

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01F 1/44 (2006.01)

G01F 1/34 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510022785.3

[45] 授权公告日 2008年7月2日

[11] 授权公告号 CN 100398998C

[22] 申请日 2005.12.31

[21] 申请号 200510022785.3

[73] 专利权人 西安开尔能源工程有限责任公司

地址 710075 陕西省西安市高新区高新三路9号信息港大厦

[72] 发明人 易楠 周芳德 郭辉 刘彬  
王涛

[56] 参考文献

CN2293799Y 1998.10.7

US6182505B1 2001.6.2

CN1120981C 2003.9.10

CN2407331Y 2000.11.22

GB2351810 2001.1.10

US6378380B1 2002.4.30

审查员 王敏

[74] 专利代理机构 西安新思维专利商标事务所有  
限公司

代理人 李昱

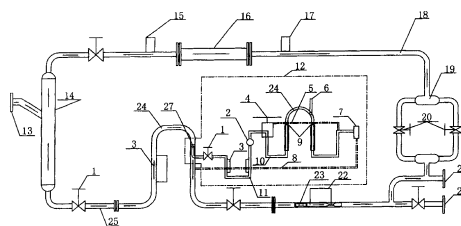
权利要求书4页 说明书8页 附图2页

[54] 发明名称

原油-天然气-水三相流量仪及其测量方法

[57] 摘要

本发明涉及一种原油-天然气-水三相流量仪。目前三相流量仪主要使用文丘里管三相总流量， $\gamma$ 射线测相比率，由于采用了 $\gamma$ 射线，对安全防护有较高要求，限制了此类产品的使用范围，很难精确测定含水率。本发明的目的是提供一种新的原油-天然气-水三相流量仪及测量方法。本发明的技术方案是：设备进口经过流型整理器分两路，一路依次装配压力变送器、旋进漩涡流量计、温度变送器和并联的气液阻力平衡阀；另一路依次装配倒“U”形管、含水取样分析装置、静态混合器、文丘利管。优点：此结构依赖理论计算方法，避免了传热计算中的经验成分，因而量程范围和精度极大提高，调试过程简化，扩大量程范围，简化调试过程，适用范围广，精度高。



1、原油-天然气-水三相流量仪，包括阀、“U”形管、变送器、含水取样分析装置（12）、文丘利管（22）、静态混合器（23），其特征是：设备进口（13）经过流型整理器（14）分成上下两路；上面一路为气管路（18），从流型整理器（14）出口到排液出口（21）依次装配压力变送器（15）、旋进漩涡流量计（16）、温度变送器（17）和并联的气液阻力平衡阀（20）；下面一路为水油管路（25），从流型整理器（14）出口到排液出口（21）依次装配带有压差变送器（3）的倒“U”形管（24）、静态混合器（23）、文丘利管（22），其中在倒“U”形管（24）下降管段连接含水取样装置（12）。

2、根据权利要求1所述的原油-天然气-水三相流量仪，其特征是：在含水取样装置（12）中，含水取样管道（10）进口至回路依次是，进口经取样器（27）、装有左右压差变送器（3）的“U”形管（11）、齿轮泵（2）、温度、温差复合变送器（4）、带有左右加热棒（9）的倒“U”形管（24）和取样回路（8）组成回路，其中带有加热棒（9）的倒“U”形管（24）后段与前面的温度、温差复合变送器（4）之间组成复合变送器测温回路（5）。

3、根据权利要求2所述的原油-天然气-水三相流量仪，其特征是：在带有左右加热棒（9）的倒“U”形管（24）上部或者含水取样管道（10）上连接安装有温度传感器（6）。

4、根据权利要求2所述的原油-天然气-水三相流量仪，其特征是：在含水取样管道（10）进口处连接球阀（1），在取样回路（8）上或者含水取样管道（10）上连接油流量开关（7）。

5、根据权利要求 1 所述的原油-天然气-水三相流量仪的测量方法，其特征是：被测流体先经过流型整理器（14）处理分作两路，上面一路是分出的大部分气体，经旋进漩涡流量计（16）测量；下面一路是分出的液体和少部分气体经倒“U”形管（24）测气、液比，经静态混合器（23）混合均匀，再经过文丘里管测总流量  $Q$ ：
$$Q = C \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\rho_m}}$$

式中：C：系数

$\Delta P_2$ ：文丘里管压差，单位 Pa

$\rho_m$ ：混合物密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

在流体流经倒“U”形管（24）上升段时测量此段的压差 $\Delta P_1$ ，此压差由以下部分组成： $\Delta P_1 = \rho_m gh + \Delta P_f$

式中：g：重力加速度，单位  $\text{M/S}^2$

h：两取压点之间高度差，单位 M

$\Delta P_f$ ：流动阻力，单位 Pa

其中 $\Delta P_f$ 根据流体力学原理估算出来，即可求出 $\rho_m = (\Delta P_1 - \Delta P_f) / gh$

而同时 $\rho_m = \alpha Q \rho_g + (1 - \alpha) Q H \rho_w + (1 - \alpha) Q (1 - H) \rho_o$

式中： $\alpha$ ：含气率

H：可由含水测量段测出的含水率

$\rho_g$ ：已知的气体密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_w$ ：已知的水密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_o$ ：已知的油密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

Q：由文丘里管测出的总流量，单位  $\text{m}^3/\text{S}$

因而求出  $\alpha$ ，从而求出气体流量  $Q_g$ ， $Q_g = \alpha Q$ ，整个气体总流量  $Q_{g总}$   
 $= \alpha Q + Q_{g表}$

式中  $Q_{g表}$  为旋进漩涡流量计 (16) 所测气量，单位  $m^3/S$

流体流经倒“U”形管 (24) 下降管段时，从流体中取出部分液体，此部分液体由齿轮泵 (2) 抽出，由含水取样装置 (12) 测出此部分液体中含有极少量的气体：

$$\Delta P_{xup} = \rho_{mx}gh_x + \Delta P_{fx}$$

$$\Delta P_{xdown} = \Delta P_{fx} - \rho_{mx}gh_x$$

$$2 \rho_{mx}gh_x = \Delta P_{fx} - \Delta P_{xdown}$$

$$\rho_{mx} = (\Delta P_{xup} - \Delta P_{xdown}) / 2gh_x \quad \text{-----①}$$

式中  $\rho_{mx}$  取样回路流体密度，单位  $Kg/m^3$

$\Delta P_{xup}$  取样回路上升管压差，单位  $Kg/m^3$

$\Delta P_{fx}$  流体与管壁形成的摩擦力产生的压强，单位 Pa

$\Delta P_{xdown}$  取样回路下降管压差，单位  $Kg/m^3$

$h_x$  取样差点高度差，单位 M

然后流体流经加热棒 (9)，测量温差  $\Delta T$  和加热功率 W

$$W = Q_p \left( \frac{\rho_{mx}}{\rho_w H + (1-H)\rho_o} HC_w + \frac{\rho_{mx}}{\rho_w H + (1-H)\rho_o} (1-H)C_o \right) \quad \text{-----②}$$

①、②联立求出含水率 H-----

式中  $Q_p$  齿轮泵流量，单位  $m^3/S$

$C_w$ \_\_\_\_\_水比热, 单位  $w/Kg \cdot ^\circ C$

$C_o$ \_\_\_\_\_油比热, 单位  $w/Kg \cdot ^\circ C$

通过文丘里管 (22) 测出了总流量  $Q$ , 带有压差变送器 (3) 的倒“U”形管 (24) 测出含气率  $\alpha$ , 加热棒 (9) 测出含水率  $H$ , 即分别得出油、气、水流量:

$$Q_g = \alpha Q$$

$$Q_w = (1 - \alpha) Q H$$

$$Q_o = (1 - \alpha) Q (1 - H)$$

$Q_g$ \_\_\_\_\_气流量, 单位  $m^3/S$

$Q_w$ \_\_\_\_\_水流量, 单位  $m^3/S$

$Q_o$ \_\_\_\_\_油流量, 单位  $m^3/S$ 。

## 原油-天然气-水三相流量计及其测量方法

### 一、所属技术领域

本发明涉及一种原油-天然气-水三相流量计及其测量方法。

### 二、背景技术

随着油田开采，集输技术的发展，特别是上世纪九十年代末开始，油田对原油-天然气-水三相流量计的需求日益迫切，特别是在海洋油田的开发上对三相流量计有更加急迫的需求。目前三相流量计主要使用文丘里管测三相总流量， $\gamma$ 射线测相比率（气、液比和油、水比）。此方法由于采用了 $\gamma$ 射线，对安全防护有较高要求，较大地限制了此类产品的使用范围，且 $\gamma$ 射线测含水率（油水比）时，把油水的密度作为特征量，依据油、水密度的不同来计量含水率，由于油、水密度较接近（其密度比在 0.83: 1 到 0.93: 1），精度受到限制，特别是在稠油（其密度为水的 90% 以上）状态时，很难精确测定含水率。另外还有用介电常数作为特征量，用电容法测量含水率，此方法虽然避免了 $\gamma$ 射线带来的安全问题，且油、水介电常数相差非常大，可以较容易的区分油、水，但水的介电常数受矿化度影响非常大，极大的影响了测量精度。依据传热学原理，把油、水的导热系数作为特征量来测量含水率，但此方法由于受油的粘度变化影响（油的粘度随温度变化很大），且由于流动和传热过程的复杂性（目前都依赖经验公式计算传热过程），其量程范围受到局限，且调试过程复杂限制了应用，同时根据流体力学理论，用倒 U 型管测量气、液比的方法，此方法由于受流型影响严重，特别是当流型为环状流时很难准确测定气、液比，且调试较为复杂。国家知识产权局于 1998 年 10 月 07 日公告了一种“油气水三相流量计”，申请号是 96236320，结构是包括文丘里管、传感器、信号采集处理器。垂直设置的取样管道通过倒 U 型管与主管道相连，U 型管测量段两侧、取样管道、文丘里管分别装有非接触式压力差传感器，各传感器均经 A / D 转换器接计算机。双

文丘管水平放置。温度传感器、压力传感器分别装于水平主管道内，主管道内设有阀门。

### 三、发明内容

本发明的目的是为了克服上述背景技术中不足之处，提供一种新的原油-天然气-水三相流量计及其测量方法，在油田开采，特别是在海洋油田的开发上扩大使用范围，提高测量精度和使用性能。本发明是专利申请人投资进行了大量研究和实验发展而来，其原理和测量方法是把比热作为特征量（油、水的比热比约为 1: 3），从来流中取出部分液体以固定流量流过一个加热器，由于油、水比热不同，不同含水率的液体经过加热器所达到的温差不同，通过计算即可得出含水率及原油-天然气-水三相流量。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：原油-天然气-水三相流量计，包括阀、“U”形管、变送器、含水取样分析装置 12、文丘利管 22、静态混合器 23，其特征是：设备进口 13 经过流型整理器 14 分成上下两路；上面一路为气管路 18，从流型整理器 14 出口到排液出口 21 依次装配压力变送器 15、旋进漩涡流量计 16、温度变送器 17 和并联的气液阻力平衡阀 20；下面一路为水油管路 25，从流型整理器 14 出口到排液出口 21 依次装配带有压差变送器 3 的倒“U”形管 24、静态混合器 23、文丘利管 22，其中在倒“U”形管 24 下降管段连接含水取样装置 12。

本发明解决其技术问题还采用的技术方案是：

所述的原油-天然气-水三相流量计，其特征是：在含水取样装置 12 中，含水取样管道 10 进口至回路依次是，进口经取样器 27、装有左右压差变送器 3 的“U”形管 11、齿轮泵 2、温度、温差复合变送器 4、带有左右加热棒 9 的倒“U”形管 24 和取样回路 8 组成回路，其中带有加热棒 9 的倒“U”形管 24 后段与前面的温度、温差复合变送器 4 之间组成复合变送器测温回路 5。

所述的原油-天然气-水三相流量计，其特征是：在带有左右加热棒 9 的倒“U”形管 24 上部或者含水取样管道 10 上连接安装有温度传感器 6。

所述的原油-天然气-水三相流量仪，其特征是：在含水取样管道 10 进口处连接球阀 1，在取样回路 8 上或者含水取样管道 10 上连接油流量开关 7。

所述的原油-天然气-水三相流量仪的测量方法，其特征是：被测流体先经过流型整理器 14 处理分作两路，上面一路是分出的大部分气体，经旋进漩涡流量计 16 测量；下面一路是分出的液体和少部分气体经倒“U”形管 24 测气、液比，经静态混合器 23 混合均匀，再经过文丘里管测总流量 Q：

$$Q = C \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\rho_m}}$$

式中：C：系数

$\Delta P_2$ ：文丘里管压差，单位 Pa

$\rho_m$ ：混合物密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

在流体流经倒“U”形管（24）上升段时测量此段的压差 $\Delta P_1$ ，此压差由以下部分组成： $\Delta P_1 = \rho_m gh + \Delta P_f$

式中：g：重力加速度，单位  $\text{M/S}^2$

h：两取压点之间高度差，单位 M

$\Delta P_f$ ：流动阻力，单位 Pa

其中 $\Delta P_f$ 根据流体力学原理估算出来，即可求出 $\rho_m = (\Delta P_1 - \Delta P_f) / gh$

而同时 $\rho_m = \alpha Q \rho_g + (1 - \alpha) Q H \rho_v + (1 - \alpha) Q (1 - H) \rho_o$

式中： $\alpha$ ：含气率

H：可由含水测量段测出的含水率

$\rho_g$ ：已知的气体密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_v$ ：已知的水密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_o$ ：已知的油密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

Q：由文丘里管测出的总流量，单位  $\text{m}^3/\text{S}$

因而求出 $\alpha$ ，从而求出气体流量 $Q_g$ ， $Q_g = \alpha Q$ ，整个气体总流量 $Q_{g\text{总}} = \alpha Q + Q_{g\text{表}}$

式中 $Q_{g\text{表}}$ 为旋进漩涡流量计（16）所测气量，单位  $\text{m}^3/\text{S}$



流体流经倒“U”形管(24)下降管段时,从流体中取出部分液体,此部分液体由齿轮泵(2)抽出,由含水取样装置(12)测出此部分液体中含有极少量的气体:

$$\Delta P_{xup} = \rho_{mx}gh_x + \Delta P_{fx}$$

$$\Delta P_{xdown} = \Delta P_{fx} - \rho_{mx}gh_x$$

$$2 \rho_{mx}gh_x = \Delta P_{fx} - \Delta P_{xdown}$$

$$\rho_{mx} = (\Delta P_{xup} - \Delta P_{xdown}) / 2gh_x \quad \text{-----①}$$

式中  $\rho_{mx}$  取样回路流体密度, 单位 Kg/m<sup>3</sup>

$\Delta P_{xup}$  取样回路上升管压差, 单位 Kg/m<sup>3</sup>

$\Delta P_{fx}$  流体与管壁形成的摩擦力产生的压强, 单位 Pa

$\Delta P_{xdown}$  取样回路下降管压差, 单位 Kg/m<sup>3</sup>

$h_x$  取样差点高度差, 单位 M

然后流体流经加热棒(9), 测量温差 $\Delta T$ 和加热功率W

$$W = Q_p \left( \frac{\rho_{mx}}{\rho_w H + (1-H)\rho_o} HC_w + \frac{\rho_{mx}}{\rho_w H + (1-H)\rho_o} (1-H)C_o \right) \quad \text{-----②}$$

①、②联立求出含水率H-----

式中  $Q_p$  齿轮泵流量, 单位 m<sup>3</sup>/S

$C_w$  水比热, 单位 w/Kg · °C

$C_o$  油比热, 单位 w/Kg · °C。

本发明的有益效果是: 此结构依赖理论计算方法, 避免了传热计算中的经验成分, 因而量程范围和精度极大提高, 调试过程极大简化, 同时避免了粘度带来的影响, 气、液比测量方面在 U 型管前加上一个流型整理器(或叫做部分分离装置), 分掉大部分气体用旋进旋涡流量计计量, 使经过倒 U 型管的流体始终维持在低气、液比的状态, 避免了流型带来的影响, 扩大了量程范围和测

量精度，简化了调试过程，本发明两种结构装置适用不同范围，这种工作原理及测量方法无 $\gamma$ 射线的安全隐患，可测量稠油，不受矿化度影响。具有测量精度高、适用范围广、测量可靠、稳定的特点。

#### 四、附图说明

图1是本发明第一种三相流量仪结构和工作示意图，图2是第二种三相流量仪结构和工作示意图。

上述图中标号说明：1. 球阀，2. 齿轮泵，3. 压差变送器，4. 温度、温差复合变送器，5. 复合变送器测温回路，6. 温度传感器，7. 油流量开关，8. 取样回路，9. 加热棒，10. 含水取样管道，11. “U”形管，12. 含水取样分析装置，13. 设备进口，14. 流型整理器，15. 压力变送器，16. 旋进漩涡流量计，17. 温度变送器，18. 气管路，19. 三通，20. 气液阻力平衡阀，21. 排液出口，22. 文丘利管，23. 静态混合器，24. 倒“U”形管，25. 水油管路，26. 过滤器，27. 取样器。

#### 五、具体实施方式

下面结合附图和实施例对本发明进一步说明，在图1中，从设备进口13到排液出口21是一个完整的三相流量仪结构和工作示意图。设备进口13经过流型整理器14分作上下两路，上边一路气管路18，下边一路为水油管路25。其中在上边一路气管路18行程中，浮动式球阀1经压力变送器15、旋进漩涡流量计16、温度变送器17、三通19、两个并联气液阻力平衡阀20、三通19和排液出口21组成回路，这一路主要是通过测压力、流量和温度，换算成标准状况下的气体流量。在下边一路为水油管路25行程中，浮动式球阀1经过带有压差变送器3的倒“U”形管24、浮动式球阀1、静态混合器23、文丘利管22和排液出口21组成回路；同时在倒“U”形管24下降管段连接一个含水取样分析装置12小回路，在含水取样分析装置12中，含水取样管道10进口至回路依次是，进口经取样器27、浮动式球阀1、装有左右压差变送器3的“U”形管11、齿轮泵2、温度、温差复合变送器4、带有左右加热棒9的倒“U”形管24、温度传感器6、油流量开关7和取样回路8组成回路；其中带有加热棒9的倒“U”形

管 24 后段与前面的温度、温差复合变送器 4 之间组成复合变送器测温回路 5，在带有左右加热棒 9 的倒“U”形管 24 上安装有温度传感器 6。

在图 2 中，对照图 1，基本结构上是一样的，不同的是含水取样分析装置 12 放在流型整理器 14 的前面，在设备进口 13 和含水取样分析装置 12 整体之间多了一个过滤器 26，过滤器 26 根据含沙量可装可不装；取样器 27 下面主管道经过球阀 1 连接流型整理器 14。

本发明系统的用途及测量方法：如图 1 所示，被测流体先经过流型整理装置 14，把大部分气体分出，经过上面一路的旋进漩涡流量计 16 测量。下面一路液体和少部分气体经倒“U”形管 24 测气、液比，经静态混合器 23 混合均匀，

再经过文丘里管 22 测总流量  $Q$ ，即  $Q = C \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\rho_m}}$

式中：C：系数

$\Delta P_2$ ：文丘里管压差，单位 Pa

$\rho_m$ ：混合物密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

在流体流经倒“U”形管（24）上升段时测量此段的压差  $\Delta P_1$ ，此压差由以下部分组成： $\Delta P_1 = \rho_m gh + \Delta P_r$

式中：g：重力加速度，单位  $\text{M/S}^2$

h：两取压点之间高度差，单位 M

$\Delta P_r$ ：流动阻力，单位 Pa

其中  $\Delta P_r$  根据流体力学原理估算出来，即可求出  $\rho_m = (\Delta P_1 - \Delta P_r) / gh$

而同时  $\rho_m = \alpha Q \rho_g + (1 - \alpha) Q H \rho_w + (1 - \alpha) Q (1 - H) \rho_o$

式中： $\alpha$ ：含气率

H：含水率（可由含水测量段测出）

$\rho_g$ ：已知的气体密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_w$ ：已知的水密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

$\rho_o$ ：已知的油密度，单位  $\text{Kg/m}^3$

Q: 由文丘里管测出的总流量, 单位 m<sup>3</sup>/S

因而求出 α, 从而求出气体流量 Q<sub>g</sub>, Q<sub>g</sub> = α Q, 整个气体总流量 Q<sub>g总</sub> = α Q + Q<sub>g表</sub>

式中 Q<sub>g表</sub> 为旋进漩涡流量计 (16) 所测气量, 单位 m<sup>3</sup>/S

流体流经倒“U”形管 (24) 下降管段时, 从流体中取出部分液体, 此部分液体由齿轮泵 (2) 抽出, 由含水取样装置 (12) 测出此部分液体中含有极少量的气体:

$$\Delta P_{xup} = \rho_{mx}gh_x + \Delta P_{fx}$$

$$\Delta P_{xdown} = \Delta P_{fx} - \rho_{mx}gh_x$$

$$2 P_{xdown}gh_x = \Delta P_{fx} - \Delta P_{xdown}$$

$$\rho_{mx} = (\Delta P_{xup} - \Delta P_{xdown}) / 2gh_x \quad \text{-----①}$$

式中 ρ<sub>mx</sub> \_\_\_\_\_ 取样回路流体密度, 单位 Kg/m<sup>3</sup>

ΔP<sub>xup</sub> \_\_\_\_\_ 取样回路上升管压差, 单位 Kg/m<sup>3</sup>

ΔP<sub>fx</sub> \_\_\_\_\_ 流体与管壁形成的摩擦力产生的压强, 单位 Pa

ΔP<sub>xdown</sub> \_\_\_\_\_ 取样回路下降管压差, 单位 Kg/m<sup>3</sup>

h<sub>x</sub> \_\_\_\_\_ 取样差点高度差, 单位 M

然后流体流经加热棒 (9), 测量温差 ΔT 和加热功率 W

$$W = Q_p \left( \frac{\rho_{mx}}{\rho_w H + (1-H)\rho_o} HC_w + \frac{\rho_{mx}}{\rho_w H + (1-H)\rho_o} (1-H)C_o \right) \quad \text{-----②}$$

①、②联立求出含水率 H -----

式中 Q<sub>p</sub> \_\_\_\_\_ 齿轮泵流量, 单位 m<sup>3</sup>/S

C<sub>w</sub> \_\_\_\_\_ 水比热, 单位 w/Kg · °C

C<sub>o</sub> \_\_\_\_\_ 油比热, 单位 w/Kg · °C

通过文丘里管 (22) 测出了总流量 Q, 带有压差变送器 (3) 的倒“U”形管

(24) 测出含气率  $\alpha$ ，加热棒 (9) 测出含水率  $H$ ，即分别得出油、气、水流量：

$$Q_g = \alpha Q$$

$$Q_w = (1 - \alpha) Q H$$

$$Q_o = (1 - \alpha) Q (1 - H)$$

$Q_g$  \_\_\_\_\_ 气流量，单位  $m^3/S$

$Q_w$  \_\_\_\_\_ 水流量，单位  $m^3/S$

$Q_o$  \_\_\_\_\_ 油流量，单位  $m^3/S$

在使用中，图 1 所示系统由于取样在流型整理器 14 后面，适用于对含水率  $H$  测量的响应速度不高的地方，油田生产的特点决定其时间尺度很长，对响应速度一般要求不高，如果在对响应速度要求高的场合，可采用图 2 所示的系统，把取样放在流型整理器 14 的前面。

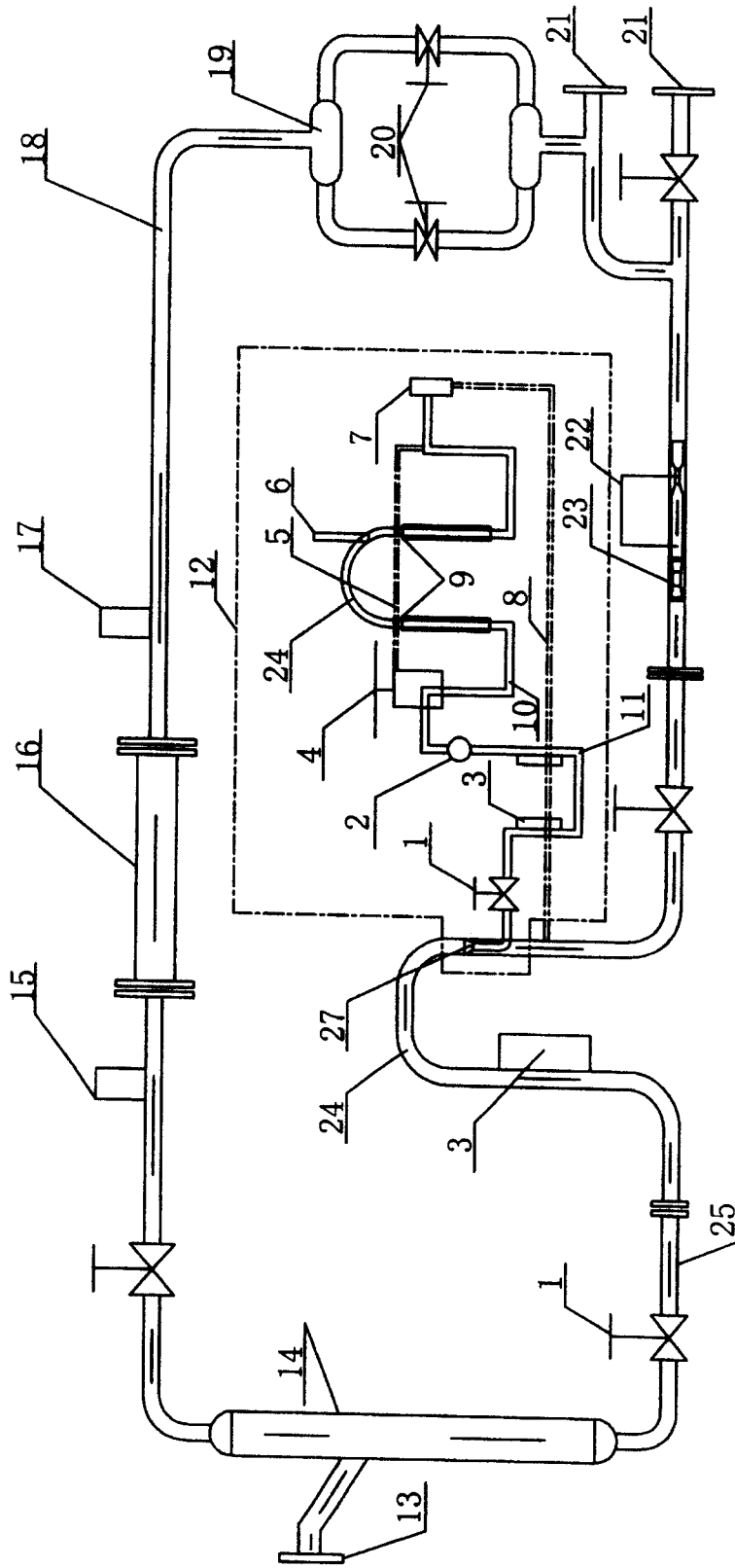


图 1

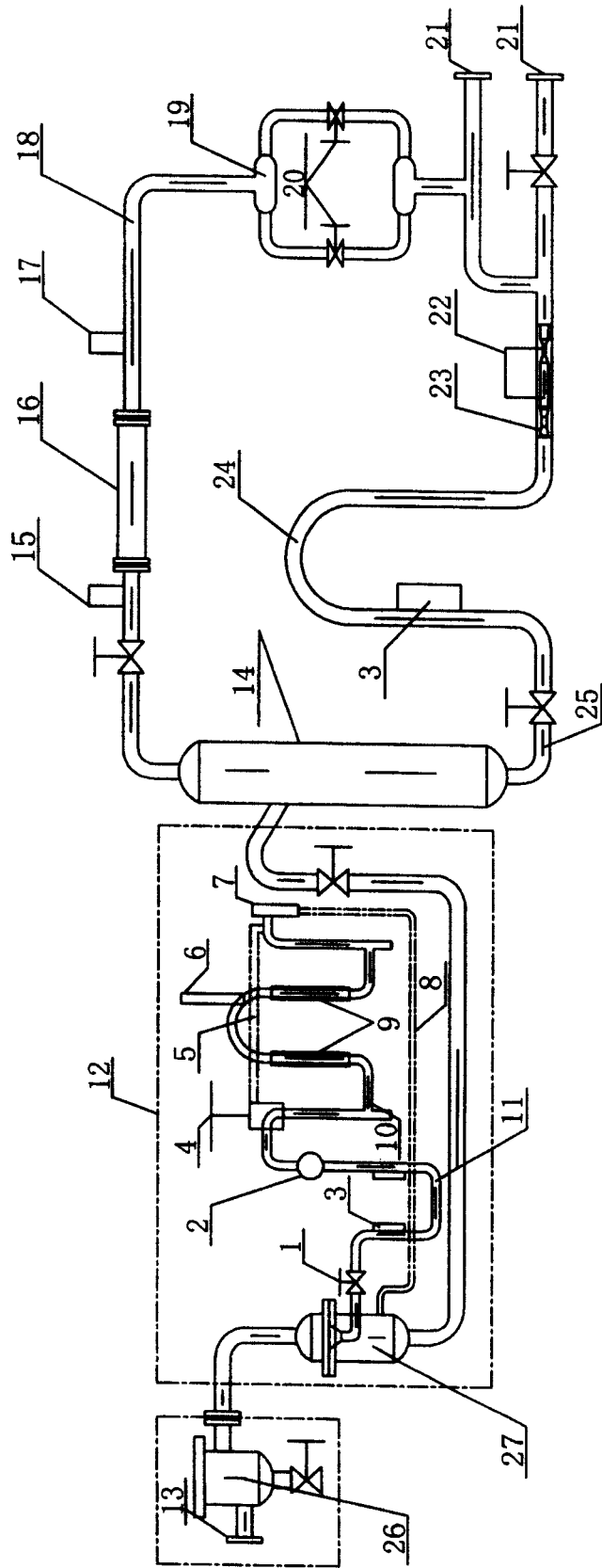


图 2