



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101762634 B

(45) 授权公告日 2012. 03. 21

(21) 申请号 200910243169. 9

(22) 申请日 2009. 12. 31

(73) 专利权人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 骆红云 王宏伟 韩志远 钟群鹏

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所

11121

代理人 李有浩

(56) 对比文件

W0 01/95039 A2, 2001. 12. 13,

JP 特开 2006-138865 A, 2006. 06. 01,

CN 101566601 A, 2009. 10. 28,

李治彬等. 《船用 65Mn 钢高周疲劳强度研究》. 《应用科技》. 2007, 第 34 卷 (第 04 期), 54-56.

审查员 支辛辛

(51) Int. Cl.

G01N 29/04 (2006. 01)

G01N 29/14 (2006. 01)

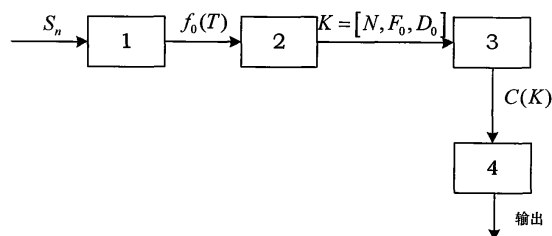
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统

## (57) 摘要

本发明公开了一种基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统, 该系统的原始波形信号提取单元 (1) 对多路传感信息  $S_n$  进行模数转换后输出声发射波形信息  $f_0(T)$ ; 双谱估计模块 (21) 采用双谱分析法对声发射波形信息  $f_0(T)$  进行处理得到双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$ , 然后双谱对角切片模块 (22) 对双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  进行对角切片分析得到双谱对角切片信息  $\omega(F)$ , 最后形变损伤状态峰值频次分析模块 (23A) 对角切片信息  $\omega(F)$  进行处理输出形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  给形变损伤等级评定单元 (3) 和预警单元 (4) 进行评定和报警。本发明通过声发射技术对在役 16Mn 钢承力件进行监测, 得到声发射信号表示的形变损伤状态信息, 并采用双谱分析方法对其形变损伤状态进行定量评估, 并评定形变损伤等级。应用本发明能够对 16Mn 钢承力件形变损伤状态进行直观、定量、实时的评估判断, 从而做出预警, 减少装备及人员伤亡等损失。



1. 一种基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统,其特征在于:该系统由原始波形信号提取单元 (1)、形变损伤状态矩阵分析单元 (2)、形变损伤等级评定单元 (3) 和预警单元 (4) 组成;

其中,形变损伤状态矩阵分析单元 (2) 由双谱估计模块 (21)、双谱对角切片模块 (22) 和形变损伤状态矩阵分析模块 (23) 组成;

所述的形变损伤状态矩阵分析模块 (23) 由形变损伤状态峰值频次分析模块 (23A)、形变损伤状态特征频率分析模块 (23B) 和形变损伤状态频率指数计算模块 (23C) 组成;

原始波形信号提取单元 (1) 对接收的多路传感信息  $S_n$  进行模数转换后输出声发射波形信息  $f_0(T)$ ;所述的声发射波形信息  $f_0(T)$  中包含有声发射信号波形中的幅值、频率、相位等诸多信息;

双谱估计模块 (21) 采用双谱分析法对声发射波形信息  $f_0(T)$  进行处理得到双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$ ,然后双谱对角切片模块 (22) 对双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  进行对角切片分析得到双谱对角切片信息  $\omega(F)$ ,最后形变损伤状态特征峰频分析模块 (23A) 对角切片信息  $\omega(F)$  进行处理输出形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  给形变损伤等级评定单元 (3) 进行形变损伤状态评定;双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  是二维函数,具有对称性质,可采用双谱的双谱切片来分析信号的某些特性;双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  中  $\omega_1$  表示双谱切片上 X 轴上的频率,  $\omega_2$  表示双谱切片上 Y 轴上的频率;

预警单元 (4) 接收到报警启动信号后,触发启动开关输出提示音;

所述原始波形信号提取单元 (1) 第一方面用于接收多个声发射换能器输出的传感信息  $S_n$ ,第二方面对接收到的多路传感信息  $S_n$  进行模数转换后,提取出每种损伤状态下的发射信号幅值  $(\frac{A_{\min} + A_{\max}}{2}, A_{\max})$  或者声发射能量  $(\frac{E_{\min} + E_{\max}}{2}, E_{\max})$  的声发射波形信息  $f_0(T)$ ,第三方面将声发射波形信息  $f_0(T)$  输出给形变损伤状态矩阵分析单元 (2);  $A_{\min}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数中的最小值,  $A_{\max}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数中的最大值,  $E_{\min}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数中的最小值,  $E_{\max}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数中的最大值;

所述双谱估计模块 (21) 采用双谱分析法对接收到的声发射波形信息  $f_0(T)$  进行处理得到双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$ ;

双谱对角切片模块 (22) 对接收到的双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  进行对角切片分析得到双谱对角切片信息  $\omega(F)$ ;

形变损伤状态峰值频次分析模块 (23A) 接受到对角切片信息  $\omega(F)$  后,并根据  $\omega(F)$  分析出形变损伤状态峰值频次指数  $N$ ,方法如下:取  $\omega(F)$  中归一化双谱值  $> 0$  的峰值个数作为形变损伤状态峰值频次  $N$  的取值,单位为个;

形变损伤状态特征频率分析模块 (23B) 接受到对角切片信息  $\omega(F)$  后,并根据  $\omega(F)$  分析出形变损伤状态特征频率  $F_0$ ,方法如下:取  $\omega(F)$  中第一个归一化双谱值  $> 0$  的峰值频率作为形变损伤状态特征频率  $F_0$  的取值,单位 kHz;

形变损伤状态频率指数计算模块 (23C) 接受到对角切片信息  $\omega(F)$  后,并根据  $\omega(F)$  计算出形变损伤状态频率指数  $D_0$ ,方法如下:取归一化双谱值  $> 0$  的峰值频率,并把每个峰值归一化双谱值的大小作为该峰值频率的权值,得到所有归一化双谱值  $> 0$  的峰值频率的

加权平均值,并把该加权平均值设定为形变损伤状态频率指数  $D_0$ ;

由形变损伤状态峰值频次  $N$ 、形变损伤状态特征频率  $F_0$  和形变损伤状态频率指数  $D_0$  共同构成了反映 16Mn 钢承力件形变损伤状态的形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$ ,然后将形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  传递给形变损伤等级评定单元 (3);

所述形变损伤等级评定单元 (3) 根据接收到的形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$ ,应用形变损伤等级  $C(K) = i$  和等级评定条件  $N = N_i$ 、 $F_0 = F_i$  和  $D_0 \in Q_i$  进行评定在役 16 锰钢承力件的形变损伤状态的危害程度大小;

其中,  $C(K)$  为形变损伤等级信息,  $i$  为形变损伤等级,即该形变损伤状态的形变损伤等级为第  $i$  级;

$N_i$  是第  $i$  级形变损伤的特定形变损伤状态峰值频次,即形变损伤等级  $C(K) = i$  时,有  $N = N_i$ ;

$F_i$  是第  $i$  级形变损伤的特定形变损伤状态特征频率,即形变损伤等级  $C(K) = i$  时,有  $F_0 = F_i$ ;

$Q_i$  是第  $i$  级形变损伤的特定形变损伤状态频率指数分布区间,即形变损伤等级  $C(K) = i$  时,有  $D_0 \in Q_i$ ;

当形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  不满足所述等级评定条件  $N = N_i$ 、 $F_0 = F_i$  和  $D_0 \in Q_i$  时,做为野值剔除;

该形变损伤等级信息  $C(K)$  作为预警信息来启动预警单元 (4) 进行预警。

2. 根据权利要求 1 所述的基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统,其特征在于:在原始波形信号提取单元 (1) 对多路传感信息  $S_n$  进行提取获得每种形变损伤状态下的声发射波形信息  $f_0(T)$  所依据的关系为  $A \in (\frac{A_{\min} + A_{\max}}{2}, A_{\max}) \cup E \in (\frac{E_{\min} + E_{\max}}{2}, E_{\max})$ ,式中,  $A$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数,  $A_{\min}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数中的最小值,  $A_{\max}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数中的最大值,  $E$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数,  $E_{\min}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数中的最小值,  $E_{\max}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数中的最大值。

3. 根据权利要求 1 所述的基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统,其特征在于:设归一化双谱值  $> 0$  的第一个峰值的频率为  $F_1$ ,归一化双谱值为  $\omega_1$ ,归一化双谱值  $> 0$  的第二个峰值的频率为  $F_2$ ,归一化双谱值为  $\omega_2$ ,一直到归一化双谱值  $> 0$  的第  $n$  个峰值的频率为  $F_n$ ,归一化双谱值为  $\omega_n$ ,则形变损伤状态的形变损伤状态频率指数  $D_0 = \frac{F_1\omega_1 + F_2\omega_2 + \dots + F_n\omega_n}{n}$ 。

## 基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种对港口大型机械设备中的承力件进行形变损伤状态的定量评估,更特别地说,是指一种采用双谱分析法,对在役 16 锰钢(16Mn 钢)承力件的形变损伤状态进行表征和定量评估的系统。

### 背景技术

[0002] 港口大型机械设备中的岸边设备:如装船机、卸船机、抓斗机等,常应用 16Mn 钢作为关键承力件。岸边设备在使用一段时间后,作为主要承力件的 16Mn 钢的形变损伤状态对整个岸边设备的使用寿命将造成重要影响。

[0003] 16Mn 钢是结合我国资源情况(锰是我国富产元素)发展起来的一种低合金钢,已被广泛使用。16Mn 钢承力件在服役一定的时间后,时常会发生一些失效事故,而损伤是造成其失效的主要原因,为此要对其损伤状态作出定量评估,及时、正确地评价 16Mn 钢承力件的损伤等级,为其安全运行及寿命预测提供依据。

[0004] 声发射技术(Acoustic Emission Technique)因具有动态、实时检测等优点,已广泛的应用于结构和构件的损伤检测。实践表明,材料在受载荷作用时会发生不同程度的损伤,而损伤状态的变化会导致声发射波形信号特征发生一系列变化。例如在受静拉伸载荷作用时会发生弹性损伤状态转变为屈服损伤状态,这些损伤状态转变都将引起声发射波形信号幅度、相位、频率的变化;因此可以利用声发射技术作为监测 16Mn 钢承力件形变损伤状态的工具。

[0005] 双谱分析法是信号处理领域非常有用的重要分析工具。它能有效的分析处理非高斯、非线性、非因果信号和高斯有色噪声及盲信号。它从更高概率结构表征随机信号,可弥补二阶统计量(功率谱)不含相位信息、不能提取更多有用信息的缺陷,具有高分辨率和强抗噪声能力等优点。以声发射波形信号数据为基础的双谱分析方法可获得信号的定量谱特征,因此可以将双谱分析法应用于形变损伤状态的声发射信号处理中,从而得到形变损伤状态的定量表征与评估。

[0006] 随着现代工业日益向大规模、高效率发展,作为港口重要物流装备的大型岸边起重机械,具有以下几个特点:

[0007] 1、目前使用中的很多大型起重机是上世纪 60 年代至 70 年代我国自行设计制造或从东欧进口,还有少数是从美、日等国进口的二手设备,按设计寿命 20~25 年考虑,很多设备也已进入服役后期或超期服役阶段;

[0008] 2、任务重,随着生产规模的扩大,许多起重机的工作日趋繁重,超载的情况也时有发生;

[0009] 3、目前的损伤检测方法在大型钢结构检测方面都存在不同程度的局限性,如超声波检测和磁粉检测等方法对起重机进行的部分抽样检测,盲目性大、易出现漏检且检测的周期长,工作量大,费用昂贵;

[0010] 4、预警评估系统目前尚不完善,目前应用的分析判别技术还不能对起重机承力件的形变损伤做出准确的预警和安全评估,尤其是我国港口大型机械设备安全事故时有发生,其中,超载引起的拉伸形变损伤是港口大型岸边起重装备承力件主要的损伤模式之一。

[0011] 因此,为确保大型岸边起重机械安全可靠的运行,须对承力件进行检测、判断形变损伤状态,从而进行安全评估。

## 发明内容

[0012] 为了减少大型岸边起重机械在使用过程中,由于形变损伤导致的 16Mn 钢承力件突然断裂造成的损失,本发明提出一种采用声发射技术对在役 16Mn 钢承力件进行监测,得到声发射波形信号表示的形变损伤状态信息,并采用双谱分析方法对其形变损伤状态进行定量评估。应用本发明的监测结果能够对 16Mn 钢承力件形变损伤状态进行定量的评估判断,从而做出预警,减少装备及人员伤亡等损失。

[0013] 本发明的基于双谱分析的在役 16 锰钢承力件形变损伤状态表征与定量评估系统,该系统由原始波形信号提取单元 (1)、形变损伤状态矩阵分析单元 (2)、形变损伤等级评定单元 (3) 和预警单元 (4) 组成;

[0014] 其中,形变损伤状态矩阵分析单元 (2) 由双谱估计模块 (21)、双谱对角切片模块 (22) 和形变损伤状态矩阵分析模块 (23) 组成;

[0015] 所述的形变损伤状态矩阵分析模块 (23) 由形变损伤状态峰值频次分析模块 (23A)、形变损伤状态特征频率分析模块 (23B) 和形变损伤状态频率指数计算模块 (23C) 组成;

[0016] 原始波形信号提取单元 (1) 对接收的多路传感信息  $S_n$  进行模数转换后输出声发射波形信息  $f_0(T)$ ;

[0017] 双谱估计模块 (21) 采用双谱分析法对声发射波形信息  $f_0(T)$  进行处理得到双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$ ,然后双谱对角切片模块 (22) 对双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  进行对角切片分析得到双谱对角切片信息  $\omega(F)$ ,最后形变损伤状态特征峰频分析模块 (23A) 对角切片信息  $\omega(F)$  进行处理输出形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  给形变损伤等级评定单元 (3) 进行形变损伤状态评定;

[0018] 预警单元 (4) 接收到报警启动信号后,触发启动开关输出提示音。

[0019] 本发明基于双谱分析法对 16Mn 钢承力件形变损伤状态进行评估的系统优点在于:

[0020] (A) 本发明使用双谱分析方法,将声发射波形信息定量化,得到了反映 16Mn 钢承力件的形变损伤状态的定量参数。这种方法较传统的频谱分析方法更为直观准确,并且具有定量化的特点,便于对 16Mn 钢的形变损伤状态做出正确的评估。

[0021] (B) 本发明结合声发射技术与双谱分析方法,提出了 16Mn 钢的形变损伤状态矩阵,形变损伤状态矩阵通过形变损伤状态频率指数,形变损伤状态峰值频次以及形变损伤状态特征频率三个参量共同对形变损伤状态进行评估,使得评定结果精确可靠,大大减小了错误的概率。

[0022] (C) 对形变损伤下的 16 钢承力件进行了形变损伤等级的划分和鉴定。可以简单易行地对未知形变损伤状态的 16Mn 钢承力件做出形变损伤状态、形变损伤程度的评价。

[0023] (D) 使用本发明可以对工况下的 16Mn 钢承力件的形变损伤进行实时监测,出现危险情况时可及时预警,因此可以大大减少人员财产的损失,保证安全以及经济效益。

#### 附图说明

[0024] 图 1 是声发射仪与多个传感器连接的简示图。

[0025] 图 2 是声发射仪中存储有 16Mn 钢形变损伤状态定量评估系统的结构框图。

[0026] 图 2A 是本发明形变损伤状态矩阵分析单元结构框图。

[0027] 图 3 是声发射波形信息示意图。

[0028] 图 4 是本发明的双谱对角切片图。

[0029] 图中 :1. 原始波形信号提取单元 2. 形变损伤状态矩阵分析单元

[0030] 21. 双谱估计模块 22. 双谱对角切片模块

[0031] 23. 形变损伤状态矩阵分析模块 23A. 形变损伤状态峰值频次分析模块

[0032] 23B. 形变损伤状态特征频率分析模块 23C. 形变损伤状态频率指数计算模块

[0033] 3. 形变损伤等级评定单元 4. 预警单元

#### 具体实施方式

[0034] 下面将结合附图和实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0035] 本发明通过在大型岸边起重机械的承力件上布置多个声发射传感器,并且多个声发射传感器的输出端分别与声发射仪连接。该声发射仪对接收到的多路传感信息应用本发明的 16Mn 钢形变损伤状态定量评估系统进行处理,从而对被测对象(大型岸边起重机械的承力件)的形变损伤状态进行定量评估。参见图 1 所示,一个声发射仪分别与声发射传感器 A、声发射传感器 B、声发射传感器 C、……、声发射传感器 N 连接,通过多个声发射传感器实现对被测对象的多路声信息的采集。

[0036] 所述的声发射传感器选取 PAC 公司生产的 R15 传感器。其共振频率为 150kHz。

[0037] 所述的声发射仪选取 PAC 公司生产的全数字式声发射系统。该声发射系统包括有主机系统和 DiSP 系统,本发明的 16Mn 钢形变损伤状态定量评估系统存储在主机系统的存储器中。该 DiSP 系统中的每通道具有高达 2MHz 的信号采样率。

[0038] 参见图 2、图 2A 所示,为了减少大型岸边起重机械在使用过程中,由于各种形变损伤导致的 16Mn 钢承力件突然断裂造成的损失,本发明采用双谱分析法对在役 16Mn 钢承力件进行形变损伤状态进行定量评估。本发明的 16Mn 钢形变损伤状态定量评估系统包括有原始波形信号提取单元 1、形变损伤状态矩阵分析单元 2、形变损伤等级评定单元 3 以及预警单元 4。

[0039] 在本发明中,形变损伤状态表征与定量评估系统采用 Matlab 语言(版本 7.0)开发,运行在声发射仪的处理器中。本发明采用数字化的技术手段对在役 16Mn 钢承力件进行形变损伤状态的定量评估,从而实现对大型岸边起重机械危险情况的提前预警。

[0040] 下面分别对本发明形变损伤状态表征与定量评估系统中的各个单元采用的技术手段、实现的功能进行详细说明:

[0041] (一) 原始波形信号提取单元 1

[0042] 在本发明中,原始波形信号提取单元 1 第一方面用于接收多个声发射换能器(也

称传感器)分别输出的形变损伤状态的传感信息  $S_n$ , 第二方面对接收到的多路传感信息  $S_n$  进行模数转换后, 提取出每种损伤状态下的声发射信号幅值( $\frac{A_{\min} + A_{\max}}{2}$ ,  $A_{\max}$ )或者声发射能量( $\frac{E_{\min} + E_{\max}}{2}$ ,  $E_{\max}$ )的声发射波形信息  $f_0(T)$ , 第三方面将声发射波形信息  $f_0(T)$  输出给形变损伤状态矩阵分析单元 2。

[0043] 所述的声发射波形信息  $f_0(T)$  中包含有声发射信号波形中的幅值、频率、相位等诸多信息, 声发射波形信息的具体形式如图 3 所示。图中所示为每 0.0000005 秒记录一个传感器输出的电压数据点, 然后绘成这个波形图。对于多路传感器接到的声音振动转化为电压信号, 不能定量的看出不同的振动声源有什么区别, 因此本发明采用双谱分析法来对信号源进行量化表征。

[0044] 在原始波形信号提取单元 1 对多路传感信息  $S_n$  进行提取获得每种形变损伤状态下的声发射波形信息  $f_0(T)$  所依据的关系为  $A \in (\frac{A_{\min} + A_{\max}}{2}, A_{\max}) \cup E \in (\frac{E_{\min} + E_{\max}}{2}, E_{\max})$ , 式中,  $A$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数,  $A_{\min}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数中的最小值,  $A_{\max}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射幅值参数中的最大值,  $E$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数,  $E_{\min}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数中的最小值,  $E_{\max}$  表示传感信息  $S_n$  的声发射能量参数中的最大值。

[0045] (二) 形变损伤状态矩阵分析单元 2

[0046] 在本发明中, 形变损伤状态矩阵分析单元 2 由双谱估计模块 21、双谱对角切片模块 22 和形变损伤状态矩阵分析模块 23 组成;

[0047] 其中形变损伤状态矩阵分析模块 23 由形变损伤状态峰值频次分析模块 23A、形变损伤状态特征频率分析模块 23B 和形变损伤状态频率指数计算模块 23C 组成。

[0048] 双谱估计模块 21 采用双谱分析法对接收到的声发射波形信息  $f_0(T)$  进行处理得到双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$ ; 双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  是二维函数, 具有对称性质, 可采用双谱的某种一维分量(双谱切片)来分析信号的某些特性。双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  中  $\omega_1$  表示双谱切片上 X 轴上的频率,  $\omega_2$  表示双谱切片上 Y 轴上的频率。

[0049] 双谱对角切片模块 22 对接收到的双谱估计  $B(\omega_1, \omega_2)$  进行对角切片分析得到双谱对角切片信息  $\omega(F)$ ; 该双谱对角切片信息  $\omega(F)$  采用坐标表示为如图 4 所示, 坐标纵轴是归一化双谱值  $\omega$ , 横轴是频率  $F$ , 单位 (kHz)。从图 4 中可以看出数学化的双谱变换转化为频域, 能够定量分析出不同位置传感器采集到的声发射振动源的区别。

[0050] 形变损伤状态矩阵分析模块 23 接收到对角切片信息  $\omega(F)$ , 并分别将其传给该模块中的形变损伤状态峰值频次分析模块 23A, 形变损伤状态特征频率分析模块 23B 以及形变损伤状态频率指数计算模块 23C。

[0051] 形变损伤状态峰值频次分析模块 23A 接受到对角切片信息  $\omega(F)$  后, 并根据  $\omega(F)$  分析出形变损伤状态峰值频次指数  $N$ , 方法如下: 取  $\omega(F)$  中归一化双谱值  $> 0$  的峰值个数作为形变损伤状态峰值频次  $N$  的取值, 单位为个。

[0052] 形变损伤状态特征频率分析模块 23B 接受到对角切片信息  $\omega(F)$  后, 并根据  $\omega(F)$  分析出形变损伤状态特征频率  $F_0$ , 方法如下: 取  $\omega(F)$  中第一个归一化双谱值  $> 0$  的峰值频率作为形变损伤状态特征频率  $F_0$  的取值, 单位 kHz。

[0053] 形变损伤状态频率指数计算模块 23C 接受到对角切片信息  $\omega(F)$  后, 并根据  $\omega(F)$  计算出形变损伤状态频率指数  $D_0$ , 方法如下: 取归一化双谱值  $> 0$  的峰值频率, 并把每个峰值归一化双谱值的大小作为该峰值频率的权值, 得到所有归一化双谱值  $> 0$  的峰值频率的加权平均值, 并把该加权平均值设定为形变损伤状态频率指数  $D_0$ 。

[0054] 设归一化双谱值  $> 0$  的第一个峰值的频率为  $F_1$ , 归一化双谱值为  $\omega_1$ , 归一化双谱值  $> 0$  的第二个峰值的频率为  $F_2$ , 归一化双谱值为  $\omega_2$ , 一直到归一化双谱值  $> 0$  的第  $n$  个峰值的频率为  $F_n$ , 归一化双谱值为  $\omega_n$ , 则形变损伤状态的形变损伤状态频率指数  $D_0$  (kHz) 为  $D_0 = \frac{F_1\omega_1 + F_2\omega_2 + \cdots + F_n\omega_n}{n}$ 。

[0055] 由形变损伤状态峰值频次  $N$ 、形变损伤状态特征频率  $F_0$  和形变损伤状态频率指数  $D_0$  共同构成了反映 16Mn 钢承力件形变损伤状态的形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$ , 然后将形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  传递给形变损伤等级评定单元 3。

[0056] (三) 形变损伤等级评定单元 3

[0057] 在本发明中, 该形变损伤等级评定单元 3 根据接收到的形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$ , 并对其做出评定: 根据形变损伤状态的危害程度大小不同将形变损伤状态分为数个等级, 当形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  中  $N = N_i$ 、 $F_0 = F_i$  和  $D_0 \in Q_i$  时, 则评定为形变损伤等级  $C(K) = i$ 。

[0058] 其中,  $C(K)$  为形变损伤等级信息,  $i$  为形变损伤等级, 即该形变损伤状态的形变损伤等级为第  $i$  级;

[0059]  $N_i$  是第  $i$  级形变损伤的特定形变损伤状态峰值频次, 即形变损伤等级  $C(K) = i$  时, 有  $N = N_i$ ;

[0060]  $F_i$  是第  $i$  级形变损伤的特定形变损伤状态特征频率, 即形变损伤等级  $C(K) = i$  时, 有  $F_0 = F_i$ ;

[0061]  $Q_i$  是第  $i$  级形变损伤的特定形变损伤状态频率指数分布区间, 即形变损伤等级  $C(K) = i$  时, 有  $D_0 \in Q_i$ 。

[0062] 当形变损伤状态矩阵  $K = [N, F_0, D_0]$  不满足等级评定条件  $N = N_i$ 、 $F_0 = F_i$  和  $D_0 \in Q_i$  时, 做为野值加以剔除。

[0063] 该形变损伤等级信息  $C(K)$  作为预警信息来启动预警单元 4 进行预警。

[0064] 16Mn 钢承力件的形变损伤状态的形变损伤等级划分标准示例可参见表 1 所示, 该表 1 中的所有信息存储在声发射仪的主机中。

[0065] 表 1 形变损伤等级划分标准示例

[0066]

第 $i$ 级形变损伤状态 峰值频次 $N_i$ (个)	1	1	2	2	1	野值 剔除
第 $i$ 级形变损伤状态 特征频率 $F_i$ (kHz)	$< 105$	$120 \pm 15$	$240 \pm 5$	$130 \pm 5$	$240 \pm 5$	野值 剔除



第 i 级形变损伤状态						野值 剔除
频率指数区间 $Q_i$ (kHz)	< 105	(105, 135)	(160, 290)	(100, 210)	(230, 500)	
拉伸形变损伤状态	噪音	弹塑性损伤	屈服损伤	硬化损伤	颈缩损伤	——
形变损伤等级 i	0	1	2	3	4	——

[0067] (四) 预警单元 4

[0068] 该预警单元 4 采用如喇叭、扩音器等形式的提示音报警输出。

[0069] 在本发明中, 预警单元 4 接收到报警启动信号后, 触发启动开关输出提示音。该提示音可以是如喇叭、扩音器等发出的如音乐声。

[0070] 实施例 1 : 对 40 吨轨道式起重机的承力件进行声发射检测

[0071] 承力件 : 悬臂有效伸度 5000mm, 检测长度 3000mm。

[0072] 承力件所用的 16Mn 钢成分见表 2 :

[0073] 表 2 16Mn 钢成分含量

[0074]

成分	C	Mn	Si	P	S	Ca
质量百分比含量 (%)	0.16	1.42	0.31	0.022	0.033	0.10

[0075] 检测用设备有 : (A) 6 个 R15 型声发射传感器, 响应频率 100 ~ 400kHz, 中心频率 150kHz。

[0076] (B) 声发射仪为美国 PAC 公司全数字式 16 通道 DiSP 声发射系统。声发射仪检测时的门槛值 30dB, 声发射峰值定义时间 PDT 为 300  $\mu$ s, 声发射撞击限定时间 HDT 为 600  $\mu$ s, 声发射撞击闭锁时间 HLT 为 1000  $\mu$ s。

[0077] 在 16Mn 钢承力件的承受拉伸静载荷过程中, 首先对声发射波形信息进行收集, 并通过本发明对形变损伤状态作出评价。随机抽取的部分 16Mn 钢承力件形变损伤状态定量评估结果见表 3。

[0078] 表 3 部分 16Mn 钢承力件形变损伤状态定量评估结果

[0079]

声发射波形信息	形变损伤状态矩阵 $K = [N, F_0, D_0]$	形变损伤状态	形变损伤等级 $C(K)$
$f_0(T)$	$K_1 = [1, 128, 128]$	弹塑性损伤	1
$f_0(T)$	$K_3 = [1, 130, 130]$	弹塑性损伤	1
$f_0(T)$	$K_4 = [1, 128, 128]$	弹塑性损伤	1

$f_0(T)$	$K_4 = [1, 65, 65]$	噪音	0
----------	---------------------	----	---

[0080] 从表 3 的评估结果可以看出所选声发射波形信息的形变损伤状态矩阵中,形变损伤状态峰值频次为 1,形变损伤状态特征频率为 128 jHz 左右,形变损伤状态频率指数在 105 至 135kHz 之间,因此均属于弹塑性形变损伤状态,形变损伤等级为 1。说明该承力件还在安全范围内使用,形变损伤程度小,危险性低,无需报警。

[0081] 本发明建立了基于双谱分析对 16Mn 钢承力件进行形变损伤状态定量评估的系统,通过声发射技术对在役 16Mn 钢承力件进行监测,得到声发射信号表示的形变损伤状态信息,并采用双谱分析方法对其形变损伤状态进行定量评估,并评定形变损伤等级。应用本发明能够对 16Mn 钢承力件形变损伤状态进行直观、定量、实时的评估判断,从而做出预警,减少装备及人员伤亡等损失。

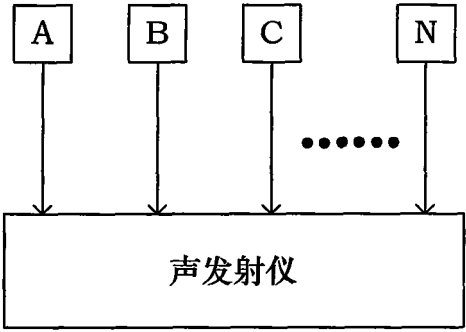


图 1

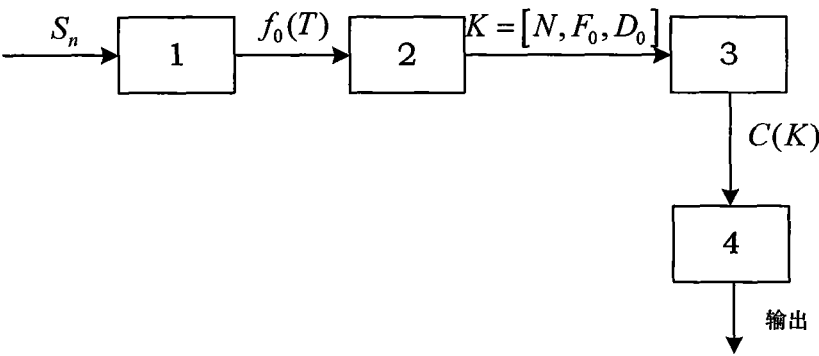


图 2

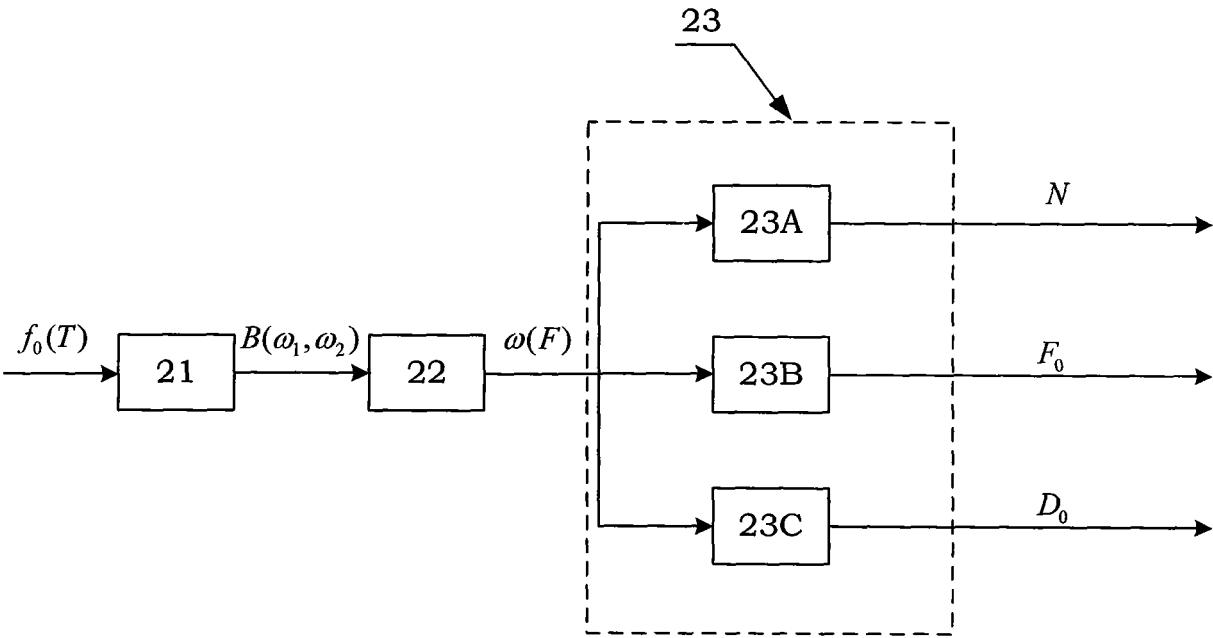


图 2A

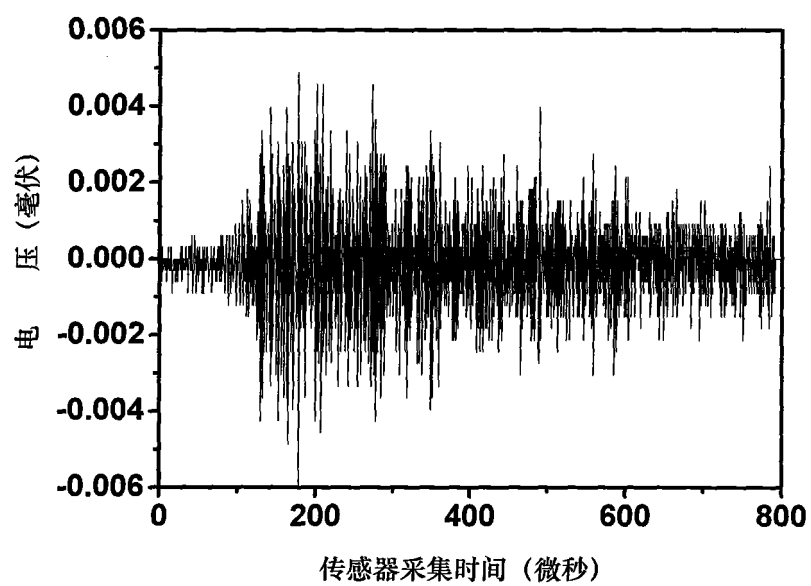


图 3

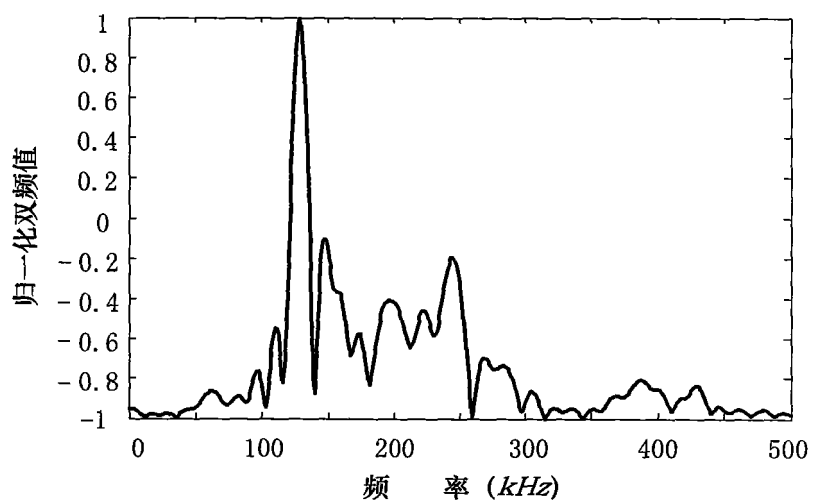


图 4