

Characteristic Analysis of Frontal Impact Accident of Microbus Based on In-Depth Accident Research

WU Guangyao

Chinesisch-Deutsche Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Shanghai, China, 201804

Abstract: Selecting 43 microbus accidents from traffic accident statistics in Jiading district, the overall process of accident is simulated in PC-Crash. They are analyzed from 4 aspects, such as traffic environments, vehicle damages, occupant injuries and motion responses. Motion responses of microbus and sedan are compared. Then the characteristics of microbus accident is summarized. It can give a reference for development of frontal restraint system in microbus.

Keywords: automotive safety; microbus; traffic accident; vehicle damage; occupant injury; motion response

基于事故深度研究的微型客车正面碰撞事故特征分析

吴光耀

同济大学中德学院, 上海 201804

摘要: 从上海市嘉定区的交通事故统计集中选取 43 起微型客车事故进行深入分析, 在 PC-Crash 软件中再现交通事故的整个过程。从实际道路交通状况、车损情况、乘员伤情和运动响应 4 个方向着手研究, 比较了正面碰撞事故中微型客车与轿车的运动响应, 总结微型客车事故特征。这为面向微型客车正面约束系统的开发提供参考。

关键字: 汽车安全; 微型客车; 交通事故; 车辆损伤; 乘员损伤; 运动响应

1 引言

微型客车简称微客, 俗称‘面的’, 通常指发动机排量在 1L 以下、乘员数在九人以下的一类乘用车。是我国最具特色和拥有自主知识产权的一类乘用车。微型客车由于其造型方正、车内空间大、载人又载物、价格低廉等特点, 在我国经济发展初期颇受欢迎。但是近年来随着经济的发展和轿车技术的不断创新及价格一降再降, 微型客车的价格优势不再明显, 安全性和舒适性更是无法与轿车相比。相反, 消费者对用车的安全性、舒适性及内外观设计要求越来越高, 巨大的消费落差, 成为微型客车的致命缺陷^[1]。而平头微型客车车身前部几乎没有吸收碰撞能量的结构, 在发生正面碰撞时, 驾驶员的生存空间被严重挤压, 驾驶员腿部和胸部受到严重挤压伤害^[2]。

我国城市交通多以平面交叉路口为主, 微型客车正面碰撞事故发生的几率较高, 微型客车正面碰撞事故中驾乘人员的保护正成为一个汽车业内共同关注的课题, 微型客车正面事故中驾乘人员保护技术的开发和标准的制定必须建立在充分了解微型客车事故特征的基础上。因此, 开展微型客车正面碰撞安全性以及驾乘人员伤害的研究工作对于改善汽车的安全性及进一步适应中国的道路交通状况, 极有现实意义。微型客车正面碰撞事故后车辆及车内驾乘人员的运动响应复杂, 影响因素众多。本文以具体案例对微型客车正面碰撞事故的特征进行分析, 以探讨微型客车正面事故中驾乘人员保护措施的有效性和不足之处。

2 事故样本筛选

本研究使用的微型客车事故案例来源于上海联合道路交通安全科学研究中心 (Shanghai United Road Traffic Safety Science Research Center, 以下简称为“中心”或 SHUF0) 于 2005~2015 年在上海嘉定区采集的重大交通事故数据信息。SHUF0 是一家由政府相关部门、汽车及零部件企业、医疗机构、高等院校、科研机构等

13 个单位联合组成的民营科研机构。截至 2015 年 12 月，中心已调查了 1500 余起重特大交通事故 SHUF0 的采集标准如下：

- 1、至少有一辆小客车（包括轿车、微型客车、SUV）参与的事故；
 - 2、事故中至少一辆小客车损坏程度中等及以上，或涉及气囊展开；或至少一位事故人员伤情为重伤及以上；
 - 3、所采集事项参考德国 GIDAS（German In-Depth Accident Study）标准。
- 车辆损坏的分类依据如图 1 所示，乘员伤情的分类依据如表 1 所示。



Figure 1. Vehicle damage classification
图 1. 车辆损坏分类

该中心于 2005–2015 年采集的事故共计 1500 余起，涉及机动车 1997 辆，车内乘员 2405 名。其中微型客车参与的事故共计 83 起。正面碰撞事故选取的原则是事故参与方之一是微型客车且第一碰撞点在微型客车的正面，共计 43 起，涉及微型客车驾乘人员 84 人。

Table 1. Classification of injury level
表 1. 伤情等级分类依据

等级	伤情界定方法
未伤	经医务人员诊断伤情非重伤，且需要休息时间少于一天
轻伤	经医务人员诊断伤情非重伤，且需要休息一天以上
中等	介于轻伤和重伤之间
重伤	伤情达到司法部、最高人民法院、最高人民检察院、公安部发布的《人体重伤鉴定标准》
死亡	当场死亡或者伤后 7 天内抢救无效死亡

3 事故特征分析

3.1 事故总体特征

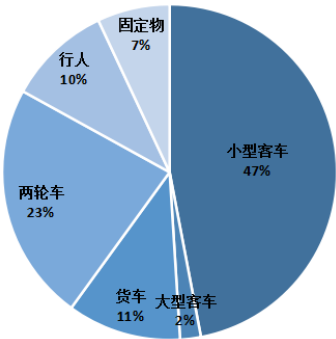


Figure 2. Collision object
图 2. 碰撞对象分布

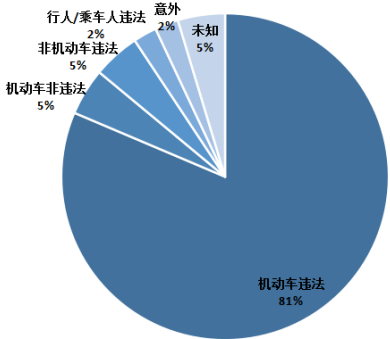


Figure 3. Accident cause
图 3. 事故原因分布

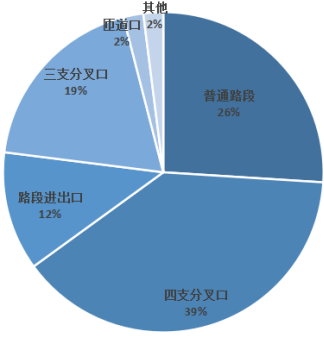


Figure 4. Accident section
图 4. 事故发生路段

1) 碰撞对象

微型客车与轿车（47%）、两轮车及行人（33%）碰撞为主，与货车相撞的比例占 11%。与固定物相撞的比例仅占 7%，这些固定物包括：路灯、树木、桥墩。如图 2 所示。

2) 事故原因

81%的微型客车事故为机动车违法造成的，如酒后驾驶、未按规定让行、未确保安全和违反交通信号等。5%的事故为机动车非违法过错，如制动不当、转向不当等。其余原因为非机动车违法占道、未按规定让行等。微型客车驾驶员主观违规造成事故的最主要原因，如图 3 所示。

3) 事发路段

微型客车事故多发生于四支分叉口（39%）、普通路段（26%）和三支分叉口 19%），其余路段仅占 16%，如图 4 所示。

4) 相对碰撞车速

相对碰撞车速是指：碰撞对象的车速沿微型客车的速度方向投影，与微型客车的车速进行相加后所得到的结果。微型客车相对车速主要集中在 30-79km/h 的范围，各区间分布均匀，且占绝大部分。相对碰撞车速 <29km/h 和 >90km/h 的很少，如图 5 所示。

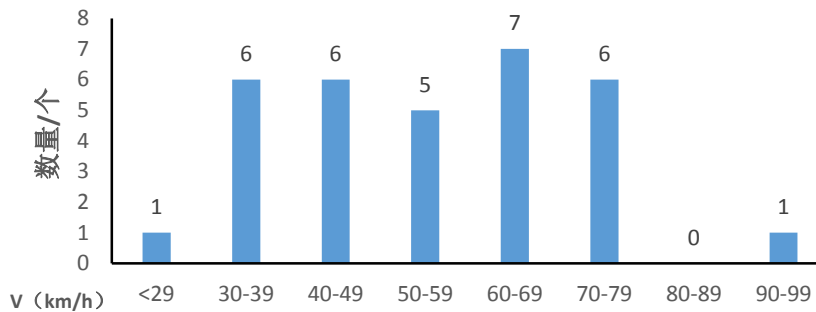


Figure 1. The relative velocity distribution of the mini bus accident vehicle

图 5.微型客车事故车辆相对速度分布

3.2 车损特征

根据 PC-Crash 中对车辆形状的描述划分变形的区域，将微型客车前部沿纵向划分为 6 个区域。区域 1 代表从牌照处到发动机罩下边沿处的纵向区域，区域 2 代表从发动机罩下边沿到 A 柱下边沿的纵向区域，区域 3 代表从 A 柱下端到 A 柱上端的纵向区域，区域 4 代表从 A 柱上端到 B 柱的纵向区域，区域 5 代表从中间车门的前端到后端的纵向区域，区域 6 代表从中间车门的后端到车尾的纵向区域，具体如图 6 所示。由于行人和两轮车是交通事故中相对弱势的参与方，与微型客车相撞时也不易于造成后者的大变形，因此在统计车辆变形时排除了微型客车与行人和两轮车碰撞的事故。

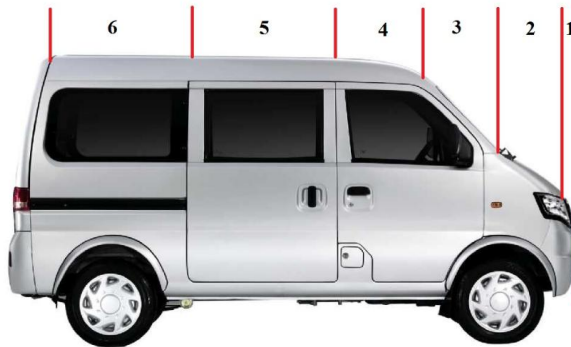


Figure 6. Vehicle deformation zone division

图 6. 车辆变形区域划分

因样本数量有限，将区域 4、5、6 合并统计，以增加统计的有效性。统计发现 14%的车辆碰撞变形集中在区域 1，主要是刮擦和保险杠蒙皮轻度凹陷。79%的车辆变形在发动机罩前后端之间的区域 2，主要是转向系统、轮胎、前悬架系统损坏变形，并造成了驾驶舱内部的侵入。尽管有 93%的车辆纵向纵向损坏侵入止于 A 柱下端之前，但微型客车前部可供变形的区域很小，因此变形仍然造成了乘员舱的侵入并对驾乘人员的腿部空间造成恶劣的影响。有 5%的车辆纵向侵入达到 A 柱前后端之间，造成 A 柱弯折、挡风玻璃碎裂和乘员舱的严重变形。有 2%的车辆入侵深度达到 4/5/6 区域，直接造成车辆报废。总体上微型客车的损坏较严重，由于车头很短，事故易造成乘员舱的侵入。损坏区域分布如图 7 所示。

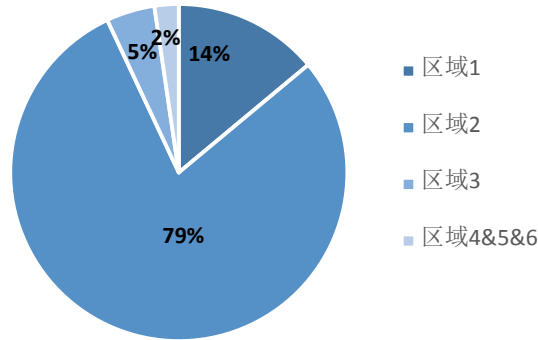


Figure 7. Damage area distribution ratio
图 7. 损坏区域分布比例

3.3 乘员损伤特征

微型客车与行人、两轮车相撞时，基本不会造成微型客车车内人员的伤害，因此在统计车内乘员伤害时排除了微型客车与行人和两轮车碰撞的事故。共涉及驾乘人员 58 人，其中 42%未伤，26%轻伤，10%受伤程度中等，9%和 7%的乘员分别是重伤和死亡，6%的乘员伤情未知。重伤和死亡率占 16%。伤情的严重程度可能与安全带的使用率和车辆变形大小有关。

由图 8 可知，驾驶员安全带的使用率（29%）较前排乘员的（22%）略高。驾驶员在使用安全带时未受伤率为 71%，未使用时未受伤率仅为 25%，但是使用安全带时仍存在乘员受伤严重和死亡的情况，原因在于乘员舱被严重侵入，驾驶员腿部、胸部受挤压。前排乘员在使用安全带时未受伤率为 100%，未使用时未受伤率仅为 25%。由此可以看出无论前排乘员使用安全带可以大大降低伤害程度。

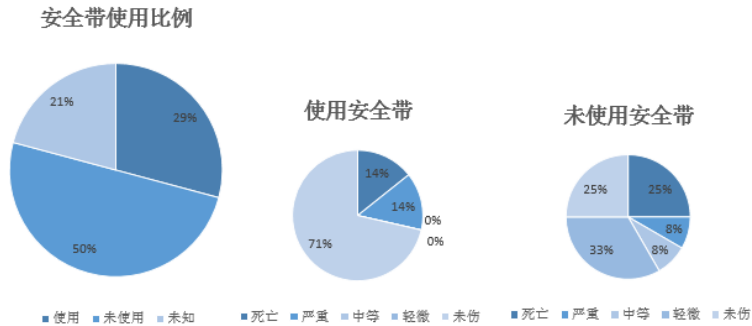


Figure 8. Driver's safety belt use rate and injury degree
图 8. 驾驶员安全带使用率及受伤程度

从图 9 中可以看出前排乘员使用安全带时均未受伤。当前排乘员未使用安全带时，有 80%的伤情集中在头面部，主要碰撞物是挡风玻璃和 A 柱上端。有 20%的伤情集中在上肢，主要碰撞物是右侧车门。

如图 10 所示，驾驶员在使用安全带时受伤部位主要是下肢和胸部。下肢伤情基本是搓擦伤和粉碎性骨折，微型客车碰撞后腿部空间变形严重易造成上述的伤害。安全带的使用可以约束上身的运动，但是仍造成胸部

的伤害，主要原因是微型客车前部侵入量大造成转向管柱和方向盘的后移，直接致使乘员胸部与方向盘接触。

驾驶员未使用安全带时，上半身没有受到约束，易与车内部件发生碰撞。图 10 显示，当驾驶员未使用安全带时上半身（头部、颈部、胸部、上肢）受伤比例达 79%，主要碰撞部件是方向盘和仪表板。下肢受伤比例占 21%，仍是由于微型客车前部侵入量大，腿部空间被挤压变形导致的。

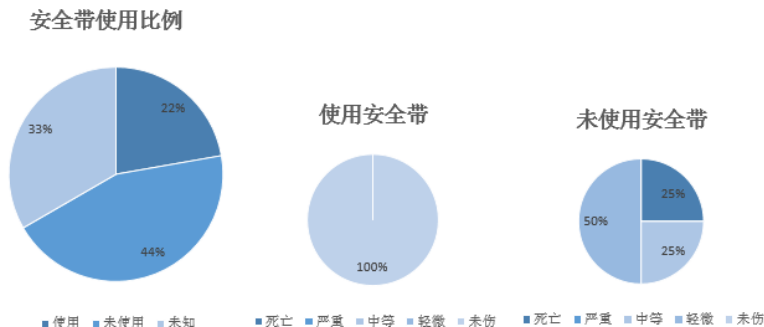


Figure 9. Result curve of standard test system
图 9. 标准试验系统结果曲线

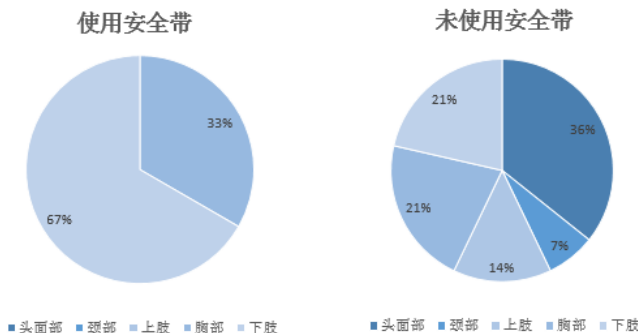


Figure 10. Driver specific injury site
图 10. 驾驶员具体受伤部位

可见，在微型客车上仅仅配备安全带乘员伤害是无法消除的。

随着侵入量的增加，微型客车乘员的伤情更重，重伤和死亡率升高。前排乘员主要受伤部位分布图表明：下肢和胸部受伤的比例随着侵入量的增加而升高。这再次证明了之前所做的分析，一方面侵入量大造成腿部空间被压缩，甚至导致粉碎性骨折，另一方面大的侵入量造成转向管柱和方向盘的后移给乘员的胸部造成致命伤害。

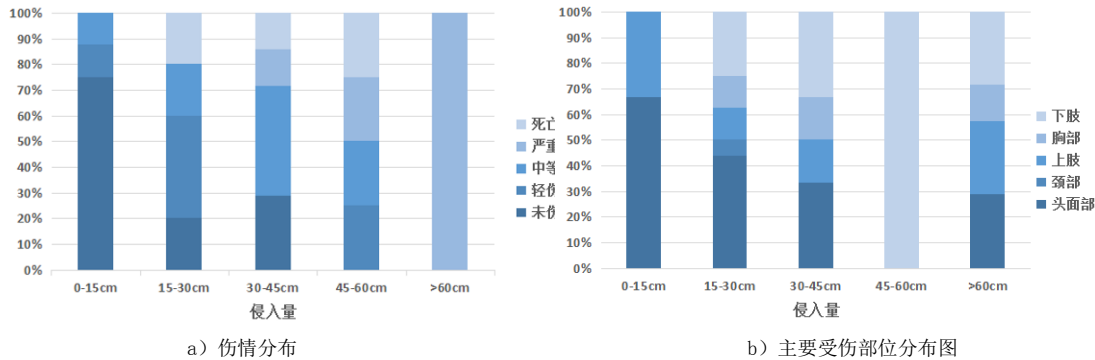


Figure 11. Front occupant injury
图 11. 前排乘员受伤情况

3.4 运动响应

微型客车碰撞后的运动响应包括车内人员的运动响应和车辆的运动响应。

为了对比研究微型客车与轿车运动响应,图 12 和图 13 中统计的事故仅仅是微型客车与轿车相撞的事故。碰撞后微型客车的速度变化量明显高于轿车的速度变化量。根据动量守恒,微型客车的质量相比轿车的一般较小,速度变化相比较较大,在相同的碰撞时间内微型客车减速度更大,因此认为微型客车的碰撞更为剧烈,也更容易达到气囊点爆的条件,微型客车内乘员运动响应更快。通过对实际事故案例研究发现,微型客车碰撞后转角明显大于轿车的,车内乘员的运动范围更大,对约束系统的保护效能要求更高。

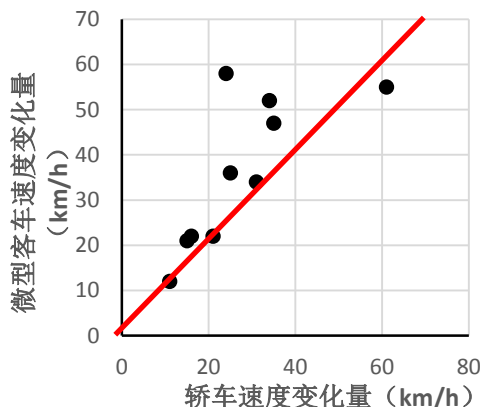


Figure 12. Speed change of mini bus and car

图 12. 微型客车与轿车速度变化量

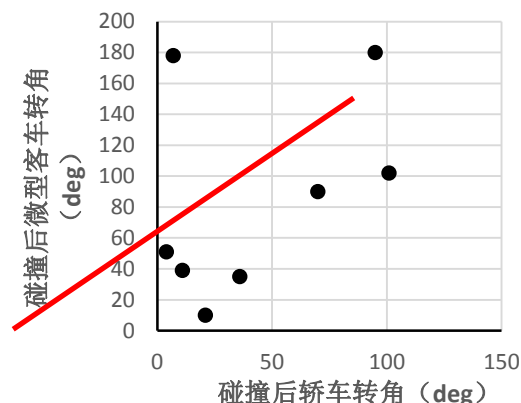


Figure 13. Rotation angle of mini bus and car

图 13. 微型客车与轿车速度变化量

乘员运动响应决定了乘员发生事故时和车内的哪些部件相撞。从图 14 中可以看出,和驾驶员相撞的车内主要部件是方向盘、转向管柱饰板和腿部前方的饰板。与方向盘碰撞易造成驾驶员头面部和胸部的伤害。当微型客车发生侵入时容易造成转向管柱后移和腿部空间压缩,导致驾驶员腿部和膝前饰板、转向管柱饰板相撞的频率较高。前排乘员的主要碰撞部件是前挡风玻璃、A 柱顶端和车门。其原因是由于未使用安全带前排乘员的运动不受约束。



Figure 14. Main collision point in car

图 14. 车内主要碰撞物

4 事故实例

- 1、2014 年 8 月 19 日,晚上 20:10 微型客车在曹安公路由西向东在北起第二条机动车道上行驶,轿车在同一车道由东向西行驶。
- 2、由于微型客车驾驶员醉酒驾驶(酒精含量 3.16mg/ml),在曹安公路由西向东在北起第二条机动车道逆向行驶,与同车道行驶的轿车发生碰撞,最终导致微型客车前部与轿车前部发生碰撞。
- 3、事故造成轿车左前部一般损坏,微型客车前部一般损坏。事故前轿车驾驶员开启散光灯提示逆向行驶的微型客车,轿车驾驶员最后采取了刹车措施。根据推测事故中的散落物位置为两车碰撞位置,轿车碰撞后最终

停在北起第二条机动车道内，微型客车逆时针旋转约 40 度，最终停在轿车的左前方。

4、事故造成轿车前排正面气囊均点爆，轿车上载有驾驶员和后排两名乘客，轿车驾驶员轻伤，后排右侧乘客伤情一般，后排中间乘客重伤。微型客车仅有驾驶员一人，当场死亡。

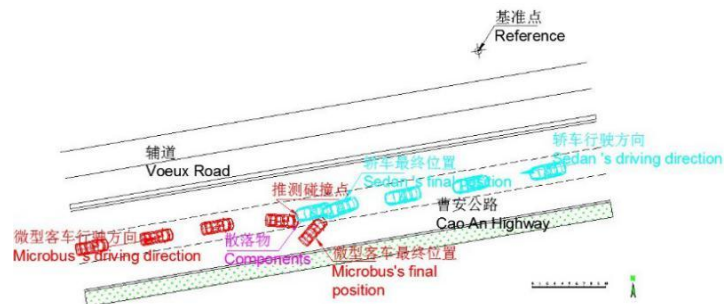


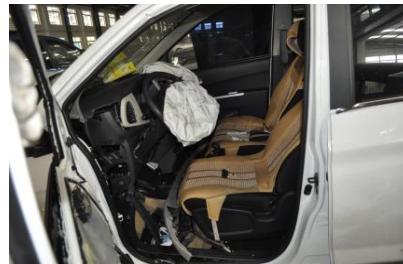
Figure 15. Schematic diagram of collision process

图 15. 碰撞过程示意图

从采集的照片中可以看到车辆纵向侵入深度达到 2 区域，驾驶员腿部空间有明显的变形。微型客车转向管柱饰板断裂，根据尸检报告得知驾驶员的左大腿骨折，可以推测是驾驶员左大腿与其碰撞导致的。左右膝部浅表皮皮肤裂伤，推测是与驾驶员侧膝盖前部饰板相碰撞所致。



a) 外部损坏情况



b) 内部损坏情况

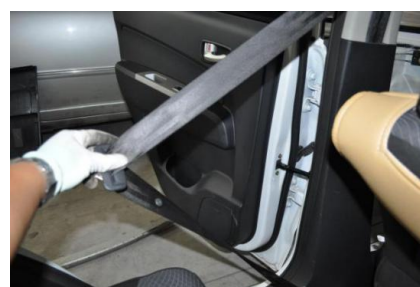
Figure 16. Damage of mini passenger car

图 16. 微型客车损坏情况

驾驶员安全带可以自由拉出，而且安全带上没有明显的毛刺。方向盘下部严重变形，且驾驶员胸部塌陷为致命伤。综合以上信息判断，驾驶员在没用使用安全带的情况下身体运动不受约束，由于惯性胸部和方向盘剧烈碰撞致死。



a) 方向盘变形



b) 安全带使用情况

Figure 17. Internal details of the mini bus

图 17. 微型客车内部细节图

利用 PC-Crash 软件进行事故重建，计算得到：微型客车碰撞前的车速为 68km/h，碰撞当量能车速 (Equivalent Energy Speed, EES) 为 33 km/h。(当量能车速意为：汽车对固定壁障碰撞时，其速度可以使其受到的变形功与实际事故的变形功相等)。利用 PC-Crash 软件，可以根据车身残余变形量计算出车辆的等效

壁障碰撞速度。将正面碰撞车辆的前部受损俯视照片导入 Auto-CAD 中,并缩放成真实尺寸。根据车辆未受损时的车头原型,测量变形轨迹上的至少 6 个点的垂直变形量。在 NHTSA 中选择具体车型,在 Vehicle Crash 中输入测量值,即可得到等效壁障碰撞速度^[3]。

事故发生前轿车的车速为 20km/h,碰撞当量能车速为 31km/h。碰撞前后微型客车和轿车的速度变化量分别为 21 km/h、15 km/h。微型客车的转角约为 40 度,轿车几乎未发生旋转。因此微型客车碰撞后的运动响应明显更大。

5 总结

本文采用交通事故深度调查方法,对微型客车事故的基本特征加以分析,总结如下:

(1) 总体情况:微型客车与小型客车、两轮车和行人相撞的比例较高。事故多发生在四支分叉口、普通路段和三支分叉口,其原因主要是安全意识缺乏、主观过错。微型客车的相对碰撞车速主要在 30-79km/h 范围内,且分布比较均匀,但是极少发生在此范围外。

(2) 车损特点:93%的车辆碰撞变形止于 A 柱下端之前,尽管如此由于微型客车前部可供变形的区域小,当变形量止于 A 柱下端时依旧可以造成乘员舱的侵入。车辆的损坏主要集中在转向系统、前悬架、轮胎、发动机罩等部件。

(3) 乘员伤情:42%的乘员未伤,26%的乘员轻伤,10%的乘员受伤中等,9%和 7%的乘员分别是受伤严重和死亡。乘员的伤情与安全带的使用、侵入量大小有关。安全带对减轻乘员伤情具有重要作用。随着车辆变形量增加,受伤程度更加严重,腿部空间侵入量增加,腿部受伤频率升高。

(4) 运动特点:碰撞后微型客车的速度变化量、车身旋转角度比轿车的大。微型客车的碰撞更剧烈,车内乘员的运动响应更快。这些特征对微型客车安全气囊的设计有重要的参考意义。

参考文献 (References)

- [1] 李志祥. 微型客车刚度性能的分析与优化研究[D]. 上海:上海交通大学. 2010
- [2] 林逸,张建伟,马天飞. 微型客车抗撞性改进的计算机仿真[J]. 汽车工程, 2002, 6: 466-468.
- [3] 陈君毅,王宏雁,潘婷. 从道路交通事故研究看我国汽车正面碰撞法规试验形式[J]. 汽车工程, 2010, 2: 168-172.
- [4] 王宏雁,贾志功,陈君毅,何宇桐. 基于上海市嘉定区交通事故的小偏置碰撞特征分析[J]. 汽车安全与节能学报, 2014, 04:343-348.