

# 基于行人保护法规的某型轿车的碰撞安全性研究

钱德猛

(安徽江淮汽车股份有限公司技术中心, 合肥 230601)

**摘要:** 根据轿车行人保护的有关法规要求, 针对某款轿车的开发, 分别从发动机盖的设计对儿童和成人的头部保护和保险杠及相关零部件的设计对行人腿部保护方面建立了有限元模型, 并对其进行了头部碰撞分析和腿部碰撞的动力学仿真。仿真分析结果对整车的行人保护性能起到了预测和方向性指导作用。

**关键词:** 行人保护; 有限元; 头部碰撞; 腿部碰撞; 动力学仿真

中图分类号: U461.91

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2012)05-0843-04

## Crash safety research of some passenger car based on pedestrian protection regulation

QIAN De-meng

(Technology Center, Anhui Jianghuai Automobile Co. LTD, Hefei 230601)

**Abstract:** This paper introduces some regulation requests on pedestrian protection of passenger cars. The finite element models are established based on the engine cover design to head protection of adults and children and the bumper & relative parts design to leg protection. Then the simulation analysis on head crash and leg crash is carried out. The simulation results can forecast the pedestrian protection performance and guide the design of relative parts such as engine cover and bumper.

**Key words:** pedestrian protection; finite element; head crash; leg crash; dynamic simulation

在不同类型的交通参与者中, 一般认为行人总是处于最弱的地位。调查结果表明: 事故发生时行人绝大多数(55%)处于行走状态; 行人与车辆的各种相对方位中侧向所占比例最大(68%); 行人头部在发生事故时是最容易受到伤害的部位, 并且是造成行人死亡的主要原因(64%)<sup>[1]</sup>。因此在整车开发中, 对行人保护的分析和研究是安全性开发中重要的内容。

目前, 国际上采用的行人保护法规和标准主要有欧洲 2003 / 102 / EC 法规、GTR 法规(全球技术法规)以及 Euro-NCAP。GTR 试验方法和 EEVC 类似, 但是碰撞速度有所降低, 并且头部模块的质量和尺寸也不同。我国现在实施的汽车安全国家强制性标准有几十项。2000 年实行正面碰撞标准, 2006 年 7 月 1 日起实行侧面碰撞标准, 2007 年底出台了一批与乘用车有关的汽车安全强制性标准。基于 GTR 碰撞法规, 我国目前也起草了行人碰撞保护法规。

## 1 行人保护动力学建模

### 1.1 行人保护法规简介

GB/T 24550-2009 规定:WAD(依据法规绘制的发动机罩包络线)1000 至 WAD1700 采用儿童头模(ISO Child Headform), WAD1700 至 WAD2100 之间采用成人头模<sup>[2]</sup>(如图 1 所示), 所研发车型的机舱盖介于包络线(WAD)1 000~1 700 mm 之间, 故采用儿童头模。同时头模的碰撞点在机舱盖前沿线向后、机舱盖后沿线向前、机舱盖侧沿线向内偏置 82.5 mm 区域内(如图 2 所示)。

中国国家标准《汽车对行人的碰撞保护》(GB/T24550-2009)规定:至少一半的儿童头型试验区域, HIC 值应不大于 1 000, 至少三分之二的成人头型和儿童头型合计的试验区域, HIC 值应不大于 1 000, 剩余区域的 HIC 值不大于 1 700。如果车辆只有儿童头型试验区域, 三分之二以上的试验区域 HIC 值不大于 1 000, 剩余区域的 HIC 值不大于

1 700。下腿型对保险杠的试验过程中，腿模的最大加速度不大于 170 g，膝盖剪切位移不大于 6 mm，小腿弯曲角度不大于 19°。

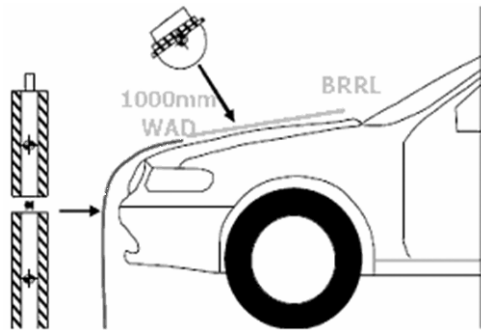


图 1 行人保护法规试验示意图

Figure 1 Sketch of pedestrian protection regulation test

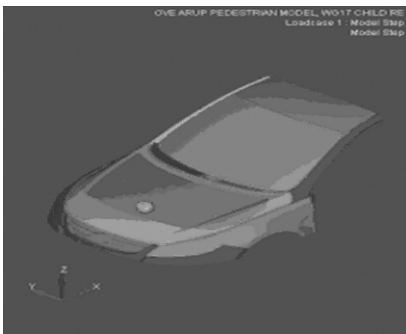


图 2 儿童头部不同位置撞击模型示意图

Figure 2 Sketch of child head crash model

### 1.2 模型及边界条件处理

儿童头部碰撞速度为 35 km·h<sup>-1</sup> (ISO Child Headform)，碰撞速度与水平方向所成角度为 50°。法规规定当保险杠下基准线低于 425 mm 时，采用小腿碰撞器，当下基准线在 425~500 mm 之间，可以任意选择大腿或小腿碰撞器，当下基准线高于 500 mm 时，采用大腿碰撞器。所研究车型保险杠下基准线低于 425 mm，故采用下腿型冲击器。下腿型冲击器（小腿模型）以 40 km·h<sup>-1</sup> 的速度，沿 x 方向撞向保险杠，其下端离地间隙为 25 mm<sup>[2]</sup>。

整车的行人保护有限元模型可以在整车正面碰撞模型的基础上进行更改，建立适用于行人保护的有限元模型。在前处理时须注意以下几点：

(1)兼顾效率和精度的前提下尽量细化模型的特征处理，包括机舱盖内外板、保险杠、挡泥板、前风挡玻璃、大灯及其灯室等。其中大灯安装等部件处应采用特殊单元处理，附以失效处理。在碰撞变形区域以内的零部件以及非金属零件均可用壳单

元模拟<sup>[3]</sup>。

(2)发动机、变速器及连接附件按刚体处理。发动机机舱盖缓冲块用体单元处理，采用特殊材料。机舱盖铰链采用壳单元模拟，用铰接处理。机舱盖锁以及锁钩可以采用刚体处理。

(3)突出的螺柱或螺钉如尺寸满足要求应该反映在模型中。

碰撞时行人的头部加速度通过一定等级的滤波处理，结果分析中对 15 ms 的 HIC 曲线进行积分处理，HIC 的具体计算方法为<sup>[4-5]</sup>：

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \tag{1}$$

$$HIC = \sup_{t_1, t_2} \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \int_{t_1}^t a dt \right\}^{2.5} (t_2 - t_1) \tag{2}$$

式中  $a_x, a_y, a_z$  分别为头部 3 个方向的加速度； $t_1, t_2$  为积分起止时刻。

## 2 行人保护性能仿真及结果分析

### 2.1 仿真结果的法规符合性分析

根据分析规范，在头模与发动机盖的碰撞区域选择 48 个测试点，计算出头模与每个撞击点撞击过程中的最大加速度，通过数据处理计算出头部的 HIC 值即伤害值。篇幅所限，下面列出某个测试点与儿童头部模型的撞击加速度和伤害值曲线（如图 3 所示）。

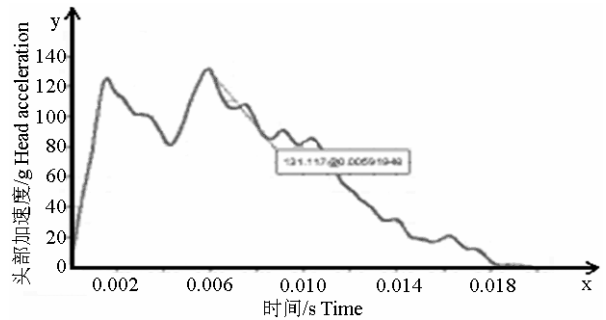


图 3 撞击点的加速度曲线

Figure 3 Accelerate curve of crash point

表 1 是所有测试点的伤害值分析结果。

根据中国国家标准《汽车对行人的碰撞保护》(GB/T 24550-2009)的规定，所开发车型只有儿童头型试验区域，根据碰撞分析结果，测点数共 48 个。HIC<1 000 测试点有 43 个；1 000<HIC<1 700 的测试点 5 个；无 HIC>1 700 的点。HIC<1 000 的区域比例为 89.6%，大于 2/3，剩余区域均小于 1 700，所以该车满足对行人的头部碰撞保护要求。

表 1 所有撞击测试点的儿童头部伤害值  
Table 1 Child head HIC value of all crash point

测点 Crash point	HIC	测点 Crash point	HIC	测点 Crash point	HIC	测点 Crash point	HIC
P1	1 066	P13	729	P25	551	P37	1 136
P2	808	P14	585	P26	484	P38	1 207
P3	746	P15	562	P27	540	P39	783
P4	671	P16	574	P28	522	P40	698
P5	700	P17	585	P29	536	P41	771
P6	733	P18	545	P30	525	P42	798
P7	716	P19	552	P31	594	P43	684
P8	702	P20	608	P32	776	P44	770
P9	707	P21	848	P33	820	P45	823
P10	778	P22	900	P34	751	P46	928
P11	1 158	P23	752	P35	817	P47	876
P12	890	P24	627	P36	1 015	P48	901

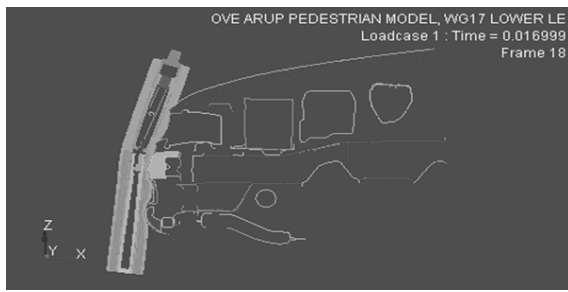


图 4 小腿碰撞仿真过程剖面示意图

Figure 4 Section sketch of leg crash process

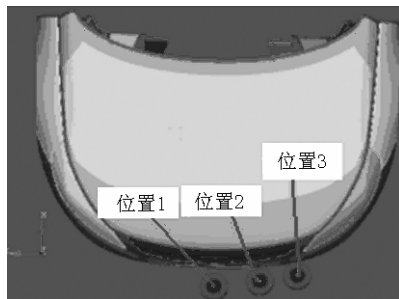


图 5 小腿不同碰撞位置示意图

Figure 5 Sketch of different crash location of leg

腿模与保险杠的碰撞区域如下图 4 所示, 根据行人保护法规分别确定腿模和车辆中心基准面的位置分别偏置 0、300、480 mm。由此计算出腿模与每个撞击区域撞击过程中的最大加速度、膝盖剪切位移和小腿弯曲角度<sup>[6]</sup>。篇幅所限, 下图仅列出位置 3 腿部碰撞的结果曲线(如图 4、图 5 所示)。

保险杠在该位置和行人腿部碰撞时, 腿模移至偏离中心位置 480 mm 处(图 5 所示的位置 3), 小腿的最大加速度、膝盖剪切位移和小腿弯曲角度随时间的变化历程如下图 6 所示。

中国国家标准《汽车对行人的碰撞保护》(GB/T

24550-2009)规定, 撞击过程中腿模的最大加速度不大于 170 g, 膝盖剪切位移不大于 6 mm, 小腿弯曲角度不大于 19°。

仿真分析过程中, 腿模处于中间位置时, 小腿加速度最大, 为 141 g; 腿模在位置 2 时, 膝盖剪切位移为 2.8 mm; 腿模在位置 3 时, 小腿弯曲角度最大, 为 14.4°(见表 2)。3 项指标均小于法规的限值。

## 2.2 设计建议

根据基于国家推荐法规的分析结果, 尽管该车型的各项指标均满足要求, 但是仍然有需要设计关注的方面。就儿童头部碰撞而言, 由于发动机罩前端距离水箱横梁比较近, 中间部位距离发动机上端比较近(约 60 mm), 碰撞空间比较小(此方面同时也影响正面和偏置碰撞); 发动机罩两侧的锁扣及锁扣加强板的硬度比较高; 发动机罩表面布置的清洗挡风玻璃的喷水孔等方面导致了部分测点(P1, P11, P36, P37, P38)的 HIC 值大于 1 000。所以在布置发动机时需要考虑发动机和水箱及发动机罩在纵向和垂直方向的距离空间, 发动机罩锁扣及加强板的材料性能在满足开启功能的前提下尽量选择硬度更小的材料, 同时清洗挡风玻璃的喷水孔尽量布置在靠近发动机罩和前挡风玻璃的结合位置。就腿部碰撞而言, 保险杠横梁距离外表塑料件约 80 mm, 导致了在位置 3(图 6)处小腿的加速度达到了 136 g。由于取消了保险杠下横梁导致了位置 3 的小腿弯曲角度仅比限值低 4.6°。所以在进行保险杠的设计时, 为了减小小腿的碰撞加速度和弯曲角度, 需要在保险杠横梁和外表塑料件之间设计泡沫材料, 同时在兼顾成本的情况下, 设计保险杠下横梁以减小碰撞中对行人腿部的伤害程度。

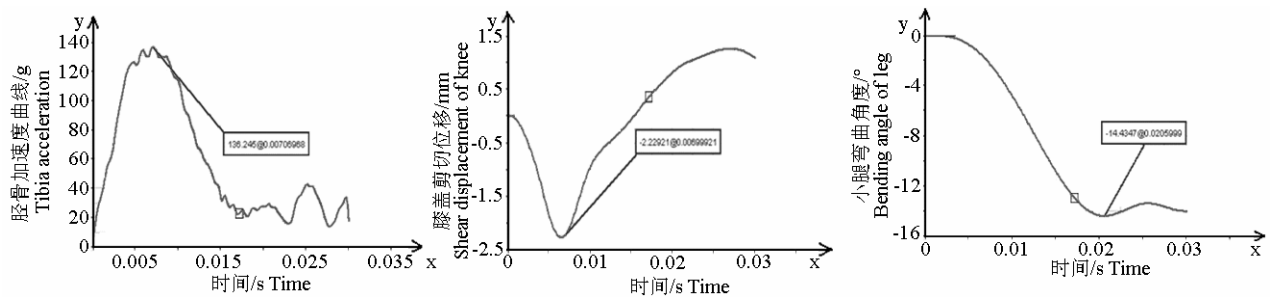


图6 小腿碰撞性能指标曲线

Figure 6 Curve of leg crash performance target

表2 腿部碰撞性能指标对比

Table 2 Contrast of leg crash performance target

评价指标 Evaluation index	腿模位置(中心面基准)/mm Position for leg module			目标值 Desire value	是否满足 Satisfy or not
	L=0	L=300	L=480		
小腿的最大加速度/g Peak acceleration of leg	141	139	136	170	是 Yes
膝盖剪切位移/mm Shear displacement of knee	2.7	2.8	2.2	6	是 Yes
小腿弯曲角度/° Bending angle of leg	12.9	12.2	14.4	19	是 Yes

### 3 结论

动力学仿真结果表明：所开发车型的行人保护性能满足中国国家标准《汽车对行人的碰撞保护》法规要求；

论文所述的动力学仿真方法可以为整车的行人保护性能开发提供理论依据，缩短开发周期，节约多种方案的样件制作成本。

### 参考文献：

- [1] 沈字明. 行人交通事故人员伤害分析及防护措施[J]. 汽车安全, 2007(8): 70-73.
- [2] 汽车对行人的碰撞保护[S]. 中华人民共和国国家标准 (GB/T 24550-2009).
- [3] 葛如海, 王广阔, 王岐燕. 铝质发动机罩的行人碰撞保护研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(12): 37-41.
- [4] 黄世霖, 张金换, 王晓东. 汽车碰撞与安全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 30-55.
- [5] 王心田, 洪善桃, 翁智远. 在冲击荷载作用下弹塑性薄板的非线性动力响应[J]. 固体力学学报, 1985, 6(3): 281-294.
- [6] 白金泽. LS-DYNA 3D 理论基础与实例分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 30-80.