



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114046858 A

(43) 申请公布日 2022. 02. 15

(21) 申请号 202111329198.4

(22) 申请日 2021.11.10

(71) 申请人 四川泛华航空仪表电器有限公司
地址 610500 四川省成都市新都工业东区
兴业路389号
申请人 四川大学

(72) 发明人 黄仕磊 贾先见 廖其林 廖俊必
甘芳吉

(74) 专利代理机构 成都君合集专利代理事务所
(普通合伙) 51228
代理人 尹新路

(51) Int. Cl.
G01F 23/2962 (2022.01)
G01F 23/64 (2006.01)

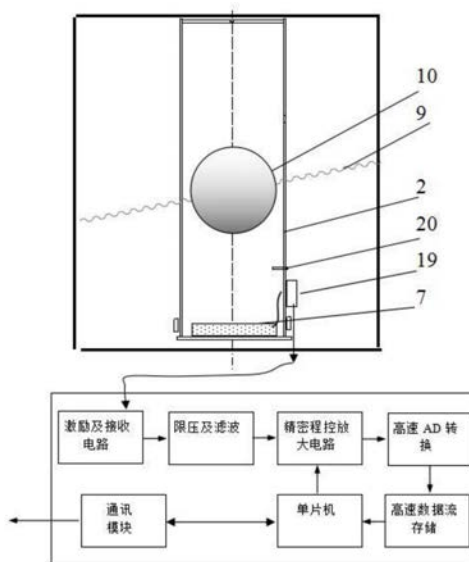
权利要求书3页 说明书13页 附图20页

(54) 发明名称

一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统及其运行方法

(57) 摘要

本发明提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统及其运行方法,通过设置圆球形的磁浮子,满足在各种倾斜状态下适用的超声波检测,并设置校准筒,通过校准筒中的校准压电片和校准反射块实现对不同液体和不同环境下的标准参数的测定,进而适应性实现对被测液体的精准测量。



1. 一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,安装在液体容器(1)中,与信号处理系统连接,用于对液体容器(1)中的被测液体(8)进行测量,其特征在于,包括竖直设置在液体容器(1)中的波导管(2),在波导管(2)的底部设置有保护底座(3);在波导管(2)的底部设置有保护底座(3),并在保护底座(3)上设置有安装在波导管(2)内并朝上发送超声波的测量压电片(7);所述波导管(2)的底侧设置通孔,所述被测液体(8)通过通孔流通在液体容器(1)和波导管(2)之间;

在波导管(2)内位于测量压电片(7)上方的位置设置有漂浮在被测液体(8)的液位面(9)上的浮球(10);

在所述波导管(2)上设置有温度测量及接线盒(19),所述温度测量及接线盒(19)与测量压电片及所述信号处理系统连接;

所述波导管(2)的内壁上设置有标准块(20);

所述信号处理系统包括依次连接的激励及接收电路、限压及滤波电路、精密程控放大电路、高速AD转换电路、高速AD转换电路、高速数据流存储电路、单片机模块、通讯模块;所述精密程控放大电路还与单片机模块连接;所述激励及接收电路与所述温度测量及接线盒(19)连接。

2. 如权利要求1所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,所述波导管(2)的管壁厚度为声波在波导管(2)传播波长的二分之一倍。

3. 如权利要求1所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,还包括匹配层(13),所述匹配层(13)设置在所述波导管(2)内位于测量压电片(7)上部位置处;

定义测量压电片(7)的特性阻抗为 Z_1 ,匹配层(13)的特性阻抗为 Z_2 ,被测液体(8)的特性阻抗为 Z_3 ,从测量压电片(7)透射到被测液体(8)中的声强的透射系数为 T ,声波在匹配层(13)中的波长为 λ_2 ,匹配层(13)的厚度为 d_1 ;

所述匹配层(13)的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$,匹配层(13)的厚度 $d_1 = (2n+1) \left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$,其中 n 为正整数;所述透射系数 $T=1$,透射系数 T 的计算公式如下:

$$T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right)}$$

其中, ω 是超声波的角频率, c_2 是超声波在匹配层中的声速。

4. 一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,安装在液体容器(1)中,与信号处理系统连接,用于对液体容器(1)中的被测液体(8)进行测量,其特征在于,包括竖直设置在液体容器(1)中的波导管(2),在波导管(2)的底部设置有保护底座(3);在波导管(2)的底部设置有保护底座(3),并在保护底座(3)上设置有安装在波导管(2)内并朝上发送超声波的测量压电片(7);所述波导管(2)的底侧设置通孔,所述被测液体(8)通过通孔流通在液体容器(1)和波导管(2)之间;

在波导管(2)内位于测量压电片(7)上方的位置设置有漂浮在被测液体(8)的液位面(9)上的浮球(10);

在所述波导管(2)上设置有温度测量及接线盒(19),所述温度测量及接线盒(19)与测量压电片及所述信号处理系统连接;

所述波导管(2)的内壁上设置有标准块(20);

所述信号处理系统包括电源模块、稳压模块、温度采集模块、422通讯模块、有源时钟、自测试模块、缓冲模块、激励模块、超声波传感器、限幅并前置放大模块、增益带通滤波模块、一级程控放大模块、二级程控放大模块、低通滤波模块、AD模块、单片机;

所述稳压模块、温度采集模块、422通讯模块、有源时钟、自测试模块、缓冲模块、激励模块分别与所述单片机连接;

所述电源模块分别与稳压模块、激励模块连接;

所述激励模块依次连接超声波传感器、限幅并前置放大模块、增益带通滤波模块、一级程控放大模块、二级程控放大模块、低通滤波模块、AD模块、缓存模块。

5.如权利要求4所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,所述波导管(2)的管壁厚度为声波在波导管(2)传播波长的二分之一倍。

6.如权利要求4所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,还包括保护底座(3)和封口盖(11);所述封口盖(11)安装在波导管(2)的顶端,并与液体容器(1)的内部的顶端密封连接;

所述保护底座(3)为上端开口的筒状结构,所述保护底座(3)的底端与液体容器(1)的内部的底端密封连接,所述波导管(2)的底端从保护底座(3)的上端套接固定在波导管(2)内;

在所述保护底座(3)内部底端设置背衬层(12),所述测量压电片(7)设置在波导管(2)的底部且位于背衬层(12)的上方。

7.如权利要求6所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,所述背衬层(12)为球形钨粉和环氧树脂的混合物,且在球形钨粉和环氧树脂的混合物中还均匀掺杂有钢球;所述钢球的直径大小在0.3mm-0.7mm之间。

8.如权利要求4所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,还包括匹配层(13),所述匹配层(13)设置在所述波导管(2)内位于测量压电片(7)上部位置处;

定义测量压电片(7)的特性阻抗为 Z_1 ,匹配层(13)的特性阻抗为 Z_2 ,被测液体(8)的特性阻抗为 Z_3 ,从测量压电片(7)透射到被测液体(8)中的声强的透射系数为T,声波在匹配层(13)中的波长为 λ_2 ,匹配层(13)的厚度为 d_1 ;

所述匹配层(13)的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$,匹配层(13)的厚度 $d_1 = (2n+1)\left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$,其中n为正整数;所述透射系数 $T=1$,透射系数T的计算公式如下:

$$T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_1}{Z_1}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right)};$$

其中, ω 是超声波的角频率, c_2 是超声波在匹配层中的声速。

9.一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统的运行方法,基于权利要求4所述的一

种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,其特征在于,具体包括以下步骤:

步骤1:进行参数初始化;

步骤2:运行测试程序;

步骤3:进行自测试,输出自测试结果,包括三种情况:输出测试标志、自测试结果有误、自测试结果正确;当自测试结果有误时,反馈测试结果超标,重置测试参数,重新进行测试;

步骤4:当自测试结果正确时,进行自增益判断流程;

步骤5:当自增益判断为增益不恰当,启动自增益算法,重新进行判断;

步骤6:当自增益判断为增益恰当时,进行高低液位区的识别,识别结果分为低液位区和高液位区,然后对应进行低液位区参数设置或者高液位区参数设置;

步骤7:在进行低液位区参数设置或者高液位区参数设置后,触发激励信号;

步骤8:进行激励和数据采样;

步骤9:对采样数据进行中值滤波操作、零点对齐取绝对值操作和半波检波操作,得到处理后的采样数据;

步骤10:重复进行步骤8和步骤9多次,将多次得到的处理后的采样数据进行波形的叠加处理,然后进行高次波滤波处理;

步骤11:将高次波滤波处理后的采样数据依次进行均值递推滤波和卡尔曼滤波操作;

步骤12:在进行了均值递推滤波和卡尔曼滤波操作后,分别进行斜率法特征点识别和相关算法特征点识别;然后将斜率法特征点识别和相关算法特征点识别的特征点进行特征点判断;

步骤13:根据步骤6高液位区和低液位区的识别分别进行以下操作:

对于低液位区的采样数据对应的特征点,采用等差数列法进行处理;

对于高液位区的采样数据对应的特征点,采用排位法进行处理;

步骤14:对于采用等差数列法进行处理的超声波的采样数据,结合温度信号进行声速校正;

对于采用排位法进行处理的超声波的采样数据,结合标准块反射的超声波信号和温度信号进行声速校正;

步骤15:对进行声速校正后的数据进行液位判断;

步骤16:对进行液位判断后的机械盲区和浮球进行修正得到具体的液位值;

步骤17:对液位值的测量结果进行卡尔曼滤波和连续性判断,对连续性判断为不合格的液位值判断为大翻滚姿态下的液位数据,作废;

步骤18:对连续性判断为合格的数据进行输出,作为测试出的液位高度数据。

10.如权利要求9所述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统的运行方法,其特征在于,所述步骤3:进行自测试的具体操作为:

开启自测试操作后分别进行硬件自测试和软件自测试;

所述硬件自测试包括供电电压测试、放大器测试、声波测量测试;在测试合格后输出测试标志符;

所述软件自测试包括算法测试,在测试合格后输出测试标志符。

一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统及其运行方法

技术领域

[0001] 本发明属于液位测量技术领域,具体地说,涉及一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统及其运行方法。

背景技术

[0002] 利用超声波的发射到反射的时间差原理测量液位的液位传感器已经在测控技术领域得到了比较广泛的应用。目前常见的技术方案有两种:

[0003] 1、超声波传感器置于被测液体上方,超声波通过空气到达液面,中间无障碍物。利用超声波在空气中发射到反射的时间差测得液位。这种方案的优点是非接触测量,但在使用上的局限性是:①当空气接近0℃时,产生和接收超声波的压电片将结霜,使测量失效;②当被测液体表面有波动和液体容器倾斜时,反射波反射路径将偏离定义的测量线,导致测量结果误差大甚至失效。这种传感器一般应用于地面固定,且温度为常温的情况下。

[0004] 2、超声波传感器置于测量筒内的底部,测量筒长度略大于液位最大高度,无跟踪液位面的浮子。测量筒在使用中需被垂直安装在被测液体底部,利用超声波在液体底部发射到液面反射的时间差测得液位。该方案一般用于机动性不大的客机上测量航空煤油液位(凝固点温度低于-55℃),精度较高。但对于一些特殊场合仍有局限性。例如机动性很强和姿态变化很大的运载工具,由于液体表面不垂直于测量线,反射波反射路径将偏离定义的测量线,导致测量结果误差大甚至失效。

[0005] 3、超声波传感器置于测量筒内的底部,测量筒内有跟踪液位面的浮子。浮子的几何形状为圆柱形。浮子的导向采用钢丝,内圆柱面或外圆柱面。测量时利用圆柱形浮子的下端面反射超声波。这种结构的浮子端面法线能始终对准超声波转换圈(14)的端面,即超声波通过的测量路径不受容器姿态、加速度和液体波动的影响而保持在定义的测量线上。但精度和稳定性以及可靠性有待于改善。原因是浮子在跟踪液位时,受导向机构导向副静摩擦力的影响,特别是在大倾斜以及大加速度的情况下,跟踪过程会产生卡滞现象,导致测量结果误差大甚至失效。

发明内容

[0006] 本发明针对现有技术的上述缺陷,提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统及其运行方法,通过设置圆球形的磁浮子,满足在各种倾斜状态下适用的超声波检测,并设置校准筒,通过校准筒中的校准压电片和校准反射块实现对不同液体和不同环境下的标准参数的测定,进而适应性实现对被测液体的精准测量。

[0007] 本发明具体实现内容如下:

[0008] 本发明提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,安装在液体容器中,与信号处理系统连接,用于对液体容器中的被测液体进行测量,所述超声波液位传感器系统包括竖直设置在液体容器中的波导管,在波导管的底部设置有保护底座;在波导管的底部设置有保护底座,并在保护底座上设置有安装在波导管内并朝上发送超声波的测量压电

片;所述波导管的底侧设置通孔,所述被测液体通过通孔流通在液体容器和波导管之间;

[0009] 在波导管内位于测量压电片上方的位置设置有漂浮在被测液体的液位面上的浮球;

[0010] 在所述波导管上设置有温度测量及接线盒,所述温度测量及接线盒与测量压电片及所述信号处理系统连接;

[0011] 所述波导管的内壁上设置有标准块;

[0012] 所述信号处理系统包括依次连接的激励及接收电路、限压及滤波电路、精密程控放大电路、高速AD转换电路、高速AD转换电路、高速数据流存储电路、单片机模块、通讯模块;所述精密程控放大电路还与单片机模块连接;所述激励及接收电路与所述温度测量及接线盒连接。

[0013] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述波导管的管壁厚度为声波在波导管传播波长的二分之一倍。

[0014] 为了更好地实现本发明,进一步地,还包括匹配层,所述匹配层设置在所述波导管内位于测量压电片上部位置处;

[0015] 定义测量压电片的特性阻抗为 Z_1 ,匹配层的特性阻抗为 Z_2 ,被测液体的特性阻抗为 Z_3 ,从测量压电片透射到被测液体中的声强的透射系数为 T ,声波在匹配层中的波长为 λ_2 ,匹配层的厚度为 d_1 ;

[0016] 所述匹配层的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$,匹配层的厚度 $d_1 = (2n + 1) \left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$,

其中 n 为正整数;所述透射系数 $T=1$,透射系数 T 的计算公式如下:

$$T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right)}$$

[0018] 其中, ω 是超声波的角频率, c_2 是超声波在匹配层中的声速。

[0019] 本发明还提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,安装在液体容器中,与信号处理系统连接,用于对液体容器中的被测液体进行测量,所述超声波液位传感器系统包括竖直设置在液体容器中的波导管,在波导管的底部设置有保护底座;在波导管的底部设置有保护底座,并在保护底座上设置有安装在波导管内并朝上发送超声波的测量压电片;所述波导管的底侧设置通孔,所述被测液体通过通孔流通在液体容器和波导管之间;

[0020] 在波导管内位于测量压电片上方的位置设置有漂浮在被测液体的液位面上的浮球;

[0021] 在所述波导管上设置有温度测量及接线盒,所述温度测量及接线盒与测量压电片及所述信号处理系统连接;

[0022] 所述波导管的内壁上设置有标准块;

[0023] 所述信号处理系统包括电源模块、稳压模块、温度采集模块、422通讯模块、有源时钟、自测试模块、缓冲模块、激励模块、超声波传感器、限幅并前置放大模块、增益带通滤波模块、一级程控放大模块、二级程控放大模块、低通滤波模块、AD模块、单片机;

[0024] 所述稳压模块、温度采集模块、422通讯模块、有源时钟、自测试模块、缓冲模块、激励模块分别与所述单片机连接；

[0025] 所述电源模块分别与稳压模块、激励模块连接；

[0026] 所述激励模块依次连接超声波传感器、限幅并前置放大模块、增益带通滤波模块、一级程控放大模块、二级程控放大模块、低通滤波模块、AD模块、缓存模块。

[0027] 为了更好地实现本发明，进一步地，所述波导管的管壁厚度为声波在波导管传播波长的二分之一倍。

[0028] 为了更好地实现本发明，进一步地，还包括保护底座和封口盖；所述封口盖安装在波导管的顶端，并与液体容器的内部的顶端密封连接；

[0029] 所述保护底座为上端开口的筒状结构，所述保护底座的底端与液体容器的内部的底端密封连接，所述波导管的底端从保护底座的上端套接固定在波导管内；

[0030] 在所述保护底座内部底端设置背衬层，所述测量压电片设置在波导管的底部且位于背衬层的上方。

[0031] 为了更好地实现本发明，进一步地，所述背衬层为球形钨粉和环氧树脂的混合物，且在球形钨粉和环氧树脂的混合物中还均匀掺杂有钢球；所述钢球的直径大小在0.3mm-0.7mm之间。

[0032] 为了更好地实现本发明，进一步地，还包括匹配层，所述匹配层设置在所述波导管内位于测量压电片上部位置处；

[0033] 定义测量压电片的特性阻抗为 Z_1 ，匹配层的特性阻抗为 Z_2 ，被测液体的特性阻抗为 Z_3 ，从测量压电片透射到被测液体中的声强的透射系数为 T ，声波在匹配层中的波长为 λ_2 ，匹配层的厚度为 d_1 ；

[0034] 所述匹配层的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$ ，匹配层的厚度 $d_1 = (2n + 1) \left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$ ，

其中 n 为正整数；所述透射系数 $T=1$ ，透射系数 T 的计算公式如下：

$$T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right)}$$

[0036] 其中， ω 是超声波的角频率， c_2 是超声波在匹配层中的声速。

[0037] 本发明还提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统的运行方法，基于上述一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统，所述运行方法具体包括以下步骤：

[0038] 步骤1：进行参数初始化；

[0039] 步骤2：运行测试程序；

[0040] 步骤3：进行自测试，输出自测试结果，包括三种情况：输出测试标志、自测试结果有误、自测试结果正确；当自测试结果有误时，反馈测试结果超标，重置测试参数，重新进行测试；

[0041] 步骤4：当自测试结果正确时，进行自增益判断流程；

[0042] 步骤5：当自增益判断为增益不恰当，启动自增益算法，重新进行判断；

- [0043] 步骤6:当自增益判断为增益恰当时,进行高低液位区的识别,识别结果分为低液位区和高液位区,然后对应进行低液位区参数设置或者高液位区参数设置;
- [0044] 步骤7:在进行低液位区参数设置或者高液位区参数设置后,触发激励信号;
- [0045] 步骤8:进行激励和数据采样;
- [0046] 步骤9:对采样数据进行中值滤波操作、零点对齐取绝对值操作和半波检波操作,得到处理后的采样数据;
- [0047] 步骤10:重复进行步骤8和步骤9多次,将多次得到的处理后的采样数据进行波形的叠加处理,然后进行高次波滤波处理;
- [0048] 步骤11:将高次波滤波处理后的采样数据依次进行均值递推滤波和卡尔曼滤波操作;
- [0049] 步骤12:在进行了均值递推滤波和卡尔曼滤波操作后,分别进行斜率法特征点识别和相关算法特征点识别;然后将斜率法特征点识别和相关算法特征点识别的特征点进行特征点判断;
- [0050] 步骤13:根据步骤6高液位区和低液位区的识别分别进行以下操作:
- [0051] 对于低液位区的采样数据对应的特征点,采用等差数列法进行处理;
- [0052] 对于高液位区的采样数据对应的特征点,采用排位法进行处理;
- [0053] 步骤14:对于采用等差数列法进行处理的超声波的采样数据,结合温度信号进行声速校正;
- [0054] 对于采用排位法进行处理的超声波的采样数据,结合标准块反射的超声波信号和温度信号进行声速校正;
- [0055] 步骤15:对进行声速校正后的数据进行液位判断;
- [0056] 步骤16:对进行液位判断后的机械盲区和浮球进行修正得到具体的液位值;
- [0057] 步骤17:对液位值的测量结果进行卡尔曼滤波和连续性判断,对连续性判断为不合格的液位值判断为大翻滚姿态下的液位数据,作废;
- [0058] 步骤18:对连续性判断为合格的数据进行输出,作为测试出的液位高度数据。
- [0059] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述步骤3:进行自测试的具体操作为:
- [0060] 开启自测试操作后分别进行硬件自测试和软件自测试;
- [0061] 所述硬件自测试包括供电电压测试、放大器测试、声波测量测试;在测试合格后输出测试标志符;
- [0062] 所述软件自测试包括算法测试,在测试合格后输出测试标志符。
- [0063] 本发明与现有技术相比具有以下优点及有益效果:
- [0064] (1) 本发明采用球形浮子,与传统的圆柱形、钢丝浮子相比,不存在导轨之间的卡滞,减少了摩擦的同时,还能兼容适应多种倾斜角度和加速度波动;
- [0065] (2) 为了使活塞声源的声波以较大透射率辐射到介质中,在活塞声源处采用匹配层技术,为了减小反射波声场的强度,使声波在管壁处,尽可能的透射出管壁从而辐射到圆管外部,采用圆管透声窗原理减小部分高阶模式的声波的振幅;
- [0066] (3) 增加背衬层减少底面回波对激励的影响和底面杂波对测量信号的干扰;
- [0067] 采用配套的计算方法实现球形浮子下的精准测量。

附图说明

- [0068] 图1为实施例1的信号处理系统结构示意图；
- [0069] 图2为实施例2的信号处理系统结构示意图；
- [0070] 图3为运行方法流程示意图的部分示意图；
- [0071] 图4为图3运行方法流程示意图的后续部分示意图；
- [0072] 图5为图3和图4的运行方法流程示意图的后续部分示意图；
- [0073] 图6为图3、图4和图5的运行方法流程示意图的后续部分示意图；
- [0074] 图7为自测试的流程示意图；
- [0075] 图8为本发明传感器安装在液体容器中的结构示意图；
- [0076] 图9为传感器的具体结构示意图；
- [0077] 图10为测量压电片、匹配层和被测液体的垂直入射带介质分界面的示意图；
- [0078] 图11为被测液体和波导管的分界面的示意图；
- [0079] 图12为本发明圆管透声窗声场示意图；
- [0080] 图13为本发明超声波从发出到反射波回来的波导管内声场示意图；
- [0081] 图14为超声波信号波形示意图；
- [0082] 图15为浮球倾斜与不倾斜下的测量状态示意图；
- [0083] 图16为原始回波示意图；
- [0084] 图17为经过软件算法处理后的信号波示意图；
- [0085] 图18为完整原始信号波的波形示意图；
- [0086] 图19为经过特征位置识别的波形示意图；
- [0087] 图20为高液位波形的波形示意图；
- [0088] 图21为低液位波形经过等差数列处理的波形示意图；
- [0089] 图22为对回波进行排位法后的波形示意图。
- [0090] 其中：1、液体容器，2、波导管，3、保护底座，4、校准筒，5、校准压电片，6、校准反射块，7、测量压电片，8、被测液体，9、液位面，10、浮球，11、封口盖，12、背衬层，13、匹配层，14、转换圈，15、防撞金属网，16、侧面硅橡胶圈，17、底部硅橡胶圈，18、参考块，19、温度测量及接线盒，20、标准块，A、主波，B、参考块反射波，C、高次波。

具体实施方式

[0091] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案，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，应当理解，所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例，因此不应被看作是对保护范围的限定。基于本发明中的实施例，本领域普通技术工作人员在没有做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。

[0092] 在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“设置”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；也可以是直接相连，也可以是通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0093] 实施例1:

[0094] 本实施例提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,如图1所示,安装在液体容器1中,与信号处理系统连接,用于对液体容器1中的被测液体8进行测量,所述超声波液位传感器系统包括竖直设置在液体容器1中的波导管2,在波导管2的底部设置有保护底座3;在波导管2的底部设置有保护底座3,并在保护底座3上设置有安装在波导管2内并朝上发送超声波的测量压电片7;所述波导管2的底侧设置通孔,所述被测液体8通过通孔流通在液体容器1和波导管2之间;

[0095] 在波导管2内位于测量压电片7上方的位置设置有漂浮在被测液体8的液位面9上的浮球10;

[0096] 在所述波导管2上设置有温度测量及接线盒19,所述温度测量及接线盒19与测量压电片及所述信号处理系统连接;

[0097] 所述波导管2的内壁上设置有标准块20;

[0098] 所述信号处理系统包括依次连接的激励及接收电路、限压及滤波电路、精密程控放大电路、高速AD转换电路、高速AD转换电路、高速数据流存储电路、单片机模块、通讯模块;所述精密程控放大电路还与单片机模块连接;所述激励及接收电路与所述温度测量及接线盒19连接。

[0099] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述波导管2的管壁厚度为声波在波导管2传播波长的二分之一倍。

[0100] 为了更好地实现本发明,进一步地,还包括匹配层13,所述匹配层13设置在所述波导管2内位于测量压电片7上部位置处;

[0101] 定义测量压电片7的特性阻抗为 Z_1 ,匹配层13的特性阻抗为 Z_2 ,被测液体8的特性阻抗为 Z_3 ,从测量压电片7透射到被测液体8中的声强的透射系数为T,声波在匹配层13中的波长为 λ_2 ,匹配层13的厚度为 d_1 ;

[0102] 所述匹配层13的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$, 匹配层13的厚度 $d_1 = (2n+1) \left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$, 其中n为正整数;所述透射系数T=1,透射系数T的计算公式如下:

$$T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_1}{Z_1}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right)}$$

[0104] 其中, ω 是超声波的角频率, c_2 是超声波在匹配层中的声速。

[0105] 实施例2:

[0106] 本实施例还提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,如图2所示,安装在液体容器1中,与信号处理系统连接,用于对液体容器1中的被测液体8进行测量,所述超声波液位传感器系统包括竖直设置在液体容器1中的波导管2,在波导管2的底部设置有保护底座3;在波导管2的底部设置有保护底座3,并在保护底座3上设置有安装在波导管2内并朝上发送超声波的测量压电片7;所述波导管2的底侧设置通孔,所述被测液体8通过通孔流通在液体容器1和波导管2之间;

[0107] 在波导管2内位于测量压电片7上方的位置设置有漂浮在被测液体8的液位面9上

的浮球10；

[0108] 在所述波导管2上设置有温度测量及接线盒19,所述温度测量及接线盒19与测量压电片及所述信号处理系统连接；

[0109] 所述波导管2的内壁上设置有标准块20；

[0110] 所述信号处理系统包括电源模块、稳压模块、温度采集模块、422通讯模块、有源时钟、自测试模块、缓冲模块、激励模块、超声波传感器、限幅并前置放大模块、增益带通滤波模块、一级程控放大模块、二级程控放大模块、低通滤波模块、AD模块、单片机；

[0111] 所述稳压模块、温度采集模块、422通讯模块、有源时钟、自测试模块、缓冲模块、激励模块分别与所述单片机连接；

[0112] 所述电源模块分别与稳压模块、激励模块连接；

[0113] 所述激励模块依次连接超声波传感器、限幅并前置放大模块、增益带通滤波模块、一级程控放大模块、二级程控放大模块、低通滤波模块、AD模块、缓存模块。

[0114] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述波导管2的管壁厚度为声波在波导管2传播波长的二分之一倍。

[0115] 为了更好地实现本发明,进一步地,还包括保护底座3和封口盖11;所述封口盖11安装在波导管2的顶端,并与液体容器1的内部的顶端密封连接；

[0116] 所述保护底座3为上端开口的筒状结构,所述保护底座3的底端与液体容器1的内部的底端密封连接,所述波导管2的底端从保护底座3的上端套接固定在波导管2内；

[0117] 在所述保护底座3内部底端设置背衬层12,所述测量压电片7设置在波导管2的底部且位于背衬层12的上方。

[0118] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述背衬层12为球形钨粉和环氧树脂的混合物,且在球形钨粉和环氧树脂的混合物中还均匀掺杂有钢球;所述钢球的直径大小在0.3mm-0.7mm之间。

[0119] 为了更好地实现本发明,进一步地,还包括匹配层13,所述匹配层13设置在所述波导管2内位于测量压电片7上部位置处；

[0120] 定义测量压电片7的特性阻抗为 Z_1 ,匹配层13的特性阻抗为 Z_2 ,被测液体8的特性阻抗为 Z_3 ,从测量压电片7透射到被测液体8中的声强的透射系数为T,声波在匹配层13中的波长为 λ_2 ,匹配层13的厚度为 d_1 ；

[0121] 所述匹配层13的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$,匹配层13的厚度 $d_1 = (2n+1)\left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$,其中n为正整数;所述透射系数 $T=1$,透射系数T的计算公式如下：

$$T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_1}{Z_1}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{c_2} d_1\right)} ;$$

[0122]

[0123] 其中, ω 是超声波的角频率, c_2 是超声波在匹配层中的声速。

[0124] 本实施例的其他部分与上述实施例1相同,故不再赘述。

[0125] 实施例3:

[0126] 本实施例在上述实施例2的基础上,如图3、图4、图5、图6、图7所示,其中图3、图4、

图5、图6依次构成一个完整的流程示意图,因篇幅过长,分割展示为四个部分的示意图;还提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统的运行方法,基于上述一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器系统,所述运行方法具体包括以下步骤:

[0127] 步骤1:进行参数初始化;

[0128] 步骤2:运行测试程序;

[0129] 步骤3:进行自测试,输出自测试结果,包括三种情况:输出测试标志、自测试结果有误、自测试结果正确;当自测试结果有误时,反馈测试结果超标,重置测试参数,重新进行测试;

[0130] 步骤4:当自测试结果正确时,进行自增益判断流程;

[0131] 步骤5:当自增益判断为增益不恰当,启动自增益算法,重新进行判断;

[0132] 步骤6:当自增益判断为增益恰当时,进行高低液位区的识别,识别结果分为低液位区和高液位区,然后对应进行低液位区参数设置或者高液位区参数设置;

[0133] 步骤7:在进行低液位区参数设置或者高液位区参数设置后,触发激励信号;

[0134] 步骤8:进行激励和数据采样;

[0135] 步骤9:对采样数据进行中值滤波操作、零点对齐取绝对值操作和半波检波操作,得到处理后的采样数据;

[0136] 步骤10:重复进行步骤8和步骤9多次,将多次得到的处理后的采样数据进行波形的叠加处理,然后进行高次波滤波处理;

[0137] 步骤11:将高次波滤波处理后的采样数据依次进行均值递推滤波和卡尔曼滤波操作;

[0138] 步骤12:在进行了均值递推滤波和卡尔曼滤波操作后,分别进行斜率法特征点识别和相关算法特征点识别;然后将斜率法特征点识别和相关算法特征点识别的特征点进行特征点判断;

[0139] 步骤13:根据步骤6高液位区和低液位区的识别分别进行以下操作:

[0140] 对于低液位区的采样数据对应的特征点,采用等差数列法进行处理;

[0141] 对于高液位区的采样数据对应的特征点,采用排位法进行处理;

[0142] 步骤14:对于采用等差数列法进行处理的超声波的采样数据,结合温度信号进行声速校正;

[0143] 对于采用排位法进行处理的超声波的采样数据,结合标准块反射的超声波信号和温度信号进行声速校正;

[0144] 步骤15:对进行声速校正后的数据进行液位判断;

[0145] 步骤16:对进行液位判断后的机械盲区和浮球进行修正得到具体的液位值;

[0146] 步骤17:对液位值的测量结果进行卡尔曼滤波和连续性判断,对连续性判断为不合格的液位值判断为大翻滚姿态下的液位数据,作废;

[0147] 步骤18:对连续性判断为合格的数据进行输出,作为测试出的液位高度数据。

[0148] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述步骤3:进行自测试的具体操作为:

[0149] 开启自测试操作后分别进行硬件自测试和软件自测试;

[0150] 所述硬件自测试包括供电电压测试、放大器测试、声波测量测试;在测试合格后输出测试标志符;

[0151] 所述软件自测试包括算法测试,在测试合格后输出测试标志符。

[0152] 工作原理:如图16所示是传感器的原始回波信号,进过递推滤波,中值滤波去噪后对信号进行半波检波,最后对波形进行阿尔伯特包络得到如图17所示信号的波包。图18是全部原始波形,图19是经过上述处理方法后的信号包络波形。信号波包在高液位区的特征如图20所示呈现单一波,此时信号排序得出的结论是,最远的波包位置是特征点所在位置。信号波包在低液位区的特征如图21所示,除了最左边的激励波意外,还存在两个及以上的回波波包,此时应该应用等差数列法,波包之间呈等差数列分布,也就是波包位置呈等差数列来求得特征位置是最先返回换能器的声波。如图22所示,当传感器引入参考环或浮球到达传感器底部时,需要利用排位法,根据波包所处的位置进行排序,序列依次为参考环波浮球波,以及可能出现的高次波,高次波幅值小于浮球波,同过幅值大小排序可以分辨。综上,根据各种算法和方法求得液位信号,最终获得液位高度数据。表1所示是页面倾斜不同角度下的测量值,可见在倾斜0到60度的范围内,传感器完全适用。表2所示是垂直静态精度实验结果表明,传感器测量液位高度精度较高,具有重要推广价值。

	倾斜角	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
	电压值(mV)	84.70	79.91	72.41	73.45	81.89	78.48	71.66
[0153]	飞行时间(μs)	908.16	907.68	907.76	909.60	910.88	911.76	912.96
	液位高度测量值(mm)	699.85	699.49	699.55	700.93	701.88	702.54	703.44
	液位高度误差(mm)	-0.15	-0.51	-0.45	0.93	1.88	2.54	3.44

[0154] 表1抗倾斜试验数据

	液位高度标尺值(mm)	液位高度测量值(mm)	液位高度误差(mm)
	00	98.4	-1.6
	200	198.7	-1.3
	300	299.0	-1.0
[0155]	400	399.1	-0.9
	500	500.5	0.5
	600	601.1	1.1
	700	701.4	1.4
	800	800.8	0.8

[0156] 表2静态垂直精度试验

[0157] 本实施例的其他部分与上述实施例1-2任一项相同,故不再赘述。

[0158] 实施例4:

[0159] 本实施例还提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器,安装在液体容器1中,与信号处理系统连接,如图8、图9所示,所述超声波液位传感器包括竖直安装在液体容器1中且上下端分别与液体容器1内部的上下端连接的波导管2;所述波导管2的管壁厚度为声波在波导管2传播波长的二分之一倍;在所述波导管2的外壁上安装有温度传感器;

[0160] 所述液体容器1中装有被测液体8,在所述波导管2上周向设置多个使得被测液体8

在液体容器1和波导管2之间流通的导流孔；

[0161] 在所述波导管2的底部设置与信号处理系统连接的测量压电片7,在测量压电片7上设置有转换圈14,在波导管2内测量压电片7的上方设置随着被测液体8的液位面9浮动的浮球10；

[0162] 在所述液体容器1内位于波导管2底端的外侧处设置有校准筒4,所述校准筒4上周向设置多个使得被测液体8在液体容器1和校准筒4之间流通的导流孔；

[0163] 所述校准筒4内设置有与信号处理系统连接的校准压电片10,以及与校准压电片10配合的校准块。

[0164] 工作原理:首先,通过信号处理系统向校准筒4内的校准压电片5发送激励脉冲,从而使得校准压电片5激励发出超声波振动；

[0165] 其次,当校准压电片5发出的超声波传送到标准反射块6后产生反射波,根据超声波原理求得校准压电片5和标准反射块6的超声波穿越时间 t_0 ,在已知校准压电片5和标准反射块6之间的固定距离 L_0 的基础上,根据速度时间距离公式求得实时声速 V ；

[0166] 接着,通过信号处理系统向波导管2内的测量压电片7发送激励脉冲,从而使得测量压电片7激励发出超声波振动；

[0167] 然后,当测量压电片7发出的超声波传送到浮球10的下表面后产生反射回测量压电片7的反射波,最后根据速度时间距离公式求得被测液体8的液面高度 L 。

[0168] 实施例5:

[0169] 本实施例在上述实施例4的基础上,如图9所示,还包括保护底座3和封口盖11;所述封口盖11安装在波导管2的顶端,并与液体容器1的内部的顶端密封连接;所述保护底座3为上端开口的筒状结构,所述保护底座3的底端与液体容器1的内部的底端密封连接,所述波导管2的底端从保护底座3的上端套接固定在波导管2内;在所述保护底座3内部底端设置背衬层12,所述测量压电片7设置在波导管2的底部且位于背衬层12的上方。所述背衬层12为球形钨粉和环氧树脂的混合物,且在球形钨粉和环氧树脂的混合物中还均匀掺杂有钢球;所述钢球的直径大小在0.3mm-0.7mm之间。

[0170] 工作原理:增加背衬层12以减少底面回波对激励的影响和底面杂波对测量信号的干扰。

[0171] 本实施例的其他部分与上述实施例4相同,故不再赘述。

[0172] 实施例6:

[0173] 本实施例在上述实施例4-5的基础上,为了更好地实现本发明,进一步地,如图9所示,还包括侧面硅橡胶圈16和底部硅橡胶圈17;所述侧面硅橡胶圈16设置在保护底座3内位于背衬层12外侧处;所述底部硅橡胶圈17设置在保护底座3内位于背衬层12底部处。

[0174] 本实施例的其他部分与上述实施例4-5任一项相同,故不再赘述。

[0175] 实施例7:

[0176] 本实施例在上述实施例4-6任一项的基础上,如图8、图9、图10、图11、图12所示,还包括匹配层13,所述匹配层13设置在所述波导管2内位于测量压电片7上部位置处；

[0177] 定义测量压电片7的特性阻抗为 Z_1 ,匹配层13的特性阻抗为 Z_2 ,被测液体8的特性阻抗为 Z_3 ,从测量压电片7透射到被测液体8中的声强的透射系数为 T ,声波在匹配层13中的波长为 λ_2 ,匹配层13的厚度为 d_1 ；

[0178] 所述匹配层13的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$ ，匹配层13的厚度 $d_1 = (2n+1) \left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$ ，其中n为正整数；所述透射系数T=1，透射系数T的计算公式如下：

$$[0179] \quad T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{C_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_1}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{C_2} d_1\right)}$$

[0180] 其中， ω 是超声波的角频率， C_2 是超声波在匹配层中的声速。

[0181] 工作原理：为了使活塞声源即测量压电片7发出的的声波以较大透射率辐射到介质中，在活塞声源即测量压电片7处采用匹配层技术，为了减小反射波声场的强度，使声波在波导管2的管壁处尽可能的透射出管壁从而辐射到波导管2外部，采用圆管透声窗原理减小部分高阶模式的声波的振幅。

[0182] 如图10所示，考虑垂直入射带介质分界面的情况，测量压电片7的特性阻抗是 Z_1 ，匹配层13的特性阻抗是 Z_2 ，匹配层13的厚度是 d_1 ，被测液体8的特性阻抗是 Z_3 。由测量压电片7透射到被测液体8中的声强的透射系数是T，即：

$$[0183] \quad T = \frac{4Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)^2 \cos^2\left(\frac{\omega}{C_2} d_1\right) + \left(Z_1 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_1}\right)^2 \sin^2\left(\frac{\omega}{C_2} d_1\right)}$$

[0184] 当匹配层1₃的特性阻抗满足 $Z_2 = \sqrt{Z_1 Z_3}$ 并且厚度 $d_1 = (2n+1) \left(\frac{\lambda_2}{4}\right)$ 时其中， λ_2 是匹配层13中声波的波长， $n \in \mathbb{N}$ ，透射系数T=1。采用这样的匹配层技术提高测量压电片7耦合进入被测液体8的能量。

[0185] 如图11所示，同样的，由被测液体8和波导管2形成的两层界面，波导管2的特性阻抗是 Z_4 ，波导管2中声波的波长是 λ_4 ，波导管2厚度是 d_2 。当波导管2的厚度 d_2 在 $\frac{\lambda_4}{2}$ 附近时，声

波从被测液体8透过波导管辐射到液体介质中的透射系数接近1。此时，波导管起到透声窗的作用。随着入射角度的增大，尤其是入射角大于临界角度时发生全反射，因此，由刚性浮球散射的声波有一部分被透声窗透过，从而减小了高阶模式波的影响。

[0186] 如图12所示，是对圆管透声窗声场示意图，液体介质采用水，刚性浮球采用304不锈钢浮球，波导管采用碳纤维复合材料圆管，管壁厚度是波长的二分之一倍约等于1.25mm，匹配层采用聚四氟乙烯，匹配层厚度是波长的四分之一倍约等于1mm。不仅减小了部分高阶模式的波的能量提高了信噪比，同时与传统的金属圆管传感器相比，极大地减轻了质量，使超声波液位传感器轻型化。

[0187] 本实施例的其他部分与上述实施例4-6任一项相同，故不再赘述。

[0188] 实施例8：

[0189] 本实施例在上述实施例4-7任一项的基础上，进一步地，还包括防撞金属网15，所述防撞金属网15安装在波导管2底部并位于测量压电片7和浮球10之间。工作原理：通过设

置防撞金属网15来防止浮球10与测量压电片7进行碰撞。本实施例的其他部分与上述实施例4-7任一项相同,故不再赘述。

[0190] 实施例9:

[0191] 本实施例在上述实施例4-8任一项的基础上,所述浮球10采用不锈钢304材料,为中空圆球形,直径35mm,圆度误差 $\pm 0.1\text{mm}$,表面镜面抛光,浮球10的球壁厚度0.3mm;所述波导管2为碳纤维复合材料圆管,管长1000mm,内径36mm,外径38.5mm,在波导管2的底端和中端周向均布3个 $\Phi 4$ 导流孔,在波导管2的内壁喷有厚度0.01mm的聚氨酯类吸波材料;所述校准筒4的材料为碳纤维复合材料,筒长150mm,内径15mm,外径17mm,在校准筒4的底端和中端周向均布2个 $\Phi 3$ 导流孔;所述保护底座3材料采用航空铝材料;所述测量压电片7和校准压电片5采用频率1MHz,直径 $\Phi 35\text{mm}$, $\Phi 15\text{mm}$,压电系数大于 $800 \times 10^{-3}\text{C/N}$ 的压电陶瓷。本实施例的其他部分与上述实施例4-8任一项相同,故不再赘述。

[0192] 实施例10:

[0193] 本实施例在上述实施例4-9任一项的基础上,以330mm高度的波导管2为例,如图13所示,图13从左到右依次为从测量压电片7发射出超声波到超声波通过浮球10反射回来的声场示意状态流程图,可以看见从测量压电片7发射出超声波主波A,在波导管2中设置参考块18,超声波主波A经过参考块18反射回来的参考块反射波B,超声波主波A经过浮球10后反射回测量压电片7并带回部分高次波C。图13中右边为区分总声场压的压力表,其中的颜色对应着声场示意图中对应的声场压力值,因为附图颜色限制,波导管2背景的颜色为绿色,对应在压力表上为 $-1 \times 10^3\text{Pa}$ 到 $1 \times 10^3\text{Pa}$ 之间,超声波主波A、参考块反射波B和高次波C在不同状态下的波导管2中的颜色因转换为黑白图片后难以区分,故在图13的对应状态下的波导管2下方以数据形式进行说明,虽然在图13中没有展示出区分的颜色,但因图13为试验数据截图,其并不对本申请所记载的技术方案造成实质影响,特此说明。需要说明的是,图18、图19、图20、图21、图22仅为计算机界面截图,仪器软件的测试界面即为黑底白线条的,因其仅作为试验的效果展示,其并不对本申请的具体内容造成任何实质性的影响,故申请人请求保留此种形式的效果图展示。

[0194] 本实施例的其他部分与上述实施例1-6任一项相同,故不再赘述。

[0195] 实施例11:

[0196] 本实施例提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器的应用方法,基于上述的一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器,其特征在在于,包括以下步骤:

[0197] 首先,通过信号处理系统向校准筒4内的校准压电片5发送激励脉冲,从而使得校准压电片5激励发出超声波振动;

[0198] 其次,当校准压电片5发出的超声波传送到标准反射块6后产生反射波,根据超声波原理求得校准压电片5和标准反射块6的超声波穿越时间 t_0 ,在已知校准压电片5和标准反射块6之间的固定距离 L_0 的基础上,根据速度时间距离公式求得实时声速V;

[0199] 接着,通过信号处理系统向波导管2内的测量压电片7发送激励脉冲,从而使得测量压电片7激励发出超声波振动;

[0200] 然后,当测量压电片7发出的超声波传送到浮球10的下表面后产生反射回测量压电片7的反射波,最后根据速度时间距离公式求得被测液体8的液面高度L。

[0201] 实施例12:

[0202] 本实施例提出了一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器的信号处理方法,用于一种抗倾斜和波动的超声波液位传感器的应用方法中进行超声波的计算处理,包括以下步骤:

[0203] 首先,采用全波检波对回波进行包络;

[0204] 然后,再采用自相关算法求取相关系数 P 最大的位置 P_{max} ,其中,自相关算法的相关算法窗口大小为半个包络宽度,即高斯窄脉冲的半宽;

[0205] 然后,求得回波中半个包络宽度对应的曲线的斜率 K_i ,并设置斜率比对值,在得到相关系数 P 最大的位置 P_{max} 后进行斜率 K_i 的判断:当斜率 K_i 大于设定的斜率比对值时,将位置 P_{max} 判定为回波位置,反之则不判定为回波位置。

[0206] 实施例13:

[0207] 本实施例在上述实施例12的基础上,为了更好地实现本发明,进一步地,在液体容器1中设定高液位区和低液位区,对于低液位区,存在多个相关系数接近且呈等差数列的位置 $P(i)$,在低液位区采用求取位置 $P(i)$ 和位置 $P(i-1)$ 的时间差来确定液位高度。

[0208] 本实施例其他部分与上述实施例12相同,故不再赘述。

[0209] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明做任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化,均落入本发明的保护范围之内。

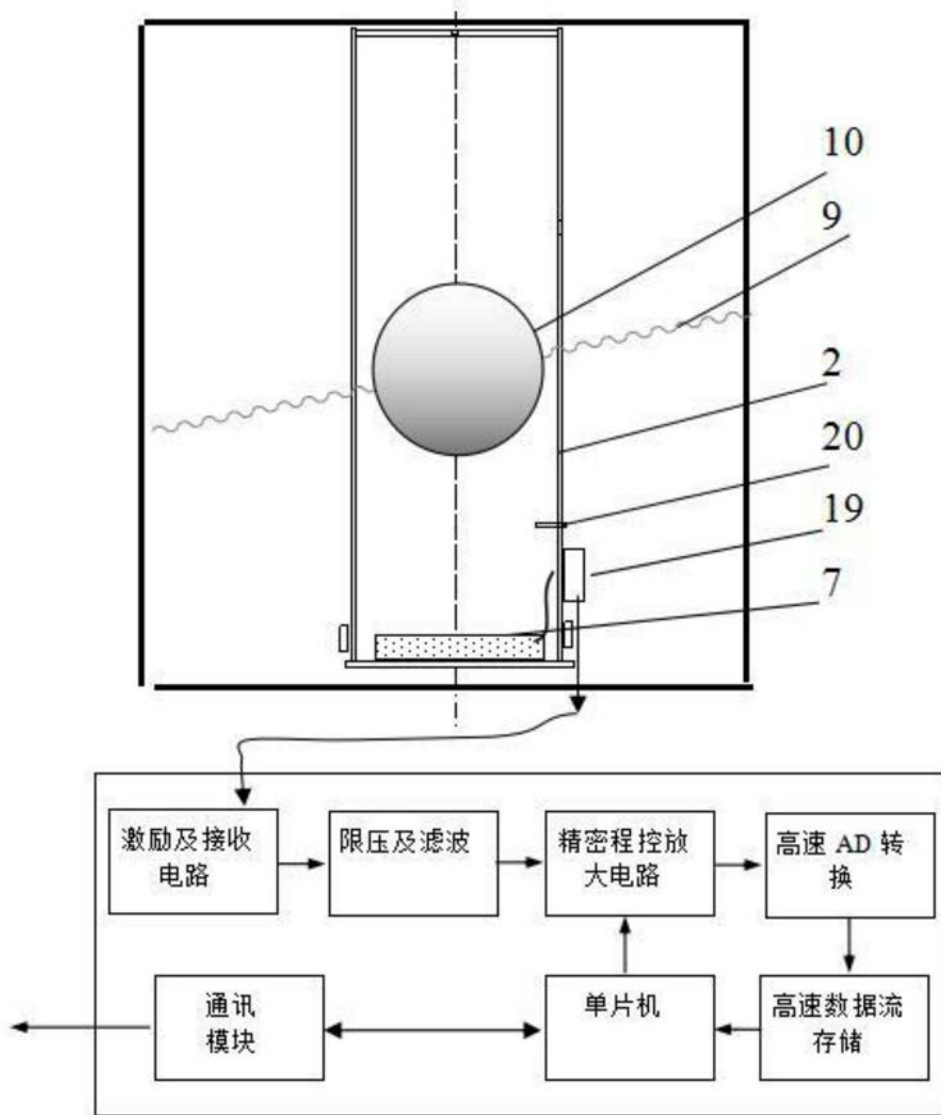


图1

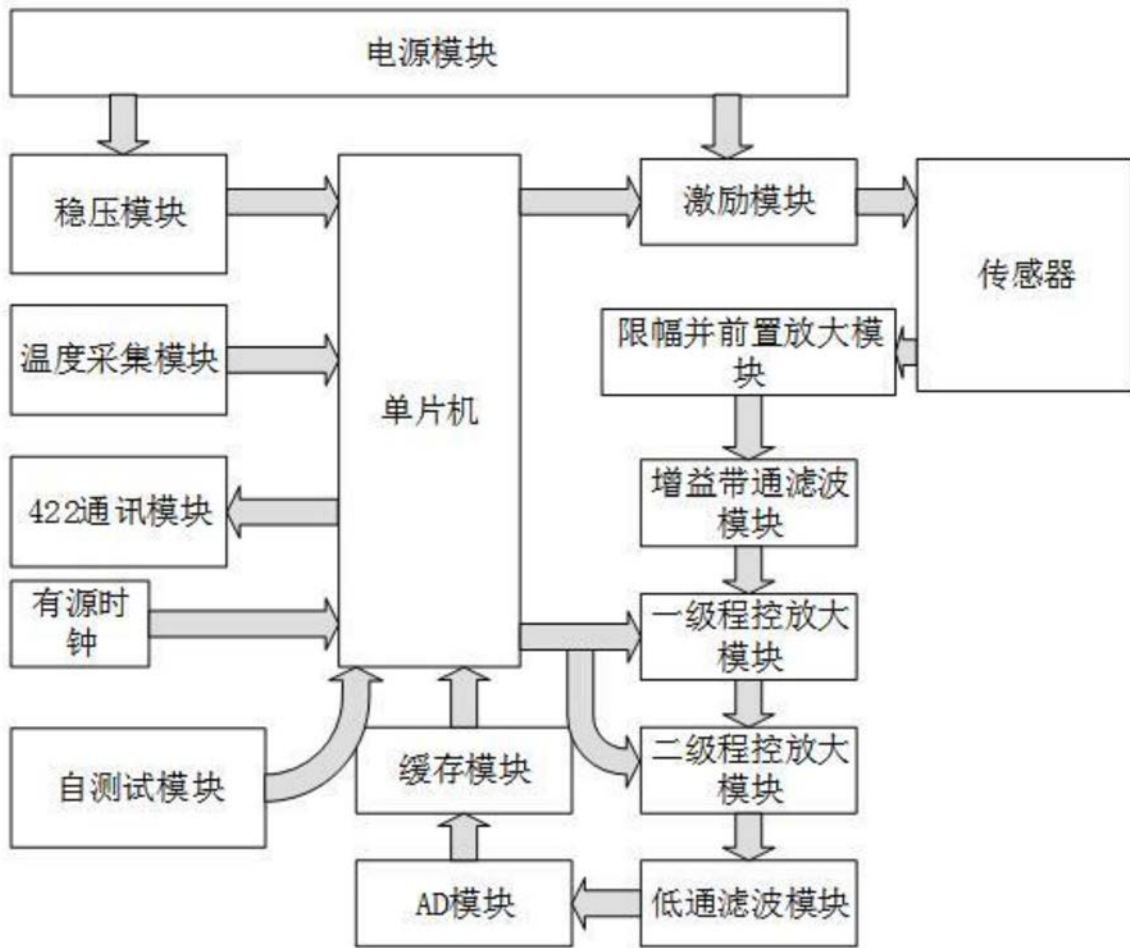


图2

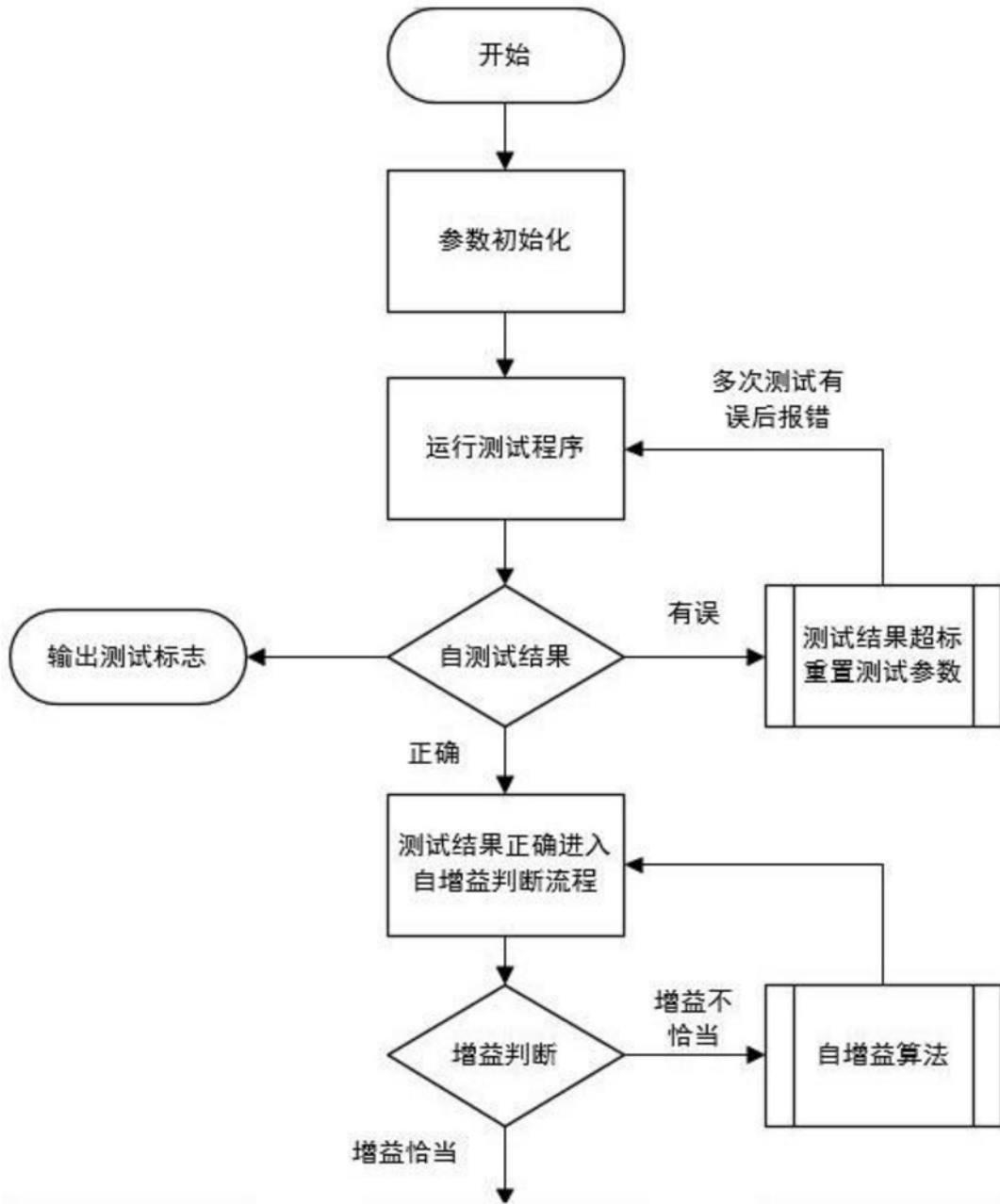


图3

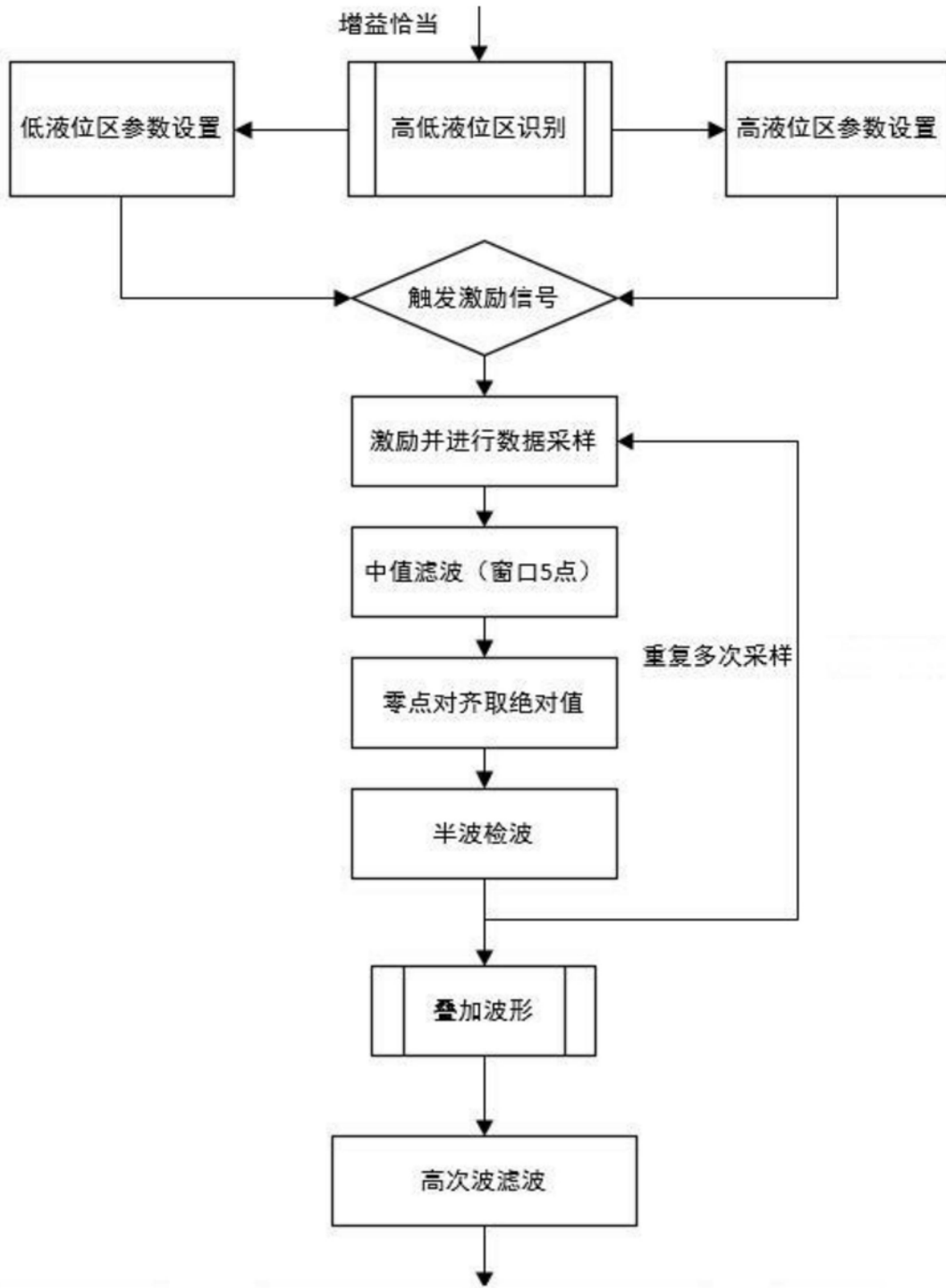


图4

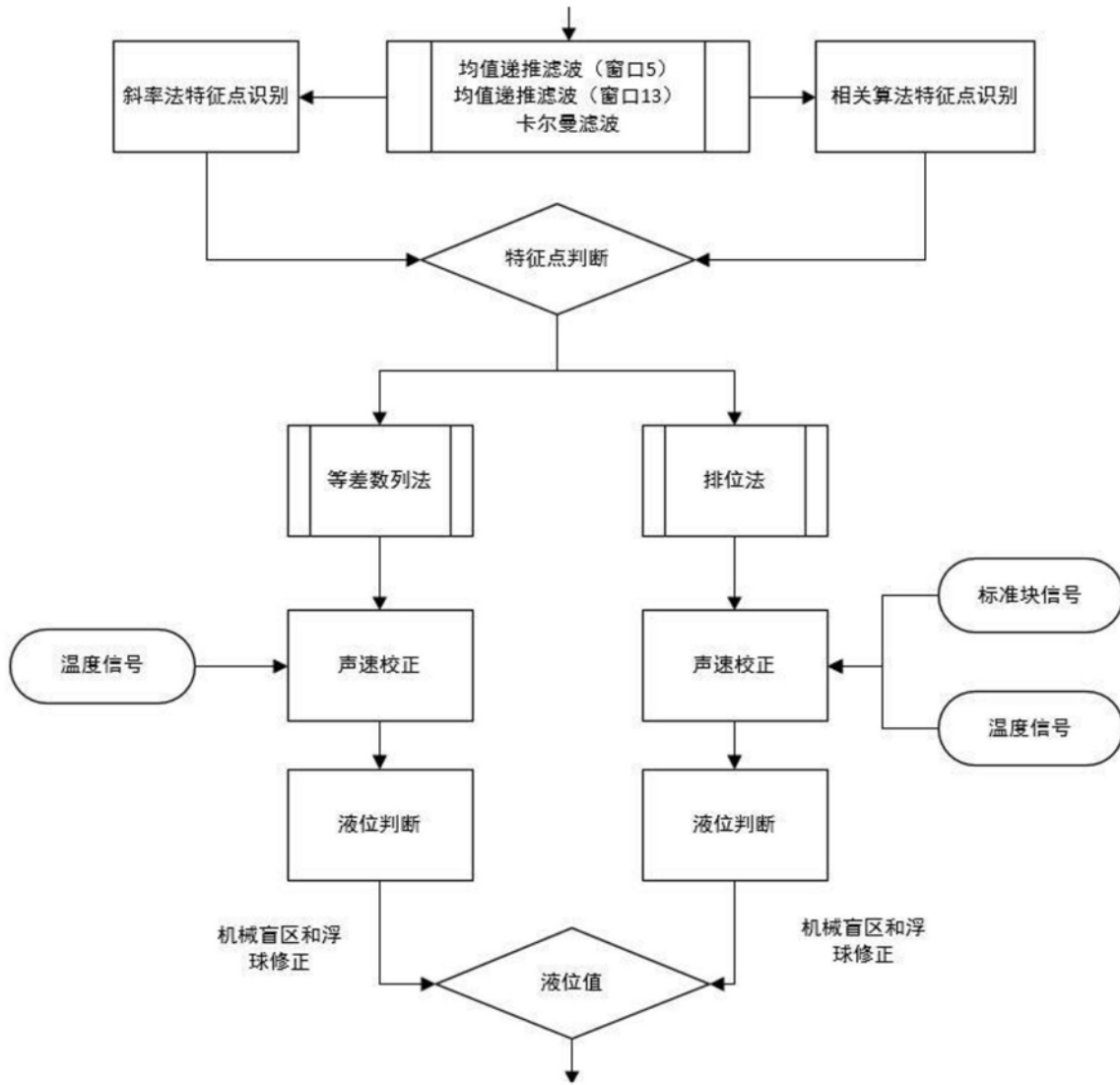


图5

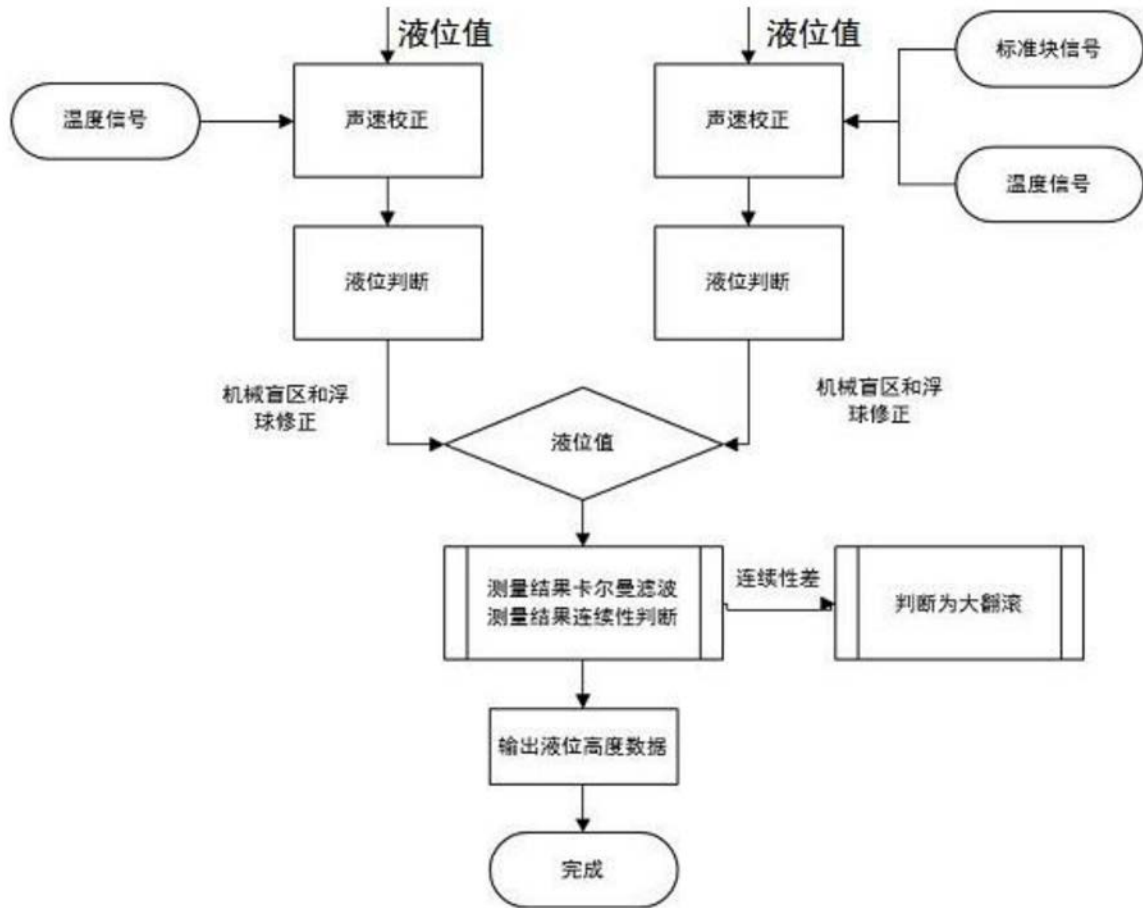


图6

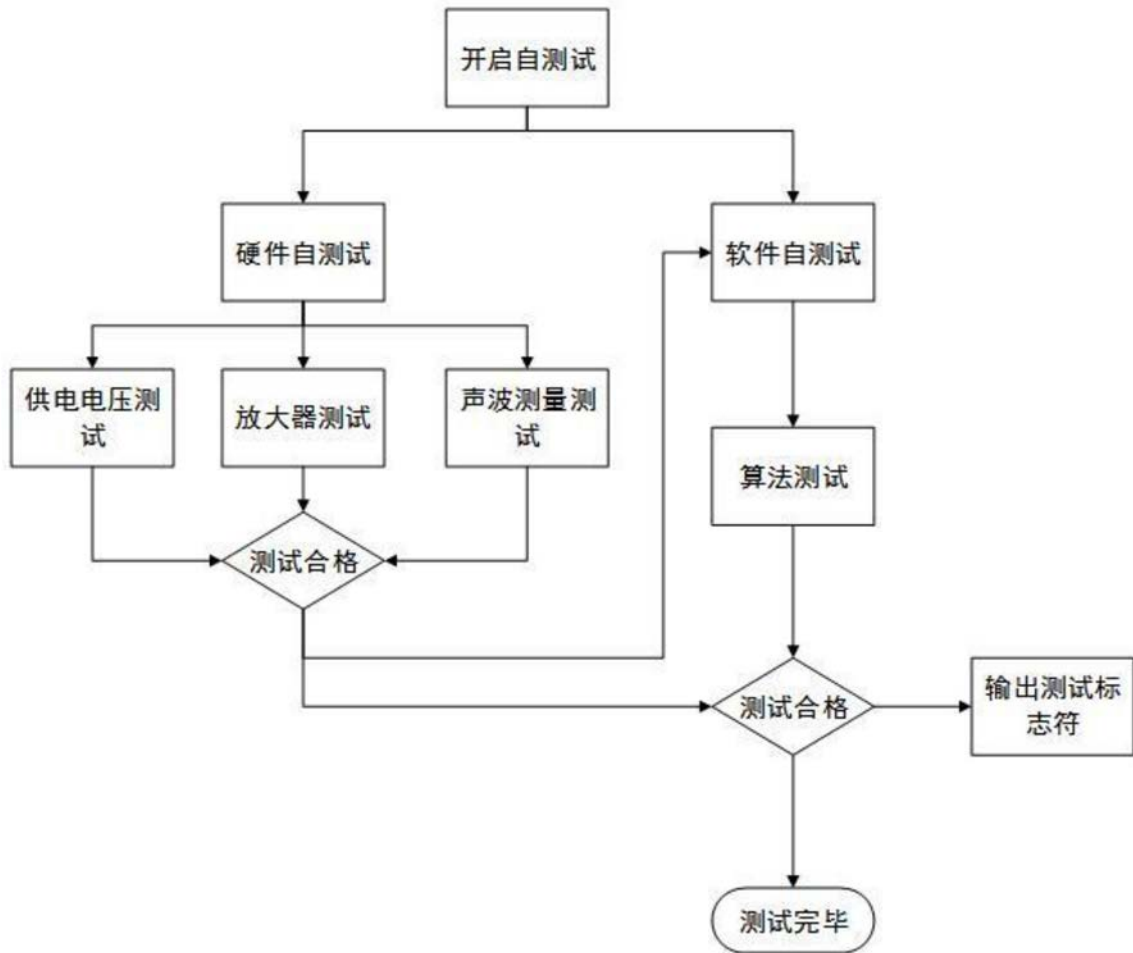


图7

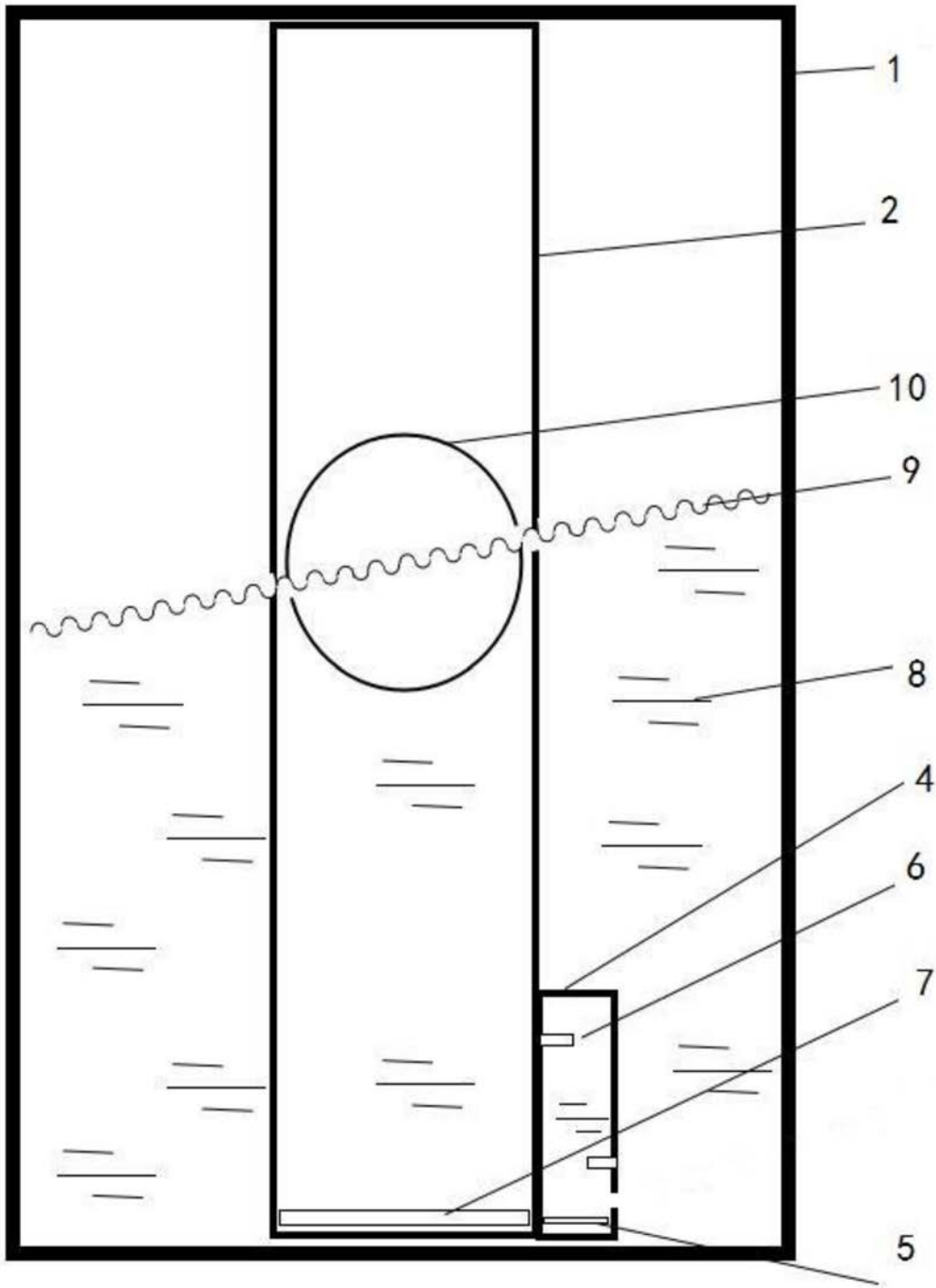


图8

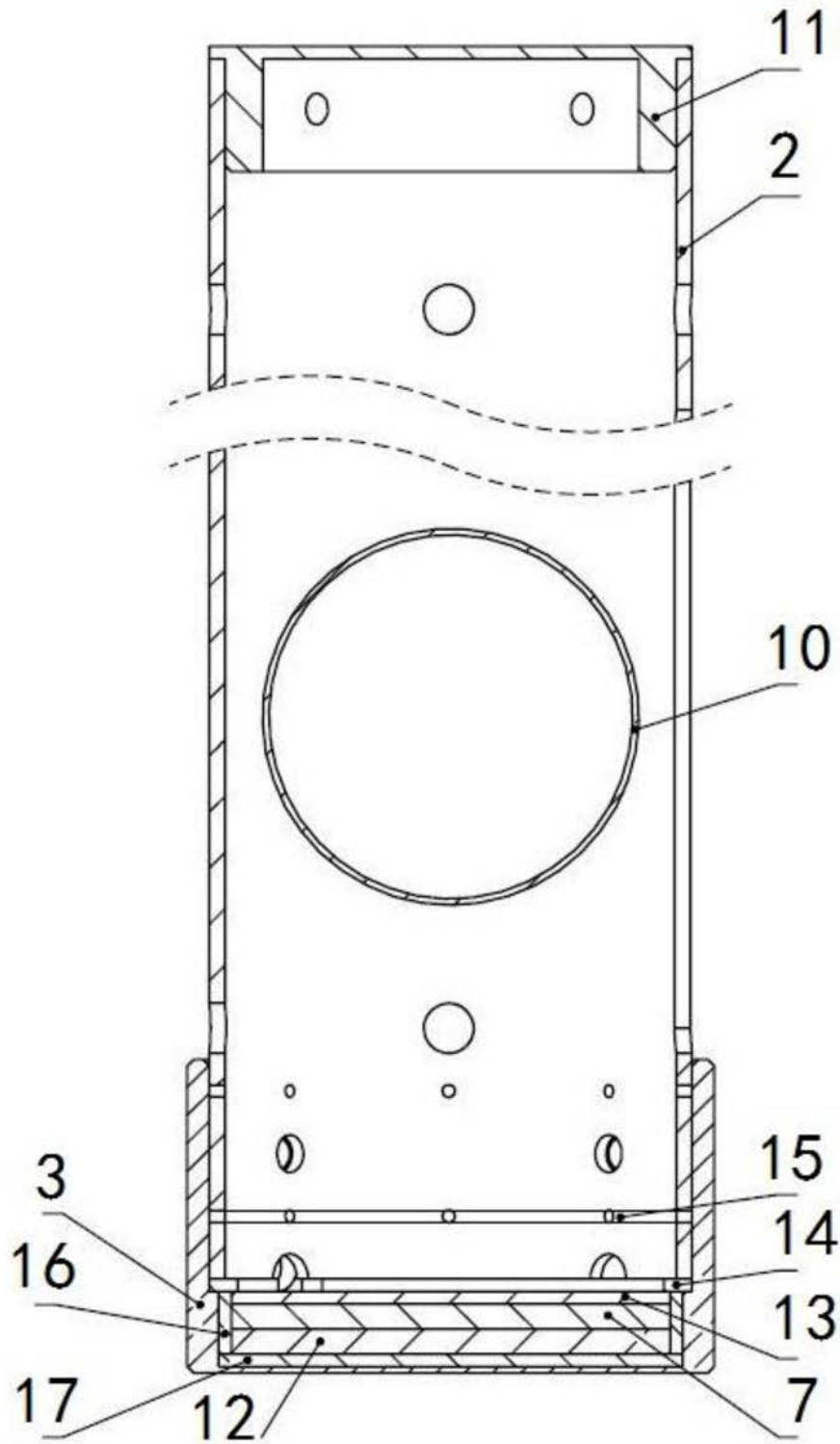


图9

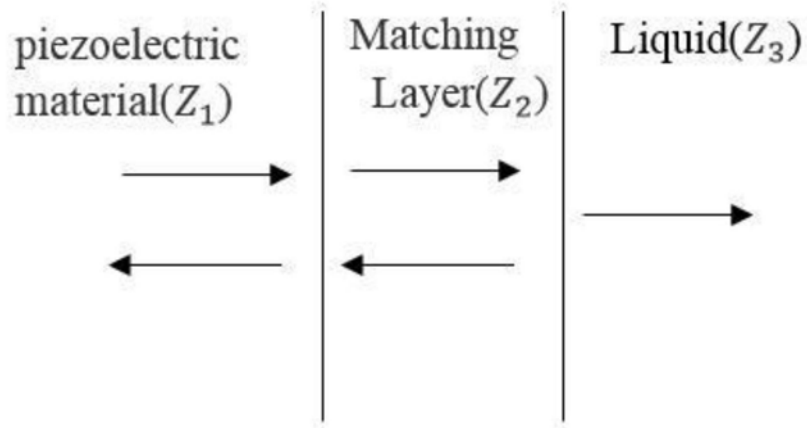


图10

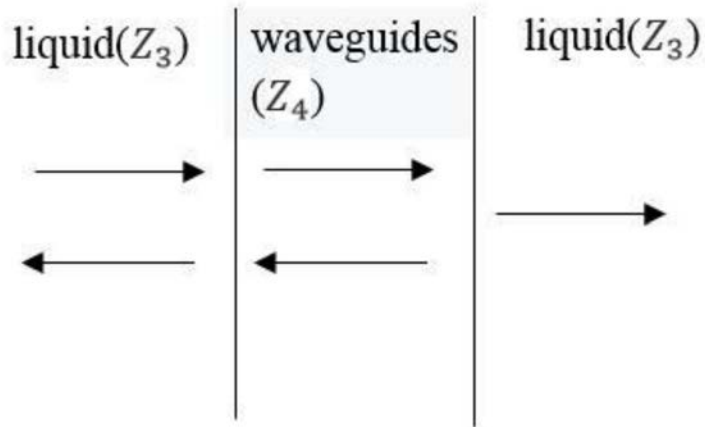


图11

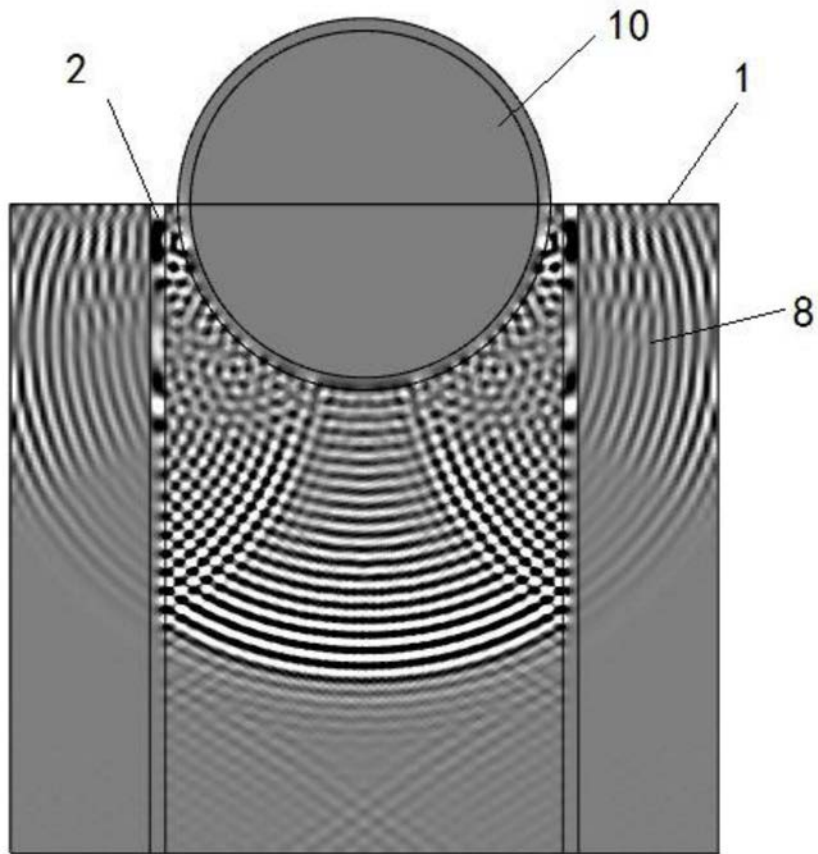


图12

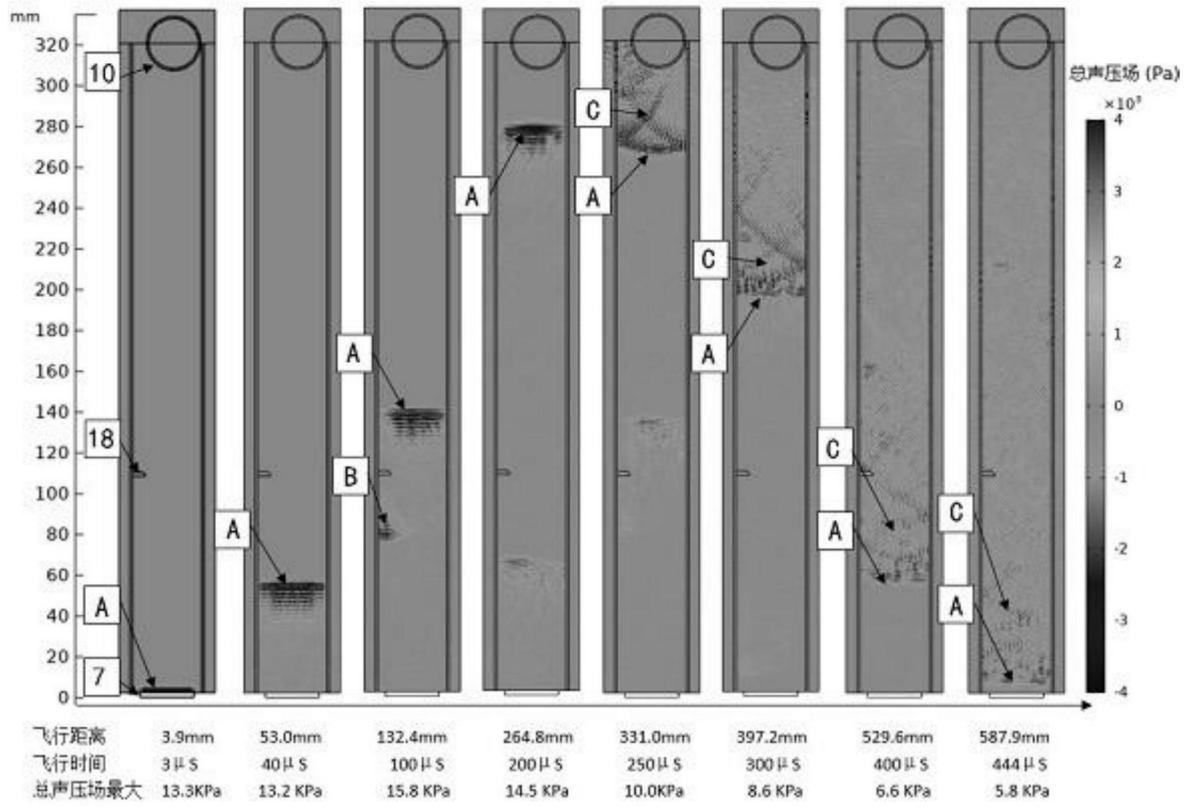


图13

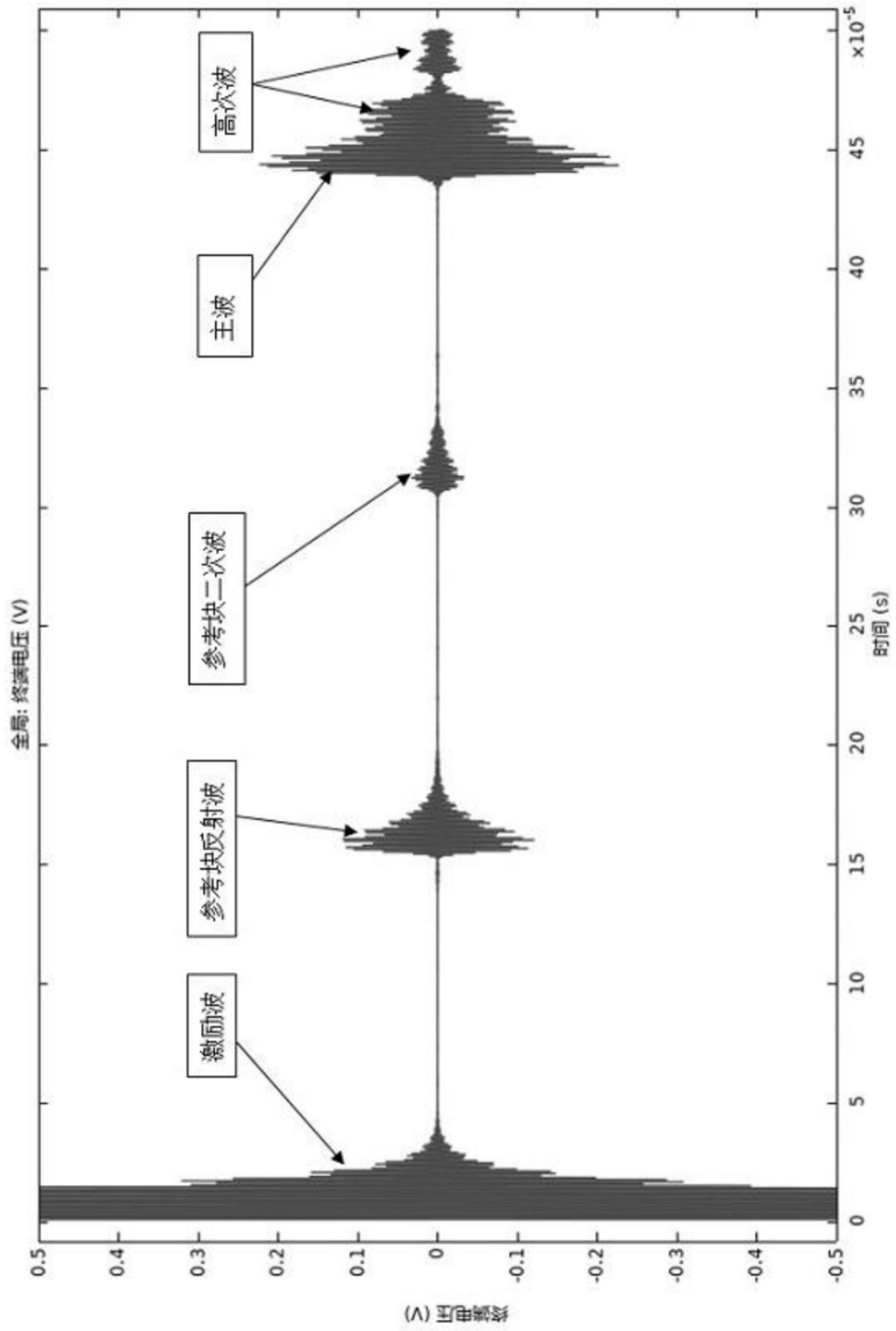


图14

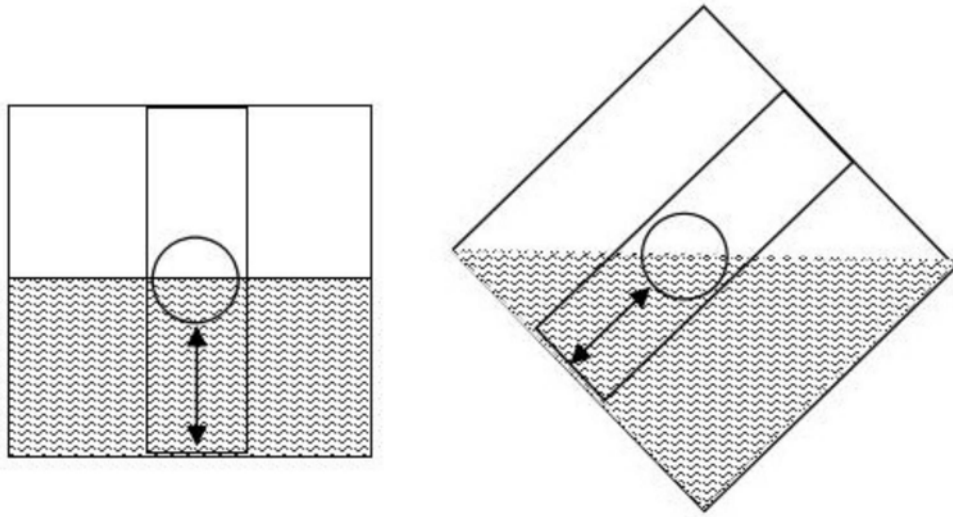


图15

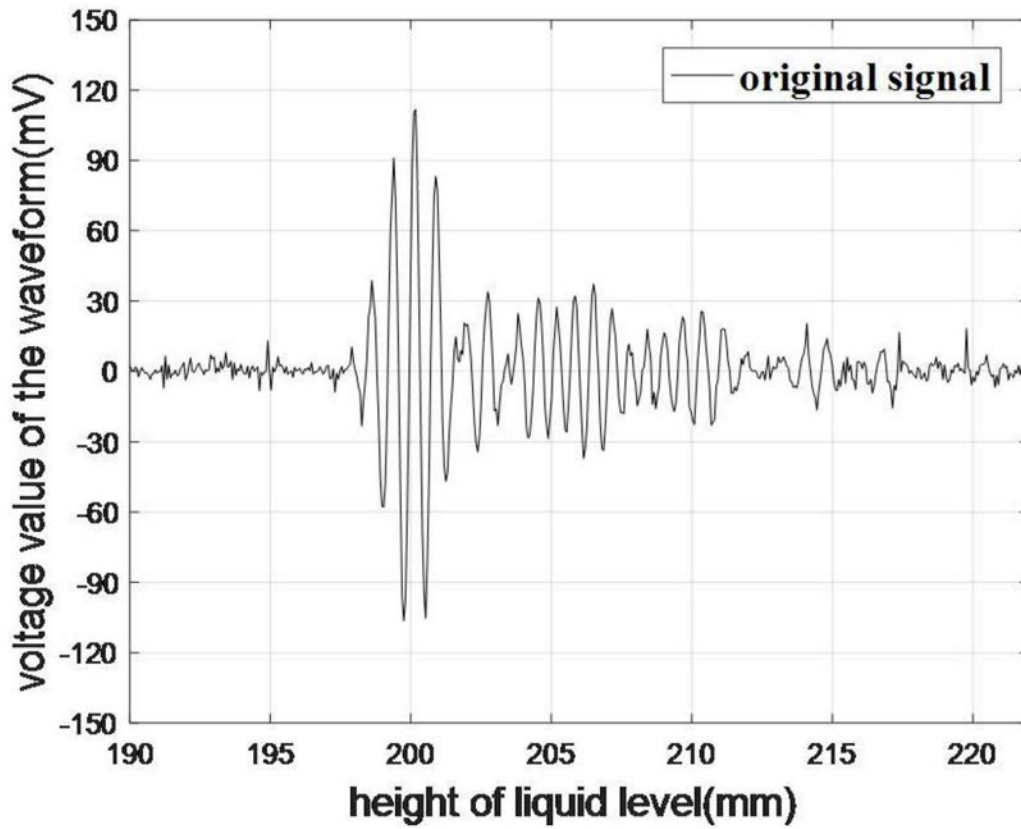


图16

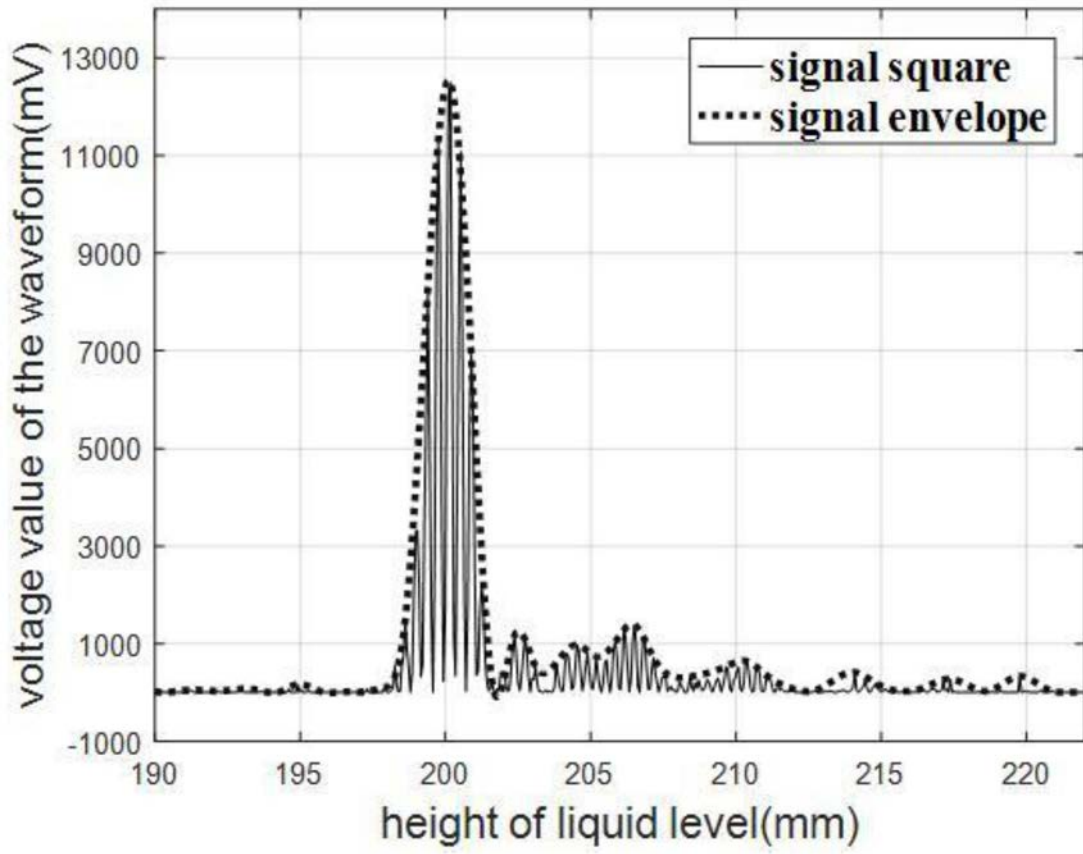


图17

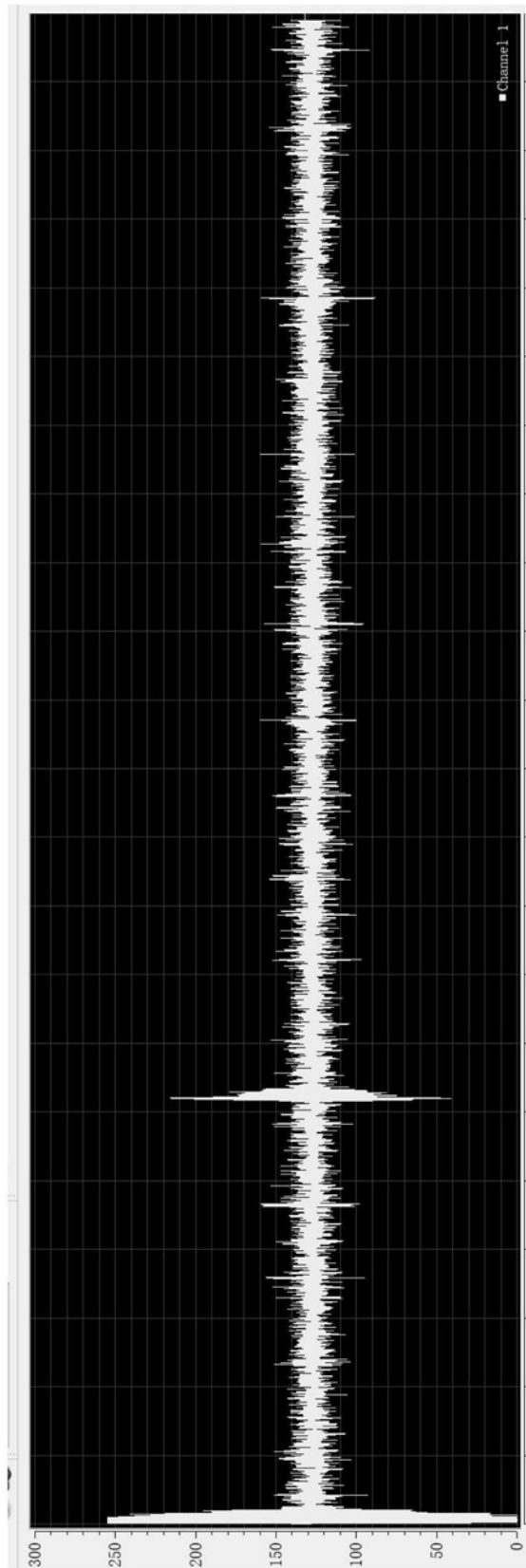


图18

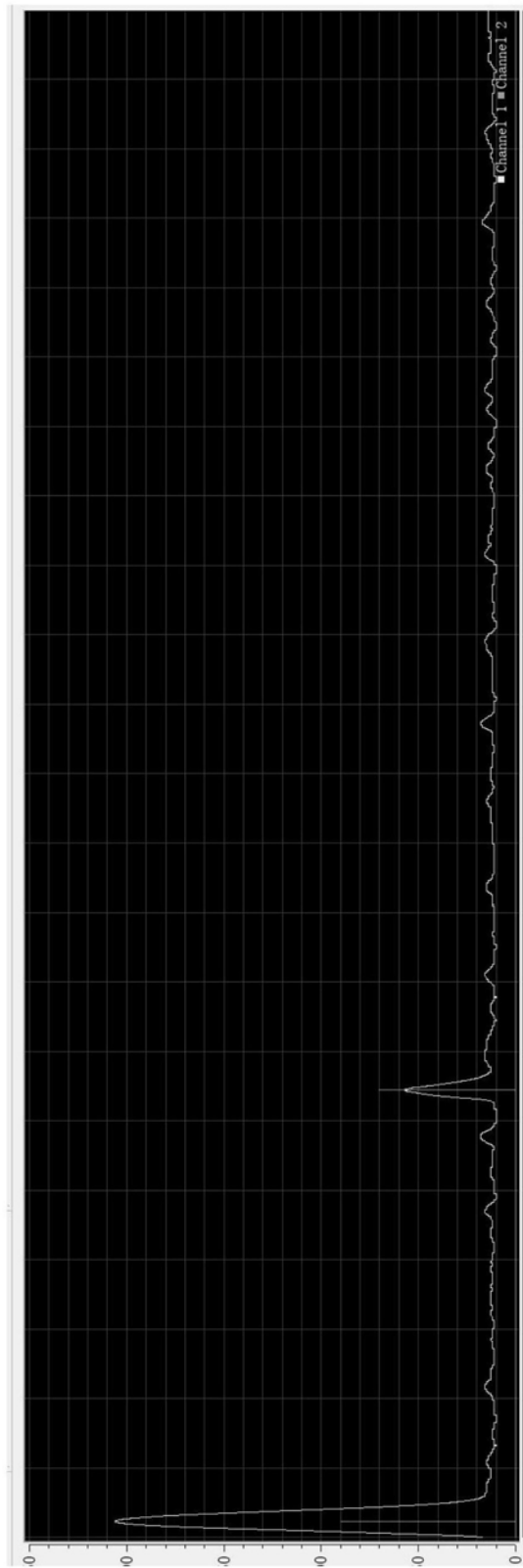
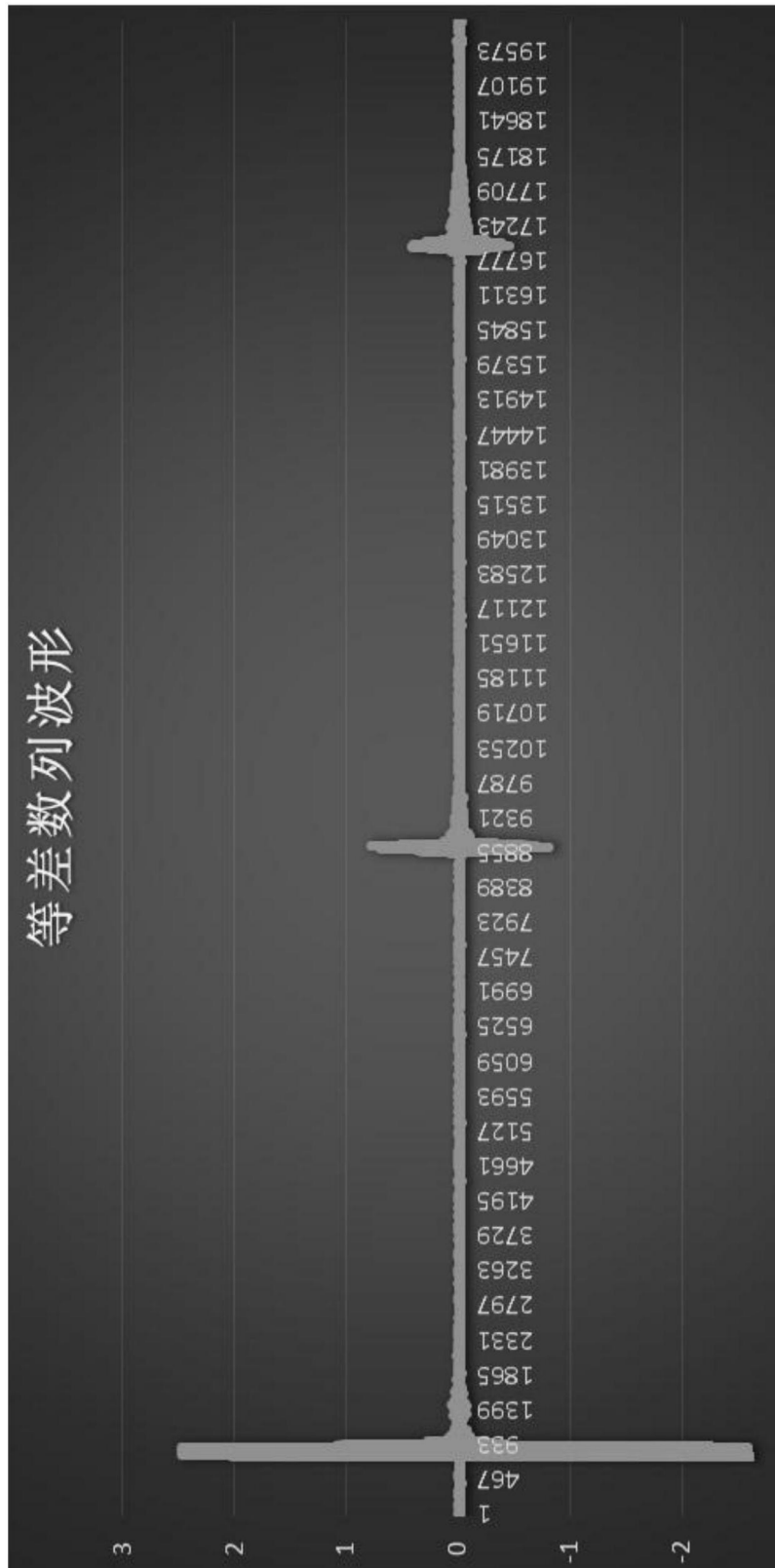


图19



图20



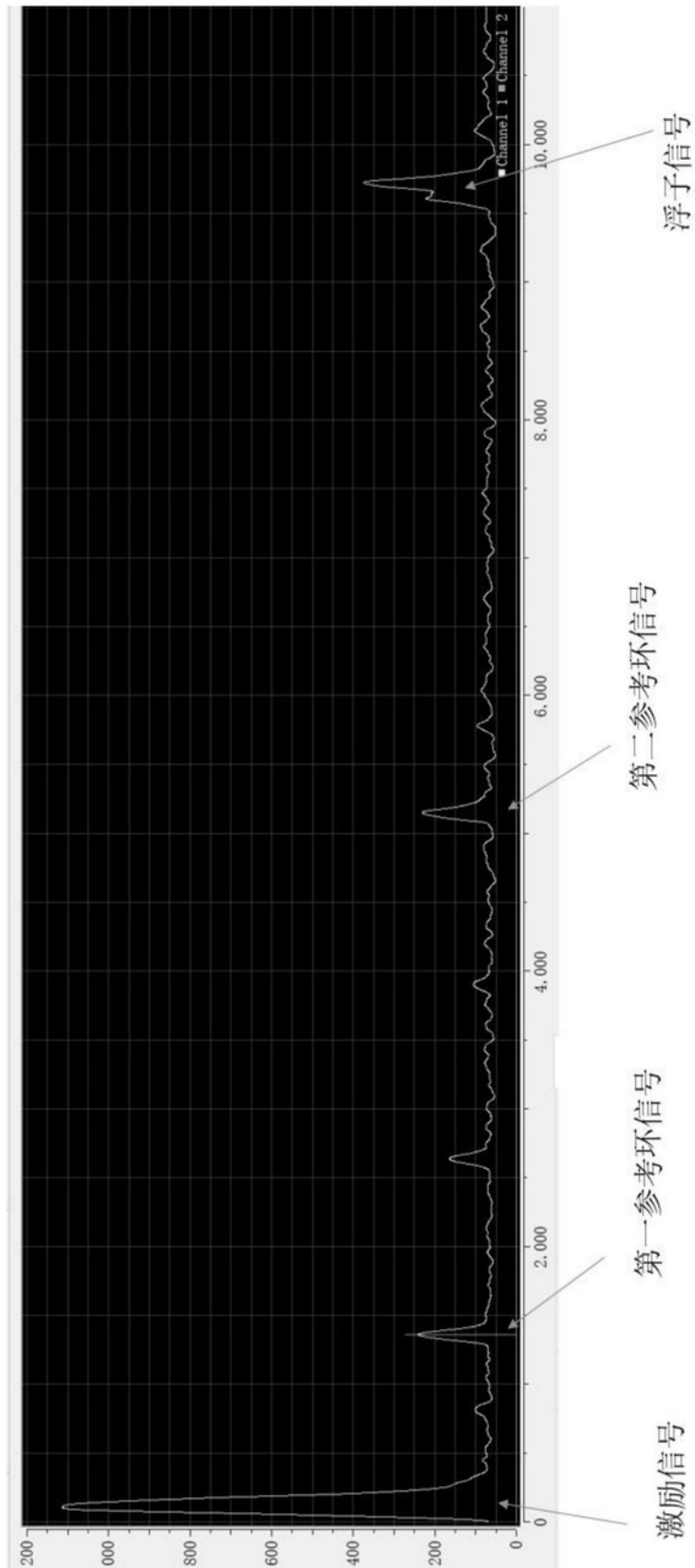


图22