



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118961881 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 15

(21) 申请号 202411092011.7

(22) 申请日 2024.08.09

(71) 申请人 安徽中科昊音智能科技有限公司

地址 230000 安徽省合肥市高新区望江西
路900号中安创谷科技园A1栋12层

(72) 发明人 刘敏

(74) 专利代理机构 武汉知产时代知识产权代理
有限公司 42238

专利代理师 张诗颖

(51) Int. Cl.

G01N 29/04 (2006.01)

G01N 29/14 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

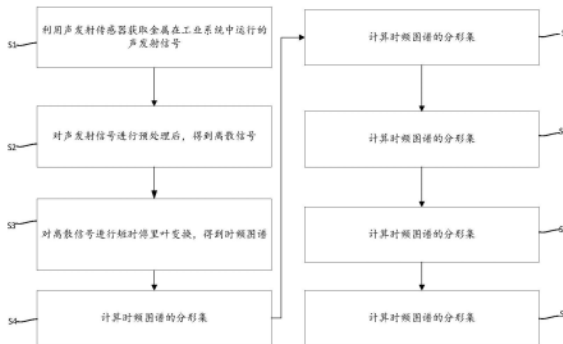
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种金属损伤监测方法、设备及存储介质

(57) 摘要

本发明涉及金属监测领域,公开了一种金属损伤监测方法、设备及存储介质,方法包括步骤:利用声发射传感器获取金属在工业系统中运行的声发射信号;对声发射信号进行预处理后,得到离散信号;对离散信号进行短时傅里叶变换,得到时频图谱;计算时频图谱的分形集;对分形集进行拟合,得到分形维数;构建分形维数与金属损伤之间的映射模型;构建金属损伤的演化动态模型;输入待监测金属的分形维数至所述映射模型,基于映射模型的输出结果及演化动态模型,完成金属损伤检测。本发明有益效果是:成功从金属损伤的声发射信号中提取出与损伤紧密相关的分形特征,这些特征为准确评估金属材料的损伤状态提供了重要依据。



1. 一种金属损伤监测方法,其特征在于:方法包括以下步骤:

S1: 利用声发射传感器获取金属在工业系统中运行的声发射信号;

S2: 对声发射信号进行预处理后,得到离散信号;

S3: 对离散信号进行短时傅里叶变换,得到时频图谱;

S4: 计算时频图谱的分形集;

S5: 对分形集进行拟合,得到分形维数;

S6: 构建分形维数与金属损伤之间的映射模型;

S7: 构建金属损伤的演化动态模型;

S8: 输入待监测金属的分形维数至所述映射模型,基于映射模型的输出结果及演化动态模型,完成金属损伤检测。

2. 如权利要求1所述的一种金属损伤监测方法,其特征在于:步骤S2中预处理包括:去噪、平滑和离散化。

3. 如权利要求1所述的一种金属损伤监测方法,其特征在于:步骤S3具体如下:

S31、对离散信号进行短时傅里叶变换,如下式:

$$STFT\{x[n]\}(m,k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]\omega[n-mR]e^{-j\frac{2\pi kn}{N}}$$

其中: ω 是离散窗函数; R 是帧移的样本数; N 是FFT的点数,决定了频率分辨率; k 是频率索引; $x(n)$ 是离散信号; m 是整数,代表时间段的索引;STFT代表短时傅里叶变换;

S32、短时傅里叶变换后得到一个复数矩阵,时频图谱包含的信息由该复数矩阵组成,其中矩阵的行代表不同的时间段,列代表不同的频率分量;矩阵的模表示了信号在不同时间和频率上的幅度,幅角表示相位信息。

4. 如权利要求1所述的一种金属损伤监测方法,其特征在于:步骤S4具体如下:

S41、将时频图谱作为分形盒的输入,选择一个初始的盒子尺寸 ϵ ;

S42、对于每个尺寸 ϵ ,计算能够覆盖所有相空间点的最小盒数 $N(\epsilon)$;

S43、若盒子内至少包含一个点,则视为被占用;

S44、用尺寸为 ϵ 的盒子去覆盖整个信号;统计完全覆盖信号所需的最少盒子数 $N(\epsilon)$;

S45、逐渐减小盒子尺寸 ϵ ,并重复S44,得到一系列盒子尺寸和对应的盒子数量,构成分形集。

5. 如权利要求4所述的一种金属损伤监测方法,其特征在于:步骤S5具体如下:对于分形集,在双对数坐标系中绘制 $N(\epsilon)$ 与 ϵ 的关系图得到一条直线;该直线的斜率即为分形维数 D ;数学关系可表示为:

$$\log(N(\epsilon)) = -D\log(\epsilon) + C,$$

其中 C 为常数项。

6. 如权利要求1所述的一种金属损伤监测方法,其特征在于:步骤S6中的映射模型包括:线性模型和非线性模型。

7. 如权利要求1所述的一种金属损伤监测方法,其特征在于:所述损伤演化的动态模型如下式:

$$\frac{dD}{dt} = k(D_{\max} - D),$$

其中, $\frac{dD}{dt}$ 表示分形维数随时间的变化率, k 是损伤扩展的速率常数; $D_{\max}$ 是最大分形维数。

8. 如权利要求1所述的一种金属损伤监测方法, 其特征在于: 步骤S8具体如下:

通过映射模型输出结果与预设阈值比较, 结合损伤演化的动态模型的输出结果, 共同综合判断后, 进行金属损伤预警。

9. 一种存储介质, 其特征在于: 所述存储介质存储指令及数据用于实现权利要求1~8任一项所述的一种金属损伤监测方法。

10. 一种金属损伤监测设备, 其特征在于: 包括: 处理器及存储介质; 所述处理器加载并执行存储介质中的指令及数据用于实现权利要求1~8任一项所述的一种金属损伤监测方法。

一种金属损伤监测方法、设备及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及金属监测领域,尤其涉及一种金属损伤监测方法、设备及存储介质。

背景技术

[0002] 随着工业化进程的加速,金属材料 and 结构在各个领域的应用日益广泛,如建筑、桥梁、航空航天、核电站等。这些金属结构的健康状态直接关系到设备的安全运行和人员的生命安全。因此,对这些金属结构进行有效的损伤监测和预警成为工业安全的重要需求。

[0003] 传统的金属损伤监测方法往往依赖于定期的视觉检查、超声波探伤或X射线检测等。这些方法虽然在一定程度上能够发现损伤,但存在很多局限性,如检测效率低下、成本高昂,且对于微小损伤和损伤初期的识别能力有限。此外,这些方法往往是离线检测,无法实现实时监测和预警。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于:提出一种金属损伤监测方法、设备及存储介质,解决现有传统金属损伤检测方法对于微小损伤识别有限且无法提前预警的技术问题。

[0005] 本发明提供的一种金属损伤监测方法,包括以下步骤:

[0006] S1:利用声发射传感器获取金属在工业系统中运行的声发射信号;

[0007] S2:对声发射信号进行预处理后,得到离散信号;

[0008] S3:对离散信号进行短时傅里叶变换,得到时频图谱;

[0009] S4:计算时频图谱的分形集;

[0010] S5:对分形集进行拟合,得到分形维数;

[0011] S6:构建分形维数与金属损伤之间的映射模型;

[0012] S7:构建金属损伤的演化动态模型;

[0013] S8:输入待监测金属的分形维数至所述映射模型,基于映射模型的输出结果及演化动态模型,完成金属损伤检测。

[0014] 一种存储介质,所述存储介质存储指令及数据用于实现一种金属损伤监测方法。

[0015] 一种金属损伤监测设备,包括:处理器及所述存储介质;所述处理器加载并执行所述存储介质中的指令及数据用于实现一种金属损伤监测方法。

[0016] 本发明提供的有益效果是:

[0017] 1.理论框架的创新:首次将分形几何理论与声发射技术结合,应用于金属损伤监测,通过分形维数等参数实现了对损伤程度的定量评估,为金属材料的健康监测提供了全新的视角和评估工具。

[0018] 2.动态评估模型的构建:建立了基于声发射信号分形特征的动态损伤评估模型,该模型能够实时跟踪和反映材料损伤的演变,相较于传统的静态“快照式”评估,这种方法更具灵活性和前瞻性,有助于深入理解损伤机制并预测损伤发展趋势。

[0019] 3.特征提取的精准性:成功从金属损伤的声发射信号中提取出与损伤紧密相关的

分形特征,这些特征为准确评估金属材料的损伤状态提供了重要依据。

[0020] 4.智能预警系统的引入:通过自适应阈值设定和智能预警机制,该方法能够根据实时监测数据动态调整预警阈值,从而及时发现并警示损伤的初期迹象,显著提高了监测的灵敏度和准确性,降低了误报和漏报的风险。

[0021] 5.广泛的应用场景:此方法不仅适用于常规金属材料的损伤监测,还可扩展应用于核电站、航空航天、海洋工程等领域中使用的特殊金属材料,显示出在极端和复杂环境下的高可靠性和广泛适应性。

附图说明

[0022] 图1是本发明方法流程示意图;

[0023] 图2是本发明硬件设备工作示意图。

具体实施方式

[0024] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明实施方式作进一步地描述。

[0025] 在正式对本发明进行阐述之前,首先对本发明的方案进行概括性的阐述,方便理解。

[0026] 请参考图1,图1是本发明方法的流程示意图;

[0027] 本发明提供了一种金属损伤监测方法,包括以下步骤:

[0028] S1:利用声发射传感器获取金属在工业系统中运行的声发射信号;

[0029] S2:对声发射信号进行预处理后,得到离散信号;

[0030] 需要说明的是,声发射信号可以表示为时间函数 $x(t)$,本发明中对其进行预处理,如去除噪声、平滑等,随后进行离散化,得到其对应的离散信号 $x[n]$ 。

[0031] S3:对离散信号进行短时傅里叶变换,得到时频图谱;

[0032] 需要说明的是,时序声发射信号的时频图谱是一种在时间和频率两个维度上展示信号特性的图形表示。时序声发射信号是一种非平稳信号,其特性和强度可能随时间而变化。时频图谱能够同时展示信号在不同时间和频率上的能量分布。

[0033] 时频图谱通常通过短时傅里叶变换(STFT)、小波变换等生成。在时频图谱中,信号的强度或能量通常通过颜色或亮度来表示。

[0034] 例如,较深的颜色或较高的亮度可能表示在特定时间和频率下信号强度较高。通过观察图谱中颜色的分布和变化,可以分析信号在不同时间和频率上的特性。时频图谱对于分析和处理非平稳信号非常有用,特别是像声发射信号这样的复杂信号。它可以揭示信号中的周期性成分、瞬时频率变化以及信号能量的时频分布情况。

[0035] 短时傅里叶变换(Short-Time Fourier Transform,STFT)是一种常用的信号处理技术,用于分析非平稳信号的时频特性。STFT的基本思想是将信号分成许多小的时间段,并对每个时间段进行傅里叶变换,从而得到信号在不同时间和频率上的表示。

[0036] 作为一种实施例而言,在实际应用中,STFT通常是通过离散形式实现的,即对离散信号 $x[n]$ 进行变换:

$$[0037] \quad STFT\{x[n]\}(m,k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]\omega[n-mR]e^{-j\frac{2\pi kn}{N}} \quad (2)$$

[0038] 其中： ω 是离散窗函数； R 是帧移的样本数； N 是FFT的点数，决定了频率分辨率； k 是频率索引； $x(n)$ 是离散信号； m 是整数，代表时间段的索引；STFT代表短时傅里叶变换。

[0039] 通过计算上述公式，可以得到一个复数矩阵，其行代表不同的时间段（或帧），列代表不同的频率分量。这个矩阵的模表示了信号在不同时间和频率上的幅度，而幅角表示了相位信息。通常，只关心幅度来形成时频图谱。

[0040] S4：计算时频图谱的分形集；

[0041] 作为一种实施例而言，步骤S4具体如下：

[0042] S41、将时频图谱作为分形盒的输入，选择一个初始的盒子尺寸 ϵ ；

[0043] 需要说明的是，关于尺寸 ϵ 也可以理解为网格大小或分辨率。

[0044] S42、对于每个尺寸 ϵ ，计算能够覆盖所有相空间点的最小盒数 $N(\epsilon)$ ；

[0045] S43、若盒子内至少包含一个点，则视为被占用；

[0046] S44、用尺寸为 ϵ 的盒子去覆盖整个信号；统计完全覆盖信号所需的最少盒子数 $N(\epsilon)$ ；

[0047] S45、逐渐减小盒子尺寸 ϵ ，并重复S44，得到一系列盒子尺寸和对应的盒子数量，构成分形集。

[0048] S5：对分形集进行拟合，得到分形维数；

[0049] 作为一种实施例而言，对于分形集，在双对数坐标系中绘制 $N(\epsilon)$ 与 ϵ 的关系图通常会得到一条直线。该直线的斜率即为分形维数 D 。数学关系可表示为：

$$[0050] \quad \log(N(\epsilon)) = -D\log(\epsilon) + C$$

[0051] 其中， C 是常数项。

[0052] 从拟合直线的斜率中求得分形维数 D 。即： $D = -\text{斜率}$ 。通过最小二乘法对上述方程进行线性拟合，可求得分形维数 D 。

[0053] 作为一种实施例而言，在Python中，可以使用numpy和scipy等库来完成上述计算。例如，使用numpy来计算信号覆盖所需的盒子数量，然后使用scipy.stats中的线性回归函数来估计分形维数。

[0054] S6：构建分形维数与金属损伤之间的映射模型；

[0055] 需要说明的是，步骤S6中的映射模型包括：线性模型和非线性模型。

[0056] 作为一种实施例而言，在实际应用中，分形维数 D 与金属损伤（如应力腐蚀裂纹SCC）之间的关系可能呈现线性或非线性的特征。为了确定这种关系，可以通过实验数据来进行参数拟合，从而验证是线性关系还是非线性关系。

[0057] 如果假设分形维数 D 与损伤程度 S 之间存在线性关系，可以使用线性回归方法来拟合实验数据，如果实验数据表明 D 与 S 之间的关系并非线性，可以考虑使用非线性模型来进行拟合。

[0058] 为了进行参数拟合，需要收集一系列的实验数据点 (D_i, S_i) ，其中 D_i 是测量得到的分形维数， S_i 是相应的损伤程度指标（如裂纹长度、面积等）。然后，使用统计软件或编程语言中的拟合函数来估计模型参数。

[0059] 在拟合完成后，还需要对模型的拟合优度进行评估。常用的评估指标包括决定系

数(R-squared)、均方误差(Mean Squared Error,MSE)等。这些指标可以帮助我们判断模型是否能够较好地描述实验数据。

[0060] 关于分形维数与损伤程度之间的线性关联模型如下:

[0061] 分形维数D与金属损伤的严重程度S之间存在线性关系,则该关系可以数学化地表达为:

$$[0062] \quad S=aD+b$$

[0063] 其中:S代表损伤的量化指标,它可以是裂纹的长度、面积、体积或其他能够反映损伤程度的物理量。a和b是通过实验数据拟合确定的模型参数。

[0064] 关于分形维数与损伤程度之间的非线性关联模型如下:

[0065] 在某些情况下,分形维数与损伤程度之间的关系可能是非线性的。此时,可以采用幂律关系来描述这种非线性关联:

$$[0066] \quad S=cD^d$$

[0067] 其中:c和d是通过实验数据拟合得到的参数。d反映了损伤程度随分形维数增加的速率。

[0068] S7:构建金属损伤的演化动态模型;

[0069] 作为一种实施例而言,考虑金属损伤随时间t的演化,可以通过以下微分方程来描述分形维数的变化率:

$$[0070] \quad \frac{dD}{dt} = k(D_{\max} - D),$$

[0071] 其中, $\frac{dD}{dt}$ 表示分形维数随时间的变化率,k是损伤扩展的速率常数; $D_{\max}$ 是最大分形维数。

[0072] S8:输入待监测金属的分形维数至所述映射模型,基于映射模型的输出结果及演化动态模型,完成金属损伤检测。

[0073] 需要说明的是,通过映射模型输出结果与预设阈值比较,结合损伤演化的动态模型的输出结果,共同综合判断后,进行金属损伤预警。

[0074] 通过非线性模型或线性模型的输出,并基于设定金属损伤的严重程度S的阈值,同时可以结合分形维数变化率 $\frac{dD}{dt}$ 来报警和相应的设备部件的运维策略。

[0075] 自适应阈值更新策略如下:

[0076] 设定一个阈值更新周期。在每个更新周期内,根据监测数据更新阈值(T)。更新策略可以是基于最近一段时间内的损伤指标变化趋势,或者是基于损伤演化的动态模型预测结果。例如,如果检测到损伤指标持续上升,则可以适当提高阈值,反之则降低阈值。

[0077] 自适应阈值更新算法如下:

[0078] 初始阈值 $t=0:S_0$

[0079] 自适应阈值更新: $S_t(t+\Delta t) = S_0 + k \frac{dD}{dt}$,其中,k是一个比例系数,可以根据实验来确定。根据分形维数变化率 $\frac{dD}{dt}$ 来调整阈值的大小。请参见图2,图2是本发明实施例的硬件

设备工作示意图,所述硬件设备具体包括:一种金属损伤监测设备401、处理器402及存储介质403。

[0080] 一种金属损伤监测设备401:所述一种金属损伤监测设备401实现所述一种金属损伤监测方法。

[0081] 处理器402:所述处理器402加载并执行所述存储介质403中的指令及数据用于实现所述一种金属损伤监测方法。

[0082] 存储介质403:所述存储介质403存储指令及数据;所述存储介质403用于实现所述一种金属损伤监测方法。

[0083] 本发明的有益效果是:

[0084] 1.理论框架的创新:首次将分形几何理论与声发射技术结合,应用于金属损伤监测,通过分形维数等参数实现了对损伤程度的定量评估,为金属材料的健康监测提供了全新的视角和评估工具。

[0085] 2.动态评估模型的构建:建立了基于声发射信号分形特征的动态损伤评估模型,该模型能够实时跟踪和反映材料损伤的演变,相较于传统的静态“快照式”评估,这种方法更具灵活性和前瞻性,有助于深入理解损伤机制并预测损伤发展趋势。

[0086] 3.特征提取的精准性:成功从金属损伤的声发射信号中提取出与损伤紧密相关的分形特征,这些特征为准确评估金属材料的损伤状态提供了重要依据。

[0087] 4.智能预警系统的引入:通过自适应阈值设定和智能预警机制,该方法能够根据实时监测数据动态调整预警阈值,从而及时发现并警示损伤的初期迹象,显著提高了监测的灵敏度和准确性,降低了误报和漏报的风险。

[0088] 5.广泛的应用场景:此方法不仅适用于常规金属材料的损伤监测,还可扩展应用于核电站、航空航天、海洋工程等领域中使用的特殊金属材料,显示出在极端和复杂环境下的高可靠性和广泛适应性。

[0089] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

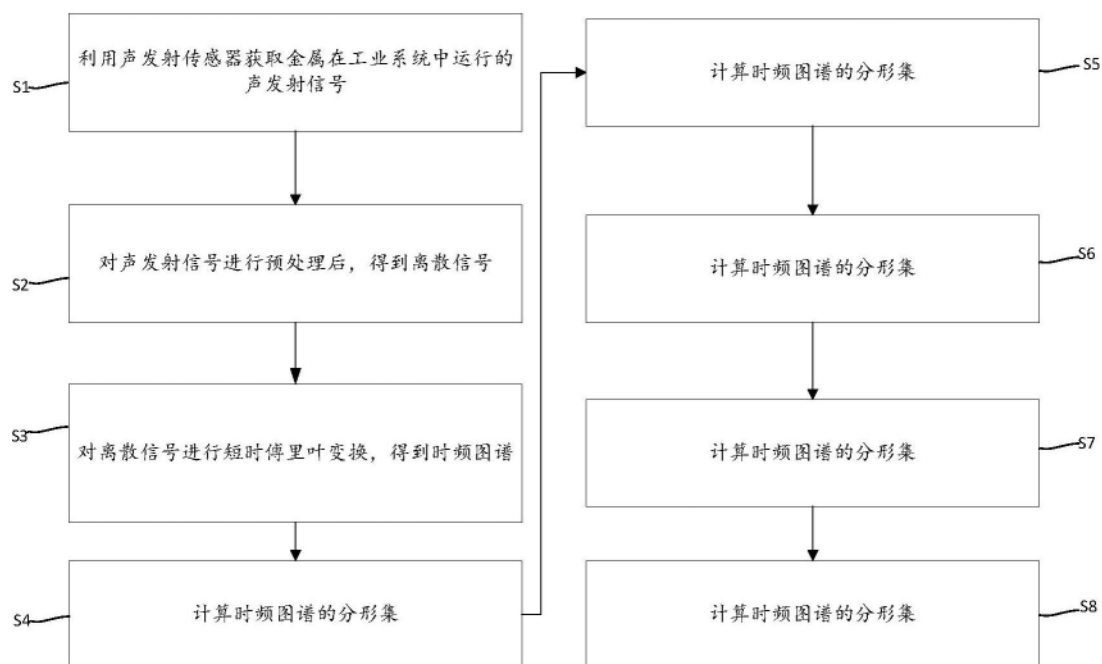


图1

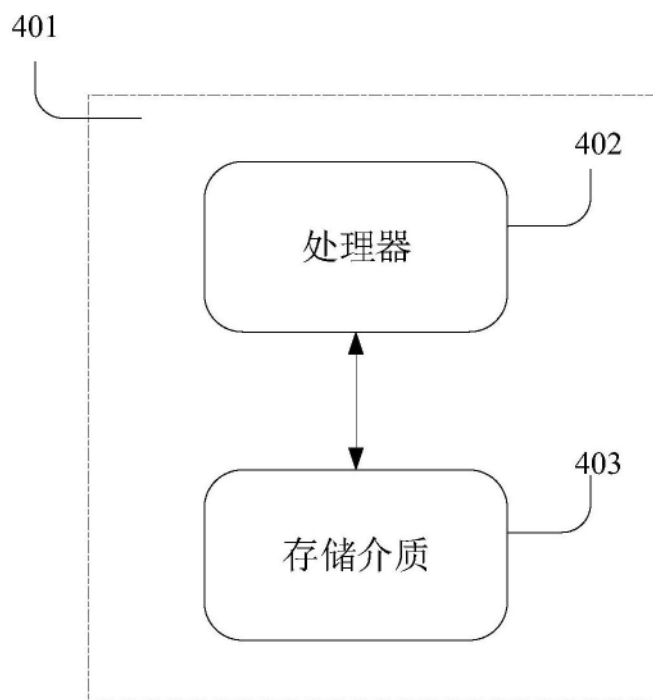


图2