



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112284256 B

(45) 授权公告日 2022.06.10

(21) 申请号 202011287507.1

G01B 11/22 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.17

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112284256 A

WO 2013118312 A1, 2013.08.15

CN 111156899 A, 2020.05.15

JP 2003011702 A, 2003.01.15

(43) 申请公布日 2021.01.29

CN 111830049 A, 2020.10.27

CN 101311669 A, 2008.11.26

(73) 专利权人 深圳市道通科技股份有限公司
地址 518055 广东省深圳市南山区西丽街
道学苑大道1001号智园B1栋7层、8层、
10层

CN 107321894 A, 2017.11.07

CN 111141818 A, 2020.05.12

CN 107743577 A, 2018.02.27

CN 203101537 U, 2013.07.31

CN 104792796 A, 2015.07.22

CN 210981799 U, 2020.07.10

CN 101501248 A, 2009.08.05

CN 109017867 A, 2018.12.18

(72) 发明人 王维林

(74) 专利代理机构 深圳市六加知识产权代理有
限公司 44372

专利代理师 孟丽平

审查员 黄莉

(51) Int. Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

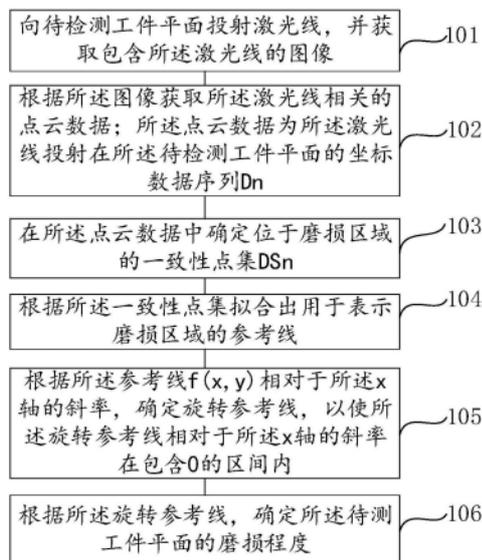
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

一种工件平面磨损的测量方法和系统

(57) 摘要

本发明实施例涉及一种工件平面磨损的测量方法和系统,所述方法包括:向待检测工件平面投射激光线,并获取包含所述激光线的图像;根据所述图像获取所述激光线相关的点云数据;在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集DSn;其中,DSn为Dn的子集;根据所述一致性点集拟合出用于表示磨损区域的参考线f(x,y);根据所述参考线f(x,y)相对于所述x轴的斜率,确定旋转参考线f'(x',y'),以使所述旋转参考线f'(x',y')相对于所述x轴的斜率在包含0的区间内;根据所述旋转参考线,确定所述待测工件平面的磨损程度。本发明实施例精确未磨损点和磨损区域,从而提高对工件平面磨损程度的测量精度。



1. 一种工件平面磨损的测量方法,其特征在于,所述方法包括:

向往检测工件平面投射激光线,并获取包含所述激光线的图像;

根据所述图像获取所述激光线相关的点云数据;所述点云数据为所述激光线投射在所述待检测工件平面的坐标数据序列 D_n ;其中, $D_n = \{d_1(x_1, y_1) \cdots d_n(x_n, y_n)\}$, n 为正整数, $d_n(x_n, y_n)$ 表示所述激光线上的激光点 d_n 投射在所述待检测工件平面的坐标, x_n 表示以所述激光线的长度方向作为 x 轴时,激光点 d_n 对应的 x 轴坐标, y_n 表示以所述激光线设在所述待检测工件平面的深度方向作为 y 轴时,激光点 d_n 对应的 y 轴坐标;

在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集 DS_n ;其中, DS_n 为 D_n 的子集;

根据所述一致性点集拟合出用于表示磨损区域的参考线 $f(x, y)$;

根据所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述 x 轴的斜率,确定旋转参考线 $f'(x', y')$,以使所述旋转参考线 $f'(x', y')$ 相对于所述 x 轴的斜率在包含0的区间内;

根据所述旋转参考线,确定所述待检测工件平面的磨损程度;

其中,所述在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集,包括:

在所述点云数据中查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线;

根据所述母线扩充一致性点;

剔除所述一致性点中的奇异点,得到初始点集;

利用所述损失函数对所述初始点集进行一致性评估;

在所述初始点集通过所述一致性评估时,将所述初始点集作为所述一致性点集。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述确定旋转参考线根据旋转公式计算,所述旋转公式为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \theta = -1 * \arctan(k);$$

其中, $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$ 为所述旋转参考线 $f'(x', y')$ 中各点的坐标, $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 为所述参考线 $f(x, y)$ 中各

点的坐标, k 为所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述 x 轴的斜率, θ 为所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述 x 轴的旋转角度。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述旋转参考线,确定所述待检测工件平面的磨损程度,包括:

在所述旋转参考线所在的区域确定未磨损点;

根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述在所述旋转参考线所在的区域确定未磨损点,包括:

搜索低于所述旋转参考线的区域的最低点作为未磨损点。

5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度,包括:

从所述未磨损点,向所述一致性点集的中心查找,将在所述旋转参考线的预设范围内的点作为磨损点;

根据所述磨损点及所述未磨损点,确定磨损深度。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述根据所述磨损点及所述未磨损点,确定磨损深度,包括:

根据所述未磨损点和所述磨损点,确定最大磨损程度、平均磨损程度和磨损一致性中的至少一种磨损程度。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述确定磨损一致性,包括:

根据所述磨损点,确定磨损区域;

根据所述参考线的曲率和所述磨损区域对应的点集的离散性确定所述磨损一致性信息;

输出所述磨损一致性信息。

8. 根据权利要求6或7任一项所述的方法,其特征在于,所述确定最大磨损程度,包括:

获取所述磨损点的坐标信息;

在所述磨损点的纵坐标为最大值时,确定所述磨损点为最大磨损点;

输出所述最大磨损点对应的坐标信息,作为最大磨损信息。

9. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,在所述根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度之后,所述方法还包括:

在所述磨损深度超过预设磨损程度时,输出提示用户更换所述待检测工件的提示信息。

10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述在所述点云数据中查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线,包括:

在所述点云数据中,由所述点云数据的中心向两端或由所述点云数据的两端向中心开始查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线。

11. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述母线扩充一致性点,包括:

在所述母线的预设范围内,计算所述母线的预设范围内的点到所述母线的欧式距离;

若所述欧式距离小于预设距离,则将对应的点与所述母线组合,得到一致性点。

12. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述剔除所述一致性点中的奇异点,得到初始点集,包括:

剔除所述一致性点中的包括离散点、孔洞斜纹干扰点中的至少一种奇异点,得到所述初始点集。

13. 一种工件平面磨损的测量系统,其特征在于,所述系统包括:

支架;

激光器,固定于所述支架上,所述激光器向所述待检测工件平面投射激光线;

相机,固定于所述支架上,所述相机用于采集包含所述激光线的图像;

至少一个处理器,以及

存储器,所述存储器与所述至少一个处理器通信连接,所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行权利要求1-12任一项所述的方法。

14. 一种非易失性计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,当所述计算机可执行指令被工件平面磨损的测量系统执行时,使所述

工件平面磨损的测量系统执行如权利要求1-12任一项所述的方法。

一种工件平面磨损的测量方法和系统

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及工件测量技术领域,特别涉及一种工件平面磨损的测量方法和系统。

背景技术

[0002] 相互接触且有相对运动的工件通常会存在磨损,比如,刹车盘与刹车片之间,三角单目激光测距可用于检测这种磨损。具体检测原理为:单目激光测距首先通过相机拍摄目标激光线,然后,从相机图像中提取出激光线,通过投影变换把图像像素坐标转换成3D点云数据,再从点云数据里面分析出目标的测量距离信息。在点云数据分析中,通常以未磨损点位置作为参考点,比较磨损区与参考点的激光投射深度差异,以获取磨损信息。

[0003] 由于从点云数据中磨损区的确定方式影响测量刹车盘磨损信息的精确度,当前,如何精准确定磨损区成为本领域技术人员亟待解决的技术问题。

发明内容

[0004] 本发明实施例的目的是提供一种工件平面磨损的测量方法和系统,精确未磨损点和磨损区域,从而提高对工件平面磨损程度的测量精度。

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种工件平面磨损的测量方法,所述方法包括:

[0006] 向待检测工件平面投射激光线,并获取包含所述激光线的图像;

[0007] 根据所述图像获取所述激光线相关的点云数据;所述点云数据为所述激光线投射在所述待检测工件平面的坐标数据序列 D_n ;其中, $D_n = \{d_1(x_1, y_1) \cdots d_n(x_n, y_n)\}$, n 为正整数, $d_n(x_n, y_n)$ 表示所述激光线上的激光点 d_n 投射在所述待检测工件平面的坐标, x_n 表示以所述激光线的长度方向作为 x 轴时,激光点 d_n 对应的 x 轴坐标, y_n 表示以所述激光线设在所述待检测工件平面的深度方向作为 y 轴时,激光点 d_n 对应的 y 轴坐标;

[0008] 在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集 DS_n ;其中, DS_n 为 D_n 的子集;

[0009] 根据所述一致性点集拟合出用于表示磨损区域的参考线 $f(x, y)$;

[0010] 根据所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述 x 轴的斜率,确定旋转参考线 $f'(x', y')$,以使所述旋转参考线 $f'(x', y')$ 相对于所述 x 轴的斜率在包含0的区间内;

[0011] 根据所述旋转参考线,确定所述待测工件平面的磨损程度。

[0012] 在一些实施例中,所述确定旋转参考线根据旋转公式计算,所述旋转公式为:

$$[0013] \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \theta = -1 * \arctan(k);$$

[0014] 其中, $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$ 为所述旋转参考线 $f'(x', y')$ 中各点的坐标, $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 为所述参考线 $f(x, y)$

中各点的坐标, k 为所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述 x 轴的斜率, θ 为所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述 x 轴的旋转角度。

- [0015] 在一些实施例中,所述根据所述旋转参考线,确定所述待测工件平面的磨损程度,包括:
- [0016] 在所述旋转参考线所在的区域确定未磨损点;
- [0017] 根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度。
- [0018] 在一些实施例中,所述在所述旋转参考线所在的区域确定未磨损点,包括:
- [0019] 搜索低于所述旋转参考线的区域的最低点作为未磨损点。
- [0020] 在一些实施例中,所述根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度,包括:
- [0021] 从所述未磨损点,向所述一致性点集的中心查找,将在所述旋转参考线的预设范围内的点作为磨损点;
- [0022] 根据所述磨损点及所述未磨损点,确定磨损深度。
- [0023] 在一些实施例中,所述根据所述磨损点及所述未磨损点,确定磨损深度,包括:
- [0024] 根据所述未磨损点和所述磨损点,确定最大磨损程度、平均磨损程度或磨损一致性中的至少一种磨损程度。
- [0025] 在一些实施例中,所述确定磨损一致性,包括:
- [0026] 根据所述磨损点,确定磨损区域;
- [0027] 根据所述参考线的曲率和所述磨损区域对应的点集的离散性确定所述磨损一致性信息;
- [0028] 输出所述磨损一致性信息。
- [0029] 在一些实施例中,所述确定最大磨损程度,包括:
- [0030] 获取所述磨损点的坐标信息;
- [0031] 在所述磨损点的纵坐标为最大值时,确定所述磨损点为最大磨损点;
- [0032] 输出所述最大磨损点对应的坐标信息,作为最大磨损信息。
- [0033] 在一些实施例中,在所述根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度之后,所述方法还包括:
- [0034] 在所述磨损深度超过预设磨损程度时,输出提示用户更换所述待检工件的提示信息。
- [0035] 在一些实施例中,所述在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集,包括:
- [0036] 在所述点云数据中查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线;
- [0037] 根据所述母线扩充一致点;
- [0038] 剔除所述一致点中的奇异点,得到初始点集;
- [0039] 利用所述损失函数对所述初始点集进行一致性评估;
- [0040] 在所述初始点集通过所述一致性评估时,将所述初始点集作为所述一致性点集。
- [0041] 在一些实施例中,所述在所述点云数据中查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线,包括:
- [0042] 在所述点云数据中,由所述点云数据的中心向两端或由所述点云数据的两端向中心开始查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线。
- [0043] 在一些实施例中,所述根据所述母线扩充一致点,包括:

- [0044] 在所述母线的预设范围内,计算所述母线的预设范围内的点到所述母线的欧式距离;
- [0045] 若所述欧式距离小于预设距离,则将对应的点与所述母线组合,得到一致点。
- [0046] 在一些实施例中,所述剔除所述一致点中的奇异点,得到初始点集,包括:
- [0047] 剔除所述一致点中的包括离散点、孔洞斜纹干扰点中的至少一种奇异点,得到所述初始点集。
- [0048] 第二方面,本发明实施例提供了一种工件平面磨损的测量系统,所述系统包括:
- [0049] 支架;
- [0050] 激光器,固定于所述支架上,所述激光器向所述待检工件平面投射激光线;
- [0051] 相机,固定于所述支架上,所述相机用于采集包含所述激光线的图像;
- [0052] 至少一个处理器,以及
- [0053] 存储器,所述存储器与所述至少一个处理器通信连接,所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的指令,所述指令被所述至少一个处理器执行,以使所述至少一个处理器能够执行上述任一项所述的方法。
- [0054] 第三方面,本发明实施例提供了一种非易失性计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,当所述计算机可执行指令被工件平面磨损的测量系统执行时,使所述工件平面磨损的测量系统执行如上所述的方法。
- [0055] 本发明实施例的工件平面磨损的测量方法和系统,采用激光测量技术,通过在点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集,根据所述一致性点集拟合出用于表示磨损区域的参考线,有效精准参考线;且根据所述参考线相对于x轴的斜率,确定旋转参考线,以使旋转参考线相对于所述x轴的斜率在包含0的区间内,有效精准旋转参考线;根据所述旋转参考线拟合磨损区,确定所述待测工件平面的磨损程度,从而极大的提高测量精度。

附图说明

- [0056] 一个或多个实施例通过与之对应的附图中的图片进行示例性说明,这些示例性说明并不构成对实施例的限定,附图中具有相同参考数字标号的元件表示为类似的元件,除非有特别申明,附图中的图不构成比例限制。
- [0057] 图1是本发明实施例工件平面磨损的测量系统的结构示意图;
- [0058] 图2是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的流程示意图;
- [0059] 图3是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的激光线图像的结构示意图;
- [0060] 图4a是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0061] 图4b是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0062] 图5是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0063] 图6a是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0064] 图6b是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0065] 图7a是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0066] 图7b是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;
- [0067] 图7c是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图;

[0068] 图8是本发明工件平面磨损的测量方法的一个实施例的结构示意图；

[0069] 图9是本发明工件平面磨损的测量系统的一个实施例中控制器的硬件结构示意图。

具体实施方式

[0070] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，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作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。

[0071] 本发明实施例提供的工件平面磨损的测量系统的结构示意图。如图1所示，工件平面磨损的测量系统10包括支架；激光器14，固定于所述支架上，所述激光器14向所述待检工件平面投射激光线；

[0072] 相机15，固定于所述支架上，所述相机15用于采集包含所述激光线的图像。

[0073] 工件平面磨损的测量系统10还可以包括显示设备16，用于显示磨损程度；

[0074] 电源17，用于给激光器14、相机15及主控中心供电。

[0075] 可以理解的是，工件平面磨损的测量系统10中，可实施在PC、嵌入式系统、手持设备、工业控制机等多种环境，工件平面磨损的测量系统10设置有控制器，作为主控中心，精确未磨损点和磨损区域，从而提高对工件平面磨损程度的测量精度。

[0076] 请参阅图2，图2为本发明实施例提供的工件平面磨损的测量方法的流程示意图，所述方法可以由工件平面磨损的测量系统10中的控制器13执行，所述方法包括：

[0077] 101：向待检测工件平面投射激光线，并获取包含所述激光线的图像。

[0078] 在对待检工件进行工件平面磨损测量时，利用激光器向所述待检工件平面投射激光线，且利用相机采集包含所述激光线的图像。其中，待检测工件包括刹车盘等具有长时间使用后出现磨损特性的工件。待检测工件中的待检测面大体成平面。

[0079] 102：根据所述图像获取所述激光线相关的点云数据；所述点云数据为所述激光线投射在所述待检测工件平面的坐标数据序列 D_n ；其中， $D_n = \{d_1(x_1, y_1) \cdots d_n(x_n, y_n)\}$ ， n 为正整数， $d_n(x_n, y_n)$ 表示所述激光线上的激光点 d_n 投射在所述待检测工件平面的坐标， x_n 表示以所述激光线的长度方向作为 x 轴时，激光点 d_n 对应的 x 轴坐标， y_n 表示以所述激光线设在所述待检测工件平面的深度方向作为 y 轴时，激光点 d_n 对应的 y 轴坐标。

[0080] 在一些实施例中，获取的包含激光线的图像如图3所示，该图像包括黑色的背景区以及区别于黑色背景区的高亮显示的激光线区域，根据高亮显示的激光线区域确定用于代表激光线坐标的点云数据。

[0081] 在一些实施例中，高亮显示的激光线区域可以分为边缘区域和测量区，边缘区域又可称为边缘干扰区域，如图4a所示，其中，边缘区域的激光线对待检测工件磨损程度的测量并无贡献，如对其作为考量，会影响测量精度，因此，可以对激光线区域做进一步处理，识别并剔除边缘区域，仅保留测量区域用作后续的磨损程度确定。剔除边缘区域的像素点可以利用相邻点距离判定法、排序法、回弹检测法等。

[0082] 具体的，相邻点距离判定法，由于边缘区和测量区在激光线投射方向距离比较远，变化比较剧烈，在激光线区域获取的点云数据中，边缘区通常与测量区段有较大的距离，而

在测量区段内部通常距离比较小,因此可以通过距离差异分离出边缘区段。

[0083] 排序法,由于边缘区段在横坐标方向上的点的坐标的先后顺序与测量区在横坐标方向上的点集顺序不一致,因此可以通过这个特性分离出边缘区段,如图4a所示,分离出左边为边缘区段。

[0084] 回弹检测法,如图4b所示,低于参考线的第一个最低点通常不是参考点,是背景激光光线中边缘干扰产生的干扰数据,需要剔除。

[0085] 在剔除边缘干扰数据后,可以判定有效参考点在靠近点云中心的位置,在纵坐标方向上具有较大回弹的特征,可以根据这个特征识别出如图4b中的有效参考点。

[0086] 如图6b右侧所示,还存在不完备参考点,当参考点没有拍完全时,点云数据不完整,存在残缺,不完备参考点的位置通常处于点云数据序列的边缘,且点之间的纵向距离比较大,相邻点比较少,可以根据上述特征来进行识别不完备参考点,在识别到不完备参考点后,不能将不完备参考点作为点云磨损检测的参考点,同样需要剔除。

[0087] 在图4a,图4b中,图像映射到坐标系中横坐标为激光线的长度方向,纵坐标为激光线在待检测工件平面的深度。在确定出测量区后,可仅对测量区的图像进行处理分析,确定测量区的激光线映射在坐标系中的点云数据。具体的,例如可以采用灰度重心法解析激光线在测量区的像素坐标,所述像素坐标的计算公式参考公式1:

$$[0088] \quad x_0 = \frac{\sum_{(i,j) \in S} iW(i,j)_k}{\sum_{(i,j) \in S} W(i,j)_k}, y_0 = \frac{\sum_{(i,j) \in S} jW(i,j)_k}{\sum_{(i,j) \in S} W(i,j)_k} \quad \text{公式 1}$$

[0089] 其中, $W(i,j)$ 表示图像像素的灰度权值, i,j 分别表示该像素的横向坐标和纵向坐标, S 表示目标区域, $S(x_0,y_0)$ 表示目标区域的中心的像素坐标, k 为正整数,表示第 k 个点。

[0090] 灰度重心法可以看成是灰度平方为权值的加权型心法,利用灰度重心法,不需要对图像进行二值化,在目标和背景具有较大的灰阶差距时具有良好的定位效果。

[0091] 可以理解的是,激光线的提取,不局限于灰度重心法的方式提取,也可以采用其他非灰度重心法的方式,如型心法等。

[0092] 从所述图像中提取出像素坐标 $S(x_0,y_0)$ 后,通过投影变换,将所述像素坐标转换为相机坐标,从而转换为激光线所在的坐标,参考公式2:

$$[0093] \quad \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = z_c \cdot A^{-1} \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{公式 2}$$

[0094] 其中, $\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}$ 表示相机坐标在3D平面的三个坐标, A 表示相机内参矩阵, C 表示相机坐

标, u 表示像素坐标横向方向, v 表示像素坐标纵向方向,且 u 和 v 均为标量。

[0095] 投影变换方向可以改变,参考点在上方,磨损区在下方,如图7中a图所示。

[0096] 在得到相机坐标后,将相机坐标转换成激光坐标,如公式3所示:

$$[0097] \quad \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} = R \bullet \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{bmatrix} \quad \text{公式 3}$$

[0098] 其中, $\begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{bmatrix}$ 表示相机坐标系的三个坐标, $\begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix}$ 表示激光坐标系的三个坐标, R表示

旋转变换矩阵, C表示相机坐标系, L表示激光坐标系, 且相机坐标系与激光坐标系坐标原点重合。

[0099] 在转换为激光坐标后, 由于点云数据为3D激光坐标系, 因此, 基于3d激光坐标系, 仅仅保留激光线方向和激光投射方向的坐标, 得到2d点云数据, 如图5所示, 得到激光线投射在所述待检测工件平面的坐标数据序列 D_n ; 其中, $D_n = \{d_1(x_1, y_1) \cdots d_n(x_n, y_n)\}$, n为正整数, $d_n(x_n, y_n)$ 表示所述激光线上的激光点 d_n 投射在所述待检测工件平面的坐标, x_n 表示以所述激光线的长度方向作为x轴时, 激光点 d_n 对应的x轴坐标, y_n 表示以所述激光线设在所述待检测工件平面的深度方向作为y轴时, 激光点 d_n 对应的y轴坐标。例如, 如图5中所示, 水平方向标识x轴方向, 垂直方向标识y轴方向。其中, 如图4a中图像至横纵坐标的映射关系, 或者图4b中坐标图, 可以理解为点云数据的点云图或者点云数据的坐标图, 其用于标明点云数据的横纵坐标值。

[0100] 103: 在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集 DS_n ; 其中, DS_n 为 D_n 的子集。

[0101] 如图5所示, 由于相机拍摄角度可能存在倾斜, 在点云图中, 点云在横坐标方向不平行于横坐标轴, 从原始的点云数据中查找测量点和参考点会比较困难, 因此, 需要把点云数据旋转成与横坐标平行的数据。

[0102] 在其中一些实施例中, 所述在所述点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集, 包括:

[0103] 31: 在所述点云数据中查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线。

[0104] 在母线探索时, 由于在磨损区, 大部分位置磨损程度比较接近, 因此, 可以认为这些点都处于某条直线附近, 可以在所述点云数据中, 由所述点云数据的中心向两端或由所述点云数据的两端向中心开始查找连续的、损失函数小于预设值且符合预设长度的区段作为母线。

[0105] 具体地, 损失函数按照公式4计算:

$$[0106] \quad Loss(m) = \frac{\sum_i \frac{|kx_i + b - y_i|}{\sqrt{1+k^2}}}{n} \quad \text{公式 4}$$

[0107] 其中, m和n均为正整数, 表示第m个凹槽, 有n个点, 计算点到直线的平均欧式距离最短作为评估准则, k表示点集拟合直线的斜率, 通过 $y = kx + b$ 点斜表示该拟合直线。母线一般优选点云位置中心附近的点, 因为该位置磨损程度一般比较接近。如果磨损区中心附近搜索不到适合的母线, 可以分别从点云数据的两端搜索。母线的初始长度也很关键, 太短则

一致性不好,太长则查找失败概率高,本方案优选预设长度为10mm的搜索长度。

[0108] 32:根据所述母线扩充一致点。

[0109] 在其中一些实施例中,根据所述母线扩充一致性,可以包括:

[0110] 在所述母线的预设范围内,计算所述母线的预设范围内的点到所述母线的欧式距离;

[0111] 若所述欧式距离小于预设距离,则将对应的点与所述母线组合,得到一致点。

[0112] 可以划定一块搜索范围,作为母线的预设范围,然后,计算该预设范围内的点到母线的欧式距离,如果欧式距离小于预设距离,则将对应的点与母线组合,如果欧式距离大于预设距离,说明点离得较远,则跨越这些点。

[0113] 根据欧式距离及预设距离,搜索到预设范围内与母线一致性比较好的点,从而有效扩充一致点。

[0114] 可以理解的是,在扩充一致点时,还可以采用非平均欧式距离的其它方法,只要能有效扩充一致点的方式,均为本案的简单变形和变换,落入本案保护的范围内。

[0115] 33:剔除所述一致点中的奇异点,得到初始点集。

[0116] 在实际应用中,磨损区域可能包含孔洞、花纹,或者边缘反光等奇异点,他们都会引起点云数据的畸变。因此,在搜索一致性点时,剔除所述一致点中的包括离散点、孔洞斜纹干扰点中的至少一种奇异点,得到所述初始点集。

[0117] 如图6a和图7c所示,离散点通常由于待检测工件平面不均匀、目标反光、杂波等引起点云数据可能会误判成参考点,因此,在分析点云数据时,需要剔除,剔除原则通常根据点集数量、梯度变化、数据位置等因素考虑。

[0118] 如图7b和7c所示,孔洞斜纹的干扰,通常是待检测工件平面中磨损平面的孔洞或者花纹,将会对激光线连续性产生影响,或者激光线点云会产生畸变,因此,需要剔除孔洞斜纹干扰点。孔洞或斜纹,在激光线投射方向的深度通常比磨损区大,在点云数据中坐标通常在参考线之上,且宽度受限,变化比较剧烈,通过上述特征,可以识别出孔洞或者斜纹,然后将孔洞斜纹干扰点剔除点。

[0119] 34:利用所述损失函数对所述初始点集进行一致性评估。

[0120] 在得到初始点集后,利用损失函数对初始点集进行一致性评估,计算初始点集中各个点与母线的平均欧式距离,根据平均欧式距离确定初始点集中的点是否通过一致性评估。

[0121] 35:在所述初始点集通过所述一致性评估时,将所述初始点集作为所述一致性点集。

[0122] 在初始点集中各个点与母线的平均欧式距离符合预设距离时,可以判定初始点集通过所述一致性评估,从而将通过一致性评估的初始点集作为一致性点集。

[0123] 在初始点集中存在点与母线的平均欧式距离不符合预设距离时,循环剔除一致点中的奇异点的步骤,直至初始点集中所有的点均通过一致性评估。

[0124] 104:根据所述一致性点集拟合出用于表示磨损区域的参考线 $f(x,y)$ 。

[0125] 在查找出一致性点集后,通过拟合的方法计算出用于表示磨损区域的参考线 $f(x,y)$ 。通常该参考线 $f(x,y)$ 为一直线或二次曲线。一种情形下,由于相机拍摄角度可能存在倾斜,因此参考线 $f(x,y)$ 可能相较于 x 轴存在一夹角,即参考线 $f(x,y)$ 存在一斜率 k ,该斜率有

可能会影响确定磨损深度等磨损程度的精度,因此,在确定磨损程度之前,应消除该斜率k的影响,使参考线大致平行于x轴。

[0126] 105:根据所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述x轴的斜率,确定旋转参考线 $f'(x', y')$,以使所述旋转参考线 $f'(x', y')$ 相对于所述x轴的斜率在包含0的区间内。

[0127] 通过拟合的方法计算出用于表示磨损区域的参考线 $f(x, y)$ 。参考线 $f(x, y)$ 的斜率为k,根据所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述x轴的斜率k,确定旋转参考线 $f'(x', y')$ 根据旋转公式计算,旋转公式如公式5:

$$[0128] \quad \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \theta = -1 * \arctan(k)$$

[0129] 其中, $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}$ 为所述旋转参考线 $f'(x', y')$ 中各点的坐标, $\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 为所述参考线 $f(x, y)$

中各点的坐标,k为所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述x轴的斜率, θ 为所述参考线 $f(x, y)$ 相对于所述x轴的旋转角度。

[0130] 在坐标变换后,可以利用变换后的坐标点集模拟旋转参考线,可以将其模拟为二次曲线或直线,在此不予限定。在模拟的旋转参考线中,任意一线端的斜率为0或者小于允许阈值,从而实现旋转参考线大致平行于点云图的x轴。

[0131] 旋转参考线,通常可以采用二次曲线,与实际磨损情况较为接近,满足应用需求。

[0132] 如图7中a图所示,为旋转后的点云图。

[0133] 106:根据所述旋转参考线,确定所述待测工件平面的磨损程度。

[0134] 在其中一些实施例中,根据所述旋转参考线,确定所述待测工件平面的磨损程度,可以包括:

[0135] 在所述旋转参考线所在的区域确定未磨损点;

[0136] 根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度。

[0137] 具体地,如图7a所示,磨损区域通常占据比较大的区域,在所述旋转参考线所在的区域确定未磨损点,可以包括:搜索低于所述旋转参考线的区域的最低点作为未磨损点。然后,根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度。

[0138] 在其中一些实施方式中,根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度,可以包括:

[0139] 从所述未磨损点,向所述一致性点集的中心查找,将在所述旋转参考线的预设范围内的点作为磨损点;

[0140] 根据所述磨损点及所述未磨损点,确定磨损深度。

[0141] 磨损区域通常占据比较大的区域,从未磨损点即参考线向一致性点集的中心开始查找,将旋转参考线附近或者是旋转参考线之上的点作为磨损点。

[0142] 在其中一些实施方式中,根据所述磨损点及所述未磨损点,确定磨损深度,可以包括:

[0143] 根据所述未磨损点和所述磨损点,确定最大磨损程度、平均磨损程度或磨损一致性中的至少一种磨损程度。

[0144] 在其中一些实施方式中,确定磨损一致性,包括:

- [0145] 根据所述磨损点,确定磨损区域;
- [0146] 根据所述参考线的曲率和所述磨损区域对应的点集的离散性确定所述磨损一致性信息;
- [0147] 输出所述磨损一致性信息。
- [0148] 多个磨损点的集合,可以确定为磨损区域,参考线的曲率越小,一致性越好,点集的离散性越小,一致性越好,可以用公式4来判定点集的离散性。
- [0149] 在确定磨损一致性信息后,输出磨损一致性信息,使得用户可以得到一致性信息。
- [0150] 在其中一些实施方式中,确定最大磨损程度,包括:
- [0151] 获取所述磨损点的坐标信息;
- [0152] 在所述磨损点的纵坐标为最大值时,确定所述磨损点为最大磨损点;
- [0153] 输出所述最大磨损点对应的坐标信息,作为最大磨损信息。
- [0154] 如图8所示,图8中纵坐标最大的位置,可以认为是最大磨损点,对应的区域,那么,输出最大磨损点对应的坐标信息,使用户得到该最大磨损点信息。
- [0155] 在其中一些实施方式中,在所述根据所述未磨损点和所述旋转参考线,确定磨损深度之后,所述方法还包括:
- [0156] 在所述磨损深度超过预设磨损程度时,输出提示用户更换所述待检工件的提示信息。
- [0157] 可以设定一个预设磨损程度,当超过预设磨损程度时,说明该工件磨损太厉害,不便于继续使用,输出提示用户更换该待检工件的提示信息。
- [0158] 本发明实施例采用激光测量技术,用智能化的方法进行平面磨损测量,采用局部查找的方式,通过在点云数据中确定位于磨损区域的一致性点集,根据所述一致性点集拟合出用于表示磨损区域的参考线,有效精准参考线;且根据所述参考线相对于x轴的斜率,确定旋转参考线,以使旋转参考线相对于所述x轴的斜率在包含0的区间内,有效精准旋转参考线;根据所述旋转参考线,确定所述待测工件平面的磨损程度,从而极大的提高测量精度,且本发明实施例能够满足绝大部分场景的测量需求。
- [0159] 图9为工件平面磨损的测量系统10的一个实施例中控制器的硬件结构示意图,如图9所示,控制器13包括:
- [0160] 一个或多个处理器131、存储器132。图9中以一个处理器131、一个存储器132为例。
- [0161] 处理器131、存储器132可以通过总线或者其他方式连接,图9中以通过总线连接为例。
- [0162] 存储器132作为一种非易失性计算机可读存储介质,可用于存储非易失性软件程序、非易失性计算机可执行程序以及模块,如本申请实施例中的工件平面磨损的测量方法对应的程序指令/模块。处理器131通过运行存储在存储器132中的非易失性软件程序、指令以及模块,从而执行控制器的各种功能应用以及数据处理,即实现上述方法实施例的工件平面磨损的测量方法。
- [0163] 存储器132可以包括存储程序区和存储数据区,其中,存储程序区可存储操作系统、至少一个功能所需要的应用程序;存储数据区可存储根据工件平面磨损的测量系统的使用所创建的数据等。此外,存储器132可以包括高速随机存取存储器,还可以包括非易失性存储器,例如至少一个磁盘存储器件、闪存器件、或其他非易失性固态存储器件。在一些

实施例中,存储器132可选包括相对于处理器131远程设置的存储器,这些远程存储器可以通过网络连接至工件平面磨损的测量系统。上述网络的实例包括但不限于互联网、企业内部网、局域网、移动通信网及其组合。

[0164] 所述一个或者多个模块存储在所述存储器132中,当被所述一个或者多个处理器131执行时,执行上述任意方法实施例中的工件平面磨损的测量方法,例如,执行以上描述的图2中的方法步骤101至步骤106。

[0165] 上述产品可执行本申请实施例所提供的方法,具备执行方法相应的功能模块和有益效果。未在本实施例中详尽描述的技术细节,可参见本申请实施例所提供的方法。

[0166] 本申请实施例提供了一种非易失性计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令,该计算机可执行指令被一个或多个处理器执行,例如图9中的一个处理器131,可使得上述一个或多个处理器可执行上述任意方法实施例中的工件平面磨损的测量方法,例如,执行以上描述的图2中的方法步骤101至步骤106。

[0167] 以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的,其中所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

[0168] 通过以上的实施例的描述,本领域普通技术人员可以清楚地了解到各实施例可借助软件加通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件。本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于一计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory,ROM)或随机存储记忆体(Random Access Memory,RAM)等。

[0169] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;在本发明的思路下,以上实施例或者不同实施例中的技术特征之间也可以进行组合,步骤可以以任意顺序实现,并存在如上所述的本发明的不同方面的许多其它变化,为了简明,它们没有在细节中提供;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

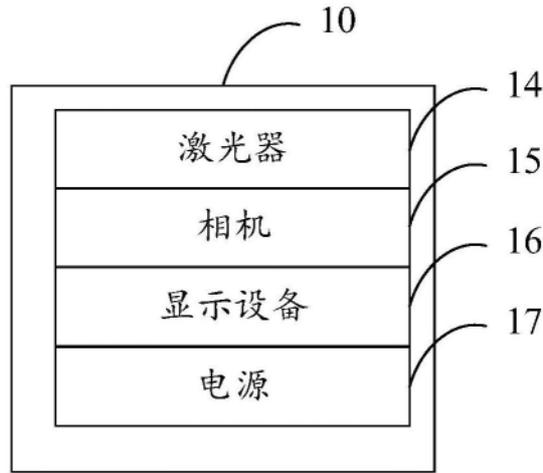


图1

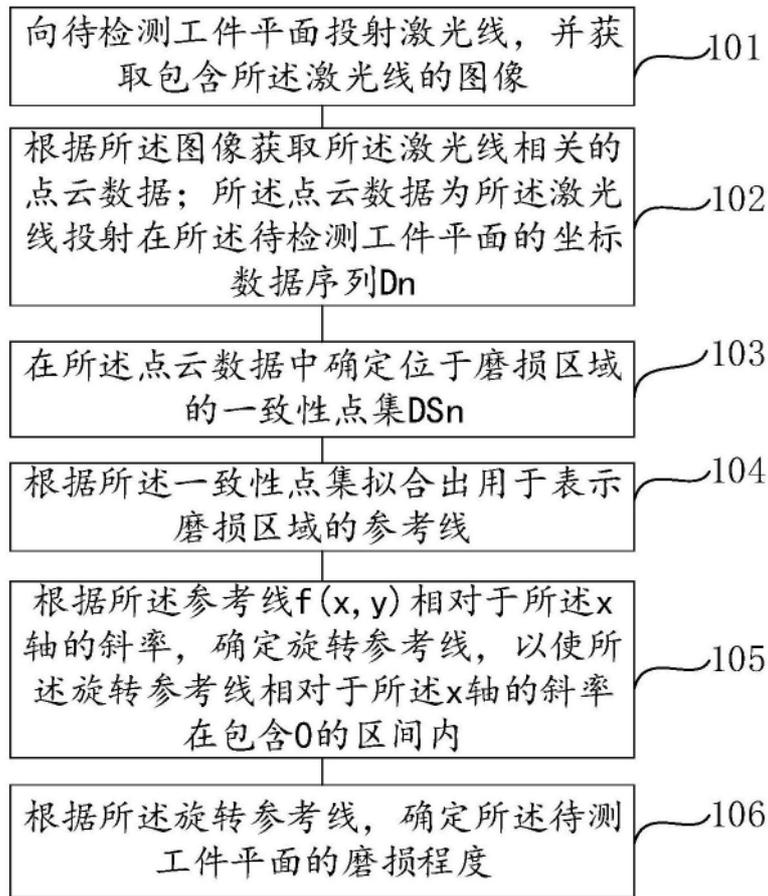


图2

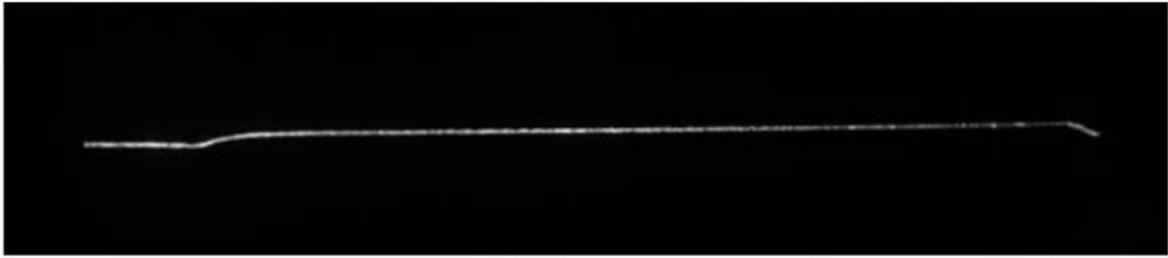


图3

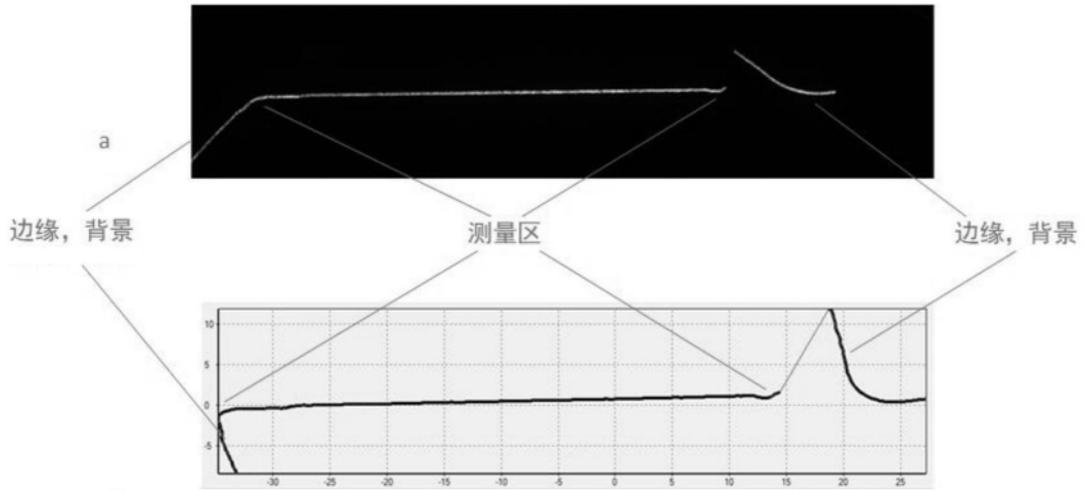


图4a

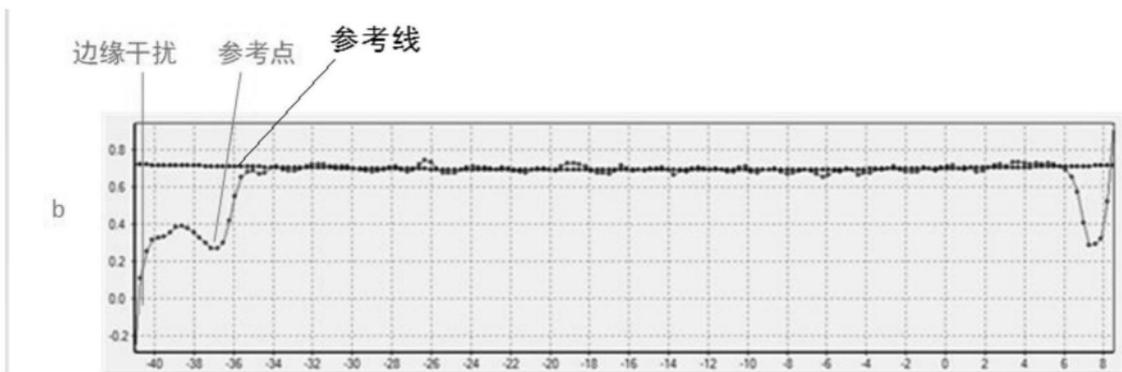


图4b

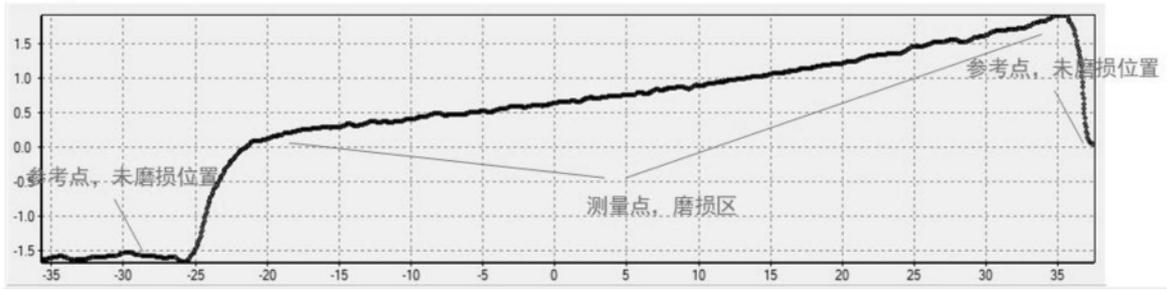


图5

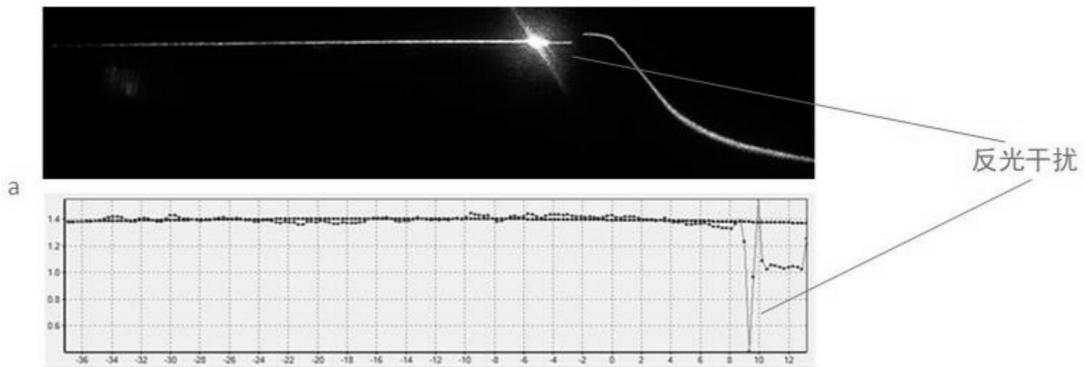


图6a

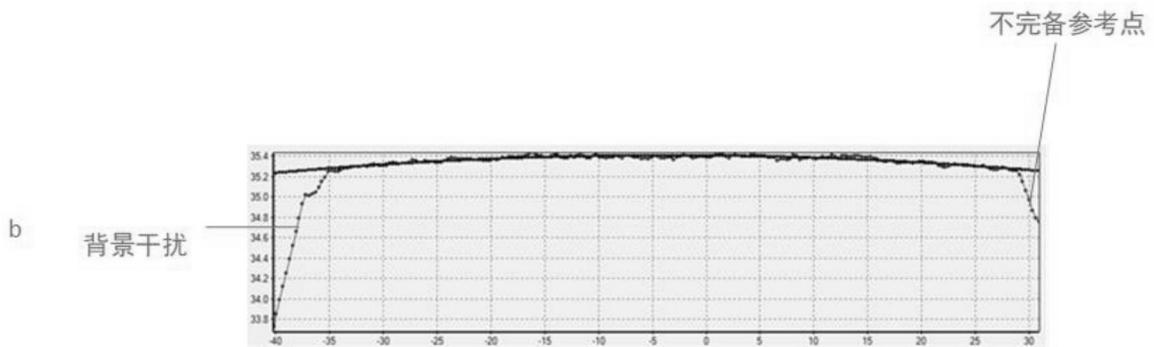


图6b

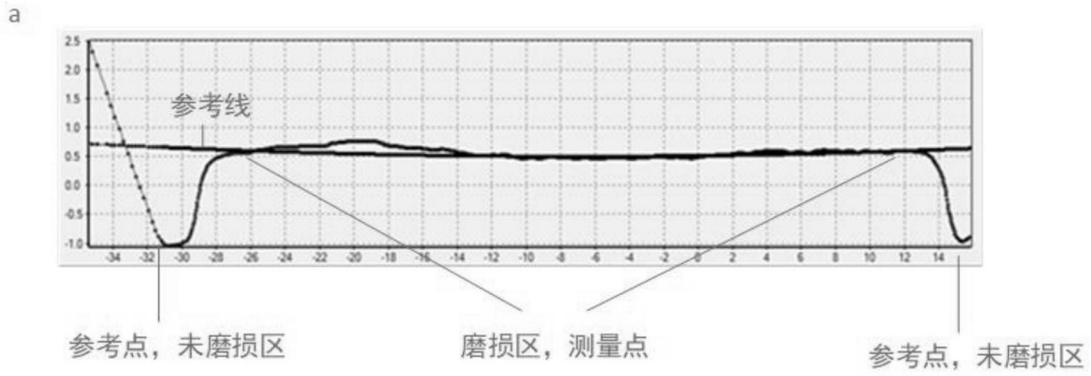


图7a

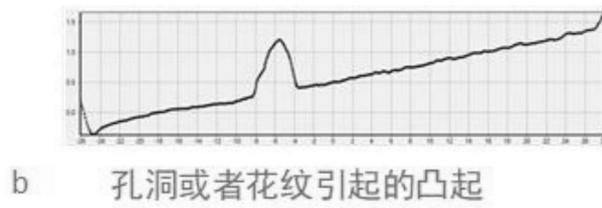


图7b

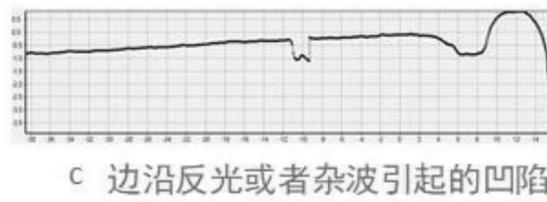


图7c

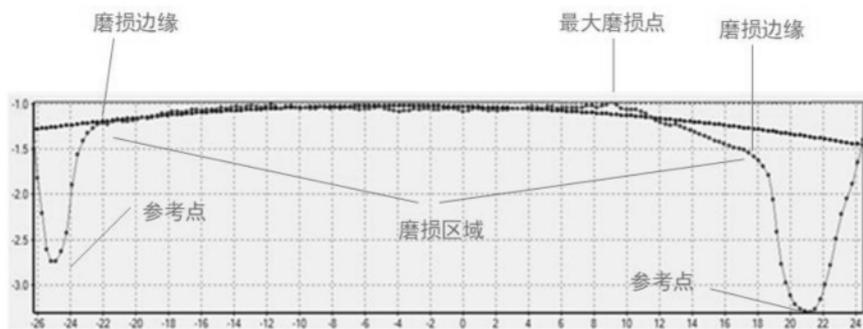


图8

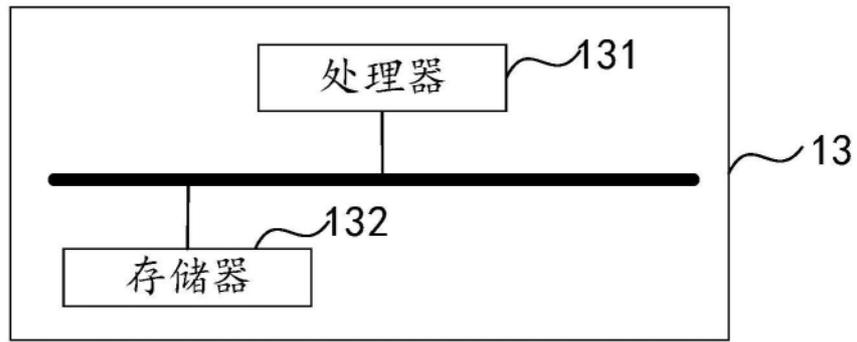


图9