



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101952691 A

(43) 申请公布日 2011. 01. 19

(21) 申请号 200980106254. 9

唐纳德·R·奥根斯坦

(22) 申请日 2009. 02. 18

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

(30) 优先权数据

有限公司 11112

12/074, 843 2008. 03. 07 US

代理人 顾红霞 何胜勇

(85) PCT申请进入国家阶段日

(51) Int. Cl.

2010. 08. 24

G01F 1/66 (2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/001007 2009. 02. 18

(87) PCT申请的公布数据

W02009/114062 EN 2009. 09. 17

(71) 申请人 卡梅伦国际有限公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 赫伯特·埃斯特拉达

格雷戈尔·J·布朗

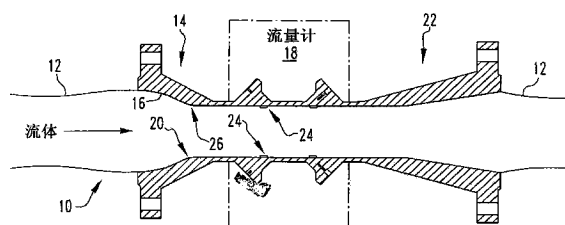
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

用于在层流区、过渡区、湍流区中操作的装置和方法

(57) 摘要

本发明公开一种用于测定管道中的流体流量的装置,所述装置包括与管道相接触的流体喷嘴,该流体喷嘴具有如下的轮廓,该轮廓使流体流经该流体喷嘴时不会沿喷嘴表面产生负压力梯度。所述装置包括时差式超声波流量计,该流量计设置在所述喷嘴的下游并且采用至少一条与管道中的流体相连的声路。本发明公开一种用于测定管道中的流体流量的装置。所述装置包括与管道相接触的流体喷嘴,该流体喷嘴具有由复合立方面限定的轮廓。本发明包括时差式超声波流量计,该流量计设置在喷嘴的下游并且采用至少一条与管道中的流体相连的声路。本发明还公开了一种管道的流体喷嘴。本发明还公开一种用于测定管道中的流体流量的方法。



1. 一种用于测定管道中的流体流量的装置,所述装置包括:
流体喷嘴,其与所述管道流体连通并且具有如下的表面,所述表面的轮廓避免当流体流过所述流体喷嘴时沿着所述流体喷嘴表面在流体中产生负压力梯度,以及
时差式超声波流量计,其设置在所述流体喷嘴的下游并且采用至少一条与所述管道中的流体相连的声路。
2. 一种用于测定管道中的流体流量的装置,所述装置包括:
流体喷嘴,其与所述管道接触并且具有如下轮廓,所述轮廓基本上由复合立方面或复合椭球面所限定;以及
时差式超声波流量计,其设置在所述流体喷嘴的下游并且采用至少一条与所述管道中的流体相连的声路。
3. 如权利要求2所述的装置,其中,所述轮廓基本上由两个旋转椭球体的复合面所限定。
4. 如权利要求3所述的装置,其中,所述两个旋转椭球体由 $\{(X-X_0)^2/a^2+(Y-Y_0)^2/b^2=1\}$ 形式的椭圆经旋转而成, a 和 b 为赤道半径(沿 X 和 Y 轴), X 、 Y 、 X_0 及 Y_0 为与对应的轴线相关的数。
5. 如权利要求4所述的装置,其中,所述流体喷嘴的喉部的直径与位于所述喷嘴上游的所述管道的直径的比值为 0.7 或更小。
6. 如权利要求5所述的装置,其中,所述比值为约 0.67。
7. 如权利要求6所述的装置,包括:
扩散器,所述扩散器在所述流量计的下游与所述管道流体连通。
8. 如权利要求7所述的装置,其中,所述流量计构造为测量所述管道中的雷诺数为 1000 至 5000 的流体。
9. 如权利要求8所述的装置,其中,所述流体喷嘴的长度在所述管道的直径的 1/2 倍至 3 倍之间。
10. 如权利要求9所述的装置,其中,所述流量计具有上游孔,所述上游孔设置在距所述流体喷嘴的下游端的距离介于所述管道的直径的 1/2 倍至 3 倍之间的位置处。
11. 一种管道的流体喷嘴,包括:
内表面,其具有如下轮廓,所述轮廓避免当流体流过所述流体喷嘴时沿所述流体喷嘴内表面在流体中产生负压力梯度;以及
喉部,所述喉部的直径与位于所述喉部上游的所述管道的直径的比值为 0.7 或更小。
12. 一种用于测定管道中的流体流量的方法,所述方法包括以下步骤:
使流体流过与所述管道流体连通的流体喷嘴,所述流体喷嘴的轮廓由复合立方面或复合椭球面所限定;以及
利用时差式超声波流量计测量所述管道中的流体,所述时差式超声波流量计设置在所述流体喷嘴的下游并且采用至少一条与所述管道中的流体相连的声路。
13. 如权利要求12所述的方法,其中,使流体流过所述流体喷嘴的步骤包括使流体流过轮廓为两个旋转椭球体的复合面的所述流体喷嘴的步骤。
14. 如权利要求13所述的方法,其中,使流体流过所述流体喷嘴的步骤包括使流体流过所述流体喷嘴的步骤,所述两个旋转椭球体中的每一个椭球体具有 $\{(X-X_0)^2/a^2+(Y-Y_0)^2/$

$b^2 = 1\}$ 的形式, a 和 b 为赤道半径 (沿 X 和 Y 轴), X_0 、 Y_0 、 X_0 及 Y_0 为与对应的轴线相关的数。

15. 如权利要求 14 所述的方法, 其中, 使流体流过所述流体喷嘴的步骤包括使流体流过如下流体喷嘴的步骤, 所述流体喷嘴的喉部的直径与位于所述喉部上游的所述管道的直径的比值为 0.7 或更小。

16. 如权利要求 15 所述的方法, 其中, 使流体流过所述流体喷嘴的步骤包括使流体流过比值为 0.67 的所述流体喷嘴的步骤。

17. 如权利要求 16 所述的方法, 包括: 使所述流体流过扩散器的步骤, 所述扩散器在所述流量计的下游与所述管道流体连通。

18. 如权利要求 17 所述的方法, 其中, 使流体流过所述流体喷嘴的步骤包括使雷诺数在 1000 至 5000 之间的所述流体流过所述流体喷嘴的步骤。

用于在层流区、过渡区、湍流区中操作的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于测定管道内的流体流量的装置（在本文中，术语“本发明”或“发明”涉及示例性实施例，但不必涉及所附权利要求书所涵盖的每个实施例）。举例而言，本发明提供如下一种流体喷嘴，该流体喷嘴与管道进行流体连通，并且喷嘴的轮廓选择为能够在组织流速廓线的同时避免流体分离。具体地说，本发明涉及一种用于测定管道内的流体流量的测量装置。该示例性的测量装置包括喷嘴，该喷嘴的内表面的轮廓由复合旋转立方体 (compound cubic body of revolution) 限定，或可选择地由两个旋转椭球体的复合面 (compound of two ellipsoidal bodies of revolution) 所限定，并且该测量装置具有时差式超声波流量计。

背景技术

[0002] 这部分意图向读者介绍本领域可能与本发明的各方面相关的各方面。下述讨论意在提供有助于更好地理解本发明的信息。相应地，应当理解到，应考虑到上述目的来阅读以下论述，并不应将该论述作为对背景技术的认可。

[0003] 石油工业通常采用例如，涡轮式流量计和超声波流量计来测量流量和其它流体特性。这些流量计的精确度通常依赖于流量计所在处的轴向流体流速廓线的连续性和稳定性。例如，空间不连续的廓线或随时间变化很大的廓线将导致这些流量计的校准出现不可预测的从而是不可接受的变化。

[0004] 与如管道等完全封闭的导管中的流动流体相关联的轴向流速廓线取决于作用在流体上的力的相对大小，该力通常可以归类为惯性力或者摩擦力。惯性力倾向于使流体质点以恒定流速朝着恒定方向移动，而相邻流体流之间的以流体粘度为特征的摩擦力倾向于使流体减速。在某些情况下，流体粘度可以使管道壁处的流体的流量降至零。在流体动力学中，经常用惯性力与粘性力的比值来表征流速廓线，该比值被称为雷诺数并且是无量纲的。

[0005] 在许多工业应用中，惯性力占优势。在该情况下，雷诺数超过 5000 并且该流体流动被表征为“湍流”。平行流体流的动量借助于小的随机涡流而进行自由交换；并且在该廓线在空间和时间上仅以较小的程度发生改变的情况下，平均而言，廓线是变化缓慢的、稳定的并且可以由涡轮式流量计和超声波流量计容易地且精确地进行测量。然而，近年来，一些应用需要测量特重质石油的流量，特重质石油的雷诺数在 500 至 5000 的范围内且在测定廓线的特性时粘性力起到重要的作用。当雷诺数小于约 1000 时，流体状态被表征为“层流”；在长且直的管道中，流速廓线接近抛物线形状，但在任何情况下，流速廓线都非常稳定且没有涡流。在这种状态下，温度梯度可能造成测量问题，但是对于恒温产品，用超声波仪器进行流量测量不会出现不可克服的问题。然而，因为涡轮自身与流动流体相互作用，所以在这种状态下使用涡轮式流量计会造成更多问题。

[0006] 当雷诺数大于 1000 但小于 5000 时，该流体状态被表征为“过渡状态”。在该范围内，流动可能会倾向于层流，但是流速、管道壁的形貌、或者测量仪器自身的物理构造中的小扰动可能会触发大的漩涡，并伴随有轴向流速廓线的突然并且显著的变化。参考文献描

述了过渡流类似于散布有湍动的“胀泡 (puff)”和“弹状流 (slug)”的层流,该过渡流的存在及频率取决于雷诺数和管道的其它特征(几何结构、震动等)。胀泡或弹状流之前的时间平均流速廓线基本上与层流廓线相同,而在胀泡或弹状流的中间,时间平均流速廓线基本上与湍流廓线相同。在胀泡或弹状流的前缘或尾缘处,廓线从一种形状转变为另一种形状,并且该转变伴随有大涡流的产生。

[0007] 在过渡区域,涡轮式流量计和超声波流量计均不能令人满意地进行操作,它们难以进行校准,并且校准的变化太大以至于不能用于要求精确度的石油应用中,例如密闭输送及产品分配等。目前,唯一适用于过渡区域的仪器为容积式流量计,但容积式流量计价格昂贵并需要频繁的维护。本发明提供如下一种技术,其中超声波流量计可以制造为能在过渡区域中稳定且可靠地进行操作,并且不会牺牲该超声波流量计在下方的层流状态或上方的湍流状态中的性能。

[0008] 就本发明人所知,不存在如下在先申请:即用于实现使用超声波流量计测量过渡状态(区域, regime)中的流速廓线的特定目的。用压差仪测量质量流量的现有技术喷嘴——例如所谓的 ASME 喷嘴——具有非流线形入口并通常以单个椭球面为特征,而不使用本发明所描述的复合立方面或复合椭球面。图 5 示出典型的传统流体喷嘴的轮廓。

发明内容

[0009] 本发明涉及一种利用与时差式超声波流量计结合的流体喷嘴 (fluid nozzle) 来测定管道内的流体流量的方法和装置。所述流体喷嘴具有呈期望轮廓的内表面,以使流体从管道转移到流量计中,以便流量计分析流体流量。

附图说明

[0010] 在附图中示出本发明的优选实施例以及实施本发明的优选方法,其中:

[0011] 图 1 是本发明的装置的示意剖视图;

[0012] 图 2 是渐缩式喷嘴的复合椭球面轮廓;

[0013] 图 3 是在雷诺数 100000 以内的层流状态、过渡状态和湍流状态中全通径式流量计的线性度的曲线图;

[0014] 图 4 是在雷诺数 100000 以内的层流状态、过渡状态和湍流状态中根据本发明的缩孔式 (6×4) 流量计的线性度的曲线图;以及

[0015] 图 5 是现有技术中借助于压差进行流量测量的典型流体喷嘴的轮廓。

具体实施方式

[0016] 下面参考附图,其中,在各个附图中用相似的附图标记表示相似或相同的部件。更具体地参考图 1,图 1 示出用于测定管道 12 中的流体流量的装置 10。装置 10 包括与管道 12 进行流体连通的流体喷嘴 14。该喷嘴 14 的表面 16 轮廓构成为可避免因流体流动而产生的负压力梯度。该装置 10 包括时差式超声波流量计 18,该时差式超声波流量计 18 采用至少一条与管道 12 中的流体相连的声路并且设置在喷嘴 14 的下游。换句话说,装置 10 设置有用于测量管道内的流体的流动特性的缩孔式超声波流量计。

[0017] 流体喷嘴 14 通常包括具有凹形轮廓部分和凸形轮廓部分的环形内表面。该凹形

部分或凸形部分或它们的任意组合可以呈例如椭球形、或立方形、或正弦形。该凹形轮廓部分和凸形轮廓部分可以为椭球形、立方形或正弦形。

[0018] 为避免负压力梯度,喷嘴 14 的表面 16 可示例性地构成为复合椭球面。例如,该表面轮廓可描述为两个旋转椭球体的复合面。这两个旋转椭球体由 $\{(X-X_0)^2/a^2+(Y-Y_0)^2/b^2=1\}$ 形式的椭圆经旋转而成,其中, a 和 b 为赤道半径 (equatorial radii) (沿 X 和 Y 轴), 并且 X 、 Y 、 X_0 及 Y_0 为与对应的轴线相关的数,后文将进行详细说明。

[0019] 在一个实施例中,喷嘴 14 的喉部 20 的直径与位于喷嘴 14 上游的管道 12 的直径的比值为 0.7 或更小。具体地说,该比值可以为约 0.67。喷嘴 14 的长度可以介于管道 12 的直径的 1/2 倍至 3 倍之间。流量计 18 的上游孔 24 可以设置在距喷嘴 14 的下游端 26 介于管道直径的 1/2 倍至 3 倍之间的距离处。

[0020] 装置 10 可以包括在流量计 18 的下游位置与管道 12 流体连通的扩散器 22。该流量计 18 可以测量管道 12 中的雷诺数为 1000 至 5000 的流体。

[0021] 本发明涉及管道 12 的流体喷嘴 14。喷嘴 14 包括内表面 16,该内表面 16 的轮廓可以避免在流体流过喷嘴 14 时沿着内表面 16 在流体中产生负压力梯度。喷嘴 14 包括喉部 20,其中,喉部 20 的直径与喉部 20 上游的管道 12 的直径的比值为 0.7 或更小。

[0022] 本发明涉及一种用于测定管道 12 内的流体流量的方法。该方法包括使流体流过流体喷嘴 14 的步骤,该流体喷嘴 14 具有由复合立方面或复合椭球面限定的轮廓并与管道 12 相接触。存在用时差式超声波流量计 18 测量管道 12 内的流体的步骤,该时差式超声波流量计 18 设置在喷嘴 14 的下游并且采用至少一条与管道 12 中的流体相连的声路。

[0023] 上述使流体流过流体喷嘴 14 的步骤可以包括使流体流过轮廓为两个旋转椭球体的复合面的流体喷嘴 14 的步骤。使流体流过流体喷嘴 14 的步骤可以包括使流体流过两个旋转椭球体均具有 $\{(X-X_0)^2/a^2+(Y-Y_0)^2/b^2=1\}$ 形式的流体喷嘴 14 的步骤。使流体流过流体喷嘴 14 的步骤包括使流体流过如下流体喷嘴 14 的步骤,该流体喷嘴 14 的喉部 20 的直径与位于流体喷嘴 14 上游的管道 12 的直径的比值为 0.7 或更小。使流体流过流体喷嘴 14 的步骤包括使流体流过上述比值为约 0.67 的流体喷嘴 14 的步骤。使流体流过流体喷嘴 14 的步骤可以包括使雷诺数在 1000 至 5000 之间的流体流经喷嘴 14 的步骤。可以存在使流体流过在流量计 18 的下游与管道 12 相接触的扩散器 22 的步骤。

[0024] 在本发明的操作中,装置 10 利用由具有特定特性的渐缩式喷嘴 14 所产生的惯性力来控制流场,否则流场可能变混乱。该混乱在流体处于粘性力和惯性力均不占优势的过渡区域时发生,在过渡区域中,粘性力控制低速、高粘度下的流速廓线,惯性力控制高速、低粘度下的流速廓线。过渡区域中的流速廓线的稳定性对于使用时差式超声波流量计 18 在过渡区域中进行令人满意的操作而言是重要的。该稳定性保证了能精确且可重复地进行超声波流量计 18 的校准 (流量计校正系数),因此使超声波流量计能够在流场特性迄今为止始终不能得到精确测量的场合中进行精确的流量测量。

[0025] 装置 10 包括渐缩式喷嘴 14 和采用了一条或多条声路的时差式超声波流量计 18。该流量计 18 利用超声波能量脉冲顺着与逆着流体流动方向传播的时间差来计算流速。通过测量流速来确定体积流量。在本发明的剖视图图 1 中,流量计 18 采用了八条弦向布置的声路,该流量计 18 允许四组独立的轴向流速测量进行数值积分,而不会产生来自横向流速分量的误差,从而与例如单声路的情况相比,有助于提高体积流量的测量精确度。然而,如

上所述,本发明可以应用于采用少至一条声路的时差式超声波流量计。该构造采用 beta 比为 0.63 的渐缩式喷嘴、以及用于恢复压力损失的锥形扩散器。(beta 比为喷嘴 14 在出口处的直径与在入口处的直径的比值。)

[0026] 图 2 示出用于本发明的流体喷嘴 14 的轮廓的剖面。该轮廓为均具有 $\{(X-X_0)^2/a^2 + (Y-Y_0)^2/b^2 = 1\}$ 形式的两个椭球体的复合面,其中, a 和 b 为赤道半径(沿 X 和 Y 轴), X、Y、X₀ 及 Y₀ 为与对应的轴线相关的数。流体从左侧流入。表面 16 的椭球面轮廓可以避免沿表面 16 在流体中产生负压力梯度。避免负梯度是有利的,这是因为这样可以防止产生边界层分离,继而防止产生湍流。在图 2 中,喷嘴 14 在出口处的直径与在入口处的直径的比值(所谓的 beta 比或 β 比)为 0.67。该比值使得喉部 20 中的平均轴向流速等于管道 12 中的平均轴向流速的 $(1/\beta^2)$ 倍或约 2.2 倍。作用于喉部 20 中的流体的惯性力与轴向流速的平方相关,因此,该惯性力是管道 12 内的惯性力的大约 5 倍。(由于内径减小,粘性力也有所增加;但在喷嘴 14 的喉部 20 中,惯性力与粘性力的总比值大约增加了 1.5。)

[0027] 喷嘴 14 的 β 比的选择受到两个对抗因素控制:

[0028] • 用于测量上游龙头与喉部 20 龙头之间的压力差并测量质量流量的流体喷嘴 14 的经验表明:更小的 β 比产生更高的可重复性(见例如 ASME 出版物“Fluid Meters(流体计量器)”中的例子)。 β 比大于 0.75 的喷嘴 14 的校准有时候缺乏可重复性。

[0029] • 超声波流量计 18 的可实施性及成本效率随着半径的减小而减小。很少提供并销售直径小于 4 英寸的这种流量计 18。因此,运输重油的 6 英寸管线的最低可用 β 比为大约 0.67。

[0030] 无论流体为层流、过渡流还是湍流,缩孔式流量计 18 中的喷嘴 14 不仅提高了流速,而且还将轴向流速廓线平坦化。流速廓线的平坦化意味着湍流和层流廓线更为相似,并且因此减少了过渡区域中的流速廓线的变化。此外,可以实现轴向流速的增加而不必使涡流流速随之增加,且因此可以降低涡流的影响。流速廓线的平坦化是利用相对突然的收缩而获得的益处——极大的收缩量估计会增加流速/惯性力,而不会显著地使流速廓线平坦化。

[0031] 图 3 和图 4 提供了由本发明的超声波流量计 18 所带来的对线性度和可重复性的改进的实验性证据。图 3 绘出了用于常规的 6 英寸四路超声波流量计 18(其中管道 12 的内径在整个流量计 18 中为常数而没有采用直径渐缩式喷嘴)的校准数据与管道内的流体雷诺数的关系。如图所示,为使雷诺数跨越层流至整个湍流的范围——1000 至 100000——在校准过程中需要两种不同粘性的流体。较低雷诺数状态被运动粘度约为 220 厘沱的流体覆盖,较高雷诺数状态被运动粘度约为 20 厘沱的流体覆盖。从图 3 中可以看出,在过渡区域(典型地位于 2000 至 5000 的雷诺数范围中——取决于例如管道 12 的光滑度和流动的稳定性等装置特性,过渡流也可能在低至 1500 或高至 7000 的雷诺数处产生)以上,流量计 18 校正系数数据紧密聚集并容易与雷诺数相关联。但在该过渡区域以下,该校正系数数据跨越几乎 1% 的区域,而与雷诺数或任意其它变量无明显的关联。这一特征使得 6 英寸通径式流量计 18 不适用于雷诺数低于 5000 的过渡区域的密闭输送操作。

[0032] 图 4 示出本发明的优点。与图 3 相似,图 4 中绘出了 6 英寸管线中流量计 18 校正系数与该管线中的流体的雷诺数的对应关系,但该数据是从与图 1 相似的流量计 18 得到的:如图 1 所示,4 英寸四路流量计 18 设置在喷嘴 14 的下游,该喷嘴 14 为 6 英寸乘 4 英寸

的渐缩式喷嘴,且该喷嘴 14 的轮廓与图 2 中的轮廓一致并具有位于下游的头部恢复膨胀锥。在雷诺数大于 5000 的湍流区域中,图 4 的缩孔式流量计 18 的校准数据与图 3 的通路式流量计 18 的校准数据相似,图 4 的流量计 18 校正系数是随着雷诺数的增大而逐步增大的。可以通过向基于雷诺数的原始流量计 18 校正系数应用增量校准容易地将两种流量计 18 的校准线性化——流量计 18 校正系数在宽的雷诺数范围内保持恒定。可以通过用流量计 18 测量产品的声速与温度,或借助其它手段来测定雷诺数。

[0033] 然而,在过渡区域——雷诺数低于 5000 并且高于 1000——图 3 和图 4 中的流量计 18 特征具有显著差异。如上所述,图 3 的通路式流量计 18 的校准数据是混乱且无关联的;该流量计 18 在过渡区域内的校准对该区域中的密闭输送或其它高价值的应用来说过于不确定。另一方面,图 4 的缩孔式流量计 18 的校准数据,在 1000–5000 的雷诺数范围内紧密聚集并且几乎是恒定的。流量计 18 在该区域内的校准是容易表征的;流量计 18 校正系数为 $0.9770 \pm 0.15\%$,其性能是相当恒定的从而能应用于过渡区域中的密闭输送及其它高价值的应用。图 1 是缩孔式流量计 18 的剖视图。该构造采用了 beta 比为 0.63 的渐缩式喷嘴 14、以及用于利用 8 路弦向流量计 18 恢复压力损失的锥形扩散器 22。图 2 是渐缩式喷嘴 14 的复合椭球面轮廓。对于该喷嘴 14,采用了 0.67 的 beta 比。流体从左侧流入。

[0034] 尽管出于说明目的在上述实施例中对本发明进行了详细描述,然而应当理解的是,这些详细描述仅是为了上述说明目的,并且除了权利要求书限定的内容之外,本领域技术人员可以在不脱离本发明的精神和范围的情况下做出各种修改。

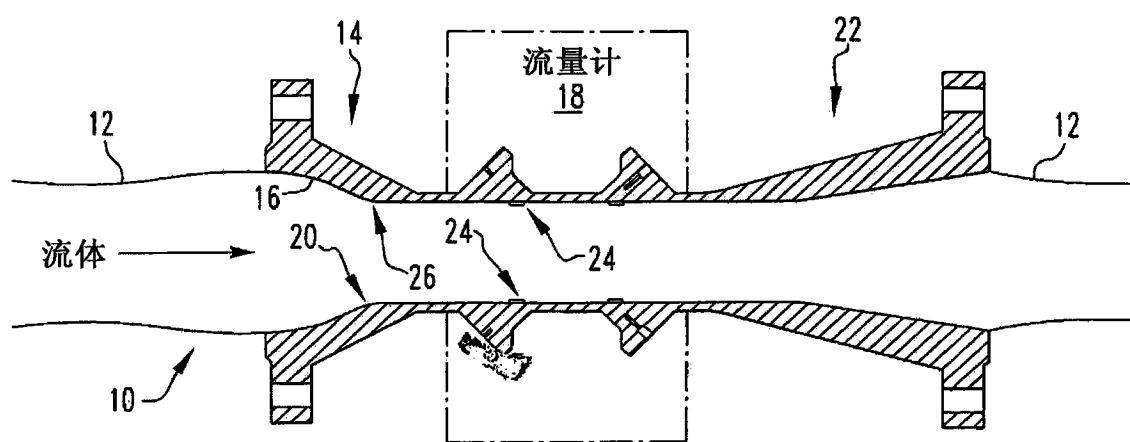


图 1

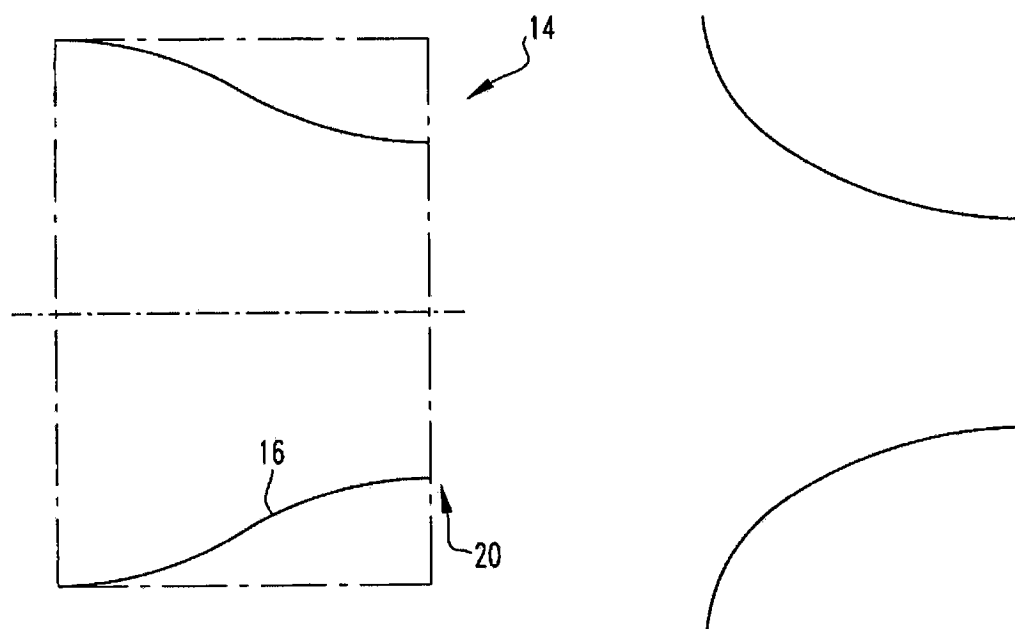


图 2

图 5(现有技术)

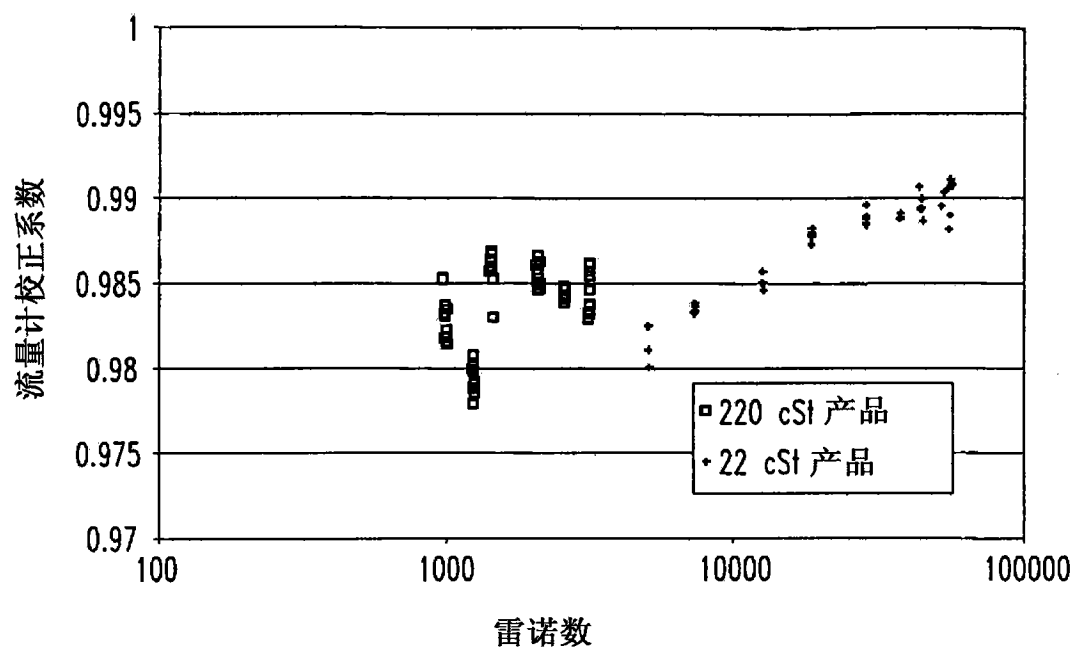


图 3

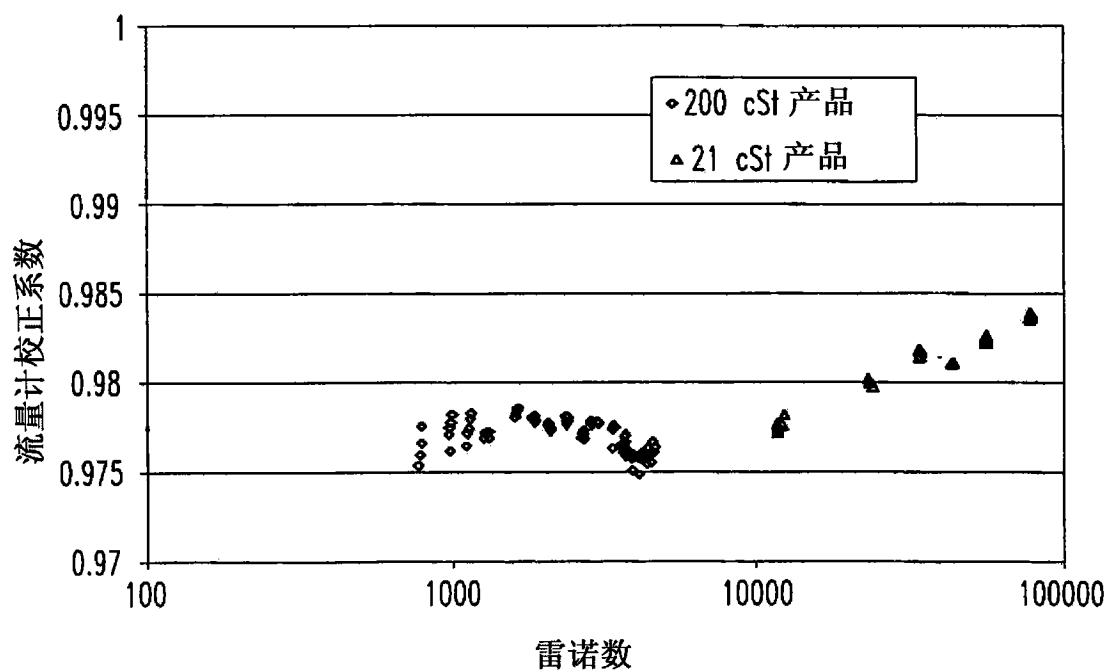


图 4