

汽车—自行车碰撞事故骑车人头部损伤研究

许骏, 李一兵

清华大学, 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京, 100084

xujun06@mails.tsinghua.edu.cn

摘要: 汽车—自行车碰撞事故是一种常见的交通事故形态。此类交通事故的受伤部位主要为头部。利用 PC—Crash 软件, 通过计算机仿真再现汽车—自行车碰撞事故情况。依据不同的汽车车速、自行车车速、第一接触部位将试验分为 3 组进行。然后计算出各组试验的骑车人头部 HIC 值。最后, 依据得到的骑车人头部合成加速度曲线及 HIC 值分析了不同碰撞条件对骑车人头部损伤的影响。

关键字: 车辆工程, 碰撞事故, 头部损伤, 仿真

Simulative Analysis of Bicyclist's Head Injury in Vehicle-Bicycle Collision Accident

XuJun, LiYi-bin

Tsinghua University, State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Beijing, 100084

Abstract: Vehicle-bicycle collision accident is a common accident form in which the main injury is head injury. This paper makes use of PC-Crash and computer simulation to reconstruct the vehicle-bicycle accident and divides the simulative experiment into three categories according to different vehicle and bicycle velocity and first contact part. Later, the paper calculates the HIC value of all the experiments. Finally, this paper analyses the resultant acceleration response curve and HIC value under different condition of collision.

Keywords: Vehicle engineering, Collision accident, Head injury, Simulation

1 引言

由于中国汽车—自行车混行现象比较严重, 汽车—自行车碰撞事故便成为了一种多发的事故形态。2005 年, 中国因交通事故死亡 98738 人, 受伤 469911 人, 其中自行车骑车人的死亡人数为 11407 人, 占总数的 11.55%, 受伤人数为 51302, 占总数的 10.92%[1]。开展汽车—自行车碰撞事故在不同碰撞条件下骑车人的受伤情况研究, 对于增加该类事故的认识、研究该类事故的形成机理、减少其伤亡程度均有积极的意义。

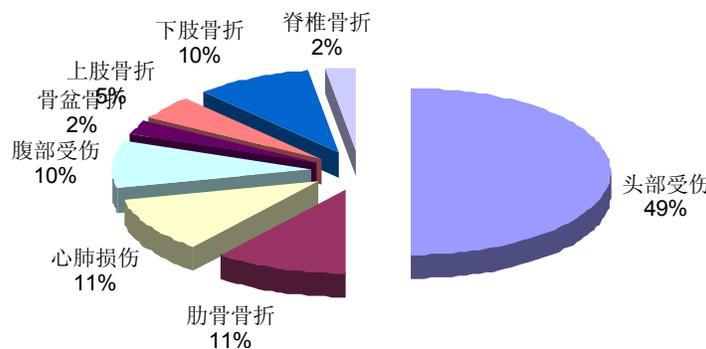


图 1 汽车—自行车碰撞事故不同损伤部位

根据对汽车—自行车碰撞事故的统计分析可知, 自行车骑车人头部受伤比例最高, 占 49%, 见图 1。而在所有汽车—自行车碰撞死亡事故中, 自行车驾驶人因头部受伤而死亡的比例占 74%, 见图 2。由此可见, 在汽车-自行车碰撞事故中骑车人的头部损伤占有重要的地位。

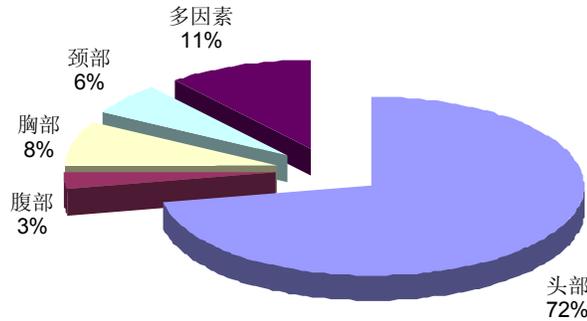


图2 汽车-自行车碰撞事故不同损伤部位

因此，本文选择骑车人的头部损伤程度作为研究对象，建立了基于 PC-Crash 虚拟试验场，利用多刚体人体、自行车模型系统对汽车-自行车碰撞事故进行事故再现，以研究骑车人的头部损伤情况。

2 仿真模型

本文选择的多刚体人体、自行车模型的各个刚体的几何形状、连接关系、刚度系数、接触强度、摩擦系数都采用 PC-Crash 默认值。其中，骑车人分为头部、躯干、骨盆、上肢、下肢、脚等等，共计 24 个刚体，自行车分为车把、前轮、后轮、车架、车座等等，共计 8 个刚体。各连接关节为铰链。根据中国人的实际人体参数，将人体的质量、高度修改为：体重 60kg，身高 168.5cm；自行车的质量改为 10kg，高度为 88cm，相应的 MOI 值也随之改变，见图 3。参与碰撞的车辆类型为轿车，型号选择 Honda Accord 2.0，质量为 1370kg，长 4.67m，宽 1.76m。



图3 骑车人及自行车多刚体模型

3 试验方案

汽车-自行车发生碰撞的方向分为：汽车与自行车侧面碰撞、汽车与自行车正面碰撞、汽车与自行车追尾碰撞。汽车与自行车正面碰撞和追尾碰撞的情况比较少见，本文只考虑汽车与自行车侧面碰撞的情况。由于自行车的长度相对于汽车的宽度不可以忽略，因此在汽车与自行车侧面碰撞时需要分别考虑汽车与自行车第一接触点为自行车的前部、中部、后部的情况。其中在前部和后部接触时分别定义汽车宽度方向上的中心线与自行车的长度方向上的中心线偏移量为汽车宽度的一半，即 $\Delta d = \frac{1}{2} \times 1.76 = 0.88m$ ，如图 4 所示。

根据统计数据，汽车与自行车发生碰撞瞬间，汽车车速范围一般在 20km/h ~ 40km/h 之间，自行车的骑行速度一般为 5km/h ~ 15km/h。本文将得到的头部响应加速度矢量合成 a_h 作为应变量，汽车、自行车的前进速度 v_v 、 v_b 和时间 t 作为自变量，其中 v_v 、 v_b 取值为： $v_v = (20, 30, 40)$ ， $v_b = (5, 10, 15)$ 。那么：

$$a_h = (v_v, v_b, t) \quad (1)$$

依据碰撞方向和侧面碰撞的不同第一接触部位将试验分为：汽车-自行车前部碰撞、汽车-自行车中部碰撞、汽车-自行车后部碰撞 3 组。

因此，试验总体方案为：全部试验分为 3 组，每组试验中，各取一个汽车和自行车的车速

值（共有 $3 \times 3 = 9$ 种组合），经过计算机仿真计算，获得时间序列上的骑车人头部加速度值。共需要 $3 \times 9 = 27$ 次试验。在试验前定义好碰撞方向与碰撞位置。考虑到实际情况，设定车辆在和自行车发生碰撞接触后采取全制动，而自行车无任何制动措施。

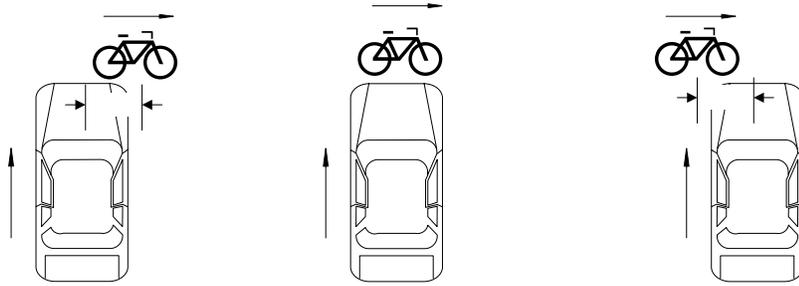


图 4 侧面碰撞时汽车与自行车接触的部位

4 试验过程及结果

在 PC-Crash 虚拟试验场上，汽车、自行车以不同的行使速度，分别进行上述 3 组试验。当汽车与自行车的第一接触部位为自行车中部时，骑车人会倾斜倒在汽车发动机前罩上进而头部与发动机前罩或者风挡玻璃相撞，这是造成骑车人头部损伤的原因之一；当汽车与自行车的第一接触部位为自行车的前部或后部时，骑车人会摔倒在汽车的侧面。如果头部直接与地面接触，便会造成头部损伤。

通过虚拟的汽车—自行车碰撞事故试验，可以得到骑车人的运动姿态、头部撞击的时刻与撞击部位，见图 5。

通过仿真模型的计算，可以得到整个虚拟碰撞试验过程中骑车人头部的加速度响应—时间曲线。数据采样时间间隔为 1ms 。将其汽车车速 v_a 、头部响应加速度矢量合成 a_h 、时间 t 在三维坐标系中表示。其中相同的汽车车速 v_a 、不同的自行车行驶速度 v_b 的加速度响应—时间曲线在同一平面上用不同的线型和颜色表达，如图 6、图 7、图 8。

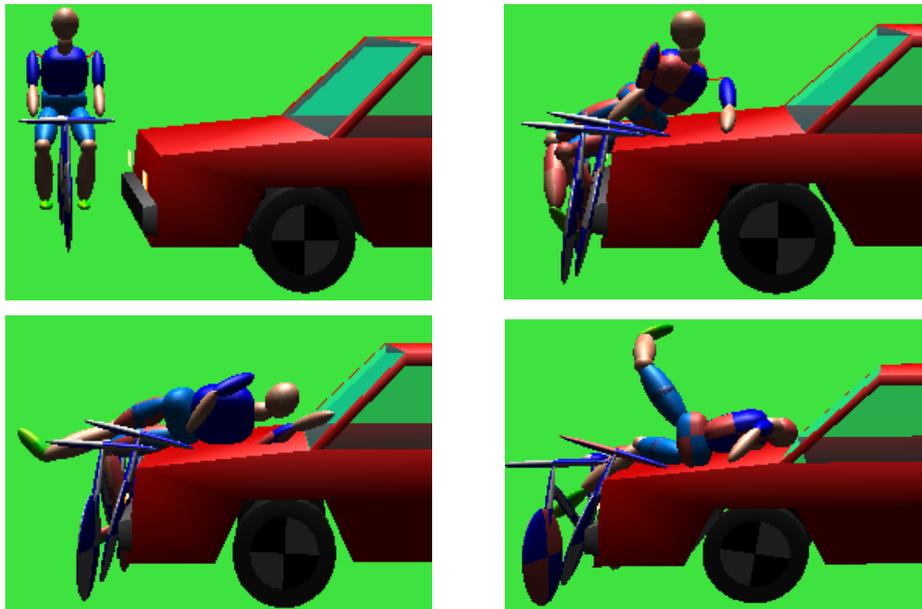


图 5 汽车—自行车虚拟碰撞过程

5 试验结果分析

头部由于受到撞击而产生损伤的严重程度与许多因素有关[2]。首先是撞击载荷的大小和作用时间，其次是碰撞时接触的面积以及碰撞物体的形状等有关。本文中，由于人体是多刚体模型，其中头部是一个圆球刚体，而汽车也是一个刚体，因此在头部与发动机罩、汽车风挡玻璃或者地面发生碰撞时，接触碰撞面积基本一致，因此只考虑受到的载荷大小以及加速度持续的时间。本文选择头部损伤判据 HIC (Head Injury Criterion) 作为骑车人头部损伤程度的判断依据。HIC 是在 1971 年由 Versace 提出的，现为美国道路交通安全局采用的 FMVSS208 项的伤害标准。计算公式如下[3]：

$$HIC = \max_{T_0 \leq t_1 < t_2 \leq T_E} (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right]^{2.5} \quad (2)$$

其中： t_1 、 t_2 ——使 HIC 达到最大值的时间段的起始和终止时间；

T_0 ——碰撞起始时刻；

T_E ——碰撞结束时刻；

a ——头部合成加速度，单位 g 。

一般地，安全界限值为： $HIC = 1000$ 。

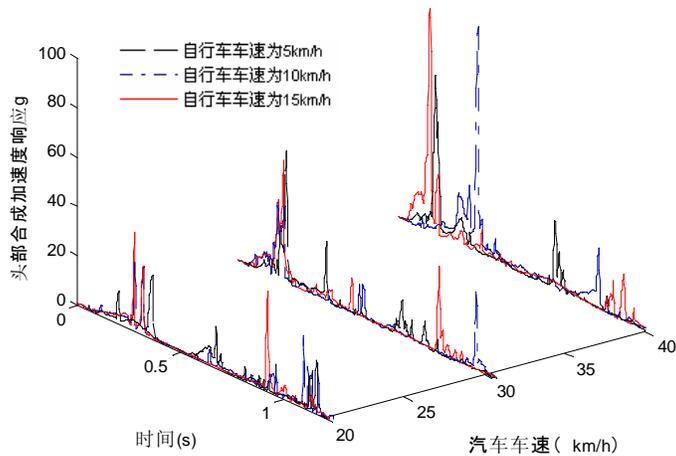


图 6 汽车—自行车前部碰撞骑车人头部合成加速度曲线

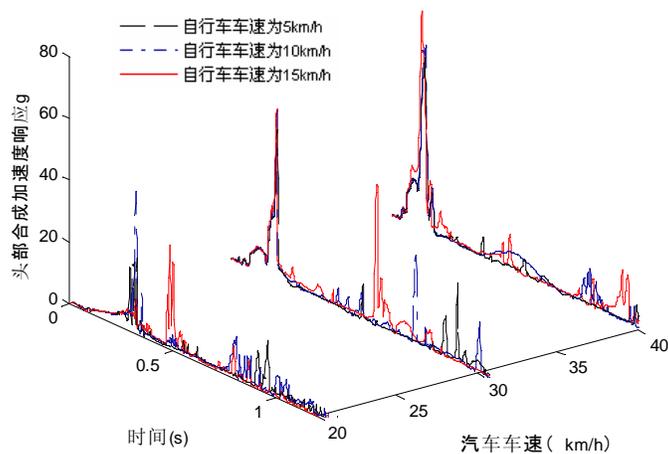


图 7 汽车—自行车中部碰撞骑车人头部合成加速度曲线

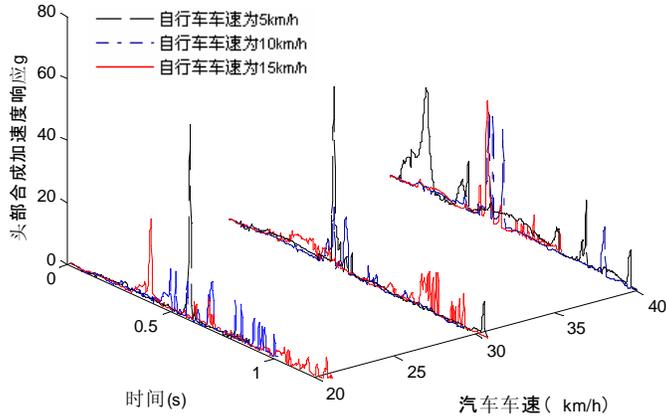


图8 汽车—自行车后部碰撞骑车人头部合成加速度曲线

将 27 次试验得到的头部合成加速度采样数据用式 (2) 进行计算, 得到每次试验的人体头部 HIC 值, 见表 1。

从表中可以看出, 汽车—自行车碰撞交通事故的人体头部损伤情况比较复杂, 没有明显的规律可循。主要原因是不同碰撞部位、车辆和自行车不同的行驶速度影响自行车骑车人的运动姿态, 并且决定了头部是否与风挡玻璃、发动机罩、地面相接触、头部是否存在二次撞击等。

表 1 试验中骑车人头部 HIC 值

| 汽车—自行车车速 | 汽车—自行车前部碰撞 | 汽车—自行车中部碰撞 | 汽车—自行车后部碰撞 |
|---------------|------------|------------|------------|
| 20km/h—5km/h | 400.66 | 275.95 | 2678.5 |
| 20km/h—10km/h | 371.55 | 1056.3 | 110.24 |
| 20km/h—15km/h | 1019.1 | 322.23 | 379.38 |
| 30km/h—5km/h | 1928.5 | 1772.2 | 2230.6 |
| 30km/h—10km/h | 466.59 | 1345.5 | 161.74 |
| 30km/h—15km/h | 1546.2 | 1677.1 | 39.857 |
| 40km/h—5km/h | 3451.2 | 2976.9 | 843.13 |
| 40km/h—10km/h | 5588.9 | 3293.3 | 646.58 |
| 40km/h—15km/h | 7682.5 | 4583.4 | 637.41 |

根据图 6、图 7、图 8 的数据曲线以及表 1 的结果, 主要分析结论如下:

(1) 汽车-自行车前部碰撞时, 在接触瞬间自行车并没有整体与汽车接触, 而自行车由于惯性, 在随后的碰撞过程中不断的前行, 不断增加与汽车的碰撞接触面积, 使得头部与风挡玻璃接触的机会增加, 损伤加重。在此类碰撞事故中, 自行车车速越大, 头部受损机会、损伤程度越大。当自行车车速较慢, 而汽车车速较快时会使得骑车人由于倒地, 头部直接与地面发生碰撞, 造成比较大损伤。

(2) 汽车-自行车中部碰撞时, 在第一碰撞点汽车已经与自行车整体相接触, 自行车的前行速度对于头部损伤的影响不大。当汽车车速较低而自行车车速较快时, 反而会使得自行车不断减小与汽车的接触面积, 从而减少头部与风挡玻璃或发动机罩的碰撞机会, 从而减少了头部的损伤。

(3) 汽车-自行车后部碰撞时, 在第一碰撞点汽车只与自行车的后部接触, 因此自行车的车速越大, 脱离或减小与汽车的碰撞接触面积的机会越大, 反之则会增加骑车人头部与风挡玻璃或发动机罩的碰撞机会。但也存在骑车人倒地后头部直接与地面碰撞造成较大损伤的情况。

(4) 随着碰撞瞬间汽车速度增高, 人体头部损伤判据 HIC 值呈增加趋势。当骑车人头部与风挡玻璃、发动机罩或地面发生碰撞时, 骑车人头部损伤比较严重。总体来看, 在汽车-自行车碰撞事故中, 第一接触点为自行车后部时所造成的损伤相对较小, 其中 HIC 值小于 1000 占 77.78%; 而当第一接触点为汽车前部时, 骑车人头部损伤程度较大, 其中 HIC 值大于 1000 占 66.67%, 且最高为 $HIC = 7682.5$ 。

6 结语

本文利用 PC-Crash 平台设计了一系列的仿真碰撞试验, 对汽车-自行车碰撞事故中骑车人头部受伤情况进行了研究。通过试验得到的骑车人头部合成加速度数据计算出各组试验人体头部 HIC 值。最后, 分别分析了汽车车速、自行车车速、第一接触部位、碰撞后骑车人的运动状态等因素对骑车人头部损伤情况的影响, 为今后进一步研究自行车骑车人的安全保护措施提供了仿真试验依据。

参考文献

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计资料汇编[R].北京:公安部交通管理局, 2006
- [2] 王幼复 马和中. 人的头部受撞击时的生存界限. 力学进展[J], 1983,12(3):265-271.
- [3] Paul D B. Clifford C C. Bahig B F. Vehicle crashworthiness and occupant protection. American Iron and Steel Institute. 2004.
- [4] Joon-K K. Sungyop K. Gudmundur F U. Bicyclist injury severities in bicycle-motor vehicle accidents. Accident Analysis & Prevention, 2007(39):238-251.
- [5] Tetsuo M. Janusz K. Koji M. Comparative analysis of vehicle-bicyclist and vehicle-pedestrian accidents in Japan, Accident Analysis & Prevention, 2003(35):927-940.
- [6] Törő K. Hubay M. Sótónyi P. Fatal traffic injuries among pedestrians, bicyclists and motor vehicle occupants. Forensic Science International, 2005(151):151-156.
- [7] PC-Crash. A Simulation Program for Vehicle accidents, Operating Manual. Version7.3[M]. Dr.Steffan Datentechnik , Linz , Austria, 2005.