

基于 PC-Crash的轿车-行人高速碰撞仿真模型

林庆峰¹,许洪国²

(1. 清华大学,汽车安全与节能国家重点实验室,北京 100084; 2. 吉林大学交通学院,长春 130022)

[摘要] 利用 PC-Crash模拟高速条件下轿车与行人后部的碰撞过程,试验假人选择 PC-Crash标准成年假人模型,碰撞后汽车驾驶员未采取紧急制动措施,仍然按照碰撞时刻的车速行驶,试验车速区间选择 75~155 km/h。研究了不同碰撞车速下行人的第一落地点和最终静止点抛距变化规律,分析了行人头部在事故中所受到的碰撞接触力的变化规律,在此基础上建立汽车-行人高速碰撞模型并进行对比验证。

关键词: 高速碰撞; 事故再现; 仿真

Simulation Model for High Speed Car-pedestrian Collision Based on PC-Crash

Lin Qingfeng¹ & Xu Hongguo²

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

2. Transportation College, Jilin University, Changchun 130022

[Abstract] A simulation test for high-speed car/pedestrian-back collision was carried out with a test speed of 75 to 155 km/h, using accident reconstruction software PC-Crash. In the test, an adult dummy was used and after collision the driver did not apply urgent braking but drove on with the test speed. The models of throw distance for both first falling spot and final settle position were established and compared with other model. The contact forces between dummy head and vehicle during collision were also analyzed.

Keywords: High speed collision; Accident reconstruction; Simulation

前言

轿车碰撞行人的事故中,当车辆即将与行人发生碰撞或在碰撞发生时刻,驾驶员会本能地用力踩下制动踏板或紧急转向。行人事故再现时,事故处理人员或事故研究人员可通过轿车轮胎的制动拖印、行人与车辆的撞击位置、行人最终静止点至碰撞点的距离(行人抛距)、行人最终静止点偏离车辆行驶方向的角度等技术参数来推断事故发生时刻车辆及行人的相对位置、碰撞车速等事故信息。但在肇事逃逸案件和某些特殊情况下,当肇事驾驶员发现碰撞行人后会以较高速度驶离肇事现场,借以逃避事故责任。由于驾驶员在事故中并未采取制动措施,车辆仍以较高速度行驶,故行人受到撞击后腾空翻转、跌落至地面滚动和在地面滑行等系列过程与

驾驶员采取紧急制动措施时的过程具有一定的差别。传统的行人抛距模型多以车辆在碰撞后驾驶员采取紧急制动为前提,很少涉及碰撞后车辆仍以高速行驶的情况。针对这种特殊情况,作者利用 PC-Crash事故再现软件进行轿车-行人高速碰撞的数值模拟,探索车辆高速撞击行人的运动机理及对应技术参数的变化规律。

1 轿车-行人高速碰撞模型

利用 PC-Crash进行事故仿真试验过程中,试验假人选择 PC-Crash模型中的标准成年假人模型,试验车型选择大众宝来(VW Bora 1.6),车内有体重为 75kg的驾驶员一名,试验过程中车辆沿直线行驶,路面平直,路面摩擦因数为 0.8,行人位于车辆中部。从 PC-Crash车辆库中调用该车型车辆,车辆

原稿收到日期为 2006年 5月 15日,修改稿收到日期为 2006年 10月 9日。

外形尺寸与实际车辆参数完全一致,车辆装备的ABS系统在制动过程中起作用,碰撞形式选择行人后部与轿车前部碰撞。

定义行人碰撞后首次接触地面的接触点与碰撞点之间的距离为行人第一落地点抛距;行人终止点

抛距为行人最终静止点与碰撞点的纵向距离,简称行人抛距^[1-2],文中所指的纵向为轿车的行驶方向,见图1。调整设置参数,利用PC-Crash建立仿真模型,碰撞过程见图2,模拟过程中使得车辆在发生碰撞后速度保持不变。

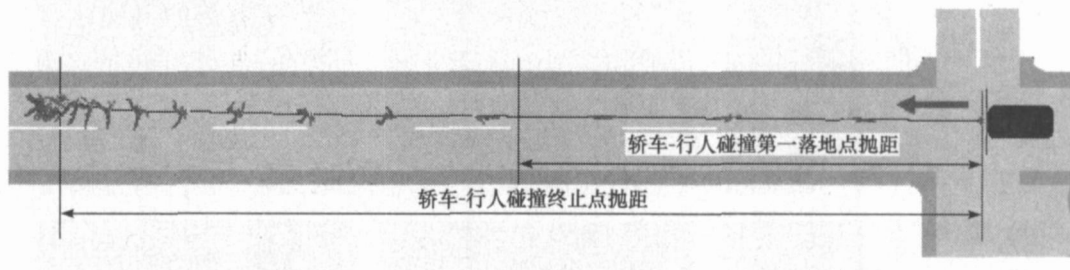


图1 轿车-行人碰撞第一落地点抛距和终止点抛距



图2 轿车-行人碰撞(75km/h)

分别以行人第一落地点抛距和行人最终静止点抛距为自变量 x ,碰撞车速为因变量 y ,建立行人抛距模型,模型曲线见图3、图4。

第一落地点抛距模型为

$$y = 12.067x^{0.575} \quad (1)$$

终止点抛距模型为

$$y = 13.716x^{0.454} \quad (2)$$

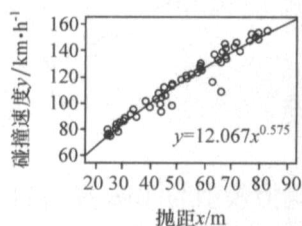


图3 行人第一落地点抛距模型

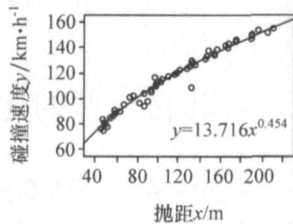


图4 行人终止点抛距模型

在实际的交通事故中,可通过对行人腿部、头部等部位的受损情况和车身碰撞痕迹来判断行人在碰撞前的方位。行人头部受到车辆撞击往往能够造成行人的致命损伤,这种情况在轿车-行人高速碰撞

中更为重要,因为行人在碰撞后滚落到地面通常还会遇到其他车辆的碾压,因此行人身体会发生多处损伤。通过判断行人受损部位及严重程度等可为事故处理人员判断事故当事人的责任提供重要依据。

2 行人碰撞接触力分析

利用尸体或行人碰撞假人进行试验研究是行人安全性研究的基本方法。该方法能比较真实地再现各种碰撞事故,从而获得人体各部位的承受极限和损伤机理等重要数据。但行人与车辆发生碰撞前不同的运动状态及所在的位置对碰撞结果会有比较大的影响。因此对行人安全性进行研究更加复杂。由于社会伦理等方面的原因,在我国使用尸体进行试验的可能性很小。而碰撞假人价格较高,目前还没有完全统一的行人碰撞假人标准。利用计算机仿真技术,建立行人模型和车辆模型进行各种碰撞事故的模拟再现更有现实意义^[3-4]。

利用PC-Crash软件进行了行人与轿车的碰撞仿真,观察整个仿真过程。在碰撞过程中,轿车前保险杠首先撞击行人小腿的后侧,轿车前缘与行人臀部下侧、大腿后侧相继接触,随着轿车继续向前行驶,行人大腿中部与轿车前沿接触,并以前缘为中心旋转,然后行人臀部直接撞击发动机罩,行人头部撞击轿车前风挡玻璃,随着碰撞车速的提高,撞击风挡玻璃的部位向下移动。

由于车辆处于高速行驶状态,行人头部损伤严重,通常受到顶枕骨骨折、颅脑损伤等致命伤害,当车速较高时,行人在空中跌落过程中未能撞击到车辆的顶棚和后背箱,而是直接跌落至地面,并继续以

较小的角度弹起滚动、滑行直至静止,整个运动过程见图 5。

利用 PC-Crash 软件可详细分析行人头部的速度、角速度、抛射距离等技术参数。由于行人的头部

损伤往往是造成死亡的重要原因,文中对行人头部与风挡玻璃碰撞产生的接触力进行重点分析。行人头部接触力随车速变化的数据见表 1。

从表 1 可以看出,随着车速的增加,行人头部撞

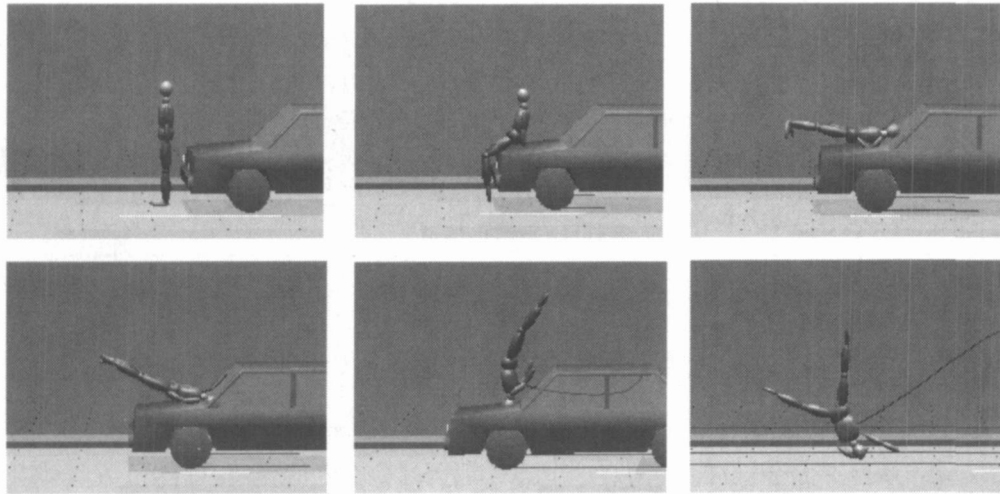


图 5 轿车 - 行人后部高速碰撞 (75km/h)

表 1 行人头部接触力峰值

碰撞速度 km · h ⁻¹	时间 /s	接触力 /N	时间 /s	接触力 /N	时间 /s	接触力 /N
75.0	0.085	7 472.64	0.130	1 003.30	1.580	5 469.54
79.5	0.091	12 814.30	1.480	5 765.89	2.127	692.92
85.0	0.091	10 468.01	0.284	2 214.73	0.376	523.27
89.5	0.080	10 346.79	0.129	1 368.28	0.233	95.60
95.0	0.076	11 536.64	1.779	6 032.92	2.506	3 428.36
99.5	0.070	12 964.95	0.090	1 134.84	0.214	1 127.34
105.5	0.066	13 603.91	0.106	1 548.81	0.149	314.85
110.0	0.060	13 465.75	0.095	1 595.32	1.859	6 456.65
114.5	0.060	14 248.89	0.096	1 499.93	1.930	7 221.09
120.5	0.055	12 902.23	0.087	1 453.86	0.545	308.96
125.0	0.055	13 779.91	0.082	1 418.63	2.375	3 208.46
131.0	0.050	11 193.05	0.070	946.04	0.216	1 881.79
135.5	0.054	13 514.48	0.076	4 152.58	0.357	155.94
141.5	0.050	12 104.39	0.076	4 788.85	0.171	769.52
146.0	0.045	10 156.52	0.065	8 684.72	2.250	523.61
150.5	0.040	7 188.39	0.070	6 119.24	0.165	1 223.21
155.0	0.040	9 202.90	0.060	9 381.15	0.091	2 040.85

击车辆风挡玻璃时间缩短,而碰撞力峰值呈增加趋势,第一次峰值主要是头部与发动机罩的碰撞,对应第二次峰值高度为行人跌落至地面时刻头部受到的碰撞,后续碰撞接触力的峰值高度主要是行人继续接触地面碰撞情况。在行人从空中翻转跌落至地面过程中,身体各个部位接触地面的随机性较大,行人的四肢、躯干及头部等都有可能首次撞击地面。

在车辆行驶速度为 75km/h 的情况下,轿车 - 行人高速碰撞中行人头部接触力随碰撞车速和时间的变化如图 6 所示。

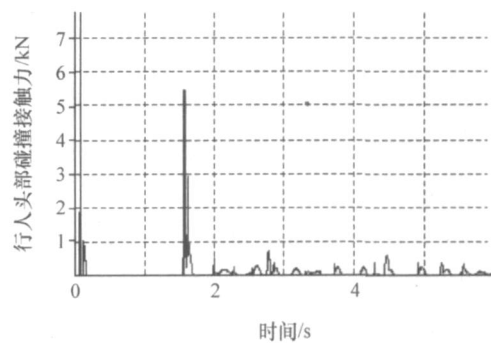


图 6 行人头部碰撞接触力变化 (75km/h)

3 与其它模型比较

将文中轿车 - 行人高速碰撞模型与 Toor 提出的行人碰撞抛距模型^[5]进行对比,该模型为

$$y = 12.17x^{0.5}$$

Toor 模型主要适用于车辆前部上边缘小于或等于行人质心高度的情况。

根据车辆紧急制动的条件下所得仿真试验数据,分别以行人第一落地点抛距和行人最终静止点抛距为自变量 x ,以碰撞车速为因变量 y ,建立行人抛距模型。

第一落地点抛距模型为

$$y = 10.899x^{0.606} \quad (3)$$

终止点抛距模型为

$$y = 11.984x^{0.488} \quad (4)$$

对比采取紧急制动措施和不采取紧急制动措施的两种仿真情况,不采取紧急制动措施的仿真中,轿车碰撞行人后并未减速,因此被撞行人在空中向后旋转的趋势增加,但是由于车辆仍然以高速向前行驶,故向前抛射的趋势也同时增加,因此高速碰撞第一落地点抛距比进行紧急制动的第一落地点抛距的长度有所增加。对比 Toor和不采取紧急制动措施的仿真模型,结果表明高速碰撞终止点抛距比 Toor模型和紧急制动的模型抛距均有一定程度的增加,见图 7。

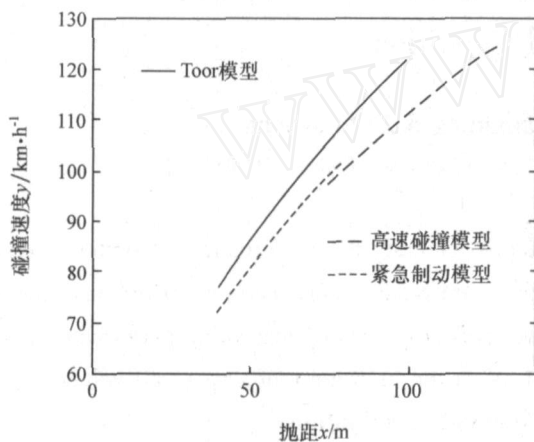


图 7 终止点抛距对比

5 结论

(1) 轿车碰撞行人后驾驶员未采取紧急制动措施仍以原车速行驶的情况下,人体头部损伤主要是由于头部与轿车风挡玻璃和道路的撞击导致。

(2) 随着痕迹检验技术的不断进步,利用行人抛落地面的第一接触点抛距可为行人事故再现提供一种新的研究方法。

(3) 轿车-行人后部碰撞抛距模型与国外碰撞抛距模型相比,在行人事故再现中更具有应用价值,与碰撞后车辆进行紧急制动的情况对比,轿车在碰撞后未采取制动措施的高速碰撞条件下的行人抛距有一定程度的增加。

参考文献

- [1] 林庆峰,许洪国,任有,王维旭. 交通事故前照灯散落物抛射模型研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006(3): 85 - 88.
- [2] 林庆峰,许洪国,成波. 交通事故行人、骑车人和自行车抛距模型[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006(6): 73 - 78.
- [3] Cliff W E, Montgomery D T. Validation of PC-Crash—A Momentum-Based Accident Reconstruction Program [C]. SAE Paper 960885.
- [4] Moser A, Steffan H, Kasanick G. The Pedestrian Model in PC-Crash—The Introduction of a Multi Body System and its Validation [C]. SAE Paper 1999 - 01 - 0445.
- [5] Toor A, Araszewski M. Theoretical Versus Empirical Solutions for Vehicle Pedestrian Collisions [C]. SAE Paper 2003 - 01 - 0883.

(上接第 561 页)

三维 CAD 环境下手动控制人体数字模型的姿势非常繁琐而且易错。文中在分析人体运动系统和运动特征的基础上,提出将人体简化为空间刚体关节链控制其运动姿势的构想。针对人体模型在内部布置中的实际应用,采用空间刚体运动学正向和逆向联合控制方法,实现了人体数字模型在三维空间中的驾驶姿势控制。采用模糊数学方法,构建了人体姿势舒适性的模糊评价规则,并用于评价人体模型姿势的舒适性。

参考文献

- [1] 徐力,郭巧,陈海英. 虚拟人体运动系统建模方法研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8).
- [2] 崔来友,白士红,张春林,等. 人体运动学模型的研究[J]. 机械设计与研究, 2003, 19(6).
- [3] Schneider Lawrence W, et al. ASPECT: The Next-Generation, H-Point Machine and Related Vehicle and Seat Design and Measurement Tools [C]. SAE Paper 1999 - 01 - 0962.
- [4] 蔡自兴. 机器人学 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- [5] Jung Eui S, Choe Jaeho. Human Reach Posture Prediction Based on Psychophysical Discomfort [J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1996, 18: 173 - 179.