

Study on Chest Injury of Occupants in Frontal Crash Based on NCAP Tests

Liu Zhixin, Zhang Xiaolong, Chen Hong, Liu Yuguang
(China Automotive Technology and Research Center, Tianjin, 300162)

Abstract: Although with the popularization of safety belt and airbag, chance that occupant's upper limbs were injured was decreased evidently in frontal impact. The injury problem of occupant's chest is still most frequent and fatal in traffic accidents. 37 groups C-NCAP crash test data including 100% rigid impact and 40% offset impact were analyzed in this paper, and chest injury distributing characteristic of drivers and passengers in these two kinds of impact configurations were obtained, finally we summarized the effect rules of characteristic parameters on chest injury.

Keywords: frontal impact, chest injury, injury index

C-NCAP 试验中乘员胸部伤害特征分析

刘志新, 张晓龙, 陈弘, 刘玉光
(中国汽车技术研究中心, 天津市 300162)

摘要: 尽管随着安全带、安全气囊的普及, 正面碰撞中乘员上肢受到严重伤害的概率明显降低, 但乘员胸部伤害问题仍然是交通事故中最常见的一种类型, 而胸部也是各国 NCAP 评分权重较高且得分率偏低的重要部位, 本文重点分析了 37 组 C-NCAP 试验中 100%正面碰撞、40%偏置碰撞两种形态下驾驶员、乘员的胸部伤害分布特征, 并总结了特征参数对胸部伤害的影响规律。

关键词: 正面碰撞, 胸部伤害, 伤害指标

1 引言

随着汽车安全技术的提高, 尤其是随着安全带、安全气囊等安全配置的日益普及, 正面碰撞中乘员上肢受到严重伤害的概率明显降低, 尽管如此, 乘员胸部伤害仍然是交通事故中最常见的一种类型, 因此, 胸部伤害在各国法规及 NCAP 评分体系中都占有较高的权重, 特别是在 NCAP 试验中, 胸部得分率相对其他部位要明显偏低^[1,2,3,4]。国外统计数据表明, 交通事故中 70%胸部受伤发生在正面碰撞事故中, 并且其伤害指标的伤害指数超过 AIS3 级(严重伤害)的占 34%。且胸部伤害致死率仅低于头部伤害致死率。因此如何降低乘员胸部伤害已经成为汽车业界的一个重要课题。

鉴于在正面碰撞中发生这类伤害的现象非常普遍, 本文重点分析了 37 组 C-NCAP 试验中 100%正面碰撞、40%偏置碰撞数据两种碰撞形态下驾驶员、乘员的胸部伤害分布特征, 归纳总结了其相关特征参数对胸部伤害的影响规律。

2 C-NCAP 胸部伤害评价指标与评分规则

胸部伤害是交通事故中比较常见的一种类型。在汽车事故中, 由于碰撞产生的挤压力造成胸部与汽车方向盘、安全带和空气囊之间的钝性冲击力是造成胸部伤害的主要原因。这种冲击性加速度或持续性加速度作用, 易形成人体骨折、软组织撕裂等机械性损伤, 并且胸腔内有人体的重要脏器心脏、肺脏、大血管等。这些机械性损伤如不及时抢救, 就会很快危及生命。因此采用冲击载荷和冲击状态下位移作为评价参数, 其影响的程度除了与冲击过载峰值、作用时间、过载速率 3 个基本参数有关外, 还与其作用的方向、胸部碰撞位置、人体的束缚状况等因素有关。

2.1 C-NCAP 胸部伤害评价指标

由于垂直胸部方向的动态冲击位移以及作用于胸部的冲击加速度作用是导致胸部骨折和人体脏器受伤的重要原因, 因此在 C-NCAP 两种正面碰撞形态评价中, 主要采用胸部压缩变形量与累计胸部 3ms 合成加速度值来评价。其中胸部压缩变形量由假人胸部安装的电位计传感器测量, 并且根据 CFC180 进行滤波; 胸部 3ms 合成加速度通常指人胸部受伤严重程度的容限水平(AIS $\geq$ 4), 即在上胸部重心处的作用时间为 3ms 或更长时间的线性加速度最大值为 60g。因此这个准则并不是简单地建立在最大值基础上, 而是建立在可承受的线性加速度水平上。如果采样频率是常数, 则累计 3ms 胸部合成加速度可基于如下算法获取:

- 1) 胸部合成加速度值以降序排列;
- 2) 胸部合成加速度值按照出现的频次从低到高排列;
- 3) 作图, 横坐标为某合成加速度值出现的频次, 纵坐标为合成加速度值, 根据采样时间, 即可获得达到 3ms 时对应的合成加速度值, 此即为累计 3ms 合成加速度值。

2.2 胸部伤害评分规则

在 100%正面碰撞试验中, 胸部最高得分为 5 分, 最低得分为 0 分^[5]。乘员侧假人胸部得分通过测量假人评价指标而产生, 而驾驶员侧假人的胸部得分还需在此分数基础上减去由于转向管柱变形所造成的扣分。并且若同一部位存在多个评价指标, 则采用其中的最低得分来代表该部位的得分。由 2.1 知, 胸部伤害评价指标包括压缩变形量和累计 3ms 合成加速度值, 每一个指标具有一个高性能限值和—个低性能限值, 并且分别对应 5 分和 0 分, 处于两者之间的测量值分别采用线性插值的方法得出对应的分数, 该分数采用四舍五入的方法保留到小数点两位。压缩变形量的高性能限值为 22mm, 低性能限值为 50mm; 累计 3ms 合成加速度值的高性能限值为 38g, 低性能限值为 60g。此外, 对于驾驶员侧假人, 若转向管柱向后位移量过大, 则其胸部得分将被修正, 修正值为 0~1 分。修正分参考 EEVC 的要求, 对于该指标的限值为 100mm, 修正计算时, 若该位移量不超过 EEVC 限值的 90%时 (即 90mm), 修正值为 0 分, 若该位移量达到了 EEVC 限值的 110%时 (即 110mm), 修正值为 1 分。对于中间值, 同样采用线性插值的方法得出相应修正分数。

在 40%偏置碰撞试验中, 胸部最高得分为 4 分, 最低得分为 0 分。乘员侧假人胸部得分通过测量假人评价指标而产生, 评价指标同上, 每一个指标对应最高分均为 4 分。而驾驶员侧假人的胸部得分还需在此基础上减去由于转向管柱和 A 柱变形所造成的扣分。对于驾驶员侧假人, 转向管柱向后位移量过大以及 A 柱后移量过大, 胸部得分将被修正, 修正值分别为 0~-1 分和 0~-2 分。对于转向管柱向后位移量, EEVC 对于该指标的限值为 100mm, 在计算该扣分时, 若该位移量不超过 EEVC 限值的 90%时 (即 90mm), 修正值为 0 分, 若该位移量达到了 EEVC 限值的 110%时 (即 110mm), 修正值为 1 分; 对于 A 柱向后位移量, 若该位移量不超过 100mm 时, 不扣分, 若该位移量达到 200mm 时, 则扣 2 分; 对于中间值, 采用线性插值法得出相应修正分数。

3 基于 C-NCAP 正面碰撞试验的胸部伤害统计特征分析

3.1. 两种碰撞形态下 37 组胸部得分总体情况分析

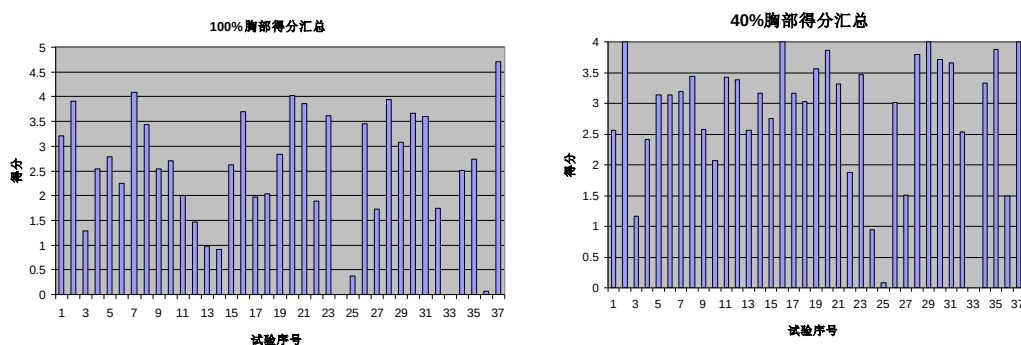


图 1 两种试验形态下胸部得分总体情况

对 37 组 C-NCAP100%正面碰撞、40%偏置碰撞试验中胸部数据进行分析, 两种试验形态下胸部得分情况如图 1 所示: 在 100%正面碰撞中, 37 种车型无一取得满分 (5 分) 的结果, 平均得分 2.49 分, 得分率仅为 49.8%; 而在 40%偏置碰撞中, 平均得分为 2.84 分, 得分率为 71.07%, 得分情况要较 100%正碰好。分析原因为前者采用的是刚性壁碰撞, 碰撞能量全部为碰撞车辆吸收, 后者碰撞壁则采用的是吸能蜂窝铝, 因此后者的碰撞能量由碰撞车辆和蜂窝铝共同吸收, 因而降低了车内乘员的伤害。

3.2 不同车系、不同车型之间的得分比较

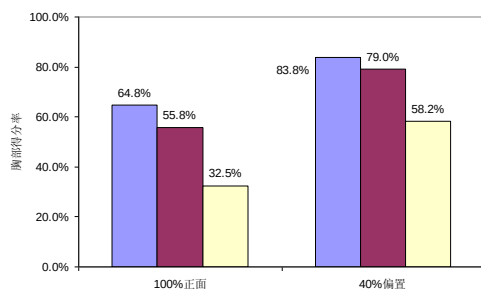


图 2 不同车系之间胸部得分比较

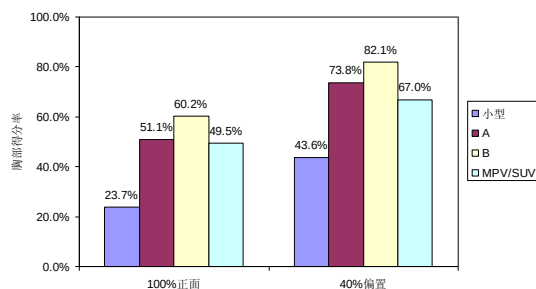


图 3 不同车型之间胸部得分比较

将车型按车系分为日系、欧美、自主品牌分,给出不同品牌之间胸部得分占满分比例的柱状图,如图2所示,从图中可知,两种试验形态下,日系车得分率最高,分别达到64.8%与83.8%,排名第一;欧美车次之,分别为55.8%与79%;而自主品牌汽车无论在100%正面碰撞还是在40%偏置碰撞中,胸部得分率均为最低,分别为32.5%与58.2%。说明自主品牌汽车在车身结构设计以及约束系统匹配方面与日本、欧美汽车发达国家仍存在不小的差距;图3为不同车型之间胸部部位得分率情况,在100%正面碰撞中,得分率从高到低次序为B类车、SUV/MPV、A类车和小型车,得分在60.2%~23.7%之间分布。分析原因为车型越大,可变形仓的区域越大,碰撞能量可以得到很好的吸收;此外所测试车型中B类车不仅车型大,而且约束系统匹配情况要优于SUV/MPV,因此,B类车胸部平均得分率高于SUV/MPV车型;而在40%偏置碰撞中,胸部得分率在43.6%~82.1%之间分布,除小型车之外,胸部得分差别不大,但小型车得分率仍为最低。分析原因为小型车由于受空间小限制,车身结构设计不够合理所致。

3.3 不同伤害指标对假人胸部的得分比较

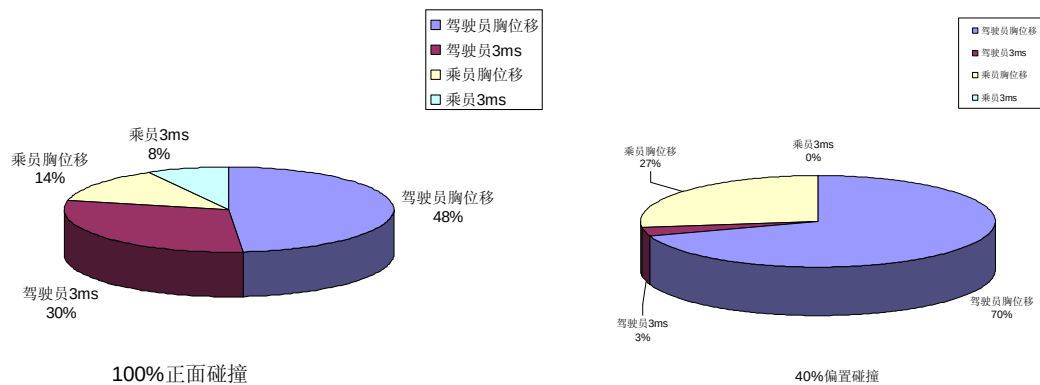


图4 不同伤害指标对假人胸部的得分影响比较

分别统计两种碰撞形态下不同伤害指标对胸部得分的影响,如图4所示,由图4看出,在100%正面碰撞试验中,胸位移对胸部最终得分的影响比率更大,驾驶员侧与乘员侧分别占48%与14%,而累计3ms合成加速度值对胸部最终得分的影响比率相对较小,驾驶员侧与乘员侧分别为30%和8%,表明在100%正面碰撞试验中,冲击状态下位移对假人胸部得分的影响要大于冲击过载峰值对假人胸部得分的影响;此外,可看出,在100%正面碰撞试验中,驾驶员侧假人胸部受伤害比率达到78%,远高于乘员侧假人的受伤害比率(22%),分析原因为驾驶员侧相对乘员侧多了方向盘、转向管柱以及踏板等结构件,使得该侧碰撞环境更恶劣。而在40%偏置试验中,仍然是胸位移相比累计3ms合成加速度值对胸部最终得分的影响比率大,并且这种趋势比100%正面碰撞形态更强,其中胸部位移对驾驶员侧与乘员侧胸部最终得分影响比率分别为70%与27%,而累计3ms合成加速度值对驾驶员侧与乘员侧胸部最终得分的影响比率仅为3%与0%,显然,在40%正面碰撞试验中,对胸部得分起决定性作用的伤害指标为胸位移。

3.4 约束系统的影响

WIC是1990年美国通用公司的Viano和Areppally提出,通过将HIC、胸部3ms加速度、胸部压缩量和大腿轴向力用加权的方法综合到一起得到的正则化的伤害评估值,用来评价约束系统的整体性能好坏。在FMVSS208中WIC的定义如下:

$$WIC = 0.6 \left(\frac{HIC_{36}}{1000} \right) + 0.35 \left(\frac{a_{3ms}}{60} + \frac{D_{fel}}{0.0762} \right) / 2.0 + 0.05 (F_L^{femur} + F_R^{femur}) / 20 \quad (1)$$

式中:

HIC_{36} ——头部伤害指数, a_{3ms} ——累计胸部3ms合成加速度

D_{fe} ——胸部位移 F_L^{femur} 、 F_R^{femur} ——左右大腿轴向力

并且WIC越低,说明约束系统的保护性能越好。图5为两种碰撞形态下WIC指数与胸部得分情况统计曲线图。由得分拟合曲线以及WIC指数拟合曲线看出,无论是100%正面碰撞还是40%偏置碰撞,胸部得分均随着WIC指数的降低而提高,分析原因为WIC指数越小,即乘员约束系统性能越好,安全带与安全气囊对乘员上肢的限制作用明显,从而减小了胸部在车内的二次运动冲击。

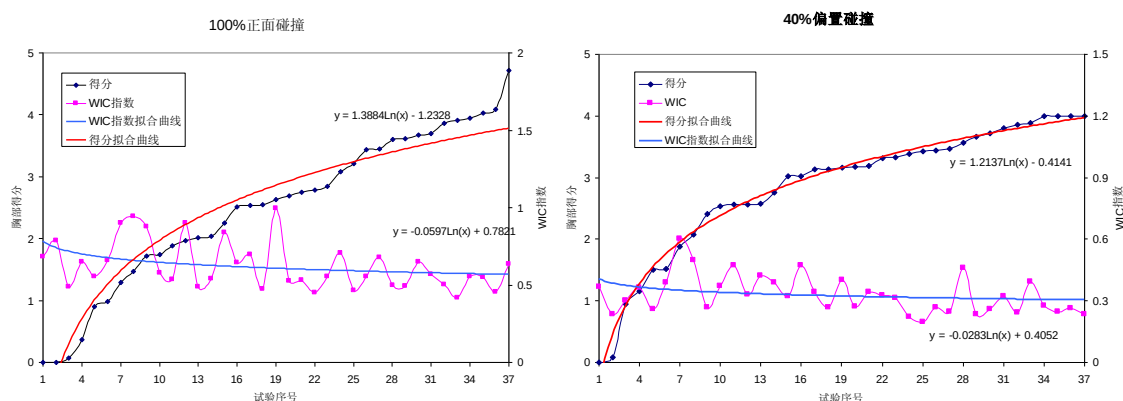


图5 两种碰撞形态下WIC指数与胸部得分统计曲线

4 结论

- (1) 以 C-NCAP 评分规则来统计衡量胸部伤害,100%正面碰撞形态中胸部的得分率要低于 40%正面碰撞形态。其中 100%正面碰撞平均胸部得分率仅为 49.8%,40%偏置碰撞平均胸部得分率为 71%。
- (2) 自主品牌汽车在两种碰撞形态下胸部得分与日、欧、美系车存在较大差距;
- (3) 车辆外廓尺寸的影响,在 100%正面碰撞中大尺寸车型在胸部得分率占有较大优势,但 B 型车较 SUV/MPV 得分率稍高。而在 40%偏置碰撞中小型车平均得分率最差,除此之外,外廓尺寸的差别对胸部得分率影响不大。
- (4) 不同的伤害指标对前排乘员胸部的伤害分布表现不同,100%正面碰撞中,胸部压缩量对胸部最终得分的影响比率较大,占 62%;而在 40%偏置碰撞中,胸部压缩量对胸部最终得分的影响占有决定性的比率,达到 97%。
- (5) 乘员约束系统的影响,良好的乘员约束系统有利于胸部取得较高的得分。

参考文献

- [1] 张晓龙,刘玉光,刘志新. 基于 C-NCAP 的我国乘用车被动安全性能分析. 2008 中国汽车安全技术国际研讨会工程学会年会论文集[C].上海, 2008: 392-401
- [2] 朱航斌. 正面碰撞波形对乘员伤害值的影响. 2008 中国汽车安全技术国际研讨会工程学会年会论文集[C].上海, 2008: 165-170
- [3] GB11551-2003,乘用车正面碰撞的乘员保护[S]
- [4] GB/T20913-2007,乘用车正面偏置碰撞的乘员保护[S]
- [5] C-NCAP 管理手册, 中国汽车技术研究中心, 2006