爆破地震信号分形维数计算的矩形盒模型

娄建武 龙 源 徐全军 周 翔
(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

摘 要 根据爆破地震波曲线的双向尺度效应, 建立了具有时间尺度和振幅尺度特性的矩形盒维数计算模型; 分析了矩形盒的时间尺度 δ_1和振幅尺度 δ_2的有效取值。提出了基于爆破地震波最高振动峰值所处的波峰或波谷与基线交点之间的时间作为分析信号的半周期, 并以此确定无标度区内 k的最高取值, 矩形盒的横向尺度限制为: $k\delta_1 < [\frac{T}{2}]$, 同时这种矩形盒的纵向尺度 $k\delta_2$应小于最高峰值。采用矩形盒计算了岩石介质中爆破地震波的分形盒维数, 分析表明爆破地震波具有分形特征, 并且在同一场地下的爆破地震波分形盒维数值比较稳定。

关键词: 爆炸力学, 爆破地震波, 分形, 双尺度矩形盒, 盒维数, 无标度区
中图分类号: TD235.1 文献标识码: A

0 引 言

分形是用于描述自然界不规则形状和事物规律的有效工具, 它具有两个基本属性: 自相似性和标度不变性[1-4]。所谓自相似性是指整体与局部成比例缩小或放大的性质; 标度不变性指在一个复杂图形上任选一局部区域, 对它进行放大后, 所得图形仍会呈现出整个图形的复杂性质。除了严格数学意义上的分形外, 自然界中实际存在客体的自相似性是近似的或统计意义上的相似。分形理论在机械故障诊断[5-6]、语音信号识别[7-8]、地震地质勘探[9]等方面得到了运用。

标度不变性是分析分形体分形特征的一种有效方法, 通过对爆破地震波信号的标度不变性分析可以得到爆破地震记录是否具有分形特征, 即它是否具有一个确定的分形值。爆破地震波是由爆炸波经场地介质作用的一个综合体现, 它在一定程度上能体现爆源特征, 同时它又能反映场地介质对它的作用。由于爆破地震波是一种非常平稳信号, 波形曲线复杂, 具有较宽的频带。根据分形维数的定义, 要确定爆破地震波信号是否有分形, 只需判断它是否存在无标度区, 而没必要去产生爆破地震波信号的有关爆源和场地介质作用的复杂机制去分析它的分形特征。

建立一种适宜于爆破地震波曲线特征的具有双尺度(采样时间的离散性和振动强度)性质的矩形盒模型, 并在对模型进行有效性检验的基础上, 计算爆破地震波信号的分形盒维数值。研究表明, 爆破地震信号是一种满足统计自相似性的分形信号。

1 爆破地震信号盒维数计算的矩形盒模型

大部分分形维值的定义都是基于“用尺度 δ进行量度”的思想, 即用一个基本步长为 δ的正方形去覆盖所分析的分形物体[2,4,6-8]。对于不同学科中研究的分形及自然界中存在分形, 并不存在无穷的嵌套结构, 而只存在有限的嵌套层次, 因而尺度 δ只能在有限范围内进行讨论才有意义, 才能保证分形盒维数的稳定性; 同时 δ应当与所分析形体的有关物理参数联系起来, 计算出来的分形盒维数才具有物理意义[4,10]。

1.1 爆破地震波分形盒维数模型特征及定义

爆破地震波信号是双尺度的: 纵向的振动幅值和横向的时间尺度。采用正方形网格则相当于只用其中的一个尺度来对时间和振幅两个物理量进行测量, 这从物理意义上来说无法反映出各自的标度特性。而采用矩形网格对爆破地震波曲线的覆盖要比正方形网格要更具合理性。这种矩形网格的横向尺度 δ_1完全由信号的采样时间间隔 Δt决定, 而纵向尺度 δ_2与爆破地震波的振幅有关。

设属于平面 R^2的爆破地震波时程曲线为 L, 将 $R\times R$划分为尽可能小的网格 $k\delta_1\times k\delta_2$ ($k=1, 2, 3\cdots$, 表示网格放大倍数)。设与所有 L相交的网格数量为 $N_{k\delta 1}$(或 $N_{k\delta 2}$), 则在矩形盒覆盖情况下的曲线盒维数定义为[2,4]

$$D_{\delta_1\times\delta_2} = \lim_{\substack{\delta_1\to 0\\ \delta_2\to 0}} \frac{\log N_{k\delta i}}{-\log k\delta_i} \quad (i = 1\text{或}\ 2) \tag{1}$$

国家自然科学资金资助项目 (批准号: 10372117)
收稿日期: 2003-07-08 修改稿收到日期: 2003-09-03
第一作者 娄建武 男, 博士生, 1975年生

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对于爆破地震波信号这种无函数描述的不规则分形体, 它只在其无标度区内才具有分形盒维数。$D_{\delta_1\times\delta_2}$通过在无标度区内作出 $(-\log k\delta, \log N_{k\delta i})$ $(i=1$或 $2)$ 的双对数图的斜率求得。在分形体的无标度区内存在 k 值的一个有效取值区间: $k_1 \leqslant k \leqslant k_2$ (对应的网格尺寸范围为 $(k_1\delta_1 \times k_1\delta_2) \sim (k_2\delta_1 \times k_2\delta_2)$)。在此无标区间所对应的 $(-\log k\delta, \log N_{k\delta i})$, $(i=1$或 $2)$点对数量为 $k_2 - k_1 + 1$。根据上面的分析及矩形盒维数的定义式, 在无标度区内 $-\log k\delta_i$ 与 $\log N_{k\delta i}$ 满足线性回归方程:

$$\log N_{k\delta i} = -D_{\delta 1\times\delta 2}\log(k\delta_i) + b \qquad (i=1\text{或}2) \qquad (2)$$

由于盒维数 $D_{\delta 1\times\delta 2}$是线性式 (2)斜率的相反数, 在 δ_i 值确定的情况下, 它由 $\log N_{k\delta i}$和 $\log k$ 的关系唯一确定。用最小二乘法可求得 $D_{\delta 1\times\delta 2}$

$$D_{\delta 1\times\delta 2} = \frac{(k_2-k_1+1)\sum \log k \log N_{k\delta i} - \sum \log k \sum \log N_{k\delta i}}{(k_2-k_1+1)\sum \log k^2 - (\sum \log k)^2},$$

$$(k_1 \leqslant k \leqslant k_2,\ i=1\text{或}2) \qquad (3)$$

1.2 矩形盒尺寸的确定

爆破地震信号的复杂性是由它的宽频带及多个能量占优的子频带来体现的, 因而在矩形盒覆盖下, 计算不同尺寸的振动信号相交的盒数量时, 矩形盒应不掩盖曲线的周期性和振幅特征。因而在确定矩形盒的双尺度参数时, 必须考虑爆破地震信号周期性和振幅特性。

(1)k 值的确定。根据盒维数 $D_{\delta 1\times\delta 2}$的定义式, 它是在盒尺度 δ_i $(i=1$或 $2)$极限趋于零的情况下的比值。但实际的爆破地震波信号为离散采样信号, 其采样时间间隔 Δt是一个有限值, 同时其波形表示方式是将相邻两测试数据值用直线连接, 因而 δ_1 小于 Δt(此时 $k<1$)是没有意义的, 因而 k 不能小于 1。如果近似认为爆破地震波的主周期 T 由其波形曲线最高峰值所对应的波峰 (或波谷)所确定, 则该波峰 (或波谷)为该主振周期的一个半周期波形。

在一个周期 T 内数据点个数为 $[\frac{T}{\Delta t}]+1$(中括号表示取整数值), 如果 $k\delta$ 大于 T, 则由此生成的矩形网格可以覆盖一个完整周期的时间区域, 信号被认为是处于整个分析平面内, 根本不能体现信号的周期性; 在 $k\delta_1$ 大于半周期时, 作为一个正负交替的振动信号曲线, 其周期性也将表现不明显。因而与爆破地震波曲线相交的矩形网格在 $R\times R$ 平面内应能体现信号的振幅特征和周期性, 可以确定 k 的最高取值为 $k<[\frac{T}{\Delta t}]+1$。具体的 k_2 体可以在根据 (3)式对 $(-\log k\delta, \log N_{k\delta})$ 回归求解 $D_{\delta 1\times\delta 2}$时, 由离散情况将无标度区间外的点 $k>k_2$ 的点去掉后进行有效分析。根据上面的分析 k 的取值范围为:

$$1 \leqslant k < [\frac{T}{2\Delta t}] + 1 \qquad (4)$$

(2)矩形网格纵向尺度 δ_2 的确定。δ_2 应能体现振幅尺度特征, 它不可能小于整个分析信号相邻数据点间的最小非零幅值差 ΔA_{min}, 也不应大于信号的最高峰值 A_{max}, 但它又应当和最高峰值具有一定的关系。在建立爆破地震波的矩形盒维数模型时, δ_2 的取值定义如下:

$$\delta_2 = \Delta A_{min} \text{或} \ \delta_2 = \frac{A_{max}}{2k_{max}} \qquad (5)$$

当 $\Delta A_{min} < \frac{A_{max}}{2k_{max}}$ 时, 取第二式; 否则, 反之。式中 k_{max} 为计算中的 k 的最高取值, 它一般大于 k_2。

1.3 与曲线相交的盒数量计算

设矩形网格尺寸为 $k\delta_1 \times k\delta_2$, 爆破地震波数据的离散序列为: $s(n\cdot\Delta t)$, $(n=1, 2, \cdots N)$。则整个波形曲线的时间坐标被分成 $M=[\frac{N-1}{K}]$个等间距区间, 曲线所处的 $R\times R$ 平面被分隔成 M 个竖状格条; 在 $\frac{N-1}{k}$的余数非零时, 还将有一个由共有 $N-Mk+1$ 数据 $s(m\cdot\Delta t+1)$, $(m=M\cdot k, M\cdot k+1, \cdots N)$所处的窄格条, 在该窄格下与曲线相交的网格数为:

$$N^{\forall}_{k(\delta_1\ \delta_2)} = [\frac{\max(s(m)) - \min(s(m))}{k\delta_2}] + \Phi(rem(\max(s(m)) - \min(s(m), k\delta_2))), \quad (m=Mk, Mk+1, \cdots N) \qquad (6)$$

式中: 函数 $rem(u, v)$表示数 u 与 v 两者相除时的余数, $\Phi(x)$的取值定义为:

$$\Phi(x) = \begin{cases} 1, & x>0 \\ 0, & x=0 \end{cases} \qquad (7)$$

在横轴上的第 $P_{p=1, 2\cdots M}$个区间内, 计算盒数量为:

$$N_{p,\ k(\delta_1,\ \delta_2)} = [\frac{\max(s(h)) - \min(s(h))}{k\delta_2}] + \Phi(rem(max(s(h)) - \min(s(h), k\delta_2))), \quad (h=k(p-1)+1, k(p-1)+2, \cdots, kp+1) \qquad (8)$$

式中 $rem(u, v)$和 $\Phi(x)$的定义同上。在 k 的计算取值范围内, 改变 k 值得到一系列 $N_{k\delta_1\times\delta_2}$, $(k_1\leqslant k\leqslant k_2)$, 则在尺寸为 $k\delta_1\times\delta_2$ 的矩形盒覆盖时, 与爆破地震波曲线相交的总盒数量为:

$$N_{k\delta_1\times k\delta_2} = \sum_{p=1}^{M} N_{p,\ k(\delta_1\ \delta_2)} + N^{\forall}_{k(\delta_1\ \delta_2)} \qquad (9)$$

根据 (3)式对数据 $(\log(k), \log(N_{k\delta_1\times\delta_2}))_{(k_1\leqslant k\leqslant k_2)}$ 进行线性方程回归就得到分形盒维数值 $D_{\delta_1,\ \delta_2}$。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　基于双尺度的矩形盒分形盒维数模型的检验

为了检验具有双尺度特性的矩形盒模型在计算分形维数时的可靠性, 下面采用本模型来计算几种分形曲线的分形值维数值。

2 1　直线

根据经典分形理论, 直线的分形值为 1(平面为 2, 空间立体为 3)。定义直线方程为:

$$L(l) = l,\quad l = 1, 2, 3\cdots, 1000 \qquad (10)$$

在计算直线的矩形盒维数计算模型时, k的取值范围为: $1 \leqslant k \leqslant 128$, 但为了减小计算量, 实际计算中 k 取指数序列: 1, 2, 4…128, δ_1 (表示数据点的横坐标间隔为 1), $\delta_2 = 4$。 $\log(k) \sim \log N_{\Delta 2}$的双对数拟合直线如图 1所示, 直线斜率为 1, 与理论值相符合。

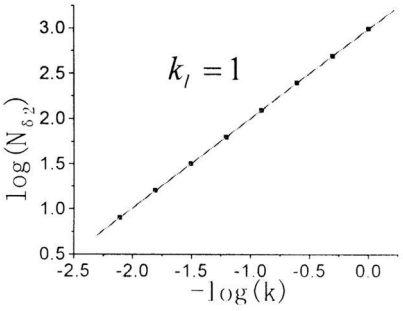
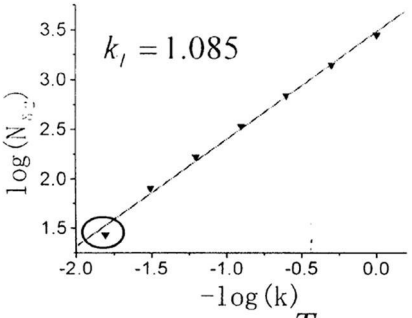


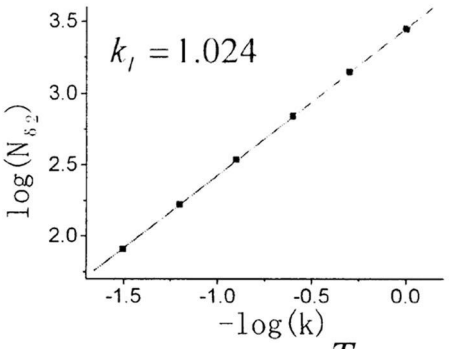
图 1　直线的 $\log(k) \sim \log N_{\delta 2}$图

2 2　正弦曲线

前面在分析矩形盒的横向尺度 $k\delta_2$ 时, 指出它必须小于所分析信号的周期。下面通过对一个振幅为 1, 频率 20Hz, 采样频率 2 000Hz(即 $\delta_1 = \frac{1}{2\,000}$)的正弦曲线的分形盒维数的计算, 分析 $k\delta_1$ 的取值与周期曲线周期的关系。分析中矩形网格的 $k = 2^{n-1}$, (n = 1, 2, …7), 纵向步长 δ_2 取值为$\frac{1}{2^7} = 0\ 078$, 等价于式



(a)　$k\delta_1 > \frac{T}{2}$



(b)　$k\delta_1 < \frac{T}{2}$

图 2　正弦曲线的 $\log(k) \sim \log N_{\delta 2}$关系

(5)中的 $A_{max} = 1$, $k_2 = 2^6$, 计算中取正弦信号的数据点数为 500。由图 2中 (a)图可知在 $k = 64$时 (图中用一个圆圈进行了标注), 该点明显偏离拟合直线, 此时矩形网格的时间尺度$\frac{64}{2000}$大于正弦曲线的半周期$\frac{50}{2000}$, 从而验证了上面有关矩形网格的时间尺度最高有效取值范围的分析, $k\delta_1 < \frac{T}{2}$ (T 为信号周期。图 (b)为去掉 $k = 64$时的数据点后所得的该正弦曲线分形维数拟合直线, 此时盒维数值为 1 024。

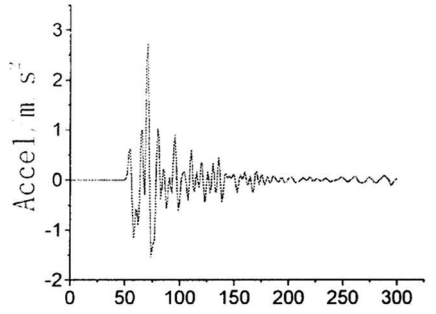
3　爆破地震波曲线的盒维数值

根据分析, 可对爆破地震波信号的盒维数进行计算, 并同时结合爆破地震振动特性对矩形盒尺寸的有效取值范围进一步分析。

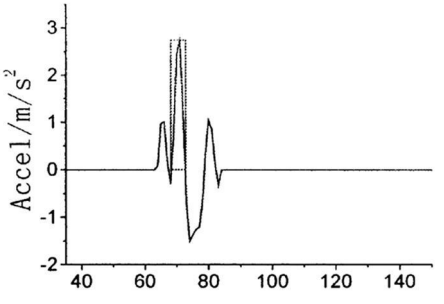
图 3中 (a)图所示的爆地震波采样频率为 1 024Hz, 横坐标为数据点数, 图中显示了所采集数据的前 300个数据值, 最高峰值 $A\max = 2\ 762 m/s^2$, 图 (b)是为了突出最高峰值所在波峰的半周期曲线而将其它数据置零的波形曲线, 图中也同时给出了最高峰值两边的波峰或波谷曲线。由最高峰值所处的半周期曲线与基准线交点的跨度为 4 65个采样间隔 (如图中的矩形方格所示), 近似为 5, 则周期为$\frac{10}{1024} = 0\ 009\ 8$s, 频率 102 4Hz, 根据前面的有关分析, 在计算该爆破地震波曲线的矩形盒维数时, k 的取值范围为 $1 \leqslant k \leqslant 5$。在计算爆破地震波的分形盒维数时, 只取爆破地震波曲线的有效振动区间 (信号的连续振动峰值大于某个阈值的数据范围, 在本问题中该阈值定义为 $\text{threshold} = \frac{A_{\max}}{20}$), 则进行盒维计算的实际分析数据为 $s(n)$, (n= 50, 51, …180)。计算中 k的取值为 k= 1, 2, …6, 矩形盒的纵向尺度 δ_2 取值相邻数据点间

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的最小非零幅值差 $\Delta A_{min} = 0.002\ 9$的两倍。如图 4所示, 在 $k = 6$时 (图中用圆圈标注了的点)的数据点明显偏离了拟合直线, 去掉该点后的拟合直线斜率 $k_1 = 1.243$, 即为该爆破地震波信号的盒维数值。如果根据爆破地震波的频谱分析所得的主振频率来确定 k 的取值, 此时周期为 204Hz, 则 k 的取值为: $k = 1, 2$。求解盒维数时只需由图 4中前两个数据来进行进行直线拟合。得到的斜率值作为盒维数值, 虽然其相关性强 (相关系统为 1), 但所得结果的说服力是令人怀疑的。



(a) 原爆破地震波波



(b) 爆破地震波的主振峰值区

图 3 爆破地震波波形曲线及最高峰值区域波形

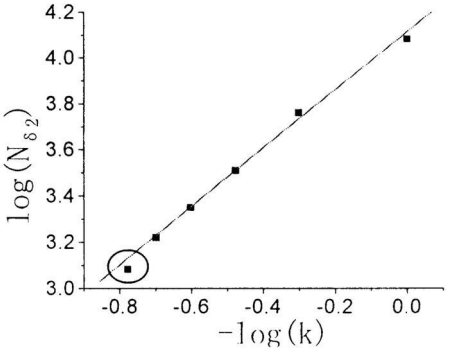


图 4 爆破地震波的 $\log(k) \sim \log V_{\delta 2}$关系曲线

在建立了爆破地震波的双尺度矩形盒维数计算模型后, 对岩石场地进行的爆破地震波信号进行了分形特征研究孔深为 5m 的单孔和单段多孔爆破试验, 有关试验参数见表 1。在进行分形盒维数计算时, 振幅尺度均取各条爆破地震波曲线中相邻数据点间的最小非零幅值差的两倍 $\delta_2 = 2\Delta A_{min}$, 其分形盒维数范围为: 1.155~ 1.321。

表 1 爆破地震波盒维数计算数据

序号	q(kg)	d/(m)	ppv/(m/s²)	k_2	D
1	27	90	5.282	4	1.279
2	21	89	2.762	5	1.243
3	14	83	3.352	4	1.247
4	18	83	5.898	6	1.279
5	14	78	3.067	5	1.24
6	18	78	5.242	6	1.321
7	9	74	2.37	5	1.243
8	6	74	2.969	5	1.267
9	28	71	5.898	6	1.155
10	7	66	3.28	5	1.324

4 结 论

对爆破地震波信号而言, 它一般分为振动上升和衰减阶段, 而介于两者之间为强振阶段, 它是爆破地震效应研究中的主要内容之一。因而可以说最高振动峰值所处波形曲线基本能代表该地震波信号的主要特征, 并且它在整个信号中显得较为突出, 基本反映了爆破地震波曲线的主体轮廓特征。虽然它不是一个严格意义上的半周期正弦曲线, 但在对整个爆破地震波曲线进行盒维数求解时, 所使用的矩形盒尺寸其横向尺度不能大于该段波形曲线与基线的交点跨度, 在纵向不能大于振动信号的最大峰值, 否则所得到的盒维数值根本不能反映整个信号的振动特征。

建立时间和振幅尺度上的双尺度矩形盒模型充分考虑了实际测量信号的双尺度效应, 因而它在分形研究中具有较大的适应性。根据爆破地震波最高振动峰值所处波峰或谷确定的周期在确定 k的最高取值时, 充分考虑了爆破地震波振动特征, 根据此方法计算的爆破地震波分形盒维数值更准确, 更具说服力。

参 考 文 献

1 Alex P. Pentland. Fractal- based description of natural scenes [J], IEEE transaction on pattern and machine intelligence, Vol. PAMI- 6, November 1984: 661— 647

2 林鸿溢, 李映雪, 分形论——奇异性探索 [M], 北京: 北京理工大学出版社, 1992

3 Petros Maragos. Fractal aspects of speech signals: dimension and interpolation, [USA] ADA249102, 1992

4 张济忠. 分形 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995

(下转第 93页)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 Angela Kuo Wang, Wei Ren. A New Indirect Adaptive Algorithm for Feedforward Control with Application to Active Noise Cancellation, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing 1995, 9: 227—237
4 Yamamoto K, Yamamoto T, Ohmori H, Sano A. Adaptive Feedforward Control Algorithms for Active Vibration Control of Tall Structures Proc. of the 1997 IEEE International Conf on Control Applications, 736—742
5 刘贺平. 直接辨识扰动模型的内模极点配置自适应控制. 自动化学报, 1998, 24(4): 502—507
6 Jer-Nan Juang, Minh Phan, Lucas G. Horta, Richard W. Longman. Identification of Observer/Kalman Filter Markov Parameters Theory and Experiments. Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 1993, 16(2): 320—329
7 Phan M, Horta L G, Juang J N, Longman R W. Linear System Identification Via an Asymptotically Stable Observer. Journal of Optimization Theory and Application, 1993, 79(1): 59—86
8 夏天长著, 熊光楞, 李芳芸译. 最小二乘辨识. 北京: 清华大学出版社, 1983

(上接第 29页)

表 1

密度(kg/m³) / 模态(Hz)	1500	**2400**	**3800**	2E6	2E7	一体化模型	实验值(紧连接)	实验值(松连接)
1阶模态	56.25	**53.24**	**50.21**	23.86	23.56	56.25	**53.13**	**50.35**
2阶模态	192.70	**186.85**	**181.59**	**76.57**	**75.23**	**192.70**	**185.60**	**180.74**
3阶模态	**347.76**	**338.78**	**324.86**	**203.54**	**202.35**	**347.76**	**335.48**	**322.27**

4 结论及展望

1)附加面材料的弹性模量和密度的取值对装配结构的模态分析结果有较大影响, 通过添加附加面, 并合理设置材料属性来模拟装配结构连接刚度的方法是可行的。

2)随着附加面材料弹性模量数值的增加, 组合式悬臂梁装配模型的各阶模态频率随之增加, 总体呈线性递增的趋势; 而随着附加面材料密度值的增加, 装配模型各阶模态频率随之减小, 大致呈双曲线递减的趋势。

3)经附加面方法处理的装配结构的模态分析结果与刚性连接的一体化结构分析结果有明显的不同。为了获得可靠的仿真数据, 装配结构的模态分析不宜简单地用刚性连接的一体化结构模态分析代替, 而应该采用考虑了连接刚度的装配结构模态分析方法计算。

4)用于模拟装配结构连接刚度的附加面材料的各属性参数, 可根据上述实验获得。对于具体的实验结果, 总可确定出合理的附加面材料属性参数, 使得所模拟的连接刚度与真实情况吻合。经过长期积累, 用这种方法可以建立与装配结构形式相对应的附加面材料属性库。在进行装配结构仿真分析时, 针对不同的装配形式, 通过从材料属性库中选取相应的附加面的分析方法, 将能较好地反映实际工况, 提高装配结构模态分析计算的精确度和可靠性。

参 考 文 献

1 米罗维奇. 结构动力学计算方法. 北京: 国防工业出版社, 1987
2 傅志方. 模态分析理论与应用. 上海: 上海交通大学出版社, 2000
3 MSC Nastran v69 Basic Dynamic Analysis User's Guide, Chapter 3 Real Eigenvalue Analysis, The MacNeal-Schwendler Corporation, July 1997

(上接第 84页)

5 刘占生, 刘成敏, 刘树春等. 小波分析和分形几何在转子动静碰摩擦故障诊断中的应用[J], 振动工程学报, 1998, 11(1): 81~84
6 Statish Bukkapatnam, Soundar R. T. Kumara. Akhlesh Lakhtarkia, Fractal estimation of flank wear in turning, [USA] 1996, DAAH04-96-1-0082
7 Petros Maragos, Fang-Kuo Sun. Measuring the fractal dimension of signals: morphological covers and iterative optimization [J], IEEE Transaction on signal processing. January 1993, 41(1): 108—121
8 Gregory W. Wornell, Alan V. Oppenheim. Estimation of fractal signals from noisy measurements using wavelets [J], IEEE transaction on signal processing, 1992, 40(3): 611—623
9 张军华, 乐友善, 陆基孟. 小波变换和分形属性在提高地震资料分辨率中的应用[J]. 石油物探, 1997, 36(3): 13—22
10 訾艳阳, 胥华刚, 何正嘉. 离散振动信号分形盒维数的改进算法和应用[J], 机械科学与技术, 2001, 20(3): 372—375

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words fluid- structure interaction, shock, ANSYS

FAULT DIAGNOSIS OF ROTOR BASED ON SOFT COMPUTING

Li Ruqiang Chen Jin Wu Xing

(The State Key Laboratory of Vibration, Shock & Noise of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

Abstract A method of fault diagnosis of rotors based on soft computing is proposed. In the method various approaches such as fuzzy sets theory, artificial neural network, rough sets theory and genetic algorithm, are integrated for synthesizing their merits and eliminating their shortcomings for fault diagnosis of rotors. Based on rough sets theory, crude domain knowledge rules are extracted; dependent factors and antecedent coverage factors of rules are calculated from sample data. These are employed for constructing and configuring fuzzy neural network, where the number of neurons of hidden layer of network is equated to the number of rules and the initial weights of network are configured by above factors. Genetic algorithm is also utilized to optimize the fuzzy output parameters of network. The result of rotor experiment shows that the method has the merits of shorter training time and higher right diagnostic level, compared to other methods of diagnosis based on fuzzy neural network.

Key words soft computing; rotor; fault diagnosis; rough sets theory; fuzzy neural network; genetic algorithm

STUDY ON DOUBLE- SCALED RECTANGLE BOX MODEL OF BLASTING SEISMIC WAVE'S FRACTAL DIMENSION COMPUTATION

Lou Jianwu Long Yuan Xu Quanjun Zhou Xiang

(Engineering Institute of Engineer Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007)

Abstract Considering the blasting seismic wave's double- scaled feature, a double- scaled rectangle box model is built, in which the transverse side δ_1 is time and the longitudinal side δ_2 is decided by the signal's maximum amplitude. The maximum value of k in no- scaled region is decided by the signal's half period which is acquired according to the intersect time interval of the wave crest with the base line, within which the maximum vibration peak of the whole blasting seismic signal locates. The k_{max} is limited by the relation $k\delta_1 < [\frac{T}{2}]$, and at the longitudinal side $k\delta_2$ must be less than the highest peak value of the blasting seismic wave. The blasting seismic wave's box dimension is commuted and the results manifest that the blasting seismic wave possesses the fractal feature.

Key words mechanics of explosion; blasting seimic wave; fractal; double- scaled rectangle box; box dimension; no- scale region

ROLLER BEARING FAULT DIAGNOSIS METHOD BASED ON EMD AND NEURAL NETWORK

Yang Yu Yu Dejie Cheng Junsheng

(College of Mechanical and Automotive Engineering, Hunan University, Changsha 410082)

Abstract Aiming at the non- stationary characteristics of roller bearing fault vibration signals, roller bearing fault diagnosis method based on Empirical Mode Decomposition (EMD) and neural networks is put forward. First of all, original signals are decomposed into a finite number of stationary Intrinsic Mode functions (IMFs), then a number of IMFs containing main fault information is selected for further analysis. The energy of acceleration vibration signal would vary in different frequency bands when bearing fault occurs, therefore energy feature parameter extracted from IMFs could be

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net