



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105928578 B

(45)授权公告日 2020.05.05

(21)申请号 201610308749.1

(22)申请日 2016.02.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105928578 A

(43)申请公布日 2016.09.07

(30)优先权数据
14/634,521 2015.02.27 US

(73)专利权人 施耐德电子系统美国股份有限公司
地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 M·P·亨利 R·P·卡西米罗
M·S·图姆斯 A·A·普罗布斯特

(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 11038
代理人 顾玉莲

(51)Int.Cl.
G01F 1/84(2006.01)
G01F 15/02(2006.01)

(56)对比文件
CN 103597325 A,2014.02.19,
EP 0484876 A1,1992.05.13,
CN 103210220 A,2013.07.17,
CN 1946990 A,2007.04.11,
CN 102405398 A,2012.04.04,
US 8126661 B2,2012.02.28,
鲍荣等.泡沫油模型综述.《天然气与石油》
.2012,第52-56页.

审查员 刘盛

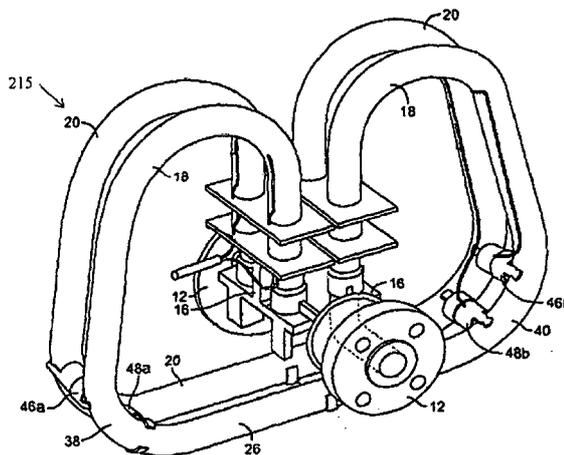
权利要求书2页 说明书21页 附图17页

(54)发明名称

用于负责说明溶解气体的多相流计量的系统和方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于负责说明溶解气体的多相流计量的系统和方法。一种用于计量流体流动的系统,包括用于接收多相流体的可振动的流管.驱动器配置成用于使流管振动.一对传感器定位成用于检测流管上不同位置处的流管的运动.压力传感器和温度传感器定位成用于测量流体的压力.一个或多个处理器配置以利用传感器信号间的相位差来确定通过流管的流体流率.所述一个或多个处理器进一步配置以利用多相流体中的压力、温度和多种液体的相对量来确定多相流体中的溶解气体量。



1. 一种用于计量流体流的系统,该系统包括:
 - 可振动的流管,用于接收多相流体流;
 - 驱动器,配置成用于振动所述流管;
 - 一对传感器,定位成用于检测在流管上不同位置处的流管的运动,并且输出指示所检测的运动的传感器信号;
 - 压力传感器,定位成用于测量多相流体的压力;
 - 温度传感器,定位成用于测量多相流体的温度;和
 - 一个或多个处理器,配置成用于接收来自于用于检测流管的运动的所述一对传感器的传感器信号,确定来自于用于检测流管的运动的所述一对传感器的传感器信号之间的相位差,并且使用所确定的相位差来确定通过流管的流体流率,其中所述一个或多个处理器进一步配置成用于:
 - 接收来自压力传感器的指示流管中多相流体压力的信号;
 - 接收来自温度传感器的指示流管中多相流体温度的信号;
 - 接收来自计量仪的指示多相流体中多种不同液体的相对量的信号;以及
 - 利用多相流体中的压力、温度和多种不同液体的相对量来确定多相流体中的溶解气体量,
- 其中所述一个或多个处理器配置成通过利用多个输入和与流体流率相关的至少一个输出之间的映射来确定流体流率,其中所述输入包括原始质量流体流率、流体压力、流体温度以及多相流体中多种不同液体的相对量,并且其中所述一个或多个处理器配置成根据气体溶解性模型来确定所述溶解气体量。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中气体溶解性模型包括可调的调整因子。
3. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述一个或多个处理器配置成用于确定多相流体中的自由气体量。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中所述一个或多个处理器配置成利用所确定的溶解气体量和自由气体量来确定多相流体中的总气体量。
5. 根据权利要求1或2所述的系统,还包括流调节器,所述流调节器定位并构造成在多相流体进入流管之前对多相流体进行混合。
6. 根据权利要求5所述的系统,其中所述流调节器包括多个突伸部,所述突伸部从定位成用于将多相流体传送到流管的管道的壁向内突出。
7. 根据权利要求1所述的系统,还包括位于流管上游的导管,该位于流管上游的导管连接到流管以便将多相流体传送到流管,并且配置成具有两个大致竖直的部段和位于所述两个大致竖直的部段之间的一大致水平的部段。
8. 根据权利要求7所述的系统,其中所述两个大致竖直的部段中的一个位于所述大致水平的部段和流管之间,其中流管比所述大致水平的部段的高度低。
9. 根据权利要求7或8所述的系统,其中所述大致水平的部段在每个所述大致竖直的部段的上端连接至所述大致竖直的部段。
10. 根据权利要求1或2所述的系统,还包括位于流管上游的分离器,用于将多相流体中的至少一些自由气体从液相分离,分离器具有气体输出部和液体输出部,其中液体输出部被从分离器导向流管,并且气体输出部从流管转向,从而在多相流体流动通过流管之前减

少其中的自由气体量。

11. 根据权利要求1或2所述的系统,其中所述多种不同液体包括水和油,并且其中所述计量仪包括含水量仪。

12. 一种用于计量流体流的系统,所述系统包括:

可振动的流管,用于接收包括多种不同液体和气体的多相流体;

驱动器,配置成用于使流管振动;

一对运动传感器,定位成用于检测在流管上不同位置处的流管的运动,并且输出指示所检测的运动的运动传感器信号;

压力传感器,定位成用于测量多相流体的压力;

温度传感器,定位成用于测量多相流体的温度;和

一个或多个处理器,配置成用于:

接收来自压力传感器的指示流管中多相流体压力的信号;

接收来自温度传感器的指示流管中多相流体温度的信号;

接收来自计量仪的指示多相流体中所述多种不同液体的相对量的信号;并且

通过利用多个输入和所述多种不同液体的流体流率之间的映射来确定所述多种不同液体中每一种的流体流率,所述输入包括所述运动传感器信号之间的相位差、所述运动传感器信号中的至少一个的频率、来自温度传感器的信号、来自压力传感器的信号、以及来自所述计量仪的指示所述多种不同液体的相对量的信号,其中所述映射负责说明气体在所述多种不同液体中的溶解性,并且其中所述映射部分地基于气体溶解性模型。

13. 根据权利要求12所述的系统,其中所述映射包括神经网络。

14. 根据权利要求12或13所述的系统,其中所述一个或多个处理器配置成利用多相流体中的流体压力、流体温度、以及多种不同液体的相对量来确定多相流体中的溶解气体量。

用于负责说明溶解气体的多相计量的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明通常涉及一种计量仪,更具体地涉及一种适用于测量多相流体的科里奥利计量仪(Coriolis flowmeter)。

背景技术

[0002] 各种不同的计量仪在工业中用于提供关于多相流体的流率的信息。计量的流体可包括液体和气体的混合物。这种情况在油气工业中通常会遇到,其中所产生的流体通常为油、水和气的混合物。然而,在其他工业同样也会遇到需要计量多相流体的情况。

[0003] 一种类型的计量仪为科里奥利计量仪。科里奥利计量仪包括电子发送器和可振动的流管,待测流体可以在流管中流过。发送器通过向一个或多个驱动器发送驱动信号维持流管振动,并且基于来自一对用于测量流管运动的传感器的信号测量计算。设备的物理特性指示科里奥利力沿着传感器之间的流管段作用,从而引起大致为正弦传感器信号之间的相位差。该相位差大致与通过流管测量段流动的流体质量流率成比例。因此,相位差提供了通过流管流动的流体质量流量(mass flow)测量值的基础。科里奥利计的流管振荡的频率随着流管中过程流体的密度而变化。频率值可以从传感器信号中提取(例如通过计算连续过零值之间的时间延迟),从而流体密度还可以通过分析传感器信号获得。

[0004] 科里奥利计在各种不同的工业中广泛使用。直接测量质量流量在频率方面优于基于体积的测量,因为其中材料的密度和/或体积会随着温度和/或压力而变化,而质量不受影响。这在油气工业中特别重要,其中能量含量以及由此的产量值是质量的函数。术语“净油”用于油气工业中用以描述三相或液流(油/水)内的油的流率。油气工业中常见的目标是确定多个油井中每个油井生产的净油,因为该信息当做出影响油气田生产量的决定时和/或优化油气田产量的决定时非常重要。

[0005] 在液流中包含气体会在科里奥利计的质量流量和密度测量值中引入误差。实验室实验可以用于表征(characterize)质量流率和密度误差是如何与其他参数相关联的,例如所观测的流率以及所观测的与纯净流体相比密度的降低。这些实验可以用于开发一种以经验为依据的模型,该模型提供了对于包含气相和液相的多相流相关的某些误差的修正。这些基于经验的修正会导致现场操作的科里奥利计性能改善。关于使用科里奥利计计量多相流体的其他细节在美国专利US6,311,136;US6,505,519;US6,950,760;US7,059,199;US7,313,488;US7,617,055以及US8,892,371中提供,其内容在此全部引入作为参考。

[0006] 本发明人做出了多种适用于科里奥利计领域和净油气测量领域的改进,如下将进行详细说明。

发明内容

[0007] 本发明的一个方面为一种测量流体流的系统。该系统具有可振动的流管,用于接收多相流体流。驱动器配置成用以使流管振动。一对传感器定位成用以检测流管上不同位置处的流管的运动并且输出指示所检测的运动的传感器信号。压力传感器定位成用以测量

多相流体的压力。温度传感器定位成用以测量流体的温度。一个或多个处理器配置成用以接收传感器信号,确定传感器信号之间的相位差,并且使用所确定的相位差来确定通过流管的流体流率。所述一个或多个处理器进一步配置成用以接收压力传感器中指示流管中多相流体压力的信号,接收来自温度传感器指示流管中多相流体温度的信号,接收来自计量仪指示多相流体中多种不同液体相对量的信号;并且利用多相流体中的压力、温度和多种液体的相对量来确定多相流体中的溶解气体量。

[0008] 本发明的另一个方面是一种计量流体流的系统。该系统具有可振动的流管,用于接收包括多种液体和气体的多相流体。驱动器配置成用以使流管振动。一对运动传感器定位成检测在流管上不同位置的流管运动,并且输出指示所检测运动的传感器信号。压力传感器定位成用以测量多相流体的压力。温度传感器定位成用以测量流体的温度。该系统具有一个或多个处理器,配置成用于接收压力传感器中指示流管中多相流体压力的信号,接收温度传感器中指示流管中多相流体温度的信号,接收计量仪中指示多相流体中多种不同液体相对量的信号,并且使用多个输入和不同液体的流体流动速率之间的映射(mapping)确定多种不同液体中每一种的流体流动速率。输入包括:运动传感器信号之间的相位差、运动传感器信号中的至少一个的频率、来自温度传感器的信号、来自压力传感器的信号、以及来自计量仪指示多种不同液体相对量的信号。所述映射负责说明(account for)气体在多种不同液体中的溶解性。

[0009] 本发明的另一方面是净油气橇块(net oil and gas skid),其用于表征来自一个或多个油井的输出。净油气橇块包括可振动的流管,流管用于接收来自一个或多个油井的多相流体。驱动器配置成用以使流管振动。一对传感器定位成检测在流管上不同位置的流管的运动,并且输出指示所检测运动的传感器信号。温度传感器定位成用以测量多相流体的温度。压力传感器定位成用以测量多相流体的压力。净油气橇块包括含水量仪,含水量仪适于测量多相流体中油和水的相对量。一个或多个处理器配置成用于接收传感器信号,确定传感器信号之间的相位差,并且使用所确定的相位差来确定通过流管的流体流率。所述一个或多个处理器进一步配置成用于接收来自含水量仪指示多相流体中油和水相对量的信号,使用传感器信号确定流管中多相流体的密度,并且使用多相流体的温度和压力确定多相流体中溶解气体的量。

[0010] 本发明的另一个方面是一种计量多相流体流的方法。该方法包括当多相流体流动通过流管时使流管振动。一对传感器用于检测在流管上的不同位置处流管的运动。基于来自传感器的信号之间的相位差确定流率。测量多相流体的温度和压力。测量多相流中多种不同液体的相对量。使用流体的温度和压力确定多相流体中的溶解气体的量。

[0011] 本发明的另一方面是一种确定质量流率以及密度误差修正以补偿与通过科里奥利计的多相流体流相关的误差的方法。该方法包括:(i)使多相流体流动通过科里奥利计;ii)使用参考计量仪测量多相流体中的液体量和总的气体量;并且(iii)记录科里奥利计对多相流体的响应。通过改变多相流体中气体和液体的相对比例而改变多相流体的组分,并且重复步骤(i)-(iii)以产生表征科里奥利计对多相流体响应的经验数据。气体溶解性模型用于确定随着多相流体流动通过科里奥利计总气体中有多少气体呈自由气体的形式。科里奥利计的响应与多相流体中的由气体溶解性模型确定的自由气体量映射,从而获得质量流率和密度修正值。

[0012] 其他目标和特征将部分地很清楚,并且部分地此后指出。

附图说明

[0013] 图1为科里奥利计量仪一个实施例的透视图;

[0014] 图2为图1中所示科里奥利计量仪的侧视图;

[0015] 图3为科里奥利计量仪处理器一个实施例的示意图,表示了其输入和输出;

[0016] 图4为一种用于产生与通过科里奥利计量仪流动的多相流相关的基于经验数据的系统一个实施例的示意图;

[0017] 图5为一种用于产生与通过科里奥利计量仪流动的多相流相关的基于经验数据的系统另一个实施例的示意图;

[0018] 图6为用于来自当计量油和水的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了驱动增益相对归一化(nominal)气体体积分数(GVF)的图表;

[0019] 图7为用于来自当计量油和水的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了密度降相对归一化气体体积分数(GVF)的图表;

[0020] 图8为用于来自当计量油和水的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了质量流率误差相对归一化气体体积分数(GVF)的图表;

[0021] 图9为用于来自当计量油和水的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了密度误差相对归一化气体体积分数(GVF)的图表;

[0022] 图10为用于来自当计量气体和油的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了驱动增益相对归一化气体体积分数(GVF)的图表,这会引起实际GVF与归一化的GVF显著不同;

[0023] 图11为用于来自当计量气体和油的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了密度降相对归一化气体体积分数(GVF)的图表,这会引起实际GVF与归一化的GVF显著不同;

[0024] 图12为用于来自当计量气体和油的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了质量流率误差相对归一化气体体积分数(GVF)的图表,这会引起实际GVF与归一化的GVF显著不同;

[0025] 图13为用于来自当计量气体和油的混合物时的科里奥利计的一组数据的、示出了密度误差相对归一化气体体积分数(GVF)的图表,这会引起实际GVF与归一化的GVF显著不同;

[0026] 图14为示意图,表示一种用于获得多相流率以及科里奥利计密度修正的系统的实施例;

[0027] 图15为示意图,表示一种用于训练(training)和使用神经网络获得多相流率和科里奥利计密度修正的方法实施例;

[0028] 图16为示意图,表示一种用于获得多相流率以及科里奥利计密度修正的系统的另一个实施例;

[0029] 图17为示意图,表示一种用于训练和使用神经网络获得多相流率和科里奥利计密度修正的另一个方法示意图;

[0030] 图18为表示压力、温度和溶解气体-油比率(R_s)之间关系的图表;

[0031] 图19为表示压力、温度和形成的体积因子(B_0)之间关系的图表;

- [0032] 图20为净油气橇块的一个实施例的前视图,其包括图1和2的科里奥利计量仪;
- [0033] 图21为图20所示净油气橇块的侧视图;
- [0034] 图22为图20和21中所示净油气橇块中流调节器的一个实施例示意图;
- [0035] 图23为示意图,表示包括图20和21中所示净油气橇块合并紧凑分离系统的一个实施例,从而有助于采用较高的GVF计量流体。
- [0036] 相应的参考标记指示整套附图相应的部件。

具体实施方式

[0037] 一种科里奥利计量仪实施例,整体上表示为215,在图1和2中示出。计量仪215包括:一个或多个导管18、20(也被称为流管);一个或多个驱动器46a、46b,用于驱动导管的振动;以及一对运动传感器48a、48b,用于产生指示导管振动的信号。所示实施例中,具有两个导管18、20,两个驱动器46a、46b和两个运动传感器48a、48b,并且驱动器和运动传感器置于导管之间,从而每个驱动器和运动传感器对于两个导管均可操作。然而可以理解的是,科里奥利计量仪可以仅有一个单独的导管和/或具有一个单独的驱动器。还可以理解的是,导管可以具有有别于所示实施例中导管18、20的配置。

[0038] 如图1和2所示,计量仪215被设计插入管线(没有示出)中,管线有一个较小的截面被移除或者被预留,以便为计量仪提供空间。计量仪215包括用于连接到管线的安装法兰12,还包括中心总管分路接头16,所述总管分路接头支撑两个平行的平面回路18和20,这些回路垂直于管线定位。驱动器46a、46b和传感器48a、48b附接在回路18和20的两端之间。回路18、20相对两端上的驱动器46a、46b由数字控制器(没有示出)采用幅值相同相位相反的信号电流(即反相 180° 的电流)激励,从而使得回路18、20的直线段26围绕其共面垂直等分线56旋转(图2)。重复反转(例如,正弦控制)提供给驱动器46a、46b的激励电流使得每个直线段26能够经受振荡运动,扫过(sweep out)水平面关于回路对称轴线56的蝴蝶结形状。回路18、20的在下部圆化转弯38和40处的整个横向漂移较小,对于直径为1英寸的管道两英尺长直线段26大约为1/16英寸。振荡频率典型地为大约80-90赫兹,尽管根据流管的尺寸和配置频率可能会发生变化。

[0039] 定位传感器48a、48b从而检测流管上不同位置处的流管的运动,并且输出指示被检测运动的传感器信号。正如本领域技术人员理解的,科里奥利效应引起两个传感器48a、48b之间的相位差,其通常与质量流率成比例。同样地,回路18、20的谐振频率作为其中流动通过的流体密度的函数而变化。因此,通过分析传感器48a、48b的信号可以测量质量流率和密度。科里奥利计215具有处理器101(图3),处理器配置成用于接收来自传感器48a、48b的传感器信号,确定传感器信号之间的相位差,并使用所确定的相位差来确定通过流管的流体流率。处理器101还被配置成用于确定一个或多个传感器信号的频率,并使用所确定的频率确定流管中流体的密度。

[0040] 对基本测量值可以施加各种不同的修正值,基本测量值来自传感器48a、48b信号之间的相位差和频率。例如,多相流引入流管上较高的可变阻尼,为单相条件下三个数量级幅值之多。另外,多相流条件下产生的质量流率和密度测量值具有很大的系统和随机误差,由此可以由处理器101确定和实施修正算法。其他关于科里奥利计量仪操作的细节在美国专利US6,311,136;US6,505,519;US6,950,760;US7,059,199;US7,188,534;US7,614,312;

US7,660,681以及US7,617,055中提供,其内容在此全部引入作为参考。

[0041] 正如下面更详细描述,处理器101适于配置应用修正,其是由溶解气体对科里奥利计测量值影响带来的。另外,处理器101适于配置成用于确定通过流管流动的流体中溶解气体量。说明溶解气体效应和/或测量溶解气体量的能力在很多不同类型的工业中很重要。

[0042] 一个很重要的关心溶解气体的工业是油气工业。典型地,油罐内的高压会引起大部分或者所有气体溶解在油相内。在沸点压力以上,所有气体溶解。随着每个提取过程段石油流体压力降低,气相逐渐从油相释放变成自由气体。然而,油相通常保持饱和含有溶解气体,其数量随着压力和温度条件以及所关心的特定油气的易混合性而变化。因此,随着温度和压力条件在整个提取过程变化,自由气相和溶解气相之间存在很大的交换。油气工业中的标准是在标准温度和压力条件下报告流率,从而提供持续的测量值而不管操作条件如何。在标准条件下,近乎所有气体都是自由气体,基本上没有溶解气体。

[0043] 然而,溶解气体对科里奥利计来说很大程度上是近似不可见的。如果具有溶解气体但没有自由气体的液体通过科里奥利计,如下被观测到:

[0044] (i) 包含溶解气体的液体密度接近没有溶解气体的纯液体密度。标准石油工业模型存在用于预测与溶解气体相关的密度变化,其通常在数值上会减少,并且通常被称为膨胀系数。液体密度的该变化与相当的油和自由气体混合物密度相比通常较小;

[0045] (ii) 包含溶解气体的液体质量流量为液体和气体流质量流量之和,但是在油气工业中通常会遇到的压力处,溶解气体的质量与液体质量比较起来往往非常低;并且

[0046] (iii) 保持流管振荡所需的驱动增益(这里用于指的是驱动电流(amp)和传感器信号电压(v)之间的比率)指示用于保持流管振荡需要的能量。当纯液体或纯气体流过流管时,驱动增益比较低,但是远远高于当多相流体处于流管时(通常高两个数量级)。甚至最小程度的将自由气体与液体混合,都会引起驱动增益快速增加,从而使得其在检测是否存在自由气体时成为一个关键测量值。然而,存在溶解气体而不存在自由气体情况下,驱动增益没有显著上升。

[0047] 因此,来自科里奥利计的质量流量和密度测量值不会显著地受到存在溶解气体的影响,因为这些测量值中的误差与那些由相同液体与等体积自由气体混合引起的误差相比比较小,甚至可以忽略。相应地,传统科里奥利计量仪消除溶解气体效应因为其可被忽略并且不会试图确定流体中溶解气体量。

[0048] 尽管溶解气体存在,其中及自身不会影响科里奥利计的性能,但是溶解气体实际上为多相流过程中科里奥利计的重要误差来源。这是因为修正说明了由现有技术中的科里奥利计测量的流体中的多相的存在主要使用基于经验的模型。尽管这些模型有限使用物理模型,例如对于压力和温度修正气体密度,它们不能负责说明(account for)溶解气体。已经确定当应用在其中油相中的气体溶解度有别于当采集模型数据时的溶解度的条件下时,这可以在修正的流体速率中引入极大的误差。

[0049] 这里所述的科里奥利计215解决了该问题。对溶解气体量建模或者由已知的液相和气相物理特性连同观测到的温度和压力条件预测溶解气体量。大量标准石油工业模型提供了气体溶解度的预测值以及流体密度的相应变化。一个这样的实例在M.E.Vasquez和H.D.Beggs于1980年6月在JPT968-70上发表的“用于流体物理特性预测的相关性”。另一个选择是使用黑色原油模型,其提供了基于气相、油相和水相的堆积特性的PVT计算。该模型

对于油气生产应用来说很实用,其中由于段塞流动(slugging)或操作条件的变化大量流体组分会快速改变。可以采用组分模型替代,并且对于具有固定组分的应用或者在线组分测量很合适,例如医疗应用。

[0050] 溶解气体的影响在模型开发过程中被考虑在内,通常是基于实验室实验过程中采集的数据来完成。这里开发物理模型来预测多少气体已经溶解,而仅残留的自由气体被用于开发对科里奥利计或其他计量仪(例如含水量仪)中多相行为的、基于经验的修正。正如所示,这会产生多相模型,从而产生对质量流量和密度更一致的修正。考虑溶解气体的第二区域在实时操作过程中,其中适当的溶解气体模型包含在内,从而可以估计和由计量仪报告整个气体流(自由气体+溶解气体)。

[0051] 因此,这里所述科里奥利计215的一个优点在于可以在包含易混合气体的多相流过程中提供更好的流率和密度测量值,这是因为其改进了为多相流过程中的原始流率和原始密度测量值提供修正的能力。科里奥利计215的另一个优点在于其产生溶解气体测量值,从而使得更容易在油气工业标准条件下报告流率,并且在其他应用中这也是期望的。对于任意特定计量仪来说没有必要获得全部这两项优点。例如,测量计可以使用这里所述的技术提供改进的流率和密度测量值,而不需要确定和/或不输出溶解气体测量值,反之亦然,这不会偏离本发明的保护范围。

[0052] 多相流修正模型

[0053] 由经验数据推导的模型使得科里奥利计215能够提供对原始质量流率和原始密度测量值的修正,这可以解释多相流对计量仪的效果。通过使得科里奥利计处于多相流条件的范围开发模型,从而记录和模型化其质量流量和密度误差。这里参考油、水和气体描述模型,从而提供详细的实例,但是可以理解的是,相同的过程可以采用不同的材料。

[0054] 采用多种方式指定油、水和气体的三相混合物。一种方式是指定油、水和气体组分的质量流量。这里油和水流将采用kg/s说明,而气体流动速率(这里考虑处于低操作压力下)将采用g/s说明。另一种指定油、水和气体三相混合物的方式是指定油和水的总液体流率(通常采用kg/s)、含水量(在百分之零和百分之百之间)以及气体体积流量分数或GVF(从百分之零升到百分之五十以及超过百分之五十)。当每个相的密度随着温度和压力条件是已知的,在各相之间没有滑移(slip),其直接从这些指定中的一种转换为另一种。当具体指定最终结果的准确度时,第一说明(每种相位的质量流量)是方便的,而后面的说明(液流/含水量/GVF)对于描述实验条件更方便,特别是开发模型过程中。气体和纯油的两相流可以被认为是三相流的特殊情况,其中含水量为零。类似地,具有纯水的气体的两相流可以被认为是三相流的另一种特殊情况,其中含水量为百分之百。

[0055] 图4表示用于开发多相流过程中科里奥利计质量流率和密度误差的基于经验模型的试验装备。测试中的科里奥利计并入净油气橇块121中,其包括如上说明的科里奥利计215,以及包括定位成用以测量流管中流体的压力的压力传感器、定位成用以测量流管中流体的温度的温度传感器、以及定位成用以测量流体的含水量的含水计。分离器系统131提供分离的水流和油流,而液氮罐133用于提供与液体混合的气体,从而制成多相流。每个相在被合并和通过橇块121之前通过一套单独的相计量仪141中的一个单独测量。对于每个执行的试验,对于期望的油、水和气流率度建立稳定的条件,然后将来自计量仪141的单个相参考测量值与橇块121的输出比较,在整个试验的持续过程中平均化。

[0056] 在一个更简单的可替换布置中(图5),不会分离油和水。根据是否增加或降低含水量,含水量在离线程序中通过将计算的当前油/水混合物的体积替换为纯水或者纯油而选定。仅当新的含水量为0%或者100%的情况下,必须替换整个体积的液体。一旦已经建立了期望的含水量,那么采用一定范围的流率和GVF设置执行一系列试验,其中通过连续混合存储槽将含水量保持为常量。当需要新的含水量,重复离线程序。

[0057] 模型开发中溶解气体的效能

[0058] 与现有技术开发的用于科里奥利计的模型相比,计算GVF和质量流量以及密度误差不依赖于没有气体溶解到液体混合物中的假设。

[0059] 所使用的特定油、水和气体之间的相互作用会导致一定比例的气体溶解到液体混合物中。然而,气体的可溶解性可以改变。例如,相比起水中,石油气更容易溶解到油中,这就意味着含水量影响相关于油/水混合物的气体溶解度。较低含水量的情况下(例如,纯水连续流,其中混合物/乳液由油中含有水滴构成),比起较高含水量的情况(例如,纯水连续流,其中混合物/乳液由水中含有油滴构成),气体更容易溶解到溶液中。非常高含水量的情况下,极少或者没有气体进入溶液。

[0060] 图6-13的数据对比了极其类似的液体质量流量和GVF条件下,有气体溶解到液体中和没有气体溶解到液体中的情况下,相同的80毫米直径的科里奥利计的性能。产生这些数据的试验压力相对较低(300kPa-500kPa绝对值),这就意味着通常考虑气体密度可忽略,因为相比于液体密度来说其相对较小。操作温度近似为40°C。已知,多相流混合物对科里奥利计的影响当流体粘度非常高时被降低(气体和液体在流管内的相对运动被减少)。然而,该试验中,油的粘度过低从而不能阻止多相流对科里奥利计的影响。

[0061] 图6-9分别表示实验过程中科里奥利计的驱动增益、密度降低、质量流量误差以及密度误差,其中含水量被保持在稳定的大约100%(即,没有油),气体孔隙组分通过改变与水混合的气体量而变化。该试验中极少的气体能够溶解到液体中,因为高含水量以及如下事实,即该特定气体基本上不能溶解于水中。各种情况下X轴表示多相混合物的归一化GVF值,即科里奥利流管压力和温度条件下体积表示的气体百分比,假定所有入射到液体流中的气体保持自由,没有任何气体溶解。现有技术中固有的默认假设在于所有入射到液体中的气体(由参考气体计量仪测量),在多相混合物中保持为自由气体,并且由此对多相混合物的归一化GVF有贡献。图6-9中不同液体流率、含水量或计量仪操作的其他条件之间没有表现出差异。该数据表示当自由气体添加到液体中时科里奥利计期望的性能。

[0062] 驱动增益(图6)在拉格朗日刻度上显示,并且表示保持流管振荡所需要的能量的量。由于可使用驱动增益各种定义,这里所使用的表达如下:

[0063] 驱动增益 = (驱动电流 (amps)) / (传感器电压 (v))

[0064] 在零值归一化GVF处驱动增益数值有很大的范围。其中一些是在参考气体供应已经在一系列实验过程中被去掉之后,液体中仍然存在边缘数量的气体引起的。然而在零值归一化GVF和非零值归一化GVF之间的驱动增益仍然有清晰的界限。除了两个点之外,所有的非零值GVF点比所有的零值GVF点的驱动增益都高。数据非常粗略的表示出驱动增益中数量级(即,10的倍数)增加,从任意自由气体开始。更通常地,尽管对于不同的流管设计、流管取向和其他因素来说,驱动增益的准确数值会显著地改变,当与液体混合的自由气体通过科里奥利计时,驱动增益的一个较大增长通常会被观测到。

[0065] 如图7所示为密度降。这里密度降如下定义：

$$[0066] \quad \text{密度降} = (\rho_f - \rho_a) / \rho_f \times 100\%$$

[0067] 其中 ρ_f 为根据含水量仅是水和油的混合物情况下液体的密度， ρ_a 为科里奥利质量计量仪产生的明显的或观测到的密度。注意到当所观测的密度读数降落到流体密度之下时，通常所示密度降为正。正如所期望的，零值GVF处的密度降同样也是零，但是随着GVF从零开始增加，密度降快速升高，表示自由气体的存在引起所观测密度读数的下降。

[0068] 图8和9表示科里奥利计的质量流量和密度误差，确定如下：

$$[0069] \quad \text{密度误差} = (\rho_a - \rho_m) / \rho_m \times 100\%$$

$$[0070] \quad \text{质量流量误差} = (\dot{m}_a - \dot{m}_m) / \dot{m}_m \times 100\% m$$

[0071] 其中 ρ_m 为计算的真实的多相混合物密度， \dot{m}_m 为真实的多相混合物质量流量， \dot{m}_a 为科里奥利质量计量仪上显示的质量流率。

[0072] 质量流量和密度误差从零值GVF的零点开始表现出非常广泛类似的特性，并且在向外传播之前快速降低到很低但是非零值GVF，从而形成一个更广范围的误差。

[0073] 图10-13表示对于GVF和体积流率的相同范围下但是含水量低（即油连续流）的情况，用于相同计量仪的驱动增益、密度降、质量流量误差和密度误差的相应特性，其会引起在被注射之前由参考气体计测量的一些气体在到达科里奥利计之前溶解入液体之中。各种情况中，x轴表示归一化GVF，假定所有由参考气体计测量的气体保持自由，并且不会进入溶液中。

[0074] 图10中，与图6相比，在零GVF值和稍微高于零GVF值的驱动增益值之间不再清晰区分。然而，当归一化GVF超过大约8%，驱动增益一致性地高于在零值GVF处观测到的数值范围。这就指示一些气体必须进入溶液中，因为自由气体对驱动增益的影响对较低粘度的流体总是很显著。特别是，其表现出当归一化GVF大约8%或者更少的情况下几乎所有气体进入溶液中。

[0075] 图11中，（与图7比较），归一化GVF从百分之零增加到大约百分之五，密度降可忽略。密度降不会始终处于零之上，直到大约10%归一化GVF。因为密度降是基于纯流体密度推导的，该图表示对于上至大约5%归一化GVF，所报告的混合密度与纯液体的相同。这同样指示至少部分气体进入溶液中。

[0076] 图12中，（与图8比较），对于上至大约5%的低归一化GVF，质量流率误差接近零，并且仅当归一化GVF超过大约15%，相应的质量流量误差始终小于零。再次，这就指示至少一些气体进入溶液中，并且流动通过科里奥利计时不是自由气体。

[0077] 然而，特性的最大区别在密度误差（图13，与图9相比）中示出，其中液体/气体混合物的密度误差对于小于大约8%的归一化GVF始终为正值，并且密度误差仅对于超过大约20%的归一化GVF始终为负值。很清楚，如果将气体溶解到液体中，与归一化的混合物密度相比，这会引发密度测量值的正向转移，其中假定所有气体是自由的。因此，再次，该结果指示一些气体随着流动通过科里奥利计而溶解。

[0078] 整体而言，对该特定试验设置来说，图6-13所示的数据表现出科里奥利计量仪对一方面具有接近100%含水量的多相流和另一方面对具有接近0%含水量的多相流的响应存在明显不同，其中在接近100%含水量的多相流体中，气体基本上与液体不能融合，并且

任意非零值归一化GVF对科里奥利计的性能有影响(例如增加的驱动增益和密度降,以及负的质量流量和密度误差),在接近0%含水量的多相流体中,气体不可溶解,并且其中对于上至大约5%的归一化GVF,对密度降和质量流量误差存在受限影响的或者没有影响。基本上,科里奥利计简单的不能检测或响应溶解到液体中的气体。另外,结果显示,在开发基于经验的质量流率和密度修正值期间,归一化GVF和实际GVF之间的差异会将误差引入基于经验的质量流率和密度修正值(通过使用试验开发),并不解决与溶解气体相关的问题。

[0079] 相应地,为了解决这一问题,由已知的液相和气相的物理特性,连同观测到的温度和压力条件对溶解气体量建模。大量的油工业模型提供了对气体溶解度以及由此引起的流体密度变化的估计,例如,M.E.Vasquez和H.D.Beggs于1980年6月发表在JPT968-70上的“用于流体物理特性估计的相关性”。这里所述的结果基于黑油模型,其提供了基于气相、油相和水相的大量特性的PVT计算。该模型对于油气生产应用来说很实用,其中由于段塞流动以及操作条件的变化大量流体组分会快速改变。具有相同方法论的组分模型可以采用,并且适于具有固定组分的应用或者在线组分测量,例如医疗应用。

[0080] 因此,当对于科里奥利计开发基于经验的质量流率和密度修正值时,替代使用归一化GVF,流动通过科里奥利计的自由气体水平基于总气体流和总气体溶解性模型的参考测量值计算。然后可以对科里奥利计对自由气体的响应更好地建模,从而使得与自由气体相关的质量流率和密度误差的修正值更准确。

[0081] 可以采用给定的一组输入(例如,传感器信号之间的相位差、流管振动频率、温度、压力、驱动增益等)与一组输出(例如,修正的质量流率和修正的密度)之间的映射形式来实施对于科里奥利计的经验质量流率和密度修正。例如,可以使用神经网络。通常对神经网络的这些输入基于可提供给计量系统的数据,通过原始测量值或者基于这些测量值的计算。选定输入从而提供关于输出的光滑连续的输入。对于气体-液体混合物的常用神经网络设计如图14所示。注意到两个分立的神经网络用于质量流率修正和密度修正,通过针对神经网络的框中的水平线在图14中表示。一种用于训练(training)和使用该神经网络从而用于不溶解流体的实例在图15中描勾画出。每个步骤中使用的公式在表2中定义,在该说明书具体实施方式部分的末尾给出。对于不溶解流体(例如其中液体主要为水),相质量流率对于标准条件和实际条件是相同的。

[0082] 当气体溶解到液体中,可以使用相同的神经网络设计联合PVT模型。例如,黑油模型使用互相关联性(correlations)或者表格数据从而估计溶解气体量和不同温度以及压力处的密度变化。例如,虽然还可以替代地使用其他互相关联性,原处的自由气相密度可以使用AGA8模型确定。

[0083] 对黑油模型很多互相关联性可用。一个实例是巴斯克斯模型(vazquez model)。黑油模型中的关键参数为:

[0084] (i) $\rho_{o,sc}, \rho_{w,sc}, \rho_{g,sc}$ -标准液体、气体和水的密度,用于确定流体。这是计量仪常用的输入数据。这些密度从计量仪输入标准温度转换到互相关联性所使用的60°F。

[0085] (ii) GOR,气-油比率,为标准条件下气体与油生产率比的测量值。这由一段时间内分离的气相和液相上的表面测量值获得。

[0086] (iii) R_s ,溶解气体-油比率,负责说明溶解到的油中气体的体积。可以重新安排该关系从而预测沸点压力。在低于沸点压力的压力处存在自由气相。在高于沸点压力的压力

处,气体处于饱和状态并且溶解量受到GOR的限制。

[0087] (iv) B_o , 形成体积因子, 调整用于溶解气体的油密度。由于溶解气体的存在, 油更轻, 即使在较高压力下也是如此。

[0088] (v) R_w 和 B_w 为类似的因子, 负责说明气体溶解在水中。比起油, 气体更不容易溶解于水中, 并且通常在科里奥利应用中被忽略。

[0089] 模型适当地包含气体可溶解性调整因子, 允许模型被调整从而负责说明实际上石油流体并不总是以相同方式表现的事实。运行多个试验以改善用于特定一组石油流体的模型的调整。可替换地, 有时候油气工业中已知什么调整因子对于特定油井或区域的流体良好地起作用。适当的调整因子可以基于该工业知识被输入。调整因子可以设定到归一值 1.0, 其与重原油典型特性匹配。当调整因子设定为零, 模型变成不可溶解模型。调整因子可以配置为含水量的函数。商业物理特性计算包, 例如施耐德电气 SimSci™ PIPEPHASE, 可以用于获得多相流体的全部特性。

[0090] 一种易混合流体神经网络模型的实例如图 16 中所示。一种训练和使用该神经网络的方法实例在图 17 中勾画出。该方法通常对应图 15 指出的方法, 但是存在与包含溶解气体计算相关的不同。与易混合流体神经网络相关的公式在表 3 中列出。

[0091] 基于互相关联性的简化的参数模型或者查询表可以建成到在线多相计量仪中。例如, 图 18 示出了表明在标准油气密度情况下计算出的 R_s 参数随压力和温度变化的曲线。这些曲线表示随着压力增加溶解气体量增加, 但是随着温度增加溶解气体量减少。类似地, 如图 19 所示, 作为温度和压力函数, 可以获得用于 B_o 的曲线。考虑到调整因子 (CR_s) 之后, 饱和和气体的油密度随着温度和溶解气体的增加而减少, 从而引起 B_o 增加。

[0092] 溶解气体模型适用于多相流体的经验质量流率和的密度修正值开发过程中, 这样比在传统技术中的输入更准确。例如, 一组计算在详细说明书的末尾在图表 4 中再现。这些实例计算中一些事情比较突出。例如, 利用气体溶解性模型计算的液体密度和 GVF 与归一化数值明显不同。尽管流体密度的归一化数值为 830.3 kg/m^3 , 利用气体溶解性模型估计的实际液体密度仅为 825.3 kg/m^3 。这一点由科学理解所证实, 即油中包含溶解气体将降低油的密度 (例如, 按照表 4 中数据从 797.5 kg/m^3 到大约 791.7 kg/m^3)。采用气体溶解性模型估计的实际 GVF (11.7%) 同样比归一化 GVF (18.3%) 百分比低得多。这与图 6-13 中的数据一致, 指示至少一些气体确实实际上已经在实验室中的三相流试验期间溶解在油中。

[0093] 相应地, 针对多相流体的质量流率和密度相关性可以采用这里所述的技术改善。因此, 科里奥利计 215 适于配置成利用负责说明溶解气体效应的映射 (例如, 与气体溶解性模型结合使用的神经网络) 来确定油、水、和/或气的质量流率, 和/或密度。这就使得科里奥利计量仪在多相流体中提供更准确的质量流率和/或密度读数。

[0094] 使用一组特定的包含来自石油工业的油、水和气的多相流来产生图 6-13 的数据。可以理解的是, 当不同的多组多相流体包含在过程中时, 溶解气体的效应是不同的。例如, 与来自油井的气体相比, 二氧化碳 (CO_2) 易溶于水。然而, 当选择、适配或开发适当的用于负责说明存在溶解气体的模型时, 通过考虑采用不同的材料可以使用相同的过程来减少与溶解气体相关的误差。

[0095] 现场溶解气体模型的应用

[0096] 前面的部分解释如何改善科里奥利计在多相流过程中的准确度和一致性。然而,

同样可能的是在现场使用气体溶解性模型来提供流动通过科里奥利计量仪215中的流体中溶解气体量的测量值。现场使用的气体溶解性模型与实验室中所使用的模型可以相同,也可以是不同的模型。现场使用的模型具有与实验室模型不同的调整,或者甚至是不同的结构。溶解的气体模型对于用于开发科里奥利计量仪215多相流修正值的低压实验室最合适,但是对于较高上游压力应用的在线操作并不是最合适的模型。然而科里奥利计量仪对自由气体的响应是相同的,即使根据压力任意溶解气体的量是不同的。这是由于正如上面提到的,科里奥利计量仪215不会被存在的溶解气体过多地影响。如果期望的话,科里奥利计量仪215可配置成用于可以由用户输入或调整一个或多个调整因子。这有助于实现相同科里奥利计量仪215或者相同类型的科里奥利计量仪在流体表现不同的不同油田的配置。

[0097] 一种将气体可溶解性模型实时应用的方法,包括如下步骤:(i) 基于科里奥利计的响应确定多相混合物中的自由气体量(GVF);(ii) 使用气体可溶解性模型计算溶解气体量;并且(iii) 由自由气体和溶解气体计算存在的总气量。科里奥利计量仪215的处理器101适于配置为(例如,经过编程)从而执行该方法并输出溶解气量和/或总的气量。例如,处理器101适于配置为报告标准条件下油、水和总气体(包括自由气体和溶解气体)量(流率和/或随时间的总和)。

[0098] 橇块设计

[0099] 多相流态的(例如,油、水 and 气)对采用科里奥利计量仪和含水计量仪(测量生产条件下水-液体体积流动比率)测量系统对准确测量液体和气体组分流率更具挑战性。具体来讲,流动状态的变化会产生滑移状况,其中气相速度会与油相和水相速度显著不同,引起更加困难的准确计量。

[0100] 含水量仪最好与很好混合的油和水流一同操作。当流态包括严重的段塞流动时,期望的是,防止科里奥利计和含水量仪受到正向和然后负向的流率,正像如果计量仪位于橇块上支腿上发生的那样。还期望的是,科里奥利计在零流动条件中适当地排放,因为当没有流体流动通过部分填充的流管时,部分填充的流管可能产生较大的流率和密度误差。

[0101] 图20和21表示净油气橇块121(其为多相计量系统),设计用于将气相和液相之间的潜在滑移状况最小化。净油气橇块121包括:科里奥利计215;定位成用于测量流体含水量的含水量仪145;定位成用于测量流体温度的温度传感器147;以及定位成用于测量流体压力的压力传感器149。还期望测量流管上的差压,因为这有助于使用流管中的平均压力执行气体计算,而不仅仅是用流管入口处,流管出口处或者一些其他特定位置处的压力。净油计算机151(更宽范围地,处理器)安装在橇块121上。净油计算机151配置成用于接收科里奥利计215、含水量仪145、温度传感器147和压力传感器149以及其他可以包括在橇块121内的任意测量设备的信号。净油计算机151适于集成所有设备215、145、147、149等的信息,并且执行还没有被需要确定流过橇块121的流体速率和密度的设备执行的任何计算。净油计算机151适于相互独立地输出油、水 and 气体的当前流率。净油计算机151还适于输出油、水 and 气体一个或多个时间段的总流量。用于操作科里奥利计215和净油计算机151的所需的处理适于由一个或多个处理器执行。例如一些计算在科里奥利计215的发送器内执行,而另一些计算在单独的处理器中实施。可以理解的是,各种不同所需的计算和其他处理活动被灵活性的执行,并且在实施例这里详细说明确定的特定选择不应当被认为是限制性的。

[0102] 净油气橇块121被配置为在多相流体流动通过气橇块时保持调整后的流体轮廓

(profile)。沿着橇块121的顶部部段定位流体调整器153(图22),从而接收流动通过橇块的多相流体,以在流体到达科里奥利计215流管并且在流体到达含水量计145之前混合流体。正如图22中所示,流体调整器153适于包括多个从导管159壁157向内突出的突伸部(tab)155,导管159定位成将多相流体传送通过气橇块121。突伸部155在流动流体内产生涡流,从而使流体混合。可以理解的是,其他类型的流体调整器也可以用以替换图22中所示的流体调整器153来使用。

[0103] 导管159还配置为在橇块121中具有升高或下降部,其用于干扰任意在流动中发生的滑移状况。例如,导管159的一个支腿161向上延伸,而导管的另一个支腿163向下延伸。导管的水平分段165将上支腿161和下支腿163彼此连接。随着流体通过这些部段161、163、165,流体的上升和下降有助于更好地混合气相和液相。

[0104] 含水量计145处于科里奥利计215的下游。流体同样随着其流动通过科里奥利计215的流管由于其中有弯曲而混合。因此,科里奥利计215还有助于确保到达含水量计145时充分混合。

[0105] 图20和21中所示的净油气橇块121中,科里奥利计215和含水量计145安装在导管159的下游支腿163内,其是期望的,用以限制通过科里奥利计215和含水量计145的逆流量(例如,在万一频繁碰到段塞流动的情况下)。然而,可以理解的是,可以将科里奥利计215安装在净油气橇块的其他地方,例如在上支腿上或者水平支腿上。同样地,含水量计145、温度传感器147和压力传感器149可以安装在有别于图21和22中所示的其他位置上,如果期望的话。

[0106] 通过在橇块上游包含紧凑的部分分离系统171,净油气橇块121的操作范围对于高气流、高GVF流会增加,如图23所示。分离器的目的在于减少提供给科里奥利计215和121其他部件的自由气体量。分离器161有气体输出部173和液体输出部175。液体输出部175被从分离器171引导到科里奥利计215的流管,并且气体输出部从流管转向,从而在多相流体流动通过流管之前减少多相流体的自由气体量。分离器171可以不具备获得气液完全分离的能力,但是这不是问题,因为净油气橇块121具有处理多相流的能力。设计分离器171以仅获得部分分离是有利的,因为其尺寸、成本和复杂度降低。因此在一些实施例中,期望使用不具备获得完全分离能力的分离器171。

[0107] 可与上述科里奥利计215相同的另一个科里奥利计215'定位成用于计量分离器171的气体输出。可以理解的是,气体输出175可以通过不同类型的计量仪来计量,包括不是科里奥利计的量器,如果期望的话。然而一些情况下,期望使用科里奥利计计量来自分离器171的气体输出175,因为分离器的控制系统(没有示出)可以监测科里奥利计的密度读数和驱动增益,从而检测任何液体残留物(即,不期望包含在气体输出中的液体)。短期发生液体残留有时候是期望的,在这个过程中如果没有检测到,系统测量将变得无效。当这些液体残留事件被检测到(例如,通过监测科里奥利计215'的密度读数和驱动增益),SEVA方法,正如在美国专利No.5,570,300中所描述的(其内容在此全部引入作为参考)可被采用,其中测量状态临时设置为“炫目(DAZZLED)”,并且系统输出由当前测试平均值,或已知的可靠数据的最近平均值替代。液体残留事件的累积持续时间适当地被记录并报告给操作者,从而其对整个测试的影响被考虑在内。

[0108] 当引入本发明各方面的元素或其实施例时,冠词“一个”,“某个”、“上述”和“所述”

用于指的是具有一个或多个该元素。术语“含有”，“包括”和“具有”目的为包含性的，并且意味着还有有别于所列元素的其他元素。

[0109] 据上所述，可以看到本发明若干优势和方面已经获得，并且获得其他有利的结果。

[0110] 不是所说明和所述的所有说明部件都是需要的。另外，一些实现方式和实施例可包括其他元件。布置的变化和部件的类型变化可以在不偏离这里设定的权利要求的精神或范围的情况下做出。另外，可以提供不同的或更少的部件并且合并部件。可替换地或者另外地，可以通过若干部件实现一个部件。

[0111] 上面的说明通过举例而不是限定的方式阐述了本发明的各方面。该说明使得本领域技术人员能够制作并使用本发明的各方面，并且描述了若干实施例、使用、变型、可替换形式以及本发明各方面的用途，包括目前被认为是最好的实施本发明多个方面的模式。另外，可以理解的是，本发明各方面在应用中并不限于构建的细节和本发明说明书或者图中说明的部件布置。本发明的各方面能够采用其他实施例并且可以采用各种不同的方式实践或执行。同样地，可以理解的是，这里所使用的措辞和术语其目的是说明性的，并不能被认为是限制性的。

[0112] 已经详细描述了本发明的各方面，很明显在不脱离本发明在所附权利要求中限定的各方面的范围的情况下可能做出修正和改变。还可以设想，在上述结构、产品和过程中做出各种变化而不偏离本发明的保护范围。在前面的具体说明中，已经参考附图说明了各种优选实施例。然而很明显的是，可以就此做出各种修正和改变，并且可以实施额外的实施例而不偏离本发明在提出的权利要求中遵循的更宽的范围方面。相应地，说明书和附图被认为是说明性的而不是限制性意义的。

[0113] 提供摘要有助于读者快速确定技术公开的性质。其提交是基于不用于解释或限制权利要求范围或意义的理解。

[0114] 表1：术语表

[0115]

变量	说明	单位
B_0	油形成体积因子	[无量纲]
B_w	水形成体积因子	[无量纲]
修正值		
C_{de}	对总流体密度的科里奥利 NN 修正	百分比
C_{mf}	对总质量流量的科里奥利 NN 修正	百分比
C_{Rs}	油中溶解气体的黑油调整	[无量纲]
C_{Rw}	水中溶解气体的黑油调整 与巴斯克斯模型中的碳氢化合物气体比较, 大约 20% 可溶解性的实验室流体适用于设定 $C_{Rs} = 0.2$ 。该调整因子可作为所测量含水量的函数确定	[无量纲]
GVF	气体体积流分数	体积百分比
LVF	液体体积流分数	体积百分比

[0116]

$\dot{m}_{\text{相位, 条件}}$	质量流率 相位 o 油 w 水 g 气体 gf 自由气体 go 油中气体 gw 水中气体 l 液体 m 混合物 条件 sc 标准条件 ac 实际条件	千克/秒 通常采用 g/s 报告气体
ρ_{raw}	混合物原始测量密度	千克/立方米
$\rho_{\text{drop(降)}}$	密度降	百分比
$\rho_{\text{相位, 条件}}$	相位密度 相位 o 油 w 水 g 气体 l 液体 m 混合物 条件 sc 标准条件 ac 实际条件	千克/立方米
p p_0	流体的绝对压力 标准条件下的压力	千帕
$Q_{\text{相位, 条件}}$	体积流率 相位 o 油	千克/秒

[0117]

	w 水 g 气体 gf 自由气体 l 液体 m 混合物 条件 sc 标准条件 ac 实际条件	
R_s	溶解气体油比 (标准条件)	立方米/立方米
R_w	溶解气体水比 (标准条件)	立方米/立方米
T T_0	流体温度 标准条件下的温度	摄氏度或开氏温度
时间	时间	秒
W_{cut}	含水量-仪器测量值, 可通过 NN 修正	体积/体积百分比
$WT_{\text{相位}}$	测量的相同时的重量	千克 通常采用克报告气体
Z	气体非理想压缩因子	

[0118] 表2: 神经网络计算步骤-不能溶合的流体

[0119]

	计算	说明	等式
1.	NN 输入	油密度, ac	$\rho_{o,ac} = f(T, \rho_{o,sc})$ 实验室多项式拟合
2.		水密度, ac	$\rho_{w,ac} = f(T, \rho_{w,sc})$ 实验室多项式拟合
3.		气体密度, ac (对于该 NN, 后 续使用)	$\rho_g = \rho_{g,sc} * Z * (\frac{P_{ac}}{P_0}) * (\frac{T_0}{T_{ac}})$, Z 由 AGA8 计算得来或者类似的 PVT 模型计算得来
4.		含水量调整	$W_{cut} = f(T...)$ 实验室调整 NN

5.		液体密度, ac	$\rho_{l,ac} = \rho_{w,ac} * \frac{W_{cut}}{100} + \rho_{o,ac} * \frac{(100 - W_{cut})}{100}$
6.		密度降	$\rho_{drop} = 100 * \frac{(\rho_{l,ac} - \rho_{raw})}{\rho_l}$
7.	NN 目标准备	参考相位质量流率 (来自总的参考测量值)	$\dot{m}_{phase,sc} = \frac{WT_{phase}}{\Delta Time}$
8.		参考总质量流率	$\dot{m}_m = \dot{m}_{o,sc} + \dot{m}_{w,sc} + \dot{m}_{g,sc}$
9.		参考相位体积流率	$Q_{phase,ac} = \frac{\dot{m}_{phase,sc}}{\rho_{phase,ac}}$
10.		参考混合物密度, ac	$\rho_{m,ac} = \frac{\dot{m}_{m,sc}}{(Q_{o,ac} + Q_{w,ac} + Q_{g,ac})}$
11.	NN 目标	NN 密度修正目标	$C_{de,target} = 100 * \frac{\rho_{m,ac}}{\rho_{raw}}$
12.	NN 目标	NN 质量流量修正目标	$C_{mf,target} = 100 * \frac{\dot{m}_{m,sc}}{\dot{m}_{raw}}$
13.	NN 修正	NN 密度修正	$C_{de} = f(\dot{m}_{raw}, \rho_{drop}, W_{cut})$
14.		NN 质量流量修正	$C_{mf} = f(\dot{m}_{raw}, \rho_{drop}, W_{cut})$
15.	速度计算	混合密度, ac	$\rho_{m,ac} = \frac{C_{de} * \rho_{raw}}{100}$
16.		混合质量流率	$\dot{m}_m = \frac{C_{mf} * \dot{m}_{raw}}{100}$
17.		混合体积流率, ac	$Q_{m,ac} = \frac{\dot{m}_m}{\rho_{m,ac}}$
18.		液体体积分数, ac	$LVF = \frac{(\rho_{m,ac} - \rho_{g,ac})}{(\rho_{l,ac} - \rho_{g,ac})}$
19.		油质量流率	$\dot{m}_{o,ac} = \frac{(100 - W_{cut})}{100} * LVF * Q_{m,ac} * \rho_{o,ac}$
20.		水质量流率	$\dot{m}_{w,ac} = \frac{W_{cut}}{100} * LVF * Q_{m,ac} * \rho_{w,ac}$
21.		气体质量流率	$\dot{m}_{g,ac} = (1 - LVF) * Q_{m,ac} * \rho_{g,ac}$

[0120]

[0121] 表3:神经网络计算步骤-可溶合流体

	计算	说明	等式
[0122]	1. NN 输入	油密度, ac (没有溶解气体)	$\rho_{o,ac} = f(T, \rho_{o,sc})$ 实验室多项式拟合

2.		水密度, ac (没有溶解气体)	$\rho_{w,ac} = f(T, \rho_{w,sc})$ 实验室多项式拟合
3.		气体密度, ac (对于该 NN, 后续使用)	$\rho_g = \rho_{g,sc} * Z * (\frac{P_{ac}}{P_o}) * (\frac{T_o}{T_{ac}})$, Z 由 AGA 计算得来或者类似的 PVT 模型计算得来
4.		含水量调整	$W_{cut} = f(T...)$ 实验室调整 NN
5.		液体密度, ac (没溶解气体)	$\rho_{l,ac} = \rho_{w,ac} * \frac{W_{cut}}{100} + \rho_{o,ac} * \frac{(100 - W_{cut})}{100}$
6.		密度降	$\rho_{drop} = 100 * \frac{(\rho_{l,ac} - \rho_{raw})}{\rho_l}$
7.	NN 目标准备	参考相位质量流率 (来自总的参考测量值)	$\dot{m}_{phase,sc} = \frac{WT_{phase}}{\Delta Time}$
8.		参考总质量流率	$\dot{m}_m = \dot{m}_{o,sc} + \dot{m}_{w,sc} + \dot{m}_{g,sc}$
9.		在 sc 的参考相位体积流率	$Q_{phase,sc} = \frac{\dot{m}_{phase,sc}}{\rho_{phase,sc}}$
10.		参考气油比例	$GOR = \frac{Q_{g,sc}}{Q_{o,sc}}$
11.		黑油参数 Rs 溶解气油比率 B ₀ 油形成体积因子 R _w 溶液气水比率 B _w 水形成体积因子 (例如参见表 4 计算)	$R_s = C_{rs} * f(\rho_{g,sc}, \rho_{o,sc}, P, T)$ $B_o = f(R_s, \rho_{g,sc}, \rho_{o,sc}, T)$ $R_w = C_{rw} * f(\rho_{g,sc}, \rho_{w,sc}, P, T)$ $B_w = f(R_w, \rho_{g,sc}, \rho_{w,sc}, T)$
12.		每个相位的气体比 基于体积模型与 sc 相关 转换到实际质量流率	$Q_{go,sc} = R_s * Q_{o,sc}$ $Q_{gw,sc} = R_w * Q_{o,sc}$ $Q_{gfree,sc} = Q_{g,sc} - Q_{go,sc} - Q_{gw,sc}$ $\dot{m}_{go,ac} = Q_{go,sc} * \rho_{g,sc}$ $\dot{m}_{gw,ac} = Q_{gw,sc} * \rho_{g,sc}$ $\dot{m}_{gfree,ac} = \dot{m}_g - \dot{m}_{go,ac} - \dot{m}_{w,ac}$

[0123]

13.		自由气体训练检查	如果 $\dot{m}_{gfree,ac} < 0$ - 未饱和， 如果未饱和，气体流率范围从零到饱和 和气体。应用未饱和度模型或者从 NN 建模过程中消除点
14.		相位体积流率, ac	$Q_{o,ac} = B_o * Q_{o,sc}$ $Q_{w,ac} = B_w * Q_{w,sc}$ $Q_{gfree,ac} = \frac{\dot{m}_{gfree,ac}}{\rho_{g,ac}}$
15.		参考混合物密度, ac	$\rho_{m,ac} = \frac{\dot{m}_{m,sc}}{(Q_{o,ac} + Q_{w,ac} + Q_{gfree,ac})}$
16.	NN 目标	NN 密度修正目标	$C_{de,target} = 100 * \frac{\rho_{m,ac}}{\rho_{raw}}$
17.	NN 目标	NN 质量流量修正目标	$C_{mf,target} = 100 * \frac{\dot{m}_{m,sc}}{\dot{m}_{raw}}$
18.	NN 修正	NN 密度修正	$C_{de} = f(\dot{m}_{raw}, \rho_{drop}, W_{cut})$
19.		NN 质量流量修正	$C_{mf} = f(\dot{m}_{raw}, \rho_{drop}, W_{cut})$
20.		混合密度, ac	$\rho_{m,ac} = \frac{C_{de} * \rho_{raw}}{100}$
21.		混合质量流率	$\dot{m}_m = \frac{C_{mf} * \dot{m}_{raw}}{100}$
22.		混合体积流率, ac	$Q_{m,ac} = \frac{\dot{m}_m}{\rho_{m,ac}}$
23.		黑油参数 Rs, B ₀ , R _w , B _w	参见步骤 11 的公式
24.		相位密度, ac	$\rho_{o,ac} = \frac{\rho_{o,sc}}{B_o}$ $\rho_{w,ac} = \frac{\rho_{w,sc}}{B_w}$ $\rho_{l,ac} = \rho_{w,ac} * \frac{W_{cut}}{100} + \rho_{o,ac} * \frac{(100 - W_{cut})}{100}$ $\rho_g = \rho_{g,sc} * Z * (\frac{P_{ac}}{P_o}) * (\frac{T_0}{T_{ac}})$
25.		液体体积分数, ac	$LVF = \frac{(\rho_{m,ac} - \rho_{g,ac})}{(\rho_{l,ac} - \rho_{g,ac})}$
26.		相位体积流率, ac	$Q_{o,ac} = \frac{(100 - W_{cut})}{100} * LVF * Q_{m,ac}$ $Q_{w,ac} = \frac{W_{cut}}{100} * LVF * Q_{m,ac}$

[0124]

[0125]

			$Q_{gfree,ac} = (1 - LVF) * Q_{n,ac}$
27.		每个相位的气体速率	参见步骤 12
28.		自由气体测量检查	如果增益 < 总增益 - 未饱和，推荐对于管道默认总的增益 2X 水 如果未饱和，气体流率范围从零到饱和和气体。如果具有用户 GOR，基于此获得液体密度，如果没有用户 GOR，使用单一相位相关，对于气体速率不与实验室数据比较 对于气体速率的报告选项 气体速率在 sc 下的用户 GOR N/A 或者小于饱和值或者 基于增益的 2-4 个区域估计
29.		相位质量流率，sc 这些与参考数据比较	$\dot{m}_{o,sc} = \dot{m}_{o,ac} - \dot{m}_{go,ac}$ $\dot{m}_{w,sc} = \dot{m}_{w,ac} - \dot{m}_{gw,ac}$ $\dot{m}_{g,sc} = \dot{m}_{g,ac} + \dot{m}_{go,ac} + \dot{m}_{v,ac}$
30.		相位体积流率，sc 用于报告	步骤 9，但是负责说明溶解气体以及有效外部气体测量值 $Q_{phase,sc} = \frac{\dot{m}_{phase,sc}}{\rho_{phase,sc}}$

[0126]

表4-实验室实验运算实例

[0127]

60 开氏温度下的标准油密度	814.6	千克/立方米
60 开氏温度、101.325 千帕的标准气体密度绝对值	1.223	千克/立方米
实际压力	400.0	千帕
实际温度	40.0	摄氏度
油中气体调整常量 CRs	0.20	
计算的 actual 油量 Rs	0.408	
计算的气体饱和油 Bo	1.029	
计算的 actual 气体饱和油密度	791.7	千克/立方米
假定已知真实油的质量流率	4.0	千克/秒

油标准体积流率	0.004911	立方米/秒
计算的饱和气体标准体积流量	0.002002	立方米/秒
计算的饱和气体质量流量	2.448	克/秒
现在, 忽略水中可忽略的溶解气体		
假定已知真实的水质量流率	1.0	千克/秒
实际水密度, 在线温度下的计算	994.2	千克/立方米
计算的液体体积流率	0.006059	立方米/秒
计算的含水量 (实际体积流率)	16.6	%
计算的液体密度	825.3	千克/立方米
假设已知真实的气体质量流率	6.0	克/秒
自由气体质量流率	3.552	克/秒
自由气体密度, 在线压力和温度下计算	4.4	千克/立方米
自由气体体积流率	0.000798	立方米/秒
计算的自由气体 GVF	11.7	%
计算的混合物密度	732.0	千克/立方米
计算的密度降	11.6	%
用于比较, 假定没有溶解气体, 如下已经被计算		
油密度	797.5	千克/立方米
液体体积流量	0.006022	立方米/秒
含水量	16.7	%
液体密度	830.3	千克/立方米
气体体积流量	0.001348	立方米/秒
“归一化 GVF”	18.3	%
混合物密度	679.2	千克/立方米
密度降	18.2	%

[0128]

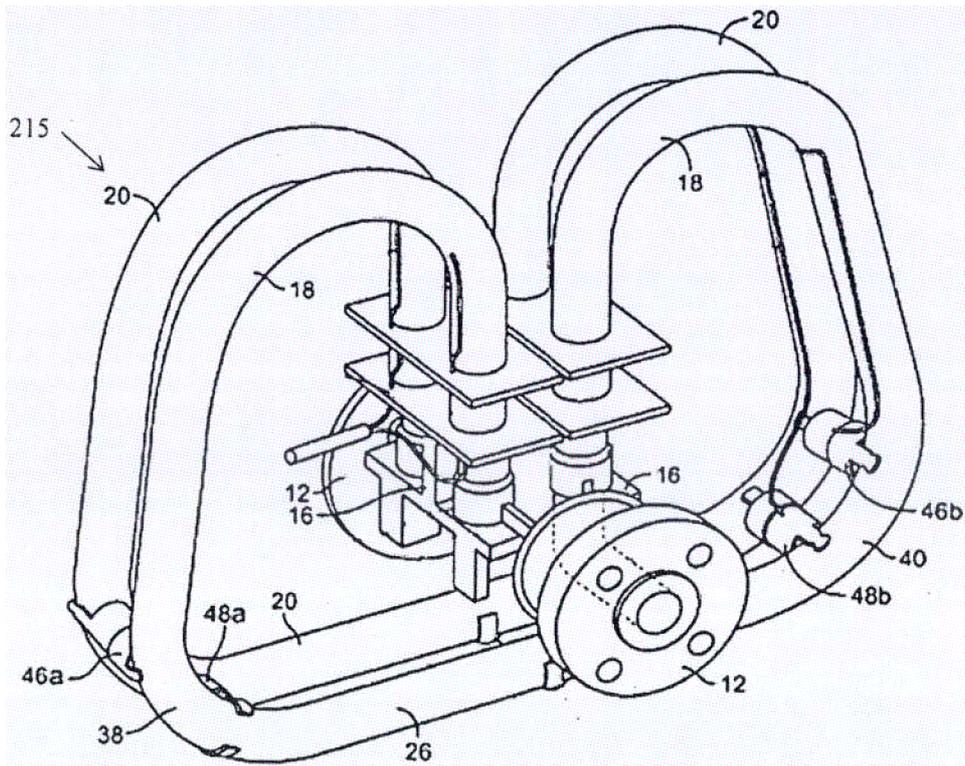


图1

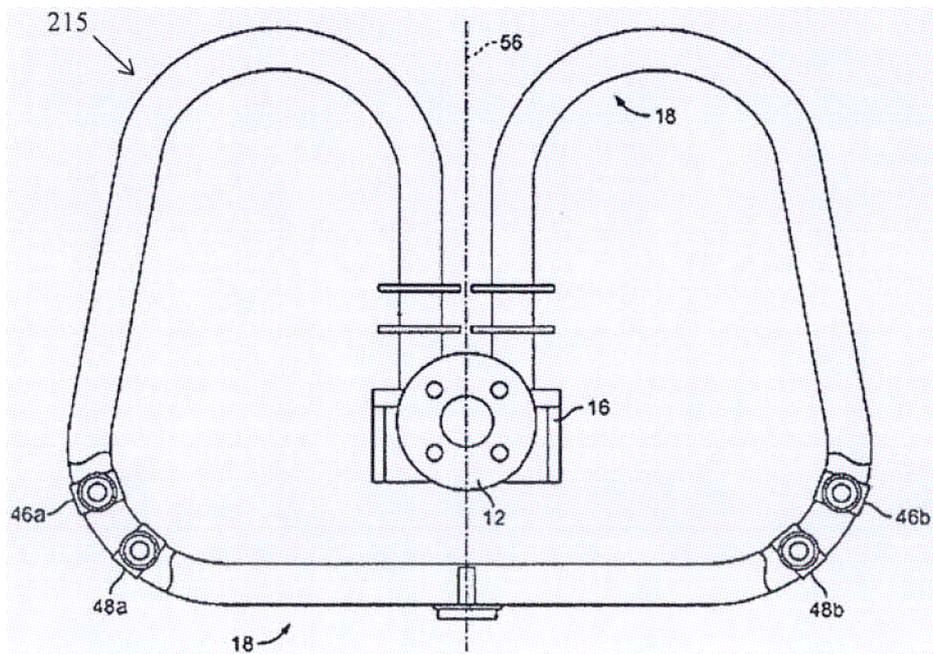


图2

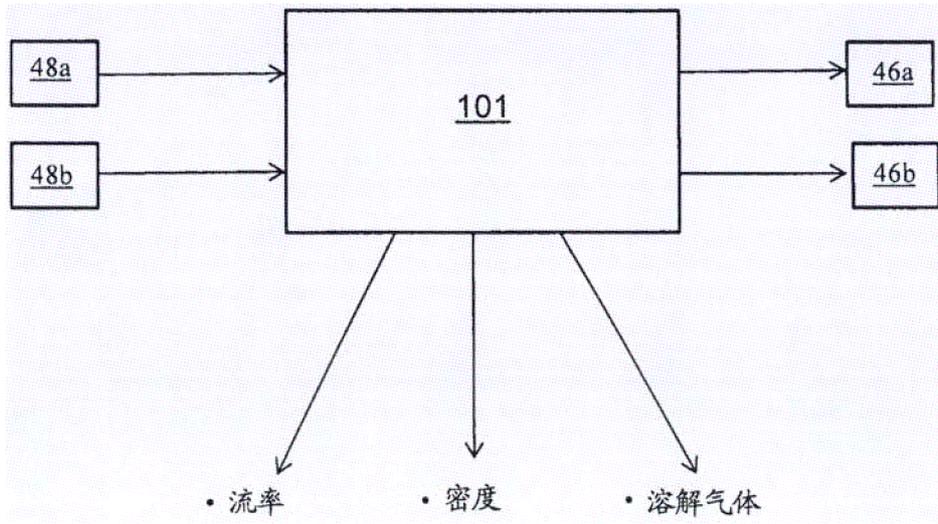


图3

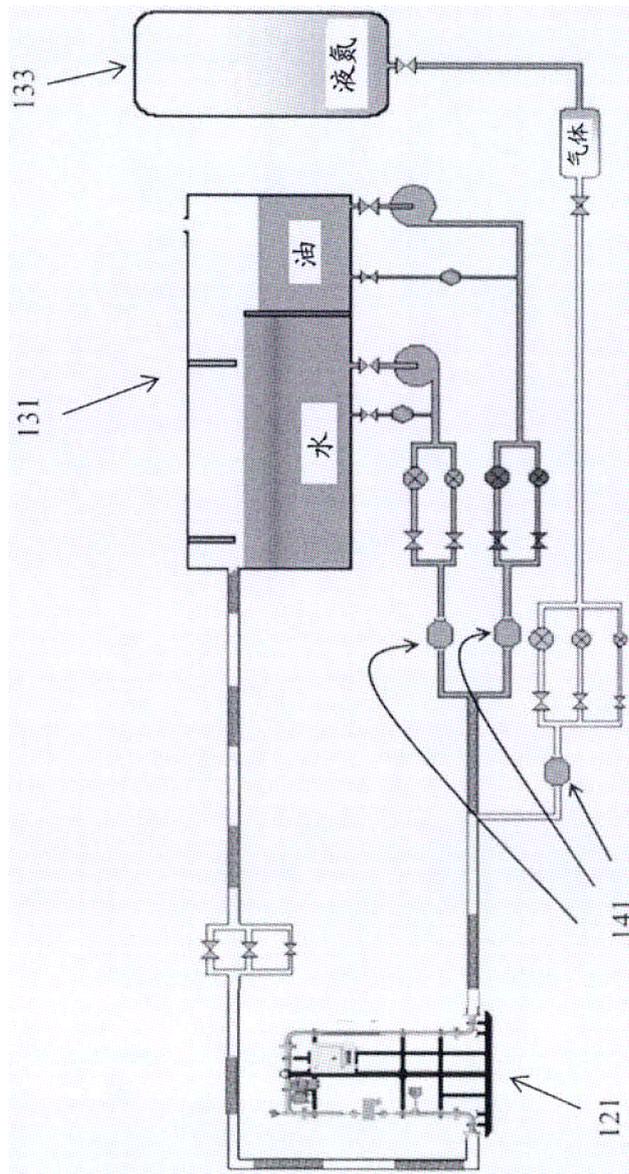


图4

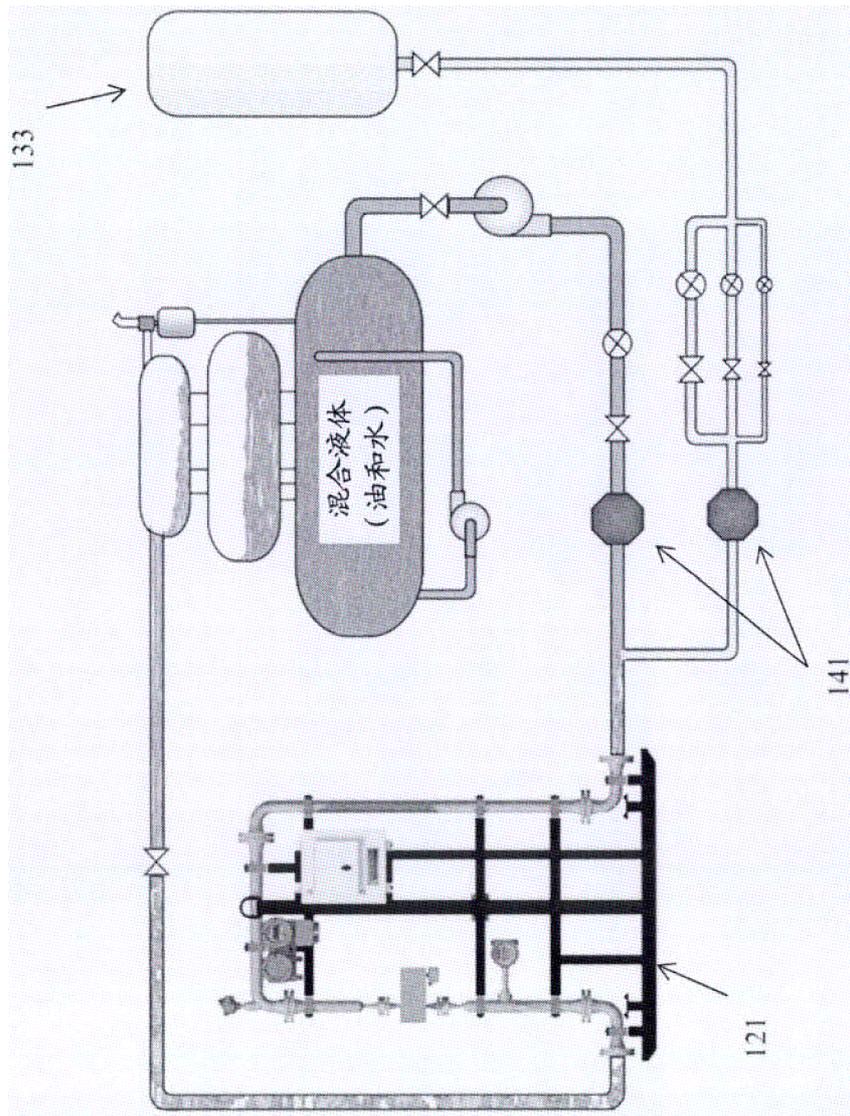


图5

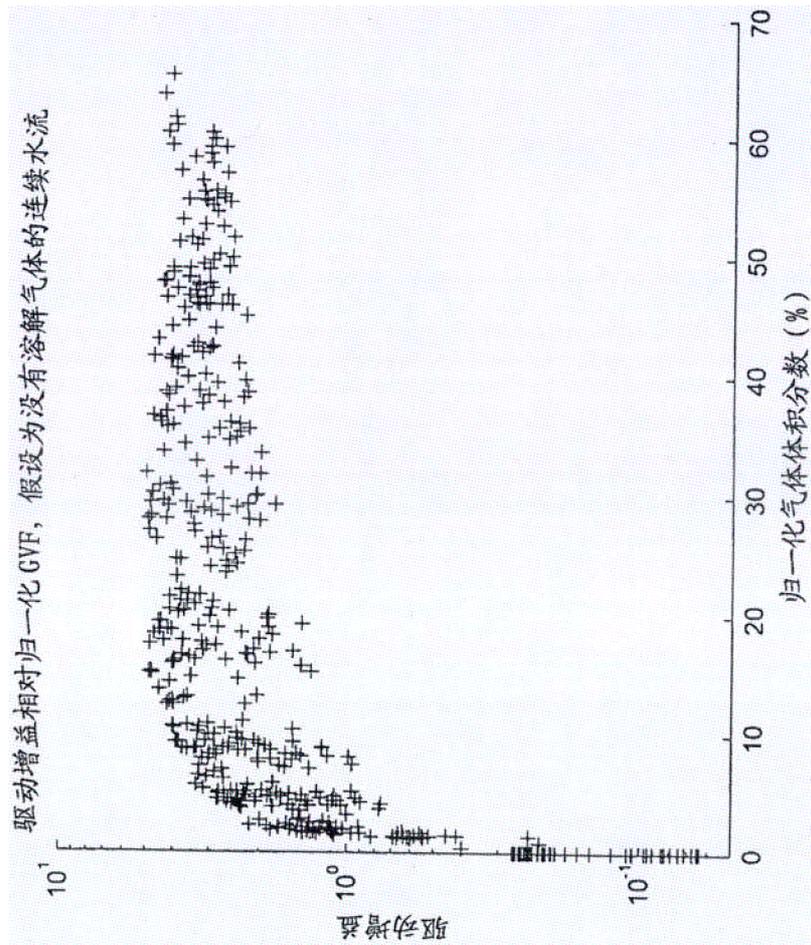


图6

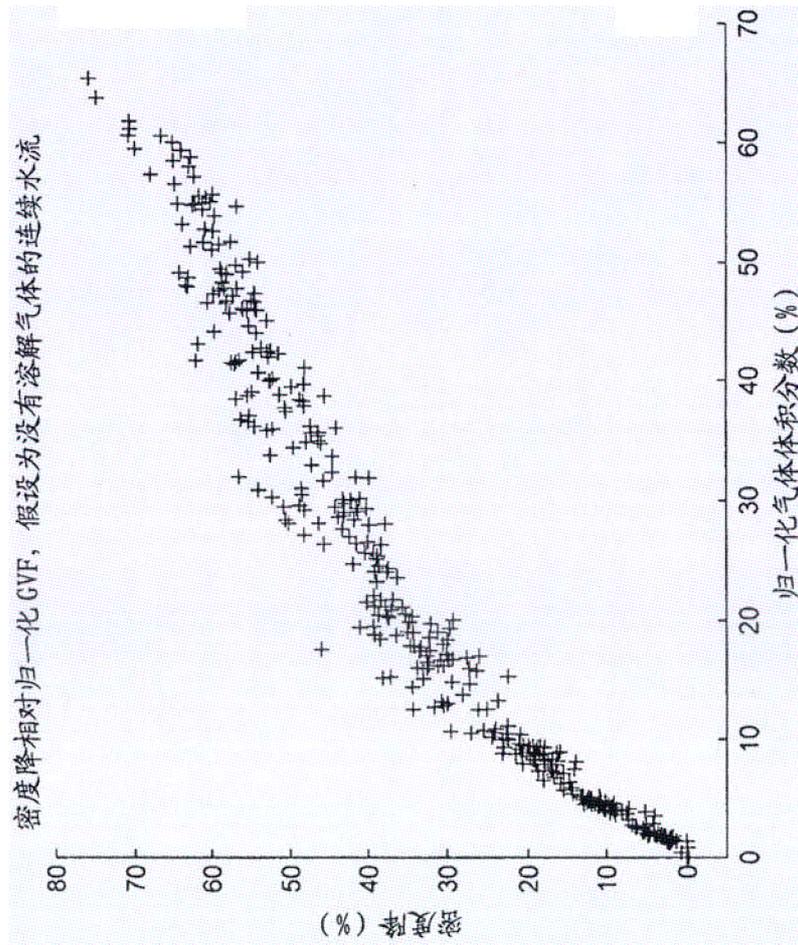


图7

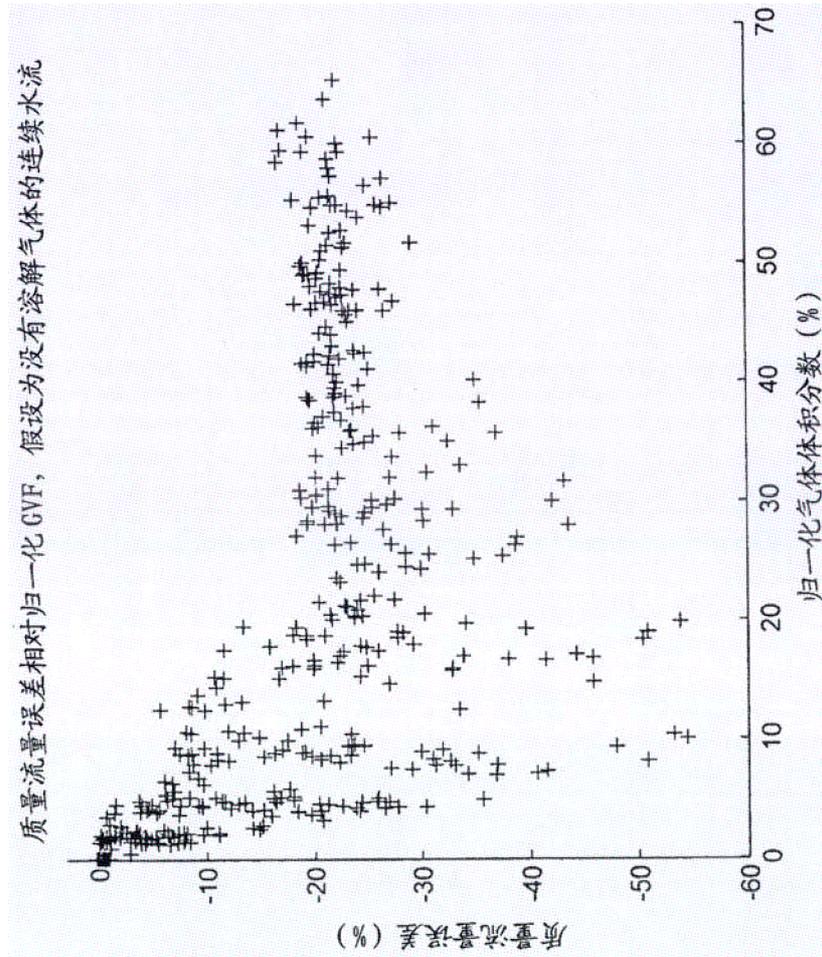


图8

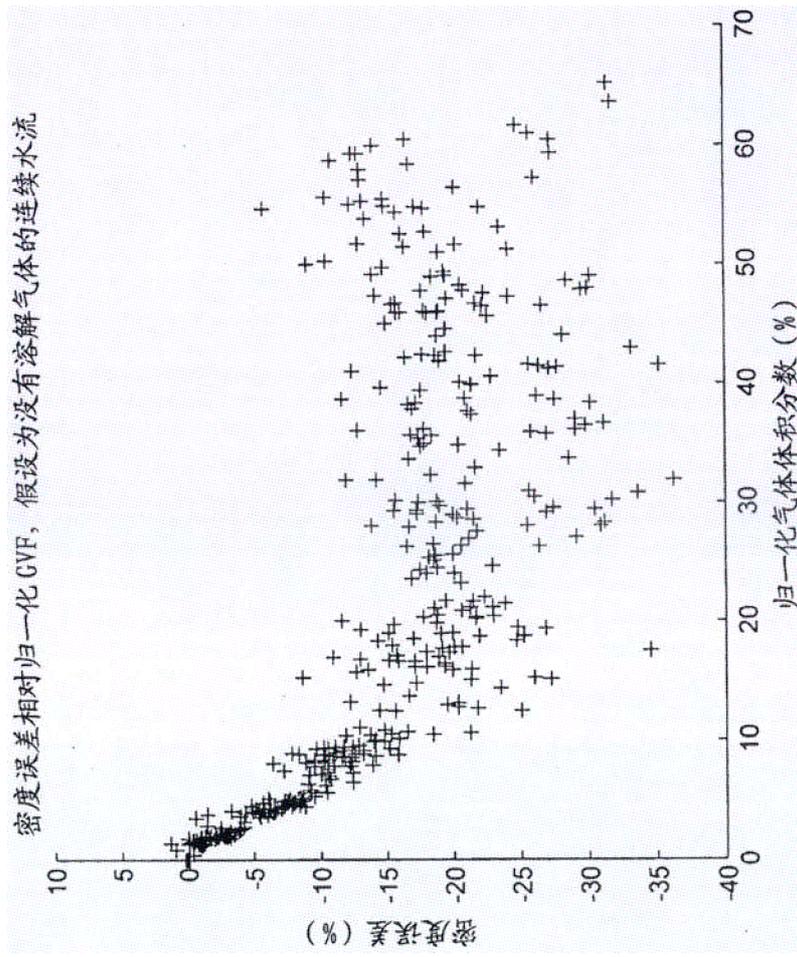


图9

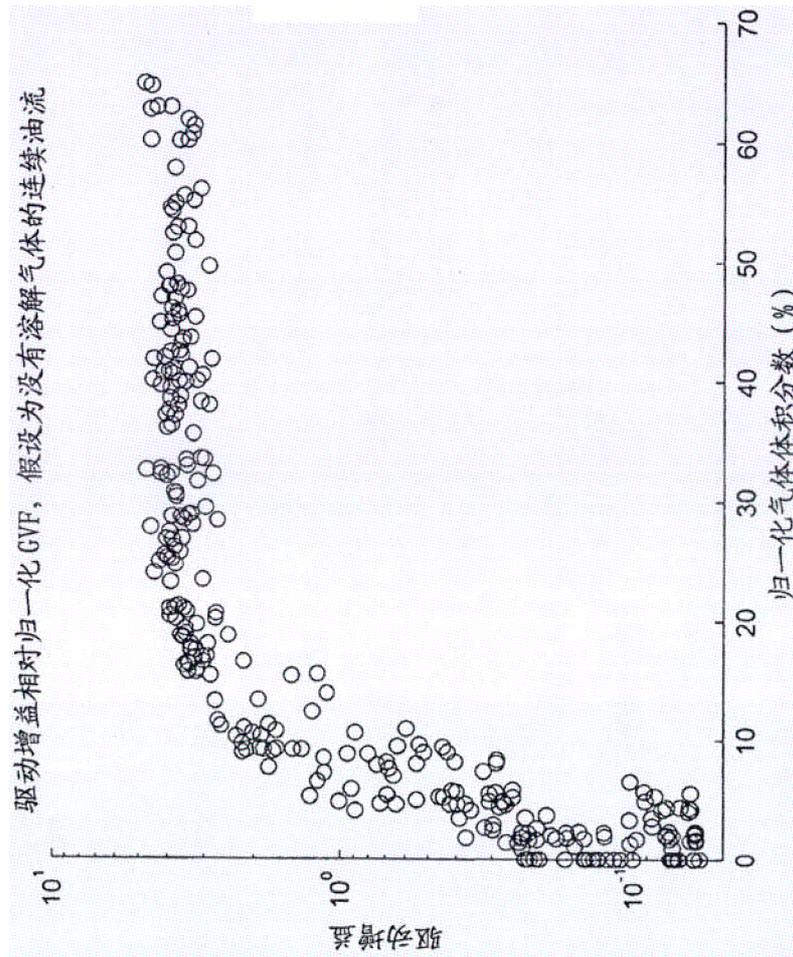


图10

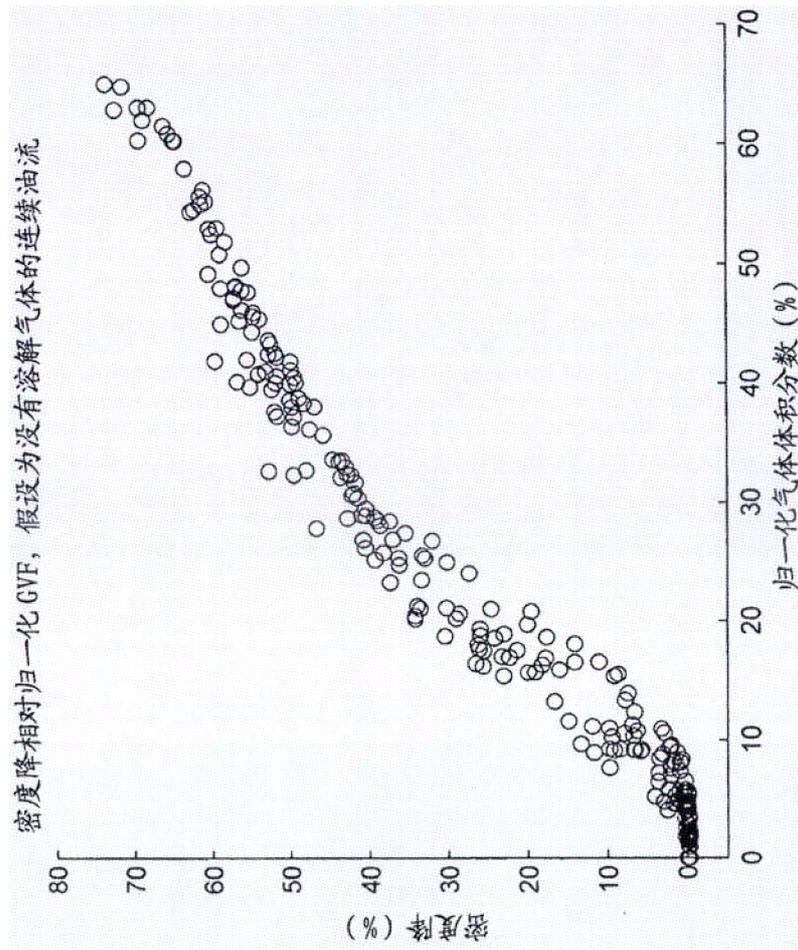


图11

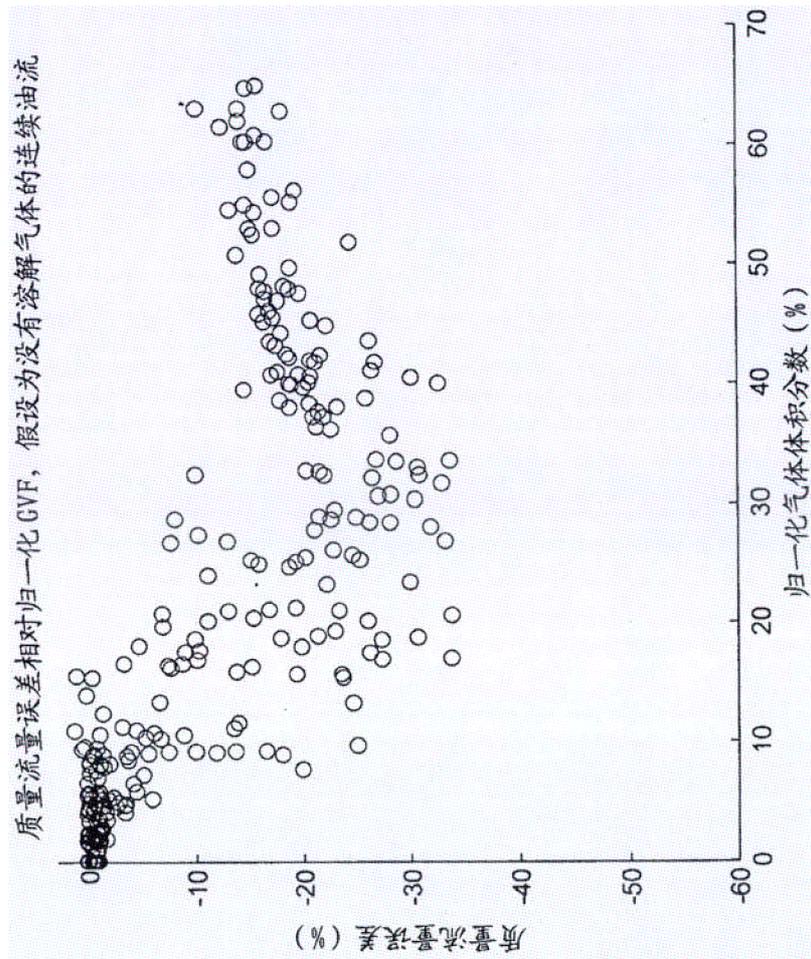


图12

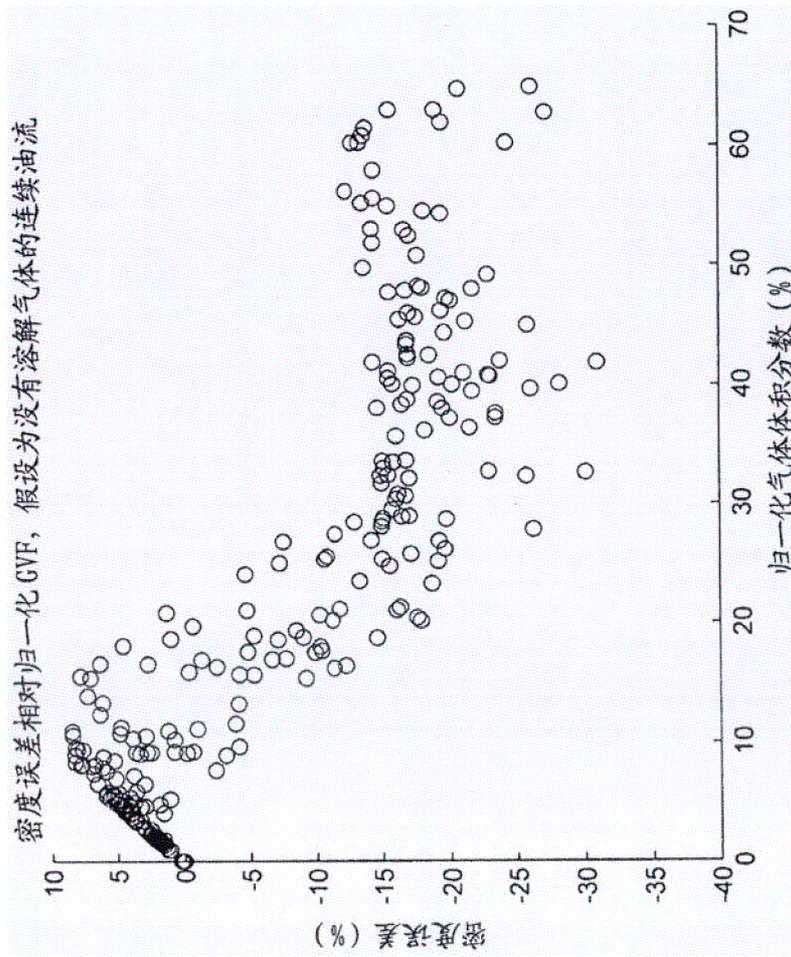


图13

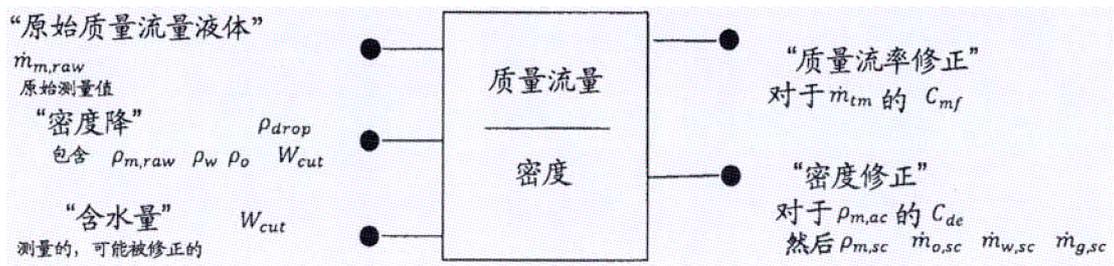


图14

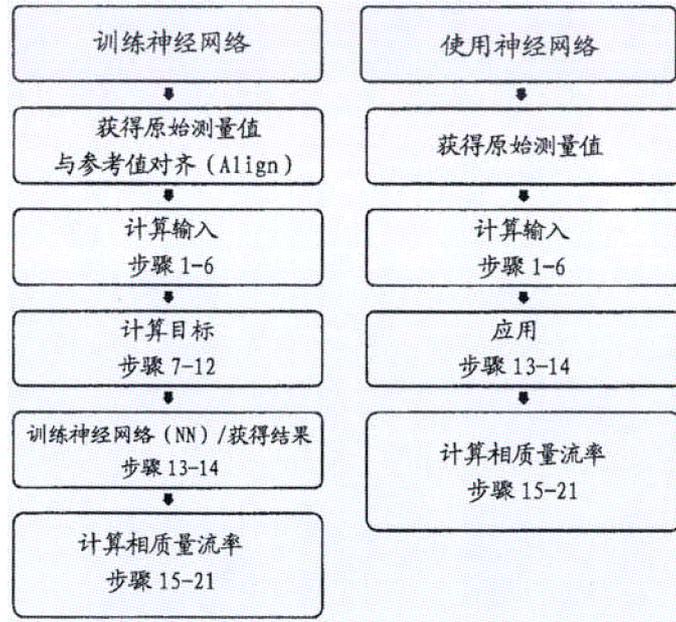


图15

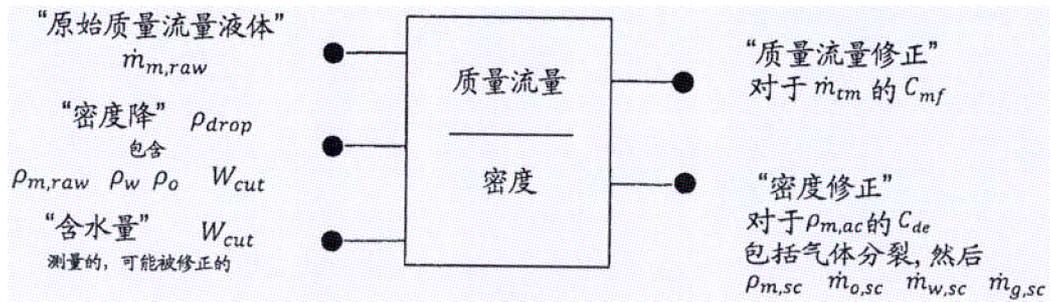


图16

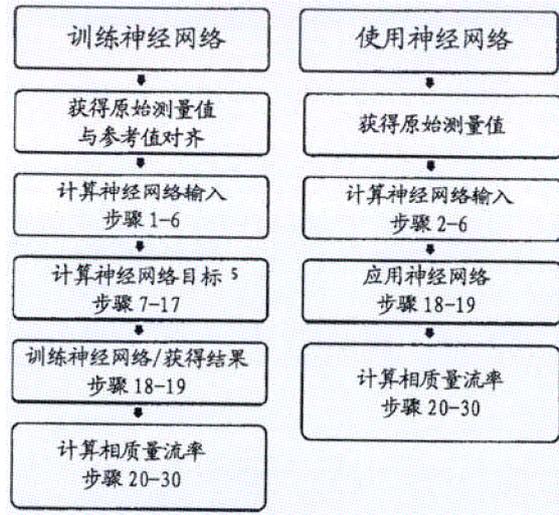


图17

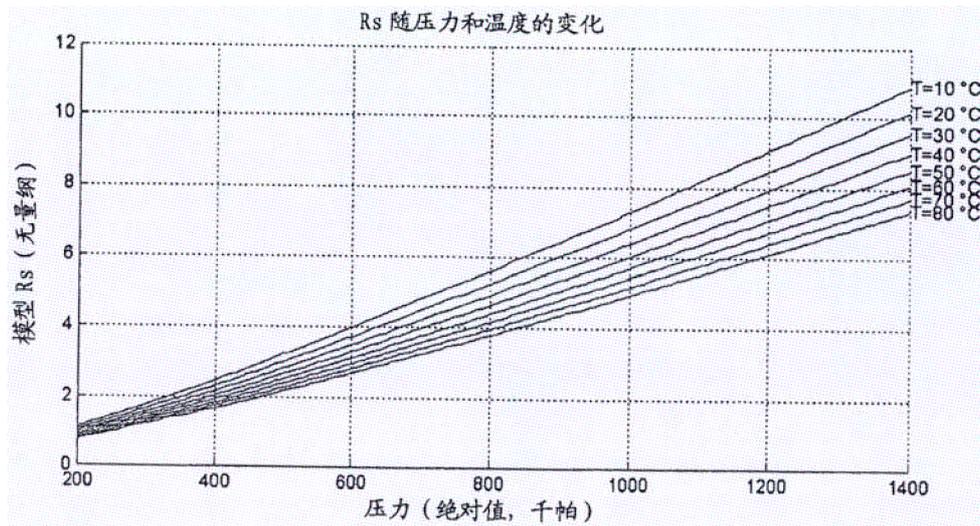


图18

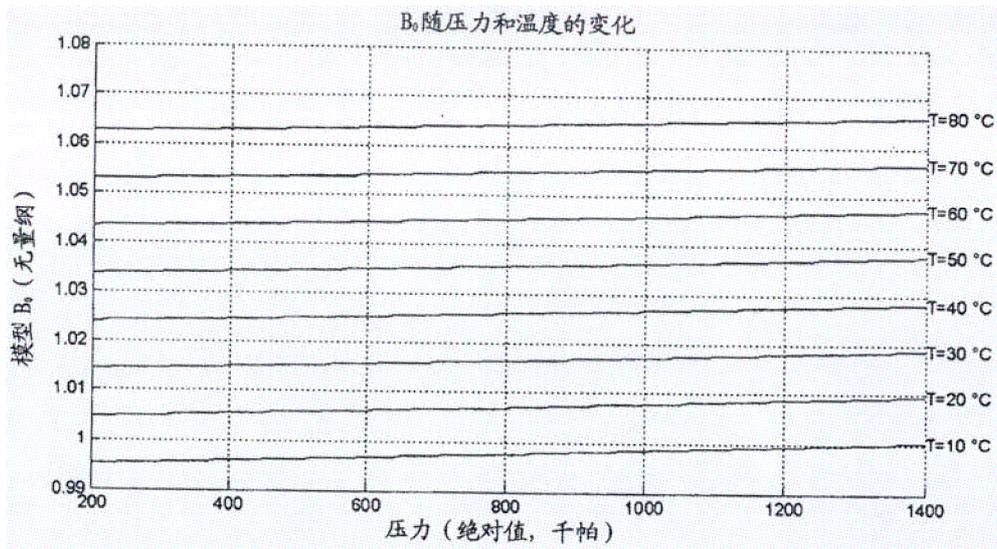


图19

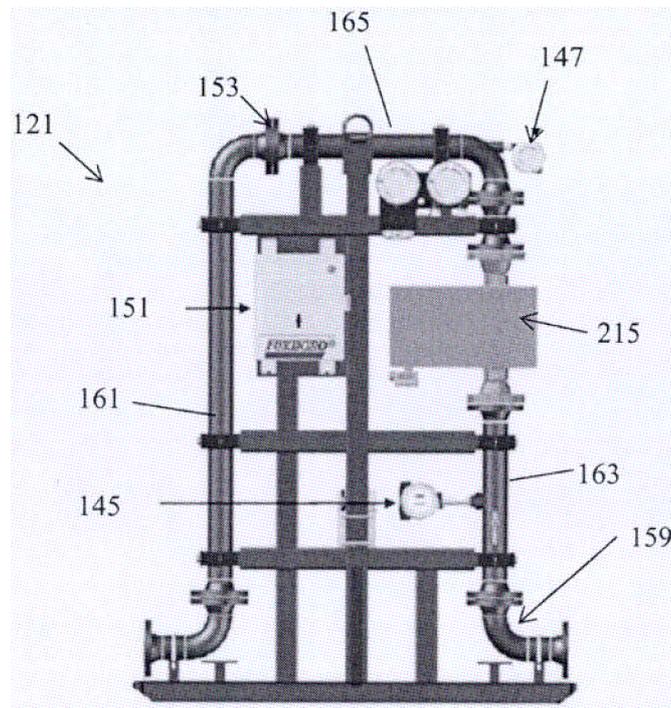


图20

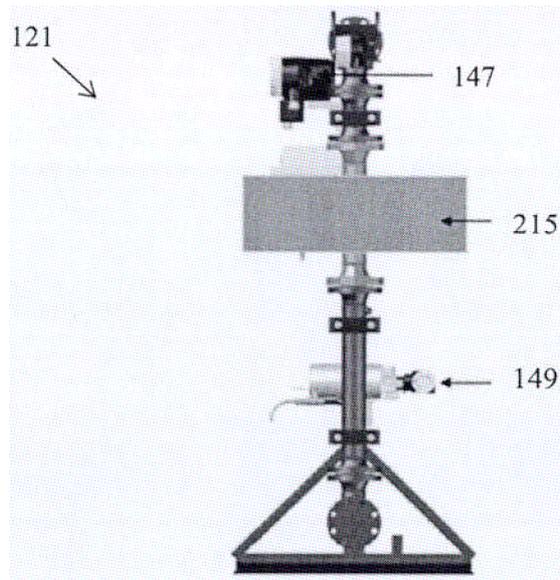


图21

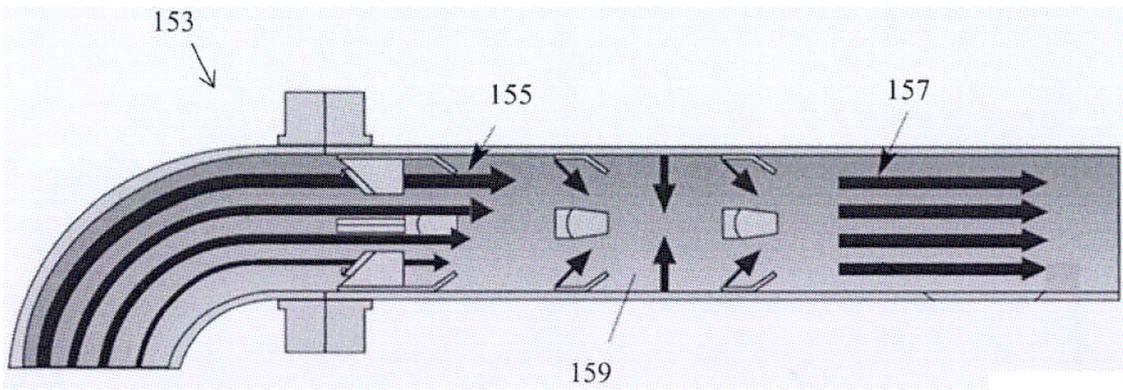


图22

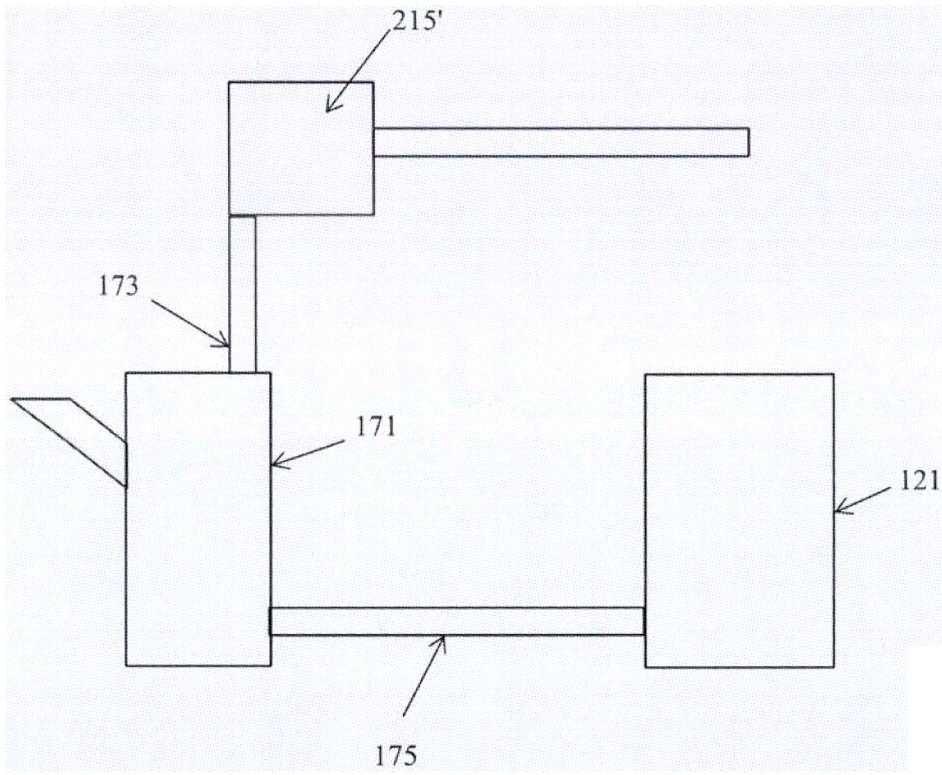


图23