



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 99803941.1

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 22 日

[11] 授权公告号 CN 1125429C

[22] 申请日 1999.2.10 [21] 申请号 99803941.1

[30] 优先权

[32] 1998.2.12 [33] GB [31] 9802907.7

[86] 国际申请 PCT/GB99/00421 1999.2.10

[87] 国际公布 WO99/41735 英 1999.8.19

[85] 进入国家阶段日期 2000.9.12

[71] 专利权人 海德拉运动有限公司

地址 英国北约克郡

[72] 发明人 约汉·格拉德·加拉格尔

审查员 杨艳兰

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

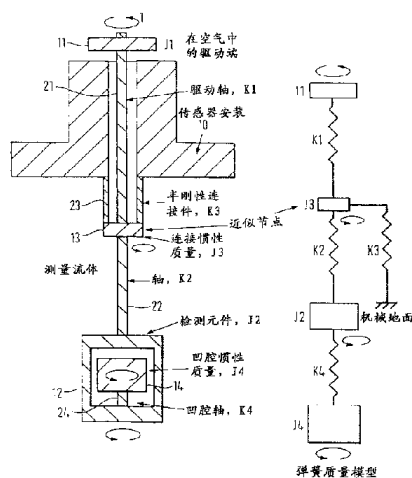
代理人 冯 谱

权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 5 页

[54] 发明名称 用于换能器的谐振结构

[57] 摘要

一种换能器包括一种谐振结构，该结构包括一个延伸到一个连接质量或联结区(13)的第一弹簧-质量系统(21、11)，对于联结区(13)连接一个包括一个检测元件(12)的第二弹簧-质量系统(12、22)。两个弹簧质量系统反相振动。联结区(13)连接到通过一个安装件(10)借助于一个半刚性连接件(23)提供的机械基准上，半刚性连接件(23)最好比第一件刚硬，并且能控制第一和第二弹簧-质量系统的相对运动。检测元件包含由弹簧-质量系统构成的凹腔谐振器(24、14)，它能用来调节换能器的特性。



1.一种包括一种谐振结构的换能器，该结构包括一个第一件(11、21)和一个第二件(12、22)，适于相对于一个中间联结区(13)和一个支撑所述联结区且具有显著刚度的连接装置(23)反相振动，第二件(12、22)包括一个检测元件(12)，其特征在于一个能振动的谐振器(14、24)布置在检测元件(12)内，从而该能振动的谐振器不受检测元件周围的媒质的阻尼影响。

2.根据权利要求1所述的换能器，并且包括一个与连接装置(23)相结合来分离两个每个包含所述第一和第二件之一的不同区域的安装装置(10)。

3.根据权利要求1所述的换能器，其中连接装置(23)具有显著大于所述第一件(11、21)的刚度。

4.根据权利要求2所述的换能器，其中连接装置(23)包括一个从安装装置(10)延伸的金属管状件。

5.根据权利要求1的换能器，其中检测元件(12)是一个空心搅棒或圆柱，并且能振动的谐振器包括一个通过轴(24)连接到检测元件的惯性质量(14)。

6. 根据权利要求5的换能器，其中第二件(12)的刚度(K2)远大于轴(14)的刚度(K4)。

用于换能器的谐振结构

技术领域

本发明涉及换能器和用于换能器的谐振结构，特别是包括一个可以驱动进入振动的第一件、和一个可以携带一个检测元件且布置在要测量其性能的介质中的第二件的结构。

背景技术

包括该一般特性的结构的各种换能器是已知的。在已知的布置中，第一和第二件用来反相振动，在借助于其支撑振动结构的连接处有通常零位移的振动节点。该种类的已知布置公开在US-A-3712117和GB-B-2281621中。在这些结构中，波节点通过基本上比第一和第二件柔软的柔性装置连接到一个机械基准上。理论上，在这些装置中，可以是第一件的扭转或横向或纵向的振动的振幅和频率，与携带插入在可以是气体、液体或甚至固体的介质中的检测元件的第二件的那些相同。

发明内容

本发明的一个重要特征在于，在第一和第二件的联结区与支撑之间的半刚性连接件的使用。‘半刚性’件打算具有显著影响、且最好控制第一和第二件的相对运动的刚度。最好提供比第一和第二件刚硬的节点。该种类的件能避免非常柔软安装件的缺点，该柔软安装件一般不能承受在许多工业用途中遇到的高压力和力。况且，可以选择连接件或装置的刚度，以控制换能器形成其一部分的测量仪器的灵敏度。

本发明一个另外的特征在于，在最好形成第二件部分而可以具有独立于上述连接件的功用的检测元件内封闭的凹腔件或谐振器的使用。这样一种凹腔元件打算相对于检测元件振动，最好由弹簧-质量结构构成，但不受其中插入检测元件的介质的影响。这样一种凹腔元件或辅助谐振器可以使换能器的特性能够以简单和可靠方式改变。

由如下描述将明白本发明的其他特征。

附图说明

图 1 表明根据本发明的谐振器结构，图 1A 表明机械结构，而图 1B 是结构的示意模型；

图 2 和 3 表明类似于图 1 中所示的结构，但可以在不同的振动模型中操作，图 2A 和 3A 表明结构，而图 2B 和 3B 表明示意模型；

图 4 是曲线图，表明振动的振幅随频率的变化；及

图 5 是振幅相对于频率的曲线图，表示连接件的效果。

具体实施方式

图 1、2 和 3 每个表示形成用于介质性质测量的换能器的部分、且包括一个由惯性质量 11 和一根轴 21 组成的第一件 11、21 的谐振器结构。其惯性质量最好由一个诸如搅棒 12 之类的检测元件构成的第二件包括一根第二轴 22，轴 21 和 22 具有一个连接区域，下文称作联结区 13。联结区本身由一个连接件支撑，在该例子中是一根固定到一个安装基座 10 上的管 23。

最好基座和连接件限定两个不同的区域，一个在安装件上方而另一个在其下面，从而例如搅棒 12 可以布置在要测量的介质中，并且第一件(可以电磁驱动)能在空气中振动。然而，其他配置是可能的。

在图 1、2 和 3 之间的差别在于由相应结构经历不同的振动模式。图 1 中表示的结构用来扭转振动，第一件按由箭头 1 所示扭转，而下部件在相反方向扭转。在图 2 的结构中，诸件用来纵向振动，如在件 11 上方由双头箭头举例表示的那样。在图 3 中所示的结构中，诸件能用来横向振动，如由双头箭头 3 所示。驱动端能由各种手段、电磁力和场、压电应力和应变、声压、或静电力和场激励和检测。

该结构如以后将解释的那样也包括一个凹腔谐振器。在图 1 中，检测元件 12 是一根空心搅棒或圆柱，并且在检测元件内，与围绕检测元件的介质物理分离的是由一根轴 24 连接到检测元件上的质量 14。在图 1、2 和 3 的每一个中，表示有一个类似的谐振器，它用来随相应系统的其余部分的振动，以基本相同的模式、扭转、纵向或横向振动。

表明的换能器包括按图 1B 中所示连接的三个且最好是四个独立扭转弹簧-质量系统。用于纵向振动和横向振动的等效系统表示在图 2B 和图 3 中。为了方便起见，如下描述主要涉及扭转振动。

如下描述使用符号，其中 J_1 和 K_1 是第一件(11、21)的惯性质量和刚度， J_2 和 K_2 是第二件的惯性质量和刚度，等等。

由 J_2 、 K_2 和 J_4 、 K_4 形成的弹簧质量系统彼此同相，而系统 J_1 、 K_1 相位相差 180° 。如果对于每个系统适当地选择惯性质量和轴刚度 K ，那么在连接到刚度 K_3 的元件上的惯性质量 J_3 处形成一个最小振动点。当 J_1 的振动频率(ω_1)等于 J_4 的振动频率(ω_4)时，实现平衡节点条件。在数学上这表示为

$$\text{对于 } J_1、K_1 \quad \omega_1 = \sqrt{K_1/J_1}$$

或者振动的任何较高谐波模式。

对于 J_2 、 K_2 和 J_4 、 K_4

$$\omega_4 = \sqrt{((\alpha^2(K_1 + K_2) + K_2 - 2\alpha K_2) / (\alpha^2 J_1 + J_2))}$$

或者振动的任何较高谐波模式，其中 $\alpha = K_2/(K_1 + K_2)$ 。

用于节点的平衡条件由 $\omega_1 = \omega_4$ 给出，其中 J 是极坐标质量惯性矩， K 是扭转刚度，及 ω 是弹簧质量系统的谐振频率。

对于图 2 和 3 中的系统：

$$\text{对于 } M_1、K_1 \quad \omega_1 = \sqrt{K_1/M_1}$$

或者振动的任何较高谐波模式。

对于 M_2 、 K_2 和 M_4 、 K_4

$$\omega_4 = \sqrt{((\alpha^2(K_1 + K_2) + K_2 - 2\alpha K_2) / (\alpha^2 M_1 + M_2))}$$

或者振动的任何较高谐波模式，其中 $\alpha = K_2/(K_1 + K_2)$ 。

用于节点的平衡条件是 $\omega_1 = \omega_4$ ，其中 M 是质量， K 是刚度，及 ω 是弹簧质量系统的谐振频率。

如上所述，其他的结构包括带有通过没有具体数值的高柔软装置的节点对机械地面连接的反相轴系统。这里描述的用途没有这样的高弹性点，因为这会产生结构上的虚弱位置，不能承受在许多工业用途中遇到的高压力和力。而弹性点用一个特定半刚性件 23 代

替。

该件 23 设计成容纳在波节区域处的一些残余运动。波节区域仅具有由于由流体对惯性质量的质量加载和由温度造成的刚度变化引起的匹配频率的平衡条件的失去而造成的近似定义, 即 $\omega_1=\omega_4$ 的条件在仪器的工作寿命中不能保证。

件 23 的刚性在严酷工业使用中时产生较高的结构强度和换能器元件对准的稳定性。它也重要地控制由来自轴 21 的流体划分的一侧进入另一侧轴 21 中产生的扭矩量, 并且在这样做时形成用来控制两根轴的相对运动的装置。这允许根据 K3 的值选择仪器灵敏度。

对于最佳结果已经发现, 当 K3 近似等于轴 21 的刚度 K1 的十倍时, 提供结构强度和良好的灵敏度。使用充分焊接到系统的振动元件和传感器安装质量上的高强度不锈钢, 得到该刚度的结构件, 这提供了高结构强度, 并且完全焊接构造在卫生用途(没有材料截留)和在侵蚀环境(没有可能腐蚀掉的密封, 并且便于耐腐蚀合金的使用)下是有益的。

半刚性件 23 的存在改变传感器从单个谐振波峰 F_1 (图 5)至两个谐振波峰 F_1 和 F_2 的主模态响应。一个波峰基本上由 K1、K2 和 K4(和其相应质量)的希望相互作用形成, 但第二波峰是显著的 K3 刚度也与这些系统相互作用的结果。该第二波峰是多余的, 并且容易通过滤波除去; 其消除进一步通过增大传感器安装处的阻尼加强, 通过对过程设备或一些其他固定件的连接而简化。金属连接而不是弹性连接的使用也是希望的, 因为能把金属选择成具有比弹性体低得多的阻尼容量, 并因而作为结果给出较高的 Q 谐振器。

通常提供限定检测元件的单弹簧-质量组合。该元件暴露于流体的粘滞作用, 流体的粘度增大引起传感器阻尼的增大, 这导致系统的振动效率减小。换能器的性能受振动效率或 Q 因子的强烈影响, 因此存在性能随粘度增大的下降(如图 4 中的曲线 41 和 42 所示)。大 Q 因子给出高信噪比、高灵敏度和谐振频率外机械振动的自然拒绝-提高对设备噪声的免疫力。

新结构允许保持 Q 因子而与粘度无关,并且在非常高的流体粘度(数百万厘泊)下能输送极高的振动效率(大于 5000)。为了实现这点,该结构使用安装在检测元件内的弹簧-质量谐振器组合 14、24。该谐振器不受周围流体的阻尼影响,并且保持其扭转应变能量而与流体条件无关。

通过选择湿润轴 21 和轴 24 的相对刚度,能控制对于检测元件产生的振动度,由此限定传感器的灵敏度。结果,传感器能按标准结构制造,并且简单地通过微小变化检测元件 12 的刚度(即直径),调节成适于任何流体粘度范围。这能发生而对节点处的平衡条件(等效频率)没有什么影响,因为在大多数情况下,谐振频率将由 $J1$ 、 $K1$ 和 $J4$ 、 $K4$, 而不是 $K2$ 确定(只要 $K2 \gg K4$)。换能器性能通过简单调节一个尺寸的特征化导致提高的制造效率,并因而在工业上是有益的。

图 1 中所示谐振器的驱动端 11 通过使用通常固定到轴上的铁磁性杆施加扭矩被激励成扭转振动。离转动中心某一距离定位的电磁铁把一个电磁力施加到铁磁性杆上,引起它产生角位移。以引起装置以谐振频率振动的弹簧-质量系统的谐振频率,切换或调制至电磁铁的电流。为了保证在该频率下的连续振动,可以采用其中例如电磁拾波器检测角运动的正反馈驱动。来自拾波器的信号被放大和相位调节,并且然后返回构成用于电磁铁的驱动信号。

因而,通过使用驱动和拾波器组件在驱动轴的谐振频率下振动驱动轴,使系统的检测端执行扭转振动。

管 23 形成能够承受高流体压力和温度的显著流体屏障。检测元件可以具有固定到其端点上的不同端部质量或无论如何没有质量的选择。驱动端可以由各种手段、电磁力和场、压电应力和应变、声压、或静电力和场激励和检测。

在图 1 所示的实施例中,所有元件由不锈钢构造,其中需要对于过程流体的连接,换能器体能螺纹固定或焊接到诸如螺纹接头或法兰之类的常规工艺连接上。进一步的配置使用两个驱动电磁铁和

两个磁性拾波器，以加强扭转振动和禁止轴的任何横向振动。

驱动轴 11 最好使用固定到轴 11 的端部上的端部重量来平衡，以匹配检测轴 22 的振动频率。以这种方式，在希望位置良好地建立节点，并且使换能器的振动性能独立于施加到组件上的任何外部应力。

如果检测元件 12、22 浸在液体中，则角位移将引起穿过流体的剪切运动。如果流体是粘性的，则元件表面面积、角速度、和流体粘度的组合将引起对于振动系统的拖动力，并且将把能量丢给流体。能量损失的程度与检测元件处由 K_2 与 K_4 的比值定义的允许振动量成比例。

Q 或谐振波峰的锐度是对于振动系统在每个振动循环内能量损失相对于输入能量的指示。因为能量损失由粘度增大造成增大，所以系统的 Q 减小。

通过测量谐振波峰的半功率带宽确定 Q 。然后定标测量的 Q 以给出常规单位的流体粘度读数。

通过调节参数轴刚度、检测元件的质量惯性矩及表面面积，对于最佳粘度范围能选择性地配置换能器。

如果检测端质量用几何学配置，从而流体在振动漂移期间移动，那么将有对于检测元件的质量加载影响。由于系统的谐振频率是端部元件的质量惯性矩的函数，所以谐振频率将由流体的密度调制。因而流体的密度能与系统振动频率相关。

通过使用常规温度检测技术测量换能器的谐振频率和流体温度、和对于随温度变化的轴的弹性施加校正因子，确定流体密度。

换能器的谐振频率随添加到轴端部的质量(只要这不增大刚度)而减小。频率进一步随添加质量远离转动轴的移动而减小，因为这增大极坐标的质量惯性矩。

如果端部元件由宽而薄的盘制成，例如具有 60 mm 直径和 0.5 mm 厚度，则振动频率变得对盘上的较小质量变化非常敏感。为了使由质量变化造成的较小频率变化与由温度造成的变化区分开，采

用一个第二谐振器。由于两个传感器经历相同的温度，但只有一个用于质量测量，所以来自每个换能器的频率的相除将产生一个仅随质量变化而独立于温度的商。

这样一种仪器能够检测由放置在盘上的物质或盘本身的如下活动造成的质量变化：

(a)蒸发

(b)离子化

(c)雾化

(d)吸收

(e)沉积

(f)磨损

(g)任何其他引起盘或盘上放置的材料的质量变化的物理或化学作用。

对于化学或物理过程中气相、液相或固相或这些相的任何组合的物质能进行这种测量。例如，有可能测量液态漆当它在其干燥过程中释放气态溶剂蒸汽时的质量损失，这提供液态漆的质量、气态溶剂的质量、及剩余固态树脂。

除质量测量之外，测量系统的 Q 以确定盘上盘材料的粘度或流变特性。这给出用来理解物理或化学过程中物质的动态特性的另外分析数据-例如从液态至固态的变化。

该装置对于确定流体滴的粘度也是有用的，而不用把传感器完全浸入在流体中。该质量平衡技术确定存在流体的量，并且把这与粘滞能量损失读数相结合以确定流体粘度。

也能导出与物质‘表皮’深度有关的信息。表皮深度是流体靠近影响系统的添加质量的振动表面的量。它是密度、粘度和振动频率的函数。随流体变得较粘(更固态)其表皮深度增大，例如，如果树脂在测量表面上干燥，则其粘度增大，并因此由于表皮深度增大证明质量的明显增大。

许多化学反应涉及反应中成分之间的质量交换。如果扭转换能

器的检测表面由具体化学反应中的成分制成，那么能通过表面处质量的增大或减小监视反应的进行。对于气相、液相或固相中的反应物这种质量交换能发生。

这提供了由使用的表面化合物类型和其与其他化合物的反应确定的化学反应的连续在线测量。

通过把质量测量与诸如氧化还原电势之类的反应指示物、和电解理论相结合，能确定反应的本质和未知反应物。例如，按照法拉第电解定律，电解沉积材料的质量是时间、电流、及原子质量和化合价的函数。借助于已知的质量、时间和电流，由原子重量/化合价估计能确定沉积的原子。

使用用适当化学成分制备的盘，该仪器能用于空气和水污染物的连续在线测量。一直对该化学成分不敏感的第二基准谐振器的使用消除由温度或污垢造成的频率变化。

由放射衰变造成的质量变化能以类似的方式测量。

该仪器能借助于涂有生物化学基体的盘使用，该生物基体比如能加速细菌培养物的生长，从而能进行培养物生长速率的灵敏确定。能测量气相、液相或固相的无机、有机或生物物质的质量或流变特性相对于时间的变化。

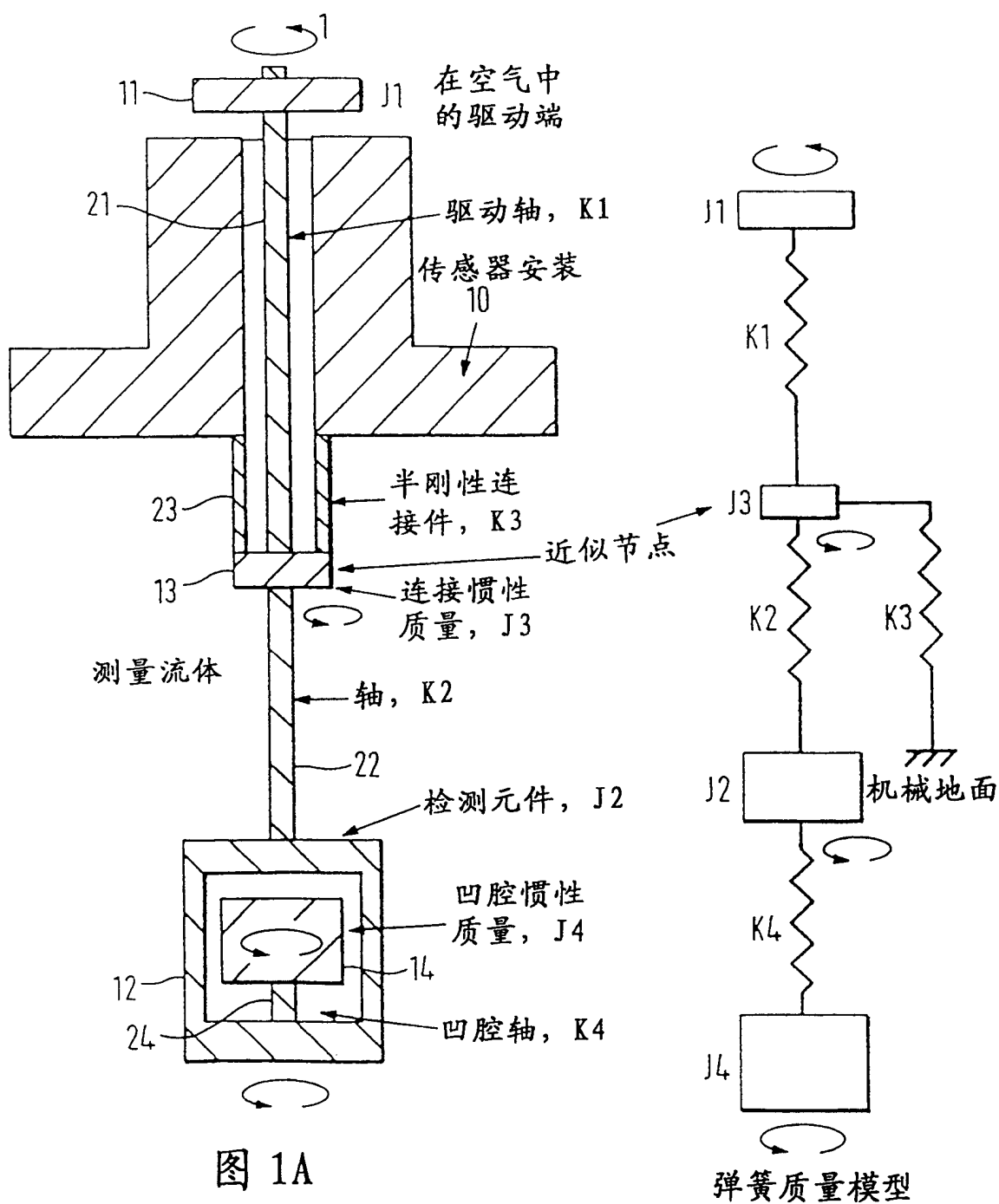


图 1A

图 1B

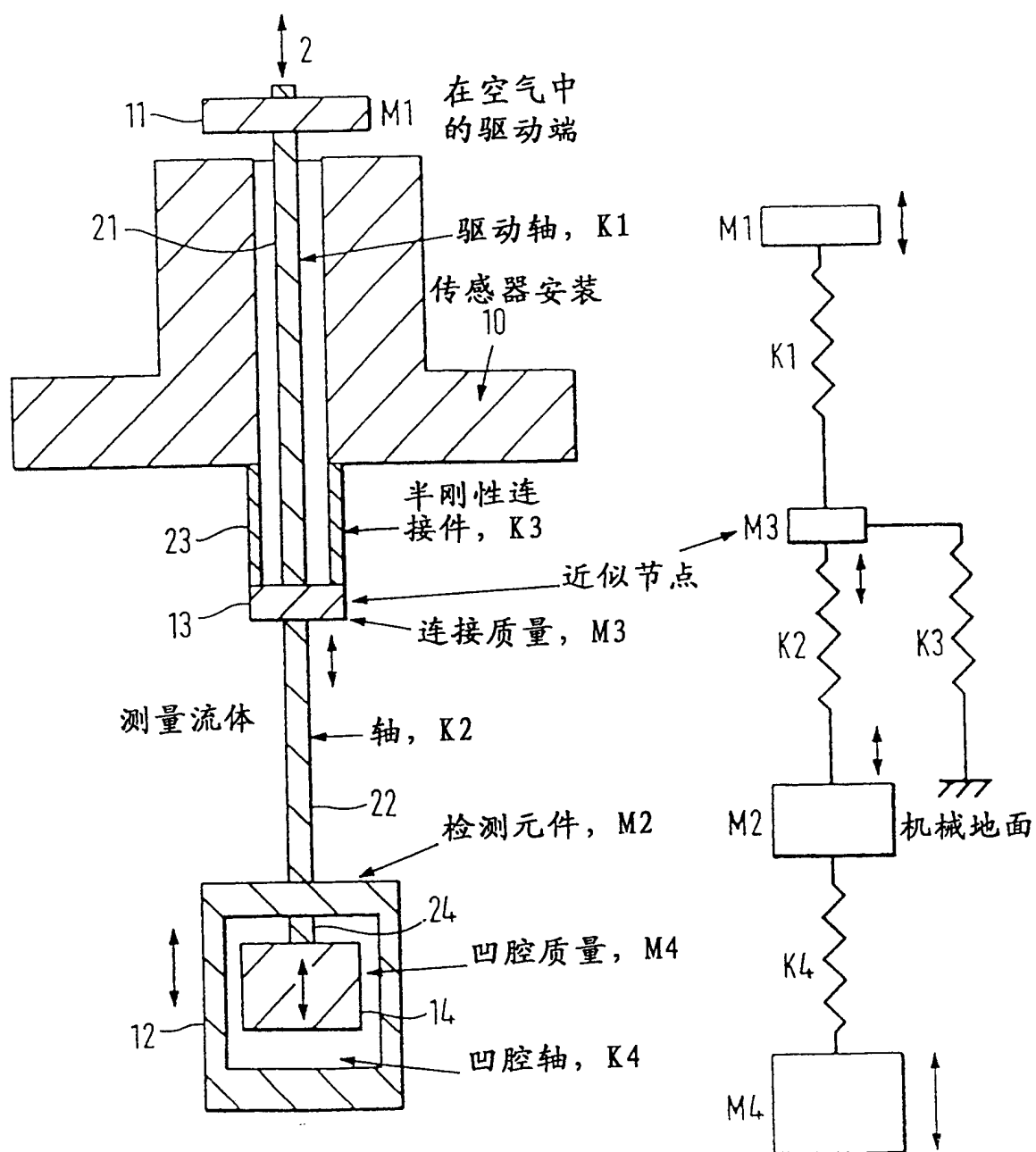
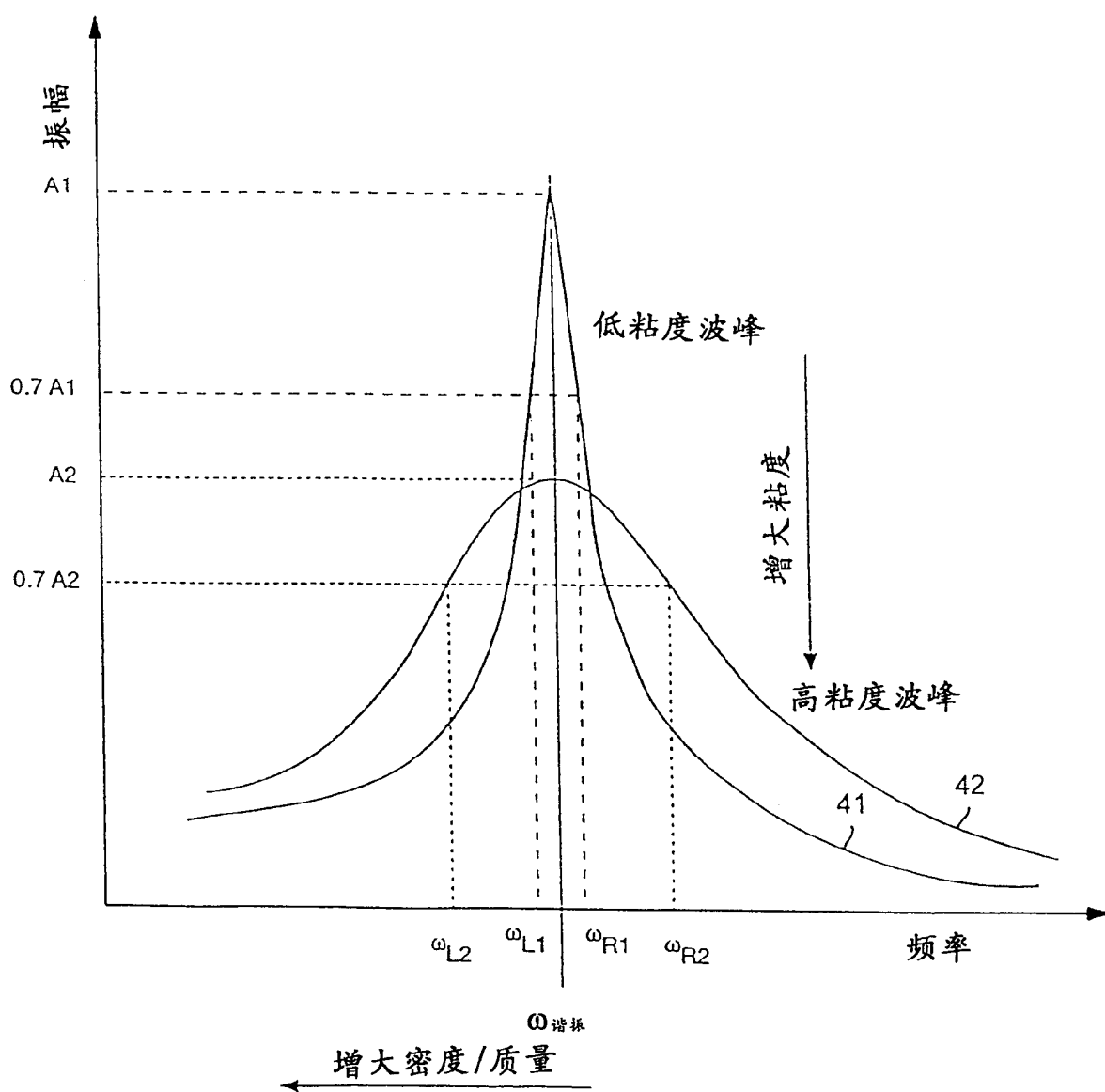


图 2A

弹簧质量模型

图 2B



$$Q = \text{谐振的质量} = \frac{\omega_{\text{谐振}}}{\omega_R - \omega_L}$$

流体粘度与 $(1/Q)^2$ 成比例

质量和流体密度与 $(1/\omega_{\text{谐振}})^2$ 成比例

图 4

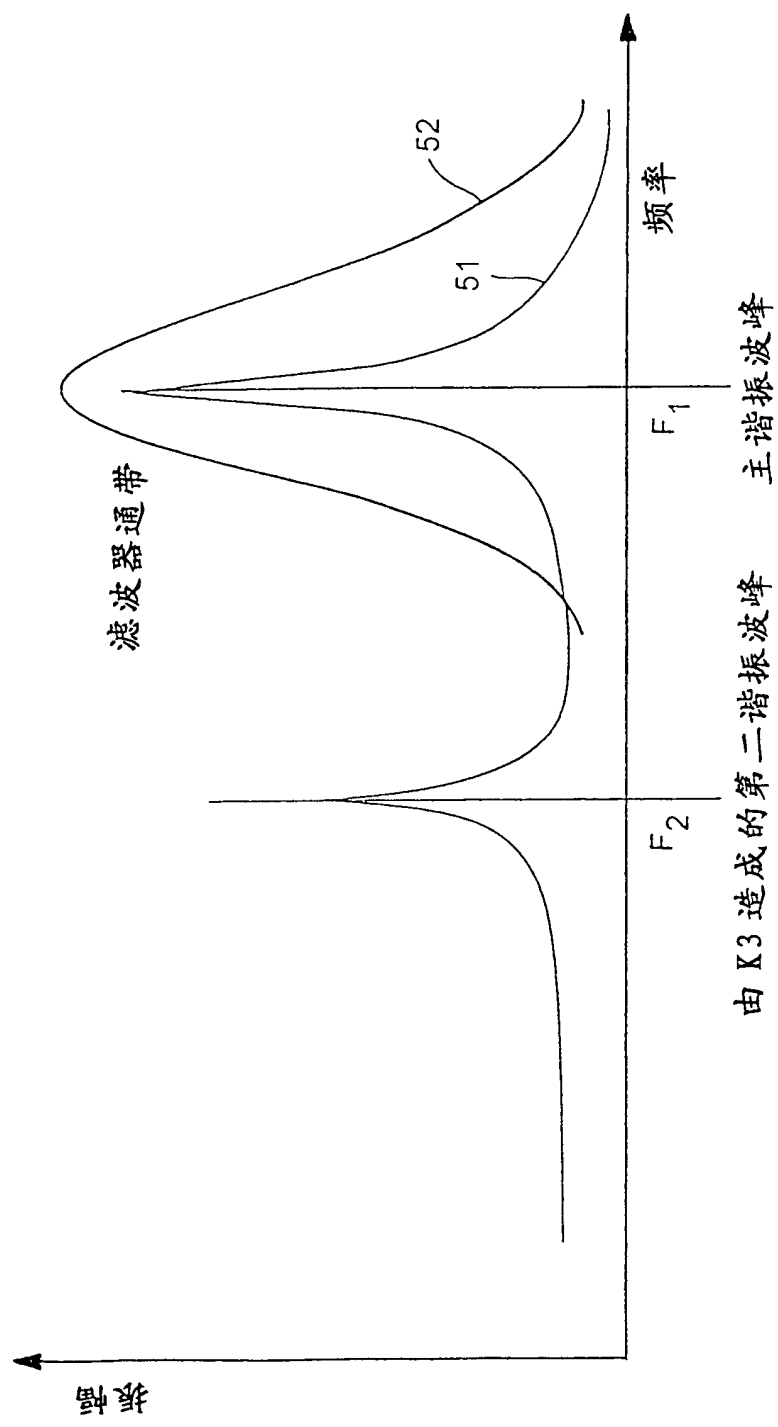


图 5