

Analysis of a light truck to a school bus crash test with a 45-degree angle

Chen Keming, Yue Zhongyao, Li Qinfeng

(China Automotive Engineering Research Institute Co. Ltd.Chongqing 400039)

Abstract: China Automotive Engineering Research Institute recently conducted a light truck to a school bus crash test with a 45-degree angle. The purpose is to investigate the car-to-car crash compatibility and light truck and school bus structures crash performances, as well as restraint system responses as a crash event occurs, and to provide a primary assessment on the current light truck and school bus structure design. Conclusions were draw that the school bus structure has better crash performance than light truck. As for the light truck structure, crash performance requirements must be considered in the frontal frame rails design with energy absorption functions in the future design.

Key words: crash safety; light truck; school bus

轻卡对校车 45 度角对撞试验的分析

陈可明，乐中耀，李勤奋

汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室

(中国汽车工程研究院股份有限公司，重庆 400039)

摘 要：最近中国汽车工程研究院进行了一次轻卡对校车 45 度角度的对撞试验，其目的是进行车对车碰撞兼容性的初步研究和了解轻卡和校车结构的防撞性能以及车内的乘员对于约束系统在碰撞发生时的响应，对当前的轻卡和校车的结构设计有一个初步的评估。结果表明，该试验校车的结构抵抗碰撞的能力较强，而对于轻卡的结构来说，将来的纵梁设计需要考虑碰撞安全的要求，增加一定的吸能功能。

关键词：碰撞安全；试验；轻卡；校车

随着中国汽车工业最近 10 年的飞速发展，中国已成为目前世界上最大的汽车市场。但随之而来的汽车交通事故也带来了重大的人员伤亡。据公安部交通管理局统计显示，2012 年，全国发生涉及人员伤亡的交通事故 204196 起，造成 284324 人员伤亡，其中死亡人数近 6 万（59997 人），导致直接财产损失达 11 亿 7 千多万元人民币^[1]。另据中国交通事故网报道，2013 年上半年，北京发生交通事故 1424 起，死亡 373 人，福建省发生的交通事故导致 881 人死亡，其中以货车事故导致的死亡率最高。

鉴于目前人们对于交通事故和校车安全的日益关注和重视，为了模拟轻卡和校车在城市交通路口实际发生的两车对撞事故，中国汽研进行了一次轻卡对校车 45 度角度的对撞试验。其目的是想进行车对车碰撞兼容性的初步研究和了解轻卡和校车的结构以及车内的乘员对于碰撞发生时的响应，在这种碰撞条件下，对当前的轻卡和校车的结构设计有一个初步的评估。为将来建立适合我国经济状况和交通条件下轻卡的安全标准或法规，以及完善目前的校车安全标准，提供一些客观的依据和理论准备。

1 国内轻卡和校车的安全标准

2014 年 9 月国家重新修订了车辆正面碰撞的安全标准 GB11551-2014^[2]，首次提出了对轻卡的整车碰撞和乘员伤害值的要求。在此之前国内对于轻卡安全的标准有 GB13057-2003 是有关汽车座椅及其车辆固定件的强度要求^[3]和 GB26512-2011 是有关商用车驾驶室乘员的保护^[4]。其中对驾驶室结构强度的要求主要是通过三个实验来完成；利用摆锤正面撞击的试验 A，验证驾驶室顶部强度的试验 B 和验证驾驶室后围的试验 C。详细情况可见

文献^[4]。与乘用车的安全标准不同，以上轻卡的安全标准并对车内乘员提出具体的伤害指标较乘用车的要求要少，也不需要轻卡进行侧面和其他工况的碰撞试验。所以，目前国内对轻卡的安全标准远没有对乘用车的标准那么严厉。但是，对于车内的乘员来说，无论是轻卡或是乘用车，他们的生命同样重要。在交通事故发生时，如果轻卡结构的防撞性能和约束系统没有达到乘用车的标准，车内乘员受到的伤害就会比乘用车的乘员严重。显然，这一点以后会引起所有关注车辆安全的机构和人们的注意和重视。在欧美国家，只要轻卡和乘用车的重量相同，它们就需要满足同样的安全标准或法规。

由于校车交通事故的不断发生，给广大学生的生命安全带来极大的隐患，为此，除了要满足普通客车的安全标准，如：GB13094-2007^[5]，对车身上部结构强度，侧倾稳定性和燃油系统安全都作了一些规定外，政府还在 2012 年颁布了有关专用校车安全标准。目前已有的专用校车安全标准有：GB24406-2012 和 GB24407-2012^[6-7]。前者是有关专用校车座椅及其车辆固定件的强度，后者是有关专用校车的安全技术条件，另外，GB7258-2012^[8] 也对校车车身结构设计等方面作了一些规范，并且明确指出学生座椅应配备两点式安全带^[9]。这些标准的制定和实施为校车安全的结构设计提供了一个基础。

总之，在我国目前无论是轻卡或校车的设计，还远远没有达到国际上或类似于像乘用车那样的安全标准，而轻卡在市场上还占有相当的份额。这个实验的另一个初衷也是为了要引起轻卡和校车制造商以及政府有关部门的重视和注意，尽快分别制定或补充确实有效的国家法规和安全标准。以确保乘员在这些车辆上的安全。另外，我们完成的国家 973 项目的课题是《车-车碰撞相容性及乘员反应对损伤影响的基础研究》，本文所提及的是一个车-车碰撞的初步试验，在我国，这样的轻卡对校车的碰撞试验还是首次，由于条件的限制，当时只采集了这些数据，随着课题的继续深入，我们还将进行大量不同类型的车-车碰撞试验，那时必将得到更多的数据，结合正在进行的 CAE 分析，可以进行更深入的研究，提供更多更广泛的研究成果。

2. 试验设置

这次轻卡对校车的试验设置如图 1 所示，轻卡自重 1.5 吨，加配重至 2.5 吨，车内驾驶员座位放置一个 50H3 成年假人，副驾驶座位无假人。以每小时 60 公里的速度沿 45 度角方向朝校车撞击，初始撞击点如图 2 所示。以美国 FMVSS 214 法规为参考，两车撞击点为距校车前轴往后 508mm 处。校车重量为 4.69 吨，以每小时 40 公里的速度向行驶，为了得到校车侧面的侵入量，需要在校车右侧表面标出了几十个点的位臵，如图 3 所示。车内右侧最后排靠窗放置一个如图 4 所示的 6 岁儿童假人，左侧第一排靠窗放置一个如图 5 所示的 3 岁儿童假人。



图 1 轻卡对校车 45 度角对撞的试验设置

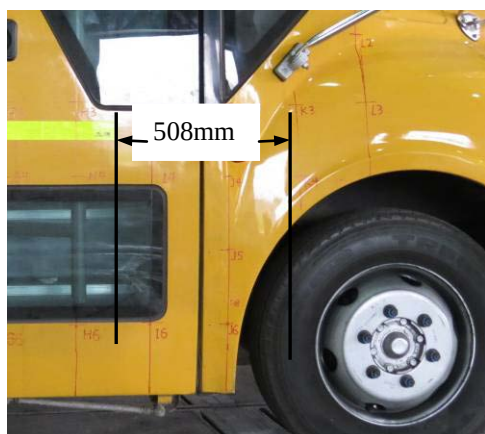


图 2 初始撞击点



图 3 校车侧面侵入量的位置



图 4 左侧第一排靠窗 3 岁假人



图 5 右侧最后排靠窗 6 岁假人

3 轻卡的碰撞安全

3.1 轻卡内假人的伤害值

从假人的伤害值来看，驾驶员侧假人的伤害值曲线如图 6 到图 9 所示，假人的头部损伤值 HPC36 199 不算高（见图 6），最大胸部位移值 45mm（见图 7），也满足国家标准。C-NCAP 五星要求更高一些，但这不在我们讨论之内。图 8 显示，假人右侧大腿力达到 9.1KN，有点大，这是由于轻卡的右侧撞击校车的左侧。所以轻卡右侧的仪表板及仪表板横梁往后变形过大，顶住驾驶员右大腿，引起右大腿受力过大，但仍然小于国家标准的上限 10KN。因为轻卡的左侧没有受到碰撞，所以，假人左大腿受力不大，只有 1.2KN 左右，如图 9 所示。总之，驾驶员侧的假人伤害值都满足国家标准。由于担心在碰撞过程中，轻卡右侧结构损毁较大，当时没敢放置乘员侧假人，因此也无法知道乘员侧假人的伤害值。另外，要指出的是，虽然在 45 度角的对撞中假人的伤害值满足国家标准，但是在将来 50km/h 正面刚体壁障碰撞试验中，表现可能完全不同，尤其是假人胸部位移量，可能会有问题。

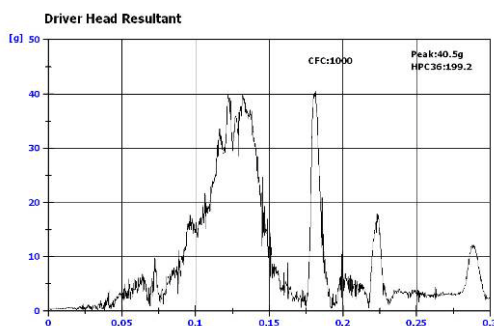


图 6 头部伤害值曲线

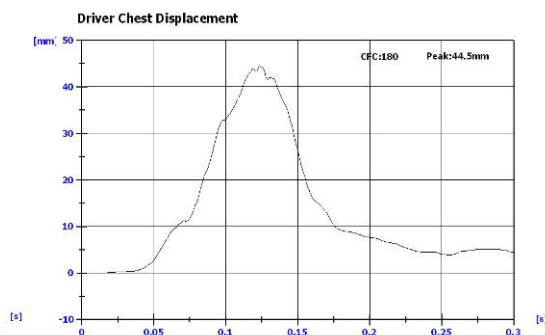


图 7 胸部伤害值曲线

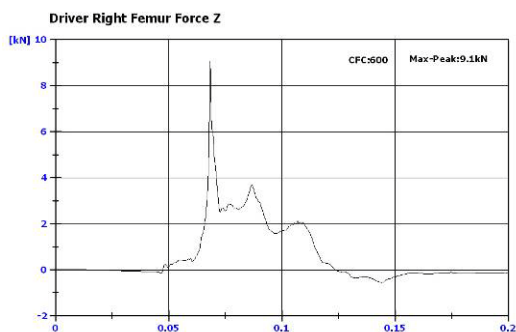


图 8 右大腿受力曲线

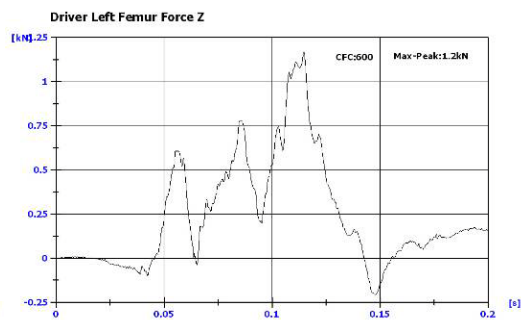


图 9 左大腿受力曲线

值得注意的是，这次试验中所用的假人是 50H3 正碰成年假人，主要用于正面碰撞试验。对于我们这次有 45 度角的两车对碰，这种假人无法测得来自于侧面方向的受力和变形，因此，这里得到的假人伤害值还不能完全反映出实际的伤害情况。国外正面偏角碰撞试验也用 50H3 假人，但他们最大的角度不超过 30 度。

3.2 轻卡结构的变形

从轻卡结构上来看，在碰撞过程中，左侧 B 柱门槛处加速度最大值可达到 37G 左右（见图 10），还算正常，但是，右侧 B 柱门槛处加速度最大值可达到 120G 左右，如图 11 所示，这就非常之大，如果在试验中放置了假人，则假人可能被损坏。如果实际事故发生时，副驾驶位置有乘员，则乘员无法生存。

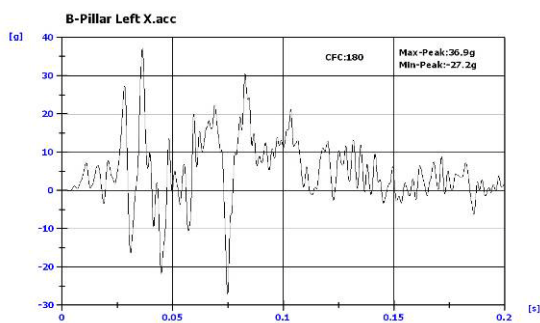


图 10 左侧 B 柱门槛处加速度曲线

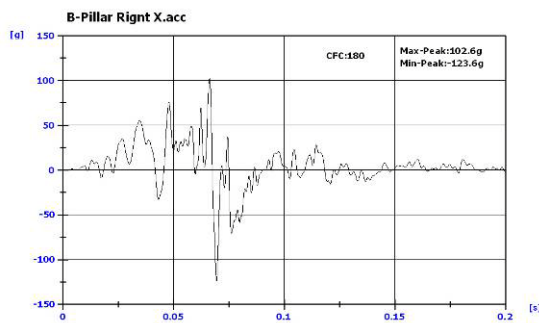


图 11 右侧 B 柱门槛处加速度曲线

从图 12 中也可看到，由于轻卡的右侧与校车的左侧相撞，校车的结构相对较强，轻卡右侧结构太弱因此损毁严重，右侧前车门也在碰撞中打开并脱落，如果此时在后排右侧座位上有乘员，他要不被变形的结构严重挤压或是被甩出车外，都会发生致命的伤害。另外，轻卡的纵梁也似乎太薄弱，设计中完全没有考虑碰撞的要求。纵梁变形如图 13 至图 15 所示，在碰撞中，纵梁前端变形严重，然后纵梁在铆钉处折断，此处由于有铆钉，纵梁截面面积减小，容易折断。

设计时没有考虑到方向盘与仪表盘顶部距离较小，大概是 50mm，即使方向管柱有压溃功能也无法充分利用。这样对假人胸部会有伤害。不过，此轻卡的方向管柱没有压溃。从图 16 中可看到，乘员座椅靠背已接触仪表板，表明座椅底部变形过大，或者驾驶室地板变形过大。经过仔细检查发现，是座椅椅背转动机构失效，没能锁住，导致椅背向前转动。另外，轻卡的 A 柱太弱，需要加强。（见图 17）



图 12 轻卡右前门脱落



图 13 纵梁前端变形严重



图 14 折断的纵梁

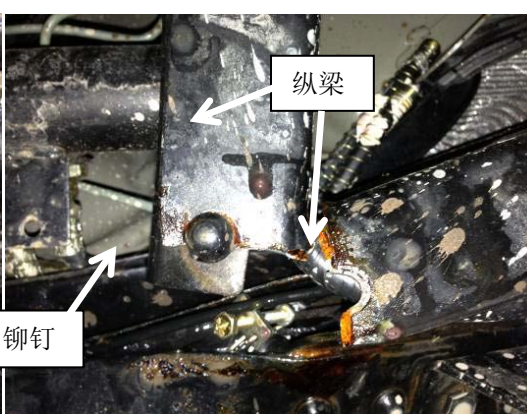


图 15 纵梁在铆钉处折断



图 16 方向盘与仪表盘顶部距离



图 17 A 柱太弱，需加强

4 校车的碰撞安全

对于 45 度角侧碰来说，这款校车的结构强度，刚度都还不错。由于初始碰撞点的位置比较靠前，所以校车前门变形较大，往 Y-方向的最大侵入量达到 230mm 左右，（见图 18 中点，H3），如果没有门后的开启前门装置的支撑，侵入量可能更大（见图 19）。另外，校车后门在试验后仍可开启，这点对于学生的安全尤为重要。



图 18 校车的前门变形和油箱加油口位置

图 19 门后的转动装置阻止了门的变形

如果轻卡的碰撞点稍往后一点，就有可能撞击到油箱的加油口，（见图 18），这也是一个重要的位置，图中显示，加油口的盖子部分已被撕开，如果加油口后面没有特殊保护，被撞后，此处的油管比较容易破裂。导致校车起火事故。这也是比较危险的。

如果轻卡的速度更大一些，或者轻卡结构的刚度更强一些，校车就有可能向左侧侧翻（见图 20）。图 21 所示，碰撞后校车右侧车轮已经离地。非常危险。如果校车倾覆或翻滚，车内乘员的伤亡就很严重。所以校车的重心要尽可能的低。



图 20 校车险些侧翻

图 21 右侧车轮已离地

从试验中得到的视频看，坐在最后一排右边靠窗的 6 岁假人受到的伤害较大，大约在 30 毫秒左右，假人的头部撞击到车窗的窗框，头部的损伤会比较严重（见图 22），然后，假人反弹，头部向左侧移动，大约在 116 毫秒，假人颈部撞击在左侧座椅护栏（见图 23），此时，颈部损伤将极其严重。因此，座椅护栏的设计应该得到改进。当然，如果有俩人同坐这一座位，就不一定会发生这种现象，但是有可能靠窗的假人向内移动时，俩人的头部会相撞，同样会造成严重的头部伤害。



图 22 假人头部撞击到车窗窗框

图 23 假人颈部撞击到座椅左边护栏

5 结论

对于轻卡的结构来说,将来设计纵梁时,需要考虑碰撞安全的要求,增加一定的吸能功能,铆钉的位置和尺寸也要给与考虑。A 柱需要加强。方向盘与仪表盘顶部的距离可适当增大一点,为以后采用具有压溃功能的转向管柱留有余地。同时还需检查座椅靠背转动机构的功能,不能失效。对于前排假人的行为,还需通过正面碰撞试验来加以验证。

对于该试验校车来说,在 45 度角对撞试验中,校车结构抵抗碰撞的能力较强,虽有些结构变形,但并不太严重,由于没有很好的约束系统保护,在碰撞过程中,车内乘员的运动状态没有受到很好的限制,可能会与车内的结构或其他成员相撞而造成伤害,这也是两点式安全带的不足之处,因为它不能约束乘员身体上半部的运动。这是今后需要注意的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2012 年度),公安部交通管理局,2013 年 6 月,pp 5-6
- [2] 国家质量监督检验检疫总局,GB11551-2014,汽车正面碰撞的乘员保护,北京:中国标准出版社,2014
- [3] 国家质量监督检验检疫总局,GB13057-2003,汽车座椅及其车辆固定件的强度要求[S],北京:中国标准出版社,2003
- [4] 国家质量监督检验检疫总局,GB26512-2011,商用车驾驶室乘员的保护[S],北京:中国标准出版社,2011
- [5] 国家质量监督检验检疫总局,GB13094-2007,客车结构安全标准[S],北京:中国标准出版社,2007
- [6] 国家质量监督检验检疫总局,GB24406-2012,校车座椅及其车辆固定件的强度要求[S],北京:中国标准出版社,2012
- [7] 国家质量监督检验检疫总局,GB24407-2012,校车座椅及其车辆固定件的强度[S],北京:中国标准出版社,2012
- [8] 国家质量监督检验检疫总局,GB7258-2012,机动车运行安全技术条件[S],北京:中国标准出版社,2012
- [9] 樊海龙,GB7258-2012 与客车安全及市场引导,客车技术,2013,3,pp 43-46