

Research on the Impact of AEB Systems on Pedestrian Injury Based on the Scenario Reconstruction of Typical Human-Vehicle Accidents

Jie CHEN¹, Liangliang SHI¹, Shujuan CUI¹, Jiaxin LIU¹, Tingyi LI¹, Zhengkai SHI²

¹China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd, Chongqing, China

²Chongqing University of Technology, Chongqing, China

Email: 99992471@caeri.com.cn

Abstract: This study provides a reference for pedestrian collision protection and the design of AEB systems in various accident scenarios, supporting the development of integrated active-passive safety assessment protocols. By analyzing 122 real-world pedestrian-vehicle collision cases from the Future Mobile Traffic Accident Scenario (FASS) database, three typical accident scenarios were identified. Using the PC-Crash accident reconstruction method, an AEB model was developed to validate the system's effectiveness and assess its impact on head, chest, and lower limb injuries, as well as the overall weighted injury score. The results indicate that while the AEB system can reduce injuries in pedestrian-vehicle collisions, uncertainties remain concerning injuries from ground contact. Optimal protection occurs when pedestrians was in the scenarios of right-crossing and walking in the same direction, with a FOV of 20°, detection distance of 60m, warning time of 2s, and TTC of 1.2s, where injuries primarily result from ground impact. Conversely, when pedestrians is in the scenario of left-crossing, a FOV of 30°, detection distance of 50m, warning time of 2s, and TTC of 1s yield the lowest injury values and overall weighted score. However, paradoxically.

Keywords: typical accident scenario; automatic emergency braking system; simulation; pedestrian injuries

基于典型人-车事故场景重建的AEB系统对行人损伤影响 研究

陈 杰¹, 石亮亮¹, 崔淑娟¹, 刘佳欣¹, 李亭仪, 史正凯²

¹中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆, 中国, 401122

²重庆理工大学, 重庆, 中国, 400054

Email: 99992471@caeri.com.cn

摘 要: 为对行人碰撞保护及不同事故场景中 AEB 系统设计提供参考依据, 并对行人碰撞保护研究及主被动一体化安全测评规程制定提供数据支撑, 选取未来出行交通事故场景研究 (Future mobile traffic Accident Scenario, FASS) 中 122 例人-车真实事故案例, 通过分析得到 3 类典型人-车事故场景, 采用 PC-Crash 事故重建方法, 构建 AEB 模型并验证 AEB 系统的有效性, 分析不同事故场景中 AEB 系统对行人头部、胸部、下肢的损伤影响及综合加权值的影响。结果表明: AEB 系统能降低人车碰撞造成的损伤, 但人与地面碰撞造成的损伤存在不确定性。在右侧横穿和同向行走场景中, FOV 为 20°、探测距离 60m、预警时间为 2s、TTC 为 1.2s 时, 行人保护效果最佳, 行人损伤主要来源于与地面的碰撞。在左侧横穿场景时, FOV 为 30°、探测距离为 50m、预警时间为 2s、TTC 为 1s 头部、胸部和下肢损伤值和综合加权值最低。

关键词: 典型事故场景; 自动紧急制动系统; 仿真; 行人损伤

1 前言

由于我国复杂多变的道路交通环境,且行人运动轨迹存在随机性,行人事故发生率居高不下。根据国家统计局发布的相关数据,2014-2022 年之间我国行人死亡人数约占交通事故死亡总数的 25%^[1]。行人作为弱势道路使用者,行人安全问题不可忽视。行人自动紧急制动系统(Pedestrian Autonomous Emergency Braking,AEB-P)通过集成在车辆上的传感器识别行人并对安全状况进行判断,当检测到有碰撞危险时,通过向驾驶员发出警告并采取制动措施,从而保护行人避免碰撞或者减轻行人受伤程度。Liers^[2]等研究表明:AEB-P 可以减少 14.3%的重伤人数和 11.1%的死亡人数。AEB-P 作为一种重要的主动安全技术,在行人保护方面具有重大意义,成为国内外学者的研究热点且受到各国评价机构的广泛关注。欧盟新车评价规程(Euro-New Car Assessment Program, Euro-NCAP)、中国新车评价规程(China New Car Assessment Program, C-NCAP)、中国保险汽车安全指数(China Insurance Automotive Safety Index C-IASI)将 AEB-P 测试纳入规程^[3-5]。

由于 AEB 系统测试评价规程的实施,新生产车辆中 AEB 系统装载率升高。据美国国家道路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration,NHTSA)统计表明:在奔驰、沃尔沃、特斯拉等在售车型中配备 AEB 系统的超过 93%^[6]。目前国内外学者主要利用深度事故数据对 AEB 性能评估、AEB 控制策略和仿真测试场景进行研究。Robert Anderson^[7]等对 104 起包含 5 种碰撞类型的深度事故案例进行重建分析,加入不同类型的 AEB 模型,运用速度减少量和伤亡风险概率对 AEB 在不同碰撞类型中的有效性进行评估。Francisco^[8]等对 50 起行人事故进行深度调查与重建分析,从速度减少量和损伤严重概率评估 AEB 系统效能。任立海^[9]以真实发生碰撞事故为依据,采用聚类分析的方法对事故数据进行处理,建立 12 类典型事故行人测试场景。何霞^[10]等人设计基于触发宽度的自动紧急制动系统纵向避撞策略。张道文^[11]对行人 4 种应急姿态下行人与车辆正面碰撞下行人的运动形态和损伤规律进行分析。韩勇^[12]等人利用 PC-Crash 对 20 起 VRUs 深度事故进行重建分析,设计 5 种 AEB 模型,通过事故避免率验证 AEB 模型的有效性并对未避免碰撞的 VRUs 头部损伤进行分析。

综上所述,AEB-P 系统的有效性通过减少事故发生率和人员伤亡率得到验证。但现在仍有大量的 AEB-P 系统在行保工况中无法避免碰撞,且不同 AEB 模型会改变车辆与行人的碰撞机制,导致车辆主被动安全性综合评价技术面临挑战。因此,本文基于 FASS 数据库中的典型人-车事故场景下的人车事故利用 PC-Crash 进行重建分析,建立 AEB 模型并验证 AEB 系统有效性的,研究在不同 AEB 系统作用下行人的损伤规律,为 AEB 系统设计提供参考,并对行人碰撞保护研究及主被动一体化安全测评规程制定提供数据支撑。

2 方法

2.1 典型人-车事故场景提取及特征分析

FASS 是由中国汽车工程研究院股份有限公司于 2020 年牵头成立,并联合重庆市公安局交通管理局、国家市场监督管理总局缺陷产品召回技术中心共同开展交通事故深度调查与研究。FASS 目前在全国 9 个城市开展交通事故深度调查,主要采集涉及汽车且有人员伤亡的交通事故数据。每个案例记录了 3300 多个参数,用于全面描述事故中的人、车、道路及环境等信息。本文基于 FASS 数据库中 122 例乘用车与行人事故案例进行统计分析,得到人-车典型事故场景及其特征,为后文基于典型事故场景下研究 AEB 关键参数对行人损伤影响提供依据。

根据碰撞前车辆与行人的相对运动关系对事故场景进行分类,如图 1 所示,并对这些事故场景的特征进行分析,为后续研究提供数据支撑。

如表 1 所示,左侧横穿、右侧横穿及同向行走的场景占事故总数的 88%,定义为典型人-车事故场景。



Figure 1. Scene category
图 1. 场景分类

Table 1. Typical accident scenarios of human-vehicle collisions
表 1. 人车碰撞典型事故场景

事故场景	所占比例	车速分布(km/h)	行人行走速度(km/h)	事故原因
右侧横穿	43%	16-84	3.6-14.4	76%驾驶员注意力不集中 20%驾驶行为错误 4%视野障碍
左侧横穿	36%	10-90	3.6-21.6	56%驾驶员注意力不集中 39%驾驶员行为错误 5%视野障碍
同向行走	9%	40-91	3.6-5.4	55%驾驶员注意力不集中 45%驾驶员行为错误
反向行走	2%	13-38	3.6-5.4	67%驾驶员注意力不集中 33%驾驶员行为错误
行人与左转车辆	1%	18	3.96	100%驾驶员注意力不集中
行人静止	6%	11-72	0	71%驾驶员注意力不集中 29%驾驶员行为错误
行人与倒车车辆	3%	3-10	0-8.28	100%驾驶员行为错误

有研究表明^[13]，碰撞车速和行人行走速度是影响人车事故碰撞严重程度的关键因素，因此，进一步地对不同人-车事故场景中的车速和行人行走速度进行统计，分别如图 2、图 3 所示。由图可知，行人自车辆行驶方向左侧横穿场景中车速在 0-40km/h 区间的占比为 43.9%，在 40-80km/h 区间的占比为 53.6%，而大于 80km/h 的占比仅为 2.5%；行人速度在 0-10km/h 区间的占比为 80%；行人自车辆行驶方向右侧横穿场景中车速在 0-40km/h 区间的占比为 23.7%，在 40-80km/h 区间的占比为 76.3%；行人速度在 0-10km/h 区间的占比为 53.6%，在 10-20km/h 区间占比为 46.4%；行人在同向行走场景中车速在 40-80km/h 区间的占比为 100%；行人速度在 0-10km/h 区间的占比为 100%。因此，本文基于以上 3 类典型人-车事故场景，在 FASS 数据库中找到对应的事故案例，分析不同 AEB 系统对行人损伤的影响。

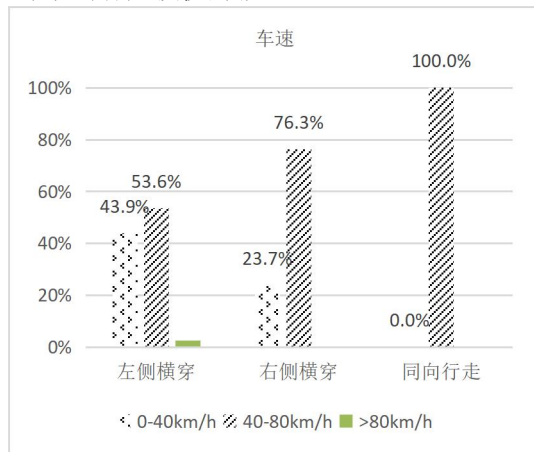


Figure 2. Vehicle speed distribution
图 2. 车速分布

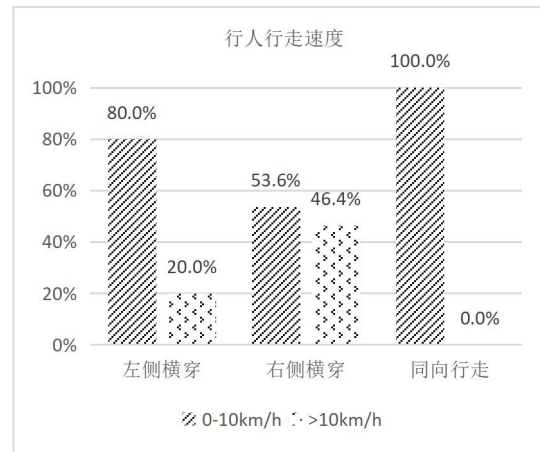


Figure 3. Pedestrian walking speed distribution
图 3. 行人行走速度分布

对 122 例人车事故案例的 747 个行人损伤部位进行统计分析，如图 4 所示，头部、胸部和下肢受伤概率最大。因此，本文选取行人的头部、胸部和下肢作为损伤分析指标。

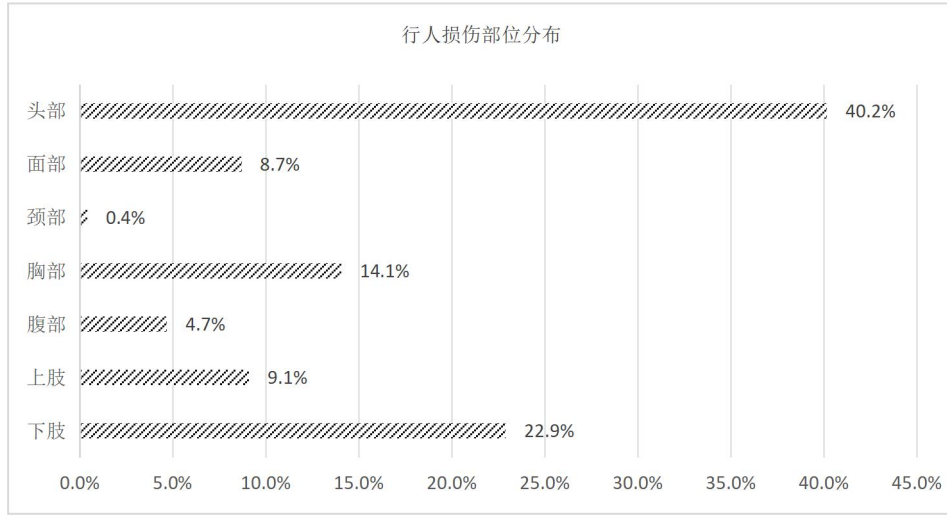


Figure 4. Distribution of pedestrian injury sites
图 4. 行人损伤部位分布

2.2 评价指标

头部损伤程度常通过头部伤害准则 $HIC^{[14]}$ 进行评估，其中 HIC_{15} 更适用于正面碰撞场景，因此本研究采用 HIC_{15} 作为头部损伤的评价指标^[15]。美国联邦国家机动车安全标准 FMVSS208 中采用 3ms 内胸部合成加速度不得超过 60g^[16]。根据欧洲 EEVC (European Enhanced Vehicle-safety Committee) 相关实验表明，当下肢承受的加速度峰值超过 150g 时，有 40% 的风险造成行人下肢发生 AIS2 以上程度损伤^[17]。因不同典型场景中的场景要素不同，单一损伤指标难以准确评价行人综合损伤，本文采用 D.C.Viano^[18] 提出的对胸部加速度峰值、头部 HIC_{15} 值、小腿加速度峰值进行正则化加权处理的伤害指数 (WIC) 值去评价行人的综合损伤。判断各 AEB 系统对行人的保护效果不仅要使最小加权值小于 1，且各损伤评价指标均应在阈值范围内。WIC 计算公式如下：

$$W = 0.6 \left(\frac{HIC_{15}}{1000} \right) + 0.35 \left(\frac{a_{ch}}{60} \right) + \frac{0.05}{2} \left(\frac{a_l}{150} + \frac{a_r}{150} \right) \quad (1)$$

其中： HIC_{15} 为头部 15ms 的 HIC 值； a_{ch} 为胸部加速度峰值； a_l 和 a_r 分别为左、右小腿加速度峰值；限定条件为： $HIC \leq 1000$ ， $a_{ch} \leq 60g$ ， $a_l \leq 60g$ ， $a_r \leq 60g$ 。

2.3 事故深度重建与模型验证

在左侧横穿、右侧横穿和同向行走 3 类典型场景下，分别筛选出 1 例具有能够清晰完整反应事故过程的视频案例，运用 PC-Crash 软件对事故进行深度重建。在 PC-Crash 软件中，根据交通事故力学鉴定教程设置汽车与地面、行人与地面、汽车与行人等各接触面之间的摩擦系数^[19]，再加载人和车辆的预设模型后，修改车辆外形参数、碰撞角度及重心高度等参数信息，调整行人身高、体重、年龄、姿态等关键要素信息。此外，依据视频资料，先对重建结果与视频中车辆和行人运动轨迹验证一致后，再比较实际测量和仿真结果中车辆与行人最终位置误差在 10%^[20] 以内且当仿真动画与视频帧率播放 80% 以上画面可以相对应，则认为该仿真模型和重建结果有效。

通过事故重建得到碰撞时刻的车速和行人速度作为事故碰撞前场景的临界速度，根据视频信息倒推碰撞前 2s 行人和车辆的运动参数及相对位置。验证重建结果与视频中行人与车辆的运动轨迹的一致性。碰撞前 2s 内重

建结果与视频中车辆与行人的运动轨迹对应后，认为该碰撞前场景重建有效。3 类不同人-车典型场景的事故案例运动过程仿真重建与视频对比如图 5 所示。

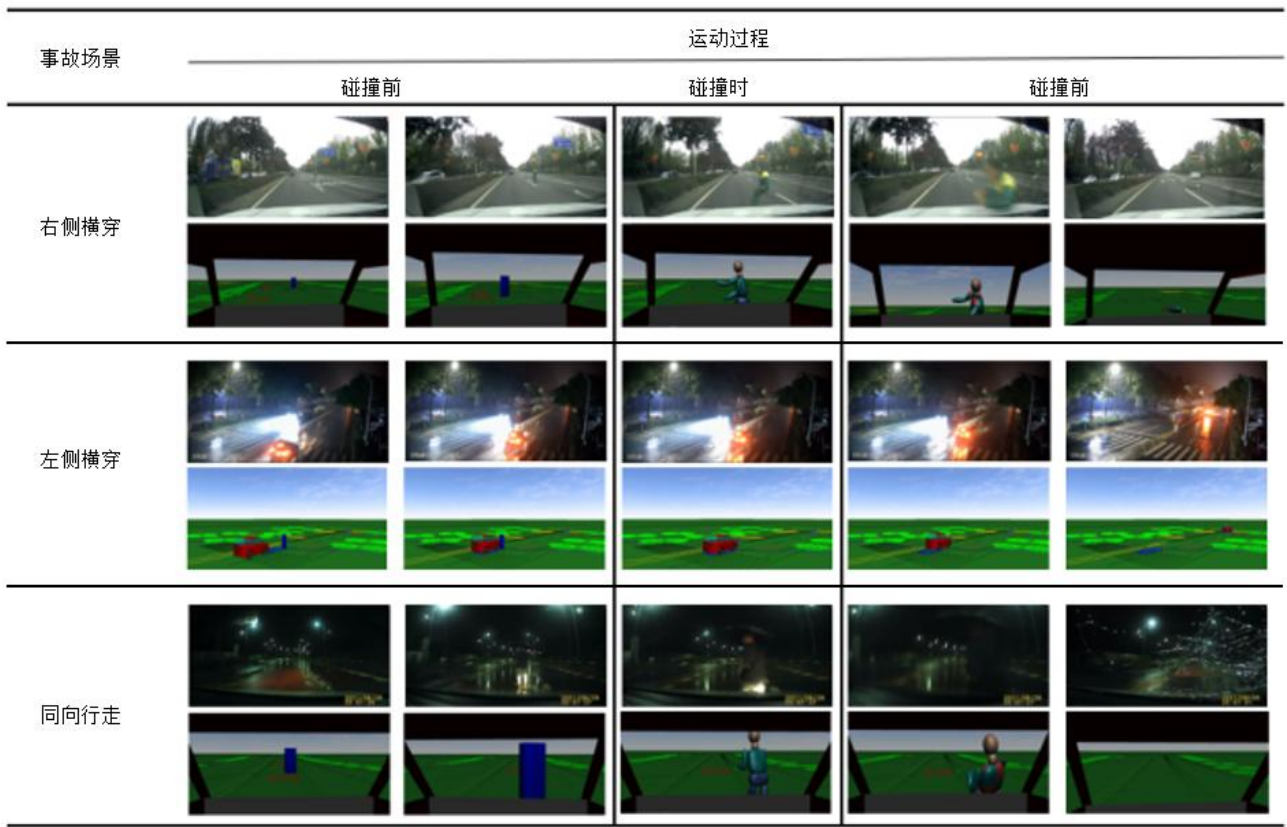


Figure 5. Comparison of accident cases, motion process simulation and reconstruction video and simulation in three typical scenarios of people and vehicles

图 5.3 类不同人车典型场景的事故案例运动过程仿真重建视频与仿真对比

3 仿真实验及结果分析

3.1 仿真实验

在 PC-Crash 中建立碰撞剩余时间 TTC (Time To Collision, TTC) 纵向避撞算法的 AEB 模型，同时设置两级控制系统，第一级为碰撞前的预警时间，第二级为碰撞前的紧急制动时间。通过阅读文献^[21-22]并调研目前市场上常用的 4 种 AEB 系统的关键参数如表 2 所示，并验证其控制算法的有效性。由于行人属于弱势道路使用者，交通事故造成的损伤不可逆性，当发现存在危险时选择紧急制动。考虑路面附着系数实际情况，AEB 制动减速度在干燥路面取 0.8g，湿滑路面取 0.5g。对于添加 AEB 后仍未避免碰撞的试验，分析 AEB 系统对行人的损伤影响。在本文研究中暂不考虑行人应急姿态和人机共驾的情况。

Table 2. Key parameters of the AEB system
表 2. AEB 系统关键参数

工况编号	FOV/(°)	探测距离/m	预警时间/s	TTC/s
系统 1	20	60	2	1.2
系统 2	30	50	2	1
系统 3	40	40	2	0.8
系统 4	80	30	2	0.6

3.2 仿真试验结果分析

3.2.1 右侧横穿场景结果分析

由图 6 可知：加上 AEB 系统后，行人的头部 HIC 值有明显降低，且在系统 1 的参数组合下对行人头部保护效果最优；胸部加速度峰值呈缓慢降低；而在系统 4 中，行人左小腿峰值加速度大于未安装 AEB 系统的情况，是由于碰撞过程行人运动姿态的不确定性引起的；对于行人右小腿峰值加速度，在系统 1、系统 2 和系统 3 中呈缓慢降低，未安装 AEB 系统和系统 4 中明显下降。

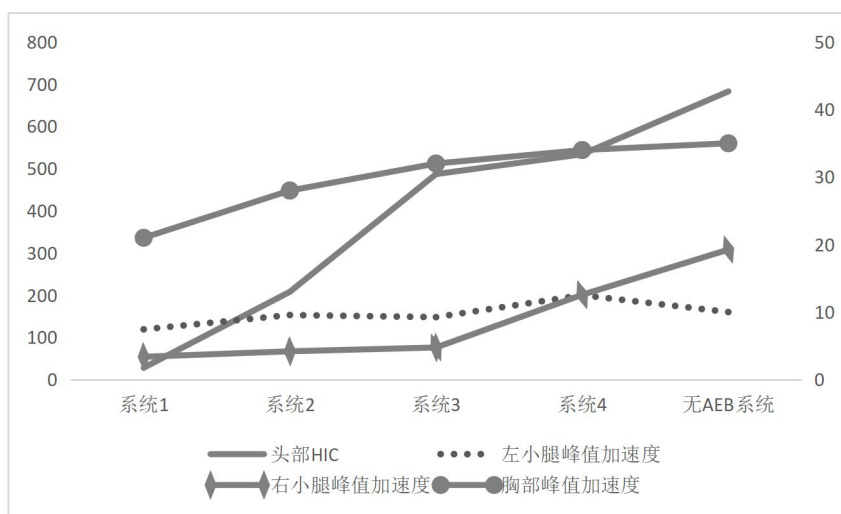


Figure 6. Comparison of human-vehicle collision damage parameters after adding different AEB systems

图 6. 加不同 AEB 系统后人与车碰撞损伤参数对比

由图 7 可知：在系统 1 中人与地面碰撞造成的行人损伤大于人与车辆碰撞造成的行人损伤，是由于安装 AEB 后车速降低，行人的损伤主要来源地面，且由于安装 AEB 系统后，车辆与行人的碰撞机制发生改变，导致行人落地姿态的不确定性，造成人地碰撞中行人头部 HIC、左小腿峰值角速度和右小腿峰值加速度大部分的损伤指标上大于未安装 AEB 系统的情况；相较于头部 HIC、左小腿峰值加速度和右小腿峰值加速度，胸部加速度峰值的变化趋势相对较小。

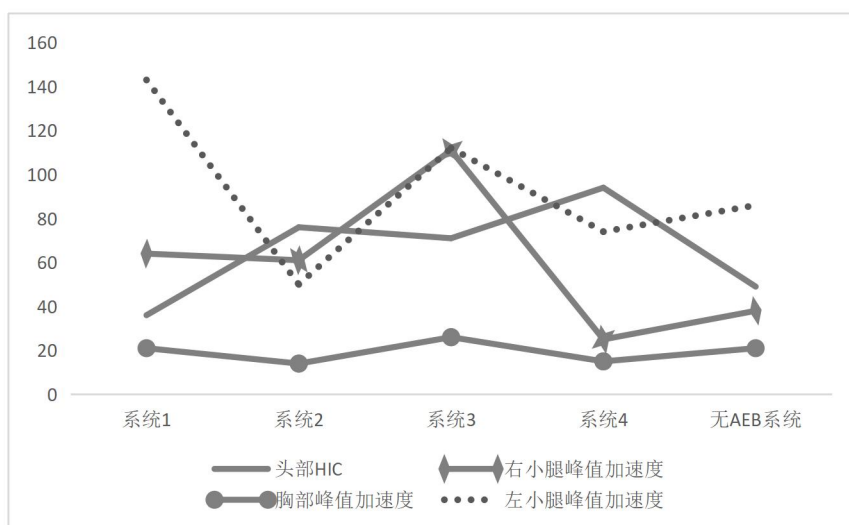


Figure 7. Comparison of man-ground collision damage parameters after adding different AEB systems
图 7. 加不同 AEB 系统后人与地碰撞损伤参数对比

3.2.2 左侧横穿场景结果分析

由图 8 可知：在左侧横穿场景中，当 AEB 系统介入时，行人的头部 HIC 值相较于未安装 AEB 系统时更高，这主要是因为事故场景中的车速较快，且驾驶员在碰撞前有采取制动避让的动作；而行人右小腿峰值加速度却低于未安装 AEB 系统的情况，这表明在此类场景下，AEB 系统对行人的右小腿具有一定的保护作用；在安装了 AEB 系统后，行人的胸部加速度峰值呈现出缓慢下降的趋势；但行人的左小腿峰值加速度在安装 AEB 系统后反而有所增加，这主要是由于行人的左小腿与车辆的接触位置发生了变化。

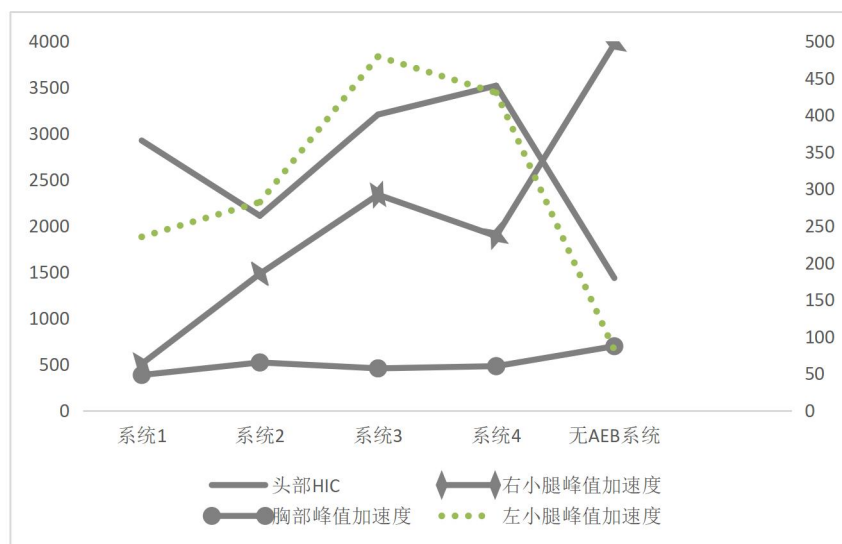


Figure 8. Comparison of human-vehicle collision damage parameters after adding different AEB systems
图 8. 加不同 AEB 系统后人与车碰撞损伤参数对比

由图 9 可知：在 AEB 系统的作用下，系统 3 中的人与地碰撞导致的行人头部 HIC 值右小腿峰值加速度相较于未安装 AEB 系统时都有所增加，这主要是由于 AEB 系统的介入使得行人在落地时的姿态变得不确定。

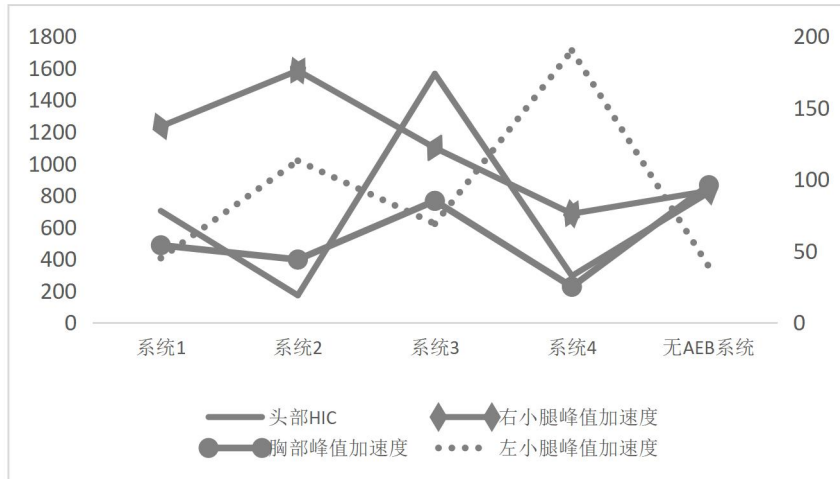


Figure 9. Comparison of man-ground collision damage parameters after adding different AEB systems
图 9. 加不同 AEB 系统后人与地碰撞损伤参数对比

3.2.3 同向行走场景结果分析

由图 10 可知：在加入自动紧急制动系统（AEB）后，人车碰撞事故中行人的各项安全评价指标相较于未安装 AEB 时均有显著降低。特别是在采用系统 1 的参数配置时，对行人的保护效果达到了最优水平。同时，安装 AEB 系统后，行人的胸部加速度峰值呈现出了缓慢下降的趋势。

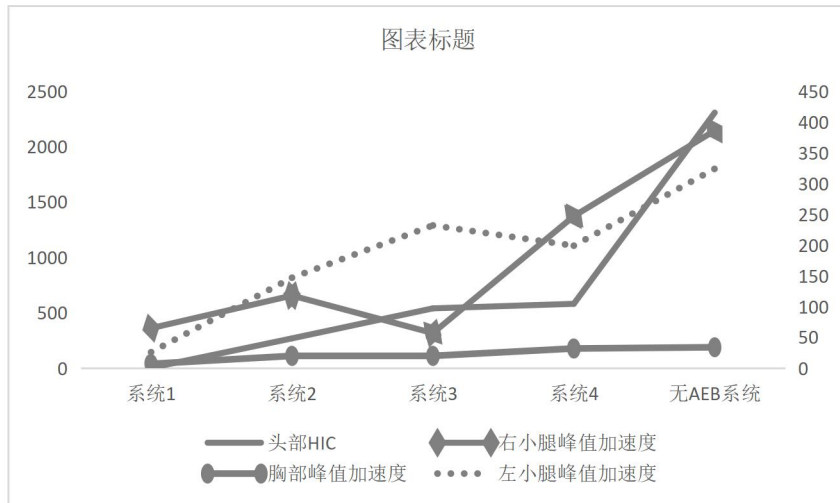


Figure 10. Comparison of human-vehicle collision damage parameters after adding different AEB systems
图 10. 加不同 AEB 系统后人与车碰撞损伤参数对比

由图 11 可知：在系统 4 中，当安装 AEB 系统后，人与地碰撞过程中行人的头部 HIC 值和右下肢的峰值加速度相较于未安装 AEB 时有所增加。这主要是由于行人落地姿态的不确定性所导致的。

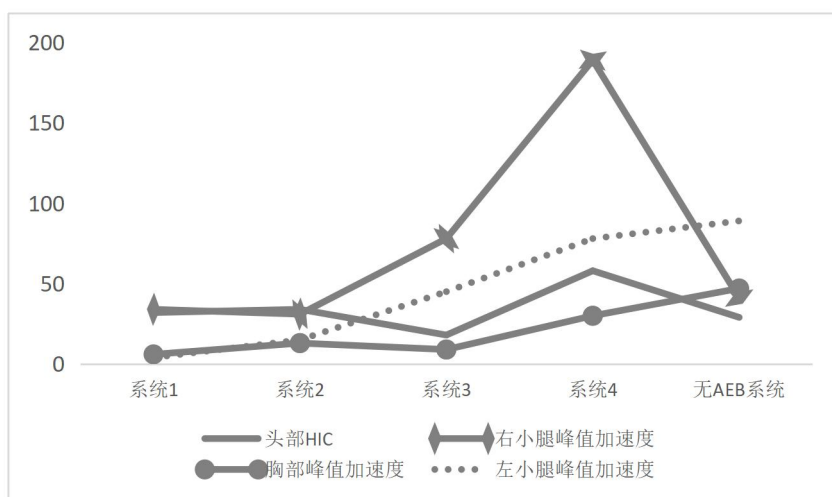


Figure 11. Comparison of man-ground collision damage parameters after adding different AEB systems
图 11. 加不同 AEB 系统后人与地碰撞损伤参数对比

3.2.4 行人不同场景中碰撞综合加权值

由图 12 可知：在右侧横穿场景和同向行走场景 2 类中，当 AEB 系统的探测角度为 20°、探测距离为 60m、预警时间为 2S，制动时间为 1.2s 时对行人保护效果最显著，与未安装 AEB 的情况相比，行人的综合加权值分别下降了 73.9%和 95.7%。；然而，在左侧横穿场景中，虽然当 AEB 系统的探测角度为 30°、探测距离为 50m、预警时间为 2s、制动时间为 1s 时对行人的保护效果相对较好，但高于无 AEB 的情况，是此场景中驾驶员在碰撞前 1.25s 采取避让措施。此外，在同向行走场景中添加 AEB 系统对行人的保护效果达到了最佳。

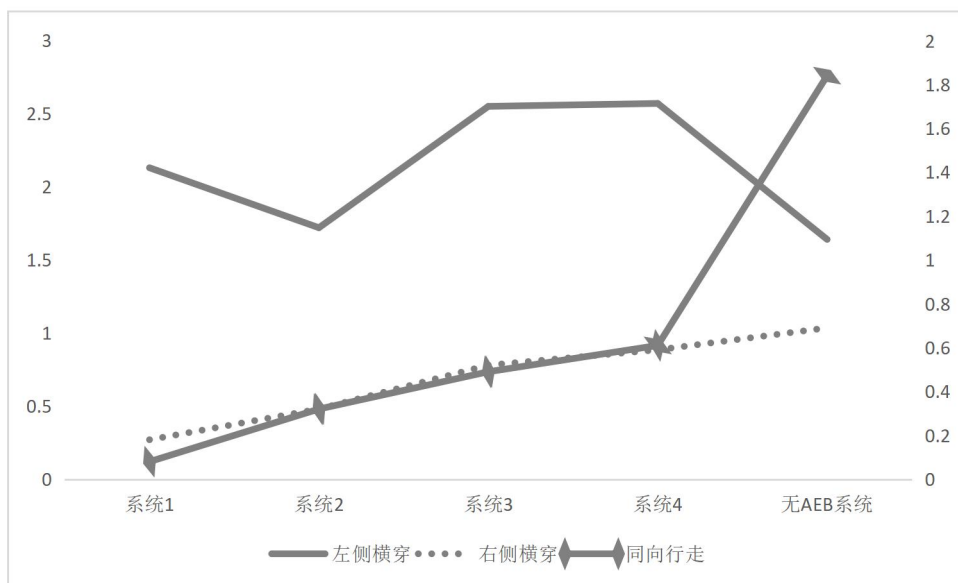


Figure 12. Weighted value analysis of the pedestrian protection effect of AEB system in different scenarios
图 12. 不同场景下 AEB 系统对行人保护效果的加权值分析

4 结论

本文以 FASS 数据库中 122 例真实人-车事故案例进行统计分析得到 3 类典型人-车事故场景,利用 PC-Crash 仿真软件对 3 类典型人-车事故场景中 AEB 系统的有效性及行人损伤规律进行了研究,结果表明:

1) 安装 AEB 系统后,能显著提升右侧横穿和同向行走场景下对行人的保护效果,且在系统 1 的 AEB 参数设置对行人保护效果最好。

2) 在对比分析了 3 类典型的人车事故场景后,发现无论是安装 AEB 系统或者未安装该系统,人与车辆发生碰撞时所导致的胸部损伤程度并未出现显著的变化趋势。

3) 在左侧横穿场景中,安装 AEB 系统后行人的损伤反而比未安装时更为严重,这是由于车辆 AEB 系统预期功能安全设计不足导致。因此,我们需要对 AEB 系统的设计参数进行优化并考虑人机共驾的影响因素,或者考虑增设如弹起式发动机盖、行人安全气囊等额外保护措施,以确保行人的安全。

4) 安装 AEB 系统后,行人与地面碰撞所导致的损伤呈现出显著的差异性,这一现象主要是由于碰撞机制发生改变,行人落地时姿态的高度不确定性导致。

参考文献 (References)

- [1] National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook 2023[M].China Press,2023.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 2023[M].中国出版社, 2023.
- [3] Liers H ,Hannawald L . Benefit estimation of secondary safety measures in real-world pedestrian accidents[C]// 22nd Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV). 2011.
- [4] European New Car Assessment Programme Test Protocol AEB VRU Systems[OL]. <https://www.euroncap.com/media/53153/euro-ncap-aeb-vru-test-protocol-v302.pdf>.
- [5] China Automotive Technology and Research Center (CATARC).China New Car Evaluation Regulations[S/OL].<http://www.c-ncap.org.cn/cms/picture/357380003076288512.pdf>.
- [6] 中国汽车技术研究中心 (CATARC) .中国新车评价规程[S/OL]. <http://www.c-ncap.org.cn/cms/picture/357380003076288512.pdf>.
- [7] China Automotive Engineering Research Institute (CAERI).China Auto Insurance Safety Index[S/OL].<https://ciasi.org.cn/upload/files/bb73b4acc3554d4821ab1d23810c14cd.pdf>.
- [8] 中国汽车工程研究院 (CAERI) .中国汽车保险安全指数[S/OL]. <https://ciasi.org.cn/upload/files/bb73b4acc3554d4821ab1d23810c14cd.pdf>.
- [9] National Highway Traffic Safety Administration. 10 automakers equipped most of their 2018 vehicles with automatic emergency braking [S/OL]. NHTSA, Washington, DC. (2019-05-13). <https://www.nhtsa.gov/press-releases/10-automakers-equipped-most-their-2018-vehicles-automatic-emergency-braking>.
- [10] Anderson R , Doecke S , Mackenzie J , et al. Potential benefits of autonomous emergency braking based on in-depth crash reconstruction and simulation. 2013.
- [11] Francisco Javier Páez, Crespo A F, Romero A B . Benefits Assessment of Autonomous Emergency Braking Pedestrian Systems Based on Real World Accidents Reconstruction[C]// 24 International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. 2015.
- [12] Ren Lihai, Xia Huan, Jiang Chengyue, et al. Construction of Autonomous Emergency Braking System Test Scenarios Based on Traffic Accident Data[J].Science Technology and Engineering,2022,22(24):10737-10747.)
- [13] 任立海,夏环,蒋成约,等.基于交通事故数据的自动紧急制动系统测试场景构建[J].科学技术与工程,2022,22(24):10737-10747.
- [14] HE Xia, ZHANG Daowen, CHE Yaoqi, et al. Optimization of AEB trigger width based on pedestrian crossing scenario[J]. China Safety Science Journal, 2020.
- [15] 何霞, 张道文, 车瑶砾,等. 基于行人横穿场景的 AEB 触发宽度优化研究[J]. 中国安全科学学报, 2020.
- [16] ZHANG Daowen, LIU Qi, QIU Jianbin, et al. Influence of pedestrian's emergency posture on pedestrian injury in vehicle - pedestrian collision[J].Journal of Automotive Safety and Energy Conservation,2021,12(04):456-466.)
- [17] 张道文,刘奇,邱健斌,等.人车碰撞中行人的应急姿态对行人的损伤影响[J].汽车安全与节能学报,2021,12(04):456-466.
- [18] Han Y, Li Yongqiang, Xu Yonghong, et al. Effectiveness of AEB system for head injury risk based on VRUs in-depth accident reconstruction[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2021, 12(4):9.
- [19] 韩勇, 李永强, 许永虹,等. 基于 VRUs 深度事故重建的 AEB 效能对头部损伤风险的影响[J]. 汽车安全与节能学报, 2021, 12(4):9.
- [20] LI Dan, LI Pingfei, LIAO Wenjun, et al. Influence of pedestrian movement on pedestrian injury in vehicle-pedestrian collision [J] . Science Technology and Engineering, 2019, 19(20) : 383-388
- [21] 李丹,李平飞,廖文俊,等.行人运动状态对人车碰撞事故中行人损伤的影响[J].科学技术与工程,2019,19(20):383-388.

- [22] Zhang Yin, Wang Zhonghua, Yang Weifang. Measurement Uncertainty Evaluation of Head Injury Criterion HIC Value on Vehicle Crash Test[C]//China Society of Automotive Engineers.2022
- [23] 张寅,王中华,杨伟芳.碰撞试验中头部损伤指标 HIC 值不确定度评估[C]//中国汽车工程学会.2022
- [24] Hu Jingguo, Zhu Xiaoyong, Ding Ranran, et al. Study on the Difference Between Head Injury Criteria HIC36 and HIC15 of Crash Dummy[J]. Auto Parts, 2022(000-006).
- [25] 胡经国, 朱晓勇, 丁冉冉,等. 碰撞假人头部性能指标 HIC36 及 HIC15 的区别研究[J]. 汽车零部件, 2022(000-006).
- [26] FMVSS Standard No.208, Occupant Crash Protection[S],2002.
- [27] Niebuhr T, Junge M, Achmus S. Pedestrian injury risk functions based on contour lines of equal injury severity using real world pedestrian/passenger-car accident data[J]. Annals of advances in automotive medicine, 2013, 57:145-154.
- [28] Viano D C , Arepally S . Assessing the Safety Performance of Occupant Restraint Systems[C]// Stapp Car Crash Conference. 1990.
- [29] WANG Xiaoqing. Analysis of the key points of the identification of several traces of traffic accidents[J]. Modern Transportation and Road and Bridge Construction, 2023, 2(10): 107-109.
- [30] 王晓庆. 交通事故几种痕迹鉴定的要点分析[J]. 现代交通与路桥建设, 2023, 2(10): 107-109.
- [31] Nie J , Yang J . A study of bicyclist kinematics and injuries based on reconstruction of passenger car-bicycle accident in China[J]. Accident Analysis & Prevention, 2014, 71(oct.):50-59.
- [32] ZHANG Zhen. Research on Autonomous Emergency Braking Technology in Complex Scenarios for Vulnerable Road Users[D]. Chongqing University, 2022.
- [33] 张震. 复杂场景下面向弱势道路使用者的自动紧急制动技术研究[D]. 重庆大学, 2022.
- [34] Yao Yucheng,Zhu Lin. Research on Key Parameters of AEB System Based on Pedestrian Crossing Accidents [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2022, 60 (09): 78-82.
- [35] 姚禹城,祝琳. 基于行人横穿事故的 AEB 系统关键参数研究 [J]. 农业装备与车辆工程, 2022, 60 (09): 78-82.