



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113030265 B

(45) 授权公告日 2022.10.14

(21) 申请号 202110311972.2

G01N 29/44 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.24

G01B 21/00 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113030265 A

(56) 对比文件

CN 1605885 A, 2005.04.13

(43) 申请公布日 2021.06.25

审查员 张煜欣

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 陈雪 郇勇 王琮文 郝圣旺

杨荣 冯义辉

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01N 29/04 (2006.01)

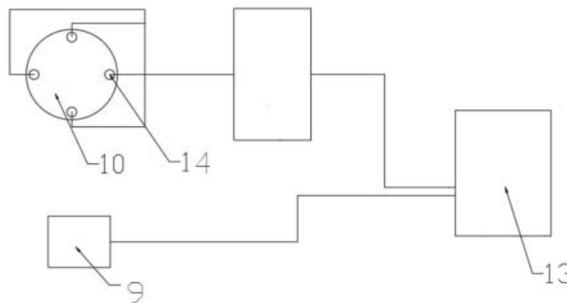
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪

(57) 摘要

本发明提供一种基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪,包括壳体,在壳体内安装有:电机;敲击锤,设置在壳体外部;声纳装置,设置在敲击锤的四周,用于收集敲击锤的敲打声音;偏心驱动装置,使敲击锤实现间歇性敲打动作;分析系统,通过位移传感器获取敲击锤的敲击路线,同时通过线缆连接声纳装置以获取声音频率,进行粗略和精确分析后,综合确定出现的空鼓位置及尺寸。本发明能够解决饰面层粘贴质量检测过程中操作复杂,劳动强度大等问题,只需控制检测仪按一定轨迹进行移动,敲击锤就会在移动过程中以固定的敲击频率和力敲击瓷砖表面,达到定量敲击的效果。极大的节省了人力成本,且通过分析系统能够对饰面层空鼓或材料缺陷的形状位置进行定量分析。



1. 一种基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪,其特征在于,包括:

敲击锤,用于对当前位置进行敲击;

声纳装置,均布在敲击锤的四周,用于收集敲击产生的声学信号;

分析系统,通过位移传感器获取敲击锤的敲击路线及每次敲击点的位置信息,同时通过声纳装置以收集声学信号,并通过频域分析模块获取其频域信息,结合敲击点位置信息及频域信息通过粗略分析先确定空鼓的大小形状位置;

所述粗略分析过程如下:

首先经傅里叶变换:

$$F(\omega) = F[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

将声音信号由时域转变为频域信号,得到该声信号的频谱函数,

提取全体采样点的频域信息,提取其中频率最小和最大的一个点或多个点即  $\omega_{\min}$ ,  $\omega_{\max}$ , 当有:

$$\omega_{\min} \leq \varphi \omega_{\max}$$

可以粗略判断该区域存在空鼓,且  $\omega_{\min}$  所在采样点  $(x_0, y_0)$  为空鼓中心;其中  $\varphi$  为比例系数,可以通过实验标定的方法获得;

在检测区域内均匀取  $(x_i, y_i)$ 、 $(m-x_i, y_i)$ 、 $(x_i, n-y_i)$ 、 $(m-x_i, n-y_i)$  为对照点,其中  $m$ 、 $n$  为瓷砖的长和宽;将频率不一致的采样点频率记为  $f_{i1}$ , 该点坐标为  $(x_i, y_i)$ , 则其余三个采样点频率分别标为  $f_{i2}$ 、 $f_{i3}$ 、 $f_{i4}$ ; 当有:

$$f_{i1} \leq \frac{\theta}{3} (f_{i2} + f_{i3} + f_{i4})$$

可以粗略判断该区域存在空鼓,其中  $\theta$  为比例系数,可通过实验标定的方法获得;

整合上述得到的特征点信息,通过数据处理筛选掉其中误差较大的特征点,分别计算其余各点到空鼓中心的距离,以圆形来近似模拟真实的空鼓形状,故空鼓半径  $r$  可表示为:

$$r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$$

其中,  $n$  为筛选后的特征点数目,  $(x_i, y_i)$  为各特征点的位置坐标,最终经过粗略分析可以近似得到空鼓的大小形状位置信息。

2. 根据权利要求1所述的检测仪,其特征在于,

所述分析系统通过精确分析对获取的空鼓大小形状信息进行整合,最终得到精确的空鼓位置及尺寸信息,所述精确分析的过程如下:

设,待检测位置的固有频率  $\omega$  以实心声音信息的固有频率  $\omega_0$  表示,则有如下关系:

$$\omega = \delta \cdot \omega_0$$

频率系数  $\delta$  只是本身几何尺寸及材料特性的参数,其关系式如下:

$$\omega_0 = K \sqrt{\frac{D}{\rho_0 h}}$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

其中,K为系数, $\rho_0$ 为密度,h为厚度,E为弹性模量, $\mu$ 为泊松比;

空鼓声音信息的固有频率不仅与其本身几何尺寸和材料特性有关,还与空洞的大小位置有关,则有:

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{G}{H}}}{\pi^2(1 + \frac{m^2}{n^2})}$$

其中,

$$G = \left( \frac{\pi^4 mn}{4} - \frac{3\pi^5 nr_0^4}{2h^3} \right) \left( \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right)^2 + \pi^4 n \left[ \frac{1}{4} \left( \frac{5}{m^4} + \frac{1}{n^4} \right) + \left( \mu + \frac{1}{2} \right) \frac{1}{(m^2 n^2)} \right] Q_1$$

$$H = \frac{n}{4m^3} - \frac{\pi nr_0^2}{4m^4 h} + Q_2$$

这里:

$$Q_1 = \frac{24m}{\pi h^3} \cos \frac{2\pi x_0}{m} \cdot \cos \frac{2\pi y_0}{n} \cdot \frac{\pi r_0^2}{4} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!(k+1)!} \left( \frac{\pi r_0}{m} \right)^{2k}$$

$$Q_2 = \frac{\pi r_0^2}{4} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k(-1)^{(k+1)}}{k!(k+1)!} \left( \frac{\pi r_0}{m} \right)^{2k}$$

其中,m、n为待检测区域内瓷砖的长和宽,h为厚度, $r_0$ 为空洞半径, $(x_0, y_0)$ 为空洞的坐标位置。

3. 根据权利要求1所述的检测仪,其特征在于,

所述检测仪还包括用于提供安装空间的壳体,敲击锤设置在壳体外部,在壳体内安装有:

电机,用于提供动力;

偏心驱动装置,使敲击锤实现间歇性敲打动作,包括与电机输出轴连接的偏心轮,和一端与敲击锤连接另一端与偏心轮连接的连杆。

4. 根据权利要求3所述的检测仪,其特征在于,

在所述连杆与所述偏心轮连接一端安装有与所述偏心轮外圆周接触的滚轮。

5. 根据权利要求3所述的检测仪,其特征在于,

在所述壳体内设置有容纳所述连杆的安装槽。

6. 根据权利要求3所述的检测仪,其特征在於,

所述壳体内的连杆杆身上安装有将所述连杆向所述偏心轮方向推动的弹性装置。

7. 根据权利要求4所述的检测仪,其特征在於,

所述偏心轮的最大工作尺寸为50mm,最小工作尺寸为30mm,所述连杆的行程为20mm,在所述偏心轮转动过程中,所述滚轮始终与所述偏心轮的外圆周保持接触。

8. 根据权利要求3所述的检测仪,其特征在於,

在所述电机的输出轴与所述偏心轮之间安装有减速器,减速器为多级减速器,其传动比分别为1:2、5:4和5:2,与之对应的所述敲击锤的敲击频率分别为5Hz、2Hz、1Hz。

9. 根据权利要求3所述的检测仪,其特征在於,

所述声纳装置包括四个均匀安装在所述敲击锤四周的麦克风。

10. 根据权利要求3所述的检测仪,其特征在於,

还包括在平面上辅助行走的自动行走装置,在斜面或垂直面上悬挂移动的悬吊装置,自动行走装置和悬吊装置在分析系统的控制下,带动所述检测仪在检测面上按预定路线移动。

## 一种基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪

### 技术领域

[0001] 本发明涉及声学领域,特别是涉及一种用于建筑饰面层施工质量检测或轮胎内部缺陷检测的基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪。

### 背景技术

[0002] 空鼓现象是建筑饰面层施工过程中的常见缺陷。在实际施工过程中,由于偷工减料或粘贴不均匀等,容易造成饰面层空鼓。此外,陶瓷或者马赛克面砖外墙施工完成后,外墙面由块体和缝隙交错构成,整个外表面非同一种材料,线膨胀系数不一样,往往在砂浆缝处收缩开裂。外墙的墙面并不是隔段和封闭的,如果使用时间过长,必然会导致产生剥落及空鼓现象。饰面层的脱落不仅影响建筑物美观,更极易造成事故,因此,检测饰面层空鼓,有助于提前发现饰面层缺陷并及时补救。

[0003] 目前常用的检测饰面砖粘贴质量的方法主要有敲击法,即通过用空鼓锤轻敲瓷砖表面,工人利用耳朵凭经验判断是否存在空鼓。这种方法原理简单,然而其受主观因素影响较大,不够严谨。此外,其劳动强度大,人工成本高,且存在一定的施工安全隐患。

[0004] 所以目前需要一种简单有效的检测装置,解决现有技术中饰面层粘贴质量中操作复杂、劳动强度大等问题。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种用于建筑饰面层施工质量检测的基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪。

[0006] 具体地,本发明提供一种基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪,包括用于提供安装空间的壳体,在壳体内安装有:

[0007] 电机,用于提供动力;

[0008] 敲击锤,设置在壳体外部,用于对当前位置进行敲击;

[0009] 声纳装置,均布在敲击锤的四周,用于收集敲击产生的声学信号;

[0010] 偏心驱动装置,使敲击锤实现间歇性敲打动作,包括与电机输出轴连接的偏心轮,和一端与敲击锤连接另一端与偏心轮连接的连杆,在电机的输出轴与偏心轮之间安装有减速器,减速器为多级减速器,在减速器的控制下,使得敲击锤实现不同敲击效果;

[0011] 分析系统,通过位移传感器获取敲击锤的敲击路线及每次敲击点的位置信息,同时通过线缆连接声纳装置以收集声学信号,并通过频域分析模块获取其频域信息,结合敲击点的位置及频域信息对空鼓的大小位置进行逼近,最终确定出现的空鼓位置及尺寸。

[0012] 本发明能够解决饰面层粘贴质量检测过程中操作复杂,劳动强度大等问题,只需控制检测仪按一定轨迹进行移动,敲击锤就会在移动过程中以固定的敲击频率和力敲击瓷砖表面,达到定量敲击的效果。极大的节省了人力成本,且通过分析系统能够对敲击所产生的声音信号进行定量分析。

[0013] 通过位移传感器实时记录敲击锤运行的轨迹信息,能精确的提供当前产生声音信

号的敲击点在瓷砖上的位置信息,有助于定量的分析饰面层粘贴的空鼓存在及大小位置信息,同时位移传感器记录的整体位移轨迹为自动标记空鼓的大小位置提供了位置信息。

[0014] 利用分析系统对声学频谱进行分析,可解决饰面层粘贴质量检测过程中主观性太强、无法判断空鼓的具体位置及大小、不够严谨等问题,能够在不损伤瓷砖的情况下,对其内部结构进行近似的判断。

### 附图说明

[0015] 图1为本发明一个实施方式的检测仪结构示意图;

[0016] 图2为本发明一个实施方式的分析系统连接结构示意图;

[0017] 图3为本发明一个实施方式的偏心轮驱动连杆的结构示意图;

[0018] 图4为本发明一个实施例中在瓷砖铺设面上进行敲击移动的示意图;其中,(a)为瓷砖的尺寸规格示意图,(b)为检测仪的移动轨迹示意图;(c)为敲击锤在39处敲击的位置示意图;

[0019] 图5为本发明一个实施例中敲击点、麦克风与空鼓区域的位置大小信息;

[0020] 图6为在系统中构建的全程轨迹信息以及经分析得到的空鼓位置信息输出的图像;

[0021] 图7为轮胎内部缺陷检测的实例图。

### 具体实施方式

[0022] 以下通过具体实施例和附图对本方案的具体结构和实施过程进行详细说明。

[0023] 如图1、2所示,在本发明的一个实施方式中,提供一种基于声学频谱分析物体内部缺陷的检测仪,包括用于提供安装空间的壳体4,在壳体4内安装有电机1、敲击锤10、声纳装置、偏心驱动装置和分析系统13。

[0024] 该电机1用于提供动力;电机1的转速可采用满足150r/min的型号,此外,电机1也可由电磁线圈驱动方式或气泵驱动方式进行替换,即可选择不同的动力源作为驱动敲击锤10的动力。

[0025] 该敲击锤10设置在壳体4外部,用于对当前位置进行敲击;

[0026] 该声纳装置设置在敲击锤10的四周,随敲击锤同步动作,用于收集敲击锤的敲击时的声音;具体的声纳装置可采用四个均匀安装在敲击锤10四周的麦克风14。

[0027] 该偏心驱动装置用于使敲击锤10实现间歇性敲打动作,安装在壳体4内,包括与电机1输出轴2连接的偏心轮5,和一端与敲击锤10连接另一端与偏心轮5连接的连杆7;

[0028] 该分析系统13通过安装在壳体4上的位移传感器9获取检测仪的行动路线,由此可确定敲击锤10的敲击路线,进而确定敲击点的坐标,声纳装置获取的声音频率通过线缆传递至分析系统13,分析系统13结合敲击坐标对每次敲击的声音频率进行分析,获取当前声音频率的具体信息,然后与对应的空鼓声音信息和实心声音信息进行对比,最终确定出现的空鼓位置及尺寸。

[0029] 在本实施方式中,壳体4作为一个检测仪的容纳空腔,其内部安装各部件,还可以安装便于检测仪整体移动的万向轮,和在分析系统13控制下驱动万向轮移动的驱动装置,具体的驱动装置可根据分析后确定的预定路线在平面上自动行走,或是在其它辅助设备的

帮助下在斜面或垂直面上自动行走。当在平面上自动行走时,也可以由人工控制按预定路线推动行走。

[0030] 本实施方式的工作过程如下,电机1通过驱动轴2带动偏心轮5转动,而偏心轮5的转动,则通过连杆7驱动敲击锤10向远离壳体4方向做往复运动,检测仪按预定路线在整个检测面上移动,具体的移动路线可是几字形。而在移动过程中,敲击锤10的每一次往复运动都会在伸出过程中与检测面接触,形成间隔性敲击点,其敲击产生的声音频率被声纳装置收集并传递给分析系统13,分析系统13中包含PLC控制程序的芯片对声音频率进行分析,根据相应的处理过程,将声音频率进行分解,由检测仪的行动路线和敲击点坐标可进一步确定空鼓的位置,通过对相邻敲击坐标的分析最终可确定空鼓位置的坐标和尺寸大小。

[0031] 本实施方式能够解决饰面层粘贴质量检测过程中操作复杂,劳动强度大等问题,只需控制检测仪按一定轨迹进行移动,敲击锤就会在移动过程中以固定的敲击频率和力敲击瓷砖表面,达到定量敲击的效果。极大的节省了人力成本,且通过分析系统能够对敲击所产生的声音信号进行定量分析。

[0032] 通过位移传感器实时记录敲击锤运行的轨迹信息,能精确的提供当前产生声音信号的敲击点在瓷砖上的位置信息,有助于定量的分析饰面层粘贴的空鼓存在及大小位置信息,同时位移传感器记录的整体位移轨迹为自动标记空鼓的大小位置提供了位置信息。

[0033] 利用分析系统对声学频谱进行分析,可解决饰面层粘贴质量检测过程中主观性太强、无法判断空鼓的具体位置及大小、不够严谨等问题,能够在不损伤瓷砖的情况下,对其内部结构进行近似的判断。

[0034] 如图3所示,在本发明的一个实施方式中,连杆7的移动仅为轴向移动,而不产生径向移动,即连杆7仅与偏心轮5的外圆周接触,而不连接在偏心轮5的侧面上,为方便连杆7与偏心轮5的接触,在连杆7与偏心轮5接触的一端安装有与偏心轮5外圆周抵接的滚轮6。当偏心轮5远离圆心的一侧与连杆7接触时,敲击锤10处于远离壳体4的敲击状态,而偏心轮5靠近圆心的一侧与连杆7接触时,敲击锤10处于靠近壳体4的状态。

[0035] 为避免连杆7产生晃动,在壳体4内可设置容纳连杆7的安装槽8,安装后的连杆7仅可在安装槽8中实现轴向移动。

[0036] 为使连杆7能够始终保持与偏心轮5抵接的状态,可在壳体4内的连杆7杆身上安装将连杆7向偏心轮5方向推动的弹性装置。具体的弹性装置可以是弹簧,拉簧一类对连杆7施加远离敲击锤10的弹性结构;弹性装置可安装在安装槽8中。

[0037] 虽然这里给出的是连杆7仅轴向移动的结构,但在其它的实施方式中,连杆7也可以与偏心轮5的侧面活动连接,随偏心轮5的转动,连杆7的另一端带动敲击锤10实现往复移动。在该结构下,由于连杆7在轴向移动的同时还会产生径向的扇形摆动,因此需要更大的容纳空间。

[0038] 进一步的,本实施方式中的偏心轮5最大工作尺寸为50mm(即距离圆心最远的距离),最小工作尺寸为30mm(即距离圆心最近的距离),连杆7的行程为20mm(轴向往复行程),在偏心轮5转动过程中,位于连杆7端部的滚轮6始终与偏心轮5的外圆周保持接触。

[0039] 为实现多种敲击方式控制,在电机1的输出轴2与偏心轮5之间安装有减速器3,减速器3为多级减速器,其传动比分别为1:2、5:4和5:2,与之对应的敲击锤10的敲击频率分别为5Hz、2Hz、1Hz。在减速器3的控制下,使得敲击锤10可实现粗敲、标准、细敲等不同敲击效

果。

[0040] 在本发明的一个实施方式中,选择如图4(a)所示的长宽为500mm×500mm的瓷砖,预定的最佳工作路径如图4(b)所示,在标准工况下,即敲击频率为2Hz时,控制检测仪按该路径移动,移动速度为20mm/s时,可得到49个敲击点,敲击点的分布如图4(c)所示,令对应第*i*个敲击点的坐标为 $(x_i, y_i)$ ,敲击点的位置由位置传感器确定,于此同时,麦克风14收录49个敲击点所对应的声信号,如图5所示,四个麦克风14均布在锤头上,将其收集到的声学信号实时传输给分析系统13,经傅里叶变换,即可将声音信号由时域转变为频域信号,对四个麦克风收集的声学信号进行处理,去掉异常信号,并对剩下信号进行平均处理以减小偶尔误差提高系统精度。进而得到该声音信号的频谱函数。

[0041] 分析系统13得到了敲击点所产生声音信号的位置坐标信息及对应的频谱函数,进行比对及算法的迭代运算,获取频谱函数中两个关键参数即最大频率 $\omega_{max}$ 和最小频率 $\omega_{min}$ ,并绘制频率-位置曲线,显然,当频率最大时,敲击点距空鼓中心最远或不存在空鼓,当频率最小时,敲击点距离空鼓最近或处于空鼓中心。

[0042] 本实施方式提供的移动路径,在实际工作过程中,只需要固定起始和结束点,以确定瓷砖的大小尺寸信息,中间路径可以根据覆盖范围自行进行调整,布置在壳体4上的位移传感器9会实时记录该检测仪运行的轨迹信息,以出发点为坐标原点,可以建立所有敲击点的坐标,并将坐标信息实时传输给分析系统。

[0043] 分析系统分析声音频率进而确定空鼓位置的过程如下:

[0044] 首先经傅里叶变换:

$$[0045] \quad F(\omega) = F[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

[0046] 将声音信号由时域转变为频域信号,得到该声音信号的频谱函数;

[0047] 整个分析过程分为粗略分析和精确分析两个方面。

[0048] 首先,对于粗略分析:

[0049] 提取全体采样点的频域信息,提取其中频率最小和最大的一个点或多个点即 $\omega_{min}$ ,  $\omega_{max}$ , 当有,

$$[0050] \quad \omega_{min} \leq \varphi \omega_{max}$$

[0051] 可以粗略判断该区域存在空鼓,且 $\omega_{min}$ 所在采样点 $(x_0, y_0)$ 为空鼓中心。其中 $\varphi$ 为比例系数,可以通过实验标定的方法获得。

[0052] 此外,取 $(x_i, y_i)$ 、 $(m-x_i, y_i)$ 、 $(x_i, n-y_i)$ 、 $(m-x_i, n-y_i)$ 为对照点,其中*m*、*n*为瓷砖的长和宽。显然,当瓷砖粘贴均匀且不存在空鼓时,四个参考点的主要频率近似相等,因此,当其中某个点的基本频率远低于其余各点时,该区域附近可能存在空鼓。记特别的频率信号采样点频率为 $f_{i1}$ ,该点坐标为 $(x_i, y_i)$ ,其余三个采样点分别为 $f_{i2}$ 、 $f_{i3}$ 、 $f_{i4}$ , 当有,

$$[0053] \quad f_{i1} \leq \frac{\theta}{3}(f_{i2} + f_{i3} + f_{i4})$$

[0054] 可以粗略判断该区域存在空鼓,其中 $\theta$ 为比例系数,可通过实验标定的方法获得。

[0055] 整合上述得到的特征点信息,通过数据处理筛选掉其中误差较大的特征点,分别计算其余各特征点到空鼓中心的距离,以圆形来近似模拟真实的空鼓形状,故空鼓半径*r*可

表示为：

$$[0056] \quad r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$$

[0057] 其中,  $n$  为特征点的个数,  $(x_i, y_i)$  为各特征点的位置信息; 综上, 经过粗略分析可以近似得到空鼓的大小形状位置信息。

[0058] 其次, 精确分析的过程如下:

[0059] 记第  $i$  个敲击点到空鼓中心的距离为  $a_i$ , 则有:

$$[0060] \quad a_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$$

[0061] 首先, 将第  $i$  个敲击点及第  $i+1$  个敲击点的信息进行对比, 第  $i$  个敲击点到空鼓中心的距离为  $d_i$ ,  $d_i$  与频率成正相关。已知两个敲击点的位置及两个敲击点到空鼓中心的距离, 可构建一组双曲线方程:

$$[0062] \quad \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

[0063] 空鼓中心  $(x_0, y_0)$  位于两组双曲线的交点上, 可确定空鼓中心的位置参数。

[0064] 分析系统13确定空鼓声音信息和实心声音信息的过程如下:

[0065] 设, 待检测位置的固有频率  $\omega$  以实心声音信息的固有频率  $\omega_0$  表示, 则有如下关系:

$$[0066] \quad \omega = \delta \cdot \omega_0$$

[0067] 频率系数  $\delta$  只是本身几何尺寸及材料特性的参数, 其关系式如下:

$$[0068] \quad \omega_0 = K \sqrt{\frac{D}{\rho_0 h}}$$

$$[0069] \quad D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}$$

[0070] 其中,  $K$  为系数,  $\rho_0$  为密度,  $h$  为厚度,  $E$  为弹性模量,  $\mu$  为泊松比; 固有频率  $\omega_0$  与瓷砖的大小尺寸、材料特性有关, 对于同一批次检测的瓷砖, 其结构参数基本相同, 因此可视其为常数。

[0071] 空鼓声音信息的固有频率不仅与其本身几何尺寸和材料特性有关, 还与空洞的大小位置有关, 则有:

$$[0072] \quad \delta = \frac{\sqrt{\frac{G}{H}}}{\pi^2(1 + \frac{m^2}{n^2})}$$

[0073] 其中,

$$G = \left( \frac{\pi^4 mn}{4} - \frac{3\pi^5 nr_0^4}{2h^3} \right) \left( \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right)^2 + \pi^4 n \left[ \frac{1}{4} \left( \frac{5}{m^4} + \frac{1}{n^4} \right) + \left( \mu + \frac{1}{2} \right) \frac{1}{(m^2 n^2)} \right] Q_1$$

$$H = \frac{n}{4m^3} - \frac{\pi nr_0^2}{4m^4 h} + Q_2$$

[0076] 这里

$$Q_1 = \frac{24m}{\pi h^3} \cos \frac{2\pi x_0}{m} \cdot \cos \frac{2\pi y_0}{n} \cdot \frac{\pi r_0^2}{4} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!(k+1)!} \left( \frac{\pi r_0}{m} \right)^{2k}$$

$$Q_2 = \frac{m r_0^2}{4} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k(-1)^{(k+1)}}{k!(k+1)!} \left( \frac{\pi r_0}{m} \right)^{2k}$$

[0079] 其中,  $m$ 、 $n$ 为待检测区域内瓷砖的长和宽,  $h$ 为厚度,  $r_0$ 为空洞半径,  $(x_0, y_0)$ 为空洞的坐标位置。

[0080] 对求得空鼓大小位置信息进行整合, 得到精确的空鼓的位置尺寸信息。同时, 如图6所示, 基于位移传感器9记录的全程轨迹信息, 在分析系统13内部构建整体位移轨迹, 并对有空鼓的区域用红色进行实时标记, 在全部扫描完成后, 即可输出整个位移轨迹及空鼓大小位置图像。

[0081] 此外, 以如图7所示的轮胎为例 (其他尺寸轮胎情况类似), 为检测轮胎内部缺陷的示意图; 选取距轮胎中心距离为  $R$  的圆周, 通过敲击锤10进行敲击, 敲击完毕则选取下一组圆周半径, 直到完成检测。第  $i$  组的圆周半径用  $R_i$  表示。于此同时, 麦克风14收录每个敲击点所对应的声音信号, 并将其实时传输给频率分析模块, 经傅里叶变换, 将声音信号由时域转变为频域信号, 得到该声音信号的频谱函数, 傅里叶变换如下所示:

$$F(\omega) = F[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

[0083] 提取第  $i$  组的频域信号, 则第  $i$  组第  $j$  个敲击节点的最大频率为  $\omega_{\max}(ij)$ , 最小频率为  $\omega_{\min}(ij)$ , 在控制及数据处理中心中进行比对运算并绘制频率-位置曲线, 当第  $i$  组中出现  $\omega_{\max}(ij)$ 、 $\omega_{\min}(ij)$  的频率-节点曲线异常时, 则表明该节点处可能存在一定的缺陷或损伤。

[0084] 同理, 第  $i$  组的  $j$  个参考点为对照点, 筛选出其中的最小频率及最大频率  $\omega_{\max}(ij)$ 、 $\omega_{\min}(ij)$ , 当存在:

$$\omega_{\min}(ij) \leq \psi \omega_{\max}(ij)$$

[0086] 可以判断该区域存在缺陷, 其中  $\psi$  为比例系数, 可以通过实验标定的方法获得。

[0087] 与此同时, 对比  $n$  组的数据, 提取其中的特征参考点的位置信息, 同样以圆形逼近缺陷的形状, 通过数据分析删去异常的特征点, 可以近似得到缺陷的大小形状信息。

[0088] 在前述各实施方式中, 检测仪可采用人工控制移动, 也可以采用自动控制装置进

行移动,当在平面上移动时,检测仪可通过人工或自动控制装置按预定路线进行移动,而在斜面或垂直面上移动时,可通过悬吊装置进行悬挂式移动,或是采用类似无人机驱动方式的悬空移动方式。

[0089] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

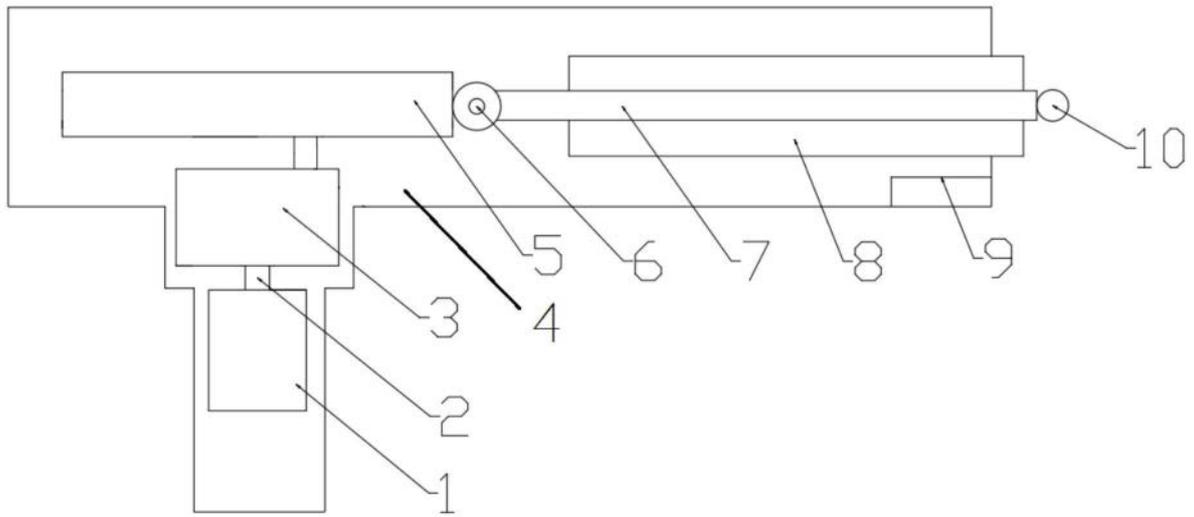


图1

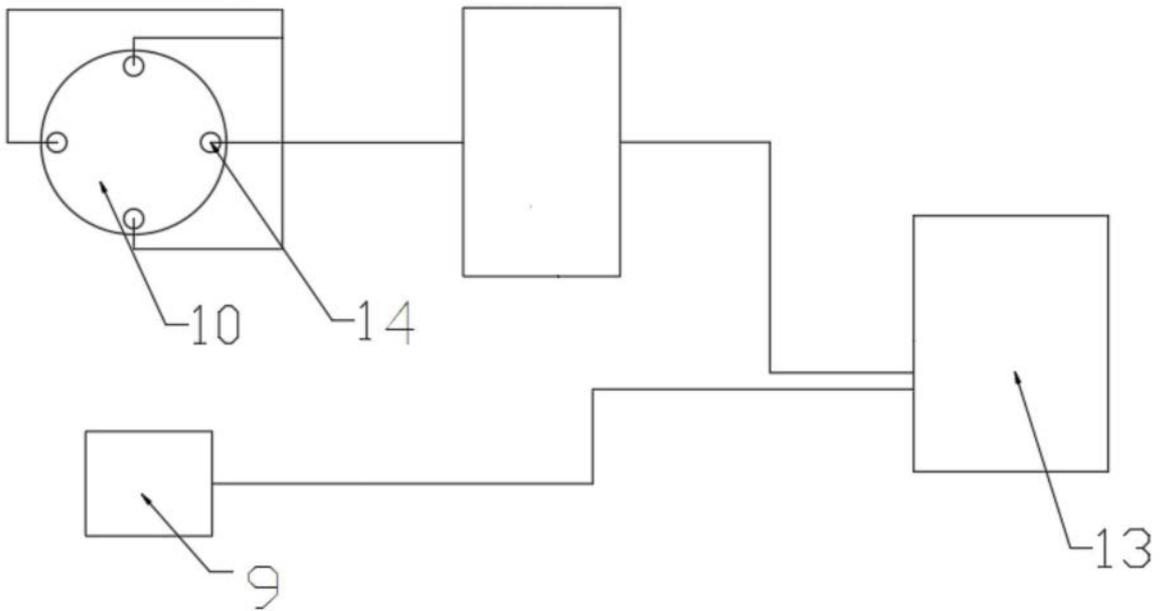


图2

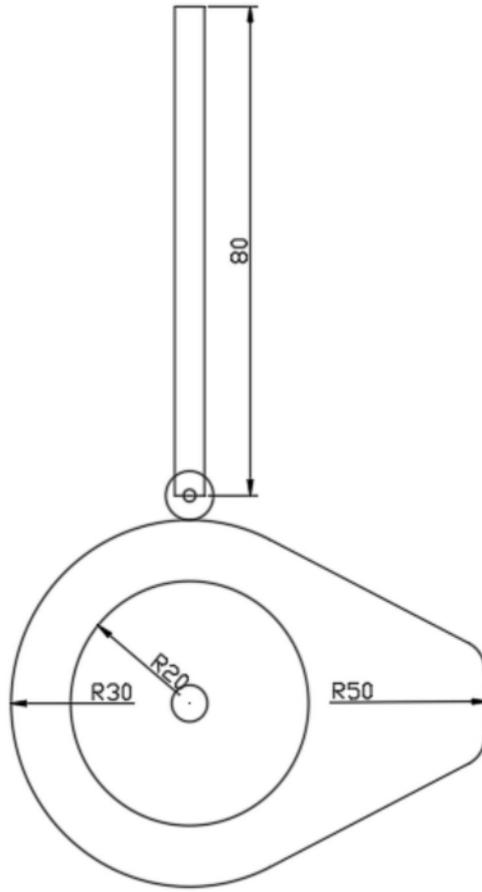


图3

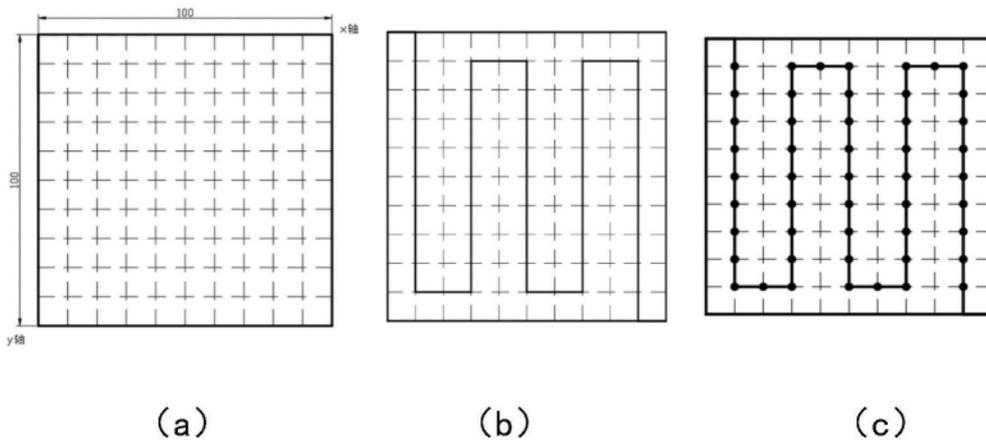


图4

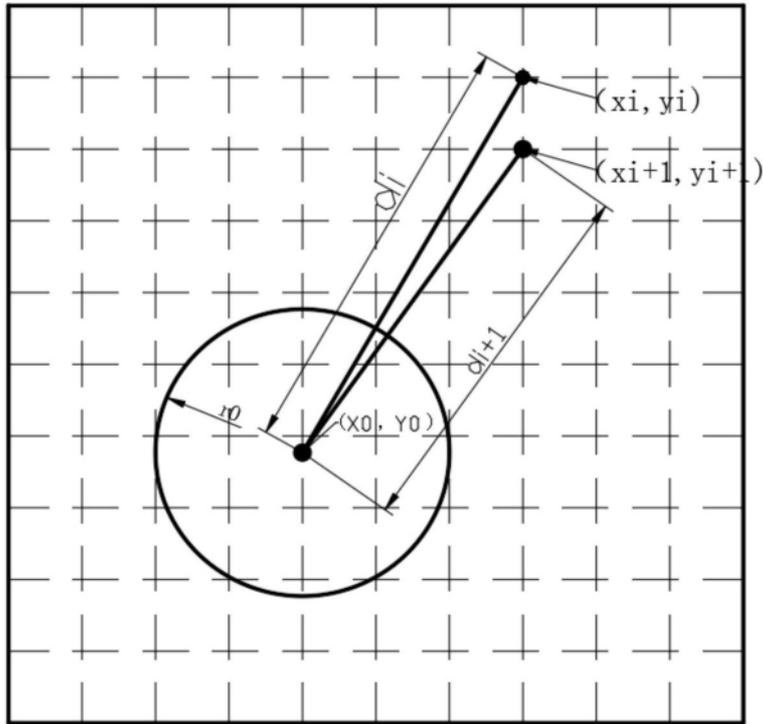


图5

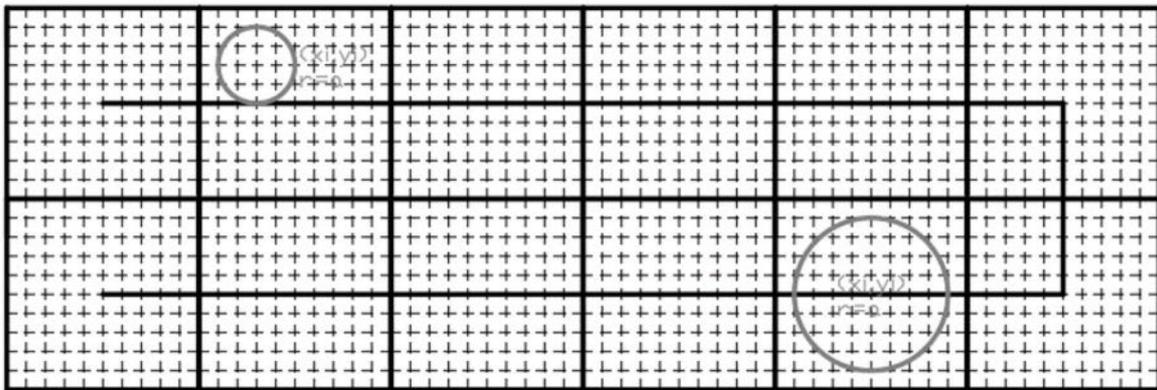


图6

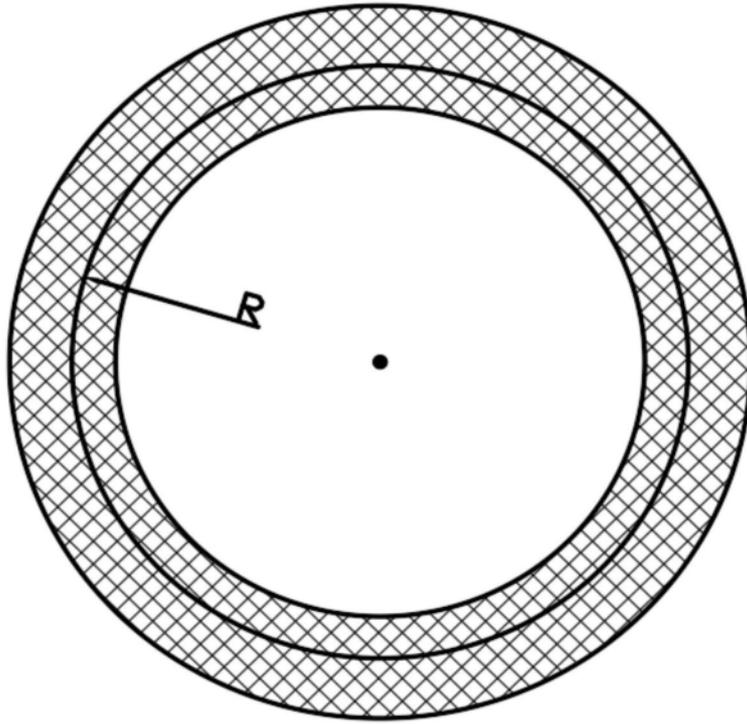


图7