

基于实验复模态参数的有限元模型修正

冯文贤 陈新

(广东工业大学机电系, 广州, 510090)

UPDATING DESIGN PARAMETERS OF FINITE ELEMENT MODEL BY USING TEST COMPLEX MODAL DATA

Feng Wenxian, Chen Xin

(Guangdong University of Science and Technology, Guangzhou, 510090)

摘要 提出了一种利用非完备实验复模态参数, 修正带有非比例阻尼矩阵结构有限元模型的迭代修正方法。首先, 对处理困难的阻尼矩阵表达为质量与刚度矩阵的多项式组合, 并给出了物理解释, 被修正参数为该多项式的系数和结构的某些局部几何、材料参数, 其修正结构物理意义明确, 与结构的动态设计相适应, 实例表明了本文修正方法的有效性。

关键词 有限元模型 非比例阻尼 复模态参数 模型修正

中图分类号 V216.2, V214.1

Abstract A method of finite element model updating via iteration by using incomplete test complex modal data is presented. For the convenience of updating, the system non-proportion damping matrix is expressed into a matrix polynomial of the mass and stiffness matrixes, and the physical meaning of the polynomial is explained. The updating parameters are the polynomial coefficient and structural design parameters (such as local geometric and material parameters). So the model updated has a clear physical meaning. The method can be applied not only to the FEM updating, but also to structural dynamical design. Numerical examples show its efficiency and accuracy.

Key words finite element model, non-proportion damping, complex model data, model updating

利用动态实验数据修正结构的有限元分析模型是工程界目前最为关注的问题之一。自1971年 Berman 和 Flamly 的论文发表以来^[1], 人们已做了大量研究, 发展了许多修正方法。这些方法就修正的对象而言, 大体上可分为矩阵型与设计参数型两大类。

从动态设计的角度来看, 矩阵型修正方法难以用实际结构设计参数说明修正后的模型, 因而不便于工程应用。而设计参数型方法能保持原模型系统矩阵的对称带状特征, 修正结果具有明确的物理意义, 并与动态设计兼容, 因此实用性很强。

在被修正量的计算方法上也有不同方法。如 Collins(1974), Ojalvo(1988), Wei(1989) 等人用系统的模态参数对修正参数的变化灵敏度作依据, 进行模型设计参数的修正^[2~4], 然而, 正如文献[5]所评述的那样, 灵敏度最大的设计参数并不一定是误差最大的参数, 所以, 这类方法的修正理

论依据有待进一步研究。Ewins(1990), Link(1992), 荣(1992) 等人则通过不同途径, 建立起修正参数应满足的线性方程组^[6~8], 通过解方程组来确定修正量, 这一类方法的理论依据较充分, 是目前应用较多的一类方法。

现有的修正方法, 特别是参数型修正方法, 一般都只考虑实模态情况, 但实际结构中, 复模态情况更普遍。虽然 Ibrahim 曾提出过从复模态中提取实模态参数的方法^[9], 但由于其结果的唯一性没有解决而不便实用^[10]。

本文提出了一种利用非完备实验复模态参数修正结构有限元模型的迭代修正方法, 该方法的主要思想是: 认为结构有限元模型误差主要来源于某些形状或物理性质太复杂的局部, 其结构质量与刚度矩阵的误差可直接由这些局部的几何、材料参数来修正, 质量、刚度矩阵的误差同时又影响阻尼矩阵, 因此, 本文将阻尼表达为质量、刚度矩阵多项式, 再通过修正多项式系数来修正阻尼矩阵。

1 阻尼矩阵的描述

众所周知, 结构有限元建模时, 其阻尼矩阵很

精确描述,传统的 Rayleigh 阻尼只是一种实模态情形,1992年,美国国家地震中心博士 Liang 与教授 Lee 等人提出了一种阻尼矩表达方式^[11],即将结构的阻尼矩阵 C 表达为其质量 M 与刚度 K 的多项式,其最简单的情形为

$$C = B_0 I + B_1 M + B_2 K \quad (1)$$

其中: I 为单位矩阵; B_0, B_1, B_2 为系数。对于式(1)只要

$$MK \neq KM \quad (2)$$

则式(1)表达 C 是非比例阻尼,简单说明如下:

由 Caughey 准则^[12], M-C-K 系统是复模态的充分条件是

$$CM^{-1}K \neq KM^{-1}C \quad (3)$$

将式(1)分别代入式(3)的不等式两边有

$$CM^{-1}K = (B_0 I + B_1 M + B_2 K)M^{-1}K = B_0 M^{-1}K + B_1 K + B_2 KM^{-1}K \quad (4)$$

$$KM^{-1}C = KM^{-1}(B_0 I + B_1 M + B_2 K) = B_0 KM^{-1} + B_1 K + B_2 KM^{-1}K \quad (5)$$

由于 $MK \neq KM$, 即也有 $M^{-1}K \neq KM^{-1}$, 则式(4)与式(5)不相等, 即有

$$CM^{-1}K \neq KM^{-1}C$$

所以 M-C-K 系统导致复模态。值得指出,对大多数工程结构来说,不等式(2)的条件总是容易满足的,因而,式(1)能表达非比例阻尼。

关于式(1)各项系数的物理意义可这样解释:

如果阻尼耗散能量 DW_d 由 $I_{\text{toth}}^{[13]}$ 定义

$$DW_d = D \left[\int_V u^T f_d dV \right] \quad (6)$$

式中: u 为位移向量; f_d 为单位体积上阻尼力(或耗散力)向量,则有如下分析:

情况 1 对粘性阻尼,耗散力正比于速度,则

$$f_{d1} = B_1 \frac{d}{dt}(u) = B_1 u \quad (7)$$

这里 B_1 为比例系数。

将系统(或结构)按有限元方法离散,则位移 u 可由节点位移 X 与形函数矩阵 N 表示

$$u = NX$$

耗散能可写为

$$DW_d = D \left[\int_V u^T f_d dV \right] = D \left[B_1 \int_V X^T N^T N X dV \right] = DX^T \left[B_1 \int_V N^T N dV \right] X \quad (8)$$

因此,对假定为粘性阻尼的阻尼矩阵可写为

$$C = B_1 \left[\int_V N^T N dV \right] \quad (9)$$

这里,下标“1”表示第 1 种阻尼力 f_{d1} 的作用下产生的阻尼。

注意到系统的质量矩阵可与为

$$M = Q \left[\int_V N^T N dV \right] \quad (10)$$

式中: Q 为质量密度。比较 C_1 的表达式有

$$C_1 = \frac{B_1}{Q} \left[Q \int_V N^T N dV \right] = BM \quad (11)$$

式中: $B = B_1/Q$ 。

上面的解释说明: BM 项是考虑正比于速度的耗散力引起的阻尼。

情况 2 引入粘性阻尼应力张量 R_d , 它正比于应力对时间的导数。

$$R_d = B_2 \frac{d}{dt}(EB) = B_2 EE' \quad (12)$$

这里: E 为结构的应变张量; B_2 为比例系数。对小应变情况,应变可由位移表达

$$E = LN X = B X \quad (13)$$

式中: L 为一几何变换矩阵; $B = LN$, 则耗散能可表达为

$$DW_d = D \int_V E^T R_d dV = \int_V DX^T B^T (B_2 EB X) dV = DX^T \left(B_2 \int_V B^T E B dV \right) X \quad (14)$$

此时,阻尼矩阵可写为

$$C_2 = B_2 \left[\int_V B^T E B dV \right] = B_2 K \quad (15)$$

这里

$$K = \int_V B^T E B dV$$

正好是有限元方法中的刚度矩阵。

上面的推导说明, $B_2 K$ 项是结构的应力分布引起的阻尼。

如果仅仅考虑上面提到的 2 种阻尼,即 C_1 和 C_2 , 则阻尼矩阵表达为

$$C = BM + B_2 K$$

这就是 Rayleigh 阻尼。

情况 3 回到式(1)的阻尼矩阵式, $B_1 I$ 项可以理解为堆集阻尼,也就是说,类似于堆集质量,阻尼也可以在节点堆集,这一概念也可在许多实际工程结构中得以理解,如阻尼不仅存在于结构材料中,也存在于结构的联接处,而且后者往往大于前者,在这种情况下,堆集阻尼的假设将更恰当,此时 $\int_V N^T N dV$ 降为对角矩阵,为简化处理,如果用

单位矩阵冠以适当的系数 B_0 来近似堆集阻

尼, 则阻尼矩阵可简单地表达为

$$C_3 = B_0 I \quad (16)$$

同时考虑上面 3 种情况, 即联合式 (9)、式 (15) 与式 (16), 便得到式 (1) 的简化阻尼表达式。

2 利用实验复模态参数修正有限元模型的原理

假定系统的初始有限元模型的质量、刚度、阻尼矩阵分别为 $M_{0n \times n}$, $K_{0n \times n}$, $C_{0n \times n}$, 当部分参数修正而产生的变化为 $\$M_{n \times n}$, $\$K_{n \times n}$, $\$C_{n \times n}$, 则被修正模型质量、刚度与阻尼矩阵满足

$$M = M_0 + \$M \quad (17a)$$

$$K = K_0 + \$K \quad (17b)$$

$$C = C_0 + \$C \quad (17c)$$

对 M, K , 根据误差来源, 可将其分为两大组

$$M = M_I + M_{II} \quad (18a)$$

$$K = K_I + K_{II} \quad (18b)$$

其中: M_I, K_I 与具有误差的局部无关, 而 M_{II}, K_{II} 与具有误差的局部相关。需要修正的只是 M_{II} 与 K_{II} 。

设 M_{II} 与 K_{II} 中有待修正的独立设计变量为 $p_k (k = 1, 2, \dots, N_p)$ (p_k 指几何参数或材料参数), 将 M_{II}, K_{II} 对 p_k 作台劳展开, 取前两项有

$$M_{II} = M_{0II} + \sum_{k=1}^{N_p} \frac{\$M_{II}}{\$p_k} \$p_k \quad (19a)$$

$$K_{II} = K_{0II} + \sum_{k=1}^{N_p} \frac{\$K_{II}}{\$p_k} \$p_k \quad (19b)$$

则修正量矩阵为

$$\$M = \$M_{II} = \sum_{k=1}^{N_p} \frac{\$M_{II}}{\$p_k} \$p_k \quad (20a)$$

$$\$K = \$K_{II} = \sum_{k=1}^{N_p} \frac{\$K_{II}}{\$p_k} \$p_k \quad (20b)$$

其中: $\$p_k$ 是设计参数的修正量, 为整个修正过程的待求未知数; M_{0II} 与 K_{0II} 为初始有限元模型中与局部相关部分的质量与刚度矩阵。

由式 (1) 将 B_0, B_I 与 B_2 连同 M_{II}, K_{II} 待修正的几何、材料等参数作为待修正参数, 则阻尼矩阵可写为

$$C = B_0 I + B_I M_I + B_2 K_I =$$

$$B_0 I + B_I M_{0I} + B_2 K_{0I} +$$

$$\sum_{k=1}^{N_p} B_I \frac{\$M_{II}}{\$p_k} \$p_k +$$

$$\sum_{k=1}^{N_p} B_2 \frac{\$K_{II}}{\$p_k} \$p_k +$$

$$I \$B_1 + M_0 \$B_1 + K_0 \$B_2 =$$

$$C_0 + \sum_{k=1}^{N_p} \left(B_I \frac{\$M_{II}}{\$p_k} + B_2 \frac{\$K_{II}}{\$p_k} \right) \$p_k +$$

$$I \$B_1 + M_0 \$B_1 + K_0 \$B_2 \quad (21)$$

于是有

$$\$C = \sum_{k=1}^{N_p} \left(B_I \frac{\$M_{II}}{\$p_k} + B_2 \frac{\$K_{II}}{\$p_k} \right) \$p_k + \quad (22)$$

$$I \$B_1 + M_0 \$B_1 + K_0 \$B_2$$

设实验测得前 m 阶复模态参数: 复频率 K_i , 复振型 $W_{q \times i} (i = 1, 2, \dots, m)$, 其中, q 为复振型的测量自由度。先 $p = n$, 由复振型正交条件 (这里复振型为归一化振型)

$$\begin{Bmatrix} W \\ WK_i \end{Bmatrix}^T R \begin{Bmatrix} W \\ WK_i \end{Bmatrix} = D_i, \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

$$\begin{Bmatrix} W \\ WK_i \end{Bmatrix}^T S \begin{Bmatrix} W \\ WK_j \end{Bmatrix} = -K_i D_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (24)$$

其中:

$$R = \begin{bmatrix} C & M \\ M & 0 \end{bmatrix}, \quad S = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & -M \end{bmatrix}$$

$$D_i = \begin{cases} 1 (i = j) \\ 0 (i \neq j) \end{cases}$$

经整理得

$$\left. \begin{aligned} W^T M W K_i + K W^T M W + \\ W^T C W = D_i \\ K W^T M W K_j - W^T K W = K D_j \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

将式 (17), 式 (20) 与式 (21) 代入上两式得

$$\begin{aligned} & W^T M_0 W K_i + K W^T M_0 W + \\ & W^T C_0 W + \sum_{k=1}^{N_p} \left\{ W^T \left[\frac{\$M_{II}}{\$p_k} \right] W K_i + \right. \\ & K W^T \left[\frac{\$M_{II}}{\$p_k} \right] W + B_I W^T \left[\frac{\$M_{II}}{\$p_k} \right] W + \\ & \left. B_2 W^T \left[\frac{\$K_{II}}{\$p_k} \right] W \right\} \$p_k + \\ & W^T (I \$B_0 + M_0 \$B_1 + K_0 \$B_2) W = \\ & W^T (M_0 (K + K_i) + C_0) W + W^T \delta \end{aligned}$$

$$\left[\sum_{k=1}^{N_p} \left\{ \left[\frac{\$M_{II}}{\$p_k} \right] (K + K_i + B_I) + \left[\frac{\$M_{II}}{\$p_k} \right] B_2 \right\} \$p_k \right] W + W^T (I \$B_0 + M_0 \$B_1 + K_0 \$B_2) W = D_i \quad (26a)$$

$$K W^T M_0 W K_j - W^T K_0 W +$$

$$\sum_{k=1}^{N_p} \left\{ K W^T \left[\frac{\$M_{II}}{\$p_k} \right] W K_j - W^T \left[\frac{\$K_{II}}{\$p_k} \right] W \right\} \delta$$

$$\begin{aligned}
 & \mathcal{P}_k = \mathbf{W}^T (\mathbf{K} \mathbf{M}_0 \mathbf{K} - \mathbf{K}_0) \mathbf{W} + \\
 & \mathbf{W}^T \left[\sum_{k=1}^{N_p} \left(\mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{II} \\ 5p_k \end{bmatrix} \mathbf{K} - \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{II} \\ 5p_k \end{bmatrix} \right) \mathcal{P}_k \right] \mathbf{W} = \\
 & \mathbf{K} \mathbf{D}_i \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = i, i + 1, \dots, m)
 \end{aligned} \tag{26b}$$

对于式(26a), 式(26b), 可写成如下矩阵形式

$$\tilde{\mathbf{A}}_{2S \times \tilde{N}_p} \tilde{\mathbf{A}}_{\tilde{N}_p \times 1} = \tilde{\mathbf{a}}_{2S \times 1} \tag{27}$$

其中: $\tilde{\mathbf{A}}_{\tilde{N}_p \times 1} = [\mathcal{P}_1, \mathcal{P}_2, \dots, \mathcal{P}_{N_p}, \mathcal{B}, \mathcal{B}, \mathcal{B}]^T$; $\tilde{N}_p = N_p + 3$; $S = m(m + 1)/2$, 该方程组为一复系数方程组(因为式(26)中 $\mathbf{K}, \mathbf{K}, \mathbf{W}, \mathbf{W}$ 均为复数)。

式(27)的求解应考虑复数运算, 将式(27)的复数实、虚部分开有

$$(\tilde{\mathbf{A}}_R + \tilde{\mathbf{A}}_i) \mathbf{A} = \tilde{\mathbf{a}}_R + \tilde{\mathbf{a}}_i \tag{28}$$

取方程两边实、虚部分别相等有

$$\tilde{\mathbf{A}}_R \mathbf{A} = \tilde{\mathbf{a}}_R \tag{29a}$$

$$\tilde{\mathbf{A}}_i \mathbf{A} = \tilde{\mathbf{a}}_i \tag{29b}$$

令

$$\tilde{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{A}}_R \\ \tilde{\mathbf{A}}_i \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{a}} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{a}}_R \\ \tilde{\mathbf{a}}_i \end{bmatrix}$$

式(28)可写为

$$\tilde{\mathbf{A}}_{4S \times \tilde{N}_p} \tilde{\mathbf{A}}_{\tilde{N}_p \times 1} = \tilde{\mathbf{a}}_{4S \times 1} \tag{30}$$

于是, 分别按照 $4S = \tilde{N}_p$, $4S > \tilde{N}_p$ 与 $4S < \tilde{N}_p$, 3种情况(适定, 超定与亚定), 分别采用一般线性方程组求解或最小二乘求解或在 $\|\mathbf{A}\|$ 范数极小条件下求解, 即可求解设计参数的修正量 \mathbf{A} 。

下面再讨论 $q < n$ 的情况, 即振型的测试自由度小于原模型的自由度。将第 i 阶复振型 \mathbf{W} 按已测量与未测量自由度分块

$$\mathbf{W} = \left. \begin{matrix} \mathbf{W}_{q \times 1}^{\sharp} \\ \mathbf{W}_{(n-q) \times 1}^{\flat} \end{matrix} \right\} (i = 1, 2, \dots, m)$$

式中: $\mathbf{W}_{q \times 1}^{\sharp}$ 为已测自由度上复振型分量; $\mathbf{W}_{(n-q) \times 1}^{\flat}$ 为未测量自由度上复振型分量。于是, 将 \mathbf{M}, \mathbf{C} 和 \mathbf{K} 也按同样方法分块, 可得分块后的特征方程

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}^{\sharp} \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{aa} & \mathbf{M}_{ab} \\ \mathbf{M}_{ba} & \mathbf{M}_{bb} \end{bmatrix} + \mathbf{K}^{\flat} \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{aa} & \mathbf{C}_{ab} \\ \mathbf{C}_{ba} & \mathbf{C}_{bb} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{aa} & \mathbf{K}_{ab} \\ \mathbf{K}_{ba} & \mathbf{K}_{bb} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{W}^{\sharp} \\ \mathbf{W}^{\flat} \end{Bmatrix} = \mathbf{0} \tag{31}$$

由上式可得

$$\mathbf{W} = (\mathbf{K} \mathbf{M}_{bb} + \mathbf{K} \mathbf{C}_{bb} +$$

$$\mathbf{K}_{bb})^{-1} (\mathbf{K} \mathbf{M}_{ba} + \mathbf{K} \mathbf{C}_{ba} + \mathbf{K}_{ba}) \mathbf{W}^{\flat} \tag{32}$$

简记上式为

$$\mathbf{W}^{\flat} = \mathbf{T}(\mathbf{K}) \mathbf{W}^{\sharp} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \tag{33}$$

利用上式, 可对第 i 阶复振型进行扩展, 即通过已测量自由度上的复振型计算未测量自由度上的复振型。

当直接用原始有限元模型的质量、刚度与阻尼矩阵代入式(33), 则被扩展的复振型 \mathbf{W} 精度不高, 所以, 本文采用迭代修正法, 即在每轮迭代求出新的质量、刚度与阻尼矩阵之后, 用新的 \mathbf{M}^r , \mathbf{K}^r , \mathbf{C}^r (r 为迭代次数) 计算质量、刚度矩阵对非线性设计参数的导数, 再计算 $[\mathbf{T}(\mathbf{K})]$, 从而得到新的扩展复振型 \mathbf{W}_r , 而后求解式(30)进行下一轮修正。

3 数值算例

为了验证本文提出的基于复模态参数的结构有限元模型局部修正方法, 这里提供了如下算例。

图1为一台阶悬臂梁上附加2个质量—弹簧—阻尼器系统。其中 m_3 与梁是刚性联接, 该系统的物理参数均为已知如表1所示准确值。将每段梁划分为5个单元, 则整条梁共20个单元、21个点。

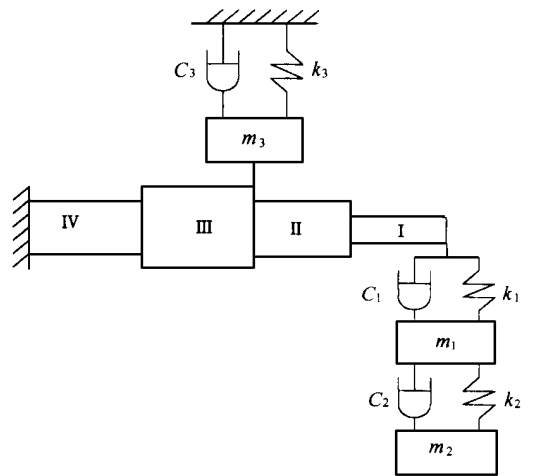


图1 多段台阶梁

其中, 梁的阻尼矩阵为

$$\mathbf{C} = 6\mathbf{I} - 0.1\mathbf{M} + 0.01\mathbf{K}$$

该系统准确的复模态参数都可用有限元组合模型求出, 如表2所示。

表 1 系统物理参数修正结果

参数	准确值	初值模型	误差/%	一次修正	误差/%	4 次迭代后	误差/%
A _I	0.5×10^{-3}	0.55×10^{-3}	+ 10	0.5384×10	+ 7.68	0.5049×10^{-3}	+ 0.97
A _{II}	0.8×10^{-3}	0.72×10^{-3}	- 10	0.8646×10	+ 8.08	0.8146×10^{-3}	+ 1.82
I _I	0.4×10^{-5}	0.52×10^{-5}	+ 30	0.4717×10	+ 17.93	0.3841×10^{-5}	- 3.98
I _{II}	0.5×10^{-5}	0.35×10^{-5}	- 30	0.4089×10	+ 18.22	0.5222×10^{-5}	+ 4.43
K ₁	8075	6056.25	- 25	7051.1	- 12.68	7778.65	- 3.67
C ₁	120	150	25	102.3	- 14.76	127.06	+ 5.88
B ₀	6	6.6	10	5.5344	- 7.76	5.7732	- 3.78
B ₁	- 0.1	- 0.11	10	- 0.1084	+ 8.38	- 0.1056	+ 5.61
B ₂	0.01	0.011	10	0.0108	+ 8.09	0.0105	+ 4.63

表 2 系统物理参数修正前后复模态参数

	S ₁	S ₂	S ₃
准确值	- 0.2695E+ j0.9806	- 0.7911+ j14.02	- 1.2876+ j38.02
修正前	- 0.01056+ j1.685	- 0.3139+ j9.993	- 1.0636+ j26.06
模的误差/%	+ 72.77	- 28.80	- 31.44
修正后 4 次迭代	- 0.02792+ j0.9898	- 0.7989+ j14.62	- 1.2922+ j36.83
模的误差/%	+ 0.94	+ 4.27	- 3.13

为了验证本文方法的有效性, 假定系统的物理参数中部分是未知的, 根据经验给一组估计值如表 1 所示。依据系统准确的复模态参数构造模拟的实测模态数据, 考虑到实测复模态参数一般都有一定随机误差, 故将系统准确模态参数添加了一定的随机误差(复频率与复模型分别为 1% 与 3%)。另外, 实测复模态参数一般都是非完备的, 故在依据系统准确的复模态参数构造模拟的实测模态参数时, 对梁只取其节点平动自由度, 系统模态阶次也只取前 3 阶。利用非完备的实测(模拟)复模态参数, 对其系统的局部物理参数 A_I, A_{II}, I_I, I_{II}, k₃, c₃ 以及梁的阻尼表达式系统 B₀, B₁, B₂ 共 9 个参数进行修正, 修正的结果列于表 2。

从表 1, 表 2 结果可以看出, 本文提出的方法是有效的, 而且对迭代次数的增加, 修正结果有明显的改善。

4 结 论

(1) 本文的修正方法是局部修正, 认为结构的有限元分析模型误差只来源于某些复杂的局部(几何形状或物理性质复杂), 这种局部修正即符合大多数实际情况, 又减小了计算工作量。

(2) 修正的对象为结构的设计参数, 其物理意义明确, 不破坏有限元模型原有的带状稀疏等特性, 而且与结构的动态设计兼容。

(3) 在修正过程中采用了迭代修正。克服了直接利用原始有限元模型扩展振型数据引起的误差。

(4) 本文以非比例阻尼矩阵的一般表达形式为基础, 直接利用非完备复模态实测数据进行分析模型修正, 而对于设计参数型的修正方法来说, 考虑复模态情况的还很少见到。

经算例验证, 本文提出的方法是有效的。

参 考 文 献

- Bernan A, Flannelly W G. Theory of incomplete models of dynamic structures. AIAA J, 1971, 9: 1068~1073
- Collins J D, et al. Statistical identification of structures. AIAA J, 1974, 12: 1180~1189
- Wei J. Correction of finite element model via selected physical parameters. Proc of the 7th IMAC, 1989. 1231~1238
- 张令弥. 动态有限元修正技术及其在航空航天结构中的应用. 强度与环境, 1994, (2): 10~17
- Ewins D J. Model updating using FRF data. Proc of the 15th ISMA, KUL, 1990. 181~187
- Link M, et al. Experience with different procedures for updating structural parameters of analytical models using test data. Proc of the 10th IMAC, 1992. 153~159
- 荣见华. 利用动响应数据修正动力模型的一种方法. 机械强度, 1992, 14: 7~10
- Ibrahim S R. Computation of normal modes from measured complex modes. AIAA J, 1983(3): 521~527
- 周传荣, 赵淳生. 机械振动参数识别及其应用. 北京: 科学出版社, 1989. 301~420

- 10 Liang Z, Lee G C. Damping of structures: Part I Theory of complex damping. National Center for Earthquake Engineering Research of U. S. A, Technical Report NCEER-91-0004, 1992
- 11 Caughey T K. Classical normal modes in linear dynamic system. J Appl/ Mech Trans ASME, 1965, 32(3): 583~588
- 12 Itch T. Damping vibration mode superposition method for dynamic response analysis. Earthquake Eng. Struct Dyn 1973, 2(1): 47~57



冯文贤,女,35岁,广东工业大学讲师,主要研究领域为结构优化设计,土木结构设计,曾参与多项水电工程设计与工程单位科研项目研究,近年来发表学术论文6篇,参编专著2部。

陈新,男,38岁,广东工业大学教授,主要从事现代制造技术及理论研究。

《航空学报》第六届编委会会议在佛山召开

《航空学报》第六届编委会于1998年11月15日~17日在佛山大学召开。到会编委33人,《航空学报》编辑部全体同志列席了会议,并特邀《航空学报》编辑部负责同志参加了会议。

会议由第五届编委会主任兼主编诸德超教授主持,并向会议作了《第五届编委会工作报告》及《航空学报》第六届编委会换届筹备工作报告》。到会编委对上述两报告进行了严肃、认真地讨论,对今后工作提出了宝贵的意见和建议,并一致通过了上述两个报告。

会议认为第五届编委会对《航空学报》进行了重大结构调整,编辑部在编排手段现代化建设及不断提高学报质量向“精品”方向迈进等方面取得很大成绩,并给予充分肯定。第五届编委会退下的编委有21人,这些编委都是一些德高望重,在我国航空航天学术界具有很高威望的学术界前辈,他们为《航空学报》作出了很大贡献,许多人如范棠、李哲浩、张桂联等都是从《航空学报》一创刊便担任编委,至今已担任了35年编委。为此,第六届编委会特向退下的老编委致以崇高的敬意和感谢。

会议确定《航空学报》第六届编委会由诸德超教授担任主任委员及主编,由王家骅、戴冠中、李铁柏担任副主任委员兼副主编,编委总计63人组成。会后上报中国航空学会第六届代表大会常务理事会聘任。

会议讨论决定:为贯彻国家科委和新闻出版署关于科技期刊编排出版手段实行现代化和努力办成“精品”的要求,从1999年开始,中、英文版改为国际标准大16开本,排双栏,封面要相应重新设计。

为了不断提高《航空学报》的质量,应进一步严把质量及编排校等各环节质量关。并应努力创造条件,提高设备的软件、硬件的现代化水平。

会议期间,到会编委对近期收到的《航空学报》稿件进行审阅,并参观了'98珠海国际航空航天博览会。

《航空学报》第六届编委会在佛山大学召开,得到了佛山大学校、院领导及有关工作人员的大力支持。为此,编委会及到会全体人员向佛山大学校、院领导和全体工作人员表示衷心感谢。

(李铁柏)