

Head protection assessment and improvement based on EC Phase I and EuroNCAP

Xu Dand 1, Zhu Xichan 1, Liu Junyong 2, Miao Qiang 1, Wang Dazhi 2

(1. Automotive College, Tongji University, Shanghai, 201804, China; 2. SAIC Technical Center, Shanghai, 201842, China)

Abstract: This study is aimed to improve the pedestrian head protection performance. The difference between EC Phase I and EuroNCAP head protection requirement has been studied. First of all the finite element model of frontal body of vehicle was set up and validated by test according to requirement of EC Phase I. Then the simulation according to EuroNCAP head assessment was performed. Simulation result shows better improvement by changing the structure and material thickness of inner hood.

Keywords: EC Phase I, EuroNCAP, Inner hood

基于 EC Phase I 及 EuroNCAP 的头部保护性能评估及改进

徐荡¹, 朱西产¹, 刘军勇², 苗强¹, 王大志²

(1. 同济大学汽车学院, 上海 201804; 上汽集团技术中心, 上海 201804)

摘要: 为了提高行人头部保护性能, 对比了2003/102/EC Phase I法规和EuroNCAP在头部冲击器、试验区域、试验条件、评价指标的不同。首先建立了车辆前端有限元模型, 然后按照EC Phase I法规要求完成了某车的头部保护试验和仿真分析对标, 并在此基础上进行了EuroNCAP儿童头部保护性能的评估, 并通过改进发动机罩板结构和材料特性来改善头部保护性能, 仿真结果表明改进具有良好的效果。

关键字: EC Phase I, EuroNCAP, 发动机罩板

1 引言

行人作为道路交通事故中的弱势群体决定了其在交通事故伤亡中较高的比例, 根据公安部交通管理局发布的数据统计, 2007年交通事故中, 步行者发生交通事故导致的伤亡人数占总伤亡人数的19.9%, 步行者死亡人数占总数的25.9%。

行人碰撞保护不同于车内乘员的保护, 行人与车辆发生碰撞时的碰撞位置、运动姿态等都比车内乘员要复杂得多, 更具有不确定性。统计表明, 汽车与行人碰撞事故中, 行人的头部和腿部最容易受到伤害。其中, 头部伤害所占比例为30.7%, 腿部伤害所受比例为30%, 头部伤害主要导致死亡, 所以开展对行人头部保护的研究具有重要的意义。

目前现行的EuroNCAP评价体系和EC Phase I行人头部碰撞保护法规各有不同的要求, 本文对比了EuroNCAP和EC Phase I在具体的头部冲击器、试验区域、试验条件、评价指标的不同。然后按照EC Phase I法规要求完成了某车的头部保护试验和仿真分析对标, 并在此基础上进行了EuroNCAP头部保护性能的评估, 并通过改进发动机罩板结构和材料特性来改善头部保护性能。

2 头部保护试验

欧洲行人保护法规第一阶段(2003/102/EC Phase I)由欧盟委员会2003年颁布, 并与2005年实施。欧洲用户评价体系标准(EuroNCAP)参照欧洲行人保护法规第二阶段的方法, 分为儿童头部试验和成人头部试验两部分, 是目前最严格的行人保护标准。我国也在出台相应的行人保护相关国家推荐性标准。2003/102/EC Phase I和EuroNCAP在具体试验条件和评价指标上有所不同。

EC Phase I法规中头部冲击器直径为165mm, 质量为3.5kg, 碰撞速度为35km/h, 与水平线角度为50°, 碰撞区域为WAD1000mm至发动机罩板后参考线, 评价指标为HIC值小于1000为高标准, HIC值小于2000为低标准。EuroNCAP评价体系中儿童头部冲击器直径为130mm, 质量为2.5kg, 碰撞速度为40km/h, 与水平线角度为50°, 碰撞区域为WAD1000mm至WAD1500mm, 评价指标为HIC值小于1000为高标准, HIC值大于1350为低标准。

2003/102/EC Phase I和EuroNCAP试验所用的头部冲击器基本结构相同。均为铝制、均匀球形结构, 包括底板、球体、皮肤、加速度传感器。球体用相应的合成皮肤覆盖。

按照欧洲行人保护法规第一阶段(2003/102/EC Phase I)对上汽某车进行试验。选取典型区域试验点, 共17个试验点。选点考虑铰链、空气弹簧、Scuttle、锁扣加强板等典型区域, 具体分布如图1所示。有限元模型如图2所示:

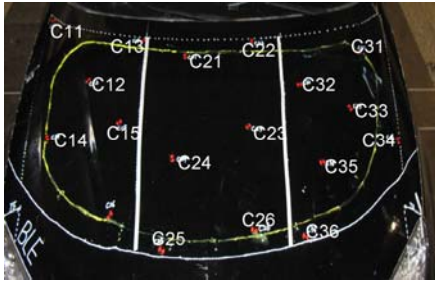


图1 头部碰撞测试点

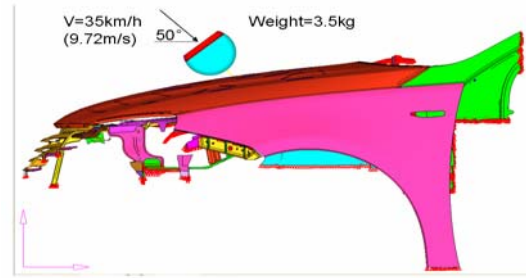


图2 2003/102/EC Phase I有限元模型

3 仿真分析与改进

3.1 按照 2003/102/EC Phase I 的仿真分析

使用 LS-Dyna 软件建立该车型前端车身的有限元模型，按照欧洲行人保护法规第一阶段（2003/102/EC Phase I）行人头部碰撞试验的要求进行仿真分析。

3.1.1 车辆前端模型

前端模型是基于整车碰撞有限元模型建立的，从整车模型中截取前端部件，保留 A 柱以前和头部冲击器接触的部件以及影响头部伤害的部件。同时保留了以往建模所忽略的空气弹簧、发动机罩板缓冲垫、锁扣等，使之能更好的模拟实际情况。具体包括：仪表板、空调进气格栅、雨刮、防火墙、发动机内外罩板、翼子板、发动机、保险丝盒、空气滤清器、锁扣、进气格栅等。

3.1.2 初始边界条件及接触定义

按照欧洲行人保护法规第一阶段（2003/102/EC Phase I），头部冲击器初始碰撞速度设为 9.72m/s，如下图所示，约束 A 柱、门槛断面、防火墙断面、翼子板下端、大灯支架六个方向自由度。接触的定义主要包括：

- (1)车辆自接触：AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE，摩擦系数设为 0.2
- (2)头部冲击器与车辆接触：AUTOMATIC_SURFACE_SURFACE，摩擦系数设为 0.5
- (3)头部冲击器自身的接触：AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE，摩擦系数设为 0.2

3.1.3 仿真对比分析

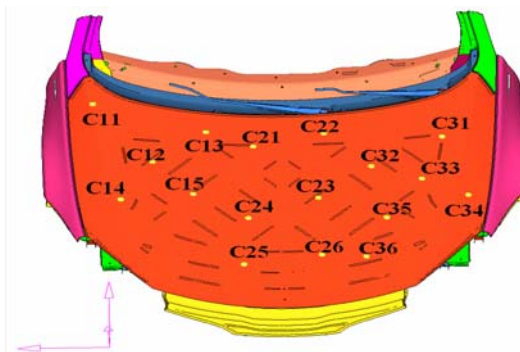


图3 头部碰撞测试点

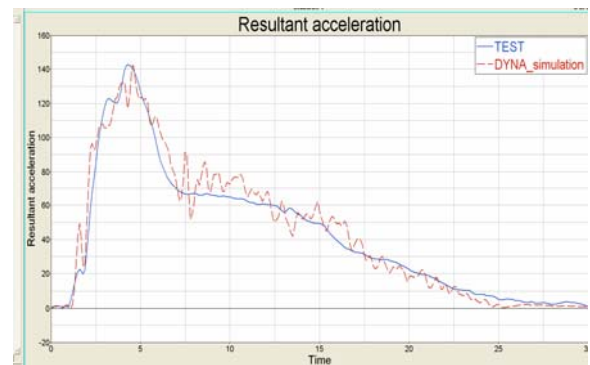


图4 EC Phase I试验值和仿真值对比

图 3 为有限元模型中对应于试验的 17 个测试点，图 4 为 EC Phase I 试验值和仿真值对比。仿真与试验对标结果如图 5 所示，由图 4 可见仿真得到的加速度曲线和试验曲线相关性很好，对于初次接触的峰值和时序，仿真模型与试验的吻合度较高，对第二波的时序和趋势也给出了较为真实的结果。说明该仿真模型可信，可以作为评估头部碰撞保护性能的依据。

选取的所有试验点仿真和试验得到的 HIC 值对比如图 5 所示：由试验结果可知，除 C11 点（罩板铰链和内板加强板处）外其余碰撞点处的 HIC 值均小于 1000，达到法规要求，同时 C11 点 HIC 值小于 2000，达到 EC Phase I 法规低标要求，整体头部碰撞保护性能令人满意。C11 点下方布置内板加强板和铰链，使得儿童头部与罩板接触时没有产生足够变形，导致伤害值偏大。在其他的危险区域如锁扣加强板和罩板边界处碰撞的 HIC 值均小于 1000，表现良好。罩板中间区域的各试验点的 HIC 值说明儿童头部与罩板碰撞时并没有接触罩板下方的发动机顶部、保险丝盒、空气滤清器等部件，从加速度曲线可以看出没有明显的头部冲击器和硬点接触的波形特征，说明罩板下方留有足够的空间对提高碰撞性能大有裨益。

3.2 按照 EuroNCAP 的仿真分析

按照 EuroNCAP 头部保护法规对该模型进行仿真分析, 以更好的评估该车型的儿童头部保护性能。

EuroNCAP 仿真分析的结果和 EC Phase I 对比如图 6 所示。由图 6 可知: 按照 EuroNCAP 仿真的 HIC 值普遍高于按照 EC Phase I 得到的仿真值。究其原因, EuroNCAP 的初始速度偏大, 同时质量又偏小使得儿童在初次接触罩板时产生的加速度偏大, 发动机罩板刚度偏大对儿童头部伤害也影响较大。EuroNCAP 仿真值中, 只有 C15、C22、C32、C35 点 HIC 值小于 1000, 满足法规高标要求。C15、C22、C32、C35 点位于罩板中间区域, 罩板与下面的发动机、保险丝盒、空气滤清器等部件的空间较大, 撞击时没有形成硬点, 较好的保护了儿童头部。但是其 HIC 值均与 1000 很接近, 考虑到仿真的误差, 在试验时仍有可能不达标。C11、C25、C34 点的 HIC 值超过了 1350, 对头部伤害较大。C11、C25、C34 点分别位于罩板铰链和内板加强板处和锁扣加强板处, 在与头部冲击器撞击时由于罩板刚度太大导致 HIC 值偏大, 在接下来的改进中考虑削弱发动机罩板强度和改进材料来改善头部保护性能。其余的碰撞点 HIC 值均大于 1000, 小于 1350, 满足法规低标准要求。

Point	HIC Value	
	EC Phase I	EuroNCAP
C11	1395.4	2828.8
C12	419.5	1127.3
C13	585.9	1199.6
C14	690.4	1308.9
C15	348.0	603.4
C21	423.4	1072.1
C22	344.1	748.0
C23	410.7	1085.6
C24	512.7	1078.1
C25	992.9	1917.5
C26	861.0	1261.8
C31	740.4	1192.4
C32	385.4	906.9
C33	575.7	1236.7
C34	883.3	1535.6
C35	469.3	871.0
C36	806.3	1049.7

图 5 EC Phase I 试验值和仿真值对比

Point	HIC Value		
	TEST	DYNA	Relative Error
C11	1435	1395.4	2.8%
C12	485.5	419.5	13.6%
C13	511.3	585.9	-14.6%
C14	684.6	690.4	-0.9%
C15	390.2	348.0	10.8%
C21	418.1	423.4	-1.3%
C22	494.6	344.1	30.4%
C23	469.2	410.7	12.5%
C24	510.1	512.7	-0.5%
C25	897.4	992.9	-10.6%
C26	806.6	861.0	-6.7%
C31	709.08	740.4	-4.4%
C32	435.3	385.4	11.5%
C33	567.8	575.7	-1.4%
C34	931.3	883.3	5.2%
C35	432.3	469.3	-8.6%
C36	713.2	806.3	-13.1%

图 6 EC Phase I 仿真值和 EuroNCAP 仿真值对比

3.2.1 仿真改进

以上分析可知: 儿童碰撞区域需要降低发动机罩板刚度以提高碰撞保护性能。由于外罩板结构和材料已经定型, 从工程上讲更改不大可能, 具体实施从内板结构改进和材料厚度改进入手。

内板结构优化包括在对应的内板上挖出一定大小的孔, 弱化罩板强度, 使头部冲击器在撞击这些位置时加速度峰值降低, 具体如图 8 所示。针对材料厚度的改进, 采用厚度较薄的材料有利于提高头部保护性能, 将内板的厚度由 0.7 降到 0.6。

改进后的仿真加速度曲线对比如图 9 所示, 可见加速度峰值有了明显降低, 有效的改进了碰撞性能。对应的 HIC 值对比如图 10 所示。原内板达到低标准要求 (≤ 1350) 的点占多数, 达到高标准要求 (≤ 1000) 的点仅罩板中间区域。改进后的内板 HIC 值达到高标要求 (≤ 1000) 的点相比原内板有所增加。由于内板与下方发动机顶部、保险丝盒等部件的空间较充裕, 所以采用削弱内板强度和改进材料厚度的方法并没有使头部冲击器接触到下方的硬点, 改善了头部保护性能。同时一贯的危险点 (铰链和内板加强板处和锁扣加强板处) 的 HIC 值也降低不少, 达到了较好的效果。

尽管改进内板取得了一定的效果, 但是仍然存在 HIC 值偏高的问题, 所以单纯的只针对内板进行改进并不能完全解决伤害值偏大的问题。可以考虑继续改进内板下方的其他部件, 以更进一步的提高头部保护性能。



图 7 原内罩板



图 8 削弱结构后的内板

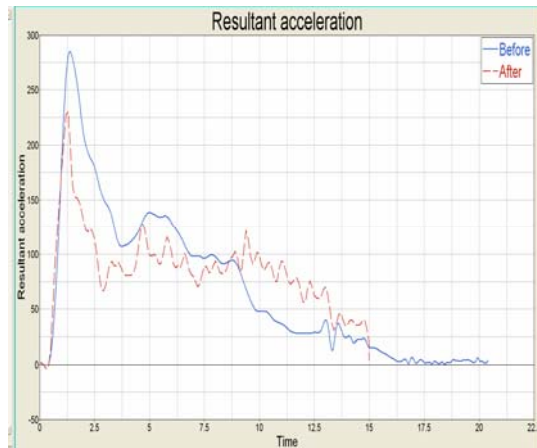


图9 改进前后加速度曲线对比

Point	HIC Value	
	Before	After
C 1 1	2828.8	1536.2
C 1 2	1127.3	936.4
C 1 3	1199.6	1024.9
C 1 4	1308.9	1153.7
C 1 5	603.4	387.1
C 2 1	1072.1	1002.6
C 2 2	748.0	706
C 2 3	1085.6	883.6
C 2 4	1078.1	806.1
C 2 5	1917.5	1412.3
C 2 6	1261.8	972.5
C 3 1	1192.4	705.3
C 3 2	906.9	632.1
C 3 3	1236.7	736.5
C 3 4	1535.6	1153.6
C 3 5	871.0	532.9
C 3 6	1049.7	886.3

图10 改进前后 HIC 值对比

4 结论

分别按照欧洲行人保护法规第一阶段(2003/102/EC Phase I)和欧洲用户评价体系标准(EuroNCAP),通过试验和 LS-Dyna 仿真,改进内板的结构,可以有效提高头部保护性能。对其他试验点的结果分析可知,发动机罩板下方留有足够的空间,对提高头部碰撞点的得分具有极大的好处。对于某些碰撞硬点,可能需要结合改进其他结构才能提高消除。在儿童头部保护仿真评估中,削弱内板强度和改进材料厚度起到了较好的效果,但是对于成人头部保护,由于质量增加和碰撞角度的变化可能会导致罩板变形过大进而接触到下方硬点,对头部保护性能产生不利影响。尽管改进内板取得了一定的效果,但是仍然存在 HIC 值偏高的问题,可以考虑继续改进内板下方的其他部件,以更进一步的提高头部保护性能。发动机罩板强度和刚度的减弱可能会对其他整车性能造成影响,这是本文尚未考虑的问题。

参考文献

- [1] ECE安全法规 [M]. 2003/102/EC
- [2] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报[R]. 北京: 公安部交通管理局, 2008. 4
- [3] U Schramm, Structural optimization-An Efficient Tool in Automotive Design, pg17-20,100(1998)6
- [4] K Simpson and G Harte, Crashworthiness optimization study of a bumper system, HyperWorks Conf. Proceedings, Jan 1999
- [5] 乔维高, 朱西产. 行人与汽车碰撞中头部伤害与保护的研究[J]. 农业机械学报, 2006. 9. 第37卷第9期