



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115307724 B

(45) 授权公告日 2025. 07. 04

(21) 申请号 202210974652.X

(56) 对比文件

(22) 申请日 2022.08.15

CN 101936770 A, 2011.01.05

CN 102279044 A, 2011.12.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115307724 A

审查员 林宇豪

(43) 申请公布日 2022.11.08

(73) 专利权人 重庆医科大学

地址 400042 重庆市渝中区石油路街道医学院路1号

(72) 发明人 王玉香 李发琪 李成海 张天峰

(74) 专利代理机构 重庆仟佰度专利代理事务所

(普通合伙) 50295

专利代理师 王海荣

(51) Int. Cl.

G01H 17/00 (2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

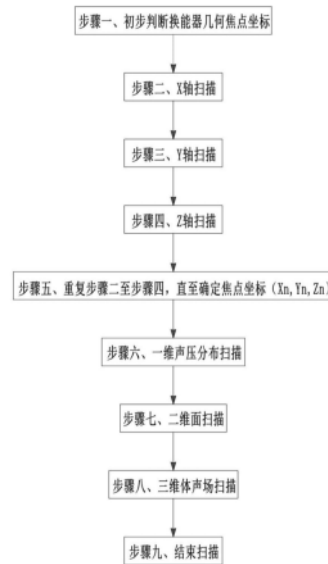
(54) 发明名称

一种自动化测量声场方法

(57) 摘要

本发明属于声场测量技术领域,具体涉及一种自动化测量声场方法,包括以下步骤:1) 建立换能器坐标系,换能器的声轴与X轴或Y轴或Z轴同轴,自动化控制模块根据换能器的焦距初步判断焦点F点的坐标,并控制水听器自动移至F点; 2) 自动化控制模块控制三维运动模块驱动水听器以F点为基准,分别沿X轴、Y轴以及Z轴进行多次扫描,确定焦点坐标 (X_n, Y_n, Z_n) ; 3) 自动化控制模块控制三维运动模块驱动水听器先进行一维声压分布扫描,接着进行面扫描,然后进行三维体扫描; 4) 结束扫描。本发明实现了换能器焦点坐标的自动确定和声场的自动化测量,减少了人工参与程度,降低了对操作者的经验要求,提高了设备的安全性和测量效率。

CN 115307724 B



1. 一种自动化测量声场方法,其特征在于:包括以下步骤:

S1、初步判断换能器几何焦点坐标:建立换能器坐标系,换能器的声轴与X轴或Y轴或Z轴同轴,根据换能器的焦距R,自动化控制模块初步判断换能器的几何焦点为F点,F点坐标为 (X_0, Y_0, Z_0) ,三维运动模块在自动化控制模块的控制下驱动水听器移动至F点;

S2、X轴扫描:确定扫描区间长度为N,三维运动模块驱动水听器沿X轴移动扫描,扫描区间为 $[X_0-N/2:X_0+N/2, Y_0, Z_0]$,水听器采集该扫描区间内的电压信号,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_1, Y_0, Z_0) ;

S3、Y轴扫描:三维运动模块驱动水听器沿Y轴移动扫描,扫描区间为 $[X_1, Y_0-N/2:Y_0+N/2, Z_0]$,水听器采集该扫描区间内的电压信号,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_1, Y_1, Z_0) ;

S4、Z轴扫描:三维运动模块驱动水听器沿Z轴移动扫描,扫描区间为 $[X_1, Y_1, Z_0-N/2:Z_0+N/2]$,水听器采集该扫描区间内的电压信号,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_1, Y_1, Z_1) ;

S5、重复步骤S2-S4,且重复过程中,X轴的扫描区间为 $[X_{n-1}-N/2+10(n-1):X_{n-1}+N/2-10(n-1), Y_{n-1}, Z_{n-1}]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_{n-1}, Z_{n-1}) ,Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1}-N/2+10(n-1):Y_{n-1}+N/2-10(n-1), Z_{n-1}]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_{n-1}) ,Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1}-N/2+10(n-1):Z_{n-1}+N/2-10(n-1)]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_n) ,其中,n顺次取大于1的正整数,直至水听器在X轴、Y轴以及Z轴上采集的电压信号最大值位置坐标误差或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标误差均连续三次在阈值5%以内,坐标 (X_n, Y_n, Z_n) 视为焦点坐标;

S6、一维声压分布扫描:确定扫描区间长度为D/2,D为换能器的开口直径,水听器在三维运动模块的驱动下分别沿X轴、Y轴以及Z轴移动扫描,其中,在X轴上的扫描区间为 $[X_n-D/4:X_n+D/4, Y_n, Z_n]$,在Y轴上的扫描区间为 $[X_n, Y_n-D/4:Y_n+D/4, Z_n]$,在Z轴上的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_n-D/4:Z_n+D/4]$;水听器在三维运动模块的驱动下分别沿X轴、Y轴以及Z轴移动连续扫描三次,若焦点电压信号值偏差小于阈值10%,则进入步骤S7,若焦点电压信号值偏差大于等于阈值10%,则重新回到步骤S5,重新确定焦点坐标;

S7、二维面扫描:确定扫描区间长度为N/m, $N/m < D/2$,水听器在三维运动模块的驱动下沿XY面或XZ面或YZ面移动进行面扫描,其中,在XY面上的扫描区间为 $[X_n-N/(2m):X_n+N/(2m), Y_n-N/(2m):Y_n+N/(2m), Z_n]$,在XZ面上的扫描区间为 $[X_n-N/(2m):X_n+N/(2m), Y_n, Z_n-N/(2m):Z_n+N/(2m)]$,在YZ面上的扫描区间为 $[X_n, Y_n-N/(2m):Y_n+N/(2m), Z_n-N/(2m):Z_n+N/(2m)]$,m取大于1的自然数;

S8、三维体声场扫描:水听器在三维运动模块的驱动下进行体扫描,扫描区间为 $[X_n-N/(2m):X_n+N/(2m), Y_n-N/(2m):Y_n+N/(2m), Z_n-N/(2m):Z_n+N/(2m)]$;

S9、结束扫描;

在步骤S2-S8中,扫描区间的单位均为mm。

2. 根据权利要求1所述的自动化测量声场方法,其特征在于:在步骤S1中,根据换能器的焦距R,设定安全扫描区间长度为P,P小于R;在步骤S2-S7中,当水听器运动超过安全扫描区间 $[X_0-P/2:X_0+P/2, Y_0, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0-P/2:Y_0+P/2, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0, Z_0-P/2:Z_0+P/2]$,自动化控

制模块控制三维运动模块制动。

3. 根据权利要求2所述的自动化测量声场方法,其特征在于:所述自动化控制模块或三维运动模块上设有报警模块,当水听器运动超过安全扫描区间时,自动化控制模块控制报警模块发出警报。

4. 根据权利要求1所述的自动化测量声场方法,其特征在于:在步骤S7和步骤S8中,根据换能器选择相应的-6dB宽度d,设定水听器在X轴的坐标为 X' ,在Y轴的坐标为 Y' ,在Z轴的坐标为 Z' ,当 $X_n-d \leq X' \leq X_n+d$ 时,或当 $Y_n-d \leq Y' \leq Y_n+d$ 时,或当 $Z_n-d \leq Z' \leq Z_n+d$ 时,水听器的运动速度为 V_1 ;当 $X' < X_n-d$ 或 $X' > X_n+d$ 时,或当 $Y' < Y_n-d$ 或 $Y' > Y_n+d$ 时,或当 $Z' < Z_n-d$ 或 $Z' > Z_n+d$ 时,水听器的运动速度为 V_2 , $V_1 < V_2$ 。

5. 根据权利要求4所述的自动化测量声场方法,其特征在于:在 X' 接近 X_n 的过程中,或在 Y' 接近 Y_n 的过程中,或在 Z' 接近 Z_n 的过程中, V_1 逐渐减小;在 X' 远离 X_n 的过程中,或在 Y' 远离 Y_n 的过程中,或在 Z' 远离 Z_n 的过程中, V_1 逐渐增大。

6. 根据权利要求4或5所述的自动化测量声场方法,其特征在于:在 X' 接近 X_n 的过程中,或在 Y' 接近 Y_n 的过程中,或在 Z' 接近 Z_n 的过程中, V_2 逐渐减小;在 X' 远离 X_n 的过程中,或在 Y' 远离 Y_n 的过程中,或在 Z' 远离 Z_n 的过程中, V_2 逐渐增大。

7. 根据权利要求1所述的自动化测量声场方法,其特征在于:在步骤S5中,当 $N/2-10(n-1) \leq D/4$ 时,X轴的扫描区间为 $[X_{n-1}-D/4: X_{n-1}+D/4, Y_{n-1}, Z_{n-1}]$,Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1}-D/4: Y_{n-1}+D/4, Z_{n-1}]$,Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1}-D/4: Z_{n-1}+D/4]$ 。

一种自动化测量声场方法

技术领域

[0001] 本发明属于声场测量技术领域,具体涉及一种自动化测量声场方法。

背景技术

[0002] 聚焦超声的声场特性主要是通过水听器来测量其声压分布和声场,当前聚焦超声声场的测量主要是依靠人工进行的,先依靠人工找到换能器的几何焦点位置,再进行声场的扫描以及相应的计算得到声场。首先进行非声轴扫描,先设置一个大概的扫描范围、扫描速度和扫描间隔,根据扫描的一维结果确定最大值位点,将水听器移置到该点,然后另一非声轴进行重复操作;其次进行声轴的扫描,设置一个大概的扫描范围、扫描速度和扫描间隔,根据扫描的一维结果确定最大值点,将水听器移置到该点;然后依次重复以上三个轴的操作,直至扫描结果中最大值位点的差异很小,即视为找到换能器几何焦点的大概位置。进行细扫进一步确定换能器的几何焦点,首先进行非声轴的细扫,减少扫描范围和扫描速度进行重复上述操作寻找最大值点;然后进行声轴的扫描,减少扫描范围和扫描速度,反复重复以上操作直至扫描结果中最大值位点差异很小,即视为找到换能器的几何焦点位置。在找到换能器的几何焦点位置后,进行一维声压分布扫描、二维面的扫描以及三维体的声场扫描,继而完成聚焦超声声场的测量。

[0003] 上述声场测量方法主要依赖人工和经验进行,例如初始时通过视觉预判换能器的几何焦点位置以及依靠人工操作三维运动系统驱动水听器进行换能器几何焦点位置的确定,特别是换能器几何焦点位置的确定,需要人工的摸索和不断尝试得到经验才能确定,尤其是使用灵敏度较低的水听器如光纤水听器时,换能器的几何焦点位置更加难以确定。对于初学者而言,上述声场测量方法很难掌握,初学者操作时容易出现水听器撞击换能器事故。并且,上述声场测量方法需要进行大量的粗扫和细扫工作,存在耗时长、效率低的问题。

发明内容

[0004] 本发明意在提供一种自动化测量声场方法,以解决传统声场测量方法要求有经验、耗时长、效率低的问题。

[0005] 为了达到上述目的,本发明的方案为:一种自动化测量声场方法,包括以下步骤:

[0006] S1、初步判断换能器几何焦点坐标:建立换能器坐标系,换能器的声轴与X轴或Y轴或Z轴同轴,根据换能器的焦距R,自动化控制模块初步判断换能器的几何焦点为F点,F点坐标为 (X_0, Y_0, Z_0) ,三维运动模块在自动化控制模块的控制下驱动水听器移动至F点;

[0007] S2、X轴扫描:确定扫描区间长度为N,三维运动模块驱动水听器沿X轴移动扫描,扫描区间为 $[X_0-N/2: X_0+N/2, Y_0, Z_0]$,水听器采集该扫描区间内的电压信号,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_1, Y_0, Z_0) ;

[0008] S3、Y轴扫描:三维运动模块驱动水听器沿Y轴移动扫描,扫描区间为 $[X_1, Y_0-N/2: Y_0+N/2, Z_0]$,水听器采集该扫描区间内的电压信号,记录电压信号最大值位置坐标或两个对

称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_1, Y_1, Z_0) ;

[0009] S4、Z轴扫描:三维运动模块驱动水听器沿Z轴移动扫描,扫描区间为 $[X_1, Y_1, Z_0 - N/2 : Z_0 + N/2]$,水听器采集该扫描区间内的电压信号,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_1, Y_1, Z_1) ;

[0010] S5、重复步骤S2-S4,且重复过程中,X轴的扫描区间为 $[X_{n-1} - N/2 + 10(n-1) : X_{n-1} + N/2 - 10(n-1), Y_{n-1}, Z_{n-1}]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_{n-1}, Z_{n-1}) ,Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1} - N/2 + 10(n-1) : Y_{n-1} + N/2 - 10(n-1), Z_{n-1}]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_{n-1}) ,Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1} - N/2 + 10(n-1) : Z_{n-1} + N/2 - 10(n-1)]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_n) ,其中,n顺次取大于1的正整数,直至水听器在X轴、Y轴以及Z轴上采集的电压信号最大值位置坐标误差或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标误差均连续三次在阈值A以内,坐标 (X_n, Y_n, Z_n) 视为焦点坐标;

[0011] S6、一维声压分布扫描:确定扫描区间长度为 $D/2$,D为换能器的开口直径,水听器在三维运动模块的驱动下分别沿X轴、Y轴以及Z轴移动扫描,其中,在X轴上的扫描区间为 $[X_n - D/4 : X_n + D/4, Y_n, Z_n]$,在Y轴上的扫描区间为 $[X_n, Y_n - D/4 : Y_n + D/4, Z_n]$,在Z轴上的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_n - D/4 : Z_n + D/4]$;

[0012] S7、二维面扫描:确定扫描区间长度 N/m , $N/m < D/2$,水听器在三维运动模块的驱动下沿XY面或XZ面或YZ面移动进行面扫描,其中,在XY面上的扫描区间为 $[X_n - N/(2m) : X_n + N/(2m), Y_n - N/(2m) : Y_n + N/(2m), Z_n]$,在XZ面上的扫描区间为 $[X_n - N/(2m) : X_n + N/(2m), Y_n, Z_n - N/(2m) : Z_n + N/(2m)]$,在YZ面上的扫描区间为 $[X_n, Y_n - N/(2m) : Y_n + N/(2m), Z_n - N/(2m) : Z_n + N/(2m)]$,m取大于1的自然数;

[0013] S8、三维体声场扫描:水听器在三维运动模块的驱动下进行体扫描,扫描区间为 $[X_n - N/(2m) : X_n + N/(2m), Y_n - N/(2m) : Y_n + N/(2m), Z_n - N/(2m) : Z_n + N/(2m)]$;

[0014] S9、结束扫描;

[0015] 在步骤S2-S8中,扫描区间的单位均为mm。

[0016] 本方案的工作原理及有益效果在于:首先,本方案中,换能器的焦距R是已知的,将焦距R输入自动化控制模块,自动化控制模块初步判断换能器的几何焦点F点的坐标为 (X_0, Y_0, Z_0) ,无需人工通过视觉预判换能器的焦点位置坐标。其次,本方案中,从测量开始至测量结束,均由自动化系统控制三维运动模块驱动水听器移动,实现了自动确定换能器的焦点位置坐标并实现了自动化测量声场,避免依赖人工摸索和不断尝试,提高了焦点位置坐标确定的效率,从而提高了测量效率。

[0017] 综上所述,本方案与现有的依靠人工进行声场测量的方法相比,前者实现了换能器焦点位置坐标的自动确定和声场的自动化测量,操作简单,减少了人工参与程度,降低了对操作者的经验要求,提高了设备的安全性和测量效率。

[0018] 可选地,在步骤S1中,根据换能器的焦距R,设定安全扫描区间长度为P,P小于R;在步骤S2-S7中,当水听器运动超过安全扫描区间 $[X_0 - P/2 : X_0 + P/2, Y_0, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0 - P/2 : Y_0 + P/2, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0, Z_0 - P/2 : Z_0 + P/2]$,自动化控制模块控制三维运动模块制动。

[0019] 本方案中,设定安全扫描区间,当水听器运动超过安全扫描区间时,自动化控制模块将控制三维运动模块制动,水听器停止运动,避免水听器与换能器或者箱体侧壁之间发

生碰撞,从而保护水听器 and 换能器。

[0020] 可选地,所述自动化控制模块或三维运动模块上设有报警模块,当水听器运动超过安全扫描区间时,自动化控制模块控制报警模块发出警报。

[0021] 本方案中,当水听器运动超过安全扫描区间时,水听器停止运动的同时,报警模块在自动化控制模块的控制下发出警报,从而警示操作者调整扫描区间长度。

[0022] 可选地,在步骤S7和步骤S8中,根据换能器选择相应的-6dB宽度d,设定水听器在X轴的坐标为 X' ,在Y轴的坐标为 Y' ,在Z轴的坐标为 Z' ,当 $X_n-d \leq X' \leq X_n+d$ 时,或当 $Y_n-d \leq Y' \leq Y_n+d$ 时,或当 $Z_n-d \leq Z' \leq Z_n+d$ 时,水听器的运动速度为 V_1 ;当 $X' < X_n-d$ 或 $X' > X_n+d$ 时,或当 $Y' < Y_n-d$ 或 $Y' > Y_n+d$ 时,或当 $Z' < Z_n-d$ 或 $Z' > Z_n+d$ 时,水听器的运动速度为 V_2 , $V_1 < V_2$ 。

[0023] 本方案中,自动化控制模块控制三维运动模块驱动水听器进行变速扫描工作,而在焦域处(电压信号值较强)以速度 V_1 进行扫描工作,而在非焦域处(电压信号值较弱)以速度 V_2 进行扫描工作,避免始终以速度 V_1 进行扫描工作,进一步提高测量效率。

[0024] 可选地,在 X' 接近 X_n 的过程中,或在 Y' 接近 Y_n 的过程中,或在 Z' 接近 Z_n 的过程中, V_1 逐渐减小;在 X' 远离 X_n 的过程中,或在 Y' 远离 Y_n 的过程中,或在 Z' 远离 Z_n 的过程中, V_1 逐渐增大。。

[0025] 本方案中,在焦域处,越是靠近换能器的焦点,水听器的扫描速度越低,如此,则越能够提高声场测量的准确度。

[0026] 可选地,在 X' 接近 X_n 的过程中,或在 Y' 接近 Y_n 的过程中,或在 Z' 接近 Z_n 的过程中, V_2 逐渐减小;在 X' 远离 X_n 的过程中,或在 Y' 远离 Y_n 的过程中,或在 Z' 远离 Z_n 的过程中, V_2 逐渐增大。

[0027] 本方案中,在非焦域处,越是靠近换能器的焦点,水听器的扫描速度越低,如此,则越能够提高声场测量的准确度。

[0028] 可选地,在步骤S6中,水听器在三维运动模块的驱动下分别沿X轴、Y轴以及Z轴移动连续扫描三次,若焦点电压信号值偏差小于阈值B,则进入步骤S7,若焦点电压信号值偏差大于等于阈值B,则重新回到步骤S5,重新确定焦点坐标。

[0029] 本方案中,在X轴、Y轴以及Z轴上连续扫描的三次中,若焦点电压信号值偏差值小于阈值B,则说明在步骤S5中确定的焦点坐标可用,若焦点电压信号值偏差大于等于阈值B,则说明在步骤S5中确定的焦点坐标不可用,需要回到步骤S5重新确定焦点坐标,从而保证换能器焦点坐标的准确性,进而确保声场测量的准确性。

[0030] 可选地,在步骤S5中, $A=5\%$ 。

[0031] 本方案中, $A=5\%$ 合适,这样足以保证换能器焦点坐标的准确性。

[0032] 可选地,在步骤S6中, $B=10\%$ 。

[0033] 本方案中, $B=10\%$ 合适,这样足以保证换能器焦点坐标的准确性。

[0034] 可选地,在步骤S5中,当 $N/2-10(n-1) \leq D/4$ 时,X轴的扫描区间为 $[X_{n-1}-D/4: X_{n-1}+D/4, Y_{n-1}, Z_{n-1}]$,Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1}-D/4: Y_{n-1}+D/4, Z_{n-1}]$,Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1}-D/4: Z_{n-1}+D/4]$ 。

[0035] 本方案中,在步骤S5中设定一个扫描区间的最小值,避免扫描区间越来越小,从而保证X轴、Y轴和Z轴均能得到扫描结果。

附图说明

[0036] 图1为本发明实施例一中自动化测量声场方法中所使用的自动化测量声场装置的结构示意图;

[0037] 图2为本发明实施例一中自动化测量声场方法的流程图;

[0038] 图3为本发明实施例二中自动化测量声场方法中所使用的自动化测量声场装置的结构示意图。

具体实施方式

[0039] 下面通过具体实施方式进一步详细说明:

[0040] 说明书附图中的标记包括:自动化控制模块1、信号发生器2、功率放大器3、聚焦换能器4、三维运动模块5、水听器6、箱体7、报警模块8。

[0041] 实施例一

[0042] 本实施例先提供一种自动化测量声场装置,该装置如图1所示,包括自动化控制模块1、信号发生器2、功率放大器3、聚焦换能器4、三维运动模块5、水听器6和箱体7,箱体7内盛有脱气水,以便试验在脱气水中完成。水听器6的采集端与聚焦换能器4的探头均位于Z轴(水听器6的采集端与聚焦换能器4的探头也可位于X轴或Y轴,本实施例以Z轴为例)。自动化控制模块1、信号发生器2、功率放大器3和聚焦换能器4顺次相连,功率放大器3将信号发生器2的输出信号放大,驱动聚焦换能器4激发声场。水听器6将采集的声波信号转换为电压信号,并将电压信号传输至自动化控制模块1,三维运动模块5能够实时采集水听器6的位置坐标信息(例如三维运动模块5上具有距离传感器,实时监测水听器6在箱体7内的位置坐标),并将水听器6的位置坐标信息传输至自动化控制模块1。自动化控制模块1控制信号发生器2输出,控制功率放大器3的功率以及控制三维运动模块5运动并存储数据,三维运动模块5在自动化控制模块1的控制下驱动水听器6在三维空间(X轴、Y轴、Z轴)内移动。水听器6对三维空间内的坐标点处的声波进行采集,并将采集到的声波信号转换成电压信号,输送至自动化控制模块1,自动化控制模块1在接收到各坐标处的电压信号后组成波形图,以显示采集到的各声波的波形,其中每个坐标点均带有自身的三维空间信息,水听器6在坐标处采集的声波信号转换为电压信号后,传输至自动化控制模块1,经操作者处理后得到声压值,声压值与三维坐标信息一一对应即可变为三维声场。本实施例中,自动化控制模块1为计算机这种起到控制作用的常规已知设备,计算机书所用的上位机软件为三维声场测量系统上位机软件,英文3DUSPM(3Dimension UltraSound Pressure Mapping);三维运动模块5为现有的三维运动平台。

[0043] 本实施例还提供一种自动化测量声场方法,如图2所示,具体包括以下步骤:

[0044] 步骤一、初步判断换能器几何焦点坐标:建立换能器坐标系,假设聚焦换能器4的声轴与三维运动模块5的Z轴同轴,根据聚焦换能器4的焦距R,操作者在自动化控制模块1(计算机)内输入参数——焦距R,自动化控制模块1初步判断聚焦换能器4的几何焦点为F点,F点坐标为 (X_0, Y_0, Z_0) ,自动化控制模块1控制三维运动模块5驱动水听器6移动至F点。并且,根据聚焦换能器4的焦距R,设定安全扫描区间长度为P,P小于D,当水听器6运动超过安全扫描区间 $[X_0 - P/2 : X_0 + P/2, Y_0, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0 - P/2 : Y_0 + P/2, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0, Z_0 - P/2 : Z_0 + P/2]$,自动化控制模块1控制三维运动模块5制动,避免水听器6与聚焦换能器4或箱体7相撞。

[0045] 步骤二、X轴扫描:确定扫描区间长度为N,三维运动模块5驱动水听器6沿X轴移动扫描,扫描区间为 $[X_0-N/2:X_0+N/2, Y_0, Z_0]$,水听器6采集该扫描区间内的电压信号,自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标 (X_1, Y_0, Z_0) 。本步骤中,若扫描过程中出现对称的两个高斯波形,此时选择扫描区间内两个波之间的波谷位置 X_1 (扫描区间内两个对称波的波峰间距中间点位置坐标)作为当前焦点参考位置在X轴上的坐标。

[0046] 步骤三、Y轴扫描:三维运动模块5驱动水听器6沿Y轴移动扫描,扫描区间为 $[X_1, Y_0-N/2:Y_0+N/2, Z_0]$,水听器6采集该扫描区间内的电压信号,自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标 (X_1, Y_1, Z_0) 。本步骤中,若扫描过程中出现对称的两个高斯波形,此时选择扫描区间内两个波之间的波谷位置 Y_1 (扫描区间内两个对称波的波峰间距中间点位置坐标)作为当前焦点参考位置在Y轴上的坐标。

[0047] 步骤四、Z轴扫描:三维运动模块5驱动水听器6沿Z轴移动扫描,扫描区间为 $[X_1, Y_1, Z_0-N/2:Z_0+N/2]$,水听器6采集该扫描区间内的电压信号,自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标 (X_1, Y_1, Z_1) 。本步骤中,若扫描过程中出现对称的两个高斯波形,此时选择扫描区间内两个波之间的波谷位置 Z_1 (扫描区间内两个对称波的波峰间距中间点位置坐标)作为当前焦点参考位置在Z轴上的坐标。

[0048] 步骤五、重复步骤二至步骤四,且重复过程中,X轴的扫描区间为 $[X_{n-1}-N/2+10(n-1):X_{n-1}+N/2-10(n-1), Y_{n-1}, Z_{n-1}]$,自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_{n-1}, Z_{n-1}) ,Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1}-N/2+10(n-1):Y_{n-1}+N/2-10(n-1), Z_{n-1}]$,自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_{n-1}) ,Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1}-N/2+10(n-1):Z_{n-1}+N/2-10(n-1)]$,自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_n) ,其中,n顺次取大于1的正整数。并且,当 $N/2-10(n-1) \leq D/4$ 时(D为聚焦换能器4的开口直径),X轴的扫描区间为 $[X_{n-1}-D/4:X_{n-1}+D/4, Y_{n-1}, Z_{n-1}]$,Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1}-D/4:Y_{n-1}+D/4, Z_{n-1}]$,Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1}-D/4:Z_{n-1}+D/4]$,此后不再改变扫描区间,直至水听器6在X轴、Y轴以及Z轴上采集的电压信号最大值位置坐标误差或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标误差均连续三次在阈值A以内,坐标 (X_n, Y_n, Z_n) 视为焦点坐标。

[0049] 具体地,本步骤中,第一次重复步骤二至步骤四时,n取2,X轴的扫描区间为 $[X_1-N/2+10:X_1+N/2-10, Y_1, Z_1]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_2, Y_1, Z_1) ,Y轴的扫描区间为 $[X_2, Y_1-N/2+10:Y_1+N/2-10, Z_1]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_2, Y_2, Z_1) ,Z轴的扫描区间为 $[X_2, Y_2, Z_1-N/2+10:Z_1+N/2-10]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_2, Y_2, Z_2) 。

[0050] 第二次重复步骤二至步骤四,n取3,X轴的扫描区间为 $[X_2-N/2+20:X_2+N/2-20, Y_2, Z_2]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_3, Y_2, Z_2) ,Y轴的扫描区间为 $[X_3, Y_2-N/2+20:Y_2+N/2-20, Z_2]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_3, Y_3, Z_2) ,Z轴的扫描区间为 $[X_3, Y_3, Z_2-N/2+20:Z_2+N/2-20]$,记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_3, Y_3, Z_3) 。

[0051] 第三次重复步骤二至步骤四,n取4,完成X轴、Y轴以及Z轴的扫描后,记录电压信号

最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_4, Y_4, Z_4) , 以此类推, 当 $N/2-10(n-1) \leq D/4$ 时, X轴的扫描区间为 $[X_{n-1}-D/4: X_{n-1}+D/4, Y_{n-1}, Z_{n-1}]$, Y轴的扫描区间为 $[X_n, Y_{n-1}-D/4: Y_{n-1}+D/4, Z_{n-1}]$, Z轴的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_{n-1}-D/4: Z_{n-1}+D/4]$, 此后不再改变扫描区间, 直至水听器6在X轴、Y轴以及Z轴上采集的电压信号最大值位置坐标误差或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标误差均连续三次在阈值5%以内, 停止扫描, 自动化控制模块1记录电压信号最大值位置坐标或两个对称波的波峰间距中间点位置坐标 (X_n, Y_n, Z_n) , 该坐标即视为聚焦换能器4的焦点坐标。

[0052] 步骤六、一维声压分布扫描: 确定扫描区间长度为 $D/2$ (D 为聚焦换能器4的开口直径), 水听器6在三维运动模块5的驱动下分别沿X轴、Y轴以及Z轴移动连续扫描三次, 其中, 在X轴上的扫描区间为 $[X_n-D/4: X_n+D/4, Y_n, Z_n]$, 在Y轴上的扫描区间为 $[X_n, Y_n-D/4: Y_n+D/4, Z_n]$, 在Z轴上的扫描区间为 $[X_n, Y_n, Z_n-D/4: Z_n+D/4]$ 。

[0053] 三次扫描X轴、Y轴以及Z轴后, 若各轴的焦点电压信号值偏差小于阈值10%, 则得到X轴、Y轴和Z轴的一维声压分布扫描结果。若各轴的焦点电压信号值偏差大于等于10%, 则重新回到步骤五, 继续扫描, 并重新确定焦点坐标, 再进行一维声压分布扫描, 直至各轴的焦点电压信号偏差小于10%。

[0054] 步骤七、二维面扫描: 确定扫描区间长度为 N/m , $N/m < D/2$, 水听器6在三维运动模块5的驱动下沿XY面或XZ面或YZ面移动进行面扫描, 其中, 在XY面上的扫描区间为 $[X_n-N/(2m): X_n+N/(2m), Y_n-N/(2m): Y_n+N/(2m), Z_n]$, 在XZ面上的扫描区间为 $[X_n-N/(2m): X_n+N/(2m), Y_n, Z_n-N/(2m): Z_n+N/(2m)]$, 在YZ面上的扫描区间为 $[X_n, Y_n-N/(2m): Y_n+N/(2m), Z_n-N/(2m): Z_n+N/(2m)]$, 得到XY面、XZ面以及YZ面的二维面扫描结果, m 取大于1的自然数。

[0055] 本步骤中, 根据聚焦换能器4选择相应的 -6dB 宽度 d , 并设定水听器6在X轴的坐标为 X' , 在Y轴的坐标为 Y' , 在Z轴的坐标为 Z' , 当 $X_n-d \leq X' \leq X_n+d$ 时, 或当 $Y_n-d \leq Y' \leq Y_n+d$ 时, 或当 $Z_n-d \leq Z' \leq Z_n+d$ 时, 自动化控制模块1控制三维运动模块5的运动速度, 从而控制水听器6的运动速度为 V_1 ; 当 $X' < X_n-d$ 或 $X' > X_n+d$ 时, 或当 $Y' < Y_n-d$ 或 $Y' > Y_n+d$ 时, 或当 $Z' < Z_n-d$ 或 $Z' > Z_n+d$ 时, 自动化控制模块1控制三维运动模块5的运动速度, 从而控制水听器6的运动速度为 V_2 , $V_1 < V_2$, V_1 的范围为 $60-70\text{mm/s}$, V_2 的范围为 $71-90\text{mm/s}$, 在本实施例中, V_1 为 65mm/s , V_2 为 85mm/s 。从而使得水听器6在焦域处的运动速度较慢, 在非焦域处的运动速度较快, 从而在确保测量结果准确性的前提下, 提高测量效率。

[0056] 在另一实施例中, 在 X' 接近 X_n 的过程中, 或在 Y' 接近 Y_n 的过程中, 或在 Z' 接近 Z_n 的过程中, V_1 由 70mm/s 逐渐减小至 60mm/s ; 在 X' 远离 X_n 的过程中, 或在 Y' 远离 Y_n 的过程中, 或在 Z' 远离 Z_n 的过程中, V_1 由 60mm/s 逐渐增大至 70mm/s ; 并且, 在 X' 接近 X_n 的过程中, 或在 Y' 接近 Y_n 的过程中, 或在 Z' 接近 Z_n 的过程中, V_2 由 90mm/s 逐渐减小至 71mm/s , 在 X' 远离 X_n 的过程中, 或在 Y' 远离 Y_n 的过程中, 或在 Z' 远离 Z_n 的过程中, V_2 由 71mm/s 逐渐增大至 90mm/s 。如此, 使得水听器6越靠近焦点坐标移动速度(即扫描速度)越慢, 越能保证测量结果的准确性。

[0057] 步骤八、三维体声场扫描: 水听器6在三维运动模块5的驱动下进行体扫描, 扫描区间为 $[X_n-N/(2m): X_n+N/(2m), Y_n-N/(2m): Y_n+N/(2m), Z_n-N/(2m): Z_n+N/(2m)]$, 得到三维体声场扫描结果, m 取大于1的自然数, 且 $N/m < D/2$ 。并且, 本步骤中, 水听器6的运动速度设定与步骤七中水听器6到的运动速度设定相同, 从而实现自动变速扫描, 提高测量效率。

[0058] 步骤九、结束扫描, 自动化控制模块1控制三维运动模块5驱动水听器6运动复位。

操作者根据扫描得到的电压信号计算得到声压值,从而得到一维声压分布、二维声压面和三维体声场。

[0059] 在步骤二至步骤八中,扫描区间的均为 mm ,在步骤二至步骤六中,水听器6的运动速度为 $60\text{-}70\text{mm/s}$,本实施例中,在步骤二至步骤六中水听器6的运动速度为 60mm/s 。在步骤二至步骤八中,水听器6的扫描间隔为 0.1mm 。

[0060] 在步骤二至步骤八中,当水听器6运动超过安全扫描区间 $[X_0-P/2:X_0+P/2, Y_0, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0-P/2:Y_0+P/2, Z_0]$ 或 $[X_0, Y_0, Z_0-P/2:Z_0+P/2]$ 自动化控制模块1控制三维运动模块5制动,从而使得水听器6停止运动,避免水听器6与聚焦换能器4或者箱体7的侧壁相撞,从而保护水听器6和聚焦换能器4,提高设备使用过程中的安全性。

[0061] 本实施例中,操作者仅需要在开始测量前在自动化控制模块1中输入所使用的聚焦换能器4的焦距 R ,以及根据聚焦换能器开口直径 D 确定的 P 和 N 以及 m ,根据聚焦换能器4选择相应的 -6dB 宽度 d ,从而确定各扫描区间长度和安全扫描区间即可,即预先输入几组合适的参数,系统便会自动初步判断聚焦换能器4的几何焦点 F 点的坐标 (X_0, Y_0, Z_0) 、自动确定聚焦换能器4的几何焦点坐标 (X_n, Y_n, Z_n) ,并且,本实施例还能够实现变速扫描,相较于现有的人工测量声场的方法,本实施例操作简单,减少了人工参与程度,对操作者的经验要求低,实现了自动化测量声场,提高了设备的安全性和测量效率,确保了声场测量的准确性。

[0062] 实施例二

[0063] 本实施例与实施例一的区别之处在于:如图3所示,本实施例中,自动化控制模块1上设有报警模块8,当水听器6运动超过安全扫描区间时,自动化控制模块1控制报警模块8发出警报。报警模块8包括声光报警器,当水听器6运动超过安全扫描区间时,自动化控制模块1控制声光报警器工作发出声音信号和光信号,从而警示操作者,操作者重新在自动化控制模块1内输入合适的扫描区间长度 N 以及合适的扫描区间长度 N/m 。

[0064] 以上的仅是本发明的实施例,该发明不限于此实施案例涉及的领域,方案中公知的具体结构及特性等常识在此未作过多描述,所属领域普通技术人员知晓申请日或者优先权日之前发明所属技术领域所有的普通技术知识,能够获知该领域中所有的现有技术,并且具有应用该日期之前常规实验手段的能力,所属领域普通技术人员可以在本申请给出的启示下,结合自身能力完善并实施本方案,一些典型的公知结构或者公知方法不应当成为所属领域普通技术人员实施本申请的障碍。应当指出,对于本领域的技术人员来说,在不脱离本发明结构的前提下,还可以作出若干变形和改进,这些也应该视为本发明的保护范围,这些都不会影响本发明实施的效果和本发明的实用性。本申请要求的保护范围应当以其权利要求的内容为准,说明书中的具体实施方式等记载可以用于解释权利要求的内容。

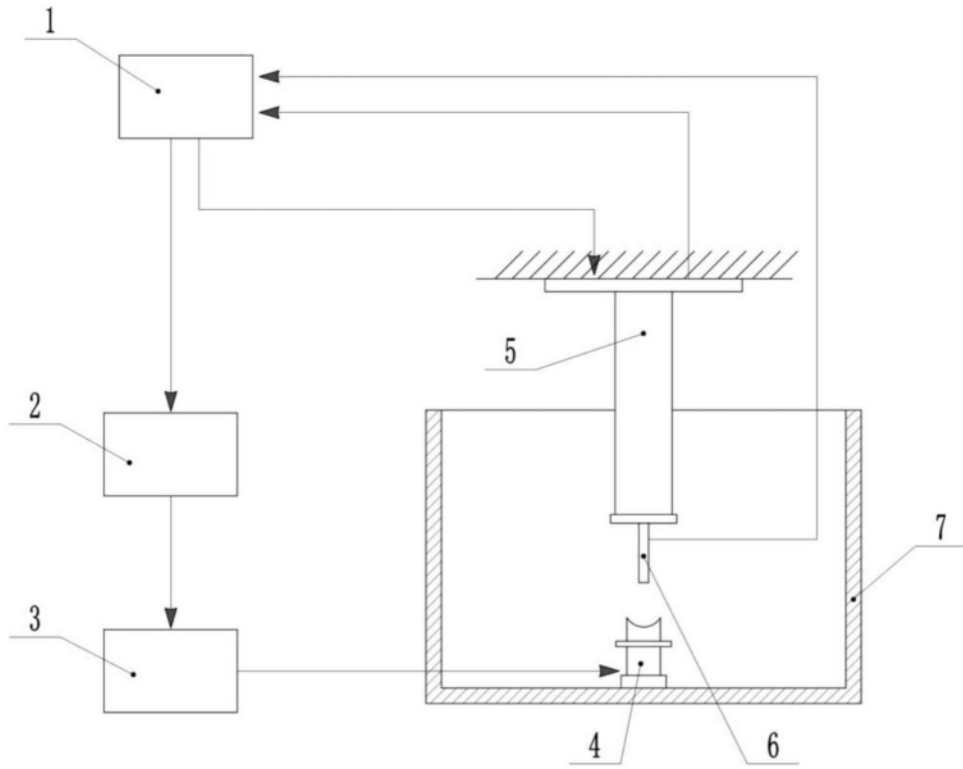


图1

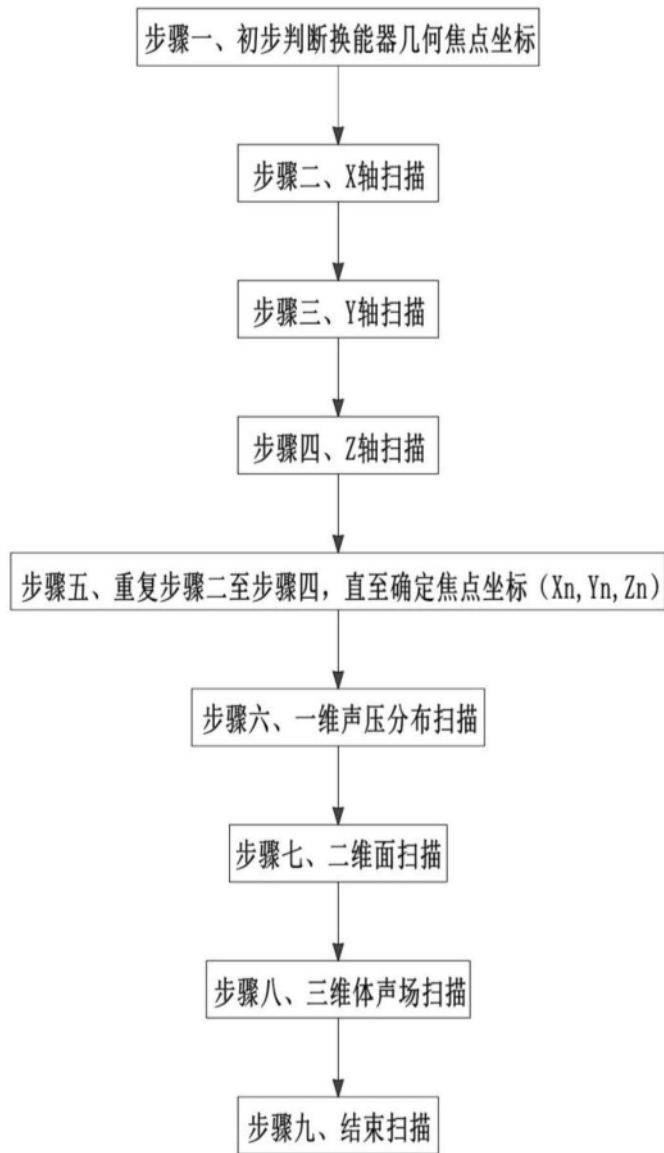


图2

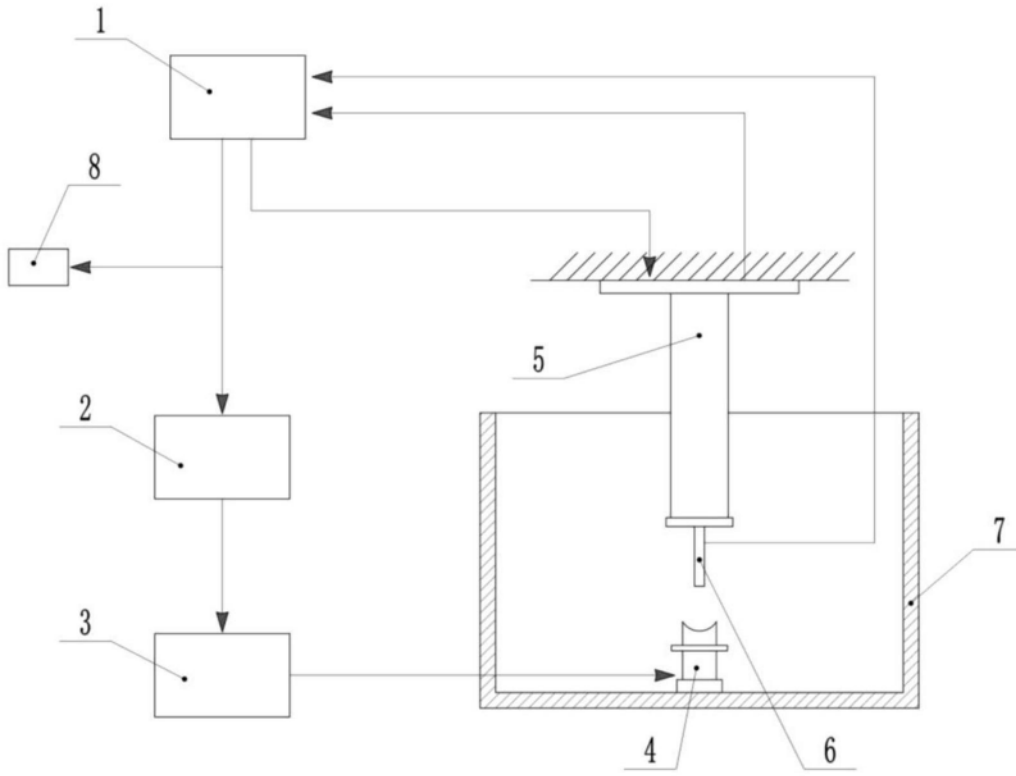


图3