



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102812344 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 23

- (21) 申请号 201180008498. 0 CN 1225722 A, 1999. 08. 11,
(22) 申请日 2011. 02. 04 EP 1306659 A2, 2003. 05. 02,
US 7597008 B2, 2009. 10. 06,
(30) 优先权数据 US 2007/0186684 A1, 2007. 08. 16,
1001948. 7 2010. 02. 06 GB 审查员 丁丽君
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2012. 08. 06
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2011/000154 2011. 02. 04
(87) PCT国际申请的公布数据
W02011/095784 EN 2011. 08. 11
(73) 专利权人 莫伯蕾有限公司
地址 英国伯克郡
(72) 发明人 闫亭湖 乔治·麦克唐纳
大卫·马尔科姆·坎贝尔
(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227
代理人 魏金霞 田军锋
(51) Int. Cl.
G01N 9/00(2006. 01)
G01F 1/84(2006. 01)
(56) 对比文件
US 2008/0257066 A1, 2008. 10. 23,

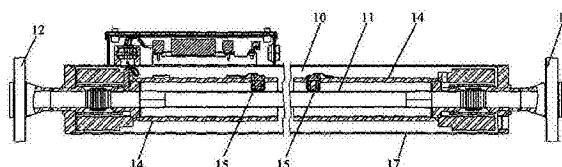
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

校准振动管式密度计的方法及设备

(57) 摘要

本发明提供一种对用于在组合升高的温度和压力下操作的振动管式密度计进行校准的方法。



1. 一种校准振动管式密度计的方法,包括以下步骤:

在基准温度和基准压力条件下确定密度系数;在所述基准压力条件下确定温度影响修正系数;以及在所述基准温度条件下确定压力影响修正系数,

所述方法的特征在于,所述方法包括确定一个或多个另外的修正系数以补偿在超过所述基准温度和所述基准压力的温度和压力的组合下产生的温度-压力耦合影响。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述另外的修正系数通过使用密度基本上在所囊括的特定密度范围的两个端值处的两种流体对密度计进行校准来确定,每种流体都处在超过所述基准温度和所述基准压力的温度和压力的组合下。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其中,通过使用密度基本上在所囊括的特定密度范围的中间点处的单一流体对密度计进行校准来得到单个另外的修正系数,所述单一流体处在超过所述基准温度和所述基准压力的温度和压力的组合下。

4. 一种用于校准振动管式密度计的设备,包括:

用于在基准温度和基准压力条件下确定密度系数的装置;

用于在所述基准压力条件下确定温度影响修正系数的装置;以及

用于在所述基准温度条件下确定压力影响修正系数的装置,

所述设备的特征在于,所述设备包括用于确定一个或多个另外的修正系数以补偿在超过所述基准温度和所述基准压力的温度和压力的组合下产生的温度-压力耦合影响的装置。

校准振动管式密度计的方法及设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种振动管式密度计。

背景技术

[0002] 振动管式密度计是用来测量流动介质的密度的一种众所周知的仪器形式。英国专利 2062865 中描述了这种仪器形式的一个示例。

[0003] 在操作中,振动管式密度计被激发,从而按特定模式以其共振频率振动。该共振频率受管内盛有的或者从管中流过的流体的密度变化的影响。所指示的密度还受到振动管承受的流体温度和 / 或流体压力的影响。

[0004] 这就要求对每个密度计进行校准,根据以下内容能够更容易地理解:

[0005] 内含流体的振动管式密度计的共振频率可以表达为:

$$[0006] \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_r + V_f \cdot \rho_f}} \quad (\text{方程式 1})$$

[0007] 其中,

[0008] f 是盛有流体的振动管式密度计的共振频率

[0009] m_r 是振动管式密度计内的振动元件的质量

[0010] V_f 是盛装在共振元件中的流体的体积

[0011] ρ_f 是盛装在共振元件中的流体的密度

[0012] k 是共振元件的刚度

[0013] 上述参数中, m_r 是常量。所有其它参数都随测量条件——即,主要是 温度(t)和压力(p)——而变化,因此我们有分别为温度和压力的函数的 $V_f(t, p)$ 、 $\rho_f(t, p)$ 、 $k(t, p)$ ——即,流体体积、流体密度和共振元件刚度。

[0014] 在测量条件下,盛有流体的振动管式密度计的共振频率(f)不但随流体密度 $\rho_f(t, p)$ 变化,而且随流体体积 $V_f(t, p)$ 和共振元件刚度 $k(t, p)$ 变化, $\rho_f(t, p)$ 及 $V_f(t, p)$ 和 $k(t, p)$ 都受振动管式密度计的温度 / 压力作用影响。

[0015] 方程式 1 可以按照流体密度改写为:

$$[0016] \quad \rho_f = K_0 + K_2 \tau^2 \quad (\text{方程式 2})$$

[0017] 其中, $K_0 = -m_r/V_f$, $K_2 = k/(4\pi^2 V_f)$, $\tau = 1/f$ 为振动周期。

[0018] 因为方程式 1 只是盛有流体的振动管式密度计的实际行为的一阶近似计算,已经提出更加通用的方程式用于特定振动管式密度计的校准。

[0019] 这样的通用方程式的其中一个例子是:

$$[0020] \quad D = K_0 + K_1 \cdot \tau + K_2 \cdot \tau^2 \quad (\text{方程式 3})$$

[0021] 其中 K_0 、 K_1 和 K_2 是要校准的密度系数, D 是指示流体密度, τ 是振动周期。

[0022] 校准这种密度计的一个方法是在整个操作温度和压力范围内,通过在上述条件下密度已知的流体,确定 K_0 、 K_1 和 K_2 。然后可以推出 K_0 、 K_1 、 K_2 与压力和温度的关系。这种方法需要大量的校准点。

[0023] 另外一个校准这种密度计的方法是首先确定在基准温度和压力条件——例如，温度 $t_0=20^\circ\text{C}$ 且大气压力 $p_0=1\text{BarA}$ ——下的密度系数 K_0 、 K_1 和 K_2 ；然后确定在基准压力条件下密度计的温度影响；再确定在基准温度条件下密度计的压力影响。换句话说，在基准压力条件下校准密度计的温度影响，在基准温度条件下校准密度计的压力影响。

[0024] 这样校准的密度计在其它温度和升高的压力下操作时，首先计算指示密度，然后做上述在基准压力条件下表现的温度影响和上述在基准温度条件下表现的压力影响的修正。例如：

[0025] 一种温度修正形式为：

$$[0026] \quad D_t = D \cdot (1 + K_{18} \cdot (t - t_0)) + K_{19} \cdot (t - t_0) \quad (\text{方程式 4})$$

[0027] 其中 t 是操作温度， t_0 是基准温度， K_{18} 和 K_{19} 是温度修正系数常量。温度修正系数常量 K_{18} 和 K_{19} 通常在大气压力 $p_0=1\text{BarA}$ 下校准。在复杂的情况下，如果必要或希望， K_{18} 和 K_{19} 可以表达为温度的函数。

[0028] 一种压力修正形式为：

$$[0029] \quad D_p = D_t \cdot (1 + K_{20} \cdot (p - p_0)) + K_{21} \cdot (p - p_0) \quad (\text{方程式 5})$$

$$[0030] \quad K_{20} = K_{20A} + K_{20B} \cdot (p - p_0) + K_{20C} \cdot (p - p_0)^2 \quad (\text{方程式 6})$$

$$[0031] \quad K_{21} = K_{21A} + K_{21B} \cdot (p - p_0) + K_{21C} \cdot (p - p_0)^2 \quad (\text{方程式 7})$$

[0032] 其中 p 是操作压力， p_0 是基准压力， K_{20A} 、 K_{20B} 、 K_{20C} 、 K_{21A} 、 K_{21B} 和 K_{21C} 是压力修正系数常量。压力修正系数常量 K_{20A} 、 K_{20B} 、 K_{20C} 、 K_{21A} 、 K_{21B} 和 K_{21C} 通常在基准温度 $t_0=20^\circ\text{C}$ 下校准。如果必要或希望， K_{20} 和 K_{21} 可扩展为压力的更高阶多项式函数，或者表达为其它的压力函数。

[0033] 以上描述的校准方法的一个问题在于，在组合升高的压力和温度的条件下，修正密度值 D_p 与被测流体的真实密度存在测量误差。例如，在 80°C 和 100BarG 的组合条件下对于基密度为 826.8kg/m^3 的流体，测量误差可以高达 0.25% 或者 2kg/m^3 。这会超出很多应用、尤其是财政计量应用的误差接受水平。

[0034] 本发明的目的是提供一种校准振动管式密度计的方法，其至少部分地解决所描述的问题，或者至少为该领域提供一种创新且有用的附加方法。

发明内容

[0035] 因此，本发明提供一种校准振动管式密度计的方法，其包括以下步骤：在基准温度和基准压力条件下确定密度系数；在所述基准压力条件下确定温度影响修正系数；以及在所述基准温度条件下确定压力影响修正系数；

[0036] 所述方法的特征在于，所述方法包括确定一个或多个另外的修正系数以补偿在组合升高的温度和压力的条件下产生的温度-压力耦合影响。

[0037] 所述另外的修正系数可通过使用密度基本上在所囊括的特定密度范围的两个端值处的两种流体对密度计进行校准来确定，每种流体都处在组合升高的温度和压力下。

[0038] 或者，通过使用密度基本上在所囊括的特定密度范围的中间点处的单一流体对密度计进行校准来得到单个另外的修正系数，所述单一流体处在组合升高的温度和压力下。

[0039] 通过阅读下面的描述，可以实施本发明的很多变化将展现给本领域技术人员。这

些描述不应当作为是限制性的而应仅当作是对实施本发明的一种方式说明。只要适合,任何要素或部分都应当被认为是包括其被具体提及或没有具体提及的任何或所有等同替代物。

附图说明

- [0040] 现在参照附图描述本发明的一种工作实施方式,附图中:
- [0041] 图 1 示出本发明可适用的振动管式密度计的示例的截面图;
- [0042] 图 2 示出图 1 所示密度计的一种振动模式;
- [0043] 图 3 示出目前校准的振动管式密度计对第一种流体的表现;
- [0044] 图 4 示出目前校准的与图 3 的示例中所用相同的密度计对第二种流体的表现;
- [0045] 图 5 示出按照根据本发明的第一种方法校准的、图 3 的示例中使用的密度计的对第一种流体的表现;
- [0046] 图 6 示出按照根据本发明的第一种方法校准的、图 3 的示例中使用的密度计的对第二种流体的表现;
- [0047] 图 7 示出按照根据本发明的第二种方法以第一种流体校准的、图 3 的示例中使用的密度计的对第二种流体的表现。

具体实施方式

[0048] 如下文要更加详细描述,本发明提供一种将在组合升高的温度和压力下造成的温度-压力耦合影响考虑在内的校准振动管式密度计的方法。

[0049] 参见图 1,振动管式密度计 10 是为本领域技术人员所熟知的。振动管 11 被保持在一对法兰 12 之间,在使用中法兰 12 与携带密度待测量的流体的管上的类似法兰之间相连接。套筒 14 环绕管 11 的端部并带有线圈 15,线圈 15 定位成接近管 11 的最大侧向位移点,如图 1 所示。使用时给线圈通电以使管按图 2 所示的模式以其固有频率振动。

[0050] 外护套 17 固定在附连于管 11 的两端的轴环之间。

[0051] 这种形式的仪器的更加详尽的描述能够在例如英国专利 2062865 中找到。

[0052] 尽管本文提供的描述采用图 2 中示出的侧向振动模式,本领域技术人员能够理解此处所描述的通用校准方法同样适用于构造成以其它模式振动的振动管式密度计。

[0053] 通常,振动管式密度计不在组合升高的温度和压力条件下进行校准。例如,上述提到的密度系数 K_0 、 K_1 和 K_2 是在 20°C 和 1BarA 的基准条件下确定的;温度修正系数 K_{18} 和 K_{19} 是在基准压力为 1BarA 的条件下确定的;压力修正系数 K_{20A} 、 K_{20B} 、 K_{20C} 、 K_{21A} 、 K_{21B} 和 K_{21C} 是在基准温度为 20°C 的条件下确定的。

[0054] 本发明提出根据以下表达式针对在组合升高的温度和压力下遗留的温度-压力耦合作用校准和修正振动管式密度计的方法:

$$[0055] \quad D_{pt} = D_p \cdot (1 + K_{22} \cdot (t - t_0) \cdot (p - p_0)) + K_{23} \cdot (t - t_0) \cdot (p - p_0) \quad (\text{方程式 8})$$

[0056] 或

$$[0057] \quad D_{pt} = D_p + (D_p \cdot K_{22} + K_{23}) \cdot (t - t_0) \cdot (p - p_0) \quad (\text{方程式 9})$$

[0058] 或

$$[0059] \quad D_{pt} = D_p + K_{pt} \cdot (t - t_0) \cdot (p - p_0) \quad (\text{方程式 10})$$

[0060] 其中,

[0061] D_{pt} 是进行了温度 - 压力耦合影响修正的最终指示密度,

[0062] K_{22} 和 K_{23} 是温度 - 压力耦合影响系数常量,

[0063] $K_{pt} = D_p \cdot K_{22} + K_{23}$ 是在测量条件下的流体的温度 - 压力耦合影响系数。

[0064] K_{22} 和 K_{23} 为要校准的系数, 通常 K_{22} 和 K_{23} 可以假设为常量, 即不受温度和压力影响。在复杂的情况下 K_{22} 和 K_{23} 可以被表达为压力和温度的函数。

[0065] 已发现, 对于给定温度的流体, 温度 - 压力耦合影响修正值 ($D_{pt} - D_p$) 与压力差值 ($p - p_0$) 近似成比例; 另外, 比例常数与温度差值 ($t - t_0$) 近似成比例。

[0066] 原则上, 温度 - 压力耦合影响系数 K_{pt} 取决于流体密度, 然而已经发现, 在限定的有限密度范围——例如 $\pm 100 \text{kg/m}^3$ ——内, K_{pt} 可以近似于常量, 因而简化校准。

[0067] K_{22} 和 K_{23} 可以通过用具有在所关心的指定密度范围的两个端值处的密度的两种流体校准的密度计来确定, 每种流体都处在另外的组合升高的温度和升高的压力的条件下。

[0068] 由此得到以下两个方程式:

$$[0069] \quad D_{pt}(1) = D_p(1) \cdot (1 + K_{22} \cdot (t(1) - t_0) \cdot (p(1) - p_0)) + K_{23} \cdot (t(1) - t_0) \cdot (p(1) - p_0) \quad (\text{方程式 11})$$

[0070] 和

$$[0071] \quad D_{pt}(2) = D_p(2) \cdot (1 + K_{22} \cdot (t(2) - t_0) \cdot (p(2) - p_0)) + K_{23} \cdot (t(2) - t_0) \cdot (p(2) - p_0) \quad (\text{方程式 12})$$

[0072] 现在令:

$$[0073] \quad C(1) = (t(1) - t_0) \cdot (p(1) - p_0) \quad (\text{方程式 13})$$

[0074] 并且,

$$[0075] \quad C(2) = (t(2) - t_0) \cdot (p(2) - p_0) \quad (\text{方程式 14})$$

[0076] 通过方程式 11 和 12, K_{22} 和 K_{23} 可以被推导成:

$$[0077] \quad K_{22} = \frac{(D_{pt}(1) \cdot C(2) - D_{pt}(2) \cdot C(1)) - (D_p(1) \cdot C(2) - D_p(2) \cdot C(1))}{(D_p(1) - D_p(2)) \cdot C(1) \cdot C(2)} \quad (\text{方程式 15})$$

[0078] 和

$$[0079] \quad K_{23} = \frac{D_{pt}(1) - D_p(1) \cdot (1 + K_{22} \cdot C(1))}{C(1)} \quad (\text{方程式 16})$$

[0080] 另一替代方法是推导出单个修正系数 K_{pt} 。在有限的密度范围内, K_{pt} 可以近似为常量, 因此简化了对温度 - 压力耦合影响的修正。 K_{pt} 可以通过在另外的组合升高的温度和升高的压力的条件下使用密度在所关心的指定密度范围的中间的单一流体校准密度计来确定。

[0081] 由此得到以下方程式:

$$[0082] \quad D_{pt} = D_p + K_{pt} \cdot (t - t_0) \cdot (p - p_0) \quad (\text{方程式 17})$$

[0083] 由方程式 17, K_{pt} 可以被推导为:

$$[0084] \quad K_{pt} = \frac{D_{pt} - D_p}{(t - t_0)(p - p_0)} \quad (\text{方程式 18})$$

[0085] 借助于对多种流体在多种组合升高的温度和压力条件下的更多的密度计校准点, K_{22} 、 K_{23} 和 K_{pt} 可以使用最小均方拟合法通过解出上述方程式 8、9 或 10 来确定。

[0086] 校准

[0087] 密度计安装在温度和压力受控的试验装置上,该试验装置流通基密度已知的第一校准流体。温度设定到 20° C,压力设定到 0bar 表压,使试验装置稳定。当试验装置稳定时,记录温度、压力和密度计读数的读数。

[0088] 将温度保持在 20° C 的同时,使压力逐步提高一直到最大压力。在每个压力级别,在获取同样一组读数之前,先使试验装置稳定。通常在五个压力点上获取读数,例如,在表压为 0bar、30bar、50bar、70bar 和 100bar 获取读数。

[0089] 当在 20° C 下的所有压力读数的数据都采集起来之后,系统温度上升到升高温度,通常上升到 60° C 或 80° C,然后在每个压力点(0bar、30 bar、50bar、70bar、100bar 表压)获取另一组读数。

[0090] 然后从试验装置上取下密度计,进行清洗后安装到第二相同的试验装置上,该第二相同的试验装置流通基密度不同但已知的第二校准流体。然后执行与上文所描述的校准步骤相同的校准步骤并获得同一系列的读数。

[0091] 接下来,清洗密度计并将其安装到流通基密度与第一和第二流体的基密度不同的第三流体的第三试验装置上。稳定后在 20° C 和 0bar 表压下获取一组读数。作为使用这种第三流体测量的备选方案,可以在温度受控的区域内在 20° C 下的空气中使用大气压进行测量来确定空气的密度。

[0092] 密度校准系数通常是以 20° C 和 0bar 表压为基准的。而实际上测量不会正好在 20° C 和 0bar 表压条件下,因此不可能彼此独立地计算密度系数、温度系数和压力系数。结果计算程序往往涉及循环计算和若干次迭代。概括的说, K_0 、 K_1 和 K_2 的值是从所有三种校准流体(或者用空气取代第三校准流体)在 20° C 和 0bar 下计算的; K_{18} 和 K_{19} 是从前两种校准流体在 20° C 以及在升高的温度和 0bar 下计算的; K_{20A} 、 K_{20B} 、 K_{21A} 、 K_{21B} 和 K_{21C} 是使用前两种校准流体在 20° C 和在各个压力点下计算的; K_{22} 和 K_{23} 是使用所有数据的结合计算的。

[0093] 试验结果

[0094] 图 3 至图 7 显示了使用现有校准方法的目前表现和使用此处提出的替代方法得到新的表现之间的对比。在所有情况下,示出了在一系列温度 / 压力组合下的密度测量误差。

[0095] 图 3 和图 5 所示的例子中使用的流体的基密度为 826.8kg/m³,而图 4、图 6 和图 7 所示的例子中使用的流体的基密度为 914.0kg/m³。

[0096] 从图 3 和图 4 可以清楚地看到,在没有对温度 - 压力的耦合影响进行修正的情况下,在组合升高的温度和压力的条件下,产生明显的密度测量误差。

[0097] 参见图 5 和图 6,通过按上述方式计算和应用修正系数 K_{22} 和 K_{23} ,温度 - 压力耦合影响引起的遗留密度测量误差基本得到修正。

[0098] 图 7 显示了使用根据上述第二种方法或替代方法用基密度为 826.8 kg/m³的流体校准的 K_{pt} 值的密度计对基密度为 914kg/m³的流体的误差。能够看到温度 - 压力耦合影响引起的遗留密度测量误差也基本得到修正。

[0099] 关于图 7 的例子,应该明确的是,由于只有两种校准流体,我们能够证明如果 K_{pt} 值是在密度为 826.8kg/m³(即,作为中间值被采用)的条件下进行校准的,经测试,所得到的结果 K_{pt} 值也适用于密度为 914.0kg/m³的流体。

[0100] 能够看到,在温度和压力组合为 80° C 和 101barA 的条件下,与按照现行方法校准

时在相同的温度 / 压力组合条件下用基密度分别为 826.8kg/m^3 和 914.0kg/m^3 的同样的流体产生的 2.0kg/m^3 和 1.8kg/m^3 的误差相比,这两种方法得到的密度测量误差要小很多。

[0101] 因此按照本发明提出的方法,在组合升高的温度和压力的条件下密度计的测量表现相较于其目前的表现有明显提高。

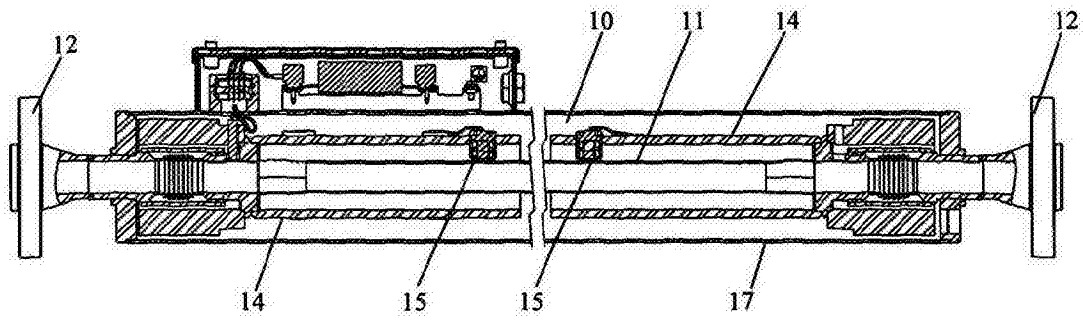


图 1

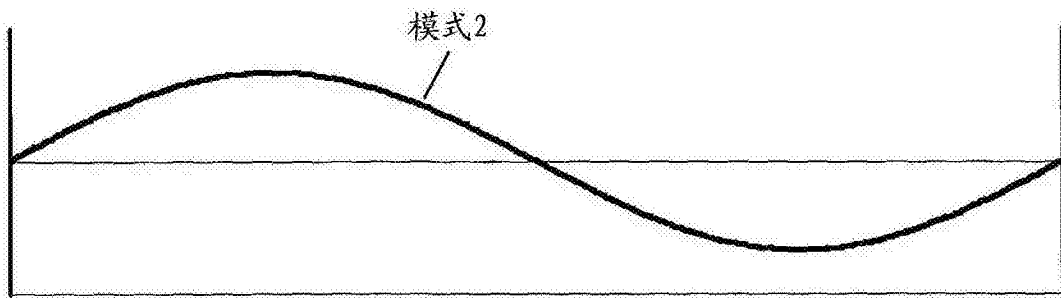


图 2

在组合的温度和压力条件下对基密度为 826.8 kgm^{-3} 的流体的目前表现

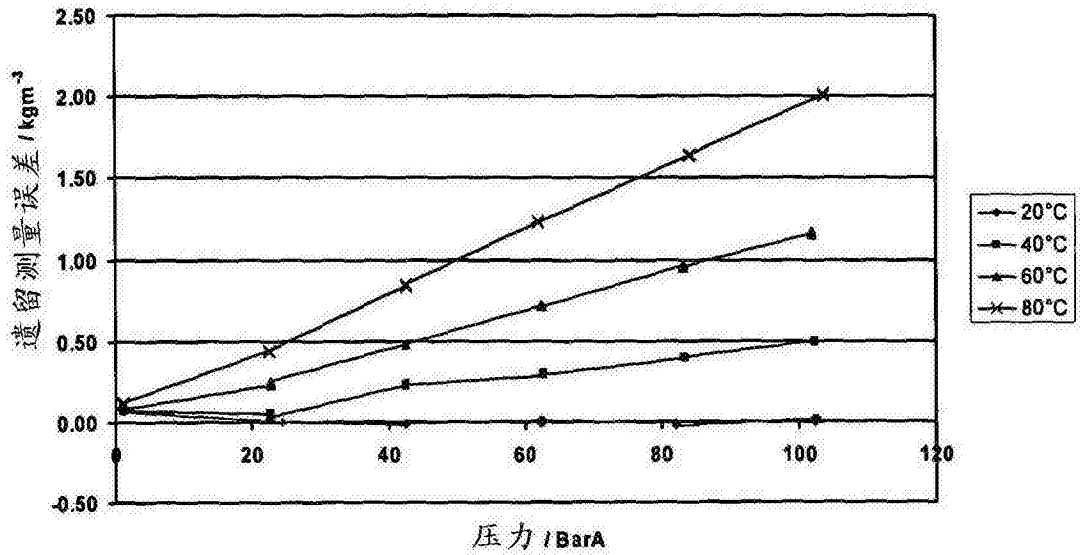


图 3

在组合的温度和压力条件下对基密度为 914.0 kgm^{-3} 的流体的目前表现

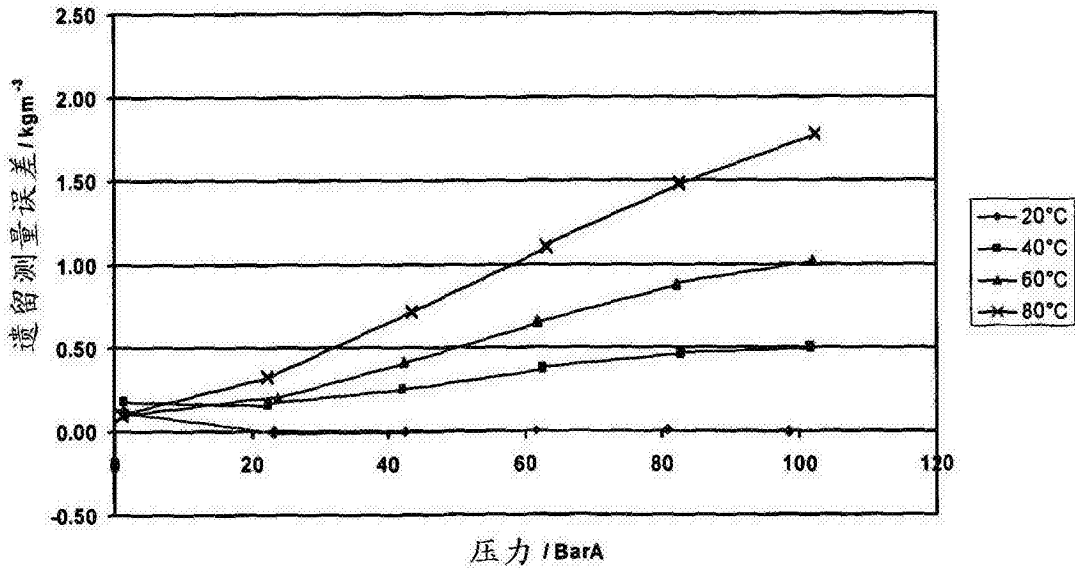


图 4

使用 $K_{2,2}$ 和 $K_{2,3}$ 在组合的温度和压力条件下对基密度为 826.8 kgm^{-3} 的流体的新表现

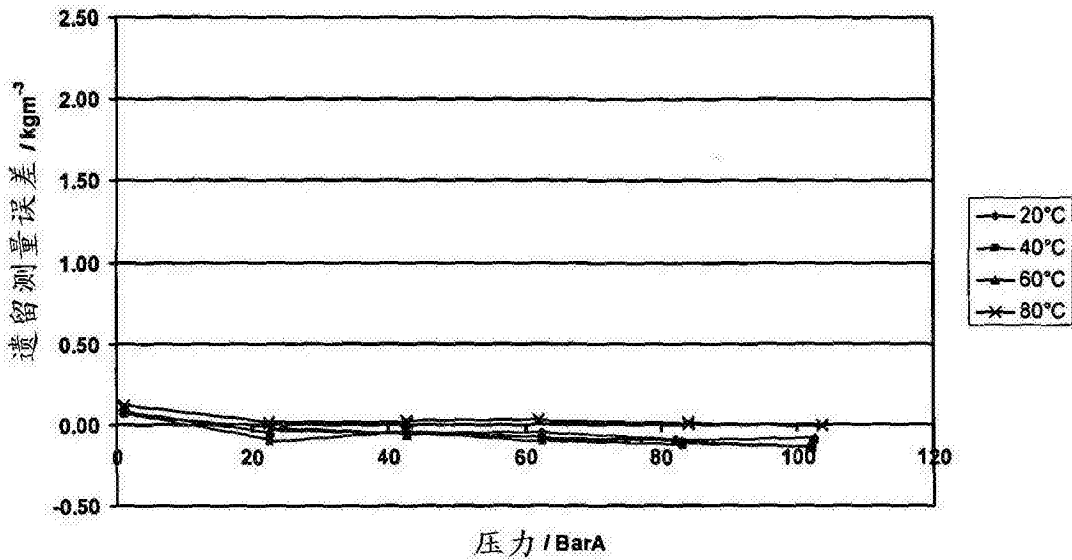


图 5

使用 K_{22} 和 K_{23} 在组合的温度和压力条件下对基密度为 914.0 kgm^{-3} 的流体的新表现

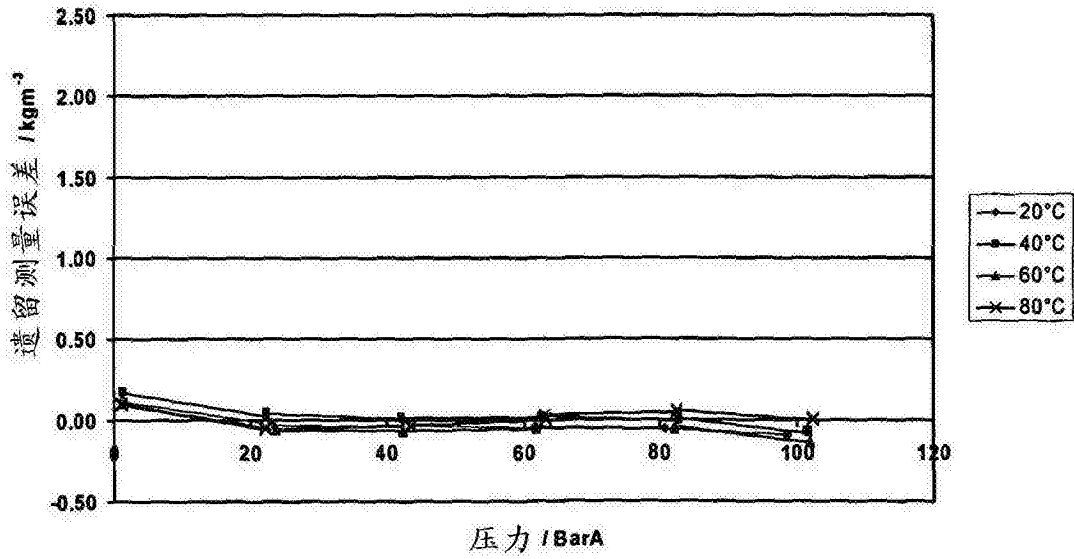


图 6

使用 K_{p1} 在组合的温度和压力条件下对基密度为 914.0 kgm^{-3} 的流体的新表现

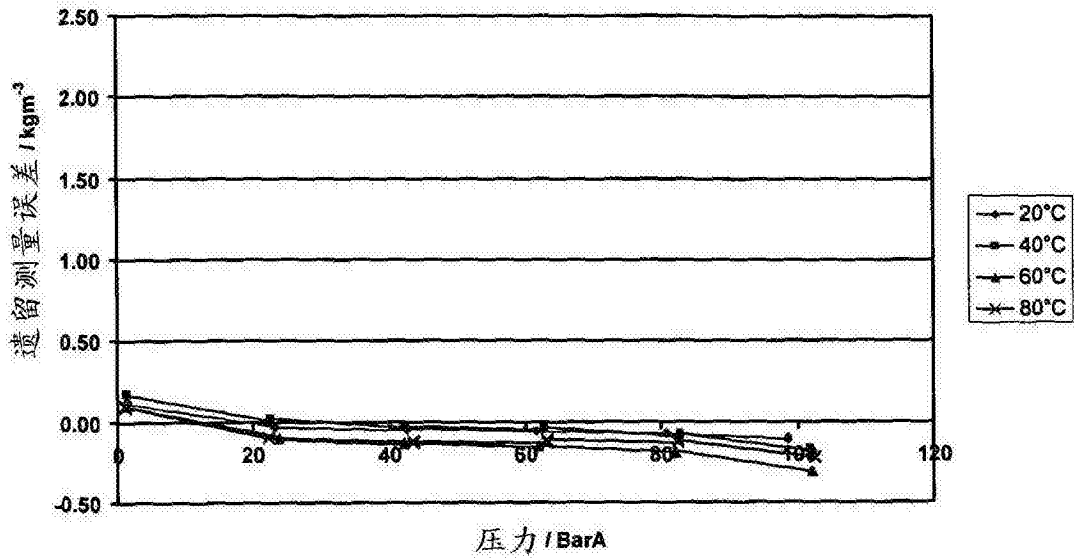


图 7