

# 超单元在模型简化中的等效应用

周新 代智军 刘海波 徐东辉

天纳克汽车工业有限公司上海研发中心

**摘要:** OptiStruct 求解器具有很强的求解功能, 其能提供快速准确的工程计算。超单元建模简化在复杂工程计算中必不可少, 本文运用 OptiStruct 求解矩阵结合 DMIG 直接矩阵输入方法, 对某型号波纹管等效刚度进行了分析。计算结果表明, 超单元简化后的模型与简化前具有相同的等效刚度。

**关键词:** OptiStruct, 超单元, DMIG, 等效刚度

## 1 引言

随着有限元分析技术在汽车、航空、船舶、土木、电子等领域的广泛应用, 有限元在工业现代化发展中起着越来越重要的作用。实际问题通常都是很复杂的, 要把一个复杂的连续系统离散为简单的有限元网格单元, 模型的简化技术显得很是重要。将一个复杂的问题简单化, 不仅能够降低计算对软件、硬件的要求, 同时也能够大大缩短产品的开发时间、降低研发成本。简化模型的基本原则就是简化后的模型在刚度、强度等物理特性上要与实际物理模型具有等效性。本文正是基于这一等效原则, 运用超单元方法(节点直接矩阵输入)并结合 OptiStruct 的计算功能, 对某波纹管刚度进行了等效分析研究。

## 2 有限元模型及刚度等效分析

### 2.1 有限元模型

在基于模态叠加理论的动态响应计算中, 波纹管由于其薄壁结构这一特性, 其在一定频率范围内具有大量的局部模态, 这将增加动态响应计算时间, 因此需要进行简化。某型号波纹管三维有限元模型如图1所示。简化前有限元模型共有节点49688个, 单元48226个; 超单元简化处理后有限元模型共有节点3428个, 单元 2144个, 相比简化前节点数减少93%, 单元数减少95.6%。其中波纹管管套用壳单元进行模拟, 管套的厚度为1.0mm, 波纹管两端护圈用实体单元进行模拟。材料为不锈钢, 弹性模量为210GPa, 泊松比为0.28, 密度为7800Kg/m<sup>3</sup>。

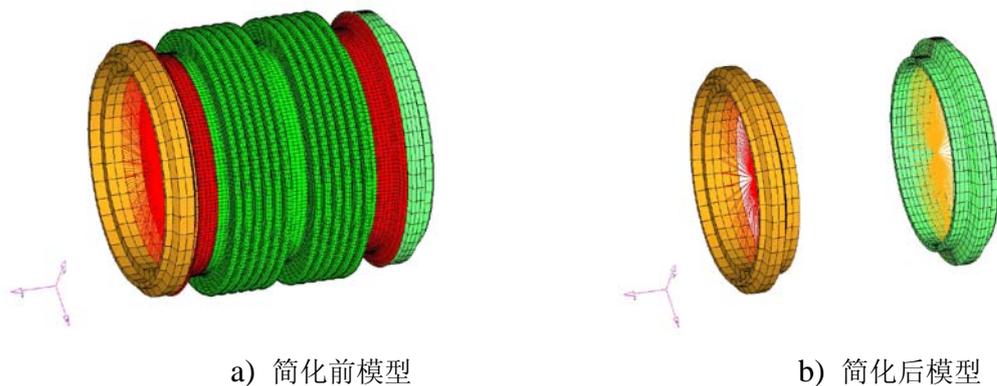


图 1 有限元模型

## 2.2 刚度等效分析

对于一个单自由度振动系统，可以建立如下关系式：

$$[m_e]\ddot{x} + [c_e]\dot{x} + [k_e]x = [F(t)]$$

其中 $[m_e]$ 、 $[c_e]$ 、 $[k_e]$ 分别为等效质量矩阵、阻尼矩阵与刚度矩阵， $[F(t)]$ 为外激励力。由上述关系式可知：对于一个系统，只要能够建立起外激励力与系统的质量矩阵、阻尼矩阵以及刚度矩阵之间的关系，就能够求出系统在该外激励力下的响应。当系统的刚度矩阵占主导时，可以忽略质量矩阵与阻尼矩阵的影响，上述关系式就简化成：

$$[k_e]x = [F(t)]$$

这表明只要系统在相同的外激励下具有相同的位移响应，系统将具有等效的刚度；也即，当系统承受相同的外激励力并且具有相同的等效刚度，系统将有相同的位移响应。

本文正是基于上述原则，运用 DMIG 超单元直接矩阵输入卡，结合 OptiStruct 求解器运算功能，建立模型的等效矩阵，达到简化模型、缩短计算时间的目的。如下表 1 为等效计算结果部分程序。

表 1 等效计算结果部分程序

```

$
DMIG KAINLET 0 6 2 0 0 12
$
$
DMIG* KAINLET 9001 1
* 9001 1 1.30069190141D3
* 9001 2 -2.7872494123D-2
* 9001 3 -3.43118645296D0
* 9001 4 6.0695754702D-3
* 9001 5 7.98239294105D4
* 9001 6 -6.82894724612D2
* 9002 1 -1.30069189997D3
* 9002 2 2.7872503948D-2
* 9002 3 3.43118645403D0
* 9002 4 6.7010824743D-1
* 9002 5 7.98271521820D4
* 9002 6 -3.57671437619D2
$
DMIG* KAINLET 9001 2
* 9001 2 1.30066266707D3
* 9001 3 -6.04922792264D0
* 9001 4 -7.98242926737D4
.....
.....
    
```

为了比较简化后与简化前波纹管的刚度特性，分析中将波纹管一端固定，另一端施加一个轴向或者纵向力，力的大小为 1000N，如图 2 为简化前边界条件与轴向载荷。

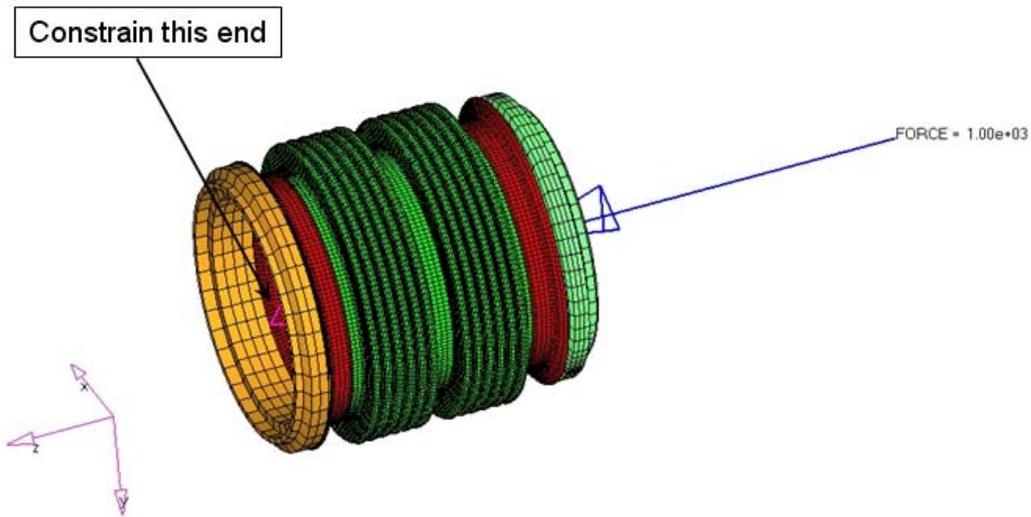


图 2 载荷与边界条件

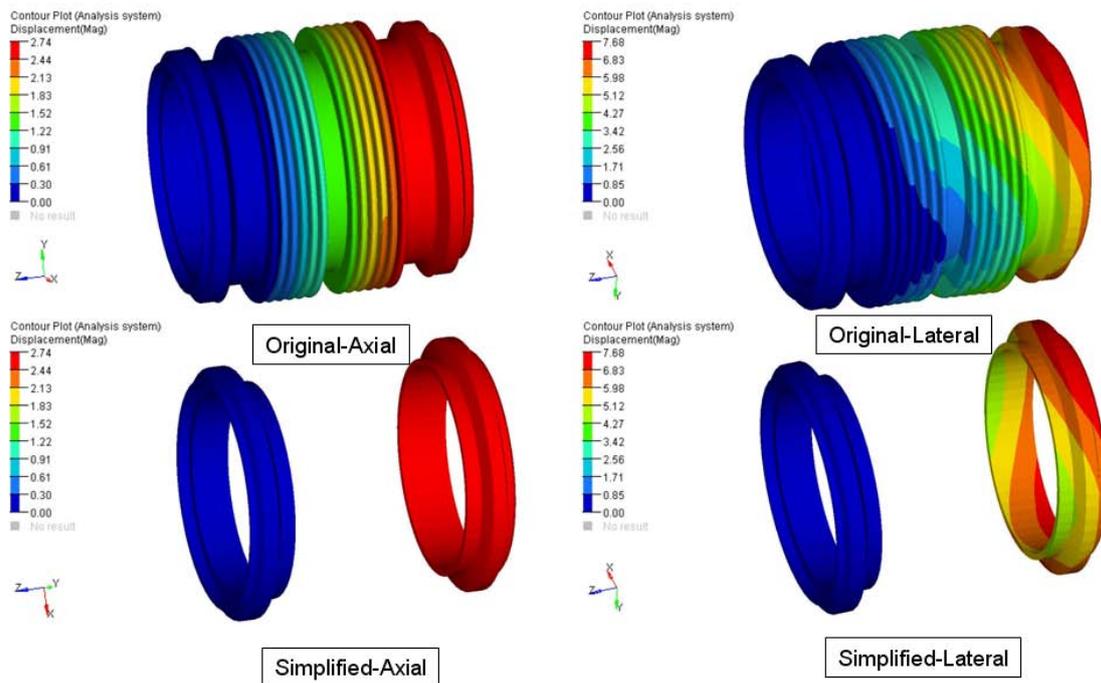


图 3 波纹管轴向与纵向力作用下位移云图

由图 3 可知，波纹管在简化前与超单元简化后承受轴向 1000N 载荷作用下轴向最大位移为 2.74mm(对应轴向刚度为 365N/mm)，纵向 1000N 载荷作用下纵向最大位移为 7.68mm(对应纵向刚度为 130.2N/mm)。由计算可知，波纹管轴向与纵向在等效前后具有相同的刚度。

### 3 结论

本文利用 DMIG 超单元, 结合 OptiStruct 求解器计算功能, 对某型号波纹管进行了等效强度研究。研究表明: 运用超单元等效出的各个方向刚度与等效前具有高度的一致性, 同时也表明基于 HyperWorks 的 OptiStruct 求解器在计算与模型等效中可以发挥巨大作用, 为实际复杂问题的简单化提供解决问题的方案。

### 4 参考文献

[1] Altair Engineering, "OptiStruct Manual".

[2] 于开平 周传月 谭惠丰等编著 HyperMesh 从入门到精通 科学出版社 2005.5

## Application of Super-element in Model Simplification

**Abstract:** Based on OptiStruct solver, combined with super-element simplification, the effective stiffness of a flex coupling was studied in this paper. Numerical results showed that the same effective stiffness was found in models before and after simplification.

**Key words:** Super-element, model simplification, effective stiffness