



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106352931 B

(45)授权公告日 2018.02.13

(21)申请号 201610882309.7

(22)申请日 2016.10.09

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106352931 A

(43)申请公布日 2017.01.25

(73)专利权人 无锡洋湃科技有限公司

地址 214187 江苏省无锡市惠山经济开发区洛社配套区迎春路8号

(72)发明人 陈继革 吴治永 徐斌

(74)专利代理机构 北京权泰知识产权代理事务所(普通合伙) 11460

代理人 任永利

(51)Int.Cl.

G01F 1/36(2006.01)

G01N 23/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 105890689 A,2016.08.24,说明书第0017-0124段,图1-4.

US 5092159 A,1992.03.03,说明书第2栏-第5栏,图2.

CN 206114018 U,2017.04.19,权利要求1-3.

CN 102435245 A,2012.05.02,全文.

CN 103292849 A,2013.09.11,全文.

CN 103867184 A,2014.06.18,全文.

CN 104533388 A,2015.04.22,全文.

TW 200819712 A,2008.05.01,全文.

US 5031465 A,1991.07.16,全文.

CN 1494672 A,2004.05.05,全文.

CN 104515562 A,2015.04.15,全文.

CN 201145592 Y,2008.11.05,全文.

审查员 李海霞

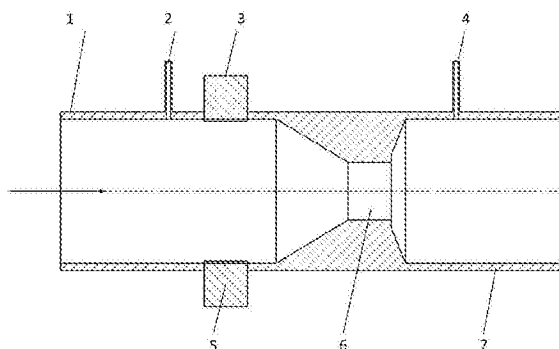
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种测量多相流中气液两相各自流量的临界流喷嘴流量计及测量方法

(57)摘要

本发明涉及一种测量多相流中气液两相各自流量的临界流喷嘴流量计,其包括以下构件:节流型喷嘴(1),其具有入口、出口和喉部,其中喉部处流体的流通面积最小;伽马射线探测器,其包括伽马射线发射器(2)和伽马射线接收器(3),其布置方式使得伽马射线发射器发出的伽马射线沿直径方向穿过所述节流型喷嘴的入口处截面,到达所述伽马射线接收器;压力传感器,分别用于测量所述节流型喷嘴的入口处压力与出口处压力;温度传感器,用于测量所述节流型喷嘴的入口处温度。本发明还涉及使用该临界流喷嘴流量计来测量多相流中气液两相各自流量的测量方法。本发明的临界流喷嘴流量计适合在油田井口使用。



1. 一种测量多相流中气液两相各自流量的测量方法,其使用的临界流喷嘴流量计包括以下构件:

节流型喷嘴(1),其具有入口、出口和喉部,其中喉部处流体的流通面积最小;所述节流型喷嘴的喉部截面积为其入口截面积的 $1/10-1/2$ ;

伽马射线探测器,其包括伽马射线发射器(3)和伽马射线接收器(5),其布置方式使得伽马射线发射器发出的伽马射线沿直径方向穿过所述节流型喷嘴的入口处截面,到达所述伽马射线接收器;所述伽马射线探测器为单能伽马射线探测器;

压力传感器,分别用于测量所述节流型喷嘴的入口处压力与出口处压力;

温度传感器,用于测量所述节流型喷嘴的入口处温度;

其特征在于,包括以下步骤:

a) 通过压力传感器测量节流型喷嘴的入口处的压力 $P_1$ 和出口处的压力 $P_2$ ,通过温度传感器测量节流型喷嘴的入口处的温度 $T_1$ ;

b) 使所述多相流以临界流方式流过所述临界流喷嘴流量计,其中通过以下方式判断多相流已达到临界流:设 $r$ 为油嘴出口处压力与入口处压力之比 $r = \frac{P_2}{P_1}$ ;通过测量值 $P_1$ 、 $T_1$ 确定气相密度 $\rho_{g1}$ ;通过单能伽马射线测量混合密度值 $\rho_m$ ,可知气相质量相含率 $G M F = \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_{g1}}$ ,再定义 $a = \frac{1-G M F}{G M F} \frac{\rho_{g1}}{\rho_l}$ ,根据多相流流动达到临界流时气相为

音速流动的特点,可以定义临界压比 $r_c = \left[ \frac{a \left( 1-r_c \right)^{\frac{k}{k-1}}}{\frac{k}{k-1} + \frac{k}{2} (1+a)^2} \right]^{\frac{k-1}{k}}$ ,该公式通过迭代求解可

得到临界压比 $r_c$ ,当实测压比 $r = \frac{P_2}{P_1} \leq r_c$ 时,则判定多相流的流动为临界流;临界流时

通过公式 $s = \sqrt{1 + \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_{g1}} \left( \frac{\rho_l}{\rho_{g1}} - 1 \right) \left( 1 + 0.6e^{-5G M F} \right)}$ 计算气液相间速度滑移比 $s$ ;

d) 通过以下公式来分别计算多相流的总质量流量 $Q_m$ 、气相质量流量 $Q_{m,g}$ 和液相质量流量 $Q_{m,l}$ :

$$\text{总质量流量: } Q_m = \frac{G A^2 \rho_{g1} \left[ a \left( 1-r \right)^{\frac{k}{k-1}} \left( 1-r \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}{\sqrt{G M F \left( r^{\frac{1}{k}} + a \right) \left[ G M F + \frac{1}{s} (1-G M F) \right]}}$$

气相质量流量: $Q_{m,g} = Q_m G M F$

液相质量流量: $Q_{m,l} = Q_m (1-G M F)$

其中:

$Q_m$ 为总质量流量,kg/s

$\rho_{g1}$ 为气相在节流型喷嘴入口处状态下的密度,kg/m<sup>3</sup>

$\rho_l$ 为液体密度,kg/m<sup>3</sup>

GMF为气体质量相含率

A为节流型喷嘴的喉部处横截面积,  $m^2$

C为节流型喷嘴流出系数, 为常数

k为气体的绝热指数

r为油嘴出口处压力与入口处压力之比  $r = \frac{p_2}{p_1}$

s为气液相间速度滑移比。

## 一种测量多相流中气液两相各自流量的临界流喷嘴流量计及测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于多相流流量计量领域。具体地,本发明涉及一种用于测量多相流中气液两相各自流量的临界流喷嘴流量计和测量方法。

### 背景技术

[0002] 油气工业中,油气井产物同时包含液相原油/水和气相天然气的气液混合流体,业内称之为多相流。其中所述气相包括例如油气田气或任何在常温下不凝的气体,具体地有如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷等;所述液相可包括:油相,例如原油本身以及在原油开采过程中溶解在原油中的液体添加剂,以及水相,例如地层水、采用过程中注入油气井中的水以及溶解在水相中的其它液体添加剂。在实践中,油相和水相可能发生相分离,也可能油相和水相混合在一起,或是完全乳化的。如何实时准确地测量从油气井中采出的气液混合流体中气体的流量和液体的流量,以及如何更进一步地测量油相、气相和水相三相各自的流量,是油气藏管理和生产优化所必需的基础数据。当多相流中的气相质量含量高于80%时,通常称为湿气。海底油气田和页岩气开采中,采出物均为湿气。

[0003] 当油气井为高压井时,井口压力为十兆帕量级,为了控制气井产量及井口压力,油嘴作为一种节流装置被广泛地应用于石油工业。现实中,油嘴不仅仅是作为控制油井产量的装置,客户对油嘴还有计量的要求。

[0004] 现有技术中用于测量多相流中气液两相各自流量的一种方法是文丘里流量计+伽马射线法,其原理是利用文丘里管测量湿气的总体积流量,并用单能伽马射线探测器测量气液两相各自的相分率,然后用总体积流量乘以气液两相各自的相分率,得到气液两相各自的体积流量。然而,油嘴喉部为音速流动,文丘里差压法的原理不适合用于音速流动的计量。

[0005] 现有的油田中,在井筒口处已经存在着喷嘴,地下原油经过该喷嘴喷出。人们通过长期的生产实践,已经认识到这些喷嘴处的原油流量与喷嘴入口处压力 $P_1$ (油田上称为“油压”)与喷嘴出口处压力 $P_2$ (油田上称为“回压”)之间的压差 $\Delta P$ 存在着一些定量关系以及经验关系式,可用于粗略估算原有流量,但这种计量方法误差很大;另一种方法是试井时的实测,试井时通过试量压力、温度,再通过对油井产物进行分离后分别计量气相和液相,对数据进行拟合。这种方法不适合长期使用,因为油井的压力和原油中的气相质量相含率在生命周期内是动态变化的,如果采用一成不变的计量公式将带来很大误差,甚至误判油井的产量。

[0006] 此外,人们发现,在油压 $P_1$ 基本不变的前提下,当差压 $\Delta P$ 逐渐升高时,总流量 $Q$ 也逐渐增大;但当差压 $\Delta P$ 达到并超过某临界值 $\Delta P_c$ 后,流量 $Q$ 不再随差压 $\Delta P$ 而变化,而是保持某一稳定值不再增加,将这种状态称为临界流状态。

[0007] 因此,人们利用油嘴控制气井产量、控制井口压力,同时希望油嘴能够对产物进行计量。但是,目前的油嘴计量功能十分有限,并不能精确实时计量多相流中气液两相各自质

量流量。

### 发明内容

[0008] 本发明的第一方面提供了一种测量多相流中气液两相各自流量的临界流喷嘴流量计,其包括以下构件:

[0009] 节流型喷嘴(1),其具有入口、出口和喉部,其中喉部处流体的流通面积最小;

[0010] 伽马射线探测器,其包括伽马射线发射器(2)和伽马射线接收器(3),其布置方式使得伽马射线发射器发出的伽马射线沿直径方向穿过所述节流型喷嘴的入口处截面,到达所述伽马射线接收器;

[0011] 压力传感器,分别用于测量所述节流型喷嘴的入口处压力 $P_1$ 与出口处压力 $P_2$ 。

[0012] 温度传感器,用于测量所述节流型喷嘴的入口处温度 $T_1$ 。

[0013] 优选地,所述节流型喷嘴的喉部截面积为其入口截面积的1/10-1/2。

[0014] 其中,所述伽马射线探测器为单能伽马射线探测器。

[0015] 本发明的第二方面涉及一种测量多相流中气液两相各自流量的测量方法,其使用本发明第一方面所述的临界流喷嘴流量计,该方法包括以下步骤:

[0016] a) 通过压力传感器测量节流型喷嘴的入口处的压力 $P_1$ 和出口处的压力 $P_2$ ,通过温度传感器测量节流型喷嘴的入口处的温度 $T_1$ ;

[0017] b) 使所述多相流以临界流方式流过所述临界流喷嘴流量计,其中通过以下方式判断多相流已达到临界流:设 $r$ 为油嘴出口处压力与入口处压力之比 $r = \frac{P_2}{P_1}$ ;通过测量值 $P_1$ 、

$T_1$ 确定气相密度 $\rho_{g1}$ ;通过单能伽马测量混合密度值 $\rho_m$ ,可知气相质量相含率 $G M F = \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_{g1}}$ ,再定义 $\alpha = \frac{1-G M F}{G M F} \frac{\rho_{g1}}{\rho_l}$ ,根据多相流流动达到临界流时气相为音

速流动的特点,可以定义临界压比 $r_c = \left[ \frac{\alpha \left( \frac{k}{k-1} (1-r_c)^{\frac{k}{k-1}} + \frac{k}{k-1} \right)}{\frac{k}{k-1} + \frac{k}{2} (1+\alpha)^2} \right]^{\frac{k}{k-1}}$ ,该公式通过迭代求解可得

到临界压比 $r_c$ ,当实测压比 $r = \frac{P_2}{P_1} \leq r_c$ 时,则判定多相流的流动为临界流;临界流时通

过公式 $s = \sqrt{1 + \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_{g1}} \left( \frac{\rho_l}{\rho_{g1}} - 1 \right) \left( 1 + 0.6e^{-5G M F} \right)}$ 计算气液相间速度滑移比

$s$ ;通常,由于井口上游压力很高,大于2Mpa、甚至高达数十MPa,而下游生产管线压力一般小于1Mpa(通常为500kPa-1Mpa),因此压比 $r = \frac{P_2}{P_1}$ 的数值很小,因而一旦安装好本发明的

临界流喷嘴,打开阀门,则多相流的流动状态即处于临界流状态。尽管如此,仍有必要在正式测量前用上述判定方法进行判定,以确保流量计算适用的前提条件是符合的;如果经验证多相流流动状态不处于临界流状态,则不建议用本发明的设备和公式去测量,这时可改用其他方法进行计量。

[0018] d) 通过以下公式来分别计算多相流的总质量流量 $Q_m$ 、气相质量流量 $Q_{m,g}$ 和液相质量流量 $Q_{m,l}$ :

$$[0019] \quad \text{总质量流量: } Q_m = \frac{C A \sqrt{\rho_{g1} \left[ \alpha (1-r) + \frac{k}{k-1} \left( 1-r \frac{k-1}{k} \right) \right]}}{\sqrt{G M F \left( r \frac{1}{k} + \alpha \right) \left[ G M F + \frac{1}{s} (1-G M F) \right]}}$$

[0020] 气相质量流量:  $Q_{m,g} = Q_m \cdot G M F$

[0021] 液相质量流量:  $Q_{m,l} = Q_m (1-G M F)$

[0022] 其中:

[0023]  $Q_m$  为总质量流量, kg/s

[0024]  $\rho_{g1}$  为气相在节流型喷嘴入口处状态下的密度, kg/m<sup>3</sup>

[0025]  $\rho_l$  为液体密度, kg/m<sup>3</sup>

[0026] G M F 为气体质量相含率

[0027] A 为节流型喷嘴的喉部处横截面积, m<sup>2</sup>

[0028] C 为节流型喷嘴流出系数, 为常数

[0029] k 为气体的绝热指数

[0030] r 为油嘴出口处压力与入口处压力之比  $r = \frac{p_2}{p_1}$

[0031] s 为气液相间速度滑移比,  $s = \frac{u_g}{u_l}$ 。

[0032] 本发明的优点如下:

[0033] 1、本发明创造性地使用了单能伽马射线探测器结合临界流喷嘴来测量多相流中的气液两相各自的质量流量, 其中单能伽马射线探测器实时测量气液混合密度。现有技术中也有临界流喷嘴流量计, 但都只是用于粗略估算气液混合物总流量的, 无法实时精确测量多相流中的气液两相各自的质量流量。

[0034] 2、本发明针对上述独创性计量设备, 专门采用了独创性公式去计算临界流喷嘴状态下气液两相各自的质量流量。

## 附图说明

[0035] 图1是本发明的临界流喷嘴流量计的示意图。

[0036] 图中, 附图标记含义如下:

[0037] 1、油嘴连接端口; 2、压力、温度复合传感器; 3、伽马射线发射器; 4、压力传感器; 5、伽马射线接收器; 6、油嘴喉部; 7、油嘴出口。

[0038] 以上附图仅用于示例性地说明本发明的技术构思和技术方案, 而不以任何方式限制本发明。

## 具体实施方式

[0039] 下面描述使用本发明的临界流喷嘴流量计测量多相流中气液两相各自流量的测量方法, 该方法包括以下步骤:

[0040] a) 通过压力传感器测量节流型喷嘴的入口处的压力  $P_1$  和出口处的压力  $P_2$ , 通过温度传感器测量节流型喷嘴的入口处的温度  $T_1$ ;

[0041] b) 使所述多相流以临界流方式流过所述临界流喷嘴流量计,其中通过以下方式判断多相流已达到临界流:设 $r$ 为油嘴出口处压力与入口处压力之比 $r = \frac{p_2}{p_1}$ ;通过测量值 $P_1$ 、

$T_1$ 确定气相密度 $\rho_{g1}$ ;通过单能伽马测量混合密度值 $\rho_m$ ,可知气相质量相含率 $G M F = \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_{g1}}$ ,再定义 $\alpha = \frac{1-G M F}{G M F} \frac{\rho_{g1}}{\rho_l}$ ,根据多相流流动达到临界流时气相为

音速流动的特点,可以定义临界压比 $r_c = \left[ \frac{\alpha (1-r_c) + \frac{k}{k-1}}{\frac{k}{k-1} + \frac{k}{2}(1+\alpha)^2} \right]^{\frac{k}{k-1}}$ ,该公式通过迭代求解可

得到临界压比 $r_c$ ,当实测压比 $r = \frac{p_2}{p_1} \leq r_c$ 时,则判定多相流的流动为临界流;临界流时

通过公式 $s = \sqrt{1 + \frac{\rho_l - \rho_m}{\rho_l - \rho_{g1}} \left( \frac{\rho_l}{\rho_{g1}} - 1 \right) \left( 1 + 0.6 e^{-5 G M F} \right)}$ 计算气液相间速度滑移

比 $s$ ;

[0042] d) 通过以下公式来分别计算多相流的总质量流量 $Q_m$ 、气相质量流量 $Q_{m,g}$ 和液相质量流量 $Q_{m,l}$ :

$$[0043] \quad \text{总质量流量: } Q_m = \frac{C A^2 \rho_{g1} \left[ \alpha (1-r) + \frac{k}{k-1} \left( 1-r \frac{k-1}{k} \right) \right]}{\sqrt{G M F \left( r \frac{1}{k} + \alpha \right) \left[ G M F + \frac{1}{s} (1-G M F) \right]}}$$

[0044] 气相质量流量: $Q_{m,g} = Q_m G M F$

[0045] 液相质量流量: $Q_{m,l} = Q_m (1-G M F)$

[0046] 其中:

[0047]  $Q_m$  为总质量流量,kg/s

[0048]  $\rho_{g1}$  为气相在节流型喷嘴入口处状态下的密度,kg/m<sup>3</sup>

[0049]  $\rho_l$  为液体密度,kg/m<sup>3</sup>

[0050]  $G M F$  为气体质量相含率

[0051]  $A$  为节流型喷嘴的喉部处横截面积,m<sup>2</sup>

[0052]  $C$  为节流型喷嘴流出系数,为常数

[0053]  $k$  为气体的绝热指数

[0054]  $r$  为油嘴出口处压力与入口处压力之比 $r = \frac{p_2}{p_1}$

[0055]  $s$  为气液相间速度滑移比, $s = \frac{u_g}{u_l}$ 。

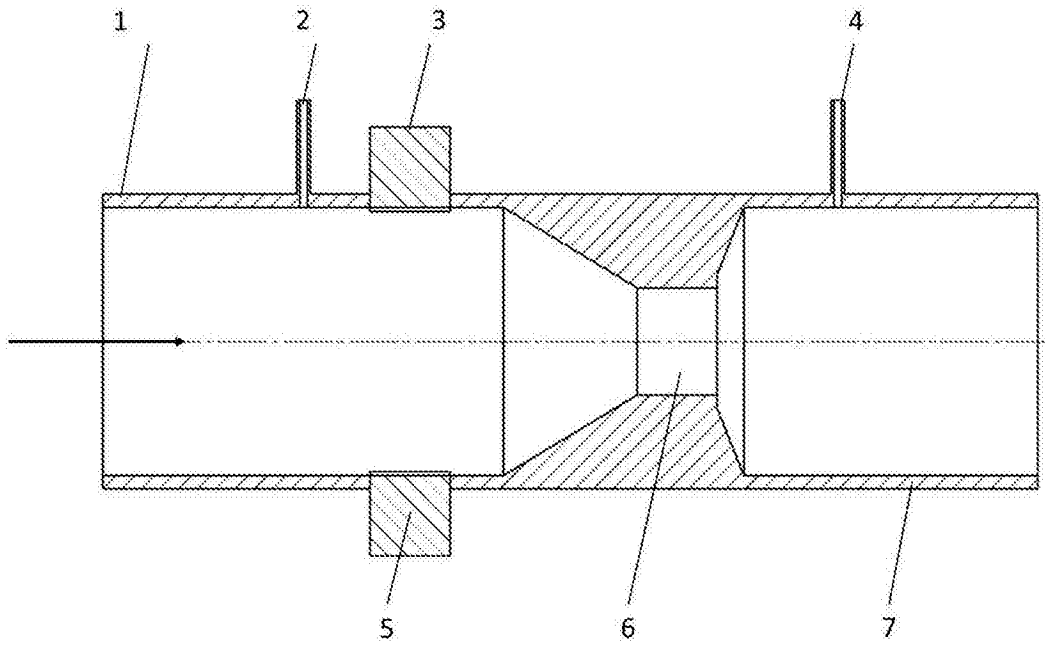


图1