



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112050737 B

(45) 授权公告日 2021.11.05

(21) 申请号 202010980587.2

(22) 申请日 2020.09.17

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112050737 A

(43) 申请公布日 2020.12.08

(73) 专利权人 中国航发沈阳黎明航空发动机有  
限责任公司

地址 110043 辽宁省沈阳市大东区东塔街6  
号

(72) 发明人 任丽芬 张雨 王东 董哲  
程振宇

(74) 专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限  
公司 21109

代理人 刘晓岚

(51) Int.Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/08 (2006.01)

G01B 11/24 (2006.01)

G01N 21/95 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103398657 A, 2013.11.20

CN 101140163 A, 2008.03.12

TW 200923319 A, 2009.06.01

GB 1504974 A, 1978.03.22

JP 2006098197 A, 2006.04.13

DE 3123184 A1, 1982.04.08

赵磊等. 基于机器视觉的密封件表面缺陷检  
测研究.《电子设计工程》.

审查员 李传霞

权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种橡胶密封圈非接触检测方法

(57) 摘要

本发明提供一种橡胶密封圈非接触检测方法,利用光学影像坐标测量机,通过光学影像坐标测量机的CCD图像测头、“2D轮廓”功能模块、“特征组”功能模块、“样条”功能模块及“样条评价属性”模块,提供一种橡胶密封圈非接触非常规检测方法。采用“2D轮廓”功能模块扫描轮廓边缘坐标点的方式;CCD图像测头根据规划路径对橡胶密封圈内圆边缘进行自动扫描,并根据灰度阈值所在的位置坐标,拾取边缘轮廓生成点云数据。用“特征组”功能模块把点云数据构造成含坐标点位置及矢量方向的特征组;用“样条”功能模块把特征组构造成三次样条曲线;用“样条评价属性”模块计算起点至终点之间的弧线长度即样条曲线长度,并通过多次测量确定该测量方法的稳定性。

1. 一种橡胶密封圈非接触检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1:工件处理;橡胶密封圈(1)检测前,定温时间不低于3小时;检查橡胶密封圈(1)外观,保证被测面没有油污及毛刺及灰尘;将橡胶密封圈(1)平稳放在玻璃工作台上,用薄玻璃轻轻压紧防止橡胶密封圈(1)窜动;

步骤2:启动光学影像坐标测量机;检测前对光学影像坐标测量机进行回零操作,用操作手柄检查各导轨移动是否顺畅、平稳;开启顶光借助光点寻找零件表面位置,移动手柄,使CCD图像测头(3)对准橡胶密封圈(1);转动手柄,上下调整导轨,使视场内橡胶密封圈(1)图像清晰;关闭顶光,开启底光可提高边缘灰度阈值即提高明暗对比度;

步骤3:规划路径;在光学影像坐标测量机的操作界面上,由“手动模式”切换为“自动模式”,在操作界面上选择“2D轮廓”功能模块;在橡胶密封圈(1)内径轮廓边缘手动拾取多个点规划扫描路径,路径要保证沿着单方向前进,可以是顺时针方向也可以是逆时针方向;保证所有的边缘在路径内且无断点,起始点和终止点要重合;

步骤4:图像采集;在光学影像坐标测量机上的操作界面上,选择“2D轮廓”功能模块上的“聚焦”选项,实现CCD图像测头(3)自动寻找橡胶密封圈(1)轮廓边缘影像的灰度阈值,达到最清晰的图片效果;选择“2D轮廓”功能模块上的“测试”选项,实现CCD图像测头(3)根据规划路径对橡胶密封圈(1)内圆边缘进行自动扫描,并根据灰度阈值所在的位置坐标,拾取边缘轮廓生成点云数据;

步骤5:数据处理;在光学影像坐标测量机上的操作界面上,选择“特征组”功能模块,用“特征组”功能模块把点云数据构造成含坐标点位置及矢量方向的特征组;选择“样条”功能模块,用“样条”功能模块把特征组构造成三次样条曲线,在“CAD视图窗口”查看样条曲线的光滑程度;选择“样条评价属性”模块,用“样条评价属性”模块计算起点至终点之间的弧线长度即样条曲线长度,样条曲线长度即为橡胶密封圈(1)内圆周长C,通过公式 $d=C/\pi$ ,得到内圆直径d;

步骤6:检测评定分析;对所述一种橡胶密封圈非接触检测方法进行测量不确定度评定分析,该评定方法包括如下步骤:

6.1:建立测量模型;测量结果由下式给出:

$$d_1=C/\pi;$$

式中: $d_1$ ——被测橡胶密封圈内径尺寸;

C——被测橡胶密封圈内圆周长;

6.2:确定方差和灵敏系数:

$$\text{依据 } u_c^2 = \sum \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i);$$

$$\text{有: } u_c^2(d_1) = \sum \left( \frac{\partial f}{\partial C} \right)^2 u_c^2(C) = \frac{1}{\pi^2} u_c^2(C);$$

$$\text{即: } u_c(d_1) = \frac{1}{\pi} u_c(C);$$

式中: $u_c$ ——合成标准不确定度;

$u(x_1)$ ——标准不确定度分量；

$u_c(C)$ ——周长合成标准不确定度；

$u_c(d_1)$ ——内径合成标准不确定度；

6.3: 测量不确定度来源；测量不确定度主要有光学影像测量机的示值误差、安装调整误差和测量重复性误差；

(1) 光学影像测量机的示值误差引入的周长标准不确定度分量 $u_1$

光学影像测量机的示值误差 $(1.5+L/400)\mu\text{m}$ 为, 该误差服从均匀分布, 置信因子 $k=\sqrt{3}$ , 其不确定度为:

$$u_1 = \frac{(1.5 + L/400)\mu\text{m}}{\sqrt{3}};$$

L-测量范围, 取标准环规内径乘以 $\pi$ 值;

(2) 安装调整误差引入的周长标准不确定度分量 $u_2$

安装调整误差为 $\pm 2\mu\text{m}$ , 该误差服从均匀分布, 置信因子 $k=\sqrt{3}$ , 其不确定度为:

$$u_2 = \frac{2\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.15\mu\text{m};$$

(3) 测量重复性误差引入的周长标准不确定度分量 $u_3$

用光学影像测量机测量橡胶密封圈内圆周长, 在重复性条件下测量 $n$ 次,

$$u_3 = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}};$$

式中: $\bar{x}$ —— $n$ 次测量橡胶密封圈内圆周长的算术平均值;

$x_i$ ——第 $i$ 次测量橡胶密封圈内圆周长的结果;

$s(\bar{x})$ ——平均值的实验标准偏差;

6.4: 橡胶密封圈内圆周长合成标准不确定度评定

以上各项标准不确定分量互不相干, 故周长合成标准不确定度:

$$u_c(C) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2};$$

式中: $u_1$ ——光学影像测量机的示值误差引入的周长标准不确定度分量;

$u_2$ ——安装调整误差引入的周长标准不确定度分量;

$u_3$ ——测量重复性误差引入的周长标准不确定度分量;

$u_c(C)$ ——周长合成标准不确定度;

6.5: 橡胶密封圈内径合成标准不确定度评定

$$u_c(d_1) = \frac{1}{\pi} u_c(C);$$

式中: $u_c(d_1)$ ——内径合成标准不确定度;

6.6: 橡胶密封圈内径扩展不确定度评定

$$U=k \times u_c;$$

式中:U——内径扩展不确定度评定;

$u_c$ ——合成标准不确定度;

取置信概率 $p=95\%$ ,包含因子 $k=2.0$ 。

## 一种橡胶密封圈非接触检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于本发明属于航空发动机检测技术领域,特别涉及一种橡胶密封圈非接触检测方法。

### 背景技术

[0002] 橡胶密封圈极易变形,工艺规程要求检测橡胶密封圈直径,由于其自由状态下轮廓不是标准圆周,常规测量不能满足精度要求。生产现场现有的直径测量方法是配备标准件,当无匹配标准件时采用 $\pi$ 尺测量, $\pi$ 尺精度一般为0.1mm-0.2mm,且其操作方法受检验员经验影响较大,测量不可靠。由于橡胶材料具有弹性,接触测量极易产生影响测量结果的变形,误差较大,且目前尚无确定的、测量准确度较高的仲裁检测手段。

[0003] 针对这种弊端,本申请提出了新的解决办法,通过光学影像坐标测量机提供一种非常规检测方法得以克服上述问题,其中,通过光学影像坐标测量机中的CCD图像测头获取橡胶密封圈图像,利用光学影像坐标测量机的“2D轮廓”功能模块提取轮廓边缘坐标点,实现橡胶密封圈的自动化、智能化检测。本发明主要应用于航空发动机型号科研生产,可应用于航空、航天、民用等科技科研院所或企业计量单位易变型件直径检验。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种橡胶密封圈非接触检测方法,依据橡胶密封圈检测要求,其中工艺要求橡胶密封圈直径范围为 $\Phi 5\text{mm}-\Phi 300\text{mm}$ ,公差为 $\pm 0.1\text{mm}-\pm 0.8\text{mm}$ ,本发明主要解决橡胶密封圈直径测量精度低的问题,提供一种测量准确度较高的计量仲裁手段。

[0005] 一种橡胶密封圈非接触检测方法,包括如下步骤:

[0006] 步骤1:工件处理。首先,橡胶密封圈检测前,定温时间不低于3小时;检查橡胶密封圈外观,如发现划碰伤或加工表面不光滑等缺陷时,及时调换被测件;用绸布轻轻擦拭橡胶密封圈表面,不要用力拉扯,保证被测面没有油污及毛刺及灰尘;将橡胶密封圈平稳放在玻璃工作台上,用薄玻璃轻轻压紧防止橡胶密封圈窜动。

[0007] 步骤2:启动光学影像坐标测量机(型号:OPTIVE10106)。检测前对光学影像坐标测量机进行回零操作,用操作手柄检查各导轨移动是否顺畅、平稳;开启顶光借助光点寻找零件表面位置,移动手柄,使CCD图像测头对准橡胶密封圈;转动手柄,上下调整导轨,使视场内橡胶密封圈图像清晰;关闭顶光,开启底光可提高边缘灰度阈值即提高明暗对比度。

[0008] 步骤3:规划路径。在光学影像坐标测量机的操作界面上,由“手动模式”切换为“自动模式”,在操作界面上选择“2D轮廓”功能模块;在橡胶密封圈内径轮廓边缘手动拾取多个点规划扫描路径,路径要保证沿着单方向前进,可以是顺时针方向也可以是逆时针方向;保证所有的边缘在路径内且无断点,起始点和终止点要重合。

[0009] 步骤4:图像采集。在光学影像坐标测量机上的操作界面上,选择“2D轮廓”功能模块上的“聚焦”选项,即可实现CCD图像测头自动寻找橡胶密封圈轮廓边缘影像的灰度阈值,达到最清晰的图片效果;选择“2D轮廓”功能模块上的“测试”选项,实现CCD图像测头根据规

划路径对橡胶密封圈内圆边缘进行自动扫描,并根据灰度阈值所在的位置坐标,拾取边缘轮廓生成点云数据。

[0010] 步骤5:数据处理。在光学影像坐标测量机上的操作界面上,选择“特征组”功能模块,用“特征组”功能模块把点云数据构造成含坐标点位置及矢量方向的特征组。选择“样条”功能模块,用“样条”功能模块把特征组构造成三次样条曲线,在“CAD视图窗口”查看样条曲线的光滑程度;选择“样条评价属性”模块,用“样条评价属性”模块计算起点至终点之间的弧线长度即样条曲线长度,样条曲线长度即为橡胶密封圈内圆周长C,通过公式 $d=C/\pi$ ,得到内圆直径d。

[0011] 步骤6:检测评定分析;对一种橡胶密封圈非接触检测方法进行测量不确定度评定分析,以验证本发明的可行性,该评定方法包括如下步骤:

[0012] 6.1:建立测量模型;测量结果由下式给出:

$$[0013] \quad d_1 = C/\pi;$$

[0014] 式中: $d_1$ —被测橡胶密封圈内径尺寸;

[0015] C—被测橡胶密封圈内圆周长;

[0016] 6.2:确定方差和灵敏系数:

$$[0017] \quad \text{依据 } u_c^2 = \sum \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i);$$

$$[0018] \quad \text{有: } u_c^2(d_1) = \sum \left( \frac{\partial f}{\partial C} \right)^2 u_c^2(C) = \frac{1}{\pi^2} u_c^2(C);$$

$$[0019] \quad \text{即: } u_c(d_1) = \frac{1}{\pi} u_c(C);$$

[0020] 式中: $u_c$ ——合成标准不确定度;

[0021]  $u(x_i)$ ——标准不确定度分量;

[0022]  $u_c(C)$ ——周长合成标准不确定度;

[0023]  $u_c(d_1)$ ——内径合成标准不确定度;

[0024] 6.3:测量不确定度来源;测量不确定度主要有光学影像测量机的示值误差、安装调整误差和测量重复性误差;

[0025] (1) 光学影像测量机的示值误差引入的周长标准不确定度分量 $u_1$

[0026] 光学影像测量机的示值误差为 $(1.5+L/400)\mu\text{m}$ ,该误差服从均匀分布,置信因子 $k=\sqrt{3}$ ,其不确定度为:

$$[0027] \quad u_1 = \frac{(1.5 + L/400)\mu\text{m}}{\sqrt{3}};$$

[0028] L——测量范围,取标准环规内径乘以 $\pi$ 值;

[0029] (2) 安装调整误差引入的周长标准不确定度分量 $u_2$

[0030] 安装调整误差为 $\pm 2\mu\text{m}$ ,该误差服从均匀分布,置信因子 $k=\sqrt{3}$ ,其不确定度为:

$$[0031] \quad u_2 = \frac{2\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.15\mu\text{m};$$

[0032] (3) 测量重复性误差引入的周长标准不确定度分量 $u_3$

[0033] 用光学影像测量机测量橡胶密封圈内圆周长,在重复性条件下测量 $n$ 次,

$$u_3 = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}};$$

[0034] 式中: $\bar{x}$ —— $n$ 次测量橡胶密封圈内圆周长的算术平均值;

[0035]  $x_i$ ——第 $i$ 次测量橡胶密封圈内圆周长的结果;

[0036]  $s(\bar{x})$ ——平均值的实验标准偏差;

[0037] 6.4: 橡胶密封圈内圆周长合成标准不确定度评定

[0038] 以上各项标准不确定分量互不相干,故合成标准不确定度:

$$[0039] \quad u_c(C) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2};$$

[0040] 式中: $u_1$ ——光学影像测量机的示值误差引入的周长标准不确定度分量;

[0041]  $u_2$ ——安装调整误差引入的周长标准不确定度分量;

[0042]  $u_3$ ——测量重复性误差引入的周长标准不确定度分量;

[0043]  $u_c(C)$ ——周长合成标准不确定度;

[0044] 6.5: 橡胶密封圈内径合成标准不确定度评定

$$[0045] \quad u_c(d_1) = \frac{1}{\pi} u_c(C);$$

[0046] 式中: $u_c(d_1)$ ——内径合成标准不确定度;

[0047] 6.6: 橡胶密封圈内径扩展不确定度评定

$$[0048] \quad U = k \times u_c;$$

[0049] 式中: $U$ ——内径扩展不确定度评定;

[0050]  $u_c$ ——合成标准不确定度;

[0051] 取置信概率 $p=95\%$ ,包含因子 $k=2.0$ ;

[0052] 橡胶密封圈周长方法数据验证:通过以上检测方法,用光学影像坐标测量机测得标准环规直径值,与标准环规上级检定数据进行比对,确定该测量方案的可行性。实验数据见表1所示。

[0053] 表1橡胶密封圈周长测量准确性验证实验数据单位:mm

[0054]	标准环规 Φ120.000	实验次数	周长	直径	上级检定值（三坐标测量）
		1	376.994	120.001	Φ120.002
		2	376.989	119.999	
		3	376.997	120.002	
		4	376.991	120.000	
		5	376.994	120.001	
		6	376.998	120.002	
		7	376.990	120.000	
		8	376.992	120.000	
		9	376.997	120.002	
		10	376.991	120.000	
	标准环规 Φ20.000	实验次数	周长	直径	上级检定值（三坐标测量）
		1	62.828	19.999	Φ19.999
		2	62.835	20.001	
		3	62.829	19.999	
		4	62.830	19.999	
		5	62.828	19.999	
		6	62.834	20.001	
		7	62.832	20.000	
		8	62.830	19.999	
		9	62.831	20.000	
		10	62.829	19.999	

[0055] 以上实验数据显示Φ120.000标准环规测量偏差最大为0.003mm, Φ20.000标准环规测量偏差最大为0.002mm, 测量重复性良好, 确定其可行性。

[0056] 本发明的有益效果是: 通过与标准环规相比较及不确定度评定, 测量不确定度为0.003mm, 即测量精度可达0.003mm, 完全满足橡胶密封圈直径范围为Φ5mm- Φ300mm, 公差为±0.1mm- ±0.8mm的精度要求, 解决了现场在无标准件情况下测量不可靠的问题。

[0057] 本方法可以在不制定标准件的情况下, 准确、高效的检测橡胶密封圈直径, 节约了标准件制作费用和外委费用。

### 附图说明

[0058] 图1为本发明的橡胶密封圈检测要求示意图;

[0059] 图2为本发明的CCD图像测头原理图;

[0060] 图3为本发明的CCD图像测头光学检测示意图;

[0061] 图4为本发明的橡胶密封圈测量示意图;

[0062] 图5为本发明的标准环规测量示意图;

[0063] 图6为本发明的测量橡胶密封圈直径流程图;

[0064] 图7为本发明的光学影像坐标测量机功能框架示意图;

[0065] 图8为本发明的光学影像坐标测量机检测工作流程图。

[0066] 符号说明: 1-橡胶密封圈, 2-标准环规, 3-CCD图像测头, 4-光源, 5-嵌入式计算机。

## 具体实施方式

[0067] 为了能够更清楚地理解本发明,结合附图对本发明进行进一步详细描述。

[0068] 下面参照图1-8来描述根据本发明的实施例提供的一种橡胶密封圈(1)非接触检测方法。

[0069] 如图1至图8所示,一种橡胶密封圈非接触检测方法,包括如下步骤:

[0070] 步骤1:工件处理。首先,橡胶密封圈(1)检测前,定温时间不低于3小时;检查橡胶密封圈(1)外观,如发现划碰伤或加工表面不光滑等缺陷时,及时调换被测件;用绸布轻轻擦拭橡胶密封圈(1)表面,不要用力拉扯,保证被测面没有油污及毛刺及灰尘;将橡胶密封圈(1)平稳放在玻璃工作台上,用薄玻璃轻轻压紧防止橡胶密封圈(1)窜动。

[0071] 步骤2:启动光学影像坐标测量机(型号:OPTIVE10106)。检测前对光学影像坐标测量机进行回零操作,用操作手柄检查各导轨移动是否顺畅、平稳;开启顶光借助光点寻找零件表面位置,移动手柄,使CCD图像测头(3)对准橡胶密封圈(1);转动手柄,上下调整导轨,使视场内橡胶密封圈(1)图像清晰;关闭顶光,开启底光可提高边缘灰度阈值即提高明暗对比度。

[0072] 步骤3:规划路径。在光学影像坐标测量机的操作界面上,由“手动模式”切换为“自动模式”,在操作界面上选择“2D轮廓”功能模块;在橡胶密封圈(1)内径轮廓边缘手动拾取多个点规划扫描路径,路径要保证沿着单方向前进,可以是顺时针方向也可以是逆时针方向;保证所有的边缘在路径内且无断点,起始点和终止点要重合;

[0073] 步骤4:图像采集。在光学影像坐标测量机上的操作界面上,选择“2D轮廓”功能模块上的“聚焦”选项,即可实现CCD图像测头(3)自动寻找橡胶密封圈(1)轮廓边缘影像的灰度阈值,达到最清晰的图片效果;选择“2D轮廓”功能模块上的“测试”选项,实现CCD图像测头(3)根据规划路径对橡胶密封圈(1)内圆边缘进行自动扫描,并根据灰度阈值所在的位置坐标,拾取边缘轮廓生成点云数据;

[0074] 步骤5:数据处理。在光学影像坐标测量机上的操作界面上,选择“特征组”功能模块,用“特征组”功能模块把点云数据构造成含坐标点位置及矢量方向的特征组。选择“样条”功能模块,用“样条”功能模块把特征组构造成三次样条曲线,在“CAD视图窗口”查看样条曲线的光滑程度;选择“样条评价属性”模块,用“样条评价属性”模块计算起点至终点之间的弧线长度即样条曲线长度,样条曲线长度即为橡胶密封圈(1)内圆周长C,通过公式 $d=C/\pi$ ,得到内圆直径d。

[0075] 步骤6:检测评定分析;对一种橡胶密封圈非接触检测方法进行测量不确定度评定分析,以验证本发明的可行性,该评定方法包括如下步骤:

[0076] 6.1:建立测量模型。以 $\Phi 21_{-0.4}^0$  mm橡胶密封圈为例,测量结果由下式给出

[0077]  $d_1=C/\pi$ ;

[0078] 式中: $d_1$ ——被测橡胶密封圈内径尺寸;

[0079] C——被测橡胶密封圈内圆周长;

[0080] 6.2:确定方差和灵敏系数。

[0081] 依据 $u_c^2 = \sum \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)$

[0082] 有： $u_c^2(d_1) = \sum \left( \frac{\partial f}{\partial C} \right)^2 u_c^2(C) = \frac{1}{\pi^2} u_c^2(C)$

[0083] 即： $u_c(d_1) = \frac{1}{\pi} u_c(C)$

[0084] 式中： $u_c$ ——合成标准不确定度；

[0085]  $u(x_i)$ ——标准不确定度分量；

[0086]  $u_c(C)$ ——周长合成标准不确定度；

[0087]  $u_c(d_1)$ ——内径合成标准不确定度；

[0088] 6.3: 测量不确定度来源。测量不确定度主要有光学影像测量机的示值误差、安装调整误差和测量重复性误差。

[0089] (1) 光学影像测量机的示值误差引入的周长标准不确定度分量 $u_1$ 。

[0090] 光学影像测量机的示值误差为 $(1.5+L/400) \mu\text{m}$ ，该误差服从均匀分布，置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，测量范围 $L$ 取 $21\text{mm} \times \pi \approx 66\text{mm}$ ，其不确定度为：

[0091]  $u_1 = (1.5 + L/400) \mu\text{m} / \sqrt{3} = (1.5 + 66/400) \mu\text{m} / \sqrt{3} \approx 0.96 \mu\text{m}$

[0092] (2) 安装调整误差引入的周长标准不确定度分量 $u_2$ 。

[0093] 安装调整误差为 $\pm 2 \mu\text{m}$ ，该误差服从均匀分布，置信因子 $k = \sqrt{3}$ ，其不确定度为：

[0094]  $u_2 = \frac{2 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.15 \mu\text{m}$

[0095] (3) 测量重复性误差引入的周长标准不确定度分量 $u_3$

[0096] 用光学影像测量机测量橡胶密封圈内圆周长，在重复性条件下测量10次，测量结果依次为： $67.054\text{mm}$ 、 $67.053\text{mm}$ 、 $67.052\text{mm}$ 、 $67.054\text{mm}$ 、 $67.048\text{mm}$ 、 $67.051\text{mm}$ 、 $67.048\text{mm}$ 、 $67.054\text{mm}$ 、 $67.051\text{mm}$ 、 $67.057\text{mm}$

[0097]  $\bar{x} = 670.52 \text{ mm}$

[0098]  $u_3 = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2.94 \mu\text{m}$

[0099] 式中： $\bar{x}$ ——10次测量橡胶密封圈内圆周长的算术平均值；

[0100]  $x_i$ ——第 $i$ 次测量橡胶密封圈内圆周长的结果；

[0101]  $s(\bar{x})$ ——平均值的实验标准偏差。

[0102] 6.4: 橡胶密封圈内圆周长合成标准不确定度评定。

[0103] 以上各项标准不确定分量互不相干，故合成标准不确定度：

[0104]  $u_c(C) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0.96^2 + 1.15^2 + 2.94^2} \mu\text{m} \approx 3.30 \mu\text{m}$

[0105] 6.5: 橡胶密封圈内径合成标准不确定度评定

$$[0106] \quad u_c(d_1) = \frac{1}{\pi} u_c(C) = \frac{3.30}{\pi} \mu\text{m} = 1.05 \mu\text{m}$$

[0107] 6.6: 橡胶密封圈内径扩展不确定度评定

[0108] 取置信概率 $p=95\%$ , 包含因子 $k=2.0$

$$[0109] \quad U = k \times u_c = 2.0 \times 1.05 \mu\text{m} = 2.10 \mu\text{m} \approx 3 \mu\text{m}$$

[0110] 则以 $\Phi 21_{-0.4}^0 \text{mm}$ 橡胶密封圈内径测量不确定度为:

$$[0111] \quad U = 3 \mu\text{m} (k=2.0)$$

[0112] 本发明的工作原理: 理想状态下的圆直径是一个定值, 依据橡胶密封内圆周长不变原理, 首先应实现其周长的准确测量, 再经过计算, 最终得出橡胶密封圈的直径, 该测量原理与 $\pi$ 尺测量直径的原理相同。本发明利用光学影像坐标测量机, 通过光学影像坐标测量机的CCD图像测头、“2D轮廓”功能模块、“特征组”功能模块、“样条”功能模块及“样条评价属性”模块, 提供一种橡胶密封圈非接触非常规检测方法。采用“2D轮廓”功能模块扫描轮廓边缘坐标点的方式, 在轮廓边缘手动拾取多个点规划扫描路径, 路径要保证所有的边缘在路径内且无断点, 起始点和终止点重合; CCD图像测头根据规划路径对橡胶密封圈内圆边缘进行自动扫描, 并根据灰度阈值所在的位置坐标, 拾取边缘轮廓生成点云数据。用“特征组”功能模块把点云数据构造成含坐标点位置及矢量方向的特征组; 用“样条”功能模块把特征组构造成三次样条曲线; 用“样条评价属性”模块计算起点至终点之间的弧线长度即样条曲线长度, 样条曲线长度即为橡胶密封圈内圆周长 $C$ , 通过公式 $d=C/\pi$ , 得到内圆直径 $d$ 。并通过多次测量确定该测量方法的稳定性。

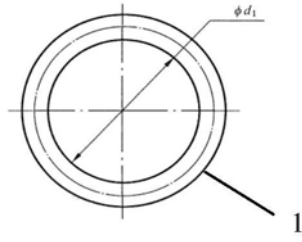


图1

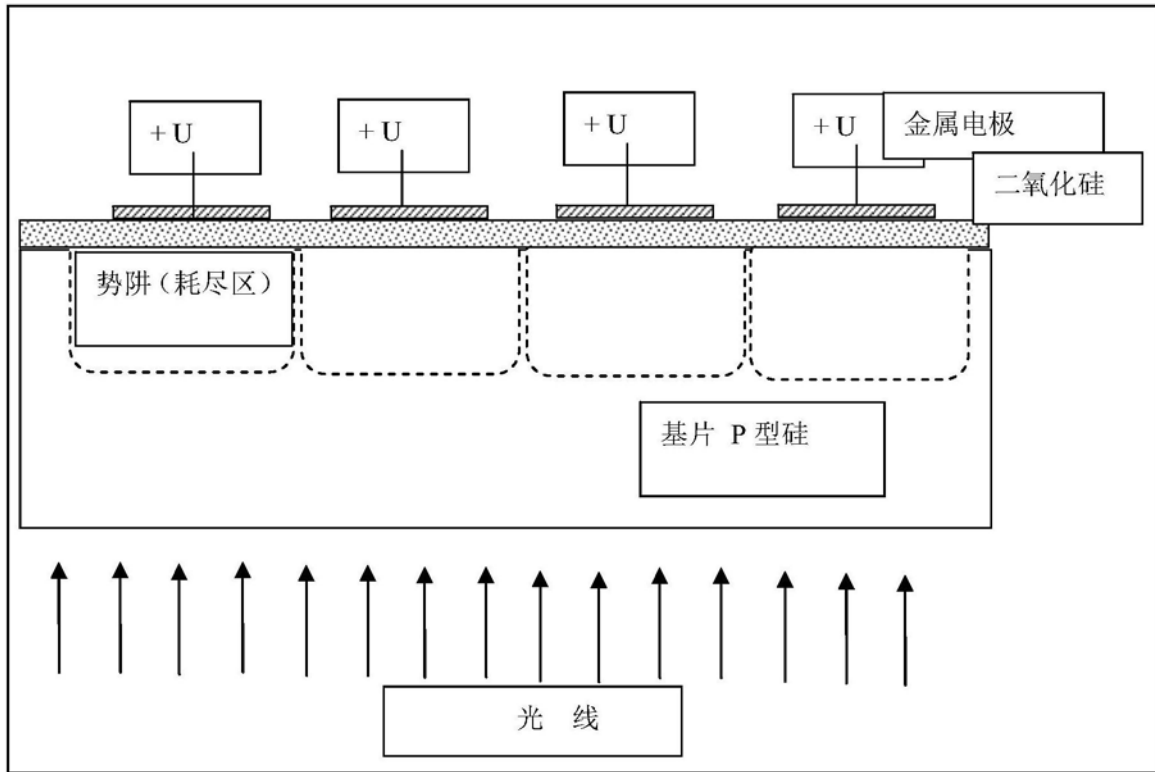


图2

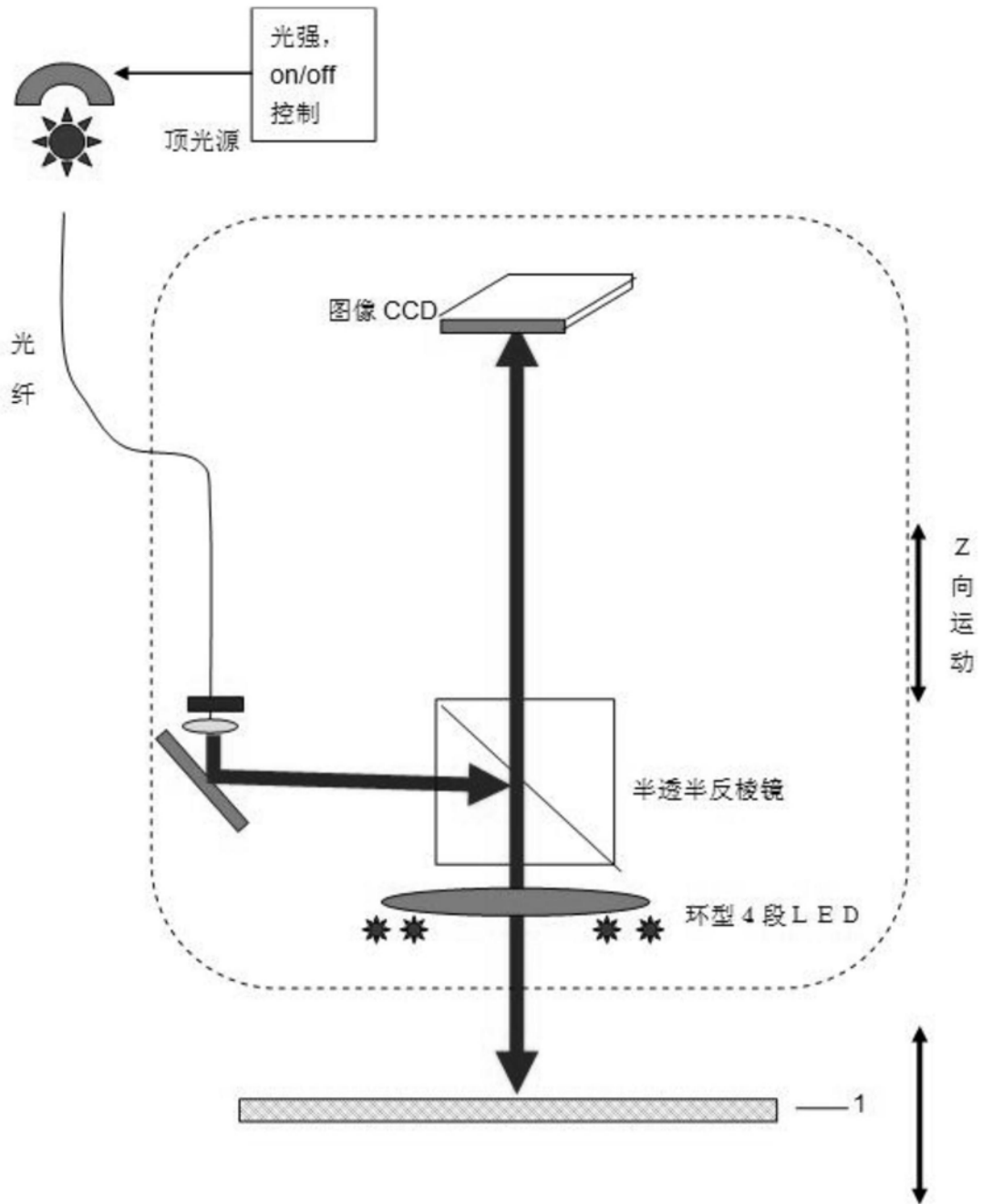


图3

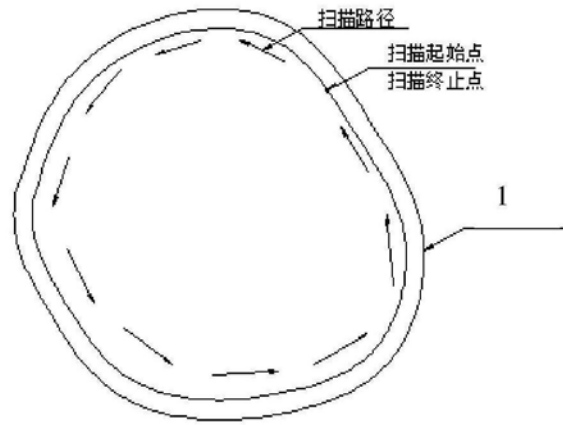


图4

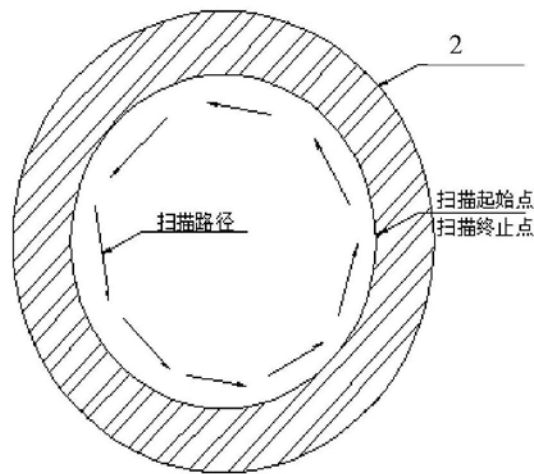


图5

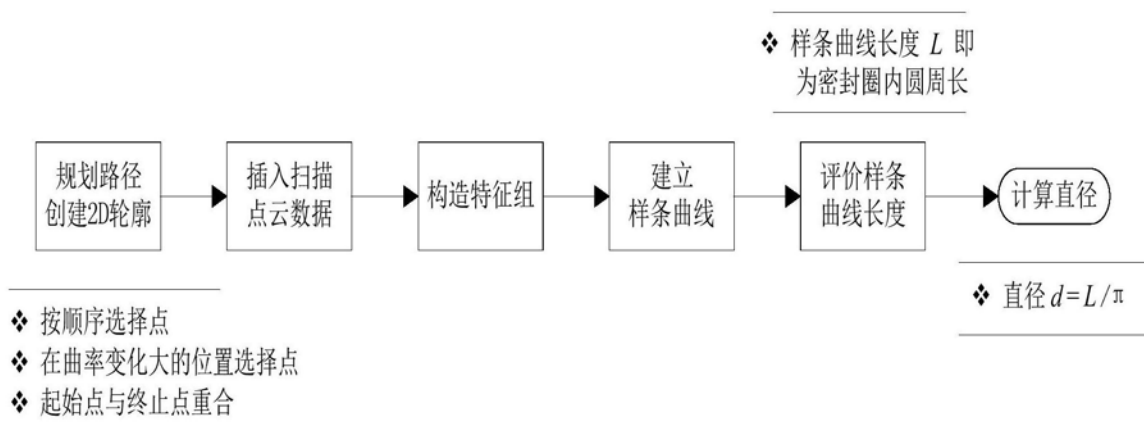


图6

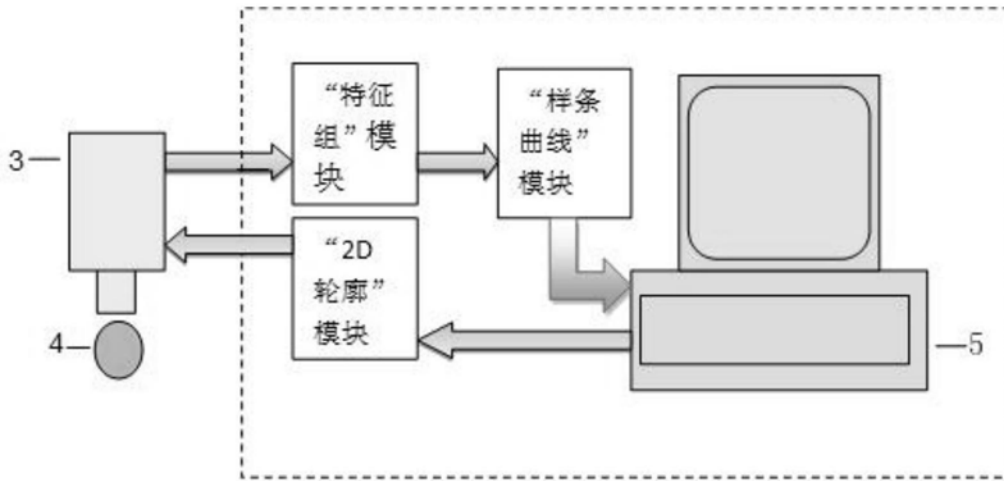


图7

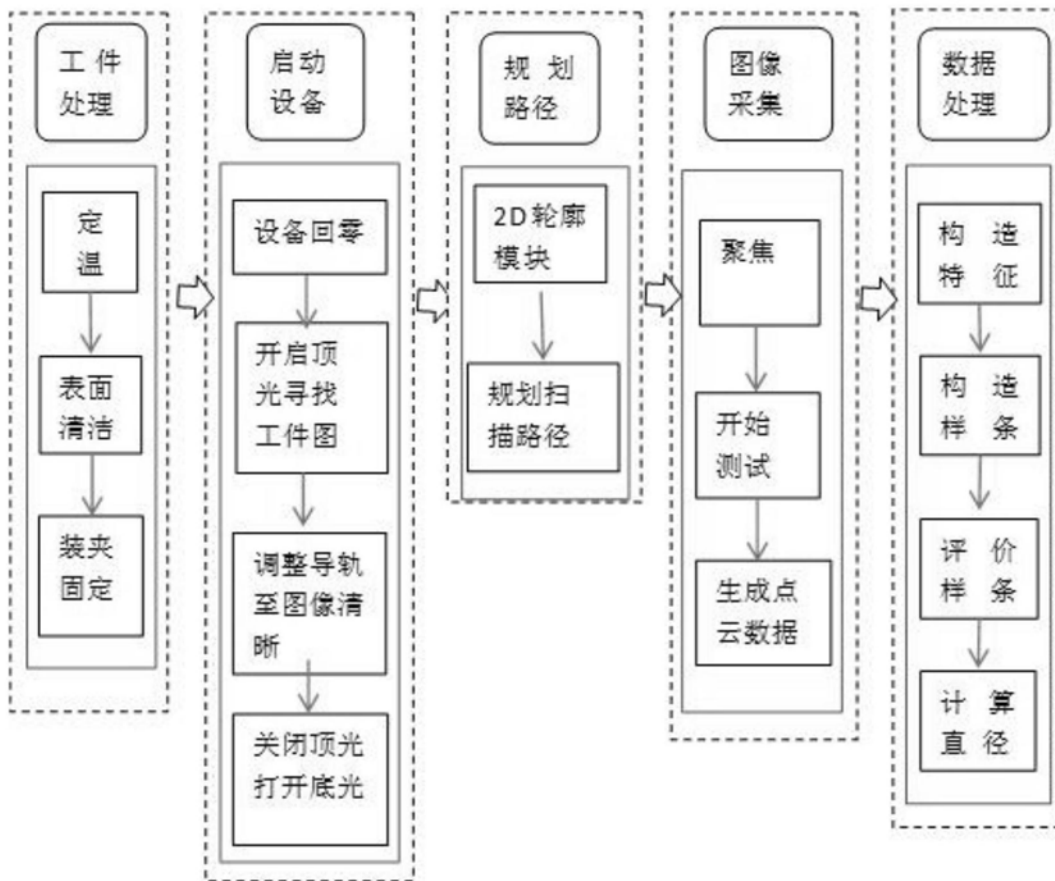


图8