(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 207990210 U
(45)授权公告日 2018.10.19

(21)申请号 201721221685.8

(22)申请日 2017.09.21

(73)专利权人 北京陆海善道科技发展有限公司
地址 102600 北京市大兴区清源北路19号院1号楼3层310室
专利权人 成都龙啸投资有限公司

(72)发明人 王凯 吴希 代林

(74)专利代理机构 北京思创大成知识产权代理有限公司 11614
代理人 张清芳

(51)Int.Cl.
F17D 3/18(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

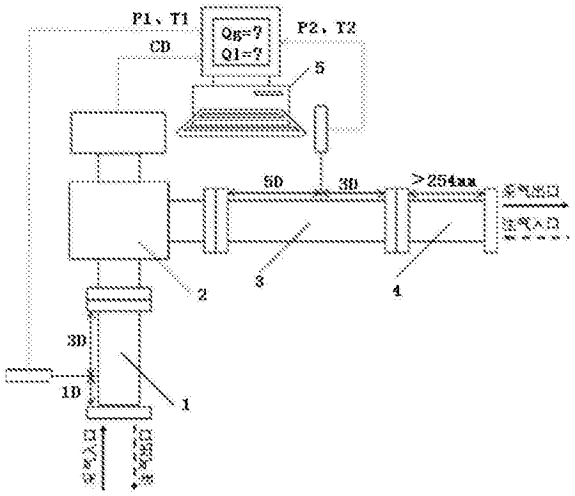
权利要求书1页 说明书9页 附图2页

(54)实用新型名称

天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置

(57)摘要

本实用新型公开了一种天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置。该装置包括依次连接的第一温压测取直管、节流阀和第二温压测取直管，第一温压测取直管的一端连通于储气库，另一端连通于节流阀，第二温压测取直管的一端伸出储气库，另一端连通于节流阀；压力传感器，压力传感器分别设置在采第一温压测取直管和第二温压测取直管上；温度传感器，温度传感器分别设置在第一温压测取直管和第二温压测取直管上；计量处理装置，计量处理装置通信连接于节流阀、压力传感器及温度传感器，用于计算气体流量。本实用新型的装置结构简单，工作范围宽广且性能稳定，不受流态、相态、凝析液、固体杂质等因素的干扰。



CN 207990210 U

1.一种天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，所述装置包括：

依次连接的第一温压测取直管、节流阀和第二温压测取直管，所述第一温压测取直管的一端连通于所述储气库，另一端连通于所述节流阀，所述第二温压测取直管的一端伸出所述储气库，另一端连通于所述节流阀；

压力传感器，所述压力传感器分别设置在所述第一温压测取直管和第二温压测取直管上；

温度传感器，所述温度传感器分别设置在所述第一温压测取直管和第二温压测取直管上；

计量处理装置，所述计量处理装置通信连接于所述节流阀、所述压力传感器及所述温度传感器，用于计算气体流量。

2.根据权利要求1所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，所述第一温压测取直管和第二温压测取直管垂直设置，所述节流阀设置在拐角处。

3.根据权利要求1所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，进一步包括标定接头直管，所述标定接头直管连接于所述第二温压测取直管的一端。

4.根据权利要求3所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，标定接头直管与所述第二温压测取直管为可拆卸的安装。

5.根据权利要求3所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，所述第一温压测取直管、所述节流阀、所述第二温压测取直管、所述标定接头直管依次通过法兰严密连接而成。

6.根据权利要求1所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，所述计量处理装置为远程计算机工作站或单片机。

7.根据权利要求1所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，所述第一温压测取直管的一端连通于储气库作为采气入口和注气出口，所述第二温压测取直管的一端伸出储气库作为注气入口和采气出口。

8.根据权利要求1所述的天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，其特征在于，所述节流阀设置有开度传感器。

天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置

技术领域

[0001] 本实用新型属于天然气地下储气库井口注采双向计量技术领域领域，更具体地，涉及一种利用节流阀节流原理进行计量的装置，主要用于天然气地下储气库在注气和采气过程中，实现单井的实时、在线、连续、气液分相的双向计量功能，属于一种内部计量器具。

背景技术

[0002] 天然气地下储气库(简称“储气库”)是确保向天然气用户平稳供气的最佳选择，具有储存量大、安全性高、使用年限长、经济易行等优点，是目前较为普遍采用的一种天然气存储设施。储气库地面井组中各单井的注气计量数据和采气计量数据是评价该区域地层天然气储存能力和采出能力的重要依据。储气库注采单井要求双向计量、承载高低压交替变化，而且在注采气成分、压力、流量、相态、流态变化较大条件下仍然能保证较高的计量精度及可靠度等特点，对计量仪表提出了较为苛刻的要求，因此选用适合储气库运行工况特点的计量装置至关重要。

[0003] 目前储气库井口注采双向计量多采用靶式流量计和超声流量计。靶式流量计根据伯努利方程，当介质在测量管中流动时，因其自身的动能与靶板产生压差，而产生对靶板的作用力，使靶板产生微量的位移，其作用力的大小与介质流速的平方成正比。这样，传感器获得的信号可换算为流体的流量。靶式流量计结构简单，没有滑动、转动可动部件，主要用于测量高粘度、低雷诺数的流体。当靶式流量计用于储气库井口双向计量时，由于靶板安装于管道中，需要与气流接触，在注采气过程中，固体颗粒、油、水等固液态杂质对靶板形成交变载荷，容易受气流流速、气流冲蚀、杂质干扰、采出液波动等复杂工况的影响，造成计量误差偏大。

[0004] 超声流量计主要通过信号传输时差校正原理来测量介质流量，其换能器在逆流和顺流方向同时发射和接收信号，当介质流动时，信号在介质中传播会跟随流动产生位移，其传播的时间在顺流方向小于逆流方向，而此时间差与平均介质流动的速度成正比例关系，通过测量此时间差，即可计算出介质流量。超声换能器与气体直接接触时，称为插入式超声流量计；超声换能器不与气体直接接触时，称为外夹式超声流量计。超声波流量计具有测量精度高、可靠性强、无扰动部件、压力损失小等特点，尤其适用于大管径气体流量的高精度计量(管径可达1.6m、精度0.5％)，但在储气库的实际应用过程中，天然气中的杂质及液滴、换能器定位误差、声学噪声干扰等因素会对测量结果造成误差。根据《用气体超声流量计测量天然气流量(GB/T 18604—2014)》国家标准，在正常输气工作条件下，在流量计表体内的附着物(如凝析液或带有加工杂质的油品残留物、灰和砂等) 会减少流量计的流通面积而影响计量准确度，同时附着物还会阻碍或衰减超声换能器发射和接收超声信号，或者影响超声信号在流量计表体内壁的反射，因此对流量计应定期检查清洗。

[0005] 以上靶式流量计和超声流量计(含插入式超声流量计和外夹式超声流量计)的性能对比见表1。从现场应用情况来看，注气阶段的计量难度不大，出现的问题较少；在采气初期，天然气气体中携带油分或者凝析地层水及岩屑杂质等，影响流量计的测量精度，容易造

成气量计量误差，当流量计承载静压差较大时，极易导致流量计阻流件卡阻、损坏或脱落。此外，靶式流量计和超声流量计均不能对注采井的凝析液或地层水进行计量。

[0006] 表1储气库双向流量计对比表

[0007]

种类	插入式超声流量计	靶式流量计	外夹式超声流量计
原理	传播时间差法	靶板受力与流速平方、密度成正比	传播时间差法

[0008]

测量方式	双向	双向	双向
应用地点	金坛储气库等	京 58 储气库群、相国寺储气库等	榆林储气库等
能否计量液相	否	否	否
性能特点	① 规格 2~48”，0~45MPa； ② 2 声道精度 1%，重复性 0.2%； ③ 可测流速 0.3～30m/s； ④ 量程比宽 100:1； ⑤ 测量管内无阻流件。	① 规格 1/2~60”，0~70MPa； ② 精度 2%，重复性 0.15%，最小流速可达 0.08m/s； ③ 量程比较宽 15:1； ④ 可测量湿气、脉动流。	① 规格 1/4~48”； ② 单声道精度 2%，重复性 0.2%； ③ 可测流速 0.01～35m/s； ④ 量程比宽 100:1； ⑤ 无阻流件，非接触测量，对介质压力、腐蚀性无要求。
缺点	① 管道节流振动、噪音对计量有影响； ② 湿天然气中水蒸汽对超声波影响大，积液时无法测量； ③ 要求外供电源，价格高。	① 介质中固体、纤维物对计量影响大； ② 传感器处于测量管，易冲刷； ③ 价格较高。	① 对安装要求严格，环境影响因素大，直管段较长，前后 20D； ② 要求外供电源； ③ 价格较高。

实用新型内容

[0009] 针对上述问题，本实用新型的目的提供一种具有数据自动采集功能的计量装置，为建设数字化储气库创造条件。实现在复杂气流环境中单井注采同管的双向、实时、在线、连续、气液分相计量，既可满足储气库关于内部计量的精度及可靠性要求，又能大幅度降低计量成本。

[0010] 为实现上述目的，本实用新型提供一种天然气地下储气库单井注采同管双向计量

装置，所述装置包括：

[0011] 依次连接的第一温压测取直管、节流阀和第二温压测取直管，所述第一温压测取直管的一端连通于所述储气库，另一端连通于所述节流阀，所述第二温压测取直管的一端伸出所述储气库，另一端连通于所述节流阀；

[0012] 压力传感器，所述压力传感器分别设置在所述第一温压测取直管和第二温压测取直管上；

[0013] 温度传感器，所述温度传感器分别设置在所述第一温压测取直管和第二温压测取直管上；

[0014] 计量处理装置，所述计量处理装置通信连接于所述节流阀、所述压力传感器及所述温度传感器，用于计算气体流量。

[0015] 进一步地，所述第一温压测取直管和第二温压测取直管垂直设置，所述节流阀设置在拐角处。

[0016] 进一步地，还包括标定接头直管，所述标定接头直管连接于所述第二温压测取直管的一端。

[0017] 进一步地，标定接头直管与所述第二温压测取直管为可拆卸的安装。

[0018] 进一步地，所述第一温压测取直管、所述节流阀、所述第二温压测取直管、所述标定接头直管依次通过法兰严密连接而成。

[0019] 进一步地，所述计量处理装置为远程计算机工作站或单片机。

[0020] 进一步地，所述第一温压测取直管的一端连通于储气库作为采气入口和注气出口，所述第二温压测取直管的一端伸出储气库作为注气入口和采气出口。

[0021] 进一步地，所述节流阀设置有开度传感器。

[0022] 本实用新型的装置结构简单，工作范围宽广且性能稳定，不受流态、相态、凝析液、固体杂质等因素的干扰。设置了标定接头，可方便地采用移动计量装置在不停产的条件下对本装置进行在线调试和定期标定，也可以采用下游生产分离器在启停井期间对本装置进行校准。

[0023] 而且，本实用新型的装置可同时为储气库(群)的多口井分别工作，进一步降低了计量成本，提高了运维管理效率。

[0024] 本实用新型的其它特征和优点将在随后具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0025] 通过结合附图对本实用新型示例性实施方式进行更详细的描述，本实用新型的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显，其中，在本实用新型示例性实施方式中，相同的参考标号通常代表相同部件。

[0026] 图1示出了本实用新型的计量装置结构示意图。

[0027] 图2示出了根据本实用新型的一个实施例的计量方法流程图。

[0028] 图3示出了根据本实用新型的一个实施例的节流过程示意图。

[0029] 附图标记说明：

[0030] 1、第一温压测取直管；2、节流阀；3、第二温压测取直管；4、标定接头直管；5、计量处理装置；D、管道内直径；P_1、P_2、测取点压力；T_1、T_2、测取点温度；CD、节流阀开度；Q_g、Q_l、气

相、液相的流量。

具体实施方式

[0031] 下面将更详细地描述本实用新型的优选实施方式。虽然以下描述了本实用新型的优选实施方式，然而应该理解，可以以各种形式实现本实用新型而不应被这里阐述的实施方式所限制。相反，提供这些实施方式是为了使本实用新型更加透彻和完整，并且能够将本实用新型的范围完整地传达给本领域的技术人员。

[0032] 下面结合附图和实施例对本实用新型进行详细的描述。

[0033] 如图1所示，本实用新型提供的一种天然气地下储气库单井注采同管双向计量装置，包括第一温压测取直管1、节流阀2(例如，角式针阀、笼套阀等)、第二温压测取直管3、标定接头直管4、计量处理装置5(例如，远程计算机工作站或安装在设备上的单片机等)，及计量处理装置5安装有计量应用程序。

[0034] 第一温压测取直管1、节流阀2、第二温压测取直管3、标定接头直管4依次通过法兰严密连接而成。标定接头直管4用连接移动计量装置(如车载旋风分离计量撬)的软管接头。

[0035] 压力传感器分别设置在第一温压测取直管1和第二温压测取直管3上，P_1和P_2分别为第一温压测取直管1和第二温压测取直管3上压力传感器的压力值。温度传感器分别设置在第一温压测取直管1和第二温压测取直管3 上，T_1和T_2分别为第一温压测取直管1和第二温压测取直管3上温度传感器的温度值。第一温压测取直管1的一端连通于储气库作为采气入口(注气出口)，另一端连通于节流阀2，第二温压测取直管3的一端伸出储气库作为注气入口(采气出口)，另一端连通于节流阀2。节流阀2设置有开度传感器。

[0036] 计量处理装置5通信连接于温压传感器、节流阀开度传感器并保持通讯状态，通过计量处理装置5的计量应用程序实时演算完成计量任务。本实用新型的装置可自动识别并完成储气库在注气、采气阶段，天然气不同流向、流量、流态、相态条件下的单井计量功能。

[0037] 通过计量处理装置5实时在线采集第一温压测取直管1、第二温压测取直管3及节流阀2的开度传感器的数据，导入计量应用程序在线演算完成。

[0038] 根据本实用新型的另一实施方式，提供一种天然气地下储气库单井注采同管双向计量方法，所述方法包括：

[0039] 采集压力、温度及节流阀开度数据；

[0040] 根据天然气组分以及采集的温度、压力数据的平均值，计算当前条件下天然气混合物的气相质量分数、液相质量分数、含水率及物性参数；

[0041] 判别当前的作业流程；

[0042] 如果当前为采气作业流程，则计算单井的气相流量和液相流量；

[0043] 如果当前为注气作业流程，则计算单井的气体流量。

[0044] 接下来，参照图2描述本实用新型的具体实施例。参照图2，计量方法的实施流程如下：

[0045] (1)输入天然气的组分(CH_4、C_2H_6、C_3H_8、C_4H_{10}、H_2O等)及其摩尔分数，并进行定期监测。本步骤并不是每次计量都需要输入的，如果组分发生较大变化，及时更新即可。

[0046] (2)采集井口节流阀前后的压力、温度及节流阀开度等实时数据。例如，可以基于OPC通讯协议，借助SCADA/DCS控制系统采集实时数据。

[0047] (3)根据天然气组分以及实时采集的温度压力数据的平均值，利用相平衡热力学计算模型计算当前条件下，天然气混合物的气、液相质量分数、含水率及物性参数等。物性参数包括密度、摩尔质量、比体积、比焓、比熵、比热、比内能、压缩因子、JT系数等参数。相平衡热力学计算模型选用本领域公认成熟的SRK模型、PR模型等，在此无需赘述。例如，可以通过计量应用程序中的“相平衡热力学计算模块”进行上述的计算过程。

[0048] (4)由节流阀前后压力P_1、P_2的相对大小，判别当前的作业流程。若 $P_1>P_2$，则为采气作业；反之则为注气作业。

[0049] (5)如果当前为采气作业状态，天然气中夹带有一定量的凝析液或地层水，计算单井的气相、液相流量，其理论雏形来源于Perkins模型，考虑了气液相之间的滑脱影响。例如，可以通过计量应用程序中的“多相流动力学计算模块”进行上述的计算过程。图3示出了节流过程示意图，参照图3，计算过程如下：

[0050] 引入气液相之间的滑脱比R：

[0051]

$$R = \frac{u_g}{u_L} \tag{1}$$

[0052] 式中，u_g、u_L分别为气、液相的当地流速。

[0053] 对亚临界流，滑脱比可用Grolmes&Leung模型描述：

[0054]

$$R = \alpha_0 \left(\frac{1-x_g}{x_g}\right)^{(\alpha_1-1)} \left(\frac{\rho_L}{\rho_g}\right)^{(\alpha_2+1)} \left(\frac{\mu_L}{\mu_g}\right)^{\alpha_3} \tag{2}$$

[0055] 式中，α_i (i＝0,1,2,3)为拟合常数；x_g为气相的质量分数；ρ_g、ρ_L分别为气相、液相的密度；μ_g、μ_L分别为气相、液相的动力粘度。

[0056] 考虑气液相之间的滑脱后，其混合密度ρ_m为：

[0057]

$$\frac{1}{\rho_{m2}} = \left[\frac{x_g}{\rho_{g2}} + \frac{R\left(1-x_g\right)}{\rho_{L2}}\right]\left[x_g + \frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right] \tag{3}$$

[0058] 假设气体在节流过程中作等熵膨胀运动，则对气液相混合物定义等熵膨胀指数：

[0059]

$$n = \frac{x_g k C_{vg} + \left(1-x_g\right) C_L}{x_g C_{vg} + \left(1-x_g\right) C_L} \tag{4}$$

[0060] 式中，k为气体绝热指数；C_{vg}、C_L分别为气、液相的定容比热容。

[0061] 根据热力学等熵运动的状态方程，则有：

[0062] $npdv=-vdp$ (5)

[0063] 式中，p为压力；v为比体积。

[0064] 积分上式，可得如下平衡关系：

[0065]

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^n \tag{6}$$

[0066] 根据Perkins模型，忽略气体内能影响，节流过程的气液多相流动的能量平衡方程可表述为：

[0067]

$$\frac{\mathrm{d}p}{\rho_m}=\frac{\dot{m}^2}{2}\left[\frac{1}{\rho_{m2}^2A_2^2}-\frac{1}{\rho_{m1}^2A_1^2}\right] \tag{7}$$

[0068] 式中，$\dot{m}$为气液相的混合质量流量。

[0069] 将式(3)、式(6)代入式(7)，可得：

[0070]

$$\left\{R\left(1-x_g\right)v_L\left(p_1-p_2\right)+\frac{x_gn}{n-1}\left[p_1V_{g1}-p_2V_{g2}\right]\right\}\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right]$$
$$=\frac{\dot{m}^2}{2\rho_{m2}^2A_2^2}\left(1-\frac{\rho_{m2}^2A_2^2}{\rho_{m1}^2A_1^2}\right) \tag{8}$$

[0071] 式中，v_g、v_L分别为气、液相的比体积。

[0072] 定义压力比r为：

[0073]

$$r=\frac{p_2}{p_1} \tag{9}$$

[0074] 将混合密度表达式(3)代入式(8)得：

[0075]

$$\left[R\left(1-x_g\right)v_Lp_1\left(1-r\right)+\frac{x_gn}{n-1}p_1V_{g1}\left(1-r^{\frac{n-1}{n}}\right)\right]$$
$$=\frac{\dot{m}^2}{2A_2^2}\left[x_gV_{g2}+R\left(1-x_g\right)v_L\right]^2\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right] \tag{10}$$
$$x\left\{1-\left[\frac{x_gV_{g1}+R\left(1-x_g\right)v_L}{x_gV_{g2}+R\left(1-x_g\right)v_L}\right]^2\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right\}$$

[0076] 同时，定义α：

[0077]

$$\alpha=\frac{R\left(1-x_g\right)v_L}{x_gV_{g1}} \tag{11}$$

[0078] 根据式(6)可得：

[0079]

$$V_{g2}=V_{g1}r^{-\frac{1}{n}} \tag{12}$$

[0080] 将式(11)、式(12)代入式(10)，有：

[0081]

$$\frac{\dot{m}^2}{2A_2^2}=\frac{\alpha p_1\left(1-r\right)+\frac{n}{n-1}p_1\left(1-r^{\frac{n-1}{n}}\right)}{x_g v_{g1}\left(r^{-\frac{1}{n}}+\alpha\right)^2\left[1-\left(\frac{1+\alpha}{r^{-\frac{1}{n}}+\alpha}\right)^2\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right]} \tag{13}$$

[0082] 进一步整理式(13)后,得:

[0083]

$$\dot{m}=\left\{\frac{2A_2^2p_1\left[\alpha\left(1-r\right)+\frac{n}{n-1}\left(1-r^{\frac{n-1}{n}}\right)\right]}{x_g v_{g1}\left(r^{-\frac{1}{n}}+\alpha\right)^2\left[1-\left(\frac{1+\alpha}{r^{-\frac{1}{n}}+\alpha}\right)^2\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right]}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{14}$$

[0084] 当$\frac{A_2}{A_1}=1$时,式(14)可进一步化简为:

[0085]

$$\dot{m}=\left\{\frac{2A_2^2p_1\left[\alpha\left(1-r\right)+\frac{n}{n-1}\left(1-r^{\frac{n-1}{n}}\right)\right]}{x_g v_{g1}\left(r^{-\frac{1}{n}}+\alpha\right)^2\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right]}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{15}$$

[0086] 当流态为临界流时,应满足以下微分方程:

[0087]

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\left(\frac{\dot{m}x_g v_{g1}}{2A_2^2p_1}\right)=0 \tag{16}$$

[0088] 积分上式,化简得:

[0089]

$$\left(r_c\right)^{1-\frac{1}{n}}=\frac{\alpha\left(1-r_c\right)+\frac{n}{n-1}}{\frac{n}{n-1}+\frac{n}{2}\left(1+\alpha r_c^{\frac{1}{n}}\right)^2\left[1-\left(\frac{1+\alpha}{r_c^{-\frac{1}{n}}+\alpha}\right)\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]} \tag{17}$$

[0090] 当$\frac{A_2}{A_1}=1$时,式(17)可进一步简化为:

[0091]

$$\left(r_c\right)^{1-\frac{1}{n}}=\frac{\alpha\left(1-r_c\right)+\frac{n}{n-1}}{\frac{n}{n-1}+\frac{n}{2}\left(1+\alpha r_c^{\frac{1}{n}}\right)^2} \tag{18}$$

[0092] 对式(17)或式(18)，采用迭代法即可解出r_c。

[0093] 当$r\geq r_c$时，流态为亚临界流，利用式(17)或式(18)计算质量流量$\dot{m}$；当$r<r_c$时，流态为临界流，其质量流量$\dot{m}$采用以下方法计算：

[0094]

$$\dot{m}=\left\{\frac{2A_2^2p_1\left[\alpha\left(1-r_c\right)+\frac{n}{n-1}\left(1-r_c^{\frac{n-1}{n}}\right)\right]}{x_gV_{g1}\left(r_c^{-\frac{1}{n}}+\alpha\right)^2\left[1-\left(\frac{1+\alpha}{r_c^{-\frac{1}{n}}+\alpha}\right)^2\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right]}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{19}$$

[0095] 如果$\frac{A_2}{A_1}=1$，可用下式进行简化计算：

[0096]

$$\dot{m}=\left\{\frac{2A_2^2p_1\left[\alpha\left(1-r_c\right)+\frac{n}{n-1}\left(1-r_c^{\frac{n-1}{n}}\right)\right]}{x_gV_{g1}\left(r_c^{-\frac{1}{n}}+\alpha\right)^2\left[x_g+\frac{1}{R}\left(1-x_g\right)\right]}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{20}$$

[0097] 计算出质量流量$\dot{m}$后，气相、液相的体积流量由以下方程解得：

[0098]

$$Q_{gsc}=\frac{C\dot{m}x_g}{\rho_{gsc}} \tag{21}$$

[0099]

$$Q_L=\frac{C\dot{m}\left(1-x_g\right)}{\rho_L} \tag{22}$$

[0100] 式中，Q_{gsc}为气体在标况下的体积流量，ρ_{gsc}为气体在标况下的密度，C 为分配系数，$\dot{m}$为质量流量，x_g为气相的质量分数，Q_L为液相的体积流量，ρ_L为液相的密度。

[0101] (6)如果当前为注气作业状态，节流阀一般处于全开状态，即CD＝1.0，注入的天然气为纯度较高的干气，节流压降较小，计算单井的气体流量(例如，可以通过采用计量应用程序中的“单相流动力学计算模块”进行计算)，其计算过程如下：

[0102] 根据热力学原理，临界压力比为：

[0103]

$$r_c = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} \tag{22}$$

[0104] 当r≤r_c时，流态为临界流；否则为亚临界流。

[0105] 根据气体节流的等熵原理，对于亚临界流状态，流量与压力比的关系可表示为：

[0106]

$$Q_{gsc} = \frac{p_1 d^2}{\sqrt{\gamma_g T_1 Z_1}} \sqrt{\frac{k}{k-1}\left(r^{\frac{2}{k}} - r^{\frac{k+1}{k}}\right)} \tag{23}$$

[0107] 对于临界流动，最大气流量与p_2无关，按下式进行计算：

[0108]

$$Q_{maxsc} = \frac{p_1 d^2}{\sqrt{\gamma_g T_1 Z_1}} \sqrt{\frac{k}{k-1}\left[\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} - \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}\right]} \tag{24}$$

[0109] 式中，Q_{gsc}为气体在标况下的体积流量，d为节流阀孔眼直径，Z为气体偏差系数，γ_g为天然气的相对密度，P_1、P_2为节流阀前后的压力，r为压力比，$r = \frac{p_2}{p_1}$，k为气体绝热指数，T_1为节流阀前的测取点温度。

[0110] 根据上面的计算结果，显示和存储流量计量结果。

[0111] 此外，为确保计量始终处于较高精度水平，需定期对装置进行标定。根据计量性能的实际表现，标定周期一般为1～3年。两种可选的计量标定数据来源如下：

[0112] 1、拆下标定接头4，连接移动计量装置(如车载旋风分离计量撬)的软管接头，该计量装置和本实用新型的装置同时计量该井的注、采气量。

[0113] 2、关井，测量稳定后下游生产分离器(多井共用)的流量；然后启井，测量稳定后下游生产分离器(多井共用)的流量。启井、停井期间下游分离器的流量差值即为该井的实测产量，启井阶段本实用新型装置同时计量该井采气量。

[0114] 上述实施例仅用于说明本实用新型，其中通过不同节流方式或节流级数实现储气库单井天然气注采计量的各部件的结构、连接方式和制作工艺等，以及计量软件所采用的计算模型都是可以有所变化的，凡是在本实用新型技术方案的基础上进行的等同变换和改进，均不应排除在本实用新型的保护范围之外。

[0115] 以上已经描述了本实用新型的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。

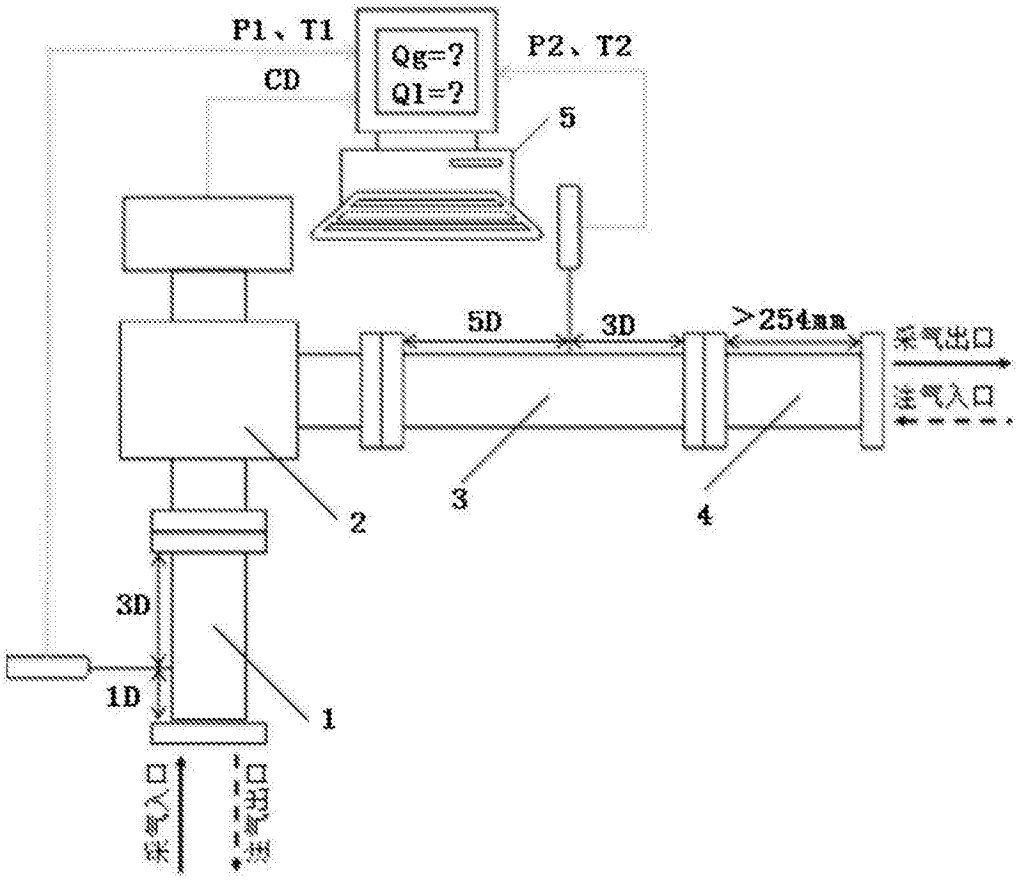


图1

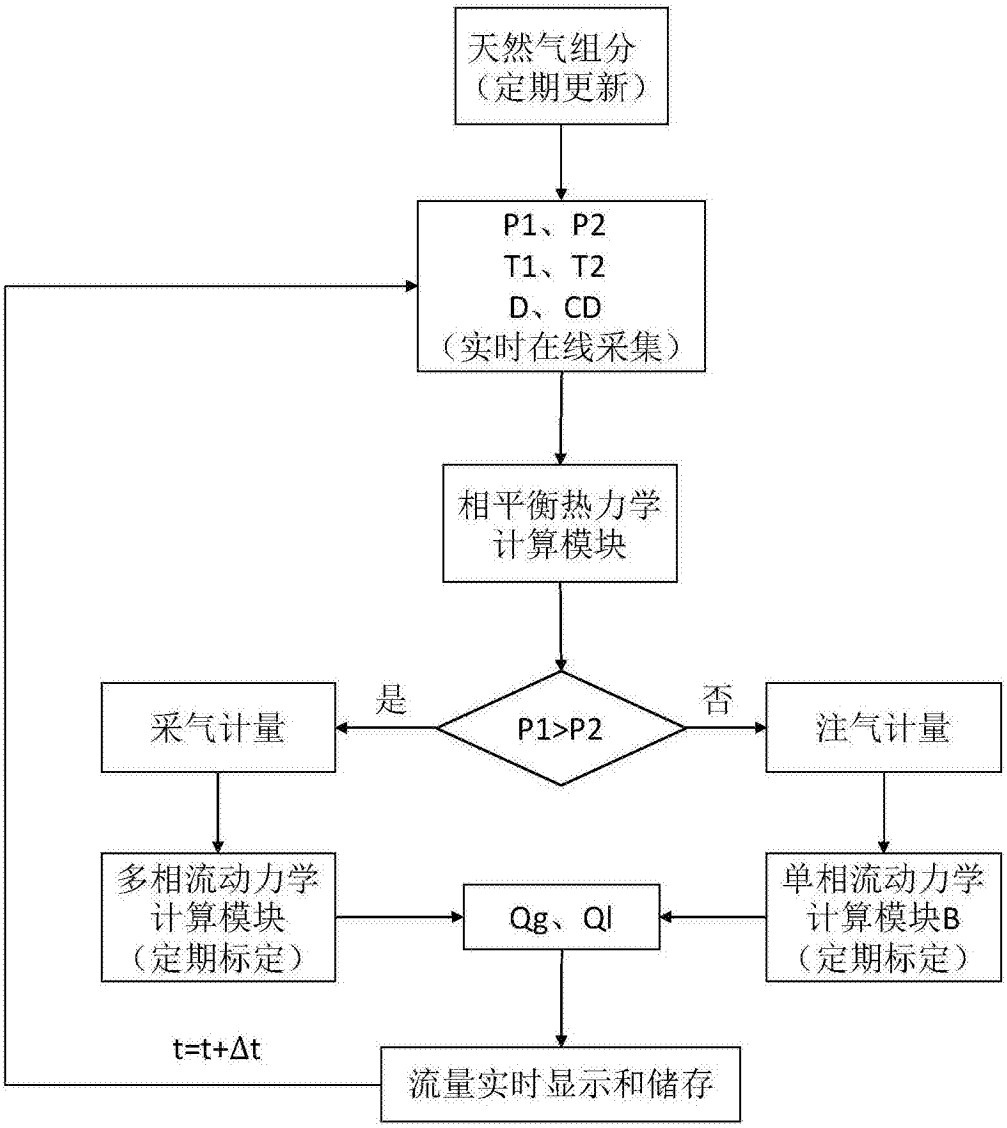

天然气组分
（定期更新）
P1、P2
T1、T2
D、CD
（实时在线采集）
相平衡热力学
计算模块
是
P1>P2
否
采气计量
注气计量
多相流动力学
计算模块
（定期标定）
Qg、Ql
单相流动力学
计算模块B
（定期标定）
t=t+Δt
流量实时显示和储存

图2

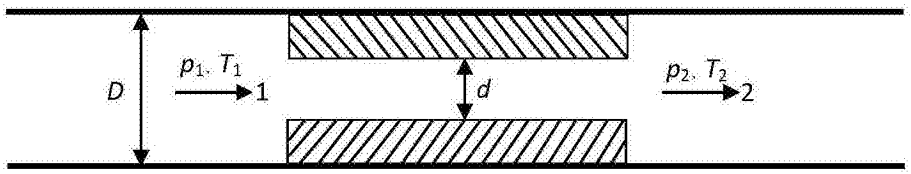

D
p1、T1
1
d
p2、T2
2

图3