

Model Development of Grid Points Meshing in Pedestrian Headform Protection Simulation Based on HyperMesh

Zhao Rutao¹, Zhu Xichan¹, Dong Liping¹, Zheng Zudan², Wu Bin², Song Yalan¹, Ma Zhixiong¹

¹School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai, China, 201804

²Shanghai Motor Vehicle Inspection Center, Shanghai, China, 201804

Email: zrthit@163.com

Abstract

Background: As the implementation of the pedestrian protection test procedures in Euro NCAP (V6.1), head collision grid point evaluation method has been adopted, which requires manufacturers to provide vehicle collision HIC. Considering the cost of real vehicle tests, car manufacturers usually adopt the method of computer simulation to get HIC of predictable grid point. So manufacturers should have effective means of simulation. Most existed pedestrian head simulation systems can finish pre-analysis simulation, but these are not applicative for Euro NCAP (V6.1). So developing new software based on the grid meshing evaluation method and realizing the automation of the head crash simulation calculation are of great importance for car manufacturers.

Objective: The purpose of this paper is to study the automation of pre-treatment process such as head collision point meshing and post-treatment process like calculation using LS-Dyna to solve the automation, calculating HIC value and their scores, which can be used as simulation data for the Euro NCAP pedestrian protection evaluation provide head crash.

Method and Material: Based on Euro NCAP (V6.1) pedestrian protection requirements, using Tcl/tk language to programme in HyperMesh10.0 for secondary development. Develop the automation method of vehicle front side reference line, WAD line and grid points meshing. After head positioning, export KEY file, which can be used for submitting the file to calculate and analyze the result using DOS batch program. Then, based on secondary development of HyperGraph, get HIC values and collision point scores.

Results: The software mainly includes two major functional modules and three big functions. The preprocessing module is to realize the automatic pretreatment of pedestrian head collision finite element model, including generating side reference line, WAD line and the grid points. Computational analysis module has two functions, including automatic calculation of KEY documents and calculation of HIC value and the scores. Through the automation processing of the simulation analysis, the efficiency of the simulation is improved.

Conclusions: The conclusion is that the length of the belt pulled out from retractor is the main factor of the consistency of the child restraint system test and we provide the foundation for compulsory certification regulation for child restraint system.

Compiled by Tcl/tk language, the interface is integrated into the Utility in HyperMesh option in the User panel, which highly improves the efficiency of the simulation.

Keywords: Pedestrian Headform Protection; Secondary Development of HyperMesh; Grid Meshing

基于HyperMesh的行人头部碰撞仿真网格划分模块开发

赵汝涛¹, 朱西产¹, 董丽萍¹, 郑祖丹², 吴斌², 宋亚蓝¹, 马志雄¹

¹同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

²上海机动车检测中心, 上海, 中国, 201804

E-mail: zrthit@163.com

摘要

研究背景: 随着 Euro NCAP(V6.1)行人保护试验规程的实施, 头部碰撞网格点评价方法已被采用。行人头部网格点评价方法中要求制造商提供被测试车辆数十个目标网格点的碰撞 HIC 值。考虑到实车试验的成本问题, 汽车制造商通常采用计算机仿真的方法来得到可预测 HIC 值网格点的 HIC 值, 这要求制造商要具备高效的

上海市科学技术委员会科研计划项目 (编号 12DZ2293901) 资助

仿真手段。目前大多数行人头部仿真前处理软件或系统能完成碰撞区域划分,但这些软件或系统还是针对 Euro NCAP(V6.1)之前的评价规程,无法满足新的试验规程的需求。因此基于头部碰撞网格点新评价方法,开发行人头部保护软件,实现头部碰撞仿真的自动化计算对于汽车制造商具有重要的意义。

目的: 本文旨在研究头部碰撞网格点划分等前处理过程和 LS-Dyna 计算求解后处理过程的自动化,实现 HIC 值及碰撞点得分计算,为 Euro NCAP 行人保护评价提供头部碰撞仿真数据。

方法和材料: 基于 Euro NCAP(V6.1)中车辆行人头部保护性能的网格点评价方法,采用 Tcl/tk 语言对 HyperMesh10.0 进行二次开发,通过对车辆前端侧参考线、前端包络线、网格点划分的机理研究,提出车辆前端参考线、包络线和网格点的仿真自动划分方法。头部定位导出 KEY 文件后,利用 DOS 批处理程序,完成计算文件的自动提交计算及批量结果分析。再通过对 HyperGraph 的二次开发,实现 HIC 值和碰撞点得分的自动计算功能。

结果: 该软件主要包含了两大功能模块,三大功能,即有限元前处理模块实现行人头部碰撞模型的自动前处理功能(自动生成侧参考线、WAD 线和网格点划分标记)、计算分析模块实现 KEY 文件的自动批量提交计算功能和自动计算仿真试验点的 HIC 值及分数的功能。通过将仿真分析流程中的三大模块都进行自动化处理,以提高仿真的效率。

结论: 本文通过深入研究 Euro NCAP(V6.1)中的行人头部碰撞试验规程和评分原则,按照该规程的具体试验步骤及试验要求,研究并提出行人头部保护仿真的车辆前端侧参考线、车辆前端包络线、网格点划分自动化前处理机理和方法。通过 Tcl/tk 语言进行编译,将有限元前处理和批量后处理分析功能模块集成到 HyperMesh 中 Utility 选项中的 User 面板,实现行人头部保护碰撞仿真的自动化,极大地提高了仿真的效率。

关键词: 行人头部保护; HyperMesh 二次开发; 网格划分

1 引言

随着 Euro NCAP(V6.1)行人保护试验规程的实施,头部碰撞网格点评价方法已被采用。行人头部网格点评价方法中要求制造商提供被测试车辆数十个目标网格点的碰撞 HIC 值,这要求制造商要具备高效的仿真手段^[1,2]。目前大多数行人头部仿真前处理软件或系统能完成碰撞区域划分,但这些软件或系统还是针对 Euro NCAP(V6.1)之前的评价规程,无法满足新的试验规程的需求^[3]。

根据 Euro NCAP(V6.1)行人保护试验规程,头部碰撞仿真前处理的主要步骤包括:生成车辆前端侧参考线、前端包络线、网格点划分,后处理主要包括 LS-Dyna 计算。本文基于 HyperMesh 软件,采用 Tcl/tk 语言对其进行二次开发,研究并提出行人头部碰撞仿真中自动划分参考线、包络线和网格点划分及标记的前处理及与 LS-Dyna 相连接的批量后处理模块,设计流程图如下图 1 所示。

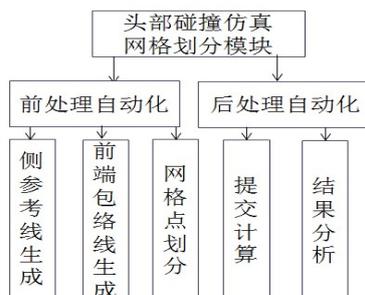


Figure 1. Flow chart of module design

图 1. 模組设计流程图

2 侧参考线生成

2.1 Euro NCAP 侧参考线要求

Euro NCAP 针对侧参考线的规定为:用长 700mm,在水平铅垂面内与水平方向成 45° 角的直尺沿着车辆

前部结构外表面移动，直尺与车辆前部结构接触的最高点形成的轨迹，即侧参考线^[4]，如图 2。

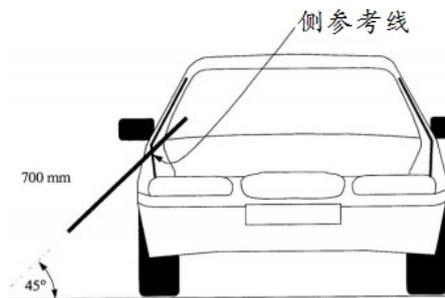


Figure 2. Euro NCAP side reference line diagram

图 2. 欧洲 NCAP 侧参考线

2.2 创建侧参考线过程

1) 创建长度为 700mm 的几何切线：根据 Euro NCAP，在画车辆侧参考线时，主要经过的部件包括翼子板和 A 柱。通过 HyperMesh 中 HWAT 命令集中的 BoundingBox 命令生成翼子板和 A 柱的包围矩形，即将集合中所有单元包含之内的最小矩形，得到侧参考线部件集合的边界坐标值，根据坐标值确定基点，在车辆的横向垂直平面内创建一个向内倾斜 45° 的线段，该线是创建侧面参考线所使用的几何切线。

2) 生成切点：通过几何切线作横向垂直平面（yz 平面），切翼子板和 A 柱生成截面线。因为部件结构并非连续平面或者曲面，所以在生成截面线时，会出现多段线段。这需要在多条截面线段中筛选出距离几何切线最短的点。比较多段截面线与直线之间的最短距离值，找到最小值，继而锁定最短距离点。

3) 平移几何切线：以一定偏移量沿 x 轴方向平移直线（保持直线始终在 yz），按同样的方法找到平移后的切点，直到切线超出前端结构集合的包围矩形的范围。

4) 将所有的切点连接成线。以上步骤在 HyperMesh 中的显示如图 3 所示：

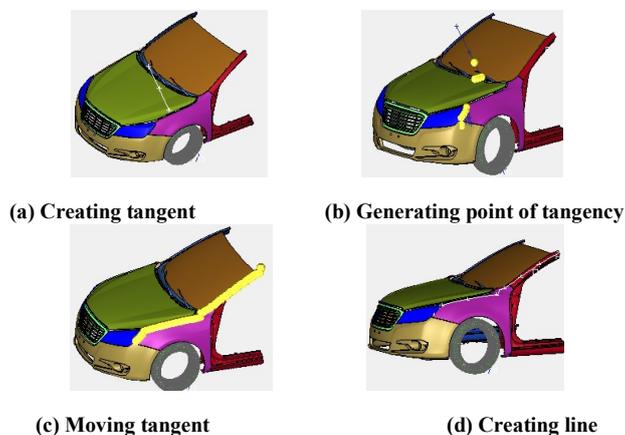


Figure 3. Process of creating side reference line

图 3. 创建侧参考线的过程

3 前端包络线生成

3.1 Euro NCAP 前端包络线要求

Euro NCAP 试验规程中，车辆前端包络线（WAD 线）划分是采用柔性卷尺：用一条一定长度的柔性卷尺与 xz 平面保持平行并且将软绳紧紧贴车辆的车辆前端结构，保持柔性卷尺的下端垂直于水平面并且端部

与水平面相接触，柔性卷尺的上端与发动机罩表面相接触，从左到右扫掠车辆前端的部件，柔性卷尺上端与车辆前部结构上表面接触点的几何迹线则为相应的包络线，在新版的 Euro NCAP 试验规程中，主要的包络线包括 WAD1000mm，WAD1500mm，WAD1700mm 和 WAD2100mm^[4]。如图 4 所示：

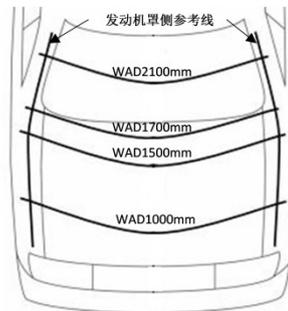


Figure 4. Euro NCAP wrap around distance line diagram

图 4. 欧洲 NCAP 包络线图

3.2 创建前端包络线过程

HyperMesh 中很难模拟柔性卷尺贴合车辆前端部件，只能采用近似的方法处理。其主体思想是通过一网格面与发动机罩前端部件曲面贴合生成切点来模拟柔性卷尺。

1) 创建 WAD 线相关结构部件的集合：WAD 线相关的结构部件包括保险杠、前大灯、发动机罩、风挡玻璃和 A 柱。在进行 WAD 线划线路序前，需要创建这些结构的集合。

2) 创建地面参考面：根据 Euro NCAP 规定划分 WAD 线时，柔性卷尺一段必须垂直于地面，且始终保持与地面接触。在自动划分 WAD 线时，利用 BoundingBox 获取模型的车辆尺寸（长、宽、高），根据车辆尺寸，在车辆最低处生成四个边角点，利用这四个点创建地面参考面。

3) 创建标尺：标尺在自动划分 WAD 线过程中的作用类似于实际划分 WAD 线时的柔性卷尺，但是标尺最初状态并非一条弯曲的线段，而是由网格单元构成的单元面，同时赋予标尺厚度属性。

4) 包络线算法：包络线算法是 WAD 线生成的关键。其核心是通过穿透检查确定标尺与车辆前端结构部件的近似切点。穿透检查保证了标尺可以较为准确地贴合车辆前端结构部件外部轮廓。

包络线算法主要包括两部分：平移算法和转动算法。

平移算法主要是因为标尺距离车辆前端还有一定的距离，不能直接求得两者之间的切点，因此建立平移部分循环，即判断两者之间是否存在穿透，如果没有，则将标尺向前移动 1mm；如果首次穿透，则记录下该点的 ID，并将穿透点以下的单元删除，以消除已穿透单元对后续穿透判断的影响。接下来将剩余的标尺单元沿着发生穿透单元的法向移动一段距离，移动的距离为穿透长度，该步操作的目的是保证本次穿透不影响下一次穿透判断。

转动算法主要是因为车辆前端结构的轮廓为曲线，无法直接用平移算法获得切点。先以平移算法找出的首个切点为基点，转动标尺，角度为 1° ；再判断转动后的标尺是否与车辆的前端结构发生穿透，如果穿透，记录穿透点 ID，该点为新穿透节点，删除该点以下单元，再将标尺沿着穿透单元的法向移动一段距离，移动距离为穿透长度，直至穿透量为零；如果没有穿透，则继续转动标尺，直至穿透。在整个包络线算法中，需要一个循环控制判断，即节点位置判断。循环继续的条件是产生的节点位于发动机罩前缘点下方。

5) 连接各节点，形成发动机罩前端各部件轮廓线。将轮廓线的最前端即包络线算法中求得的最前端切点投影到地面参考面上，并将最前端点与其投影点连接成线，最后将轮廓线与该线连接。

6) 在投影线上求距离地面分别为 1000mm、1500mm、1700mm、2100mm 点。

7) 移动标尺: WAD 线的生成, 主要是通过柔性卷尺贴合车辆前端结构沿着 y 轴方向移动, 柔性卷尺上端与车辆前部结构上表面接触点的几何迹线为相应的包络线, 移动的距离应不小于 100mm。因此, 在自动前处理仿真中, 移动模拟柔性卷尺的标尺, 每次移动距离为 100mm。

8) 连点成线: 将利用包络线算法生成对应 WAD 线的组成点按照顺序连接成线段, 形成车辆一侧 WAD 线, 将该线沿着纵向中心面对称, 与原始一侧 WAD 线连接成一条完整的 WAD 线。

9) 删除辅助的面和线: 利用 WAD 线生成子模块, 对模型进行 WAD 线自动生成, 其实现的过程和结果如图 5 所示。

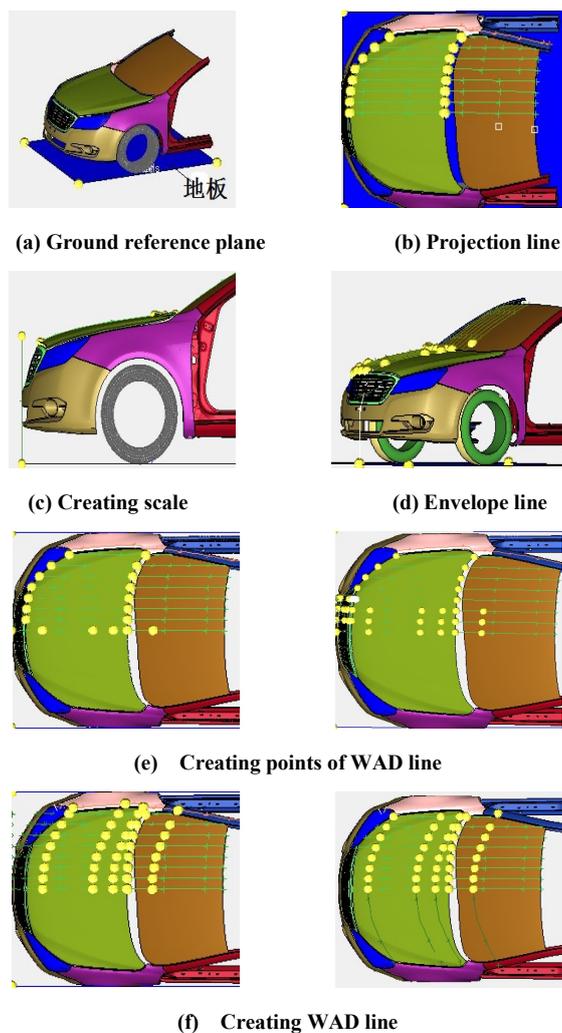


Figure 5. Process of creating WAD line

图 5. 创建 WAD 线过程

4 网格点划分与标记

4.1 Euro NCAP 网格点划分要求

Euro NCAP 网格点标记规定: 以原点为起点, 以 100*100mm 矩阵在头部碰撞区域标记^[4]。如图 6 所示:

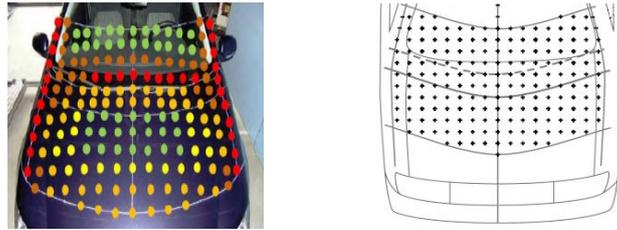


Figure 6. Euro NCAP grid points diagram

图 6. 欧洲 NCAP 网格点图

4.2 网格点标记过程

网格点标记实现的具体过程如下：

1) 生成网格点投影线：在生成 WAD 线时，已经生成了网格点投影线。

2) 确定网格点边界及起始点：网格点必须位于由 WAD 线所定义的头颈部碰撞区域范围内，因此，对于每一列网格点其前后边界点为 WAD1000mm 线和 WAD2100mm 线上的点，左右边界要求网格点到侧参考线的水平距离不超过 50mm。而网格点的起始点为 Euro NCAP 试验规程中定义的网格点原点，即 WAD1000mm 线与车辆纵向中心线的交点。在网格点标记子模块中，网格点边界通过求得对应 y 坐标下，WAD1000mm 线和 WAD2100mm 线上对应点的 x 坐标，如图 7 所示。而网格点原点通过求 WAD1000mm 线与车辆纵向中心线之间的最短距离点获得。

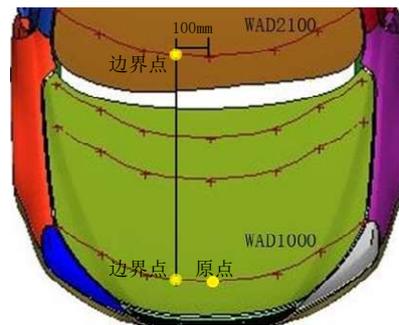


Figure 7. Boundary points and origin point

图 7. 边界点和原点

3) 100*100 矩阵点标记算法：

在仿真的网格点标记子模块中，100*100 矩阵点标记算法主要包括网格点沿着 x 和 y 轴方向的平移、网格点位置判断、网格点投影和不合格网格点删除等部分。

首先，以网格点原点为起始点，沿着 y 轴水平移动，移动距离为 100mm。

其次，判断移动后的网格点是否在网格点边界范围内，网格点位置判断包含两部分：

当纵向中心线上的网格点在 WAD1000mm 和 WAD2100mm 线与纵向中心线的交点之间（包含交点）时，判断方法为将移动后的点坐标与该列上 WAD1000mm 和 WAD2100mm 线上点坐标对比。

如果移动后的网格点 x 坐标值在边界点坐标值之间（WAD1000mm 和 WAD2100mm 线上点 x 坐标值之间），且网格点距离侧参考线的水平距离大于 50mm，则生成网格点，再将网格点投影到对应的投影线上，并将沿着纵向中心平面对称，并将投影点和对称点存入点集之中。继续沿着 y 方向移动上一个网格点，移动距离为 100mm；如果移动后的网格点 x 坐标值不在边界点坐标值之间，则不生成网格点，并将纵向中心线上的上一个点网格点沿着 x 轴移动 100mm。

当纵向中心线上的网格点不在 WAD1000mm 和 WAD2100mm 线与纵向中心线的交点之间时，首先判断纵向中心线上的网格点是否超出 WAD2100mm 最末端边界点，如果未超出，则将纵向中心线上的网格点沿着 y 轴方向移动，直到网格点到相应侧发动机罩侧参考线的水平距离小于 50mm，判断生成的网格点是否在该列所对应边界点的范围内，如果在边界范围内，则将点沿着 z 轴投影到对应的投影线上，并将投影后的点沿着纵向中心平面对称，将投影点与对称点存入点集合之中；如果不在边界范围内，则删除该点，并将纵向中心线上的上一个点网格点沿着 x 轴方向移动 100mm，直至纵向中心线上的点超出了 WAD2100mm 最末端边界点。

4) 标记 A 柱上的网格点：A 柱上的网格点标记方法与发动机罩或者风挡玻璃上表面的网格点标记方法不同。Euro NCAP 试验规程中对 A 柱上网格点的定义是：水平铅垂平面与 A 柱上侧参考线的交点，每隔 100mm 取一个交点，100mm 为水平铅垂平面沿着 X 轴方向移动的距离。在网格点标记子模块中，标记 A 柱上的网格点的算法流程如图 8 所示。完成的网格点划分情况也如图 9 所示。

最终根据 Euro NCAP 规定，对网格点坐标进行标记。

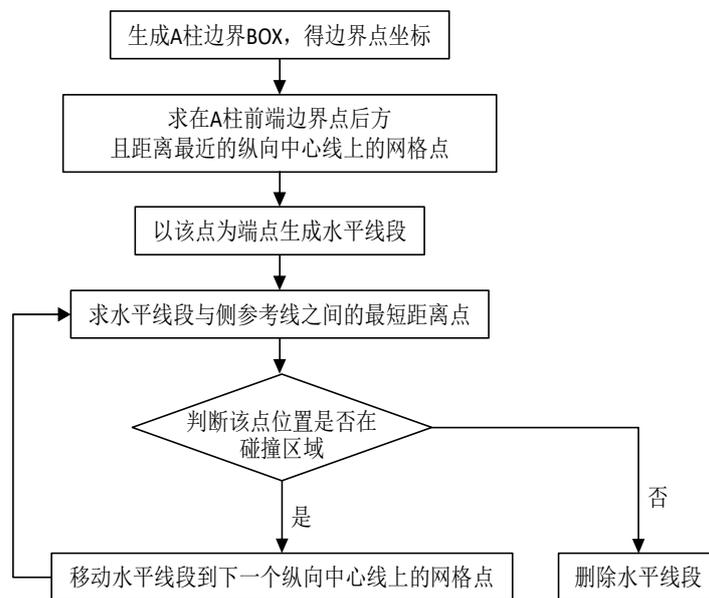


Figure 8. Flow chart of marking on A column

图 8. A 柱流标图

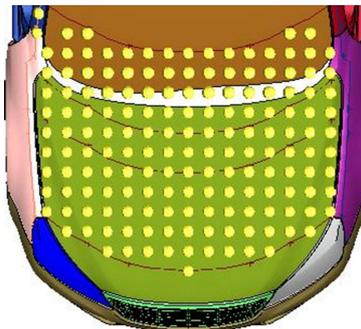
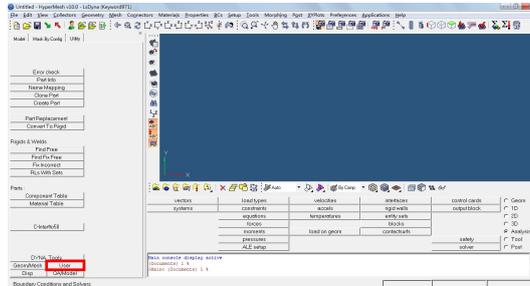


Figure 9. Diagram of grid meshing in HyperMesh

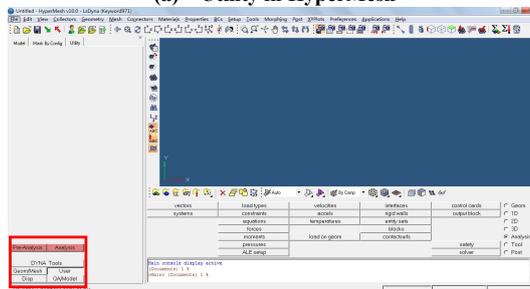
图 9. HyperMesh 网格的网格点图

5 HyperMesh 集成界面

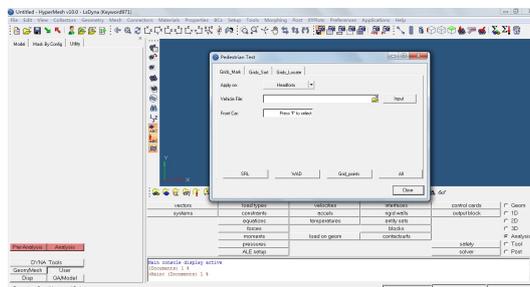
在以上算法的基础上，通过 Tcl/tk 语言进行编译，将有限元功能模块集成到 HyperMesh 中 Utility 选项中的 User 面板中，如图 10 所示，红色标识为用户选项部分。其中前处理模块包含了侧参考线及前端包络线的划分及生成、网格点划分及标记，在前处理自动划分结束后，进行假人头部位位，选择碰撞网格点并导出 KEY 文件；后处理模块包含了自动提交计算和结果分析两部分：选择前处理生成的 KEY 文件，软件针对每次碰撞自动提交 Ls-Dyna 进行运算分析，最后生成碰撞仿真 HIC 值及对应的碰撞点得分情况。



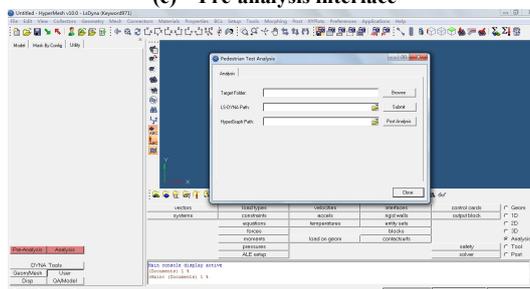
(a) Utility in HyperMesh



(b) User option in HyperMesh



(c) Pre-analysis interface



(d) Analysis interface

Figure 10. Interface in HyperMesh

图 10. HyperMesh 界面

6 结论

本文通过深入研究 Euro NCAP(V6.1)中的行人头部碰撞试验规程和评分原则，按照该规程的具体试验步骤及试验要求，研究并提出行人头部保护仿真的车辆前端侧参考线、车辆前端包络线、网格点划分自动化前处理机理和方法。通过 Tcl\Tk 语言进行编译，将有限元前处理和批量后处理分析功能模块集成到 HyperMesh 中 Utility 选项中的 User 面板，实现行人头部保护碰撞仿真过程及结果计算的自动化，提高了仿真的效率。

致谢

感谢上海市科学技术委员会、同济大学及上海市机动车检测中心在整个研究中的指导和帮助。

References(参考文献)

- [1] Richards D, Carroll J. Relationship between types of head injury and age of pedestrian[J]. Accident Analysis & Prevention, 2012, 47: 16-23.
- [2] Arregui-Dalmases C, Lopez-Valdes F J, Segui-Gomez M. Pedestrian injuries in eight European countries: an analysis of hospital discharge data [J]. Accident Analysis & Prevention, 2010, 42(4): 1164-1171.
- [3] 刘洋, 孙小光, 杨占军等. Euro NCAP 行人保护试验规程 (v5. 3.1 和 v6. 0)分析[J]. 汽车安全与节能学报, 2012,2:009.
- [4] Euro NCAP-Pedestrian-Protocol-V6.1