



# (12)发明专利



(10)授权公告号 CN 105547172 B

(45)授权公告日 2018.05.01

(21)申请号 201610006388.5

(22)申请日 2016.01.06

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105547172 A

(43)申请公布日 2016.05.04

(73)专利权人 上海大学

地址 200444 上海市宝山区上大路99号

(72)发明人 刘东东 谈士力 陈浩 李宝瑞

(74)专利代理机构 上海上大专利事务所(普通合伙) 31205

代理人 陆聪明

(51)Int.Cl.

G01B 11/08(2006.01)

G01B 11/14(2006.01)

(56)对比文件

CN 203881298 U,2014.10.15,

CN 102135776 A,2011.07.27,

CN 103940335 A,2014.07.23,

CN 102706277 A,2012.10.03,

CN 101968341 A,2011.02.09,

US 2007/0050089 A1,2007.03.01,

US 2008/0111985 A1,2008.05.15,

审查员 陈良泽

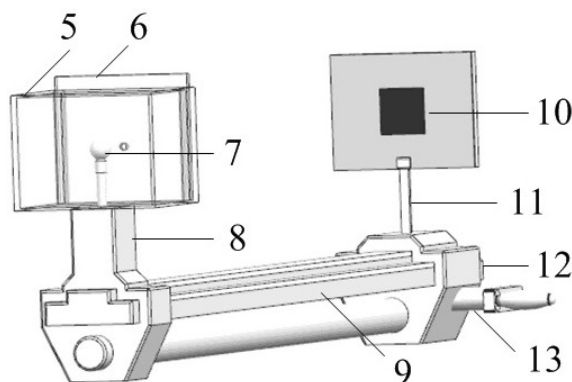
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统和方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统和方法。系统包括待检测机器人,检测用针,软性垫物,不透光黑纸,黑箱,带孔黑纸,点光源,黑箱支撑架,导轨,光电池阵列,光电池支撑架,移动平台,导轨摇把,光电流检测仪和单片机显示系统。本方法先确定测量系统的测量精度,再确定待检测机器人的重复精度。本发明装置结构简单,实施方便,检测成本低,精度高。本发明方法根据光照放大原理,通过测量带孔黑纸上的孔径以及孔间距,最终得到该工业机器人末端执行器的重复精度。



1. 一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统,其特征在于,包括待检测机器人(1),检测用针(2),软性垫物(3),不透光黑纸(4),黑箱(5),带孔黑纸(6),点光源(7),黑箱支撑架(8),导轨(9),光电池阵列(10),光电池支撑架(11),移动平台(12),导轨摇把(13),光电流检测仪(14)和单片机显示系统(15);所述检测用针(2)安装在待检测机器人(1)的末端执行器上,所述不透光黑纸(4)平整地固定在软性垫物(3)上,检测用针(2)的安装方向与不透光黑纸(4)保持垂直,移动末端执行器,使得检测用针(2)作用在不透光黑纸(4)上后形成带孔黑纸(6);所述黑箱(5)固定在黑箱支撑架(8)上,点光源(7)安装在黑箱(5)的中心处,所述黑箱(5)的前侧面开口,开口端的两侧设有插槽,所述带孔黑纸(6)插于插槽内固定;所述黑箱支撑架(8)安装在导轨(9)的一端,所述移动平台(12)安装在导轨(9)上,通过导轨摇把(13)带动沿导轨(9)水平移动;所述光电池阵列(10)通过光电池支撑架(11)安装在移动平台(12)上,光电池阵列(10)的中心与点光源(7)的高度相同;所述光电流检测仪(14)和单片机显示系统(15)连接在一起,安装在光电池阵列(10)的背面。

2. 一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1,将检测用针(2)固定在待检测机器人(1)的末端执行器上,安装方向与不透光黑纸(4)垂直,移动末端执行器,使检测用针(2)能够刺透不透光黑纸(4),重复执行n次步骤1,  $n=50$ ,执行时保证每一个针刺的小孔不重叠,形成带孔黑纸(6);

步骤2,确定测量系统的测量精度:将步骤1的带孔黑纸(6)插入到黑箱(5)的插槽内固定,关闭室内灯光,打开点光源(7),转动导轨摇把(13)带动移动平台(12)沿导轨(9)移动,使得点光源(7)通过带孔黑纸(6)射出的所有光线都能投射到光电池阵列(10)上形成光斑,光电流检测仪(14)接收到光信号后转化为电信号传递给单片机显示系统(15),读取单片机显示系统(15)的读数 $i_2$ ;撤出带孔黑纸(6),使点光源(7)射出的光线直接投射到光电池阵列(10)上,再读取单片机显示系统(15)的读数 $i$ ;则此时满足关系式

$$\frac{i_2}{i} = \frac{S_2}{S} \quad (1)$$

其中 $S_2$ 表示有带孔黑纸(6)时,点光源(7)通过带孔黑纸(6)射出的所有光线投射到光电池阵列(10)上形成所有光斑的面积之和, $S$ 表示撤出带孔黑纸(6),点光源(7)射出的光线直接投射到光电池阵列(10)上的面积;

则求得光电池阵列(10)上一个光斑的面积为:

$$S_3 = S_2/n \quad (2)$$

以及光电池阵列(10)上一个光斑的直径为:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4S_3}{\pi}} \quad (3)$$

在导轨(9)上读取此时点光源(7)到光电池阵列(10)的距离 $l_2$ ,点光源(7)到带孔黑纸(6)的距离 $l_1$ 由黑箱(5)的大小决定;通过光照原理可得

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (4)$$

其中 $d_2$ 为光电池阵列(10)上一个光斑的直径, $d_1$ 为带孔黑纸(6)上一个孔的直径;

求得一个小孔直径 $d_1$ :

$$d_1 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \sqrt{\frac{4}{n\pi} \cdot \frac{i_2}{i} \cdot S} \quad (5)$$

该小孔直径 $d_1$ 表明了测量系统的测量精度；

步骤3:重新换一张不透光黑纸(4),移动待检测机器人(1)末端执行器从空间任何一点到被测点,将检测用针(2)刺透不透光黑纸(4),重复执行 $n$ 次步骤3,此时不透光黑纸(4)上的小孔一定会有重叠的,形成带孔黑纸(6);

步骤4:确定待检测机器人(1)的重复精度 $\sigma$ :将步骤3的带孔黑纸(6)插入到黑箱(5)的插槽内固定,关闭室内灯光,打开点光源(7),转动导轨摇把(13)带动移动平台(12)沿导轨(9)移动,使得点光源(7)通过带孔黑纸(6)射出的所有光线都能投射到光电池阵列(10)上形成光斑,光电流检测仪(14)接收到光信号后转化为电信号传递给单片机显示系统(15),读取单片机显示系统(15)的读数 $i'_2$ ;撤出带孔黑纸(6),使点光源(7)射出的光线直接投射到光电池阵列(10)上,再读取单片机显示系统(15)的读数 $i$ ;则此时满足关系式

$$\frac{i'_2}{i} = \frac{S'_2}{S} \quad (6)$$

其中 $S'_2$ 表示有带孔黑纸(6)时,点光源(7)通过带孔黑纸(6)射出的所有光线投射到光电池阵列(10)上形成所有光斑的面积之和;

由于有些小孔是重叠甚至重合的,所以 $S'_2 < S_2$ ;最后计算出重复精度 $\sigma = \frac{S'_2}{S_2}$ , $\sigma$ 值越小表明重复精度越高;理想情况下,如果所有孔都是重合的,则理想重复精度 $\sigma' = \frac{S'_2}{nS_2}$ 。

## 基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 近年来由于老龄化程度加剧,适龄工作人口减少,导致了我国劳动力成本上升,人口红利急剧下降,工业产品的国际竞争力下降。工业机器人作为减少工作人员,提高工作效率,降低劳动强度的有力武器,被越来越多的应用于工业生产的各个环节。

[0003] 为了更好的适应多变的工作环境和对象,人们设计了种类繁多,结构各异的工业机器人,对机器人的各项性能也提出来更高的要求。机器人末端执行器重复精度是机器人综合性能指标中最重要的指标之一,它体现了机器人末端执行器多次从空间内任何一点到空间内固定点的精确定位能力。由于定位要求精度极高,某些工业机器人(如SCARA机器人)对重复精度要求达到0.01mm,所以对该指标的测量一直比较困难。市场上一般采用摄像机摄像的方法对末端执行器进行跟踪定位,然后提取录像中每一帧的图像,对其进行比较,计算出单位时间内目标移动的像素个数,从而得到末端执行器的位置信息;这种方法需要手工编程,其测量精度容易受到摄像机分辨率、拍摄位置、光照强度等因素的影响。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术存在的缺陷,本发明的目的是提供一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统和方法。使其在测量精度、操作性和测量成本上都能够满足工业现场的需要。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统,包括待检测机器人,检测用针,软性垫物,不透光黑纸,黑箱,带孔黑纸,点光源,黑箱支撑架,导轨,光电池阵列,光电池支撑架,移动平台,导轨摇把,光电流检测仪和单片机显示系统;所述检测用针安装在待检测机器人的末端执行器上,所述不透光黑纸平整地固定在软性垫物上,检测用针的安装方向与不透光黑纸保持垂直,移动末端执行器,使得检测用针作用在不透光黑纸上后形成带孔黑纸;所述黑箱固定在黑箱支撑架上,点光源安装在黑箱的中心处,所述黑箱的前侧面开口,开口端的两侧设有插槽,所述带孔黑纸插于插槽内固定;所述黑箱支撑架安装在导轨的一端,所述移动平台安装在导轨上,通过导轨摇把带动沿导轨水平移动;所述光电池阵列通过光电池支撑架安装在移动平台上,光电池阵列的中心与点光源的高度相同;所述光电流检测仪和单片机显示系统连接在一起,安装在光电池阵列的背面。

[0007] 一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤1,将检测用针固定在待检测机器人的末端执行器上,安装方向与不透光黑纸垂直,移动末端执行器,使检测用针能够刺透不透光黑纸,重复执行n次步骤1,执行时保证每一个针刺的小孔不重叠,形成带孔黑纸;

[0009] 步骤2,确定测量系统的测量精度:将步骤1的带孔黑纸插入到黑箱的插槽内固定,

关闭室内灯光,打开点光源,转动导轨摇把带动移动平台沿导轨移动,使得点光源通过带孔黑纸射出的所有光线都能投射到光电池阵列上形成光斑,光电流检测仪接收到光信号后转化为电信号传递给单片机显示系统,读取单片机显示系统的读数 $i_2$ ;撤出带孔黑纸,使点光源射出的光线直接投射到光电池阵列上,再读取单片机显示系统的读数 $i$ ;则此时满足关系式

$$[0010] \quad \frac{i_2}{i} = \frac{S_2}{S} \quad (1)$$

[0011] 其中 $S_2$ 表示有带孔黑纸时,点光源通过带孔黑纸射出的所有光线投射到光电池阵列上形成所有光斑的面积之和, $S$ 表示撤出带孔黑纸,点光源射出的光线直接投射到光电池阵列上的面积;

[0012] 则求得光电池阵列上一个光斑的面积为:

$$[0013] \quad S_3 = S_2/n \quad (2)$$

[0014] 以及光电池阵列上一个光斑的直径为:

$$[0015] \quad d_2 = \sqrt{\frac{4S_3}{\pi}} \quad (3)$$

[0016] 在导轨上读取此时点光源到光电池阵列的距离 $l_2$ ,点光源到带孔黑纸的距离 $l_1$ 由黑箱的大小决定;通过光照原理可得

$$[0017] \quad \frac{l_2}{l_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (4)$$

[0018] 其中 $d_2$ 为光电池阵列上一个光斑的直径, $d_1$ 为带孔黑纸上一个小孔的直径;

[0019] 求得一个小孔直径 $d_1$ :

$$[0020] \quad d_1 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \sqrt{\frac{4}{n\pi} \cdot \frac{i_2}{i} \cdot S} \quad (5)$$

[0021] 该孔径 $d_1$ 表明了测量系统的测量精度;

[0022] 步骤3:重新换一张不透光黑纸,移动待检测机器人末端执行器从空间任何一点到被测点,将检测用针刺透不透光黑纸,重复执行 $n$ 次步骤3,此时不透光黑纸上的小孔一定会有重叠的,形成带孔黑纸;

[0023] 步骤4:确定待检测机器人的重复精度 $\sigma$ :将步骤3的带孔黑纸插入到黑箱的插槽内固定,关闭室内灯光,打开点光源,转动导轨摇把带动移动平台沿导轨移动,使得点光源通过带孔黑纸射出的所有光线都能投射到光电池阵列上形成光斑,光电流检测仪接收到光信号后转化为电信号传递给单片机显示系统,读取单片机显示系统的读数 $i'_2$ ;撤出带孔黑纸,使点光源射出的光线直接投射到光电池阵列上,再读取单片机显示系统的读数 $i$ ;则此时满足关系式

$$[0024] \quad \frac{i'_2}{i} = \frac{S'_2}{S} \quad (6)$$

[0025] 其中 $S'_2$ 表示有带孔黑纸时,点光源通过带孔黑纸射出的所有光线投射到光电池阵列上形成所有光斑的面积之和;

[0026] 由于有些小孔是重叠甚至重合的,所以 $S'_2 < S_2$ ;最后计算出重复精度 $\sigma = \frac{S'_2}{S_2}$ ,  $\sigma$ 值

越小表明重复精度越高;理想情况下,如果所有孔都是重合的,则理想重复精度 $\sigma' = \frac{S'_2}{nS_2}$ 。

[0027] 与现有技术相比,本发明具有如下突出的实质性特点和显著的优点:

[0028] 本发明装置结构简单,实施方便,检测成本低,精度高。本发明方法根据光照放大原理,通过测量带孔黑纸上的孔径以及孔间距,最终得到该工业机器人末端执行器的重复精度。

## 附图说明

[0029] 图1为工业机器人带针示意图。

[0030] 图2为光照检测装置示意图。

[0031] 图3为光电流检测仪和单片机显示系统示意图。

[0032] 图4为光照原理示意图。

## 具体实施方式

[0033] 下面结合附图,对本发明的具体实施例做进一步的说明。

[0034] 如图1至图3所示,一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的系统,包括待检测机器人1,检测用针2,软性垫物3,不透光黑纸4,黑箱5,带孔黑纸6,点光源7,黑箱支撑架8,导轨9,光电池阵列10,光电池支撑架11,移动平台12,导轨摇把13,光电流检测仪14和单片机显示系统15;所述检测用针2安装在待检测机器人1的末端执行器上,所述不透光黑纸4平整地固定在软性垫物3上,检测用针2的安装方向与不透光黑纸4保持垂直,移动末端执行器,使得检测用针2作用在不透光黑纸4上后形成带孔黑纸6;所述黑箱5固定在黑箱支撑架8上,点光源7安装在黑箱5的中心处,所述黑箱5的前侧面开口,开口端的两侧设有插槽,所述带孔黑纸6插于插槽内固定;所述黑箱支撑架8安装在导轨9的一端,所述移动平台12安装在导轨9上,通过导轨摇把13带动沿导轨9水平移动;所述光电池阵列10通过光电池支撑架11安装在移动平台12上,光电池阵列10的中心与点光源7的高度相同;所述光电流检测仪14和单片机显示系统15连接在一起,安装在光电池阵列10的背面。

[0035] 如图4所示,所谓光照法实际上是利用小孔成像原理将被测小孔放大到方便测量的程度,点光源在A点发出光线,透过B点处的两个小孔,到达位于C点的屏幕上,则被测小孔

间距 $a$ 与屏幕上两光斑间距 $b$ 满足关系 $\frac{a}{b} = \frac{AB}{AC}$ , 线段AB和AC的长度可直接读出,光斑间距 $b$

可由测量得出,最终可计算得出被测小孔间距 $a$ 。

[0036] 基于上述原理,一种基于针刺光照法测量工业机器人重复精度的方法,包括如下步骤:

[0037] 步骤1,将检测用针2(直径约0.1mm)固定在待检测机器人1的末端执行器上,安装方向与不透光黑纸4垂直,移动末端执行器,使检测用针2能够刺透不透光黑纸4,重复执行50次步骤1,执行时保证每一个针刺的小孔不重叠,形成带孔黑纸6;

[0038] 步骤2,确定测量系统的测量精度:将步骤1的带孔黑纸6插入到黑箱5的插槽内固定;关闭室内灯光,打开点光源7(波长 $\lambda=780\text{nm}$ ),此时点光源7与带孔黑纸6的间距为 $1\text{cm}$ ;转动导轨摇把13带动移动平台12沿导轨9移动,使得点光源7通过带孔黑纸6射出的所有光线都能投射到光电池阵列10上形成光斑,这里采用HAMAMATSU公司出品的500片硅感光片(每片感光面积 $1.175\times 2$ ,每片间距 $0.4$ ,单位 $\text{mm}$ ,并联连接)组成的光电池阵列(面积 $400\times 480$ ,单位 $\text{mm}$ );通过导轨9读数可知,点光源7与光电池阵列10的间距为 $30\text{cm}$ ;光电流检测仪14接收到光信号后转化为电信号传递给单片机显示系统15,读取单片机显示系统15的读数 $i_2=10\text{mA}$ ;撤出带孔黑纸6,使点光源7射出的光线直接投射到光电池阵列10上,再读取单片机显示系统15的读数 $i=30\text{mA}$ ;则此时满足关系式

$$[0039] \quad \frac{i_2}{i} = \frac{S_2}{S} = 0.33 \quad (1)$$

[0040] 其中 $S_2$ 表示有带孔黑纸6时,点光源7通过带孔黑纸6射出的所有光线投射到光电池阵列10上形成所有光斑的面积之和, $S$ 表示撤出带孔黑纸6,点光源7射出的光线直接投射到光电池阵列10上的面积, $S=1.92\times 10^5\text{mm}^2$ ;这样可得 $S_2=0.33S=6.4\times 10^4\text{mm}^2$ 。

[0041] 则求得光电池阵列10上一个光斑的面积为:

$$[0042] \quad S_3=S_2/n=6.4\times 10^4/50=1280\text{mm}^2 \quad (2)$$

[0043] 以及光电池阵列10上一个光斑的直径为:

$$[0044] \quad d_2 = \sqrt{\frac{4S_3}{\pi}} = 40.4\text{mm} \quad (3)$$

[0045] 在导轨9上读取此时点光源7到光电池阵列10的距离 $l_2=30\text{cm}$ ,点光源7到带孔黑纸6的距离由黑箱5的大小决定, $l_1=1\text{cm}$ ;通过光照原理可得

$$[0046] \quad \frac{l_2}{l_1} = \frac{d_2}{d_1} = 0.033 \quad (4)$$

[0047] 其中 $d_2$ 为光电池阵列10上一个光斑的直径, $d_1$ 为带孔黑纸6上一个小孔的直径;

[0048] 求得一个小孔直径 $d_1$ :

$$[0049] \quad d_1 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \sqrt{\frac{4}{n\pi} \cdot \frac{i_2}{i} \cdot S} = 0.13\text{mm} \quad (5)$$

[0050] 该孔径 $d_1$ 表明了测量系统的测量精度;

[0051] 步骤3:重新换一张不透光黑纸4,移动待检测机器人1末端执行器从空间任何一点到被测点,将检测用针2刺透不透光黑纸4,重复执行50次步骤3,此时不透光黑纸4上的小孔一定会有重叠的,形成带孔黑纸6;

[0052] 步骤4:确定待检测机器人1的重复精度 $\sigma$ :将步骤3的带孔黑纸6插入到黑箱5的插槽内固定,关闭室内灯光,打开点光源7,转动导轨摇把13带动移动平台12沿导轨9移动,使得点光源7通过带孔黑纸6射出的所有光线都能投射到光电池阵列10上形成光斑,光电流检测仪14接收到光信号后转化为电信号传递给单片机显示系统15,读取单片机显示系统15的读数 $i'_2=6\text{mA}$ ;撤出带孔黑纸6,使点光源7射出的光线直接投射到光电池阵列10上,再读取单片机显示系统15的读数 $i=30\text{mA}$ ;则此时满足关系式

$$[0053] \quad \frac{i_2'}{i} = \frac{S_2'}{S} \quad (6)$$

[0054] 其中 $S_2'$ 表示有带孔黑纸6时,点光源7通过带孔黑纸6射出的所有光线投射到光电阵列10上形成所有光斑的面积之和,可知此时 $S_2' = 3.84 \times 10^4 \text{mm}^2$ ;

[0055] 由于有些小孔是重叠甚至重合的,所以 $S_2' < S_2$ ;最后计算出重复精度 $\sigma = \frac{S_2'}{S_2} = 0.6$ ,

$\sigma$ 值越小表明重复精度越高;理想情况下,如果所有孔都是重合的,则理想重复精度

$$\sigma' = \frac{S_2'}{nS_2} = 0.012。$$



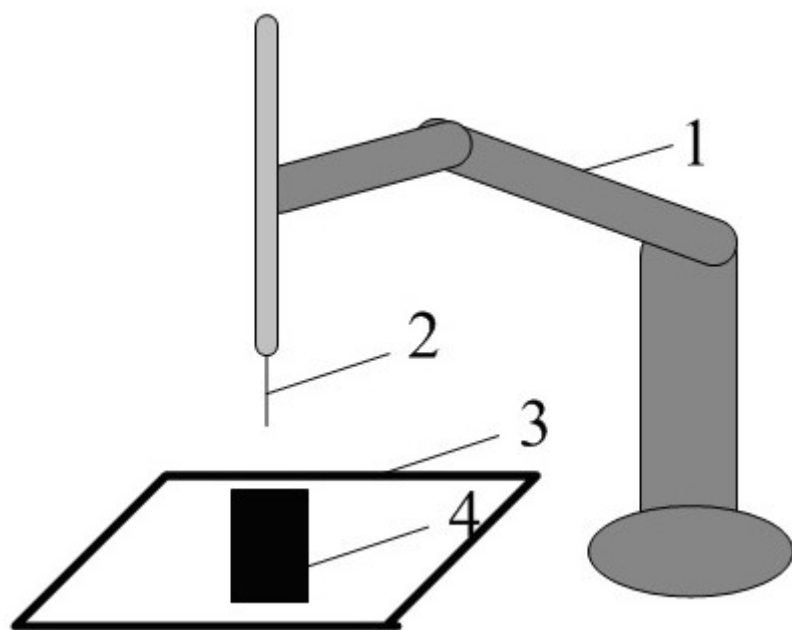


图1

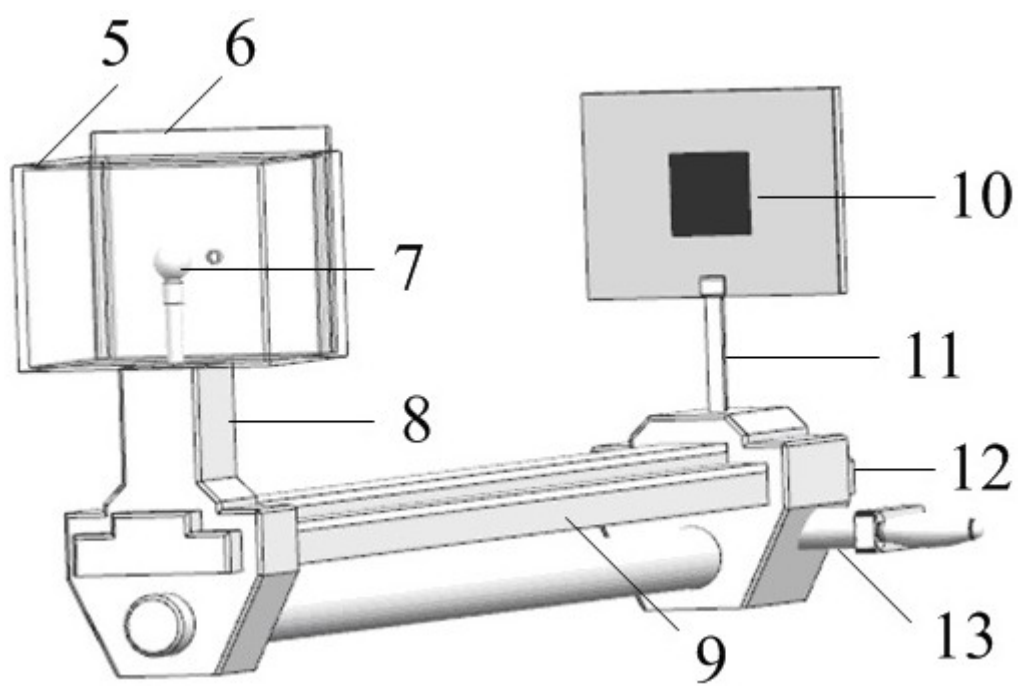


图2

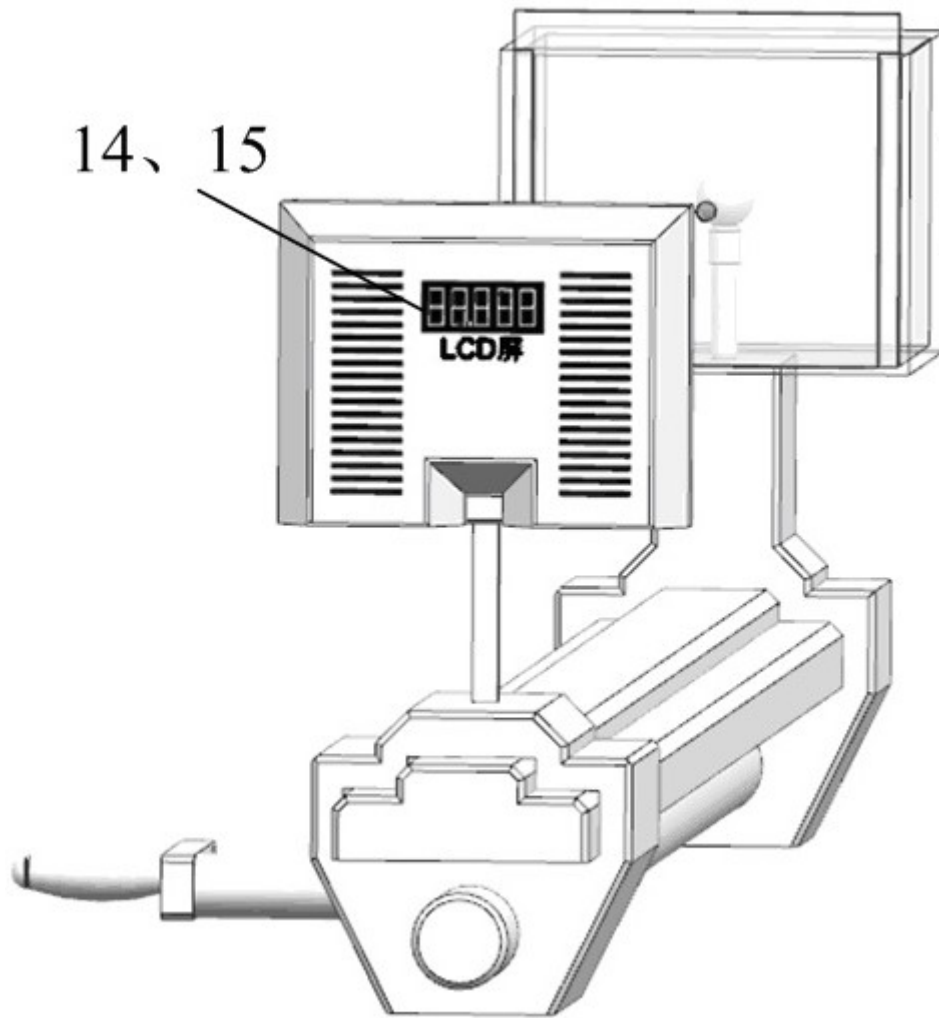


图3

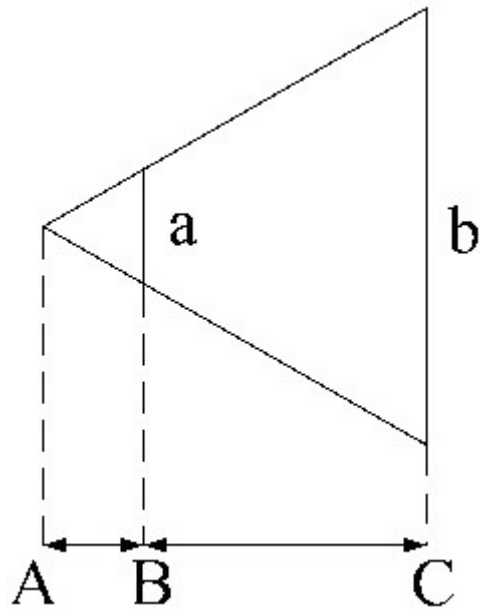


图4