

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B01D 53/26

C10L 3/10 F28B 1/00



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99109760.2

[45] 授权公告日 2003 年 8 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1119195C

[22] 申请日 1999.7.12 [21] 申请号 99109760.2

[71] 专利权人 吕应中

地址 美国北卡罗来纳州

[72] 发明人 吕应中

审查员 刘 东

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

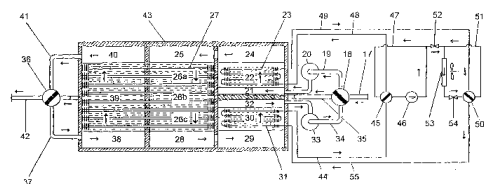
代理人 刘兴鹏

权利要求书 2 页 说明书 18 页 附图 8 页

[54] 发明名称 气体脱水方法及装置

[57] 摘要

本发明提供一种低露点与无堵塞的冷冻式气体脱水方法及装置，能够有效、经济地进行气体的脱水，使其含水量达到所要求的任意低水平。该装置主要包含由带温度梯度翅管的不规则栅格构成的一对水分冷冻器兼气体预热器和一套热能回收器；四个气体分配阀；以及一台可同时进行两级制冷循环的自由活塞式小压差气动压缩机。本发明可替代现有气体脱水方法与装置，并特别为天然气工业提供一种无大气污染、自供动力、小型化与低成本的脱水装置。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种能连续地去除气体内所含水分的气体脱水装置，其特征在于，该装置中包含有下列主要脱水部件：

与气体进口管相连的气体分配阀，其用于周期性地逆转气流方向以完成冷冻再生循环；

一对用于将气体中的悬浮物分离的分离器，它们的一端均通过管路与上述气体分配阀连接；

由翅管栅格构成的气体预热器，其预热含水分的气体并与上述分离器之一相连；

由带翅热管栅格构成的热能回收器，其一端与上述预热器相通；

制冷系统，用于提供冷却工质；

由翅管栅格构成的气体冷冻器，其一端与上述热能回收器相通，另一端连接于上述一对分离器中的另一个；以及

用于排出已脱水的气体的管线。

2. 如权利要求 1 所述的气体脱水装置，其特征在于，其中，固体沉积物利用进口的热气体进行融化和/或分解，进口的热气体首先被加热到由下列方程所决定的温度上升值 Δt ：

$$\Delta t = t_{\lambda} - t_{\kappa}, \quad \text{当 } t_{\lambda} > t_{\kappa}$$

$$\Delta t = 0, \quad \text{当 } t_{\lambda} \leq t_{\kappa}$$

$$t_{\lambda} = 2(t_{\text{冻}} + \delta t) - t_{\text{出}}$$

其中 Δt 气体通过预热器的温升，

t_{λ} 气体进入热能回收器时的温度，

t_{κ} 气体由入口管进入脱水装置时的温度，

$t_{\text{冻}}$ 水分开始结冰或生成固体水化物时的温度，

δt 高于 $t_{\text{冰}}$ 的温度裕量，取决于水化物的分解速率，及

$t_{\text{出}}$ 气体流出热能回收器时的温度。

3. 如权利要求 1 所述的气体脱水装置，其特征在于，其中水分冷冻器和/或热能回收器的翅管栅格为不规则栅格，其栅格参数的变化包括各排翅管的节距变化，翅管的几何布置由顺排到交叉排列的变化，以及节距与几何布置同时变化。

4. 如权利要求 1 所述的气体脱水装置，其特征在于，其中的热能回收器的热管热端的运行时分为三个工作区，即再生区、过渡区、及冷冻区；通过逆转回收器中气体流动方向，可以在同一设备内完成全部的冷冻再生循环，实现连续脱水操作。

5. 如权利要求 1 所述的气体脱水装置，其特征在于，其中的气体分配阀为一体化的气动式分配阀，其动作方式可以是绕轴摇摆，或利用自由活塞的往复运动。

6. 如权利要求 1 所述的气体脱水装置，其特征在于，其中制冷系统是一个小压差气动式制冷剂压缩机，其采用大流量、低压差的气体提供压缩机所需要的能源，而且进出口气体压力降为其原有压力的 50% 以下。

7. 权利要求 6 所述的气体脱水装置，其特征在于，其中小压差气动式制冷剂压缩机采用自由活塞式的气动马达，而且该气动马达有两个小柱塞连接在自由活塞上，用以压缩制冷剂蒸汽；该两柱塞且可以设计成不同直径，用以同时压缩两种不同制冷剂以实现两级制冷循环。

气体脱水方法及装置

技术领域

本发明涉及一种可去除各种气体内所含水分的方法及装置，使气体内的含水量降低到所要求的任意低水平。例如，其露点温度（即其中水分的凝结）温度达到 -73.3°C 以下。此方法与装置的效率高、成本低，具有逐步取代各种现有的气体脱水方法与装置的潜力。

背景技术

绝大部分的工业用气体或气态能源都需要在加工、输送、或使用之前除去其中所含的水分。目前普遍采用的气体脱水工艺主要有三种，即固体干燥剂（含分子筛）吸收法、液体干燥剂吸收法和冷冻脱水法。这三种工艺渊源长久，各有其优缺点与技术限制，故仅适用于各自的特定领域。几十年来，并无一项根本性的改进，足以改变气体脱水装置市场的结构。

在科学技术迅猛发展的今日，这些相对古老的气体脱水工艺已暴露出许多不适应时代要求的根本性弱点。例如，目前占天然气脱水装置市场约百分之九十的甘醇（一种液体干燥剂）脱水装置，由于脱水时其中的甘醇吸收天然气中含有的几种有毒有机物，特别是苯、甲苯、乙基苯及二甲苯（合称 BTEX），然后排放到大气之中，造成环境污染。目前各国对环境保护的法规日趋严密，对 BTEX 的危害已开始重视。美国有些州已开始制订限制 BTEX 排放的法律。预计此种甘醇脱水装置将于下世纪初被无 BTEX 传染的脱水装置所逐步代替。为此，有不少发明试图改进甘醇脱水装置。例

如美国专利 No. 5, 163, 981 “控制天然气脱水装置的污染物排放的方法与设备”，其特征是在原有装置上添加一个冷凝排放气体的系统，以回收冷凝为液态的 BTEX。新近发展的一种改进甘醇脱水工艺，称为 DRIZZO，也是在原有装置上添加一套更复杂的有机溶剂萃取系统，以消除 BTEX 的排放并同时提高其露点降低能力（由 55.6°C 加大至约 111°C ）。但所有这类改进都使甘醇脱水工艺复杂化，从而提高了成本，其结果是甘醇脱水装置的市场将丧失，而天然气生产者转向采用其它的无污染脱水工艺。

固体干燥剂吸收法可以控制 BTEX 的排放，同时具有超过 111°C 的露点降低能力。但它的价格比甘醇脱水装置贵得多，故迄今未能进入天然气脱水的主要市场，即天然气输送的脱水。因此，目前固体干燥剂脱水装置主要用于需要极低露点的各种工艺气体的脱水，其中也包括进行深度加工的天然气。然而，即使在这类应用中，固体干燥剂吸收装置也遭遇到许多运行与维护上的困难，特别是难于处理单位重量气体内含水量特别高的低压力或高温度的工艺气体。

冷冻脱水装置原则上可以消除 BTEX 的排放，但由于天然气脱水过程中会生成固态的气体水化物，沉积在冷冻设备的换热表面，从而堵塞气体流道；而且低压天然气脱水后的露点甚至低于水的冰点。因此目前此种脱水装置只限于工业用的压缩空气脱水（露点在 2°C 以上），而从未用于天然气脱水。历史上曾有一些发明试图改进冷冻式脱水工艺，例如美国专利 No. 2, 475, 255 “气体脱水方法”，其特征在于采用深度冷却的固体颗粒悬浮在气流之中，使所含水分冻结于无数小颗粒上，再加以收集去除，从而回避了流道堵塞问题。但此项发明缺乏实际操作性，故从未进入市场。

然而，随着现代冷冻与空调技术的突飞猛进与日益普及，而冷冻脱水工艺又具有消除 BTEX 污染的潜力，故冷冻脱水法又引起天然气工业的重视。为了克服固体水化物堵塞流道的障碍，本人曾

提出在冷冻脱水装置内利用紊流气体内水蒸汽产生涡流扩散的原理，使水化物沿狭长流道壁面更均匀地沉积，以而推迟堵塞过程，延长换热器的再生操作周期。该项发明称为“再生式气体脱水装置”，于1997年获得美国专利 No. 5,664,426，并已由原型试验阶段进入商业示范阶段，不仅得到美国许多天然气脱水装置制造厂的重视，而且得到若干工业气体脱水装置制造厂（现采用固体干燥剂脱水工艺）的支持。因此，目前美国气体脱水装置的市场结构，已开始有出现变化的迹象。

然而，本人提出该项发明的本来目的主要是针对消除现有天然气脱水装置的 BTEX 污染，并使其露点降低到天然气管道输送所要求的水平。这种工艺可以在上述范围内取代现有的甘醇脱水装置，但并不能在更低的露点范围内与现有的固体干燥剂脱水器相竞争。即使在天然气脱水领域，对于处理杂质含量高的，以及极低压或高压的气体，也存在一定的技术或经济上的困难。特别是在无外电源供应的偏僻天然气井址，尚不能与相对较为简单且无需外电源运行的甘醇脱水装置竞争。因此，要真正用冷冻脱水技术改变目前全部的气体脱水装置市场的结构，还有待于更大的技术突破。

发明内容

有鉴于此，本发明的目的即在于提供一种更先进的冷冻脱水方法，使之能很经济地获得与固体干燥剂相当的露点降低能力（111°C 以上），并同时彻底消除固体的水及水化物沉积（以下简称“固体沉积”）所造成的流道堵塞现象。

本发明的另一目的在于提供一种万能的气体脱水装置，使之能有效而经济地进行天然气及各种工艺气体的所有脱水任务。

本发明的又一目的在于提供一种无大气污染、自供动力、小型化与低成本的天然气脱水装置，并特别适用于无外电源供应的偏

僻天然气井址。

为达到上述目的，本发明的气体脱水方法，其特征是使气体以垂直于带翅片管（以下简称“翅管”）轴线方向流过一冷却的翅管栅格，其各翅管之间留有适当空档，使气体在任何情况下都能不堵塞地流过此栅格，同时其所含水分则凝结为液态的水和/或固态的水和/或水化物，后者部分地沉积在翅管的外壁上，部分地悬浮在气体中，并经由分离器除去，而达到脱水之目的。

在本发明的上述气体脱水方法中，翅管的翅片表面的温度作径向变化，使沉积于其上的固体沉积层的厚度，由翅片根部向尖部逐渐减小。

在本发明的上述气体脱水方法中，翅管的栅格为不规则栅格，其栅格参数的变化包括各排翅管的节距变化、翅管的几何布置由顺排到交叉排列的变化、以及节距与几何布置同时变化。

本发明还提出了一种能连续地去除气体内所含水分的气体脱水装置，其特征是，该装置中包含有下列主要脱水部件：

与气体进口管相连的气体分配阀，其用于周期性地逆转气流方向以完成冷冻再生循环；

一对用于将气体中的悬浮物分离的分离器，它们的一端均通过管路与上述气体分配阀连接；

由翅管栅格构成的气体预热器，其预热含水分的气体并与上述分离器之一相连；

由带翅热管栅格构成的热能回收器，其一端与上述预热器相通；

制冷系统，用于提供冷却工质；

由翅管栅格构成的气体冷冻器，其一端与上述热能回收器相通，另一端连接于上述一对分离器中的另一个；以及

用于排出已脱水的气体的管线。

在本发明的上述气体脱水装置中，利用进口的热气体进行融化和/或分解固体沉积物以完成再生循环；为此，进口的热气体首先被加热到由下列方程所决定的温度上升值 Δt ：

$$\Delta t = t_{\lambda} - t_{\pi}, \text{ 当 } t_{\lambda} > t_{\pi}$$

$$\Delta t = 0, \text{ 当 } t_{\lambda} \leq t_{\pi}$$

$$t_{\lambda} = 2(t_{\text{冻}} + \delta t) - t_{\text{出}}$$

其中 Δt 气体通过预热器的温升，

t_{λ} 气体进入热能回收器时的温度，

t_{π} 气体由入口管进入脱水装置时的温度，

$t_{\text{冻}}$ 水分开始结冰或生成固体水化物时的温度，

δt 高于 $t_{\text{冻}}$ 的温度裕量，取决于水化物的分解

速率，及

$t_{\text{出}}$ 气体流出热能回收器时的温度。

按照本发明的上述气体脱水装置，其中水分冷冻器和/或热能回收器的翅管栅格为不规则栅格，其栅格参数的变化包括各排翅管的节距变化，翅管的几何布置由顺排到交叉排列的变化，以及节距与几何布置同时变化。

按照本发明上述气体脱水装置，其中的热能回收器的热管热端的运行时分为三个工作区，即再生区、过渡区、及冷冻区；通过逆转回收器中气体流动方向，可以在同一设备内完成全部的冷冻再生循环，实现连续脱水操作。

本发明上述气体脱水装置中，其中的气体分配阀为一体化的气动式分配阀，其动作方式可以是绕轴摇摆，或利用自由活塞的往复运动。

按照本发明的上述气体脱水装置，其中的制冷系统是小压差气动式制冷剂压缩机，其采用大流量、低压差的气体提供压缩机所需要的能源，而且进出口气体压力降为其原有压力的50%以下。

上述小压差气动式制冷剂压缩机采用自由活塞式的气动马达，

而且该气动马达有两个小柱塞连接在自由活塞上，用以压缩制冷剂蒸汽；该两柱塞且可以设计成不同直径，用以同时压缩两种不同制冷剂以实现两级制冷循环。

本发明提出的气体脱水装置能够很经济地获得与固体干燥剂相当的露点降低能力，并同时彻底消除固体沉积所造成的流道堵塞现象，进行天然气及各种工艺气体的所有脱水任务，从而可替代目前市场上现有的各种气体脱水方法及装置。

附图说明

本发明的上述及其它特征与优点，将参照以下各附图进行说明。

图 1A-1I 表示本发明提出的气体脱水方法的工作原理；

图 2A 及 2B 表示本发明提出的一体化万能冷冻脱水装置的结构及其两个相继的冻结-再生循环的流程；

图 3A 及 3B 表示本发明采用的不规则翅管栅格构成的双用途水分冷冻/气体预热器的结构；

图 4A-4D 表示本发明中采用的不规则带翅热管栅格构成的热能回收器的结构；

图 5A-5C 及 5D 表示本发明中采用的一体化气动分配阀的两种结构；

图 6 表示本发明提出的“小压差”自由活塞式气动制冷剂压缩机的结构。

具体实施方式

图 1A-1I 表示本发明提出的气体脱水方法的工作原理，即（1）利用翅管的翅片导热时的径向温度梯度，使翅片表面上的固体沉积物不均匀分布，从而逐渐填满翅片间的空隙；同时利用各翅管

之间的空档，使气体在任何情况下均能自由流动，从而彻底消除流道堵塞现象；及（2）利用不规则的翅管栅格，使固体沉积物更均匀地分布在各排翅管上，从而增大整个栅格的固体沉积物容纳能力，延长其冻结-再生循环周期。

冷冻脱水装置是利用制冷系统提供的低温冷却液体将气体中所含水分冷凝为液体或冷冻为固体而加以去除的设备。欲将冷冻脱水装置用于天然气脱水以及代替现有的固体干燥剂脱水装置，必须突破以下两道难关，即（1）在紧凑的设备中如何容纳较大量的固体沉积物而不堵塞气体流道？及（2）如何用最少量的制冷能量，使气体温度下降到所要求的低露点温度？

本发明中采用了变栅格参数的不规则翅管栅格所构成的热能回收器与双功能的水分冷冻器/气体预热器，创造性地同时解决了以上两个矛盾。其详情分别结合图 1A 至图 6 进行说明。

图 1A 到 1E 表示本发明利用翅管上翅片导热时的径向温度梯度，使其表面上的固体沉积物不均匀分布，从而逐渐填满翅片间的空隙；同时利用各翅管之间的空档，使气体在任何情况下的均能自由流动，从而彻底消除流道堵塞现象。

由图可见，含饱和水汽的气体沿垂直于翅管轴线方向流过翅管 1 的外表面，气流方向如箭头所示，各翅管之间均留有适当的空档。图 1B 中的剖面表示固体沉积过程的初期，此时沉积层的厚度还很小。冷却工质 2 在管内流动，并由管壁 3 及翅片 4 吸收热量。由于翅片材料的热阻，在翅片 4 的表面上产生一个温度梯度，如图 1C 中的曲线 5 所示。翅片尖部的温度 $t_{尖}$ 高于其根部的 $t_{根}$ 。因此，在翅尖处的固体沉积层厚度 6 小于根部的沉积层厚度 7，如虚线所示。

图 1D 中的剖面表示固体沉积过程的中期。此时沉积层不断增厚。它首先填满翅片根部的间隙，如虚线所示，然后向尖部延伸。

图 1E 中的剖面表示固体沉积过程的末期。此时沉积层已大致

填满了翅片之间的全部间隙。换言之，此翅管已被“冻死”。

由于各翅管间留有适当的空档，即使相邻的各翅管均被冻死，气体仍可由空档中自由流过。从而本发明的设计已彻底消除流道堵塞现象。在实际操作中，当翅管进入沉积过程的中期之后，在未冻死状态前，即已切换到再生循环，在其中利用热的气体将固体沉积物熔化或分解。不仅如此，实际上当气体流道中前排翅管上的固体沉积层加厚时，翅管对流动的阻力也随之增大，故流经该排翅管的翅间隙的气体份额已减少，更大份额的含水气体绕过该排翅管而流入以后各排的翅管，将更多的水分沉积在后面各排翅管壁上，进一步推迟了前排各翅管的冻死时间。由于整个栅格内为数众多的翅管具有极大的翅间间隙，为容纳固体沉积物提供了巨大的“冰库”，故本发明的脱水装置在实际运行时的冻结-再生周期，比一般固体干燥剂脱水装置中及本人的前一发明“再生式气体脱水装置”（冷冻式脱水）中的再生周期都要长得要，因而可大大降低脱水装置的投资与运行成本。

不仅如此，本发明还采用了变化栅格参数的不规则翅管栅格，使固体沉积物更均匀地分布在各排翅管上，从而进一步加大了整个栅格的固体沉积容量。这一原理表示在图 1F 到图 1I 中。

图 1F 表示变化各排翅管的管间距离（以下称为“节距”）的不规则栅格。与通常换热设备中栅格采用恒定节距不同，本发明采用了各排翅管的节距由大到小变化的不规则几何布置，使直接接触前排翅管的含水气流份额较小，而直接接触后排翅管的含水气流份额增大，从而提高气体所含水分沉积的后排翅管上的比例，以补偿气体中含水量从前排到后排不断降低的不均匀性。在图 1F 中，箭头 8 表示含较多水分的入口气体直接接触第一排翅管 10 的份额，而箭头 9 则表示绕过翅管 10 而流经翅管间空档的气流份额。箭头 8 份额的气流内大部分水分将凝结或冻结在翅管 10 的外壁上，而箭头 9 份额的气流内的水分则将沉积到第二排翅管 11 及以

后各排翅管的外壁上。该两部分气流 8 及 9 的比例取决于翅管直径与空档尺寸之比。图 1F 表示第一排的翅管节距 12 最大，然后逐渐减小，最后排的节距 13 最小。由于整个气体的含水量由第一排到最后一排不断减小，因此，由节距变小而产生的直接接触气流份额的增大，可使前后排的固体沉积量分布均匀化。

图 1G 表示本发明所采用的另一种变化栅格参数方法，即相邻两排翅管的节距不变，但几何排列方式由顺排逐渐变化为交叉排列。箭头 8a 及 9a 分别代表直接接触第一排翅管 10a 与流经空档的两部分气流分。由于前排翅管 14 的排列方式的顺排，故流经空档的那一部分气流 9a 中有很大大一部分能穿透后面若干排翅管而不与其相接触。然而，到达交叉排列方式排列的后排翅管 15 时，流经空档的气流却正好全部直接接触到支管 16 上，使其中大部分水分沉积。这种由几何排列引起的水分沉积比例的逐排增长，正好抵偿了整个气体含水量逐排减少的效应。故此种不规则栅格也将使前后排的固体沉积量的分布均匀化。

图 1H 表示一种综合上述两种方法的“双变化”不规则栅格，即各排翅管的节距与排列方式同时变化：节距由大变小；排列方式由顺排变为交叉排列。

图 1I 表示以上三种不规则栅格内固体沉积沿气流流道的相对分布与通常的规则栅格内分布的比较示意。图中，a 为节距、布置双变化的不规则栅格，b 为几何布置变化的不规则栅格，c 为节距变化的不规则栅格，d 为通常的规则栅格。由图可见，不规则栅格的固体沉积分布比规则栅格要均匀得多，尤以双变化栅格为最好。不规则栅格提供了更大的固体沉积容量，估计比“再生式气体脱水装置”内狭长流道中的固体沉积容量大出十倍以上。

图 2A 及 2B 表示本发明提出的一体化万能冷冻脱水装置的结构及其两个相继的冷冻再生-循环的流程。在此脱水装置内，只需逆转其中气流的方向，就可以在同一套设备内完成连续脱水的冻结-

再生循环。这样就大幅度地降低了冷冻脱水装置的设备投资。

图 2A 为本发明的一体化万能冷冻脱水装置基本结构及流程图。含饱和水蒸汽的热气体由进口管 17 进入脱水装置。气体首先进入四通道分配阀 18。热气体被分配进入管线 19 通向分离器 20，并将积存在分离器内的固体沉积物融化或分解成为液态的水，由一个自动排水阀排出（图中略去该排水阀，下同）。

然后，热气体流入联箱 21 再进入气体预热器（即前一循环中的水分冷冻器）22，并将其前一循环中积存的固体沉积物融化或分解成为液态的水排出。与此同时，在气体预热器的带翅蛇管 23 内通入受压缩后而变热的制冷剂热蒸汽，使流经管外的热气体进一步加热，其温度升高值 Δt 应满足以下方程所示的条件，以保证予热后的热气体能在进入热能回收器之后，能融化或分解其中所积存的全部固体沉积物，而完成再生循环：

$$\Delta t = t_{\lambda} - t_{\tau}, \quad \text{当 } t_{\lambda} > t_{\tau}$$

$$\Delta t = 0, \quad \text{当 } t_{\lambda} \leq t_{\tau}$$

$$t_{\lambda} = 2(t_{\text{冻}} + \delta t) - t_{\text{出}}$$

其中 Δt 气体通过预热器的温升，

t_{λ} 气体进入热能回收器时的温度，

t_{τ} 气体由入口管进入脱水装置时的温度，

$t_{\text{冻}}$ 水分开始结冰或生成固体水化物时的温度，

δt 高于 $t_{\text{冻}}$ 的温度裕量，取决于水化物的分解

速率，及

$t_{\text{出}}$ 气体流出热能回收器时的温度。

流出预热器的热气体经联箱 24 及 25 进入热能回收器的热端 26。热能回收器可将热气体预冷到稍高于脱水所要求露点的温度，以节约冷冻水所需的制冷量。在此降温过程中，气体所含水分的绝大部分将冷凝为液体及固体沉积在翅管表面，一部分悬浮在气体之中，其总量达到总脱水量的百分之八、九十以上。因此，此

设备为脱水装置的核心。

热能回收器由一组翅管 27 制成的热管构成。其栅格一般按不规则栅格布置。其热端大体可分为三个工作区，即再生（化冻）区 26a，过渡区 26b，和冷冻区 26c。它们之间并无固定边界，可视进入热能回收器的气体条件而定。

当热气体首先进入再生区时，将上一循环中积存的固体沉积物融化或分解，同时地将气体中的热量传入热管，使管内的工质蒸发，而气体本身则被冷却，其中所含的水分有相当大部分凝结为液态的水排出。当气体流出再生区时其温度下降到 $t_{\text{冻}} + \delta t$ ，但其中水分尚不致形成固体沉积。

气体然后进入过渡区 26b，在其中气体的热能继续传入热管使管内工质蒸发，气体温度不断下降，在离开过渡区时温度为 $t_{\text{冻}}$ 。气体所含水分在此区内冷凝为液体水而排出，亦不致生成固体沉积。

气体最后进入冷冻区 26c，其温度开始降至 $t_{\text{冻}}$ 以下。气体所含热能继续使热管内的工质蒸发，气体本身温度则降至 $t_{\text{出}}$ ，仅比脱水所要求的露点温度高出 8.3°C 到 16.7°C 。在此区内，气体可含水分大部分将冻结成为固体的水及水化物；其中的一大部分均沉积在翅管的表面，一小部分则以小颗粒形式悬浮在气体中经由联箱 28 流出。

从热能回收器流出的冷气体所含水分已不多，但尚未达到所要求的脱水水平。气体流入联箱 29 并进入水分冷冻器（在另一循环中用作气体预热器）30。由制冷系统进入的低温制冷剂在冷冻器的带翅蛇管 31 内蒸发，使流经蛇管外的冷气体进一步降温，达到所要求的脱水露点温度，并使气体中所含水分的大部分以固态沉积在带翅蛇管外壁上，小部分以固态颗粒形式悬浮在冷气体内。然后气体经联箱 32 进入分离器 33，其中的固体悬浮颗粒被分离器所阻留。于是冷气体内所剩余的水蒸气含量达到了脱水所要求的

标准。

脱水后的冷气体由管线 34 进入分配阀 18, 被分配进入管线 35 内, 再流入另一个四通道分配阀 36。该分配阀将冷气体分配进入管线 37, 再流入热能回收器冷端 39 的联箱 38。流经热能回收器内带翅热管冷端 39 的冷气体使热管内的工质蒸汽冷凝为液体, 后者则通过热管内的管芯回流到热能回收器的热端 26。

流经热能回收器冷端热管外的冷气体温度则由于吸收热管内工质的凝结热而升温, 并经联箱 40 流出热能回收器, 经管线 41 再进入分配阀 36, 最后被分配进入气体出口管 42 而离开脱水装置。

本发明的脱水装置主要脱水部件都安装在同一个压力容器 43 内, 即采用“一体化”结构, 从而能承受高压并降低制造成本。

图 2A 内还画出了与上述主要脱水部件相连接的制冷系统的流程。在水分冷冻器的蛇管 31 内蒸发的制冷剂蒸汽经管线 44 流入另一个四通道的分配阀 45, 并被分配进入压缩机 46。经压缩而升高温度的制冷剂热蒸汽有一部分经管线 47 返回分配阀 45, 并被分配进入管线 48, 由此再流入气体预热器 22 内的带翅蛇管 23。这部分热蒸汽再由管线 49 进入另一个四通道的分配阀 50, 并被分配进入管线 51, 再与由旁路阀 52 流来的另一部分制冷热蒸汽汇合, 一同流入散热器 53 并凝结成为液体。

液化后的制冷剂经减压阀 44 降压, 并重新进入分配阀 50。因降压而过热的液体制冷剂被分配进入管线 55, 再流入水汽冷冻器 30 的蛇管 32 内蒸发, 使流经管外的气体内的水汽冷冻。

图 2B 表示本发明的一体化万能冷冻脱水装置的次一循环的流程。前已说明, 本发明的一大优点就在于利用同一套通过逆转气流方向, 就可以完成冷冻-再生循环的切换, 从而连续不断地进行气体脱水, 故图 2B 内所有设备与部件的编号, 与图 2A 内的完全相同。

当图 2A 所表示的前一循环运行过程中，热能回收器内带翅热管热端的冷冻区 26C 中前排翅管上的固体沉积层接近使翅管冻死的阶段之前，本冷冻脱水装置即被切换到次一循环。在此次一循环中，所有四个分配阀，即 18，36，45，及 50，其阀门位置都旋转了九十度，从而进出各设备的气流方向，与图 2A 相比，已被完全逆转，如各箭头所示。

含饱和水蒸汽的气体由进口管 17 进入分配阀 18。现在气体被分配进入管线 34 通向分离器 33，并将其中积存的固体沉积物融化或分解成液态的水再行排出。

然后，热气体流入联箱 32 再进入气体预热器（即图 2A 循环中的水分冷冻器）30，并将其在前一循环中积存的固体沉积物融化或分解成为液态的水排出。与此同时，制冷剂的热蒸汽进入带翅蛇管 31，使流经管外的热气体进一步加热，其温度升高值 Δt 应满足如图 2A 说明中所述的同样要求。

流出预热器的热气体经联箱 29 与 28 进入热能回收器的热端 26。现在该热端的三个工作区的顺序也被逆转，即再生区为 26c，过渡区仍为 26b，而冷冻区为 26a。

当热气体首先进入再生区 26c 时，将其中在图 1A 所示的前一循环内积存的固体沉积物融化或分解为液态的水排出，同时气体被热近内工质的蒸发而冷却到 $t_{\text{冻}} + \delta t$ 的温度；气体中所含的一部分水分则凝结为液态的水而排出。

气体然后进入过渡区 26b。在其中气体的温度被热管内工质的蒸发而冷却到 $t_{\text{冻}}$ 的温度；气体中所含的一部分水分则凝结为液态的水而排出。

气体最后进入冷冻区 26a，其温度被热管内工质的蒸发而继续冷却到 $t_{\text{霜}}$ ，仅比脱水所要求的露点温度高出 8.3°C 到 16.7°C 。在此区内，气体所含水分大部分冻结为固体的水及水化物；其中的一大部分沉积在翅管的表面，一小部分则以小颗粒形式悬浮

在气体中经由联箱 25 及 24 流入水分冷冻器（在图 2A 的循环中用作气体预热器）22。由制冷系统送入的低温制冷剂在冷冻器的带翅蛇管 23 内蒸发，使流经蛇管外的冷气体进一步降温，达到所要求的露点温度。

气体经联箱 21 进入分离器 20，其中的固体悬浮颗粒被分离器所阻留。于是冷气体内所剩余的水蒸汽含量达到了脱水所要求的标准。

脱水后的冷气体由管线 19 进入分配阀 18，被分配进入管线 35 内，再流入分配阀 36。该分配阀将冷气体分配进入管线 41，再流入热能回收器冷端 39 的联箱 40。冷气体被热管内工质的凝结热加热而升温，并经联箱 38 流出热能回收器，经管线 37 再进入分配阀 36，最后被分配进入气体出口管 42 而离开脱水装置。

图 2B 内也画出了与上述主要脱水部件相连接的制冷系统的流程。在水分冷冻器的蛇管 23 内蒸发的制冷剂蒸汽经管线 48 流入分配阀 45，被分配进入压缩机 46。经压缩而升高温度的制冷剂热蒸汽有一部分经管线 47 返回分配阀 45，并被分配进入管线 44，由此再进入气体预热器 30 内的带翅蛇管 31，这部分热蒸汽再由管线 55 进入分配阀 50，并被分配进入管线 51，再与由旁路阀 52 流来的另一部分制冷剂热蒸汽汇合，一同流入散热器 53 并凝结成为液体。

液化后的制冷剂经减压阀减压，重新进入分配阀 50 并被分配进入管线 49，再流入水汽冷冻器 22 的蛇管 23 内蒸发，使流经管外气体中的水分冻结。

图 3A 及 3B 表示本发明内所采用的水分冷冻器兼气体预热器的结构。本发明的特点之一，就是该项设备兼有两种功能，在不同的冷冻-再生循环内轮流充当水分冷冻器与气体预热器。

该设备由一个带翅蛇管的栅格构成。该栅格一般制成图 1F 到图 1H 内所述的不规则栅格，其结构如下所述。若干根直的翅管 56

在两端各用 U 形管 57 连接为一组蛇管，然后各组蛇管再按变化栅格参数的要求分别连接到进出口联箱 58 及 59 上，以形成所需的不规则栅格。

图 4A-4D 表示本发明内所采用的热能回收器的结构。热能回收器由许多直的单个带翅热管 60 排列成不规则栅格，各热管之间内部并不连通。在栅格的中部用一隔板 61 将气体流道分开，并形成各热管的热端 62 与冷端 63 两部分。工质可以在每根热管以内的冷热端之间自由流动。图中还画出一小段热管 64 的剖面（图 4C）。在带翅热管 65 的内壁上装有管芯 66 或其代替物（如开槽）。通过管芯的毛细作用，可将液态工质由热管的冷端输送到热端。

图 5A-5C 及图 5D 分别表示了本发明内所采用的一体化四通道分配阀的两种可能结构。这种气动式分配阀的体积小而成本低，特别适合无外电源供应的偏僻天然气井址。

图 5A-5C 表示一种摇摆式分配阀 67 的结构。它由阀体 68 及一个摇摆式气动马达 69 构成。阀体内包含阀缸 70，在其上设有四个气体进出口 71、72，73 及 74。在阀缸内有一个摆动叶片 75，其上装有若干密封片 76。转轴 77 与摆动叶片 75 作刚性连接，并一直通到气动马达 69 内。

气动马达 69 的外壳 78 内也有一个摆动叶片 79 固定在转轴 77 上，并装有若干密封片 80。由驱动气体管线 81 及 82 轮流送入及排出的少量驱动气体，分别进出于叶片 79 的两侧，从而推动该叶片来回摆动，其摆动辐度为 90 度。通过轴 77 的带动，分配阀的叶片 79 也作 90 度的摆动，从而将经由进口 71 及 73 进入阀缸的两股气体流分别分配进入气体出口 72 及 74，以实现脱水装置内气流方向的逆转。

图 5D 表示另一种自由活塞往复式分配阀的结构。该阀的阀体 83 为一圆柱形气缸，在其上设有四个气体进出口 84，85，86 及 87（又分为 87a 及 b 两个相连通的出口）。在圆柱形气缸内有一

个双头自由活塞 88 固定在同一空心轴 89 的两端。自由活塞上装有若干活塞环 90。空心轴 89 可沿一个固定在气缸 83 两端的小轴 91 滑动。该小轴上又固定着一个小的驱动活塞 92，其上也有若干小活塞环 93。由驱动气体管线 94 与 95 交替地向固定的小活塞 92 的两侧送入及排出驱动气体，从而推动空心轴 89 及其上的双头自由活塞往复运动。自由活塞的往复运动将使由气体进口 84 与 86 进入气缸的两股气流交替地分别进入气体出口 83 与 87（含 87a 及 87b），从而实现脱水装置内气流方向的逆转。

根据所处理气体的压力及露点要求的不同，可以选用上述图 5A-5C 或 5D 中的任一种结构，以达到最佳的性能-价格比。

图 6 表示本发明所提出的“小压差”自由活塞式气动制冷剂压缩机的结构。

为使冷冻脱水装置具有与固体干燥剂脱水装置相同的露点降低能力，并在投资与运行成本上均低于固体干燥剂脱水器，必须采用一种比目前通用的电动制冷剂压缩机更为有效与廉价的气动压缩机，后者还可适用于无外电源供应的偏僻天然气井址。本发明所提出的小压差自由活塞式天然气气动制冷剂压缩机，就是针对这一要求的发明。

在通常的气动马达内，尽可能利用驱动气体的全部压力能转换成机械能，以谋求最高的效率与最佳的经济性。降压后的驱动气体则排入大气之中。然而，在天然气脱水装置内，用以推动制冷剂压缩机的天然气量为数不小，无论从环境污染（温室气体）或经济上看，均不允许直接排入大气，也无法重新送入输气管道。特别是对于低压力的天然气井，只有采用本发明的小压差式气动压缩机，使通过气动马达的气体压力降小于其初始压力的 5—10%，使由马达排出的降压气体仍具有足够压力进入输气管线，才能解决这一矛盾。

图 6 表示这种小压差气动制冷剂压缩机的一种可能的结构。由

于压差小，获得同等功率的驱动气体流量要大，虽然从理论上说气体透平是最适于这种用途的，但由于气体脱水装置所处理的气体种类及参数变化范围太广，往往无法由目前成批生产的气体透平或旋转式气体马达产品中选到合适的设备，此时有必要进行单件生产。为此，本发明提出了如图 6 所示的一种结构简单、制造容易、运动可靠、而且单件生产的成本低廉的自由活塞式小压差气动制冷剂压缩机。

该压缩机采用一个轻巧的自由活塞 96，其上装有若干活塞环 97，在一个气缸 98 内往复滑动。自由活塞的两端各有一个小直径的柱塞 99 及 100，其上也各装有若干活塞环 101 及 102。驱动用的大流量气体经由进出管线 103 及 104 交替地将高压气体通入及排出气缸 98，从而动自由活塞 96 左右滑动。驱动气体进出的压差很小，但因自由活塞的面积远大于小柱塞的面积，故小柱塞可以相当高的压力压缩制冷剂。制冷剂的进出口管线在图内以 105，106，107 及 108 表示。所有气体的进出口阀门及其控制系统均可采用标准设计，故均未在图中画出。

由于自由活塞两端各有一个小柱塞，故当气体脱水需要更低的露点，例如 -73.3°C 以下，而采用通常单级制冷循环无法提供足够低温的制冷液时，可将两个小柱塞设计成不同直径，分别压缩两种不同的制冷剂，以进行两级制冷循环。这种利用同一设备就可以同时进行两级制冷循环的特征，是本发明的又一优点。

由于自由活塞与小柱塞结构简单而尺寸紧凑，其质量很小，从而滑动的频率可以高于目前通用的高速内燃机的活塞往复运动频率。因此，即使所通过的驱动天然气流量很大，其气缸的尺寸也颇小。以一个日产量为 28 万标准立方米、压力为 14 兆帕、温度为 38°C 的天然气井为例，即使全部产出的天然气通过气缸，其自由活塞的直径仅为 15 厘米，行程为 11 厘米，往复滑动频率为每分钟 4000 次，由此可见其紧凑性。

综上所述，本发明提供了一种可以在效率上与经济上与目前所有各种气体脱水方法及装置相竞争并逐步取而代之的万能气体脱水方法及装置。

还必须指出，除以上所述的本发明及其作为示例的装置与设备的基本特征之外，根据本发明权利要求书中所述的原则与基本特征，利用普通的工程技术，还可以设计出各种不同的装置与设备，进行各种改进，与设计出各种代用品。

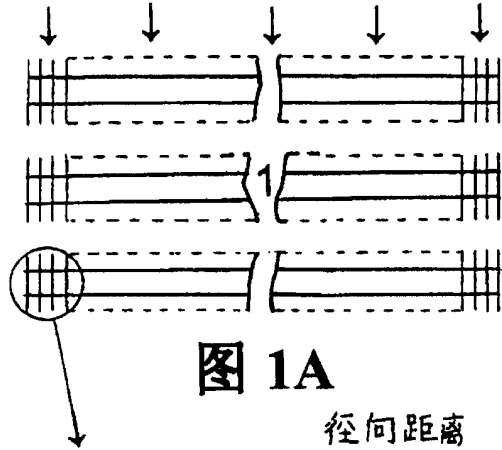


图 1A

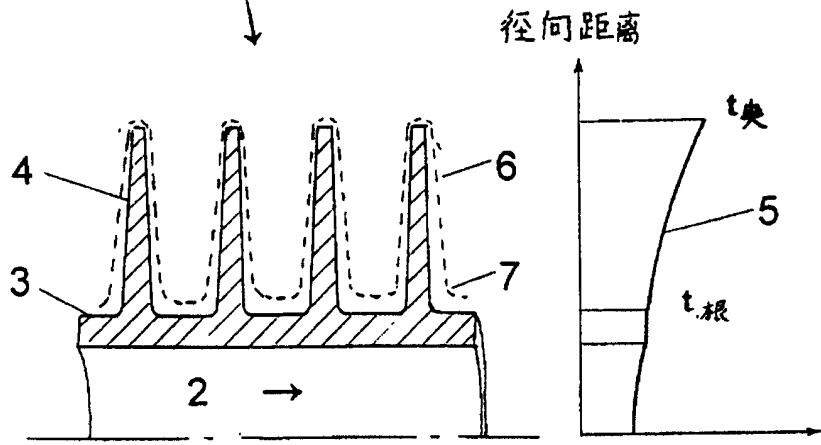


图 1B

温度

图 1C

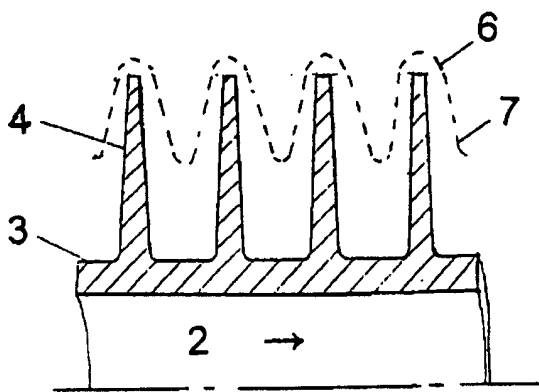


图 1D

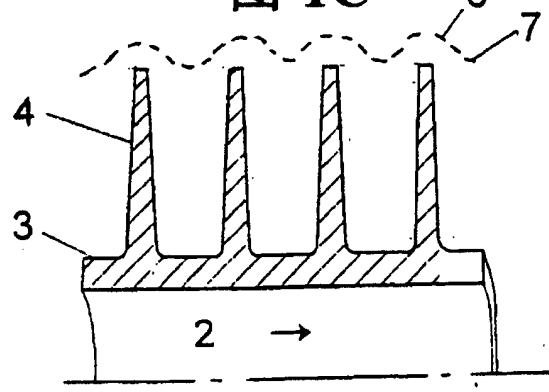


图 1E

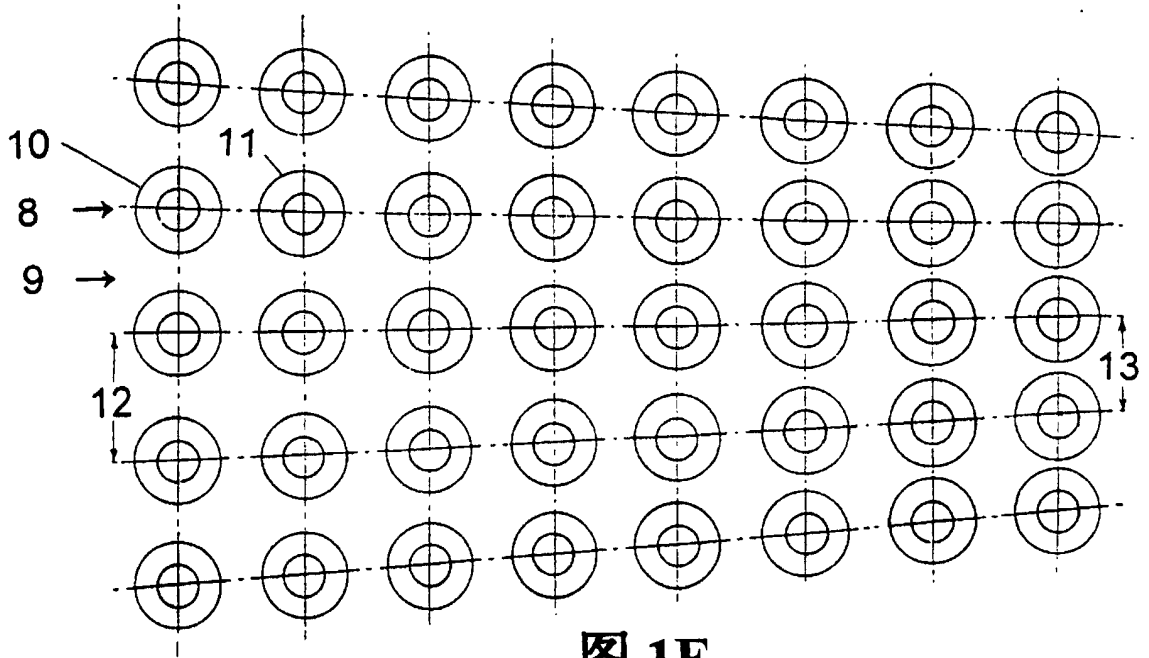


图 1F

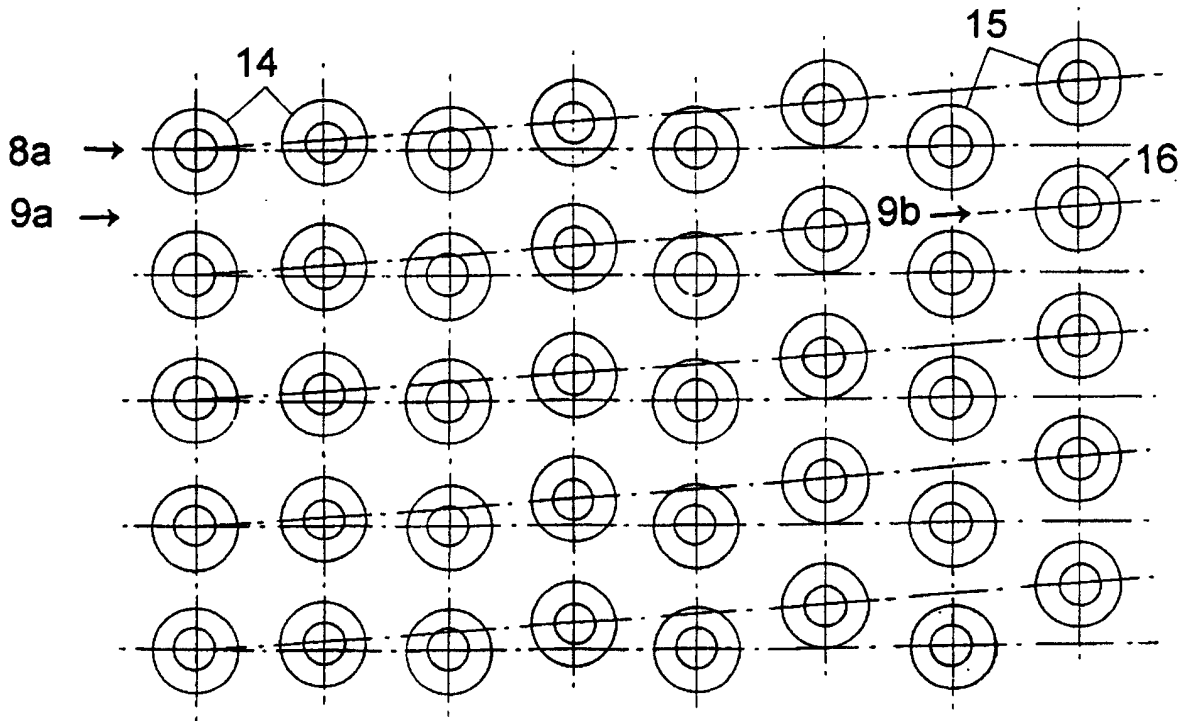


图 1G

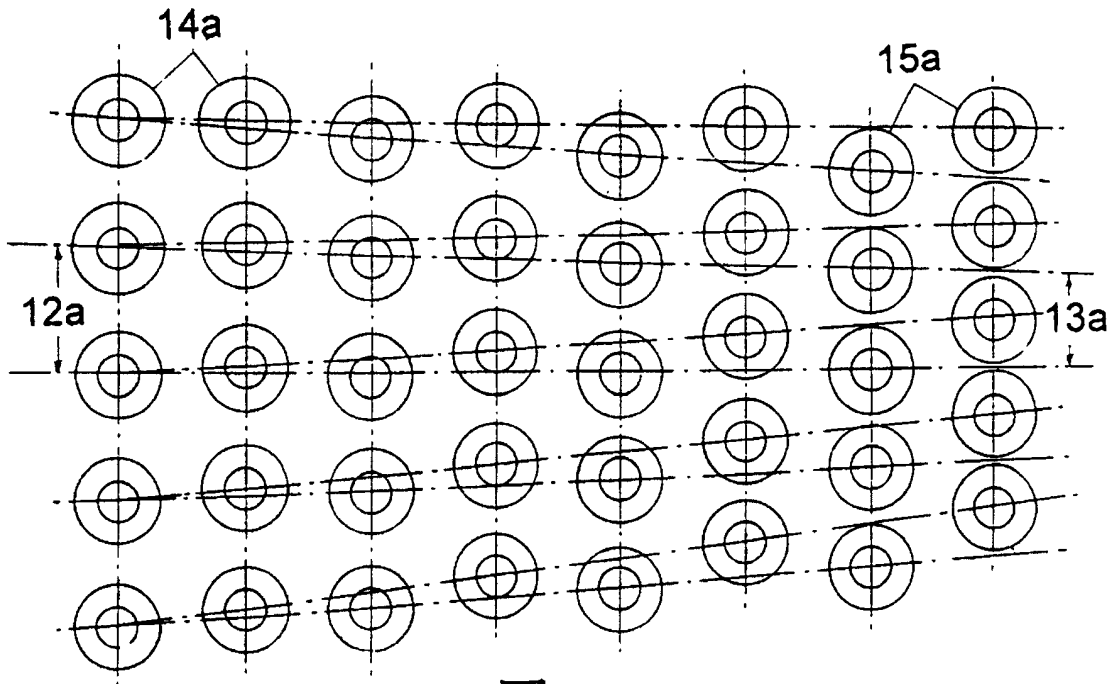


图 1H

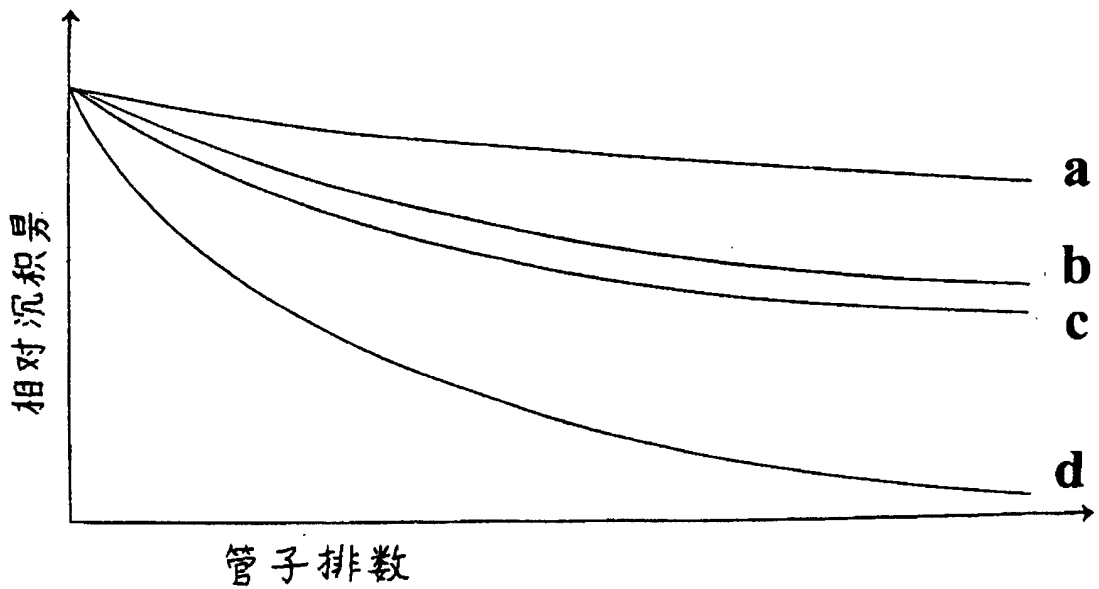


图 1I

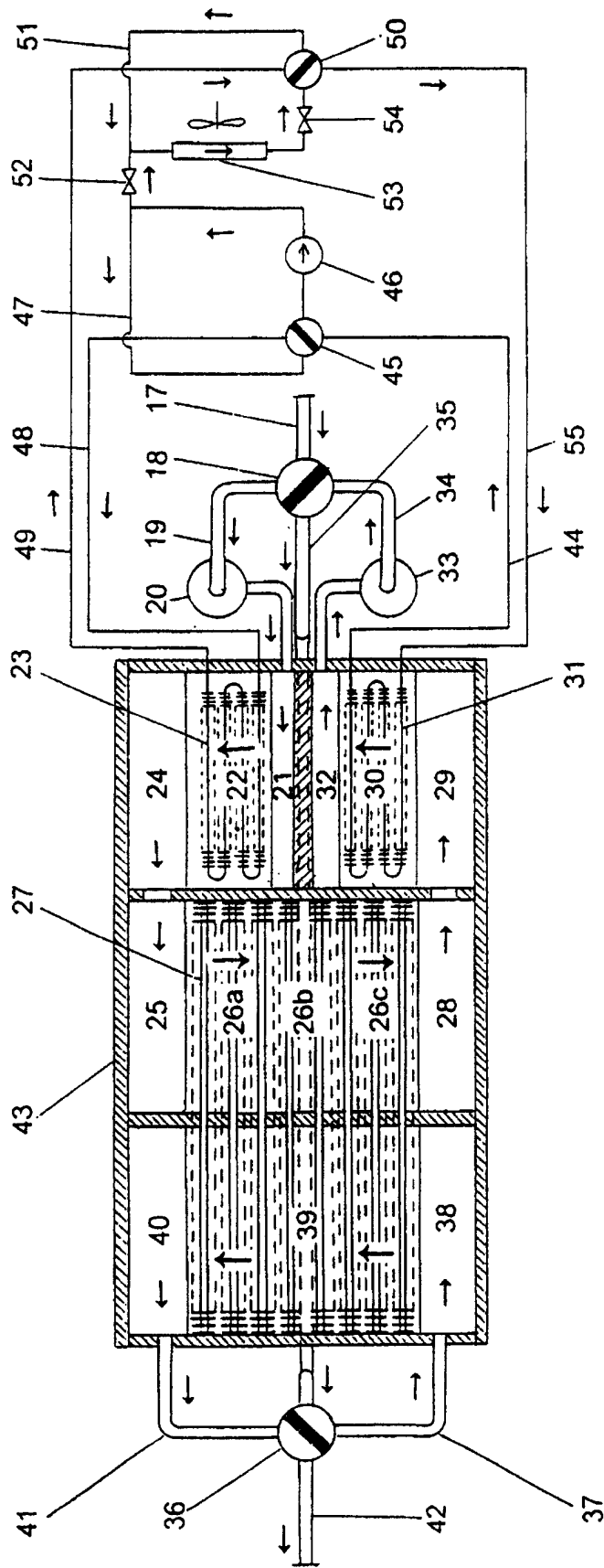


图 2A

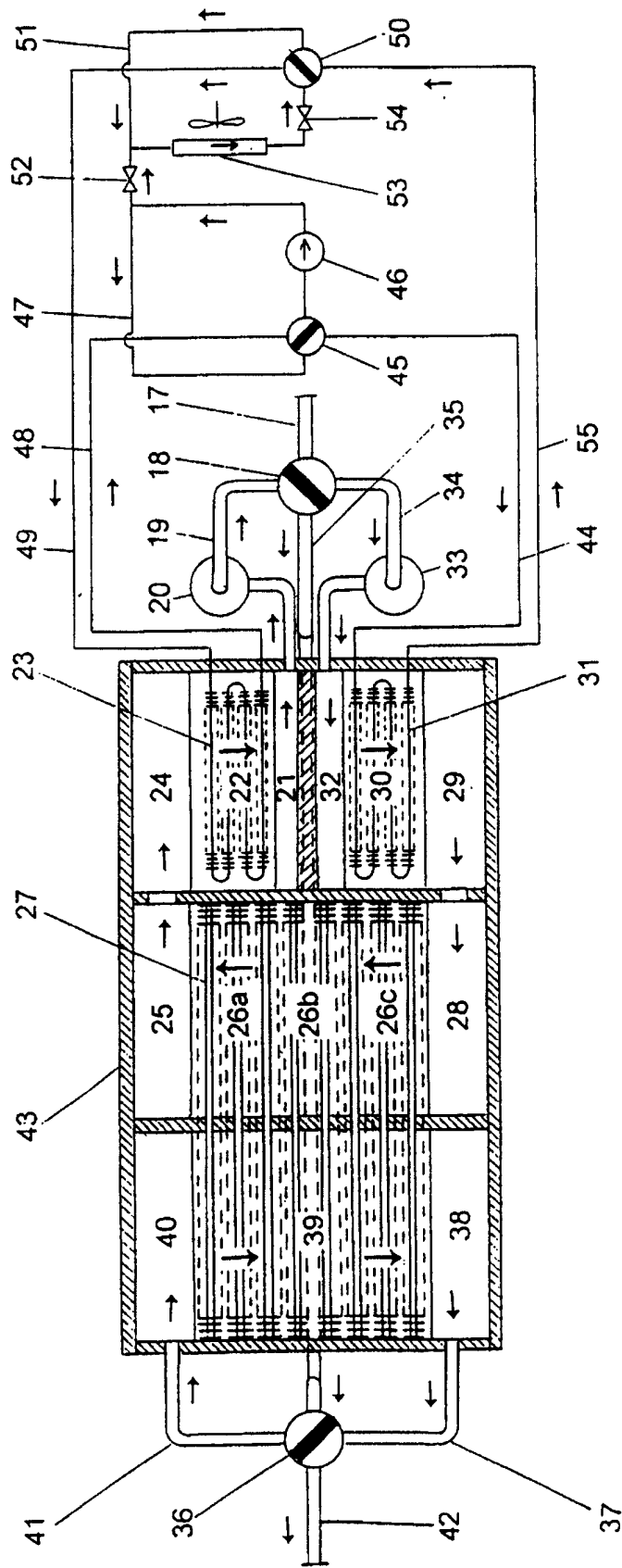


图 2B

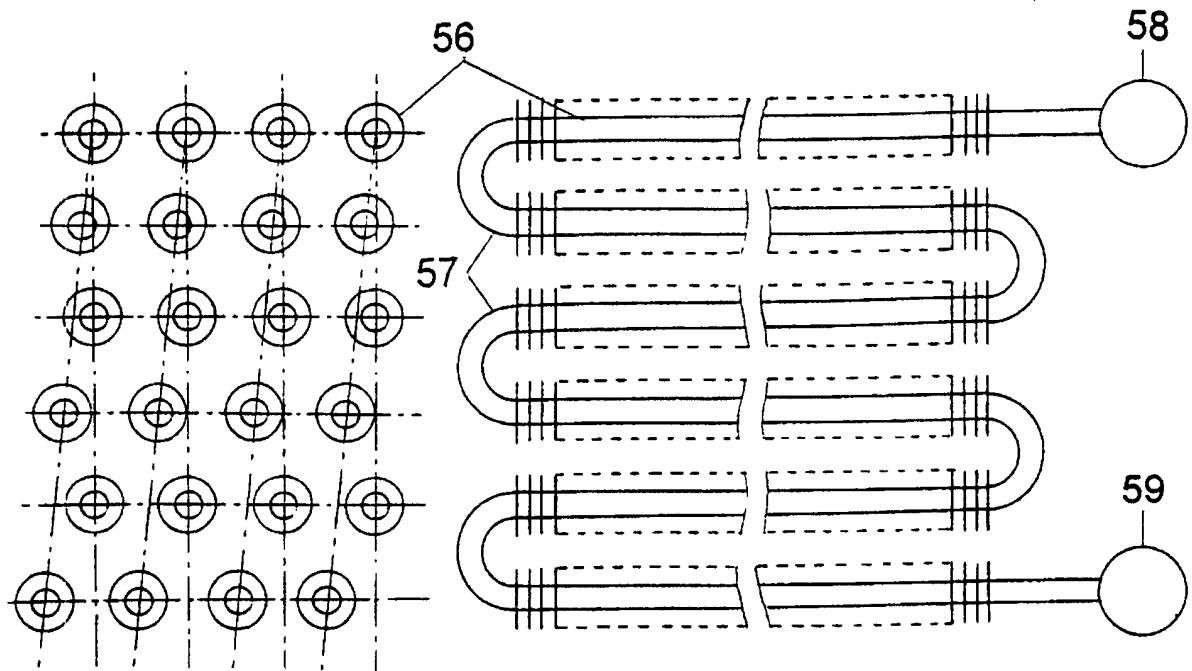


图 3A

图 3B

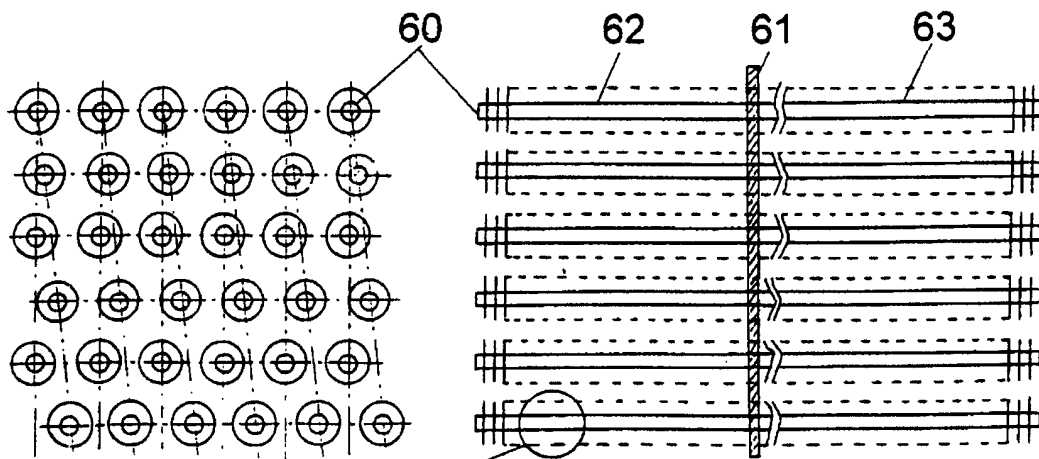


图 4A

图 4B

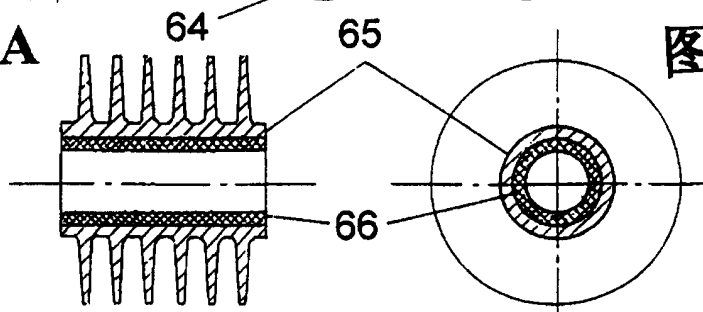


图 4C

图 4D

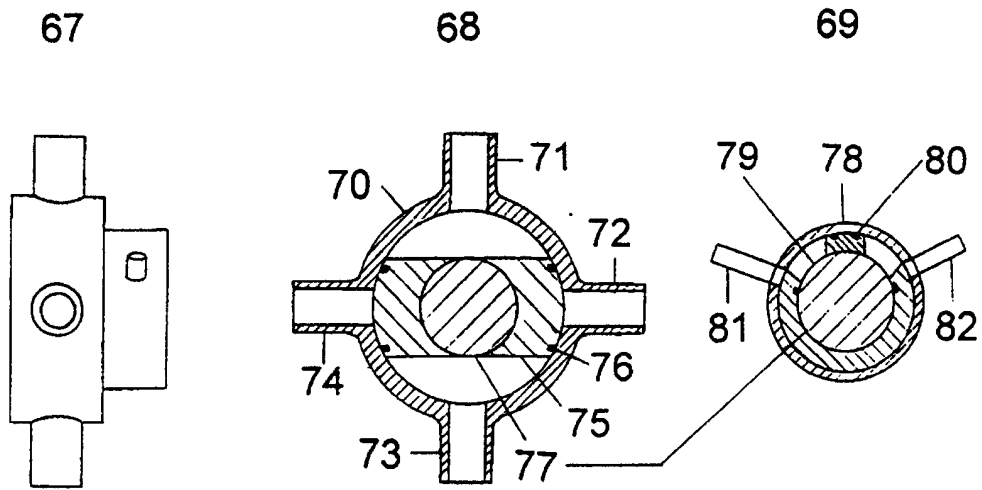


图 5A

图 5B

图 5C

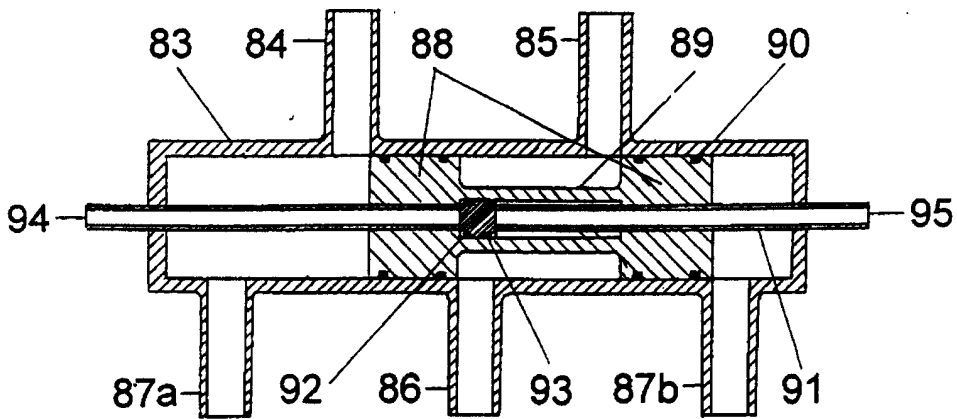


图 5D

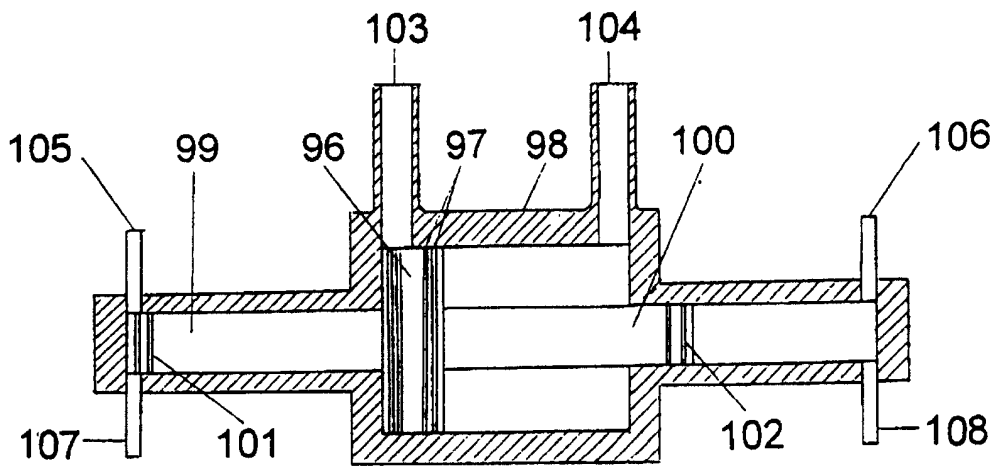


图 6