

Accident Speed reconstruction method Study for Car running through the guardrail Accident

Fuju LIU¹, Chen WANG¹, Xiao HU¹

¹ China Automobile Technology & Research Center. CATARC, China, Tianjin
Email: liufuju@catarc.ac.cn, wangchen@catarc.ac.cn, huxiao@catarc.ac.cn

Abstract: In order to reconstruct the speed of the car through the guardrail accident, to solve the problem of responsibility division of traffic accident. In this paper, the feasibility of applying three methods of physical or empirical formula, PC-Crash software simulation and EDR(Event data recorder) data is applied in this accident type. After the actual traffic accident case, the error of the physics or empirical formula reaches 27%, and the PC-Crash software can not realize the simulation of the car through the guardrail accident, and the results of EDR data reading are the most accurate. Because the domestic EDR has no mandatory regulations, it can read fewer models for the CDR (Crash data retrieval), which restricts the general solution of the actual problem.

Keywords: speed reconstruction; guardrail; pc-crash; EDR

汽车贯穿护栏事故车速重建方法研究

刘福聚¹, 王辰¹, 呼啸¹

¹ 中国汽车技术研究中心, 天津, 中国, 300300

Email: liufuju@catarc.ac.cn, wangchen@catarc.ac.cn, huxiao@catarc.ac.cn

摘要: 为重建汽车贯穿护栏事故的车速, 辅助解决交通事故责任划分问题。本文对比分析物理或经验公式、PC-Crash 软件仿真和 EDR (Event data recorder) 数据读取三种方法在此事故类型中的应用可行性。通过实际交通事故案例验证后得出物理或经验公式的误差达 27%, PC-Crash 软件无法实现汽车贯穿护栏事故的仿真, EDR 数据读取的结果最为准确。由于国内 EDR 配置尚无强制法规, 使得 CDR (Crash data retrieval) 可读取车型较少, 制约了该实际问题的广泛解决。

关键词: 车速重建; 护栏; PC-Crash; EDR

1 引言

中华人民共和国道路交通事故统计年报显示: 2013 年中国大陆涉及人员伤亡的道路交通事故中撞固定物事故 7294 起(占占比 3.68%), 造成 3299 人死亡(占占比 5.63%)、6548 人受伤(占占比 3.06%), 直接财产损失 0.88 亿元(占占比 8.47%), 其中撞击护栏事故占比最高^[1]。由于汽车撞击护栏事故造成的损坏较大, 特别是护栏贯穿汽车且多人乘车的情况下, 汽车速度成为交警划分事故责任的最重要决定因素。目前汽车速度的鉴定主要有三种方法: 物理或经验公式、软件仿真和 EDR 数据读取^[2]。本文将结合实际案例, 对比分析三种方法在汽车贯穿护栏事故中的应用可行性, 并讨论三种方法的局限性。

2 方法

2.1 物理或经验公式

能量守恒定律指出能量既不会凭空产生, 也不会凭空消失, 它只能从一种形式转化为另一种形式, 或者从一个物体转移到另一个物体, 在转移或转化过程中其总量保持不变。

物理公式基于动量守恒定律、能量守恒定律、胡克定律等基础物理知识推导出的公式, 例如汽车行驶过程

中因有一定的速度所以具有一定的动能，在其制动过程中或者翻车后滑行的过程中，动能将被汽车与地面的摩擦所消耗，最终停止^[3]，因此在能够勘察到地面痕迹的交通事故案例中，从痕迹起点到痕迹终点的车速是可以利用痕迹计算公式（1）计算的。

$$v = \sqrt{2as} = \sqrt{2\mu gs} \quad (1)$$

式中： v -汽车痕迹起始点速度（m/s）； a -汽车减速度（m/s²）； μ -汽车与地面的摩擦系数； g -重力加速度值（9.8 m/s²）； s -汽车滑移距离（m）。

而经验公式主要是基于实际的汽车碰撞试验数据归纳总结得出的，相比物理公式其应用条件较为苛刻，例如研究机构通过大量的轿车碰撞圆柱形固定物得出了轿车碰撞柱状物速度的经验公式（2）。

$$v = 67l/3.6 \quad (2)$$

式中： v -轿车碰撞固定物前的瞬时速度（m/s）； l -轿车塑性变形量（m）。

2.2 软件仿真

事故再现分析主要是依据遗留在事故现场的证据开展的。计算机软件仿真再现事故过程的原理，主要是依据事故现场采集的各种相关信息，根据运动力学原理：牛顿定律、动量和动量矩守恒定理、能量守恒原理、多体动力学等建立多组物理和数学模型，定量描述事故过程中诸元素的相对运动及相互状态的内在联系和判定各参与方的运动状态，最终模拟确定事故的全部运动过程。

目前，在车速再现分析方面，PC-Crash 为国际事故研究企业和研究机构使用最广的计算机仿真软件^[4]。PC-Crash 仿真过程分为参数输入、图形绘制、运动序列设置和仿真分析四个主要部分。参数输入部分主要是将采集到的事故参与方相关信息在模型调入后进行参数设置，如将汽车的外形轮廓尺寸参数、悬挂系统刚度、弹性系数、汽车长、宽、高、轴距、前悬、后悬、质心高度、质心离前轴的距离、整备质量、总质量、是否配置ABS、ESP 以及轮胎的宽度、高度等参数进行输入，输入界面如图 1 和图 2 所示。图形绘制部分主要是依据事故现场图绘制，包括道路的宽度、隔离带宽度、人行道、信号灯的设置和汽车的停定位置、地面痕迹的长度、碰撞物的相对位置等进行绘制或者直接将绘制的比例图拖入软件直接进行缩放。运动序列设置依据现场勘查和驾驶员描述信息设置汽车在碰撞前、碰撞时和碰撞后的各阶段运动情况，如制动动力的大小、转向角度、转向延迟时间等进行逐段设置，如图 3 所示。仿真分析过程是在上述参数设置的基础上进行汽车速度、相对位置、接触部位、反弹系数和摩擦系数进行调整，并不断调整运动序列的设置，最终达到汽车接触损坏部位、变形尺寸、制动印迹和停定位置全部符合实际的勘察值，仿真运动过程图如图 4。

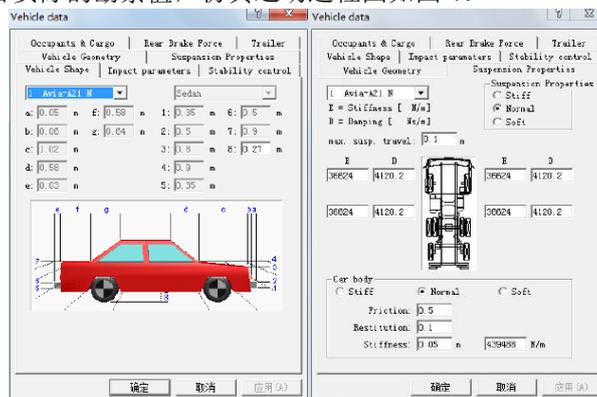


Figure 1. Car information input parameter sectional view

图 1. 汽车信息参数输入截面图

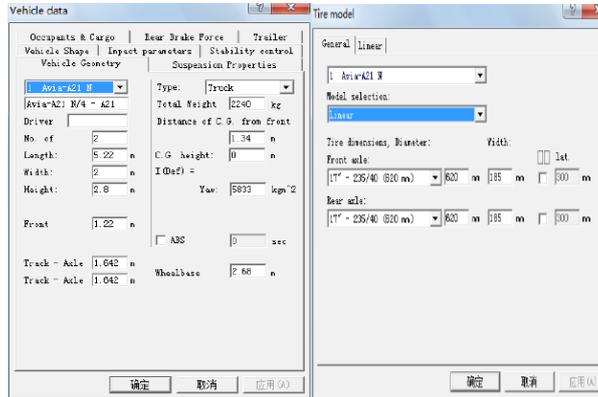


Figure 2. The basic parameters and dimensions car tire parameter input interface in FIG.

图 2. 汽车基本尺寸参数和轮胎参数输入界面图

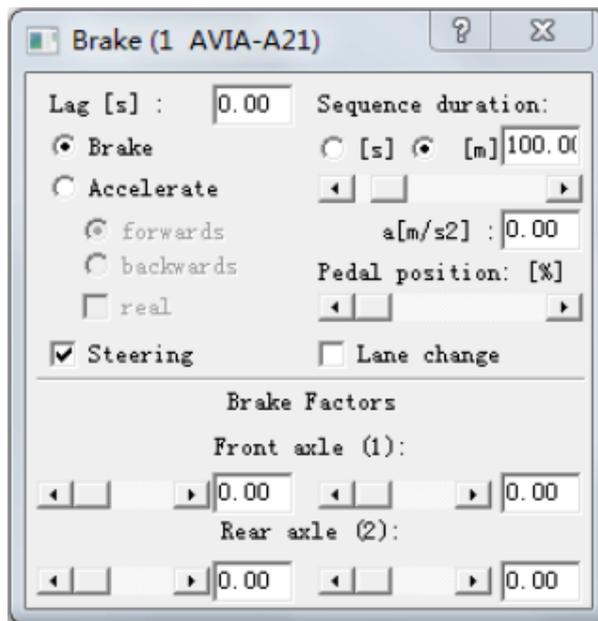


Figure 3. Motion sequence parameter input interface in FIG.

图 3. 运动序列参数输入界面图

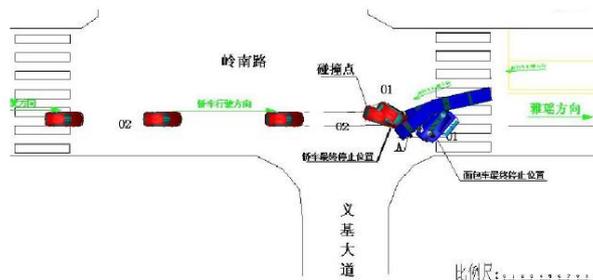


Figure 4. Accident simulation movement process diagram

图 4. 事故仿真运动过程图

2.3 EDR 事故数据读取

碰撞数据还原系统 Crash data retrieval (CDR) 主要用于读取碰撞数据记录系统 Event data recorder (EDR) 记录的数据, EDR 记录数据的准确性已经得到验证^[5,6,7,8,9]。博世公司生产的 CDR^[10], 如图 5 所示。目前国内市场公开的可以读取的车型包括丰田、沃尔沃和克莱斯勒, 而在美国则可以公开读取的车型还包括通用、福特和铃木等车型, 美国颁布的法令规定 2012 年起在美国生产的汽车必须配备 EDR 设备记录事故碰撞数据。



Figure 5. CDR devices and connecting cables
图 5. CDR 设备及连接电缆

EDR 也称作车载电脑控制模块, 它不间断地(一般频率为 1 次/秒)采集汽车内相关传感器的信息, 例如行驶速度、制动减速度、油门踏板开度、安全带状况等。这些流水采集到的信息以一定的速率被刷新, 一旦 EDR 监测、判断出有碰撞发生(车速骤降、减速度大于阈值等), 则当前周期内(5 秒以上)的数据将被写入存储介质中, 且碰撞后若干毫秒内的数据也将被写入。这样, 碰撞前后的整个过程就会被完整、准确地记录下来。而这些数据一经写入即被锁死, 不可擦除和更改。

实际上, EDR 大部分是利用了汽车安全气囊系统中的传感诊断模块 Sensing and Diagnostic Module (SDM) 判断碰撞发生的特性实现数据和记录^[11]。SDM 模块可以记录两种类型的碰撞数据。第一种是气囊临近起爆碰撞事故, 即轻微碰撞事故, 指碰撞强度可以激活 SDM 模块内部运算程序但不足以点爆气囊。所记录的数据包括碰撞前数据和碰撞数据。SDM 模块可以存储 1 起临近起爆事故的数据, 但会被其后发生的有更大速度差(ΔV)的事故数据所覆盖, 或经过 250 次点火循环后被删除。第二种是气囊起爆碰撞事故, 即严重碰撞事故, 导致气囊起爆。所记录的数据也包括碰撞前数据和碰撞数据。起爆事故数据不能被覆盖、删除或改写, 一旦气囊起爆, 则 SDM 模块必须被更换。

3 案例分析

3.1 事故概述

事故概要: 20XX年X月X日X时X分, 张某驾驶(副驾乘客李某)沃尔沃SUV沿京昆高速自西南向东北方向行驶至XX公里处时, 由于张某疲劳驾驶, 汽车前部与道路右侧路缘石发生刮碰, 随后汽车与道路右侧护栏立柱发生碰撞, 最后护栏自发动机舱贯穿汽车后从汽车右侧车窗穿出, 事故造成张某、李某重伤。现场照片见图6。



Figure 6. Case scene photos

图 6. 案例现场照片

3.2 物理/经验公式计算车速

根据事故过程描述，将事故过程分为三个阶段：汽车与道路路缘石发生刮碰（行驶距离 50m）、汽车与护栏立柱发生碰撞（汽车塑性变形量为 0.6m）和护栏贯穿汽车（贯穿距离 16m）。根据能量守恒定律，分别计算三个阶段的等效速度降，最终计算汽车与道路路缘石发生碰撞时的速度。

将相关参数代入公式（1）计算汽车与道路路缘石发生刮碰阶段的等效速度降为：

$$v_1 = \sqrt{2g\mu s_1} = \sqrt{2 * 9.8 * 0.2 * 50} = 14\text{m/s}$$

将相关参数代入公式（2）计算汽车与护栏立柱发生碰撞阶段的等效速度降为：

$$v_2 = \frac{67l}{3.6} = 67 * \frac{0.6}{3.6} = 11.2 \text{ m/s}$$

将相关参数代入公式（1）计算缘石发生刮碰护栏贯穿汽车阶段的等效速度降为：

$$v_3 = \sqrt{2g\mu s_2} = \sqrt{2 * 9.8 * 1.0 * 16} = 17.7\text{m/s}$$

根据能量守恒定律公式（3）计算汽车与道路路缘石发生碰撞时的速度为：

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} = 90.7\text{km/h}$$

3.3 软件仿真计算车速

将事故汽车相关参数和护栏相关参数作为输入参数构建 PC-Crash 中的汽车和护栏模型^[12]，根据事故描述设置汽车的序列参数，基于其内部动量守恒等物理定理定义公式^[13]，反复进行计算机模拟仿真。结果仅出现两种情况：汽车穿越护栏而没有任何能量损失和汽车与护栏相撞反弹却无法实现护栏贯穿。综合分析后得出 PC-Crash 软件由于其本身的制约无法仿真护栏贯穿汽车的事故类型，因而无法得出汽车的速度。

3.4 EDR 事故数据分析车速

使用 CDR 设备对被鉴汽车 ACM（Airbag Control Module）储存的数据进行检验^[14,15]，读取数据如表 1 和图 7、8、9、10 所示。

Table 1. -5.0s to 0s automotive information parameter table

表 1. -5.0s 至 0s 汽车信息参数表

时间(sec)	行驶速度 (km/h)	油门踏板开度 (%)	制动踏板开关
-5.0	119	30	关
-4.5	120	30	关
-4.0	120	30	关
-3.5	121	30	关
-3.0	122	30	关
-2.5	122	30	关
-2.0	123	30	关
-1.5	124	30	关
-1.0	124	30	关
-0.5	123	24	关
0	130	81	关

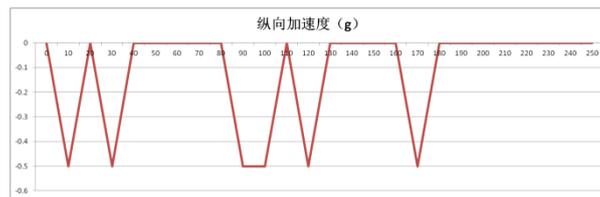


Figure 7. Automotive 0-250ms longitudinal acceleration curve
图 7. 汽车 0-250ms 纵向加速度变化曲线

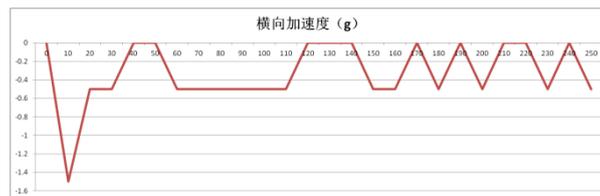


Figure 8. Automotive 0-250ms lateral acceleration curve
图 8. 汽车 0-250ms 横向加速度变化曲线

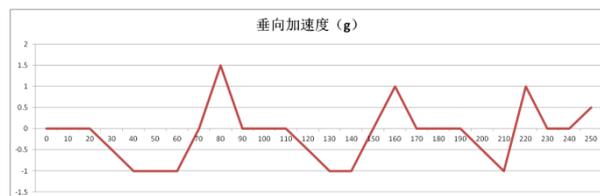


Figure 9. Automotive 0-250ms vertical acceleration curve
图 9. 汽车 0-250ms 垂向加速度变化曲线

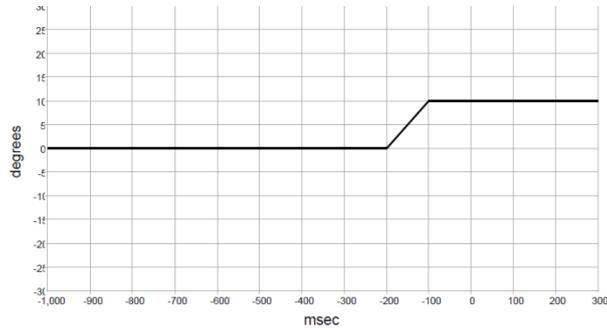


Figure 10. Automotive -1000ms-300ms roll angle curve
图 10.汽车-1000ms-300ms 侧倾角变化曲线

ACM 数据显示-5s-0s 的时间内，制动踏板处于关闭状态，而油门踏板呈 24% 以上的开度状态，加上事故路段呈左弧线形且具有一定的道路坡度（行驶方向为下坡），因而汽车速度基本呈增速状态。0-250ms 的时间内，汽车纵向加速度（前部加速为正）和横向加速度（左侧加速为正）呈减速状态（见图 7 和图 8，垂向加速度（向上加速为正）呈加速减速交替状态（见图 9），而侧倾角（向右加速为正）向右侧呈加速状态（见图 10），因此 0s 后至 250ms 时间内，汽车车身向右侧逐渐倾斜，经过高低不平的路面，且纵向呈减速状态。被撞击波形梁护栏前部路面高低不平且右侧边坡呈下降趋势。从而认定 ACM 显示的 0s 时刻即为汽车撞击波形梁护栏圆形端头至护栏第一根立柱的某一时刻。汽车开始与道路右侧路缘石接触痕迹距离波形梁护栏第一根立柱约 50m，结合汽车 0s 前的速度值综合分析得出汽车开始与道路右侧路缘石接触时刻位于-2s 至-1s 时间内，因此汽车开始与道路右侧路缘石接触时的行驶速度处于 123-124km/h 之间。

4 结论

基于电子系统的稳定性，CDR 设备读取的 EDR 数据最为准确，相比而言物理或经验公式计算的车速误差达 27%，而 PC-Crash 无法实现护栏贯穿汽车事故类型的仿真。总结如下：

1.物理或经验公式计算的车速误差达 27%，主要是由于护栏贯穿汽车阶段时的汽车与路面摩擦系数取值虽取常规极值 1，却没有考虑护栏贯穿对汽车造成的摩擦影响，但这种摩擦目前没有发现相关的试验数据，加上护栏贯穿变化多样，难以从试验角度提供详细的数据，因而有待实际案例数据的进一步积累。

2. PC-Crash 由于其自身的软件程序的制约，无法实现护栏贯穿汽车事故类型的仿真。

3.CDR 读取的 EDR 数据最为准确，但却受中国大陆法规不完善的制约，无法读取丰田、沃尔沃和克莱斯勒之外车型的数据，制约了其在国内交通事故中的广泛使用，需待中国大陆 EDR 法规的完善。

从汽车贯穿护栏事故类型来看，三种车速计算方法都有其局限性，必须在条件符合的前提下才可应用。因国内车型 EDR 配置尚无法规强制要求，且 CDR 在国内可读取的车型较少，汽车贯穿护栏事故类型的车速计算目前属于难点，需待进一步积累真实交通事故数据和 EDR 相关法规的健全。

参考文献 (References)

- [1] Statistics of Road Traffic Accidents in P.R. of China. 2016.
中华人民共和国道路交通事故统计年报.2016.
- [2] Identification for the speed of vehicle involved in road traffic accident (GB/T33195-2016).
道路交通事故车辆速度鉴定 (GB/T33195-2016).
- [3] Emori ichiro. Automotive accident engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 1987.
江守一郎著.汽车事故工程[M].北京:人民交通出版社, 1987.
- [4] Steffan H. PC-Crash technical manual version 10.1[J]. Linz, Austria: Dr. Steffan Datentechnik GmbH, 2015.
- [5] SHEN Ming, CHEN Yu-zhong, LAN Yan-fei, WANG Yan, XU Shu-cai. Automotive Event Data Recorder implementation and standardization prospective [J]. World Standardization & Quality Management 2011.
沈明,陈玉忠,兰雁飞,王琰,许述财. 汽车事故数据记录装置的应用及标准化展望[J].标准科学 2011.
- [6] Jim Harris. Willinger. Event Data Recorders - State Statutes and Legal Considerations. Accident Reconstruction Journal. 2008. Vol. 18.
- [7] Christian von Glasner. History of EDR - Development. EVU. 2012.
- [8] Jwan-Louis Comeau, Dainius J.Dalmotas. Event Data Recorders in Toyota Vehicles. in the 21st Canadian Multidisciplinary Road Safety

- Conference*. 2011. Nova Scotia, Halifax.
- [9] German A, Comeau J-L, Monk B, McClafferty KJ, Tiseesn P, Nowak ES, Chan J and Lo G. *The Use of Ecent Data Recoeders in the Analysis of Real-Word Crashes*. Proc.CMRSC-XII,London, Ontario. June 10-13 ,2001.
- [10] Bosch Diagnostics.Oct,15,2017. <https://www.boschdiagnostics.com/cdr/software-downloads>.
- [11] James J. Riling. *Sensing and diagnostic module for airbags*. SAE.1995.
- [12] Nathan A. Rose,Neal Carter,David Pentecost. *Vehicle Acceleration Modeling in PC-Crash*. SAE 2014 world congress & exhibition: 2014, Detroit, Michigan,USA.
- [13] Chen Wang,Dejun Bu,Xiao Hu. Research on the Scope of Conservation Law of Momentum in Traffic Accident Identification [J]. *Legal System and Society*.2016,(5).
王辰,卜德军,呼啸. 交通事故车速鉴定中动量守恒定律适用范围研究[J].*法制与社会* 2016,(5).
- [14] Matthew Wood,Nicholas Earnhart,Kelly Kennett. *Airbag Deployment Thresholds from Analysis of the NASS EDR Database*. SAE 2014 world congress & exhibition: 2014, Detroit, Michigan,USA.
- [15] Richard R. Ruth,Jeremy Daily. *Accuracy and Timing of 2013 Ford Flex Event Data Recorders*. SAE 2014 world congress & exhibition: 2014, Detroit, Michigan,USA.