



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107843297 B

(45)授权公告日 2019.12.24

(21)申请号 201710977759.9

(22)申请日 2017.10.17

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107843297 A

(43)申请公布日 2018.03.27

(73)专利权人 西安交通大学  
地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 白博峰 郑学波

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 徐文权

(51)Int.Cl.  
G01F 1/34(2006.01)

(56)对比文件

CN 104266702 A,2015.01.07,  
CN 101802563 A,2010.08.11,  
CN 105115550 A,2015.12.02,  
JP S5949419 A,1984.03.22,  
WO 2009130620 A1,2009.10.29,  
Denghui He, Bofeng Bai, Jun Zhang,  
Xianwen Wang.Online measurement of gas  
and liquid flow rate in wet gas through  
one V-Cone throttle device.《Experimental  
Thermal and Fluid Science》.2016,第75卷  
129-136.

方立德,张焱,王小杰,张万岭,庞丽丽.新型  
内外管差压流量计湿气测量模型研究.《传感技  
术学报》.2013,(第8期),1173-1177.

审查员 王琳

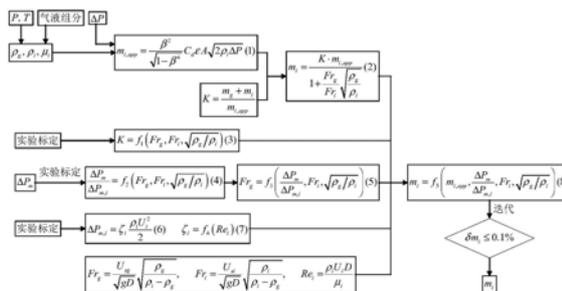
权利要求书3页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法,包括数据采集及处理系统、测量管道、位于测量管道内的V锥节流装置、用于检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置锥尾取压点之间气液两相流差压的第一差压变送器、用于检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置下游取压点之间气液两相流压损的第二差压变送器、用于检测测量管道内气液两相流压力的压力变送器以及用于检测测量管道内气液两相流温度的温度变送器,所述测量管道连通于待测管线上,该装置及方法能够实现低含气率气液两相流液相流量的在线测量,并且成本较低、结构简单。



CN 107843297 B

1. 一种基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法,其特征在于,基于基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置,所述基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置包括数据采集及处理系统(7)、测量管道(2)、位于测量管道(2)内的V锥节流装置(1)、用于检测V锥节流装置(1)上游取压点与V锥节流装置(1)锥尾取压点之间气液两相流差压的第一差压变送器(5)、用于检测V锥节流装置(1)上游取压点与V锥节流装置(1)下游取压点之间气液两相流压损的第二差压变送器(6)、用于检测测量管道(2)内气液两相流压力的压力变送器(4)以及用于检测测量管道(2)内气液两相流温度的温度变送器(3),其中,温度变送器(3)的输出端、第一差压变送器(5)的输出端、第二差压变送器(6)的输出端及压力变送器(4)的输出端均与数据采集及处理系统(7)相连接,所述测量管道(2)连通于待测管线上;

包括以下步骤:

1) 低含气率气液两相流流过测量管道(2)及V锥节流装置(1),第一差压变送器(5)实时检测V锥节流装置(1)上游取压点与V锥节流装置(1)锥尾取压点之间的的气液两相流差压 $\Delta P$ ,并将V锥节流装置(1)上游取压点与V锥节流装置(1)锥尾取压点之间的的气液两相流差压 $\Delta P$ 发送至数据采集及处理系统(7)中;第二差压变送器(6)实时检测V锥节流装置(1)上游取压点与V锥节流装置(1)下游取压点之间的的气液两相流压损 $\Delta P_m$ ,并将V锥节流装置(1)上游取压点与V锥节流装置(1)下游取压点之间的的气液两相流压损 $\Delta P_m$ 发送至数据采集及处理系统(7)中;压力变送器(4)实时检测测量管道(2)内气液两相流压力P,并将测量管道(2)内气液两相流压力P发送至数据采集及处理系统(7)中,温度变送器(3)实时检测测量管道(2)内气液两相流温度T,再将测量管道(2)内气液两相流温度T发送至数据采集及处理系统(7)中;

2) 数据采集及处理系统(7)根据测量管道(2)内气液两相流温度T及测量管道(2)内气液两相流压力P计算气液两相流中气相的密度 $\rho_g$ 及液相的密度 $\rho_l$ ,同时计算差压 $\Delta P$ 对应的表观液相质量流量 $m_{l,app}$ ,其中,

$$m_{l,app} = \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} C_d \varepsilon A \sqrt{2\rho_l \Delta P} \quad (1)$$

其中, $\beta$ 为V锥节流装置(1)的节流比, $\beta = \sqrt{\frac{D^2 - d^2}{D^2}}$ ,D为测量管道(2)的管道内径,d为V锥节流装置(1)中V锥锥体最大截面处的直径, $C_d$ 为V锥节流装置(1)的流出系数, $\varepsilon$ 为液体的可膨胀系数,A为测量管道(2)的管道截面积, $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ;

3) 构建低含气率气液两相流液相流量测量模型,其中,低含气率气液两相流液相流量测量模型为:

$$m_l = \frac{K \cdot m_{l,app}}{1 + \frac{Fr_g}{Fr_l} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}} \quad (2)$$

其中,  $K$ 为两相质量流量系数,  $K = \frac{m_g + m_l}{m_{l,app}}$ ,  $Fr_g$ 为气体密度弗鲁德数,  $Fr_l$ 为液体密度弗鲁德数,  $Fr_g = \frac{U_{sg}}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}}$ ,  $Fr_l = \frac{U_{sl}}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g}}$ ,  $U_{sg} = \frac{m_g}{\rho_g A}$ ,  $U_{sl} = \frac{m_l}{\rho_l A}$ ,  $m_g$ 及 $m_l$ 分别为气相质量流量及液相质量流量,  $U_{sg}$ 及 $U_{sl}$ 分别为气相表观流速及液相表观流速,  $g$ 为重力加速度;

4) 通过实验获得两相质量流量系数 $K$ 与气体密度弗鲁德数 $Fr_g$ 、液体密度弗鲁德数 $Fr_l$ 及气液密度比 $\rho_g/\rho_l$ 的拟合关联式, 即

$$K = f_1(Fr_g, Fr_l, \rho_g/\rho_l) \quad (3);$$

5) 通过实验获取压损比 $\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}$ 与气体密度弗鲁德数 $Fr_g$ 、液体密度弗鲁德数 $Fr_l$ 及气液密度比 $\rho_g/\rho_l$ 的拟合关联式, 即

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}} = f_2(Fr_g, Fr_l, \rho_g/\rho_l) \quad (4)$$

其中,  $\Delta P_{m,l}$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置(1)的压损, 由式(4)得

$$Fr_g = f_3\left(\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}, Fr_l, \rho_g/\rho_l\right) \quad (5);$$

6) 将式(3)及式(5)代入式(2)中, 得

$$m_l = f_5\left(m_{l,app}, \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}, Fr_l, \rho_g/\rho_l\right) \quad (8)$$

通过迭代求解式(8), 得到液相质量流量 $m_l$ 。

2. 根据权利要求1所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法, 其特征在于, 通过实验标定获得低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置(1)的压损 $\Delta P_{m,l}$ , 其中

$$\Delta P_{m,l} = \zeta_1 \frac{\rho_l U_l^2}{2} \quad (6)$$

其中,  $U_l$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过测量管道(2)的流速,  $U_l = \frac{m_l}{\rho_l A}$ ,  $\zeta_1$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置(1)的阻力系数。

3. 根据权利要求2所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法, 其特征在于, 阻力系数 $\zeta_1$ 与液体雷诺数 $Re_l$ 有关, 通过实验标定获取阻力系数 $\zeta_1$ , 即

$$\zeta_1 = f_4(Re_l) \quad (7)$$

其中,  $Re_l = \frac{\rho_l U_l D}{\mu_l}$ ,  $\mu_l$ 为液体动力粘性系数。

4. 根据权利要求1所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法, 其特

征在于,所述V锥节流装置(1)包括中空结构的第一V形锥体及第二V形锥体,其中,第一V形锥体及第二V形锥体相扣合且相连通。

5.根据权利要求1所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法,其特征在于,V锥节流装置(1)通过支撑杆固定于测量管道(2)的内壁上。

6.根据权利要求1所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法,其特征在于,所述测量管道(2)通过法兰连通于待测管线上。

## 基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于多相流测量技术领域,涉及一种基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法。

### 背景技术

[0002] 低含气率气液两相流广泛存在于石油、化工、核能、制冷及冶金等工业领域中,其流量的准确测量对工业生产具有十分重要的意义。例如,在油气田开采中,当油藏压力下降至石油饱和压力以下时,原油中便有溶解气分离出来,在原油中出现许多分散的气泡,形成低含气率气液两相流;另外,为了提高油藏采收率,还会人为向油藏内注入氮、烟气(约87% N<sub>2</sub>和12% CO<sub>2</sub>)和CO<sub>2</sub>等气体,这部分气体在原油输送过程中随着管线压力降低会重新析出,从而形成低含气率气液两相流。油气田单井原油流量在线计量对油气田开发和生产管理具有十分重要的意义:单井的原油流量数据是油气田开发所需录取的重要动态资料,是制定生产计划和操作要求的依据之一,同时也是油气田管理人员和地质研究人员了解油藏分布、动态特性、产能结构的基础资料。目前,针对低含气率气液两相流流量的测量方法主要有分离法和在线测量法。传统的分离方法采用分离器将各相分离后单独计量,投资成本高、设备庞大,并且不能在线测量,效率低下;在传统的分离法基础上,专利ZL98113061.2提出了一种分流分离分相计量的方法,即通过在主管道上安装分配器分流出一部分两相流体,引入到分离器进行完全分离,分离后的单相气体和液体再采用单相流量计分别计量。主管道的气液流量根据分流出的气液流体的流量按比例换算得到,最后再将分离出的气液流体汇入到主管道中。该方法存在的问题是分流计量部分的流体气液比率与主管道中的流体气液比率一致性较难保证,取样比率本身可能会受流型、流量波动等因素的影响。在线测量法无需分离气液两相流,直接进行流量测量。目前应用较多的在线测量法主要是常规仪表的组合式测量方法,可分为单相流量计组合、单相流量计与相含率传感器组合两大类。实用新型专利86207384.7提出了以孔板和文丘里管串联组合进行气液流量测量;专利ZL200610099064提供了一种双槽式孔板型混输计量装置;专利ZL200810153806.9提出了双差压节流的湿气(气液两相流的特殊形态)测量方法;专利ZL201210465443.9提出了双节流三差压湿气两相流测量系统;美国专利US 6898986 B2提出了采用两个楔形节流元件与一个文丘里管组合的气液两相流测量技术;专利ZL200720019466提出了基于电容传感器与标准文丘里管的气液两相流量测量装置;美国专利US 7654155 B2提出了声纳和文丘里管结合的湿气测量方法。专利ZL200710150184发明了一种基于改进型的狭缝文丘里管节流装置的气液两相流测量系统。此外,一些商业化的气液两相流量计,如英国Solartron ISA公司基于双差压原理的Dualstream II装置,挪威的Roxar公司基于微波技术和差压技术的Roxar气液两相流量计以及美国Agar公司利用涡街流量计和双文丘里管开发的气液两相测量装置等,均是采用了组合式的测量方法。虽然目前已有的液相流量测量装置可以提供较高的测量精度,但是存在装置结构复杂,体积庞大的问题,有些还包含射线装置,安全管理

难度极大。此外,这些装置所用测量模型对工况变化的适应性不强,多数需要进行现场标定,最重要的是其价格高昂不适于单井应用。因此,开发具有自主知识产权的低成本单井液相流量测量装置将会产生重大的经济和社会效益。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点,提供了一种基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法,该装置及方法能够实现低含气率气液两相流液相流量的在线测量,并且成本较低、结构简单。

[0004] 为达到上述目的,本发明所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置包括数据采集及处理系统、测量管道、位于测量管道内的V锥节流装置、用于检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置锥尾取压点之间气液两相流差压的第一差压变送器、用于检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置下游取压点之间气液两相流压损的第二差压变送器、用于检测测量管道内气液两相流压力的压力变送器以及用于检测测量管道内气液两相流温度的温度变送器,其中,温度变送器的输出端、第一差压变送器的输出端、第二差压变送器的输出端及压力变送器的输出端均与数据采集及处理系统相连接,所述测量管道连通于待测管线上。

[0005] 所述V锥节流装置包括中空结构的第一V形锥体及第二V形锥体,其中,第一V形锥体及第二V形锥体相扣合且相连通。

[0006] V锥节流装置通过支撑杆固定于测量管道的内壁上。

[0007] 所述测量管道通过法兰连通于待测管线上。

[0008] 本发明所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法,其特征在于包括以下步骤:

[0009] 1) 低含气率气液两相流流过测量管道及V锥节流装置,第一差压变送器实时检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置锥尾取压点之间的气液两相流差压 $\Delta P$ ,并将V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置锥尾取压点之间的气液两相流差压 $\Delta P$ 发送至数据采集及处理系统中;第二差压变送器实时检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置下游取压点之间的气液两相流压损 $\Delta P_m$ ,并将V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置下游取压点之间的气液两相流压损 $\Delta P_m$ 发送至数据采集及处理系统中;压力变送器实时检测测量管道内气液两相流压力 $P$ ,并将测量管道内气液两相流压力 $P$ 发送至数据采集及处理系统中,温度变送器实时检测测量管道内气液两相流温度 $T$ ,再将测量管道内气液两相流温度 $T$ 发送至数据采集及处理系统中;

[0010] 2) 数据采集及处理系统根据测量管道内气液两相流温度 $T$ 及测量管道内气液两相流压力 $P$ 计算气液两相流中气相的密度 $\rho_g$ 及液相的密度 $\rho_l$ ,同时计算差压 $\Delta P$ 对应的表观液相质量流量 $m_{l,app}$ ,其中,

$$[0011] \quad m_{l,app} = \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} C_d \varepsilon A \sqrt{2\rho_l \Delta P} \quad (1)$$

[0012] 其中, $\beta$ 为V锥节流装置的节流比, $\beta = \sqrt{\frac{D^2 - d^2}{D^2}}$ , $D$ 为测量管道的管道内径, $d$ 为V锥

节流装置中V锥锥体最大截面处的直径,  $C_d$ 为V锥节流装置的流出系数,  $\varepsilon$ 为液体的可膨胀系数,  $A$ 为测量管道的管道截面积,  $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ;

[0013] 3) 构建低含气率气液两相流液相流量测量模型, 其中, 低含气率气液两相流液相流量测量模型为:

$$[0014] \quad m_l = \frac{K \cdot m_{l,app}}{1 + \frac{Fr_g}{Fr_l} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}} \quad (2)$$

[0015] 其中,  $K$ 为两相质量流量系数,  $K = \frac{m_g + m_l}{m_{l,app}}$ ,  $Fr_g$ 为气体密度弗鲁德数,  $Fr_l$ 为液体密度弗鲁德数,  $Fr_g = \frac{U_{sg}}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}}$ ,  $Fr_l = \frac{U_{sl}}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g}}$ ,  $U_{sg} = \frac{m_g}{\rho_g A}$ ,  $U_{sl} = \frac{m_l}{\rho_l A}$ ,  $m_g$ 及 $m_l$

分别为气相质量流量及液相质量流量,  $U_{sg}$ 及 $U_{sl}$ 分别为气相表观流速及液相表观流速,  $g$ 为重力加速度;

[0016] 4) 通过实验获得两相质量流量系数 $K$ 与气体密度弗鲁德数 $Fr_g$ 、液体密度弗鲁德数 $Fr_l$ 及气液密度比 $\rho_g/\rho_l$ 的拟合关联式, 即

$$[0017] \quad K = f_1(Fr_g, Fr_l, \rho_g/\rho_l) \quad (3)$$

[0018] 5) 通过实验获取压损比 $\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}$ 与气体密度弗鲁德数 $Fr_g$ 、液体密度弗鲁德数 $Fr_l$ 及气液密度比 $\rho_g/\rho_l$ 的拟合关联式, 即

$$[0019] \quad \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}} = f_2(Fr_g, Fr_l, \rho_g/\rho_l) \quad (4)$$

[0020] 其中,  $\Delta P_{m,l}$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置的压损, 由式(4)得

$$[0021] \quad Fr_g = f_3\left(\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}, Fr_l, \rho_g/\rho_l\right) \quad (5);$$

[0022] 6) 将式(3)及式(5)代入式(2)中, 得

$$[0023] \quad m_l = f_5\left(m_{l,app}, \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}, Fr_l, \rho_g/\rho_l\right) \quad (8)$$

[0024] 通过迭代求解式(8), 得到液相质量流量 $m_l$ 。

[0025] 通过实验标定获得低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置的压损 $\Delta P_{m,l}$ , 其中

$$[0026] \quad \Delta P_{m,l} = \zeta_l \frac{\rho_l U_l^2}{2} \quad (6)$$

[0027] 其中,  $U_1$  为低含气率气液两相流中液相单独流过测量管道 (2) 的流速,  $U_1 = \frac{m_l}{\rho_l A}$ ,  $\zeta_1$  为低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置的阻力系数。

[0028] 阻力系数  $\zeta_1$  与液体雷诺数  $Re_l$  有关, 通过实验标定获取阻力系数  $\zeta_1$ , 即

[0029]  $\zeta_1 = f_4 (Re_l)$  (7)

[0030] 其中,  $Re_l = \frac{\rho_l U_1 D}{\mu_l}$ ,  $\mu_l$  为液体动力粘性系数。

[0031] 本发明具有以下有益效果:

[0032] 本发明所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置及方法, 通过第一差压变送器实时检测V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置锥尾取压点之间的气液两相流差压  $\Delta P$ , 通过第二差压变送器实时测量V锥节流装置上游取压点与V锥节流装置下游取压点之间的气液两相流压损  $\Delta P_m$ ; 通过压力变送器实时检测测量管道内气液两相流压力  $P$ , 通过温度变送器实时检测测量管道内气液两相流温度  $T$ , 再通过测量得到的数据计算低含气率气液两相流液相质量流量, 实现低含气率气液两相流液相流量的在线测量。本发明所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置结构简单, 成本低廉, 并且能够在满足测量精度的前提下降低测量成本。

## 附图说明

[0033] 图1为本发明中V锥节流装置1的结构示意图;

[0034] 图2为本发明的结构示意图;

[0035] 图3为本发明的流程图;

[0036] 图4为当  $P = 0.2 \text{ MPa}$  时两相质量流量系数  $K$  与气体密度弗鲁德数  $Fr_g$  及液体密度弗鲁德数  $Fr_l$  的关系图;

[0037] 图5为当  $P = 0.2 \text{ MPa}$  时压损比  $\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}$  与气体密度弗鲁德数  $Fr_g$  及液体密度弗鲁德数  $Fr_l$  的关系图;

[0038] 图6为本发明测量得到的低含气率气液两相流液相流量的误差分析图。

[0039] 其中, 1为V锥节流装置、2为测量管道、3为温度变送器、4为压力变送器、5为第一差压变送器、6为第二差压变送器、7为数据采集及处理系统。

## 具体实施方式

[0040] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0041] 参考图1及图2, 本发明所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量装置包括数据采集及处理系统7、测量管道2、位于测量管道2内的V锥节流装置1、用于检测V锥节流装置1上游取压点与V锥节流装置1锥尾取压点之间气液两相流差压的第一差压变送器5、用于检测V锥节流装置1上游取压点与V锥节流装置1下游取压点之间气液两相流压损的第二差压变送器6、用于检测测量管道2内气液两相流压力的压力变送器4以及用于检测测量管道2内气液两相流温度的温度变送器3, 其中, 温度变送器3的输出端、第一差压变送器5的输出端、第二差压变送器6的输出端及压力变送器4的输出端均与数据采集及处理系

统7相连接,所述测量管道2连通于待测管线上。

[0042] 所述V锥节流装置1包括中空结构的第一V形锥体及第二V形锥体,其中,第一V形锥体及第二V形锥体相扣合且相连通;V锥节流装置1通过支撑杆固定于测量管道2的内壁上;所述测量管道2通过法兰或其他连接方式连通于待测管线上。

[0043] V锥节流装置1的锥尾处开有取压孔;本发明可以通过数据采集及处理系统7显示接收到的数据及计算得到的液相质量流量 $m_l$ 。

[0044] 参考图3,本发明所述的基于V锥的低含气率气液两相流液相流量在线测量方法包括以下步骤:

[0045] 1) 低含气率气液两相流流过测量管道2及V锥节流装置1,第一差压变送器5实时检测V锥节流装置1上游取压点与V锥节流装置1锥尾取压点之间的气液两相流差压 $\Delta P$ ,并将V锥节流装置1上游取压点与V锥节流装置1锥尾取压点之间的气液两相流差压 $\Delta P$ 发送至数据采集及处理系统7中;第二差压变送器6实时检测V锥节流装置1上游取压点与V锥节流装置1下游取压点之间的气液两相流压损 $\Delta P_m$ ,并将V锥节流装置1上游取压点与V锥节流装置1下游取压点之间的气液两相流压损 $\Delta P_m$ 发送至数据采集及处理系统7中;压力变送器4实时检测测量管道2内气液两相流压力 $P$ ,并将测量管道2内气液两相流压力 $P$ 发送至数据采集及处理系统7中,温度变送器3实时检测测量管道2内气液两相流温度 $T$ ,再将测量管道2内气液两相流温度 $T$ 发送至数据采集及处理系统7中;

[0046] 2) 数据采集及处理系统7根据测量管道2内气液两相流温度 $T$ 及测量管道2内气液两相流压力 $P$ 计算气液两相流中气相的密度 $\rho_g$ 及液相的密度 $\rho_l$ ,同时计算差压 $\Delta P$ 对应的表观液相质量流量 $m_{l,app}$ ,其中,

$$[0047] \quad m_{l,app} = \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4}} C_d \varepsilon A \sqrt{2\rho_l \Delta P} \quad (1)$$

[0048] 其中, $\beta$ 为V锥节流装置1的节流比, $\beta = \sqrt{\frac{D^2 - d^2}{D^2}}$ , $D$ 为测量管道2的管道内径, $d$ 为V锥节流装置1中V锥锥体最大截面处的直径, $C_d$ 为V锥节流装置1的流出系数, $\varepsilon$ 为液体的可膨胀系数, $A$ 为测量管道2的管道截面积, $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ;

[0049] 3) 构建低含气率气液两相流液相流量测量模型,其中,低含气率气液两相流液相流量测量模型为:

$$[0050] \quad m_l = \frac{K \cdot m_{l,app}}{1 + \frac{Fr_g}{Fr_l} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}} \quad (2)$$

[0051] 其中, $K$ 为两相质量流量系数, $K = \frac{m_g + m_l}{m_{l,app}}$ , $Fr_g$ 为气体密度弗鲁德数, $Fr_l$ 为液体密度弗鲁德数,

$Fr_g = \frac{U_{sg}}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}}$ ,  $Fr_l = \frac{U_{sl}}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g}}$ ,  $U_{sg} = \frac{m_g}{\rho_g A}$ ,  $U_{sl} = \frac{m_l}{\rho_l A}$ ,  $m_g$ 及 $m_l$

分别为气相质量流量及液相质量流量, $U_{sg}$ 及 $U_{sl}$ 分别为气相表观流速及液相表观流速, $g$ 为

重力加速度；

[0052] 4) 通过实验获得两相质量流量系数 $K$ 与气体密度弗鲁德数 $Fr_g$ 、液体密度弗鲁德数 $Fr_l$ 及气液密度比 $\rho_g/\rho_l$ 的拟合关联式,即

$$[0053] \quad K = f_1 (Fr_g, Fr_l, \rho_g/\rho_l) \quad (3)$$

[0054] 5) 通过实验获取压损比 $\frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}$ 与气体密度弗鲁德数 $Fr_g$ 、液体密度弗鲁德数 $Fr_l$ 及气液密度比 $\rho_g/\rho_l$ 的拟合关联式,即

$$[0055] \quad \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}} = f_2 (Fr_g, Fr_l, \rho_g/\rho_l) \quad (4)$$

[0056] 其中,  $\Delta P_{m,l}$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置1的压损,由式(4)得

$$[0057] \quad Fr_g = f_3 \left( \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}, Fr_l, \rho_g/\rho_l \right) \quad (5)$$

[0058] 通过实验标定获得低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置1的压损 $\Delta P_{m,l}$ ,其中

$$[0059] \quad \Delta P_{m,l} = \zeta_l \frac{\rho_l U_l^2}{2} \quad (6)$$

[0060] 其中, $U_l$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过测量管道2的流速, $U_l = \frac{m_l}{\rho_l A}$ , $\zeta_l$ 为低含气率气液两相流中液相单独流过V锥节流装置1的阻力系数,其中,阻力系数 $\zeta_l$ 与液体雷诺数 $Re_l$ 有关,通过实验标定获取阻力系数 $\zeta_l$ ,即

$$[0061] \quad \zeta_l = f_4 (Re_l) \quad (7)$$

[0062] 其中, $Re_l = \frac{\rho_l U_l D}{\mu_l}$ , $\mu_l$ 为液体动力粘性系数。

[0063] 6) 将式(3)及式(5)代入式(2)中,得

$$[0064] \quad m_l = f_5 \left( m_{l,app}, \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{m,l}}, Fr_l, \rho_g/\rho_l \right) \quad (8)$$

[0065] 通过迭代求解式(8),得到液相质量流量 $m_l$ 。

[0066] 实施例一

[0067] 测量管道2内径 $D=50\text{mm}$ ,V锥节流装置1上游取压点距离上游法兰端面的直管段长度为 $6D$ ,V锥节流装置1下游取压点距离下游法兰端面的直管段长度为 $5D$ ,V锥节流装置1以悬臂的方式固定在测量管道2上,V锥节流装置1的节流比 $\beta=0.55$ ,第一V形锥体的锥角 $\Phi=45^\circ$ ,第二V形锥体的锥角 $\theta=135^\circ$ ,压力 $P=0.1\sim 0.3\text{MPa}$ ,气相表观流速 $U_{sg}=0\sim 0.2\text{m/s}$ ,液相表观流速 $U_{sl}=0.276\sim 1.614\text{m/s}$ ,体积含气率 $GVF=0\sim 12\%$ ,其中 $GVF = \frac{Q_g}{Q_g + Q_l} = \frac{m_g/\rho_g}{m_g/\rho_g + m_l/\rho_l}$ 。

[0068] 通过本发明计算液相质量流量 $m_l$ ,其中,通过迭代计算式(8)的过程中,当 $\delta m_l \leq$

0.1%时,迭代完成,即可得到液相质量流量 $m_1$ 。

[0069] 由图6可知,本发明测量得到的液相质量流量的相对误差小于 $\pm 4.0\%$ ,能够满足工业现场的需求。

[0070] 本发明采用单个节流元件——V锥节流装置1,通过测量低含气率气液两相流流过V锥节流装置1的差压和压损实现对液相质量流量的在线测量,并且测量装置结构简单、成本低廉,测量的精度较高,对工业实践中的气液两相流测量具有重要的指导意义。

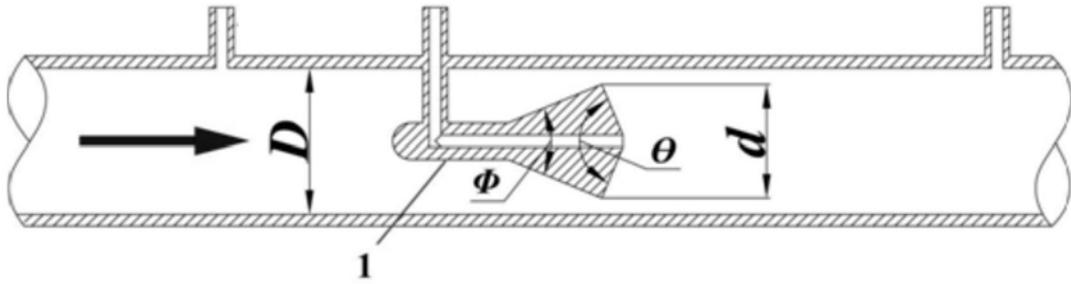


图1

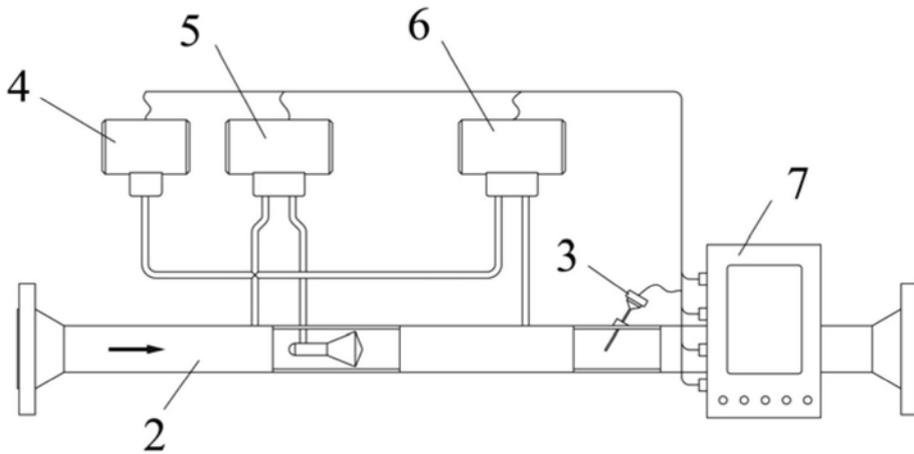


图2

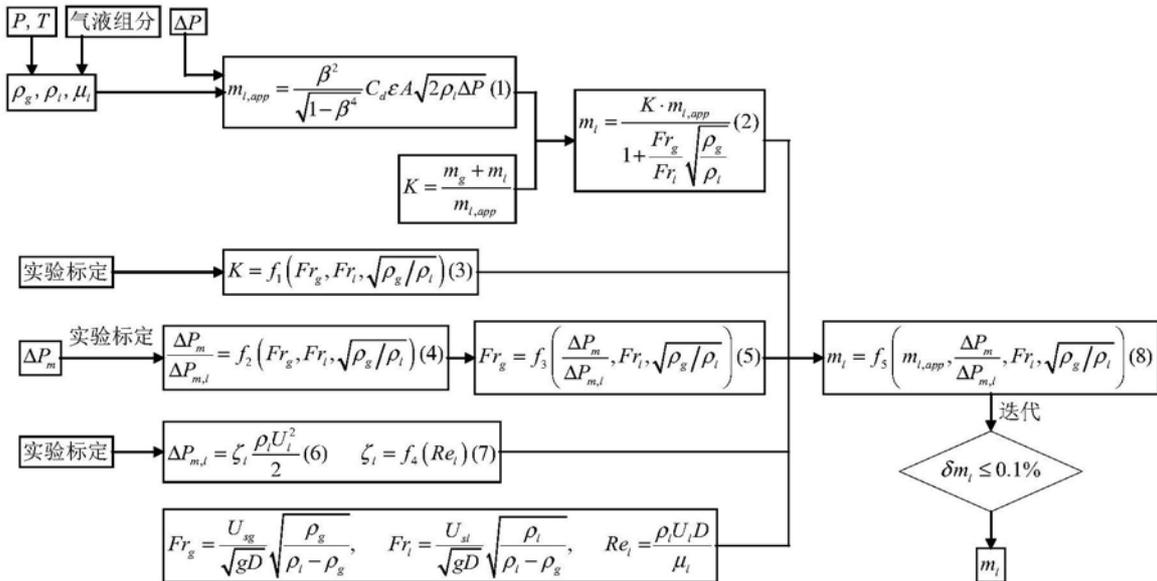


图3

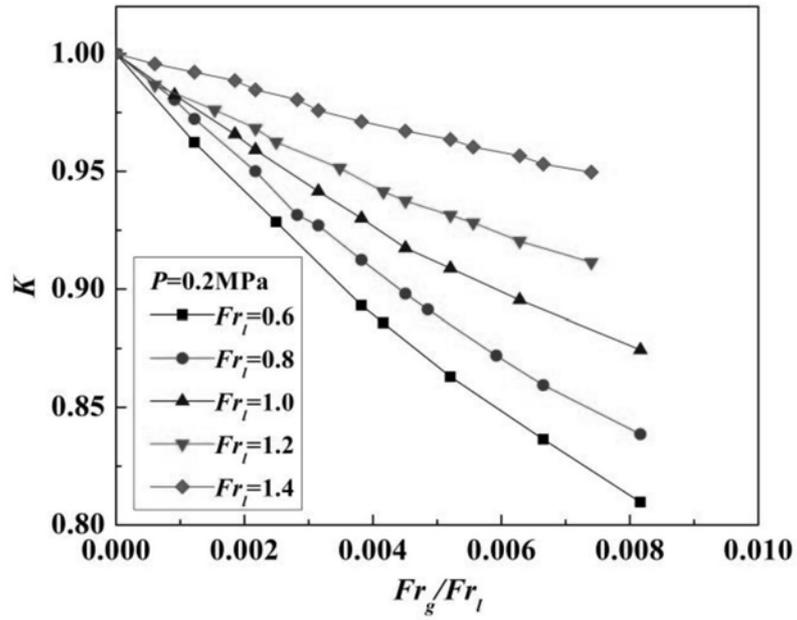


图4

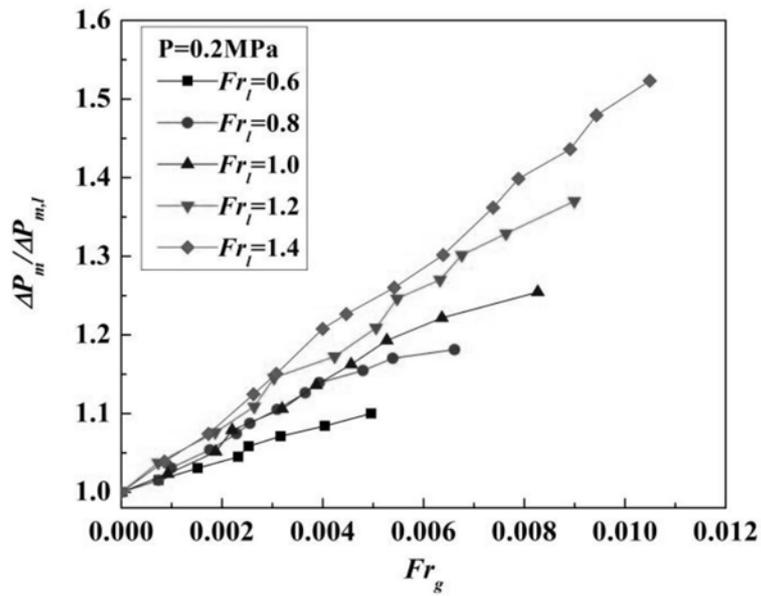


图5

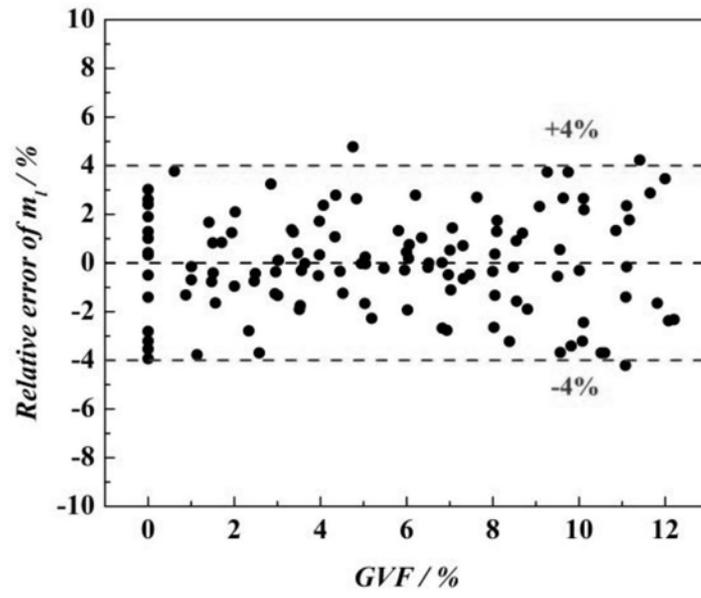


图6