

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01F 1/84 (2006.01)

G01N 9/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580049394.9

[45] 授权公告日 2009年5月27日

[11] 授权公告号 CN 100491934C

[22] 申请日 2005.4.6

[21] 申请号 200580049394.9

[86] 国际申请 PCT/US2005/011420 2005.4.6

[87] 国际公布 WO2006/107297 英 2006.10.12

[85] 进入国家阶段日期 2007.9.30

[73] 专利权人 微动公司

地址 美国科罗拉多州

[72] 发明人 A·W·潘克拉茨 M·J·贝尔

A·T·帕滕

[56] 参考文献

CN13161050A 2001.10.3

EP1260798A 2002.11.27

US6308580B1 2001.10.30

CN1308722A 2001.8.15

审查员 刘斌

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 范晓斌

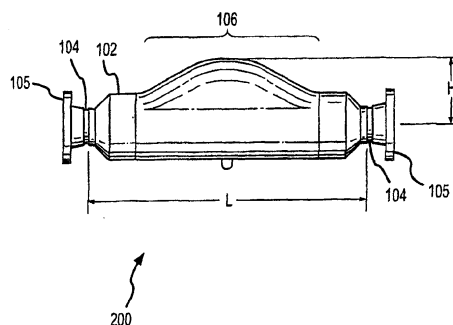
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

[54] 发明名称

用于测量多相流动材料的流动特性的紧凑型  
振动式流量计

[57] 摘要

按照本发明的实施例提供了一种紧凑型振动式流量计(200)，用于测量流动材料压力大于大约10磅每平方英寸(psi)的多相流动材料的流动特性。该紧凑型振动式流量计(200)包括一个或多个流量导管(301)、至少两个拾取传感器(308)以及驱动器(309)。该紧凑型振动式流量计(200)还包括：该一个或多个流量导管(301)中的最大水驱动频率小于大约250赫兹(Hz)，该一个或多个流量导管(301)的长高比(L/H)大于大约2.5。该一个或多个流量导管(301)的高孔比(H/B)小于大约10，并且弓形流量导管几何形状包括在大约120度到大约170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。



1. 一种紧凑型振动式流量计(200), 用于测量流动材料压力大于10磅每平方英寸(psi)的多相流动材料的流动特性, 该紧凑型振动式流量计(200)包括一个或多个流量导管(301)、至少两个拾取传感器(308)以及驱动器(309), 其中, 所述至少两个拾取传感器(308)附着至所述一个或多个流量导管(301), 所述驱动器(309)用以使所述一个或多个流量导管(301)振动, 所述紧凑型振动式流量计(200)的特征在于:

所述一个或多个流量导管(301)中的最大水驱动频率小于250赫兹(Hz);

所述一个或多个流量导管(301)的长高比(L/H)大于2.5;

所述一个或多个流量导管(301)的高孔比(H/B)小于10; 以及

所述一个或多个流量导管(301)中的弓形流量导管几何形状包括在120度到170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。

2. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 其中, 所述最大水驱动频率小于200Hz。

3. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 其中, 所述最大水驱动频率是基于: 所述一个或多个流量导管(301)的有效长度 $L_E$ 、所述一个或多个流量导管(301)的转动惯量(I)、附着至该一个或多个流量导管(301)的一个或多个平衡质量、以及所述一个或多个流量导管(301)的导管几何形状。

4. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 其中, 对于多相流动材料, 所述最大水驱动频率是基于所述紧凑型振动式流量计(200)的预定的最小可接受密度精度。

5. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 其中, 所述一个或多个流量导管(301)包括一个或多个自排出的流量导管。

6. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 还包括在所述一个或多个流量导管(301)中的预定压降。

7. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 还包括在所述一个或多个流量导管(301)中的预定压降, 该预定压降是基于: 预定的总流路长度 $L_T$ 、预定的流量计摩擦系数(f)、预定的导管内径(ID)、预定的流体密度( $\rho_f$ )、以及预定的流动速度(V)。

8. 根据权利要求1所述的紧凑型振动式流量计(200), 还包括在所

述一个或多个流量导管(301)中的预定压力额定值。

9.一种构造紧凑型振动式流量计的方法,该紧凑型振动式流量计用于测量流动材料压力大于10磅每平方英寸(psi)的多相流动材料的流动特性,该方法包括提供一个或多个流量导管、提供至少两个拾取传感器以及提供驱动器,其中,所述至少两个拾取传感器附着至所述一个或多个流量导管,所述驱动器用以使所述一个或多个流量导管振动,其中,所述方法的特征在于:

提供最大水驱动频率,该最大水驱动频率小于250赫兹(Hz);

提供所述一个或多个流量导管的长高比(L/H),该长高比大于2.5;

提供所述一个或多个流量导管的高孔比(H/B),该高孔比小于10;  
以及

提供所述一个或多个流量导管中的弓形流量导管几何形状,该弓形流量导管几何形状包括在120度到170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。

10.根据权利要求9所述的方法,其中,所述最大水驱动频率小于200Hz。

11.根据权利要求9所述的方法,还包括确定所述最大水驱动频率,对所述最大水驱动频率的确定是基于:所述一个或多个流量导管的有效长度 $L_E$ 、所述一个或多个流量导管的转动惯量(I)、附着至该一个或多个流量导管的一个或多个平衡质量、以及所述一个或多个流量导管的导管几何形状。

12.根据权利要求9所述的方法,还包括:对于多相流动材料,基于所述紧凑型振动式流量计的预定的最小可接受密度精度来确定所述最大水驱动频率。

13.根据权利要求9所述的方法,其中,所述一个或多个流量导管包括一个或多个自排出的流量导管。

14.根据权利要求9所述的方法,还包括提供所述一个或多个流量导管中的预定压降。

15.根据权利要求9所述的方法,还包括提供所述一个或多个流量导管中的预定压降,该预定压降是基于:预定的总流路长度 $L_T$ 、预定的流量计摩擦系数(f)、预定的导管内径(ID)、预定的流体密度( $\rho_f$ )、以及预定的流动速度(V)。

16.根据权利要求9所述的方法,还包括提供所述一个或多个流量

导管中的预定压力额定值。

17. 一种构造紧凑型振动式流量计的方法，该紧凑型振动式流量计用于测量流动材料压力大于10磅每平方英寸 (psi) 的多相流动材料的流动特性，该方法包括提供一个或多个流量导管、提供至少两个拾取传感器以及提供驱动器，其中，所述至少两个拾取传感器附着至所述一个或多个流量导管，所述驱动器用以使所述一个或多个流量导管振动，其中，所述方法的特征在于：

提供所述一个或多个流量导管中的预定压降；

提供所述一个或多个流量导管中的预定压力额定值；

提供所述一个或多个流量导管的长高比(L/H)，该长高比大于2.5；

提供所述一个或多个流量导管的高孔比(H/B)，该高孔比小于10；

提供所述一个或多个流量导管中的在120度到170度之间的端部弯曲角 $\theta$ ；以及

提供所述一个或多个流量导管中的最大水驱动频率，该最大水驱动频率小于250赫兹(Hz)。

18. 根据权利要求17所述的方法，其中，所述最大水驱动频率小于200Hz。

19. 根据权利要求17所述的方法，还包括还包括确定所述最大水驱动频率，对所述最大水驱动频率的确定是基于：所述一个或多个流量导管的有效长度 $L_E$ 、所述一个或多个流量导管的转动惯量(I)、附着至该一个或多个流量导管的一个或多个平衡质量、以及所述一个或多个流量导管的导管几何形状。

20. 根据权利要求17所述的方法，还包括：对于多相流动材料，基于所述紧凑型振动式流量计的预定的最小可接受密度精度来确定所述最大水驱动频率。

21. 根据权利要求17所述的方法，其中，所述一个或多个流量导管包括一个或多个自排出的流量导管。

22. 根据权利要求17所述的方法，该预定压降是基于：预定的总流路长度 $L_T$ 、预定的流量计摩擦系数(f)、预定的导管内径(ID)、预定的流体密度( $\rho_f$ )、以及预定的流动速度(V)。

## 用于测量多相流动材料的流动特性的紧凑型振动式流量计

### 技术领域

本发明涉及紧凑型振动式流量计，更具体地说，涉及一种用于测量多相（multi-phase）流动材料的流动特性的紧凑型振动式流量计。

### 背景技术

振动导管传感器（比如科里奥利质量流量计）通常通过检测包含流动材料的振动导管的运动来工作。与导管中的材料相关联的特性（比如质量流量、密度等等）可通过对测量信号进行处理而确定，该测量信号接收自与该导管相关联的运动换能器。影响该填充有材料的振动系统的振动模式的一般是组合质量、刚度、以及该充装导管及其内所充装材料的阻尼特性。

典型的科里奥利质量流量计包括一个或多个导管，它们串联连接在管路或其它运输系统中，并且在该系统上传送材料（例如，流体、浆料等等）。每一个导管都可被视为具有一组固有振动模式，例如包括单纯弯曲、扭转、径向、和复合模式。在典型的科里奥利质量流量计测量应用场合中，当材料流过导管时，导管以一个或多个振动模式被激励，并且在沿着导管间隔开的点处测量导管的运动。激励通常是由致动器来提供，例如机电装置，比如音圈型驱动器，该致动器以周期方式扰动导管。通过测量各个换能器位置处的运动之间的时间延迟和相差来确定质量流率。为了测量流量导管对振动的响应，通常使用两个这种换能器（或拾取传感器），并且这两个拾取传感器通常位于致动器的上游和下游的位置处。这两个拾取传感器通过电缆连接到电子仪器。为了推算出质量流率测量结果，该仪器从这两个拾取传感器接收信号并且处理该信号。

使用流量计来测量流动材料的一个困难是当流动材料不均匀的时候，比如处于多相流动条件下。在多相流动条件下，流动材料包括气相、液相以及固相中的两种或更多种物相。例如，常见的流量测量情景是该流动材料包括夹带在液体中的气体。空气是常见的夹带气体。由于气体是可压缩的，所以流动材料的特性会多样化，并且因此该夹

带气体可造成流量计中错误的读数。夹带气体可降低质量流率和密度测量结果的精度，并且因此可间接地影响体积测量。

图1所示为现有技术的U形振动式流量计。该现有技术的U形振动式流量计具有非常低的长高比，其中该长高比是流量计的总体长度(L)除以流量计的总体高度(H)，也就是，该长高比 =  $L/H$ 。从该图可以看出，现有技术的长高比通常远远小于一，对现有技术的U形流量计来说尤其是这样。在导管直径大的应用场合中，可以看出的是，该现有技术流量计的小的长高比将需要大量的竖向物理空间以用于安装。

在许多安置中，可用于流量计的物理空间是有限的。例如，流量计的总体长度(L)和流量计的总体高度(H)二者都可能被可用安装空间规定好了。因此，需要有一种紧凑型的流量计，其特点是既有减小的长度(L)又有减小的高度(H)以及高的长高比( $L/H$ ) (也就是说是紧凑的)。而且，越来越要求有更小的、更紧凑的流量计能提供所需要的测量能力以及高水平的测量精度与可靠性。

在现有技术中，生产紧凑型振动式流量计的尝试包括：针对这些应用场合按比例缩小现有流量计，和/或使用弓形的或直形的流量导管。然而，这都遇到了意外的复杂和令人不满意的流量计精度。按比例缩小现有流量计设计的一个结果是流量导管的刚度大大增大了。该增大的刚度特性导致流量计驱动频率的增大。问题是，对于多相流动材料来说，该相对高的驱动频率导致了性能和/或精度的降低。当气体夹带在流动材料中时(例如，比如气泡)，该流动材料的共振频率受到影响，并且低于纯流体流动材料的共振频率。因此，现有技术流量计所使用的驱动频率会处于或接近流动材料的共振频率。通过研究已经发现，当多相流的流动材料共振频率接近流量计的驱动频率时，流量计的精度会降低。因此，该夹带气体导致流量计不能精确测量流动材料的流动特性并且不能测量非流动特性。

## 发明内容

通过提供一种用于测量多相流动材料的流动特性的紧凑型振动式流量计可解决上述的和其它的问题以及获得本领域中的进步。

按照本发明的实施例提供了一种紧凑型振动式流量计，用于测量流动材料压力大于大约10磅每平方英寸(psi)的多相流动材料的流动

特性。该紧凑型振动式流量计包括一个或多个流量导管、至少两个拾取传感器以及驱动器，其中，该至少两个拾取传感器附着至所述一个或多个流量导管，所述驱动器用以使所述一个或多个流量导管振动。所述紧凑型振动式流量计还包括所述一个或多个流量导管中的最大水驱动频率，该最大水驱动频率小于大约250赫兹(Hz)。所述紧凑型振动式流量计还包括：所述一个或多个流量导管(301)的长高比(L/H)，该长高比大于大约2.5；以及所述一个或多个流量导管的高孔比(H/B)，该高孔比小于大约10。所述紧凑型振动式流量计还包括所述一个或多个流量导管中的弓形流量导管几何形状，该弓形流量导管几何形状包括在大约120度到大约170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。

按照本发明的实施例提供了一种构造紧凑型振动式流量计的方法，该紧凑型振动式流量计用于测量流动材料压力大于大约10磅每平方英寸(psi)的多相流动材料的流动特性。该方法包括提供一个或多个流量导管、提供至少两个拾取传感器以及提供驱动器，其中，所述至少两个拾取传感器附着至所述一个或多个流量导管，所述驱动器用以使所述一个或多个流量导管振动。该方法还包括：提供最大水驱动频率，该最大水驱动频率小于大约250赫兹(Hz)；提供所述一个或多个流量导管的长高比(L/H)，该长高比大于大约2.5；并且提供所述一个或多个流量导管的高孔比(H/B)，该高孔比小于大约10。该方法还包括提供所述一个或多个流量导管中的弓形流量导管几何形状，该弓形流量导管几何形状包括在大约120度到大约170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。

按照本发明的实施例提供了一种构造紧凑型振动式流量计的方法，该紧凑型振动式流量计用于测量流动材料压力大于大约10磅每平方英寸(psi)的多相流动材料的流动特性。该方法包括：提供一个或多个流量导管、提供至少两个拾取传感器以及提供驱动器，其中，所述至少两个拾取传感器附着至所述一个或多个流量导管，所述驱动器用以使所述一个或多个流量导管振动。该方法还包括：提供所述一个或多个流量导管中的预定压降；以及提供所述一个或多个流量导管中的预定压力额定值。该方法还包括：提供所述一个或多个流量导管的长高比(L/H)，该长高比大于大约2.5；以及提供高孔比(H/B)，该高孔比小于大约10。该方法还包括：提供所述一个或多个流量导管中的

在大约120度到大约170度之间的端部弯曲角 $\theta$ ；以及提供最大水驱动频率，该最大水驱动频率小于大约250赫兹(Hz)。

#### 本发明的各方面

在该紧凑型振动式流量计的一个方面中，所述最大水驱动频率小于大约200Hz。

在该紧凑型振动式流量计的另一方面中，所述最大水驱动频率是基于：所述一个或多个流量导管的有效长度 $L_E$ 、所述一个或多个流量导管的转动惯量(I)、附着至该一个或多个流量导管的一个或多个平衡质量、以及所述一个或多个流量导管的导管几何形状。

在该紧凑型振动式流量计的再一方面中，对于多相流动材料，所述最大水驱动频率是基于所述紧凑型振动式流量计的预定的最小可接受密度精度。

在该紧凑型振动式流量计的再一方面中，所述一个或多个流量导管包括一个或多个基本上自排出的流量导管。

在该紧凑型振动式流量计的再一方面中，该紧凑型振动式流量计还包括在所述一个或多个流量导管中的预定压降。

在该紧凑型振动式流量计的再一方面中，该紧凑型振动式流量计还包括在所述一个或多个流量导管中的预定压降，该预定压降是基于：预定的总流路长度 $L_T$ 、预定的流量计摩擦系数(f)、预定的导管内径(ID)、预定的流体密度( $\rho_f$ )、以及预定的流动速度(V)。

在该紧凑型振动式流量计的再一方面中，该紧凑型振动式流量计还包括在所述一个或多个流量导管中的预定压力额定值。

在本发明的一个方面中，所述最大水驱动频率小于大约200Hz。

在本发明的另一方面中，该方法还包括确定所述最大水驱动频率，对所述最大水驱动频率的确定是基于：所述一个或多个流量导管的有效长度 $L_E$ 、所述一个或多个流量导管的转动惯量(I)、附着至该一个或多个流量导管的一个或多个平衡质量、以及所述一个或多个流量导管的导管几何形状。

在本发明的再一方面中，该方法还包括：对于多相流动材料，基于所述紧凑型振动式流量计的预定的最小可接受密度精度来确定所述最大水驱动频率。



在本发明的再一方面中，所述一个或多个流量导管包括一个或多个基本上自排出的流量导管。

在本发明的再一方面中，该方法还包括提供所述一个或多个流量导管中的预定压降。

在本发明的再一方面中，该方法还包括提供所述一个或多个流量导管中的预定压降，该预定压降是基于：预定的总流路长度 $L_T$ 、预定的流量计摩擦系数( $f$ )、预定的导管内径( $ID$ )、预定的流体密度( $\rho_f$ )、以及预定的流动速度( $V$ )。

在本发明的再一方面中，该方法还包括提供所述一个或多个流量导管中的预定压力额定值。

## 附图说明

在所有的附图上用相同标号代表相同的元件。

图1示出了现有技术的U形振动式流量计。

图2示出了根据本发明实施例的紧凑型振动式流量计。

图3示出了根据本发明实施例的该紧凑型振动式流量计的部件。

图4是在空隙率的范围上实际频率对测量频率的频率差异(也就是频率误差)的曲线图。

图5是在空隙率的范围上密度误差的曲线图。

图6A至图6B所示为紧凑型振动式流量计的自排出特点。

图7是根据本发明实施例用于构造紧凑型振动式流量计的方法的流程图，该流量计用于测量多相流动材料的流动特性。

## 具体实施方式

图2至图7以及下面的说明描述了具体示例，以教导本领域技术人员如何制造和使用本发明的最佳模式。为了教导本发明的原理，一些常规的方面被简化或者省略了。本领域技术人员将能理解对这些示例所做的落在本发明范围内的变化。本领域技术人员将能理解的是，下面所述的特征可以以各种方式进行组合，以形成本发明的多种变化。因此，本发明并不局限于下面所描述的具体示例，而仅仅是由权利要求以及它们的等同物来限定。

图2示出了根据本发明实施例的一种紧凑型振动式流量计200。该

紧凑型振动式流量计200包括集管104、法兰105、罩壳102和导管部分106。该紧凑型振动式流量计200包括一个或多个流量导管301（见图3），该流量导管301作为导管部分106的一部分，并且处于罩壳102内。在一些实施例中，该紧凑型振动式流量计200可包括两个流量导管301。该一个或多个流量导管301可包括弓形的流量导管。

在一个实施例中，该紧凑型振动式流量计200构成了科里奥利流量计。在另一个实施例中，该紧凑型振动式流量计200构成了振动式密度计。

该紧凑型振动式流量计200可被设计成用以获得所需的最小测量精度。该紧凑型振动式流量计200可被设计成用以获得最小的密度测量精度。该紧凑型振动式流量计200可被设计成用以获得用于多相流动材料的最小密度测量精度。该紧凑型振动式流量计200可既能测量流动材料的流动特性又能测量流动材料的非流动特性。

许多因素可影响振动式流量计的工作（并因此影响精度）。影响工作的许多重要因素中的三个因素是：用来使得一个或多个流量导管进行振动的驱动频率、流动材料压力、以及流量导管的几何形状。通过适当地选择这三个因素，一般能实现紧凑型振动式流量计的合适设计，甚至是与多相流动材料一起使用。

根据本发明的一种紧凑型振动式流量计包括：在任意流体上的小于大约250赫兹 (Hz) 的驱动频率，该任意流体包括水，比如粘结剂 (cement) 流动材料。在一些实施例中，该驱动频率小于大约200Hz。该驱动频率可以是基于：该一个或多个流量导管301的有效长度 $L_E$ 、该一个或多个流量导管301的转动惯量(I)、以及该一个或多个流量导管301的几何形状。而且，该驱动频率可进一步地受一个或多个平衡质量的影响，根据需要，该平衡质量可任选地被固定至该一个或多个流量导管301上。该有效长度 $L_E$ 可以取决于流量导管的几何形状。该流量导管的壁厚可以取决于该流动材料的压力。该转动惯量(I)可以取决于该流量导管的内径和该流量导管的壁厚以及其它因素。另外，该驱动频率可以是基于预定的可接受的最小密度精度（见图4和附随的讨论）。

根据本发明的一种紧凑型振动式流量计包括大于大约10磅每平方英寸 (psi) 的流动材料压力。在一些实施例中，该流动材料压力在大约10psi到大约475psi之间。在一些实施例中，该流动材料压力大于大约

15psi。可以根据所希望的应用场合来选择该流动材料压力，或者可由最终用户指定该流动材料压力。

根据本发明的一种紧凑型振动式流量计包括预定的紧凑几何形状。该预定的紧凑几何形状可包括下列中的一个或多个：预定的长高比(L/H)、预定的高孔比(H/B)、或弓形的流量导管几何形状。该预定的长高比(L/H)大于大约2.5。该预定的高孔比(H/B)小于大约10。该弓形的流量导管几何形状可包括在120度到大约170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。该弓形的流量导管几何形状可以基本上是自排出式(self-draining)的。

该紧凑型振动式流量计200可进一步包括该一个或多个流量导管301中的预定压降( $\Delta P$ )。该预定压降( $\Delta P$ )可以是基于：预定的总流路长度 $L_T$ (见图3)、预定的流量计摩擦系数(f)、预定的导管内径(ID)、预定的流体密度( $\rho_f$ )、以及预定的流动速度(V)。在一个实施例中，该预定压降( $\Delta P$ )可根据该公式来计算：

$$\Delta P = \frac{\rho V^2}{2} \left[ \frac{f L_T}{ID} \right] \quad (1)$$

该紧凑型振动式流量计200可进一步包括该一个或多个导管301中的预定的压力额定值。该预定的压力额定值可根据特定的应用场合来选择或由最终用户来选择。

在一些实施例中，该紧凑型振动式流量计200被构造成具有高的长高比。在一个实施例中，该流量计总体长度(L)基本上是该流量计的集管104之间的距离(见图2)，而该流量计总体高度(H)基本上是进口/出口集管的中心线与最远离的中心线(也就是该弓形部分的顶点的中央)之间的距离。因此，该长高比是对该流量计的总体形状和尺寸的近似量化。高的长高比(L/H)意味着该流量计相对其长度具有低的高度。因此，根据本发明的该紧凑型振动式流量计200是相对较小的，并且因此易于容纳在大多数计量应用场合中。该高的长高比使得该紧凑型振动式流量计200能被安装在小空间中。该高的长高比使得该紧凑型振动式流量计200能用在更多的应用场合中。在一个实施例中，该紧凑型振动式流量计200可用在注粘结剂固井操作中，包括在用于混合和/或泵送液态粘结剂的机器中。也可以设想其它的用途以及其它的流动材料，并且在说明书和权利要求的范围内。

该高孔比(H/B)是该高度(上文定义)与进口/出口集管的内径的比。该高孔比(H/B)反映了该紧凑型振动式流量计的竖向高度与该入口/出口孔和因此流量导管尺寸之间的关系。因此,对于给定的流动材料压力,该孔影响流动速度(V)和流量计摩擦系数(f)。在单流量导管流量计中,该孔(B)一般与流量导管有相同的直径。然而,该孔不是一定要与流量导管的内径相同。

该紧凑型振动式流量计200对于流动材料(例如包括粘结剂流动材料)具有低驱动频率。甚至在实现高的长高比并由此实现紧凑的总体设计的同时也能实现该低的驱动频率。在现有技术中,设计工程师只能从低驱动频率流量计设计和紧凑型流量计设计之中择一,而不能二者兼顾。

该驱动频率是指为了测量流动材料的流动特性而使该一个或多个流量导管301进行振动时的振动频率。该驱动频率通常被选择为处于或低于流动材料的共振频率。因此,该驱动频率可根据流动材料的组成而不同。而且,该驱动频率受流量计的刚度特性所影响。当该刚度特性增加时,该驱动频率通常也增加。提供具有低驱动频率的紧凑型流量计的根本困难是:长高比/总体尺寸的减少会增加该刚度特性。例如,一个设计特征是流量计总体长度(L)。在对流量计不做任何其它改变的情况下,当流量计总体长度(L)减少时该刚度特性增加。另一个影响刚度特性的设计特征是流量导管301的振动部分的有效长度 $L_E$ (见图3)。对于直形或弓形导管流量计,该有效长度 $L_E$ 小于总流路长度 $L_T$ 。可以通过缩短该总流路长度 $L_T$ 或通过增加可限制流量导管端部的撑杆、托架等等来缩短该有效长度 $L_E$ 。而且,可通过改变流量计的结构来缩短该有效长度 $L_E$ 。例如,U形流管具有远大于直形导管流量计的有效长度 $L_E$ (见图1和图3)。因此,通过转变成直形流量导管或适度弓形的流量导管,流量计的刚度特性和驱动频率将被大大地增加。

根据本发明实施例的流量计不仅仅是按比例缩减的现有技术的流量计。根据本发明实施例的流量计设计成使得驱动频率小于或者甚至远远小于流动材料的共振频率。理想地,该流量计驱动频率应该是与流动材料共振频率有可辨别的距离。由此,根据本发明实施例的该流量计提供了一种低轮廓(low profile)的、自排出式的、紧凑型振动式流量计,同时依然可获得所希望的测量精度,甚至是在夹带气体量

有变化的情形下。

图3示出了根据本发明实施例的紧凑型振动式流量计200的部件。除了图2中所示和所讨论的部件之外，该紧凑型振动式流量计200包括一个或多个流量导管301、撑杆(brace bar) 306、拾取传感器308和驱动器309。也可包括其它部件，比如拾取传感器、温度和/或压力传感器、流量计电子装置、在需要时设置的平衡质量等等。

该流量导管301构成弓形流量导管，并且包括由至少两个端部弯曲部分314和一个中央弯曲部分312形成的弓形部分。这两个端部弯曲部分314中分别包含在大约120度到大约170度之间的端部弯曲角 $\theta$ 。在所示实施例中，该端部弯曲角 $\theta$ 包含大约145度的弯曲。该弓形部分可增加有效长度 $L_E$ ，因为更小的端部弯曲角 $\theta$ 能使得该流量导管更趋向U形并且由此可增加有效长度 $L_E$ 。

该紧凑型振动式流量计200可包括撑杆306。撑杆306用来锚定该流量导管301的端部。在包括两个流量导管301的实施例中，撑杆306还可将这两个流量导管301彼此固定。撑杆306可设定该流量计200的有效长度 $L_E$ 。因为该有效长度 $L_E$ 可影响该紧凑型振动式流量计200的刚度特性，所以为了获得所希望的驱动频率而要更改该有效长度 $L_E$ 。在一些实施例中，撑杆306被安装成尽可能远离地间隔开，以便减小该紧凑型振动式流量计200的驱动频率，同时保持所希望的流量计模态分离/性能。备选地，在一些实施例中，为了最大化该有效长度 $L_E$ 而省去了撑杆306。

另一个可影响该紧凑型振动式流量计200工作的特征是该一个或多个流量导管301的内孔(B) (见图3)。该孔是该紧凑型振动式流量计200的入口和出口的内径，比如在集管104处。在一个实施例中，该孔的横截面面积基本上等于流量导管的横截面面积。因此，高孔比是一种按照横截面积对流量计中弓形量的指示。在本发明的一个实施例中，该高孔比(H/B)小于大约10。

另一个可影响该紧凑型振动式流量计200工作的特性是所增加的安装在该一个或多个流量导管301上的平衡重量316的出现。所增加的平衡重量316影响该流量导管301的总体质量，同时基本上不会影响刚度特性。因此，该平衡重量316可影响驱动频率。增加流量导管301的质量会降低驱动频率。

又一个可影响该紧凑型振动式流量计200工作的特性是流量导管301的壁厚。壁厚通常选择成可适应流动材料的压力。然而，较厚的导管壁将增加流量导管301的刚度特性。因此，在根据本发明的该紧凑型振动式流量计200中，该壁厚选择成比较薄，以便获得较低的驱动频率。这在流动材料不处于高压的情况下是可能的。

图4是在空隙率 (void fraction) 的范围上实际频率对测量频率的频率差异(也就是频率误差)的曲线图。该曲线图描绘了在15psi的压力下粘结剂流动材料的测量值。下部的线是对于现有技术的流量计工作在470Hz的驱动频率下的频率值。中间的线是对于现有技术的流量计工作在340Hz的驱动频率下的频率值。相对比的是，上部的线是对于本发明紧凑型振动式流量计的驱动频率的频率值，其中根据本发明的该紧凑型振动式流量计工作在大约170Hz的驱动频率下。各频率响应是来自具有相同的流量导管几何形状而不同仅在于有效长度 $L_E$ 和导管壁厚的流量计。从该曲线图中可以看出，对空隙率的任何值而言，170Hz的流量计的驱动频率与实际响应的偏离不超过0.5Hz。因此，工作在低于250Hz频率下的紧凑型振动式流量计在频率测量方面提供了高水平的精度。从该曲线图中可以看出，通过选择适当的低工作频率，能获得(至少能部分地获得)所希望的频率精度水平。

图5是在空隙率的范围上的密度误差的曲线图。该密度误差曲线图是对频率差异曲线图的补充，因为密度近似等于频率平方分之一( $\rho = 1/f^2$ )。上部的线是对于现有技术的流量计工作在470Hz的驱动频率下的密度值。中间的线是对于现有技术的流量计工作在340Hz的驱动频率下的密度值。相对比的，下部的线是对于本发明紧凑型振动式流量计的密度值，其中，根据本发明的该紧凑型振动式流量计工作在170Hz的驱动频率下。从该曲线图中可以看出，对空隙率的任何值而言，由170Hz流量计测量的密度值与实际密度的偏离不超过大约百分之2.1。因此，工作在低于250Hz频率下的紧凑型振动式流量计在密度测量方面提供了高水平的精度。

图6A至图6B示出了该紧凑型振动式流量计200的自排出特点。在图6A中，该流量导管301沿竖向定向。因为流量导管301具有弓形结构，包括大于120度的端部弯曲角 $\theta$ ，所以流量导管301中的任何流动材料将由于重力的原因而排出去(见箭头)。同样地，在图6B中，甚至当流量

导管301安装成水平方位时，该流动材料也将排出该流量导管301（见两个箭头）。该紧凑型振动式流量计200的自排出特点比起U形流量计是大的改进，因为流动材料（例如，比如粘结剂流动材料）如果不能自排出，那么它将很快地积聚在流量导管301的内部。

图7是根据本发明的一个实施例用于构造紧凑型振动式流量计的方法的流程图700，该流量计用于测量多相流动材料的流动特性。在步骤701中，如先前讨论的，在该紧凑型振动式流量计中提供压降。该压降可针对所希望的应用场合来选择或者可由最终用户指定。

在一个实施例中，可以利用若干流量计因素来确定该压降。例如，根据公式(1)可以计算出该压降( $\Delta P$ )。给定流体密度值和可接受的流量计压降( $\Delta P$ )，该一个或多个流量导管的内径(ID)和该总流路长度 $L_T$ 可通过该公式来确定。

在步骤702中，如先前讨论的那样，提供预定的紧凑几何形状。

在步骤703中，在该紧凑型振动式流量计中提供预定的压力额定值。该预定的压力额定值可规定该紧凑型振动式流量计的可接受的压力上限。而且，该预定的压力额定值可影响该流量导管的壁厚。

在步骤704中，如先前讨论的那样，在该紧凑型振动式流量计中提供预定的端部弯曲角 $\theta$ 。该端部弯曲角 $\theta$ 可根据流量导管的几何形状并根据所希望的流量导管的有效长度 $L_E$ 而变化。在根据本发明的紧凑型振动式流量计中，该端部弯曲角 $\theta$ 的范围是从大约120度到大约170度。该端部弯曲角 $\theta$ 造成了该流量导管的弓形形状。

在步骤705中，在该紧凑型振动式流量计中提供驱动频率。该驱动频率小于大约250Hz。在一些实施例中，该驱动频率小于大约200Hz。如先前讨论的，该驱动频率可作为其它流量计参数的函数而被确定。

在需要时，根据本发明的该紧凑型振动式流量计可根据这些实施例中的任何一个实施例来使用，以便提供若干优点。本发明提供了具有低轮廓和高的长高比的紧凑型振动式流量计。本发明提供了有利地提供低的最大水驱动频率的紧凑型振动式流量计。本发明提供了有利地提供低的最大驱动频率的紧凑型振动式流量计，该低的最大驱动频率远远小于现有技术中具有相同总体尺寸和轮廓的流量计的驱动频率。

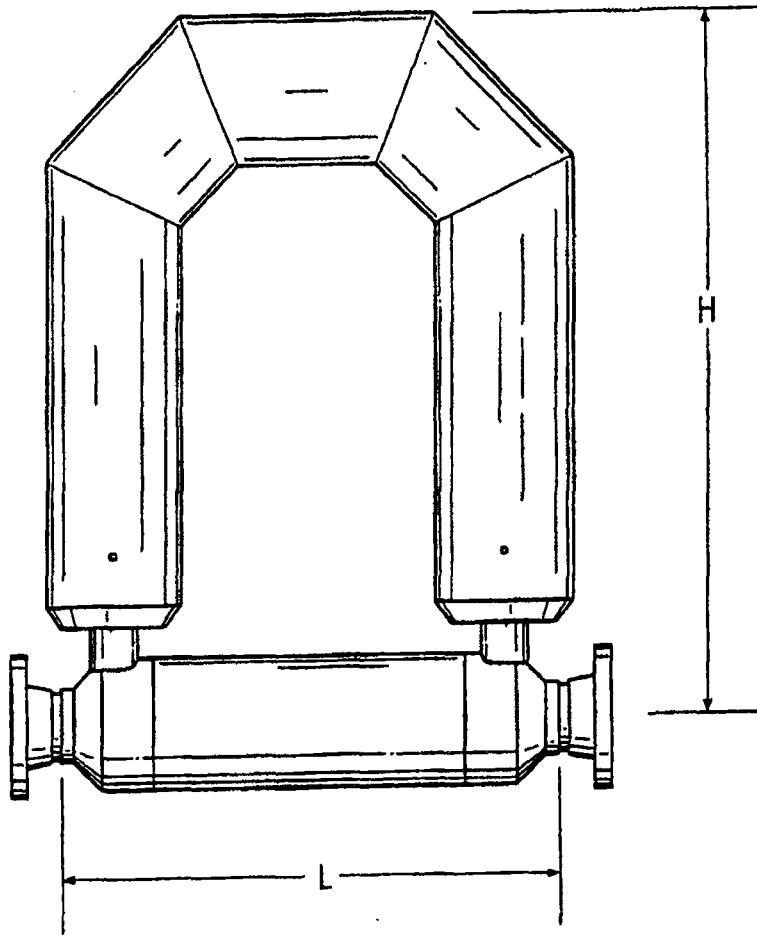


图 1  
现有技术



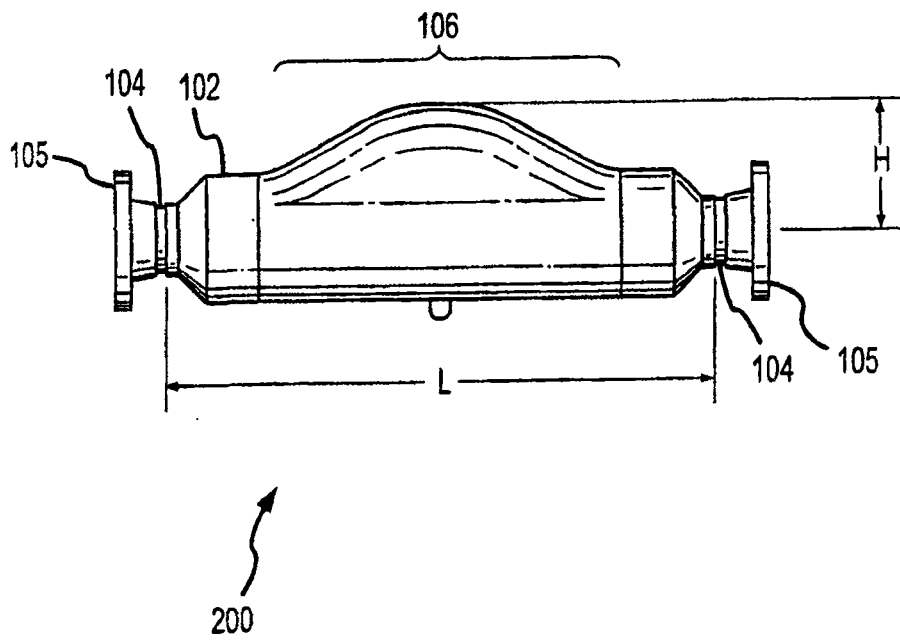


图 2

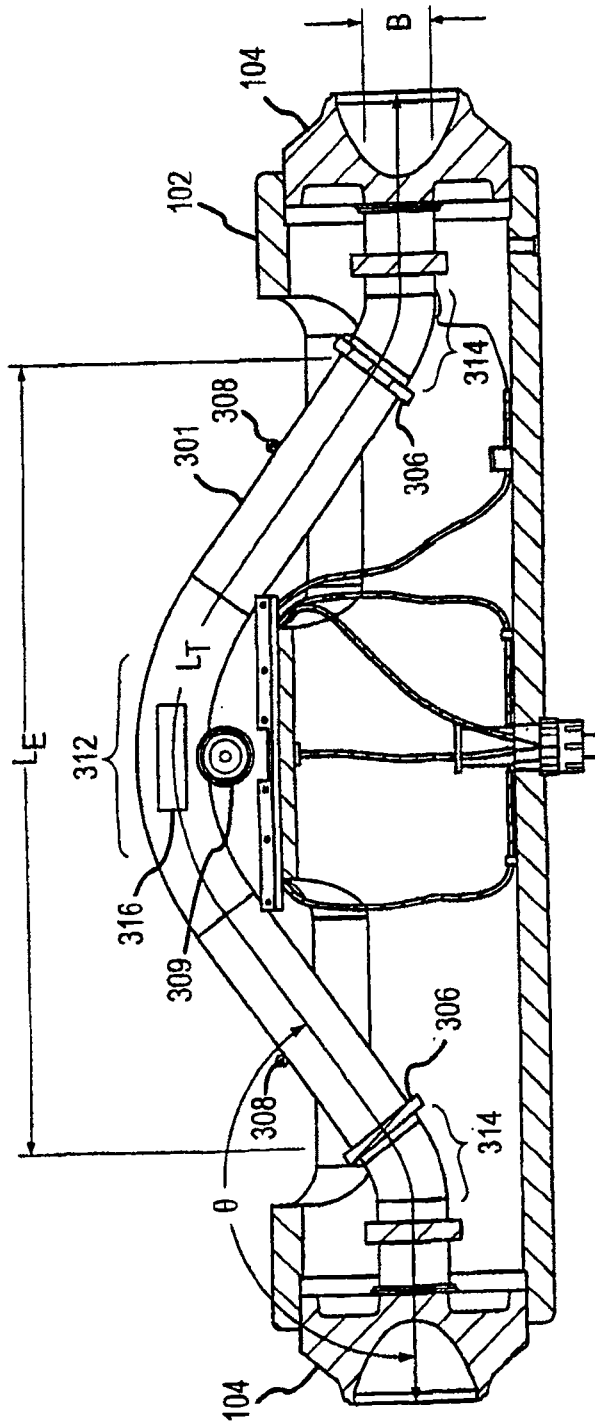
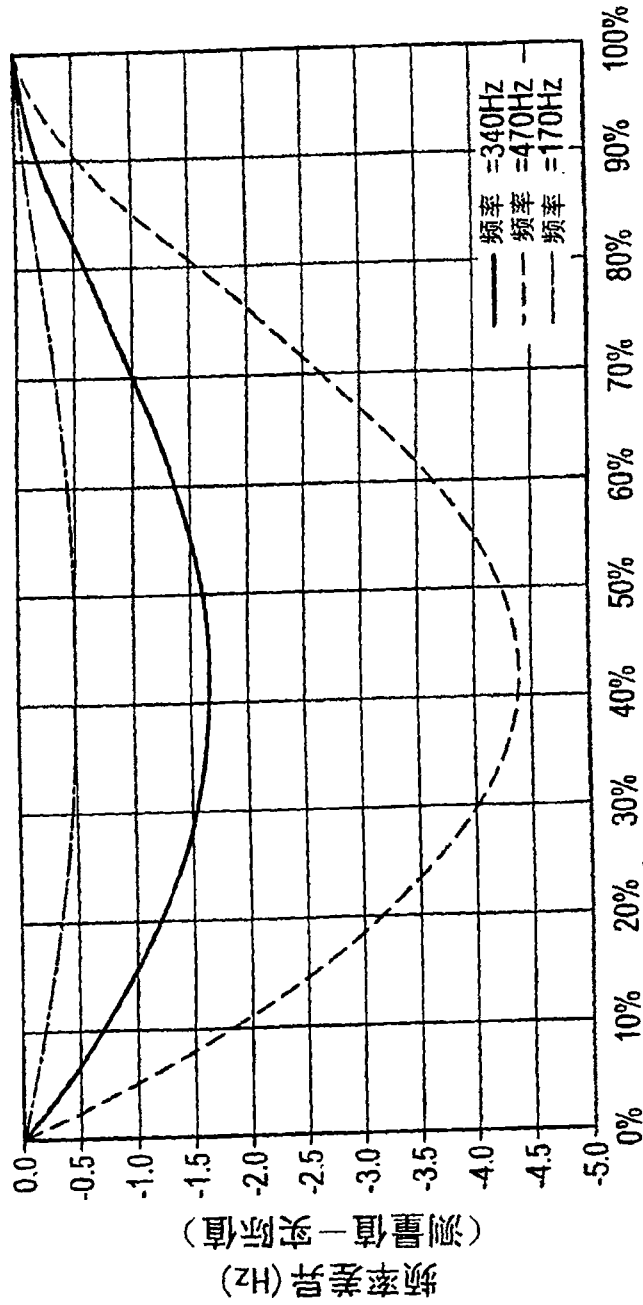


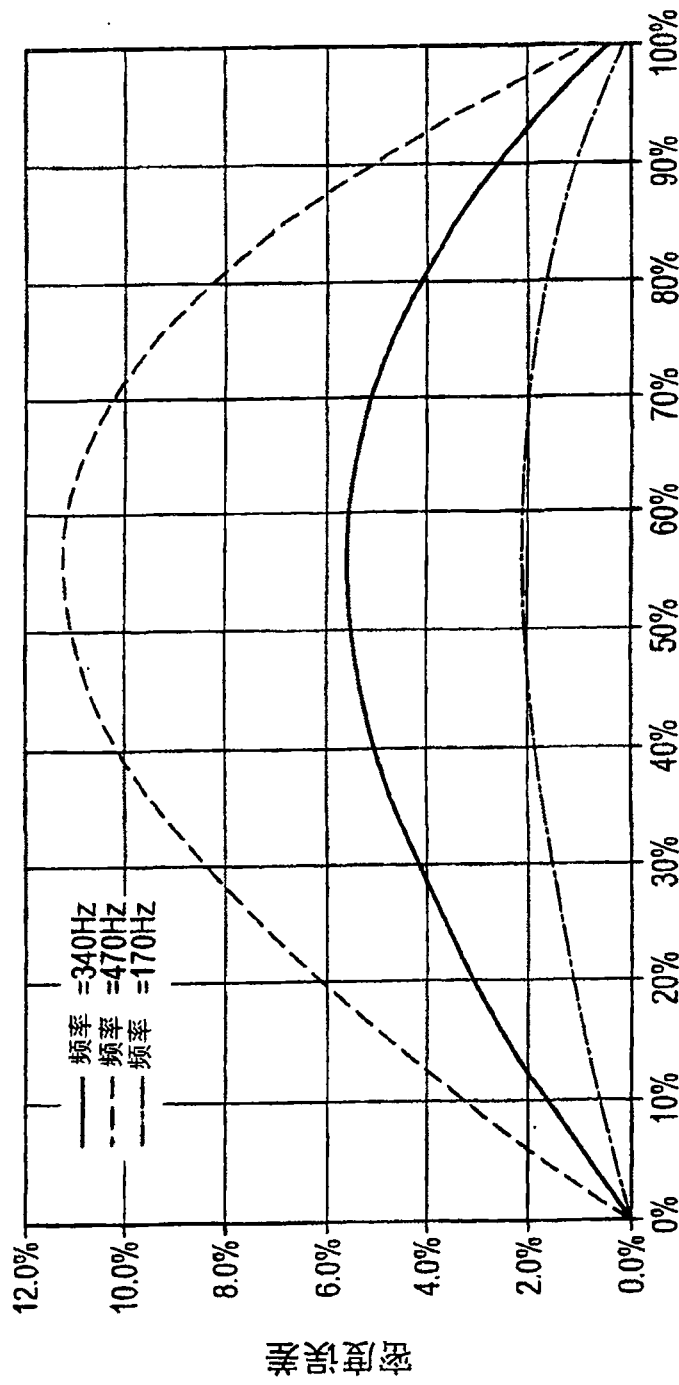
图 3

200



空隙率

图 4



空隙率  
图 5

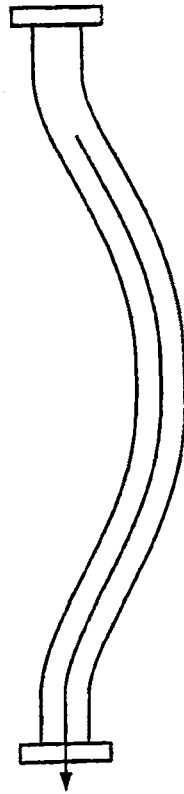


图 6A



图 6B

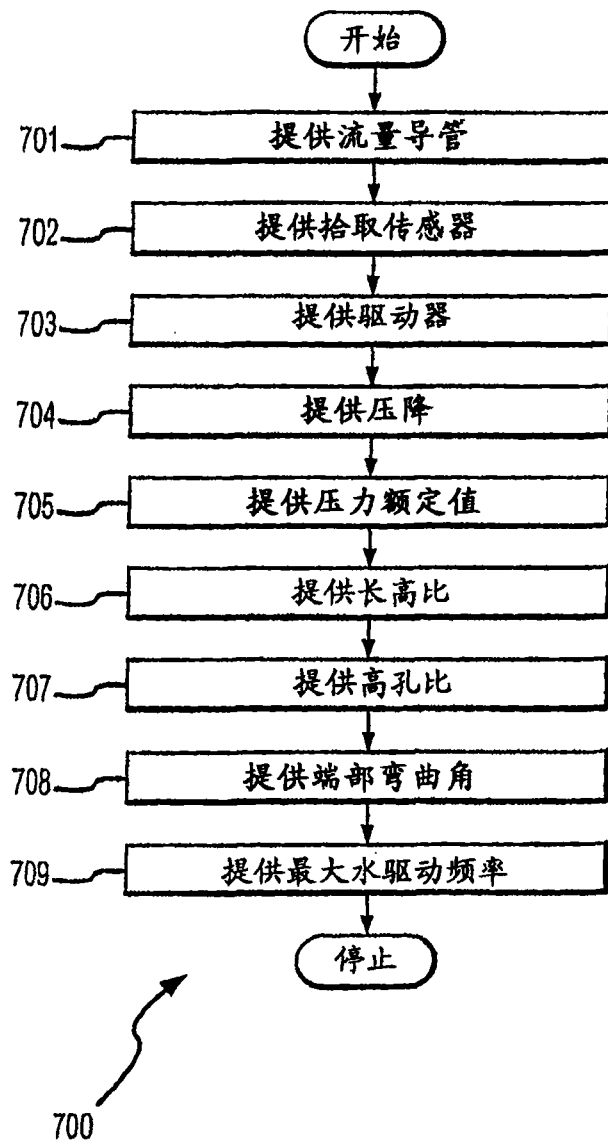


图 7