

结构损伤识别中的模型缩聚问题^{*}

刘济科, 杨秋伟, 邹铁方

(中山大学应用力学与工程系, 广东 广州 510275)

摘 要: 将逐级近似模型缩聚法用于工程结构损伤识别问题中。以一个平面桁架结构为算例, 比较了残余力向量法在各级缩聚模型下的损伤识别结果。结果表明: 无论对哪种缩聚方法, 并非缩聚模型的级数越高损伤识别效果越好, 采用逐级近似的 Guyan 法时第二级缩聚模型识别精度最高, 采用改进 Guyan 递推缩聚法时第一级缩聚模型识别精度最好。分析了出现这种结果的深层次原因, 指出了在模型缩聚逐级近似过程中存在的对结构损伤识别有利和不利的 2 种趋势, 给出了良好的模型缩聚方法应该满足的 2 个条件。

关键词: 损伤识别; 模型缩聚; 残余力向量法; Guyan 法

中图分类号: O32 TH113.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 01-0004-05

随着人们对工程结构安全性的日益重视, 采用模态参数来识别结构损伤的研究不断深入^[1-4]。这些方法应用于工程实践中时, 都必然会遇到模态参数测量不完整的问题。为了解决实测自由度数少于结构有限元模型自由度数的矛盾, 通常都要采用模型缩聚或振型扩展方法。逐级近似的模型缩聚方法是目前比较流行的一种动态缩聚方法, 它通过逐级逼近结构的惯性量来不断提高缩聚模型的精度, 从而使得缩聚模型的特征对与未缩聚模型的特征对之间越来越接近^[5,6]。本文将这种方法应用于结构损伤识别问题中以讨论各级缩聚模型对损伤识别结果的影响, 以一个平面桁架结构为算例, 考察了残余力向量法^[1]在各级缩聚模型下的损伤识别结果。结果表明: 无论是文[5]方法还是文[6]方法, 都不是缩聚模型的级数越高损伤识别效果越好。当采用文[5]方法时第二级缩聚模型识别精度最高, 当采用文[6]方法时第一级缩聚模型识别精度最好。本文分析了出现这种结果的深层次原因, 指出了在模型缩聚逐级近似过程中存在的对结构损伤识别有利和不利的两种趋势, 给出了良好的模型缩聚方法必须满足的两个条件, 并对工程结构损伤识别中应该采用的缩聚模型提出了建议。

1 残余力向量法^[1]

假设损伤前后质量矩阵不变, 则结构系统损伤后的特征方程为

$$(\mathbf{K}_d - \lambda_{dj}\mathbf{M})\phi_{dj} = 0 \quad (1)$$

$$\mathbf{K}_d = \mathbf{K}_u - \Delta\mathbf{K} \quad (2)$$

其中, $\mathbf{M}$ 表示质量矩阵, $\mathbf{K}_u$, $\mathbf{K}_d$ 分别表示损伤前后系统的刚度矩阵, $\Delta\mathbf{K}$ 表示损伤前后刚度矩阵的变化, 它们均为 n 阶方阵, λ_{dj} , ϕ_{dj} 分别表示损伤后第 j 个特征值和振型。

方程 (2) 代入 (1) 中, 整理可得

$$(\mathbf{K} - \lambda_{dj}\mathbf{M})\phi_{dj} = \Delta\mathbf{K}\phi_{dj} \quad (3)$$

记向量 $\mathbf{b}_j = (\mathbf{K}_u - \lambda_{dj}\mathbf{M})\phi_{dj}$, 方程 (3) 可改写为

$$\Delta\mathbf{K}\phi_{dj} = \mathbf{b}_j \quad (4)$$

方程 (4) 即为残余力方程, 其中 $\mathbf{b}_j$ 称为第 j 个残余力向量。

$\Delta\mathbf{K}$ 又可表示为

$$\Delta\mathbf{K} = \sum_{i=1}^N \alpha_i \mathbf{K}_i \quad (5)$$

其中, α_i , $\mathbf{K}_i$ 分别表示第 i 个单元体的刚度损失参数与刚度矩阵, N 为单元体数目。方程 (5) 代入 (4) 可得

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i \mathbf{K}_i \phi_{dj} = \mathbf{b}_j \quad (6)$$

方程 (6) 写成矩阵形式即

$$\mathbf{S}\alpha = \mathbf{b}_j \quad (7)$$

其中, $\mathbf{S} = [\mathbf{K}_1\phi_{dj} \quad \mathbf{K}_2\phi_{dj} \quad \cdots \quad \mathbf{K}_N\phi_{dj}]$, $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_N)^T$, 由方程 (7) 即可求得损伤程度为

$$\alpha = \mathbf{S}^+ \mathbf{b}_j \quad (8)$$

其中, 上标 “+” 表示广义逆。

* 收稿日期: 2005-10-19

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20050558032); 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目 (2001); 广东省自然科学基金资助项目 (05003295)

作者简介: 刘济科 (1967 年生), 男, 博士, 教授, 博士生导师, E-mail: jikelu@hotmail.com

2 模型缩聚方法

在实际的工程问题中, 测量的振型通常是不完整的, 即只能测量振型中部分元素值。此时, 需要对结构模型进行自由度缩聚, 以使得结构模型自由度与测量自由度数一致, 设 ϕ_j^m 为振型中测量元素构成的列向量, ϕ_j^s 为扩展的元素构成的列向量。

则结构振动特征方程可表示为

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{ms} \\ \mathbf{K}_{sm} & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_j^m \\ \phi_j^s \end{Bmatrix} = \lambda_j \begin{bmatrix} \mathbf{M}_{mm} & \mathbf{M}_{ms} \\ \mathbf{M}_{sm} & \mathbf{M}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_j^m \\ \phi_j^s \end{Bmatrix} \quad (9)$$

2.1 逐级近似 Guyan 缩聚法^[5]

忽略方程 (9) 中右端惯性项, 则有

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{ms} \\ \mathbf{K}_{sm} & \mathbf{K}_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_j^m \\ \phi_j^s \end{Bmatrix} = 0 \quad (10)$$

由方程 (10) 中的第 2 式可导出

$$\phi_j^{s(1)} = -\mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{sm} \phi_j^m \quad (11)$$

其中, $\phi_j^{s(1)}$ 表示第 1 级缩聚, 由方程 (11) 可得到

$$\phi_j = \mathbf{T} \phi_j^m \quad (12)$$

其中转换矩阵 $\mathbf{T}$ 为

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

其中

$$\mathbf{D}^{(1)} = -\mathbf{K}_{ss}^{-1} \mathbf{K}_{sm} \quad (14)$$

将方程 (12) 代入方程 (9), 两边同时左乘 $\mathbf{T}^T$ 可得缩聚模型的特征方程为

$$\mathbf{K}^R \phi_j^m = \lambda_j \mathbf{M}^R \phi_j^m \quad (15)$$

其中

$$\mathbf{K}^R = \mathbf{T}^T \mathbf{K} \mathbf{T} \quad (16)$$

$$\mathbf{M}^R = \mathbf{T}^T \mathbf{M} \mathbf{T} \quad (17)$$

Guyan 缩聚法略去了惯性量, 若被缩减的自由度有较大的质量时该方法会有较大的误差。对这种情况可以采用逐级近似 Guyan 缩聚法来提高缩聚精度。由方程 (9) 中第 2 式可得

$$\mathbf{K}_{sm} \phi_j^m + \mathbf{K}_{ss} \phi_j^s = \lambda_j (\mathbf{M}_{sm} \phi_j^m + \mathbf{M}_{ss} \phi_j^s) \quad (18)$$

将方程 (11) 代入 (18) 并整理可得

$$\phi_j^{s(2)} = \mathbf{D}^{(1)} \phi_j^s + \lambda_j \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{sm} + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(1)}) \phi_j^m \quad (19)$$

又由方程 (15) 可得

$$\lambda_j \phi_j^m = (\mathbf{M}^R)^{-1} \mathbf{K}^R \phi_j^m \quad (20)$$

将方程 (20) 代入方程 (19) 可得

$$\phi_j^{s(2)} = \mathbf{D}^{(1)} \phi_j^m + \lambda_j \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{sm} + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(1)}) (\mathbf{M}^R)^{-1} \mathbf{K}^R \phi_j^m \quad (21)$$

令

$$\mathbf{D}^{(2)} = \mathbf{D}^{(1)} + \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{sm} + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(1)}) (\mathbf{M}^R)^{-1} \mathbf{K}^R \quad (22)$$

则二级缩聚的转换矩阵为

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Guyan 法的二级缩聚公式也就是通常所说的 IRS 法 (Improved reduction system)。按照上述方法递推下去, 便可以得到 k 级近似的缩聚公式, 其转换矩阵 $\mathbf{T}$ 为

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}^{(k)} \end{bmatrix} \\ \mathbf{D}^{(k)} &= \mathbf{D}^{(1)} + \mathbf{K}_{ss}^{-1} (\mathbf{M}_{sm} + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(k-1)}) \cdot \\ &\quad (\mathbf{M}^{(k-1)})^{-1} \mathbf{K}^R, k \geq 1 \\ \mathbf{M}^{(k-1)} &= \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{D}^{(k-1)} + (\mathbf{D}^{(1)})^T \mathbf{M}_{sm} + \\ &\quad (\mathbf{D}^{(1)})^T \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(k-1)} \end{aligned} \quad (24)$$

2.2 逐级近似的改进 Guyan 法^[6]

将方程 (9) 写成如下形式

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_m & \mathbf{K}_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_j^m \\ \phi_j^s \end{Bmatrix} = \lambda_j \begin{bmatrix} \mathbf{K}_m & \mathbf{K}_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_j^m \\ \phi_j^s \end{Bmatrix} \quad (25)$$

令方程 (25) 的右端项等于零可得

$$\phi_j^s = -\mathbf{K}_s^{-1} \mathbf{K}_m \phi_j^m \quad (26)$$

令

$$\mathbf{D}^{(1)} = -\mathbf{K}_s^{-1} \mathbf{K}_m \quad (27)$$

则改进的 Guyan 法一级缩聚公式中转换矩阵 $\mathbf{T}$ 为

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (28)$$

其 k 级缩聚公式的转换矩阵 $\mathbf{T}$ 也可同样推导为

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{D}^{(k)} \end{bmatrix} \\ \mathbf{D}^{(k)} &= \mathbf{D}^{(1)} + \mathbf{K}_s^{-1} (\mathbf{K}_m + \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(k-1)}) \cdot \\ &\quad (\mathbf{M}^{(k-1)})^{-1} \mathbf{K}^{(k-1)}, k \geq 1 \\ \mathbf{K}^{(k-1)} &= \mathbf{K}_{mm} + \mathbf{K}_{ms} \mathbf{D}^{(k-1)} + \mathbf{D}^{(k-1)T} \mathbf{K}_{sm} + \\ &\quad \mathbf{D}^{(k-1)T} \mathbf{K}_{ss} \mathbf{D}^{(k-1)} \\ \mathbf{M}^{(k-1)} &= \mathbf{M}_{mm} + \mathbf{M}_{ms} \mathbf{D}^{(k-1)} + \mathbf{D}^{(k-1)T} \mathbf{M}_{sm} + \\ &\quad \mathbf{D}^{(k-1)T} \mathbf{M}_{ss} \mathbf{D}^{(k-1)} \end{aligned} \quad (29)$$

3 缩聚模型的残余力方程

模型缩聚后的残余力方程为

$$\Delta \mathbf{K}^R \phi_{dj}^m = \mathbf{b}_{dj}^R \quad (30)$$

其中

$$\mathbf{b}_{dj}^R (\mathbf{K}_u^R - \lambda_{dj} \mathbf{M}^R) \phi_{dj}^m \quad (31)$$

$$\Delta \mathbf{K}^R = \sum_{i=1}^N \alpha_i \mathbf{K}_i^R \quad (32)$$

其中

$$\mathbf{K}_u^R = \mathbf{T}^T \mathbf{K}_u \mathbf{T} \quad (33)$$

$$\mathbf{K}_i^R = \mathbf{T}^T \mathbf{K}_i \mathbf{T} \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i \mathbf{K}_i^R \boldsymbol{\phi}_{dj}^m = \mathbf{b}_{dj}^R \quad (35)$$

由方程 (35)可得缩聚模型的损伤程度计算公式为

$$\alpha = \mathbf{S}^{R+} + \mathbf{b}_{dj}^R \quad (36)$$

其中, $\mathbf{S}^R = [\mathbf{K}_1^R \boldsymbol{\phi}_{dj}^m \quad \mathbf{K}_2^R \boldsymbol{\phi}_{dj}^m \quad \cdots \quad \mathbf{K}_N^R \boldsymbol{\phi}_{dj}^m]$ 。

4 算 例

以图 1所示的平面桁架为例来验证残余力向量法在各级缩聚模型下的损伤识别结果, 其基本参数如下: $E=200 \text{ GPa}$ $\rho=7.8 \times 10^3 \text{ kg m}^3$, $L=1 \text{ m}$, $A=0.004 \text{ m}^2$ 。假设仅节点 2、3和 4的自由度是可精确测量的, 其它节点均对应缩减自由度, 联合采用第 1、2阶模态来进行计算。

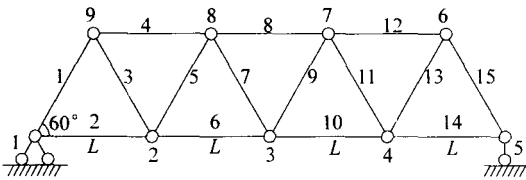


图 1 平面桁架
Fig. 1 A plane truss structure

表 1 逐级近似 Guyan 缩聚法识别结果 (单元 6 损伤)

Tab. 1 Results of Successive_levelGuyan Method (damage in element 6)

单元	精确解	一级近似	二级近似	三级近似	四级近似	五级近似	六级近似
1	0	0.0599	-0.015	-0.0103	0.0665	0.6694	2.5463
6	0.2	0.3037	0.2082	0.2559	0.3048	5.3137	0.3327
		(51.9) *	(4.1)	(28.0)	(52.4)	(2556.9)	(66.4)
10	0	0.1368	0.0117	0.047	0.0152	4.738	-5.4448
15	0	0.0606	0.0151	0.0103	-0.0525	0.0623	5.063

* 括号内表示相对误差

表 2 逐级近似改进 Guyan 法 (单元 6 损伤)

Tab. 2 Results of Successive_level Improved Guyan Method (damage in element 6)

单元	精确解	一级近似	二级近似	三级近似	四级近似	五级近似	六级近似
1	0	-0.0143	-0.0191	-0.0134	-0.0082	-0.0048	-0.003
6	0.2	0.1875	0.2284	0.2558	0.272	0.2823	0.2893
		(6.3)	(14.2)	(27.9)	(36)	(41.2)	(44.7)
10	0	-0.0081	0.0377	0.054	0.0566	0.0532	0.047
15	0	0.0205	0.0165	0.017	0.0197	0.0237	0.0287

4.2 多个损伤情况

假设单元 6和 10刚度都损伤 20%, 分别采用逐级近似 Guyan缩聚法和逐级近似改进 Guyan法的前 6级缩聚模型, 由残余力向量法计算所得各单元

4.1 单个损伤情况

假设单元 6刚度损伤 20%, 分别采用逐级近似 Guyan缩聚法和逐级近似改进 Guyan法的前 6级缩聚模型, 由残余力向量法计算所得各单元损伤程度如表 1和表 2所示 (为节省篇幅, 仅列出第 1、6、10和 15单元的结果), 其中表 1表示在逐级近似 Guyan缩聚模型下的损伤识别结果, 表 2表示在逐级近似改进 Guyan缩聚模型下的损伤识别结果。

由表 1和 2可见, 无论哪种方法, 并非缩聚模型的级数越高损伤识别效果越好, 其根本原因在于: 在模型缩聚的逐级近似过程中, 随着近似级数的升高, 存在着两种趋势。第一种趋势是完好结构缩聚模型的特征对与未缩聚模型的特征对越来越接近, 这个趋势是有利于损伤识别的; 第二种趋势是未缩聚模型的单元体与缩聚模型的单元体之间的一一对应性越来越差, 这个趋势是不利于损伤识别的。随着缩聚级数的升高, 不利趋势对损伤识别的影响远大于有利趋势对损伤识别的影响, 因而损伤识别的结果会越来越差, 甚至于完全不能识别损伤。当采用逐级近似 Guyan缩聚法时以二级缩聚模型识别效果最好, 而采用逐级近似的改进 Guyan法时以第一级缩聚模型识别效果最好。

损伤程度如表 3和表 4所示, 其中表 3表示在逐级近似 Guyan缩聚模型下的损伤识别结果, 表 4表示在逐级近似改进 Guyan缩聚模型下的损伤识别结果。

表 3 逐级近似 Guyan 缩聚法（单元 6 和 10 损伤）
Tab. 3 Results of Successive level Guyan Method (damages in element 6 and 10)

单元	精确解	一级近似	二级近似	三级近似	四级近似	五级近似	六级近似
1	0	0.0595	-0.0047	0.0116	0.2143	1.498	2.9011
6	0.2	0.3034	0.2246	0.3722	1.1197	1.0267	-1.8719
		(51.7)	(12.3)	(86.1)	(459.9)	(413.4)	(1036.0)
10	0.2	0.3034	0.2246	0.3722	1.1197	1.0267	-1.8719
		(51.7)	(12.3)	(86.1)	(459.9)	(413.4)	(1036.0)
15	0	0.0595	-0.0047	0.0116	0.2143	1.498	2.9011

表 4 逐级近似改进 Guyan 法（单元 6 和 10 损伤）
Tab. 4 Results of Successive level Improved Guyan Method (damages in element 6 and 10)

单元	精确解	一级近似	二级近似	三级近似	四级近似	五级近似	六级近似
1	0	-0.0011	-0.0001	0.0149	0.0317	0.0479	0.0635
6	0.2	0.2080	0.2917	0.3447	0.3721	0.3843	0.3871
		(4.0)	(45.9)	(72.4)	(86.1)	(92.2)	(93.6)
10	0.2	0.2080	0.2917	0.3447	0.3721	0.3843	0.3871
		(4.0)	(45.9)	(72.4)	(86.1)	(92.2)	(93.6)
15	0	-0.0011	-0.0001	0.0149	0.0317	0.0479	0.0635

由表 3 和 4 可以得出与单个损伤情况相同的结论。

5 结 论

逐级近似的模型缩聚法虽然能使得缩聚模型的特征对与未缩聚模型的特征对之间越来越接近，但将该方法应用于工程结构损伤识别问题中时，却并非缩聚模型的级数越高损伤识别效果越好，其根本原因在于，随着缩聚模型近似级数的升高，原模型的单元体与缩聚模型的单元体之间的一一对应性越来越差。这就导致了当采用逐级近似 Guyan 缩聚法时以二级缩聚模型识别效果最好，而采用逐级近似的改进 Guyan 法时以第一级缩聚模型识别效果最好。对于工程结构损伤识别问题而言，良好的模型缩聚方法应该满足 2 个条件：（1）应该使得缩聚模型的特征对与未缩聚模型的特征对之间尽可能接近；（2）同时还应该保持好缩聚模型单元体与未缩聚模型单元体之间的一一对应性。现存的模型缩聚方法通常都只考虑了第 1 个条件而忽视了第 2 个条件，从本文结果看来，这 2 个条件通常是矛盾的，即二者不能同时趋向于最好。所以，适用的模型缩聚方法应该在这两个条件中寻求平衡，IRS 法

和改进的 Guyan 法就是如此，应用这 2 种模型缩聚方法得到的损伤识别结果还是可以接受的。至于其它的模型缩聚方法是否能更好地满足这 2 个条件，将在以后的工作中进一步研究。

参考文献：

[1] CHEN J G, GARBA J A. On orbit damage assessment for large space structures [J]. AIAA J 1988, 26(9): 1119 - 1126

[2] LM, Tae W, KASHANGAKI THOMAS A L. Structural damage detection of space truss structures using best achievable eigenvectors [J]. AIAA J 1994, 32(5): 1049 - 1057

[3] DOEBLING S W. Minimum-rank optimal update of elemental stiffness parameters for structural damage identification [J]. AIAA J 1996, 34(12): 2615 - 2621.

[4] 刘济科, 杨秋伟. 基于残余力向量的损伤识别两步法 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(4): 1 - 4

[5] 张德文. 结构动力分析中的逐级近似缩聚法 [J]. 固体力学学报, 1994, 15(4): 360 - 364

[6] 张德文. 改进 Guyan 递推减缩技术 [J]. 计算结构力学及其应用, 1996, 13(1): 90 - 94

(下转第 8 页)

- 491.
- [2] CHUI G CZA JA W, MAGG DN IM, et al Characterization of general tight frames with matrix dilations and tightness preserving oversampling [J]. J Fourier Anal Appl 2002 8(2): 173–200
- [3] GRÖCHENIG K. Describing functions atomic decompositions versus frames [J]. M h Math 1991 112 1–41
- [4] GRÖCHENIG K. Localization of frames Banach frames and the invertibility of the frame operator [J]. J Fourier Anal Appl 2004 10(2): 105–132
- [5] ALDROUBI A, GRÖCHENIG K. Non uniform sampling and reconstruction in shift invariant spaces [J]. SIAM Rev 2001 43(4): 585–620
- [6] FEICHTINGER H G. Generalized amalgams with applications to Fourier transforms [J]. Can J of Math 1990 42(3): 395–409.
- [7] FEICHTINGER H G. Wiener amalgams over Euclidean spaces and some of their applications [C] // JAROSZ K Proc Conf Function spaces of Lect Notes in Math Edwardsville IL, 1991 136 107–121.
- [8] 强晓凤, 冼军. 非均匀加权采样的重建 [J]. 高校应用数学学报: A 辑, 2004 19(4): 461–470
- [9] 龙瑞麟. 高维小波分析 [M]. 北京: 世界图书出版公司, 1995
- [10] ATREAS N, BENEDETTO J J, KARANIKAS C. Local sampling for regular wavelet and gabor expansions [J]. Sampling Theory in Signal and Image Processing 2003 2 1–24

Localized Frames in Shift Invariant Spaces

Q IANG X iao-feng

(Department of Mathematics, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract The sampling set of the weighted multiply generated shift invariant spaces $V_m^p(\Phi) = \{ \sum_{i=1}^r \sum_{k \in \mathbb{Z}^d} c_{ik} \phi_i(\cdot - k); c_i = (c_{ik}) \in \ell_m^p(\mathbb{Z}^d), i = 1, \dots, r \}$ is studied. It is shown that if the generator $\Phi = (\phi_1, \dots, \phi_r)$ satisfies some localization properties, then the dual generator Φ also satisfies the same localization properties. A stable sampling set in $V^2(\Phi)$ must be a stable sampling set in $V_m^p(\Phi)$ is also proved. The reconstruction formula is established.

Key words localized frame; multiply generated shift invariant space; non-uniform sampling

(上接第 4 页)

On the Model Reduction Techniques in Structural Damage Identification

L I U J i-kang YANG Q iu-wei ZOU T ie-fang

(Department of Applied Mechanics and Engineering, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract Succession-level approximate reduction techniques are used in structural damage detection in this paper. Using the succession-level approximate reduction technique, results of the residual force algorithm under different level reduced models are discussed through a plane truss structure. It is shown that the result for the second level reduced model using the successive level Guyan method and the result for the first level reduced model by the successive level improved Guyan technique are the most accurate. Accounting for that the accuracy of structural damage detection is not better when the level of the structural model reduction increases, the favorable trend and the adverse aspect are pointed out in damage identification using the succession level approximate reduction technique. In the end, the proposals are provided for the applicable model reduction method in structural damage identification and the trends are expected for the future work.

Key words damage identification; model reduction; residual force vector; Guyan method