



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105804720 A

(43)申请公布日 2016.07.27

(21)申请号 201610284541.0

(22)申请日 2016.04.29

(71)申请人 山东方锐智能科技有限公司
地址 250101 山东省济南市高新区工业南路59号4-705室

(72)发明人 刘仲锋 申法举

(74)专利代理机构 济南日新专利代理事务所
37224

代理人 王书刚

(51)Int.Cl.
E21B 47/00(2012.01)

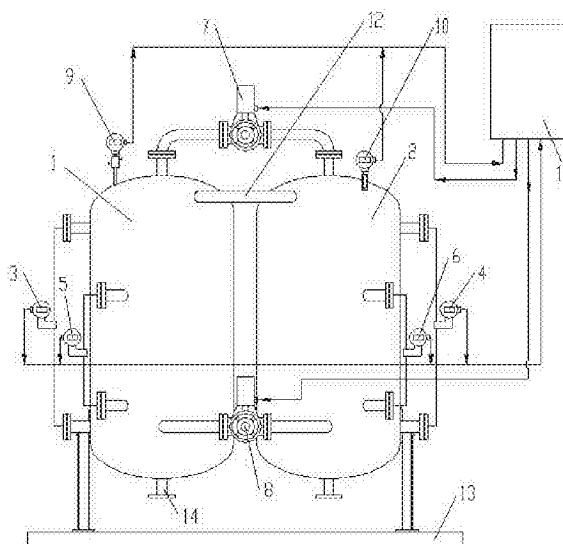
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

双体式油井三相自动计量器

(57)摘要

一种双体式油井三相自动计量器,包括第一罐体、第二罐体、两个电动三通阀和自动控制器;第一罐体上设置有第一差压变送器和第三差压变送器,第二罐体上设置有第二差压变送器和第四差压变送器;第三差压变送器和第四差压变送器分别设置在第一差压变送器和第二差压变送器之间;两个罐体尺寸完全相同,两个罐体的进口和出口分别与两个电动三通阀连接,两个罐体的上部连接有用于气体交换的连通管;罐体的顶部装有压力变送器和温度变送器;各电动部件器均与自动控制器连接。该计量器结构简单,只通过四个差压变送器的数据组合即可计量出产液量、油水比例、油量、水量和产气量,实现了油井油、水、气三相流量的连续实时计量,直观性强,计量准确。



1. 一种双体式油井三相自动计量器,包括两个罐体尺寸完全相同第一罐体、第二罐体;第一电动三通阀、第二电动三通阀和自动控制器。其特征是:第一罐体上设置有第一差压变送器和第三差压变送器,第二罐体上设置有第二差压变送器和第四差压变送器;第三差压变送器和第四差压变送器的上压力接口分别低于第一差压变送器和第二差压变送器的上压力接口;第三差压变送器和第四差压变送器的下压力接口分别高于第一差压变送器和第二差压变送器的下压力接口;两个罐体的进口分别与第一电动三通阀的两个输出接口连接,两个罐体的出口分别与第二电动三通阀的两个输出接口连接,两个罐体的上部连接有用于气体交换的连通管;罐体的顶部装有压力变送器和温度变送器;四个差压变送器、两个电动三通阀、压力变送器和温度变送器均与自动控制器连接;

自动控制器控制两个电动三通阀,使原油进入一个罐体成为进液罐体,而另一个罐体则排出原油成为排空罐体;当进液罐体差压值超过设定值后,控制两个电动三通阀使两个罐体的进液与排空状态互换;两个罐体交替进入原油和排空,两个罐体通过连通管进行气体交换;

将第三差压变送器和第四差压变送器的上压力接口位置定义为密度测量位置;当液位超过密度测量位置后,第一差压变送器或第二差压变送器的差压值继续增加,第三差压变送器或第四差压变送器的差压值不变;根据第一差压变送器和第三差压变送器的差压值变化或者是第二差压变送器和第四差压变送器的差压值变化,判断出液位是否高于密度测量位置;当液位超过密度测量位置时,根据第三差压变送器或第四差压变送器的上压力接口和下压力接口的高度及差压值计量出液密度;

根据第一差压变送器和第二差压变送器的差压值分别计量出两个罐体内的液量重量;根据液密度计量出两个罐体内的液量体积和气体空间体积;根据进液罐体的液量变化计量出产液量的重量和体积;根据气体空间体积的变化计量出工况下的产气量;根据工况下的产气量、压力和温度数据计量出标况下的产气量;根据液密度、油密度和水密度计算出液体的油水比例,进而计量出油重量、油体积、水重量和水体积;实现油井三相自动连续计量。

2. 根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述液密度的计算公式是:

$$\rho = \frac{P3 \times S}{h \times S} = \frac{P3}{h},$$

其中: ρ 是液密度; $P3$ 是当液位超过密度测量位置时由第三差压变送器或第四差压变送器的输出值; h 是第三差压变送器的上压力接口与下压力接口的间距或第四差压变送器的上压力接口与下压力接口的间距; S 是单个罐体的截面积。

3. 根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述产液量的计算公式是:

$$M1 = \sum \Delta P1XS。$$

其中: $M1$ 为产液量; $P1$ 是进液罐体的差压值; S 是单个罐体的截面积。

4. 根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述工况下的产气量的体积计算公式为:

$$Q1 = - \sum (\Delta P1 + \Delta P2) \frac{S}{\rho},$$

其中:P1:进液罐体的差压值;P2:排空罐体的差压值;S:单个罐体的截面积;\rho是液密度。

5.根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述标况下的产气量计算公式为:

$$Q2 = \sum \Delta \left(\left(V - (P1 + P2) \times \frac{S}{\rho} \right) \times \frac{(P + 101.325) \times 273.15}{101.325 \times (T + 273.15)} \right),$$

其中:V:两个罐体的总体积;P1:进液罐体的差压值;P2:排空罐体的差压值;S:单个罐体的截面积;\rho是液密度;T:由温度变送器读取的气体温度;P:由压力变送器读取的气体压力。

6.根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述水重量计算公式:

$$M3 = M1 \times Per = M1 \times \frac{\rho2 \times (\rho - \rho1)}{\rho \times (\rho2 - \rho1)}$$

其中:M1为产液量;\rho是液密度;\rho1是油密度;\rho2是水密度。

7.根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述水体积计算公式:

$$V3 = \frac{M3}{\rho2}$$

8.根据权利要求1所述的双体式油井三相自动计量器,其特征是:所述油重量计算公式:

$$M2 = M1 \times (1 - Per) = M1 \times \frac{\rho1 \times (\rho2 - \rho)}{\rho \times (\rho2 - \rho1)}。$$

双体式油井三相自动计量器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于对油井的产液量、产气量、油井的混合液密度、油井产液的含油量及含水量进行自动计量的设备,属于油井产出物油、水、气三相自动计量技术领域。

背景技术

[0002] 油井生产的井流物包含油、水、气和颗粒性固体,油、水、气的三相准确计量非常困难,目前的三相计量方法为质量流量计法及液位法,都存在不同程度的缺点。

[0003] 中国专利文献CN103835697A公开的《单井三相计量装置》,包括一次扩张管与二次扩张管,一次扩张管与锥型旋流分离器连通,一次扩张管顶端与二次扩张管连通;二次扩张管与气相管道连通,气相管道通过气体双转子流量计连通混合液出口管,二次扩张管侧部与一次扩张管连通,锥型旋流分离器固定于储油罐内腔上部,与一次扩张管连通;在储油罐的外侧壁上设置有上、下两个液位开关;在储油罐的底部,通过液相管道依次连通泵、控制阀、质量流量计及混合液出口管;两个液位开关、气体双转子流量计、质量流量计、控制阀、泵分别通过线缆连接控制器。CN101241121公开的《计时法三相计量分离器》,在计量过程中只记取三个液位计所显示的三个时间参数,就可完成油气水三相的计量,而无需再配套其它专门仪表。通过对混合液液位计和对应的水柱液位计的等高度的时间计量,同步求取出了混合液的重量(吨)和体积量(方),并导出了密度法测含水的参数 $\rho_{混} = t_1/t_2 * \rho_{水}$,由此计算出含水率;排放室的零位计计时实现了对产气量的计量,从而实现了油气水三相的计时法求取。CN103982170A公开的《一种中小液量、大气量油井三相计量装置》,主要包括气液旋流分离器、稳流器、气路缓冲罐、气路计量流量计、翻斗流量计和差压变送器。气液旋流分离器的主要功能是完成油井来液的气液分离工作;稳流器的主要功能是实现气液缓冲稳流、分离油水中残余气体;气路缓冲罐的主要功能是实现将气中的油水进行二次分离;气路计量流量计、翻斗流量计的主要功能是对气路、液路介质进行流量实时在线计量。

[0004] 上述装置或技术方案,都需要采用分离器进行气液分离,一是采用大型分离装置将产出物分离为单独的油相、水相、气相后,用两组液体流量计分别计量油相、水相流量,用一组气相流量计计量气相流量。这类技术结构复杂,体积庞大,不适合现场油井的单井三相计量应用。再者就是采用质量流量计进行液量及混合密度测量,该方法不适于产气量较大的油井及稠油井,三相计量误差很大。

[0005] 另外,也有通过其它技术方式进行油井的水、油、气三相计量:

[0006] CN102322908B公开的《差压式油气水三相计量装置》,包括恒温箱、气液分离器、油水分离器和计算机采集控制处理系统,所说的气液分离器上连有回压阀、气体流量计和差压传感器,油水分离器上连有差压传感器、电磁阀和天平,气液分离器与油水分离器相连。该项发明为静态油、水、气的化验测量,无法应用在油井自动计量上。

[0007] CN103046919A公开的《用液位和差压计量油井产出物的方法》,是在油井产出管路中串接一个圆筒装置,装置内有滞液腔、计量腔、排液腔、滞液阀、排液阀、液位传感器、差压传感器及配套的控制电路、压力传感器、温度传感器等;油井产出物流经圆筒装置过程中,

需经过装置内的计量腔。差压传感器、液位传感器对油井产出物进行不间断的测量,随时获取计量腔内油井产出物的差压、液位及配套的温度、压力等参数;控制电路通过已知条件油的密度 $\rho_{油}$ 、水的密度 $\rho_{水}$ 、计量腔的底面积 S ,结合液位传感器测量到的液位参数和差压传感器测量到的该液位下的重力参数,得到计量腔内油井产出物的体积 $V_{测}$ 、油的体积 $V_{油}$ 、水的体积 $V_{水}$ 、油的质量、水的质量及含水率。该项发明属于对油井的间断计量,无法实现连续测量。同时,该技术无法精确测得油水混合液的液位,也就无法进行油井三相计量。

[0008] CN201025024公开的《油井差压法计量装置》,罐体内由上至下顺序固定有液位上限开关、双法兰差压变送器以及液位下限开关,由数据采集控制器输出的排气、进液、排液控制信号作为相应电磁阀的控制信号,由高液位限位开关、液位上限开关、双法兰差压变送器以及液位下限开关输出的信号分别输入到数据采集控制器的相应数据采集端。该发明采用液位开关及差压变送器配合测量油井产出液的混合密度,由于液位开关有机械间隙,同时液位浮球在不同油密度中的浸入深渡不同,实际上是无法准确测定混合液位高度的,因而测量出的结果误差很大。

[0009] 上述发明,在现场油井三相自动在线连续计量应用中,存在相应的缺陷,应用效果不理想。

发明内容

[0010] 本发明针对现有油井的油、水、气三相在线计量技术存在的不足,提供一种结构简单、能够自动在线计量、计量精确度高、适用性强、实时性强的双体式油井三相自动计量器。

[0011] 本发明的双体式油井三相自动计量器,采用下述技术方案:

[0012] 该计量器包括第一罐体、第二罐体;第一电动三通阀、第二电动三通阀;自动控制器;第一罐体上设置有第一差压变送器和第三差压变送器,第二罐体上设置有第二差压变送器和第四差压变送器;第三差压变送器和第四差压变送器的上压力接口分别低于第一差压变送器和第二差压变送器的上压力接口;第三差压变送器和第四差压变送器的下压力接口分别高于第一差压变送器和第二差压变送器的下压力接口;两个罐体的进口分别与第一电动三通阀的两个输出接口连接,两个罐体的出口分别与第二电动三通阀的两个输出接口连接,两个罐体的上部连接有用于气体交换的连通管;罐体的顶部装有压力变送器和温度变送器(一个罐体的顶部装有压力变送器而另一个罐体的顶部装温度变送器);四个差压变送器、两个电动三通阀、压力变送器和温度变送器均与自动控制器连接。

[0013] 控制器控制两个电动三通阀,使原油进入一个罐体成为进液罐体,而另一个罐体则排出原油成为排空罐体;当进液罐体的差压值(第一差压变送器或者是第二差压变送器的输出值)超过设定值后,控制两个电动三通阀使两个罐体的进液与排空状态互换;两个罐体交替进入原油和排空,两个罐体完全对称并且通过连通管进行气体交换。

[0014] 将第三差压变送器和第四差压变送器的上压力接口位置定义为密度测量位置;当液位超过密度测量位置后,第一差压变送器或第二差压变送器的差压值继续增加,第三差压变送器或第四差压变送器的差压值不变;根据第一差压变送器和第三差压变送器的差压值变化或者是第二差压变送器和第四差压变送器的差压值变化,判断出液位是否高于密度测量位置;当液位超过密度测量位置时,根据第三差压变送器或第四差压变送器的上压力接口和下压力接口的高度及差压值计量出液密度。

[0015] 根据第一差压变送器和第二差压变送器的差压值分别计量出两个罐体内的液量重量;根据液密度计量出两个罐体内的液量体积和气体空间体积;根据进罐体的液量变化计量出产液量的重量和体积;根据气体空间体积的变化计量出工况下的产气量;根据工况下的产气量、压力和温度数据计量出标况下的产气量;根据液密度、油密度和水密度计算出液体的油水比例,进而计量出油重量、油体积、水重量和水体积;实现油井三相自动连续计量。

[0016] 所述液密度的计算公式是:

$$[0017] \quad \rho = \frac{P3 \times S}{h \times S} = \frac{P3}{h},$$

[0018] 其中: ρ 是液密度; $P3$ 是当液位超过密度测量位置时由第三差压变送器或第四差压变送器的输出值; h 是第三差压变送器的上压力接口与下压力接口的间距或第四差压变送器的上压力接口与下压力接口的间距; S 是单个罐体的截面积。

[0019] 所述产液量的计算公式是:

$$[0020] \quad M1 = \sum \Delta P1XS.$$

[0021] 其中: $M1$ 为产液量; $P1$ 是进液罐的差压值(第一差压变送器或者是第二差压变送器的输出值); S 是单个罐体的截面积。

[0022] 所述产液量的体积根据产液量和液密度计算:

$$[0023] \quad V1 = \frac{M1}{\rho}.$$

[0024] 所述工况下的产气量的体积计算公式为:

$$[0025] \quad Q1 = - \sum (\Delta P1 + \Delta P2) \frac{S}{\rho},$$

[0026] 其中: $P1$:进液罐的差压值; $P2$:排空罐的差压值(第二差压变送器或者是第一差压变送器的输出值); S :单个罐体的截面积; ρ 是液密度。

[0027] 所述标况下的产气量计算公式为:

$$[0028] \quad Q2 = \sum \Delta \left(\left(V - (P1 + P2) \times \frac{S}{\rho} \right) \times \frac{(P + 101.325) \times 273.15}{101.325 \times (T + 273.15)} \right),$$

[0029] 其中: V :两个罐体的总体积; $P1$:进液分离器的差压值; $P2$:排空分离器的差压值; S :单个罐体的截面积; ρ 是液密度; T :由温度变送器读取的气体温度; P :由压力变送器读取的气体压力。

[0030] 所述水重量计算公式:

$$[0031] \quad M3 = M1 \times Per = M1 \times \frac{\rho2 \times (\rho - \rho1)}{\rho \times (\rho2 - \rho1)}$$

[0032] 其中: $M1$ 为产液量; ρ 是液密度; $\rho1$ 是油密度; $\rho2$ 是水密度。

[0033] 所述水体积计算公式:

$$[0034] \quad V3 = \frac{M3}{\rho2}$$

[0035] 所述油重量计算公式:

$$[0036] \quad M2 = M1 \times (1 - Per) = M1 \times \frac{\rho1 \times (\rho2 - \rho)}{\rho \times (\rho2 - \rho1)},$$

[0037] 所述油体积计算公式:

$$[0038] \quad V2 = \frac{M2}{\rho1}.$$

[0039] 本发明通过两个罐体交替进入油井产出的混合液和排空,无需外接其它计量器具,结构简单,只通过四个差压变送器的数据组合即可计量出油井混合原油的油水比例、油量、水量和产气量。第一差压变送器和第二差压变送器用于直接计量产液量,当罐体内液位超过第三差压变送器或第四差压变送器的上压力接口时计量混合液密度;第三差压变送器和第四差压变送器的下压力接口分别低于第一差压变送器和第二差压变送器的下压力接口时,可以消除差压变送器零点漂移对液体密度计量的影响。实现了油井流量进行在线连续实时自动计量,直观性强,计量准确。

附图说明

[0040] 图1是本发明双体式油井三相自动计量器的结构示意图。

[0041] 其中:1、第一罐体;2、第二罐体;3、第一差压变送器;4、第二差压变送器;5、第三差压变送器;6、第四差压变送器;7、第一电动三通阀;8、第二电动三通阀;9、压力变送器;10、温度变送器;11、PLC控制器;12、连通管;13、底座;14、排污口。

具体实施方式

[0042] 如图1所示,本发明的双体式油井三相自动计量器,主要包括第一罐体1、第二罐体2和PLC控制器11,第一罐体1和第二罐体2并列安装在底座13上。第一罐体1和第二罐体2的进口分别连接第一电动三通阀7的两个输出接口,两个罐体的出口分别与第二电动三通阀8的两个输出接口连接。第一电动三通阀7的输入接口作为油井原油进口,第二电动三通阀8的输入接口作为油井原油出口。第一电动三通阀7和第二电动三通阀8的输入接口只能与其一个输出接口连通。两个罐体的上部连接有用于气体交换的连通管12。第一罐体1的顶部安装有压力变送器9,第二罐体2的顶部安装有温度变送器10,用于测量罐体顶部气体的的压力和温度。第一罐体1上设置有第一差压变送器3和第三差压变送器5,第三差压变送器5的上压力接口低于第一差压变送器3的上压力接口,第三差压变送器5的下压力接口高于第一差压变送器3的下压力接口。第二罐体2上设置有第二差压变送器4和第四差压变送器6,第四差压变送器6的上压力接口低于第二差压变送器4的上压力接口,第四差压变送器6的下压力接口高于第二差压变送器4的下压力接口。第一罐体1和第二罐体2的底部均设置有排污口14。四个差压变送器、两个电动三通阀、压力变送器和温度变送器均与PLC控制器11连接。

[0043] 将油井原油输入管与第一电动三通阀7的输入接口连接,原油输出管与第二电动三通阀8的输入接口连接。PLC控制器11控制第一电动三通阀7和第二电动三通阀8的开关方向。如果控制第一电动三通阀7的输入口与第一罐体1的进口连通而与第二罐体2的进口截止(不连通),第二电动三通阀8的输入口与第一罐体1的出口截止而与第二罐体2的出口连通,此时原油进入第一罐体1,第一罐体1中的原油液位上升,第一罐体1中的气体通过连通

管12进入第二罐体2,第二罐体2自动排空。第一罐体1成为进液罐体,第二罐体2则成为排空罐体。当第一罐体1中的差压值(第一差压变送器3的输出值)超过设定值后,PLC控制器11控制两个电动三通阀的开关反向动作,使两个罐体的进液与排空状态互换。两个罐体交替进行原油和排空,两个罐体通过连通管进行气体交换。

[0044] 将第三差压变送器5和第四差压变送器6的上压力接口位置定义为密度测量位置。以进液罐体是第一罐体1为例,当液位不超过密度测量位置时,第一差压变送器3和第三差压变送器5的输出值(差压值)随着液位上升而同步增加,液位超过此位置后第一差压变送器3输出值继续增加,第三差压变送器5的输出值不变。根据第一差压变送器3和第三差压变送器5的输出值变化可判断出液位是否高于密度测量位置。当液位超过密度测量位置时,根据第三差压变送器5的上压力接口和下压力接口的高度及差压值计量出液密度。

[0045] 根据第一差压变送器3和第二差压变送器4的输出值可分别计量出两个罐体内的液量重量。根据液密度计量出两个罐体内的液量体积和气体空间体积。根据进液罐体的液量变化可计量出产液量的重量和体积。根据气体空间体积的变化计量出工况下的产气量;根据工况下的产气量、压力和温度数据可计量出标况下的产气量。

[0046] 根据混合液密度、油密度和水密度可计算出液体的油水比例,进而计量出油量和水量;实现油井三相自动连续计量。

[0047] 第一差压变送器3和第二差压变送器4用于直接计量产液量,当罐体内液位超过第三差压变送器5或第四差压变送器6的上压力接口时计量混合液密度。第三差压变送器5和第四差压变送器6的下压力接口分别低于第一差压变送器3和第二差压变送器4的下压力接口时,可以消除差压变送器零点漂移对液体密度计量的影响。

[0048] 四个差压变送器的数据组合可计量油水比例、油量、水量和产气量。由第一差压变送器3、第二差压变送器4、第三差压变送器5、第四差压变送器6、压力变送器9和温度变送器10可直接读取到以下数据:

[0049] P1:进液罐体的差压值(第一差压变送器3或者是第二差压变送器4的输出值)。

[0050] P2:排空罐体的差压值(第二差压变送器4或者是第一差压变送器3的输出值)。

[0051] P3:由第三差压变送器5读取的差压值(用于测量密度)。

[0052] P4:由第四差压变送器6读取的差压值(用于测量密度)。

[0053] T:由温度变送器10输出的气体温度。

[0054] P:由压力变送器9输出的气体压力。

[0055] 根据以上数据,可计算出以下数据:

[0056] ρ :液密度;

[0057] M1:产液量(重量单位);

[0058] M2:产液量中的油量(重量单位);

[0059] M3:产液量中的水量(重量单位);

[0060] V1:产液量(体积单位);

[0061] V2:产液量中的油量(体积单位);

[0062] V3:产液量中的水量(体积单位);

[0063] Q1:产气量(工况);

[0064] Q2:产气量(标况)。

[0065] 需要用到以下数据常量:

[0066] ρ_1 :油密度;

[0067] ρ_2 :水密度;

[0068] V :两个罐体的总体积;

[0069] h :第三差压变送器5的上压力接口与下压力接口的间距,或第四差压变送器6的上压力接口与下压力接口的间距;

[0070] S :单个罐体的截面积。

[0071] 以下给出产液量、液密度、产气量、油量和水量的计算公式。

[0072] 1.产液量计算公式

[0073] 根据压强的定义,进液罐体内的液量是 P_1XS ,排空罐体内的液量是 P_2XS ,根据进液罐体内液量的变化计量产液量,计算公式是:

$$[0074] \quad M_1 = \sum \Delta P_1XS。$$

[0075] 2.液密度计量

[0076] 这里以第三压差变送器5的测液密度为例。

[0077] 第三差压变送器5的上压力接口与下压力接口之间液量的体积是 hXS ,重量是 P_3XS ,那么液密度是:

$$[0078] \quad \rho = \frac{P_3 \times S}{h \times S} = \frac{P_3}{h}。$$

[0079] 根据液密度,可计算出产液量的体积:

$$[0080] \quad V_1 = \frac{M_1}{\rho}。$$

[0081] 3.产气量计算公式

[0082] 根据压强的定义,进液罐体内的液量是 P_1XS ,排空罐体内的液量是 P_2XS ,分别除以液密度,可计算出两个罐体内的液体体积,根据液体体积的变化可计算出工况下的产气量:

$$[0083] \quad Q_1 = - \sum (\Delta P_1 + \Delta P_2) \frac{S}{\rho}。$$

[0084] 先根据压力和温度计算出气体空间总体积,用 Q_3 表示:

$$[0085] \quad Q_3 = V - \left(\frac{P_1 \times S}{\rho} + \frac{P_2 \times S}{\rho} \right) = V - (P_1 + P_2) \times \frac{S}{\rho}，$$

[0086] 再计算出标况下气体体积,用 Q_4 表示:

$$[0087] \quad Q_4 = \left(V - (P_1 + P_2) \times \frac{S}{\rho} \right) \times \frac{(P + 101.325) \times 273.15}{101.325 \times (T + 273.15)}，$$

[0088] 根据 Q_4 的变化量计量标况下的产气量:

$$[0089] \quad Q_2 = \sum \Delta \left(\left(V - (P_1 + P_2) \times \frac{S}{\rho} \right) \times \frac{(P + 101.325) \times 273.15}{101.325 \times (T + 273.15)} \right)。$$

[0090] 4.液量中的油量和水量计算

[0091] 根据油密度和水密度可计算出含水比例(重量比例):

$$[0092] \quad \text{Per} = \frac{\rho_2 \times (\rho - \rho_1)}{\rho \times (\rho_2 - \rho_1)},$$

[0093] 进而计算出油和水的重量和体积:

$$[0094] \quad M_2 = M_1 \times (1 - \text{Per}) = M_1 \times \frac{\rho_1 \times (\rho_2 - \rho)}{\rho \times (\rho_2 - \rho_1)},$$

$$[0095] \quad V_2 = \frac{M_2}{\rho_1},$$

$$[0096] \quad M_3 = M_1 \times \text{Per} = M_1 \times \frac{\rho_2 \times (\rho - \rho_1)}{\rho \times (\rho_2 - \rho_1)},$$

$$[0097] \quad V_3 = \frac{M_3}{\rho_2}.$$

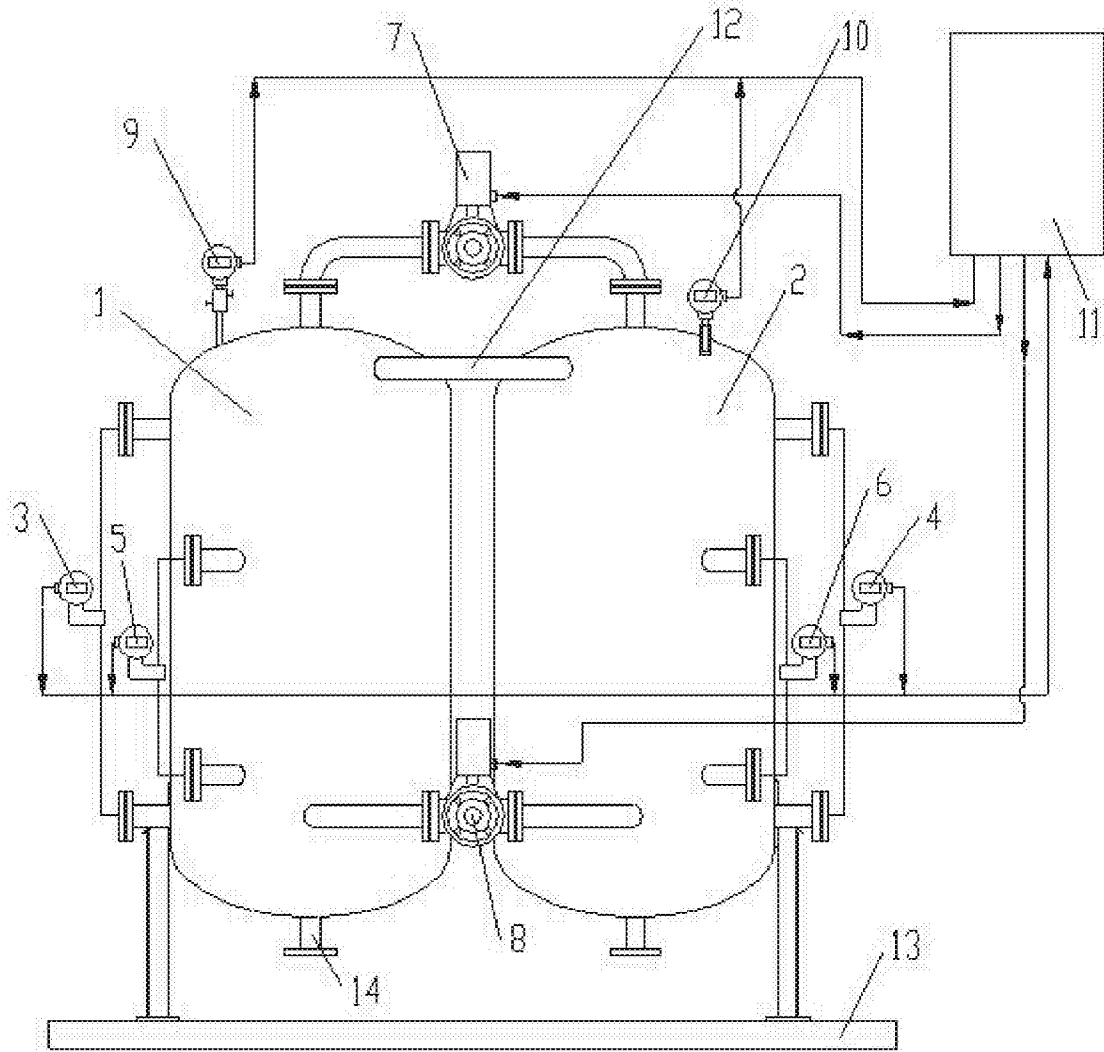


图1