



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116007526 B

(45) 授权公告日 2023.06.23

(21) 申请号 202310301056.X

G01B 11/24 (2006.01)

(22) 申请日 2023.03.27

G01N 21/88 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116007526 A

(56) 对比文件
CN 113450379 A, 2021.09.28

(43) 申请公布日 2023.04.25

审查员 罗裕

(73) 专利权人 西安航天动力研究所
地址 710000 陕西省西安市航天基地飞天
路289号

(72) 发明人 张彦彦 苏晨 李彤 邓瑞娜
张香妮 田敏 邓锦荣

(74) 专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务
所 61216
专利代理师 王芳

(51) Int. Cl.
G01B 11/22 (2006.01)

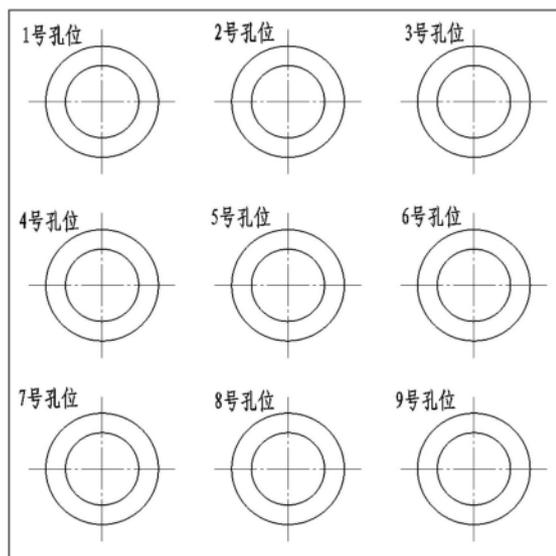
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种膜片刻痕深度自动测量系统及测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种膜片刻痕深度自动测量系统及测量方法,包括:测量工装,用于安装检测膜片;二维移动工作台,用于安装测量工装;二维移动工作台安装在三维光学轮廓测量仪上,连接上位机;三维光学轮廓测量仪,用于根据设定的测量镜头上、下采集高度采集测量点的三维轮廓点数据;三维光学轮廓测量仪连接上位机;上位机,用于控制二维移动工作台移动,并按照设定孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;还用于对得到的数据进行处理得到每个待测膜片上每个测量点的刻痕深度。本发明有效解决了现有膜片刻痕深度测量中采用固定位置单次规划方法无法开展自动化测量的缺点。适用于大批量膜片尺寸检测及分析。



1. 一种膜片刻痕深度自动测量方法,其特征在于,该方法基于膜片刻痕深度自动测量系统,所述膜片刻痕深度自动测量系统包括:

测量工装,用于安装待检测膜片;所述测量工装包括下部开口的箱体和L型限位板,所述箱体的顶板均匀开有多个台阶孔,用于安装待检测膜片;每个台阶孔周围的箱体顶板上表面上开有三条定位刻线,它们分别用于标识和对齐待检测膜片刻痕开口两端以及刻痕中点在台阶孔位定位的对应位置;所述L型限位板固定在二维移动工作台上,用于定位箱体在二维移动工作台上的位置;所述测量工装的台阶孔为通孔;

二维移动工作台,用于安装测量工装;所述二维移动工作台安装在三维光学轮廓测量仪上,连接上位机;

三维光学轮廓测量仪,用于根据设定的测量镜头上、下采集高度采集测量点的三维轮廓点数据;所述三维光学轮廓测量仪连接上位机;

上位机,用于控制二维移动工作台移动,并按照设定台阶孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;对于每个台阶孔位,当该台阶孔位的起始位置对准测量镜头时,控制二维移动工作台移动,按照预设的测量点顺序使得该台阶孔位上的待检测膜片的每个测量点依次对准测量镜头,得到所有台阶孔位上待检测膜片的全部测量点位置附近的三维轮廓点数据;另外还用于对得到的数据进行处理得到每个待检测膜片上每个测量点的刻痕深度;

具体包括如下步骤:

步骤1,将所有待检测膜片安装在测量工装上,将测量工装安装在二维移动工作台上,二维移动工作台安装在三维光学轮廓测量仪上;将三维光学轮廓测量仪和二维移动工作台均连接上位机;

步骤2,通过上位机将设定的测量镜头上、下采集高度输入三维光学轮廓测量仪;上位机控制二维移动工作台移动,按照设定台阶孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;对于每个台阶孔位,当该台阶孔位的起始位置对准测量镜头时,上位机控制二维移动工作台移动,按照预设的测量点顺序使得该台阶孔位上的待检测膜片的每个测量点依次对准测量镜头;当移动到任一测量点时,上位机启动三维光学轮廓测量仪根据设定的测量镜头上、下采集高度进行当前测量点的三维轮廓点数据采集;从而得到所有台阶孔位上待检测膜片的全部测量点位置附近的三维轮廓点数据;

步骤3,根据步骤2得到的每个待检测膜片的每个测量点位置的三维轮廓点数据,根据垂直于刻痕方向的截线创建规则找到每个测量点对应的长度最短的保留点连线对应的截交线,将其与该测量点的三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据,从而得到所有待检测膜片的全部测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据;其中,所述得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据包括如下子步骤:

步骤31,拾取当前待检测膜片的每个测量点位置的三维轮廓对应图像的对角点位置的二维坐标;保持一个角点不动,将另一个角点沿该图像水平/垂直方向按照步进固定值相对移动,创建每个测量点位置的三维轮廓的一系列截交线;

步骤32,将步骤31得到的所有截交线与该测量点位置的三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点位置的多组二维轮廓线点数据,其中每个截交线分别对应一组二维轮廓线点数据;

步骤33,对当前测量点位置的每组二维轮廓线点数据进行分割,得到修正后的二维轮廓线点数据;基于修正后的二维轮廓线点数据,计算每组对应的二维轮廓线长度;将每组的修正后的二维轮廓点数据从头到尾依次连线,将连线总长度定义为二维轮廓线长度;

步骤34,比较步骤33得到的当前测量点的所有组对应的二维轮廓线长度,找到长度最短的二维轮廓线对应的截交线,作为当前测量点的垂直于刻痕方向的截交线;

步骤35,将步骤34获得的当前测量点位置的截交线对应的点集与步骤2得到的当前测量点位置三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据集;

步骤36,重复步骤31-35,得到所有待检测膜片的每个测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据;

步骤4,遍历所有待检测膜片的每个测量点,按照步骤3得到每个测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据,确定当前测量点的刻痕深度;具体包括如下子步骤:

步骤41,分割刻痕上下面轮廓点数据,操作如下:

(1) 计算二维轮廓线点数据集的方向矢量 D ,计算公式如下:

$$D = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T$$

其中, p_i 为由步骤35得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线点数据集中第 i 个点的坐标矢量, \bar{p} 为二维轮廓线点数据集的中心, m 为二维轮廓线点数据集的点数据个数;

(2) 按步骤(1)的公式得到的方向矢量 D ,采用主成分分析法提取步骤35得到当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据集的主方向;计算二维轮廓线点数据集中每个点与 \bar{p} 的连线与该主方向的夹角,将夹角小于10度的点组合为点集 Q_j ,并对点集 Q_j 中的所有点按照 y_j 从大到小进行排列;

(3) 设定最小点数百分比阈值 w_1 为0.7,对步骤(2)排序得到的点集 Q_i ,以 w_1 为条件依次过滤掉 Q_i 中的散点,得到过滤后的点集;

(4) 对过滤后的点集采用稀疏去噪算法进行处理得到稀疏去噪处理后的点集,将稀疏去噪处理后的每个点与该点集中心的连线与该点集的主方向的夹角,将夹角的余弦值作为稀疏去噪处理后的点集中点数据的相似性值;根据该相似性值将稀疏去噪处理后的点集分为上下两部分 P_{\uparrow} 和 P_{\downarrow} ;

步骤42,获取上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点,操作如下:

(1) 对步骤41中得到的 P_{\uparrow} 中的点按照 x 方向递增排序;

(2) 按 x 方向从大到小在起始段和结束段中分别随机选择一个点,由这两个点相连得到对应的直线模型 l_1 ;

(3) 计算 P_{\uparrow} 中的每个点到直线模型 l_1 的距离,将该距离小于距离阈值 t_{\uparrow} 的点作为直线模型 l_1 的内点,得到内点集并统计内点个数;

(4) 重复执行步骤(2)和(3),执行次数共10次;

(5) 选择内点数最多的内点集,采用该内点集中的点作为上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点;

步骤43,获取下表面测量直线 L_{low} 的拟合点,操作如下:

(1) 提取步骤41中得到的 $P_{下}$ 中二维轮廓最低点 P_{low} ;

(2) 计算 $P_{下}$ 中每个点到二维轮廓最低点 P_{low} 的距离,选择与二维轮廓最低点 P_{low} 距离小于 $200\mu\text{m}$ 的点;

(3) 将(2)选定的点作为待检测膜片凹槽底部的局部点,并采用局部点拟合底部直线 l_{low} ;

(4) 计算 $P_{下}$ 中每个点到与底部直线 l_{low} 的距离,将小于 $t_{下}$ 的点作为下表面测量直线 L_{low} 的拟合点;

步骤44,根据步骤42得到的上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点和步骤43得到的下表面测量直线 L_{low} 的拟合点,采用最小二乘法按照两直线残差最小,计算得到两条平行直线的斜率与截距;由上述两条平行直线的斜率与截距分别得到上表面测量基准直线 L_{up} 和下表面测量直线 L_{low} ;

步骤45,计算下表面测量直线 L_{low} 和上表面测量基准直线 L_{up} 之间的距离,将其作为当前测量点的轮廓线上表面与下表面的高度差,即为待检测膜片的当前测量点对应的刻痕深度值;

步骤5,检测底部刻痕缺陷。

2. 如权利要求1所述的膜片刻痕深度自动测量方法,其特征在于,步骤2中,所述设定台阶孔位顺序为Z形;所述设定测量点顺序:依次移动到待检测膜片的第三位置(3)、第一位置(1)、第二位置(2)、第四位置(4)和第五位置(5),其中,第一位置(1)和第五位置(5)距离待检测膜片的刻痕开口 $2-3\text{mm}$,第三位置(3)位于刻痕的中间点处,第二位置(2)位于第一位置(1)和第三位置(3)的中间点处,第四位置(4)位于第二位置(2)和第五位置(5)的中间点处。

3. 如权利要求1所述的膜片刻痕深度自动测量方法,其特征在于,步骤33中,对当前测量点位置的每组二维轮廓线点数据进行分割的过程为:将当前组二维轮廓线点数据采用RANSAC分割,按照距离阈值小于 $3\mu\text{m}$ 的点判定的局内点拟合得到平面 P_0 ,以平面 P_0 为基准去除该二维轮廓线点数据中与平面 P_0 距离小于 $5\mu\text{m}$ 的点,得到当前二维轮廓线点数据的保留点,即得到修正后的二维轮廓线点数据。

4. 如权利要求1所述的膜片刻痕深度自动测量方法,其特征在于,步骤5具体操作:将步骤43的(4)得到的拟合点到步骤43的(3)得到的底部直线 l_{low} 的距离散差,作为当前测量点轮廓线对应的底部刻痕缺陷处的高度值,完成刻痕缺陷的检测。

一种膜片刻痕深度自动测量系统及测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学测量技术领域,尤其涉及一种膜片刻痕深度自动测量系统及测量方法。

背景技术

[0002] 膜片隔离阀能够实现液体火箭发动机提前加注推进剂确保无泄漏,并可实现推进剂贮存系统长期可靠密封,满足预包装要求,具有结构简单的优点。工作时,在一定的挤压力作用下破裂,使推进剂贮存单元与上下游保持畅通。

[0003] 膜片隔离阀作为一次性工作阀门,在型号研制中保证膜片破裂压力在设计要求的范围内是一项关键技术。由于破裂压力的性能不可直接检测,而是通过膜片刻痕几何尺寸测量间接得来的,且膜片刻痕的形貌特征也直接影响膜片阀破裂压力的控制。因而膜片刻痕几何参数测量和形貌分析显得尤为重要了,直接影响膜片隔离阀的特性。

[0004] 目前对于膜片刻痕深度和底部形貌的测量主要是采用人工的方法,9片产品通常需要540步操作,人工测量劳动强度大;同时,测量结果依赖操作人员的熟练程度,容易出现错误。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种膜片刻痕深度自动测量系统及测量方法,以解决现有膜片刻痕测量方法存在的劳动强度大且准确性不高的问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一方面,本发明提供一种膜片刻痕深度自动测量系统,包括:

[0008] 测量工装,用于安装检测膜片;所述测量工装包括下部开口的箱体和L型限位板,所述箱体的顶板均匀开有多个台阶孔,用于安装待检测膜片;每个台阶孔周围的箱体顶板上表面上开有三条定位刻线,它们分别用于标识和对齐待检测膜片刻痕开口两端以及刻痕中点在台阶孔位定位的对应位置;所述L型限位板固定在二维移动工作台上,用于定位箱体在二维移动工作台上的位置;

[0009] 二维移动工作台,用于安装测量工装;所述二维移动工作台安装在三维光学轮廓测量仪上,连接上位机;

[0010] 三维光学轮廓测量仪,用于根据设定的测量镜头上、下采集高度采集测量点的三维轮廓点数据;所述三维光学轮廓测量仪连接上位机;

[0011] 上位机,用于控制二维移动工作台移动,并按照设定孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;对于每个孔位,当该孔位的起始位置对准测量镜头时,控制二维移动工作台移动,按照预设的测量点顺序使得该孔位上的待测膜片的每个测量点依次对准测量镜头,得到所有孔位上待测膜片的全部测量点位置附近的三维轮廓点数据;另外还用于对得到的数据进行处理得到每个待测膜片上每个测量点的刻痕深度。

[0012] 进一步的,所述测量工装的台阶孔为通孔。

[0013] 另一方面,本发明提供一种膜片刻痕深度自动测量方法,该方法基于上述本发明的膜片刻痕深度自动测量系统,具体包括如下步骤:

[0014] 步骤1,将所有待检测膜片安装在测量工装上,将测量工装安装在二维移动工作台上,二维移动工作台安装在三维光学轮廓测量仪上;将三维光学轮廓测量仪和二维移动工作台均连接上位机;

[0015] 步骤2,通过上位机将设定的测量镜头上、下采集高度输入三维光学轮廓测量仪;上位机控制二维移动工作台移动,按照设定孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;对于每个孔位,当该孔位的起始位置对准测量镜头时,上位机控制二维移动工作台移动,按照预设的测量点顺序使得该孔位上的待测膜片的每个测量点依次对准测量镜头;当移动到任一测量点时,上位机启动三维光学轮廓测量仪根据设定的测量镜头上、下采集高度进行当前测量点的三维轮廓点数据采集;从而得到所有孔位上待测膜片的全部测量点位置附近的三维轮廓点数据;

[0016] 步骤3,根据步骤2得到的每个待测膜片的每个测量点位置的三维轮廓点数据,根据垂直于刻痕方向的截线创建规则找到每个测量点对应的长度最短的保留点连线对应的截交线,将其与该测量点的三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据,从而得到所有待测膜片的全部测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据;

[0017] 步骤4,遍历所有待测膜片的每个测量点,按照步骤3得到每个测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据,确定当前测量点的刻痕深度;

[0018] 步骤5,检测底部刻痕缺陷。

[0019] 进一步的,步骤2中,所述设定孔位顺序为Z形;所述设定测量点顺序:依次移动到待测膜片的第三位置、第一位置、第二位置、第四位置和第五位置,其中,第一位置和第五位置距离待测膜片的刻痕开口2-3mm,第三位置位于刻痕的中间点处,第二位置位于第一位置和第三位置的中间点处,第四位置位于第二位置和第五位置的中间点处。

[0020] 进一步的,步骤3中,所述得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据包括如下子步骤:

[0021] 步骤31,拾取当前待测膜片的每个测量点位置的三维轮廓对应图像的对角点位置的二维坐标;保持一个角点不动,将另一个角点沿该图像水平/垂直方向按照步进固定值相对移动,创建每个测量点位置的三维轮廓的一系列截交线;

[0022] 步骤32,将步骤31得到的所有截交线与该测量点位置的三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点位置的多组二维轮廓线点数据,其中每个截交线分别对应一组二维轮廓线点数据;

[0023] 步骤33,对当前测量点位置的每组二维轮廓线点数据进行分割,得到修正后的二维轮廓线点数据;基于修正后的二维轮廓线点数据,计算每组对应的二维轮廓线长度;将每组的修正后的二维轮廓点数据从头到尾依次连线,将连线总长度定义为二维轮廓线长度;

[0024] 步骤34,比较步骤33得到的当前测量点的所有组对应的二维轮廓线长度,找到长度最短的二维轮廓线对应的截交线,作为当前测量点的垂直于刻痕方向的截交线;

[0025] 步骤35,将步骤34获得的当前测量点位置的截交线对应的点集与步骤2得到的当前测量点位置三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点

数据集；

[0026] 步骤36,重复步骤31-35,得到所有待测膜片的每个测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据。

[0027] 进一步的,步骤33中,对当前测量点位置的每组二维轮廓线点数据进行分割的过程为:将当前组二维轮廓线点数据采用RANSAC分割,按照距离阈值小于 $3\mu\text{m}$ 的点判定的局内点拟合得到平面 P_0 ,以平面 P_0 为基准去除该二维轮廓数据中与平面 P_0 距离小于 $5\mu\text{m}$ 的点,得到当前二维轮廓线点的保留点,即得到修正后的二维轮廓线点数据。

[0028] 进一步的,步骤4包括如下子步骤:

[0029] 步骤41,分割刻痕上下表面轮廓点数据,操作如下:

[0030] (1)计算二维轮廓线点数据集的方向矢量 D ,计算公式如下:

$$[0031] \quad D = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T$$

[0032] 其中, p_i 为由步骤35得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线点数据集中第 i 个点的坐标矢量, \bar{p} 为点集的中心, m 为点集的点数据个数;

[0033] (2)按步骤(1)的公式得到的方向矢量 D ,采用主成分分析法提取步骤35得到当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据集的主方向;计算点数据集中每个点与 \bar{p} 的连线与该主方向的夹角,将夹角小于10度的点组合为点集 Q_j ,并对点集 Q_j 中的所有点按照 y_j 从大到小进行排列;

[0034] (3)设定最小点数百分比阈值 w_1 为0.7,对步骤(2)得到的点集 Q_1 ,以 $y_i > w_1$ 为条件依次过滤掉 Q_1 中的散点,得到过滤后的点集;

[0035] (4)对过滤后的点集采用稀疏去噪算法进行处理得到稀疏去噪处理后的点集,将稀疏去噪处理后的每个点与该点集中心的连线与该点集的主方向的夹角,将夹角的余弦值作为稀疏去噪处理后的点集中点数据的相似性值;根据该相似性值将稀疏去噪处理后的点集分为上下两部分 $P_{\text{上}}$ 和 $P_{\text{下}}$;

[0036] 步骤42,获取上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点,操作如下:

[0037] (1)对步骤41中得到的 $P_{\text{上}}$ 中的点按照 x 方向递增排序;

[0038] (2)按 x 方向从大到小在起始段和结束段中分别随机选择一个点,由这两个点相连得到对应的直线模型 I_1 ;

[0039] (3)计算 $P_{\text{上}}$ 中的每个点到直线模型 I_1 的距离,将该距离小于距离阈值 $t_{\text{上}}$ 的点作为直线模型 I_1 的内点,得到内点集并统计内点个数;

[0040] (4)重复执行步骤(2)和(3),执行次数共10次;

[0041] (5)选择内点数最多的内点集,采用该内点集中的点作为上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点;

[0042] 步骤43,获取下表面测量直线 L_{low} 的拟合点,操作如下:

[0043] (1)提取步骤41中得到的 $P_{\text{下}}$ 中二维轮廓最低点 P_{low} ;

[0044] (2) 计算 $P_{\text{下}}$ 中每个点到二维轮廓最低点 P_{low} 的距离,选择与二维轮廓最低点 P_{low} 距离小于 $200\mu\text{m}$ 的点;

[0045] (3) 将(2)选定的点作为待测膜片凹槽底部的局部点,并采用局部点拟合底部直线 L_{low} ;

[0046] (4) 计算 $P_{\text{下}}$ 中每个点到与底部直线 L_{low} 的距离,将小于 $t_{\text{下}}$ 的点作为下表面测量直线 L_{low} 的拟合点;

[0047] 步骤44,根据步骤42得到的上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点和步骤43得到的下表面测量直线 L_{low} 的拟合点,采用最小二乘法按照两直线残差最小,计算得到两条平行直线的斜率与截距;由上述两条平行直线的斜率与截距分别得到上表面测量基准直线 L_{up} 和下表面测量直线 L_{low} ;

[0048] 步骤45,计算下表面测量直线 L_{low} 和上表面测量基准直线 L_{up} 之间的距离,将其作为当前测量点的轮廓线上表面与下表面的高度差,即为待测膜片的当前测量点对应的刻痕深度值。

[0049] 进一步的,步骤5具体操作:将步骤43的(4)得到的底部点云数据中的点到步骤43的(3)得到的底部直线 L_{low} 的距离散差,作为当前测量点轮廓线对应的底部刻痕缺陷处的高度值,完成刻痕缺陷的检测。

[0050] 相较于现有技术,本发明具有如下技术效果:

[0051] 本发明根据膜片待测表面检测位置几何参数及分布,确定测量规划,并实现膜片测量原始数据的计算,能够有效解决现有膜片刻痕深度测量过程中采用固定位置单次规划方法无法开展自动化测量的缺点。本发明的方法适用于大批量膜片尺寸检测及分析。

附图说明

[0052] 图1为膜片刻痕深度自动测量工装的箱体部分的结构示意图;

[0053] 图2为膜片的测量位置示意图;

[0054] 图3为膜片底部形貌的示意图;其中,(a)为底面倾斜缺陷,(b)为底面沟槽。

[0055] 以下结合附图和具体实施方式对本发明进一步解释说明。

具体实施方式

[0056] 下面将结合附图,对本发明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。

[0057] 本发明给出的刻痕深度自动测量系统,包括:

[0058] (1) 测量工装,用于安装检测膜片;

[0059] 具体的,测量工装包括下部开口的箱体和L型限位板,如图1所示,箱体的顶板均匀开有多个台阶孔(优选9个),用于安装待检测膜片。每个台阶孔周围的箱体顶板上表面上开有三条定位刻线,它们分别用于标识和对齐待检测膜片刻痕开口两端以及刻痕中点在台阶孔位定位的对应位置。L型限位板固定在二维移动工作台上,用于定位箱体在二维移动工作台上的位置。台阶孔为通孔,用于待检测膜片安装位置偏离时,操作人员从箱体下部开口将待检测膜片调整到准确位置,以及方便将其取下。

[0060] (2) 二维移动工作台,用于安装测量工装;二维移动工作台安装在三维光学轮廓测

量仪上,连接上位机;

[0061] (3) 三维光学轮廓测量仪,用于根据设定的测量镜头上、下采集高度采集测量点的三维轮廓点数据;三维光学轮廓测量仪连接上位机;

[0062] (4) 上位机,用于控制二维移动工作台移动,按照设定孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;对于每个孔位,当该孔位的起始位置对准测量镜头时,控制二维移动工作台移动,按照预设的测量点顺序使得该孔位上的待测膜片的每个测量点依次对准测量镜头,得到所有孔位上待测膜片的全部测量点位置附近的三维轮廓点数据;最后,对得到的数据进行处理得到每个待测膜片上每个测量点的刻痕深度。

[0063] 基于上述本发明的刻痕深度自动测量系统,本发明给出一种刻痕深度自动测量方法,具体包括如下步骤:

[0064] 步骤1,将所有待检测膜片安装在测量工装上,将测量工装安装在二维移动工作台上,二维移动工作台安装在三维光学轮廓测量仪上;将三维光学轮廓测量仪和二维移动工作台均连接上位机;

[0065] 步骤2,通过上位机将设定的测量镜头上、下采集高度(即镜头上下限)输入三维光学轮廓测量仪;上位机控制二维移动工作台移动,按照设定孔位顺序依次将每个台阶孔的起始位置对准三维光学轮廓测量仪的测量镜头;对于每个孔位,当该孔位的起始位置对准测量镜头时,上位机控制二维移动工作台移动,按照预设的测量点顺序使得该孔位上的待测膜片的每个测量点依次对准测量镜头;当移动到任一测量点时,上位机启动三维光学轮廓测量仪根据设定的测量镜头上、下采集高度进行当前测量点的三维轮廓点数据采集;从而得到所有孔位上待测膜片的全部测量点位置附近的三维轮廓点数据。

[0066] 具体的,设定孔位顺序为Z形或其他路径,优选的,选择由上至下且由左向右的移动路径。

[0067] 优选的,设定测量点顺序见图2所示:依次移动到待测膜片的第三位置3、第一位置1、第二位置2、第四位置4和第五位置5,其中,第一位置1和第五位置5距离待测膜片的刻痕开口2-3mm,第三位置3位于刻痕的中间点处,第二位置2位于第一位置1和第三位置3的中间点处,第四位置4位于第二位置2和第五位置5的中间点处。本申请中,中间点理解为将两个位置之间的弧线分为两条长度相等的弧线的点。

[0068] 步骤3,根据步骤2得到的每个待测膜片的每个测量点位置的三维轮廓点数据,根据垂直于刻痕方向的截线创建规则找到每个测量点对应的长度最短的保留点连线对应的截交线,将其与该测量点的三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据,从而得到所有待测膜片的全部测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据。

[0069] 其中,所述获取其当前待测膜片的每个测量点的垂直刻痕的二维轮廓线的点数据的方法包括如下子步骤:

[0070] 步骤31,拾取当前待测膜片的每个测量点位置的三维轮廓对应图像的对角点位置的二维坐标。保持一个角点不动,将另一个角点沿该图像水平/垂直方向(即x方向和y方向)按照步进Step固定值(默认100 μm)相对移动,创建每个测量点位置的三维轮廓的一系列截交线。

[0071] 步骤32,将步骤31得到的所有截交线与该测量点位置的三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点位置的多组二维轮廓线点数据,其中每个截交线分别对应一组二维轮廓线

点数据；

[0072] 步骤33,对当前测量点位置的每组二维轮廓线点数据进行分割,得到修正后的二维轮廓线点数据;基于修正后的二维轮廓线点数据,计算每组对应的二维轮廓线长度。

[0073] 其中,对每组二维轮廓线点数据进行分割的过程为:将当前组二维轮廓线点数据采用RANSAC分割,按照距离阈值小于 $3\mu\text{m}$ 的点判定的局内点拟合得到平面 P_0 ,以平面 P_0 为基准去除该二维轮廓数据中与平面 P_0 距离小于 $5\mu\text{m}$ 的点,得到当前二维轮廓线点的保留点,即修正后的二维轮廓线点数据。

[0074] 具体的,将每组的修正后的二维轮廓点数据从头到尾依次连线,将连线总长度定义为二维轮廓线长度。

[0075] 步骤34,比较步骤33得到的当前测量点的所有组对应的二维轮廓线长度,找到长度最短的二维轮廓线对应的截交线,作为当前测量点的垂直于刻痕方向的截交线;

[0076] 步骤35,将步骤34获得的当前测量点位置的截交线对应的点集与步骤2得到的当前测量点位置三维轮廓点数据求交集,得到当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据集。

[0077] 步骤36,重复步骤31-35,得到所有待测膜片的每个测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据。

[0078] 步骤4,遍历所有待测膜片的每个测量点,按照步骤3得到每个测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据,确定当前测量点的刻痕深度,具体流程如下:

[0079] 步骤41,分割刻痕上下面轮廓点数据。操作如下:

[0080] (1)计算二维轮廓线点数据集的方向矢量 D ,计算公式如下:

$$[0081] \quad D = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})(p_i - \bar{p})^T$$

[0082] 其中, p_i 为由步骤35得到当前测量点的垂直刻痕的二维轮廓线点数据集中第 i 个点的坐标矢量, \bar{p} 为点集(即当前测量点的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据集)的中心, m 为点集的点数据个数。

[0083] (2)按步骤(1)的公式得到的方向矢量 D ,采用主成分分析法提取步骤35得到当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线点数据集的主方向;计算点数据集中每个点与 \bar{p} 的连线与该主方向的夹角,将夹角小于10度的点组合为点集 Q_j ,并对点集 Q_j 中的所有点按照 y_j 从大到小进行排列。

[0084] (3)设定最小点数百分比阈值 w_1 为0.7,对步骤(2)得到的点集 Q_j ,以 $y_i > w_1$ 为条件依次过滤掉 Q_j 中的散点,得到过滤后的点集;

[0085] (4)对过滤后的点集采用稀疏去噪算法(其稀疏编码采用梯度追踪算法)进行处理得到稀疏去噪处理后的点集(即为当前测量点位置的垂直于刻痕的二维轮廓线的上、下轮廓线对应的点),将稀疏去噪处理后的每个点与该点集中心的连线与该点集的主方向的夹角(主方向的计算:采用公式1同理计算得到该点集的方向矢量,采用主成分分析法提取过滤后的点集的主方向),将夹角的余弦值作为稀疏去噪处理后的点集中点数据的相似性值;

根据该相似性值将稀疏去噪处理后的点集分为上下两部分 $P_{上}$ 和 $P_{下}$ 。

[0086] 步骤42,获取上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点。操作如下:

[0087] (1)对步骤41中得到的 $P_{上}$ 中的点按照x方向递增排序;

[0088] (2)按x方向从大到小在起始段(排序后的前100个点)和结束段(排序后的后100个点)中分别随机选择一个点,由这两个点相连得到对应的直线模型 L_1 。

[0089] (3)计算 $P_{上}$ 中的每个点到直线模型 L_1 的距离,将该距离小于距离阈值 $t_{上}$ (设定为 $2\mu\text{m}$)的点作为直线模型 L_1 的内点,得到内点集并统计内点个数;

[0090] (4)重复执行步骤(2)和(3),执行次数共10次;

[0091] (5)选择内点数最多的内点集,采用该内点集中的点作为上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点。

[0092] 步骤43,获取下表面测量直线 L_{low} 的拟合点。操作如下:

[0093] (1)提取步骤41中得到的 $P_{下}$ 中二维轮廓最低点 P_{low} (即y值最小的点);

[0094] (2)计算 $P_{下}$ 中每个点到点 P_{low} 的距离,选择与点 P_{low} 距离小于 $200\mu\text{m}$ 的点;

[0095] (3)将(2)选定的点作为待测膜片凹槽底部的局部点,并采用局部点拟合底部直线 L_{low} ;

[0096] (4)计算 $P_{下}$ 中每个点到与底部直线 L_{low} 的距离,将小于 $t_{下}$ (设定为 $2\mu\text{m}$)的点作为下表面测量直线 L_{low} 的拟合点;

[0097] 步骤44,根据步骤42得到的上表面测量基准直线 L_{up} 的拟合点和步骤43得到的下表面测量直线 L_{low} 的拟合点,采用最小二乘法按照两直线残差最小,计算得到两条平行直线的斜率与截距;由上述两条平行直线的斜率与截距分别得到上表面测量基准直线 L_{up} 和下表面测量直线 L_{low} 。

[0098] 步骤45,计算下表面测量直线 L_{low} 和上表面测量基准直线 L_{up} 之间的距离,将其作为当前测量点的轮廓线上表面与下表面的高度差,即为待测膜片的当前测量点对应的刻痕深度值。

[0099] 步骤5,底部刻痕缺陷的检测。

[0100] 具体是:将步骤43的(4)得到的底部点云数据中的点到步骤43的(3)得到的底部直线 L_{low} 的距离散差,作为当前测量点轮廓线对应的底部刻痕缺陷处的高度值,完成刻痕缺陷的检测。如图3所示的底面倾斜缺陷和底面沟槽。

[0101] 本发明能够避免传统测量方法中采用大量人工进行各个环节(如手工选取二维截面轮廓、手工选取刻痕上下表面)的工作量,通过工装批量安装待测膜片,大大降低了劳动强度,提高了测量效率和测量一致性。通过重复性验证以及数据比对,确认本发明的系统及方法的测量结果重复性不大于0.3%,测量结果与人工测量结果差值为 $1\mu\text{m}$,满足测量要求。同时,本发明现已应用于多型号膜片的刻痕深度测量(具体已应用于数十种型号),完成了数千片膜片的测量。

[0102] 本发明在申请人单位已经获得了单位表彰。以下基于产能(任务量)、经济产值和效率提升、人力成本降低、质量提升等方面具体分析本发明对申请人产生的积极意义。

[0103] 一、产能(任务量)、经济产值和效率提升情况

[0104] 本发明的系统和方法目前已经投入使用,已应用于数十种型号,完成了数千片膜片的测量,采用自动化处理系统后,每天由12片/天(按每天工作十小时计算)提高到测量100片/天,效率提升了8.3倍,日产值提高了8.3倍,产能亦提高了8.3倍。

[0105] 二、人力成本降低情况

[0106] 采用本发明进行自动测量后,每批9片膜片测量540步手动操作缩减为3步手动设置,大大减少了劳动强度。同时人力成本也大大降低。

[0107] 手动操作时,考虑到劳动强度较大,膜片测量需要4人,轮换操作测量设备。现在仅需人工将待测膜片装入测量工装,后续自动测量为无人值守模式,检测人员可以同时开展其它测量工作。测量人员在完成每天100片测量任务时,实际介入时间2小时。

[0108] 以1000片膜片为例,自动化前完成测量需要83个工作日,每天10小时的工作量,共计830工作小时。而采用自动化测量以后,实际花费时间为10天,每天2小时的工作量,共计20工作小时。二者相比,采用本发明的自动化测量系统后,已节约810工作小时,约减少了97.5%的工作小时。

[0109] 三、质量提升情况

[0110] 本发明的方案实施前,所有的操作过程均需要人工操作,存在出错的风险。实施后,自动化完成所有待测点的测量,在提高效率的同时,杜绝了人工操作出错的隐患,大大提高了测量结果的准确性。

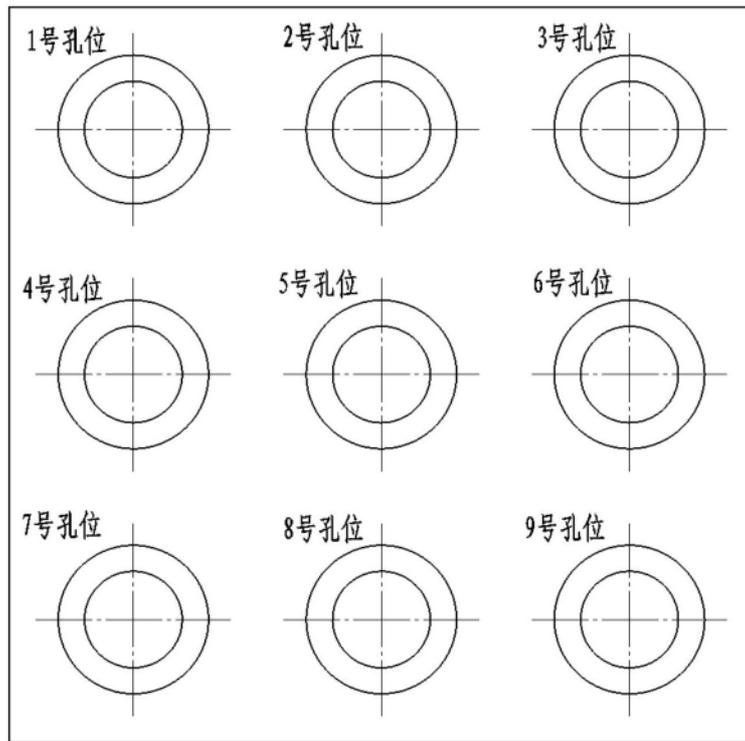


图1

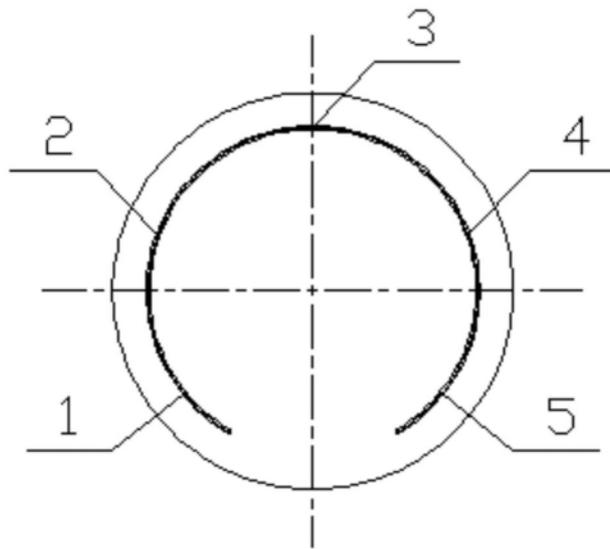
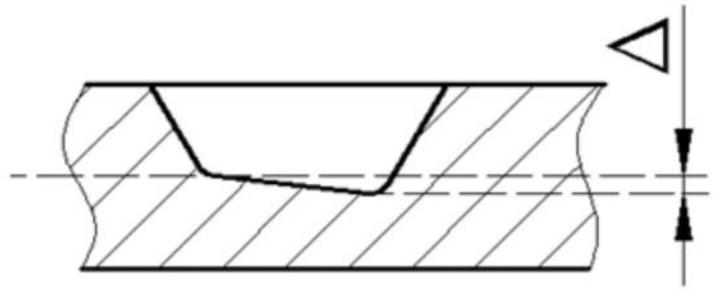
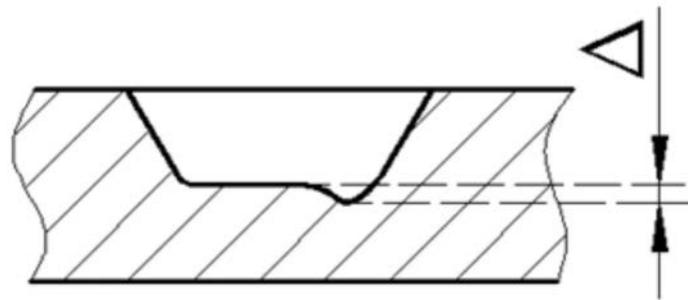


图2



(a)



(b)

图3