

基于优化方法的有限元模型修正方法^{*}

杨序贵, 刘守圭

(中山大学应用力学与工程系, 广东 广州 510275)

摘要: 在进行结构动力分析时, 依据理论建立的有限元模型与结构的实际情况不可避免地存在着差异, 必须用试验得到的结果对有限元模型进行修正。利用 ANSYS 有限元软件的优化功能对一悬臂梁进行模型修正, 修正后的有限元模型具有很高的精度。该方法修正过程简单, 且修正效果好, 为有限元模型修正方法提供了例证。

关键词: 有限元; 模型修正; 优化; ANSYS

中图分类号: O326 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) S1-0161-02

在航天、航空、机械、土木、交通等领域, 为进行结构系统响应预测、噪声控制、状态监控和故障诊断, 需要建立准确的计算模型, 工程中常用有限元模型。但是, 在建立有限元模型时, 常隐含理想化假定或简化等诸多不确定因素存在, 使得理论分析结果与实际测试结果出现偏差, 不少情况下这种偏差会超出工程许可范围。因此, 利用结构模态试验的结果对有限元模型进行修正成为国内外振动界广泛研究的课题^[1,2]。本文基于 ANSYS 软件的优化设计功能来对文献的算例进行有限元模型修正^[3,4], 介绍基于 ANSYS 软件平台对有限元模型的修正方法, 如何有效地在 ANSYS 优化设计中构建目标函数实现有限元模型修正。本文该方法修正过程简单, 便于工程实际应用, 该方法修正文[4]的算例达到很高的精度, 表明该方法的可行性和有效性。

1 模型修正方法

本文用 ANSYS 软件建立有限元模型进行模态分析, 将有限元模型计算得到的固有频率与实际测试频率的相对误差平方和作为目标函数, 假定有限元模型和模态试验测得的前 k 阶固有频率分别为 f_i 和 $\bar{f}_i$, 其前 k 阶固有频率作为状态变量, 有限元模型中一些不确定参数 x (如: 几何尺寸、刚度、边界条件等) 作为设计变量, 运用 ANSYS 软件的优化方法进行优化迭代, 最后得到较为精确的有限元模型。目标函数具体可写为如下一般形式:

$$F(x) = \min \sum_{i=1}^k [f_i(x) - \bar{f}_i]^2$$

$$\text{约束条件: } x_a \leq x \leq x_b \quad (1)$$

该问题可以用 ANSYS 中零阶优化方法的 Sub-Problem (子问题法) 解决, 该方法按照单一步长在每次计算后将设计变量在变化范围内加以改变^[5]。设第 j 次迭代时的设计变量为, 第 $j+1$ 次迭代时的设计变量为, 可由下式得到:

$$x_{j+1} = x_j + ad_j \quad (2)$$

式中: a 为步长因子, d_j 为搜索方向。迭代的收敛条件为

$$F(x_{j+1}) \leq \delta \quad (3)$$

其中 δ 为目标函数的公差。

2 有限元模型修正

有限元模型的误差主要来自三个方面: 模型结构误差、模型阶次误差和模型参数误差。通常模型参数误差是有限元模型误差的最主要因素。模型参数误差一般由不精确的材料、几何参数和连接、边界条件等引起^[6,7]。有限元模型修正的修正对象可分为两类: 一类是有限元模型的刚度矩阵、质量矩阵、甚至阻尼矩阵中的元素; 另一类是有限元模型的设计参数, 包括物理参数与几何参数^[1]。本文对一悬臂梁的物理参数进行修正。

例 1: 本文对文[4]的算例进行修正, 一悬臂梁如图 1 所示, 断面尺寸为 $6 \text{ mm} \times 35 \text{ mm}$, 弹性模量 $E=200 \text{ GPa}$, 密度 $\rho=7\,800 \text{ kg/m}^3$ 。

试验测得梁前三阶的固有频率为 $\omega_1=29.50 \text{ Hz}$, $\omega_2=183.21 \text{ Hz}$, $\omega_3=517.65 \text{ Hz}$ 。

* 收稿日期: 2005-02-02

基金项目: 信息产业部电子五所电子元器件可靠性物理及其应用技术国家级重点实验室资助项目

作者简介: 杨序贵 (1975 年生), 男, 硕士生; 通讯联系人: 刘守圭; E-mail: kenvinyang@163.com

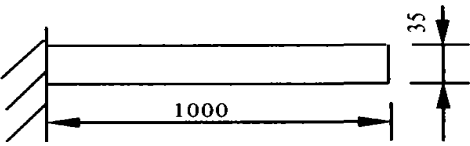


图 1 悬臂梁
Fig 1 cantilever beam

本例悬臂梁的弹性模量和密度都是理论给定的值，与实际值存在误差。因而，依据试验测得前三阶固有频率运用 ANSYS 软件的优化设计功能对弹性模量和密度进行修正，修正后有限元模型计算得的结果如表 1 所示。

表 1 各方法计算得的频率（Hz）对照表

Tah 1 The frequency comparison of difference
model updating methods

	理论 模型	文 [8] 方法 1	文 [8] 方法 2	文 [4] 方法 1	文 [4] 方法 2	本文 方法	试验 测值
第一阶	28.62	29.92	30.15	29.75	29.78	29.54	29.50
第二阶	179.17	185.13	187.35	183.97	184.35	184.90	183.21
第三阶	501.32	524.66	529.78	519.78	521.64	517.40	517.65

3 结 论

本文基于 ANSYS 软件的优化设计功能对文 [4] 的算例进行有限元模型修正，修正后有限元模型计算得到的各阶频率精度都有所提高。修正结果表明，ANSYS 软件的优化设计能较好的对有限元模型进行修正，且计算过程简单，收敛速度快，修正物理意义明确，因而比较适合于工程应用。

参考文献:

[1] 廖伯瑜, 周新民, 尹志宏. 现代机械动力学及其工程应用——建模、分析、仿真、修改、控制、优化 [M] . 北京: 机械工业出版社, 2004.

[2] 刘守圭, 杨序贵, 何小琦, 等. 栅控电子枪部件的模型修正方法 [J] . 中山大学学报 (自然科学版) 2004, 43 (6) : 175—177.

[3] 易日. 使用 ANSYS6.1 进行结构力学分析 [M] . 北京: 北京大学出版社, 2002.

[4] 黄东胜, 黄方林, 顾松年. 一种改进的动力缩聚及模型修正方法 [J] . 长沙铁道学院学报, 1996, 14 (4) : 72—77.

[5] 博弈创作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例 [M] . 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[6] 荣见华, 郑健龙, 徐飞鸿. 结构动力修改及优化设计 [M] . 北京: 人民交通出版社, 2002.

[7] 李书, 朱金才, 冯太华. 一种动力模型的局部修正方法 [J] . 振动工程学报, 1995, 8 (1) : 46—51.

[8] HUANG Fanglin, GU Songnian. A new approach for model reduction [C] . In: Proc. of the 11th IMAC, Florida USA, 1993; 1237—1240.

Finite Element Model Updating Method Based on Optimization

YANG Xu gui, LIU Shou-gui

(Department of Applied Mechanics and Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: When analyzing a dynamic structural model, they should recognize that there is inevitably a difference the model and the real structure. To make the model accurate, it is necessary to update the model with the results of the test. In this article, optimization function of ANSYS is used to update a cantilever beam. After the optimization, they can obtain precise finite element model. Results show that this approach is feasible and possesses a greater accuracy, and the process of this updating method is very simple for application.

Key words: finite element; model updating; optimization; ANSYS