

振动信号的特征提取方法、设备分析方法及装置

本申请要求于 2021 年 11 月 24 日提交中国专利局、申请号为 202111420251.1、发明名称为“振动信号的特征提取方法、设备分析方法及装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5

技术领域

本公开涉及设备故障检测领域，特别是涉及一种振动信号的特征提取方法、设备分析方法及装置。

10 背景技术

随着工业现代化的发展，大型旋转设备的应用越来越广泛，从钢铁、煤炭、电力、水泥，到地铁、飞机、火车、船舶等，都离不开旋转设备的身影，这些旋转设备的稳定运行对国民经济的发展越来越重要。

设备在长期工作运行中，不可避免会发生各种故障，如果早期故障征兆发现不及时，随着其发展扩大，当到达一定的临界点后，设备容易发生突发性严重故障，导致大量的非计划性维护工作。这些故障轻则造成一定的经济损失，重则造成人员的伤亡。

工业旋转设备在工作中某一部分发生磨损、退化等轻微故障，由于宏观表征微弱，仅依靠人工辨识往往无法有效监测，而且费时费力。而振动信号随着机器的运转产生并持续，即使机器在正常运行状态，由于微小激励，也将产生振动。

对于机械设备来说通常有两类性质不同的振源：一类是由于机械运动件的质量不平衡、几何轴线不对中、齿轮捏合不好、传动件配合失当、轴颈轴承间隙过大等引起的机械强迫振动，包括周期振动、冲击振动、随机振动等，同时也引起噪声；另一类振动是由于结构响应，自激励振动或环境振动引起的振动响应，比如：流体的喘激振动、轴承的油膜振动、部件本身的响应振动、结构的局部振动等。

一旦出现早期故障，相应的振动情况和噪音的大小都会随之发生一系列变化。因此，采用科学的方法，通过对振动信号的监测与诊断对提高旋转设备的稳定运行有很重要的作用，建立在现代故障诊断技术的监测与诊断系统，可以实时监测设备的运行状态，通过对数据的处理与分析，可以发现设备故障的原因以及预测设备可能的故障，为预防事故、科学安排检修提供科学的依据，从而节约维修成本，提高设备的可靠性和安全性。

振动信号的主要特点为高频、噪声、多模态混叠，在不同的场景下，比如不同的故障类别以及相同故障不同的故障程度，信号都会呈现不同的表征，这些表征往往存在于信号的各种特征中，单凭时域或者频域的一些基本特征往往很难有效辨别，而且，有些特征对于表征某一类故障效果显著但是缺乏对另一类故障情景的区分能力。

因此，需要一种更为通用的振动信号的特征构建方案。

35

发明内容

本公开要解决的一个技术问题是提供一种更为通用的振动信号特征构建方案。

根据本公开的第一个方面，提供了一种设备分析方法，包括：获取设备的振动信号；对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号，所述衍生信号用于表征所述振动信号的一种或多种特性；分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果；以及基于第一特征提取结果和第二特征提取结果对设备进行分析。

根据本公开的第二个方面，提供了一种振动信号的特征构建方法，包括：对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号，所述衍生信号用于表征所述振动信号的一种或多种特性；分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果；将第一特征提取结果和第二特征提取结果作为振动信号最终的特征提取结果。

根据本公开的第三个方面，提供了一种设备分析装置，包括：获取模块，用于获取设备的振动信号；处理模块，用于对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号，所述衍生信号用于表征所述振动信号的一种或多种特性；提取模块，用于分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果；以及分析模块，用于基于第一特征提取结果和第二特征提取结果对设备进行分析。

根据本公开的第四个方面，提供了一种振动信号特征构建装置，包括：处理模块，用于对设备的振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号，所述衍生信号用于表征所述振动信号的一种或多种特性；提取模块，用于分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果；构建模块，用于将第一特征提取结果和第二特征提取结果作为振动信号最终的特征提取结果。

根据本公开的第五个方面，提供了一种计算设备，包括：处理器；以及存储器，其上存储有可执行代码，当可执行代码被处理器执行时，使处理器执行如上述第一方面或第二方面的方法。

根据本公开的第六个方面，提供了一种计算机程序产品，包括可执行代码，当可执行代码被电子设备的处理器执行时，使处理器执行如上述第一方面或第二方面的方法。

根据本公开的第七个方面，提供了一种非暂时性机器可读存储介质，其上存储有可执行代码，当可执行代码被电子设备的处理器执行时，使处理器执行如上述第一方面或第二方面的方法。

上述概述仅仅是为了说明书的目的，并不意图以任何方式进行限制。除上述描述的示意性的方面、实施方式和特征之外，通过参考附图和以下的详细描述，本申请进一步的方面、实施方式和特征将会是容易明白的。

附图说明

通过结合附图对本公开示例性实施方式进行更详细的描述，本公开的上述以及其它目

的、特征和优势将变得更加明显，其中，在本公开示例性实施方式中，相同的参考标号通常代表相同部件。

图 1 示出了根据本公开一个实施例的振动信号的特征构建方法的示意性流程图。

图 2 示出了根据本公开一个实施例的包络信号提取流程示意图。

5 图 3 示出了根据本公开一个实施例的特征池构建流程示意图。

图 4 示出了根据本公开一个实施例的设备分析方法的示意性流程图。

图 5 示出了根据本公开一个实施例的设备分析装置的结构示意图。

图 6 示出了根据本公开一个实施例的振动信号特征构建装置的结构示意图。

图 7 示出了根据本公开一个实施例的计算设备的结构示意图。

10

具体实施方式

下面将参照附图更详细地描述本公开的实施方式。虽然附图中显示了本公开的实施方式，然而应该理解，可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施方式所限制。相反，提供这些实施方式是为了使本公开更加透彻和完整，并且能够将本公开的范围完整地传达给本领域的技术人员。

15

工业领域旋转机械设备量大面广，振动信号无处不在，比如工厂机床切削时刀具的振动，蒸汽机、燃气机、压缩机、离心机、电动机、泵以及各种齿轮减速器等在运行时产生的各种振动和噪声等。据统计，旋转设备由于振动引起的故障占总故障率的 60% 以上。

20

相较其它温度、压力、流量或电流等状态参数，振动参数往往更能直接、快速、准确地反应机组运行状态。所以对机械设备的振动监测和分析非常重要。振动信号通常是对设备状态进行健康状态监测的主要依据之一。

相关技术中的分析振动信号的主要途径是通过各种方法进行特征提取。相关技术中的特征提取技术多种多样，大体分为时域特征、频域特征、时频域特征以及针对一些特定场景提取的特征。

25

振动信号的主要特点为高频、噪声、多模态混叠，在不同的场景下，比如不同的故障类别以及相同故障不同的故障程度，信号都会呈现不同的表征，这些表征往往存在于信号的各种特征中，单凭时域或者频域的一些基本特征往往很难有效辨别，而且，有些特征对于表征某一类故障效果显著但是缺乏对另一类故障情景的区分能力。

30

所以想要打造标准化的产品，就需要尽可能借鉴更多领域知识，从各个角度挖掘出更多的特征，构建丰富的特征池，才可以覆盖更多的场景，具备更好的通用性。因此，如何对振动信号进行特征挖掘，以构建通用性较好的特征池，是本公开解决的主要技术问题。

图 1 示出了根据本公开一个实施例的振动信号的特征构建方法的示意性流程图。

如图 1 所示，方法 100 包括：首先可以对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号。

35

衍生信号可以是指对振动信号进行处理得到的能够从其他维度（角度）表征（观察）

振动信号的信号。衍生信号能够用于表征振动信号的一种或多种特性。例如，衍生信号可以包括但不限于振动信号的包络信号和/或分解信号，包络信号能够表征振动信号的整体幅度变化特性，分解信号能够表征振动信号的更小粒度的细节特性。关于包络信号、分解信号的具体获取方式可以参见下文描述。

- 5 设备的某些旋转部件（如轴承）发生表面损伤时，会在（如轴承）运行中激发出一些列周期性冲击信号，这些信号会与高频固有振动发生调制。可以通过对振动信号进行解调分析，从原始的振动信号中解调提取出能够表征这种冲击信号的包络信号。

- 10 原始的振动信号往往由设备的多种振源发出的信号叠加而成，通过对原始的振动信号进行信号分解，可以在一定程度上获取更加“干净”的信号（即分解信号），以减少模式混叠的干扰。其中，更加“干净”，是指分解信号所对应的振源的数量要少于原始的振动信号所对应的振源数量。

- 15 衍生信号（如包络信号、分解信号）可以视为“新的振动信号”，与原始的振动信号一起，作为特征提取的对象。即，可以分别对衍生信号和振动信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果。特征提取方式可以包括但不限于下文述及的基于时域、频域、时频域、信息域等多种特征提取方式。

第一特征提取结果为振动信号在某一特定观察角度下的特征提取结果，第二特征提取结果则可以视为振动信号在不同于该特定观察角度的其他观察角度下的特征提取结果。

第一特征提取结果和第二特征提取结果可以作为振动信号最终的特征提取结果，基于该特征提取结果可以从多角度分析设备。

- 20 下面以衍生信号包括包络信号和分解信号为例，就包络信号和分解信号的获取方式进行示例性说明。

1) 包络信号

- 25 包络是一种解调方法。包络信号，可以是指将一段时间长度的高频信号的峰值点连线，所得到的上方（正的）一条线和下方（负的）一条线，这两条线就叫包络线，包络线是反映高频信号整体幅度变化的曲线。

某些旋转部件如轴承发生表面损伤，会在轴承运行中激发出一些列周期性冲击信号，这些信号会与高频固有振动发生调制。包络谱分析能够有效地将这种低频冲击信号进行解调提取。

图2示出了根据本公开一个实施例的包络信号提取流程示意图。

- 30 如图2所示，方法200包括：首先可以对振动信号进行希尔伯特黄变换。希尔伯特黄变换（Hilbert-Huang Transform，简称HHT）是一种信号处理算法，主要包括“Huang的算法”和“Hilbert算法”，即振动信号经过Huang的算法处理后作为Hilbert算法的输入进行处理。希尔伯特黄变换为本领域成熟算法，此处不再赘述。

- 35 在对振动信号进行希尔伯特黄变换处理后，可以以振动信号为实部、振动信号的希尔伯特黄变换结果为虚部，得到解析信号，然后对解析信号求模，得到振动信号的包络信号。

2) 分解信号

由于高频信号通常是多模态混叠，分解信号就是将原始复杂的单一信号分解为多条相对简单易处理的信号，每个分解信号可能代表了其中一种模态。原始的振动信号往往由多种振源信号叠加而成，通过对原始信号进行信号分解，可以一定程度上获取更加“干净”的信号，减少模态混叠的干扰。信号分解有多种方法，常见比如小波分解和经验模态分解(EMD)。小波分解需要选择相对合理的小波基和分解层数，经验模态分解则是从数据自身的时间尺度特征来进行信号分解，所分解出来的有限个本征模函数(IMF)分量包含了原信号的不同时间尺度的局部特征信号。

以双树离散小波三层分解为例，共计可以获得8个不同频带的信号分量，如果对产生原始信号的振动源有一定的物理认知，可以排除掉部分频带的干扰信号或噪声信号，将剩余的有效信号分量作为后续用于进行特征提取的分解信号。

信号包络和信号分解是预处理的两种不同角度，一种是观察信号的整体幅度变化，作为新的信号(即包络信号)；第二种是观察信号更微观的细节变化，作为新的信号(即分解信号)；包络信号和分解信号，可以视为原始的振动信号的不同粒度的表征。

在得到振动信号的衍生信号(如包络信号和/或分解信号)后，可以基于多种特征提取方式分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，以覆盖更多的振动信号分析场景，提升特征提取结果的通用性。其中，特征提取方式可以包括但不限于基于时域的特征提取方式、基于频域的特征提取方式、基于时频域的特征提取方式以及基于信息域的特征提取方式。

1、基于时域的特征提取方式

基于时域的特征提取方式对信号(振动信号或衍生信号)进行特征提取得到的特征可以称为时域特征。时域特征是衡量信号特征的重要指标，分为有量纲特征与无量纲特征。

有量纲特征可以包括但不限于最大值、最小值、峰峰值、均值、方差、标准差、均方值、均方根值、方根幅值等。有量纲特征虽然对信号特征比较敏感，但也会因工作条件(如负载)的变化而变化，并极易受环境干扰的影响，具有表现不够稳定的缺陷。

相比而言，无量纲特征能够一定程度上排除这些扰动因素的影响。无量纲特征可以包括但不限于峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子、峭度因子和偏度因子等。

作为示例，有量纲特征可以包括的种类以及计算方式可以表示如下：

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{\sum_{n=1}^N x(n)}{N} & t_7 &= \left(\frac{\sum_{n=1}^N \sqrt{|x(n)|}}{N} \right)^2 \\
 t_2 &= \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^2}{N}} & t_8 &= \frac{\sum_{n=1}^N |x(n)|}{N} \\
 t_3 &= \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^3}{N} & t_9 &= \max(x(n)) \\
 t_4 &= \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^4}{N} & t_{10} &= \min(x(n))
 \end{aligned}$$

—6—

$$t_5 = \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^2}{N}$$

$$t_{11} = t_{10} - t_{11}$$

$$t_6 = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x(n))^2}{N}}$$

$$t_{12} = \frac{\sum_{n=1}^N |x(n) - t_1|}{N}$$

- 其中， $x(n)$ 为每个时刻的加速度， $n=1, 2, \dots, N$ ， N 为一段信号的长度。 t_1 为平均值； t_2 为标准差； t_3 为三阶中心矩，用于定义 $x(n)$ 的偏度； t_4 为四阶中心矩，用于定义 $x(n)$ 的峭度； t_5 为方差； t_6 为均方根值； t_7 为方根幅值； t_8 为平均幅值； t_9 为最大值； t_{10} 为最小值； t_{11} 为峰峰值； t_{12} 为基于绝对值方式计算得到的“方差”，与 t_5 相比，可以拉小数据间的离散程度。

无量纲特征可以包括的种类以及计算方式可以表示如下：

$$\begin{aligned}
 t_{13} &= \frac{t_9}{t_6} & t_{19} &= \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^3}{N \cdot t_2^3} \\
 t_{14} &= \frac{t_6}{t_8} & t_{20} &= \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^4}{N \cdot t_2^4} \\
 t_{15} &= \frac{t_9}{t_8} & & \\
 t_{16} &= \frac{t_9}{t_7} & & \dots \\
 t_{17} &= \frac{t_3}{t_6^3} & & \\
 t_{18} &= \frac{t_4}{t_6^4} & t_{25} &= \frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^9}{N \cdot t_2^9}
 \end{aligned}$$

- 15 t_{13} 为峰值因子； t_{14} 为波形因子； t_{15} 为脉冲因子； t_{16} 为裕度因子。 t_{17} 、 t_{19} 、 t_{21} 、 t_{23} 、 t_{25} 为使用不同计算公式计算得到的偏度因子， t_{17} 可以称为第一偏度因子，计算方法为三阶中心矩 t_3 与均方根值 t_6 的三次方的比值， t_{19} 可以称为第二偏度因子，计算方法为三阶中心矩 t_3 与标准差 t_2 的三次方的比值， t_{21} 可以称为第三偏度因子，计算方法为五阶中心矩

- 15 $\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^5}{N}$ 与标准差 t_2 的五次方的比值， t_{23} 可以称为第四偏度因子，计算方法为七阶中心矩 $\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^7}{N}$ 与标准差 t_2 的七次方的比值， t_{25} 可以称为第五偏度因子，计算方法

为九阶中心矩 $\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^9}{N}$ 与标准差 t_1 的九次方的比值； t_{18} 、 t_{20} 、 t_{22} 、 t_{24} 为使用不同

计算公式计算得到的峭度因子， t_{18} 可以称为第一峭度因子，计算方法为四阶中心矩 t_4 与均方根值 t_6 的四次方的比值， t_{20} 可以称为第二峭度因子，计算方法为四阶中心矩 t_4 与标准差 t_2

的四次方的比值， t_{22} 可以称为第三峭度因子，计算方法为六阶中心矩 $\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^6}{N}$ 与标

5 准差 t_2 的六次方的比值， t_{24} 可以称为第四峭度因子，计算方法为八阶中心矩

$\frac{\sum_{n=1}^N (x(n) - t_1)^8}{N}$ 与标准差 t_2 的八次方的比值。

上述偏度因子、峭度因子的计算方式可以理解为，基于奇数阶中心矩能够判断分布是否对称的特性，利用奇数阶中心矩计算偏度因子，基于偶数阶中心矩能够衡量分布曲线的尖峭程度的特性，利用偶数阶中心矩计算峭度因子。

10 2、基于频域的特征提取方式

基于频域的特征提取方式可以包括频谱分析和/或功率谱分析。基于频域的特征提取方式提取的特征可以称为频域特征。以频谱分析为例，提取的频域特征可以包括但不限于频率均值、频率方差、频率质心、谱偏态系数等。

作为示例，频域特征可以包括的种类以及计算方式可以表示如下：

$$15 \quad f_1 = \frac{\sum_{k=1}^K y(k)}{K}, \quad f_2 = \frac{\sum_{k=1}^K (y(k) - f_1)^2}{K}, \quad f_3 = \frac{\sum_{k=1}^K (y(k) - f_1)^3}{K(\sqrt{f_2})^3}, \quad f_4 = \frac{\sum_{k=1}^K (y(k) - f_1)^4}{K \cdot f_2^2}$$

$$f_5 = \frac{\sum_{k=1}^K (f_k \cdot y(k))}{\sum_{k=1}^K y(k)}, \quad f_6 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K (f_k - f_5)^2 y(k)}{K}}, \quad f_7 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K f_k^2 y(k)}{\sum_{k=1}^K y(k)}}, \quad f_8 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K f_k^4 y(k)}{\sum_{k=1}^K f_k^2 y(k)}}$$

$$f_9 = \frac{\sum_{k=1}^K f_k^2 y(k)}{\sqrt{\sum_{k=1}^K y(k) \sum_{k=1}^K f_k^4 y(k)}}, \quad f_{10} = \frac{f_6}{f_5}, \quad f_{11} = \frac{\sum_{k=1}^K (f_k - f_5)^3 y(k)}{K \cdot f_6^3}, \quad f_{12} = \frac{\sum_{k=1}^K (f_k - f_5)^4 y(k)}{K \cdot f_6^4}$$

$$f_{13} = \frac{\sum_{k=1}^K \sqrt{|f_k - f_5|} y(k)}{K \sqrt{f_6}}, \quad f_{14} = \frac{\sum_{k=1}^K f_k^3}{K}$$

20 其中， $y(k)$ 为频谱， $k=1, 2, \dots, K$ ， K 为频谱的最大范围， f_k 是第 k 根谱线对应的频率值； f_1 为频谱均值； f_2 为频谱方差； f_3 为频谱偏态系数； f_4 为频谱峭度系数； f_5 为频率均值； f_6 为频率标准差； f_7 、 f_8 、 f_9 为频率质心的不同计算方式； f_{10} 为频率变异系数； f_{11} 为频率偏态系数； f_{12} 、 f_{13} 为频率峭度系数的不同计算方式； f_{14} 为频率的三次方的均值。

3、基于时频域的特征提取方式

基于时频域的特征提取方式提取得到的特征可以称为时频域特征。设备在启动和/或停止过程中产生的振动信号的变化较大。时频域特征可以捕捉信号的变化特性。

- 作为示例，可以计算与设备瞬时功率相关的时频域特征。具体而言，可以首先根据振动信号计算信号瞬时功率，然后在信号瞬时功率的基础上，使用上文述及的基于时域的特征计算方法，进一步提取瞬时功率的各种特征。

信号瞬时功率的计算方式可以采用但不限于如下两种算法。第一种基于短时傅里叶变换 (STFT)，以功率 $P(t, f)$ 为权重，频率 f 的加权平均为瞬时功率： $f_i(t) = \frac{\sum_f f P(t, f)}{P(t, f)}$ ；第二

种是基于希尔伯特黄变换 (HHT)，首先通过 HHT 获得分析信号的相位 $\phi(t)$ ，然后计算相位

的倒数获得瞬时功率： $f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt}$ 。

10 4、基于信息域的特征提取方式

基于信息域的特征提取方式提取的特征为能够表征信号所包含信息量大小的特征。基于信息域的特征提取方式，是指可以通过信息理论中的若干方法来表征一段信号包含各类信息量的大小。例如，可以通过熵值计算方法来表征信号所包含的信息量大小。

- 作为示例，可以采用但不限于近似熵、样本熵、多尺度熵、费希尔信息、赫斯特指数等熵值计算方法进行特征提取。

近似熵和样本熵 (SampEn) 都是对非稳定时间序列的复杂型的度量，是通过度量信号中产生新模式的概率大小来衡量时间序列复杂性，新模式产生的概率越大，序列的复杂性就越大。以样本熵为例，其计算方法为：

$$\text{SampEn}(m, r, N) = -\ln \left[\frac{A^m(r)}{B^m(r)} \right] \quad , \quad \text{其中} \quad , \quad A^m(r) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} A_i^m(r) \quad ,$$

- 20 $B^m(r) = \frac{1}{N-m} \sum_{i=1}^{N-m} B_i^m(r)$ ，N 为数据长度，m 为维数大小，r 为距离域值。

多尺度熵 (MSE) 是一种基于样本熵的衡量时间序列复杂性有效的方法，可直接提取原始信号包含的模式信息，在生物系统、地球科学和机械振动方面都显示出良好的效果。

其计算方法为： $\text{MSE} = \{\tau | \text{SampEn}(\tau, m, r) = -\ln[C^{r, m+1}(r)/C^{r, m}(r)]\}$ ，其中 τ 是尺度因子。

费希尔信息 (FI) 是一种测量可观察随机变量 X 携带的关于模型 X 的分布的未知参数

- 25 θ 的信息量的方法，其计算方法为： $\text{FI} = \sum_{i=1}^{M-1} \frac{(\bar{\sigma}_{i+1} - \bar{\sigma}_i)^2}{\bar{\sigma}_i}$ ，其中， $\bar{\sigma}_i$ 是通过 $\bar{\sigma}_i = \sigma_i / \sum_{j=1}^M \sigma_j$ 的

标准化值，M 是奇异值数量。

赫斯特指数 (HST) 通过重标极差 (R/S) 分析方法建立，体现了时间序列的自相关性，尤其反映了序列中隐藏的长期趋势，对于范围为 T 的时间序列 X，

$$\frac{R(T)}{S(T)} = \frac{\max(X(t,T)) - \min(X(t,T))}{\sqrt{(1/T) \sum_{t=1}^T [x(t) - \bar{x}]^2}}$$
，然后，ln(R(T)/S(T))和ln(T)之间的斜率就是HST。

图3示出了根据本公开一个实施例的特征池构建流程示意图。

如图3所示，方法300包括：在对振动信号进行处理得到包络信号和分解信号后，可以分别对振动信号、包络信号以及分解信号进行基于时域、频域、时频域以及信息域的特征计算方法，以获得更加丰富的特征，构建覆盖更多振动分析场景的特征池。

本公开的振动信号的特征构建方法可以用于设备分析。图4示出了根据本公开一个实施例的设备分析方法的示意性流程图。

如图4所示，方法400包括：在步骤S410，获取设备的振动信号。

所获取的振动信号可以是指设备在一段时间内产生的振动信号，该振动信号可以是设备中多种振源（包括环境噪音）所产生信号的叠加。

在步骤S420，对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号。

衍生信号可以是指对振动信号进行处理得到的能够从其他维度（角度）表征（观察）振动信号的信号。例如，衍生信号可以包括但不限于振动信号的包络信号和/或分解信号。关于包络信号、分解信号的具体获取方式可以参见上文相关描述。

在步骤S430，分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果。

为了使得特征提取结果能够覆盖更多的振动场景，进一步提升特征提取结果的通用性，可以基于多种特征提取方式分别对振动信号和衍生信号进行特征提取。多种特征提取方式可以包括以下至少两种：基于时域的特征提取方式；基于频域的特征提取方式；基于时频域的特征提取方式；基于信息域的特征提取方式。

作为示例，可以采用基于时域的特征提取方式、基于频域的特征提取方式、基于时频域的特征提取方式、基于信息域的特征提取方式分别对振动信号和衍生信号进行特征提取。

在步骤S440，基于第一特征提取结果和第二特征提取结果对设备进行分析。

第一特征提取结果为振动信号在某一特定观察角度下的特征提取结果，第二特征提取结果可以视为振动信号在不同于该特定观察角度的其他观察角度下的特征提取结果。基于第一特征提取结果和第二特征提取结果，可以多角度分析设备，助于提升异常检测、故障诊断及预测的准确性。

对设备进行分析的操作可以由人工（如设备故障分析专家）执行，也可以自动执行。

例如，基于第一特征提取结果和第二特征提取结果，可以利用自动机器学习技术自动对设备的健康状况进行分析。

由此，本公开通过对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号，分别对振动信号和所述衍生信号进行特征提取，使得提取得到的振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果，能够用于从不同角度分析振动信号，提升特征提取结果的通用

性。

本公开的振动信号的特征构建方法和设备分析方法，除了考虑原始振动信号，还考虑了原始振动信号的包络以及原始振动信号的分解分量，有利于从多个角度观察振动信号；并且构建的特征池包含丰富特征，考虑了时域、频域、时频域以及信息域的多种特征提取方法，可以覆盖更多的振动分析场景，提升了特征池的通用性。

本公开可以适用于设备核心部件如轴承、齿轮箱等的异常检测、故障诊断及预测。不同于传统相对有限的特征组合，本公开基于领域知识使用了更多信号处理手段，并借鉴了相关领域时序信号的特征提取经验，构建的特征池可以包含时域、频域、时频域、以及信息域的各类特征，可以覆盖更多的振动场景，有助于提升轴承、齿轮等工业关键部件振动信号分析的标准化和智能化程度，丰富的特征池有助于提升异常检测、故障诊断及预测的准确性。

本公开的设备分析方法还可以实现为一种设备分析装置。图 5 示出了根据本公开一个实施例的设备分析装置的结构示意图。其中，设备分析装置的功能单元可以由实现本公开原理的硬件、软件或硬件和软件的结合来实现。本领域技术人员可以理解的是，图 5 所描述的功能单元可以组合起来或者划分成子单元，从而实现上述发明的原理。因此，本文的描述可以支持对本文描述的功能单元的任何可能的组合、或者划分、或者更进一步的限定。

下面就设备分析装置可以具有的功能单元以及各功能单元可以执行的操作做简要说明，对于其中涉及的细节部分可以参见上文相关描述，这里不再赘述。

如图 5 所示，设备分析装置 500 包括获取模块 510、处理模块 520、提取模块 530 以及分析模块 540。

获取模块 510 用于获取设备的振动信号。

处理模块 520 用于对振动信号进行处理，得到取自振动信号的衍生信号。以衍生信号包括包络信号和/分解信号为例，处理模块 520 可以对振动信号进行解调分析，得到振动信号的包络信号；以及/或者对振动信号进行信号分解，得到一个或多个分解信号。

提取模块 530 用于分别对振动信号和衍生信号进行特征提取，得到振动信号的第一特征提取结果和衍生信号的第二特征提取结果。提取模块 530 可以基于多种特征提取方式分别对振动信号和衍生信号进行特征提取。关于多种特征提取方式可以参见上文相关描述。

分析模块 540 用于基于第一特征提取结果和第二特征提取结果对设备进行分析。

本公开的振动信号的特征构建方法还可以实现为一种振动信号特征构建装置。图 6 示出了根据本公开一个实施例的振动信号特征构建装置的结构示意图。其中，振动信号特征构建装置的功能单元可以由实现本公开原理的硬件、软件或硬件和软件的结合来实现。本领域技术人员可以理解的是，图 6 所描述的功能单元可以组合起来或者划分成子单元，从而实现上述发明的原理。因此，本文的描述可以支持对本文描述的功能单元的任何可能的组合、或者划分、或者更进一步的限定。

下面就振动信号特征构建装置可以具有的功能单元以及各功能单元可以执行的操作

做简要说明，对于其中涉及的细节部分可以参见上文相关描述，这里不再赘述。

如图 6 所示，振动信号特征构建装置 600 包括处理模块 610、提取模块 620 以及构建模块 630。

处理模块 610 用于对设备的振动信号进行处理，得到取自所述振动信号的衍生信号。

- 5 以衍生信号包括包络信号和/分解信号为例，处理模块 610 可以对振动信号进行解调分析，得到振动信号的包络信号；以及/或者对振动信号进行信号分解，得到一个或多个分解信号。

提取模块 620 用于分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特征提取，得到所述振动信号的第一特征提取结果和所述衍生信号的第二特征提取结果。提取模块 620 可以基于多种特征提取方式分别对振动信号和衍生信号进行特征提取。关于多种特征提取方式可以参见上文相关描述。

10

构建模块 630 用于将所述第一特征提取结果和所述第二特征提取结果作为所述振动信号最终的特征提取结果。

图 7 示出了根据本公开一个实施例的可用于实现上述设备分析方法或振动信号的特征构建方法的计算设备的结构示意图。

15

参见图 7，计算设备 700 包括存储器 710 和处理器 720。

处理器 720 可以是一个多核的处理器，也可以包含多个处理器。在一些实施例中，处理器 720 可以包含一个通用的主处理器以及一个或多个特殊的协处理器，例如图形处理器（GPU）、数字信号处理器（DSP）等等。在一些实施例中，处理器 720 可以使用定制的电路实现，例如特定用途集成电路（ASIC，Application Specific Integrated Circuit）或者现场可编程逻辑门阵列（FPGA，Field Programmable Gate Arrays）。

20

存储器 710 可以包括各种类型的存储单元，例如系统内存、只读存储器（ROM），和永久存储装置。其中，ROM 可以存储处理器 720 或者计算机的其他模块需要的静态数据或者指令。永久存储装置可以是可读写的存储装置。永久存储装置可以是即使计算机断电后也不会失去存储的指令和数据的非易失性存储设备。在一些实施方式中，永久性存储装置采用大容量存储装置（例如磁或光盘、闪存）作为永久存储装置。另外一些实施方式中，永久性存储装置可以是可移除的存储设备（例如软盘、光驱）。系统内存可以是可读写存储设备或者易失性可读写存储设备，例如动态随机访问内存。系统内存可以存储一些或者所有处理器在运行时需要的指令和数据。此外，存储器 710 可以包括任意计算机可读存储媒介的组合，包括各种类型的半导体存储芯片（DRAM，SRAM，SDRAM，闪存，可编程只读存储器），磁盘和/或光盘也可以采用。在一些实施方式中，存储器 710 可以包括可读和/或写的可移除的存储设备，例如激光唱片（CD）、只读数字多功能光盘（例如 DVD-ROM，双层 DVD-ROM）、只读蓝光光盘、超密度光盘、闪存卡（例如 SD 卡、min SD 卡、Micro-SD 卡等等）、磁性软盘等等。计算机可读存储媒介不包含载波和通过无线或有线传输的瞬间电子信号。

25

30

35

存储器 710 上存储有可执行代码，当可执行代码被处理器 720 处理时，可以使处理器

720 执行上文述及的设备分析方法或振动信号的特征构建方法。

上文中已经参考附图详细描述了根据本公开的振动信号的特征构建方法、设备分析方法、装置及计算设备。

此外，根据本公开的方法还可以实现为一种计算机程序或计算机程序产品，该计算机程序或计算机程序产品包括用于执行本公开的上述方法中限定的上述各步骤的计算机程序代码指令。

或者，本公开还可以实施为一种非暂时性机器可读存储介质（或计算机可读存储介质、或机器可读存储介质），其上存储有可执行代码（或计算机程序、或计算机指令代码），当所述可执行代码（或计算机程序、或计算机指令代码）被电子设备（或计算设备、服务器等）的处理器执行时，使所述处理器执行根据本公开的上述方法的各个步骤。

本领域技术人员还将明白的是，结合这里的公开所描述的各种示例性逻辑块、模块、电路和算法步骤可以被实现为电子硬件、计算机软件或两者的组合。

附图中的流程图和框图显示了根据本公开的多个实施例的系统和方法的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分，所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意，在有些作为替换的实现中，方框中所标记的功能也可以以不同于附图中所标记的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。也要注意，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

以上已经描述了本公开的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择，旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术的改进，或者使本技术领域的其它普通技术人员能理解本文披露的各实施例。

权 利 要 求

1. 一种设备分析方法，包括：
获取设备的振动信号；
对所述振动信号进行处理，得到取自所述振动信号的衍生信号，所述衍生信号用于表
5 征所述振动信号的一种或多种特性；
分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特征提取，得到所述振动信号的第一特征提
取结果和所述衍生信号的第二特征提取结果；以及
基于所述第一特征提取结果和所述第二特征提取结果对所述设备进行分析。
- 10 2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，对所述振动信号进行处理得到取自所述振动
信号的衍生信号的步骤包括：
对所述振动信号进行解调分析，得到所述振动信号的包络信号；以及/或者
对所述振动信号进行信号分解，得到一个或多个分解信号。
- 15 3. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，对所述振动信号进行解调分析的步骤包括：
对所述振动信号进行希尔伯特黄变换；
以所述振动信号为实部、所述振动信号的希尔伯特黄变换结果为虚部，得到解析信号；
对所述解析信号求模，得到所述振动信号的包络信号。
- 20 4. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，基于小波分解和/或经验模态分解的方式对所
述振动信号进行信号分解。
5. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，
所述包络信号为能够反映所述设备的旋转部件在运行过程中发出的冲击特性的信号，
25 并且/或者所述振动信号由多个振源发出的信号叠加而成，所述分解信号对应的振源数量少
于所述振动信号对应的振源数量。
6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特
征提取的步骤包括：
30 基于多种特征提取方式分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特征提取。
7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中，所述多种特征提取方式包括以下至少两种：
基于时域的特征提取方式；
基于频域的特征提取方式；
35 基于时频域的特征提取方式；

- 基于信息域的特征提取方式。
8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中，
基于时域的特征提取方式提取的特征包括有量纲特征和无量纲特征；并且/或者
5 基于频域的特征提取方式包括频谱分析和/或功率谱分析；并且/或者
基于时频域的特征提取方式提取的特征为与设备瞬时功率相关的特征；并且/或者
基于信息域的特征提取方式提取的特征为能够表征信号所包含信息量大小的特征。
9. 一种振动信号的特征构建方法，包括：
10 对振动信号进行处理，得到取自所述振动信号的衍生信号，所述衍生信号用于表征所
述振动信号的一种或多种特性；
分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特征提取，得到所述振动信号的第一特征提
取结果和所述衍生信号的第二特征提取结果；
将所述第一特征提取结果和所述第二特征提取结果作为所述振动信号最终的特征提
15 取结果。
10. 一种设备分析装置，包括：
获取模块，用于获取设备的振动信号；
处理模块，用于对所述振动信号进行处理，得到取自所述振动信号的衍生信号，所述
20 衍生信号用于表征所述振动信号的一种或多种特性；
提取模块，用于分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特征提取，得到所述振动信
号的第一特征提取结果和所述衍生信号的第二特征提取结果；以及
分析模块，用于基于所述第一特征提取结果和所述第二特征提取结果对所述设备进行
分析。
25
11. 一种振动信号特征构建装置，包括：
处理模块，用于对设备的振动信号进行处理，得到取自所述振动信号的衍生信号，所
述衍生信号用于表征所述振动信号的一种或多种特性；
提取模块，用于分别对所述振动信号和所述衍生信号进行特征提取，得到所述振动信
30 号的第一特征提取结果和所述衍生信号的第二特征提取结果；
构建模块，用于将所述第一特征提取结果和所述第二特征提取结果作为所述振动信号
最终的特征提取结果。
12. 一种计算设备，包括：
35 处理器；以及

存储器，其上存储有可执行代码，当所述可执行代码被所述处理器执行时，使所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任何一项所述的方法。

13. 一种计算机程序产品，包括可执行代码，当所述可执行代码被电子设备的处理器
5 执行时，使所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任何一项所述的方法。

14. 一种非暂时性机器可读存储介质，其上存储有可执行代码，当所述可执行代码被
电子设备的处理器执行时，使所述处理器执行如权利要求 1 至 9 中任何一项所述的方法。

10

15

20

25

30