



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114065558 B

(45) 授权公告日 2022.04.15

(21) 申请号 202210051472.4

(22) 申请日 2022.01.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114065558 A

(43) 申请公布日 2022.02.18

(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 魏炳忱 刘子尚 胡铮 张坤
张万昊 韩明 张国洪 戴国文
许成法 金孔杰 王志涛

(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
代理人 焦海峰

(51) Int.Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G16C 60/00 (2019.01)

G01N 3/34 (2006.01)

G01N 21/956 (2006.01)

G06F 119/04 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 111426461 A, 2020.07.17

CN 109060824 A, 2018.12.21

WO 2020143284 A1, 2020.07.16

朱金花等.孔边循环应变与疲劳循环次数相关性实验研究.《实验力学》.2005,(第03期),

审查员 王伟

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法及设备

(57) 摘要

本发明提供了一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法及设备,方法步骤如下:浮动摩擦片在模拟的服役环境中运转;通过三维DIC技术非接触式测量浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像并进行数据分析,得到实验中的浮动摩擦片完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系;将所述浮动摩擦片的图像信息导入上述关系中,进行损伤识别和寿命预测。本发明能够非接触式测量浮动摩擦片的实验状态数据,同时关注了面内变形和离面位移两种对浮动摩擦片数据分析影响非常大的因素,提高了浮动摩擦片的寿命预测准确度。



1. 一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,其特征在于,方法步骤如下:

浮动摩擦片在模拟的服役环境中运转;

通过三维DIC技术非接触式测量浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像并进行数据分析,得到实验中的浮动摩擦片的完整损伤累积项和疲劳寿命预测关系;所述三维DIC技术中的数据分析过程为:

步骤101、通过非接触测量方式获得每个固定旋转周期内浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像,进而得到浮动摩擦片表面的应变场和离面位移场;

步骤102、根据步骤101的结果计算所述每个固定旋转周期内的应变场改变量和离面位移改变量;进而得到所述每个固定旋转周期对应的应变累积相关项和离面位移累积相关项;

步骤103、结合步骤102的方法,截取时间段内的若干个固定旋转周期的应变累积相关项和离面位移累积相关项,分别得到截取时间段内全部的应变累积相关项和离面位移累积相关项;

步骤104、对步骤103中所述全部的应变累积相关项和离面位移累积相关项进行分析,建立浮动摩擦片的完整损伤累积项和疲劳寿命预测关系;

将任意时刻的所述浮动摩擦片的图像信息导入上述关系中,进行损伤识别和寿命预测。

2. 根据权利要求1所述的浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,其特征在于,步骤103中所述截取时间段内全部的应变累积相关项的计算公式为:

$$D_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\int E \varepsilon_i^2 dS}{S_\varepsilon}$$

式中, D_1 表征应变累积相关项, E 表征浮动摩擦片材料的弹性模量, ε_i 表征浮动摩擦片不同位置的应变分量, S_ε 表征应变分量无量纲归一化转换参数。

3. 根据权利要求1所述的浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,其特征在于,步骤103中所述截取时间段内全部的离面位移累积相关项的计算公式为:

$$D_2 = \sum_{i=1}^n \frac{\int E \omega_i dS}{S_\omega L}$$

式中, D_2 表征离面位移累积相关项, E 表征浮动摩擦片材料的弹性模量, ω_i 表征浮动摩擦片不同位置的离面位移分量, S_ω 表征离面位移分量无量纲归一化转换参数, L 表征浮动摩擦片的特征厚度。

4. 根据权利要求1所述的浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,其特征在于,步骤104中所述完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系公式为:

$$D = D_1 + \delta D_2$$

$$T = \eta f(D), \quad \eta = \frac{T_0}{f(D_0)}$$

式中, D 表示完整损伤累积项, D_1 表征应变累积相关项, D_2 表征离面位移累积相关项,其

中 δ 为一个修正项,是一个浮动摩擦片形状相关参数, T 表征浮动摩擦片在任意完整损伤累积项下的剩余疲劳寿命, f 表征疲劳寿命和完整损伤累积项之间通过实验建模构建的函数关系, T_0 表征最大疲劳寿命, D_0 表征最大损伤累积量, η 表征一个工艺修正参数,取值为1,如果工艺发生改变则依据最大疲劳寿命和最大损伤累积量重新标定 η 。

5.一种应用权利要求1-4任一项所述浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法的预测设备,其特征在于,包括:

实验发生装置,浮动摩擦片固定安装在所述实验发生装置上进行工况模拟实验;

实验控制装置,连接实验发生装置用于发送指令到实验发生装置设置实验工况参数;

显示装置,连接实验控制装置用于显示实验过程中的设置参数和实时参数;

三维DIC拍摄装置,全流程监测、记录实验过程中浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像;

数据处理系统,连接三维DIC拍摄装置接收其拍摄的图像信息进行数据实时分析,并进行损伤识别及寿命预测。

6.根据权利要求5所述的预测设备,其特征在于,所述实验发生装置中设有用于控制振动工况加载的振动发生器和用于控制转动工况加载的转动发生器。

7.根据权利要求5所述的预测设备,其特征在于,所述三维DIC拍摄装置包括至少两台成像设备用于全流程采集实验过程中浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像。

一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法及设备

技术领域

[0001] 本发明属于摩擦片检测领域,具体涉及一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法及设备。

背景技术

[0002] 浮动摩擦片在使用过程中,工作环境恶劣,容易在摩擦片的多个部位萌生小裂纹。在持续的服役工作环境下,浮动摩擦片的多个小裂纹会进一步的扩展,并会突然发生断裂,进而产生危险。因此,浮动摩擦片的全流程损伤识别与寿命预测对设备的安全应用具有重要意义。

[0003] 针对浮动摩擦片的检测,当前主要采用的手段为基于应变进行检测,对应变的检测主要有两种思路,一种是接触式测量,一种是非接触式测量。接触式测量以应变片为代表,然而应变片只能对某一点进行测量,无法得到浮动摩擦片的应变场,进而无法对浮动摩擦片行损伤识别及寿命预测。在浮动摩擦片的恶劣服役工况下,应变片也存在测量中容易掉落的问题,应变片还具备接触式测量的一个固有缺点,即在测量中引入额外的附加质量。而对于非接触式测量,如采用声发射检测,其产生的信号量级较小。浮动摩擦片在实际服役工况下,会遭受激烈的振动与冲击工况,导致声发射检测信号的噪声过大。现有的检测方法过多的依赖于检测人员的经验,对于浮动摩擦片的全流程损伤识别及寿命预测缺乏一套理论上完整、有效、可重复性的评估手段。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法及设备,解决了浮动摩擦片接触式测量中测量范围覆盖不足、非接触式测量中检测信号不稳定的问题。

[0005] 一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,方法步骤如下:

[0006] 浮动摩擦片在模拟的服役环境中运转;

[0007] 通过三维DIC技术非接触式测量浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像并进行数据分析,得到实验中的浮动摩擦片的完整损伤累积项和疲劳寿命预测关系;

[0008] 将任意时刻的所述浮动摩擦片的图像信息导入上述关系中,进行损伤识别和寿命预测。

[0009] 进一步地,所述三维DIC技术中的数据分析过程为:

[0010] 步骤101、通过非接触测量方式获得每个固定旋转周期内浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像,进而得到浮动摩擦片表面的应变场和离面位移场;

[0011] 步骤102、根据步骤101的结果计算所述每个固定旋转周期内的应变场改变量和离面位移改变量;进而得到所述每个固定旋转周期对应的应变累积相关项和离面位移累积相关项;

[0012] 步骤103、结合步骤102的方法,截取时间段内的若干个固定旋转周期的应变累积相关项和离面位移累积相关项,分别得到截取时间段内全部的应变累积相关项和离面位移

累积相关项；

[0013] 步骤104、对步骤103中所述全部的应变累积相关项和离面位移累积相关项进行分析，建立浮动摩擦片的完整损伤累积项和疲劳寿命预测关系。

[0014] 进一步地，步骤103中所述截取时间段内全部的应变累积相关项的计算公式为：

$$[0015] \quad D_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\int E \varepsilon_i^2 dS}{S_\varepsilon}$$

[0016] 式中， D_1 表征应变累积相关项， E 表征浮动摩擦片材料的弹性模量， ε_i 表征浮动摩擦片不同位置的应变分量， S_ε 表征应变分量无量纲归一化转换参数。

[0017] 进一步地，步骤103中所述截取时间段内全部的离面位移累积相关项的计算公式为：

$$[0018] \quad D_2 = \sum_{i=1}^n \frac{\int E \omega_i dS}{S_\omega L}$$

[0019] 式中， D_2 表征离面位移累积相关项， E 表征浮动摩擦片材料的弹性模量， ω_i 表征浮动摩擦片不同位置的离面位移分量， S_ω 表征离面位移分量无量纲归一化转换参数， L 表征浮动摩擦片的特征厚度。

[0020] 进一步地，步骤104中所述完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系公式为：

$$[0021] \quad D = D_1 + \delta D_2$$

$$[0022] \quad T = \eta f(D), \quad \eta = \frac{T_0}{f(D_0)}$$

[0023] 式中， D 表示完整损伤累积项， D_1 表征应变累积相关项， D_2 表征离面位移累积相关项，其中 δ 为一个修正项，是一个浮动摩擦片形状相关参数， T 表征浮动摩擦片在任意完整损伤累积项下的剩余疲劳寿命， f 表征疲劳寿命和完整损伤累积项之间通过实验建模构建的函数关系， T_0 表征最大疲劳寿命， D_0 表征最大损伤累积量， η 表征一个工艺修正参数，取值为1，如果工艺发生改变可依据最大疲劳寿命和最大损伤累积量重新标定 η 。

[0024] 在本发明的第二个方面，基于上述预测方法，提供一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测设备，包括：

[0025] 实验发生装置，浮动摩擦片固定安装在所述实验发生装置上进行工况模拟实验；

[0026] 实验控制装置，连接实验发生装置用于发送指令到实验发生装置设置实验工况参数；

[0027] 显示装置，连接实验控制装置用于显示实验过程中的设置参数和实时参数；

[0028] 三维DIC拍摄装置，全流程监测、记录实验过程中浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像；

[0029] 数据处理系统，连接三维DIC拍摄装置接收其拍摄的图像信息进行数据实时分析，并进行损伤识别及寿命预测。

[0030] 进一步地，所述实验发生装置中设有用于控制振动工况加载的振动发生器和用于控制转动工况加载的转动发生器。

[0031] 进一步地,所述三维DIC拍摄装置包括至少两台成像设备用于全流程采集实验过程中浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像。

[0032] 本发明与现有技术相比具有如下有益效果:

[0033] 1、本发明提供一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,通过非接触式测量浮动摩擦片实验过程的图像数据,不会影响浮动摩擦片在实验中的状态,测量范畴包括浮动摩擦片的整体,较之接触式测量中的点测量,分析结果更准确。

[0034] 2、本发明中考虑了实验过程中转动、振动等工况对浮动摩擦片的影响,所以采集了对浮动摩擦片数据分析影响较大的两大因素面内变形和离面位移,进行浮动摩擦片的损伤识别和寿命预测,影响因素抓取的准确性同步提高了数据分析结果的准确性。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0036] 图1为本发明中浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法的流程示意图;

[0037] 图2为本发明中浮动摩擦片在不同参数下的寿命预测的曲线图;

[0038] 图3为本发明中浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测设备的结构示意图;

[0039] 图中标号:

[0040] 100-实验控制装置,200-显示装置,300-数据处理系统;

[0041] 3-基座,4-浮动摩擦片安装位置,5-振动发生器,6-转动发生器,7-高速摄像机,9-LED光源,10-同步触发装置,11-交换机。

具体实施方式

[0042] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 浮动摩擦片在实际服役下,会持续性的遭受随机性很强的动载荷,导致其表面极易产生微裂纹。在持续的服役环境下,浮动摩擦片继续遭受随机性很强的动载荷,导致微裂纹继续演化,并最终形成宏观裂纹,浮动摩擦片发生断裂失效。而这整个的裂纹萌生、裂纹扩展和断裂的过程,可以通过对表面应变场的非接触式测量来获得有关信息。

[0044] 浮动摩擦片在实际服役时,齿轮(如图3中的标号4处)的旋转会导致齿轮间发生撞击,外加的振动激励导致齿轮间的撞击强度和随机性都大为增大。这导致齿轮表面的变形极为复杂。齿轮的表面不仅仅会发生面内变形,也会产生很大的离面位移,通过综合考虑面内变形和离面位移的影响,可以实现浮动摩擦片的损伤识别和寿命预测。

[0045] 本发明提供了一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测方法,如图1所示,方法步骤如下:

[0046] 浮动摩擦片在模拟的服役环境中运转;

[0047] 通过三维DIC技术非接触式测量浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像并进行数据分析,得到实验中的浮动摩擦片完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系;

[0048] 将任意时刻所述浮动摩擦片的图像信息导入上述关系中,进行损伤识别和寿命预测。

[0049] 本发明中通过三维DIC技术测量并分析数据,可对被测物体表面的三维形貌和形变进行测量,非常适用于非接触式实时监测浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像并进行数据分析,进行浮动摩擦片的损伤识别和寿命预测,分析结果更准确。

[0050] 在一个具体的实施例中,本发明中所述三维DIC技术中的数据分析过程为:

[0051] 步骤101、通过非接触测量方式获得每个固定旋转周期内浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像,进而得到浮动摩擦片表面的应变场和离面位移场;

[0052] 步骤102、根据步骤101的结果对相邻固定旋转周期内的应变场和离面位移场作差,计算所述每个固定旋转周期内的应变场改变量和离面位移改变量;对所述每个固定旋转周期内的应变场改变量计算,进而得到所述每个固定旋转周期对应的应变累积相关项和离面位移累积相关项;

[0053] 步骤103、结合步骤102的方法,截取时间段内的若干个固定旋转周期的应变累积相关项和离面位移累积相关项,分别得到截取时间段内全部的应变累积相关项和离面位移累积相关项;

[0054] 步骤104、对步骤103中所述全部的应变累积相关项和离面位移累积相关项进行分析,建立浮动摩擦片完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系。

[0055] 在一个具体的实施例中,其主要原理公式如下所示:

[0056] 所述截取时间段内全部的应变累积相关项的计算公式为:

$$[0057] \quad D_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\int E \varepsilon_i^2 dS}{S_\varepsilon}$$

[0058] 式中, D_1 表示应变累积相关项, E 表征浮动摩擦片材料的弹性模量, ε_i 表征浮动摩擦片不同位置的应变分量, S_ε 表征应变分量无量纲归一化转换参数。

[0059] 所述截取时间段内全部的离面位移累积相关项的计算公式为:

$$[0060] \quad D_2 = \sum_{i=1}^n \frac{\int E \omega_i dS}{S_\omega L}$$

[0061] 式中, D_2 表示离面位移累积相关项, E 表征浮动摩擦片材料的弹性模量, ω_i 表征浮动摩擦片不同位置的离面位移分量, S_ω 表征离面位移分量无量纲归一化转换参数, L 表征浮动摩擦片的特征厚度。

[0062] 所述完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系公式为:

$$[0063] \quad D = D_1 + \delta D_2$$

$$[0064] \quad T = \eta f(D), \quad \eta = \frac{T_0}{f(D_0)}$$

[0065] 式中, D 表示完整损伤累积项,其中 δ 为一个修正项,是一个浮动摩擦片形状相关参

数, T 表征材料在任意完整损伤累积项下的剩余疲劳寿命, f 表征疲劳寿命和完整损伤累积项之间的通过实验建模构建的函数关系, T_0 表征最大疲劳寿命, D_0 表征最大损伤累积量, η 表征一个工艺修正参数, 取值为1, 如果工艺发生改变可依据最大疲劳寿命和最大损伤累积量重新标定。本方案在粗略计算中 η 可直接取值为1, 如果后续工艺发生改变, 可依据最大疲劳寿命和最大损伤累积量进行重新标定 η , 无需对 f 进行更改。

[0066] 结合完整损伤累积项和疲劳寿命预测的关系, 将任意时刻浮动摩擦片的状态数据代入到公式关系中, 就可以得到浮动摩擦片的剩余寿命。

[0067] 本发明提供的预测方法中综合考虑了应变累积相关项和离面位移累积相关项。若只考虑应变累积相关项来进行寿命预测, 其剩余寿命与应变累积相关项之间的关系如图2中的虚线所示。本发明中的方法综合考虑应变累积相关项与离面位移累积相关项, 其剩余寿命与损伤因子之间的关系如图2中的实线所示。依据本发明中提出的预测方法获得的曲线变化更为平缓, 避免了后期曲线斜率的突变, 增大了浮动摩擦片寿命预测结果的有效性, 在使用周期内减少了突变性失效的安全隐患。

[0068] 基于上述预测方法, 本发明提供了一种浮动摩擦片全流程损伤识别、寿命预测设备, 如图3所示, 包括:

[0069] 实验发生装置, 浮动摩擦片安装固定在所述实验发生装置上进行工况模拟实验;

[0070] 实验控制装置100, 连接实验发生装置用于发送指令到实验发生装置设置实验工况参数, 主要可设定的工况包括: 旋转工况设置、振动工况设置、实验开始与结束等基本功能;

[0071] 显示装置200, 连接实验控制装置用于显示实验过程中的设置参数和实时参数; 本实施例中, 通过该显示屏显示实验设定的实验条件, 包括旋转工况参数和振动工况参数, 以及实时监测到的实际实验参数, 实验已进行的时长等参数, 便于操作者直观获得实验设定的条件和当前状态与进度;

[0072] 三维DIC拍摄装置, 全流程监测、记录实验过程中浮动摩擦片表面的面内变形和离面位移图像;

[0073] 数据处理系统300, 连接三维DIC拍摄装置并接收其拍摄的图像信息进行数据分析, 进行损伤识别及寿命预测。

[0074] 数据处理系统300主要包含一台高性能工作站以及以上述预测方法为基础的实时处理程序, 该程序称为完整损伤累积项计算与分析拟合程序, 利用高性能工作站和该程序, 可以实时统计浮动摩擦片在不同时刻的完整损伤累积项及进行拟合分析。在实验进行中, 通过该装置可以全流程实时分析装置的损伤累积量, 识别浮动摩擦片的损伤, 实验完成后, 通过数据处理系统300, 可以拟合浮动摩擦片任意完整损伤累积项下的剩余疲劳寿命 T 和完整损伤累积项 D 之间的关系。后续通过给定浮动摩擦片任意时刻的完整损伤累积项或任意时刻所述浮动摩擦片的图像信息, 可以给出浮动摩擦片的剩余寿命预测结果。

[0075] 在一个具体的实施例中, 实验发生装置包括基座3、浮动摩擦片安装位置4、振动发生器5和转动发生器6, 基座3内设有浮动摩擦片实验发生装置主体框架及配重块, 固定在地面上保证实验的顺利开展; 浮动摩擦片安装位置4位于基座3的外壳上套设在转动发生器6的外圈, 转动发生器6用于控制浮动摩擦片转动工况的加载; 振动发生器5安装在基座3的侧

面,用于控制浮动摩擦片振动工况的加载,振动发生器5和转动发生器6根据实验控制装置100的指令工作;浮动摩擦片安装在位置4上,该位置也是三维DIC的监测位置,转动发生器6位于其中心,振动发生器5和转动发生器6配合模拟浮动摩擦片的服役工况。

[0076] 在一个具体的实施例中,所述三维DIC拍摄装置包括至少两台成像设备用于全流程采集实验过程中浮动摩擦片的面内变形和离面位移图像。

[0077] 在另一个具体的实施例中,三维DIC拍摄装置包括两台高速摄像机7、LED光源9、同步触发装置10和交换机11。两台高速摄像机7和8相连接,用来拍摄浮动摩擦片的实验过程,若只用一台摄像机无法获得浮动摩擦片的离面位移。本装置采用两台高速摄像机,可以拍摄到离面位移,从而可以实现后续的离面位移累积相关项的分析;同步触发装置10同时连接了两台高速摄像机7,用于控制两个相机的开启与同步触发;交换机11同时连接了两台高速摄像机7,用于储存两台高速摄像机拍摄的数据,并将其数据传输至数据处理系统300,保证高速摄像机的全流程持续拍摄。LED光源9用来在拍摄过程中对浮动摩擦片进行辅助照明,从而可以辅助高速摄像机实现高采样率的清晰拍摄。

[0078] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

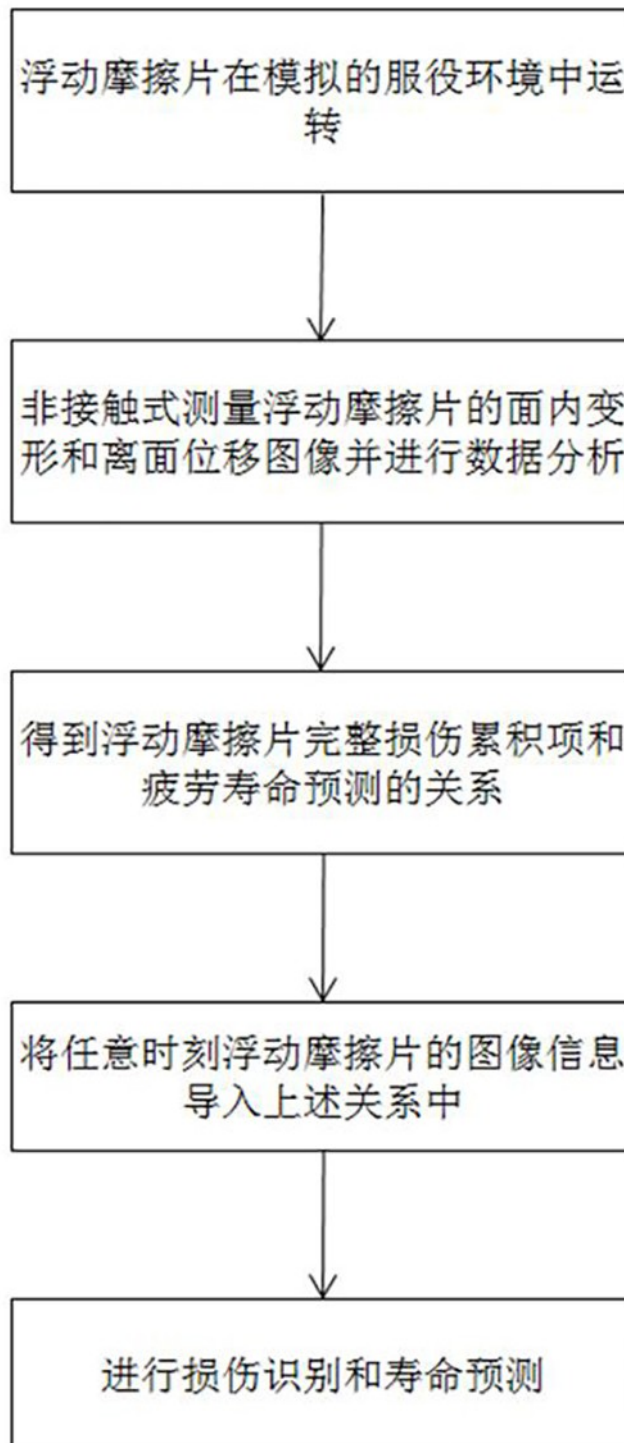


图1

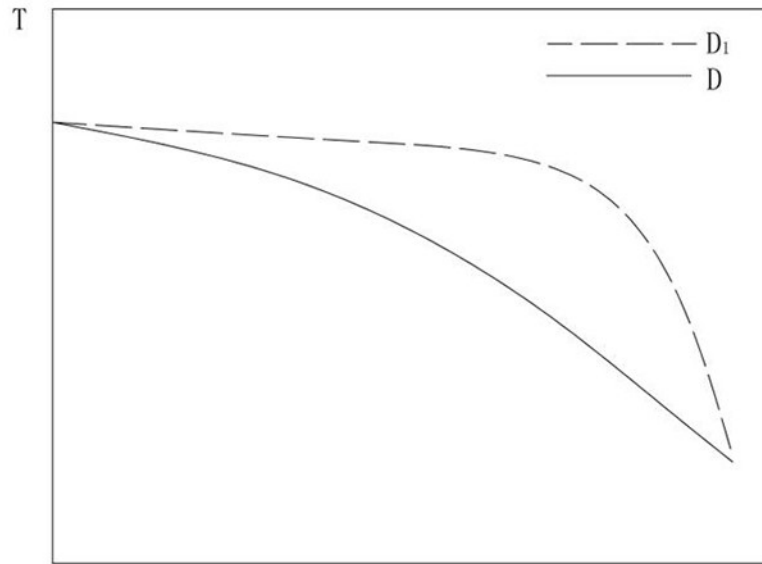


图2

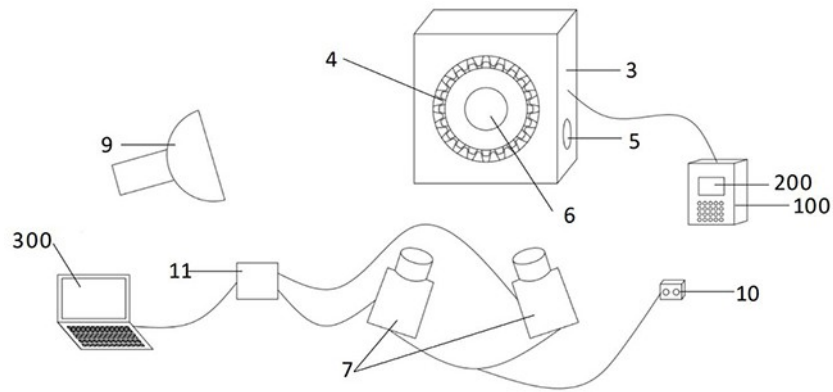


图3