

轻型卡车与轿车碰撞兼容性：速度变化下的乘员损伤

唐友名^{1,2}, 黄红武^{1,2}, 杨济匡^{1,3}

- (1. 厦门理工学院 汽车安全与保险技术研究中心 厦门 361024 ;
2. 厦门大学 物理与机电工程学院, 厦门 361005 ;
3. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082)

摘要: 研究了真实世界事故中、侧面冲击载荷作用下轻型卡车与轿车驾乘人员的损伤位置分布。采用了美国国家汽车取样系统/耐撞性数据库(NASS/CDS)近136万个碰撞兼容性案例,将所有驾乘人员损伤等级分为MAIS 0-7和MAIS 3+两种情况,在不同速度下,以涉案撞击车和被撞击车在碰撞前后的速度变化值为变量,分析了乘员不同损伤部位(头部/面部/颈部、胸部、骨盆、上肢和下肢)的损伤分布。结果表明:撞击车乘员受损速度区间比被撞击车偏大,乘员损伤风险偏低。因此,从碰撞兼容性角度考虑,减少驾乘人员的骨盆损伤,可以减少所有涉案乘员损伤风险机率。

关键词: 汽车安全;碰撞兼容性;侧面碰撞;乘员损伤;损伤部位

中图分类号: U461.91

Crash compatibility of a light truck vehicle to a passenger car: The relationship between delta velocity and occupant injury severity

TANG Youming^{1,2}, HUANG Hongwu^{1,2}, YANG Jikuang^{1,3}

- (1. *Research Center of Technology for Vehicle Safety & Insurance, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China;*
2. *School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361024, China;*
3. *State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)*

Abstract: This paper analyzes the distribution of injured occupants in side impact collisions of light truck vehicles to passenger cars in the real world. The injury levels were divided into MAIS 0-7 injured occupants and MAIS 3+ injured occupants. The injury distribution of five main seriously injured body regions (including head/face/neck, chest, pelvis, upper extremity and lower extremity) was investigated at delta velocity before and after crash, using the delta velocity of struck and striking vehicles as the variable, according to 1.36 million weighted crash compatibility cases extracted from the US National Automotive Sampling System (NASS) / Crashworthiness Data System (CDS) database. The results show that the delta velocity of striking vehicle is larger than that of the struck vehicle, and the occupant injured risk ratio is lower than that of the struck vehicle. Therefore, avoiding the pelvis injury of drivers and passengers can reduce the risk of total occupants involved in the collisions in consideration of crash compatibility.

Key words: vehicle safety; crash compatibility; front-to-side impact; passenger injury; injured body region

收稿日期 / Received : 2011-07-06

基金项目 / First author : 厦门理工学院科技研究项目 (JKY10023R); 福建省教育厅科技项目 (JA11239)

第一作者 / Second author : 唐友名 (1981—), 男 (汉), 湖南, 博士后, 讲师。E-mail:tangyouming@xmut.edu.cn

碰撞兼容性已发展成被动安全领域最新研究方向^[1]。轻型卡车(light truck vehicle, LTV), 其总质量不超过2.041 t, 包括运动型多功能车(SUV)、卡车、轻型货车等^[2]。随着轻型卡车销量的不断增加, 轻型卡车与轿车(passenger car, PC)之间结构不兼容的矛盾日渐显现^[3-4]。从1980年开始, 由轻型卡车对轿车(LTV-to-PC)碰撞所导致乘员的致死率逐年递增。

在碰撞事故中, 车辆受损位置、乘员损伤程度与汽车结构设计不同, 如车质量、纵梁高度、刚度等因素相关^[5-7]。对于轿车而言, 车门中一般只有一根防撞梁, 安装在车门中部或偏下的位置, 结果是车门中部以上缺乏保护^[8]。当轻型卡车侧面撞击轿车时, 较高的保险杠骨架就会撞击轿车车门上部没有加强的区域, 从而导致乘员胸部、头部等损伤。因此, 轿车与轻型卡车之间由于结构不兼容就会很容易使乘员致死或重伤。

本文利用美国国家公路交通安全管理局“国家汽车取样系统”(National Automotive Sampling System, NASS)中“耐撞性数据系统”(crashworthiness data system, CDS)子数据库, 研究了LTV-to-PC侧碰事故中车辆不同速度变化对乘员损伤的影响。研究结果将对于采用中国事故数据库开展相关研究提供有益参考。

1 研究方法

1.1 NASS/CDS 数据库及案例筛选

NASS 数据库是最权威的现实世界交通事故数据库之一。NASS 数据库包含“耐撞性数据系统”(crashworthiness data system, CDS)子数据库和“通用评估系统”(general estimates system, GES)子数据库。其中 CDS 数据库主要收集乘员损伤数据和车辆受损数据, 在研究事故乘员损伤方面广泛采用 NASS/CDS 数据库。

为了研究轻型卡车对轿车碰撞事故中驾乘人员损伤分布及身体部位损伤分布, 本文在文献^[9]事故统计数据基础上深入调查2007年NASS/CDS数据库收集案例。2007年度美国国家高速公路交通安全管理局NHTSA共收集交通事故4963例, 加权后案例为2,454,014例。本文对加权后的案例进行分析, 其中两车侧面碰撞事故中涉案驾乘人员占2007年所有乘员人数的35.6%。表1、表2分别为NASS/CDS 2007年事故统计基本数据和轻型卡车与轿车侧面碰撞事故中所有涉及驾乘人员。

由表1可知, 两车交通事故占整个事故的55.5%, 涉及事故的驾乘人员数占总人数的62.2%; 由表2可知,

表1 NASS/CDS 2007 事故统计(加权, 不统计行人)
Table 1 Accident Investigation of NASS/CDS in 2007 (Weighted without Pedestrians)

事故类型	案例份额 / %	乘员份额 / %
单车事故	33.9	19.9
两车事故	55.5	62.2
多车事故	10.6	17.9
总计	100.0	100.0

表2 轻型卡车与轿车侧撞事故中所有涉案乘员
Table 2 Involved Occupants in LTV-to-PC Side Crash Accidents

碰撞形式	涉案乘员 / %		乘员比
	撞击车辆中	被撞车辆中	
PC-to-PC	14.9	16.1	1.00 : 1.08
PC-to-LTV	12.5	15.9	1.00 : 1.27
LTV-to-PC	12.2	15.0	1.00 : 1.23
LTV-to-LTV	7.4	6.0	1.23 : 1.00
总计	47.0	53.0	1.00 : 1.13

在轻型卡车与轿车的侧面碰撞交通事故中撞击车辆涉案驾乘人员占总人数的47%, 被撞击车辆涉案驾乘人员数比撞击车辆高出8%。

1.2 乘员损伤等级 AIS

美国机动车医学促进会(The Association for the Advancement of Automotive Medicine, AAAM)从医学解剖等角度提出的“简化伤害标准”(abbreviated injury score, AIS)是目前广泛采用的乘员伤害等级的衡量指标^[10], 如表3所示。

表3 AIS 损伤等级标准
Table 3 The Standard of Abbreviated Injury Score (AIS)

AIS	损伤程度
0	无损伤
1	轻伤
2	轻微伤
3	重伤
4	严重损伤
5	致命伤
≥ 6	死亡或明显不能救活

不同年龄、不同个体之间对于某一类型的损伤耐受度的差别很大, 一般只能用实验和统计学的方法来确定。在轻型卡车对轿车的两车侧面碰撞事故中, 乘员损伤分析主要是统计分析撞击车辆和被撞击车辆所有乘员损伤等级为MAIS 0-7(Maximum AIS 0-7)和AIS 3+的身体各部位受损情况。对于乘员同一身体部位有多种损伤, 只统计其中损伤等级AIS值最高的损伤形式。

2 研究结果

2.1 对应于撞击车辆速度变化值 Δv 的损伤分析

撞击车辆速度变化值 Δv 指撞击车在侧面碰撞事故发生之前与事故发生之后的速度差, 即

$$\Delta v = v_{pre} - v_{post}$$

图1显示了在侧面碰撞中撞击车辆所有损伤等级 MAIS3 以上乘员在撞击车辆速度变化值 Δv 不同区间范围内的分布情况。其中损伤等级 MAIS3+ 乘员的最高分布区间为撞击车辆速度变化值 41~50 km/h 之间。

图2显示了在侧面碰撞中撞击车辆所有损伤等级 MAIS 0-7 乘员和所有损伤等级 MAIS 3 以上乘员在撞击车辆速度变化值 Δv 不同区间范围内的分布情况。其中所有损伤等级 MAIS3+ 乘员且损伤风险 50% 以上的机率是发生在速度变化值 Δu 为 34 km/h 时, 当撞击车辆速度变化值为 50 km/h 时, 撞击车辆所有乘员和损伤等级 MAIS3+ 乘员的损伤风险机率在 92.8% 以上。

图3显示了撞击车辆所有损伤等级 MAIS3+ 乘员身体各受伤部位在速度变化值 Δv 区间上的分布情况。由图3可知, 乘员身体五大部位(头部/面部/颈部、胸部、骨盆、上肢和下肢)损伤主要发生在撞击车辆速度变化区间 41~50 km/h 内, 其中在区间 21~30 km/h 内和 41~50 km/h 内, 胸部的损伤比重分别达到了 22% 和 30%; 骨盆的损伤比重分别为 19.5% 和 31.5%; 头部/面部/颈部的损伤比重分别为 26.2% 和 29%。

综合上述分析可知, 在轻型卡车和轿车的侧面碰撞真实事故中, 撞击车辆所有损伤等级 MAIS3+ 乘员与其身体五大部位主要受损的速度变化区间范围为 41~50 km/h 之间, 在该速度变化区间范围之内, 乘员身体五大部位的损伤比重均超过了 28%。造成撞击车

辆所有乘员损伤等级 3 以上且损伤风险 50% 以上的速度变化值为 34 km/h。

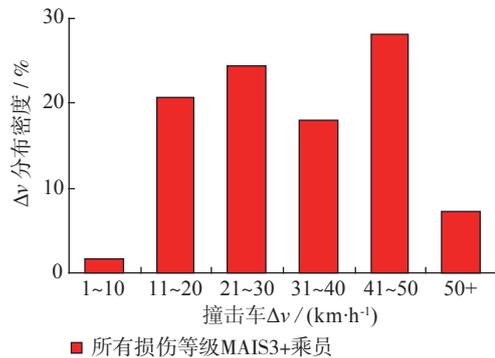


图1 撞击车辆所有损伤等级 MAIS3+ 乘员 Δv 分布图

Fig 1. Distribution of MAIS 3+ Injured Occupants by Delta Velocity of Striking Vehicle

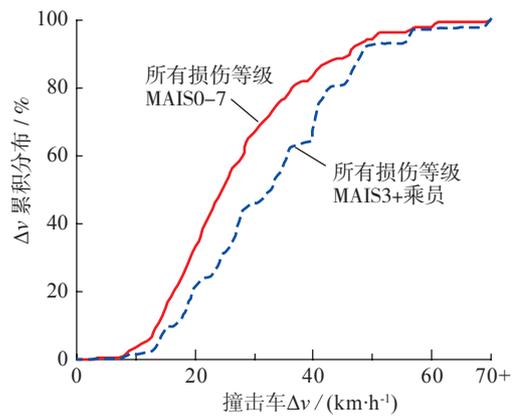


图2 撞击车辆所有乘员损伤 Δv 分布图

Fig. 2 Distribution of All Occupants by Delta Velocity of Striking Vehicle

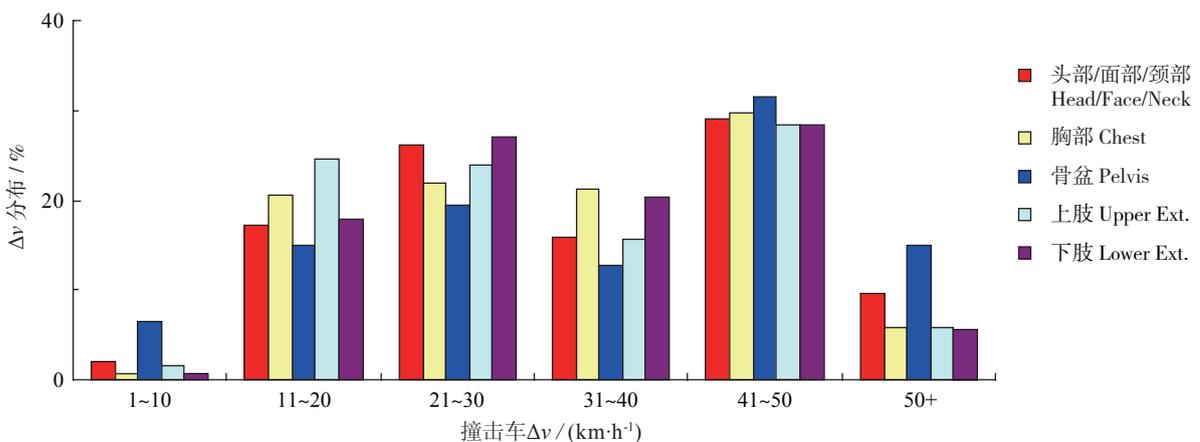


图3 撞击车辆所有损伤等级 AIS3+ 乘员身体各部位 Δv 分布图

Fig 3. Distribution of AIS 3+ Injured Occupants by Body Region and Delta Velocity of Striking Vehicle

2.2 对应于被撞击车辆速度变化值 Δu 的损伤分析

被撞击车辆速度变化值 Δu 指被撞击车在侧面碰撞事故发生之前与事故发生之后的速度差, 即

$$\Delta u = u_{pre} - u_{post}$$

图 4 显示了在侧面碰撞中被撞击车辆所有损伤等级 MAIS3 以上乘员在被撞击车辆速度变化值 Δu 不同区间范围内的分布情况。其中损伤等级 MAIS3+ 乘员最高分布的两个区间为被撞击车辆速度变化值 21~30 km/h 之间和 31~40 km/h 之间。

图 5 显示了在侧面碰撞中被撞击车辆所有损伤等级 MAIS 0 - 7 乘员和所有损伤等级 MAIS3 以上乘员在被撞击车辆速度变化值 Δu 不同区间范围内的分布情况。其中所有损伤等级 MAIS3+ 乘员且损伤风险 50% 以上的机率是发生在速度变化值 Δu 为 28.5 km/h 时, 当被撞击车辆速度变化值为 50 km/h 时, 被撞击车辆所有乘员和损伤等级 MAIS3+ 乘员的损伤风险机率在 92.07% 以上。

图 6 显示了被撞击车辆所有损伤等级 MAIS3+ 乘员身体各受伤部位在速度变化值 Δu 区间上的分布情况。由图 6 可知, 乘员身体五大部位(头部 / 面部 / 颈部、胸部、骨盆、上肢和下肢)损伤主要发生在被撞击车辆速度变化区间 11~20 km/h 内、21~30 km/h 内和 31~40 km/h 内, 其中在区间 31~40 km/h 内和 41~50 km/h 内, 胸部的损伤比重分别达到了 28.3% 和 24.52%; 在区间 11~20 km/h 内和 21~30 km/h 内, 骨盆的损伤比重分别为 24.12% 和 29.71%, 头部 / 面部 / 颈部的损伤比重分别为 27.21% 和 26.8%。

综合上述分析可知, 在轻型卡车和轿车的侧面碰撞真实事故中, 被撞击车辆所有损伤等级 MAIS3+ 乘员与其身体五大部位主要受损的速度变化区间为 21~30

km/h。在该速度变化区间范围之内, 乘员骨盆的受损比重达到了 30%, 胸部的受损比重接近 23%。因此, 在不考虑大车(质量大于 2.041 t)的侧面碰撞事故分析

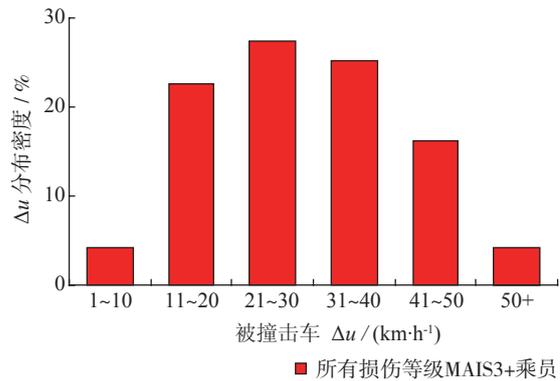


图 4 被撞击车辆所有损伤等级 MAIS3+ 乘员 Δu 分布图
Fig 4. Distribution of MAIS 3+ Injured Occupants by Delta Velocity of Struck Vehicle

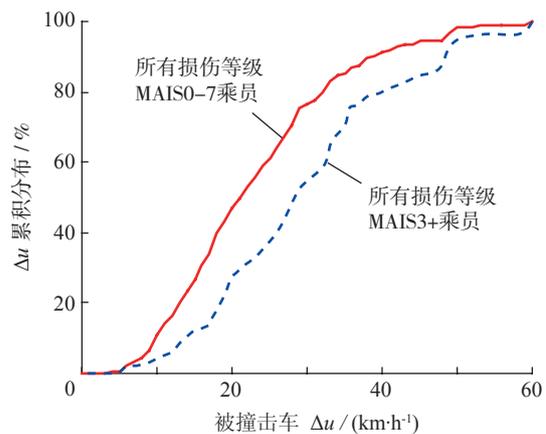


图 5 被撞击车辆所有乘员损伤 Δu 分布图
Fig 5. Distribution of All Occupants by Delta Velocity of Struck Vehicle

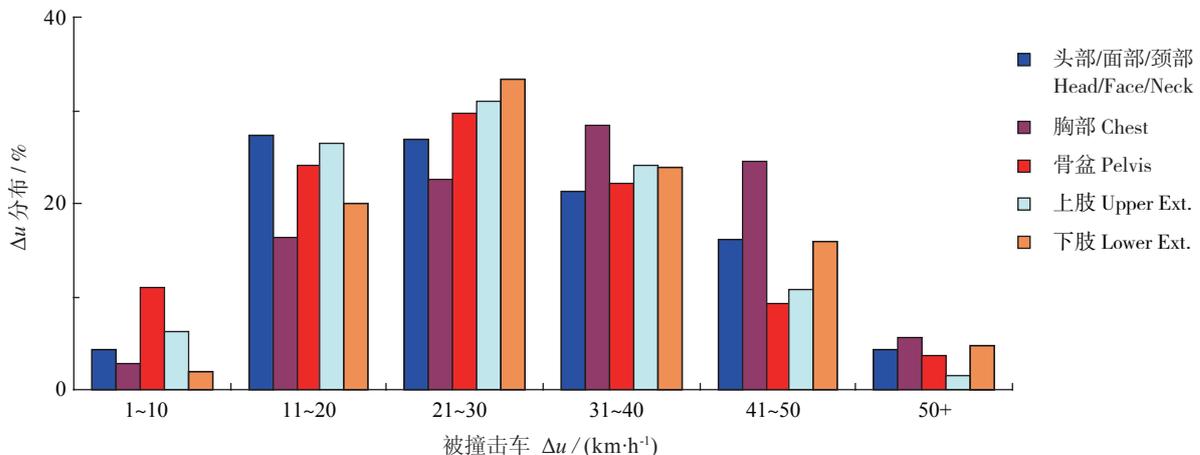


图 6 被撞击车辆所有损伤等级 AIS3+ 乘员身体各部位 Δu 分布图
Fig 6. Distribution of AIS 3+ Injured Occupants by Body Region and Delta Velocity of Struck Vehicle

中,造成被撞击车辆所有乘员损伤等级3以上且损伤机率50%以上的速度变化值为28.5 km/h。

3 结论

通过对NASS/CDS数据库近136万个轻型卡车对轿车实车侧面碰撞案例进行分析,分析结果对研究两车碰撞兼容性问题及如何提高乘员保护水平和降低乘员损伤风险具有一定的参考价值。

本文主要研究发现有:

在现实世界中,有过半的交通事故是由两车碰撞造成的;

在质量小于2.041 t的小车侧碰事故中,轿车对轿车是最多的碰撞事故类型;

相比较撞击车,造成被撞击车乘员严重损伤(AIS3+)的速度变化范围要小20 km,仅为21~30 km/h;

相比较撞击车,造成被撞击车乘员严重损伤机率为50%的概率要大20%;

在乘员保护策略方面,要优先考虑减少撞击车乘员骨盆的损伤风险,对被撞击车而言,要优先考虑减少乘员骨盆、上下肢的损伤风险。

参考文献 (References)

- [1] 叶盛基,贾启蒙,李文杰.推广先进汽车安全技术,促进汽车安全水平提升:2010年汽车安全高层论坛[J].中国汽车参考,2010(15):35-44.
YE Shengji, JIA Qimeng, LI Wenjie. Popularize advanced vehicle safety technology and promote the safety level: 2010 Highest Level Forum of Automotive Safety [J]. *Chinese Automotive Reference*, 2010 (15): 35-44. (in Chinese)
- [2] Washington D C: United States Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration. CDS (Crashworthiness Data System) 2007 coding and editing manual [M]. Washington D C: United States Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration. 2006
- [3] Acierna S, Kanfman R, Rivar F P, et al. Vehicle mismatch: injury patterns and severity [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2004, **36** (5): 761-772.
- [4] Mandell S P, Mack C D, Bulger E M. Moter vehicle mismatch: A national perspective [J]. *Injury Prevention*, 2010, **16**(5): 309-314.
- [5] Baker B C, Nolan J M, O' Neill B, et al. Crash compatibility between cars and light trucks: benefits of lowering front-end energy absorbing structure in SUVs and pickups [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2008, **40**(1): 116-125.
- [6] LEE Dongwook. An innovation inflatable morphing body structure for crashworthiness of military and commercial vehicles [D]. Detroit: University of Michigan, 2008.
- [7] 唐友名,曹立波, Mohan P, 等.乘用车两车侧面碰撞变形侵入量影响因素研究 [J]. 中国机械工程, 2009, **20**(24): 3013-3019.
TANG Youming, CAO Libo, Mohan P, et al. Study on influence factors for crush intrusion in passenger vehicle front-to-side impact [J]. *Chin J of Mech Eng*, 2009, 20(24): 3013-3019. (in Chinese)
- [8] Abdel-Aty M, Abdelwahab H. Analysis and prediction of traffic fatalities resulting from angle collisions including the effect of vehicle' s configuration and compatibility [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2004, **36**(3): 457-469.
- [9] 唐友名,曹立波.乘用车两车侧面碰撞事故统计研究 [J]. 汽车零部件, 2010, **3**(4): 47-49.
TANG Youming and CAO Libo. Statistics analysis for passenger vehicle in front-to-side impact collision [J]. *Automobile Parts*. 2010, 3(4): 47-49. (in Chinese)
- [10] Copes W S, Champion W J, Bain L W. Progress in characterizing anatomic injury [C]// *Proceeding of the 33rd Annual Meeting of the Association for the Advancement of Automotive Medicine*. Baltimore, MA, USA, 1990: 205-218.