

基于行人小腿碰撞保护的乘用车前端设计

方锐, 谢书港, 曾必强

中国汽车技术研究中心, 天津 300162

摘要 结合某自主品牌微型车开发项目, 研究了乘用车的行人小腿碰撞保护优化设计。根据试验数据及工程开发经验, 分析了行人小腿碰撞保护的影响因素, 建立了有限元仿真分析模型, 通过模拟计算, 对该微型车前端的造型、相关部件结构进行了行人小腿碰撞保护优化改进设计。计算结果表明, 改进后微型车的行人小腿碰撞保护性能显著提高, 小腿胫骨加速度降低 34%, 膝部最大动态剪切位移降低 57%, 膝部最大动态弯曲角度降低 67%, 小腿碰撞保护的 3 项考核指标远低于国家标准限值, 且满足 Euro NCAP 小腿保护高性能指标要求。

关键词 乘用车; 行人小腿碰撞保护; 优化设计

中图分类号 U463.02

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.h2.009

The Vehicle Front Design Based on Pedestrian Lower Leg Protection

FANG Rui, XIE Shugang, ZENG Biqiang

China Automobile Technology and Research Center, Tianjin, 300162

Abstract The pedestrian lower leg protection is an important issue in a vehicle design. Compared with the vehicle collision, the pedestrian protection collision energy is smaller, and the geometrical characteristics of the lower leg of the pedestrian will have great influence on the collision result. In this paper, the factors affecting the lower leg protection are analyzed, a design is proposed and validated with an example, in a test-correlated lower leg impact simulation. Calculation and analysis results show that by fine-tuning vehicle's shape and the structure design a good pedestrian leg protection design can be realized.

Keywords vehicle; pedestrian lower legform impact; optimization design

0 引言

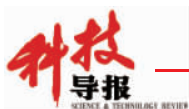
汽车交通事故数据研究表明, 人-车碰撞事故中, 头部和下肢是行人最容易受伤害的部位。头部碰撞伤害一般可能直接导致被撞人员死亡, 而下肢膝盖的伤害可能导致被撞人员长期的残疾^[1,2]。Euro NCAP(欧洲新车评价组织)自 1997 年开始进行行人保护测试, 经过多年的发展, 行人保护技术取得了很大的进步。根据近年 Euro NCAP 官方发布的结果, 在行人保护测试项目中, 小腿碰撞保护的得分较高, 且不少车型的小腿碰撞保护得了满分。这一方面是因为汽车小腿保护的设计空间相对较多, 通过合理的规划设计, 一般能够使汽车的小腿碰撞保护获得较好的评价。另一方面, 2009 版 Euro NCAP 测试项目规定, 2012 年之后 Euro NCAP 5 星安全评价中, 行人保护单项得分必须不低于 60%。针对特定车型,

由于造型等的限制, 头部保护和大腿保护设计都存在较难克服的困难^[3], 因而小腿保护设计对是否能获得 Euro NCAP 5 星安全评价很关键。

中国在行人保护研究方面起步较晚, 过去因没有相关的强制性法规, 行人保护一直未引起足够的重视。2010 年 7 月 1 日, 推荐性国家标准 GB/T24550—2009《汽车对行人的碰撞保护》开始实施, 提出了对行人头部和腿部的保护要求。然而目前很多车型的小腿保护尚不能满足国家标准的要求, 尤其是小型车^[4]。随着行业技术的进步, 中国的 C-NCAP(中国新车评价组织)也将考虑逐渐引入行人保护测试项目。本文根据多年的工程开发经验和大量试验数据, 以及对国内外车型的分析总结, 结合某微型车开发项目, 研究乘用车的行人保护优化设计。

收稿日期: 2013-04-02; 修回日期: 2013-08-25

作者简介: 方锐, 工程师, 研究方向为汽车被动安全技术, 电子邮箱: fangrui@catarc.ac.cn



1 行人小腿碰撞保护影响因素分析

根据人体伤害机理的研究,乘用车与行人侧向碰撞过程中,由于侧向力和轴向扭转载荷的综合作用,会导致被撞人下肢的多重伤害,其中最主要的伤害模式是,由于撞击力较大造成被撞人的胫骨骨折,以及膝部过度弯曲、横向错位而使韧带损伤或撕裂。因此,行人保护法规规定,小腿碰撞试验主要考核3项指标,即小腿胫骨加速度、膝部最大动态弯曲角度和膝部最大动态剪切位移。现行的“打点式”行人小腿碰撞试验过程如图1所示。

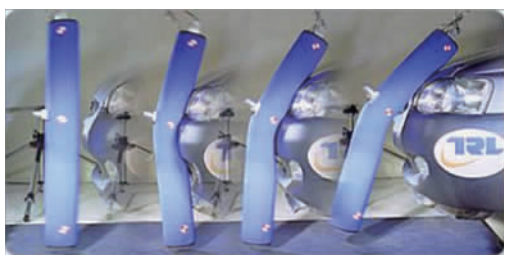


图1 小腿碰撞试验过程

Fig. 1 Lower leg crash test process

汽车的行人小腿保护设计,一方面需考虑通过缓冲设计,延长碰撞作用时间,减小行人小腿撞击到车辆瞬间的冲击力,降低碰撞加速度;另一方面需优化汽车对行人小腿支撑点的设计,防止膝部的过度弯曲和错位。根据大量的试验数据分析,并结合工程开发经验以及国内外相关资料^[4-9],要使汽车的行人小腿碰撞保护获得较好性能,应综合考虑汽车的造型设计和结构刚度设计等方面的因素。

(1) 设计圆滑的保险杠蒙皮外型,以减小碰撞测试区域,降低碰撞风险。如图2所示,黑色轮廓线是早期车型的外形轮廓,典型车型如图3所示的老款捷达,前脸造型棱角分明,根据法规规定的小腿碰撞区在 L 内,范围较宽。红色轮廓线是现今一般新车型的外形轮廓,典型车型如图4所示的2010款Toyota Verso,前脸造型圆润,小腿碰撞区缩小至 L' 。由图4可以看出,圆滑的保险杠蒙皮造型,可以减小碰撞测试区域,降低设计难度。

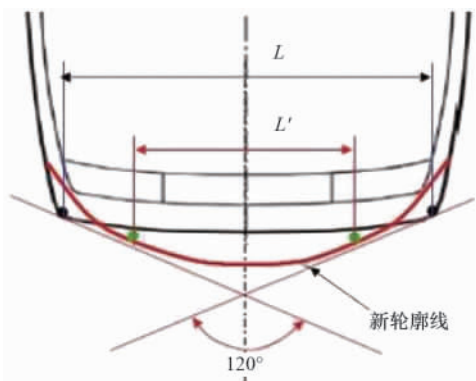


图2 小腿碰撞区改进

Fig. 2 Lower leg crash area improvement



图3 老款捷达
Fig. 3 Old Jetta



图4 2010款 Toyota Verso
Fig. 4 Toyota Verso (2010)

需要注意的是,Euro NCAP 测试项目自V5.1版更新了小腿撞击点选取的范围,设计时还应注意保险杠角点后方的硬点布置。

(2) 预留足够的变形吸能空间,布置泡沫缓冲结构以降低小腿碰撞加速度,保险杠全部覆盖膝关节以减小膝部剪切位移。考虑行人小腿保护的保险杠区域设计如图5所示,在行人小腿保护设计中,保险杠区域是主要的吸能区域,为防止碰撞过程中小腿胫骨所受撞击力过大而导致碰撞加速度较高,保险杠区域必须保留足够的变形吸能空间,并通过增加泡沫等缓冲结构吸收能量,减速吸能,降低小腿碰撞加速度。另外,保险杠应全部覆盖膝关节,防止在碰撞过程中膝部的过度横向错位而造成较大的剪切位移。

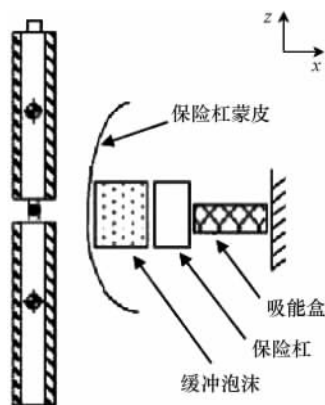


图5 保险杠区域设计示意

Fig. 5 The design of bumper area

(3) 增加副保险杠结构,以支撑小腿,防止小腿过度弯曲。合理布置副保险杠结构,可防止小腿碰撞时过度弯曲,减小膝部弯曲角度。副保险杠作用如图6所示,其中,图6(a)表示无小腿支撑时的情况,当小腿撞击到车辆前端时,胫骨围绕膝部中心向下做较大的翻转运动,导致膝部弯曲角度较大;图6(b)是小腿支撑位于小腿质心上方的情况,副保险杠结构不能很好地支撑小腿,胫骨仍做向下的翻转运动;图6(c)是小腿支撑位于小腿质心下方时,在碰撞过程中,副保险杠结构能很好地支持胫骨,防止其向下方翻转,减小膝部的弯曲角度。乘用车小腿支撑的应用情况如图7所示。

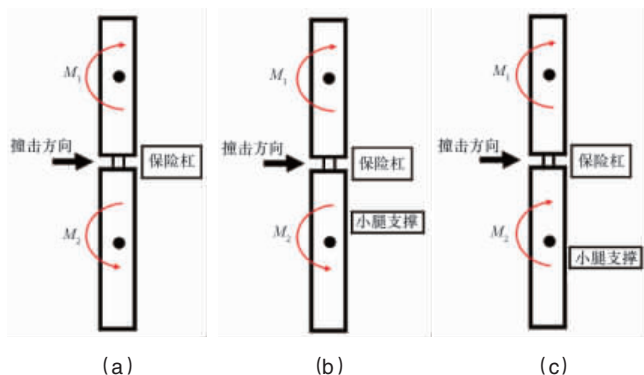


图 6 小腿支撑位置示意

Fig. 6 Design of lower leg support



图 7 小腿支撑示意

Fig. 7 Lower leg support

通过保险杠蒙皮造型设计,发动机罩盖、保险杠、缓冲结构、小腿支撑的合理布置以及刚度匹配,能实现理想的小腿保护性能。小腿保护设计还需考虑低速碰撞要求,并保证汽车的通过性。

2 小腿碰撞分析模型的建立与验证

以某自主品牌微型车的行人保护试验为例,根据试验条件,建立仿真分析模型。因行人小腿碰撞的撞击能量较小,且小腿碰撞的影响区域主要在车辆前端,因此,截取 A 柱前的车身数据建立有限元分析模型,如图 8 所示。该模型中,约束 A 柱及地板截取部位所有节点自由度,小腿模型采用文献 [10]中的小腿有限元模型。

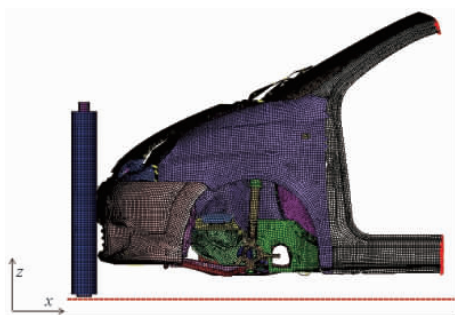


图 8 小腿碰撞仿真分析模型

Fig. 8 Lower leg crash CAE model

由于小腿的碰撞能量较小,细小的结构特征将影响碰撞结果,仿真分析时需对前蒙皮、前大灯、大灯支架、水箱支架、锁扣等部件详细建模。行人小腿碰撞保护仿真模型的网格尺寸为 5~8mm,发动机仓内的发动机、悬架塔等部件网格为 8~12mm。对网格质量要求较高,若网格翘曲过大、三角形/四边形单元角度过大或过小,则有可能导致能量发散,计算结果不可信。因行人碰撞一般不涉及焊点及连接件的失效,在模型中将连接关系采用 RIGID 处理。对于大灯安装支架,可能在撞击中发生失效,故采用弹簧或梁单元,附以失效处理。在该车型试验中,大灯支架为非直接撞击区,未发生实效,因而在本模型中未考虑。对于撞击区域内的前蒙皮、前大灯等非金属件,采用 LS-DYNA 的 24 号材料模拟。

小腿碰撞分析模型建立后,进行运行检查,包括模型中单元质量、零部件之间的连接方式、模型运行错误、警告信息和模型计算能量正确性,以保证模型的准确性和计算结果的正确性。

所建立的仿真模型计算结果与试验结果的对比如图 9 所示,小腿碰撞仿真曲线与试验曲线接近。小腿胫骨最大加速度误差为 10.2%,膝部最大动态剪切位移误差为 5.7%,膝部最大动态弯曲角度误差为 6.8%,说明仿真模型计算结果可信,为该微型车的结构改进分析提供了良好的基础。

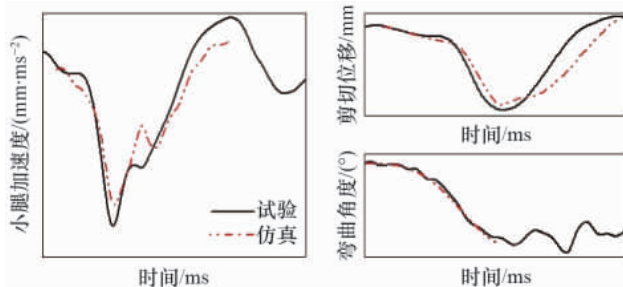


图 9 小腿碰撞仿真与试验结果对比

Fig. 9 Simulation and experimental results of lower leg crash

3 小腿碰撞保护的改进设计

应用建立的仿真分析模型,对上述微型车的前端造型及相关结构进行优化设计,以提升其行人小腿保护性能。

按照国家标准的相关规定,对该微型车进行了摸底试验,结果显示,行人小腿碰撞保护的 3 项指标均不符合国家标准规定,小腿加速度和弯曲角度远远超出了国家标准限值。分析认为,因该微型车为老式车型,设计时尚未考虑行人保护,当行人小腿撞击到车辆前端时,如图 10 所示,直接撞击在硬质保险杠横梁上,导致小腿所受撞击力很大,碰撞加速度很高;因车型很小,其保险杠的位置较低,撞击发生时,保险杠不能很好地支撑小腿,导致小腿的弯曲角度和剪切位移较大。

改造方案为:在保险杠横梁前端填充缓冲材料(泡沫厚 50mm),如图 10 所示,以缓冲吸收小腿的撞击动能;在保证车

辆接近角,且不影响车辆通过性的前提下,将保险杠前蒙皮前移 20mm、上移 30mm,将保险杠向上加宽 50mm,使保险杠覆盖整个小腿膝关节,防止小腿膝部的过度弯曲、错位;将发动机罩前沿前移 30mm,加强对大腿部分的支撑作用;在前蒙皮底部内侧加筋,增加其对小腿的支撑刚度。缓冲材料参数取自中国汽车技术研究中心汽车工程研究院材料数据库。改进方案的小腿撞击位置如图 11 所示。



图 10 原小腿撞击位置
Fig. 10 The original impact position



图 11 改进方案小腿撞击位置
Fig. 11 Improved impact position

改进方案的计算结果与试验及仿真结果比较如图 12 所示。改进后微型车的小腿保护性能显著改善,小腿碰撞的加速度降低了 34%,剪切位移降低了 57%,弯曲角度降低了 67%,小腿碰撞保护的 3 项考核指标远低于国家标准限值,甚至满足 Euro NCAP 小腿保护高性能指标要求。

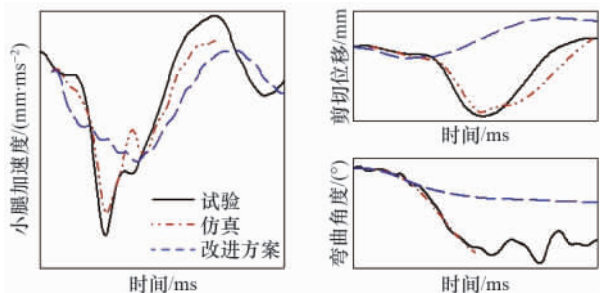


图 12 小腿碰撞仿真对标及改进结果
Fig. 12 Improved results of lower leg crash

从上述优化过程可以看出,乘用车的行人保护设计是很多细节的设计,需要在车型开发过程中仔细考虑。通过对乘用车前端造型布置优化及相关零部件结构优化,可实现其行人小腿保护性能的较大提升。

4 结论

依据试验数据和工程开发经验,参考国内外车型,研究了乘用车的行人小腿碰撞保护设计。分析了行人小腿碰撞保护的影响因素,讨论了相应的设计策略及注意事项。结合某微型车开发项目,通过对其前端造型、相关结构的优化设计,提升了该微型车的行人小腿碰撞保护性能。分析计算结果可为汽车的行人小腿碰撞保护优化设计提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 张金焕, 杜汇良, 马春生, 等. 汽车碰撞安全性设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
Zhang Jinhuan, Du Huiliang, Ma Chunsheng, et al. Automobile collision safety design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2010.
- [2] 刘军勇, 陈国强, 刘奇, 等. 基于 Euro NCAP 的成人头部碰撞保护设计研究[C]// 2010 中国汽车安全技术国际研讨会论文集. 北京: 中国汽车工程学会, 2010: 356-361.
Liu Junyong, Chen Guoqiang, Liu Qi, et al. Adult head crash protection design research based on EuroNCAP [C]// 2010 China Conference of Automotive Safety Technology. Beijing: Society of Automotive Engineers of China, 2010: 356-361.
- [3] 王坤, 王阳, 张子鹏, 等. 国内乘用车对行人小腿碰撞保护现状[J]. 汽车工程师, 2012(5): 13-17.
Wang Kung, Wang Yang, Zhang Zipeng, et al. Auto Engineer, 2012(5): 13-17.
- [4] 胡远志, 方锐, 谢书港, 等. 行人保护小腿冲击器有限元模型开发[J]. 汽车技术, 2010(12): 6-9.
Hu Yuanzhi, Fang Rui, Xie Shugang, et al. Automobile Technology, 2010(12): 6-9.
- [5] 曾必强, 胡远志, 谢书港, 等. 保险杠与车身连接对行人保护的影响分析[J]. 汽车工程, 2011(7): 594-597.
Zeng biqiang, Hu Yuanzhi, Xie Shugang, et al. Automotive Engineering, 2011(7): 594-597.
- [6] Koji Mizuno, Takaharu Ueyama. Comparison of responses of the Flex-PLI and TRL legform impactors in pedestrian tests[R]. Detroit: SAE International, 2012.
- [7] Nie Bingbing, Huang Jun, Xia Yong, et al. Influencing factors of contact force distribution in pedestrian upper legform impact with vehicle front-End[R]. Detroit: SAE International, 2012.
- [8] Donald J Whiteside. A comprehensive overview of the pedestrian protection requirements and test methodology[R]. Detroit: SAE International, 2010.
- [9] Shaikh Karimullah, Ajit Gokhale. Design of "lower stiffener" for controlling pedestrian lower leg injuries[R]. Detroit: SAE International, 2011.
- [10] Huang Jun, Nie Bingbing, Zeng Long, et al. Development of a legform impactor with 4-DOF knee-joint for pedestrian safety assessment in mmi-direction impacts[R]. Detroit: SAE International, 2011.

(责任编辑 韩星明)

《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过 300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。