

Simulation Reconstruction Analysis of Road Traffic Accidents Based on EDR Data

Haili Qin^{1,2}, Jie Huang^{1,2}, Aowen Duan³, Zhiyong Yin^{1,2}

¹State Key Laboratory of Vehicle NVH and Safety Technology, Chongqing, China, 401122

²China Automotive Engineering Research Institute CO., Ltd., Chongqing, China, 401122

³Army Medical University, Chongqing, China, 400042

Email: 460339963@qq.com

Abstract: EDR (Event data recorder) can record data such as speed, acceleration and seat belt usage before and during collision of vehicles in road traffic accidents. In order to verify the effectiveness of EDR data for accident reconstruction, a real-world traffic accident with EDR data is reconstructed in detail using finite element method and a validated model of the human body. The simulation results are compared with that of the real-world accident from three aspects: vehicle deformation, acceleration curve of B-pillar and driver's injury. The comparison results show that the acceleration curve error is 9%, vehicle deformation and the driver's injuries in the simulation is consistent with the real accident. It shows that the reasonable usage of EDR data in road traffic accidents can improve the accuracy of accident reconstruction results.

Key words: EDR; finite element; accident reconstruction

基于 EDR 数据的道路交通事故仿真重建分析

秦海力^{1,2}, 黄杰^{1,2}, 段傲文³, 尹志勇^{1,2}

¹汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 中国, 401122

²中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 中国, 401122

³陆军军医大学, 重庆, 中国, 400038

Email: 460339963@qq.com

摘要: EDR (Event data recorder) 可记录道路交通事故中车辆碰撞前及碰撞过程中速度、加速度、安全带使用情况等相关数据。为了验证 EDR 数据对事故重建的有效性, 本文利用人体生物力学模型, 采用有限元仿真技术对一例含有 EDR 数据的交通事故进行事故重建研究。从车身变形、B 柱加速度曲线、驾驶员损伤情况三个方面对真实事故案例与仿真结果进行了比较, 对比结果显示加速度曲线误差为 9%, 且车身变形、仿真中人体损伤与真实案例相符。表明在道路交通事故中合理使用 EDR 数据能够提高事故重建结果的准确性。

关键词: EDR; 有限元; 事故重建

1 前言

自改革开放以来, 我国经济开始快速的发展, 汽车行业也随之飞速发展, 根据公安部交管局最新统计数据^[1]可知, 截止至 2017 年 3 月底, 全国机动车保有量已经达到 3 亿量, 其中汽车的数量有 2 亿辆; 与此同时机动车驾驶人已达 3.64 亿, 其中汽车驾驶人高达 3.2 亿。

汽车在给人类带来巨大便捷的同时也给人类带去众多负面问题, 如环境问题、能源危机、交通事故等。其中, 交通事故给人类造成的直接伤害是最严重的。根据国家统计局最新统计的我国道路交通事故情况统计, 如表 1 所示, 在 2006-2016 年间, 交通事故造成的死亡人数超过 60 万, 受伤人数超过 290 万, 直接财产损失超过 100 亿。

通讯作者: 尹志勇, 教授, 中国汽车工程研究院股份有限公司

交通事故发生时碰撞时间极短，依照传统的交通事故深度调查方法在没有清晰的现场视频、行车记录仪等作为支撑情况下很难获得准确的事发时数据，如碰撞速度、事发时速度变化等情况^{[2][3]}。目前，采用传统的方法很难精确判断交通事故重要信息，但事故的数据记录仪（EDR）可以解决这个难题。

表 1 2006 -2016 年我国道路交通事故统计

年份	事故发生次数 (次)	事故死亡人数 (人)	事故受伤人数 (人)	事故直接财产损失 (万 元)
2006	378781	89455	431139	148956
2007	327209	81649	380442	119878
2008	265204	73484	304919	100972
2009	238251	67759	275125	91437
2010	219521	65225	254075	92634
2011	210812	62387	237421	107873
2012	204196	59997	224327	117490
2013	198394	58539	213724	103897
2014	196812	58523	211882	107543
2015	187781	58022	199880	103692
2016	212846	63093	226430	120759

2 交通事故重建

道路交通事故的发生大都是在一瞬间完成的，且在事发后是不可逆的，因此，需要通过事故重建技术进行事故还原。事故重建技术包括事故现场及过程的重建，以及人体损伤的重建。此过程需要从事故发生后找到线索，但许多细节无从知晓，极易造成对结果的错误判断，对交通事故的处理造成许多困难，长期以来，这个问题困扰着世界各国。在交通事故模拟中用到计算机三维图形模型的地方越来越多^{[4][5]}。目前，国外已经有比较成熟的交通事故辅助软件，如 PC-CRASH、MADYMO 等^{[6][7]}。而本次重建则是将 EDR 中读取的数据作为仿真模型的边界条件输入，利用有限元仿真技术，并结合人体生物力学模型对真实交通事故案例进行重建，提取驾驶员头部和胸腹部的损伤参数，对驾驶员的损伤风险进行分析及预测。

3 汽车 EDR

EDR，俗称事故数据记录仪，国外汽车厂家借鉴飞机“黑匣子”原理，在车辆上安装了类似的记录车辆事故记录装置，以便在事故发生时记录与车辆有关的数据^[8]。美国国家公路交通安全管理局（NHTSA）在 2006 年颁布关于 EDR 相关标准，即 49CFR Part 563^[9]。直至 2013 年，美国超过 95% 的车辆已配备 EDR^[10]。国内虽未发布有关 EDR 标准，但获取 EDR 数据方式仍可利用博士公司的碰撞数据再现系统 CDR（Crash Data Retrieval）。

3.1 EDR 数据特征分析

在不同的交通事故类型中，EDR 数据会呈现不同的结果^{[11][14]}，特别是针对于碰撞后的速度变化 ΔV （以下简称 ΔV ）数据（其方向根据 CDR 定义方向为主）。因 ΔV 数据是通过安装在车辆保险杠或者 B、C 柱上的加速度传感器在碰撞中记录的加速度曲线积分获得，因此透过曲线能充分反映碰撞过程中的车辆在纵向和侧向的受力情况^[15]。

通过重庆市八益鉴定中心平台收集到 2014-2017 年间发生在全国共计 34 起交通事故并能准确提取到 EDR 相关信息的案例进行分析。通过整理分析可知，涉及案例包括车撞行人 11 起，侧面碰撞 2 起，正面碰撞 19 起，尾随相撞 2 起，如图 1。

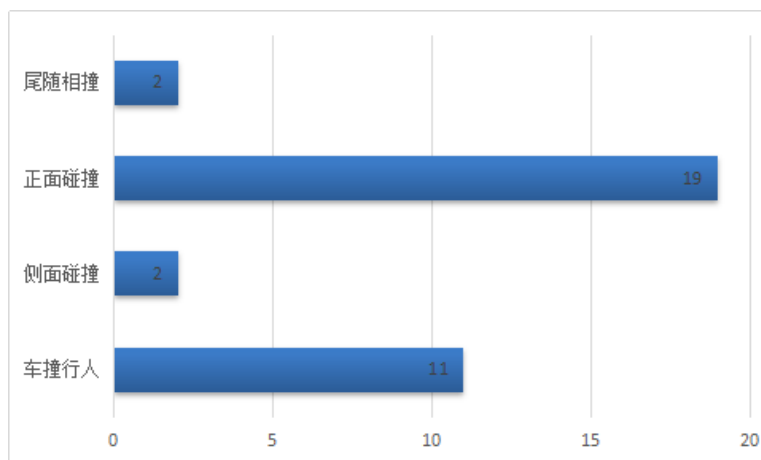


图1 案例类型统计图

根据碰撞类型统计结果进行分类，对不同碰撞类型的 EDR 中速度变化 ΔV 的最大值进行统计，并对统计结果进行特征分析，如图 2。

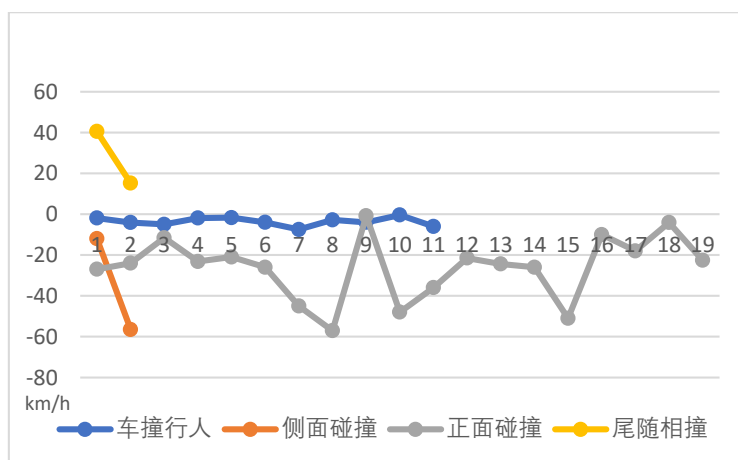


图2 速度变化 ΔV 最大值数据图

因此通过结果分析，34 例包含 EDR 数据的交通事故中，正面碰撞的事故案例数量较多，达 19 例，其中最大纵向 ΔV 为-57.1km/h，最小为-0.8km/h，整体数据集中在 0km/h-60km/h，数据变化范围较大；侧面碰撞的事故案例数量较少，仅 2 例，其中最大侧向 ΔV 为-56.5km/h，最小为-12km/h，数据变化范围较大，尾随相撞的事故案例数量较少，仅 2 例，其中最大纵向 ΔV 为 40.5km/h，最小为 15.2km/h，数据变化范围较大；车撞行人的事故案例数量有 11 例，其中最大 ΔV 为-7.5km/h，最小为-0.4km/h，数据变化范围较小。因此若提高数据统计量可得到不同碰撞形态下的 ΔV 最大值区间，若进一步研究也可根据其特征进行事故类型预判。

4 事故重建仿真模型的建立与分析

4.1 事故案例介绍

4.1.1 案例描述

2013 年 11 月 30 日，陈某驾驶小型轿车由某区新城往老城方向行驶至莲花大桥时，因操作不当，与莲花大桥护栏发生碰撞，造成车体受损，车上驾驶员受伤的交通事故。

4.1.2 事故现场情况

事发路段为莲花大桥分叉路口位置，路面性质为干燥沥青路面，车道为单向双车道。事发后小型轿车停止于分岔路口水泥墩护栏位置，车头受损严重，水泥墩护栏无较大损坏；地面散落物集中在小型轿车车头附近，如图 3。



图 3 事故现场情况

4.1.3 事故车辆痕迹

轿车车头受撞击向内挤压变形，车头左侧变形深度稍大于右侧，车头平均变形深度为 0.77m，左右前大灯组合脱落，前翼子板变形，前保险杠变形，其外部保险杠蒙皮脱落，发动机舱向内叠缩变形，但挡风玻璃未见破裂，如图 4。



图 4 事故车辆情况

4.1.4 驾驶员伤情

根据伤者伤情报告可知，伤者损伤主要集中在头部及胸腹部位置，面部皮肤擦伤（伤口已结痂），左侧颌面部软组织肿胀并斑点状高密度影；颅骨无骨折现象，左侧第 1、2、4、5 肋骨骨折，如图 5。

4.2.1 事故重建仿真模型的建立

根据采集的数据，利用人体生物力学模型，采用有限元仿真技术进行事故碰撞模型的建立，如图 8。

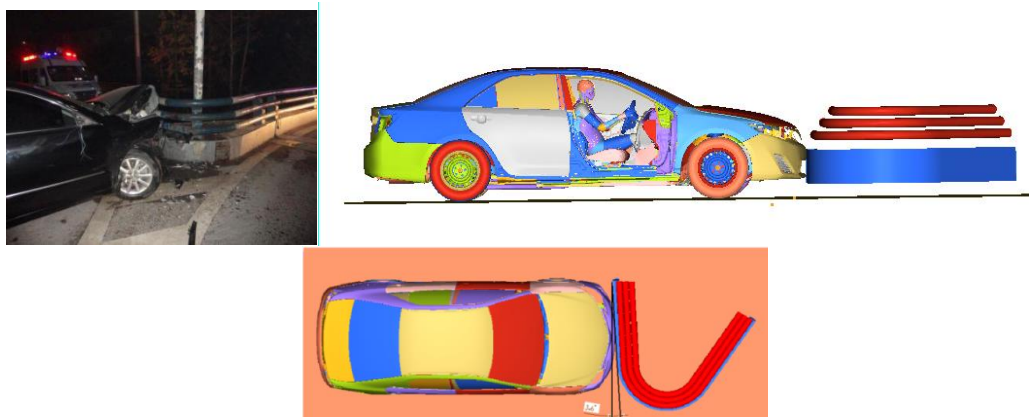


图 8 有限元仿真模型

4.2.2 车身变形验证分析

根据仿真模型效果图可见，碰撞结束后前保险杠凹陷，发动机罩叠缩变形，如图，将仿真模型效果图（图 9）与真实交通事故现场车辆变形图（图 10）进行对比，结果显示仿真模型变形效果与实际事故现场车辆变形基本一致。

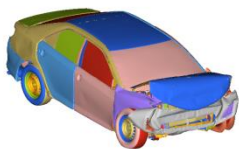


图 9 仿真中事故车辆变形情况

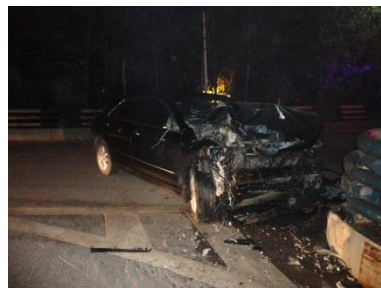


图 10 真实案例车辆变形情况

4.2.3 柱加速度验证分析

因 ΔV 数据是由安装在车辆保险杠或者 B、C 柱上的加速度传感器在碰撞中记录的加速度曲线积分获得。因此，可通过仿真模型中 B 柱的加速度曲线与 EDR 得出的加速度曲线进行对比。

如图 11，为仿真模型中输出的 B 柱的加速度曲线图，其结果显示最大加速度均为 24.3g，与事故案例绘制的加速度对比分析，其误差为 9%，从而进一步证明仿真模型的有效性。

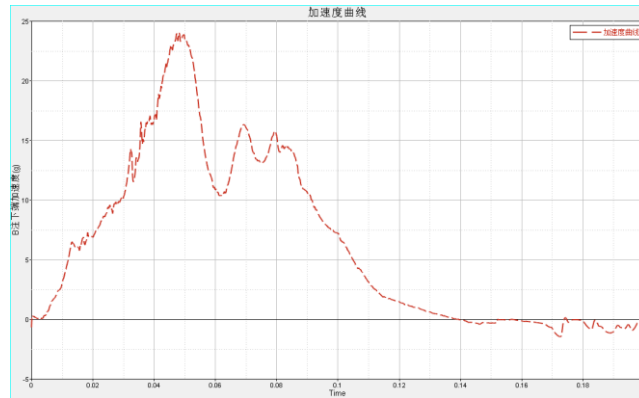


图 11 B 柱加速度曲线

4.2.4 驾驶员损伤分析

为实现驾驶员损伤过程的重现，需将输出驾驶员的动态响应结果进行分析。为了方便分析其动态，将其不关键的部分隐藏，仅显示假人以及与假人发生接触的部分，选取部分假人动态响应图的截取，如图 12 所示。在图 12a（20ms）时，因前 20ms 内车体与障碍物间作用力不大，假人相对车内饰静止；在图 12b（80ms）时，假人头部与安全气囊接触，同时由于汽车开始绕障碍物发生小角度偏转，在此作用力下，假人身体开始倾斜；在图 12c（120ms）时，假人开始反弹，但是因车体与障碍物存在一定的夹角，且在图 12b（80ms）时可见假人开始倾斜，因此，从 120ms 之后的反弹过程中可见假人倾斜程度加大，虽未与车体直接接触，但仍有反弹之后与车体接触致伤的可能。

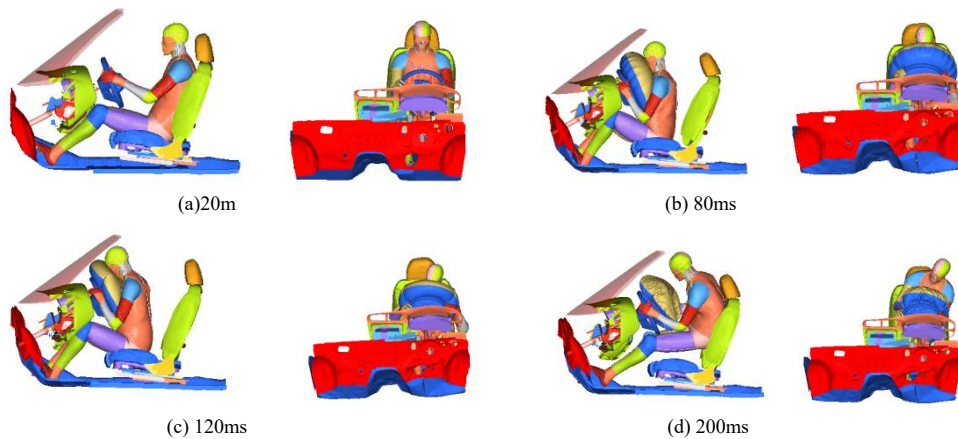


图 12 仿真模型假人动态响应图

根据假人仿真结果显示，如图 13，假人颅骨压力云图显示的最大颅内压值为 196.2Kpa，属中等程度伤害范围，AIS=2，引起的颅内出血，颅脑受损可能性较大，这可能是假人与安全气囊过早接触造成的伤害。同时，颅骨的等效应力为 27.29Mpa，虽有颅骨骨折风险，该应力值无法直接判断颅骨是否骨折，但在实际伤情报告中显示，未出现骨折由此可以推断事故案例中驾驶员头部伤害虽大，但未致头部发生骨折现象。而根据本次事故显示驾驶员在碰撞过程中因该碰撞类型为非完全正面碰撞，车体在碰撞过程中发生转动，驾驶员发生侧倾，同时在回弹过程中侧倾现象加重，若侧倾过程发生头部与左侧车身位置发生碰撞，该现象极有可能造成头部二次重创，致使颅脑损伤加重。

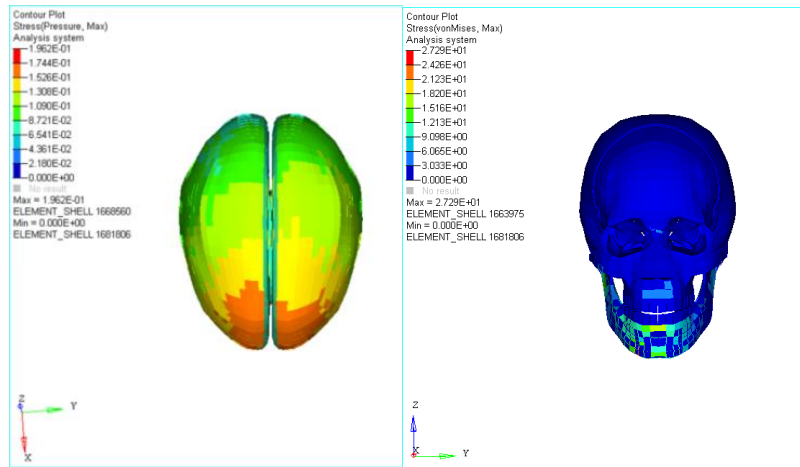


图 13 头部压力云图示意图情况

在肋骨上分别选取三组参考点作为位移量输出点，将其输出的相对位移曲线作为肋骨压缩曲线（如图 14 所示），并根据肋骨压缩曲线的相关数据进行 AIS 等级伤害研究。根据肋骨压缩量曲线可知，胸部肋骨的最大压缩量达到了 56mm，根据胸部损伤风险准则可知，胸部肋骨压缩量大于 55mm 是造成损伤级别为 AIS3 级的概率有 50%，极有可能造成肋骨骨折，死亡率达到了 9.3%，同时根据肋骨压缩曲线可见在 0.14s 时，因假人有回弹运动，致使假人反向作用力达到最大值，而此时极有可能加重假人胸部损伤。图 15 为胸部肋骨应变云图，文献表明，当胸肋骨皮质层的应变值超过 2%-3% 时，就会有骨折的风险，而图中可见肋骨的应变最大值为 14.63%，超出了其能承受的最大应变值，所以极有可能导致驾驶员肋骨骨折。根据如图 16 各胸部内脏应变云图可知，心脏的最大应变为 13.63%，小于其允许的最大应变值，因此虽心脏极有可能造成挫伤，但是并未造成较大的伤害；肺部的最大应变为 28.03%，虽未超过所允许的最大应变值，但与所允许最大值接近，极有可能造成肺部损伤；肝脏和脾脏的应变值均未超过所允许的 30% 范围，因此，肝脏和脾脏均未造成严重的挫伤。从驾驶员响应过程中可见，驾驶员在碰撞过程中虽安全气囊弹出，对驾驶员有一定的保护作用，但未系安全带导致驾驶员提前与气囊接触，安全气囊对驾驶员胸部作用力过大，从而胸部挤变形严重，最终导致胸部四根肋骨骨折，仿真结果与实际结果相符。

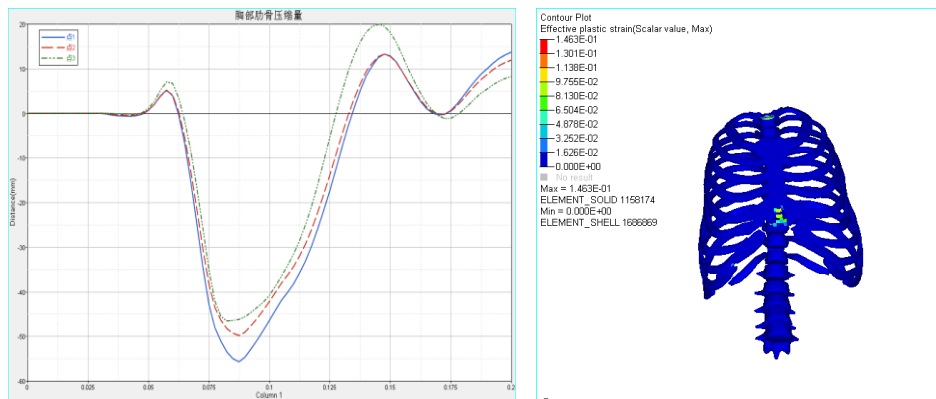


图 14 肋骨压缩量曲线图

图 15 胸部肋骨应变云图

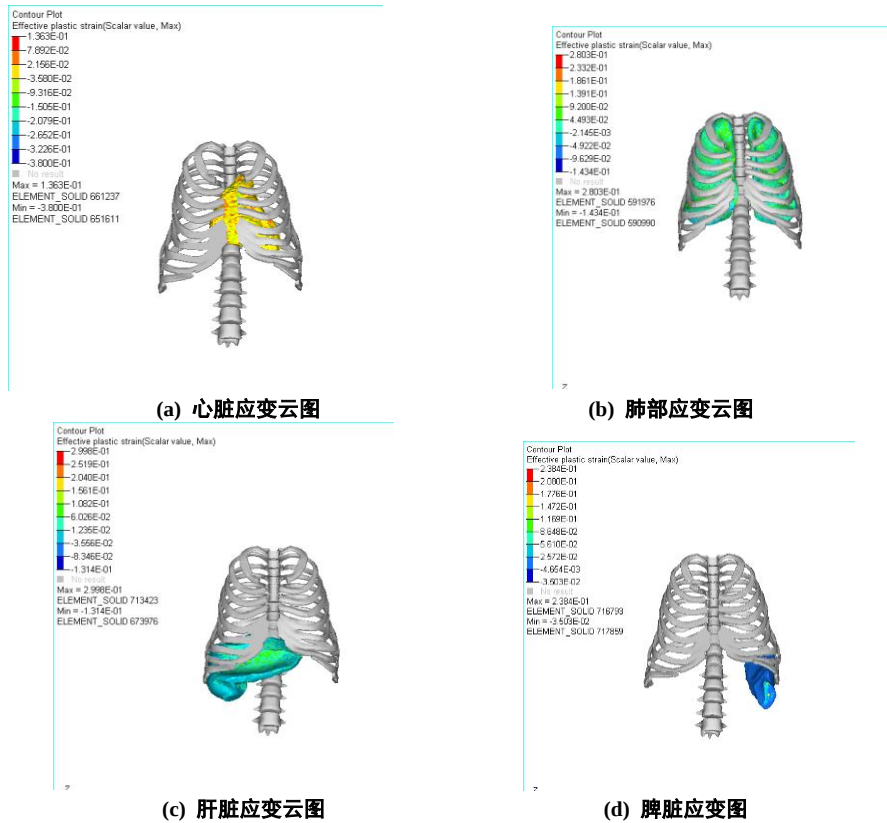


图 16 各胸部内脏应变云图

因此，根据以上仿真结果验证驾驶员的最大颅内压值为 196.2kpa，AIS=2，与实际情况损伤级别 AIS=2 相符；胸部肋骨的最大压缩量达到了 56mm，被造成损伤级别为 AIS3 级的概率有 50%，极有可能造成肋骨骨折，实际情况损伤级别为 AIS3 级，结果与实际情况相符。

4.3 结论

通过上面分析可以看出，其结果显示加速度曲线误差为 9%，车身变形、仿真中人体损伤与实际情况相符，可证明其仿真模型的可靠性，同时证明通过利用 EDR 数据建立的有限元模型进行事故重建研究是可行的，对后期进行事故重建研究以及 EDR 数据结果的可靠性判定是有意义的。

5 总结及建议

本文在有限元分析方法的基础之上，通过 EDR 数据进行事故重建研究。首先根据八益鉴定中心平台收集到的 34 例有关 EDR 的案例统计数据特征化分析，总结出 EDR 数据中 ΔV 在正面碰撞、侧面碰撞、尾随相撞以及车撞行人不同情况下 ΔV 的数据变化范围；然后从 34 例含有 EDR 数据的事故案例中筛选出一个比较经典的案例；最终根据该真实交通事故案例进行建模，通过对车身形变、B 柱加速度曲线以及驾驶员损伤情况三个方面进行仿真模型的验证，结果显示加速度曲线误差为 9%，车身变形、仿真中人体损伤与真实案例相符，因此该研究进一步优化了事故重建的方法，并提高重建事故结果的准确性。

本文基于 EDR 数据并利用有限元仿真技术进行事故重建研究，并取得了一定的成果，但由于研究水平和时间以及案例材料的限制，未进行更多案例仿真分析验证。同时，在本次研究的过程中也存在有许多不足之处和有待解决的问题：

1) 因有关 EDR 数据的案例数量有限，导致对 EDR 数据的特征性分析结果不够精确，在今后的研究中若能持续加入更多的相关案例，通过更多数据的研究可以让结果更准确。

2) 交通事故复杂多样, 涉及的车辆种类繁多, 但因条件限制无法实现对每起交通事故进行重建研究。同时仿真虽能最大程度的还原事故本身, 难免会存在一定的误差, 在后期的研究中通过掌握更多材料和数据, 可尽可能减少误差。

致谢 (Acknowledgement)

特此衷心的感谢所有关心我、爱护我、支持我的指导老师、同事、亲人以及朋友们。

参考文献 (References)

- [1] 公安部交通管理局.2016 年中华人民共和国道路交通事故统计年报[R].2016.
- [2] Kusano K D, Gabler H C. Automated crash notification algorithms: evaluation of in-vehicle principal direction of force(PDOF) estimation algorithms [C] //Proceedings of the Third TRB International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, IN. September. 2011.
- [3] 邱金龙. 汽车 EDR 数据在交通事故重建中的应用[J].交通技术,2017,6 (2) ,64-69.
- [4] 吴正伟. 基于微型面包车事故再现的驾驶员损伤及防护研究[D]. 硕士学位论文. 重庆:重庆理工大学, 2017.
- [5] 黄杰. 基于有限元法的某交通事故再现研究[D].硕士学位论文. 重庆:重庆理工大学, 2016.
- [6] StePhan H, Moser A. The collision and trajectory models of PC-CRASH [J]. SAE PaPer, No.960886, 1996.
- [7] Zhang LY, Yang KH, King AI, Viano. A new biomechanical predictor for mild traumatic brain injury a preliminary finding. Bioengineering Conference, Sonesta Beach Resort in Key Biscayne, Florida, 2003.
- [8] 沈明, 陈玉忠, 兰雁等. 飞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, No.12.
- [9] National Highway Traffic Safety Administration (2006) Final Rule Event Data Recorders, 49 CFR Part 563, Docket No. NIITSA-2006-2S666.
- [10] Kusana,K.D., Sherony, R. and Gabler, H.C.(2013) Methodology for Using Advantaged Event Data Recorders to Reconstruct Vehicle Trajectories for Use in Safety Impact Methodologies(SIM). Traffic Injury Prevention, 14, S77-s86.
- [11] Takubon, Ogar, Katok, et al. Evaluation of event data recorder based on crash tests [J]. Berichte Der Bundesanstalt Fuer Strassenwesen. Unterreihe Fahrzeugtechnik, 2010(12).
- [12] COMEAU J, DALMOTAS J, GERMAN A, et al. Event data recorders in Toyota vehicles [C]. Proceedings of the 21st Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference. Halifax, Nova Scotia. 2011.
- [13] TSOI A, HINCH J, RUTH R, et al. Validation of event data recorders in high severity full-frontal crash tests[J]. SAE International Journal of Transportation Safety, 2013, 1(1): 76-99.
- [14] NIEHOFF P, GABLER H, BROPHY J, et al. Evaluation of event data recorders in full systems crash tests. 19th international technical conference on the enhanced safety of vehicles (ESV) [C]: Washington: National Highway Traffic Safety Administration, 2005.
- [15] 苏森. 基于航拍正射图像与 EDR 数据的交通事故重建研究[D]. 博士学位论文. 重庆:第三军医大学, 2015.