

基于主元分析的网架结构损伤识别方法

杨彦芳^{1,2}, 宋玉普^{*1}, 魏永国³, 刘辉³

(1.大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;
2.河南省建筑科学研究院, 河南 郑州 450053;
3.大连东冶建设工程有限公司, 辽宁 大连 116031)

摘要: 提出了利用实测频响函数及主元分析进行网架损伤识别的方法. 首先用网架动测得到的频响函数数据建立损伤识别矩阵, 用主元分析方法对原始数据变量空间进行降维处理, 利用包含原始数据信息最多的前几阶主元, 作出多元控制图, 进行损伤识别. 该方法不需要模态参数, 避免了由模态分析中的模态拟合误差所引起的损伤误判. 为了验证所提出方法的可靠性, 完成了一个足尺网架在不同损伤情况下的动测试验, 分析结果表明, 所提出的损伤识别方法可行、可靠, 尤其对于噪声环境下和具有一定局部非线性的网架有良好的适应性.

关键词: 网架损伤; 频响函数; 主元分析; 控制图; 足尺网架; 动测试验
中图分类号: TU311.3; TU356 **文献标识码:** A

0 引言

网架结构在服役期间, 由于受到外部载荷、灾害和环境等因素作用, 会出现损伤, 结构性能下降现象, 甚至危及建筑的安全. 如何去识别和诊断在役网架结构的损伤, 对安全性进行评估和在线监控, 已成为当今亟待解决的一个课题.

近十几年来, 国内外一些研究者提出了许多基于模态参数的损伤识别方法. 然而, 由于受到测量噪声、结构非线性、人为和环境等因素的影响, 网架实测的频响函数 (FRF) 曲线经常存在虚假谱峰、谱峰漂移、模态密挤和丰富的毛刺等现象, 导致模态分析时模态拟合出现较大的误差^[1], 直接影响了损伤识别的效果. 另外, 对 FRF 曲线进行模态拟合, 提取模态参数, 也失去了 FRF 中一些有用的原始信息^[2], 增加了损伤识别的难度. 为此一些学者研究利用实测 FRF 进行损伤识别^[3-4]. 然而, 一个结构一般需设几十甚至几百个测点, 每一个测点实测的 FRF 曲线又由几百个数据点 (谱线) 组成, 不同测点间的数据还存在着相关关系, 因而直接利用实测的 FRF 进行网架的损伤识别很难实现. 为此一些学者提出利用主元分析 (PCA) 方法对复杂的信号数据进行压缩、提取和处理. 文献 [5] 利用 PCA 方法对从火车车轮上测得的具有浓密频谱的 FRF 曲线进行分析, 提取

主要的信息, 作为损伤识别的依据; 文献 [6] 利用 PCA 方法对不同时刻测得的固有频率数据进行提取, 以消除环境因素的影响, 提高识别的可靠性.

本文提出基于 PCA 和 FRF 的网架结构损伤识别方法, 并通过试验室足尺网架动测试验进行验证, 以解决原始数据变量空间维数过多, 变量间相关严重, 噪声和环境干扰等问题.

1 基于 FRF 的主元分析法

主元分析法是将多个相关变量转化为少数几个相互独立变量的一种有效的分析方法. 它采用多元投影法将原始数据从高维变量空间投影到低维特征变量空间, 降低了变量空间的维数, 并保留了原始数据的特征信息. 这样, 对存在着复杂相关关系高维原始数据的分析, 就可以转化为在低维空间内进行, 减小了分析的难度.

1.1 损伤识别矩阵的构建

考虑到各测点频响函数虚频曲线在某阶模态频率处峰值之比等于该阶模态振型在各测点处的坐标之比^[7], 本文以实测 FRF 的虚频曲线为基础建立损伤识别矩阵.

用从完好网架和损伤网架中各测点分别测得的加速度 FRF 的虚频曲线构造损伤识别矩阵:

收稿日期: 2005-01-05; 修回日期: 2007-07-30.
基金项目: 河南省科技攻关资助项目 (0423033700).
作者简介: 杨彦芳 (1965-), 男, 博士生, E-mail: yyfu@sina.com; 宋玉普* (1944-), 男, 教授, 博士生导师.
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$H(k) = \begin{pmatrix} h_{11}^a - h_{11}^d & h_{12}^a - h_{12}^d & \cdots & h_{1p}^a - h_{1p}^d \\ h_{21}^a - h_{21}^d & h_{22}^a - h_{22}^d & \cdots & h_{2p}^a - h_{2p}^d \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{n1}^a - h_{n1}^d & h_{n2}^a - h_{n2}^d & \cdots & h_{np}^a - h_{np}^d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1p} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \cdots & h_{np} \end{pmatrix} \quad (1)$$

并设

$H(k) = (H(k)_1 \ H(k)_2 \ \cdots \ H(k)_p)$ (2)
式中: h_{ij}^a, h_{ij}^d 分别表示网架在完好和损伤情况下, 第 i 个测点测得的 FRF 虚频曲线在第 j 条谱线处相应的幅值. n 为测点数, p 为每一测点 FRF 虚频曲线的谱线数.

显然, 损伤识别矩阵 $H(k)$ 反映了网架损伤前后各测点 FRF 虚频曲线的变化情况, 它不仅反映了损伤前后各测点 FRF 幅值的变化, 也能反映模态频率、阻尼等特征参数的变化. 当结构中不存在损伤时, 该矩阵各元素的理论值应为零, 当结构出现损伤时, 则会引起矩阵中一些元素发生变化, 因此, 网架的损伤识别变为如何从这些变化的元素中找到结构损伤的信息.

然而, 由于受噪声、结构非线性和激励能量不稳定等因素的影响, 即使无损伤的网架两轮激励所得到的 $H(k)$ 矩阵的元素并不会完全为零. 况且每一个网架由几百个测点组成, 每一条虚频曲线又由几百条谱线组成, 因而 $H(k)$ 是一个几百阶的高维矩阵, 并且一些变量间又存在着相关关系, 想直接从中找到损伤的信息非常困难. 为此, 可首先利用 PCA 方法对损伤矩阵 $H(k)$ 进行降维处理.

1.2 矩阵 $H(k)$ 的主元分析

设 $H(k)$ 的样本协差阵为

$$S = (S_{ij})_{p \times p} \quad (3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n (h_{ai} - \bar{h}_i)(h_{aj} - \bar{h}_j) \quad (4)$$

可求得 S 的 p 个特征值为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$, 且设 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p > 0$, 并求得 S 相应的 p 个单位特征向量为

$$\begin{aligned} U_1^T &= (u_{11} \ u_{21} \ \cdots \ u_{p1}) \\ U_2^T &= (u_{12} \ u_{22} \ \cdots \ u_{p2}) \\ &\vdots \\ U_p^T &= (u_{1p} \ u_{2p} \ \cdots \ u_{pp}) \end{aligned} \quad (5)$$

则 $H(k)$ 的第 i 个主元可用下式求得^[8]:

$$F_i = u_{1i} H(k)_1 + u_{2i} H(k)_2 + \cdots + u_{pi} H(k)_p \quad (6)$$

其中任意 2 个主元 F_i 与 F_j 互不相关. 第 i 个主元的方差

$$\text{Var}(F_i) = \lambda_i \quad (7)$$

由于 $\text{Var}(F_1) > \text{Var}(F_2) > \cdots > \text{Var}(F_p)$, 第一个主元 F_1 对应于数据变异最大的方向, 相对于其他主元, F_1 是携带原始数据信息最多的主元.

主元 F_1 的贡献率为 $\lambda_1 / \sum_{i=1}^p \lambda_i$, 它表示 F_1 的方差与全部 p 个主元方差之和的比. 这个比值愈大表示第一个主元综合原始数据信息的能力愈强^[8]. 通常前几阶主元都能包含原始数据的绝大部分信息, 仅对前几阶主元的数据特征进行分析就能反映整个原始数据的变化情况. 这样损伤识别就可以仅在前几阶主元形成的低维变量空间中进行, 降低了分析的难度. 另外, 前几阶主元包含了结构频率响应的主要特征, 后面的主元则反映了噪声和其他因素的影响, 这样利用前几阶主元提供的数据特征进行分析, 也能降低噪声及其他干扰因素的影响^[5].

2 利用多元控制图识别网架损伤

若 $H(k)$ 的前 m ($m < p$) 阶主元 $F_1, F_2, \dots, F_m$ 包含了原始数据的绝大部分信息, 则可用前 m 阶主元数据构造的椭圆控制图和 T^2 控制图^[10], 分离异常数据, 进而对结构的损伤进行识别.

2.1 椭圆控制图

设 $h_{j1}, h_{j2}, \dots, h_{jp}$ 为矩阵 $H(k)$ 中 p 个变量 $H(k)_1, H(k)_2, \dots, H(k)_p$ 的一组观测, 设

$$H_j = (h_{j1} \ h_{j2} \ \cdots \ h_{jp})^T; \ j = 1, \dots, n \quad (8)$$

对 H_j 进行中心化并不影响样本协差阵, 并得到 H_j 进行中心化后相应的第 i 阶主元^[9]:

$$y_{ji} = U_i^T (H_j - \bar{H}) \quad (9)$$

式中 $\bar{H}$ 为样本均值列阵, 用下式求得:

$$\bar{H} = (\bar{h}_1 \ \bar{h}_2 \ \cdots \ \bar{h}_p)^T \quad (10)$$

$$\bar{h}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{ik}; \ k = 1, 2, \dots, p \quad (11)$$

观测值 H_j 对应的前 2 阶主元为

$$y_{j1} = e_1^T (H_j - \bar{H}) \quad (12)$$

$$y_{j2} = e_2^T (H_j - \bar{H}) \quad (13)$$

若前 2 阶主元能包含损伤矩阵的主要数据信息, 当样本数 n 足够大时, 由 (y_{j1}, y_{j2}) 点集构成的散点图有如下椭圆控制域:

$$\frac{y_{j1}^2}{\lambda_1} + \frac{y_{j2}^2}{\lambda_2} \leq i_2^2(T) \quad (14)$$

式中 $i_2^2(T)$ 表示自由度为 2, 置信度为 $1 - T$ 的 i^2 分布的上侧百分位数.

若某数据点落在椭圆控制域范围之外, 则该点为异常点, 说明该数据点对应测点损伤前后 FRF 曲线的频谱特征发生了显著变化, 则判定该测点处网架存在损伤.

2.2 T^2 控制图

同样, H_i 对应的第 3 至 m 阶主元可表示为

$$y_{j3} = e_3^T (H_j - H) \tag{15}$$

$$y_{j4} = e_4^T (H_j - H) \tag{16}$$

$\vdots$

$$y_{jm} = e_m^T (H_j - H) \tag{17}$$

构造统计量^[9]

$$T_j^2 = \frac{y_{j3}^2}{\lambda_3} + \frac{y_{j4}^2}{\lambda_4} + \cdots + \frac{y_{jm}^2}{\lambda_m} \tag{18}$$

当样本数 n 足够大时, 以测点号为横坐标, T_j^2 为纵坐标所构成的散点图有如下控制上限:

$$UCL = i_{m-2}^2(T) \tag{19}$$

式中 $i_{m-2}^2(T)$ 表示自由度为 $m-2$, 置信度为 $1-T$ 的 i^2 分布的上侧百分位数.

若某数据点超出 T_j^2 图的控制限, 该点为异常点, 则判定该测点为网架的损伤点. 为了验证所提出的损伤识别方法的可靠性, 在试验室内完成了足尺网架模型的动测试验.

3 试验研究

3.1 网架试验模型

动测试验在大连理工大学土木水利学院结构试验室内完成, 为了使测试结果更接近真实的网架, 采用了足尺网架, 网架外形尺寸为 $12\text{ m} \times 9\text{ m} \times 1.4\text{ m}$, 网架平面及测点布置如图 1, 下弦平面及测点布置如图 2.

动测试验仪器采用 INV306 型振动测试和智能信号处理系统, 变时基触发采样, 采用单输入单输出 (SISO) 激振方式, 拾振传感器固定安装在下弦节点 4 上. 用力锤依次敲击下弦各测点, 分别拾取测点 4 上拾振器的加速度信号和力锤的力信号, 对从每测点锤击采集到的加速度信号和力信号采用平均技术, 去直流和加窗处理后, 计算出各测点的 FRF. 用相干函数来判断 FRF 的优劣, 若某测点的 FRF 相干性不好, 则重测该数据.

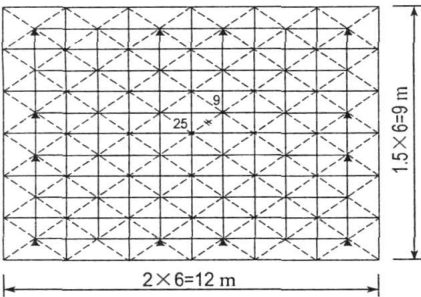


图 1 网架平面布置图
Fig. 1 The plane figure of truss

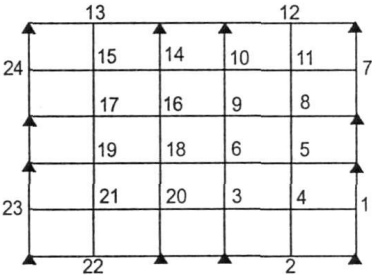


图 2 网架下弦测点布置图
Fig. 2 The node plane of truss low boom

由于网架安装时存在施工误差, 个别螺栓球上的螺栓无法完全紧固. 这样, 在网架个别节点处会表现出一定的非线性特征. 另外, 动测试验过程中, 周围其他一些试验也正在进行, 因而动测所采集到的信号不但受到结构非线性的影响, 还受到测量噪声、周围环境噪声的污染.

试验时按网架为完好情况和损伤情况分别测试结构的动力性能. 网架损伤情况设计为 3 种.

损伤 I 杆件连接失效损伤. 试验时用拆除腹杆 9-25 (位置见图 1) 来模拟网架腹杆连接失效情况.

损伤 II 杆两端节点连接松动损伤. 试验时用松动杆 9-25 两端的螺栓来模拟连接松动情况.

损伤 III 杆局部残损损伤. 试验时在杆件 9-25 中部切去一块 $300\text{ mm} \times 51\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ 管壁来模拟.

3.2 试验结果分析

3.2.1 建立损伤识别矩阵 以网架完好状态和损伤状态下分别测得各测点的加速度 FRF 虚频曲线数据, 组成 24 行 (测点数) 512 列 (谱线数) 损伤识别矩阵 $H(k)$.

3.2.2 杆件连接失效损伤的识别 用网架完好状态和去掉 9-25 腹杆分别测得的 FRF 虚频数据建立损伤识别矩阵. 由矩阵求得相应协差阵 S 的 512 个特征值和相应的特征向量. 其前 10 阶特征值 λ_i 和贡献率见表 1.

从表中可以看到, 前 2 个特征值明显大于其他值, 累积贡献率为 58.0%, 而前 10 阶特征值的累积贡献率已达到 95.0%. 这说明前 2 个主元已经包含了原始数据 512 个变量的大部分信息, 而前 10 阶主元已基本上包含了原始数据的全部信息. 因而仅用前 10 阶主元所包含的数据信息去识别网架的损伤是可行的.

以主元序号 i 为横坐标, 特征值 λ_i 为纵坐标所绘出的曲线如图 3. 该图形象地表现了全部 512 个特征值的变化情况. 前几个特征值很大, 曲线的变化坡度也很大, 而后随着特征值序号的加大, 特征值变小, 曲线的坡度也变缓. 第 22 个以后的

特征值已全部为零,曲线变为一水平线.

表 1 损伤 I 前 10 阶特征值及贡献率
Tab. 1 First 10 order eigenvalues and their contribution ratios of Damage Case 1

i	λ_i	贡献率 $\%$	累积贡献率 $\%$
1	0.444 0	43.3	43.3
2	0.149 2	14.7	58.0
3	0.108 7	10.7	68.7
4	0.079 0	7.8	76.5
5	0.054 0	5.3	81.8
6	0.039 5	3.9	85.7
7	0.032 7	3.2	88.9
8	0.029 1	2.9	91.8
9	0.019 8	1.9	93.7
10	0.012 8	1.3	95.0

注: $\sum_{i=1}^{512} \lambda_i = 1.017$

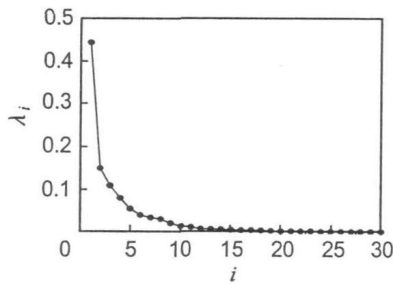


图 3 特征值变化表
Fig. 3 The change of eigenvalues

由于前 10 阶主元已基本上包含了原始数据的全部信息,这样仅对前 10 阶主元数据特征进行分析,就可以反映原始 512 个变量的数据特征.另一方面,前两个主元分别对应数据变异的最大和次大的方向,而本例中 λ_1, λ_2 又明显大于其他的特征值,因而相对于其他主元,前两个主元包含了原始数据最多的信息.

由上述特征值得相应的特征向量及主元,由前两个主元 F_1, F_2 可作出其相应的散布图和 95% 置信度的椭圆控制图,见图 4.

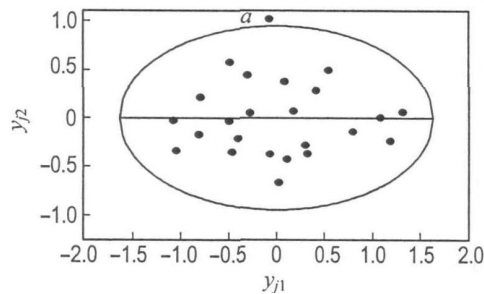


图 4 损伤 I 椭圆控制图

Fig. 4 Ellipse control chart of Damage Case 1

从图 4 中可以看到,有一个异常点 a 落在椭圆控制图之外,经查 a 点为相应于测点 9 的数据,而该点正好为设计损伤杆件 9-25 的一个连接点,准确地识别到了损伤杆件的位置.

3.2.3 杆件节点连接松动损伤识别 杆 9-25 两端节点松动状态计算得到的损伤识别矩阵前 10 阶特征值见表 2. 从中可看到,其特征值的变化规律与表 1 相似.

表 2 损伤 II 前 10 阶特征值及贡献率
Tab. 2 First 10 order eigenvalues and their contribution ratios of Damage Case 2

i	λ_i	贡献率 $\%$	累积贡献率 $\%$
1	0.139 6	35.1	35.1
2	0.074 8	18.8	53.9
3	0.038 5	9.7	63.6
4	0.030 0	7.5	71.1
5	0.026 2	6.6	77.7
6	0.021 7	5.5	83.2
7	0.012 2	3.1	86.3
8	0.011 3	2.9	89.2
9	0.007 9	2.0	91.2
10	0.007 6	2.0	93.2

注: $\sum_{i=1}^{512} \lambda_i = 0.398 1$

由前 2 阶主元 F_1, F_2 作出散点图和相应的 95% 置信度的椭圆控制图,如图 5. 可以看出,没有数据点落在椭圆控制域之外. 说明松动 9-25 杆的损伤信息在主元 F_1, F_2 中表现不显著. 由 $F_3 \sim F_{10}$ 主元作出 T^2 图和其 95% 置信度的控制上限图,如图 6. 从图 6 中可看到, b 点在控制限之外,该点正好对应于损伤杆件 9-25 的 9 节点,准确地识别到了损伤杆件的位置.

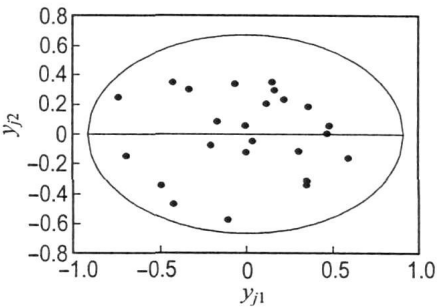


图 5 损伤 II 椭圆控制图

Fig. 5 Ellipse control chart of Damage Case 2

从上面的损伤识别过程可看到,当杆件出现连接失效损伤时,由于损伤程度相对较严重,损伤

信息在前 2 阶主元中就被很好地表现出来;当杆件出现节点松动损伤时,由于损伤程度相对较小,损伤信息弱,在前 2 阶主元中没有被表现出来,而在 3~ 10 阶主元中被表现出来. 因而,损伤识别时应对包含有原始数据绝大多数信息的各阶主元仔细分析以后,来确定网架的损伤部位,以免漏判.

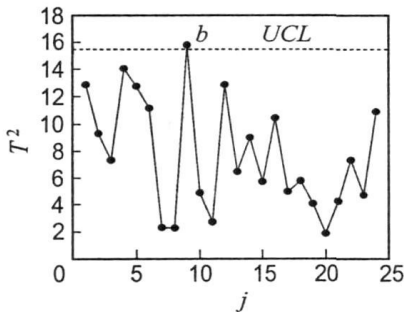


图 6 损伤 II T^2 控制图

Fig. 6 T^2 control chart of Damage Case 2

3. 2. 4 杆件局部残损损伤识别 杆 9-25 局部残损损伤识别矩阵的前 8 阶特征值见表 3. 从表 3 可看到,相对于前两种损伤,该种损伤情况下前 2 阶主元有更大的贡献率,前 8 阶主元的贡献率就已达到 96. 7% .

表 3 损伤 III 前 8 阶特征值及贡献率
Tab. 3 First 8 order eigenvalues and their contribution ratios of Damage Case 3

i	λ_i	贡献率 $F\%$	累积贡献率 $F\%$
1	1. 308 1	70. 4	70. 4
2	0. 200 0	10. 8	81. 2
3	0. 083 7	4. 5	85. 7
4	0. 073 2	4. 0	89. 7
5	0. 056 7	3. 1	92. 8
6	0. 034 4	1. 9	94. 7
7	0. 023 6	1. 3	96. 0
8	0. 015 6	0. 7	96. 7

注: $\sum_{i=1}^{512} \lambda_i = 1. 858 1$

分别由前 2 阶主元 F_1 、 F_2 和 $F_3 \sim F_8$ 作出相应的椭圆控制图和 T^2 控制图,分别如图 7 8. 从图 7 中可看到,没有数据点落在椭圆控制域之外. 说明杆 9-25 局部残损信息在主元 F_1 、 F_2 中反映不显著.

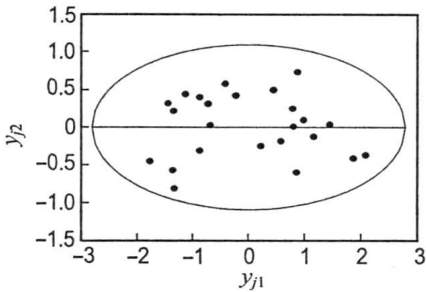


图 7 损伤 III 椭圆控制图

Fig. 7 Ellipse control chart of Damage Case 3

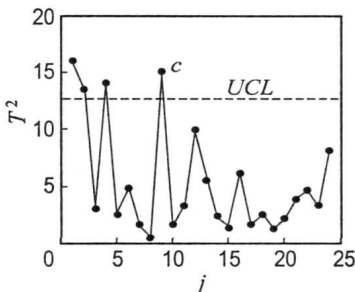


图 8 损伤 III T^2 控制图

Fig. 8 T^2 control chart of Damage Case 3

图 8 中超出控制限的数据点有 4 个,其中 c 点为已知的损伤点,其他 3 个数据点分别为拾振传感器的安装点(4 点)、传感器周围的测点(1 2 点). 可看到,杆件局部残损的损伤信息虽然在该图中明显地表现了出来,但其他一些未损伤点也超出了控制限. 究其原因是,拾振传感器测点及其周围的测点对激励信号非常敏感,对这些测点进行激励时,人为的操作误差和其他因素的影响很容易引起这些测点出现过敏反应,产生异常数据. 当损伤情况为连接失效和松动情况时,损伤信号相对较强烈,这些测点的异常信号被覆盖,不能表现出来. 在杆局部残损情况下,损伤信号相对较弱,这些测点的异常信息就显现出来. 因而在小损伤情况下,应对超限数据点进行仔细分析,来确定结构损伤的部位,以免误判.

4 结 语

本文所提出的损伤识别方法,直接利用实测的频响函数数据建立损伤识别矩阵,用主元分析法进行维数处理,根据前几阶主元的数据特征,用多元控制图去识别结构的损伤. 该方法不需要模态参数,避免了模态分析中拟合误差所导致的误判,损伤识别过程简捷、可靠.

足尺网架动测试验结果表明,损伤识别矩阵

的前 10 阶主元已经能包含原始数据的绝大多数信息,利用主元分析法是可行的;试验结果也验证了该方法对于识别杆件连接失效和节点松动的损伤情况效果很好. 其对噪声环境和具有局部非线性网架的损伤识别有良好的适应性.

试验分析结果显示,对较严重的结构损伤(拆除单根杆件)仅对损伤识别矩阵前两个主元的数据进行分析就能准确地识别到损伤杆件的位置;对一般程度的结构损伤(松动单根杆件),需对前两阶以后的主元数据进行分析,才能识别到损伤杆件;较小的结构损伤(单根杆件局部残损),则需要对各个超限测点的具体情况对比后才能确定.

本文在确定控制图的控制域时采用 95% 置信度取得了满意的结果. 然而对于不同类型、不同工况条件下的网架,应采用何种水平的置信度还有待进一步研究.

参考文献:

[1] LEE U, SHIN J. A frequency response function-based structural damage identification method [J]. *Comput and Struct*, 2002, **80**: 117-132
[2] MAIA N M, SILVA J M. Damage detection in structures from mode shape to frequency response function methods [J]. *Mech Syst and Signal*

Processing, 2003, **17**(3): 489-498
[3] PARK N G, PARK Y S. Damage detection using spatially incomplete frequency response functions [J]. *Mech Syst and Signal Processing*, 2003, **17**(3): 519-532
[4] SAMPAIO R P C, MAIA N M. Damage detection using the frequency-response-function curvature method [J]. *J Sound and Vib*, 1999, **226**(5): 1029-1042
[5] ZANG C, IMREGUN M. Structural damage detection using artificial neural networks and measured FRF data reduced via principal component projection [J]. *J Sound and Vib*, 2001, **242**(5): 813-827
[6] YAN A M, KERSCHEN G. Structural damage diagnosis under varying environmental conditions-Part I: A linear analysis [J]. *Mech Syst and Signal Processing*, 2005, **19**: 847-864
[7] 李国强,李杰.工程结构动力检测理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2002
[8] 于秀林,任雪松.多元统计分析[M]. 北京:中国统计出版社,1999
[9] JOHNSON R A, WICHERN D W. 实用多元统计分析[M]. 北京:清华大学出版社,2001
[10] 钱仲候,王成斌,孟玉珂.多元质量控制[M]. 北京:中国铁道出版社,1995

A method for truss structural damage detection based on principal component analysis

YANG Yan-fang^{1,2}, SONG Yu-pu^{* 1}, WEI Yong-guo³, LIU Hui³

(1.State Key Lab. of Coastal and Offshore Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024,China;
2.Henan Prov. Acad. of Building Res., Zhengzhou 450053, China;
3.Dalian Dongye Building Eng. Ltd. Co., Dalian 116031, China)

Abstract A method for truss damage detection is proposed based on measured frequency response function (FRF) and principal component analysis (PCA). Damage detection matrix is formed using FRF obtained from truss dynamic test, and its variable space dimensions can be reduced using PCA method, thus truss damages can be detected using multi-variable control chart of first several principal components which contain the most information of all original data. In the process modal parameters are unnecessary, so the mistakes of damage detection, which arise from the errors of modal fitting in the modal analysis, can be avoided. In order to validate reliability of the proposed method, a whole size truss was tested under different damage cases. The experimental results show that the proposed method is straightforward and reliable to detect truss damages. Especially, the method has a good applicability for the truss under the noise environment and non-linear cases.

Key words truss damage; frequency response function; principal component analysis; control chart; whole size truss; dynamic test