

# 六面体单元在橡胶衬套的非线性有限元分析中的优越性

石少亮 吴伟蔚 刘新田

上海工程技术大学 汽车工程学院 上海松江区龙腾路 333 号 201620

**摘要:** 在建立有限元模型时,划分的网格类型一般有三种:六面体网格(或以六面体为主楔形网格为辅)、四面体网格和混合网格。HyperMesh 一直以强大的网格处理能力著称,分别用 HyperMesh 和其他 CAE 软件建立同一橡胶衬套的六面体有限元模型和四面体有限元模型(几何模型较复杂在其他 CAE 软件里建立六面体有限元模型难度较大)。然后对模型定义相同的约束条件,采用相同的橡胶本构关系模型进行非线性有限元分析。结果显示六面体网格模型的仿真结果与实验结果吻合的更好,从而可得在橡胶的非线性有限元分析中,在接触起作用时,六面体网格比四面体网格仿真分析更准确,且在接触起作用时更容易使计算收敛。

**关键词:** 橡胶衬套, 接触, 非线性, 有限单元法, HyperMesh

## 1. 引言

众所周知在有限元分析的整个过程中,前处理所花费的时间和精力是最多的,有学者统计前处理所占整个过程的时间比重高达 70%。而前处理所得到的有限元模型网格质量的高低对求解的精度和准确度有决定性的影响。因此前处理的效率的高低以及质量的好坏对整个有限元分析的重要性就不言而喻了,前处理所用的工具软件就显得至关重要。

在线性静力学分析及模态分析中六面体网格比四面体网格的精度要高,这已经是公认的理论了。本文分别用 HyperMesh 和 ABAQUS 建立同一橡胶衬套的六面体网格有限元模型和四面体有限元模型,然后进行计算分析。结果显示在橡胶的非线性有限元分析中,在接触起作用时,六面体网格比四面体网格仿真分析更准确,与实验结果吻合的更好,且在接触起作用时更容易使计算收敛。因此,HyperMesh 在前处理中的优越性可见一斑。

## 2. 有限元模型的建立

### 2.1 六面体网格有限元模型

用 HyperMesh 建立六面体网格有限元模型,在尖角处用楔形单元过渡。因为橡胶衬套是轴对称的,所以划分网格时先将整个模型从中间切开,只需划分好一半,另一半对称创建即可。

在划分网格时,先将衬套的半边模型切割成若干小部分实体模型(关于切割的方法以及

从何处切割只能多加练习，划分的多了自然就有灵感了)。然后在分别在实体表面上划分四边形网格，再投射到整个实体即可得六面体实体网格有限元模型，见图 1，共 24112 个网格单元。

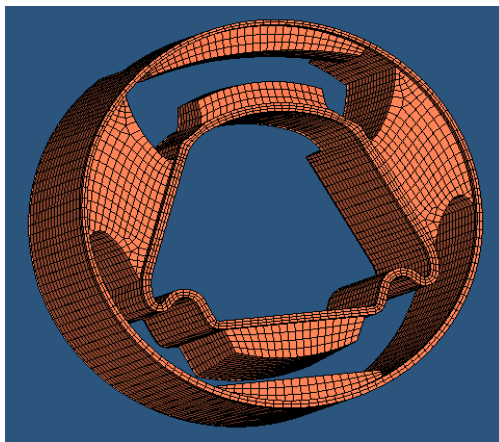


图 1 HyperMesh 建立的橡胶衬套六面体网格有限元模型

## 2.2 四面体网格有限元模型

在 ABAQUS 下建立同一橡胶衬套的四面体网格有限元模型，建模过程很简单，自动生成即可。四面体网格有限元模型如图 2，共 54898 个网格单元。

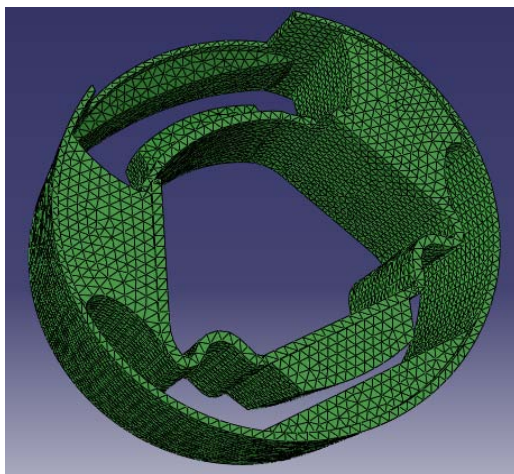


图 2 ABAQUS 建立的橡胶衬套四面体网格有限元模型

## 3. 有限元分析结果及与实验结果的比较

### 3.1 应力分布云图的比较

对以上两个有限元模型定义相同的约束条件，对有可能接触的表面设定相同的接触属性，采用相同的橡胶本构关系模型进行非线性有限元分析。当分别对以上两个模型加载 X 轴正方向的载荷时，六面体模型的最大载荷可以加到 1000N，而四面体模型的最大载荷只能加到 600N，继续加载时计算将不能收敛，会有接触不收敛的错误报告。而橡胶衬套疲劳

试验时要求的 X 轴正方向的最大载荷换算到单个橡胶衬套上至少要 1300N，显然六面体网格有限元模型更能仿真实验的实际工况。计算结果的应力云图分别为图 3 和图 4。疲劳试验中破坏的零件图片如图 5。

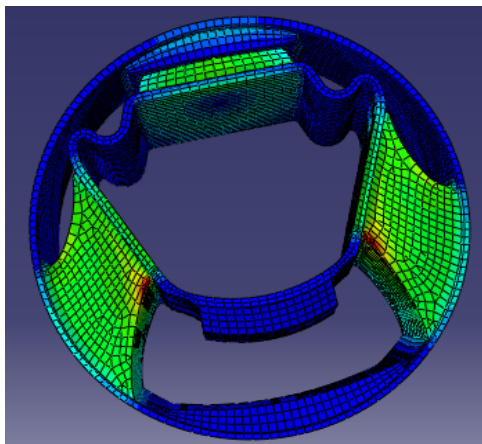


图 3 六面体网格有限元模型计算结果的应力分布图

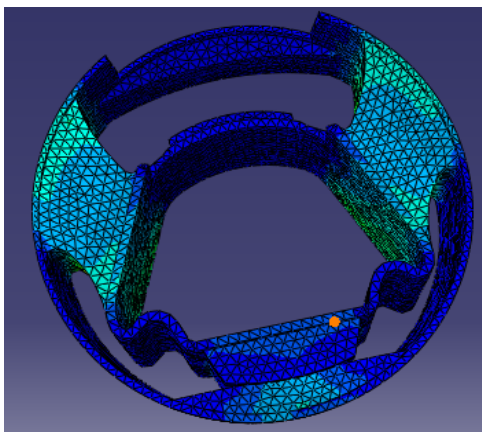


图 4 四面体网格有限元模型计算结果的应力分布图

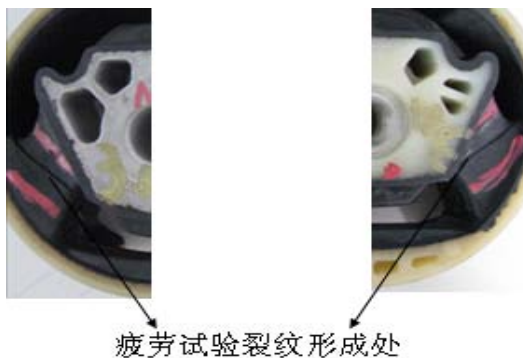


图 5 疲劳试验中发生裂纹破坏的零件

从以上三张图的对比中可以看出，六面体网格模型有限元分析计算的应力最大点正是疲劳试验中裂纹破坏的起始点。所以可得六面体网格模型计算的结果与实验吻合的更好，六面

体网格有限元模型更精确，更适于橡胶的大变形非线性有限元分析及有接触起作用的情况。

### 3.2 应力-载荷曲线的比较

图 6 和图 7 分别为六面体网格有限元模型和四面体网格有限元模型计算结果中应力最大处某单元的应力-载荷曲线。从图中可以看出，虽然计算时采用了相同的橡胶超弹性本构关系模型，但是图 6 中的应力-载荷曲线更接近于橡胶的典型 S 型曲线。也就是说六面体网格有限元模型分析结果的应力-载荷曲线更接近真实情况。

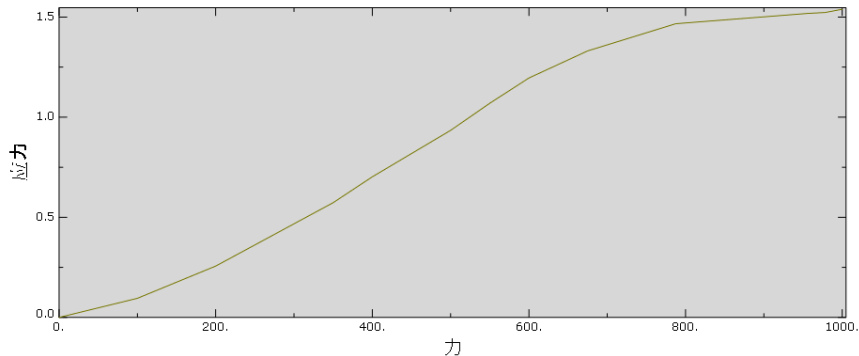


图 6 六面体网格有限元模型计算结果中应力最大处某单元的应力-载荷曲线

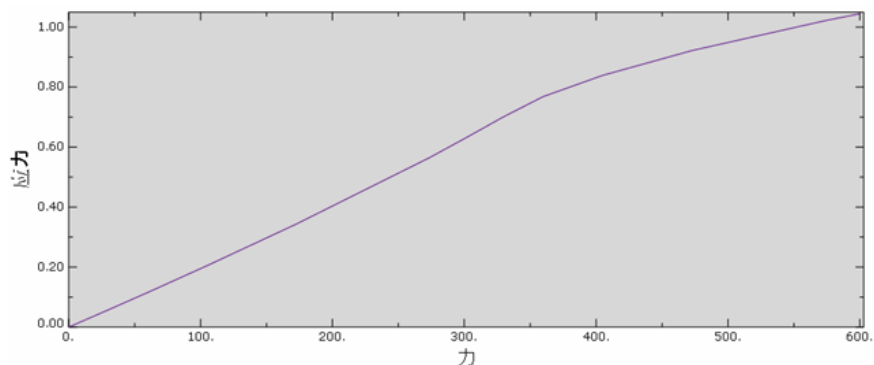


图 7 四面体网格有限元模型计算结果中应力最大处某单元的应力-载荷曲线

## 4. 结论

通过以上分析研究可以得出以下结论：

(1) HyperMesh 在有限元前处理中具有非常大的优势，对六面体网格模型的建立效率高，而且网格质量好。

(2) 对于橡胶的大应变、非线性有限元分析，采用六面体网格建立的有限元模型比四面体网格模型具有更高的精确度，与实验吻合的更好，应力-载荷曲线更符合橡胶材料的非线性特性。

(3) 当有接触对起作用时，六面体网格模型比四面体网格模型具有更好的收敛性，也即计算更容易收敛。

(4) 有限元方法能够很好的仿真计算出橡胶衬套疲劳裂纹的起始位置。

总之, HyperMesh 是非常好的有限元前处理工具软件, 能够高效、高质量的建立六面体网格有限元模型。在橡胶的大应变、非线性有限元分析中, 在接触起作用时, 六面体网格模型比四面体网格模型具有更高的精确度, 且在接触起作用时更容易使计算收敛。

## 5 参考文献

- [1] 李楚琳, 张胜兰, 冯樱等. HyperWorks 分析应用实例. 北京: 机械工业出版社. 2008.
- [2] 靳晓雄, 张强, 单莘. 发动机悬置橡胶元件疲劳特性研究进展[J]. 机械设计与研究, 2009.4, 25 ( 2 ) : 77-89.
- [3] 宋健, 邢如飞. 带橡胶套的稳定杆有限元分析[J]. 汽车工程, 2005 .5.(27) : 592-594.
- [4] 赵振东, 雷雨成, 袁学明. 悬架橡胶衬套变形响应的非线性有限元分析[J]. 上海汽车, 2005.09 : 23-25.
- [5] 庄茁, 张帆, 岑松, 等. Abaqus 非线性有限元分析与实例.北京: 科学出版社. 2005.
- [6] Kim J H, Jeong H Y. A study on the material properties and fatigue life of natural rubber with diferent carbon blacks[J]. International Journal of Fatigue, 2005, 27: 263—272.

**基金项目:** 上海高校知识创新工程 (085工程) 建设项目资助, 编号: JZ0901

# The Superiority of Hexahedral Element in The Nonlinear Finite Element Analysis of The Rubber Bushing

Shi Shaoliang, Wu Weiwei, Liu Xintian

(College of Automobile Engineering, Shanghai University of Engineering Science, 333 LongTeng Road , SongJiang, Shanghai, 201620)

**Abstract:** When a finite element model will be build, there are three mesh types can be build: hexahedral mesh (or mainly hexahedral mesh), tetrahedral mesh and mixed. HyperMesh has been known by powerful processing power of mesh. HyperMesh and ABAQUS were used to build hexahedral and tetrahedral finite element model of a same rubber bushing independently. Because the geometric model is complex, it is difficult to build hexahedral element model with ABAQUS. Then the models were defined the same constrained conditions and used the same rubber constitutive model to proceed nonlinear finite element analysis. The analysis showed that hexahedral mesh model simulation results can be closer to the experiment, and when contact working it can make computing easier for convergence. So, as far as nonlinear finite element analysis of the rubber bushing is concerned, the hexahedral mesh model is more precise than tetrahedral model.

**Key words:** rubber bushing, contact, nonlinear, finite element method

**作者简介:** 石少亮（1980-），男，汉族，内蒙古鄂尔多斯人，上海工程技术大学在读硕士研究生，研究方向为汽车底盘CAE技术。

**通讯地址:** 上海市松江区文汇路1000弄，松江大学城4-18-3011，邮编：201620

**联系人:** 石少亮。 电话：13585859419。 Email:shishaoliang\_123@163.com