

文章编号: 1002-0268 (2004) 06-0127-04

某轻型客车安全带的动态特性分析及改进

张金换, 顾 光
(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 安全带是轿车上最重要的乘员约束装置, 其中三点紧急锁止式安全带应用最广泛, 装备数量最多。本文在试验的基础上, 应用电测量和图像测量, 结合电测数据和图像数据同步后处理方法, 对某车型配备的三点紧急锁止式安全带及其约束下的 Hybrid III 假人的动态特性进行分析。根据分析结果, 提出提高安全带动态性能减小乘员伤害的方法, 并进行台车试验验证。最后实车试验结果证明分析改进方法的正确性和有效性。

关键词: 三点紧急锁止式安全带; 动态特性; Hybrid III 假人; 汽车碰撞试验

中图分类号: U461.91 文献标识码: A

Analysis and Improvement of Dynamic Characteristics of Seat Belt for Light Duty Bus

ZHANG Jin-huan, GU Guang
(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Seat belt is key occupant restraint system in vehicle. Specially, ELR (Emergency Locking Retractor) is one of the popular seat belts. Using data and photo synchronous processing, this paper analyzes dynamic characteristics of seat belts equipped in a mini-bus. According to analysis, this paper put forward a method to improve the dynamic characteristics of seat belts and decrease injury of occupants. Finally, the analysis and method were proved by the crash test.

Key words: Seat belt; ELR; Dynamic characteristic; Hybrid III dummy; Vehicle crash test

安全带是汽车上重要的乘员约束装置, 在汽车工业发达国家, 汽车安全带大量装备汽车始于 20 世纪 60 年代。安全带的发展历史见表 1。

从表 1 可见, 在汽车工业发达国家, 三点紧急锁止式安全带(ELR)是从 20 世纪 70 年代开始装备汽车的, 因其良好的动态约束性能和舒适性成为汽车的标准装备, 至今已有 30 年的历史。当前的研究重点是更好地提高安全带的动态约束性能, 其中在 ELR 的基础上增加织带预张紧装置以及织带限力装置是研究开发的重点。

我国从 20 世纪 90 年代初期开始引进 ELR, 并很快大批量装备汽车。20 世纪 90 年代末, 又引进了预张紧限力式的安全带技术。但对安全带的研究特别是与车型相结合的动态特性的研究还很不充分, 因此安

全带的匹配开发能力还有待提高。

表 1 安全带发展历史状况

年代	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1996	1996~今
国际上主流安全带	二点式三点固定式	前排座椅装备 ELR	前后排座椅均装备 ELR	ELR+ 预张紧机构	ELR+ 预张紧机构+ 织带限力机构
我国主流安全带	无	无	无	前排座椅装备 ELR	部分车辆前后排座椅均装备 ELR 小部分车辆装备 ELR+ 预张紧机构+ 织带限力机构

在不装安全气囊的情况下, 某轻型客车在正面碰撞试验中, 乘员受到的伤害过大, 超出了法规要求。

为提高碰撞安全性, 减小乘员伤害, 必须对该车乘员约束系统进行改进。

1 影响乘员伤害的因素

在正面碰撞中, 乘员约束和乘员生存空间是影响乘员伤害的主要因素。乘员约束主要由安全带和座椅组成, 可细分为以下参数: (1) 安全带参数包括安全带固定点位置、织带纵向刚度、卷收器剩余卷绕量和卷收器锁紧特性; (2) 座椅参数包括靠背倾角、座垫倾角、座垫深度和座垫刚度。这些因素的变化或相互作用, 对碰撞中人体的姿态有巨大影响, 其中座垫倾角、座垫深度和座垫刚度这 3 个参数可归结为一个方面, 即座垫对人体的动态支撑, 而是否具有足够的动态支撑又与安全带的因素相关。

当座垫对人体动态支撑不够时, 乘员便会下潜, 见图 1。下潜时安全带腰带不再作用在人体骨盆上, 而是滑向腰部, 腰带力全部作用在脆弱的腰部。没有骨盆的支撑, 柔软的腹部支撑不住腰带的力, 这样腰带深嵌入腹部, 会对腹部造成较大伤害, 表现在图 1 (b) 中, 腰带力发生一次较大的起伏。

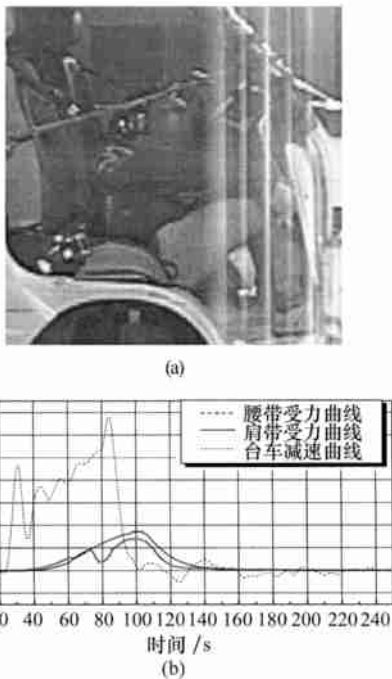


图 1 试验中乘员下潜现象

从安全性考虑, 座垫应具有较大的上倾角, 较大的深度 (即车辆 X 方向的长度), 和较大的前端刚度, 这样可以有效地防止乘员下潜, 但这些值过大又会影响驾驶和乘坐舒适性。

该车前排右侧座椅的动态支撑特性不好, 碰撞时右侧乘员下潜现象严重。在对相应的座垫参数进行调

整后, 提高了座垫的动态支撑特性, 碰撞时乘员不再下潜, 前移姿态变得稳定。因为前排右侧乘员的生存空间较大, 碰撞时乘员有足够的前移空间并且不与仪表板发生二次碰撞, 所以碰撞中右侧乘员所受伤害相对较轻, 满足法规要求。但对于司机来说, 虽然约束相似, 但生存空间相比要小得多, 因为司机前方有方向盘、转向管柱等车辆操纵部件, 这样生存空间在几何上比较复杂, 在碰撞过程中, 司机头部可能会撞击方向盘, 膝部可能会撞击转向管柱或仪表板, 造成头部或膝部伤害过大。该车在实车碰撞试验中, 司机头部伤害值过大, *HIC* 值达到了 1 362, 因此设法降低司机头部 *HIC* 值成为改进的重要目标。

2 司机安全带的动态约束特性分析

为了分析司机安全带的动态特性和司机的碰撞前移响应, 模拟该车的乘坐环境进行了台车试验。

为了更清楚地了解碰撞中司机安全带的受力过程, 在司机安全带上安装了两个织带张力传感器, 图 2 中是安全带力传感器的布置方式, 一个安全带力传感器安装在肩带上, 另一个传感器安装在腰带上。



图 2 安全带张力传感器布置

试验测得安全带肩带和腰带的受力情况见图 3。可以看出安全带肩带和腰带的受力是不同的, 主要特征是肩带受力峰值大于腰带, 而相位滞后于腰带。

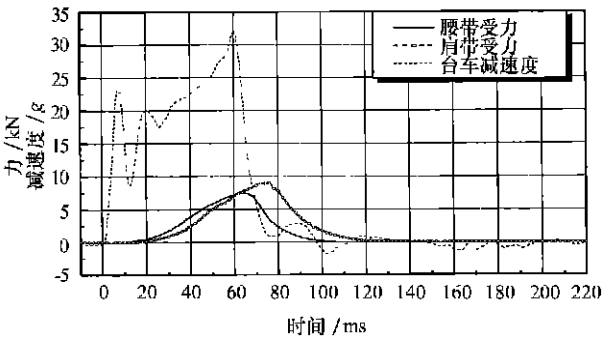


图 3 典型的司机肩带和腰带受力曲线

图 3 中肩带的受力在起始阶段 (0 到 65ms) 是小于腰带的, 这是因为碰撞发生后, 织带需要拉出一段距离, 卷收器才能锁死织带, 另外卷绕在卷收器内部

的织带间也有间隙，为了消除间隙，织带也要拉出一个空行程，而腰带在碰撞初始阶段就能束缚得很紧，因此在图 3 中，肩带受力曲线要滞后于腰带。

此后，因为人体上躯干质量较大，惯性也大，对肩带产生较大的张力，表现为肩带的受力以及人体肩部的前移量的较快增长，而腰带受力则相对增长缓慢一些。碰撞 50ms 后，肩带和腰带的力上升到 5kN 左右，此时安全带的约束作用比较显著，表现在力曲线下的面积（跟吸能相关）增长较快。在 65ms 时刻，两条曲线交于一点，此时腰带力和肩带力大小相同。在 70ms 左右，腰带受力达到最大，图像分析表明，此时假人的臀部前移量也达到最大值。图像分析还表明，此后假人肩部前移并未停止，所以肩带力继续增大，直到接近 80ms 时刻，肩带受力到最大值，此时假人肩部前移量也达到峰值。

图 4 是试验中，假人前移量曲线，图中可见，假人的臀部参考点的最大前移量是 210mm，肩部参考点的最大前移量达到 340mm，而头部参考点的最大前移量则达到 610mm。

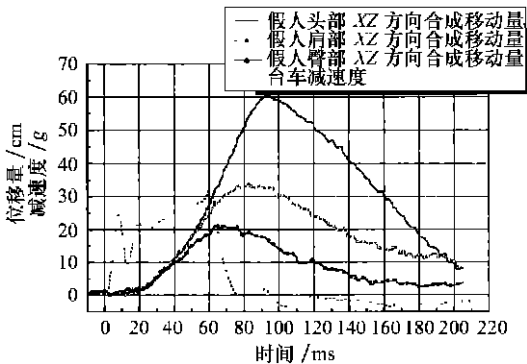


图 4 司机前移曲线

根据分析，该车型正面碰撞时，司机头部肩部前移量过大，头部与方向盘中心部位剧烈碰撞，见图 5，造成头部 X 方向、Z 方向减速度出现较大峰值，导致 HIC 值超过了法规要求。因此要减小司机头部伤害，必须提高安全带肩带的约束效率，减小司机头



图 5 实车碰撞中模型人头部剧烈撞击方向盘

肩部位移，以降低头部对方向盘的冲击。

3 提高安全带的动态约束效率

分析已表明，肩带在碰撞初始阶段对人体的约束作用不如腰带。为了提高肩带的初始约束能力，很显然的措施是减小卷收器的织带动态拉出量（锁止空行程加上织带卷绕间隙量）。根据以前试验数据（见表 2，卷收器类型项 R1、R2 和 R3 代表 3 种不同的卷收器），对于 3 种卷收器，各次试验卷收器织带动态拉出量在 40~90mm 之间分布，规律性不明显，并且从锁止结构和试验数据分析上比较，各种卷收器差别也不大。因此采用改变锁止方式即更换卷收器的方法来减少 ELR 空行程效果是有限的。若想较大幅度降低锁止空行程，卷收器需要采用夹紧或预张紧机构。

表 2 几种卷收器的动态拉出量

试验编号	卷收器类型	碰撞速度 / $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	碰撞减速度 第一峰值 /g	司机侧卷收器 动态拉出量 /mm	乘员侧卷收器 动态拉出量 /mm
S519	R1	45.0	24	75	75
S520	R1	43.9	25	70	90
S521	R1	45.7	25	80	60
S529	R1	44.0	60	45	55
F080	R2	48.2	65	40	40
F082	R3	48.1	62	65	65
F084	R2	49.4	50	50	40

根据正交试验模拟^[1]，对于普通 ELR 安全带，安全带织带刚度对司机头部伤害指标影响较大，这也就是说织带刚度对安全带动态特性影响很大。这是因为织带刚度大，则织带在较小的变形时会产生较大的约束力，相对改善了肩带在碰撞初始阶段约束力较弱的不足。国际 GB14166 对安全带织带拦伸特性要求是延伸率小于 30%，国内满足这一要求的织带，延伸率在 7%到 18%范围内可选。

因此，采用一种大刚度织带进行了台车对比试验。图 6 中共有 4 条曲线分别是 4 次台车试验（碰撞速度 49km/h）得到的肩带力曲线，其中 2 条实线是采用的大刚度织带（8%左右延伸率）的肩带力曲线，2 条虚线是原车采用的小刚度织带（14%左右延伸率）的肩带力曲线。

图 6 中可见，试验中肩带受力曲线开始上升的时刻是基本相同的，都在碰撞后大约 10ms 左右，但大刚度织带前移了肩带力曲线的相位，这样肩带的初始约束能力得到改善。

为了更好地对比两种带动态特性的差别，把假人肩部的前移量作 X 轴，肩带力作为 Y 轴，可画出肩带力-肩部的前移量曲线，见图 7。可见假人肩部前移 20mm 的时候，肩带开始受力，其后大刚度织带的张

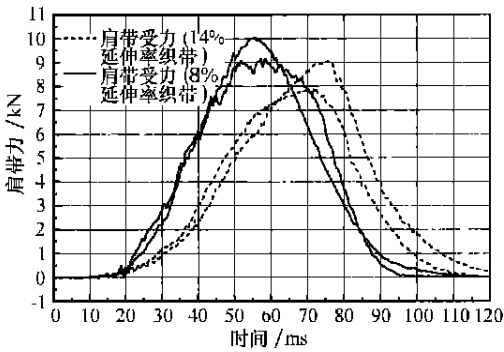


图6 两种不同刚度织带司机肩带受力曲线对比

力上升明显比小刚度织带快, 大刚度织带的受力在整个肩部前移行程中分布得更加均匀, 显然对假人的初始约束更为有效。

再看假人的前移量, 见图8, 采用大刚度织带后, 假人的臀部参考点的最大前移量比改进前减小了

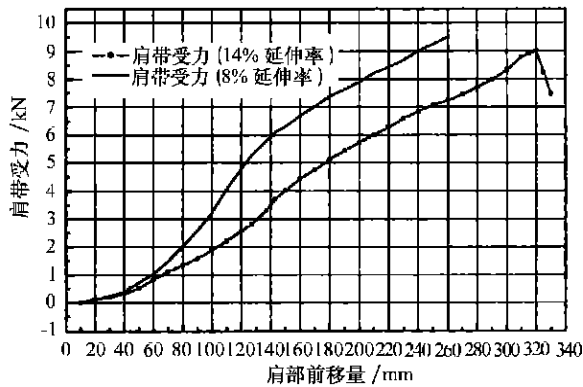


图7 两种不同刚度织带司机肩带力-肩部前移量曲线对比

30mm, 肩部参考点的最大前移量比改进前减小了近80mm, 而头部参考点的最大前移量则比改进前减小了150mm。

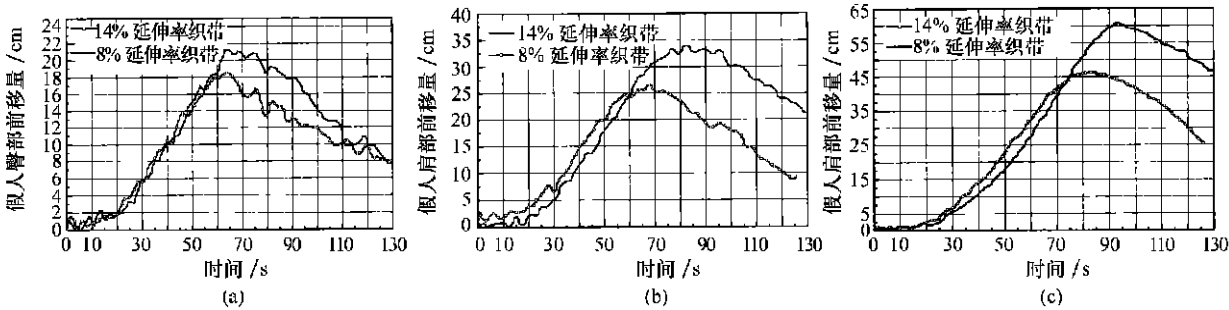


图8 两种不同刚度织带的司机前移量曲线对比

可见, 增加安全带织带刚度后, 虽然乘员臀部最大前移量减小不多, 但肩部和头部前移量有较大幅度的减小。对于该车型来说, 司机肩部和头部前移量的大幅减小有利 *HIC* 值的降低, 因为前移量的减小, 意味着头部与方向盘碰撞时, 头部的瞬时击速度也减小了, 从而减轻司机头部与方向盘的碰撞程度, 降低了碰撞减速度。司机头部的 *HIC* 值因此也得以降低。同时测量分析表明, 改进后乘员胸部减速度与改进前几乎没有变化, 表明改进后安全带引起的胸部伤害没有增加。

改进方案应用于实车, 在实车碰撞试验时, 司机头部减速度曲线峰值有较大降低, 见图9, 司机头部减速度峰值从改进前的130g降低到改进后60g, *HIC* 值也从改进前的1362降低到改进后662。而两次实车试验B柱下减速度峰值相差约7%, 试验结果证明了乘员约束系统改进方法的有效性。

4 结论

本文通过台车试验和实车试验, 对某轻型客车配

备的ELR安全带的动态特性进行了分析。在此基础上, 讨论了影响乘员伤害的几个因素, 提出了提高安全带动态特性减小司机伤害的措施, 并对此进行了台车试验验证, 最后实车试验的结果表明司机头部伤害程度大大降低, 证明了分析方法的正确性和改进方法的有效性。

参考文献:

[1] 龚剑, 刘凤梧, 张金换, 黄世霖. 利用试验设计法对乘员约束系统进行优化 [C]. 大连: 中国汽车工程学会第七届汽车安全技术学术会议, 2002-05: 21-23

[2] J-Y Foret-Bruno, X Trosseille, etc Thoracic Injury Risk in Frontal Car Crashes with Occupant Restrained with Belt Load Limiter [J]. SAE Paper No. 983166.

[3] Michael Araszewski, Eric Roenitz, Amrit Toor. Maximum Head Displacement of Vehicle Occupants Restrained by Lap and Torso Seat Belts in Frontal Impacts [J]. SAE Paper No. 1999-01-0443.

[4] 黄世霖, 张金换, 王晓冬, 等. 汽车碰撞与安全 [M]. 清华大学出版社, 2000.