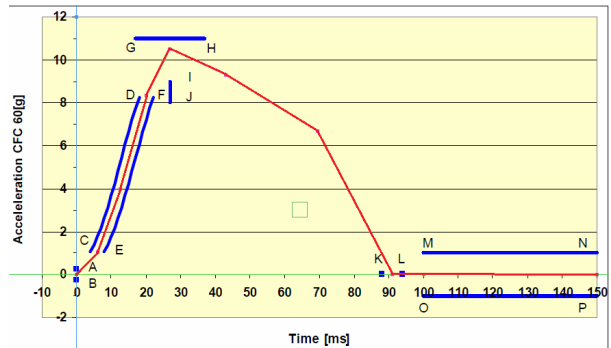


图3. 中速碰撞脉冲

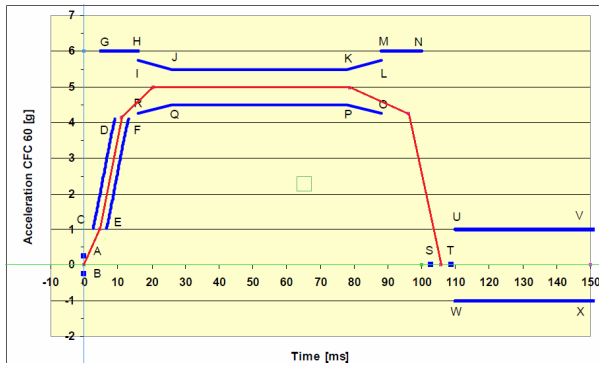


图2. 低速碰撞脉冲

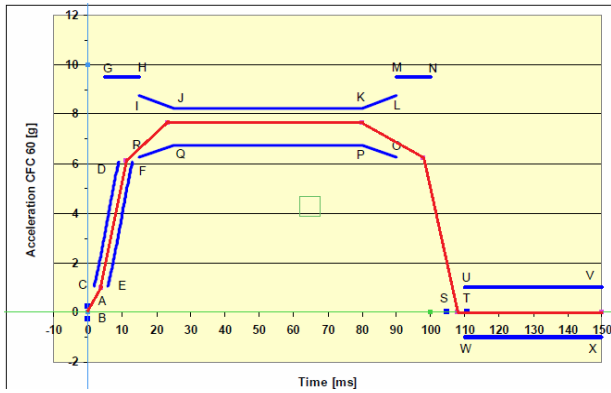


图4. 高速碰撞脉冲

4 座椅安全性能的研究及其优化

4.1 座椅安全性能的研究

通过仿真模型可得到假人伤害参数，如头部加速

度、颈部剪切力和颈部轴向力等，并根据Euro-NCAP评分规则，对该座椅的动态安全性能评价如表2-4所示。

表2. 低速脉冲中座椅安全性能的评分情况

伤害指标	高性能指标	低性能指标	极限指标	实际伤害值	得分
NIC	9.0	15.0	18.3	18.6	0
Nkm	0.12	0.35	0.5	0.36	0
反弹速度	3.0	4.4	4.7	4.1	0.11
颈部剪切力 Fx	30	110	187	207	0
颈部轴向力 Fz	270	610	734	297	0.46
T1 加速度 (g)	9.4	12.0	14.1	11.8	0.04
头部接触时间	61	83	95	75	0.18
单次试验得分					0

说明：由于NIC和颈部剪切力Fx两个指标超出了伤害指标的极限数值，因此单项试验的得分为0。

表3. 中速脉冲中座椅安全性能的评分情况

伤害指标	高性能指标	低性能指标	极限指标	实际伤害值	得分
NIC	11	24	27	29.10	0
Nkm	0.15	0.55	0.69	0.46	0.10
反弹速度	3.2	4.8	5.2	4.5	0.12
颈部剪切力 Fx	30	190	290	225	0
颈部轴向力 Fz	360	750	900	885	0
T1 加速度 (g)	9.3	13.1	15.55	24.15	0
头部接触时间	57	82	92	64	0.36
单次试验得分					0

说明：由于NIC和T1加速度两个指标超出了伤害指标的极限数值，因此单项试验的得分为0。

表4. 高速脉冲中座椅安全性能的评分情况

伤害指标	高性能指标	低性能指标	极限指标	实际伤害值	得分
NIC	13	23	25.5	28.2	0
Nkm	0.22	0.47	0.78	0.52	0
反弹速度	4.1	5.5	6.0	5.1	0.14
颈部剪切力 Fx	30	210	364	321	0
颈部轴向力 Fz	470	770	1024	899	0
T1 加速度 (g)	12.5	15.9	17.8	20.35	0
头部接触时间	53	80	92	64	0.3
靠背变形角度		32°	3°		0
单次试验得分					0

说明：由于NIC和T1加速度两个指标超出了伤害指标的极限数值，因此单项试验的得分为0。

从表1、表2和表3中可以看出，假人的伤害值都比较大，特别是NIC指标，已经超出了伤害指标的极限数值，导致单次试验的得分为0。为了降低假人的伤害值，特别是NIC指标，需要对座椅的参数进行优化。

4.2 座椅参数的优化

为了降低NIC指标，需要知道NIC的计算方法。NIC的计算公式如下：

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

其中

$$\gamma_x^{rel} = \gamma_x^{T1} - \gamma_x^{Head}$$

$$V_x^{rel}(t) = \int_0^t \gamma_x^{rel}(\tau) d\tau$$

(γ_x^{rel}) 是T1在X方向的加速度与头部在X方向的加速

度之差

从上述公式可以得知,降低NIC的关键是降低 Tl 与头部在X方向的加速度之差,即减少头部相对人体躯干的运动。基于这个原则,对座椅参数主要进行以下两项优化:

1) 减少头部与座椅头枕之间的水平距离;

2) 适当减小座椅靠背与座椅骨架之间旋转铰链的刚度,即增加座椅在碰撞过程中,向后的倾斜角度。

通过以上两项措施,相应地调整座椅参数,计算仿真模型,可以得到假人的伤害参数,并根据Euro-NCAP的评分规则,对该座椅的动态安全性能评价如表5-7所示。

表5. 优化后座椅在低速脉冲中的评分情况

伤害指标	高性能指标	低性能指标	极限指标	实际伤害值	得分
NIC	9.0	15.0	18.3	11.8	0.27
Nkm	0.12	0.35	0.5	0.10	0.5
反弹速度	3.0	4.4	4.7	3.6	0.28
颈部剪切力 Fx	30	110	187	52.7	0.34
颈部轴向力 Fz	270	610	734	132	0.5
T1 加速度 (g)	9.4	12.0	14.1	9.60	0.46
头部接触时间	61	83	95	74	0.20
单次试验得分					2.35

表6. 优化后座椅在中速脉冲中的评分情况

伤害指标	高性能指标	低性能指标	极限指标	实际伤害值	得分
NIC	11	24	27	13.4	0.41
Nkm	0.15	0.55	0.69	0.21	0.43
反弹速度	3.2	4.8	5.2	4.3	0.16
颈部剪切力 Fx	30	190	290	139	0.16
颈部轴向力 Fz	360	750	900	407	0.44
T1 加速度 (g)	9.3	13.1	15.55	12.99	0.01
头部接触时间	57	82	92	70	0.24
单次试验得分					1.84

表7. 优化后座椅在高速脉冲中的评分情况

伤害指标	高性能指标	低性能指标	极限指标	实际伤害值	得分
NIC	13	23	25.5	13.25	0.49
Nkm	0.22	0.47	0.78	0.27	0.40
反弹速度	4.1	5.5	6.0	4.7	0.28
颈部剪切力 Fx	30	210	364	131	0.22
颈部轴向力 Fz	470	770	1024	312	0.50
T1 加速度 (g)	12.5	15.9	17.8	12.77	0.46
头部接触时间	53	80	92	68	0.22
靠背变形角度		32°		16°	0
单次试验得分					2.57

5 讨论

优化后座椅的安全性能得到了较大的提升,但是优化后的座椅在中速碰撞脉冲中的评分情况仍然不够理想,而在低速碰撞脉冲和高速碰撞脉冲中的得分都接近或者超过2.5分,这可能主要与碰撞脉冲的波形有较大关系。

如果将碰撞脉冲进行简化,那么,低速碰撞脉冲和高速碰撞脉冲可以简化为梯形脉冲,而中速碰撞脉

冲可以简化为三角形脉冲,其中低速碰撞脉冲的峰值为5g,高速碰撞脉冲的峰值为7.7g,而中速碰撞脉冲则高达10g。

因此,并不能简单地类推,如果座椅在高速碰撞脉冲中的安全性能较好,那么在中速碰撞脉冲中的安全性能就一定较好。这一点也可以从假人高低性能的伤害指标中看出。中速碰撞脉冲中,NIC的高低性能指标为11-24, N_{km} 的高低性能指标为0.15-0.55。而高速碰撞脉冲中,NIC的高低性能指标为13-23, N_{km} 的高

低性能指标为0.22-0.47，其中低性能指标要比中速碰撞脉冲的低性能指标低。

6 结论

通过减少头部与座椅头枕之间的水平距离，可以使头部较早地与座椅头枕接触，从而减小头部相对人体躯干的运动。增加座椅在碰撞过程中向后的倾斜角度，可以使假人的得到更多的缓冲，从而减小人体躯干和头部整体运动的剧烈程度，间接减小头部相对人

体躯干的运动。

References（参考文献）

- [1] American Association for Automotive Medicine. The abbreviated injury scale: 1990 Revision. Des Plaines, Illinois, 1990. 1- 174.
- [2] JAKOBSSON L, LUNDELL B, NORIN H, et al. WHIPS Volvo's whiplash protection study [J]. Accident Analysis and Prevention, 2000, 21:307-319.
- [3] Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, et al. Scientific monograph of the quebec task force on whiplash associated disorders: redefining 'Whiplash' and its management. Europe Spine, 1995, 20(8):1-73.