



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106137320 A

(43)申请公布日 2016. 11. 23

(21)申请号 201610551504.1

(22)申请日 2016.07.11

(71)申请人 杨林

地址 315200 浙江省宁波市镇海区隧道北路555号

(72)发明人 不公告发明人

(74)专利代理机构 北京高航知识产权代理有限公司 11530

代理人 赵永强

(51) Int. Cl.

A61B 17/225(2006.01)

B06B 3/02(2006.01)

B06B 1/06(2006.01)

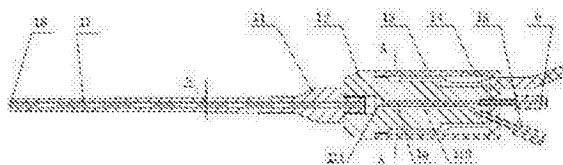
权利要求书2页 说明书14页 附图2页

(54)发明名称

一种应用于体内的超声碎石仪

(57)摘要

本发明公开了一种应用于体内的超声碎石仪,包括超声波换能器,所述的超声波换能器外套接有操作手柄外壳,所述的超声波换能器连接有碎石变幅杆,所述的碎石变幅杆内设有工作通道,所述的工作通道的一端设置在碎石变幅杆的工作面上,另一端连接有两个通道,其中一个为进水通道,所述的进水通道与进水口相连;另一个为吸引通道,所述的吸引通道与吸引接口相连。本发明主要是提供一种应用在微创手术中,与内窥镜配套使用的超声碎石器,其可以将结石完全吸附住然后打碎,然后通过管道吸出体外,不会造成碎石进入肾内,造成人体的损害;解决现有技术所存在的外部碎石不彻底,容易对人体造成损害的技术问题。



1. 一种应用于体内的超声碎石仪, 其特征在于, 所述的超声波换能器外套接有操作手柄外壳, 所述的超声波换能器连接有碎石变幅杆, 所述的碎石变幅杆内设有工作通道, 所述的工作通道的一端设置在碎石变幅杆的工作面上, 另一端连接有两个通道, 其中一个为进水通道, 所述的进水通道与进水口相连; 另一个为吸引通道, 所述的吸引通道与吸引接口相连; 进水通道连接外部水管, 将水通过进水通道输入, 吸引通道通过吸力将结石吸附在碎石变幅杆的端面, 然后超声波换能器带动碎石变幅杆将结石击碎, 然后再通过吸引通道将击碎的碎石通过水流带出体外; 所述的吸引通道和进水通道相互平行, 且两个通道的直径相同, 两个通道均位于所述的超声波换能器的中心; 所述的吸引通道和进水通道与所述的工作通道之间设有斗形的连接腔。

2. 根据权利要求1所述的一种应用于体内的超声碎石仪, 其特征在于, 所述的进水通道与进水口之间设有夹角, 所述的吸引通道与所述的吸引接口同轴布置。

3. 根据权利要求2所述的一种应用于体内的超声碎石仪, 其特征在于, 所述的碎石变幅杆的横截面为圆形, 所述的碎石变幅杆的外圆周表面是锥面, 锥度 α 为 $0^\circ \sim 10^\circ$ 。

4. 根据权利要求3所述的一种应用于体内的超声碎石仪, 其特征在于, 包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头; 所述换能器上方的两侧设置旋转变压器, 所述变幅杆包括上端部分、变截面部分和下端部分, 所述上端部分直接连接换能器的底面, 所述下端部分直接连接工具头, 所述变截面的形状根据下列公式计算: $P(x) = P_0 e^{\left(\frac{-k^2 x^2}{2}\right)}$, $D(x) = D_0 e^{\left(\frac{-k^2 x^2}{2}\right)}$,

$l_2 = \frac{\sqrt{(2 - \frac{P_1}{P_0})}}{k}$, 其中, $P(x)$ 为变幅杆的横截面面积函数, k 为圆波数, $D(x)$ 为轮廓半径函数, D_0 为上端部分的半径, P_0 为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积, P_1 为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积, 下端部分的长度根据下列公式计算: $l_3 = \frac{\arccos\left(\frac{P_1}{P_0}\right)}{k}$; 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环, 偶数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆, 压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反; 根据实际需要设定换能器的共振频率后通过下列公式得到换能器的几何尺寸:

(1) 所述换能器的等效电路图, 虚线将整个电路划分为三个部分, 分别为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路, 其中, Z_{bL} 和 Z_{fL} 分别是换能器后、前两端的负载阻抗, 根据实际需要设定;

(2) 所述换能器的振动频率方程为

$$Z_i = \frac{Z_m}{1 + j\omega \rho c_2 l_2 Z_m}$$

前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{f1} = Z_{1f} + \frac{Z_{2f}(Z_{2f} + Z_{fL})}{Z_{2f} + Z_{1f} + Z_{fL}}$, 后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{b1} = Z_{1b} + \frac{Z_{2b}(Z_{2b} + Z_{bL})}{Z_{2b} + Z_{1b} + Z_{bL}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_m = Z_{2p} + \frac{(Z_{1f} + Z_{f1})(Z_{1b} + Z_{b1})}{2Z_{2p} + Z_{f1} + Z_{b1}},$$

其中, $Z_{1f} = |Z_f \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)|$, $Z_{2f} = \frac{Z_f}{|1 + \cos(k_2 l_2)|}$, $c_2 = \sqrt{\frac{E_2(1 - \sigma_2)(1 - 2\sigma_2)}{\rho_2(1 + \sigma_2)}}$, $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$, $k_2 =$

ω / c_2 , c_2 是前金属盖板中的声速, ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松系数, l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积;

(3) 由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bl}=Z_{fl}=0$,若忽略机械损耗和介电损耗,换能器的共振频率方程为 $|Z_i|=0$;若考虑机械损耗,输入电阻抗为最小时,换能器的共振频率方程为 $|Z_i|=|Z_i|_{\min}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

(4) 由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bl}=Z_{fl}=0$,当输入电阻抗为无效大时,忽略损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i|=\infty$;当输入电阻抗为无效大时,考虑损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i|=|Z_i|_{\max}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰,所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板,所述上端盖包括固定柱,所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内,且向下延伸至上端盖的下方,所述变幅杆向上延伸至换能器的内部,且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧,所述上弹簧的上端连接固定柱的下端,所述上弹簧的下端连接连接件,所述下弹簧的上端连接连接件,所述下弹簧的下端连接变幅杆。

5. 根据权利要求4所述的一种应用于体内的超声碎石仪,其特征在于,相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极,金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

6. 根据权利要求5所述的一种应用于体内的超声碎石仪,其特征在于,根据实际需要设定换能器的共振频率后通过下列公式得到换能器的几何尺寸:(1)首先对换能器的频率方程进行推导:截面AB为位移节面,位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振子,即 L_f+l_2 以及 L_b+l_1 均为振动波长的四分之一,每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成,位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷进队的长度记为 L_f ,位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶堆的长度记为 L_b ,若压电陶瓷晶堆由P个厚度为1的压电陶瓷圆环组成,则有 $L_f+L_b=P1$ 且1远小于厚度振动的波长。位移波节前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0 / Z_f$,位移波节后的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_b) \tan(k_1 l_1) = Z_0 / Z_f$,其中, Z_0 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度;(2)根据实际需要设定共振频率,并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

7. 根据权利要求6所述的一种应用于体内的超声碎石仪,其特征在于,所述固定法兰的中心轴位置留有开孔,所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构,并通过可伸缩结构连接所述下端盖。

一种应用于体内的超声碎石仪

技术领域

[0001] 本发明涉及医疗领域,具体涉及的是一种应用于体内的超声碎石仪。

背景技术

[0002] 相关技术中,对于一般的肾结石、输尿管结石和膀胱结石,可以采用体外冲击波碎石法进行碎石,或采用医用钬激光、医用钕激光、气压弹道碎石等方法碎石。体外冲击波碎石、超声碎石只对约15%的易碎的小结石有效。医用钬激光、医用钕激光以及气压弹道碎石可以解决约80%结石病人的治疗难题。这些治疗方法借助膀胱镜、输尿管软镜进行,激光光纤或设备的治疗端通过尿道抵达结石部位,然后由激光能量或气压弹道碎石能量,将结石击碎。以上这几种方法都无需开刀,对人体无损伤或损伤极小,是绝大多数结石如肾结石、输尿管结石和膀胱结石病人都愿意接受的治疗方法。缺点是上述治疗方法对部分肾结石,尤其是顽固坚硬的肾下盏结石和膀胱结石常常无能为力,而且治疗时只能碎石,不能当场清石,留下结石复发和碎石堵塞尿路的隐患。超声波体内碎石是一种较好的微创治疗结石的技术,一般采用中空的碎石探针,配合真空负压吸引设备,在用超声波将结石击碎的同时,利用负压将结石吸出体外,实现碎石清石的治疗目的,这种方法的好处是去石彻底,治疗后一般两天就可以康复,并且不容易复发。但是相关仪器的碎石能力较低,无法快速有效地碎石。

发明内容

[0003] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种一种应用于体内的超声碎石仪,解决相关仪器的碎石能力较低,无法快速有效地碎石的技术问题。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是一种应用于体内的超声碎石仪,包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头。所述换能器上方的两侧设置旋转变压器,所述变幅杆包括上端部分、变截面部分和下端部分,所述上端部分直接连接换能器的底面,所述下端部分直接连接工具头,所述变截面的形状根据下列公式计算: $P(x) = P_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}$,

$D(x) = D_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}$, $l_s = \frac{\sqrt{2 \ln \frac{P_1}{P_0}}}{k}$, 其中, $P(x)$ 为变幅杆的横截面面积函数, k 为圆波数, $D(x)$

为轮廓半径函数, D_0 为上端部分的半径, P_0 为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积, P_1 为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积, 下端部分的长度根据下列公式计算:

$$l_s = \frac{\arccos(k l_s)}{k}.$$

[0005] 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环, 偶数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆, 压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反。根据实际需要设定换能器的共振频率后通过下列公式得到换能器的几何尺寸:

[0006] (1) 所述换能器的等效电路图如图3所示, 虚线将整个电路划分为三个部分, 分别

为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路,其中, Z_{bL} 和 Z_{fL} 分别是换能器后、前两端的负载阻抗,根据实际需要设定;

[0007] (2)所述换能器的振动频率方程为

$$[0008] \quad Z_i = \frac{Z_{in}}{1 + j\omega C_{01} Z_{in}}$$

[0009] 前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{f1} = Z_{1f} + \frac{Z_{2f}(Z_{1f} + Z_{fL})}{Z_{2f} + Z_{1f} + Z_{fL}}$,后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{b1} = Z_{1b} + \frac{Z_{2b}(Z_{1b} + Z_{bL})}{Z_{2b} + Z_{1b} + Z_{bL}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_{m1} = Z_{2f} + \frac{(Z_{2f} + Z_{1f})(Z_{2f} + Z_{1b})}{2Z_{2f} + Z_{1f} + Z_{1b}},$$

[0010] 其中, $Z_{1f} = jZ_f \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)$, $Z_{2f} = \frac{Z_f}{U \sin(k_2 l_2)}$, $c_2 = \sqrt{\frac{E_2(1-\sigma_2)(1-2\sigma_2)}{\rho_2(1+\sigma_2)}}$, $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$,

$k_2 = \omega / c_2$, c_2 是前金属盖板中的声速, ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松系数, l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积;

[0011] (3)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,若忽略机械损耗和介电损耗,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = 0$;若考虑机械损耗,输入电阻抗为最小时,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\min}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

[0012] (4)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,当输入电阻抗为无效大时,忽略损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = \infty$;当输入电阻抗为无效大时,考虑损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\max}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

[0013] 所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰,所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板,所述上端盖包括固定柱,所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内,且向下延伸至上端盖的下方,所述变幅杆向上延伸至换能器的内部,且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧,所述上弹簧的上端连接固定柱的下端,所述上弹簧的下端连接连接件,所述下弹簧的上端连接连接件,所述下弹簧的下端连接变幅杆。

[0014] 作为优选,相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极,金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

[0015] 作为优选,根据实际需要设定换能器的共振频率后通过下列公式得到换能器的几何尺寸:(1)首先对换能器的频率方程进行推导:截面AB为位移节面,位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振子,即 $L_f + l_2$ 以及 $L_b + l_1$ 均为振动波长的四分之一,每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成,位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_f ,位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶堆的长度记为 L_b ,若压电陶瓷晶堆由P个厚度为 l 的压电陶瓷圆环组成,则有 $L_f + L_b = Pl$ 且 l 远小于厚度振动的波长。位移波节前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0 / Z_f$,位移波节后的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_b) \tan(k_1 l_1) = Z_0 / Z_f$,其中, Z_0 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度;(2)根据实际需要设定共振频率,并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

[0016] 作为优选,所述固定法兰的中心轴位置留有开孔,所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构,并通过可伸缩结构连接所述下端盖。

[0017] 本发明的有益效果:利用形状因数 φ 比较所述变幅杆所能达到最大振幅,形状因数 φ 表达式如下:

$$[0018] \quad \varphi = A\rho C,$$

[0019] 其中, $A = \frac{E}{\rho C}$, ρC 为仅与材料有关的变幅杆的材料机械阻抗。

[0020] 通过ANSYS谐响应分析可以获得A值,经计算,所述变幅杆的A值为 $0.371 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$,设计固有频率和面积因数与所述变幅杆相同的阶梯型变幅杆,计算得到A值为 $0.090 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$ 。

附图说明

[0021] 利用附图对发明作进一步说明,但附图中的实施例不构成对本发明的任何限制,对于本领域的普通技术人员,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据以下附图获得其它的附图。

[0022] 图1是本发明的结构示意图。

[0023] 图2是本发明换能器的等效电路图。

[0024] 图3是本发明的压电陶瓷圆环结构示意图。

[0025] 图4是本发明应用于体内超声碎石的工作示意图。

附图标记:1、框架,2、旋转变压器,3、换能器,4、变幅杆,5、工具头。

具体实施方式

[0026] 结合以下实施例对本发明作进一步描述。

[0027] 实施例一

[0028] 本发明的装置,如图1所示,包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头。所述换能器上方的两侧设置旋转变压器。

[0029] 相较于指数形状、圆锥形状、悬链线形状等的变幅杆,阶梯型变幅杆放大系数最大,但是应力分布集中,容易断裂,工作安全性较差。所述变幅杆采用阶梯型,包括上端部分、变截面部分和下端部分,所述上端部分直接连接换能器的底面,所述下端部分直接连接工具头。所述变截面的形状根据下列公式计算:

$$P(x) = P_0 e^{-\left(\frac{kx^2}{2}\right)}, \quad D(x) = D_0 e^{-\left(\frac{kx^2}{2}\right)}, \quad l_2 = \sqrt{\frac{2P_1}{k}}$$

其中, $P(x)$ 为变幅杆的横截面面积函数, k 为圆波数, $D(x)$ 为轮廓半径函数, D_0 为上端部分的半径, P_0 为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积, P_1 为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积。

[0030] 下端部分的长度根据下列公式计算: $l_3 = \frac{\arcsin(kl_2)}{k}$ 。

[0031] 于变幅杆上增加变截面部分可有利于将作用于节面上的应力均匀分散,减少变幅杆断裂的可能性。

[0032] 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环。偶

数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆,压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反,偶数个压电陶瓷圆环连接可使得前金属盖板、后金属盖板与同一极性的电极连接,同时可与电路的接地端连接,避免前金属盖板、后金属盖板与压电陶瓷晶堆之间绝缘垫圈的设置。相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极,金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

[0033] 根据实际需要设定换能器的共振频率,通过下列公式得到换能器的几何尺寸:

[0034] (1)所述换能器的等效电路图如图3所示,虚线将整个电路划分为三个部分,分别为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路,其中, Z_{bL} 和 Z_{fL} 分别是换能器后、前两端的负载阻抗,根据实际需要设定;

[0035] (2)所述换能器的振动频率方程为

$$[0036] \quad Z_i = \frac{Z_0}{1 + j\omega Z_0 C_{22} Z_m},$$

[0037] 前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{fL} = Z_{2f} + \frac{Z_{2f}(Z_{2f} + Z_{fL})}{Z_{2f} + Z_{2f} + Z_{fL}}$,后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{bL} = Z_{2b} + \frac{Z_{2b}(Z_{2b} + Z_{bL})}{Z_{2b} + Z_{2b} + Z_{bL}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_m = Z_{2p} + \frac{(Z_{2p} + Z_{2f})(Z_{2p} + Z_{2b})}{2Z_{2p} + Z_{2f} + Z_{2b}},$$

[0038] 其中, $Z_{2f} = jZ_0 \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)$, $Z_{2b} = \frac{Z_0}{j \tan(k_2 l_2)}$, $c_2 = \sqrt{\frac{E_2(1-\sigma_2)(1-2\sigma_2)}{\rho_2(1+\sigma_2)}}$, $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$,

$k_2 = \omega / c_2$, c_2 是前金属盖板中的声速, ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松系数, l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积;

[0039] (3)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,若忽略机械损耗和介电损耗,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = 0$;若考虑机械损耗,输入电阻抗为最小时,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\min}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

[0040] (4)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,当输入电阻抗为无效大时,忽略损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = \infty$;当输入电阻抗为无效大时,考虑损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\max}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸。

[0041] 在本实施例中,如图3所示,通过下列方法得到换能器的尺寸:(1)首先对换能器的频率方程进行推导:截面AB为位移节面,位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振子,即 $L_f + l_2$ 以及 $L_b + l_1$ 均为振动波长的四分之一,每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成,位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_f ,位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶堆的长度记为 L_b ,若压电陶瓷晶堆由P个厚度为1的压电陶瓷圆环组成,则有 $L_f + L_b = P \cdot 1$ 且1远小于厚度振动的波长。位移波节前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0 / Z_f$,位移波节后的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_b) \tan(k_1 l_1) = Z_0 / Z_f$,其中, Z_0 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度;(2)根据实际需要设定共振频率,并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

[0042] 相关技术中,变幅杆作为连接换能器和工具头的中间部件,一般采用螺纹连接,但是由于螺纹连接存在间隙,振动传输过程中有能量损失,且高频振动易造成螺纹疲劳失效。

[0043] 所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰,所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板,所述上端盖包括固定柱,所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内,且向下延伸至上端盖的下方,实现旋转变压器与换能器的连接。所述变幅杆向上延伸至换能器的内部,且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧,所述上弹簧的上端连接固定柱的下端,所述上弹簧的下端连接连接件,所述下弹簧的上端连接连接件,所述下弹簧的下端连接变幅杆。所述连接件可以为铁块等。通过上弹簧、连接件和下弹簧实现变幅杆与换能器的一体化,避免使用容易造成疲劳损耗的螺纹连接,工作时,向固定柱传播的超声振动被上弹簧、下弹簧所吸收,减缓振动能量传向固定柱,避免固定柱与旋转变压器之间的连接受到振动损耗,最大化地将振动能量传输至变幅杆。

[0044] 所述固定法兰的中心轴位置留有开孔,所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构,并通过可伸缩结构连接所述下端盖。调节不同的频率时,通过可伸缩结构可使得所述固定法兰相对换能器上下运动,从而最大限度地保护并固定变幅杆的同时减少变幅杆振动频率的传递,提高振动能量的利用率。

[0045] 在本实施例中,所述换能器的前金属盖板和后金属盖板的厚度均为17mm,压电陶瓷晶堆的厚度为12mm,前金属盖板、后金属盖板和压电陶瓷晶堆的直径均为35mm。

[0046] 在本实施例中,所述变幅杆是由钛合金材料制成的,其超声频率为30KHz。

[0047] 在本实施例中,所述变幅杆的上端部分的端面直径为30mm,其长度为12mm,下端部分的端面直径为15mm,其长度为36mm。所述变幅杆与工具头为一体,所述工具头的末端电镀或烧结金刚砂磨料。

[0048] 利用形状因数 φ 比较所述变幅杆所能达到最大振幅,形状因数 φ 表达式如下:

$$[0049] \quad \varphi = A \rho C,$$

[0050] 其中, $A = \frac{P_0}{P_1}$, ρC 为仅与材料有关的变幅杆的材料机械阻抗。

[0051] 通过ANSYS谐响应分析可以获得A值,经计算,所述变幅杆的A值为 $0.371 \times 10^{-12} \text{m}/\text{Pa}$,设计固有频率和面积因数与所述变幅杆相同的阶梯型变幅杆,计算得到A值为 $0.090 \times 10^{-12} \text{m}/\text{Pa}$ 。

[0052] 实施例二

[0053] 本发明的装置,如图1所示,包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头。所述换能器上方的两侧设置旋转变压器。

[0054] 相较于指数形状、圆锥形状、悬链线形状等的变幅杆,阶梯型变幅杆放大系数最大,但是应力分布集中,容易断裂,工作安全性较差。所述变幅杆采用阶梯型,包括上端部分、变截面部分和下端部分,所述上端部分直接连接换能器的底面,所述下端部分直接连接工具头。所述变截面的形状根据下列公式计算:

$$P(x) = P_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}, \quad D(x) = D_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}, \quad l_2 = \sqrt{\frac{2 \ln \left(\frac{P_1}{P_0}\right)}{k^2}}$$

其中, $P(x)$ 为变幅杆的横截面面积函数, k 为圆波数, $D(x)$ 为轮廓半径函数, D_0 为上端部分的半径, P_0 为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积, P_1 为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积。

[0055] 下端部分的长度根据下列公式计算： $l_g = \frac{\arccos(\frac{N_1}{N_2})}{\alpha}$ 。

[0056] 于变幅杆上增加变截面部分可有利于将作用于节面上的应力均匀分散，减少变幅杆断裂的可能性。

[0057] 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环。偶数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆，压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反，偶数个压电陶瓷圆环连接可使得前金属盖板、后金属盖板与同一极性的电极连接，同时可与电路的接地端连接，避免前金属盖板、后金属盖板与压电陶瓷晶堆之间绝缘垫圈的设置。相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极，金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

[0058] 根据实际需要设定换能器的共振频率，通过下列公式得到换能器的几何尺寸：

[0059] (1)所述换能器的等效电路图如图2所示，虚线将整个电路划分为三个部分，分别为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路，其中， Z_{bL} 和 Z_{fL} 分别是换能器后、前两端的负载阻抗，根据实际需要设定；

[0060] (2)所述换能器的振动频率方程为

$$[0061] \quad Z_i = \frac{Z_m}{1 + j\omega C_m Z_m}$$

[0062] 前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{fL} = Z_{fF} + \frac{Z_f(Z_{fF} + Z_{fL})}{Z_{fF} + Z_{fF} + Z_{fL}}$ ，后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{bL} = Z_{bB} + \frac{Z_b(Z_{bB} + Z_{bL})}{Z_{bB} + Z_{bB} + Z_{bL}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_m = Z_{sp} + \frac{(Z_{sp} + Z_{fL})(Z_{sp} + Z_{bL})}{2Z_{sp} + Z_{fL} + Z_{bL}},$$

[0063] 其中， $Z_{fF} = jZ_f \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)$ ， $Z_{fL} = \frac{Z_f}{j \sin(k_2 l_2)}$ ， $c_2 = \sqrt{\frac{E_2(1-\sigma_2)(1-2\sigma_2)}{\rho_2(1+\sigma_2)}}$ ， $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$ ，

$k_2 = \omega / c_2$ ， c_2 是前金属盖板中的声速， ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松系数， l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积；

[0064] (3)由于换能器的负载很难确定，因此通常把换能器看成空载，即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$ ，若忽略机械损耗和介电损耗，换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = 0$ ；若考虑机械损耗，输入阻抗为最小时，换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\min}$ ，通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸；

[0065] (4)由于换能器的负载很难确定，因此通常把换能器看成空载，即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$ ，当输入阻抗为无效大时，忽略损耗，换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = \infty$ ；当输入阻抗为无效大时，考虑损耗，换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\max}$ ，通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸。

[0066] 在本实施例中，如图3所示，通过下列方法得到换能器的尺寸：(1)首先对换能器的频率方程进行推导：截面AB为位移节面，位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振子，即 $L_f + l_2$ 以及 $L_b + l_1$ 均为振动波长的四分之一，每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成，位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_f ，位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶堆的长度记为 L_b ，若压电陶瓷晶堆由P个厚度为1的压电陶瓷圆环组成，则有 $L_f + L_b = P \cdot l$ 且 l 远小于厚度振动的波长。位移节面前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0 / Z_f$ ，位移节面后的四分之一波长振子的共振方

程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_1 l_1) = Z_o / Z_f$, 其中, Z_o 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度;(2)根据实际需要设定共振频率, 并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

[0067] 相关技术中, 变幅杆作为连接换能器和工具头的中间部件, 一般采用螺纹连接, 但是由于螺纹连接存在间隙, 振动传输过程中有能量损失, 且高频振动易造成螺纹疲劳失效。

[0068] 所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰, 所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板, 所述上端盖包括固定柱, 所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内, 且向下延伸至上端盖的下方, 实现旋转变压器与换能器的连接。所述变幅杆向上延伸至换能器的内部, 且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧, 所述上弹簧的上端连接固定柱的下端, 所述上弹簧的下端连接连接件, 所述下弹簧的上端连接连接件, 所述下弹簧的下端连接变幅杆。所述连接件可以为铁块等。通过上弹簧、连接件和下弹簧实现变幅杆与换能器的一体化, 避免使用容易造成疲劳损耗的螺纹连接, 工作时, 向固定柱传播的超声振动被上弹簧、下弹簧所吸收, 减缓振动能量传向固定柱, 避免固定柱与旋转变压器之间的连接受到振动损耗, 最大化地将振动能量传输至变幅杆。

[0069] 所述固定法兰的中心轴位置留有开孔, 所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构, 并通过可伸缩结构连接所述下端盖。调节不同的频率时, 通过可伸缩结构可使得所述固定法兰相对换能器上下运动, 从而最大限度地保护并固定变幅杆的同时减少变幅杆振动频率的传递, 提高振动能量的利用率。

[0070] 在本实施例中, 所述换能器的前金属盖板和后金属盖板的厚度均为18mm, 压电陶瓷晶堆的厚度为13mm, 前金属盖板、后金属盖板和压电陶瓷晶堆的直径均为36mm。

[0071] 在本实施例中, 所述变幅杆是由钛合金材料制成的, 其超声频率为30KHz。

[0072] 在本实施例中, 所述变幅杆的上端部分的端面直径为32mm, 其长度为12mm, 下端部分的端面直径为16mm, 其长度为37mm。所述变幅杆与工具头为一体, 所述工具头的末端电镀或烧结金刚砂磨料。

[0073] 利用形状因数 ϕ 比较所述变幅杆所能达到最大振幅, 形状因数 ϕ 表达式如下:

[0074] $\phi = A \rho C$,

[0075] 其中, $A = \frac{F_{max}}{S}$, ρC 为仅与材料有关的变幅杆的材料机械阻抗。

[0076] 通过ANSYS谐响应分析可以获得A值, 经计算, 所述变幅杆的A值为 $0.389 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$, 设计固有频率和面积因数与所述变幅杆相同的阶梯型变幅杆, 计算得到A值为 $0.090 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$ 。

[0077] 实施例三

[0078] 本发明的装置, 如图1所示, 包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头。所述换能器上方的两侧设置旋转变压器。

[0079] 相较于指数形状、圆锥形状、悬链线形状等的变幅杆, 阶梯型变幅杆放大系数最大, 但是应力分布集中, 容易断裂, 工作安全性较差。所述变幅杆采用阶梯型, 包括上端部分、变截面部分和下端部分, 所述上端部分直接连接换能器的底面, 所述下端部分直接连接工具头。所

述变截面的形状根据下列公式计算： $P(x) = P_0 e^{\left(\frac{x^2 k^2}{2}\right)}$, $D(x) = D_0 e^{\left(\frac{x^2 k^2}{2}\right)}$, $l_2 = \sqrt{\frac{2P_1}{k^2}}$,

其中, $P(x)$ 为变幅杆的横截面面积函数, k 为圆波数, $D(x)$ 为轮廓半径函数, D_0 为上端部分的半径, p_0 为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积, P_1 为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积。

[0080] 下端部分的长度根据下列公式计算： $l_3 = \frac{\arccos(\cos(kl_3))}{k}$ 。

[0081] 于变幅杆上增加变截面部分可有利于将作用于节面上的应力均匀分散,减少变幅杆断裂的可能性。

[0082] 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环。偶数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆,压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反,偶数个压电陶瓷圆环连接可使得前金属盖板、后金属盖板与同一极性的电极连接,同时可与电路的接地端连接,避免前金属盖板、后金属盖板与压电陶瓷晶堆之间绝缘垫圈的设置。相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极,金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

[0083] 根据实际需要设定换能器的共振频率,通过下列公式得到换能器的几何尺寸:

[0084] (1)所述换能器的等效电路图如图3所示,虚线将整个电路划分为三个部分,分别为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路,其中, Z_{bL} 和 Z_{fL} 分别是换能器后、前两端的负载阻抗,根据实际需要设定;

[0085] (2)所述换能器的振动频率方程为

$$[0086] \quad Z_i = \frac{Z_m}{1 + j\omega C_{22} Z_m},$$

[0087] 前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{f1} = Z_{1f} + \frac{Z_{2f}(Z_{2f} + Z_{fL})}{Z_{2f} + Z_{2f} + Z_{fL}}$,后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{b1} = Z_{1b} + \frac{Z_{2b}(Z_{2b} + Z_{bL})}{Z_{2b} + Z_{2b} + Z_{bL}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_m = Z_{2p} + \frac{(Z_{2p} + Z_{f1})(Z_{2p} + Z_{b1})}{2Z_{2p} + Z_{f1} + Z_{b1}},$$

[0088] 其中, $Z_{1f} = jZ_f \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)$, $Z_{2f} = \frac{Z_f}{j \sin(k_2 l_2)}$, $c_2 = \sqrt{\frac{E_2(1-\sigma_2)(1-2\sigma_2)}{\rho_2(1+\sigma_2)}}$, $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$,

$k_2 = \omega / c_2$, c_2 是前金属盖板中的声速, ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松系数, l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积;

[0089] (3)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,若忽略机械损耗和介电损耗,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = 0$;若考虑机械损耗,输入电阻抗为最小时,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\min}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

[0090] (4)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,当输入电阻抗为无效大时,忽略损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = \infty$;当输入电阻抗为无效大时,考虑损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\max}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸。

[0091] 在本实施例中,如图3所示,通过下列方法得到换能器的尺寸:(1)首先对换能器的频率方程进行推导:截面AB为位移节面,位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振

子,即 L_f+l_2 以及 L_b+l_1 均为振动波长的四分之一,每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成,位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_f ,位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_b ,若压电陶瓷晶堆由P个厚度为l的压电陶瓷圆环组成,则有 $L_f+L_b=P \cdot l$ 且l远小于厚度振动的波长。位移波节前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0 / Z_f$,位移波节后的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_b) \tan(k_1 l_1) = Z_0 / Z_f$,其中, Z_0 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度;(2)根据实际需要设定共振频率,并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

[0092] 相关技术中,变幅杆作为连接换能器和工具头的中间部件,一般采用螺纹连接,但是由于螺纹连接存在间隙,振动传输过程中有能量损失,且高频振动易造成螺纹疲劳失效。

[0093] 所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰,所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板,所述上端盖包括固定柱,所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内,且向下延伸至上端盖的下方,实现旋转变压器与换能器的连接。所述变幅杆向上延伸至换能器的内部,且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧,所述上弹簧的上端连接固定柱的下端,所述上弹簧的下端连接连接件,所述下弹簧的上端连接连接件,所述下弹簧的下端连接变幅杆。所述连接件可以为铁块等。通过上弹簧、连接件和下弹簧实现变幅杆与换能器的一体化,避免使用容易造成疲劳损耗的螺纹连接,工作时,向固定柱传播的超声振动被上弹簧、下弹簧所吸收,减缓振动能量传向固定柱,避免固定柱与旋转变压器之间的连接受到振动损耗,最大化地将振动能量传输至变幅杆。

[0094] 所述固定法兰的中心轴位置留有开孔,所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构,并通过可伸缩结构连接所述下端盖。调节不同的频率时,通过可伸缩结构可使得所述固定法兰相对换能器上下运动,从而最大限度地保护并固定变幅杆的同时减少变幅杆振动频率的传递,提高振动能量的利用率。

[0095] 在本实施例中,所述换能器的前金属盖板和后金属盖板的厚度均为16mm,压电陶瓷晶堆的厚度为11mm,前金属盖板、后金属盖板和压电陶瓷晶堆的直径均为32mm。

[0096] 在本实施例中,所述变幅杆是由钛合金材料制成的,其超声频率为30KHz。

[0097] 在本实施例中,所述变幅杆的上端部分的端面直径为28mm,其长度为10mm,下端部分的端面直径为13mm,其长度为32mm。所述变幅杆与工具头为一体,所述工具头的末端电镀或烧结金刚砂磨料。

[0098] 利用形状因数 φ 比较所述变幅杆所能达到最大振幅,形状因数 φ 表达式如下:

$$[0099] \quad \varphi = A \rho C,$$

[0100] 其中, $A = \frac{k_{max}}{G_{max}}$, ρC 为仅与材料有关的变幅杆的材料机械阻抗。

[0101] 通过ANSYS谐响应分析可以获得A值,经计算,所述变幅杆的A值为 $0.365 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$,设计固有频率和面积因数与所述变幅杆相同的阶梯型变幅杆,计算得到A值为 $0.090 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$ 。

[0102] 实施例四

[0103] 本发明的装置,如图1所示,包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头。所述换能器上方的两侧设置旋转变压器。

[0104] 相较于指数形状、圆锥形状、悬链线形状等的变幅杆,阶梯型变幅杆放大系数最大,但是应力分布集中,容易断裂,工作安全性较差。所述变幅杆采用阶梯型,包括上端部分、变截面部分和下端部分,所述上端部分直接连接换能器的底面,所述下端部分直接连接工具头。所述变截面的形状根据下列公式计算:

$$P(x) = P_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}, \quad D(x) = D_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}, \quad l_2 = \frac{\sqrt{2 \ln \frac{P_1}{P_0}}}{k}$$

其中, $P(x)$ 为变幅杆的横截面面积函数, k 为圆波数, $D(x)$ 为轮廓半径函数, D_0 为上端部分的半径, P_0 为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积, P_1 为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积。

[0105] 下端部分的长度根据下列公式计算: $l_2 = \frac{\arcsin(k l_2)}{k}$ 。

[0106] 于变幅杆上增加变截面部分可有利于将作用于节面上的应力均匀分散,减少变幅杆断裂的可能性。

[0107] 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环。偶数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆,压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反,偶数个压电陶瓷圆环连接可使得前金属盖板、后金属盖板与同一极性的电极连接,同时可与电路的接地端连接,避免前金属盖板、后金属盖板与压电陶瓷晶堆之间绝缘垫圈的设置。相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极,金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

[0108] 根据实际需要设定换能器的共振频率,通过下列公式得到换能器的几何尺寸:

[0109] (1)所述换能器的等效电路图如图2所示,虚线将整个电路划分为三个部分,分别为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路,其中, Z_{bL} 和 Z_{fL} 分别是换能器后、前两端的负载阻抗,根据实际需要设定;

[0110] (2)所述换能器的振动频率方程为

$$[0111] \quad Z_i = \frac{Z_m}{1 + j\omega C_m Z_m}$$

[0112] 前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{f1} = Z_{1f} + \frac{Z_{2f}(Z_{1f} + Z_{fL})}{Z_{2f} + Z_{1f} + Z_{fL}}$,后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{b1} = Z_{1b} + \frac{Z_{2b}(Z_{1b} + Z_{bL})}{Z_{2b} + Z_{1b} + Z_{bL}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_m = Z_{2p} + \frac{(Z_{1p} + Z_{f1})(Z_{2p} + Z_{b1})}{2Z_{2p} + Z_{f1} + Z_{b1}}.$$

[0113] 其中, $Z_{1f} = jZ_f \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)$, $Z_{2f} = \frac{Z_f}{j \sin(k_2 l_2)}$, $c_2 = \sqrt{\frac{E_2(1-\sigma_2)(1-2\sigma_2)}{\rho_2(1+\sigma_2)}}$, $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$,

$k_2 = \omega / c_2$, c_2 是前金属盖板中的声速, ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松系数, l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积;

[0114] (3)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,若忽略机械损耗和介电损耗,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = 0$;若考虑机械损耗,输入电阻抗为最小时,换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\min}$,通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

[0115] (4)由于换能器的负载很难确定,因此通常把换能器看成空载,即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$,当

输入阻抗为无效大时,忽略损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = \infty$;当输入阻抗为无效大时,考虑损耗,换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\max}$,通过换能器的振动频率方程 计算得到换能器的具体尺寸。

[0116] 在本实施例中,如图3所示,通过下列方法得到换能器的尺寸:(1)首先对换能器的频率方程进行推导:截面AB为位移节面,位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振子,即 L_f+l_2 以及 L_b+l_1 均为振动波长的四分之一,每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成,位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_f ,位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_b ,若压电陶瓷晶堆由P个厚度为1的压电陶瓷圆环组成,则有 $L_f+L_b=P1$ 且1远小于厚度振动的波长。位移节前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0/Z_f$,位移节后的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_b) \tan(k_1 l_1) = Z_0/Z_f$,其中, Z_0 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度;(2)根据实际需要设定共振频率,并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

[0117] 相关技术中,变幅杆作为连接换能器和工具头的中间部件,一般采用螺纹连接,但是由于螺纹连接存在间隙,振动传输过程中有能量损失,且高频振动易造成螺纹疲劳失效。

[0118] 所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰,所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板,所述上端盖包括固定柱,所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内,且向下延伸至上端盖的下方,实现旋转变压器与换能器的连接。所述变幅杆向上延伸至换能器的内部,且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧,所述上弹簧的上端连接固定柱的下端,所述上弹簧的下端连接连接件,所述下弹簧的上端连接连接件,所述下弹簧的下端连接变幅杆。所述连接件可以为铁块等。通过上弹簧、连接件和下弹簧实现变幅杆与换能器的一体化,避免使用容易造成疲劳损耗的螺纹连接,工作时,向固定柱传播的超声振动被上弹簧、下弹簧所吸收,减缓振动能量传向固定柱,避免固定柱与旋转变压器之间的连接受到振动损耗,最大化地将振动能量传输至变幅杆。

[0119] 所述固定法兰的中心轴位置留有开孔,所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构,并通过可伸缩结构连接所述下端盖。调节不同的频率时,通过可伸缩结构可使得所述固定法兰相对换能器上下运动,从而最大限度地保护并固定变幅杆的同时减少变幅杆振动频率的传递,提高振动 能量的利用率。

[0120] 在本实施例中,所述换能器的前金属盖板和后金属盖板的厚度均为20mm,压电陶瓷晶堆的厚度为15mm,前金属盖板、后金属盖板和压电陶瓷晶堆的直径均为39mm。

[0121] 在本实施例中,所述变幅杆是由钛合金材料制成的,其超声频率为30KHz。

[0122] 在本实施例中,所述变幅杆的上端部分的端面直径为25mm,其长度为10mm,下端部分的端面直径为10mm,其长度为30mm。所述变幅杆与工具头为一体,所述工具头的末端电镀或烧结金刚砂磨料。

[0123] 利用形状因数 η 比较所述变幅杆所能达到最大振幅,形状因数 η 表达式如下:

[0124] $\eta = A\rho C$,

[0125] 其中, $A = \frac{P_0}{\rho c}$, ρc 为仅与材料有关的变幅杆的材料机械阻抗。

[0126] 通过ANSYS谐响应分析可以获得A值,经计算,所述变幅杆的A值为 $0.326 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$,设计固有频率和面积因数与所述变幅杆相同的阶梯型变幅杆,计算得到A值为 $0.090 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$ 。

[0127] 实施例五

[0128] 本发明的装置,如图1所示,包括框架、旋转变压器、换能器、变幅杆和工具头。所述换能器上方的两侧设置旋转变压器。

[0129] 相较于指数形状、圆锥形状、悬链线形状等的变幅杆,阶梯型变幅杆放大系数最大,但是应力分布集中,容易断裂,工作安全性较差。所述变幅杆采用阶梯型,包括上端部分、变截面部分和下端部分,所述上端部分直接连接换能器的底面,所述下端部分直接连接工具头。所述变截面的形状根据下列公式计算:

$$P(x) = P_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}, \quad D(x) = D_0 e^{\left(\frac{k^2 x^2}{2}\right)}, \quad l_2 = \sqrt{\frac{2 \ln \frac{P_1}{P_0}}{k^2}}$$

其中,P(x)为变幅杆的横截面面积函数,k为圆波数,D(x)为轮廓半径函数,D₀为上端部分的半径,P₀为上端部分与变截面部分连接处的横截面面积,P₁为下端部分与变截面部分连接处的横截面面积。

[0130] 下端部分的长度根据下列公式计算: $l_3 = \frac{\arcsin(k l_1)}{k}$ 。

[0131] 于变幅杆上增加变截面部分可有利于将作用于节面上的应力均匀分散,减少变幅杆断裂的可能性。

[0132] 所述换能器包括前金属盖板、后金属盖板以及厚度方向极化的压电陶瓷圆环。偶数个所述压电陶瓷圆环共轴连接形成压电陶瓷晶堆,压电陶瓷晶堆中相邻两个压电陶瓷圆环极化方向相反,偶数个压电陶瓷圆环连接可使得前金属盖板、后金属盖板与同一极性的电极连接,同时可与电路的接地端连接,避免前金属盖板、后金属盖板与压电陶瓷晶堆之间绝缘垫圈的设置。相邻两个压电陶瓷圆环间还设有金属电极,金属电极的厚度为0.02-0.2mm。

[0133] 根据实际需要设定换能器的共振频率,通过下列公式得到换能器的几何尺寸:

[0134] (1)所述换能器的等效电路图如图2所示,虚线将整个电路划分为三个部分,分别为前盖板等效电路、后盖板等效电路和压电陶瓷晶堆等效电路,其中,Z_{bl}和Z_{fl}分别是换能器后、前两端的负载阻抗,根据实际需要设定;

[0135] (2)所述换能器的振动频率方程为

$$[0136] \quad Z_i = \frac{Z_m}{1 + j\omega C_{22} Z_m}$$

[0137] 前金属盖板输入机械阻抗为 $Z_{fi} = Z_{1f} + \frac{Z_{2f}(Z_{fl} + Z_{2f})}{Z_{2f} + Z_{1f} + Z_{fl}}$,后金属盖板输入机械阻抗为

$$Z_{bi} = Z_{2b} + \frac{Z_{1b}(Z_{bl} + Z_{1b})}{Z_{1b} + Z_{2b} + Z_{bl}}, \text{换能器的机械阻抗为 } Z_m = Z_{2p} + \frac{(Z_{2p} + Z_{f1})(Z_{2p} + Z_{f2})}{2Z_{2p} + Z_{f1} + Z_{f2}}.$$

[0138] 其中, $Z_{1f} = jZ_f \tan\left(\frac{k_2 l_2}{2}\right)$, $Z_{2f} = \frac{Z_f}{j \sin(k_2 l_2)}$, $C_2 = \sqrt{\frac{\rho_2 (1 - \sigma_2) (1 - 2\nu_2)}{\rho_2 (1 + \sigma_2)}}$, $Z_f = \rho_2 c_2 S_2$,

$k_2 = \omega / c_2$, c_2 是前金属盖板中的声速, ρ_2 、 E_2 、 σ_2 分别是前金属盖板的密度、杨氏模量和泊松

系数, l_2 和 S_2 是前金属盖板的厚度和横截面的面积;

[0139] (3) 由于换能器的负载很难确定, 因此通常把换能器看成空载, 即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$, 若忽略机械损耗和介电损耗, 换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = 0$; 若考虑机械损耗, 输入电阻抗为最小时, 换能器的共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\min}$, 通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸;

[0140] (4) 由于换能器的负载很难确定, 因此通常把换能器看成空载, 即 $Z_{bL} = Z_{fL} = 0$, 当输入电阻抗为无效大时, 忽略损耗, 换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = \infty$; 当输入电阻抗为无效大时, 考虑损耗, 换能器的反共振频率方程为 $|Z_i| = |Z_i|_{\max}$, 通过换能器的振动频率方程计算得到换能器的具体尺寸。

[0141] 在本实施例中, 如图3所示, 通过下列方法得到换能器的尺寸: (1) 首先对换能器的频率方程进行推导: 截面AB为位移节面, 位移节面AB将换能器分成两个四分之一波长的振子, 即 $L_f + l_2$ 以及 $L_b + l_1$ 均为振动波长的四分之一, 每个四分之一波长的振子都是由压电陶瓷晶片及金属盖板组成, 位移节面前与前金属盖板之间的压电陶瓷晶片的长度记为 L_f , 位移节面后与后金属盖板之间的压电陶瓷晶堆的长度记为 L_b , 若压电陶瓷晶堆由 P 个厚度为 l 的压电陶瓷圆环组成, 则有 $L_f + L_b = Pl$ 且 l 远小于厚度振动的波长。位移波节前的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_f) \tan(k_2 l_2) = Z_0 / Z_f$, 位移波节后的四分之一波长振子的共振方程为 $\tan(k_e L_b) \tan(k_1 l_1) = Z_0 / Z_f$, 其中, Z_0 是单个压电陶瓷圆环的特性阻抗, l_1 和 l_2 分别是后、前金属盖板的厚度; (2) 根据实际需要设定共振频率, 并通过得到的共振频率方程得到换能器具体尺寸。

[0142] 相关技术中, 变幅杆作为连接换能器和工具头的中间部件, 一般采用螺纹连接, 但是由于螺纹连接存在间隙, 振动传输过程中有能量损失, 且高频振动易造成螺纹疲劳失效。

[0143] 所述换能器还包括外壳、设于外壳上表面的上端盖、设于外壳下表面的下端盖和固定法兰, 所述外壳固定所述压电陶瓷圆环、前金属盖板和后金属盖板, 所述上端盖包括固定柱, 所述固定柱设于上端盖的中心轴位置并向上延伸至旋转变压器内, 且向下延伸至上端盖的下方, 实现旋转变压器与换能器的连接。所述变幅杆向上延伸至换能器的内部, 且变幅杆与固定柱之间设有连接件、上弹簧和下弹簧, 所述上弹簧的上端连接固定柱的下端, 所述上弹簧的下端连接连接件, 所述下弹簧的上端连接连接件, 所述下弹簧的下端连接变幅杆。所述连接件可以为铁块等。通过上弹簧、连接件和下弹簧实现变幅杆与换能器的一体化, 避免使用容易造成疲劳损耗的螺纹连接, 工作时, 向固定柱传播的超声振动被上弹簧、下弹簧所吸收, 减缓振动能量传向固定柱, 避免固定柱与旋转变压器之间的连接受到振动损耗, 最大化地将振动能量传输至变幅杆。

[0144] 所述固定法兰的中心轴位置留有开孔, 所述开孔的内侧沿其圆周方向设有包围变幅杆变截面部分的弹性橡胶圈。且所述固定法兰的上表面间隔设有多个可伸缩结构, 并通过可伸缩结构连接所述下端盖。调节不同的频率时, 通过可伸缩结构可使得所述固定法兰相对换能器上下运动, 从而最大限度地保护并固定变幅杆的同时减少变幅杆振动频率的传递, 提高振动能量的利用率。

[0145] 在本实施例中, 所述换能器的前金属盖板和后金属盖板的厚度均为17mm, 压电陶瓷晶堆的厚度为12mm, 前金属盖板、后金属盖板和压电陶瓷晶堆的直径均为35mm。

[0146] 在本实施例中, 所述变幅杆是由钛合金材料制成的, 其超声频率为30KHz。

[0147] 在本实施例中,所述变幅杆的上端部分的端面直径为40mm,其长度为25mm,下端部分的端面直径为21mm,其长度为40mm。所述变幅杆与工具头为一体,所述工具头的末端电镀或烧结金刚砂磨料。

[0148] 利用形状因数 φ 比较所述变幅杆所能达到最大振幅,形状因数 φ 表达式如下:

$$[0149] \quad \varphi = A\rho C,$$

[0150] 其中, $A = \frac{F_{max}}{P}$, ρC 为仅与材料有关的变幅杆的材料机械阻抗。

[0151] 通过ANSYS谐响应分析可以获得A值,经计算,所述变幅杆的A值为 $0.402 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$,设计固有频率和面积因数与所述变幅杆相同的阶梯型变幅杆,计算得到A值为 $0.090 \times 10^{-12} \text{m/Pa}$ 。

[0152] 最后应当说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对本发明保护范围的限制,尽管参照较佳实施例对本发明作了详细地说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的实质和范围。

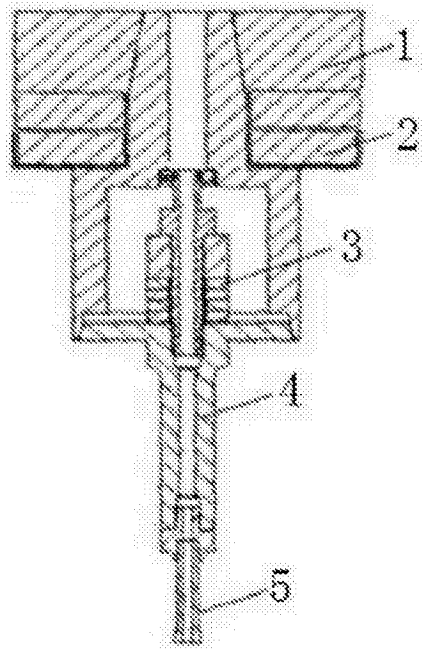


图1

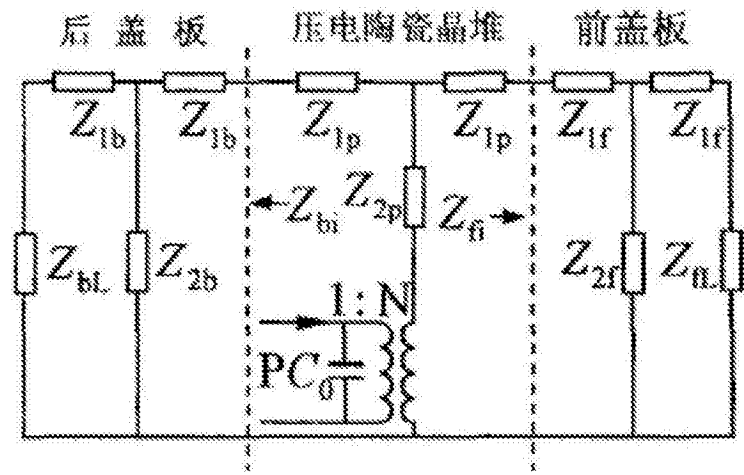


图2

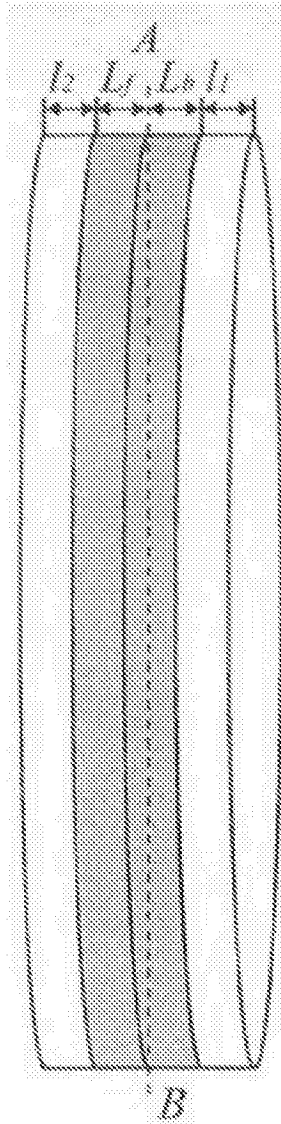


图3

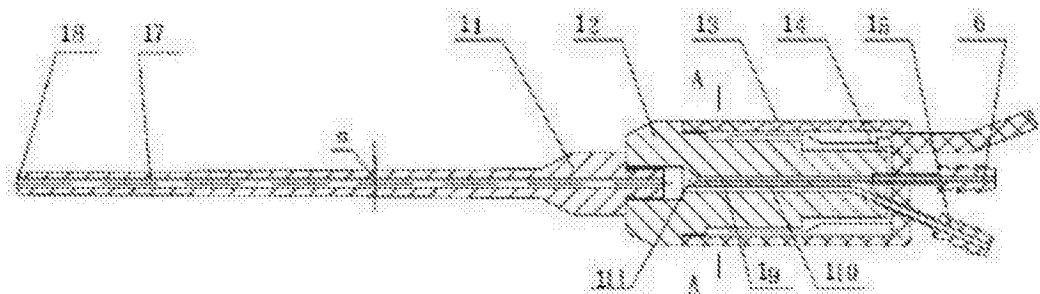


图4

专利名称(译)	一种应用于体内的超声碎石仪		
公开(公告)号	CN106137320A	公开(公告)日	2016-11-23
申请号	CN201610551504.1	申请日	2016-07-11
[标]申请(专利权)人(译)	杨林		
申请(专利权)人(译)	杨林		
当前申请(专利权)人(译)	杨林		
[标]发明人	不公告发明人		
发明人	不公告发明人		
IPC分类号	A61B17/225 B06B3/02 B06B1/06		
CPC分类号	A61B17/225 A61B2017/22027 B06B1/0611 B06B3/02		
代理人(译)	赵永强		
外部链接	Espacenet	SIPO	

摘要(译)

本发明公开了一种应用于体内的超声碎石仪，包括超声波换能器，所述的超声波换能器外套接有操作手柄外壳，所述的超声波换能器连接有碎石变幅杆，所述的碎石变幅杆内设有工作通道，所述的工作通道的一端设置在碎石变幅杆的工作面上，另一端连接有两个通道，其中一个为进水通道，所述的进水通道与进水口相连；另一个为吸引通道，所述的吸引通道与吸引接口相连。本发明主要是提供一种应用在微创手术中，与内窥镜配套使用的超声碎石器，其可以将结石完全吸附住然后打碎，然后通过管道吸出体外，不会造成碎石进入肾内，造成人体的损害；解决现有技术所存在的外部碎石不彻底，容易对人体造成损害的技术问题。

