

Study on simulation method of pedestrian impact at the head light

Xu Fuhui, Wang Dong, Li Bo, Wang Yajun, Wu Shen rong

Chery Automobile Engineering Research Institute, Chery Automobile Co., LTD, WuHu, 241009

Abstract: With the increasing population of vehicle owners and the amount of the vehicle maintained, the pedestrian safety has gradually arisen as an outstanding problem of transportation. Pedestrian protection has become one of the hot research topics of vehicle safety. The simulation method for pedestrian protection has become very important too. The headlight area is among the key components, which may impact the pedestrians and is critically important to the simulation of pedestrian protection. A modeling approach is proposed in this paper, grading the shell geometry of headlight in detail including the finite element models of all the interior structures, the definition of the thickness of the key components, and the failure mechanism of the brackets. The finite element analysis is performed for the impact of head to the head light and validated by the lab tests. The results show that the pedestrian injury can be evaluated with reasonable accuracy with the proposed modeling approach of head light, thus to provide proper recommendations to vehicle development.

Keywords: pedestrian protection, finite element analysis, head light, head impact

行人保护冲击前大灯试验与模拟对比研究

徐福慧, 王栋, 李博, 王亚军, 吴沈荣

奇瑞汽车工程研究院, 奇瑞汽车股份有限公司, 芜湖, 241009,

xufuhui@mychery.com

摘要: 随着汽车普及程度和保有量持续增加, 道路交通中行人安全问题逐渐突出, 有关行人保护的研究也就成为当今汽车安全领域的研究热点之一, 行人保护的仿真计算就显得很重要。目前一种大灯区域头部碰撞仿真的结果不够准确, 对此本文针对大灯提出新的模拟方法, 并进行了行人头部冲击大灯的有限元模拟和试验验证。新的建模方法不仅对大灯的壳体进行精细化建模, 也对大灯内部结构、关键件的厚度以及支架失效等提出新的模拟方法。对某车型新模拟结果与试验结果对比表明, 新的大灯建模方法可以较准确地模拟行人保护相关伤害值, 可为车辆安全评价和开发提供借鉴。

关键字: 行人保护, 有限元分析, 前大灯, 头部碰撞, 上腿部碰撞

1 引言

随着汽车普及程度的不断提高, 近几年的交通事故中行人的伤亡率也不断增加。我国是人口密集型大国故也是交通事故高发国家, 而头部在交通事故中为最容易受到伤害和致人死亡的部位。国内首例汽车行人碰撞试验目的就是轿车的行人保护技术进行检验和改进, 以降低碰撞时对行人的伤害。如果能准确模拟碰撞的真实情况, 便可积极地采取相应设计有效地减少第一次碰撞伤害程度, 也可以相应地减少第二次碰撞伤害程度。早在上世纪六十年代, 一些发达国家就开始重视对行人保护的研究。C-NCAP (China New Car Assessment Program) 管理中心的近期研究重点已经在关注行人碰撞保护, 明确优先考虑头部保护。Euro NCAP 也将行人保护星级评定区别于乘员安全保护星级评定。按照 2016 年 Euro NCAP (Europe New Car Assessment Program) 要求, 行人保护 2 星的最低得分率为 20% (8.4 分), 3 星为 40% (16.8 分), 4 星为 55% (23.1 分), 5 星为 65% (27.3 分) [1]

研究人员通过建立跌落试验平台, 对大灯进行多轮试验得出大灯的质量、面罩与壳体的连接方式、固定方式等大灯的相关数据。并且通过数值模拟的方法对以下简单的优化方案进行了分析对比验证。其中指出大灯优

化的三个方向：面罩与壳体的搭接部位（预设断裂点）、采用 EPP 吸能泡沫、面罩和反光片的优化（降低其刚度，可以降低反作用力）^[4]。在文献^[5]中研究了前冲击大灯面罩的力与位移曲线。



图 1 前大灯跌落试验简述

也有相关人员对于局部厚度做了研究，提出了一种评估零部件局部厚度的方法，通过以下两种方法得出精确的估算以及厚度的传递。此方法不但基于实际的 CAD 数据，也充分展现了零部件中不同厚度的分布，这样对原有方法在性能上进行了改进。这两方法是 RT (Ray Tracing) 和 NN (Nearest Neighbor)。RT 方法为

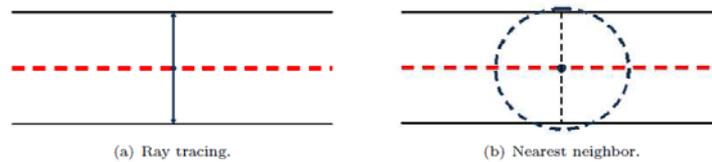


图 2 两种测试方法

从单元的质心沿单元的法向向两侧搜索，与部件几何相交两次，从质心到两个交点的距离之和就是该部件的局部厚度。NN 方法是指以单元质心为中心向四周搜索，搜索出距离质心最近的点，两点与质心距离的和即为该部件的局部厚度^[6]。这两种厚度测量方法在文献^[7]中也有详细的研究，如图 7。

本文介绍行人保护头部碰撞法规以及一些大灯的相关研究。以某车型为基础，通过原始模拟结果与试验结果对比，找到原始模拟方法准确性不足之处。对大灯建模加以精细化，主要因素为大灯内部结构的细化、关键件的厚度模拟、大灯安装支架的失效以及附加集中质量点等方面做了改进。计算结果与试验结果比较表明新的模拟方法可以较准确地模拟试验结果，为车辆安全评价和开发提供借鉴。

2 法规描述与原始模型分析

2.1 法规描述

在欧洲，多年来政府和法规要求促进道路安全的效果显著，并且稳定地提高，在车辆数量和每年行车里程不断增加的情况下，伤亡事故的数量一直在逐渐降低。可纳入道路安全范畴的众多改进中包括：道路规划、测速仪、交通调节、街道照明、教育和培训、人行道和行车道分离以及车辆安全性能。车辆安全性能方面的改进包括：车辆前照灯设计、制动和轮胎技术、乘客工效学和视野的改进、行驶平顺性和操控性的改进等等。

可见车辆的前照灯在车辆安全性能方面起着不可或缺的作用，而由于整车造型的需要，大灯部分位于行人保护的碰撞区域（图 3），尤其是儿童头部。在 Euro NCAP 头部碰撞中，一些结构提供的保护为难以预测的，这些结构将被定义为蓝色点。其中包括塑料孔、风挡雨刮臂和风挡底部、大灯面罩及可破坏结构。蓝色点确定后，制造厂商必须提供反映这些不可预知区域性能的证据如试验结果或者 CAE 模型。在整个头部碰撞区域中最大只能选择 8 个蓝色区域，试验室将会在每个蓝色区域中选择一个蓝色点进行评估，蓝色点的试验结果将用于其所在区域的评分。进行蓝色点评价时，其颜色将会有蓝色变成其在 HIC15 标准中所对应的颜色，但是蓝色点不能作为验证点来求取修正系数^[2]。所以如果能够准确地模拟大灯破坏形式的话，可以在车辆研发时就做好优化，减小此处的不可预测性。

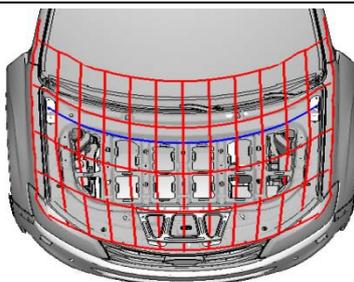


图 3 行人保护头部碰撞区域划分

在行人保护儿童头部与前大灯的碰撞试验中，试验使用的标准儿童头型冲击器为铝制的，均质球形结构，直径为 (165 ± 1) mm，质量为 (3.5 ± 0.07) kg。相对于过质心并且垂直于冲击方向的轴惯性矩应在 $(0.008 \sim 0.012)$ kgm^2 范围内。儿童头部冲击器由后端支撑盘、模型本体、模型蒙皮、安装于基座上的加速度传感器组成。头型冲击器的质心应该位于球的几何中心上，误差在 $\pm 2\text{mm}$ 内，球体用 (14 ± 0.5) mm 厚的合成皮肤组织覆盖，覆盖面积至少为球体的一半，模型如图 4 所示^[3]

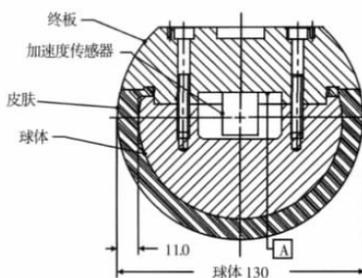


图 4 儿童头部模型 (mm)

头型冲击器在下落时冲击器的后表面与垂直方向夹角，对于儿童头型应在车辆纵向垂直平面内，相对于水平面的实验冲击角度为 50° ，冲击速度为 9.7m/s (NCAP 标准)。在划分网格单元时，对于球体采用实体单元，采用经纬式网格划分方法。

2.2 原始模型分析

在行人保护头部冲击试验及分析中，发盖边缘与大灯搭接位置是一个难点。以某车型为例，针对该区域进行有无发盖的头部冲击对比试验，相应的 HIC (Head injury criterium 头部伤害指标) 为：无发盖状态下，HIC 为 802，大灯上部固定支架断裂，大灯主体结构完好；有发盖状态下，进行两次试验，HIC 分别为 1539 和 1662，大灯上部安装支架断裂，主体结构并无破坏，发盖边缘有轻微变形，其加速度曲线一致性较好，如图 5、6。

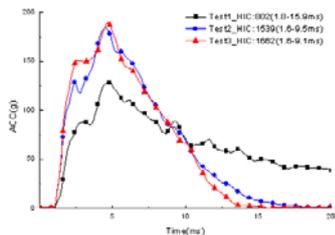


图 5 试验曲线对比



图 6 试验后大灯状态

2.3 原因分析

大灯形式一般分为反光罩式和透镜调节器式大灯，但是两种形式的大灯建模方法都过于简单，对前大灯的建模只是简单的建立灯罩、后部本体及相应的大灯支架，没有考虑支架失效以及大灯总成的刚度，并且对伤害值造成影响的大灯的质量与实际质量有很大差异，最终结果导致大灯模拟结果与试验结果不准确，如图 7。

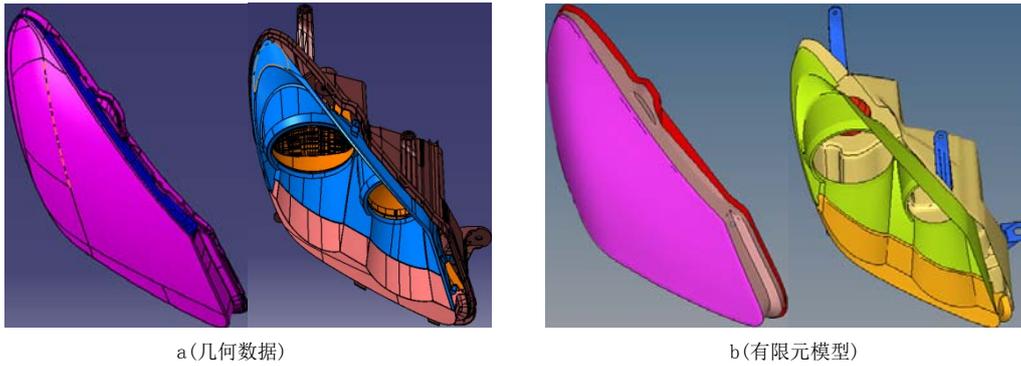


图 7 原始前大灯数据与模型对比

参考前文提到的关于大灯的实验与研究的相关方法与建议，本文从以下几个方面着手提高大灯模拟精度，①大灯面罩与壳体的连接方式要进一步确定，②大灯的模拟质量应该与实际质量一致。

3 前大灯失效问题模拟

本公司在行人保护头部撞击大灯位置做了很多试验，有的车型试验结果是大灯内部碎裂，支架完整。有的车型试验结果是大灯支架断裂，而大灯主体结构无损坏。通过统计结果可知，大灯的变形结果是多样的，如果能过准确地模拟大灯的实验结果的话，不但可以提前预测大灯处的得分情况，而且在实验方面可以省去大笔费用，统计结果如下表 1：

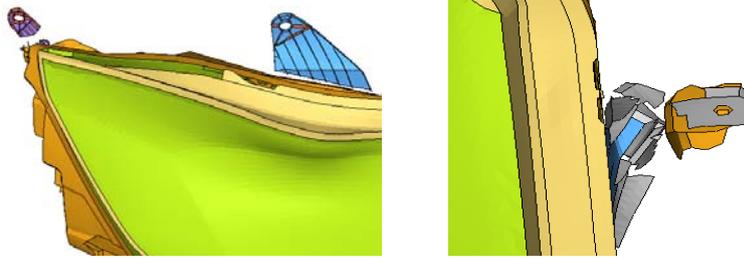
表 1：头部冲击大灯试验（EC/Cild Head）结果对比

试验位置	变形结果	HIC
CH13/大灯面罩与发盖边缘	大灯支架断裂	1620
CH04/大灯固定支架及大灯横梁	发盖内板变形	650
CH06/大灯上部安装点	缓冲块周边内板变形	1125
CH18/大灯中部安装点	发盖变形	651
CH07/大灯横梁缓冲块	发盖内板变形	984
CH20/大灯上部安装点	发盖内板变形、大灯支架断裂	1160
大灯壳体与发盖边缘（无发盖）	大灯三个支架断裂	802
大灯壳体与发盖边缘（有发盖左侧）	大灯两个支架断裂	1539
大灯壳体与发盖边缘（有发盖右侧）	大灯三个支架断裂	1662
CH02/大灯上部安装点	发盖变形、大灯无损坏	1150
CH15/大灯中部安装点	发盖变形、大灯无损坏	1123
CH17/大灯壳体与发盖边缘	大灯面罩和 housing 碎裂	990
大灯壳体与发盖边缘（无发盖）	大灯内部结构碎裂、支架完整	953
大灯壳体与发盖边缘（有发盖）	大灯内部结构碎裂、支架完整	1336

从表 1 中可知，大灯支架失效也在大灯的破坏形式之一，如何能精确的模拟大灯支架失效也将是影响准确模拟大灯变形的问题之一。根据大灯安装支架的厚度及断裂情况，对其设置不同的失效值，分别为 0.04、0.03、0.035，以弥补其刚度的不足。反光罩式大灯的中支架和反光罩比较容易碎裂。透镜式大灯的灯体结构比较硬，其支架更容易断裂。对典型的透镜式远近一体大灯进行模拟，结果如图 8、9：



a (大灯试验结果)



b(大灯模拟结果)

图 8 透镜式远近一体大灯试验与模拟对比

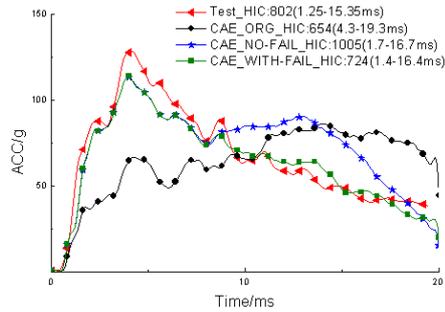


图 9 大灯试验与模拟曲线对比

4 新模拟方法及验证

按照以上的分析结果我们对一款典型的透镜式远近一体大灯进行建模，方法如下：

1. 根据大灯的几何数据状态细化大灯结构，并且所有结构的材料均按照材料部的清单赋予材料参数；
2. 按照引言中量取厚度的方法赋予关键件厚度；
3. 连接方式相应的改进，如图 10 中①和②；
4. 增加相应的质量点，目的是使模型中大灯质量与实际质量相同。

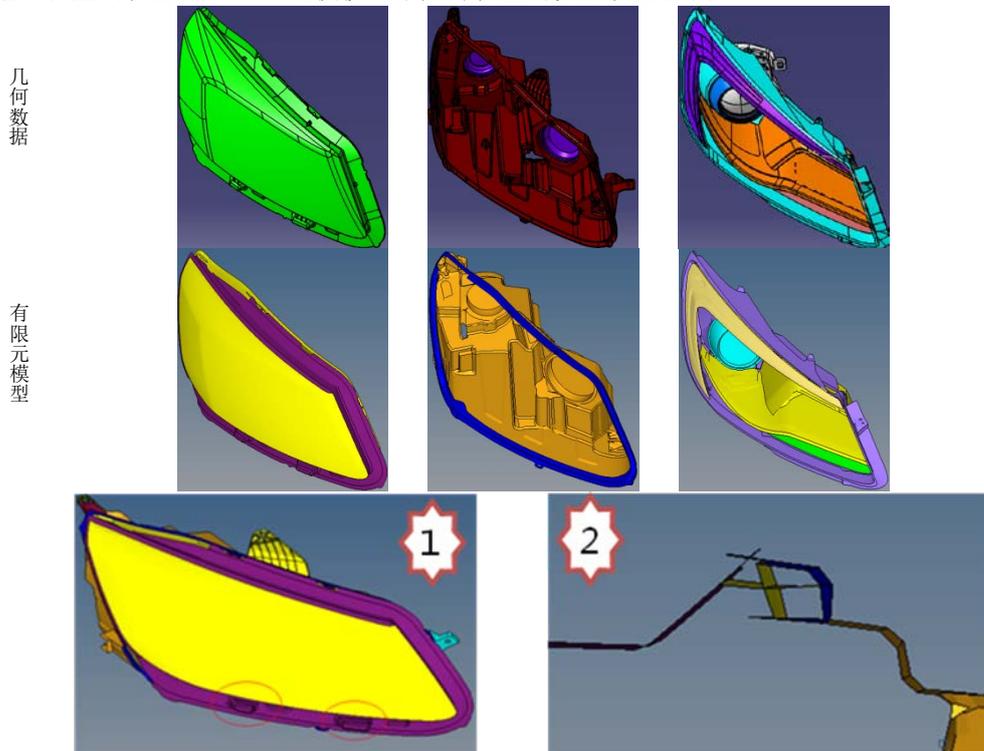


图 10 透镜式远近一体大灯新建模方法

对新建的大灯模型进行计算，头部 HIC 值与试验所得想接近，并且曲线的走向与试验所得曲线走向相似，故可知这种新的建模方法比较准确，其仿真结果与试验结果相接近，如图 11。

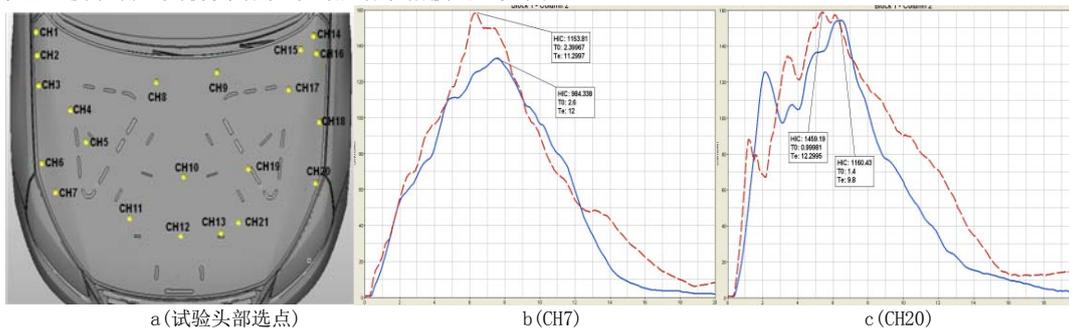


图 11 某车型头部碰撞中大灯处 HIC 值与曲线 注：蓝色为试验，红色为 CAE

5 总结

本文主要采用 LS-DYNA 有限元分析方法研究行人保护头部与汽车前大灯的碰撞问题。基于行人保护头部碰撞中前大灯的破坏形式提出新的建模方法，并将新建模型的计算结果与试验结果对比，发现该模拟方法精确度较好。根据分析归纳主要影响因素为：

- 1) 将大灯结构细化包括大灯内部结构，根据材料部的清单赋予相应材料参数；
- 2) 确定各结构之间的连接方式，以及相应位置的厚度确定；
- 3) 考虑大灯安装支架的失效模拟；
- 4) 赋予大灯相应的质量点，使大灯模型的总质量与实际质量相等。

在行人保护中另外一个难以测试项为上腿部。而大灯区域也很难不包含在上腿部碰撞区域中，如果新的建模方法也能很好的模拟上腿部碰撞工况的话，对于车辆的开发也会有很大的贡献，未来可以考虑将该建模方法应用到行人保护上腿部碰撞以及其他方面。

参考文献

- [1] Rating Group, Euro NCAP Rating Review, July 2013.
- [2] EuroNCAP, European New Car Assessment Program, Pedestrian Testing Protocol, 2015.8
- [3] LIU Zhi-yong, JIN Sun, HU Min. Study of frangible headlamp base on pedestrian protection, Machinery Design & Manufacture, 2009. 刘志勇, 金隼, 胡敏, 基于行人保护的溃缩式前大灯设计研究, 机械设计与制造, 2009
- [4] New headlamp concepts as key to optimization of vehicle front ends inconsideration of pedestrian protection_Germany Hella KG Hueck_2005
- [5] Pedestrian Protection_Germany Hella KG Hueck_2004
- [6] Improving FEM crash simulation accuracy through local thickness estimation based on CAD data_Ford_2014
- [7] Vaio Ferreira, Lufs Paulo Santos, Markus Franzen, Estimating local part thickness in midplane meshes for finite element analysis