

轿车-电动自行车侧面碰撞事故再现分析

徐梦雪¹, 林庆峰², 王 伟¹

(1. 西安欧亚学院 基础部, 陕西 西安 710065; 2. 北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191)

摘 要:为了再现轿车与电动自行车的侧面碰撞事故,利用 PC-Crash 进行了轿车与电动自行车的侧面碰撞模拟试验,分析了不同车辆碰撞速度下骑车人头部与车辆引擎罩及风挡玻璃撞击的位置,探讨了车辆碰撞速度与骑车人头部损伤的关系,建立了骑车人抛距模型,并与国外模型进行了对比。研究表明:碰撞车速为 50 km/h 可以认为是骑车人头部伤害的碰撞速度阈值;当碰撞车速低于 40 km/h 时,车辆撞击运动和静止的电动自行车,骑车人抛距变化的趋势基本相似;当碰撞车速高于 40 km/h 时,与撞击运动的电动自行车相比,车辆与静止的电动自行车碰撞的骑车人抛距略大,而电动自行车的抛距分布较为离散。利用骑车人头部与车辆的碰撞位置、骑车人头部损伤及骑车人抛距能够有效地再现轿车与电动自行车侧面碰撞事故的碰撞速度。

关键词:交通工程;事故再现;仿真;抛距;头部伤害标准;电动自行车

中图分类号:U491.3

文献标志码:A

Reconstruction analysis of car-electric bicycle side impact accident based on PC-Crash

XU Meng-xue¹, LIN Qing-feng², WANG Wei¹

(1. Department of Basic, Xi'an Eurasia University, Xi'an 710065, Shaanxi, China;

2. School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to reconstruct car to electric bicycle side impact accidents, the simulation tests of car to electric bicycle side impact collisions were conducted by using PC-Crash. The various impact locations between the cyclist's head and the hood of vehicle were analyzed at different impact speeds, the relationship between the vehicle impact speeds and the cyclist's head injuries was discussed, the relationship between the vehicle impact speeds and the cyclist's throw distances was analyzed, and the cyclist throw distance models was established and compared with foreign similar model. The results show that collision vehicle speed of 50 km/h can be thought as the cyclist's head injury collision vehicle speed threshold. When the collision vehicle speed is less than 40 km/h, the throw distance tendency is the same to the stillness of the electric bicycle and vehicle movement, when the collision vehicle speed is higher than 40 km/h, compared with impact motion of the electric bicycle, vehicle and static electric bicycle collision can make rider throwing distance slightly larger, but the electric bicycle throw distance distribution is discrete. It is effective to reconstruct the vehicle impact speeds by the cyclist's impact locations, head injuries and throw distances in car to electric bicycle side impact accidents. 6 figs, 13 refs.

Key words: traffic engineering; accident reconstruction; simulation; throw distance; head injury criterion; electric bicycle

0 引言

电动自行车作为一种新型的交通工具,在中国以及世界范围内得到了迅速发展。但是,随着城市中电动自行车保有量的迅速增加,汽车与电动自行车的事故率逐年上升,因此,汽车与电动自行车事故再现的研究更加重要。长期以来,国内外学者对汽车与自行车(行人)事故再现进行了深入的研究,在早期,有学者利用轿车碰撞骑有假人的自行车,以及利用真实的事故案例来预测轿车与自行车的碰撞车速,但在早期碰撞试验中,车辆的性能以及车身外形轮廓与当前的车辆差异较大;有学者利用 MADYMO 多体模型,研究了不同的车辆-自行车外形轮廓下的碰撞抛距、碰撞速度、碰撞位置和接近角度之间的关系,建立了自行车和大客车碰撞仿真抛距模型^[1-4]。在中国,部分学者利用 PC-Crash 开展车辆与行人(自行车)碰撞事故再现及人体伤害的研究,但研究内容较少涉及轿车与电动自行车的事故再现^[5-12]。为了全面地再现轿车与电动自行车的侧面碰撞事故,本文利用 PC-Crash 进行轿车与电动自行车侧面碰撞事故的仿真试验,再现碰撞过程,明确车辆碰撞速度与骑车人头部与车辆撞击位置、骑车人损伤及骑车人抛距的关系,为交通安全管理、事故鉴定及车辆安全设计提供理论依据。

1 研究方法

1.1 车辆及骑车人模型

本文中的电动自行车为具有脚踏功能的电动自行车,即该车型不仅具有电机,同时还具备脚踏功能,不包括装有仅能通过电机驱动的辅助引擎的电动助力车(电动摩托车)。首先利用 PC-Crash 事故再现仿真软件建立车辆、骑车人和电动自行车模型,如图 1 所示。选择市场保有量较高的紧凑型轿车作为试验车型,具体车型为捷达 2.0 TDI 车型,仿真车辆的外形尺寸等参数与真实车辆一致,车辆整备质量为 1 468 kg, ABS 起作用,车辆表面恢复系数及接触附着均采用 PC-Crash 默认值,分别为 0.1 和 1;骑车人选择成年男性假人模型(质量为 80 kg),该模型由 20 个刚体组成,包括躯干、臀部、大腿、小腿和手臂等,刚体与刚体之间通过铰接点连接;电动自行车模型由前轮、后轮、电池箱、发动机、座椅、车把和前叉 7 个刚体组成,质量为 47 kg。在多刚体人体、电动自行车模型中,各个刚体的刚度系数、接触



图 1 车辆-骑车人(电动自行车)模型

Fig. 1 Model of vehicle and cyclist (electric bicycle)

强度、附着均采用 PC-Crash 默认值。路面附着系数、车辆碰撞速度等参数可调,车辆沿直线行驶。电动自行车行驶方向与车辆行驶方向垂直,初始时刻车辆前部保险杠与电动自行车间距为 0.2 m。

1.2 试验方案

车辆侧面碰撞电动自行车事故的具体形态为车辆的纵向中心位置与电动自行车的中间位置(重心)相撞(图 1)。仿真试验目的主要包括 3 方面:①分析车辆碰撞速度对骑车人与车辆引擎罩(风挡玻璃)的碰撞位置的影响;②明确车辆碰撞速度和骑车人头部损伤的关系;③建立侧面碰撞事故骑车人抛距仿真模型。

考虑城市道路中交通拥堵比较严重,车辆的行驶速度经常处于中低速范围内,因此,仿真试验中车辆碰撞速度的范围设定为 20~80 km/h(以 4 km/h 为间隔);将电动自行车在碰撞前的运动状态分为静止(ES)和运动(EM)两类。有研究发现,电动自行车平均行驶速度约为 18 km/h(不包括停车),因此本文设定运动的电动自行车行驶速度为 20 km/h。根据车辆碰撞速度和碰撞前电动自行车运动状态进行碰撞仿真试验,第一组仿真试验共 $16 \times 2 = 32$ 种组合^[13]。记录数据主要有骑车人头部与车辆引擎罩(风挡玻璃)的碰撞位置、碰撞过程中骑车人头部加速度、骑车人和电动自行车抛距。其中,骑车人的抛距定义为骑车人在事故现场静止后重心位置与碰撞点之间的纵向距离;电动自行车的抛距为电动自行车静止后重心与碰撞点之间的纵向距离。

2 骑车人头部损伤

2.1 骑车人头部与车辆的碰撞位置

观察仿真试验中车辆与电动自行车的侧面碰撞过程,发现当车辆的纵向中心位置与电动自行车侧

面碰撞时,车辆保险杠首先撞击骑车人小腿外侧,然后与骑车人大腿及骨盆碰撞,随后骑车人以骨盆与引擎罩前端的接触部位为轴倒向引擎罩,接下来身体腾空,下落过程中人体手臂与引擎罩发生刮碰,最后头部与引擎罩的中后部区域或者风挡玻璃撞击,碰撞过程如图2所示。

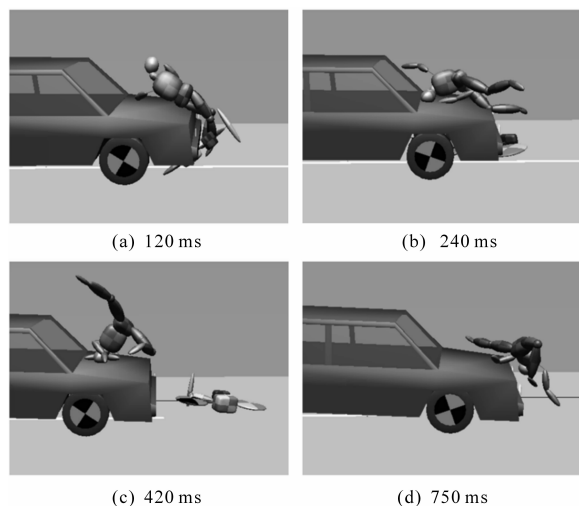


图2 车辆与电动自行车碰撞过程(碰撞车速为40 km/h)

Fig. 2 Collision course of car to electric bicycle (with impact speed of 40 km/h)

图3为不同的车辆碰撞速度下骑车人头部和引擎罩的接触位置。由图3可以看出,当车辆碰撞速度低于40 km/h时,骑车人头部与引擎罩的中后部区域接触;当碰撞速度处于40~60 km/h范围时,骑车人头部多数与引擎罩的顶端区域接触,少数会接触到风挡玻璃的底部;当车辆碰撞速度高于60 km/h时,骑车人头部多数与风挡玻璃的底部接触;在相同的碰撞速度下,车辆撞击运动的电动自行车(行驶速度为20 km/h),碰撞速度低于60 km/h时,骑车人头部与引擎罩的接触位置向引擎罩的左侧偏移,见图3(b))。上述分析表明,可以通过骑车人头部和引擎罩的碰撞位置判断车辆碰撞速度的范围。

2.2 骑车人头部伤害

国际上通常利用头部伤害指标 I_{HIC} 作为人体头部损伤程度的判断依据,计算公式为

$$I_{HIC} = \max \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} \right\} \quad (1)$$

式中: a 为人体头部合成线加速度 g , (g 取 9.81 m/s^2); t_1 、 t_2 分别为碰撞过程中的2个时刻(s),表示记录开始与记录结束2个时刻之间的某一段时间间隔,在该时间间隔内头部伤害指标取最大值(本文选取 $t_2 - t_1 \leq 36 \text{ ms}$)。

通常,将 $I_{HIC} = 1000$ 作为头部冲击伤害的安全

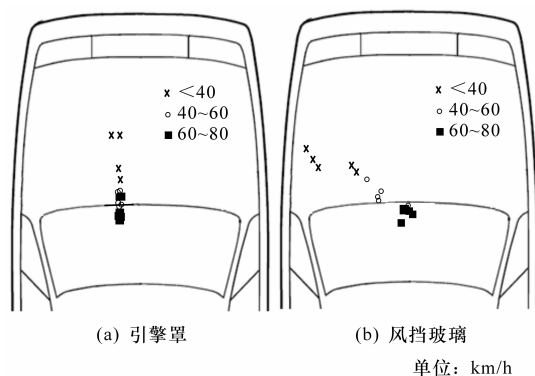


图3 骑车人头部与引擎罩(风挡玻璃)的碰撞位置

Fig. 3 Contact locations of cyclist's head and hood (windshield collision)

界限。图4为第一组仿真试验计算得到的骑车人头部伤害指标 I_{HIC} 与碰撞速度的关系,可以看出 I_{HIC} 值随碰撞速度的增加而显著增加,侧面撞击静止的电动自行车和侧面撞击运动的电动自行车时, I_{HIC} 值增加的趋势相近,当碰撞速度低于约50 km/h时, I_{HIC} 值低于1000,因此,50 km/h可以认为是车辆侧面碰撞电动自行车事故中骑车人头部伤害的碰撞速度阈值。

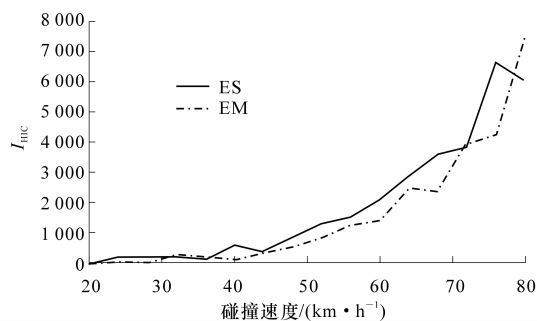


图4 骑车人头部与引擎罩(风挡玻璃)碰撞的损伤程度

Fig. 4 HIC of cyclist's head and hood (windshield collision)

3 抛距仿真模型及对比

3.1 抛距模型及对比

在早期,Burg利用假人骑在自行车上作为骑车人进行了场地碰撞试验,提出了骑车人平均抛距和轿车碰撞速度的关系为^[1]

$$S = 0.033v^{1.59} \quad (2)$$

式中: S 为骑车人的平均抛距(m); v 为汽车的碰撞速度(km/h)。

本文根据第一组仿真试验所得的骑车人抛距及车辆碰撞速度数据,以碰撞车速为自变量,骑车人抛距为因变量,利用幂函数拟合,考虑电动自行车静止和运动2种情况,分别建立骑车人侧面碰撞的抛距回归模型,并与Burg所建模型进行对比,对比结果

如图 5 所示。

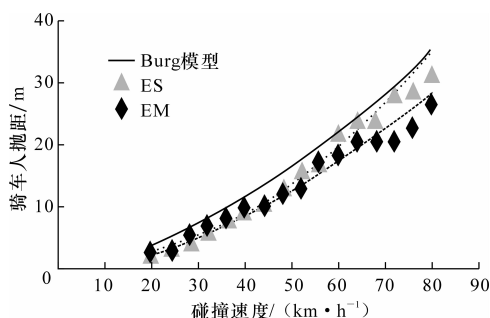


图 5 骑车人抛距模型对比

Fig. 5 Comparison between cyclist throw distance models

从图 5 可以看出,当碰撞的车速低于 40 km/h 时,骑车人运动和静止 2 种情况下骑车人抛距变化的趋势基本相似;当碰撞车速高于 40 km/h 时,对比车辆与运动的电动自行车碰撞情况,可以看出相同碰撞车速下车辆与静止的电动自行车碰撞的骑车人抛距略大。对比 Burg 实车碰撞试验所得的模型,可以看出相同碰撞车速下 Burg 模型抛距较大,这主要因为 Burg 利用假人骑自行车静止固定在车辆前方,然后让汽车以不同的车速撞击自行车;由于自行车以及骑车人整体质量与电动自行车与骑车人整体质量相比较轻,因此在地面的当量摩擦因数较小,最终导致骑车人抛距较大。

3.2 电动自行车抛距

图 6 为车辆撞击运动和静止的电动自行车时,电动自行车的抛距分布。由图 6 可以看出,电动自行车的抛距分布较为离散。因此,利用电动自行车在事故现场的抛距,对车辆碰撞速度只能在一个较宽的范围内作出预测,局限性较大;但是,可以作为事故再现的辅助信息,再结合事故现场其他信息,综合判定车辆的碰撞速度。

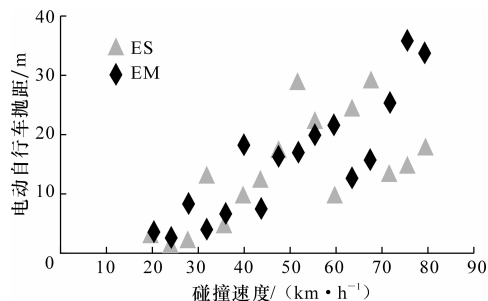


图 6 电动自行车抛距

Fig. 6 Electric bicycle throw distances

4 结 语

(1) 骑车人头部与引擎罩(风挡玻璃)的撞击位

置与碰撞车速相关,根据撞击位置可以初步确定碰撞车速的范围;当碰撞速度低于 50 km/h,骑车人头部损伤值通常低于 1 000,因此,车速为 50 km/h 可以认为是骑车人头部伤害的碰撞速度阈值。

(2) 当碰撞车速低于 40 km/h 时,车辆撞击运动和静止的电动自行车,骑车人抛距变化的趋势基本相似;当碰撞车速高于 40 km/h 时,与撞击运动的电动自行车相比,车辆与静止的电动自行车碰撞的骑车人抛距略大,而电动自行车的抛距分布较为离散,因此局限性较大。

(3) 在实际的交通事故中,由于骑车人或电动自行车质量与汽车质量相比相对较小,运动过程极易受到外界因素的影响,碰撞后两者的停止位置随机性较大,因此,在实际的交通事故鉴定中,应考虑碰撞位置、电动自行车车速、车辆制动等因素,进行综合判断。

(4) 本文的研究对象虽然针对轿车与电动自行车,但研究结果也可以在轿车与轻型摩托车或助力车的侧面碰撞事故再现中应用;本文的仿真方法虽然能得出不同碰撞速度下人体头部损伤的趋势,但不能精确计算人体各个部位的损伤程度,因此,在未来的研究中需要综合有限元、多体动力学等研究方法,考虑车辆前缘高度、车辆外形轮廓、碰撞角度和骑车人质量等影响因素,利用真实案例或实际碰撞试验进行验证。

参考文献:

References:

- [1] Burg H. Rekonstruktionsunterlagen aus einer auswertung realer unfälle zwischen zweirad- und vierradfahrzeugen[J]. Der Verkehrsunfall, 1997(9): 185-189.
- [2] Otte D. Use of throw distances of pedestrians and bicyclists as part of a scientific accident reconstruction method, SAE, 2004-01-1216.
- [3] Mukherjee S, Chawla A, Mohan D, et al. Predicting throw distance variations in bicycle crashes[J]. International Journal of Vehicle Safety, 2006, 1(4): 304-315.
- [4] Mukherjee S, Chawla A, Mohan D, et al. Effect of vehicle design on head injury severity and throw distance variations in bicycle crashes[C]//Proceedings From 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Lyon: 2007.