



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104865316 B

(45)授权公告日 2017.12.05

(21)申请号 201510197709.X

(22)申请日 2015.04.23

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104865316 A

(43)申请公布日 2015.08.26

(73)专利权人 同济大学  
地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 潘永东 李立兵 张东波 仲政

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 宣慧兰

(51)Int.Cl.

G01N 29/06(2006.01)

G01N 29/265(2006.01)

(56)对比文件

CN 101103927 A,2008.01.16,

US 2014031688 A1,2014.01.30,

CN 103808802 A,2014.05.21,

M. Castaings,et al.Single Sided

Inspection of Composite Materials Using Air Coupled Ultrasound.《Journal of Nondestructive Evaluation》.1998,第17卷(第1期),

李立兵 等.基于MATLAB空气耦合超声无损检测实验装置.《声学技术》.2014,第33卷(第4期),

常俊杰 等.非接触空气耦合超声检测原理及应用研.《无损探伤》.2013,第37卷(第4期),

审查员 詹晨希

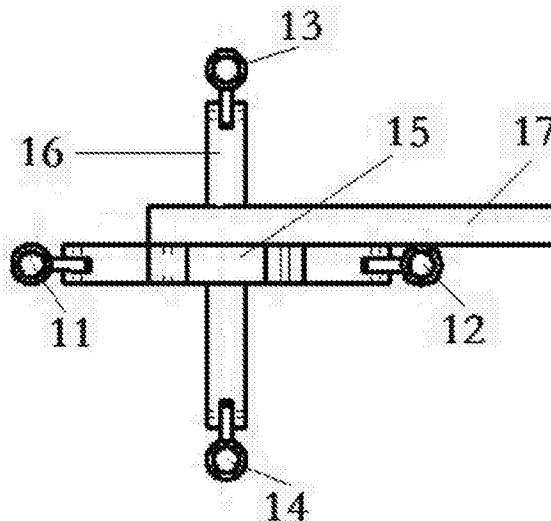
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种单侧空气耦合超声扫描成像装置

(57)摘要

本发明涉及一种单侧空气耦合超声扫描成像装置,用以进行物体内部的缺陷检测,该装置包括探头扫描架、在探头扫描架上同侧设置的一对平面发射探头和一对聚焦接收探头、前置放大器、脉冲发射接收器、信号采集与处理模块和计算机,所述的脉冲发射接收器与一对平面发射探头连接,所述的脉冲发射接收器通过前置放大器与一对聚焦接收探头连接,并且还通过信号采集与处理模块与计算机连接,所述的探头扫描架分别与计算机、脉冲发射接收器和信号采集与处理模块连接。与现有技术相比,本发明具有对焦方便、发射效率高、识别分辨率高等优点。



1. 一种单侧空气耦合超声扫描成像装置,用以进行物体内部的缺陷检测,其特征在于,包括探头扫描架(1)、在探头扫描架(1)上同侧设置的一对平面发射探头和一对聚焦接收探头、前置放大器(2)、脉冲发射接收器(3)、信号采集与处理模块(4)和计算机(5),所述的脉冲发射接收器(3)与一对平面发射探头连接,所述的脉冲发射接收器(3)通过前置放大器(2)与一对聚焦接收探头连接,并且还通过信号采集与处理模块(4)与计算机(5)连接,所述的探头扫描架(1)分别与计算机(5)、脉冲发射接收器(3)和信号采集与处理模块(4)连接,所述的探头扫描架(1)包括相互连接的探头安装架和扫描连接杆(17),所述的探头安装架呈十字型,其上的四个端部对应设有平面发射探头和聚焦接收探头,所述的探头安装架包括相互垂直连接的x向固定杆(15)和y向固定杆(16),所述的一对平面发射探头包括x向平面发射探头(11)和y向平面发射探头(12),所述的一对聚焦接收探头包括x向聚焦接收探头(13)和y向聚焦接收探头(14),所述的x向平面发射探头(11)和x向聚焦接收探头(13)设置在x向固定杆(15)的两端,所述的y向平面发射探头(12)和y向聚焦接收探头(14)设置在y向固定杆(16)的两端;

扫描检测时,计算机(5)发出扫描控制命令给探头扫描架(1),探头扫描架(1)扫描同时发出同步脉冲信号触发脉冲发射接收器(3)和信号采集与处理模块(4),接着脉冲发射接收器(3)产生高压脉冲信号,并激励探头扫描架(1)上的一对平面发射探头产生超声波,通过空气耦合将超声波导入被检试样内,同时探头扫描架(1)上的一对聚焦接收探头将接收到穿透过试样的衰减超声波信号,再经前置放大器(2)放大调理后,由采集与处理模块(4)数字化,最后再通过USB接口输入计算机(5),由计算机(5)完成对整个检测系统的控制和对超声波信号的处理和结果成像显示;

应用本单侧空气耦合超声扫描成像装置的扫描成像方法,包括以下步骤:

1) 连接系统:通过数据线将检测装置各部分连接完整并接通电源;

2) 调整探头:将被检试样固定在试样架上,调整在被检试样同侧的平面发射探头和聚焦接收探头的入射角,调整聚焦接收探头到试样表面的距离,使得聚焦接收探头的焦点落在试样表面上,所述的入射角为临界角,所述的聚焦接收探头到试样表面距离为20mm,所述的平面发射探头的中心频率包括50kHz、100kHz、200kHz和400kHz;

3) 确定扫描范围,具体包括以下步骤:

31) 在被检试样上确定一个矩形扫描范围,标记检测的起点以及终点,并将起点作为坐标零点;

32) 移动探头使得探头中心对准扫描范围的坐标零点,根据试样上的扫描范围,确定水平方向和垂直方向上探头的扫描距离,并将数值输入到扫描控制软件内;

4) 扫描被检试样:分别控制x向聚焦接收探头和y向聚焦接收探头在扫描范围内进行x向和y向扫描,扫描控制软件将x向聚焦接收探头和y向聚焦接收探头的分别率合成空间分辨率,并实时显示超声回波,当扫描结束后,探头自动回到坐标零点;

5) 信号处理与分析:通过系统检测软件对超声回波信号进行分析和处理,产生检测图像并显示。

2. 根据权利要求1所述的一种单侧空气耦合超声扫描成像装置,其特征在于,所述的采集与处理模块(4)与计算机(5)通过USB接口连接。

3. 根据权利要求1所述的一种单侧空气耦合超声扫描成像装置,其特征在于,所述的平

---

面发射探头和聚焦接收探头均为空气耦合探头。

## 一种单侧空气耦合超声扫描成像装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超声检测领域,尤其是涉及一种单侧空气耦合超声扫描成像装置。

### 背景技术

[0002] 超声检测是五大常规无损检测之一,由于它具有灵敏度高、穿透力强、指向性好、检测速度快、成本低、设备相对简单、对人体无害等一系列优点,因此在工业领域得到了广泛的应用。常规超声检测的方法是接触式,即在超声探头和待测试样之间必须用水或其他液体作为声耦合剂。使用耦合剂一方面增加了人为因素对结果的影响,另一方面很难满足工业自动化生产和质量控制的需要。空气耦合超声检测为非接触式无损检测,无需耦合剂,检测过程简单、方便,检测结果可避免人为耦合因素的影响。目前,国内外常采用一发一收的穿透法实现空气耦合超声检测方法,并实现了商用化的设备,能应用于复合材料、轮胎、混凝土、锂电池等内部缺陷无损检测。但透射法无法对比如管道、燃料箱等封闭的构件进行检测,同时对大型构件很难进行双侧的检测,因此如何实现构件的单侧空气耦合检测一直是研究的热点,目前公开的方法主要采用一对平面空气耦合探头,由声波临界角入射激发和接受板波或导波的方法来实现,但还没有商业化的设备应用,其主要存在问题是检测缺陷的分辨率不高,无法精确的检测出待检测物的内部信息。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种对焦方便、发射效率高、识别分辨率高的单侧空气耦合超声扫描成像装置。

[0004] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0005] 一种单侧空气耦合超声扫描成像装置,用以进行物体内部的缺陷检测,包括探头扫描架、在探头扫描架上同侧设置的一对平面发射探头和一对聚焦接收探头、前置放大器、脉冲发射接收器、信号采集与处理模块和计算机,所述的脉冲发射接收器与一对平面发射探头连接,所述的脉冲发射接收器通过前置放大器与一对聚焦接收探头连接,并且还通过信号采集与处理模块与计算机连接,所述的探头扫描架分别与计算机、脉冲发射接收器和信号采集与处理模块连接。

[0006] 所述的探头扫描架包括相互连接的探头安装架和扫描连接杆,所述的探头安装架呈十字型,其上的四个端部对应设有平面发射探头和聚焦接收探头。

[0007] 所述的探头安装架包括相互垂直连接的x向固定杆和y向固定杆,所述的一对平面发射探头包括x向平面发射探头和y向平面发射探头,所述的一对聚焦接收探头包括x向聚焦接收探头和y向聚焦接收探头,所述的x向平面发射探头和x向聚焦接收探头设置在x向固定杆的两端,所述的y向平面发射探头和y向聚焦接收探头设置在y向固定杆的两端。

[0008] 所述的采集与处理模块与计算机通过USB接口连接。

[0009] 所述的平面发射探头和聚焦接收探头均为空气耦合探头。

[0010] 一种单侧空气耦合超声扫描成像方法,包括以下步骤:

- [0011] 1) 连接系统:通过数据线将检测装置各部分连接完整并接通电源;
- [0012] 2) 调整探头:将被检试样固定在试样架上,调整在被检试样同侧的平面发射探头和聚焦接收探头的入射角,调整聚焦接收探头到试样表面的距离,使得聚焦接收探头的焦点落在试样表面上;
- [0013] 3) 确定扫描范围,具体包括以下步骤:
- [0014] 31) 在被检试样上确定一个矩形扫描范围,标记检测的起点以及终点,并将起点作为坐标零点;
- [0015] 32) 移动探头使得探头中心对准扫描范围的坐标零点,根据试样上的扫描范围,确定水平方向和垂直方向上探头的扫描距离,并将数值输入到扫描控制软件内;
- [0016] 4) 扫描被检试样:控制探头在扫描范围内进行自动扫描,扫描控制软件实时显示超声回波,当扫描结束后,探头自动回到坐标零点;
- [0017] 5) 信号处理与分析:通过系统检测软件对超声回波信号进行分析和处理,产生检测图像并显示。
- [0018] 所述的步骤2)中的入射角为临界角。
- [0019] 所述的步骤2)中聚焦接收探头到试样表面距离为20mm。
- [0020] 所述的步骤2)中的平面发射探头的中心频率包括50kHz、100kHz、200kHz和400kHz。
- [0021] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:
- [0022] 一、对焦方便:采用平面发射探头和聚焦接收探头,完成超声波激发和接收,对焦方便。
- [0023] 二、发射效率高:本发明中的平面发射探头的发射中心频率包括50kHz、100kHz、200kHz和400kHz,发射频率高,穿透能力强,采用空气耦合接收的分辨率和灵敏度高。
- [0024] 三、识别分辨率高:本发明同时采用x向和y向的平面发射探头和聚焦接收探头,同时进行x向和y向的双通道垂直布置测量,保证了缺陷识别的空间分辨率。
- [0025] 四、单侧检测适用性高:本发明不同于双侧检测(声波通过透过试样实现成像反差),能够通过试样同侧激发和检测导波来实现成像反差,能对透射式检测方法无法探测的封闭结构,如燃料箱等中空构件进行缺陷扫查,其适用性大大提高。

## 附图说明

- [0026] 图1为本发明成像装置的结构示意图。
- [0027] 图2为探头扫描架的主视结构示意图。
- [0028] 图3为探头扫描架的俯视结构示意图。
- [0029] 图4为铝板试样检测结构示意图。
- [0030] 图5为铝板试样一对x水平探头的检测结果图。
- [0031] 图6为铝板试样一对y垂直探头的检测结果图。
- [0032] 图7为铝板试样x y探头数据合成的检测结果图。
- [0033] 其中,1、探头扫描架,2、前置放大器,3、脉冲发射接收器,4、信号采集与处理模块,5、计算机,11、x向平面发射探头,12、y向平面发射探头,13、x向聚焦接收探头,14、y向聚焦接收探头,15、x向固定杆,16、y向固定杆,17、扫描连接杆。

## 具体实施方式

[0034] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0035] 实施例：

[0036] 如图1所示，一种单侧空气耦合超声扫描成像装置，用以进行物体内部的缺陷检测，包括探头扫描架1、在探头扫描架1上同侧设置的一对平面发射探头和一对聚焦接收探头、前置放大器2、脉冲发射接收器3、信号采集与处理模块4和计算机5，脉冲发射接收器3与一对平面发射探头连接，脉冲发射接收器3通过前置放大器2与一对聚焦接收探头连接，并且还通过信号采集与处理模块4与计算机5连接，探头扫描架1分别与计算机5、脉冲发射接收器3和信号采集与处理模块4连接，计算机5内的基于MATLAB系统检测软件用于多通道数据采集、滤波、时域与频域分析及深度补偿，信号处理和分析功能强，便于两次开发。

[0037] 如图2和3所示，探头扫描架1包括相互连接的探头安装架和扫描连接杆17，探头安装架呈十字型，其上的四个端部对应设有平面发射探头和聚焦接收探头，探头安装架包括相互垂直连接的x向固定杆15和y向固定杆16，一对平面发射探头包括x向平面发射探头11和y向平面发射探头12，一对聚焦接收探头包括x向聚焦接收探头13和y向聚焦接收探头14，x向平面发射探头11和x向聚焦接收探头13设置在x向固定杆15的两端，y向平面发射探头12和y向聚焦接收探头14设置在y向固定杆16的两端。

[0038] 首先计算机5发出扫描控制命令给探头扫描架1，探头扫描架1扫描同时发出同步脉冲信号触发脉冲发射接收器3和信号采集与处理模块4，接着脉冲发射接收器3产生高压脉冲信号，并激励探头扫描架1上的x向平面发射探头11和y向平面发射探头12产生超声波，通过空气耦合将超声波导入被检试样内，同时探头扫描架1上的x向聚焦接收探头13和y向聚焦接收探头14将接收到穿透过试样的衰减超声波信号，再经前置放大器2放大调理后，由采集与处理模块4数字化，最后再通过USB接口输入计算机5，由基于MATLAB的系统检测软件完成对整个检测系统的控制和对超声波信号的处理和结果显示。

[0039] 本实施例为一种单侧式空气耦合超声扫描成像方法检测系统检测铝板试样，图4为5mm厚铝板试样检测示意图，铝板上有一个 $\Phi 6.5$ 通孔的人工缺陷，具体检测过程为：

[0040] 1) 连接系统：通过数据线将检测装置各部分连接完整，通电；

[0041] 2) 调整探头：将被检试样固定在试样架上，调整平面发射探头和聚焦接收探头的入射角至临界角，调整聚焦接收探头到试样表面的距离，使得聚焦接收探头的焦点落在试样表面上，调整平面发射探头到试样表面距离为20mm。

[0042] 3) 确定扫描范围：围绕 $\Phi 6.5$ 通孔，画一个50mm×50mm矩形，并做好起点和终点标记，然后移动探头使得探头中心对准扫描范围起点标记点，并定为坐标零点，根据试样上的扫描范围，确定水平方向和垂直方向上探头扫描距离，并将数值输入到扫描控制软件内。

[0043] 4) 检测被检试样：点击扫描控制开始，探头将在扫描范围内自动扫描，软件可实时显示超声回波，扫描结束，探头自动回到扫描零点。

[0044] 5) 信号处理与分析：通过系统检测软件对超声回波信号进行分析和处理，检测结果如图5-7。

[0045] 从图5中可以看出，在Y坐标20~25mm处有明显条状缺陷，宽为6.5mm与试样人工孔的直径完全吻合，X坐标5~45mm间长为40mm与水平x方向两探头间距40mm吻合，可反映该组

探头对缺陷检测灵敏度高,和Y向的分辨率及定位准确。

[0046] 从图6中可以看出,在Y坐标20-25mm处有明显条状缺陷,宽为6.5mm与试样人工孔的直径完全吻合,在X坐标5~45mm处长为40mm与垂直y方向两探头间距40mm吻合,可反映该垂直探头组对缺陷检测灵敏度高,和X向的分辨率及定位准确。

[0047] 对水平和垂直探头组数据进行融合处理,可得图7的检测结果图。图中缺陷的大为直径6.5mm孔,位置与试样人工缺陷位置完全吻合,进一步反映该方法单侧激发和检测超声波的能力,同时保证了缺陷的水平和垂直方向的分辨率。

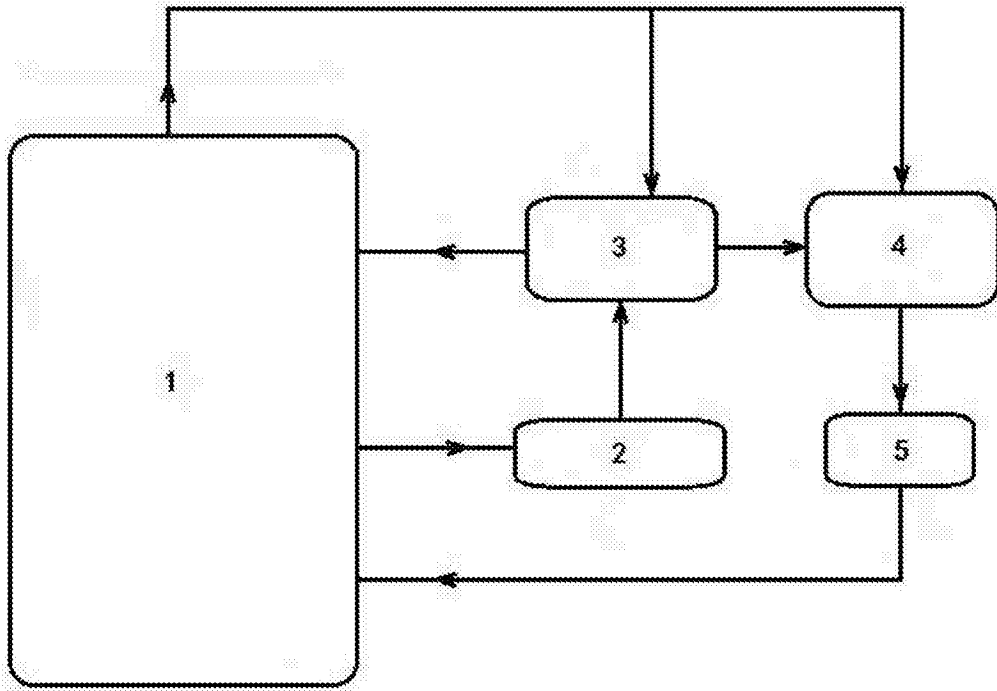


图1

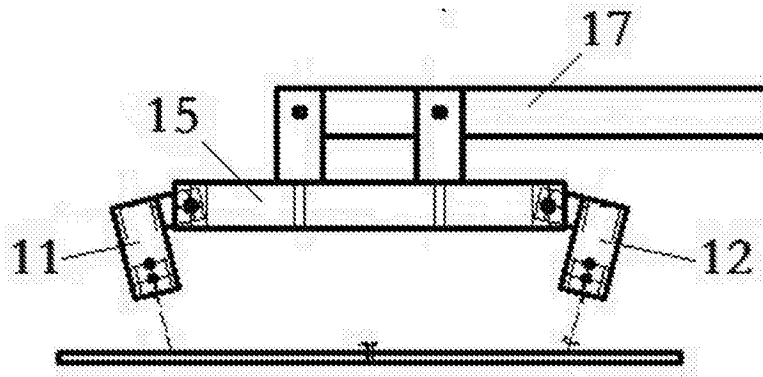


图2



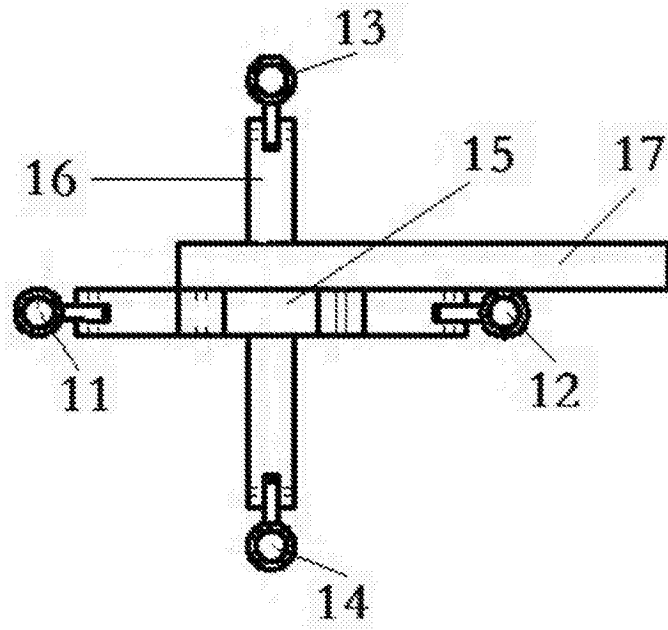


图3

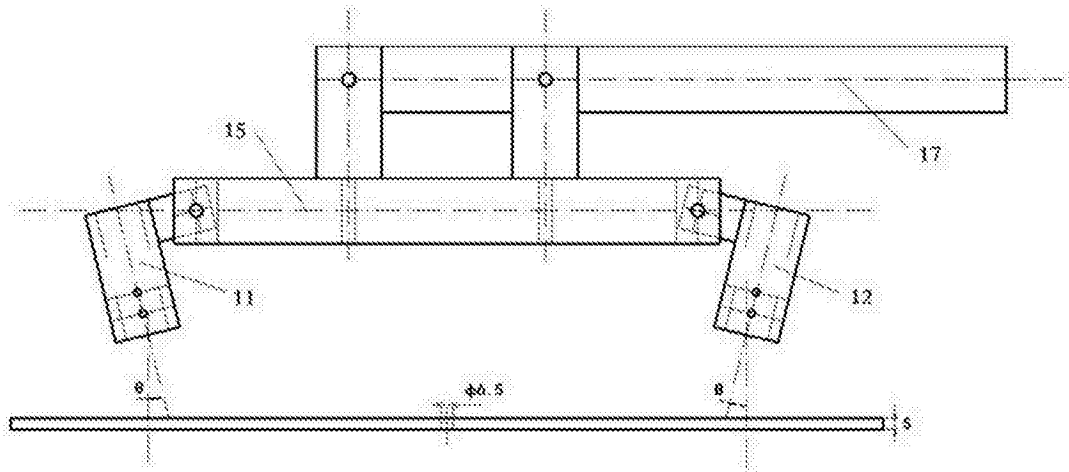


图4

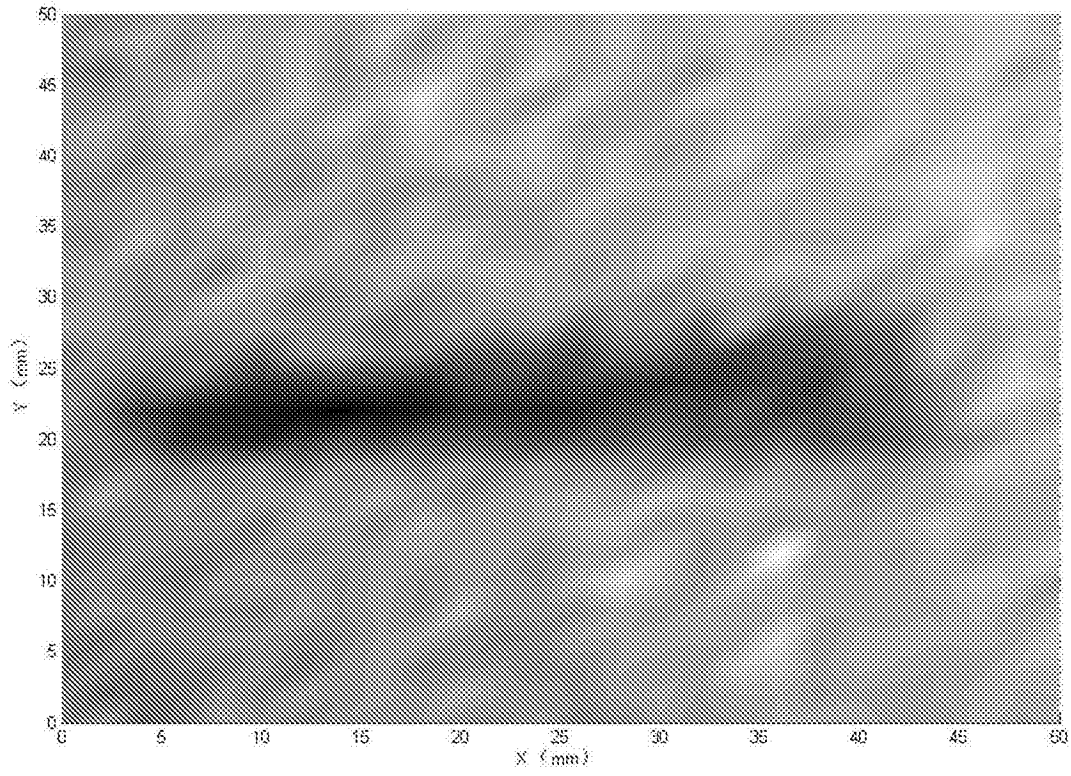


图5

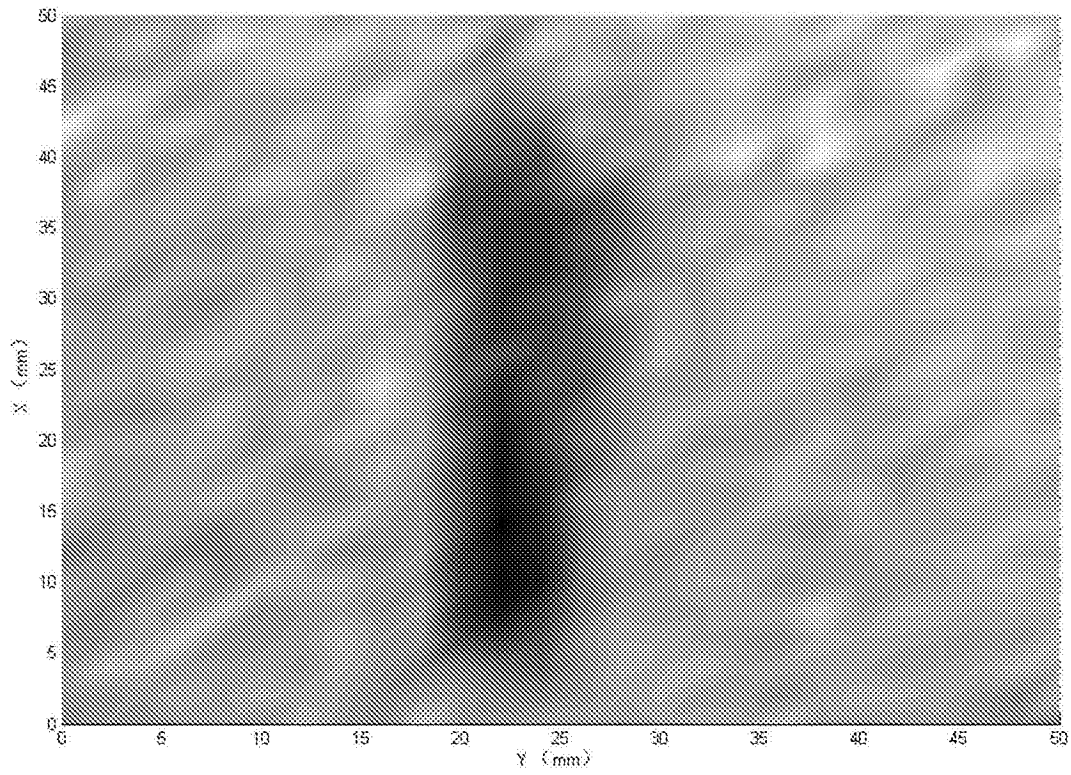


图6

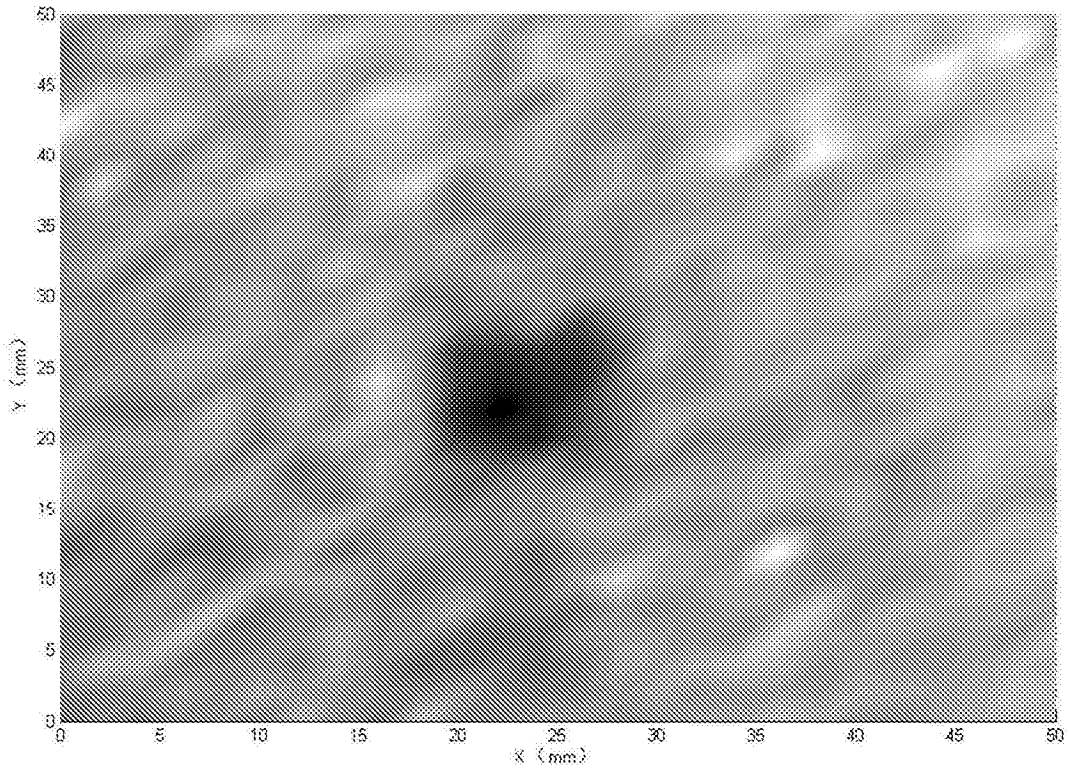


图7